10th anniversary
NANOTEC
a member of NSTDA

แนวปฏิบัติ ด้านความปลอดภัยวัสดุนาโน



ERI
Center of Excellence on Environmental Research and Innovation

สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศ
ทางวิชาการด้านวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม

สนับสนุนโดย “ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ”
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

คำนำ

“สารานุกรมความปลอดภัยของวัสดุนาโน” เป็นเอกสารทางวิชาการที่รวมรวมความรู้ในประเด็นต่างๆ เกี่ยวกับความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมของวัสดุนาโน 15 ชนิด เพื่อใช้ในการค้นคว้า อ้างอิง และสนับสนุนระบบ ระเบียบและแนวทางการปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยี ทั้งนี้สืบเนื่องจากการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศไทยไปพร้อมๆ กับอารยประเทศนั้น ได้ประสบความสำเร็จในการนำวัสดุนาโนในรูปแบบต่างๆ ไปใช้งานในการเพิ่มประสิทธิภาพหรือเพิ่มลักษณะพิเศษให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทำให้เกิดการแพร่หลายของผลิตภัณฑ์นาโนในตลาดการค้าของอุตสาหกรรมไทยหลายประเภท และได้ถูกนำมาใช้งานในชีวิตประจำวันของผู้บริโภค อย่างไรก็ดีจากการที่วัสดุนาโนมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร ส่งผลให้วัสดุนาโนสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีและว่องไว และมีแนวโน้มที่จะปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมตลอดจนมีโอกาสที่มนุษย์อาจได้รับวัสดุนาโนโนเข้าสู่ร่างกายและเกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ ทั้งจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การนำไปใช้งานของผู้บริโภค และการเป็นของเสียนาโนเมื่อใช้งานเสร็จสิ้นแล้ว โดยระดับความเป็นพิษของวัสดุนาโนนั้นจะแตกต่างกันไป โดยวัสดุนาโนบางชนิดมีความเป็นพิษน้อยมากจนถึงไม่มี ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ไม่จัดว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ ในขณะที่วัสดุนาโนบางชนิดในการใช้งานบางสภาวะอาจทำให้เกิดความเป็นพิษและมีอันตรายต่อสุขภาพได้ โดยเนื้อหาของหนังสือในเล่มนี้ได้จัดแยกตามชนิดของวัสดุนาโน 15 ชนิด ข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโนแต่ละชนิดแบ่งเป็นหมวดหมู่ต่างๆ ได้แก่ ลักษณะสมบัติ ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม การทำงานที่ปลอดภัย และตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโน เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน

หนังสือเล่มนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเป็น “คู่มือความปลอดภัยด้านนาโนเทคโนโลยีสำหรับนักวิชาการ” ซึ่งจัดทำโดยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ในการนำหนังสือเล่มนี้ไปใช้งานสำหรับนักวิชาการและการดำเนินงานวิจัยควรใช้ควบคู่ไปกับ “คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน” ซึ่งจัดทำโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงานด้านนาโนเทคโนโลยี เพื่อให้การรวบรวมข้อมูลในหนังสือเล่มนี้มีความทันสมัย และเกิดประโยชน์สูงสุด สารานุกรมความปลอดภัยวัสดุนาโนนี้จะมีการปรับปรุงเนื้อหาให้ทันสมัยในแต่ละช่วงวาระ และจะจัดทำในรูปฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์เพื่อประโยชน์ในการเผยแพร่และการนำไปใช้งานในการค้นคว้า อ้างอิง และสนับสนุนระเบียบปฏิบัติซึ่งจะนำไปสู่การสร้างความปลอดภัยในกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีทั้งหน่วยงานภาครัฐ สถาบันวิจัย หน่วยงานภาคเอกชน อุตสาหกรรม และประชาชนทั่วไป เพื่อให้เกิดการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของประเทศที่ยั่งยืนและปลอดภัยในอนาคตต่อไป

รศ.ดร. พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล
ดร. จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย
กันยายน 2555

สารบัญ

หน้า

คำนำ ก

สารบัญ ข1-5

คำย่อ ค1-2

บทที่ 1 - วัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

1. ลักษณะสมบัติ 1
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 2
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 4
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 5
5. การทำงานที่ปลอดภัย 18
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 22
7. เอกสารอ้างอิง 24

บทที่ 2 - วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

1. ลักษณะสมบัติ 27
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 28
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 30
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 31
5. การทำงานที่ปลอดภัย 40
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 44
7. เอกสารอ้างอิง 46

บทที่ 3 - วัสดุนาโนซีเรียมออกไซด์ (CeO_2)

1. ลักษณะสมบัติ 48
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 49
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 50
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 52
5. การทำงานที่ปลอดภัย 59
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 62
7. เอกสารอ้างอิง 63

บทที่ 4 - ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว (Single Wall Carbon Nanotube, SWCNT)

1. ลักษณะสมบัติ 64
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 65
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 67

หน้า
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 68
5. การทำงานที่ปลอดภัย 74
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 78
7. เอกสารอ้างอิง 80
บทที่ 5 - ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (Multi-wall Carbon Nanotube, MWCNT)
1. ลักษณะสมบัติ 82
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 83
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 85
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 86
5. การทำงานที่ปลอดภัย 91
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 96
7. เอกสารอ้างอิง 98
บทที่ 6 - ฟูลเลอรีน (Fullerenes)
1. ลักษณะสมบัติ 101
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 102
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 103
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 104
5. การทำงานที่ปลอดภัย 109
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 113
7. เอกสารอ้างอิง 115
บทที่ 7 - วัสดุนาโนซิลเวอร์ (Nano-Ag)
1. ลักษณะสมบัติ 117
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 118
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 122
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 124
5. การทำงานที่ปลอดภัย 131
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 136
7. เอกสารอ้างอิง 138
บทที่ 8 - วัสดุนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)
1. ลักษณะสมบัติ 142
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 143

หน้า

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 144
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 146
5. การทำงานที่ปลอดภัย 153
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 156
7. เอกสารอ้างอิง 158

บทที่ 9 - วัสดุนาโนโกลด์ (Nano-Au)

1. ลักษณะสมบัติ 160
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 161
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 163
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 164
5. การทำงานที่ปลอดภัย 170
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 173
7. เอกสารอ้างอิง 175

บทที่ 10 - เดนไดรเมอร์ (Dendrimers)

1. ลักษณะสมบัติ 177
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 178
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 181
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 182
5. การทำงานที่ปลอดภัย 190
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 194
7. เอกสารอ้างอิง 195

บทที่ 11 - นาโนเคลย์ (Nanoclay)

1. ลักษณะสมบัติ 197
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 198
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 200
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 201
5. การทำงานที่ปลอดภัย 205
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 209
7. เอกสารอ้างอิง 210

หน้า

บทที่ 12 - นาโนไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3)

1. ลักษณะสมบัติ 211
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 212
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 213
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 216
5. การทำงานที่ปลอดภัย 219
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 222
7. เอกสารอ้างอิง 224

บทที่ 13 - อะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3)

1. ลักษณะสมบัติ 225
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 226
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 227
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 228
5. การทำงานที่ปลอดภัย 231
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 235
7. เอกสารอ้างอิง 237

บทที่ 14 - คาร์บอนแบลค (Carbon black)

1. ลักษณะสมบัติ 239
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 240
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 241
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 242
5. การทำงานที่ปลอดภัย 245
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 249
7. เอกสารอ้างอิง 251

บทที่ 15 - พอลิสไตรีน (Polystyrene)

1. ลักษณะสมบัติ 252
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน 253
3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล 254
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 256
5. การทำงานที่ปลอดภัย 260
6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย 264
7. เอกสารอ้างอิง 266

หน้า

ภาคผนวก 267

ก.1 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) 268

ก.2 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) 279

ก.3 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) 288

ก.4 เอกสารความปลอดภัยของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว (Single Wall Carbon Nanotube, SWCNT) 293

ก.5 เอกสารความปลอดภัยของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (Multi-wall Carbon Nanotube, MWCNT) 303

ก.6 เอกสารความปลอดภัยของฟูลเลอรีน (Fullerenes) 325

ก.7 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิลเวอร์ (Nano-Ag) 339

ก.8 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 351

ก.9 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนโกลด์ (Nano-Au) 369

ก.10 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนโกลด์ (Nano-Au) 382

ก.11 เอกสารความปลอดภัยของนาโนเคลย์ (Nanoclay) 387

ก.12 เอกสารความปลอดภัยของนาโนไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) 403

ก.13 เอกสารความปลอดภัยของอะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) 429

ก.14 เอกสารความปลอดภัยของคาร์บอนแบลค (Carbon black) 446

ก.15 เอกสารความปลอดภัยของพอลิสไตรีน (Polystyrene) 478

คำย่อ

AFM	Atomic force microscopy - กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry – หน่วยงานด้านสารเคมีและเชื้อโรคของประเทศอเมริกา
EC_{50}	Half-maximal effective concentration - การวัดประสิทธิภาพของสารเคมีจากปริมาณและความเข้มข้นของสารที่ต้องใช้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพ 50% ระหว่างระดับฐานต่ำสุดคือไม่ได้ใช้สารเคมีเลย (0%) จนถึงระดับอิ่มตัวสูงสุดที่สารเคมีมากที่สุดในระยะเวลายาวนาน
EDS	Energy-dispersive X-ray analysis – เครื่องวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน
EU	European Union – สหภาพยุโรป
IC_{50}	Half maximal Inhibitory Concentration – หน่วยวัดปริมาณและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้เพื่อชลอปฏิกิริยาทางชีวะหรือชีวะเคมีของร่างกาย เชื้อโรค หรืออนุมูลอิสระลงไปเหลือ 50% ระหว่างระดับสูงสุดกับระดับที่ต่ำสุด
ICP	Inductively coupled plasma – เครื่องวิเคราะห์โลหะหนักด้วยพลาสมา
LC_{50}	Median lethal concentration – ความเข้มข้นของสารเคมีที่ทำให้สัตว์ทดลองตายเป็นจำนวน 50% ของจำนวนเริ่มต้น
LD_{50}	Median lethal dose – ปริมาณของสารเคมีที่ทำให้สัตว์ทดลองตายเป็นจำนวน 50% ของจำนวนเริ่มต้น
LDH	Lactate dehydrogenase – เอนไซม์แลคเตทดีไฮโดรจีเนส
LOEC	Lowest observed effect concentration – ความเข้มข้นของสารเคมีที่น้อยที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของร่างกายอย่างใดอย่างหนึ่งขึ้น
LOEL	Lowest observed effect level – ปริมาณของสารเคมีที่น้อยที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของร่างกายอย่างใดอย่างหนึ่งขึ้น
LOAEL	Lowest observed adverse effect level – ปริมาณของสารเคมีที่น้อยที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วทำให้เกิดความเป็นพิษหรือผลเสียต่อร่างกายอย่างใดอย่างหนึ่งขึ้นซึ่งมักเป็นความผิดปกติที่กลับคืนได้ เช่น น้ำหนักตัวลดลง เป็นต้น
MCL	Maximum contaminant level – ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้ปรากฏในน้ำดื่มได้
MWCNT	Multi-wall carbon nanotube – ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health – หน่วยงานด้านอาชีวอนามัยของประเทศสหรัฐอเมริกา

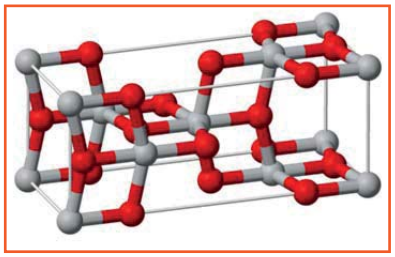
NOEC	No observed effect concentration – ความเข้มข้นของสารเคมีที่มากที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของร่างกาย
NOEL	No observed effect level – ปริมาณของสารเคมีที่มากที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของร่างกาย
NOAEL	No observed adverse effect level – ปริมาณของสารเคมีที่มากที่สุดซึ่งได้รับทุกวันแล้วไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษหรือผลเสียใดๆ ต่อร่างกาย
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development – องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา
pH_{pzc}	pH at the point of zero charge – ค่าพีเอชที่ทำให้ประจุเป็น 0
RfD	Reference Dose – ปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพอนามัย
SAS	synthetic amorphous silica – ซิลิกาอสัณฐานที่เกิดจากการสังเคราะห์
SEM	Scanning electron microscopy - กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
SWCNT	Single wall carbon nanotube – ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว
TEM	Transmission electron microscopy - กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน
U.S. EPA	U.S. Environmental Protection Agency – องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา
UV	ultraviolet light – แสงอัลตราไวโอเล็ต
XAS	X-ray absorption spectroscopy – เครื่องมือที่ใช้เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์
XPS	X-ray photoelectron spectroscopy – เครื่องมือที่วัดการปลดปล่อยพลังงานแสงอิเลคตรอนในรูปรังสีเอ็กซ์
XRD	X-ray diffraction - เครื่องมือที่ใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

บทที่ 1
วัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

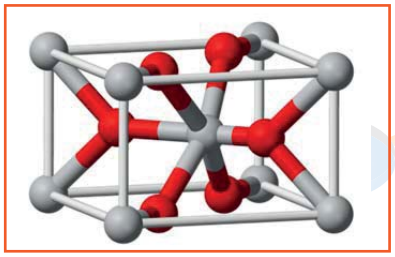
1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อตามระบบ IUPAC	titanium dioxide, titanium (IV) oxide
CAS number	13463-67-7
สูตรโมเลกุล	TiO_2
น้ำหนักโมเลกุล	79.866 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	4.23 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	1843 °C
จุดเดือด	2972 °C
ลักษณะทั่วไป	ของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น
	สารไม่ลุกติดไฟ (non-flammable)
	สารไม่ละลายน้ำ (water insoluble)
	โครงสร้างหลัก 3 แบบ คือ anatase rutile และ brookite

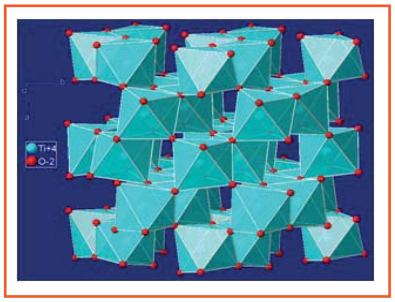
ลักษณะโครงสร้างทางเคมี (รูปที่ 1)



(a) anatase
(ที่มา :http://en.wikipedia.org/wiki/File:Anatase-unit-cell-3D-balls.png)



(b) rutile
(ที่มา:http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rutile-unit-cell-3D-balls.png)



(b) brookite
(ที่มา :http://en.wikipedia.org/wiki/File:Brookite.GIF)

รูปที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของไททาเนียมไดออกไซด์ (a) anatase (b) rutile และ (c) brookite

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

1) การมีค่าดรรชนีหักเหสูง (high refractive index) ทำให้วัสดุที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์หรือมีส่วนผสมของไททาเนียมไดออกไซด์ เกิดการสะท้อนแสงได้ดี และวัสดุที่ถูกเคลือบจะมีความสว่างสูง (brightness) (Fujishima and Honda, 1972, Hoffmann et al., 1995, Fujishima et al., 2008)

2) การดูดซับแสงอัลตราไวโอเลตได้ดี (UV absorber) ทำให้วัสดุที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์หรือมีส่วนผสมของไททาเนียมไดออกไซด์ สามารถดูดซับแสงและเปลี่ยนแสงที่ได้เป็นความร้อนระบายออกจากวัสดุจากปฏิกิริยาเคมีทางแสง (photochemistry reaction) ทำให้วัสดุนั้นไม่เสื่อมสภาพเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเลต (Hoffmann et al., 1995, Herrmann 1999)

3) การทำความสะอาดด้วยตัวเอง (self-purification) ไททาเนียมไดออกไซด์สามารถรับแสงอัลตราไวโอเลตแล้วทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่อยู่บนพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยปฏิกิริยาเคมีทางแสง (photochemistry reaction) ทำให้สารอินทรีย์นั้นๆ เกิดการย่อยสายเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงหรือเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ การเคลือบวัสดุด้วยไททาเนียมไดออกไซด์จึงทำให้วัสดุที่ถูกเคลือบเกิดการทำความสะอาดด้วยตัวเอง ซึ่งลักษณะสมบัตินี้ได้นำไปใช้กับการกำจัดกลิ่นด้วยเช่นกัน (กลิ่นมักมาจากสารอินทรีย์ที่เคลือบบนผิววัสดุ) (Fujishima and Honda, 1972, Fujishima et al., 2008)

4) การฆ่าเชื้อโรค (antibacterial) ไททาเนียมไดออกไซด์สามารถรับแสงอัลตราไวโอเลตแล้วทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ที่อยู่บนพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยปฏิกิริยาเคมีทางแสง (photochemistry reaction) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเรดิคอลที่สามารถกำจัดหรือฆ่าจุลินทรีย์บนพื้นผิวนั้นๆ (Hoffmann et al., 1995, Rajeshwar, 1985, Rajeshwar, 2007)

5) การแผ่กระจายของน้ำ (superhydrophilicity) เป็นลักษณะสมบัติของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ทำให้หยดน้ำที่เกาะบนพื้นผิวแผ่กระจายเป็นฟิล์มบางๆ ลักษณะสมบัตินี้เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวที่มีไททาเนียมไดออกไซด์มีหยดน้ำมาเกาะ มุมสัมผัสของน้ำมีค่าเป็นศูนย์ (no contact angle) ทำให้น้ำไม่ยึดเกาะบนพื้นผิวไททาเนียมไดออกไซด์ แต่จะแผ่กระจายไม่เกาะเป็นหยดน้ำ (Handerson et al., 2011, Fujishima and Honda, 1972, Fujishima et al., 2008)

6) การเป็นสารเร่งปฏิกิริยา (photocatalyst) เป็นลักษณะเฉพาะของไททาเนียมไดออกไซด์ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น ซึ่งมาจากคุณสมบัติของการเป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ของไททาเนียมไดออกไซด์ (Handerson et al., 2011, Rajeshwar, 1985, Rajeshwar, 2007)

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง** นิยมใช้เป็นส่วนผสมของครีมกันแดดและเครื่องสำอางอื่นๆ โดยลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะเฉพาะที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง (high refractive index) ทำให้ป้องกันแสงแดดมาทำอันตรายพื้นผิวที่มีครีมกันแดดอยู่

- **อุตสาหกรรมสี** นิยมใช้เป็นส่วนผสมของสี หรือน้ำยาเคลือบผิว โดยลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ เป็นลักษณะเฉพาะที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง ทำให้มีความสว่าง และมีการดูดซับแสงอัลตราไวโอเลตได้ดีทำให้สีคงทนในการใช้งาน สีไม่ซีดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ภายใต้แสงอาทิตย์

- **อุตสาหกรรมพลาสติก** นิยมใช้เป็นส่วนผสมของสี หรือน้ำยาเคลือบผิว โดยลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ เป็นลักษณะเฉพาะที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง ทำให้ดูดซับแสงอัลตราไวโอเลตได้ดีทำให้พลาสติกคงทนในการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ภายใต้แสงอาทิตย์

- **อุตสาหกรรมยาง** ลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ เป็นลักษณะเฉพาะที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง ทำให้ดูดซับแสงอัลตราไวโอเลตได้ดีทำให้ยางคงทนในการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ภายใต้แสงอาทิตย์

- **อุตสาหกรรมกระดาษ** นิยมใช้เป็นส่วนผสมของผงสีในการผลิตกระดาษ ผิว โดยลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ เป็นลักษณะเฉพาะที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง ทำให้กระดาษมีสีขาวและสว่าง

- **อุตสาหกรรมก่อสร้าง** นิยมใช้เป็นส่วนผสมในการเคลือบผิวกระเบื้อง ผลิตภัณฑ์เซรามิค สุขภัณฑ์ โดยลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ การทำความสะอาดด้วยตัวเอง (self purification) ทำให้คราบสกปรกที่มักอยู่ในรูปของสารอินทรีย์สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยปฏิกิริยาเคมีทางแสง (photochemistry) และการฆ่าเชื้อโรค (antibacterial) ทำให้จุลินทรีย์ต่างๆถูกกำจัดไปด้วยปฏิกิริยาเคมีทางแสง (photochemistry)

- **อุตสาหกรรมกระจก** นิยมใช้ในการเคลือบผิวกระจก ลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์คือ การแผ่กระจายของน้ำ (superhydrophilicity) และการทำความสะอาดด้วยตัวเอง โดยเมื่อน้ำตกกระทบกับพื้นผิวของกระจกที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์หยดน้ำจะรวมตัวกันเป็นแผ่นไหลลงมาด้านล่าง ลดการเกาะของหยดน้ำใส ทำให้กระจกไม่เป็นฝ้ามัว ไม่เป็นคราบ คราบฝุ่นต่างๆ ที่เกาะอยู่ที่ผิวกระจกจะถูกชะล้างออกได้ง่ายเมื่อมีน้ำไหลผ่านอย่างเพียงพอซึ่งจะทำความสะอาดพื้นผิวที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ได้ง่ายกว่าหยดน้ำที่แตกกระจายออกเป็นหยดๆ ลักษณะสมบัตินี้ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น กระจกไร้ฝ้า (anti-fog mirror) กระจกรถยนต์ กระจกบนอาคารสูง เป็นต้น รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำยาเคลือบต่างๆ เพื่อให้ได้วัสดุที่ถูกเคลือบที่มีลักษณะเฉพาะตัวในรูปแบบเดียวกัน

- **อุตสาหกรรมผลิตสารเร่งปฏิกิริยา**การนำไททาเนียมไดออกไซด์ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมักนิยมใช้ในส่วนของการเป็น catalytic converter ซึ่งนิยมนำไปใช้กับรถยนต์หรือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ลักษณะสมบัติที่นำไปใช้ในการเป็นผลิตภัณฑ์คือ การเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (photocatalyst) ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เร็วขึ้น

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายได้โดยง่ายอยู่ในรูปของผง หรือละอองลอยที่มีผงไททาเนียมไดออกไซด์แขวนลอยในอากาศ เส้นทางการได้รับไททาเนียมไดออกไซด์เข้าสู่ร่างกายจึงมักเป็นเส้นทางการ หายใจเป็นหลัก ซึ่งทำให้เกิดการรับเข้าสู่ร่างกายได้โดยตรง

อาการที่ได้รับสาร – คัดจมูก ระคายเคืองจมูก

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดย ทั่วไปแล้วการได้รับไททาเนียมไดออกไซด์โดยทางปากนั้น มักไม่เกิดขึ้นโดยง่าย การได้รับทางปากเกิดขึ้นได้หากมีการปนเปื้อนของไททาเนียมไดออกไซด์ขณะ ปฏิบัติงาน เช่น อาจติดมือ เป็นต้น จากนั้นเข้าสู่ปากผ่านอาหาร น้ำดื่ม หรือการสูบบุหรี่

อาการที่ได้รับสาร – ไม่แสดงอาการให้เห็นเด่นชัด

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่ถุงมือชนิดที่เหมาะสมทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน และทำความสะอาดร่างกายก่อนรับประทานอาหารและน้ำดื่ม

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – ไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปของตะกอนแขวนลอยในของเหลว (น้ำ) จะลดการได้รับวัสดุนาโนในรูปของผงจากทางการหายใจ แต่ในขณะปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนชนิดนี้อาจเกิดการหก หรือกระฉอกของของเหลว ทำให้เกิดการได้รับผ่านทางผิวหนังได้ นอกจากนี้การสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น อาจทำให้ได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนังผ่านการสัมผัสได้เช่นกัน

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังที่ไม่มีแผลเปิด มักไม่แสดงอาการใดๆ

ถ้ารับทางผิวหนังที่มีแผลเปิด อาจเกิดอาการระคายเคือง และสามารถเข้าสู่ผิวหนังในชั้นลึกลงไปได้

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของไททาเนียมไดออกไซด์อยู่ในรูปผงไททาเนียมไดออกไซด์สามารถปลิวหรือฟุ้ง กระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้าเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

การรวบรวมข้อมูลในหนังสือเล่มนี้มีความทันสมัย และเกิดประโยชน์สูงสุด สารานุกรมความปลอดภัยวัสดุนาโนนี้จะมีการปรับปรุงเนื้อหาให้ทันสมัยในแต่ละช่วงวาระ และจะจัดทำในรูปฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์เพื่อ

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับสารไททาเนียมไดออกไซด์ทางการหายใจ หรือจากการสูดดมผงไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กนั้น ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธิ์และนอนพัก

หากได้รับสารไททาเนียมไดออกไซด์ทางปาก ซึ่งโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก โดยสารอาจติดมือและไม่มีการล้างมือก่อนรับประทานอาหาร การปฐมพยาบาลขั้นต้นทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด และการดื่มน้ำสะอาดในปริมาณมากๆ ตามไป หากมีอาการผิดปรกติหลังจากรับประทาน ให้ไปพบแพทย์

การได้รับสารไททาเนียมไดออกไซด์ทางผิวหนัง ให้ทำโดยการล้างด้วยน้ำเปล่าในปริมาณมากเป็นเวลานานหลายนาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง แล้วนำไปหาแพทย์

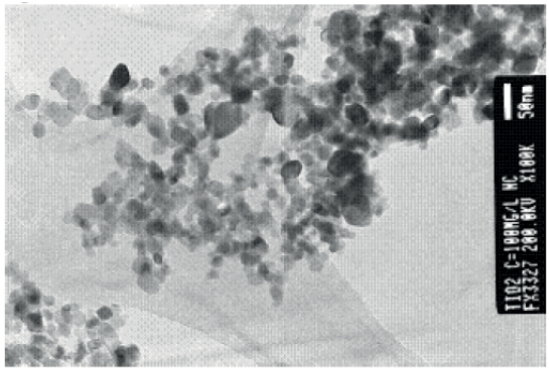
4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

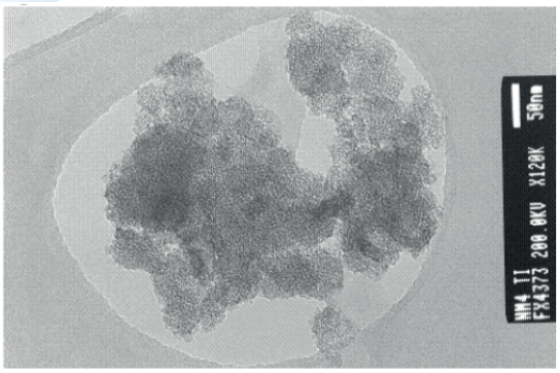
4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์จากการทดสอบของ OECD

4.1.1 ชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์ได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากประเทศฝรั่งเศสและเยอรมันเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก และมีสมาชิกจากประเทศที่สนับสนุนร่วมการวิจัยได้แก่ ออสเตรีย คานาดา สเปน เกาหลี อเมริกา กลุ่มประเทศสหภาพยุโรปและประเทศไทย โดยได้ร่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งได้กำหนดชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษดังตารางที่ 1.1 และลักษณะของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บางชนิดจากเครื่อง Transmission Electron Microscopy แสดงในรูปที่ 1.2

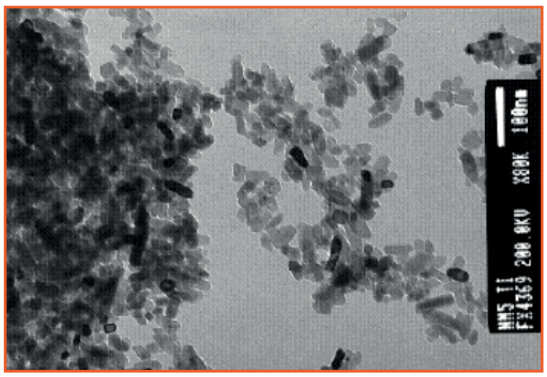


NM 105 - Aeroxide®P25 (P25) Evonik

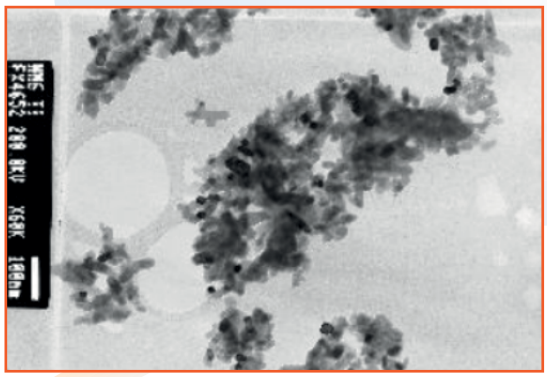


NM 101 – Hombikat UV100

รูปที่ 1.2 ลักษณะของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์
จากเครื่อง Transmission Electron Microscopy (OECD, 2011)



NM 103 - UV Titan M 262



NM 104 - UV Titan M212

รูปที่ 1.2 *(ต่อ)* ลักษณะของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์
จากเครื่อง Transmission Electron Microscopy (OECD, 2011)

ตารางที่ 1.1 ชนิดและลักษณะของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (OECD, 2011)

กลุ่มสาร	สารทดสอบหลัก	สารทดสอบรอง				
ชนิด	Aeroxide® P25 (P25)	PC105	Hombikat UV100	UV Titan M212	UV Titan M 262	Tiona AT-1
OECD code	NM 105	NM 102	NM 101	NM 104	NM 103	NM 100
บริษัทผู้ผลิต	Evonik	Cristal Global	Sachtleben	Sachtleben	Sachtleben	Cristal Global
ขนาดอนุภาค	25 นาโนเมตร	15-25 นาโนเมตร	7-10 นาโนเมตร	20 นาโนเมตร	20 นาโนเมตร	200-220 นาโนเมตร
ลักษณะผลึก	rutile/anatase (85/15)	anatase	anatase	rutile	rutile	anatase
การใช้งาน	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ตัวเร่งปฏิกิริยา	เครื่องสำอาง	เครื่องสำอาง	ฝุ่นสีสำหรับสี กระดาษ เซรามิค

การแขวนลอยและการรวมตัวเป็นก้อนของไททาเนียมไดออกไซด์

จากงานวิจัยของ Carmen Nickel และคณะ (OECD, 2011) ซึ่งได้รายงานผลการทดสอบ การแขวนลอยของไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ในน้ำดื่มสังเคราะห์เพื่อเป็นตัวแทนของน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย

พบว่าไททาเนียมไดออกไซด์ P25 จะแขวนลอยได้ดีจะต้องมี Sodium hexametaphosphate (SHP) อยู่ในน้ำด้วย ซึ่งหากไม่มีสารชนิดนี้อยู่ P25 จะเกิดการไม่คงตัวในน้ำ

ในการรวมตัวเป็นก้อนของไททาเนียมไดออกไซด์ P25 จากการทดสอบด้วยวิธี OECD 202 และ 212 พบว่าสารไททาเนียมไดออกไซด์ P25 สามารถรวมตัวได้ดีมากในน้ำ โดยเมื่ออยู่ใน ISO-Medium จะมีขนาดที่รวมตัวเป็นก้อนประมาณ 1,000 นาโนเมตร ในขณะที่อยู่ใน M4 Medium จะมีขนาดอนุภาคที่รวมตัวกันเป็นก้อนถึง 4,000 นาโนเมตร โดยพบว่าการรวมตัวกันนั้นมีขนาดใหญ่สุดที่พีเอช 7 ในขณะที่ขนาดการรวมตัวที่เกิดที่พีเอช 2 และพีเอช 10 จะมีขนาดการรวมตัวเล็กที่สุด

จากการทดสอบด้วยวิธี OECD 303A สารไททาเนียมไดออกไซด์สามชนิด คือ P25, UV Titan M262 และ PC105 สามารถรวมตัวกันได้ดีที่ค่าพีเอชประมาณ 5 โดยอนุภาคที่รวมตัวกันของไททาเนียมไดออกไซด์ P25 และ UV Titan M262 มีขนาดน้อยกว่า 250 นาโนเมตร ในขณะที่ไททาเนียมไดออกไซด์ PC105 อนุภาคที่รวมตัวกันมีขนาดประมาณ 300 นาโนเมตรโดยการรวมตัวกันของไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ในขณะที่การรวมตัวกันของไททาเนียมไดออกไซด์ UV Titan M262 และ PC105 จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช

การเปลี่ยนแปลงขนาดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค และลักษณะทางเคมีพื้นผิว

งานวิจัยจากประเทศอเมริกา (OECD, 2011) ได้ใช้การเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์โดยเตรียม stock media ด้วยการกวน 15 นาที และ sonication 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำ stock media มาเจือจางโดยกวนเป็นเวลา 5 นาที จากการเตรียมสารดังกล่าวและการใช้น้ำที่มีค่า ionic strength ต่ำจะทำให้เกิดการรวมตัวของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาด 150 – 300 นาโนเมตร โดยหลังจากที่เวลาผ่านไป 23 ชั่วโมงไททาเนียมไดออกไซด์ที่รวมตัวกันจะมีขนาดเพิ่มเป็น 2-6 ไมโครเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีในน้ำด้วย

นอกจากนี้ Kammer (OECD, 2011) ได้ทดสอบการเปลี่ยนแปลงขนาดโดยใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์ คือ P25, Hombikat UV 100, UV Titan M212 และ UV Titan M262 โดยมีการทดสอบทั้งแบบไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วย sodium citrate และ lecithin ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวที่ใช้ในครีมกันแดด โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงของขนาดที่รวมตัวกันและลักษณะพื้นผิวเมื่อสารเหล่านี้อยู่ในสารตัวกลางต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ MQ-water (น้ำที่ปราศจากไอออนจากการกรองด้วยเรซิน) PBS buffer (น้ำเกลือ phosphate buffered saline) และ DMEM (อาหารเลี้ยงเซลล์ Dulbecco's modified Eagle's medium) โดยพบว่าไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบผิวด้วย sodium citrate และ lecithin จะมีขนาดเล็กลงเมื่ออยู่ใน MQ-water เมื่อเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์ที่ไม่เคลือบผิว ในขณะที่ไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบผิวด้วย sodium citrate จะรวมตัวเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในตัวกลางที่เป็นน้ำเกลือและอาหารเลี้ยงเซลล์

ในส่วนของลักษณะเคมีพื้นผิวนั้น ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ไม่เคลือบผิวและไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบผิวด้วย sodium citrate เมื่ออยู่ใน MQ-water จะแสดงลักษณะทางเคมีพื้นผิวที่มีประจุลบ (ค่า zeta potential เป็น -33.5 และ -39.3mV) ทำให้เกิดเสถียรภาพของสารไททาเนียมไดออกไซด์เมื่ออยู่ในน้ำใน

ขณะที่ไททาเนียมไดออกไซด์ lecithin มีค่า zeta potential เป็น –3.9 mV ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสารทั้งสองชนิดมาก

จากงานวิจัยของนักวิจัย University of Alcala ประเทศสเปน (OECD, 2011) พบว่าการแสดงประจุบนพื้นผิวของ ไททาเนียมไดออกไซด์นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารในตัวกลางด้วย โดยถ้าไททาเนียมไดออกไซด์ในตัวกลางมีค่าความเข้มข้นต่ำ พื้นผิวจะมีประจุเป็นลบ แต่เมื่อความเข้มข้นมากขึ้น พื้นผิวจะมีประจุลบน้อยลง และเป็นค่าบวกในที่สุดซึ่งจะทำให้เกิดการรวมตัวกันของไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อมีค่าความเข้มข้นสูง

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ผลการทดสอบกับสัตว์

จากงานวิจัยของ Hund-Rinke (OECD, 2011) พบว่าวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ไม่ส่งผลต่อการเกิดนิเวศพิษวิทยาแบบเรื้อรังกับสัตว์น้ำทั้ง หนอนน้ำ ไรน้ำและริ้นน้ำจืดซึ่งรวมไปถึงการไม่มีผลกระทบต่อตัวอ่อนของริ้นน้ำจืด แม้ว่าจะมีการใช้วัสดุนาโนที่ความเข้มข้นสูง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค่า NOEC ≥ 100 mg/L) และไม่ส่งผลกระทบต่อตัวอ่อนของไรน้ำ แม้ว่าจะมีการใช้วัสดุนาโนที่ความเข้มข้นสูง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค่า NOEC reproduction ≥ 5 mg/L)

ในการทดสอบกับสัตว์หน้าดินด้วยวิธี OECD 222 และ OECD 226 จากงานวิจัยของ Schäfers (OECD, 2011) พบว่าสารไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ไม่ส่งผลการลดจำนวนของปลวก หนอนในดิน แต่สำหรับการทดสอบของ Angersdorf และคณะ (OECD, 2011) โดยใช้วิธี standard bioassay ISO 10872 พบว่าสารไททาเนียมไดออกไซด์ P25 มีผลต่อการสืบพันธุ์ของหนอนชนิด *Caenorhabditis elegans* โดยมีการลดจำนวนการเกิดของหนอนลงประมาณร้อยละ 35 ในขณะที่ผลที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตนั้นไม่ปรากฏเห็นเด่นชัด

ผลการทดสอบกับพืช

Hund-Rinke (OECD, 2011) ได้รายงานในส่วนของผลการทดสอบกับพืชโดยพบว่าวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ไม่ส่งผลต่อการงอกและความยาวของรากพืช ไม่มีอาการพยาธิในพืชปรากฏผลกระทบของไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ที่มีต่อพืชที่เห็นได้ชัดเจนคือน้ำหนักที่ลดลงของหน่อพืชทำให้ได้ค่าทางพิษวิทยาดังนี้

ค่าทางพิษวิทยาสำหรับพืช

Avena sativa (โอ๊ต):	EC_{25}	87.9	มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	LOEC	100.0	มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	NOEC	67.0	มิลลิกรัม/กิโลกรัม
Phaseolusaureus (ถั่วเขียว):	LOEC	67.0	มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	NOEC	44.0	มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ผลการทดสอบการปลดปล่อยไนโตรเจนจากดิน

วัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ P25 ส่งผลต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนโดยมีการเพิ่มปริมาณไนเตรตจากดินในวันที่ 28 ของการทดลอง (เมื่อเทียบกับปริมาณไนเตรตที่ถูกปลดปล่อยในวันแรก) รวมถึงการเพิ่มอัตราการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนด้วย

ค่าทางพิษวิทยาในการปลดปล่อยไนโตรเจนของดินแห้ง

ดินแห้ง:	EC_{10}	23.6	มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	EC_{25}	108.3	มิลลิกรัม/กิโลกรัม

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

จากการทดสอบของคณะวิจัยของ University of Alcala ประเทศสเปน (OECD, 2011) ซึ่งได้ประเมินความเป็นพิษในเซลล์ด้วยวิธี MTT assay โดยใช้ H4IIE and RTG2 celllines ในช่วงเวลา 24 หรือ 72 ชั่วโมง และ NRR assay เพื่อประเมินความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxicity) พบว่าไททาเนียมไดออกไซด์ชนิด P25, Hombikat100, UV Titan M212 และ UV Titan M612 ไม่แสดงความเป็นพิษต่อเซลล์เมื่อทดสอบกับไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นในช่วง 0.003-100 มก./ล.

ในส่วนการทดสอบด้วยวิธี OECD TG 404, 405 และ 471 โดยใช้ A549, HaCaT, and THP-1 cell lines เพื่อประเมินความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลึก anatase โดยมีขนาด 7, 20 และ 200 นาโนเมตร พบว่าขนาดของผลึกไม่มีผลต่อการมีชีวิตของเซลล์ (cellviability) โดยความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการมีชีวิตของเซลล์ จากการทดลองหลังจากให้เซลล์ได้รับไททาเนียมไดออกไซด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไททาเนียมไดออกไซด์จะทำให้เกิดภาวะอนุมูลอิสระเกิน (oxidative stress) ซึ่งเกิดจากการเพิ่มของอนุมูลอิสระ (Reductive Oxygen Specie หรือ ROS) เป็นจำนวนมากทำให้อนุมูลอิสระไปทำลายเซลล์ ซึ่งนำไปสู่การเสียสภาพ และการตายของเซลล์ต่อมาในลักษณะ apoptosis โดยพบการลำเลียง (endocytosis) ไททาเนียมไดออกไซด์เข้าสู่เซลล์ขณะทดลองด้วย (OECD, 2011)

ในส่วนของการแสดงออกของยีนพบว่าไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาด 7 นาโนเมตรไม่ได้รับผลกระทบที่ชัดเจนจากการทำลายเซลล์จากการเกิดอนุมูลอิสระแต่ผลกระทบนี้จะพบเมื่อมีการทดลองกับ HaCaT celllines

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

งานวิจัยหลายงานได้มีการทดสอบการสะสมของไททาเนียมไดออกไซด์ในสิ่งมีชีวิต โดย Zhang และคณะ (Zhang et al., 2006) ได้ศึกษาการสะสมของไททาเนียมไดออกไซด์ในปลาคาร์พ โดยให้ได้รับ P25 ต่อเนื่อง 25 วันโดยมีความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ในน้ำ 3 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร โดยพบว่าการสะสมของไททาเนียมไดออกไซด์ในปลาเป็น 2 และ 7 มิลลิกรัม/ลิตรหลังจากได้รับสารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นการสะสมไททาเนียมไดออกไซด์จะเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรก และการสะสมค่อยๆลดลงภายหลังวันที่ 10 โดยจะสะสมมากในส่วนของอวัยวะภายใน เหงือก ผิวหนัง เกล็ดปลา และกล้ามเนื้อ โดยมีค่า

อัตราการสะสม (bioconcentration factor) ในอวัยวะภายในเป็น 2100 ที่ไททาเนียมไดออกไซด์ 3 มิลลิกรัม/ลิตร และ 1400 ที่ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่ Federici และคณะ (Federici et al., 2007) ได้ทดสอบการสะสมไททาเนียมไดออกไซด์ในปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbow trout) ซึ่งพบว่าไม่มีการสะสมสารไททาเนียมไดออกไซด์ขึ้นเมื่อทดลองที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร โดยให้ปลาได้รับสาร 14 วันต่อเนื่อง โดยในกรณีนี้มีการเปลี่ยนน้ำในถังปลาทุกๆ 12 ชั่วโมง สิ่งที่พบตรงกันได้แก่การตกค้างของไททาเนียมไดออกไซด์ในน้ำมากกว่าร้อยละ 85 ของความเข้มข้นเริ่มต้นที่ยังคงอยู่ในน้ำแม้ว่าเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงแล้วก็ตาม ค่าความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์จาก DuPont uf-C TiO_2 โดยใช้วิธีการทดสอบตาม OECD 203 ได้รายงานความเป็นพิษในงานของ Warheit และคณะ (Warheit et al., 2007) และความเป็นพิษของปลาม้าลายโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ Degussa P25 จากงานของ Griffitt และคณะ (Griffitt et al., 2008) ไว้ดังนี้

ความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์ DuPont uf-C TiO_2

Oncorhynchus mykiss:	LC_{50}- 96 ชั่วโมง	> 100	มิลลิกรัม/ลิตร
Daphnia magna:	EC_{50}- 48 ชั่วโมง	> 100	มิลลิกรัม/ลิตร

ความเป็นพิษของปลาม้าลายโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ Degussa P25

Danio rerio:	LC_{50}- 48 ชั่วโมง	> 10	มิลลิกรัม/ลิตร

ในการศึกษาความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์หลายชนิดกับสัตว์น้ำในกลุ่มของไรน้ำไฮดรา และกุ้ง โดยได้มีการทดสอบความเป็นพิษกับไรน้ำในหลายงาน โดยได้มีการรายงานถึงค่าความเป็นพิษไว้ดังนี้

ความเป็นพิษของ photostable TiO_2 (T-Lite TM SF, T-LiteTM SF-S และ T-Lite TM Max) (Wiench et al., 2007)

Daphnia magna:	LC_0 – 21 วัน	30	มิลลิกรัม/ลิตร
	LOEC– 21วัน	10	มิลลิกรัม/ลิตร
	NOEC– 21วัน	3	มิลลิกรัม/ลิตร

ความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดน้อยกว่า 25 นาโนเมตร โดยผ่านการกรองด้วย 0.22 ไมครอนของ nylaflo filter (Lovern and Kalper, 2006) มีดังนี้

Daphnia magna:	LC_{50} – 48 ชั่วโมง	5.5	มิลลิกรัม/ลิตร
	LOEC– 48 ชั่วโมง	2	มิลลิกรัม/ลิตร
	NOEC– 48 ชั่วโมง	1	มิลลิกรัม/ลิตร

ในการทดสอบความเป็นพิษกับแบคทีเรีย โดย Adams และคณะ (Adams et al., 2006) ได้ทดสอบกับ gram-negative *Escherichia coli* และ gram-positive *Bacillus subtilis* โดยพบว่าอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Escherichia coli* แตกต่างไปจาก *Bacillus*

subtilis โดยเมื่อใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัม/ลิตรจะยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Escherichia coli* ร้อยละ 46 ในขณะที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Bacillus subtilis* ในร้อยละ 99 และเมื่อใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม/ลิตรจะยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* เพียงร้อยละ 15 ในขณะที่ไม่เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Bacillus subtilis* โดยกลไกการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้อธิบายไว้ในงานของ Khun c และคณะ (Kuhn et al., 2003) และงานวิจัยของ Neal (Neal, 2008)โดยเกิดจากการเกิดของอนุมูลอิสระ ROS ซึ่งทำให้เกิดการแตกของผนังและเยื่อเลือกผ่านของเซลล์ โดยพบว่าการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet, UV) ได้ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ซึ่งทำให้เกิดความเป็นพิษมากขึ้น เนื่องจากแสงอัลตราไวโอเลตจะทำให้เกิดสารออกซิแดนท์ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งไฮดรอกซิลเรดิคอล, $OH^{\bullet}$) จากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนและแสงทำให้เกิดความเป็นพิษยิ่งขึ้น โดยความเป็นพิษนี้เกิดได้เมื่อไททาเนียมไดออกไซด์อยู่ในสภาวะอับแสงและมีแสง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าไททาเนียมไดออกไซด์หลายชนิดสามารถดูดซับโปรตีนและแคลเซียมในตัวกลาง ซึ่งทำให้เกิดการตายของเซลล์สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้อีกด้วย (Horie et al., 2009)

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

ผลของขนาดผลึกต่อความเป็นพิษกับเซลล์

ขนาดของผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ โดยไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผลึกมีขนาดเล็กจะมีแนวโน้มที่ทำให้เกิดความเป็นพิษมากกว่าขนาดของผลึกนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า ผลึกที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาตรสูง สามารถทำปฏิกิริยาได้เร็ว และในแง่ของการทำอันตรายต่อเซลล์แล้ว ขนาดผลึกที่เล็กจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงเข้าไปทำอันตรายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อได้มากกว่าขนาดผลึกที่ใหญ่กว่า ความเป็นพิษของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเดี่ยวๆ (primary particle size) ซึ่งขนาดเล็กมีพิษมากกว่าขนาดใหญ่ โดยจากการรายงานการวิจัยของหน่วยงาน NIOSH ประเทศสหรัฐอเมริกา ระบุว่าอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กมาก (ultrafine TiO_2 particles) ขนาดน้อยกว่า 100 นาโนเมตรทำให้เกิดความเป็นพิษในแง่ของ cytotoxicity มากกว่าอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ (fine TiO_2 particles) ขนาดมากกว่า 100 นาโนเมตร โดยพบว่าการเกิดสารออกซิแดนท์ (reactive oxygen species – ROS) ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากทำปฏิกิริยาไปแล้ว 4 ชั่วโมง ซึ่งสารออกซิแดนท์จะทำให้เกิดความเป็นพิษและทำลายเซลล์ในเวลาต่อมา นอกจากนี้อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กมากยังทำให้การทำงานของเม็ดเลือดขาวในระบบทางเดินหายใจผิดปรกติในระดับที่รุนแรงกว่าอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดมากกว่า 100 นาโนเมตร (Warheit et al., 2006, Sager et al., 2008)

การรวมตัวเป็นก้อนหลอมหรือกลุ่มมวล โดยความเป็นพิษของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จะลดลงหากอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์นั้นมีการรวมตัวกันเป็นก้อนหลอม (aggregation) หรือเป็นกลุ่มมวล (agglomeration) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะทำให้พื้นที่ผิวภายนอกจะลดลงส่งผลให้ความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีลดลงทั้งความสามารถในการทะลุทะลวงเข้าไปทำอันตรายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อจะลดลงด้วยนอกจากนี้

อนุภาคที่เกาะตัวกันมีโอกาสสูงที่จะตกตะกอนได้ง่ายไม่ฟุ้งกระจายนอกจากนี้จากรายงานของ Jiang และคณะ ได้รายงานถึงขนาดและพื้นที่ผิวส่งผลให้เกิดสารออกซิแดนท์ (reactive oxygen species – ROS) ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวและทำให้เกิดอันตรายต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตในปริมาณที่แตกต่างกันอีกด้วย (Jiang et al., 2008)

ผลของชนิดของผลึกต่อความเป็นพิษของเซลล์

ชนิดของผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์มีความสัมพันธ์กับการเกิดสารออกซิแดนท์ (reactive oxygen species – ROS) ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาบนพื้นผิว โดยสารในกลุ่มนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของไททาเนียมไดออกไซด์มักเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเรดิคอล ($OH^{\bullet}$) ซึ่งเป็นสารที่ทำปฏิกิริยาได้ว่องไว และทำให้เกิดอันตรายต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตได้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเรดิคอลนี้มักเกิดขึ้นเมื่อไททาเนียมไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยใช้แสง (photochemistry) โดยจากงานวิจัยซึ่งรายงานโดย NIOSH พบว่าลักษณะโครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปของanataseจะมีพื้นผิวที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยามากกว่าโครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปของ rutile ทำให้เกิดสารออกซิแดนท์ที่มากกว่า (Warheit et al., 2007) โดยจากการทดลองของ Sayes และคณะ (Sayes et al., 2006) ได้ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปของ anatase ที่มีพื้นที่ผิว 153 ตารางเมตร/กรัม และไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปของ rutile ที่มีพื้นที่ผิว 123 ตารางเมตร/กรัม พบว่าโครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปของ anatase จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อปอดของหนูและทำให้การแบ่งตัวของเซลล์ลดลงมากกว่าด้วยแม้ว่าพื้นที่ผิวของไททาเนียมไดออกไซด์จะมีขนาดใกล้เคียงกันการเกิดสารออกซิแดนท์บนพื้นผิวไททาเนียมไดออกไซด์นี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้งานเป็นหลักซึ่งไม่เพียงแต่จะส่งผลต่อความเป็นพิษของเซลล์แล้วยังส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของเซลล์สมองของหนูซึ่งจะทำให้เกิดผลลบอื่นๆ ตามมาอีกด้วย (Long et al., 2006)

ลักษณะทางเคมีของพื้นผิวไททาเนียมไดออกไซด์ต่อความเป็นพิษของเซลล์

ลักษณะทางเคมีที่สำคัญได้แก่การเหนี่ยวนำประจุบนพื้นผิวซึ่งมักเกิดจากชนิดของประจุของพื้นผิวไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งหากพื้นผิวมีประจุบวกหรือลบหรือพื้นผิวถูกเหนี่ยวนำให้มีมีประจุบวกหรือลบจะทำให้เกิดทั้งการผลักและดูดไอออนที่มีประจุตรงข้ามได้ซึ่งจะส่งผลให้ความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์แตกต่างกันทั้งนี้หากพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์มีความเป็นกลาง (ประจุบวกและลบมีปริมาณใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน) อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์จะเกาะรวมตัวกันเป็นก้อนหลอมหรือกลุ่มมวลได้ง่ายขึ้นทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความเป็นพิษลดลง

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

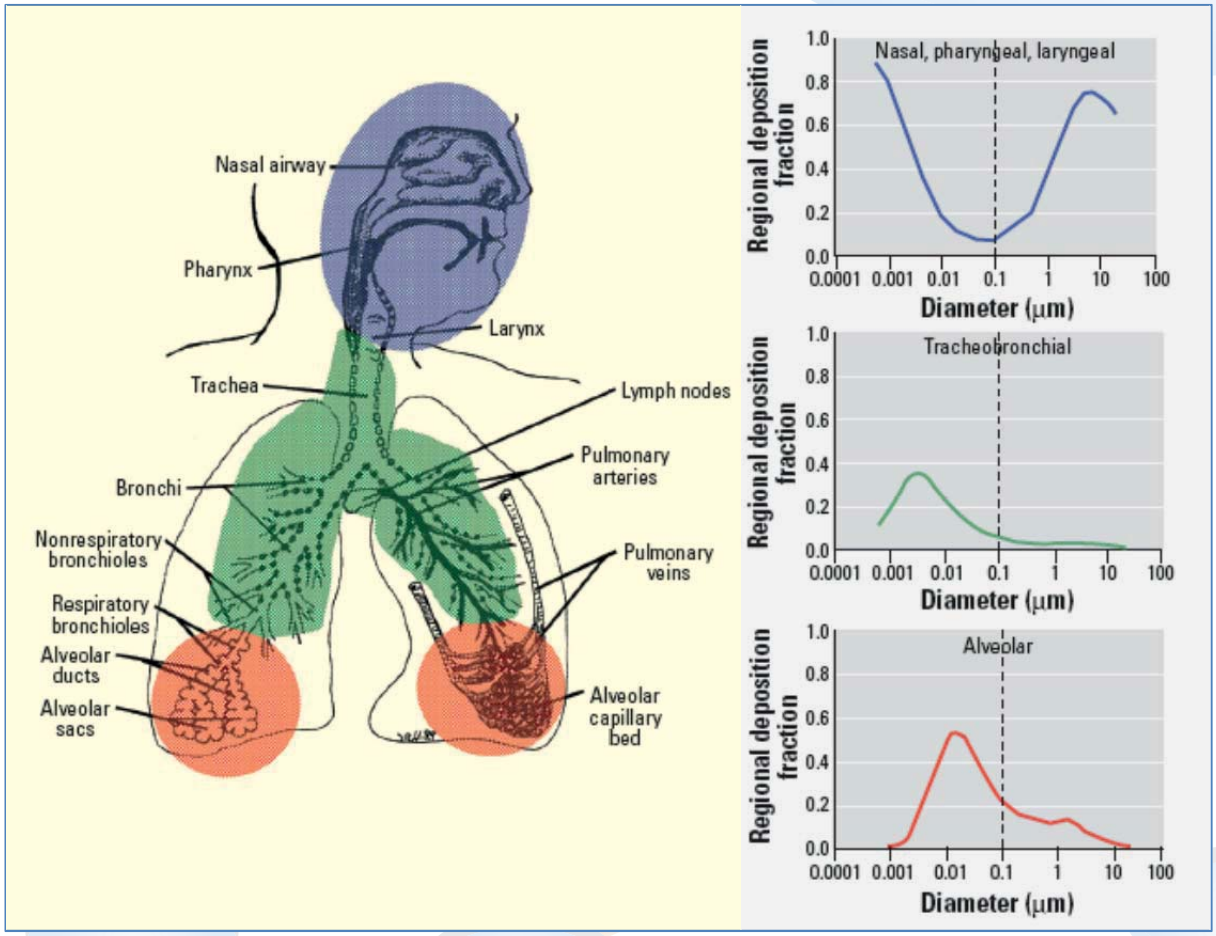
การทดลองในส่วนของความเป็นพิษของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มักใช้หนูเป็นสัตว์ทดสอบจากการรวบรวมงานวิจัยขององค์กรพบว่าไททาเนียมไดออกไซด์สามารถกระจายตัวไปยังอวัยวะต่างๆ ของหนู

และอาการที่มักพบจากงานวิจัยมักเป็นอาการที่มาจากการทำลายเซลล์ด้วยอนุมูลอิสระหรือสารออกซิแดนท์ การตายอย่างเป็นระบบของเซลล์ และไททาเนียมไดออกไซด์มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความผิดปกติของสารพันธุกรรมและทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมได้อีกด้วย (IRSST, 2008, NIOSH, 2009)

จากผลการทดสอบความเป็นพิษจากการได้รับอนุภาคไททาเนียมไดอออกไซด์จากทางเดินหายใจ อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ได้แสดงถึงการอักเสบในระบบทางเดินหายใจและทำลายเซลล์ได้ทั้งจากการได้รับในช่วงระยะเวลาสั้น และทำให้เกิดการอักเสบในระบบทางเดินหายใจอย่างต่อเนื่องจากการได้รับในช่วงระยะเวลายาวนาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดเนื้องอกในปอด และเกิดการผิดปรกติของ DNA จากการทำปฏิกิริยาของสารออกซิแดนท์ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อเซลล์ของเนื้อเยื่อปอดโดยในงานของ Wang และคณะ (Wang et al., 2008) พบว่าไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีลักษณะผลึกแบบ anatase และ rutile จะตกค้างในส่วนของสมองเมื่อมีการได้รับในปริมาณ 24 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของหนู (mice) ทุกๆ 30 วัน โดยได้รับผ่านทางการหายใจ การตกค้างของไททาเนียมไดออกไซด์จะพบในบริเวณ hippocampus, central cortex และ cerebrum โดยพบอีกว่าการตกค้างของไททาเนียมไดออกไซด์ในสมองมีความเข้มข้นที่มากกว่าการตกค้างของไททาเนียมไดออกไซด์ในเนื้อเยื่อปอดโดยการลำเลียงสารไททาเนียมไดออกไซด์จะผ่านทางเส้นประสาทรับกลิ่นไปยังสมองในส่วนของการตกค้างของไททาเนียมไดออกไซด์ในระบบทางเดินหายใจนั้นกลไกในการตกค้างจะขึ้นอยู่กับขนาดของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นหลัก (Gebhart, 1992, Heyder et al., 1985, Oberdorster et al., 2005) โดยกลไกการกระจายตัว (diffusive deposition) หรือที่รู้จักในลักษณะของการตกค้างทางเทอร์โมไดนามิกส์ หรือการกระจายตัวแบบ Brownian จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดในระดับนาโนเมตร โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตร จะเกิดการตกค้างโดยกลไกแอโรไดนามิกส์ (aerodynamic deposition) ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.1-1 ไมโครเมตร จะมีกลไกการตกค้างผสมระหว่างกลไกกระจายตัวและกลไกแอโรไดนามิกส์ Oberdorster และคณะ (Oberdorster et al., 2005) ได้จำลองการตกค้างของอนุภาคนาโนในระบบทางเดินหายใจและปอดของมนุษย์ที่มีการพักผ่อนและหายใจเอาอนุภาคนาโนขนาด 1 นาโนเมตรเข้าไปโดยประมาณร้อยละ90 ของอนุภาคทั้งหมดจะตกค้างในบริเวณจมูกในส่วนของ nasal, pharyngeal และ laryngeal ในขณะที่ร้อยละ 10 ของอนุภาคทั้งหมดจะตกค้างที่หลอดลม (tracheobronchial region) และส่วนน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลยที่จะตกค้างในส่วนของถุงลมในขณะที่อนุภาคนาโนขนาด 5 นาโนเมตรจะมีลักษณะตกค้างที่แตกต่างกันคือ ประมาณร้อยละ 50 ของอนุภาคทั้งหมดจะตกค้างที่ถุงลมประมาณร้อยละ 15 จะตกค้างทั้งในส่วนของจมูกและหลอดลม ดังแสดงในรูปที่ 1.3

ในขณะที่ Asgharian และ Price (Asgharian and Price, 2007) ได้ใช้แบบจำลอง Multiple Path Particle Dosimetry (MPPD) ในการอธิบายการตกค้างของอนุภาคนาโนโดยได้คำนึงถึงลักษณะของการไหล การกระจายตัว และการผสมร่วมด้วย โดยพบว่าอนุภาคนาโนขนาดต่ำกว่า 10 นาโนเมตรจะตกค้างในทางเดินหายใจในส่วนของหลอดลมเป็นหลัก ในขณะที่อนุภาคนาโนที่เล็กกว่า 5 นาโนเมตรจะลงไปถึงถุงลมได้ จากงานวิจัยที่ทดสอบกับหนู (rat) (Oberdörster et al., 1994) โดยให้หนูได้รับอนุภาคนาโนไททาเนียม

ไดออกไซด์ และอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดละเอียด (fine TiO_2) ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน โดยพบว่า retention half-times ของอนุภาคละเอียดเป็น 174 วัน ในขณะที่อนุภาคนาโนเป็น 501 วัน



รูปที่ 1.3 การตกค้างของอนุภาคนาโนในระบบทางเดินหายใจและปอดของมนุษย์ (Oberdorster et al., 2005)

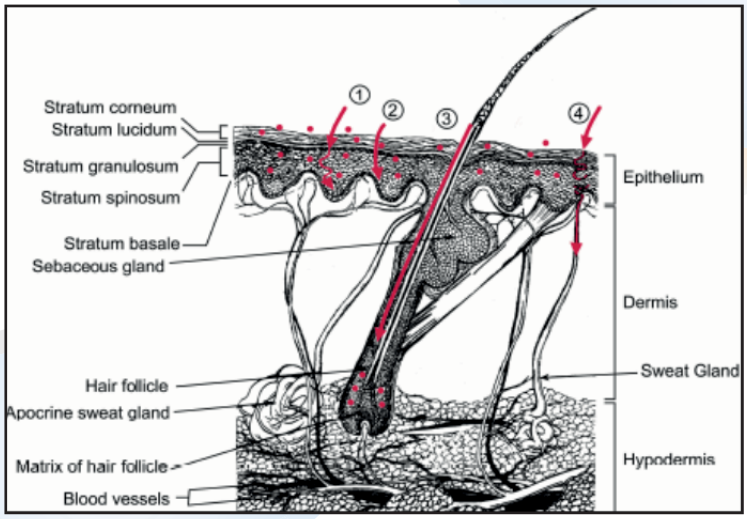
ในการแสดงความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและกึ่งเฉียบพลันในหนูได้มีการรายงานการได้รับไททาเนียมไดออกไซด์ผ่านการหายใจในช่วงระยะเวลา 4 ชั่วโมงสำหรับการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน และระยะเวลา 4 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 10 วันสำหรับการทดสอบความเป็นพิษแบบกึ่งเฉียบพลัน โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่จะจะทำให้เกิดความเป็นพิษแบบเฉียบพลันอยู่ที่ 7.22 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่จะจะทำให้เกิดความเป็นพิษแบบกึ่งเฉียบพลันอยู่ที่ 8.88 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบว่าในการทดสอบแบบกึ่งเฉียบพลันเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงนั้นยังไม่พบอาการความเป็นพิษเกิดขึ้น แต่เมื่อการได้รับอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ถึง 2 อาทิตย์จะพบการอักเสบของปอดเกิดขึ้นในหนูทดลอง (Oberdörster et al., 1992, Oberdörster et al., 1994a, Oberdörster et al., 1994b, Tran et al., 1999, Tran et al., 2000)

ในส่วนของการทดสอบความเป็นพิษแบบสะสมในหนู ได้มีการรายงานไว้ในเอกสารของ NIOSH ว่าปริมาณที่ได้รับสะสมเพิ่มขึ้นของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งชนิดที่มีขนาดเล็กมาก และขนาดใหญ่กว่า 100 นาโนเมตรในหนูได้ทำให้เกิดการติดเชื้อในปอด ซึ่งหากปริมาณที่สะสมมากขึ้นจะทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคชนิดนี้ในปอดมากขึ้นเรื่อยๆ และทำให้ช่องว่างในปอดลดลง นำไปสู่การทำลายของเซลล์ด้วยอนุมูลอิสระหรือสารออกซิแดนท์ การทำลายเนื้อเยื่อปอด การเกิดพังผืดหรือเนื้อเยื่อส่วนเกิน และนำการไปสู่การเป็นมะเร็งในปอดในที่สุด (Oberdörster et al., 1992, Oberdörster et al., 1994a, Oberdörster et al., 1994b, Tran et al., 1999, Tran et al., 2000)

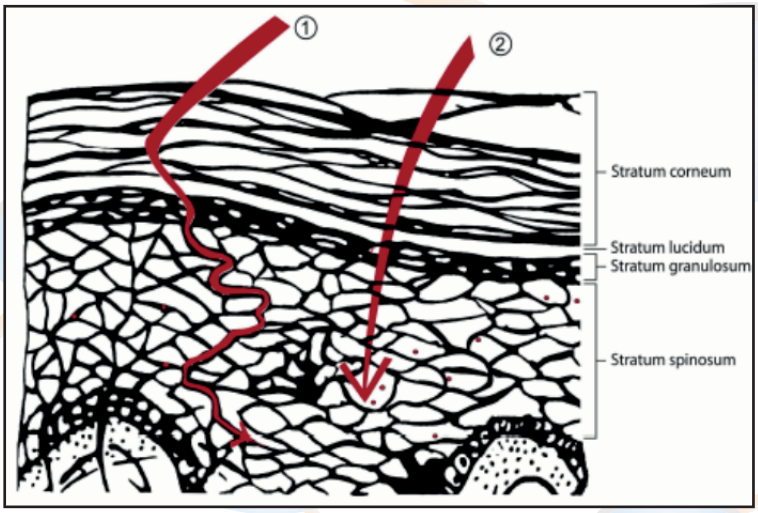
4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

จากการที่ไททาเนียมไดออกไซด์มีการนำไปใช้กันอย่างมากในผลิตภัณฑ์ครีมกันแดดการดูดซึมของไททาเนียมไดออกไซด์ผ่านผิวหนังจึงเป็นประเด็นที่มีการศึกษากันมาก โดยมักใช้ผิวหนังของหมู และผิวหนังของคนทดสอบความเป็นพิษโดยการทะลุผ่านผิวหนังของคนจะเป็นการทะลุผ่านชั้นหนังกำพร้าซึ่งมี keratinized cell และไม่มีหลอดเลือดในชั้นนี้ โดยความหนาของชั้นกำพร้าประมาณ 60 ไมโครเมตร โดยมีงานวิจัยจำนวนมากที่มีการทดสอบถึงประเด็นการดูดซึมของไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งในภาพรวมมีงานวิจัยที่สรุปตรงกันในหลายงานว่าอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไม่สามารถซึมผ่านทะลุชั้นหนังกำพร้า หรือรูขุมขนได้ และไม่สามารถผ่านทะลุไปยังเซลล์ของผิวหนังปกติที่แข็งแรงไม่มีบาดแผลหรือไม่มีความเสียหายได้ (U.S. EPA, 2010, Pinheiro et al., 2007, Kertész et al., 2005, Kiss et al., 2008, Dussert and Gooris, 1997, Sadrieh et al., 2010, Menzel et al., 2004, Gamer et al., 2006, Pflucker et al., 1999, 2001 and 2002, Schulz et al., 2002, Lansdown and Taylor, 1997, Lekki et al., 2007, Gontier et al., 2004) โดยทั่วไปแล้วอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จะสามารถผ่านชั้นบนของหนังกำพร้าได้ โดยผ่านจากชั้นของ intracellular มายัง intercellular และไปยังรูขุมขน ดังรูปที่ 1.4 (U.S. EPA, 2010) โดยยังไม่มีรายงานถึงการผ่านทะลุไปยังต่อมเหงื่อ

การพบของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในบริเวณรูขุมขนเกิดจากแรงกล (mechanical force) เช่น การเคลื่อนไหวของขนขณะที่มีการใช้ครีมกันแดด เป็นต้น (Wu et al., 2009) จากงานวิจัยของ Lademann และคณะ (Lademann et al., 2006, Lademann et al., 2007) ซึ่งได้ใช้อนุภาคนาโนในลักษณะของ hydrogel ที่มี fluorescence-labeled nanoparticles ทดสอบลงบนผิวหนังของคน พบว่าประมาณร้อยละ 15 ของอนุภาคนาโนทั้งหมดจะถูกพบที่รูขุมขนภายหลังจากการทาครีมกันแดดไปแล้ว 30 นาที และอนุภาคเหล่านี้จะยังคงอยู่ที่รูขุมขนประมาณ 10 วัน ซึ่งการตกค้างในส่วนของชั้นหนังกำพร้านั้นจะตกค้างโดยใช้เวลาน้อยกว่าที่รูขุมขนประมาณ 10 เท่า



(a)



(b)

รูปที่ 1.4 แสดงชั้นผิวหนังซึ่งประกอบด้วยชั้นเนื้อเยื่อบุผิว (epithellium) ซึ่งมีชั้นหนังกำพร้าด้านบน ผิวหนังชั้นกลาง (dermis) ซึ่งมีรูขุมขนอยู่ และผิวหนังชั้นใน (epidermis) ซึ่งมีต่อมเหงื่อ

เส้นทางการซึมผ่านของอนุภาคนาโนผ่านผิวหนังที่เกิดขึ้นได้จะเป็นไปใน 4 ลักษณะ คือ
ลักษณะที่ 1 เป็นการเคลื่อนที่ผ่านชั้นหนังกำพร้าและตกค้างอยู่ในระหว่างชั้นหนังกำพร้า (รูป ก และ ข)
ลักษณะที่ 2 ตกค้างในเซลล์ของชั้นหนังกำพร้า (รูป ก และ ข)
ลักษณะที่ 3 เคลื่อนที่ผ่านชั้นหนังกำพร้ามายังรูขุมขน (รูป ก)
และลักษณะที่ 4 เคลื่อนที่ไปยังต่อมเหงื่อ (รูป ก) (U.S. EPA, 2010)

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

งานวิจัยจำนวนน้อยมากที่มีการทดสอบความเป็นพิษของไททาเนียมไดออกไซด์จากการได้รับทางปาก จากรายงานของ U.S. EPA มีเพียงงานวิจัยสามงานเท่านั้นที่ศึกษาในประเด็นนี้ และมีเพียงหนึ่งงานที่รายงานถึงความเข้มข้นของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในเนื้อเยื่อซึ่งรายงานโดย Wang และคณะ (Wang et al., 2007) จากการทดสอบการได้รับไททาเนียมไดออกไซด์ในปริมาณ 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหนูตัวเมียและตัวผู้ (mice) โดยไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ประกอบด้วยชนิดที่ 1 โครงสร้างผลึก rutile ขนาด 25 นาโนเมตร ชนิดที่ 2 โครงสร้างผลึก rutile ขนาด 80 นาโนเมตรและชนิดที่ 3 โครงสร้างผลึก anatase ขนาด 155 นาโนเมตร โดยพบว่าไททาเนียมไดอออกไซด์จะสะสมที่อวัยวะในส่วนของตับ ม้าม ไต ปอด และสมอง โดยทางผู้วิจัยคาดว่าการสะสมจะเกิดมากที่สุดที่ตับ แต่อย่างไรก็ดีผลงานวิจัยยังคงไม่ชัดเจนเนื่องจากการขาดการประเมินผลของขนาดที่มีต่อการสะสมในตับ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

ค่าความเข้มข้นที่รับได้และไม่ก่อให้เกิดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงาน (time-weighted average, TWA) ของไททาเนียมไดออกไซด์ในช่วงระยะการทำงานมากกว่า 10 ชั่วโมงต่อวัน ตลอดช่วงการทำงาน 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ตามการรายงานของ NIOSH ปี 2011 (NIOSH, 2011) มีดังนี้

- อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กมาก (ultrafine TiO_2 particles) ขนาดน้อยกว่า 100 นาโนเมตร มีค่าแนะนำความเข้มข้นที่รับได้และไม่ก่อให้เกิดอันตราย (exposure limit) เป็น 0.3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ (fine TiO_2 particles) ขนาดมากกว่า 100 นาโนเมตร มีค่าแนะนำความเข้มข้นที่รับได้และไม่ก่อให้เกิดอันตราย (exposure limit) เป็น 2.4 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ในแง่ของการเป็นสารก่อมะเร็งนั้น ในปี 2010 IARC ได้จัดให้อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 2B (Group 2B) โดยเป็นสารที่มีหลักฐานเพียงพอว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ และมีหลักฐานจำกัดในการระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ โดยในปี 2011 NIOSH ได้จัดให้อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กมาก (ultrafine TiO_2 particles) ขนาด 10-60 นาโนเมตรเป็นสารที่มีแนวโน้มที่จะเป็นสารก่อมะเร็งโดยอยู่ในกลุ่มของ secondary genotoxicity ซึ่งการเป็นสารก่อมะเร็งมาจากขนาดและพื้นที่ผิวไม่ได้มาจากตัวสารไททาเนียมไดออกไซด์เอง (NIOSH, 2011)

5. การทำงานที่ปลอดภัย
ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่าและไม่มีลิ้นรูระบายความร้อนแต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นใส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่น โดยเฉพาะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปสารละลาย สามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือ ถุงมือ SilverShield ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 1.6



(a) ถุงมือ Silver Shield (b) ถุงมือ Butyl

(c) ถุงมือ Viton (d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 1.6 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาสารนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ ในสถานที่ระบายอากาศได้ดี เนื่องจากสารชนิดนี้ไม่เป็นสารลุกติดไฟและสารระเบิดได้ การเก็บรักษาสารเคมีจึงไม่มีข้อกำหนดพิเศษ

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

สารนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารที่ไม่ลุกติดไฟ และไม่เกิดการระเบิด

ในการเกิดไฟไหม้ โดยมีสารนี้อยู่ในที่เกิดอุบัติภัย ให้ใช้น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟมเป็นน้ำยาดับเพลิงได้

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ U.S. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ NanoActive® Titanium(IV) Oxide (แสดงในภาคผนวก ก.1)

NanoScale

Material Safety Data Sheet — NanoActive® Titanium (IV) Oxide — MSDS-0012.6

1. PRODUCT AND MANUFACTURER IDENTIFICATION

Product names:

NanoActive® Titanium (IV) Oxide – NanoActive® TiO_2

Manufacturer:

NanoScale Corporation
1310 Research Park Drive
Manhattan, KS 66502
(785) 537-0179

Product Information

785-537-0179

24-Hour Chemtrec Emergency Number:

U.S. (800) 424-9300
International (703) 527-3887

2. CHEMICAL COMPOSITION AND EXPOSURE LIMITS

Component	CAS Number:	OSHA PEL:	ACGIH TLV:
Titanium dioxide	13463-67-7	15 mg/m^3 dust	10 mg/m^3 dust

3. HAZARD IDENTIFICATION AND EMERGENCY OVERVIEW

Appearance and Odor: Fine white odorless powder

Routes of Exposure: Eye and skin contact, inhalation.

Eye Contact: May cause physical eye irritation.
Skin Contact: May cause irritation.
Inhalation: May be irritating to mucous membranes and upper respiratory tract.
Ingestion: May cause irritation of the digestive tract.

Acute Health Effects: May cause physical irritation of the skin and eyes, with redness and swelling, cough, and sneezing.

Signs and symptoms of overexposure: Acute effects include irritation of mucous membranes and upper respiratory tract. Exposure may cause diarrhea.

6.2 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ Suspension of ultrafine Titanium Dioxide Anatase

(แสดงในภาคผนวก ก.1)

CINKARNA

Metalurško kemična industrija Celje, d.d.
Kidričeva 26
SI-3001 Celje
Slovenija

t 00386 (0)3 427 60 00
f 00386 (0)3 427 62 92
e info@cinkarna.si
w www.cinkarna.si

SAFETY DATA SHEET	Page 1 of 5
	Issued on: 1st November 2010
Trade name: Suspension of ultrafine Titanium Dioxide Anatase CCA 100 A S	Revised on: 1st November 2010 Version: 0

1. Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1.	**Product identifier (Product registration number): 13463-67-7**	Suspension of ultrafine Titanium Dioxide Anatase - CCA 100 A S	**Identification no.:**
1.2.	**Relevant identified uses of the substance/mixture and uses advised against:**	As a photocatalyst (self-cleaning effect, decomposition of harmful nitrogen oxides, air and water purification), DSSC dye-sensitized solar cells	
1.3.	**Details of the supplier of the safety data sheet (manufacturer, importer, only representative , downstream user or distributor):**		
1.3.1.	Supplier name:	CINKARNA CELJE, d.d.	Division:
1.3.2.	Supplier address and phone:	Kidričeva 26, 3001 CELJE, SLOVENIJA, +386 3 427 60 00	
1.3.3.	E-Mail (competent person):	e-mail: peter.bastl@cinkarna.si igor.kolenc@cinkarna.si	
1.4.	**Emergency phone number:**	+386 3 427 61 12 (Cinkarna Celje)	

2. Hazards identification

2.1.	**Classification of substance or mixture:** **(Regulation (EC) No 1272/2008, Directive 67/548/ECC or Directive 1999/45/EC)**	According to Regulation of European Community, the product is not classified as dangerous.
2.2.	**Label elements:**	Product is not labeled as dangerous
2.3.	**Other hazards:**	Label of product does not have any additional elements for danger

3. Composition/information on ingredients

3.1. /3.2	**Substances/ mixture: Product is mixture**

In accordance with EC Regulation n. 1272/2008

Chemical name	Index	Concentration (wt/vol/max. conc. %)	Hazard statements (H)	Hazard class and hazard category
Titanium Dioxide - Anatase (TiO_2)	EC n. : 236-675-5 CAS n. 13463-67-7			

In accordance with Directive 67/548/EEC

Chemical name	Index	Concentration (wt/vol/max. conc. %)	Hazard symbol	Risk statements R
Titanium Dioxide - Anatase (TiO_2)	EC n. : 236-675-5 CAS n. 13463-67-7			

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Adams LK, Lyon DY, McIntosh A, Alvarez PJ, Water Sci Technol. 54 (2006) 327.

Blaise C, Gagne F, Ferard JF, Eullaffroy P, Environ Toxicol, 23 (2008) 591.

Choi J, Park H, Hoffmann MR, JPhysChem C 114 (2010) 783.

Federici G, Shaw BJ, Handy RD,AquatToxicol 84 (2007) 415.

Fujishima A, Honda K, Nature 238 (1972) 37.

Fujishima A, Rao TN, Tryk DA, JPhotochemPhotobiol C 1 (2000) 1.

Fujishima A, Zhang X, Tryk DA, SurfSci Reports 63 (2008) 515.

Gebhart J, J Aerosol Sci 23 (1992) S305.

Gontier E, Habchi C, Pouthier T, Aguer P, Barberet P, Barbotteau Y, Incerti S, Ynsa MD, Surleve-Bazeille JE, Moretto P, J Invest Dermatol. 123 (2004) A11.

Griffitt RJ, Luo J, Gao J, Bonzongo JC, Barber DS, Environ Toxicol Chem. 27 (2008) 1972.

Handerson AM, SurfSci Reports66 (2011) 185.

Herrmann JM, Catal Today 53 (1999) 115.

Heyder J, Gebhart J, Scheuch G, Aerosol Sci Technol. 4 (1985) 315.

Hoffmann MR, Martin ST, Choi WY, Bahnemann DW,ChemRev 95 (1995) 69.

Horie M, Nishio K, Fujita K, Endoh S, Miyauchi A, Saito Y, Iwahashi H, Yamamoto K, Murayama H, Nakano H, Nanashima N, Niki E, Yoshida Y, Chem Res Toxicol 22 (2009) 543.

Institut de recherché Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), Studies and Research Projects, Health Effects of Nanoparticles, Second Edition, Chemical Substances and Biological Agents, REPORT R-589, October 2008.

Jiang J, Oberdorster G, Elder A, Gelein R, Mercer P, Biswas P, Nanotox. 2 (2008) 33.

Kertesz Z, Szikszai Z, Gontier E, Moretto P, Surleve-Bazeiille JE, Kiss B, Juhasz I, Hunyadi J, Kiss AZ,NuclInstrum Methods Phys Res B. 231 (2005) 280.

Kiss B, Bíró T, Czifra G, Tóth BI, Kertész Z, Szikszai Z, Kiss AZ, Juhász I, Zouboulis CC, Hunyadi J, ExpDermatol. 17 (2008) 659.

Kuhn KP, Chaberny IF, Massholder K, Stickler M, Benz VW, Sonntag HG, Erdinger L, Chemosphere. 53 (2003) 71.

Lademann J, Richter H, Schaefer UF, Blume-Peytavi U, Teichmann A, Otberg N, Sterry W, Skin Pharmacol Physiol. 19 (2006) 232.

Lademann J, Richter H, Teichmann A, Otberg N, Blume-Peytavi U, Luengo J, Weiss B, Schaefer UF, Lehr CM, Wepf R, Sterry W, EuroJ Pharm Biopharm 66 (2007) 159.

Lansdown AB, Taylor A,Int J CosmetSci 19 (1997) 167.

Lekki J, Stachura Z, Dabros W, Stachura J, Menzel F, Reinert T, Butz T, Pallon J, Gontier E, Ynsa MD, Moretto P, Kertesz Z, Szikszai Z, Kiss AZ, NuclInstrum Methods Phys Res B. 260 (2007) 174.

Long TC, Saleh N, Tilton RD, Lowry GV, Veronesi B, Environ SciTechnol 40 (2006) 4346.

Lovern SB, Klaper R, Environ ToxicolChem 25 (2006) 1132.

Menzel F, Reinert T, Vogt J, Butz T,NuclInstrum Methods Phys Res B 219-220 (2004) 82.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), CURRENT INTELLIGENCE BULLETIN 63: Occupational Exposure to Titanium Dioxide,DepartmentofHealthand Human Services (DHHS), Centers for Disease Control and Prevention, Publication No. 2011–160, April 2011.

Neal AL, Ecotoxicology 17 (2008) 362.

Nohynek GJ, Lademann J, Ribaud C, Roberts MS, Crit Rev Toxicol 37 (2007) 251.

Oberdörster G, Ferin J, Gelein R, Soderholm SC, Finkelstein J, Environ Health Perspect 97 (1992) 193.

Oberdörster G, Ferin J, Lehnert BE, Environ Health Perspect 102 (1994a) 173.

Oberdörster G, Ferin J, Soderholm S, Gelein R, Cox C, Baggs R, Morrow PE, Ann OccupHyg 38 (1994b) 295.

Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J, Environ Health Perspect 113 (2005) 823.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Interim Asessment Report Nano-TiO_2, February 2011.

Pflucker F, Hohenberg H, Holzle E, Will T, Pfeiffer S, Wepf R, Diembeck W, Wenck H, Gers-Barlag H, Int J CosmetSci 21 (1999) 399.

Pflücker F, Wendel V, Hohenberg H, Gärtner E, Will T, Pfeiffer S, Wepf R, Gers-Barlag H, Skin PharmacolPhysiol 14 (2001) 92.

Pinheiro T, Pallon J, Alves LC, Verissimo A, Filipe P, Silva JN, Silva R,NuclInstrum Methods Phys Res B 260 (2007) 119.

Rajeshwar K, JApplElectrochem 37 (2007) 765.

Rajeshwar K,J ApplElectrochem 15 (1985) 1.

Sadrieh N, Wokovich AM, Gopee NV, Zheng J, Haines D, Parmiter D, Siitonen PH, Cozart CR, Patri AK, McNeil SE, Howard PC, Doub WH, Buhse LF, ToxicolSci 115 (2010) 156.

Sager T, Porter D, Castranova V, Toxicologist102 (2008) A1491.

Sayes CM, Wahi R, Kurian PA, Liu Y, West JL, Ausman KD, Warheit DB, Colvin VL, ToxicolSci 92 (2006) 174.

Schulz J, Hohenberg H, Pflücker F, Gärtner E, Will T, Pfeiffer S, Wepf R, Wendel V, Gers-Barlag H, Wittern KP, Adv Drug Deliv Rev 54 (2002) S157.

Tran C, Buchanan LD, Cullen RT, Searl A, Jones AD, Donaldson K, InhalToxicol 12 (2000) 1113.

Tran CL, Cullen RT, Buchanan D, Jones AD, Miller BG, Searl A, Davis JMG, Donaldson K. Investigation and prediction of pulmonary responses to dust, part II. In: Investigations into the pulmonary effects of low toxicity dusts. Contract Research Report 216/1999. Suffolk, UK: Health and Safety Executive, 1999.

U.S.Environmental Protection Agency (U.S.EPA), Nanomaterial Case Studies: Nanoscale Titanium Dioxide in Water Treatment and in Topical Sunscreen, EPA/600/R-09/057F, November, 2010.

U.S.Environmental Protection Agency (U.S.EPA), State of the Science Literature Review: Nano Titanium Dioxide Environmental Matters, Scientific, Technical, Research, Engineering and Modeling Support (STREAMS), Contract No. EP-C-05-059, Task Order No. 94, EPA/600/R-10/089, Washington, DC, August 2010.

Wang J, Chen C, Liu Y, Jiao F, Li W, Lao F, Li Y, Li B, Ge C, Zhou G, Gao Y, Zhao Y, Chai Z, ToxicolLett 183 (2008) 72.

Wang JX, Zhou GQ, Chen CY, Yu HW, Wang TC, Ma YM, Jia G, Gao YX, Li B, Sun J, Li YF, Jiao F, Zhao YL, Chai ZF,ToxicolLett 168 (2007) 176.

Warheit DB, Webb TR, Reed KL, Frerichs S, Sayes CM, Toxicology 230 (2007) 90.

Warheit DB, Webb TR, Sayes CM, Colvin VL, Reed KL, ToxicolSci 91 (2006) 227.

Wiench K, Landsiedel R, Zok S, Hisgen V, Radkel K, Van Ravenzwaay B, Aquatic fate and toxicity of nanoparticles: Agglomeration, sedimentation and effects of daphnia magna. (2007) (Abstract no 1384). Retrieved October05, 2009 from www.sustainability.basf.com/basfcorp/img/sustainability/dialog/Wiench_SOT_OekoNano_Poster.pdf.

Wu J, Liu W, Xue C, Zhou S, Lan F, Bi L, Xu H, Yang X, Zeng FD, ToxicolLett 191 (2009) 1.

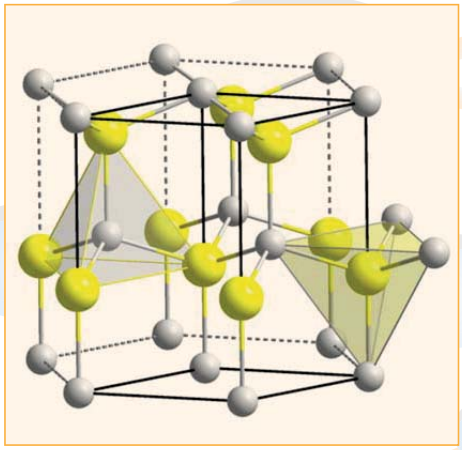
Zhang XZ, Sun HW, Zhang ZY, HuanJing KeXue (Article in Chinese), 27 (2006) 1631.

บทที่ 2
วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

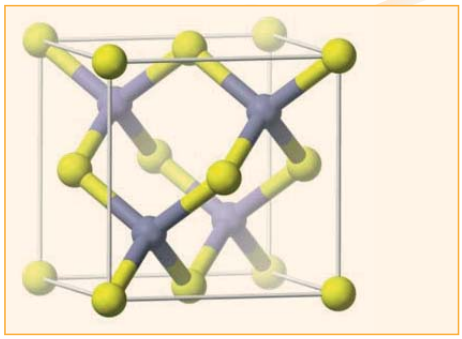
1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อตามระบบ IUPAC	zinc oxide หรือ oxozinc
CAS number	1314-13-2
สูตรโมเลกุล	ZnO
น้ำหนักโมเลกุล	81.408 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	5.606 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	1975 °C
จุดเดือด	2360 °C
ลักษณะทั่วไป	ของแข็งสีขาว
	สารไม่ละลายน้ำ (water insoluble)
	ลักษณะโครงสร้าง hexagonal wurtzite และ cubic zincblende

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี



โครงสร้าง hexagonal wurtzite
(ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wurtzite_polyhedra.png)



โครงสร้าง cubic zincblende
(ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sphalerite-unit-cell-depth-fade-3D-balls.png)

รูปที่ 2.1 โครงสร้าง hexagonal wurtzite และ cubic zincblende

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

1) การมีค่าดรรชนีหักเหสูง (high refractive index) การทนความร้อนและอุณหภูมิได้ดี โดยซิงค์ออกไซด์มีค่าดรรชนีหักเหประมาณ 1.95-2.10 ทำให้วัสดุที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ เกิดการสะท้อนแสงได้ดี และวัสดุที่ถูกเคลือบจะมีความสว่างสูงและมีความเสถียรทางอุณหภูมิแม้ว่าอุณหภูมิสูงถึง 1800 องศาเซลเซียส ทำให้มีสมบัติในการป็นตัวกลางไฟฟ้าได้ดี รวมทั้งทนความร้อนได้ดี และสามารถนำไปใช้ได้ในหลายอุตสาหกรรม (Moezzi et al., 2012)

2) ลักษณะสมบัติทางแสง จากการที่ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าช่องว่างของแถบพลังงาน band gap เป็น 3.37 eV ซึ่งใกล้เคียงกับค่าช่องว่างของแถบพลังงาน 3.39 eV ของแกลเลียมไนไตรด์ (GaN) แต่เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีราคาถูกกว่ามากโดยปัจจุบันนิยมนำมาใช้แทนวัสดุ GaN สำหรับการนำไปใช้เป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำงานในช่วงของแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดี เช่น LEDs, photodetectors หรือ laser diodes เป็นต้น (Moezzi et al., 2012)

3) คุณสมบัติการเป็นผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์ โดยมีลักษณะเป็นสารกึ่งตัวนำแบบ n-type ซึ่งในปัจจุบันได้มีความพยายามในงานวิจัยที่จะพัฒนาผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์ให้เป็นแบบ p-type โดยงานวิจัยบางงานได้รายงานถึงการสังเคราะห์ p-type polycrystalline film (Mao et al., 2008, Dai et al., 2008, Kawasaki et al., 2008) โดยผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์สามารถขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้โดยการเปลี่ยนอุณหภูมิ และความดัน (Ellmer et al., 2008, Jacobs et al., 2010, Janotti and Walle , 2009)

4) คุณสมบัติการนำไฟฟ้า ซิงค์ออกไซด์มีลักษณะสมบัติที่สามารถถูกเหนี่ยวนำให้มีลักษณะเป็น ferromagnetic ได้ดีโดยการเจือด้วยธาตุที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก เช่น เหล็ก โคบอลต์ นิเกิล เป็นต้น หรือเจือด้วยธาตุที่ไม่มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก เช่น ไททาเนียม วานาเดียม เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้งานในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ได้หลายชนิด นอกจากนี้การเจือด้วยธาตุต่างๆ ยังทำให้ซิงค์ออกไซด์มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นได้ เช่น การเจอด้วยลิเธียม จะส่งผลให้ซิงค์ออกด์มีค่าต้านทานสูง ($>10^{12}$ โอห์มเซนติเมตร) การเจือด้วยอินเดียม (In) ทำให้ซิงค์ออกไซด์สามารถนำพาอิเลคตรอนได้ดี โดยมี carrier concentration ได้มากถึง 10^{20} เซนติเมตร$^{-3}$ (Ellmer et al., 2008, Oh et al., 2006) จากลักษณะสมบัติเหล่านี้ทำให้ซิงค์ออกไซด์นำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์

5) การเป็นสารเร่งปฏิกิริยา (photocatalyst) เป็นลักษณะเฉพาะของซิงค์ออกไซด์ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น ซึ่งมาจากคุณสมบัติของการสารเป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ของซิงค์ออกไซด์ (Moezzi et al., 2012)

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมยาง** นิยมใช้ในการเป็น vulcanizing activator ซึ่งเป็นสารที่เติมลงไปในปริมาณน้อยในการผลิตยางเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ และนำมาใช้ในการเป็น cross-linking agent สำหรับ

elastomer ที่มีธาตุหมู่ 7 อยู่ด้วย เช่น neoprene หรือ polysulfides (Sahoo et al., 2008) โดยการเติม

- **อุตสาหกรรมเซรามิค** โดยเฉพาะอุตสาหกรรมกระเบื้อง โดยอาศัยลักษณะสมบัติการต้านทานความร้อนและอุณหภูมิสูงของซิงค์ออกไซด์ และทำให้ผลิตภัณฑ์เซรามิค กระเบื้องไม่เกิดการขยายตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง และลดการเปลี่ยนแปลงของความหนืดของสารเคลือบผิว ซิงค์ในปริมาณน้อยยังช่วยในการปรับปรุงพื้นผิวที่มันเงาและวาวของผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Perl, 1997, Porter, 1991)

- **อุตสาหกรรมสี** ซิงค์ออกไซด์นิยมใช้เป็นส่วนผสมของสี หรือน้ำยาเคลือบผิว โดยลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะเฉพาะที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง (high refractive index)ทำให้มีความสว่าง มีสีขาวซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อของ “zincwhite”หรือ“Chinesewhite” โดยซิงค์ออกไซด์สามารถดูดซับแสงได้ต่ำในขณะที่สามารถกระเจิงแสงในช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible light) ซึ่งการกระเจิงแสงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและความยาวแสงเป็นหลัก (Auer et al., 2005)

- **อุตสาหกรรมกระดาษ** ซิงค์ออกไซด์นิยมใช้เป็นส่วนผสมของผงสีในการผลิตกระดาษ โดยลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ เป็นลักษณะเฉพาะที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง (high refractive index) ทำให้กระดาษมีสีขาวและสว่าง

- **อุตสาหกรรมพลาสติก** นิยมใช้ซิงค์ออกไซด์เพื่อให้เกิดการต้านทานต่อความร้อน การเปลี่ยนแปลงเชิงกลและการกันน้ำหรือกันไฟ โดยใช้เป็นสาร stabilizer ในการผลิตเรซินประเภท polyolefin สำหรับการผลิตพลาสติกชนิด high density polyethylene (HDPE) polypropylene (PP) polyester ที่ไม่อิ่มตัว รวมทั้งพลาสติกในกลุ่มของ poly-vinyl-halide เพื่อผลิตเป็นพลาสติก PVC (Moezzi et al., 2012)

- **อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง** เครื่องสำอางหลายชนิดจะมีการนำซิงค์ออกไซด์ไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ครีมกันแดด ครีมบำรุงผิว ครีมรองพื้น แป้งทาหน้า ครีมเพิ่มความชุ่มชื้น เป็นต้น (94) โดยซิงค์ออกไซดจะทำให้เครื่องสำอางเหล่านี้ติดผิวได้ดี และเป็นสารดูดซับแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งทำให้ผิวได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตน้อยลงทั้งในส่วนของ UVA (ความยาวคลื่น 320-400 นาโนเมตร) และ UVB (ความยาวคลื่น 290-320 นาโนเมตร) (Mitchnick et al., 1999) นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ช่วยในการรักษาแผลและทำให้บาดแผลสะอาด โดยมาจากความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย เช่น *Propionibacterium acnes* เป็นต้น ซึ่งเกิดจากการทำให้สารน้ำมันที่เคลือบบนผิวเกิดการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดการทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังได้นำมาใช้ในแชมพูต้านรังแค น้ำยาระงับกลิ่นกาย และใช้ในการรักษาผื่นผ้าอ้อมอีกด้วย (Graaf et al., 1999, Brahms et al., 2005)

- **อุตสาหกรรมผลิตสารเร่งปฏิกิริยา** การนำซิงค์ออกไซด์ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมักนิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ในการผลิตเมธานอล การผลิตไอโซบิวทิลแอลกอฮอล์ การผลิตฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้นำไปใช้ในการเปลี่ยนรูปของสารไซโคลเฮกซานอล เป็นไซโครเฮกซาโนน (Speight, 2002)

- **อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์** ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยหลายงานที่นำซิงค์ออกไซด์ไปใช้ในการผลิตเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะการผลิตและออกแบบ light emitting diodes (LED) ทั้งแบบ UV laser (Czekalla et al., 2007) และ organic LED (Ellmer et al., 2008, Klingshirn, 2007) โดยใช้ลักษณะสมบัติที่สามารถเปล่งแสงสีฟ้าหรือแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ โดยในงานวิจัยของ Choi และคณะได้มีการนำลักษณะเฉพาะซิงค์ออกไซด์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ p-type และมีความต้านทานต่ำมาพัฒนาการนำไปใช้เป็น LED ซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัย (Cheng et al., 2009)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร –รูปแบบของซิงค์ออกไซด์ที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายได้โดยง่าย อยู่ในรูปของกลุ่มควันที่เกิดจากกระบวนการทางเคมี เช่น กระบวนการวัลคาไนซ์ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้มีซิงค์ออกไซด์แขวนลอยในอากาศ

อาการที่ได้รับสาร –แน่นอก อาเจียน หอบ ปวดหัว หายใจลำบาก เป็นไข้ สั่นหนาว หากได้รับในปริมาณมากอาจนำไปสู่การเป็นปอดบวมได้

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วการได้รับซิงค์ออกไซด์โดยทางปากนั้น มักไม่เกิดขึ้นโดยง่าย การได้รับทางปากเกิดขึ้นได้หากมีหายใจเอากลุ่มควันสารเคมีเข้าสู่ร่างกายผ่านทั้งทางจมูกและปากขณะปฏิบัติงาน

อาการที่ได้รับสาร –อาเจียน ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้ออ่อนแรง

การป้องกันการได้รับสาร –ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร - การได้รับผ่านทางผิวหนังนอกจากการสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังที่ไม่มีแผลเปิด มักไม่แสดงอาการใดๆ

ถ้ารับทางผิวหนังที่มีแผลเปิด อาจเกิดอาการระคายเคือง และสามารถเข้าสู่ผิวหนังในชั้นลึกลงไปได้

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร - รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของกลุ่มควันสารเคมีซิงค์ออกไซด์ที่สามารถปลิว หรือฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้าเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับสารซิงค์ออกไซด์ทางการหายใจ ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธ์ ให้สังเกตุอาการที่เกิดขึ้นขณะหายใจ ถ้ามีการไอหรือหายใจลำบากอาจมีการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ สามารถใช้เครื่องช่วยหายใจได้ หากมีอาการเป็นไข้ให้ยาลดไข้ในกลุ่มแอสไพรินได้ โดยปรกติแล้วอาการในการได้รับสารชนิดนี้มากเกินไปทางการหายใจ อาการมักจะหายไปภายใน 24 ชั่วโมง หากยังคงมีอาการต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากได้รับสารซิงค์ออกไซด์ทางปากซึ่งอาจมาจากการได้รับควันสารเคมีขณะปฏิบัติงาน การปฐมพยาบาลขั้นต้นหากผู้ป่วยมีสติทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด และการดื่มน้ำสะอาดในปริมาณมากๆ ตามไปโดยมีปริมาณอย่างน้อย 10 เท่าของปริมาณสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้รับเข้าไปทางปาก ไม่ควรพยายามให้ผู้ป่วยอาเจียนเอง และให้นำส่งแพทย์

การได้รับสารซิงค์ออกไซด์ทางผิวหนัง ให้ทำโดยการล้างด้วยน้ำเปล่าและผงซักฟอกในปริมาณที่สัมผัสเป็นเวลานานหลายนาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง หากมีอาการระคายเคือง หรือผื่นขึ้นต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากสารซิงค์ออกไซด์เข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเกิดการระคายเคือง เจ็บปวด หรือบวม หรือแพ้แสง ให้นำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์จากการทดสอบของ OECD

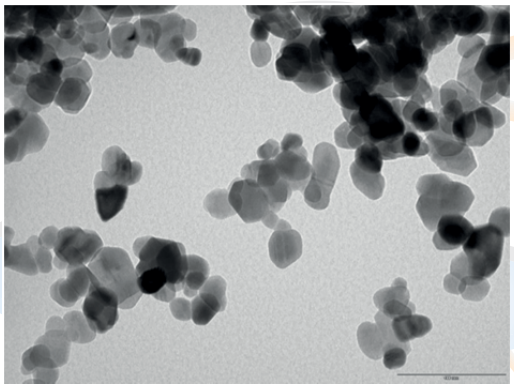
4.1.1 ชนิดของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากประเทศอังกฤษ (United Kingdom/BIAC) และประเทศอเมริกาเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก และมีสมาชิกจากประเทศที่สนับสนุนร่วมการวิจัยได้แก่ ออสเตรเลีย เนเธอร์แลนด์และสเปน โดยได้ร่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ซึ่งได้กำหนดชนิดของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษได้แก่ ^{68}ZnO particles ซึ่งเป็นซิงค์ออกไซด์ที่มี isotope เป็น 68 โดยได้รับการสนับสนุนตัวอย่างนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้ในการทดสอบจากบริษัท BASF โดยมีชื่อการค้าของนาโนซิงค์ออกไซด์เป็น Z-Cote และ Z-Cote HP1

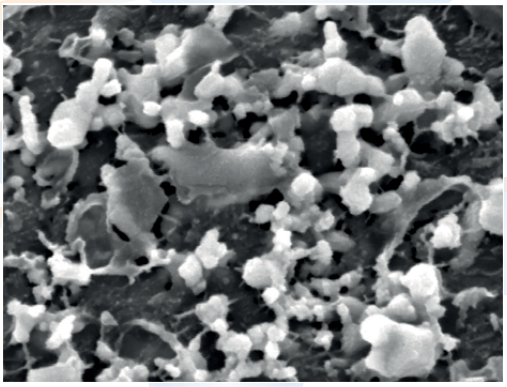
นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ทดสอบอีกชนิดหนึ่งมาจากบริษัท Micronisers ภายใต้ชื่อการค้า Nanosun และในส่วนของซิงค์ออกไซด์ที่เป็นก้อนอนุภาคนาโน (bulk nanoparticles) มาจากบริษัท Sigma-aldrich ชนิดและลักษณะของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (OECD, 2011) แสดงในตารางที่ 2.1 และลักษณะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บางชนิดจากเครื่อง Transmission Electron Microscopy แสดงในรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดและลักษณะของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (NIA, 2010a, 2010b)

กลุ่มสาร	สารทดสอบ			
ชนิด	Z-Cote	Z-Cote HP1	Nanosun	Bulk ZnO
OECD code	NM 112	NM 110	NM 111	NM 113
บริษัทผู้ผลิต	BASF	BASF	Micronisers	Sigma-aldrich
ขนาดอนุภาค	30-50 นาโนเมตร	100 นาโนเมตร	120 นาโนเมตร	>1000 นาโนเมตร



Nanosun – ZnO จากบริษัท Micronisers



Z cote – ZnO จากบริษัท BASF

รูปที่ 2.2 ลักษณะผลึกของซิงค์ออกไซด์ที่นำมาใช้เป็นสารทดสอบมาตรฐานในการหาความเป็นพิษของ OECD (NIA, 2010a)

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

จากรายงานของ Nanotechnology Industries Association ประเทศอังกฤษ (NIA, 2010b) ซึ่งได้ดำเนินการทดสอบอนุภาคซิงค์ออกไซด์และรายงานต่อ OECD โดยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ทั้งในส่วนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แบบก้อนอนุภาคนาโนได้นำมาทดสอบกับไรน้ำร่วมกับการทดสอบเปรียบเทียบโดยใช้ไอออนของซิงค์ที่ละลายน้ำได้จากซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ซึ่งพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์นั้นสามารถละลายน้ำได้เพียงร้อยละ 10 เท่านั้น จากการทดสอบความเป็นพิษในช่วง 48 ชั่วโมงพบว่า

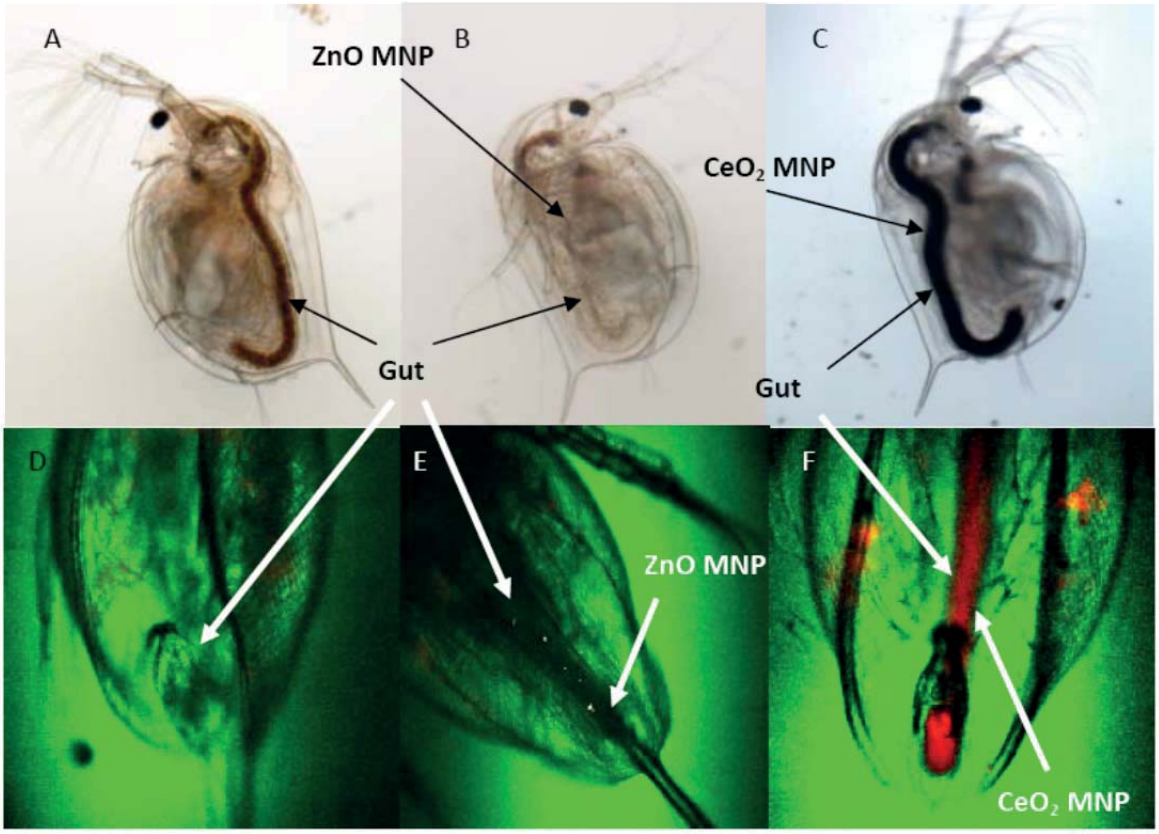
อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ทำให้เกิดความเป็นพิษที่มากกว่าซิงค์ออกไซด์ในรูปแบบอื่นๆ โดยพบว่าค่า LC_{50} ในช่วงเวลา 48 ชั่วโมงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยมีไอออนของซิงค์จากซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นสารเปรียบเทียบได้มีค่าความเป็นพิษดังนี้

Daphnia magna:	LC_{50} – นาโนซิงค์ออกไซด์	1.55	มิลลิกรัม/ลิตร
	LC_{50} – ไอออนซิงค์	3.32	มิลลิกรัม/ลิตร

นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังส่งผลต่อการลดลงของอัตราการกินอาหาร (feeding rate) ของไรน้ำโดยลดลงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับซิงค์ออกไซด์ในรูปก้อนอนุภาคนาโน และไอออนละลายน้ำ โดยจากการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM ไม่พบการเกิดการรวมตัวของซิงค์ออกไซด์ในหนวดหรือรยางค์ของไรน้ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อการว่ายน้ำที่ช้าลงทำให้การกินอาหารลดลง

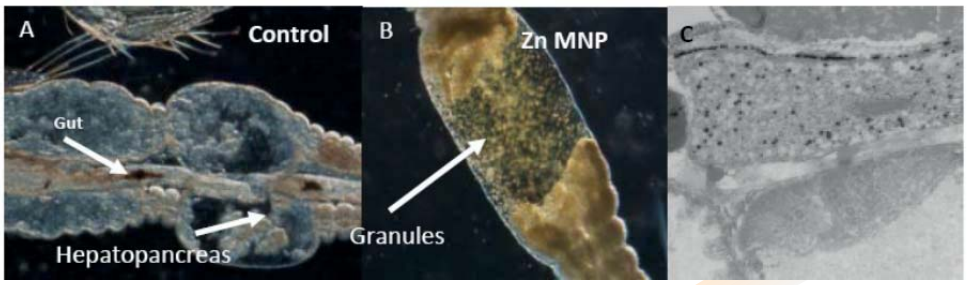
จากผลของการถ่ายภาพแบบ Bioimaging โดยใช้ Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) และ opticallightmicroscope ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ผลที่ได้ยืนยันว่าไรน้ำได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในปริมาณมากโดยจากการทดลองไรน้ำได้รับซิงค์ออกไซด์ในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการทดสอบกับสัตว์ในกลุ่มของกุ้ง *Corophium volutator* จากรายงานของ Nanotechnology Industries Association ประเทศอังกฤษ (NIA, 2010b) ต่อ OECD โดยได้มีการทดสอบในลักษณะของพิษเฉียบพลัน โดยการได้รับซิงค์ออกไซด์เป็นเวลา 10 วัน ซึ่งได้เคยมีการรายงานไว้แล้วว่าความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ต่ำกว่า 0.8 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้การเพิ่มจำนวนประชากร และการเติบโตในการเจริญพันธุ์ลดลง (Conradi and Depledge, 1999) ในการทดสอบความเป็นพิษนี้ ได้ทำการทดสอบซิงค์ออกไซด์ทั้งในรูปแบบของอนุภาคนาโน ก้อนอนุภาคนาโน และไอออนละลายน้ำ โดยพบว่าซิงค์ ออกไซด์ทั้งในรูปแบบของอนุภาคนาโนและก้อนอนุภาคนาโน (bulk) ในน้ำจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์ทดสอบมากกว่าในตะกอนดิน ซึ่งส่งผลต่อชีวปริมาณ (bioavailability) ที่จะพบซิงค์ออกไซด์ในน้ำได้มากกว่าในตะกอนดินชนิดของซิงค์ออกไซด์ส่งผลต่อความเป็นพิษต่อสัตว์ทดสอบในอัตราที่ไม่แตกต่างกัน โดยการตายของกุ้งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเป็นหลัก ทั้งนี้สืบเนื่องจากความสามารถในการละลายของสารที่แตกต่างกัน โดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ละลายน้ำได้ร้อยละ 25 ในขณะที่ก้อนอนุภาคนาโนละลายน้ำได้เพียงร้อยละ 12 ทำให้ผลการทดสอบที่ได้ในแง่ของความเป็นพิษต่อสัตว์ทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของการทดสอบความเป็นพิษในลักษณะพิษสะสมโดยให้มีการได้รับซิงค์ออกไซด์เป็นเวลา 100 วัน พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดในระดับนาโน และขนาดไมครอน รวมทั้งที่อยู่ในรูปละลายน้ำได้นั้น ไม่ส่งผลต่อการตาย หรือการรอดชีวิตของกุ้ง แต่ส่งผลอย่างมากในส่วนของการยับยั้งการสืบพันธุ์ โดยเมื่อความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งช้าลง การเติบโตในการเจริญพันธุ์ (sexual maturity) ช้าลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์



รูปที่ 2.3 ภาพของไรน้ำจากการถ่ายภาพโดยใช้ optical light microscope และ CARs โดย (A) และ (D) เป็นไรน้ำที่ไม่ได้รับซิงค์ออกไซด์, (B) และ (E) ไรน้ำที่ได้รับซิงค์ออกไซด์ในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นเวลา 48 ชั่วโมง, และ (C) และ (F) ไรน้ำที่ได้รับซีเรียมออกไซด์ในปริมาณ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จากรายงานของ Nanotechnology Industries Association ประเทศอังกฤษ (NIA, 2010b)

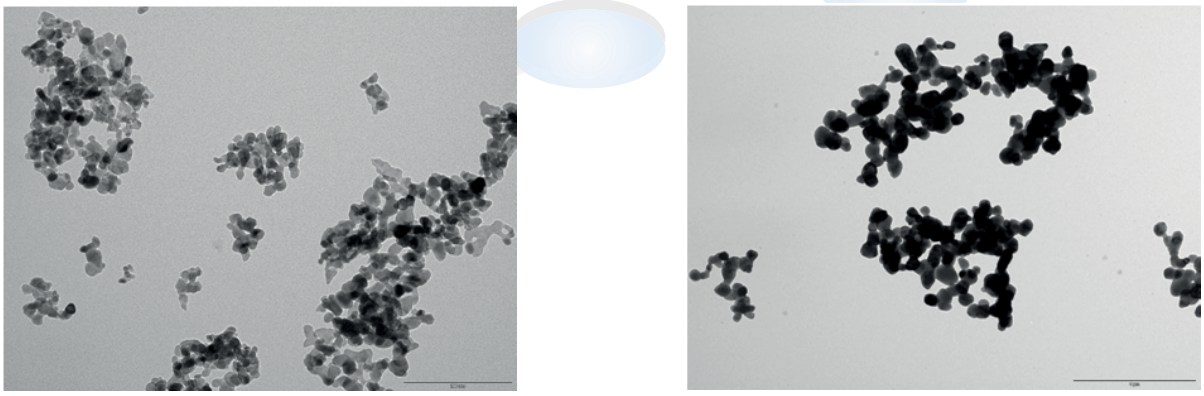
ในการทดสอบความเป็นพิษแบบ sublethal โดยศึกษาการทำลาย DNA ในเลือด โดยความเข้มข้นที่ใช้ในการทดสอบมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าความเป็นพิษในส่วนของการทำลาย DNA เกิดขึ้นเมื่อสัตว์ทดสอบได้รับซิงค์ออกไซด์ในรูปของก้อนอนุภาคนาโน และไอออนละลายน้ำ ในขณะที่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ผลต่อการทำลาย DNA ในเลือดต่ำกว่าอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในรูปแบบอื่น อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีแนวโน้มที่จะมีค่าชีวปริมาณ (bioavailability) ที่มีอยู่ในตะกอนดินซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของกุ้งในปริมาณที่ต่ำกว่าอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในรูปแบบอื่น ภาพ Bioimaging ของการสะสมของซิงค์ออกไซด์ในตับอ่อนแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงตับอ่อนของสัตว์ในกลุ่มกุ้งจาก Light microscope โดย (A) ไม่ได้รับซิงค์ออกไซด์ (B) ได้รับซิงค์ออกไซด์ และ (C) ภาพจาก Transmission Electron Microscope แสดงเกิด granule ในตับอ่อนเมื่อได้รับซิงค์ออกไซด์ จากรายงานของ Nanotechnology Industries Association ประเทศอังกฤษ (NIA, 2010b)

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

จากการที่ซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนประกอบสำคัญและใช้กันอย่างแพร่หลายในครีมกันแดด ทำให้การทดสอบความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ในระยะแรกของ OECD จึงมุ่งเป้าไปยังการทดสอบความเป็นพิษที่มีต่อผิวหนัง โดยได้ดำเนินการโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม จากการรายงานของนักวิจัยประเทศออสเตรเลีย โดยการใช้ครีมกันแดดที่มีมีสารซิงค์ออกไซด์ชนิด ^{68}ZnO ขนาด 20 นาโนเมตรเป็นส่วนประกอบหลัก และขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ ที่รวมกันมีขนาดประมาณ 100 นาโนเมตร โดยทาครีมกันแดดลงไปบนผิวหนังของอาสาสมัคร โดยทาวันละสองครั้ง ติดต่อกันห้าวัน จากนั้นจึงมีการเก็บตัวอย่างปัสสาวะและเลือดไปตรวจสอบหาการปนเปื้อนของซิงค์ออกไซด์ในตัวอย่างที่เก็บได้ ซึ่งงานวิจัยนี้อยู่ในระหว่างการดำเนินการ (NIA, 2010a) ภาพของซิงค์ออกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วย Transmission Electron Microscope ที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.5



(a) ซิงค์ออกไซด์ขนาด 20 นาโนเมตร (b) อนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่รวมกันขนาด 100 นาโนเมตร

รูปที่ 2.5 ภาพของซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในการทดสอบจากการวิเคราะห์ด้วย Transmission Electron Microscope (NIA, 2010a)

จากการรายงานของกลุ่มนักวิจัยจาก BIAC ซึ่งได้ทดสอบความเป็นพิษต่อผิวหนังของซิงค์ออกไซด์ โดยใช้ Z-Cote และ Z-Cote HP1 โดยการทดลองนี้ได้ใช้ครีมกันแดดที่มีความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ 5% ผสมอยู่ในครีมกันแดด การทดสอบทำโดยการทาครีมกันแดดที่มีส่วนผสมของสารดังกล่าวลงบนผิวหนัง พบว่าซิงค์ออกไซด์จะมารวมกันเป็นกลุ่มในบริเวณผิวของหนังกำพร้า (stratumcorneum) ทั้งในกรณีที่ครีมกันแดดได้รับการกระตุ้นจากแสง UVB และไม่ได้รับแสง ในกรณีที่สารซิงค์ออกไซด์ได้รับแสง UVB นั้น พบว่าไม่เกิดการแทรกตัวของซิงค์ออกไซด์ลงไปยังผิวหนัง (NIA, 2010a)

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ความเป็นพิษที่มีต่อสัตว์น้ำ

จากการทดสอบความเป็นพิษของโลหะออกไซด์ที่มีต่อปลาม้าลาย *Danio rerio* ของ Zhu และคณะ (Zhu et al., 2008) โดยใช้โลหะออกไซด์หลายชนิดซึ่งประกอบด้วยซิงค์ออกไซด์ ไททาเนียมไดออกไซด์ อะลูมินาออกไซด์ พบว่าซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุนาโนที่แสดงความเป็นพิษมากที่สุดต่อตัวอ่อนของปลาในขณะที่ทั้งไททาเนียมไดออกไซด์ และอะลูมินาออกไซด์ไม่แสดงความเป็นพิษ โดยค่าความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ มีดังนี้

ความเป็นพิษของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อตัวอ่อน

Danio rerio:	LC_{50} – 96 ชม.	1.793 มิลลิกรัม/ลิตร
	EC_{50} – 84 ชม.	2.065 มิลลิกรัม/ลิตร

ความเป็นพิษของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่ออัตราการวางไข่

Zebra fish:	LC_{50} – 96 ชม.	1.550 มิลลิกรัม/ลิตร
	EC_{50} – 84 ชม.	2.066 มิลลิกรัม/ลิตร

ในการทดสอบความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์กับไรน้ำ *Daphnia magna* โดยใช้ซิงค์ออกไซด์ชนิด Z Cote HP1 ในตัวกลางคือ M4 Medium และน้ำโดยความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ในตัวกลางน้ำ จะน้อยกว่าเมื่ออยู่ในตัวกลาง M4 Medium และความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเกิดจากความเป็นพิษของไอออนซิงค์ที่ละลายน้ำเป็นหลัก โดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของซิงค์ออกไซด์ (แม้ว่าจะมีขนาดในระดับนาโนเมตร) และการเคลือบผิว (Wiench et al., 2009, Heilaan et al., 2008, Ellmer et al., 2008, Wöll, 2007) นอกจากนี้การทดสอบความเป็นพิษของสารชนิดนี้ต่อสาหร่ายในน้ำจืด *Pseudokirchneriella subcapitata* พบว่าความเป็นพิษของนาโนซิงค์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ที่รวมกลุ่ม และซิงค์คลอไรด์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า LC_{50} ที่ 72 ชั่วโมงประมาณ 60 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งความเป็นพิษที่เกิดนั้นเกิดจากความเป็นพิษของไอออนซิงค์ที่ละลายน้ำเป็นหลัก (McCluskey and Jokela, 2009)

ความเป็นพิษที่มีต่อพืช

Lin และ Xing (Lin and Xing, 2007) ได้ศึกษาความเป็นพิษของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีต่อพืชหลายชนิด โดยศึกษาผลกระทบที่มีต่อการงอกและความยาวของรากพืช จากการศึกษาพบว่านาโนซิงค์ออกไซด์ทำให้การงอกของข้าวโพดลดลง และทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญของรากข้าวโพด ซึ่งส่งผลให้เกิดการหยุดการพัฒนารากในที่สุด นอกจากนี้ยังพบการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่นๆ ได้แก่ หญ้า หัวผักกาด และเม็ดองุ่นอีกด้วย โดยปัจจัยสำคัญของความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์เป็นหลัก การยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชปรากฏชัดเจนเมื่อความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์เป็น 200 มิลลิกรัม/ลิตร โดยที่ความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์จะไม่ปรากฏผลเมื่อค่าความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่พืชได้รับมีค่าต่ำ เช่น 10 มิลลิกรัม/ลิตรสำหรับองุ่นและหญ้า และ 20 มิลลิกรัม/ลิตรสำหรับหัวผักกาด เป็นต้น โดยค่าความเป็นพิษในพืช มีดังนี้

ค่าความเป็นพิษต่อพืช

Papganous sativus (หัวผักกาด) :	IC_{50}	50 มิลลิกรัม/ลิตร
Brassica napus (องุ่น) :	IC_{50}	20 มิลลิกรัม/ลิตร
Lolium perenne (หญ้า) :	IC_{50}	20 มิลลิกรัม/ลิตร

นอกจากนี้ได้มีรายงานถึงความเป็นพิษของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อแบคทีเรียและต่อเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นภูมิคุ้มกันของมนุษย์ในระดับเบื้องต้น (T cell) เปรียบเทียบกันซึ่งดำเนินการวิจัยโดย Wang และคณะ (Wang et al., 2008) โดยพบว่าผลการศึกษาโดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ขนาดประมาณ 13 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่าซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Escherichia coli* ได้ที่ระดับความเข้มข้น ≥ 3.4 มิลลิโมล ในขณะที่การเจริญเติบโตของ *Staphylococcus aureus* ถูกยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์ที่ระดับความเข้มข้น ≥ 1 มิลลิโมล ส่วนผลการทดลองในส่วนของ T cell ของมนุษย์ พบว่าซิงค์ออกไซด์มีผลต่อ T cell ของมนุษย์เพียงเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้นเดียวกับที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษที่แตกต่างกันระหว่างระบบของแบคทีเรียและ T cell ของมนุษย์

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

ความเป็นพิษต่อเซลล์ในการศึกษาแบบ *In-Vitro* Toxicity

Jeng และ Swanson (Jeng and Swanson, 2006) ได้ศึกษาถึงความเป็นพิษของโลหะออกไซด์ที่มีขนาดในระดับนาโนกับเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยที่ความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่น้อยกว่า 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จะไม่แสดงอาการผิดปกติใดๆ ของเซลล์ ความผิดปกติของเซลล์พบได้หลังจากที่มีการได้รับซิงค์ออกไซด์ในความเข้มข้นที่มากกว่า 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยพบว่าเซลล์จะมีรูปร่างผิดปกติและหดตัว โดยบางเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงของ plasma membrane ขึ้น เมื่อความเข้มข้นมากกว่า 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จะเกิดการตายของเซลล์และเนื้อเยื่อทำให้หลุดลอกจากจานเพาะเชื้อ โดย

พบว่าความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่น้อยกว่า 25 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยมีการได้รับสาร 48 ชั่วโมงจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการรอดชีวิตของเซลล์

ในการทดสอบการทำงานของไมโตคอนเดรีย (MTT) เมื่อเทียบผลความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์เทียบกับโลหะออกไซด์ชนิดอื่นๆ พบว่าซิงค์ออกไซด์มีความเป็นพิษสูงกว่าโลหะออกไซด์ชนิดอื่นๆ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ให้มากขึ้น จะส่งผลต่อการทำงานของไมโตคอนเดรียที่ลดลง โดยเมื่อความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่เวลาการได้รับสาร 24 ชั่วโมง จะทำให้การทำหน้าที่ของไมโตคอนเดรียลดลงมากกว่าร้อยละ 80 เมื่อเทียบกับเซลล์ที่ไม่ได้รับซิงค์ออกไซด์ ในขณะที่ไม่พบความผิดปกติในการทำงานของไมโตคอนเดรียหากความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์น้อยกว่า 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

ในการทดสอบความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์กับเซลล์แบคทีเรีย *Escherichia coli* จากงานของ Brayner และคณะ (Brayner et al., 2006) โดยพบว่าหลังจากที่แบคทีเรียสัมผัสกับซิงค์ออกไซด์ จะเกิดความเสียหายที่เยื่อหุ้มเมมเบรนของเซลล์แบคทีเรียและการเกิดการรั่วของเยื่อเลือกผ่าน ทำให้การซึมผ่านของซิงค์ออกไซด์ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้นจึงเกิดการสะสมของซิงค์ออกไซด์ในเซลล์ได้โดยการเสียหายต่อเมมเบรนนี้เกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์มากกว่า $1.3x10^{-3}$ โมลาร์ ซึ่งที่ความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ที่ต่ำกว่านี้จะไม่พบความผิดปกติของเซลล์แบคทีเรียดังกล่าว

นอกจากนี้ได้มีการทดสอบความสามารถในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของโลหะออกไซด์ชนิดต่างๆ จากงานของ Jones และคณะ (Jones et al., 2008) จากการทดสอบพบว่า โลหะออกไซด์สี่ชนิด คือ แมกนีเซียมออกไซด์ ไททาเนียมไดออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ และซีเรียมออกไซด์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ไม่แสดงการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ในขณะที่อะลูมินาออกไซด์และซิงค์ออกไซด์จะแสดงการยับยั้งการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการทดลองของ Zhang และคณะ (Zhang et al., 2007) ซึ่งได้ทดสอบกับแบคทีเรีย *Escherichia coli* โดยพบว่าความสามารถในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของซิงค์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นถ้าขนาดของซิงค์ออกไซด์เล็กลง และถ้าเพิ่มความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ โดยความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์จะเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่าขนาดของซิงค์ออกไซด์ โดยซิงค์ออกไซด์ได้ทำให้เกิดความเสียหายกับผนังเมมเบรนของเซลล์โดยตรง ทำให้เซลล์ไม่สามารถทำงานได้และตายในที่สุด

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

Liu และคณะ (Liu et al., 2008) ได้รายงานถึงความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของซิงค์ออกไซด์ในระดับนาโนเมตรเมื่อทดสอบกับหนูโดยผ่านทางการหายใจ ซึ่งอาการภายหลังจากการได้รับซิงค์ออกไซด์พบว่าเกิดการอักเสบในปอดขึ้น โดยมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ผนังของเนื้อปอดเพิ่มขึ้น ทำให้ผนังเนื้อปอดหนาขึ้นในหนูทุกกลุ่มที่ได้รับซิงค์ออกไซด์ อาการอักเสบนี้รุนแรงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นในการได้รับซิงค์ออกไซด์ในปริมาณมากขึ้น นอกจากนี้การอักเสบของปอดยังทำให้หนูมีน้ำหนักลดลงและเกิดโลหิตจางร่วมด้วย Ma-Hock และคณะ (Ma-Hock and Burkhardt, 2008, Ma-Hock and Burkhardt, 2009) ได้รายงานความเป็นพิษที่เกิดจากการได้รับทางการหายใจเอาซิงค์ออกไซด์ชนิด Z-COTE HP1 ซึ่งนำไปสู่การอักเสบของปอดของหนู ซึ่ง

สังเกตุจากการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในเชื้อเสมหะ (bronchoalveolar lavage fluid) และจากการตรวจสอบอาการต่างๆ ซึ่งนำไปสู่ผลกระทบอื่นๆ ได้แก่ การทำงานผิดปกติของต่อมน้ำเหลือง การตายของเซลล์รับกลิ่นแบบ necrosis โดยอาการเหล่านี้สามารถรักษาให้กลับเป็นปกติได้ ยกเว้นความผิดปกติที่เกิดกับเซลล์เม็ดเลือดขาวในถุงลมที่ยังคงอยู่แม้ว่าจะมีการรักษาแล้วก็ตาม โดยค่าความเป็นพิษที่ได้จากงานนี้และงานวิจัยอื่นๆ (Brayner et al., 2006, Conner et al., 1986, Jeng and Swanson, 2006, Jones et al., 2008, Zhang et al., 2007) มีดังนี้

ค่าความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

rat (หนู):	LOAEC	0.55 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
guinea pig (หนูตะเภา):	LOAEL-3 hr/day	2.3 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ผลของความเป็นพิษที่ทดสอบกับหนูตะเภาซึ่งได้รับซิงค์ออกไซด์เป็นเวลต่อเนื่อง 3-6 วันในความเข้มข้น 2.3 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงกับเซลล์ neutrophils ซึ่งตอบสนองต่อการอักเสบเฉียบพลันของเม็ดเลือด และการผิดปกติของเอนไซม์ lactate dehydrogenase ในถุงลม รวมไปถึงการผิดปกติของการอักเสบเนื้อเยื่อปอด เมื่อความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์เพิ่มเป็น 7 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร จะพบการผิดปกติโดยพื้นที่ความจุของปอดลดลงการลดลงของ diffusing capacity ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในปอด รวมไปถึงการอักเสบและการบวมของปอดที่ชัดเจน

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมเข้าสู่ผิวหนัง

Gamer และคณะ และ Nohynek และคณะ (Gamer et al., 2005, Gamer et al., 2006, Nohynek et al., 2007) ได้รายงานถึงการทดสอบการดูดซึมของซิงค์ออกไซด์ โดยทดสอบกับผิวหนังของหมู พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่นำไปทดสอบบนผิวหนังหมูนั้น จะรวมอยู่ที่ผิวหนังในรูปของฟิลม์เคลือบผิวและหลุดออกได้โดยการใช้แผ่นเทปดึงซิงค์ออกไซด์ออกจากผิวหนังของหมูซึ่งหลุดออกมาในปริมาณมากและพบว่าซิงค์ออกไซด์ไม่สามารถที่จะทะลุผ่านหรือแทรกซึมไปยังหนังหมูในชั้นลึกลงไปได้ในขณะที่ Cross และคณะ (Cross et al., 2007) ได้รายงานถึงการทะลุผ่านของชั้นผิวหนังของซิงค์ออกไซด์ในครีมกันแดดโดยทดสอบกับผิวหนังคน โดยให้โอกาสการได้รับสารเป็น 24 ชั่วโมง และใช้กล้องอิเลคตรอนในการที่จะระบุตำแหน่งของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ชั้นผิวหนัง โดยพบว่าปริมาณซิงค์ออกไซด์น้อยกว่า 0.03% ของซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในการทดสอบทะลุผ่านชั้นผิวหนังที่อยู่นอกสุดได้ ในขณะที่เมื่อตรวจวัดที่ชั้นผิวหนังกำพร้าที่อยู่ลึกลงไป พบว่าไม่มีซิงค์ออกไซด์อยู่ ซึ่งยืนยันผลว่าซิงค์ออกไซด์ปริมาณน้อยมากเท่านั้นที่จะทะลุชั้นผิวหนังได้ ในขณะที่ Zvyagin และคณะ (Zvyagin et al., 2008) ได้รายงานผลตรงกันโดยใช้เครื่อง Multi Photon Microscopy (MPM) ในการถ่ายภาพร่วมกับ Scanning Electron Microscopy (SEM) และ Energy-Dispersive X-ray (EDX) ในการศึกษาการทะลุผ่านชั้นผิวหนังของซิงค์ออกไซด์ ซึ่งพบว่าซิงค์ออกไซด์จะรวมกันอยู่ที่ชั้นผิวหนังกำพร้านอกสุด และสะสมกันเป็นชั้นๆ ภายนอก ซึ่งสามารถหลุดออกจากผิวหนังได้ง่าย และไม่ทะลุหรือซึมผ่านชั้นผิวหนังกำพร้าเข้าสู่เซลล์ผิวหนังภายใน

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

Wang และคณะ (Wang et al., 2008) ได้ศึกษาถึงผลความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาด 20 และ 120 นาโนเมตรต่อหนู โดยพบว่าอวัยวะเป้าหมายของซิงค์ออกไซด์ที่ซิงค์ออกไซด์จะไปสะสมและทำให้เกิดอาการผิดปกติต่างๆ ได้แก่ ตับ หัวใจ ม้าม ตับอ่อน และกระดูก โดบพบว่าขนาดของซิงค์ออกไซด์ที่แตกต่างกันนั้นส่งผลให้เกิดความเป็นพิษที่แตกต่างกันน้อยมาก โดยการเพิ่มของเซลล์น้ำดีจะลดลงและการอักเสบของตับอ่อนจะตรวจพบเมื่อใช้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาด 20 นาโนเมตร ในขณะที่ความเสียหายต่อตับหัวใจและม้ามจะสังเกตุได้ชัดเมื่อใช้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาด 120 นาโนเมตร ซึ่งอาการเหล่านี้จะปรากฏเช่นกันเมื่อใช้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาด 20 นาโนเมตรในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงาน Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (permissible exposure limit, PEL) สำหรับซิงค์ออกไซด์ในรูปของฝุ่นเป็น 15 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และในรูปของควันไอ (fume) เป็น 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่านี้ได้นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานและการได้รับสารของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

นอกจากนี้ หน่วยงาน A committee of American Conference of Government Industrial Hygienists หรือ ACGIH ได้กำหนดค่าความเข้มข้น TWA ของซิงค์ออกไซด์ในรูปของฝุ่นเป็น 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และในรูปของควันไอเป็น 2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควันตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลังและไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุดและต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น
- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้น

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับซิงค์ไดออกไซด์ในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับซิงค์ออกไซด์ที่อาจทำให้เกิดควันไอ หรือก๊าซ ควรใช้เครื่องป้องกันการหายใจที่มีการให้อากาศช่วยหายใจมากกว่า 125 มิลลิกรัม/ลูกบาศ์กเมตร

ถ้าปฏิบัติงานกับซิงค์ไดออกไซด์ในรูปสารละลาย สามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



(a) ถุงมือ Silver Shield (b) ถุงมือ Butyl (c) ถุงมือ Viton (d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 2.7 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บรักษาสารเคมีชนิดนี้ ได้แก่

- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากน้ำมันลินซีด (linseed oil)
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารออกซิไดซ์เซอร์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเปอร์คลอเรตสาร เปอร์มังกาเนต เป็นต้น
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากแมกนีเซียม อะลูมิเนียม
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารประกอบที่มีธาตุฮาโลเจนเป็นส่วนผสม เช่น ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ เฮกซะคลอดรอีเทน ซิงค์คลอไรด์ เป็นต้น
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากยาง (rubber)
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากกรด

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

สารนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่ไม่ลุกติดไฟ และไม่เป็นสารที่ระเบิดได้ โดยสารชนิดนี้เมื่อได้รับความร้อนสูงมากกว่า 1300 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นไอของซิงค์ออกไซด์ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซพิษได้ในการระงับภัยจึงต้องสวมชุดคลุมป้องกันการหายใจ สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันการได้รับทางปาก และชุดที่ป้องกันการระคายเคืองผิวหนัง

สารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยเมื่อเกิดไฟไหม้ ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารนาโนซิงค์ออกไซด์จัดเป็นสารอันตรายตามข้อกำหนดของ U.S. EPA ตามที่ปรากฏในเอกสารตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) ทำให้ต้องกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว รวมถึงภาชนะบรรจุในรูปของของเสียอันตราย ซึ่งต้องมีการกำจัดด้วยวิธีเฉพาะและโดยผู้ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ NanoActive® Zinc Oxide

(แสดงในภาคผนวก ก.2)

NanoScale

Material Safety Data Sheet **NanoActive® Zinc Oxide** MSDS-0005.5

1. PRODUCT AND MANUFACTURER IDENTIFICATION

Product names:
NanoActive® Zinc Oxide

Manufacturer:
NanoScale Corporation
1310 Research Park Drive
Manhattan, KS 66502
(785) 537-0179

Product Information:
(785) 537-0179
24-Hour Chemtrec Emergency Number:
U.S. (800) 424-9300
International (703) 527-3887

2. CHEMICAL COMPOSITION AND EXPOSURE LIMITS

Component	CAS Number:	OSHA PEL:	ACGIH TLV:
Zinc oxide	1314-13-2	15 mg/m^3 dust	10 mg/m^3 dust

3. HAZARD IDENTIFICATION AND EMERGENCY OVERVIEW

Appearance and odor: Odorless, white powder.

Routes of Exposure: Eye and skin contact inhalation, ingestion.

Eye Contact: May cause moderate irritation.
Skin Contact: May cause skin irritation.
Inhalation: Zinc oxide dust is considered to be of low toxicity and is classified as a nuisance particulate by the ACGIH. May cause irritation.
Ingestion: May cause gastrointestinal irritation with nausea, vomiting and diarrhea.

Acute health hazards: Inhalation of dust may cause irritation of mucus membranes and the upper respiratory tract.

Chronic Health Effects: Prolonged and repeated exposure to skin may cause irritation or dermatitis.

Carcinogen status: NTP: No, **IARC:** No, **OSHA:** No

Issue Date: 4/9/02
Revision Date: 02/27/09

Page 1 of 4

6.2 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ – Zinvisible

(แสดงในภาคผนวก ก.2)

HORSEHEAD CORPORATION

Leading the World in Zinc Recycling

MSDS FOR NANO-FINE ZINC OXIDE: ZINVISIBLE™ ZC-X035

SECTION I - GENERAL INFORMATION

NAME: ZINC OXIDE

MANUFACTURER:
HORSEHEAD CORPORATION
300 Frankfort Road
Monaca, PA 15061
724-774-1020

TRANSPORTATION EMERGENCY:
CHEMTREC: 800-424-9300

CHEMICAL FAMILY: Nonferrous Metal Oxide **CAS NO.:** 1314-13-2

FORMULA: ZnO

DOT HAZARD CLASS: Not listed **UN NO.:** NAIF* **NA NO.:** NAIF*

SARA SECTION 313: This product is subject to the reporting requirements of Section 313 of Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act and 40 CFR 372. The materials underlined below are present in quantities above the applicable deminimis concentrations and are listed as Toxic Chemicals in 40 CFR 372.65.

ISSUE DATE: 1/11/01 **REVISION DATE:** 1/18/05

* NAIF - No applicable information found.

SECTION II - INGREDIENTS

MATERIAL	CAS NO.	%
ZINC OXIDE	1314-13-2	99.9
LEAD	7439-92-1	0.0021 max
CADMIUM	7440-43-9	0.0017 max

LEAD AND CADMIUM ARE INHERENT IN THE MANUFACTURE OF ZINC AND ARE NOT PHYSICALLY ADDED IN THE MANUFACTURE OF ZINC OXIDE.

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Auer G, Griebler WD, Jahn B. Industrial Inorganic Pigments, 3rd ed., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005.

Brahms J, Mattai J, Jacoby R, Chopra S, Guenin E. Dry deodorant containing a sesquiterpene alcohol and zinc oxide, U.S. Patent 20050191257 (2005).

Brayner R, Ferrari-Iliou R, Brivois N, Djediat S, Benedetti MF, Fievet F, Nano Lett 4 (2006) 866.

Cheng H, Xu XJ, Hng HH, Ma J, Ceram Int 35 (2009) 3067.

Conner MW, Flood WH, Rogers AE, Amdur MO, Microbeam Analysis 21 (1986) 589.

Conradi M, Depledge MH, Marine Ecology-Progress Series, 176 (1999) 131.

Cross SE, Innes B, Roberts MS, Tsuzuki T, Robertson TA, McCormick P, Skin Pharmacol Physiol 20 (2007) 148.

Czekalla C, Lenzner J, Rahm A, Nobis T, Grundmann M, Superlattices Microstruct 41 (2007) 347.

Dai LP, Deng H, Mao FY, Zang JD, J Mater Sci Mater Electron 19 (2008) 727.

De Graaf TP, Galley E, Butcher KE, Use of an antimicrobial agent, European Patent EP1079799 (1999).

Ellmer K, Klein A, Rech B, Transparent Conductive Zinc Oxide, Springer, New York, 2008.

Franklin NM, Rogers NJ, Apte SC, Batley GE, Gadd GE, Casey PS, Environ Sci Technol 41 (2007) 8484.

Gamer AO, Leibold E, van Ravenzwaay B, Study of the penetration of zinc through dematomed pig skin in vitro after treatment with a microfine zinc oxide containing formulation (Emulsion mit Z-Cote (Zinkoxid), 10%) BASF Report No. 52H0546/032193, 2005.

Gamer AO, Leibold E, van Ravenzwaay B, Toxicol In Vitro 20 (2006) 301.

Heinlaan M, Ivask A, Blinova I, Dubourguier HC, Kahru A, Chemosphere 71 (2008) 1308.

Jacobs K, Schulz D, Klimm D, Ganschow S, Solid State Sci 12 (2010) 307.

Janotti A, Van de Walle, CG, Rep ProgPhys 72 (2009) 126501.

Jeng HA, Swanson J, J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng 41 (2006) 2699.

Jones N, Ray B, Ranjit KT, Manna AC, FEMS Microbiology Lettrs 279 (2008) 71.

Zhu X, Zhu L, Duan Z, Qi R, Li Y, Lang Y, J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng 15 (2008) 278.

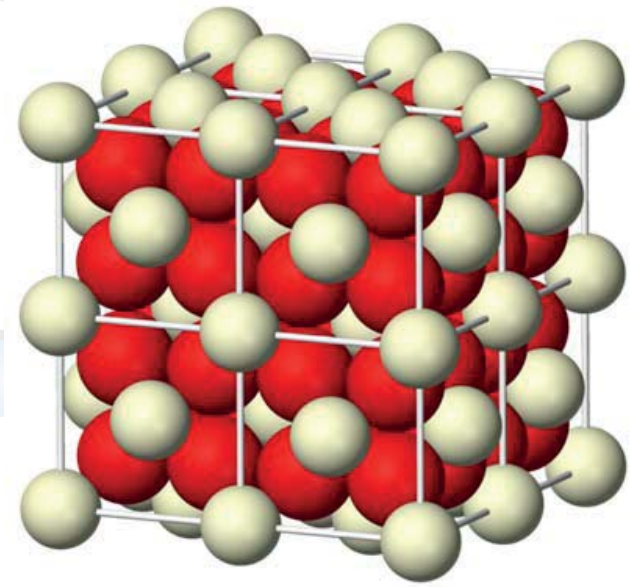
Zvyagin AV, Zhao X, Gierden A, Sanchez W, Ross JA, Roberts MS, J Biomed Opt13 (2008) 064031.

บทที่ 3
วัสดุนาโนซีเรียมออกไซด์ (CeO_2)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อ	cerium oxide , cerium (VI) dioxide, ceric oxide, ceria
CAS number	1306-38-3
สูตรโมเลกุล	CeO_2
น้ำหนักโมเลกุล	172.11 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	7.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	2400 °C
จุดเดือด	3500 °C
ลักษณะทั่วไป	ผงสีเหลืองซีด
	ซีเรียมออกไซด์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นสีน้ำตาล
	สารไม่ละลายน้ำ (water insoluble)
	สารไม่ลุกติดไฟ (Non-flammable)
	ลักษณะโครงสร้าง

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของซีเรียมออกไซด์ (CeO_2)

(ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ceria-3D-ionic.png)

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

ลักษณะสมบัติเฉพาะที่สำคัญของซีเรียมออกไซด์คือ สารที่ทนความร้อนได้สูง มีออกซิเจนในโครงสร้างผลึกและสามารถถ่ายเทออกซิเจนออกไปสู่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ง่าย (high oxygen ion conductivity) ที่อุณหภูมิประมาณ 500-800 องศาเซลเซียส ซีเรียมออกไซด์จึงเป็นที่รู้จักในฐานะเป็นสารเชื้อเพลิงในรูปของแข็ง (solid oxide fuel cell, SOFC) ซีเรียมออกไซด์จึงสามารถให้ออกซิเจนกับปฏิกิริยาเผาไหม้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Deshpande et al., 2005)

จากการที่ผลึกโครงสร้างของซีเรียมออกไซด์เป็นโครงสร้างในรูปแบบของ fluorite ทำให้อะตอมของออกซิเจนอยู่ในทุกระนาบของโครงสร้างผลึก จึงทำให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้เกิดช่องว่างของอะตอมออกซิเจนเกิดขึ้นในโครงสร้างที่จะสามารถหมุนเวียนออกซิเจนไปตามช่องว่างต่างๆ และนำไปใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี โดยซีเรียมออกไซด์สามารถถูกรีดิวซ์กลายเป็นซีเรียมออกไซด์ที่มีเลขออกซิเดชันเป็น 3+ ได้ ซึ่งทำให้ขนาดของซีเรียมออกไซด์มีขนาดเล็กลงในระดับนาโนได้จากลักษณะสมบัติเฉพาะดังกล่าวของซีเรียมออกไซด์ จึงได้มีการนำซีเรียมออกไซด์นำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เซลล์เชื้อเพลิง และสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ในการใช้งานอุตสาหกรรม (Deshpande et al., 2005)

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมกระจกและเลนส์** ซีเรียมออกไซด์นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของแก้วโดยซีเรียมออกไซด์จะช่วยในการป้องกันการได้รับแสงมากเกินไปเข้าสู่แก้ว (solarization) รวมทั้งป้องกันไม่ให้เกิดการซีดของสีบนเลนส์หรือกระจกอีกด้วย นอกจากนี้ซีเรียมออกไซด์นิยมใช้ในการเป็นสารขัดเงา (Polishing agent) สำหรับกระจก แก้ว และเลนส์อีกด้วย (Kilbourn, 2003, Limbach et al., 2008)
- **อุตสาหกรรมน้ำมัน** ซีเรียมออกไซด์นิยมใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยอากาศเสียของเครื่องยนต์สำหรับยานพาหนะ โดยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำมันดีเซล ในปัจจุบันน้ำมันรถที่ใช้กันมากมาจากถ่านหิน การเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอนเพื่อให้ได้พลังงานจากน้ำมันจะทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำด้วย แต่หากเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดอากาศเสียทั้งจากสารโฮโดรคาร์บอนและเขม่าทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ (Wakefield et al., 2008, Ertl et al., 1990, Stern et al., 1984)

ซีเรียมออกไซด์เป็นสารที่สามารถเก็บและให้ออกซิเจนจากโครงสร้างผลึกให้กับปฏิกิริยาการเผาไหม้ โดยซีเรียมออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในการเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันทำให้เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จึงช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และทำให้ลดมลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์ได้ (HEI, 2001) โดยได้มีงานวิจัยที่แสดงว่าการใช้ซีเรียมออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 20 ถึง 100 มิลลิกรัม/ลิตรในน้ำมัน จะทำให้ลดปริมาณฝุ่นเขม่าที่ออกมามากกว่าร้อยละ 90 โดยใช้ร่วมกับเครื่องกรองฝุ่น (Limbach et al., 2008) และได้มีงานวิจัยยืนยันผลว่าการใช้อนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ในน้ำมันจะทำให้ลดความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ และลดการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน

(NO_x) และทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ยาวนาน ทำให้ลดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอนถึงร้อยละ 15 และทำให้ประหยัดน้ำมันไปร้อยละ 5-9 (Logothetidis, 2003) จากลักษณะที่สำคัญนี้ได้ทำให้มีการใช้สารนาโนซีเรียมในน้ำมัน โดยในประเทศอังกฤษได้ใช้ซีเรียมออกไซด์เป็นสารเติมแต่งน้ำมันภายใต้ชื่อ Envirox™ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันได้มากกว่าร้อยละ 6 รวมทั้งจากการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของน้ำมันดีเซลพบว่าซีเรียมออกไซด์สามารถลดผลกระทบอย่างมากเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไป (HEI, 2001) อนุภาคนาโนซีเรียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการเผาไหม้จึงเรียกว่า combustion-drived nanoparticles (CDNP)

อย่างไรก็ดีจากการที่ซีเรียมออกไซด์เป็นสารที่มีขนาดเล็กและหากใช้ในสารนี้ในขนาดระดับนาโนจะทำให้เกิดการปลดปล่อยอนุภาคนาโนขึ้นในรูปของฝุ่นทั้งในส่วนที่เป็นฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.5 (PM2.5) และ 10 ไมครอน (PM10) (Pope et al., 1999) ซึ่งฝุ่นเหล่านี้จัดได้ว่าเป็นปัญหาต่อสุขภาพที่สำคัญซึ่งทำให้ต้องมีการศึกษาความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซีเรียมไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาซึ่งผลของความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ในรูป CDNP นั้น ส่วนใหญ่ยังอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย (Ray et al., 2009)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

การได้รับซีเรียมออกไซด์เข้าสู่ร่างกายมีเพียงสองทางหลัก คือ การได้รับทางปาก และการได้รับทางการหายใจ โดยการได้รับทางปากนั้น เมื่อซีเรียมออกไซด์ผ่านระบบทางเดินอาหาร จะเกิดการดูดซับในระบบทางเดินอาหารและในลำไส้เกิดขึ้นต่ำมาก ซีเรียมออกไซด์จึงถูกขับออกทางปัสสาวะหากมีการได้รับทางปาก (Limbach et al., 2005) เส้นทางการได้รับพิษที่สำคัญของซีเรียมออกไซด์เข้าสู่ร่างกายมนุษย์จึงมีเพียงการหายใจเท่านั้น ในขณะที่การได้รับซีเรียมออกไซด์ในเส้นทางปากและผิวหนังนั้นจะถูกขับออกจากร่างกายและมีผลของความเป็นพิษต่ำ ไม่ว่าอย่างไรก็ตามผู้ปฏิบัติงานควรมีการระมัดระวังในการปฏิบัติงานไม่ให้มีการได้รับซีเรียมออกไซด์เข้าสู่ร่างกายไม่ว่าจะเป็นเส้นทางใดก็ตาม

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับซีเรียมออกไซด์เกิดขึ้นได้ในขณะทำงานเป็นหลัก โดยรับผ่านการหายใจเข้าสู่ร่างกาย

อาการที่ได้รับสาร – ระคายเคืองทางเดินหายใจ อาจมีอาการไอ จาม คัดจมูก หายใจลำบาก โดยซีเรียมออกไซด์อาจเข้าสู่ปอดได้ หากได้รับสารชนิดนี้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนานจะทำให้เกิดปอดอักเสบ (pneumonitis) เนื่องจากปอดเต็มไปด้วยฝุ่นผง (pneumoconiosis) และหายใจได้น้อยลง

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับทางปากเกิดขึ้นได้หากมีหายใจเอาผงของซีเรียมออกไซด์เข้าสู่ร่างกายผ่านทั้งทางจมูกและปากขณะปฏิบัติงาน

อาการที่ได้รับสาร – ทำให้เกิดการระคายเคืองในระบบทางเดินอาหาร อาเจียนและท้องเสีย

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของผงซีเรียมออกไซด์

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังอาจเกิดการระคายเคืองมีผื่นขึ้น เกิดอาการอักเสบทางผิวหนังได้

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของผงซีเรียมออกไซด์อาจสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตา

อาการที่ได้รับสาร – ถ้าเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับสารซีเรียมออกไซด์ทางการหายใจ ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธ์ ให้สังเกตุอาการที่เกิดขึ้นขณะหายใจ ถ้ามีการไอหรือหายใจลำบากอาจมีการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ สามารถใช้เครื่องช่วยหายใจได้ และนำส่งแพทย์

หากได้รับสารซีเรียมออกไซด์ทางปากซึ่งอาจมาจากการได้รับผงของซีเรียมออกไซด์ขณะปฏิบัติงาน การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีสติทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด และการดื่มน้ำสะอาดในปริมาณมากๆ หรือดื่มนม 1 ถึง 2 แก้วตามไปเพื่อให้เกิดการอาเจียนเอาสารเคมีออกมา และให้นำส่งแพทย์ แต่หากผู้ป่วยไม่มีสติห้ามให้น้ำหรือสิ่งอื่นใดเข้าปาก ให้นำส่งแพทย์

การได้รับสารซีเรียมออกไซด์ทางผิวหนัง ให้แกะผ้าหรือถอดผ้าในบริเวณผิวหนังที่ได้รับการปนเปื้อนออก ล้างผิวหนังด้วยน้ำเปล่าและสบู่ในบริเวณที่สัมผัสเป็นเวลานานอย่างน้อย 15 นาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง หากมีอาการระคายเคือง หรือผื่นขึ้นต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากสารซีเรียมออกไซด์เข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเกิดการระคายเคือง เจ็บปวด หรือบวม หรือแพ้แสง ให้นำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

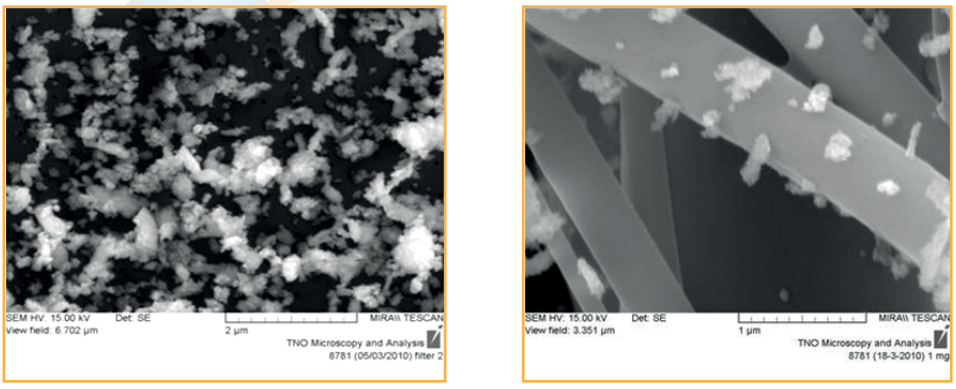
4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์จากการทดสอบของ OECD

4.1.1 ชนิดของซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์ได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากประเทศอังกฤษ (United Kingdom/BIAC) และประเทศอเมริกาเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก และมีสมาชิกจากประเทศที่สนับสนุนร่วมการวิจัยได้แก่ ออสเตรเลีย เนเธอร์แลนด์และสเปน โดยได้ร่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์ ซึ่งได้กำหนดชนิดของซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษเป็นสารซีเรียมออกไซด์ที่มี CAS 1306-38-3 จำนวนสองชนิด ได้แก่ ซีเรียมออกไซด์ขนาด 10 นาโนเมตร จาก Anaria และซีเรียมออกไซด์ขนาด 50-70 นาโนเมตรจาก UMICORE นอกจากนี้ซีเรียมออกไซด์ที่เป็นลักษณะก้อนอนุภาคนาโนซึ่งมีขนาดเป็นไมโครเมตรมาจาก Sigma-Aldrich ในส่วนของประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นประเทศหลักประเทศหนึ่งในการทดสอบความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์ ได้กำหนดใช้ซีเรียมออกไซด์ที่มาจากผู้ผลิตประเทศสหรัฐอเมริกาโดยตรง ชนิดและลักษณะของซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (OECD, 2011) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และลักษณะของอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์บางชนิดจากเครื่อง Transmission Electron Microscopy แสดงในรูปที่ 3.2

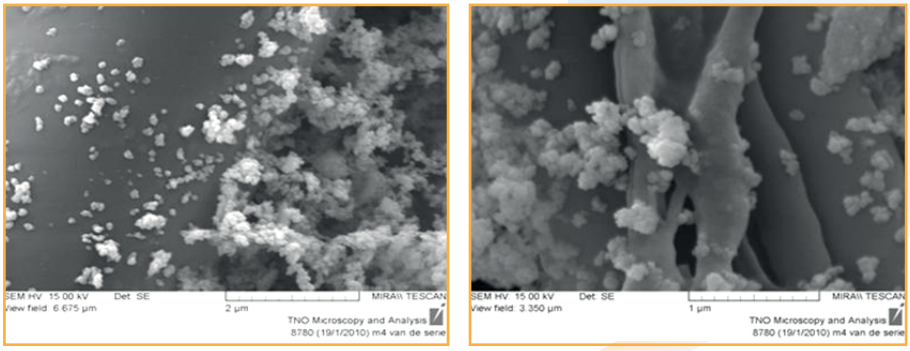
ตารางที่ 3.1 ชนิดและลักษณะของซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (NIA, 2010a, 2010b)

กลุ่มสาร	สารทดสอบ		
ชนิด	CeO_2	CeO_2	CeO_2
OECD code	NM 211	NM 212	NM 213
บริษัทผู้ผลิต	Antaria	UMICORE	Sigma-Aldrich
ขนาดอนุภาค	10นาโนเมตร	50-70 นาโนเมตร	ขนาดไมโครเมตร

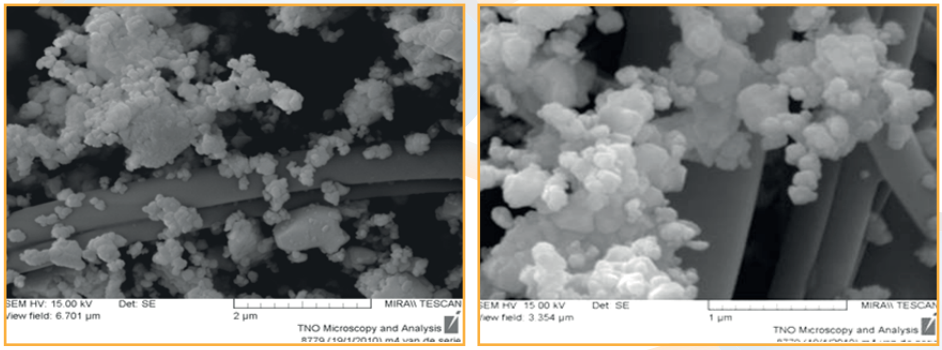


(ก) ซีเรียมออกไซด์ NM 211 จาก Antaria

รูปที่ 3.2 ลักษณะผลึกของซีเรียมออกไซด์ที่นำมาใช้เป็นสารทดสอบมาตรฐาน (NIA, 2010a)



(ข) ซีเรียมออกไซด์ NM 212 จาก UMICORE



(ค) ซีเรียมออกไซด์ NM 213 จาก Sigma-Aldrich

รูปที่ 3.2 (*ต่อ*) ลักษณะผลึกของซีเรียมออกไซด์ที่นำมาใช้เป็นสารทดสอบมาตรฐาน (NIA, 2010a)

ลักษณะพฤติกรรมการกระจายในสิ่งแวดล้อม

นักวิจัยจากประเทศสเปน (NIA, 2010b) ได้วัดลักษณะสมบัติพื้นฐานของอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ทั้งสามชนิด คือ NM-211, NM-212 และ NM-213 พบว่าในการกระจายตัวของขนาดอนุภาคนั้น NM-213 มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นสูงขึ้น โดยพื้นที่ผิวของอนุภาคทั้งสามชนิดเป็น 69, 26 และ 9 ตารางเมตร/กรัมตามลำดับ ในส่วนของค่า zeta potential สารนาโนซีเรียมออกไซด์ชนิด NM-211 และ NM-213 ในน้ำมีค่าเป็นลบ โดยเมื่อรวมกันเป็นก้อนจะไม่เสถียรคงตัว ในขณะที่ NM-212 แสดงค่าเป็นลบที่ความเข้มข้นต่ำ และแสดงค่าเป็นบวกที่ความเข้มข้นสูง โดยอนุภาคนี้จะมีความเสถียรภาพสูง และรวมตัวเป็นก้อนได้ดีที่ความเข้มข้นมากกว่า 50 มิลลกรัม/ลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นต่ำกว่าค่านี้ความเสถียรของอนุภาคเมื่อรวมตัวกันจะลดลง

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

จากการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ด้วยวิธี OECD 202, 2004 โดยทดสอบกับไรน้ำ *Daphnia magna* และสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* (NIA, 2010b) ไม่พบการตายของไรน้ำในลักษณะของพิษเฉียบพลันเมื่อให้ไรน้ำได้รับสารซีเรียมออกไซด์ทั้งสามชนิด คือ NM-211, NM-212 และ NM-213 ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง แต่เมื่อระยะเวลาการได้รับสารนานขึ้นเป็น 48 ชั่วโมง สารทั้งสามชนิดจะแสดงความเป็นพิษที่ต่างกัน ดังนี้

ความเป็นพิษของอนุภาคนาโนในซีเรียมออกไซด์ NM-211

EC_{50}	1813.52	มิลลิกรัม/ลิตร
EC_{10}	400.16	มิลลิกรัม/ลิตร

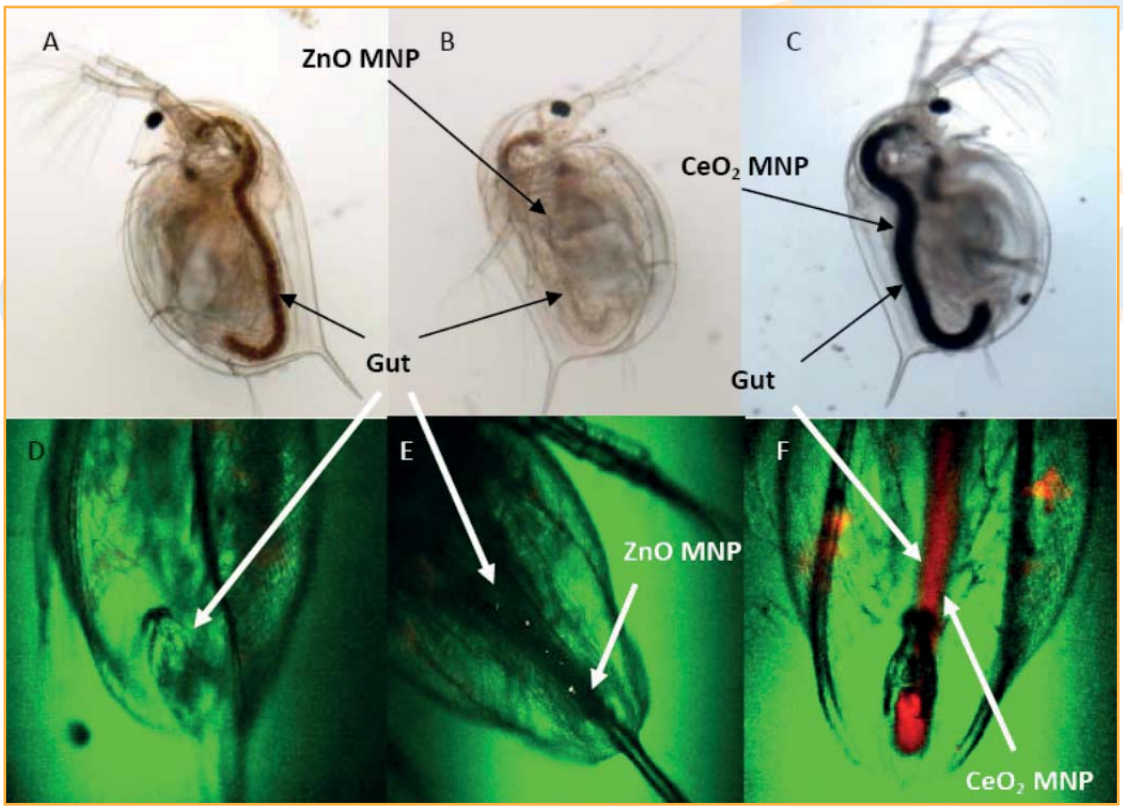
ความเป็นพิษของอนุภาคนาโนในซีเรียมออกไซด์ NM-212

EC_{50}	1059.63	มิลลิกรัม/ลิตร
EC_{10}	546.91	มิลลิกรัม/ลิตร

ความเป็นพิษของอนุภาคนาโนในซีเรียมออกไซด์ NM-213

EC_{50}	1333.75	มิลลิกรัม/ลิตร
EC_{10}	731.31	มิลลิกรัม/ลิตร

โดยความเป็นพิษของสารซีเรียมออกไซด์ชนิด NM-211 และ NM-213 ไม่แสดงผลต่อปลาม้าลาย *Danio rerio* ในขณะที่นักวิจัยจากประเทศอังกฤษได้รายงานไว้ในเอกสารของ Nanotechnology Industries Association ซึ่งได้ดำเนินการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และซีเรียมออกไซด์ รายงานต่อ OECD โดยใช้ไรน้ำเป็นสัตว์ทดสอบ พบว่าไรน้ำได้กลืนกินอนุภาคซิงค์ออกไซด์ และซีเรียมออกไซด์เข้าไป ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพของไรน้ำจากการถ่ายภาพโดยใช้ optical light microscope และ CARs โดย (A) และ (D) เป็นไรน้ำที่ไม่ได้รับซิงค์ออกไซด์, (B) และ (E)ไรน้ำที่ได้รับซิงค์ออกไซด์ในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นเวลา 48 ชั่วโมง, และ (C) และ (F) ไรน้ำที่ได้รับซีเรียมออกไซด์ในปริมาณ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จากรายงานของ Nanotechnology Industries Association ประเทศอังกฤษ (NIA, 2010b)

โดยพบว่าการได้รับอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์แบบเฉียบพลันเป็นเวลา 48 ชั่วโมงจะไม่ส่งผลลบต่อการตายของไรน้ำจืด แม้ว่าไรน้ำจืดจะได้รับอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ในประมาณมากก็ตาม โดยความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์ที่ทำให้เกิดการตายของไรน้ำจะเกิดขึ้นหากไรน้ำได้รับซีเรียมออกไซด์ที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนมากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

นักวิจัยประเทศสเปนได้ทดสอบความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์โดยใช้วิธี MTT assay (NIA, 2010b) โดยพบว่าเมื่อ H4IIE cell line ได้รับสารซีเรียมออกไซด์ชนิด NM-211 และ NM-212 เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะทำให้เกลือ tetrazolium เปลี่ยนเป็น formazan ซึ่งแสดงถึงการลดลงของการทำงานของไมโตคอนเดรีย เมื่อความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดมากกว่า 6.25 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่ NM-213 ซึ่งเป็นก้อนอนุภาคนาโนไม่ส่งผลใดๆ ต่อการทำงานของไมโตคอนเดรียเมื่อได้รับสารชนิดนี้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่เมื่อทดลองให้ H4IIE cell line ได้รับสารนานขึ้นมากกว่า 72 ชั่วโมง พบว่าสารซีเรียมออกไซด์ทั้งสามชนิดส่งผลทางลบต่อการทำงานของไมโตคอนเดรียแม้ว่าจะได้รับสารในความเข้มข้นต่ำถึง 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่การทดสอบความเป็นพิษต่อ RTG-2 cell line สารทั้งสามชนิดไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อการทำงานของไมโตคอนเดรียเลย โดยซีเรียมออกไซด์จะส่งผลให้เกิดการทำลายเซลล์ด้วยอนุมูลอิสระ และเกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับไขมัน ซึ่งทำให้เกิดควาเป็นพิษกับเซลล์ ส่วนผลจาก NRR assay พบว่าสารทั้งสามชนิดไม่ส่งผลกระทบต่อ cell line ทั้งสองชนิดเช่นกัน

ในการทดสอบ LDH assay โดยวัดเอนไซม์ lactate dyhydrogenase เปรียบเทียบระหว่างในเซลล์และในตัวกลางซึ่งมาจากการรั่วของเซลล์ พบว่าการรั่วของเซลล์เกิดขึ้นเมื่อเซลล์ได้รับสารซีเรียมออกไซด์ในปริมาณสูง เช่น ในกรณีของ RTG-2 cell line ซึ่งได้รับสารซีเรียมออกไซด์ NM-211 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เป็นต้น ซึ่งแสดงถึงความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์ที่มีต่อเซลล์ (NIA, 2010b)

การทดสอบความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์ในกลุ่มวิจัยของ OECD มักมุ่งเน้นไปในส่วนของการได้รับทางการหายใจเป็นหลัก ทั้งนี้จากรายงานของคณะผู้วิจัย Prospect ของประเทศอังกฤษ ได้ระบุว่าการได้รับซีเรียมออกไซด์เข้าสู่ร่างกายมีเพียงสองทางหลัก คือ การได้รับทางปาก และการได้รับทางการหายใจ โดยการได้รับทางปากนั้นซีเรียมออกไซด์เมื่อผ่านระบบทางเดินอาหาร การดูดซับในระบบทางเดินอาหาร ในลำไส้เกิดขึ้นต่ำมาก ซีเรียมออกไซด์จึงถูกขับออกทางปัสสาวะหากมีการได้รับทางปาก (Limbach et al., 2005) เส้นทางการได้รับพิษที่สำคัญของซีเรียมออกไซด์เข้าสู่ร่างกายมนุษย์จึงมีเพียงการหายใจเท่านั้น งานวิจัยในส่วนของความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์จึงมักมุ่งเป้าไปยังการได้รับทางการหายใจ

นักวิจัยจากประเทศเนเธอร์แลนด์ได้ทดสอบความเป็นพิษการได้รับซีเรียมออกไซด์จากน้ำมันดีเซลผ่านการหายใจ โดยทดสอบกับหนู (Wistar rat) เป็นเวลา 28 วัน โดยใช้ซีเรียมออกไซด์ทั้ง 3 ชนิด คือ NM-211, NM-212 และ NM-213 ซึ่งพบว่าเมื่อให้ซีเรียมออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดการอักเสบระบบทางเดินหายใจ และเกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ โดยอาการอักเสบเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 สัปดาห์หลังจากการได้รับอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ (NIA, 2010b)

จากงานวิจัยของนักวิจัยในกลุ่ม NanoCare ประเทศเยอรมัน (NIA, 2010b) ได้ทดสอบอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ทั้งแบบ *in vivo* และ *in vitro* โดยใช้ cell lines หลายชนิด ในการทดสอบแบบ *in vivo* ของซีเรียมออกไซด์กับ A549 cell line ซึ่งเป็นเซลล์จากถุงลมของมนุษย์และ RAW 264.7cell line ซึ่งเป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวของหนู (mouse) และใช้ซีเรียมออกไซด์ที่แตกต่างกันในส่วนของขนาดและมีค่าพีเอชแตกต่างกันในการทดสอบความเป็นพิษ จากรายงานพบว่าเมื่อเซลล์ได้รับซีเรียมออกไซด์จะทำให้เมตาบอลิซึมลดลง โดยพบอัตราการรอดชีวิตลดลงโดยการทดสอบ LD Hassay อนุภาคนาโนซีเรียมไดออกไซด์ที่มีขนาด 14 นาโนเมตร พีเอช 3.4 มีการรั่วของ LDH เมื่อให้ A549 cell line ได้รับสารซีเรียมออกไซด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ค่าความเป็นพิษ ดังนี้ (NIA, 2010b)

LOELs -24 ชั่วโมง 25 ไมโครกรัม/ตารางเมตร

จากการทดสอบกับ A549 cell line โดยการวัดการเกิดของอนุมูลอิสระ ROS ภายในเซลล์ โดยตรวจสอบจากการเรืองแสงเพิ่มของสาร dichlorofluorescein (DCF) พบว่าค่าความเป็นพิษที่เกิดขึ้นภายหลังจากการได้รับสารเป็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็น

LOEL –1 ชั่วโมง 6.25 ไมโครกรัม/ตารางเมตร

จากการวัดปริมาณของ glutathione disulphide (GSSG) ที่เกิดขึ้นภายหลังที่เซลล์ได้รับซีเรียมออกไซด์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าเกิดการลดของ GSSG เกิดขึ้นเมื่อใช้ซีเรียมออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาค 20 นาโนเมตร ซึ่งมีพีเอชเป็น 5.4 ในปริมาณ 5 ไมโครกรัม/ตารางเมตร

นอกจากนี้ได้มีการนำซีเรียมออกไซด์ 5 ชนิดที่มีขนาดในช่วง 14-20 นาโนเมตร ซึ่งมีพีเอชอยู่ที่ 3.4 และ 5.4-6.2 มาทดสอบกับ cell line ได้แก่ A549, CaCo2, HaCaT, MDCK, MDCK II, NIH3T3, NRK52E, RAW 267.4, RLE-6TN, CaLu3 และ T84 และใช้ปริมาณที่แตกต่างกันในช่วง 0.01-10ไมโครกรัม/ตารางเมตร ทดสอบความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์ทั้ง 5 ชนิด (NIA, 2010b) โดยพบว่าซีเรียมออกไซด์ทั้งหมดที่ใช้ไม่ทำให้การทำงานของเมตาบอลิซึม (metabolism) ลดลงเมื่อเซลล์ได้รับสารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในส่วนของการเกิดอนุมูลอิสระ ROS พบว่ามีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นหลังจากการได้รับสารไปแล้ว 1 ชั่วโมงที่ปริมาณ 10 ไมโครกรัม/ตารางเมตร

ในการทดสอบแบบ *in vitro* โดยใช้เซลล์บุถุงลมที่เป็นเซลล์มาโครฟาจ (alveolar macrophages) ในการศึกษาความเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ (NIA, 2010b) โดยการล้างเซลล์มาโครฟาจออกจากปอดของสัตว์ที่สุขภาพแข็งแรงและตรวจสภาพความเป็นพิษที่เกิดขึ้นเมื่อมีการได้รับอนุภาคนาโน โดยในการทดสอบได้มีการล้างเม็ดเลือดขาวจากปอดของหนูตะเภา และนำมาเลี้ยงไว้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MEM ก่อนที่จะให้ได้รับสารซีเรียมออกไซด์ในปริมาณต่างๆ โดยพบว่าหลังจากให้มีการรับซีเรียมออกไซด์เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เซลล์จะถูกทำลายจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากสาร horbol 12-myristate 13-acetate หรือ PMA และพบการปลดปล่อยของ glucuronidase ซึ่งบ่งบอกว่า phagolysosome ของเซลล์ได้ถูกทำลายไป

ในการทดสอบความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์ในภาพรวม พบว่าความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเพิ่มขึ้นมากกว่า 60 พิโคกรัม/เซลล์ โดยมีรายละเอียด คือ การปลดปล่อย LDH ของเซลล์จะเกิดขึ้นเมื่อได้รับอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ขนาด 14 นาโนเมตรที่มีพีเอช 6.2

ในปริมาณ 15-30 พิโคกรัม/เซลล์ และหากมีการเจืออนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ด้วยอะลูมิเนียมสำหรับอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ขนาด 14 นาโนเมตรที่มีพีเอช 3.4 จะเกิดการปลดปล่อยของ LDH จากเซลล์เมื่อได้รับอนุภาคนาโนในปริมาณ 30 พิโคกรัม/เซลล์ (NIA, 2010b)

ในส่วนของการปลดปล่อยเอนไซม์ glucuronidase จะเกิดขึ้นกับเซลล์เมื่อได้รับอนุภาคซีเรียมออกไซด์ทุกชนิดที่ทดสอบ โดยมีค่า LOEL ของอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ที่มีขนาด 14 นาโนเมตรเป็น 60 พิโคกรัม/เซลล์ ในขณะที่อนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ที่มีขนาด 14 นาโนเมตร พีเอช 6.2 จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TNFα โดยมีค่า LOEL เป็น 15 พิโคกรัมต่อเซลล์ (NIA, 2010b)

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของซีเรียมออกไซด์จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ความเป็นพิษที่มีต่อสัตว์น้ำ

Park และคณะ (Park et al., 2008) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ที่มีต่อไรน้ำจืด *Daphnia magna* พบว่าอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตวน้ำชนิดนี้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ OECD โดยพบว่าอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ในความเข้มข้นที่สูงมากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร จึงจะเห็นผลลบที่เกิดต่อไรน้ำได้

ความเป็นพิษที่มีต่อพืช

Zhang และคณะ (Zhang et al., 2011) ได้รายงานถึงการดูดซึมของอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ขนาด 7 และ 25 นาโนเมตรเข้าสู่รากและลำต้นของแตงกวา โดยพบว่าหากเพิ่มปริมาณของอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์มากขึ้น การตกค้างของอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยจากขนาดที่เล็กของอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ที่ 7 นาโนเมตรทำให้พบอนุภาคขนาดนี้ในปริมาณที่มากกว่าอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์ 25 นาโนเมตรในรากและลำต้นอย่างเห็นได้ชัด โดยอนุภาคนาโนอาจเคลื่อนที่ไปพร้อมกับการลำเลียงน้ำตามท่อน้ำของพืชทำให้ตรวจพบอนุภาคนาโนในใบของต้นแตงกวา ซึ่งการตกค้างของอนุภาคนาโนในพืชอาหารนี้เป็นทางหนึ่งที่ทำให้มนุษย์ได้รับอนุภาคนาโนเข้าสู่ร่างกายได้

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

จากการที่เส้นทางหลักในการได้รับอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์เป็นการได้รับจากทางหายใจ โดยการได้รับสารนี้ในเส้นทางอื่นๆ และแสดงความเป็นพิษนั้นต่ำมาก งานวิจัยในด้านความเป็นพิษต่อเซลล์ของอนุภาคซีเรียมออกไซด์จึงมักมุ่งเป้าไปที่การศึกษาความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจเป็นหลัก และจากการที่อนุภาคนาโนชนิดนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้เครื่องยนต์ ซึ่งมีโอกาสที่จะถูกปลดปล่อยมากับเขม่าหรือควันของรถยนต์ในรูปของฝุ่นที่มีขนาดเล็ก (Prospect, 2010) งานวิจัยหลายเรื่องจึงได้รายงานในประเด็นต่างๆ ดังนี้

การปลดปล่อยอนุภาคนาโนซีเรียมออกไซด์จากเครื่องยนต์ ได้ถูกรายงานไว้ในงานวิจัยโดยระบุถึงปริมาณของซีเรียมออกไซด์ที่ผสมในน้ำมันดีเซลล์ และการปลดปล่อยสารนี้จากน้ำมันดีเซลที่มีและไม่มีซีเรียมออกไซด์ โดยระบุว่าน้ำมันดีเซลที่มีการผสมซีเรียมออกไซด์นั้นปลดปล่อยฝุ่นน้อยลงกว่าน้ำมันดีเซลที่ไม่มีซีเรียมออกไซด์ถึงร้อยละ 20 ในขณะที่งานวิจัยจากประเทศอังกฤษ (Zielinski et al., 1999, Mudway et al., 2004) ได้มีการตรวจวัดซีเรียมออกไซด์จากน้ำมันดีเซล Envirox™ ซึ่งได้มีการนำน้ำมันชนิดนี้มาใช้งานที่เมือง Newcastle เมือง Greenwich และเมือง London โดยพบว่ามีซีเรียมออกไซด์ที่ปนมากับฝุ่น PM10 ในปริมาณเป็น 14.33, 8.25 และ 41.83 นาโนกรัม/มิลลิกรัมของฝุ่น ซึ่งเมื่อคิดเป็นความเข้มข้นของซีเรียมออกไซด์เทียบกับปริมาตรของอากาศมีค่าเป็น 0.514, 0.157, และ 0.612 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่การวัดค่าของซีเรียมออกไซด์ในอากาศในบริเวณอ่าว San Francisco ประเทศสหรัฐอเมริกาอยู่ในช่วง 1.3-5.5 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร ในเมือง Pasadena รัฐแคลิฟอร์เนียความเข้มข้นของซีเรียมออกไซด์ที่มีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1.8 ไมครอนเป็น 0.43 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร และฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.097 ไมครอนมีความเข้มข้นของซีเรียมออกไซด์เป็น 0.19 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร ส่วนในประเทศญี่ปุ่น ความเข้มข้นของซีเรียมออกไซด์ในเมืองโอซากาในบริเวณเขตเมืองเป็น 11 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร และในเขตชนบทเป็น 4 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Limbach et al., 2008)

งานวิจัยหลายงานได้แนะนำถึงการลดการปนเปื้อนของซีเรียมออกไซด์จากน้ำมันโดยการใช้เครื่องกรองอากาศเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ที่มีการใช้น้ำมันดีเซลประเภทนี้ โดยพบว่าการลดลงของฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ถึงร้อยละ 70-90 โดยคาดว่าจะสามารถลดอากาศเสียลงได้มากกว่า 70,000 ตันต่อปี เมื่อใช้ในทวีปยุโรป โดยจะมีซีเรียมที่ปลดปล่อยออกมาพร้อมอากาศเสียไม่เกิน 1255 ตันต่อปี (Pope et al., 1999)

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

สารซีเรียมออกไซด์ถูกกำหนดไว้ในกฎหมาย Toxic Substance Control Act ของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ยังไม่มีข้อกำหนดค่ามาตรฐานทั้งในส่วนของหน่วยงาน OSHA โดยยังไม่มีการระบุค่า Permissible exposure limit ของซีเรียมออกไซด์โดยเฉพาะ และยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานจาก

หน่วยงาน A committee of American Conference of Government Industrial Hygienists หรือ ACGIH เช่นกัน

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่น โดยเฉพาะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับซีเรียมออกไซด์ในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับซีเรียมออกไซด์ในรูปสารละลาย สามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



(a) ถุงมือ Silver Shield



(b) ถุงมือ Butyl



(c) ถุงมือ Viton



(d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 3.4 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการ

ได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาสารนาโนซีเรียมออกไซด์ในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากสารชนิดนี้ไม่เป็นสารลุกติดไฟและสารระเบิดได้ การเก็บรักษาสารเคมีจึงไม่มีข้อกำหนดพิเศษ

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

สารนาโนซีเรียมออกไซด์เป็นสารที่ไม่ลุกติดไฟ และไม่เกิดการระเบิด

หากซีเรียมออกไซด์สัมผัสน้ำจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้

ในการเกิดไฟไหม้ โดยมีสารนี้อยู่ในที่เกิดอุบัติภัย อาจเกิดก๊าซพิษ และเกิดก๊าซที่ทำให้เกิดการระคายเคืองได้

สารดับเพลิงในการระงับอุบัติภัยให้ใช้โฟมเป็นน้ำยาดับเพลิง

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารซีเรียมออกไซด์ไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ U.S. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป โดยสามารถกำจัดด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล หรือการเผาด้วยเตาเผาได้ โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศพิษ เพื่อบำบัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นขณะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซีเรียมออกไซด์ NanoActive® Cerium Oxide ของ NanoScale (แสดงในภาคผนวก ก.3)

NanoScale

Material Safety Data Sheet **NanoActive® Cerium Oxide** MSDS-0006.4

1. PRODUCT AND MANUFACTURER IDENTIFICATION

Product names:
NanoActive® Cerium Oxide

Manufacturer:
NanoScale Corporation
1310 Research Park Drive
Manhattan, KS 66502
(785) 537-0179

Product Information:
(785) 537-0179
24-Hour International Emergency Number:
U.S. (800) 424-9300
International (703) 527-3887

2. CHEMICAL COMPOSITION AND EXPOSURE LIMITS

Component	CAS Number:	OSHA PEL:	ACGIH TLV:
Cerium oxide	1306-38-3	15mg/m^3 (Nuisance dust)	Not Established

3. HAZARD IDENTIFICATION AND EMERGENCY OVERVIEW

Appearance and odor: Yellow powder, no odor.

Routes of Exposure: Eye and skin contact, inhalation, ingestion.

Eye Contact: May cause eye irritation.
Skin Contact: May cause mild skin irritation.
Inhalation: May cause respiratory tract irritation. Low hazard for usual industrial handling.
Ingestion: May cause gastrointestinal irritation with nausea, vomiting and diarrhea. Expected to be a low ingestion hazard.

Acute health hazards: Inhalation of dust may cause irritation of mucus membranes and the upper respiratory tract.
Chronic health hazards: Like most fine dusts, repeated or long-term exposure may result in irritation of the respiratory tract, pneumoconiosis (dust-filled lungs), pneumonitis (lung inflammation), coughing, and shortness of breath.

Carcinogen status: NTP: No, **IARC:** No, **OSHA:** No

Issue Date: 4/9/02
Revision Date: 05/09/08
Page 1 of 4

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Chandra RP, Environ Science Health C 27 (2009) 1.

Deshpande S, Patil S, Kuchibhatla, SVNT, Seal S, Applied Physics Letters 87 (2005) 133113.

Ertl G. Environmental Catalysis, Weinheim Wiley-VCH, 1990.

Health Effects Institute (HEI), Comm. 9. Evaluation of Human Health Risk from Cerium Added to Diesel Fuel, 2001.

Kilbourn BT. Cerium and cerium compounds, New York, John Wiley and sons, 2003.

Limbach LK, Environ Sci Technol 39 (2005) 9370

Limbach LK, Environ Sci Technol 42 (2008) 5828.

Logothetidis S, Mater Sci Eng C 23 (2003) 803.

Mudway IS, Arch Biochem Biophys 423 (2004) 200.

Nanotechnology Industries Association (NIA), Interim Report for Prospect: Ecotoxicology Test Protocols for Representative Nanomaterials in Support of the OECD sponsorship Programme (2010b) December 2010.

Nanotechnology Industries Association (NIA), Sponsorship Programme Meeting: Cerium Oxide & Zinc Oxide Update, a presentation for OECD meeting (2010a) Paris, July 2010.

Park B, Inhal Toxicol 20 (2008) 547.

Pope CA, Epidemiology of particle effects, *In* Air pollution and health, eds. Holgate ST, Samet JM, Koren HS, Maynard RL, San Diego: Academic Press, 1999.

Prospect, Global Toxicological Review of Nano Cerium Oxide, Ecotoxicology Test Protocols for Representative Nanomaterials in Support of the OECD sponsorship Programme (2010) July 2010.

Stern AC, Fundamentals of air pollution, 2nd ed, London: Academic Press, 1984.

Wakefield G, Technol Anal Strateg, 20 (2008) 127.

Zhang Z, He X, Zhang H, Ma Y, Zhang P, Ding Y, Zhao Y, Metallomics 3 (2011) 816.

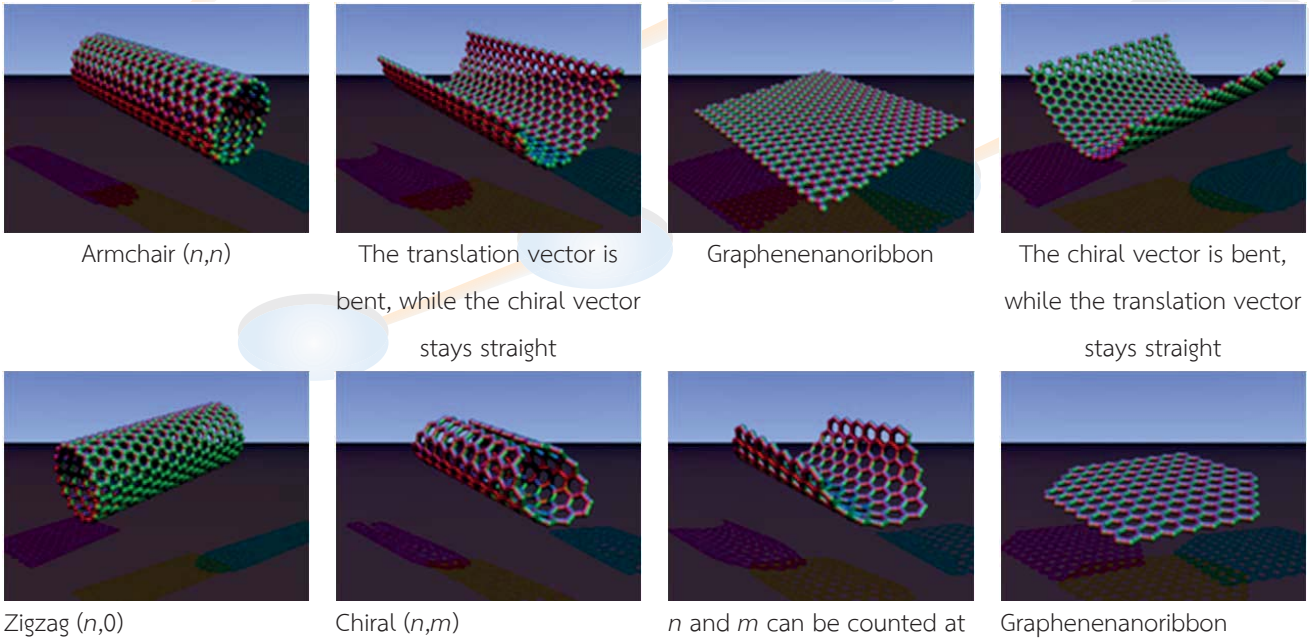
Zielinski H, Am J Physiol 277 (1999) L719.

บทที่ 4
ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว
(Single Wall Carbon Nanotube, SWCNT)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อตามระบบ IUPAC	carbon nanotube
CAS number	308068-56-6
สูตรโมเลกุล	C
น้ำหนักโมเลกุล	12.011 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	2.267 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	3550 °C ที่ ความดัน 10 atm (ในสภาพอากาศปรกติ คาร์บอนจะไม่หลอมเว้นแต่ได้รับความร้อน)
จุดเดือด	4027 °C
ลักษณะทั่วไป	สีดำ (ในรูปของกราไฟต์) ใส (ในรูปของเพชร) ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นาโนเมตร ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-100 นาโนเมตร

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว
(ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube)

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

ท่อนาโนคาร์บอนเป็นท่อทรงกระบอกที่มีขนาดในระดับนาโน ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยแผ่นของกราฟีน (grapheme) ม้วนกันอยู่ ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะของรูปร่าง ขนาด ลักษณะสมบัติทางเคมี และส่วนประกอบ (NIOSH, 2010) ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว (SWCNT) เป็นแผ่นของกราฟีนม้วนรอบเดียว โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1 นาโนเมตร ในขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (MWCNT) ประกอบด้วยท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวม้วนเป็นชั้นๆ ด้านใน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตั้งแต่ 2-100 นาโนเมตร ทั้งท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวและท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นมีความยาวที่แตกต่างกันและอาจยาวได้ถึงหลายสิบไมโครเมตร (Thostenson et al., 2001)

เส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofibers, CNF) มีโครงสร้างคล้ายกับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40-200 นาโนเมตร (Ku et al., 2006) แต่มีความยาวตั้งแต่ 10 ไมโครเมตรขึ้นไปจนถึงระดับเซนติเมตร โดยมีขนาดสัดส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 มีลักษณะรูปร่างหลายชนิด รวมไปถึงโครงสร้างของกราฟีนที่รวมกันเป็นชั้นๆ หรือเป็นถ้วย ลักษณะที่แตกต่างระหว่างเส้นใยนาโนคาร์บอนจากท่อนาโนคาร์บอนคือการเรียงตัวของชั้นกราฟีนด้านใน ถ้าระนาบของกราฟีนและแกนของเส้นใยไม่ได้จัดเรียงตัวกัน จะเรียกว่า เส้นใยนาโนคาร์บอน แต่หากโครงสร้างที่มีระนาบของกราฟีนและแกนเส้นใยเรียงขนานกัน จะเรียกว่าท่อนาโนคาร์บอน (ISO/TS, 2008)

ลักษณะทางเคมีของผนังนาโนคาร์บอนจัดได้ว่าเป็นสารเฉื่อย แต่ปลายของท่อนาโนคาร์บอนซึ่งมีลักษณะเหมือนฟูลเลอรีนจะไวต่อการทำปฏิกิริยามาก และจากความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนของคาร์บอนในรูปแบบของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว ทำให้ท่อคาร์บอนนาโนผนังเดี่ยวมีลักษณะสมบัติที่สามารถเป็นได้ทั้งสารกึ่งตัวนำและโลหะ (Trajonowicz, 2006) สิ่งสำคัญที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของท่อนาโนคาร์บอนคือวิธีการสังเคราะห์ซึ่งมี 3 วิธีหลัก ซึ่งประกอบด้วยวิธี arc discharge, chemical vapor deposition (CVD) และ laser ablation การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธี arch discharge และ CVD จะทำให้ได้โครงสร้างท่อนาโนที่มีการเรียงตัวเกือบสมบูรณ์ ทำให้มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้สูง (Kong et al., 1998, Fan et al., 1999) ปัจจุบันวิธีที่นิยมกันมากในการผลิตท่อนาโนคาร์บอนในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ CVD ในขณะที่วิธี arc discharge มีการใช้งานในสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับวิธี CVD ส่วนวิธี laser ablation นั้น ในปัจจุบันไม่มีการนำมาใช้งานในระดับการผลิตอุตสาหกรรมแล้ว (FERA, 2009) นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังมีคุณสมบัติรับแรงสูง แม้ว่าจะมีขนาดที่บางเบาแต่สามารถรับแรงได้ดีเทียบเท่าหรือมากกว่าเหล็ก มีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ด้วยคุณสมบัตินี้จึงทำให้ท่อนาโนคาร์บอนใช้งานอย่างแพร่หลายในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์และวัสดุเสริมความแข็งแรง (FERA, 2009) ในผลิตภัณฑ์ทั่วไปจึงมักพบว่าท่อนาโนคาร์บอนได้ถูกนำไปใช้เป็นวัสดุหลายชนิด ตั้งแต่อุปกรณ์กีฬาเช่น ไม้ตีเทนนิส และไม้ฮอคกี้ เป็นต้น ไปจนถึงชิ้นส่วนของเครื่องบิน

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

การเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุ โดยท่อนาโนคาร์บอนนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในลักษณะสารผสมที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุต่างๆ เช่น เซรามิค โพลีเมอร์ เป็นต้น ท่อนาโนคาร์บอนจึงปรากฏในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เครื่องบิน ยานยนต์ อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น รวมทั้งสารเรซินอีพอกซีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวัสดุต่างๆ ท่อนาโนคาร์บอนใช้งานกันมากในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

- **อุตสาหกรรมสิ่งทอ** ท่อนาโนคาร์บอนได้นำมาใช้กันมากสำหรับสิ่งทอในการทหาร เช่น เสื้อเกราะกันกระสุน ในปัจจุบันการพัฒนาท่อนาโนคาร์บอนให้อยู่ในลักษณะเส้นใยเคลือบ หรือกระจายในเส้นใยพอลิเมอร์อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา ซึ่งจะทำให้ราคาของท่อนาโนคาร์บอนถูกลงและสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น

- **อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์** จากลักษณะของการนำความร้อนที่ดี และการมีสมบัติรับแรงทางกลที่ดี ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนนำมาใช้งานกันมากในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เชน คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ฉายภาพหรือจอภาพแบบแบน (flat panel displays) หรือใน light emitting diodes (LED) เป็นต้น รวมถึงการใช้งานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดที่อยู่ระหว่างการวิจัย เช่น อุปกรณ์เก็บไฮโดรเจน เซลล์แสงอาทิตย์ เซนเซอร์ รวมถึงเครื่องฉายภาพหรือจอภาพแบบแบนที่ยืดหยุ่นได้ เป็นต้น จากความสามารถในการเก็บประจุได้ดีของท่อนาโนคาร์บอน ในปัจจุบันท่อนาโนคาร์บอนได้ถูกนำมาใช้มากอย่างแพร่หลายในแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ และคอมพิวเตอร์แบบโน๊ตบุค (Dai et al., 2002, Trajonowicz, 2006)

- **อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องมือตรวจวัดหรือเซนเซอร์** การใช้งานท่อนาโนคาร์บอนในการตรวจวัดด้วยเซนเซอร์ เป็นการใช้งานที่อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา ซึ่งมีแนวโน้มสูงที่จะแพร่หลายเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมอันใกล้นี้ โดยท่อนาโนคาร์บอนได้นำมาใช้กันมากในการเป็นเซนเซอร์ สำหรับตรวจวัดทางด้านเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซเซนเซอร์ โดยอาศัยลักษณะสมบัติเฉพาะในการนำไฟฟ้า การนำความร้อนและลักษณะสมบัติทางกล ตลอดจนลักษณะสมบัติทาง thermoelectric ซึ่งไวต่อการทำปฏิกิริยากับก๊าซที่เข้ามาสัมผัสกับผนังท่อนาโนคาร์บอน ทำให้สามารถตรวจวัดก๊าซต่างๆ เช่น ฮีเลียม ไนโตรเจน ไฮโดรเจน เป็นต้น ตลอดจนก๊าซอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds, VOC) ได้อีกด้วย (Liu et al., 2000, Dai et al., 2002)

นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังได้นำไปใช้ในการตรวจวัดทางชีวภาพ ซึ่งรวมไปถึงการนำไปใช้งานในเครื่องมือทางการแพทย์ และระบบการนำส่งยา (drug delivery) ในการตรวจวัดทางชีวภาพนั้น เอนไซม์จะถูกตรึงในท่อนาโนคาร์บอนและนำมาใช้ในการตรวจวัดทางชีวภาพได้ โดยท่อนาโนคาร์บอนที่นำมาใช้ในการตรวจวัดทางชีวภาพมีทั้งแบบท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวและผนังหลายชั้น

- **อุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี** การใช้งานของท่อนาโนคาร์บอนได้นำมาขยายผลจากการตรวจวัดด้วยเซนเซอร์ไปสู่การนำไปใช้ในเครื่อง Voltammetry โดยท่อนาโนคาร์บอนที่นำมาใช้ในงานนี้มีทั้งในรูปแบบของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว และผนังหลายชั้น (Britto et al., 1996, Trajonowicz, 2006)

นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังถูกนำไปใช้ในการสกัดสารเคมีในกระบวนการ solid-phase extraction โดยใช้คุณสมบัติการดูดซับที่ดีของท่อนาโนคาร์บอน โดยนิยมใช้ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นในการเป็นวัสดุดูดซับทางเคมี และรวมไปถึงการใช้งานในการตรวจวัดสารเคมีแบบ chromatography เช่น ในการใช้งานในส่วนของการตรวจวัดในลักษณะของ electrochemical ของเครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) เป็นต้น (Trajanowicz, 2006)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับท่อนาโนคาร์บอนทางการหายใจเป็นเส้นทางหลักในการนำท่อนาโนคาร์บอนเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งเกิดขึ้นได้ง่ายในขณะปฏิบัติงานโดยเฉพาะการสังเคราะห์หรือผลิตท่อนาโนคาร์บอนทั้งสามวิธี ไม่ว่าจะเป็นวิธี CVD, arc discharge หรือ laser ablation โดยท่อนาโนคาร์บอนจะอยู่ในรูปของผงซึ่งมีขนาดเล็ก และเบาทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งปรากฏในอากาศได้ทั้งรูปผง และละอองลอย (Tsai et al., 2009)

อาการที่ได้รับสาร – คัดจมูก ระคายเคืองจมูก และระบบทางเดินหายใจ

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงานและในการผลิตหรือสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนควรทำในระบบปิดทุกครั้ง

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วการได้รับท่อนาโนคาร์บอนโดยทางปากนั้น เกิดขึ้นได้หากมีการปนเปื้อนของท่อนาโนคาร์บอนขณะปฏิบัติงาน เช่นอาจติดมือ เป็นต้น จากนั้นเข้าสู่ปากผ่านอาหาร น้ำดื่ม หรือการสูบบุหรี่

อาการที่ได้รับสาร – อาจระคายเคืองระบบทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่ถุงมือชนิดที่เหมาะสมทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน ไม่สัมผัสกับท่อนาโนคาร์บอนโดยตรงด้วยมือเปล่า และทำความสะอาดร่างกายก่อนรับประทานอาหารและน้ำดื่ม

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับทางผิวหนังเกิดขึ้นได้ในขณะปฏิบัติงานซึ่งอาจเกิดการหกหรือกระฉอกของของเหลวที่มีท่อนาโนคาร์บอนอยู่ ทำให้เกิดการได้รับผ่านทางผิวหนังได้ นอกจากนี้การสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น อาจทำให้ได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนังผ่านการสัมผัสได้เช่นกัน

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังในปริมาณมากจะทำให้เกิดการระคายเคือง

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของท่อนาโนคาร์บอนแขวนลอยในอากาศมีทั้งในลักษณะผงและละอองลอย ซึ่งสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับในปริมาณมากเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับท่อนาโนคาร์บอนทางการหายใจ หรือจากการสูดดมผง ฝุ่น หรือละอองลอยของท่อนาโนคาร์บอน ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธิ์และนอนพัก หากรับสารท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณมากให้ใช้เครื่องช่วยหายใจและนำส่งแพทย์

หากได้รับท่อนาโนคาร์บอนทางปาก ให้นำส่งแพทย์ทันที

การได้รับสารท่อนาโนคาร์บอนทางผิวหนัง ให้ล้างผิวหนังบริเวณที่สัมผัสด้วยน้ำและสบู่ในปริมาณมากเป็นเวลานานหลายนาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยความระมัดระวัง แล้วนำส่งแพทย์หากท่อนาโนคาร์บอนเข้าตาให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลาหลายนาที แล้วนำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว (SWCNT) จากการทดสอบของ OECD

4.1.1 ชนิดของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว (SWCNT) ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกาเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก และมีสมาชิกจากประเทศที่สนับสนุนร่วมการวิจัยได้แก่ จีน คานาดา ฝรั่งเศส เยอรมัน กลุ่มประเทศสหภาพยุโรปและ BIAC โดยได้ร่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวซึ่งได้กำหนดชนิดของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชนิดและลักษณะท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว (SWCNT) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (OECD, 2011)

กลุ่มสาร	สารทดสอบหลัก	สารทดสอบรอง		
ชนิด	SWCNT	SWCNT	SWCNT	SWCNT
OECD code				
บริษัทผู้ผลิต	Nikkiso	Helix	Carbolex	Carbon Nanotechnology Inc.
วิธีผลิต	Direct Injection Pyrolytic Syn-thesis (e-DIPS)	CVD method	Arc method	HiPCO
ขนาด	2 นาโนเมตร	นาโนเมตร	นาโนเมตร	นาโนเมตร
พื้นที่ผิว		281 ตารางเมตร/กรัม	653 ตารางเมตร/กรัม	266 ตารางเมตร/กรัม

4.1.2 การศึกษาความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

การศึกษาความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวโดยกลุ่มนักวิจัยของประเทศต่างๆ ที่เป็นสมาชิก OECD ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

การศึกษาความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวโดยกลุ่มนักวิจัยของประเทศต่างๆ ที่เป็นสมาชิก OECD ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

<u>ความเป็นพิษต่อสัตว์</u>

การทดสอบความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวที่มีต่อสัตว์น้ำประเภทไรน้ำ *Daphnia magna* และโปรโตซัว *Tetrahymena thermophila* ซึ่งเป็นโปรโตซัวเซลล์เดียวที่อาศัยอยู่ในน้ำจืด รวมถึงปลาน้ำจืดบางชนิด เช่น fathead minnow เป็นต้น พบว่าการตกค้างของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวทั้งแบบละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในระบบทางเดินอาหาร ในขณะที่เฉพาะท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวที่ละลายน้ำได้เท่านั้นที่จะพบในเหงือกของปลา (Helland et al., 2007)

ในการทดสอบความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวกับไรน้ำจืดโดยพบว่าไรน้ำจะกลืนท่อนาโนคาร์บอนในลักษณะเดียวกันกับอาหาร และไปสะสมในระบบทางเดินอาหาร จากงานวิจัยของ Roberts และคณะ (Roberst et al., 2007) พบว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวจะส่งผลให้เกิดความเป็นพิษแบบเฉียบพลันเมื่อไรน้ำได้รับในความเข้มข้นที่มากกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร ในการทดสอบความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวที่มีต่อโปรโตซัว *Tetrahymena thermophile* โดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนที่มีความยาว 50 ไมครอน โดยพบว่าท่อนาโนคาร์บอนสะสมอยู่ในโปรโตซัว และส่งผลต่อการกินและย่อยอาหารที่ต่ำลงของโปรโตซัว (Ghafari et al., 2008)

ในการทดสอบความเป็นพิษต่อแบคทีเรีย Kang และคณะ (Kang et al., 2007, Kang et al., 2008, Kang et al., 2009) พบว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวจะทำให้เกิดความเป็นพิษโดยจะทำลายผนังเซลล์ ในขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นจะทำให้เกิดความเป็นพิษซึ่งเกิดจากการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความเป็นพิษที่เกิดขึ้นจากท่อนาโนคาร์บอนทั้งสองชนิด พบว่าท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นทำให้เกิดความเป็นพิษมากกว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว ซึ่งมาจากลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ของท่อนาโนคาร์บอน ความสามารถในการละลายน้ำที่ต่างกันของท่อนาโนคาร์บอนทั้งสองชนิด

<u>ความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช</u>

ในการศึกษาถึงผลของอนุภาคนาโนต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในด้านบวกและลบของท่อนาโนคาร์บอนนั้น ได้มีการรายงานถึงผลกระทบของท่อนาโนคาร์บอนที่มีต่อด้านบวกของการเจริญเติบโตของพืช

โดยทีมวิจัยของ Khodakovskaya และคณะจาก University of Arkansas (Khodakovskaya et al., 2009) ซึ่งพบว่าท่อนาโนคาร์บอนสามารถจะผ่านเยื่อหุ้มเมล็ดของมะเขือเทศได้และช่วยทำให้น้ำผ่านเข้าสู่เมล็ดของมะเขือเทศได้ดียิ่งขึ้นการกระตุ้นการผ่านของน้ำเข้าสู่เมล็ดนั้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการงอก และทำให้เกิดการผลิตมวลชีวภาพจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เมล็ดที่สัมผัสกับท่อนาโนคาร์บอนมีอัตราการงอกและการเจริญเติบโตที่มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยพบว่าอัตราการงอกในอาหารที่ไม่มีการเติมท่อนาโนคาร์บอนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 32 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 วันและเพิ่มเป็น 71 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 ส่วนอัตราการงอกของเมล็ดที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติมท่อนาโนคาร์บอนนั้นสูงถึง 74-82 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 12 และเพิ่มขึ้นเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 จากการที่ท่อนาโนคาร์บอนจัดได้ว่าเป็นคาร์บอนในรูปหนึ่งซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ การตกค้างของท่อนาโนคาร์บอนในพืชจึงไม่จัดเป็นอันตรายมากนัก (Khodakovskaya et al., 2009)



รูปที่ 4.2 แสดงการเจริญเติบโตของเมล็ดมะเขือเทศ โดยเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับน้ำที่มีท่อนาโนคาร์บอนอยู่ (ด้านขวา) จะเติบโตได้ดีกว่าเมล็ดมะเขือเทศทั่วไปอย่างชัดเจน (Khodakovskaya et al., 2009)

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

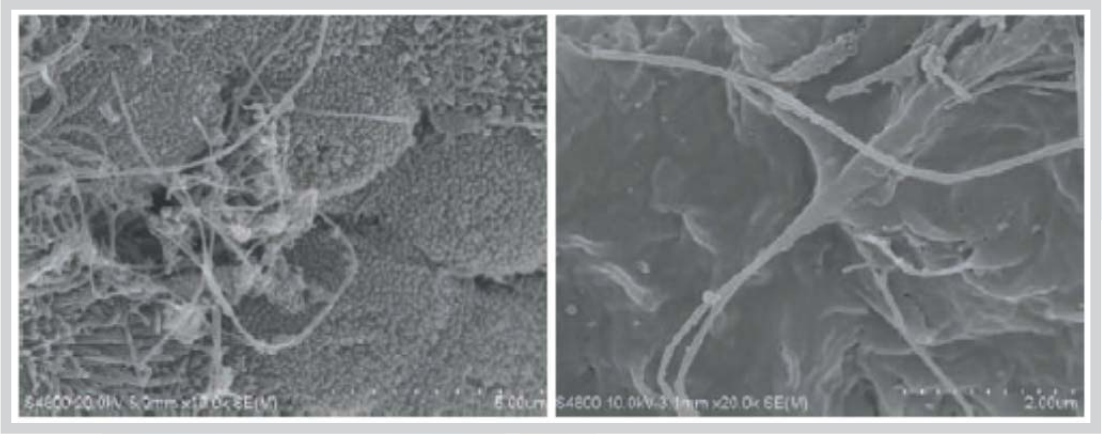
4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

การทดสอบความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวได้มีการทดสอบกับหนู (mice หรือ rat) โดยใช้เซลล์ในที่นำมาจากเนื้อเยื่อที่มีการสะสมของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวในหนูมาตรวจสอบ โดย Lam และคณะ (Lam et al., 2004) ได้ทดสอบโดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว 3 ชนิด ซึ่งมีสารปนเปื้อนในท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว ได้แก่ ร้อยละ 27 หรือร้อยละ 2 ของเหล็ก หรือร้อยละ 26 ของนิเกิล และร้อยละ 5 ของอิตเทรียม โดยมีความเข้มข้นในการทดสอบเป็น 0.1 หรือ 0.5 มิลลิกรัม/คาร์บอนแบลคหรือควอตซ์ 0.5 มิลลิกรัม โดยให้เซลล์ได้รับการสัมผัสกับท่อนาโนคาร์บอนเป็นเวลา 7 หรือ 90 วัน โดยพบว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวทุกชนิดจะรวมตัวและเกาะแน่นเซลล์เนื้อเยื่อ และทำให้เกิดการอักเสบภายในเซลล์ ซึ่งระดับการ

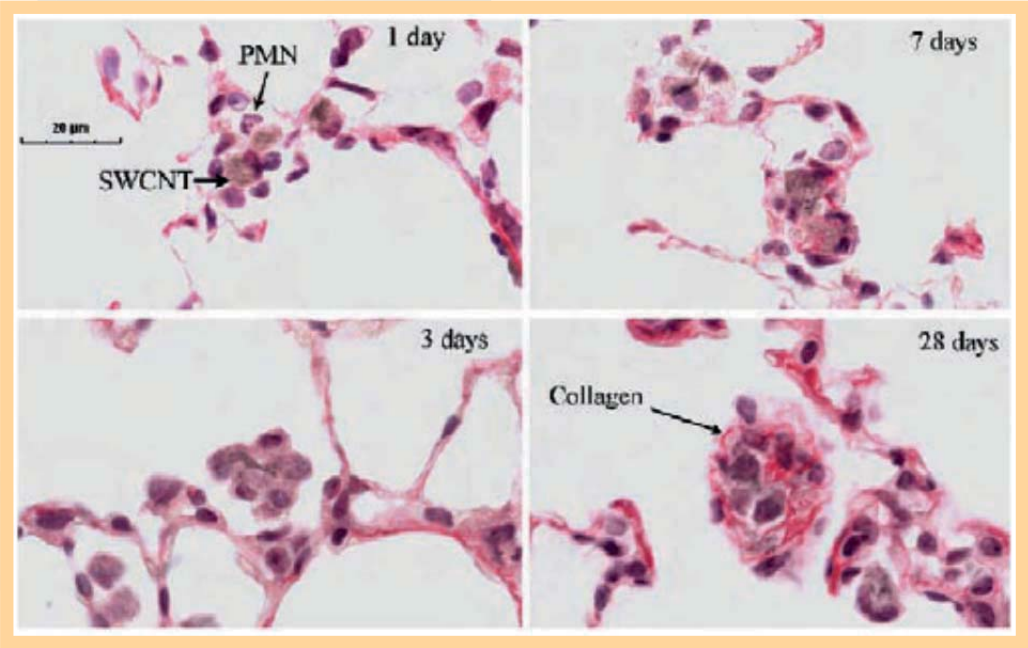
อักเสบขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ให้ต่อเซลล์นั้น ซึ่งจะแตกต่างกับเนื้อเยื่อที่ได้รับเฉพาะคาร์บอนแบลค หรือควอตซ์เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีท่อนาโนคาร์บอนเจือปนอยู่ โดยเนื้อเยื่อไม่แสดงอาการอักเสบรุนแรงเมื่อเทียบกับการได้รับคาร์บอนแบลค หรือควอตซ์ที่มีท่อนาโนคาร์บอน โดยพบว่าอัตราการตายของหนูเกิดขึ้นระหว่างวันที่ 4 ถึงวันที่ 7 หลังจากได้รับท่อนาโนคาร์บอน 0.5 มิลลิกรัม Warheit และคณะ (Warheit et al., 2004) ได้ศึกษาเนื้อเยื่อของหนู (rat) ที่ได้รับท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว ควอตซ์ เหล็กคาร์บอนิล หรืออนุภาคกราไฟต์ที่ความเข้มข้น 1 หรือ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยการได้รับสารของหนูอยู่ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ 1 เดือน และ 3 เดือน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวเป็น 1.4 นาโนเมตร และมีความยาวมากกว่า 1 ไมครอน โดยพบว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งทำให้เกิดการขวางทางเดินหายใจของหนู ทำให้หนูส่วนหนึ่งตายภายในเวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่หนูที่รอดชีวิตเมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือนพบการอักเสบของปอด และเกิดความเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อซึ่งเกิดการกระจายของความเป็นพิษอย่างไม่มีแบบแผนในเซลล์เนื้อเยื่อที่ได้รับสารโดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการได้รับอนุภาคนาโน ในส่วนของหนูที่ได้รับควอตซ์พบว่าการตอบสนองของการเกิดปอดอักเสบจะสัมพันธ์กับปริมาณการได้รับสารโดยพบการอักเสบของปอดเกิดขึ้นหลังจากที่หนูได้รับสารไปแล้วเป็นเวลา 3 เดือน ในส่วนของการได้รับเหล็กคาร์บอนิล และอนุภาคกราไฟต์นั้น พบว่าสารทั้งสองชนิดไม่ส่งผลลบใดๆ ต่อหนู

จากงานวิจัยของคณะผู้วิจัยจาก NASA's Johnson Space Center ในเมืองฮุสตันรัฐเท็กซัส และ Dupont จากเมืองวิลมิงตัน รัฐเดลาแวร์ พบข้อสรุปเหมือนกันว่าท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวสามารถทำลายเนื่อเยื่อปอดของหนูทดลองโดยที่อนุภาคขนาดเล็กของ ท่อนาโนคาร์บอนจะเข้าไปถึงถุงลมขนาดเล็กในปอดและจะคงติดอยู่ได้หลังจาก 90 วันไปแล้ว นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนจะนำไปสู่การรวมตัวของเนื้อเยื่อที่ตายแล้วและที่มีชีวิตอยู่รอบๆ ท่อนาโนคาร์บอนซึ่งอาจส่งผลร้ายในภายหลังได้ นอกจากนี้คณะนักวิจัยของหน่วยงาน The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ยังได้รายงานผลความเป็นพิษท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวที่มีต่อปอดของหนู โดยใช้ความเข้มข้นของท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณ 10-40 ไมโครกรัมต่อหนูหนึ่งตัว หรือประมาณ 0.5-2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนูหนึ่งกิโลกรัม ซึ่งพบว่าท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวได้ทำให้เกิดการลดประสิทธิภาพในการทำงานของปอดลง และนำไปสู่ภาวะการเกิดการอักเสบในเนื้อปอดขึ้น และยังพบอีกว่าการสะสมรวมตัวของท่อนาโนคาร์บอนทำให้เกิดการรวมตัวของเนื้อเยื่ออีกด้วย (Shvedova et al., 2005, Mercer et al., 2008)

จากรายงานของ The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ได้แสดงการตกค้างของท่อนาโนคาร์บอนในทางเดินหายใจของหนูที่ได้รับอนุภาคนาโนผ่านการหายใจดังในรูปที่ 4.3 การสร้างคอลลาเจนเมื่อมีท่อนาโนคาร์บอนตกค้างในปอดของหนูเมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 28 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นการรวมตัวกันของคอลลาเจนล้อมรอบวัสดุนาโนและการเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจนที่เกิดขึ้นในปอดของหนูดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 การตกค้างของท่อนาโนคาร์บอนในทางเดินหายใจของหนู (NIOSH, 2009)



รูปที่ 4.4 การสร้างคอลลาเจนเมื่อมีท่อคาร์บอนนาโนในปอดของหนูที่เวลาต่างๆ (NIOSH, 2009)

Shvedova และคณะ (Shvedova et al., 2008) ได้เปรียบเทียบการตอบสนองของเซลล์ต่อการได้รับสารท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวจากการได้รับทางปากในรูปแบบ pharyngeal aspiration (Shvedova et al., 2005) และการหายใจแบบ inhalation (Baron et al., 2008) โดยหนู (mice) ที่ได้รับอนุภาคนาโนผ่านทางการหายใจแบบ inhalation นั้น จะได้รับในความเข้มข้นเป็น 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อวัน และทดสอบเป็นเวลาทั้งสิ้น 4 วัน ในขณะที่หนูที่ได้รับผ่านทางปากในรูปแบบ pharyngeal aspiration จะได้รับอนุภาคนาโนในปริมาณ 5, 10 และ 20 ไมโครกรัม โดยท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวในการทดสอบทั้งสองชนิดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8-1.2 นาโนเมตร และมีความยาวระหว่าง 100-1,000 นาโนเมตร และมีพื้นที่ผิว 508 ตารางเมตร/กรัม ผลการทดสอบความเป็นพิษจากทั้งสองการทดลองพบว่าหนูเกิดการอักเสบแบบเฉียบพลันในปอด ตามด้วยการติดเชื้อของเนื้อปอด และเกิดพังผืดอย่างถาวรภายในปอด

โดยลักษณะการเกิดพังผืดในระบบทางเดินหายใจนั้นจะเป็นลักษณะที่แตกต่างไปจากการได้รับอนุภาคขนาดเล็กที่มีโดยทั่วไปเข้าสู่ทางเดินหายใจ งานวิจัยนี้ได้แสดงถึงการกระจายของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวที่อาจเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นให้เกิดพังผืดโดยตรง โดยท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวอาจเคลื่อนย้ายไปส่วนต่างๆ ด้านในของปอด

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

Murray และคณะ (Murray et al., 2007) ได้ทดสอบความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวโดยใช้หนูเป็นสัตว์ทดสอบ โดยพบว่าการแทรกของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวเข้าสู่ผิวหนังของหนูนั้นทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้ งานทดลองของ Shvedova และคณะ ในปี 2003 (Shedova et al., 2003) ได้มีการทดลองในลักษณะเดียวกันโดยเป็นการใช้ท่อนาโนคาร์บอนทั้งในแบบผนังเดี่ยวและหลายชั้นในการทดสอบกับเซลล์ผิวหนังมนุษย์ที่เพาะเลี้ยงในห้องทดลอง โดยพบว่าเมื่อวัสดุนาโนเข้าสู่เซลล์ทำให้เกิดการอักเสบของเซลล์ เซลล์ถูกทำลายด้วยอนุมูลอิสระ (oxidative stress) และลดการอยู่รอดของเซลล์ (cell viability)

ค่าความเป็นพิษจากการสัมผัสของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว โดยทดสอบกับเซลล์หนู SKH-1 พบว่าเกิดการอักเสบและการเคลื่อนที่ไปยังรอบๆ รูขุมขน โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆเมื่อทดสอบที่ค่าปริมาณการได้รับต่ำ (40 ไมโครกรัม) (Murray et al., 2009) ในขณะที่ผลการทดสอบความเป็นพิษจากการสัมผัสของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นของ Baytubes® ไม่พบหลักฐานบ่งชี้ถึงความเป็นพิษอย่างเฉียบพลันที่มีต่อผิวหนัง ส่วนการทดสอบกับกระต่ายตามวิธีมาตรฐานของ OECD โดยให้เกิดการระคายเองในดวงตา พบว่า ไม่มีหลักฐานแสดงถึงพิษเฉียบพลันที่จะเกิดขึ้นได้เช่นกัน (Pauluhn, 2010)

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงาน Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (permissible exposure limit, PEL) สำหรับกราไฟต์เป็น 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่านี้ได้นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานและการได้รับสารของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว (NIOSH, 2010)

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่น โดยเฉพะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับท่อนาโนคาร์บอนในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับท่อนาโนคาร์บอนในรูปสารละลาย สามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 4.6



(a) ถุงมือ Silver Shield



(b) ถุงมือ Butyl



(c) ถุงมือ Viton



(d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 4.6 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาท่อนาโนคาร์บอนในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ โดยมีข้อปฏิบัติเฉพาะ ดังนี้

- ต้องเก็บรักษาให้ไกลจากประกายไฟ เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนเกิดการลุกติดไฟและเกิดการเผาไหม้ได้ง่ายหากได้รับประกายไฟ
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารออกซิไดซ์เซอร์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเปอร์คลอเรต สารเปอร์มังกาเนต เป็นต้น
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากกลุ่มสารประกอบที่มีธาตุฮาโลเจน
- ห้ามเก็บรักษาร่วมกับกรดและด่าง

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

จากการที่ท่อนาโนคาร์บอนมีลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบมาจากกราไฟท์ จึงทำให้ท่อนาโนคาร์บอนมีลักษณะการทำปฏิกิริยาที่ว่องไว และเป็นสารที่ลุกไหม้ได้ง่ายเมื่ออยู่ในรูปผงและสะสมในปริมาณมาก จึงต้องหลีกเลี่ยงอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการลุกไหม้ของท่อนาโนคาร์บอน ได้แก่

- หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
- หลีกเลี่ยงการเกิดเปลวไฟ ประกายไฟ หรืออยู่ใกล้กับวัสดุที่ทำให้เกิดเปลวไฟ เช่น เทียน เป็นต้น
- หลีกเลี่ยงจากการเกิดประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์เชื่อม อุปกรณ์ตัด

ในการทำงานหากต้องมีการใช้ก๊าซร่วมกับท่อนาโนคาร์บอน ให้ใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน เป็นต้น

ท่อนาโนคาร์บอนเมื่อลุกไหม้จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซพิษ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการปฏิบัติงานระงับภัยต้องระวังการได้รับก๊าซเหล่านี้

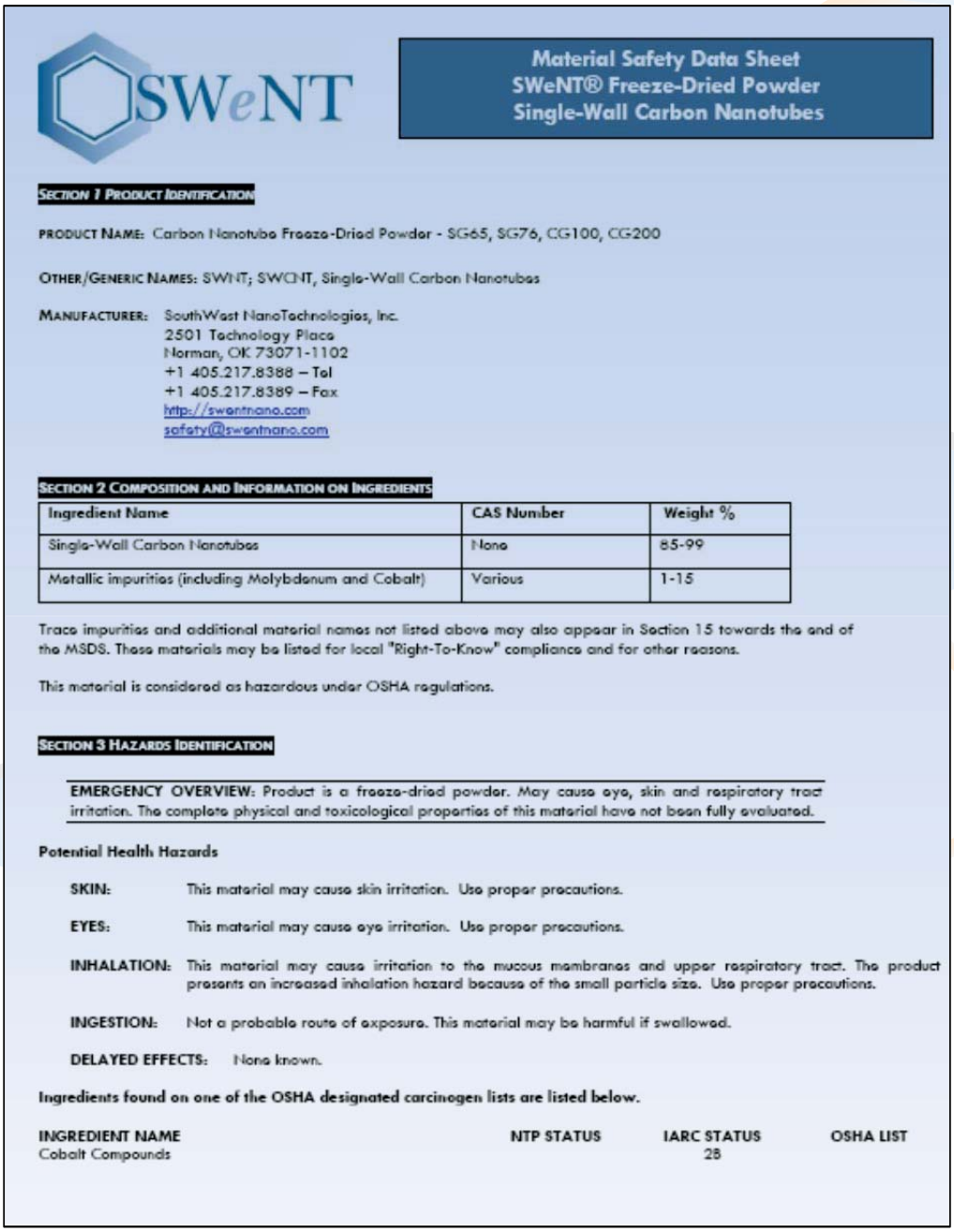
โดยทั่วไปสารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยที่เกี่ยวข้องกับท่อนาโนคาร์บอนได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม ทั้งนี้ต้องมีการตรวจสอบเอกสารความปลอดภัยของสารเคมี (MSDS) ทุกครั้ง เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนบางชนิดระบุวิธีการดับเพลิงเฉพาะชนิด เช่น ต้องใช้โฟมเป็นสารดับเพลิงเท่านั้น ไม่สามารถใช้น้ำเป็นสารดับเพลิงได้ เป็นต้น

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารท่อนาโนคาร์บอนทั้งแบบผนังเดี่ยวและผนังหลายชั้นไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ US. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐานToxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป โดยสามารถกำจัดด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล หรือการเผาด้วยเตาเผาได้ โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศพิษ เพื่อบำบัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นขณะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวของ SWeNT® Freeze-Dried Powder Single Wall Carbon Nanotubes (แสดงในภาคผนวก ก.4)



SWeNT

Material Safety Data Sheet
SWeNT® Freeze-Dried Powder
Single-Wall Carbon Nanotubes

SECTION 1 PRODUCT IDENTIFICATION

PRODUCT NAME: Carbon Nanotube Freeze-Dried Powder - SG65, SG76, CG100, CG200

OTHER/GENERIC NAMES: SWNT; SWCNT, Single-Wall Carbon Nanotubes

MANUFACTURER: SouthWest NanoTechnologies, Inc.
2501 Technology Place
Norman, OK 73071-1102
+1 405.217.8388 – Tel
+1 405.217.8389 – Fax
http://swentnano.com
safety@swentnano.com

SECTION 2 COMPOSITION AND INFORMATION ON INGREDIENTS

Ingredient Name	CAS Number	Weight %
Single-Wall Carbon Nanotubes	None	85-99
Metallic impurities (including Molybdenum and Cobalt)	Various	1-15

Trace impurities and additional material names not listed above may also appear in Section 15 towards the end of the MSDS. These materials may be listed for local "Right-To-Know" compliance and for other reasons.

This material is considered as hazardous under OSHA regulations.

SECTION 3 HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW: Product is a freeze-dried powder. May cause eye, skin and respiratory tract irritation. The complete physical and toxicological properties of this material have not been fully evaluated.

Potential Health Hazards

SKIN: This material may cause skin irritation. Use proper precautions.

EYES: This material may cause eye irritation. Use proper precautions.

INHALATION: This material may cause irritation to the mucous membranes and upper respiratory tract. The product presents an increased inhalation hazard because of the small particle size. Use proper precautions.

INGESTION: Not a probable route of exposure. This material may be harmful if swallowed.

DELAYED EFFECTS: None known.

Ingredients found on one of the OSHA designated carcinogen lists are listed below.

INGREDIENT NAME	NTP STATUS	IARC STATUS	OSHA LIST
Cobalt Compounds		2B	

6.2 เอกสารความปลอดภัยของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวของ Nanothinx Single-Wall Carbon Nanotube (แสดงในภาคผนวก ก.4)

SINGLE-WALL CARBON NANOTUBES (SWNT)
Material Safety Data Sheet

Nanothinx
P.O. Box 1414
Stadiou Street, Platani
Rio-Patras 26504 GREECE

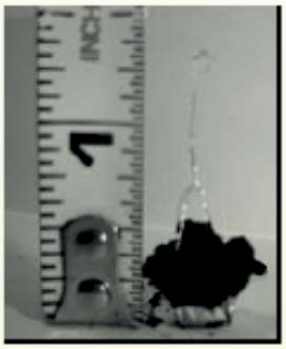
Tel: +30-2610-965208
Fax: +30-2610-965223
info@nanothinx.com
http://www.nanothinx.com

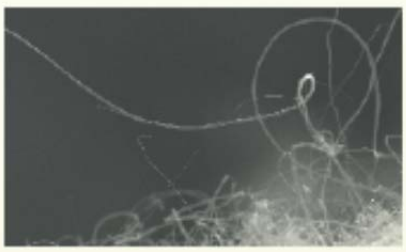
1. Identification of Product

Trade name Single-Wall Carbon Nanotubes
Manufacturer Nanothinx S.A.

2. Product Composition and Specifications

SWNT		Characterization method
Production method	CCVD	
Available form	Black powder	
Diameter	0.8-1.4 nm	TEM, Raman
Length	≥5 μm	SEM, TEM
Bundles	15-30	SEM, TEM
Nanotubes purity	60%< x < 65% (raw: NTX8) ≥85% (purified: NTX9)	TGA, SEM
Metal particles	40% > x > 35% (NTX8) ≤15% (NTX9)	TGA
Amorphous carbon	< 1 %	TGA, Raman
Surface area	500-600 m^2/g (NTX8) ~900 m^2/g (NTX9)	BET





7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Britto PJ, Santhanam KSV, Ajayan PM, Bielectrochem Bioenerg 41 (1996) 121.

Dai L, He P, Li S, Nanotechnology 14 (2003) 1081.

Dai LM, Soundarrajan P, Kim T, Pure Appl Chem 74 (2002) 1753.

Fan S, Chapline M, Franklin N, Tombler T, Cassell A, Science (Washington, DC) 283 (1999) 512.

Helland A, Wick P, Koehler A, Schmid K, Som C, Environ Health Perspect 115 (2007) 1125.

ISO/TS, Nanotechnologies: terminology and definitions for nano-object; nanoparticle, nanofibre and nanoplate. ISO/TS 27687:2008, 2008 .

Kang S, Herzberg M, Rodrigues DF, Langmuir 24 (2008a) 6409.

Kang S, Mauter MS, Elimelech M, Environ Sci Technol 42 (2008b) 7528.

Kang S, Mauter MS, Elimelech M, Environ Sci Technol 43 (2009) 2648.

Kang S, Pinault M, Pfefferle LD, Elimelech M, Langmuir 23 (2007) 8670.

Khodakovskaya M, Dervishi E, Mahmood M, Xu Y, Li Z, Watanabe F, Biris AS, ACS Nano 3 (2009) 3221.

Kong J, Soh H, Cassell A, Quate CF, Dai H, Nature (London), 395 (1998) 878.

Ku BK, Emery MS, Maynard AD, Stolzenburg MR, McMurry PH, Nanotechnology 17 (2006) 3613.

Lam CW, James JT, McCluskey R, Hunter RL, Toxicol Sci 77 (2004) 126.

Liu Z, Shen Z, Zhu T, Hou S, Ying L, Shi Z, Gu Z, Langmuir 16 (2000) 3569.

Mercer R, Scabilloni J, Wang L, Kisin E, Murray AD, Shvedova AA, Castranova AV, Am J Physiol: Lung Cell Mol Physiol 294 (2008) L87.

Murray AR, Kisin E, Kommineni C, Kagan VE, Castranova V, Shvedova AA, Toxicologist 96 (2007) A1406.

Murray AR, Kisin E, Leonard SS, Young SH, Kommineni C, Kagan VE, Castranova V, Shvedova AA, Toxicology 257 (2009) 161.

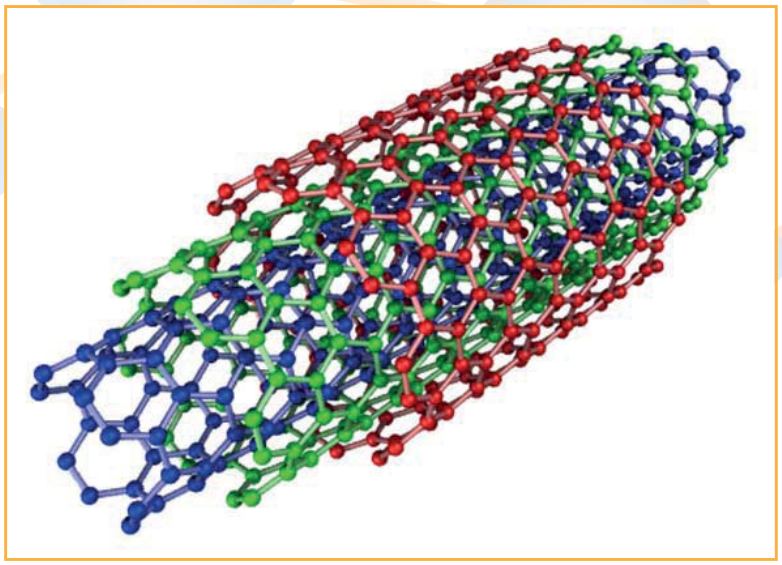
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Approaches to safe nanotechnology: managing the health and safety concerns with engineered nanomaterials. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-125, 2009.

บทที่ 5
ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น
(Multi-wall Carbon Nanotube, MWCNT)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อตามระบบ IUPAC	carbon nanotube
CAS number	308068-56-6
สูตรโมเลกุล	C
น้ำหนักโมเลกุล	12.011 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	2.267 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	3550 °C ที่ ความดัน 10 atm (ในสภาพอากาศปรกติ คาร์บอนจะไม่หลอมเว้นแต่ได้รับความร้อน)
จุดเดือด	4027 °C
ลักษณะทั่วไป	สีดำ (ในรูปของกราไฟต์) ใส (ในรูปของเพชร) ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นาโนเมตร ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-100 นาโนเมตร

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี (รูปที่ 5.1)



รูปที่ 5.1 ลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น
(ในรูปเป็นท่อนาโนผนังสามชั้นแบบ armchair)
(ที่มา :http://en.wikipedia.org/wiki/File:Multi-walled_Carbon_Nanotube.png)

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

ท่อนาโนคาร์บอนเป็นท่อทรงกระบอกที่มีขนาดในระดับนาโน ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยแผ่นของกราฟีน (grapheme) ม้วนกันอยู่ ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะของรูปร่าง ขนาด ลักษณะสมบัติทางเคมีและส่วนประกอบ (NIOSH, 2010) ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว (SWCNT) เป็นแผ่นของกราฟีนม้วนรอบเดียว โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1 นาโนเมตร ในขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (MWCNT) จะประกอบด้วยท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวม้วนเป็นชั้นๆ ด้านใน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตั้งแต่ 2-100 นาโนเมตร ทั้งท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวและท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นมีความยาวที่แตกต่างกันและอาจยาวได้ถึงหลายสิบไมโครเมตร (Thostenson et al., 2001)

เส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofibers, CNF) มีโครงสร้างคล้ายกับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40-200 นาโนเมตร (Ku et al., 2006) แต่มีความยาวตั้งแต่ 10 ไมโครเมตรขึ้นไปจนถึงระดับเซนติเมตร โดยมีขนาดสัดส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 มีลักษณะรูปร่างหลายชนิด รวมไปถึงโครงสร้างของกราฟีนที่รวมกันเป็นชั้นๆ หรือเป็นถ้วย ลักษณะที่แตกต่างระหว่างเส้นใยนาโนคาร์บอนจากท่อนาโนคาร์บอนคือการเรียงตัวของชั้นกราฟีนด้านใน ถ้าระนาบของกราฟีนและแกนของเส้นใยไม่ได้จัดเรียงตัวกัน จะเรียกว่า เส้นใยนาโนคาร์บอน แต่หากโครงสร้างที่มีระนาบของกราฟีนและแกนเส้นใยเรียงขนานกัน จะเรียกว่าท่อนาโนคาร์บอน (ISO/TS, 2008)

ลักษณะทางเคมีของผนังนาโนคาร์บอนจัดได้ว่าเป็นสารเฉื่อย แต่ปลายของท่อนาโนคาร์บอนซึ่งมีลักษณะเหมือนฟูลเลอรีนจะไวต่อการทำปฏิกิริยามาก และจากความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนของคาร์บอนในรูปแบบของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว ทำให้ท่อคาร์บอนนาโนผนังเดี่ยวมีลักษณะสมบัติที่สามารถเป็นได้ทั้งสารกึ่งตัวนำและโลหะ (Trajonowicz, 2006) สิ่งสำคัญที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของท่อนาโนคาร์บอนคือวิธีการสังเคราะห์ ซึ่งมี 3 วิธีหลักซึ่งประกอบด้วยวิธี arc discharge, chemical vapor deposition (CVD) และ laser ablation การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธี arch discharge และ CVD จะทำให้ได้โครงสร้างท่อนาโนที่มีการเรียงตัวเกือบสมบูรณ์ ทำให้มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้สูง (Kong et al., 1998, Fan et al., 1999) ปัจจุบันวิธีที่นิยมกันมากในการผลิตท่อนาโนคาร์บอนในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ CVD ในขณะที่วิธี arc discharge มีการใช้งานในสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับวิธี CVD ส่วนวิธี laser ablation นั้น ในปัจจุบันไม่มีการนำมาใช้งานในระดับการผลิตอุตสาหกรรมแล้ว (FERA, 2009) นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังมีคุณสมบัติรับแรงสูง แม้ว่าจะมีขนาดที่บางเบาแต่สามารถรับแรงได้ดีเทียบเท่าหรือมากกว่าเหล็ก มีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ด้วยคุณสมบัตินี้จึงทำให้ท่อนาโนคาร์บอนใช้งานอย่างแพร่หลายในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์และวัสดุเสริมความแข็งแรง (FERA, 2009) ในผลิตภัณฑ์ทั่วไปจึงมักพบว่าท่อนาโนคาร์บอนได้ถูกนำไปใช้เป็นวัสดุหลายชนิด ตั้งแต่อุปกรณ์กีฬาเช่น ไม้ตีเทนนิส และไม้ฮอคกี้ เป็นต้น ไปจนถึงชิ้นส่วนของเครื่องบิน

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **การเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุ** โดยท่อนาโนคาร์บอนนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในลักษณะสารผสมที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุต่างๆ เช่น เซรามิค โพลีเมอร์ เป็นต้น ท่อนาโนคาร์บอนจึงปรากฏในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เครื่องบิน ยานยนต์ อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น รวมทั้งสารเรซินอีพอกซีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวัสดุต่างๆ

- **อุตสาหกรรมสิ่งทอ** ท่อนาโนคาร์บอนได้นำมาใช้กันมากสำหรับสิ่งทอในการทหาร เช่น เสื้อเกราะกันกระสุน ในปัจจุบันการพัฒนาท่อนาโนคาร์บอนให้อยู่ในลักษณะเส้นใยเคลือบ หรือกระจายในเส้นใยพอลิเมอร์อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา ซึ่งจะทำให้ราคาของท่อนาโนคาร์บอนถูกลงและสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น

- **อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์** จากลักษณะของการนำความร้อนที่ดี และการมีสมบัติรับแรงทางกลที่ดี ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนนำมาใช้งานกันมากในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ฉายภาพหรือจอภาพแบบแบน (flat panel displays) หรือใน light emitting diodes (LED) เป็นต้น รวมถึงการใช้งานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดที่อยู่ระหว่างการวิจัย เช่น อุปกรณ์เก็บไฮโดรเจน เซลล์แสงอาทิตย์ เซนเซอร์ รวมถึงเครื่องฉายภาพหรือจอภาพแบบแบนที่ยืดหยุ่นได้ เป็นต้น จากความสามารถในการกักเก็บประจุได้ดีของท่อนาโนคาร์บอน ในปัจจุบันท่อนาโนคาร์บอนได้ถูกนำมาใช้มากอย่างแพร่หลายในแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ และคอมพิวเตอร์แบบโน๊ตบุค (Dai et al., 2002, Trajonowicz, 2006)

- **อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องมือตรวจวัดหรือเซนเซอร์** การใช้งานท่อนาโนคาร์บอนในการตรวจวัดด้วยเซนเซอร์ เป็นการใช้งานที่อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา ซึ่งมีแนวโน้มสูงที่จะแพร่หลายเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมอันใกล้นี้ โดยท่อนาโนคาร์บอนได้นำมาใช้กันมากในการเป็นเซนเซอร์ สำหรับตรวจวัดทางด้านเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซเซนเซอร์ โดยอาศัยลักษณะสมบัติเฉพาะในการนำไฟฟ้า การนำความร้อน และลักษณะสมบัติทางกล ตลอดจนลักษณะสมบัติทาง thermoelectric ซึ่งไวต่อการทำปฏิกิริยากับก๊าซที่เข้ามาสัมผัสกับผนังท่อนาโนคาร์บอน ทำให้สามารถตรวจวัดก๊าซต่างๆ เช่น ฮีเลียม ไนโตรเจน ไฮโดรเจน เป็นต้น ตลอดจนก๊าซอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds, VOC) ได้อีกด้วย (Liu et al., 2000, Dai et al., 2002)

นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังได้นำไปใช้ในการตรวจวัดทางชีวภาพ ซึ่งรวมไปถึงการนำไปใช้งานในเครื่องมือทางการแพทย์ และระบบการนำส่งยา (drug delivery) ในการตรวจวัดทางชีวภาพนั้น เอนไซม์จะถูกตรึงในท่อนาโนคาร์บอนและนำมาใช้ในการตรวจวัดทางชีวภาพได้ โดยท่อนาโนคาร์บอนที่นำมาใช้ในการตรวจวัดทางชีวภาพมีทั้งแบบท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวและผนังหลายชั้น

- **อุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี** การใช้งานของท่อนาโนคาร์บอนได้นำมาขยายผลจากการตรวจวัดด้วยเซนเซอร์ไปสู่การนำไปใช้ในเครื่อง Voltammetry โดยท่อนาโนคาร์บอนที่นำมาใช้ในงานนี้มีทั้งในรูปแบบของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว และผนังหลายชั้น (Britto et al., 1996, Trajonowicz, 2006)

นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังถูกนำไปใช้ในการสกัดสารเคมีในกระบวนการ solid-phase extraction โดยใช้คุณสมบัติการดูดซับที่ดีของท่อนาโนคาร์บอน โดยนิยมใช้ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นในการเป็นวัสดุดูดซับทางเคมี และรวมไปถึงการใช้งานในการตรวจวัดสารเคมีแบบ chromatography เช่น ในการใช้งานในส่วนของการตรวจวัดในลักษณะของ electrochemical ของเครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) เป็นต้น (Trajanowicz, 2006)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับท่อนาโนคาร์บอนทางการหายใจเป็นเส้นทางหลักของการนำท่อนาโนคาร์บอนเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งเกิดขึ้นได้ง่ายในขณะปฏิบัติงานโดยเฉพาะการสังเคราะห์หรือผลิตท่อนาโนคาร์บอนทั้งสามวิธี ไม่ว่าจะเป็นวิธี CVD, arc discharge หรือ laser ablation โดยท่อนาโนคาร์บอนจะอยู่ในรูปของผงซึ่งมีขนาดเล็ก และเบาทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งปรากฏในอากาศได้ทั้งรูปผง และละอองลอย (Tsai et al., 2009)

อาการที่ได้รับสาร – คัดจมูก ระคายเคืองจมูก และระบบทางเดินหายใจ

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงานและในการผลิตหรือสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนควรทำในระบบปิดทุกครั้ง

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วการได้รับท่อนาโนคาร์บอนโดยทางปากนั้น เกิดขึ้นได้หากมีการปนเปื้อนของท่อนาโนคาร์บอนขณะปฏิบัติงาน เช่น อาจติดมือ เป็นต้น จากนั้นเข้าสู่ปากผ่านอาหาร น้ำดื่ม หรือการสูบบุหรี่

อาการที่ได้รับสาร – อาจระคายเคืองระบบทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่ถุงมือชนิดที่เหมาะสมทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน ไม่สัมผัสกับท่อนาโนคาร์บอนโดยตรงด้วยมือเปล่า และทำความสะอาดร่างกายก่อนรับประทานอาหารและน้ำดื่ม

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับทางผิวหนังเกิดขึ้นได้ในขณะปฏิบัติงานซึ่งอาจเกิดการหกหรือกระฉอกของของเหลวที่มีท่อนาโนคาร์บอนอยู่ ทำให้เกิดการได้รับผ่านทางผิวหนังได้ นอกจากนี้การสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น อาจทำให้ได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนังผ่านการสัมผัสได้เช่นกัน

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังในปริมาณมากจะทำให้เกิดการระคายเคือง

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของท่อนาโนคาร์บอนแขวนลอยในอากาศมีทั้งในลักษณะผง

และละอองลอย ซึ่งสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับในปริมาณมากเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับท่อนาโนคาร์บอนทางการหายใจ หรือจากการสูดดมผง ฝุ่น หรือละอองลอยของท่อนาโนคาร์บอน ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธิ์และนอนพัก หากรับสารท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณมากให้ใช้เครื่องช่วยหายใจและนำส่งแพทย์หากได้รับท่อนาโนคาร์บอนทางปาก ให้นำส่งแพทย์ทันที

การได้รับสารท่อนาโนคาร์บอนทางผิวหนัง ให้ล้างผิวหนังบริเวณที่สัมผัสด้วยน้ำและสบู่ในปริมาณมากเป็นเวลานานหลายนาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยความระมัดระวัง แล้วนำส่งแพทย์หากท่อนาโนคาร์บอนเข้าตาให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลาหลายนาที แล้วนำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (MWCNT) จากการทดสอบของ OECD

4.1.1 ชนิดของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (MWCNT) ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกาเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก และมีสมาชิกจากประเทศที่สนับสนุนร่วมการวิจัยได้แก่ เกาหลี และ BIAC โดยได้ร่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวซึ่งได้กำหนดชนิดของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษดังตารางที่ 4.1 และลักษณะของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นบางชนิดจากเครื่อง Transmission Electron Microscopy แสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ชนิดและลักษณะท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (MWCNT) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (OECD, 2011)

กลุ่มสาร	สารทดสอบหลัก	สารทดสอบรอง			
ชนิด	MWCNT	Graphistrength C100	Mitsui MWNT-7	Baytubes®	NANOCYL™ NC7000
บริษัทผู้ผลิต	Nikkiso	Arkema France	Bussan Nanotech Research Institute	Bayer Material Science AG	NANOCYL S.A.
วิธีผลิต	CVD method with floating metal catalyst	Chemical Vapor Deposition method using supported metal catalyst	CVD method with floating metal catalyst	Chemical Vapor Deposition method using supported metal catalyst	Chemical Vapor Deposition method using supported metal catalyst

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

การศึกษาความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นโดยกลุ่มนักวิจัยของประเทศต่างๆ ที่เป็นสมาชิก OECD ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

การศึกษาความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นโดยกลุ่มนักวิจัยของประเทศต่างๆ ที่เป็นสมาชิก OECD ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย โดยข้อมูลบางส่วนที่มีการรายงาน มีดังนี้

<u>การทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม</u>

1) ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น จากบริษัท Nikkiso

ผลการทดสอบความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อเซลล์ทสดอบน้อยมาก การเกิดการอักเสบเนื่องจากการได้รับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นมีน้อยเมื่อเทียบกับการได้รับนิกเกิลออกไซด์

2) ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น จากบริษัท Baytubes®

ผลการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน พบว่าสารนี้ไม่ทำให้เกิดระคายเคืองทางผิวหนัง หากได้รับเข้าสู่ดวงตามจะทำให้เกิดการระคายเคืองไม่มากนัก

ค่าความเป็นพิษแบบ oral toxicity ของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น

rat :	LD_{50}	> 5000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ค่าความเป็นพิษแบบ dermal toxicity ของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น

rat :	LD_{50}	> 2000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	NOAEL	0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

3) ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น จากบริษัท NANOCYL™

ผลการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันเมื่อได้รับทางปากพบว่าท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นชนิดนี้ไม่พบผลกระทบเชิงลบที่มีต่อเซลล์ และไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองหากมีการได้รับทางการสัมผัส และเมื่อได้รับสารเคมีซ้ำจากทางการหายใจ พบว่าน้ำหนักของปอดจะเพิ่มขึ้น เกิดการอักเสบภายในปอด เกิดการอักเสบของเซลล์ (neutrophilic inflammation)

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

<u>ความเป็นพิษต่อสัตว์</u>

จากการทดสอบความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นที่มีต่อปลาและไข่ของปลาม้าลาย *Danio rerio* พบว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นจะทำให้เกิดการวางไข่ของปลาที่ช้าลง และยังพบว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นทำให้เกิดภูมิต้านทานในการทำลายท่อนาโนคาร์บอนในช่วงต้นของการเกิดเซลล์ไข่ โดยท่อนาโนคาร์บอนจะถูกขับออกมาจากสู่ภายนอกของเซลล์ไข่ภายหลังจากการได้รับท่อนาโนคาร์บอนเป็น

เวลา 96 ชั่วโมง ในขณะที่อัตราการรอดชีวิตของตัวอ่อนภายหลังการได้รับท่อนาโนคาร์บอนมีค่าต่ำมาก (Cheng et al., 2007, Cheng et al., 2009)

ในการทดสอบความเป็นพิษต่อแบคทีเรีย Kang และคณะ (Kang et al., 2007, Kang et al., 2008, Kang et al., 2009) พบว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวจะทำให้เกิดความเป็นพิษโดยจะทำลายผนังเซลล์ ในขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นจะทำให้เกิดความเป็นพิษซึ่งเกิดจากการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความเป็นพิษที่เกิดขึ้นจากท่อนาโนคาร์บอนทั้งสองชนิด พบว่าท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นทำให้เกิดความเป็นพิษมากกว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว ซึ่งมาจากลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ของท่อนาโนคาร์บอน ความสามารถในการละลายน้ำที่ต่างกันของท่อนาโนคาร์บอนทั้งสองชนิด

ความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในการศึกษาถึงผลของอนุภาคนาโนต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในด้านบวกและลบของท่อนาโนคาร์บอนนั้น ได้มีการรายงานถึงผลกระทบของท่อนาโนคาร์บอนที่มีต่อด้านบวกของการเจริญเติบโตของพืช โดยทีมวิจัยของ Khodakovskaya และคณะจาก University of Arkansas (Khodakovskaya et al., 2009) ซึ่งพบว่าท่อนาโนคาร์บอนสามารถจะผ่านเยื่อหุ้มเมล็ดของมะเขือเทศได้และช่วยทำให้น้ำผ่านเข้าสู่เมล็ดของมะเขือเทศได้ดียิ่งขึ้นการกระตุ้นการผ่านของน้ำเข้าสู่เมล็ดนั้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการงอก และทำให้เกิดการผลิตมวลชีวภาพจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 5.2 เมล็ดที่สัมผัสกับท่อนาโนคาร์บอนมีอัตราการงอกและการเจริญเติบโตที่มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยพบว่าอัตราการงอกในอาหารที่ไม่มีการเติมท่อนาโนคาร์บอนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 32 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 วัน และเพิ่มเป็น 71 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 ส่วนอัตราการงอกของเมล็ดที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เติมท่อนาโนคาร์บอนนั้นสูงถึง 74-82 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 12 และเพิ่มขึ้นเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 จากการที่ท่อนาโนคาร์บอนจัดได้ว่าเป็นคาร์บอนในรูปหนึ่งซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ การตกค้างของท่อนาโนคาร์บอนในพืชจึงไม่จัดเป็นอันตรายมากนัก (Khodakovskaya et al., 2009)



รูปที่ 5.2 แสดงการเจริญเติบโตของเมล็ดมะเขือเทศ โดยเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับน้ำที่มีท่อนาโนคาร์บอนอยู่ (ด้านขวา) จะเติบโตได้ดีกว่าเมล็ดมะเขือเทศทั่วไปอย่างชัดเจน (Khodakovskaya et al., 2009)

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

การทดสอบความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นที่มีต่อหนู (mice) โดยทดสอบที่ความเข้มข้น 10, 20, 40 และ 80 ไมโครกรัม โดยพบว่าเกิดความเป็นพิษแบบเฉียบพลันโดยมีการอักเสบที่เนื้อปอดและเกิดการทำลายเซลล์ เกิดการปะปนของกลุ่ม epithelioid histiocyte ปะปนกับ lymphocyte และการเกิดพังผืดในเนื้อปอด ซึ่งอาการต่างๆ เกิดขึ้นหลังจากได้รับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นเป็นเวลา 4 วัน โดยมีอาการต่อเนื่องยาวนานถึง 56 วัน (Porter et al., 2010) โดยได้มีรายงานว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 49 นาโนเมตร และมีความยาว 4.2 ไมครอน สามารถทะลุผ่านผนังปอดชั้นนอก และเข้าไปสู่เยื้อหุ้มปอดชั้นในได้ (Hubbs et al., 2009, Mercer et al., 2010) นอกจากนี้ยังพบอีกว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นยังเข้าไปถึงเยื่อหุ้มปอด และเข้าไปในเม็ดเลือดขาวของถุงลม และเคลื่อนที่ไปยังระบบท่อน้ำเหลือง และทำให้เกิดการอักเสบในท่อน้ำเหลืองขึ้น (Hubbes et al., 2009)

การอักเสบในปอดและการเกิดพังผืดในหนู (rat) เกิดขึ้นเมื่อมีการได้รับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นที่มีความยาว 5.9 ไมครอน และที่มีความยาวน้อยกว่าที่ 0.7 ไมครอน โดย Muller และคณะ (Muller et al., 2005) ได้ทดสอบโดยใช้ปริมาณทดสอบเป็น 0.5, 2 และ 5 มิลลิกรัม โดยท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นอยู่ในรูปที่บดแล้วและยังไม่บด ผลการทดสอบพบว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นที่บดแล้วจะกระจายตัวได้ดีในปอด และทำให้เกิดเส้นใยส่วนเกินในปอดที่ลึกลงไปในระดับถุงลม ในขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นที่ไม่บดนั้นจะติดค้างในระบบทางเดินหายใจเป็นส่วนใหญ่ โดยมีส่วนน้อยเท่านั้นที่เข้าสู่ปอด โดยท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นที่บดแล้วจะทำให้เกิดการอักเสบและเกิดเส้นใยในลักษณะเดียวกันกับแอสเบสตอสในรูปของ chrysotile และส่งผลกระทบเชิงลบมากกว่าคาร์บอนแบลคที่มีขนาดละเอียด (Muller et al., 2005)

ในการทดสอบความเป็นพิษในการได้รับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นผ่านการหายใจในช่วงเวลาสั้นๆ โดยทดสอบกับหนู (mice) โดยท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-20 นาโนเมตร ความยาว 5-15 ไมครอน ที่ความเข้มข้น 0.3, 1 และ 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นช่วงเวลา 7-14 วัน และให้รับอนุภาคนาโนเป็นเวลา 6 วันต่อชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่ามีอนุภาคสีดำของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นพบในเม็ดเลือดขาวซึ่งอยู่ในถุงลม โดยไม่ปรากฏการอักเสบและการทำลายของเนื้อเยื่อในปอด Mitchell และคณะ (Mitchell et al., 2009) ได้รายงานถึงกลไกในการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกันโรคที่เกิดต่อท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น โดยพบว่าเกิดการทำงานของเอนไซม์ cyclooxygensase ในม้าม ในขณะที่ Porter และคณะ (Porter et al., 2009) ได้รายงานถึงการอักเสบของปอดและการทำลายของเนื้อเยื่อปอดที่ขึ้นภายในหนึ่งวันหลังจากได้รับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นในปริมาณมาก คือ 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งทำการทดลองเป็นเวลา 2-12 วัน

ในการศึกษาความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นต่อการเป็นสารก่อมะเร็ง Takagi และคณะ (Takagi et al., 2008) ได้ใช้ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นในปริมาณ 3 มิลลิกรัม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 นาโนเมตร และมีความยาวมากกว่า 5 ไมครอนและนำมาใช้ทดสอบกับหนู (mice) โดยพบว่าท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นได้ทำให้เกิดการติดแน่นของเยื่อบุช่องท้องในส่วนที่เป็นเส้นใย ซึ่งทำให้เยื่อบุ

ช่องท้องหนาขึ้น และกลายเป็นเนื้องอก โดยอาการนี้ได้เกิดขึ้นร้อยละ 88 ของหนูที่ทดสอบโดยเกิดขึ้นหลังการได้รับอนุภาคนาโนเป็นเวลา 25 สัปดาห์ Poland และคณะ (Poland et al., 2008) ได้รายงานถึงการมีท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นในเยื่อบุช่องท้อง โดยท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นในที่มีเส้นยาวจะทำให้เกิดการอักเสบ และเกิดเนื้อเยื่อที่มีการอักเสบในช่องท้องด้านข้างของกระบังลมหลังจากที่ได้รับอนุภาคนาโน 1 อาทิตย์

Muller และคณะ (Muller et al., 2009) ได้ให้หนู (rat) ได้รับอนุภาคท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวและผนังหลายชั้น โดยไม่พบอาการของการเกิดมะเร็งในเยื่อหุ้มปอดในช่วงเวลา 2 ปีหลังจากมีการให้ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นกับเนื้อเยื่อบุช่องท้องของหนูในปริมาณ 2 หรือ 20 มิลลิกรัม (Muller et al., 2009) โดยท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นแบบสั้น (น้อยกว่า 1 ไมครอน) ในขณะที่ Varga และ Szendi (Varga and Szendi, 2010) ได้รายงานถึงการได้รับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นของหนูที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม (หรือ 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัวของหนู) โดยฝังอนุภาคนาโนในช่องท้องของหนู ผลการทดสอบหลังจากการได้รับอนุภาคนาโนเป็นเวลา 12 เดือน จะพบการเกิดเซลล์ขนาดใหญ่ที่เกิดจากการรวมตัวกันของเซลล์ที่มีหลายนิวเคลียส แต่เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นที่มีขนาดสั้นน้อยกว่า 2 ไมครอนจะมีผลทางชีววิทยาต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Poland และคณะ (Poland et al., 2008) และ Muller และคณะ (Muller et al., 2009)

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

Murray และคณะ (Murray et al., 2007) ได้ทดสอบความเป็นพิษของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวโดยใช้หนูเป็นสัตว์ทดสอบ โดยพบว่าการแทรกของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวเข้าสู่ผิวหนังของหนูนั้นทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้ งานทดลองของ Shvedova และคณะ ในปี 2003 (Shedova et al., 2003) ได้มีการทดลองในลักษณะเดียวกันโดยเป็นการใช้ท่อนาโนคาร์บอนทั้งในแบบผนังเดี่ยวและหลายชั้นในการทดสอบกับเซลล์ผิวหนังมนุษย์ที่เพาะเลี้ยงในห้องทดลอง โดยพบว่าเมื่อวัสดุนาโนเข้าสู่เซลล์ทำให้เกิดการอักเสบของเซลล์ เซลล์ถูกทำลายด้วยอนุมูลอิสระ (oxidative stress) และลดการอยู่รอดของเซลล์ (cell viability)

ค่าความเป็นพิษจากการสัมผัสของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว โดยทดสอบกับเซลล์หนู SKH-1 พบว่าเกิดการอักเสบและการเคลื่อนที่ไปยังรอบๆ รูขุมขน โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆเมื่อทดสอบที่ค่าปริมาณการได้รับต่ำ (40 ไมโครกรัม) (Murray et al., 2009) ในขณะที่ผลการทดสอบความเป็นพิษจากการสัมผัสของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นของ Baytubes® ไม่พบหลักฐานบ่งชี้ถึงความเป็นพิษอย่างเฉียบพลันที่มีต่อผิวหนัง ส่วนการทดสอบกับกระต่ายตามวิธีมาตรฐานของ OECD โดยให้เกิดการระคายเองในดวงตา พบว่า ไม่มีหลักฐานแสดงถึงพิษเฉียบพลันที่จะเกิดขึ้นได้เช่นกัน (Pauluhn, 2010)

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

ค่าจำกัดการสัมผัสสารรับสัมผัสที่เกิดจากการทำงาน (Occupational Exposure Limit, OEL) ที่กำหนดโดย British Standards Institute (BSI, 2007) ได้กำหนดไว้เป็นค่า Benchmark Exposure Limit (BEL) ที่ 0.1 ไฟเบอร์/ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 1 ใน 10 เท่าของค่าจำกัดการสัมผัสของแร่ใยหิน ในขณะที่หน่วยงาน Japanese New Energy and Industrial Technology Development Organization หรือ NEDO ของประเทศญี่ปุ่น ได้กำหนดค่าจากการทดสอบกับหนูเป็นช่วงเวลา 4 เดือน และวัดจากเกิดการอักเสบในปอด โดยมีค่า NOAEL เป็น 0.37 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยเมื่อคำนวณเป็นค่าอัตราการได้รับสารเมื่อเทียบกับปอดของหนูจะมีค่าเป็น 6.0 ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน (Kobayaski et al., 2009) ในการอ้างอิงค่าที่จะนำไปใช้ได้กำหนดให้ค่า uncertainty factor เป็น 2 ทำให้ค่าที่กำหนดจะเป็น 3.0 ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นค่าการสัมผัสที่ยอมรับได้ของท่อนาโนคาร์บอนหลายชั้นของมนุษย์ โดยเมื่อแปลงหน่วยจะได้เป็นค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (TWA) คือ 0.21 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยคิดช่วงการรับสารคือ 8 ชั่วโมงต่อวัน และ 5 วันต่อสัปดาห์ จากการคำนวณนี้หน่วยงาน NIOSH จึงได้กำหนดค่าการได้รับสารท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นเป็น 3.0 ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน ซึ่งเมื่อคิดการได้รับของคนงานที่หนัก 70 กิโลกรัมแล้ว จะทำให้ค่าการได้รับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นเป็น 210 ไมโครกรัม/วัน

ในขณะที่ Nanocyl (Nanocyl, 2009) ได้กำหนดค่าจำกัดการสัมผัสสารรับสัมผัสที่เกิดจากการทำงาน หรือ OEL เป็น 2.5 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ในช่วงระยะเวลาการได้รับ 8 ชั่วโมง โดยมีค่า LOAEL เป็น 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Ma-Hock et al., 2009)

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ
- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น
- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นใส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่น โดยเฉพาะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับท่อนาโนคาร์บอนในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับท่อนาโนคาร์บอนในรูปสารละลาย สามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 5.4



(a) ถุงมือ Silver Shield



(b) ถุงมือ Butyl



(c) ถุงมือ Viton



(d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 5.4 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาท่อนาโนคาร์บอนในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ โดยมีข้อปฏิบัติเฉพาะ ดังนี้

- ต้องเก็บรักษาให้ไกลจากประกายไฟ เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนเกิดการลุกติดไฟและเกิดการเผาไหม้ได้ง่ายหากได้รับประกายไฟ
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารออกซิไดซ์เซอร์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเปอร์คลอเรต สารเปอร์มังกาเนต เป็นต้น
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากกลุ่มสารประกอบที่มีธาตุฮาโลเจน
- ห้ามเก็บรักษาร่วมกับกรดและด่าง

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

จากการที่ท่อนาโนคาร์บอนมีลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบมาจากกราไฟท์ จึงทำให้ท่อนาโนคาร์บอนมีลักษณะการทำปฏิกิริยาที่ว่องไว และเป็นสารที่ลุกไหม้ได้ง่ายเมื่ออยู่ในรูปผงและสะสมในปริมาณมาก จึงต้องหลีกเลี่ยงอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการลุกไหม้ของท่อนาโนคาร์บอน ได้แก่

- หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
- หลีกเลี่ยงการเกิดเปลวไฟ ประกายไฟ หรืออยู่ใกล้กับวัสดุที่ทำให้เกิดเปลวไฟ เช่น เทียน เป็นต้น
- หลีกเลี่ยงจากการเกิดประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์เชื่อม อุปกรณ์ตัด

ในการทำงานหากต้องมีการใช้ก๊าซร่วมกับท่อนาโนคาร์บอน ให้ใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน เป็นต้น

ท่อนาโนคาร์บอนเมื่อลุกไหม้จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซพิษ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการปฏิบัติงานระงับภัยต้องระวังการได้รับก๊าซเหล่านี้

โดยทั่วไปสารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยที่เกี่ยวข้องกับท่อนาโนคาร์บอนได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม ทั้งนี้ต้องมีการตรวจสอบเอกสารความปลอดภัยของสารเคมี (MSDS) ทุกครั้ง เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนบางชนิดระบุวิธีการดับเพลิงเฉพาะชนิด เช่น ต้องใช้โฟมเป็นสารดับเพลิงเท่านั้น ไม่สามารถใช้น้ำเป็นสารดับเพลิงได้ เป็นต้น

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารท่อนาโนคาร์บอนทั้งแบบผนังเดี่ยวและผนังหลายชั้นไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ US. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐานToxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป โดยสามารถกำจัดด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล หรือการเผาด้วยเตาเผาได้ โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศพิษ เพื่อบำบัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นขณะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นของบริษัท CNT ชนิด C_{tube} (แสดงในภาคผนวก ก.5)

CNT Co., Ltd.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

PRODUCT NAME	C_{Tube}-100, C_{Tube}-101, C_{Tube}-120
CHEMICAL NAME	Multiwall Carbon Nanotubes
FORMULA	Carbon
CHEMICAL FAMILY	Synthetic Graphite
SYNONYMS	Multi-Walled Carbon Nanotube
MANUFACTURER	CNT Co., Ltd. C-2116 The #1st World officetel, 4-1 Songdo-dong Yeonsu-gu Incheon, Korea, 406-840
EMERGENCY TEL. NO.	TEL. 82 32 835 5285/6, FAX. 82 32 835 5287

3. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

COMPONENT	%	O/D	LENGTH	CAS NO.
Carbon Nanotube Synthetic graphite	95 MIN.	10~40nm	1~25μm	7782-42-5

2. HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW	Irritant Irritating to eyes and respiratory system
HMIS RATING	
HEALTH	2
FLAMMABILITY	0
REACTIVITY	0
NFPA RATING	
HEALTH	2
FLAMMABILITY	0
REACTIVITY	0

For additional information on toxicity, Please refer to Section 11.

6.2 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นของบริษัท Nanothinx Raw Multi-Wall Carbon Nanotube (แสดงในภาคผนวก ก.5)

RAW MULTI-WALL CARBON NANOTUBES (MWNT)
Material Safety Data Sheet

Nanothinx S.A.
P.O. Box 1414
Stadiou Street, Platani
Rio-Patras 26504 GREECE

Tel: +30-2610-965208
Fax: +30-2610-965223
info@nanothinx.com
http://www.nanothinx.com

1. Identification of Product

Trade name Multi-Wall Carbon Nanotubes
Manufacturer Nanothinx S.A.

2. Product Composition and Specifications

Raw MWNT		Characterization method
Production method	CCVD	
Available form	Black powder	
Diameter	NTX1: 15-35 nm NTX2: 15-30 nm NTX3: 25-40 nm NTX4 (thin MWNT): 6-10 nm	TEM, SEM
Length	≥ 10 μm	SEM, TEM
Layers	NTX1 & NTX2: 15-35 NTX3: 25-40 NTX4 (thin MWNT): 7-12	TEM
Nanotubes purity	NTX1: 97% NTX2: ≥ 95% NTX3: ≤ 98.5% NTX4 (thin MWNT): > 90%	TGA, SEM
Metal particles	NTX1: 3% NTX2: ≤ 5% NTX3: ≥ 1.5% NTX4 (thin MWNT): < 10%	TGA
Amorphous carbon	< 1%	TGA, Raman
Surface area	NTX3, NTX2 & NTX1: 200-250 m^2/g NTX4: ~300 m^2/g	BET
Bulk density	NTX1 & NTX2: ~0.16 g/cm^3 NTX3: 0.20 g/cm^3 NTX4(thin MWNT):0.15 g/cm^3	

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

British Standard Institute (BSI), Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials, PD 6699-2:2008, 2007.

Britto PJ, Santhanam KSV, Ajayan PM, BielectrochemBioenerg41 (1996) 121.

Cheng JP, Flahaut E, Cheng SH, Environ ToxicolChem26 (2007) 708.

Cheng C, Muller KH, Koziol KKK, Skepper JN, Midgley PA, Welland ME, Porter AE,Biomaterials30 (2009a) 4152.

ChengJ, ChanCM, Veca LM, PoonWL, Chan PK, QuL, SunY-P, Cheng SH, ToxicolApplPharmacol235 (2009b) 216.

Dai L, He P, Li S, Nanotechnology 14 (2003) 1081.

Dai LM, Soundarrajan P, Kim T, Pure ApplChem 74 (2002) 1753.

Hubbs AF, Mercer RR, Coad JE, Battelli LA, Willard P, Sriram K, Wolfarth M, Castranova V, Porter D, The Toxicologist 108 A(2009)2193.

International Organization for Standardization /technical specification (ISO/TS), Nanotechnologies: terminology and definitions for nano-object; nanoparticle, nanofibre and nanoplate, ISO/TS 27687:2008, 2008.

Kang S, Pinault M, Pfefferle LD, Elimelech M, Langmuir23 (2007) 8670.

Kang S, Herzberg M, Rodrigues DF, Elimelech M, Langmuir24 (2008a) 6409.

Kang S, Mauter MS, Elimelech M, Environ SciTechnol42 (2008b) 7528.

Kang S, Mauter MS, Elimelech M, Environ SciTechnol43 (2009) 2648.

KobayaskiN, Kishimoto A, Ogura I, Gamo M, Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials: Carbon Nanotubes (CNTs), Executive Summary, Nakanishi J, Ed, Interim report issued on October 16, 2009.

KongJ, Soh H, Cassell A, Quate CF, Dai H, Nature (London) 395 (1998) 878.

Fan S, Chapline M, Franklin N, Tombler T, Cassell A, Science (Washington, DC) 283 (1999) 512.

Ku BK, Emery MS, Maynard AD, Stolzenburg MR, McMurry PH, Nanotechnology 17(2006)3613.

Liu Z, Shen Z, Zhu T, Hou S, Ying L, Shi Z, Gu Z, Langmuir 16 (2000) 3569.

Ma-Hock L, Treumann S, Strauss V, Brill S, Luizi F, Mertler M, Wiench K, Gamer AO, Ravenzwaay B, Landsiedel R, Toxicological Sciences 112(2009) 468.

Mercer RR, Hubbs AF, Scabilloni, JF, Wang L, Battelli LA, Schwegler-Berry D, CastranovaV, Porter DW, Particle FibreToxicol 7(2010)1.

Mitchell LA, Lauer FT, Burchiel SW, McDonald JD, NatNanotechnol 4(2009)451.

Muller J, Huaux F, Moreau N, Misson P, Heilier JF, Delos M, Arras M, Fonseca A, NagyJB, Lison D, ToxicolApplPharmacol 207(2005) 221.

Muller J, Delos M, Panin N, Rabolli V, Huaux F, Lison D, ToxicolSci 110(2009) 442.

Murray AR, Kisin E, Leonard SS, Young SH, Kommineni C, Kagan VE, Castranova V,Shvedova AA,Toxicology 257(2009)161.

Nanocyl, Responsible Care and Nanomaterials Case Study Nanocyl, Presentation at European Responsible Care Conference, Prague, 21-23rd October,2009. Available at: http://www.cefic.be/Files/Downloads/04_Nanocyl pdf.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Approaches to safe nanotechnology: managing the health and safety concerns with engineered nanomaterials. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service (DHHS), Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Publication No. 2009-125, 2009.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers (Draft), NIOSH Current Intelligence Bulletin, November 2010.

Pauluhn J, RegulToxicolPharmacol (2010)Doi:10.1016/j.vrtph.2009.12.012.

Poland, CA, Duffin R, Kinloch I, Maynard A, Wallace WA, Seaton A, Nat Nanotechnol 3(2008) 423.

Porter DW, Wolfarth MG, Chen BT, McKinney W, Hubbs AF, Batelli L, Andrews M,Frazer D, Castranova V, The Toxicologist 108A(2009)2193.

Porter DW, Hubbs AF, Mercer RR, Wu N, Wolfarth MG, Sriram K, Leonard SS, BatelliL,Schwegler-Berry D, Friend S, Andrew M, Chen BT, Tsuruoka S, Endo M, Castranova V, Toxicology 269(2010)136.

Shvedova AA, Castranova V, Kisin ER, Schwegler-Berry D, Murray AR, Gandelsman VZ, Maynard AD, Baron PA, Castranova V, J Toxicol Environ Health 66(2003)1901.

Takagi A, Hirose A, Nishimura T, Fukumori N, Ogata A, Ohashi N, J ToxicolSci 33(2008)105.

The Food and Environment Research Agency(FERA), A lifecycle assessment study of the route and extent of human exposure via inhalation for commercially available products and applications containing carbon nanotubes, Final Report, 2009.

Thostenson ET, Ren ZF, Chou TW, ComposSciTechnol 61(2001)1899.

Trajonowicz M,TrAC, Trends Anal Chem25(2006) 480.

Varga C and Szendi K,In Vivo 24(2010) 153.

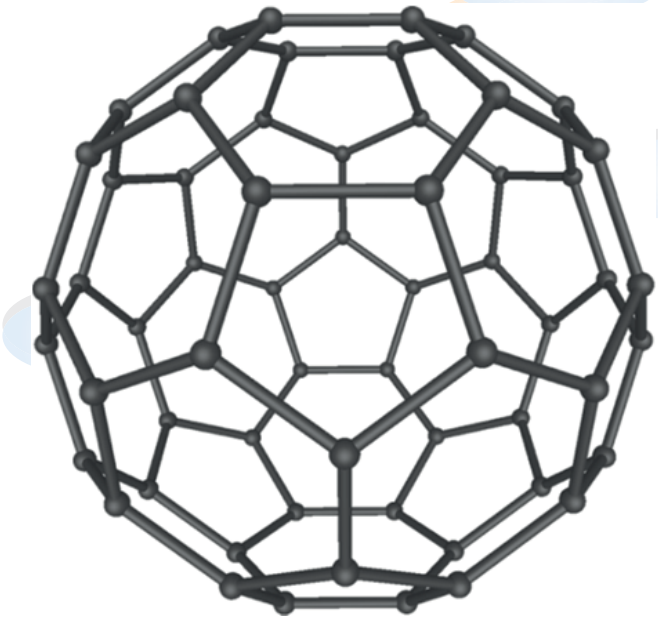
บทที่ 6
ฟูลเลอรีน (Fullerenes)

1. ลักษณะสมบัติ

(หมายเหตุใช้ C60 เป็นตัวอย่างของลักษณะสมบัติของฟูลเลอรีน)

ชื่อ	fullerene, buckminsterfullerene
CAS number	99685-96-8
สูตรโมเลกุล	C_{60}
น้ำหนักโมเลกุล	720.65 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	1.7-1.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ลักษณะทั่วไป	ลักษณะรูปทรงเป็นโครงสร้างโมเลกุลทรงกลม ที่ประกอบด้วยคาร์บอน 12 อะตอมต่อกันเป็นวงแหวนห้าเหลี่ยม และ คาร์บอน 20 อะตอมต่อกันเป็นวงหกเหลี่ยม มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับกราไฟท์ โครงสร้างกราไฟท์ประกอบด้วยแผ่นกราฟีนที่ซ้อนกันและเชื่อมกันด้วยวงแหวนหกเหลี่ยมในขณะที่โครงสร้างของฟูลเลอรีนจะเชื่อมกันด้วยวงแหวนห้าเหลี่ยม หรือเจ็ดเหลี่ยม

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี (รูปที่ 6.1)



รูปที่ 6.1 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของฟูลเลอรีน
(ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/File:C60a.png)

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

ฟูลเลอรีน หรือ C_{60} ถูกค้นพบโดย Kroto และคณะ (Kroto et al., 1985) เป็นรูปแบบหนึ่งของคาร์บอนที่มีลักษณะโครงสร้างเหมือนกราฟีน (graphene) ที่ม้วนตัวในลักษณะกรงปิดที่เป็นทรงกลมกลวง สารฟูลเลอรีนเป็นสารที่มีลักษณะคงตัวซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 28 ถึงมากกว่า 100 อะตอม แต่ที่เป็นที่รู้จักกันมากคือ ฟูลเลอรีนที่คาร์บอนจำนวน 60 อะตอม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 นาโนเมตร และมีน้ำหนักโมเลกุล 720 กรัม/โมล โดยมีพันธะคู่ของคาร์บอนจำนวน 30 พันธะซึ่งทำให้อนุมูลอิสระสามารถเติมเข้าไปในโครงสร้างได้ง่าย จึงทำให้ฟูลเลอรีนอยู่ในรูปของ radical sponge (Nielsen et al., 2008, Johnston et al., 2010)

จากการที่ฟูลเลอรีนมีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสูงและเป็นสารที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา สามารถดูดซับแสงอัลตราไวโอเลตได้ดี และสามารถดูดซับแสงวิซิเบิลที่ตามองเห็นได้ปานกลาง จึงทำให้มีการนำวัสดุนาโนชนิดนี้ไปใช้ในทางการแพทย์ ฟูลเลอรีนสามารถรวมตัวเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่ โดยมีขนาดใหญ่ได้มากกว่า 100 นาโนเมตร ฟูลเลอรีนมีได้หลายชนิด เช่น C_{70}, C_{80}, C_{94} เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีจำนวนของคาร์บอนแตกต่างกันไป (Aschberger et al., 2010) ฟูลเลอรีนเป็นสารที่ละลายน้ำได้ต่ำมาก หรือไม่ละลายน้ำเลย (Ruoff, 1993) และมีแนวโน้มที่จะแขวนลอยในน้ำได้เป็นช่วงเวลานาน สำหรับการละลายต้องใช้ตัวทำละลายในการละลายฟูลเลอรีนก่อนนำไปใช้งาน พื้นผิวของฟูลเลอรีนโดยทั่วไปแล้ว จะเป็นประจุลบโดยมีค่า zeta potential ประมาณ -50 โวลต์ ถ้าไอออนในสารละลายที่มีอยู่ล้อมรอบมีความเข้มข้นสูงทำให้มีค่า ionic strength สูงถึง 100 มิลลิโมลาร์ จะทำให้เกิดการรวมกันของฟูลเลอรีเป็นก้อนใหญ่ (Brant et al., 2005)

ในการนำฟูลเลอรีนไปใช้งานมักจะมีการปรับปรุงพื้นที่ผิวเพื่อให้ฟูลเลอรีนสามารถกระจายตัวได้ดี และในการนำไปใช้งานมักนิยมละลายฟูลเลอรีนในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ทำให้สามารถนำฟูลเลอรีนไปใช้งานทางด้านการรักษา การนำส่งยา หรือใช้ในเครื่องสำอางได้ นอกจากนี้ฟูลเลอรีนได้ถูกนำไปใช้ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งการพัฒนาการใช้งานฟูลเลอรีนสำหรับพลังงาน เช่น เซลล์เชื้อเพลิง เซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ เป็นต้น ประเภทการใช้งานของฟูลเลอรีนในระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีไม่มากนัก แต่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต (Fujitani et al., 2008)

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง** ฟูลเลอรีนเป็นโมเลกุลที่เสถียร มีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวสูง และเป็นสารที่ลักษณะสมบัติต่อต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) จึงทำให้มีการนำฟูลเลอรีนมาใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอางกันมาก โดยเป็นสารที่ใช้ในระบบการนำส่งยา ใช้ในการเป็นครีมบำรุงผิวต่อต้านอนมูลอิสระเพื่อชะลอการเหี่ยวย่น (Lens, 2009) ใช้ในการป้องกันการเกิดฝ้า ทำให้ผิวขาวใสโดยใช้ลักษณะของการเป็น Radical Sponge ที่สามารถดูดซับอนุมูลอิสระมาอยู่ในโครงสร้างของฟูลเลอรีนได้ (Takada et al., 2006) ใช้ในครีมกันแดดเพื่อป้องกันการทำลายผิวจากแสงอัลตราไวโอเลตทั้งชนิด A และ B

(Xiao et al., 2006, 2007) รวมทั้งผลิตภัณฑ์บำรุงเส้นผม (Zhou et al., 2009) และสารต่อต้านแบคทีเรีย (Aoshima et al., 2009)

- **อุตสาหกรรมพลาสติก** ฟูลเลอรีนเป็นอนุภาคนาโนที่สามารถนำโมเลกุลคาร์บอน C_{60} มาเรียงต่อกันเป็นเส้นยาว จะทำให้ได้ลักษณะสมบัติเหมือนกับพลาสติกซึ่งมีความแข็งแรงและทนทานกว่าพลาสติกทั่วไป จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกและปิโตรเคมี และยังนำลักษณะสมบัตินี้ไปใช้ในอุปกรณ์กีฬาบางชนิดด้วย

- **อุตสาหกรรมพลังงานและเชื้อเพลิง** งานวิจัยในปัจจุบันหลายงานได้มีการพัฒนาฟูลเลอรีนไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน เนื่องจากฟูลเลอรีนเป็นสารที่สามารถให้พลังงานสูงกว่าเบนซิน และยังสามารถลดอุณหภูมิให้ต่ำจนถึงอุณหภูมิ -250 องศาเซลเซียส ฟูลเลอรีนจะมีคุณสมบัติเป็นสารตัวนำยิ่งยวดที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ดี การพัฒนางานวิจัยเพื่อนำฟูลเลอรีนไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานจึงเป็นงานวิจัยที่จะทำให้เกิดการใช้งานจริงในอนาคตอันใกล้ (Fujitani et al., 2008)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับผงฟูลเลอรีนทางการหายใจเป็นเส้นทางหลัก โดยฟูลเลอรีนจะอยู่ในรูปของผงซึ่งมีขนาดเล็ก และเบาทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งปรากฏในอากาศได้ทั้งรูปผง และละอองลอย

อาการที่ได้รับสาร – คัดจมูก ระคายเคืองจมูก และระบบทางเดินหายใจ

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงานและในการผลิตหรือสังเคราะห์ฟูลเลอรีนควรทำในระบบปิดทุกครั้ง

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วการได้รับฟูลเลอรีนโดยทางปากนั้น เกิดขึ้นได้หากมีการปนเปื้อนของฟูลเลอรีนขณะปฏิบัติงาน เช่นอาจติดมือ เป็นต้น จากนั้นเข้าสู่ปากผ่านอาหาร น้ำดื่ม หรือการสูบบุหรี่

อาการที่ได้รับสาร – อาจระคายเคืองระบบทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่ถุงมือชนิดที่เหมาะสมทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน ไม่สัมผัสกับฟูลเลอรีนโดยตรงด้วยมือเปล่า และทำความสะอาดร่างกายก่อนรับประทานอาหารและน้ำดื่ม

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับฟูลเลอรีนทางผิวหนังจัดเป็นเส้นทางหลักอีกเส้นทางหนึ่งนอก เหนือจากการหายใจในการได้รับฟูลเลอรีนเข้าสู่ร่างกาย (Aschberger et al., 2010) โดยการได้รับทาง

ผิวหนังเกิดขึ้นได้ในขณะปฏิบัติงาน จากการสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น อาจทำให้ได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนังผ่านการสัมผัสได้เช่นกัน

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังในปริมาณมากจะทำให้เกิดการระคายเคือง

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของฟูลเลอรีนแขวนลอยในอากาศมีทั้งในลักษณะผงและละอองลอย ซึ่งสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับในปริมาณมากเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับสารฟูลเลอรีนทางการหายใจ ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธ์ ให้สังเกตุอาการที่เกิดขึ้นขณะหายใจ ถ้ามีการไอหรือหายใจลำบากอาจมีการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ สามารถใช้เครื่องช่วยหายใจได้ และนำส่งแพทย์

หากได้รับสารฟูลเลอรีนทางปากซึ่งอาจมาจากการได้รับผงของฟูลเลอรีนขณะปฏิบัติงาน การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีสติทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด และการดื่มน้ำสะอาดในปริมาณมากๆ หรือดื่มนม 1 ถึง 2 แก้วตามไปเพื่อให้เกิดการอาเจียนเอาสารเคมีออกมา และให้นำส่งแพทย์ แต่หากผู้ป่วยไม่มีสติห้ามให้น้ำหรือสิ่งอื่นใดเข้าปาก ให้นำส่งแพทย์

การได้รับสารฟูลเลอรีนทางผิวหนัง ให้แกะผ้าหรือถอดผ้าในบริเวณผิวหนังที่ได้รับการปนเปื้อนออก ล้างผิวหนังด้วยน้ำเปล่าและสบู่ในบริเวณที่สัมผัสเป็นเวลานานอย่างน้อย 15 นาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง หากมีอาการระคายเคือง หรือผื่นขึ้นต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากสารฟูลเลอรีนเข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเกิดการระคายเคือง เจ็บปวด หรือบวม หรือแพ้แสง ให้นำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของฟูลเลอรีน (Fullerene) จากการทดสอบของ OECD

4.1.1 ชนิดของฟูลเลอรีน (Fullerene) ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของฟูลเลอรีนได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกาเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก โดยได้ร่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของฟูลเลอรีนซึ่งได้กำหนดชนิดของฟูลเลอรีนเป็น C_{60} ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษ โดยมีลักษณะเฉพาะดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ชนิดและลักษณะฟูลเลอรีนที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (OECD, 2009)

กลุ่มสาร	สารทดสอบหลัก	สารทดสอบรอง
ชนิด	Nanom Purple	-
OECD code		-
บริษัทผู้ผลิต	Frontier Carbon Corporation	-
วิธีผลิต	การระเหิด (sublimation)	-
ความบริสุทธิ์	C_{60}> 99.8%	

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

การศึกษาความเป็นพิษของฟูลเลอรีนโดยกลุ่มนักวิจัยของประเทศต่างๆ ที่เป็นสมาชิก OECD ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

การศึกษาความเป็นพิษของฟูลเลอรีนโดยกลุ่มนักวิจัยของประเทศต่างๆ ที่เป็นสมาชิก OECD ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของฟูลเลอรีนจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

งานวิจัยจำนวนไม่มากนักที่มีการศึกษาความเป็นพิษของฟูลเลอรีนในระบบนิเวศน์วิทยา โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาความเป็นพิษของฟูลเลอรีนต่อพัฒนาของไข่ของปลาม้าลาย *Denio rerio* โดย Zhu และคณะ (Zhu et al., 2008) ได้แสดงว่า ฟูลเลอรอล ($C_{60}(OH)_{16-18}$) ส่งผลต่ออัตราการรอดชีวิต อัตราการวางไข่ รวมทั้งอัตราการเต้นของหัวใจของปลาม้าลาย แต่ไม่แสดงผลลบต่อไข่ปลาที่ปลาเพิ่งวางไข่ ซึ่งผู้วิจัยได้อธิบายผลลบของฟูลเลอรีนเกิดจากกลไกในการเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งสามารถทำลายเซลล์ได้ ในขณะที่ Usenko และคณะ (Usenko et al., 2008) ได้แสดงว่าการลดการได้รับแสง และการได้รับฟูลเลอรีนร่วมกับสารตั้งต้นที่ต่อต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของ glutathione และการได้รับฟูลเลอรีนร่วมกับ N-acetylcysteine จะทำให้ความเป็นพิษของฟูลเลอรีนที่มีต่อตัวอ่อนของปลาม้าลายลดลง โดยสามารถลดอัตราการตายได้

จากงานวิจัยของ Oberdorster และคณะ (Zhu et al., 2006, Oberdorster et al., 2006) ได้ศึกษาความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของฟูลเลอรีนที่ละลายน้ำได้ โดยทดสอบกับสัตว์น้ำหลายชนิด โดยใช้ความเข้มข้น 35 มิลลิกรัม/ลิตรในน้ำจืด และ 22.5 มิลลิกรัม/ลิตรในน้ำทะเล ซึ่งค่าความเข้มข้นเหล่านี้เป็นค่าสูงสุดของฟูลเลอรีนที่จะปรากฏในน้ำจากการกวนโดยไม่มีตัวทำละลายใดๆ โดยพบว่าฟูลเลอรีนส่งผลกระทบต่อการสืบพันธ์และเพิ่มจำนวนของไรน้ำจืด *Daphnia magna* โดยจำนวนของตัวอ่อนลดลง และทำให้เกิดการตาย

ในไรน้ำจืด ในขณะที่การทดสอบกับปลา fathead minnow หรือ *Pimephales promelas* พบว่าฟูลเลอรีนไม่ส่งผลกระทบแบบเฉียบพลันต่อพันธ์ปลาชนิดนี้ โดยไม่พบการเจ็บป่วยหรือการตายของปลาเมื่อทดสอบที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร โดยช่วงเวลาในการได้รับสาร 96 ชั่วโมง และเมื่อทดสอบกับปลา medaka หรือ *Oryzias latipes* โดยพบว่าฟูลเลอรีนไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อสัตว์ชนิดนี้เมื่อได้รับฟูลเลอรีนในความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร และช่วงเวลาที่ได้รับ 48 หรือ 96 ชั่วโมง ซึ่งอาจสืบเนื่องมาจากปลา medaka มีความไวต่อสารพิษน้อยมากเมื่อเทียบกับปลา fathead minnow ส่วนการทดสอบกับไรน้ำในกลุ่มของ Copepods พบว่าฟูลเลอรีนส่งผลกระทบที่ไม่แตกต่างจากการทดลองชุดควบคุมที่ไม่มีฟูลเลอรีน แสดงให้เห็นว่าฟูลเลอรีนไม่ส่งผลกระทบในแง่ความเป็นพิษต่อสัตว์ชนิดนี้ที่ความเข้มข้น 22.5 มิลลิกรัม/ลิตร

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

ฟูลเลอรีนมักปรากฏในรูปของผง ซึ่งสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ง่ายผ่านการหายใจ ซึ่งเกิดขึ้นได้ขณะสังเคราะห์ฟูลเลอรีน รวมไปถึงการนำฟูลเลอรีนไปใช้เป็นสารผสมกับวัสดุอื่นๆ เมื่อนำวัสดุผสม (composite material) นั้นไปดำเนินการต่างๆ เช่น ตัด เลื่อย บด เป็นต้น จะทำให้เกิดการกระจายของฟูลเลอรีนและแขวนลอยในอากาศ ซึ่งสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้โดยง่าย (Aschberger et al., 2010) การทดสอบความเป็นพิษของฟูลเลอรีนจึงมักมุ่งเป้าไปในส่วนของเส้นทางการได้รับทางการหายใจเป็นหลัก

Fujitani และคณะ (Fujitani et al., 2008) ได้ตรวจวัดฟูลเลอรีนจากโรงงานผลิตเพื่อให้ได้ลักษณะของฟูลเลอรีนที่สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจ โดยพบว่า ฟูลเลอรีนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-50 ไมครอน จะมีความเข้มข้นในอากาศ 15,000 อนุภาค/ลูกบาศก์เมตร ฟูลเลอรีนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-100 ไมครอน จะมีความเข้มข้นในอากาศ 7,000 อนุภาค/ลูกบาศก์เมตร และฟูลเลอรีนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100-200 ไมครอน จะมีความเข้มข้นในอากาศ 3,000 อนุภาค/ลูกบาศก์เมตร Shinohara และคณะ (Shinohara et al., 2009) ได้ตรวจวัดการปลดปล่อยของฟูลเลอรีนจากเครื่องมือผลิต พบว่าฟูลเลอรีนถูกปลดปล่อยจากเครื่องมือในปริมาณมากในช่วงของการรวบรวมฟูลเลอรีน การบรรจุหีบห่อ และการทำความสะอาดเครื่องมือ โดยฟูลเลอรีนที่พบอยู่ในลักษณะของก้อนอนุภาคที่มีขนาดในระดับไมครอน (มากกว่า 2,000 นาโนเมตร) มีความเข้มข้นสูงสุดที่พบในอากาศเป็น 2 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ฟูลเลอรีนที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน (น้อยกว่า 50 นาโนเมตร) พบในอากาศที่ความเข้มข้นสูงสุด 0.004 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และเมื่อมีการนำเครื่องช่วยป้องกันการหายใจมาใช้ จะทำให้ลดการได้รับลงไปประมาณ 10 เท่า โดยความเข้มข้นเป็น 0.0004 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

Baker และคณะ (Baker et al., 2008) ได้ทดสอบความเป็นพิษของฟูลเลอรีนผ่านทางการหายใจ โดยใช้หนู (rat) เป็นสัตว์ทดสอบและเปรียบเทียบการได้รับอนุภาคนาโนของฟูลเลอรีนขนาด 55 นาโนเมตร จากกระบวนการควบแน่นและการกลายเป็นไอ กับสารที่มีขนาด 0.93 ไมครอน โดยให้มีการรับสารเหล่านี้เป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อวัน และทดสอบต่อเนื่องเป็นเวลา 10 วัน โดยมีความเข้มข้นประมาณ 2 มิลลิกรัม/ลูกบาศ์กเมตร

ผลจากการทดสอบพบว่าค่าครึ่งชีวิตของอนุภาคนาโนฟูลเลอรีนเป็น 26 วันในขณะที่ค่าครึ่งชีวิตของฟูลเลอรีนในระดับไมครอนเป็น 29 วันซึ่งต่างกันน้อยมากโดยภายหลังจากที่หนูได้รับสารเมื่อตรวจวัดฟูลเลอรีน ไม่พบการตกค้างของฟูลเลอรีนในเลือด โดยการกำจัดฟูลเลอรีนจากปอดมาจากกลไกการป้องกันการได้รับสารของปอดและการทำงานของเม็ดเลือดขาว การตกค้างฟูลเลอรีนในปอดจะไม่เกิดขึ้นจนกระทั่งหนูมีการรับฟูลเลอรีนในช่วงเวลามากกว่า 5 เท่าของค่าครึ่งชีวิต โดยมีช่วงเวลาในการรับ 130 และ 145 วันตามลำดับ การไม่พบฟูลเลอรีนตกค้างในปอดนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shinohara และคณะ (Shinohara et al., 2009) โดยได้ศึกษาการเคลื่อนย้ายของฟูลเลอรีนจากปอด โดยทดสอบกับหนู (rat) ซึ่งได้รับฟูลเลอรีนในความเข้มข้น 0.12 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งได้รายงานว่าไม่มีการเคลื่อนย้ายฟูลเลอรีนจากปอดไปยังระบบทางเดินหายใจอื่นๆ ซึ่งแสดงว่าไม่มีการดูดซึมของฟูลเลอรีนไปสู่เซลล์เมื่อได้รับฟูลเลอรีนจากการหายใจ

ในขณะที่ Naota และคณะ (Naota et al., 2009) ได้รายงานความเป็นพิษของฟูลเลอรีนตรงข้ามกับงานวิจัยข้างต้น โดยได้รายงานการเคลื่อนย้ายฟูลเลอรีนผ่านเมมเบรนที่กั้นระหว่างอากาศและเลือด (air-blood barrier) ด้วยกลไกการแพร่ และ pinocytosis (สารโมเลกุลขนาดใหญ่ในรูปของสารละลายเข้าสู่เซลล์โดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์) ทำให้เกิดการเข้าสู่ระบบหมุนเวียนและแพร่กระจายฟูลเลอรีนไปยังอวัยวะและเนื้อเยื่อต่างๆ แต่อย่างไรงานวิจัยนี้มีประเด็นที่ไม่ชัดเจนในส่วนของเส้นทางการเคลื่อนย้ายฟูลเลอรีนที่เกิดขึ้นซึ่งอาจไม่เกี่ยวข้องกับการได้รับทางการหายใจ

งานวิจัยหลายงานได้ค้นคว้าวิจัยความเป็นพิษของฟูลเลอรีนที่มีการเคลื่อนย้ายในปอด โดยงานวิจัยหลายงานได้ผลงานวิจัยสอดคล้องกัน กล่าวคือ จากการดำเนินการวิจัยของโครงการ NEDO ประเทศญี่ปุ่น Shinohara และคณะ (Shinohara et al., 2009) ได้รายงานว่าไม่มีการเคลื่อนย้ายของฟูลเลอรีนที่ได้รับจากทางการหายใจไปสู่สมองรวมทั้งอวัยวะอื่นๆ โดยนำมาจากการทดสอบกับหนู (rat) ซึ่งได้รับฟูลเลอรีนผ่านการหายใจในความเข้มข้น 0.12 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร Gao และคณะ (Gao et al., 2009) ได้รายงานว่าฟูลเลอรีนไม่เกิดการแพร่กระจายจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ในช่วงเวลา 168 ชั่วโมงที่ดำเนินการทดสอบภายหลังจากที่หนูได้รับสารฟูลเลอรีนในปริมาณ 1 หรือ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นอกจากนี้จากการทดสอบโดยใช้ฟูลเลอรีนขนาด 20 นาโนเมตร ซึ่งได้รับผ่านทางการหายใจในระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าไม่มีการตกค้างของฟูลเลอรีนในตับหรือม้าม โดยพบฟูลเลอรีนในปริมาณน้อยมากที่ไต (Gao et al., 2009) โดยงานของ Fujita และคณะ (Fujita et al., 2009) และ Xia และคณะ (Xia et al., 2006) ได้อธิบายว่าฟูลเลอรีนในปอดจะถูกกำจัดโดยเซลล์เม็ดเลือดขาวในถุงลม จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนโดย Morimoto และคณะ (Morimoto et al, 2010) พบว่าฟูลเลอรีนที่ถูกกำจัดนั้นจะมีขนาดเล็กลงอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดขาวและไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่ไปยังนิวเคลียสอื่นๆ ได้

4.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

Neilson และคณะ (Neilson et al., 1993) ได้ทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของฟูลเลอรีนที่อยู่ในเบนซิน โดยศึกษาผลของความเป็นพิษระหว่างการสังเคราะห์ DNA ของหนังกำพร้า และความเป็นพิษต่อการทำงานของเอนไซม์ ornithine decarboxylase ในช่วง 72 ชั่วโมงของการได้รับฟูลเลอรีน โดยจากการ

ทดลองพบว่าการได้รับฟูลเลอรีนนานถึง 24 สัปดาห์ไม่ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อของผิวหนังที่เป็นอันตรายหรือก้อนเนื้อร้ายได้ ผลจากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่มีการทดสอบความเป็นพิษของฟูลเลอรีนจากการได้รับผ่านทางผิวหนัง Huczko และคณะ (Huczko et al., 1999) ได้ทดสอบความเป็นพิษของฟูลเลอรีนที่อาจมีอันตรายต่อผิวหนัง โดยใช้การทดสอบสองวิธี คือ การให้อาสาสมัคร 30 คนรายงานผลของการระคายเคืองและการแพ้สารเคมีหลังจากที่ได้รับแผ่นทดสอบฟูลเลอรีนไปทดลองใช้ในช่วงเวลา 96 ชั่วโมงของการทดสอบ และการทดสอบการได้รับฟูลเลอรีนทางดวงตาโดยใช้กระต่ายเป็นสัตว์ทดสอบในช่วงเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง โดยจากผลการทดสอบทั้งสองแบบได้ยืนยันผลของฟูลเลอรีนที่ไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษทั้งต่อการระคายเคืองทางผิวหนังและการแพ้สารเคมีของอาสาสมัครและกระต่าย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สรุปว่าโครงสร้างนาโนฟูลเลอรีนไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นพิษทางผิวหนัง (Huczko et al., 1999)

Kato และคณะ (Kato et al., 2009) ได้ทดสอบการได้รับฟูลเลอรีนที่ละลายใน squalane (Lipo-Fullerne) ผ่านทางผิวหนังเป็นช่วงเวลา 24 ชั่วโมง โดยพบว่าไม่ตรวจพบฟูลเลอรีนในทั้งชั้นหนังกำพร้า (epidermis) และผิวหนังชั้นใน (dermis) เมื่อใช้ฟูลเลอรีนที่ความเข้มข้นต่ำคือ 2.23 และ 22.3 มิลลิกรัม/ลิตร ในสารละลาย squalane แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นเป็น 223 มิลลิกรัม/ลิตร ฟูลเลอรีนถูกตรวจพบในชั้นของหนังกำพร้า แต่ยังคงไม่พบในผิวหนังชั้นใน ทำให้เกิดการสรุปผลว่าฟูลเลอรีนใน squalane นั้นไม่ส่งผลต่อความเป็นพิษ ชนิดของสารละลายที่ใช้กับฟูลเลอรีนส่งผลต่อความเป็นพิษที่อาจเกิดขึ้นโดย Xia และคณะ (Xia et al., 2010) ได้ทดสอบความเป็นพิษของฟูลเลอรีนที่ได้รับผ่านทางผิวหนัง โดยใช้ตัวทำละลายสำหรับฟูลเลอรีนต่างชนิดกัน โดยใช้ตัวทำละลายได้แก่ โทลูอีน ไซโคลเฮกเซน คลอโรฟอร์ม และน้ำมัน โดยใช้ตัวทำละลาย 500 ไมโครลิตรและมีฟูลเลอรีนในระดับความเข้มข้น 200 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรช่วงเวลาที่สัมผัสกับผิวหนัง 24 ชั่วโมง และให้ได้รับซ้ำอีกทุกวัน และศึกษาต่อเนื่องกันเป็นเวลา 4 วัน ผลจากการศึกษาพบว่าฟูลเลอรีนที่อยู่ในน้ำมันจะมีการดูดซับลงสู่ผิวหนังได้น้อยมาก ในขณะที่ฟูลเลอรีนที่อยู่ในโทลูอีน ไซโคลเฮกเซน และ คลอโรฟอร์มจะถูกดูดซึมผ่าน stratum corneum ซึ่งอยู่ชั้นบนสุดของหนังกำพร้า ฟซึ่งเซลล์ในชั้นนี้สามารถหลุดลอกออกเป็นขี้ไคลได้ โดยการซึมผ่านของฟูลเลอรีนนั้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และช้าลงเมื่อผ่านไป 1 ชั่วโมง เนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านใช้ไขมัน จากงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้แสดงถึงผลของตัวทำละลายเป็นปัจจัยหลักที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านชั้นผิวหนังของฟูลเลอรีนได้

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงาน Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (permissible exposure limit, PEL) สำหรับกราไฟต์

เป็น 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่านี้ได้นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานและการได้รับสารของฟูลเลอรีน (NIOSH, 2010)

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ
- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น
- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่น โดยเฉพาะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับฟูลเลอรีนในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับฟูลเลอรีนในรูปสารละลาย สามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 6.3



(a) ถุงมือ Silver Shield



(b) ถุงมือ Butyl



(c) ถุงมือ Viton



(d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 6.3 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาฟูลเลอรีนในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ โดยมีข้อปฏิบัติเฉพาะ ดังนี้

- ต้องเก็บรักษาให้ไกลจากประกายไฟ เนื่องจากฟูลเลอรีนเกิดการลุกติดไฟและเกิดการเผาไหม้ได้ง่ายหากได้รับประกายไฟ
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารออกซิไดซ์เซอร์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเปอร์คลอเรต สารเปอร์มังกาเนต เป็นต้น
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากกลุ่มสารประกอบที่มีธาตุฮาโลเจน
- ห้ามเก็บรักษาร่วมกับกรดและด่าง

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

จากการที่ฟูลเลอรีนมีลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบมาจากกราไฟท์ จึงทำให้ฟูลเลอรีนมีลักษณะการทำปฏิกิริยาที่ว่องไว และเป็นสารที่ลุกไหม้ได้ง่ายเมื่ออยู่ในรูปผงและสะสมในปริมาณมาก จึงต้องหลีกเลี่ยงอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการลุกไหม้ของฟูลเลอรีน ได้แก่

- หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
- หลีกเลี่ยงการเกิดเปลวไฟ ประกายไฟ หรืออยู่ใกล้กับวัสดุที่ทำให้เกิดเปลวไฟ เช่น เทียน เป็นต้น
- หลีกเลี่ยงจากการเกิดประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์เชื่อม อุปกรณ์ตัด

ในการทำงานหากต้องมีการใช้ก๊าซร่วมกับฟูลเลอรีน ให้ใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน เป็นต้น

ฟูลเลอรีนเมื่อลุกไหม้จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซพิษ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการปฏิบัติงานระงับภัยต้องระวังการได้รับก๊าซเหล่านี้

โดยทั่วไปสารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยที่เกี่ยวข้องกับฟูลเลอรีนได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม ทั้งนี้ต้องมีการตรวจสอบเอกสารความปลอดภัยของสารเคมี (MSDS) ทุกครั้ง เนื่องจากฟูลเลอรีนบางชนิดระบุวิธีการดับเพลิงเฉพาะชนิด เช่น ต้องใช้โฟมเป็นสารดับเพลิงเท่านั้น ไม่สามารถใช้น้ำเป็นสารดับเพลิงได้ เป็นต้น

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารฟูลเลอรีนไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ US. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป โดยสามารถกำจัดด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล หรือการเผาด้วยเตาเผาได้ โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศพิษ เพื่อบำบัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นขณะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของฟูลเลอรีน C_{60} บริษัท TCI America (แสดงในภาคผนวก ก.6)

B1641

TCI AMERICA

Material Safety Data Sheet

HAZARD WARNINGS	RISK PHRASES	PROTECTIVE CLOTHING
	Irritating to skin, eyes, and the respiratory system.	

Section I. Chemical Product and Company Identification

Chemical Name: **Fullerene C_{60}** (>99.9% pure)

Catalog Number: B1641

Synonym: Buckminsterfullerene C_{60}

Chemical Formula: C_{60}

CAS Number: 99685-96-8

Supplier: TCI America
9211 N. Harborgate St.
Portland OR
1-800-423-8616

In case of Emergency Call: **Chemtrec®**
(800) 424-9300 (U.S.)
(703) 527-3887 (International)

Section II. Composition and Information on Ingredients

Chemical Name	CAS Number	Percent (%)	TLV/PEL	Toxicology Data
Fullerene C_{60} (>99.9% pure)	99685-96-8	Min. 99.5	Not available.	Not available.

Section III. Hazards Identification

Acute Health Effects

Irritating to eyes and skin on contact. Inhalation causes irritation of the lungs and respiratory system. Inflammation of the eye is characterized by redness, watering, and itching. Skin inflammation is characterized by itching, scaling, reddening, or, occasionally, blistering. Follow safe industrial hygiene practices and always wear proper protective equipment when handling this compound.

Chronic Health Effects

CARCINOGENIC EFFECTS : Not available.
MUTAGENIC EFFECTS : Not available.
TERATOGENIC EFFECTS : Not available.
Toxicity to the reproductive system: Not available.
There is no known effect from chronic exposure to this product. Repeated or prolonged exposure to this compound is not known to aggravate existing medical conditions.

Section IV. First Aid Measures

Eye Contact

Check for and remove any contact lenses. DO NOT use an eye ointment. Flush eyes with running water for a minimum of 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Seek medical attention. Treat symptomatically and supportively.

Skin Contact

If the chemical gets spilled on a clothed portion of the body, remove the contaminated clothes as quickly as possible, protecting your own hands and body. Place the victim under a deluge shower. If the chemical touches the victim's exposed skin, such as the hands: Gently and thoroughly wash the contaminated skin with running water and non-abrasive soap. Be particularly careful to clean folds, crevices, creases and groin. Cover the irritated skin with an emollient. Seek medical attention. Treat symptomatically and supportively. Wash any contaminated clothing before reusing.

Inhalation

If the victim is not breathing, perform artificial respiration. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. If breathing is difficult, oxygen can be administered. Seek medical attention. Treat symptomatically and supportively.

Ingestion

INDUCE VOMITING by sticking finger in throat. Lower the head so that the vomit will not reenter the mouth and throat. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt, or waistband. If the victim is not breathing, administer artificial respiration. Examine the lips and mouth to ascertain whether the tissues are damaged, a possible indication that the toxic material was ingested; the absence of such signs, however, is not conclusive. Seek immediate medical attention and, if possible, show the chemical label. Treat symptomatically and supportively.

Section V. Fire and Explosion Data

Flammability	Combustible.	Auto-Ignition	Not available.
Flash Points	Not available.	Flammable Limits	Not available.

Combustion Products

These include toxic carbon oxides (CO, CO_2).

Fire Hazards

No specific information is available regarding the flammability of this compound in the presence of various materials.

Explosion Hazards

Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available.
Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Not available.
No additional information is available regarding the risks of explosion.

Continued on Next Page

Emergency phone number (800) 424-9300

Printed 1/24/2005

6.2 เอกสารความปลอดภัยของฟูลเลอรีน Fullerene C60 ของบริษัท Pure Fullerene (แสดงในภาคผนวก ก.6)

PURE FULLERENES
Advanced Nano Materials

MATERIAL SAFETY DATA SHEET **C60**

Last update: Sept 24, 2008

Section 1	**Chemical Product and Company Information**
MSDS Name:	Fullerene C60, 99%+ (HPLC)
Synonyms:	Buckminsterfullerene C60
Catalog Numbers:	C60-9900
Company Info:	ClearWaterBay Technology Ltd 4585C, Annex Building Hong Kong University of Science and Technology Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong
Phone Number:	
Emergency Number:	

Section 2	**Composition, general information on ingredients**
CAS Number:	99685-96-8
Chemical Name:	Fullerene 60
Purity:	99wt%+
EINECS#	unlisted
Hazard Symbols:	None listed
Risk Phrases:	None listed

Section 3 **Hazards identification**

EMERGENCY OVERVIEW

Caution! May cause respiratory tract irritation. May cause digestive tract irritation. May cause eye and skin irritation. Powdered material may form explosive dust –air-mixtures. Target Organs: None

Potential Health Effects

Eye:	Dust may cause mechanical irritation.
Skin:	May cause skin irritation.
Irrigestion:	May cause irritation of digestive tract. The toxicological properties of this substance have not been fully investigated.
Inhalation:	Inhalation of dust may cause respiratory tract irritation.
Chronic:	No information found.

Section 4	**First Aid Measures**
Eye:	Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. If irritation develops, get medical aid.
Skin:	Get medical and flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Get medical aid if irritation develops or persists. Wash clothing before reuse.
Ingestion:	If victim is conscious and alert, give 2-4 cupfuls of milk or water. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical aid I irritation or symptoms occur.
Inhalation:	Remove from exposure and move to fresh air immediately. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical aid if cough or other symptoms appear.
Notes to Physician:	None

Section 5	**Fire Fighting Measures**
General Information:	As in any fire, wear a self-contained breathing apparatus in pressure-demand. MSHA/NIOSH (approved or equivalent) and full protective gear. During a fire, irritating and highly toxic gases may be generated by thermal decomposition or combustion.

Page 1 of 4

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Aoshima H, Kokubo K, Shirakawa S, Ito MS, Yamana S, Oshima T, Biocontrol Sci 14 (2009a) 69.

Aschberger K, Johnston HJ, Stone V, Aitken RJ, Tran CL, Hankin SM, Peters SAK, Christensen FM, Crit Rev Toxicol, accepted for publication, 2010, doi:10.3109/10408444.2010.506638.

Aschberger K, Johnston HJ, Stone V, Aitken RJ, Tran CL, Hankiz SM, Peters SAK, Christensen FM, Regul Toxicol Pharm 58 (2010) 455.

Baker GL, Gupta A, Clark ML, Valenzuela BR, Staska LM, Harbo SJ, Pierce JT, Dill JA, Toxicol Sci 101 (2008) 122.

Brant J, Lecoanet H, Hotze M, Wiesner M, Environ Sci Technol 39 (2005) 6343.

Fujita K, Morimoto Y, Ogami A, Myojyo T, Tanaka I, Shimada M, Wang WN, Endoh S, Uchida K, Nakazato T, Yamamoto K, Fukui H, Horie M, Yoshida Y, Iwahashi H, Nakanishi J, Toxicology 258 (2009) 47.

Fujitani Y, Kobayashi T, Arashidani K, Kunugita N, Suemura K, J Occup Environ Hyg 5 (2008), 380.

Gao Z, Hedtke BM, Marsters JA, Lehman MR, Holmes T, Lucak JF, Ferguson L-JC, McDonald JD, Walker NJ, Disposition of C60 Fullerene after Inhalation (nanoC60), Intratracheal Instillation, or Intravenous Injection in Male F344 Rats. Poster presented at the Society of Toxicology annual meeting, Baltimore, MD, March 15–19, 2009, Available: http://dspace.lrri.org:8080/xmlui/handle/123456789/625?show=full, September 15, 2012. 2009.

Huczko A, Lange H, Calko E, Fullerene Sci Technol 7 (1999) 935.

Johnston HJ, Hutchison GR, Christensen FM, Aschberger K, Stone V, Toxicol Sci 114 (2010), 162.

Kato S, Aoshima H, Saitoh Y, Miwa N, Basic Clin Pharmacol Toxicol 104 (2009) 483.

Kroto HW, Heath JR, O'Brian SC, Curl RF, Smalley RE, Nature 318 (1985) 162.

Lens M, Recent patents on Biotechnol 3 (2009) 118.

Morimoto Y, Hirohashi M, Ogami A, Oyabu T, Myojo T, Nishi KI, Kadoya C, Todoroki M, Yamamoto M, Murakami M, Shimada M, Wang WN, Yamamoto K, Fujita K, Endoh S, Uchida K, Shinohara N, Nakanishi J, Tanaka I, Part Fibre Toxicol 14 (2010) 4.

Naota M, Shimada A, Morita T, Inoue K, Takano H, Toxicol Pathol 37 (2009) 456.

Nelson MA, Toxicol Ind Health 9 (1993) 623.

Nielsen GD, Roursgaard M, Jensen KA, Poulsen SS, Larsen ST, Basic Clin Pharmacol Toxicol 103 (2008) 197.

Oberdorster E, Zhu S, Blickley TM, McClellan-Green P, Haasch ML, Carbon 44 (2006) 1112.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Draft Dossier Development Plan: Fullerenes, 5th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, Paris, France, 4-6 March 2009.

Shinohara N, Gamo M, Nakanishi J, Risk assessment of manufactured nanomaterials – fullerene (C60) – NEDO project ‘‘Research and Development of Nanoparticle Characterizations Methods” Interim Report issued October 16, 2009, Available: http://www.aist-riss.jp/projects/nedo-nanorisk/rd/gamo_e.html, September 15, 2012.

Takada H, Mimura H, Xiao L, Islam RM, Matsubayashi K, Ito S, Miwa N, Fullerenes Nanotubes Carbon Nanostruct 14 (2006), 335.

Usenko CY, Harper SL, Tanguay RL, Toxicol Appl Pharmacol 229 (2008) 44.

Xia T, Kovochich M, Brant J, Hotze M, Sempf J, Oberley T, Sioutas C, Yeh JI, Wiesner MR, Nel AE, Nano Lett 6 (2006) 1794.

Xia XR, Monteiro-Riviere NA, Riviere JE, Toxicol Appl Pharmacol 242 (2010) 29.

Xiao L, Takada H, Gan X, Miwa N, Bioorg Med Chem Lett 16 (2006) 1590.

Zhou Z, Lenk R, Dellinger A, MacFarland D, Kumar K, Wilson ST, Kepley CL, Nanomedicine 5 (2009) 202.

Zhu X, Xhu L, Li Y, Duan Z, Chen W, Alvarez PJ, Environ Toxicol Chem 26 (2008) 976.

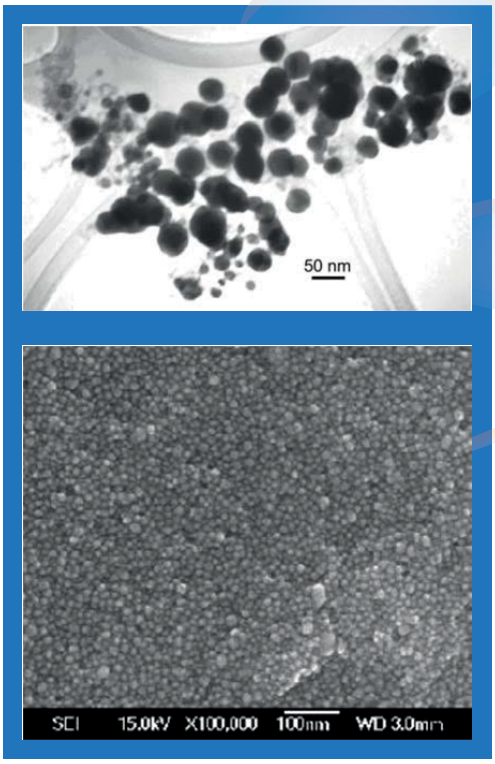
Zhu S, Oberdorster E, Haasch ML, Mar, Environ Res 62 (2006) 5.

บทที่ 7
วัสดุนาโนซิลเวอร์ (Nano-Ag)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อ	silver
CAS number	7440-22-4
สูตรโมเลกุล	Ag
น้ำหนักโมเลกุล	107.8682 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	ไม่มีข้อมูล
จุดหลอมเหลว	962 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	2212 องศาเซลเซียส
ลักษณะทั่วไป	ผงสีเหลืองชีด
	สารไม่ละลายน้ำ (water insoluble)
	สารไม่ลุกติดไฟ (Non-flammable)

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี



(a) ภาพถ่ายของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วย TEM
(ที่มา : http://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract/6352/report/2006)

(b) ภาพถ่ายของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วย SEM
(ที่มา : http://www.nanobiosilver.com/)

รูปที่ 7.1 ภาพถ่ายของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วย (a) TEM และ (b) SEM

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

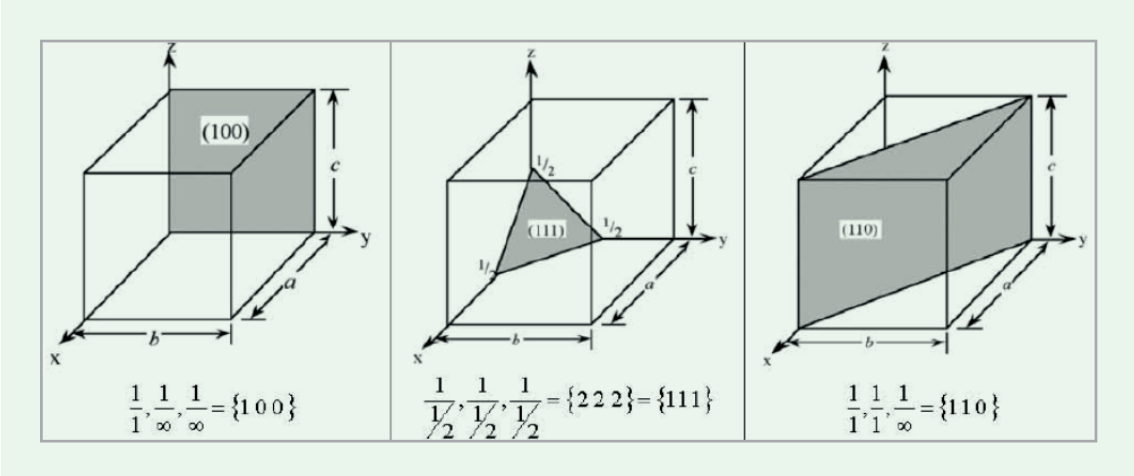
นาโนซิลเวอร์มีลักษณะสมบัติเหมือนกันกับซิลเวอร์ทั่วไป นาโนซิลเวอร์เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นไอออนซิลเวอร์ที่แตกตัวอยู่ในน้ำได้ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ต่อไป โดยนาโนซิลเวอร์ซึ่งเป็นของแข็งที่เป็นโลหะมักจะไม่ละลายน้ำ แต่จะอยู่ลักษณะรวมเป็นกลุ่มก้อน หรือในรูปของอนุภาคนาโนที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อนาโนซิลเวอร์ปรากฏในน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนของซิลเวอร์และเกิดการออกซิเดชันที่ผิว ซึ่งจะทำให้ได้ไอออนของโลหะที่ถูกออกซิไดซ์ในรูปของ Ag^{+} ที่ล้อมรอบด้วยนาโนซิลเวอร์ที่ยังอยู่ในรูปโลหะหรืออนุภาคนาโนอยู่ในน้ำ อนุภาคนาโนซิลเวอร์เมื่อปรากฏในน้ำจึงจะให้ไอออนของซิลเวอร์ด้วย ซึ่งในการพิจาณาถึงเคมีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จึงต้องครอบคลุมถึงไอออนของซิลเวอร์ร่วมด้วย (Pronk et al., 2009)

จากการที่นาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็กกว่าซิลเวอร์ทั่วไปมากจึงทำให้มีลักษณะสมบัติในส่วนของพื้นผิวที่แตกต่างกันไป เช่น มีแนวโน้มที่จะระเบิดได้ซึ่งมาจากการที่สารนาโนซิลเวอร์มักมีอนุภาคที่มีขนาดเล็ก และเล็กกว่าซิลเวอร์ทั่วไปอย่างมาก การสะสมหรือรวมตัวเป็นฝุ่นของสารนาโนซิลเวอร์จึงจะทำให้เกิดการระเบิดได้ นอกจากนี้นาโนซิลเวอร์สามารถรวมเป็นก้อนกรานูลได้ ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่สารนาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็กมารวมกัน แต่ยังคงมีขนาดในระดับเล็กมาก เช่น สารนาโนซิลเวอร์ที่รวมกลุ่มมีขนาดเล็ก 15 หรือ 20 นาโนเมตร เป็นต้น ส่งผลให้ลักษณะสมบัติอื่นๆ เช่น พื้นที่ผิว ชนิดประจุบนพื้นผิว รวมทั้งลักษณะควอนตัมแตกต่างจากซิลเวอร์ทั่วไป ซึ่งส่งผลให้เกิดการนำนาโนซิลเวอร์ไปเป็นวัสดุสำหรับผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น พลาสติก ผ้า กระดาษ สี และสารเคลือบได้

ลักษณะสมบัติเด่นของนาโนซิลเวอร์ที่นำไปสู่การใช้งานเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่

- คุณสมบัติการฆ่าเชื้อโรค

นาโนซิลเวอร์เป็นสารที่ฆ่าเชื้อโรคได้ในวงกว้างทั้งในส่วนจุลินทรีย์ที่เป็นแกรมบวกและแกรมลบ (Burrel et al., 1999, Wijnhoven et al., 2009, Yin et al., 1999) โดยตัวอย่างของจุลินทรีย์แกรมลบได้แก่ *Acinetobacter, Escherichia, Pseudomonas, Salmonella* และ *Vibrio acinetobacter* และตัวอย่างของจุลินทรีย์แกรมบวกได้แก่ *Bacillus, Clostridium, Enterococcus, Listeria, Staphylococcus* และ *Streptococcus* ขนาดของนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กมาก ทำให้อัตราสวนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ทำให้สามารถฆ่าจุลินทรีย์ได้ดีแม้ว่าจุลินทรีย์จะมีในปริมาณน้อยมากๆ นอกจากนี้รูปร่างของซิลเวอร์ที่แตกต่างกัน เช่น ทรงกลม แท่ง หรือแผ่นสามเหลี่ยม ทำให้เกิดการกำจัดจุลินทรีย์แกรมลบได้แตกต่างกันอีกด้วย (Pal et al., 2007) โดยนาโนซิลเวอร์ที่มีรูปร่างแผ่นสามเหลี่ยมสามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากระนาบด้านบนเป็นบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวที่ทำให้พื้นที่ผิวมีความหนาแน่นของอะตอมซิลเวอร์สูงสุด เช่น การเรียงตัว {111} เป็นต้น (Wijnhoven et al., 2009) ในขณะที่นาโนซิลเวอร์ทรงกลมจะมีลักษณะเป็น {100} โดยมีส่วนน้อยที่เป็น {111} ส่วนนาโนซิลเวอร์แบบแท่งจะมีด้านของเป็น {100} และมีส่วนด้านปลายเท่านั้นที่เป็น {111} (Wijnhoven et al., 2009, Wiley et al. 2005) ดังแสดงในรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 ลักษณะโครงสร้างของผลึกของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

แม้ว่าลักษณะสมบัติการฆ่าเชื้อโรคของนาโนซิลเวอร์มีการค้นคว้าวิจัยกันมาก แต่ความเข้าใจในกลไกการกำจัดจุลินทรีย์ของนาโนซิลเวอร์กับไม่ชัดเจน (U.S. EPA, 2010) โดยจากงานวิจัยหลายงาน (Morones et al., 2005, Sondi and Salopek-Sondi, 2004) อนุภาคนาโนซิลเวอร์จะไปยึดติดและผ่านทะลุเข้าไปในผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้โครงสร้างของเมมเบรนของเซลล์เปลี่ยนไปและไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของไซโตพลาสมิกเมมเบรน ทำให้สิ่งต่างๆ ซึมผ่านเมมเบรนได้ซึ่งทำให้เซลล์ตายในที่สุด นอกจากนี้ได้มีการรายงานกลไกในการฆ่าเชื้อโรคของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ว่ามาจากการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้ทำลายเมมเบรนทำให้นาโนซิลเวอร์สามารถผ่านเข้าออกเซลล์ได้ ซึ่งทำให้เซลล์จุลินทรีย์ตายในที่สุด (Hwang et al., 2008, Danilczuk et al., 2006, Kim et al., 2007) จากงานวิจัยของ Hatchett และ White (Hatchett and White, 1996) และงานวิจัยของ Morones และคณะ (Morones et al., 2005) ได้อธิบายว่าการทำลายเซลล์อาจมาจากการทำปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับสารประกอบ DNA ซึ่งทำให้เซลล์ไม่สามารถแบ่งตัวได้ และไม่สามารถสร้าง DNA ได้ ซึ่งทำให้เซลล์ตายในที่สุด ในขณะที่งานวิจัยของ Shrivastava และคณะ (Shrivastava et al., 2007) ได้อธิบายว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ทำให้สาร phosphotyrosine ในเปปไทด์ของแบคทีเรียลดน้อยลง ซึ่งจะทำให้การส่งผลต่อการส่งสัญญาณของเซลล์ทำให้เกิดการขัดขวางการเจริญเติบโตของเซลล์ และทำให้เซลล์ตายในที่สุด

นอกจากนี้ได้มีการนำนาโนซิลเวอร์ไปใช้งานในการฆ่าเชื้อรา เช่น *Aspergillus*, *Candida*, and *Saccharomyces* เป็นต้น (Wright et al., 1999) โดยคาดว่ากลไกในการกำจัดเชื้อโรคจะเป็นกลไกเดียวกันกับการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และได้มีการนำนาโนซิลเวอร์ไปใช้ในการฆ่าเชื้อไวรัส HIV-1 (Elechiguerra et al., 2005, Sun et al., 2005) โดยพบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถกำจัดเชื้อไวรัสชนิดนี้ได้ดีกว่าอนุภาคนาโนโกลด์ (Gold nanoparticles)

- คุณสมบัติ surface plasmon resonance

เป็นคุณสมบัตของนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กมาก ที่ส่งผลให้อนุภาคของนาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแส่งที่มาตกกระทบ ทำให้เกิดปรากฏการณ์เชิงแสงเรียกว่า surface plasmon resonance ส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ดูดกลืนแสงสเปกตรัม โดยช่วงความยาวคลื่นของแถบคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สั้งลงกว่าเดิม คุณสมบัตินี้ของนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำไปใช้ในการผลิตเซนเซอร์สำหรับการแพทย์ และเซนเซอร์ในรูปแบบ lap-on-a-chip (Moores and Goettmann, 2006) โดยพบว่าขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะส่งผลต่อคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืน โดยยิ่งมีขนาดเล็กจะทำให้ช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสั้นลง โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เล็กลง (ขนาดน้อยกว่า 10 นาโนเมตร) จะสอดคล้องกับการดูดกลื่นคลื่นในแถบแสงสีแดงและช่วยขยายความกว้างของตำแหน่งคลื่นการดูดซับด้วย (Thomas et al., 2008) นอกจากนี้คุณสมบัตินี้ได้ยังนำไปใช้ในการทำเลเซอร์และระบบการนำพายา (drug delivery) (Skirtach et al., 2004) ซึ่งอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่เพียงแต่ดูดซับโฟตอนแม้ว่าจะอยู่ห่างจากต้นกำเนิดแสงเท่านั้น แต่ช่วยส่งผ่านความร้อนไปยังโพลีเมอร์โดยรอบ ทำให้ยาที่ถูกห่อหุ้ม (encapsulated) สามารถกระจายตัวออกมาจากแคปซูลโพลีเมอร์ได้ คุณสมบัตินี้ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำไปใช้ในการรักษาด้วยเลเซอร์ โดยช่วงระยะเวลาในการรักษาโรคด้วยเลเซอร์ร่วมกับ polyelectrolyte multilayer capsule จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์อีกด้วย (Skirtach et al., 2006, Radziuk et al., 2007)

- คุณสมบัติการเรืองแสง

เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุนาโนที่เป็นของแข็งเมื่อมีขนาด 30-80 นาโนเมตร คือการเปลี่ยนช่วงคลื่นแสง เช่น การปลดปล่อยความเข้มและ photostablilty เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการเรืองแสงของวัสดุ โดยขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเพิ่มความเข้มแสงในช่วงคลื่นที่เกิดการเรืองแสงที่มีควอนตัมต่ำออกมา โดยได้นำไปใช้งานใน immunoassay และการตรวจ DNA/RNA (Aslan et al., 2005)

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์** จากการที่นาโนซิลเวอร์สามารถส่งผ่านไฟฟ้าและความร้อนได้ดีควบคู่ไปกับคุณสมบัติเชิงแสง จึงทำให้ถูกนำมาใช้มากในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยนำมาใช้ทั้งในส่วนการเป็น nanoconnector และ nanoelectrode ในการออกแบบเครื่องมือขนาดเล็ก (Kim et al., 2007) และนำมาใช้ใน optoelectronics นำมาใช้ในการเป็น active waveguide ในเครื่องมือเชิงแสง หมึกพิมพ์ในแผงวงจร รวมไปถึง nanoelectronics เช่น single-electron transistors และ electrical connectors เป็นต้น นาโนซิลเวอร์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการจัดทำ data storage device รวมไปถึง recording devices โดยอุปกรณ์เหล่านี้ได้ทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ปรากฏในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ หลากหลายชนิด (Di Rienzo, 2006; Tolaymat et al., 2010; Roldan et al., 2007)

- **อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค** โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้มุ่งเน้นในส่วนของการป้องกันเชื้อโรค หรือฆ่าเชื้อโรค โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการเป็นสารฆ่าเชื้อโรคสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ หลากหลายชนิด เช่น เครื่องกรองอากาศ สเปรย์ในอากาศ ถุงเท้า หมอน รองเท้าแตะ หน้ากาก ผ้าอ้อม สบู่

- คุณสมบัติ surface plasmon resonance

เป็นคุณสมบัตของนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กมาก ที่ส่งผลให้อนุภาคของนาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแส่งที่มาตกกระทบ ทำให้เกิดปรากฏการณ์เชิงแสงเรียกว่า surface plasmon resonance ส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ดูดกลืนแสงสเปกตรัม โดยช่วงความยาวคลื่นของแถบคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สั้งลงกว่าเดิม คุณสมบัตินี้ของนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำไปใช้ในการผลิตเซนเซอร์สำหรับการแพทย์ และเซนเซอร์ในรูปแบบ lap-on-a-chip (Moores and Goettmann, 2006) โดยพบว่าขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะส่งผลต่อคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืน โดยยิ่งมีขนาดเล็กจะทำให้ช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสั้นลง โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เล็กลง (ขนาดน้อยกว่า 10 นาโนเมตร) จะสอดคล้องกับการดูดกลื่นคลื่นในแถบแสงสีแดงและช่วยขยายความกว้างของตำแหน่งคลื่นการดูดซับด้วย (Thomas et al., 2008) นอกจากนี้คุณสมบัตินี้ได้ยังนำไปใช้ในการทำเลเซอร์และระบบการนำพายา (drug delivery) (Skirtach et al., 2004) ซึ่งอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่เพียงแต่ดูดซับโฟตอนแม้ว่าจะอยู่ห่างจากต้นกำเนิดแสงเท่านั้น แต่ช่วยส่งผ่านความร้อนไปยังโพลีเมอร์โดยรอบ ทำให้ยาที่ถูกห่อหุ้ม (encapsulated) สามารถกระจายตัวออกมาจากแคปซูลโพลีเมอร์ได้ คุณสมบัตินี้ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำไปใช้ในการรักษาด้วยเลเซอร์ โดยช่วงระยะเวลาในการรักษาโรคด้วยเลเซอร์ร่วมกับ polyelectrolyte multilayer capsule จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์อีกด้วย (Skirtach et al., 2006, Radziuk et al., 2007)

- คุณสมบัติการเรืองแสง

เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุนาโนที่เป็นของแข็งเมื่อมีขนาด 30-80 นาโนเมตร คือการเปลี่ยนช่วงคลื่นแสง เช่น การปลดปล่อยความเข้มและ photostablilty เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการเรืองแสงของวัสดุ โดยขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเพิ่มความเข้มแสงในช่วงคลื่นที่เกิดการเรืองแสงที่มีควอนตัมต่ำออกมา โดยได้นำไปใช้งานใน immunoassay และการตรวจ DNA/RNA (Aslan et al., 2005)

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์** จากการที่นาโนซิลเวอร์สามารถส่งผ่านไฟฟ้าและความร้อนได้ดีควบคู่ไปกับคุณสมบัติเชิงแสง จึงทำให้ถูกนำมาใช้มากในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยนำมาใช้ทั้งในส่วนการเป็น nanoconnector และ nanoelectrode ในการออกแบบเครื่องมือขนาดเล็ก (Kim et al., 2007) และนำมาใช้ใน optoelectronics นำมาใช้ในการเป็น active waveguide ในเครื่องมือเชิงแสง หมึกพิมพ์ในแผงวงจร รวมไปถึง nanoelectronics เช่น single-electron transistors และ electrical connectors เป็นต้น นาโนซิลเวอร์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการจัดทำ data storage device รวมไปถึง recording devices โดยอุปกรณ์เหล่านี้ได้ทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ปรากฏในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ หลากหลายชนิด (Di Rienzo, 2006; Tolaymat et al., 2010; Roldan et al., 2007)

- **อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค** โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้มุ่งเน้นในส่วนของการป้องกันเชื้อโรค หรือฆ่าเชื้อโรค โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการเป็นสารฆ่าเชื้อโรคสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ หลากหลายชนิด เช่น เครื่องกรองอากาศ สเปรย์ในอากาศ ถุงเท้า หมอน รองเท้าแตะ หน้ากาก ผ้าอ้อม สบู่

ผงซักฟอก แชมพู ยาสีฟัน เครื่องซักผ้า เป็นต้น (U.S. EPA, 2010) โดยวัตถุประสงค์หลักในการมีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้คุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิดเป็นหลัก (Luoma, 2008, Tolaymat et al., 2010, US. EPA, 2010)

- **อุตสาหกรรมทางการแพทย์** อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้งานทางการแพทย์ในหลายด้าน ได้แก่ การตรวจโรค การรักษา ระบบนำส่งยา และการเคลือบเครื่องมืออุปกรณ์ทางการแพทย์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้นำมาใช้ในการเคลือบผิวอุปกรณ์ทางการแพทย์หลายชนิด เช่น อุปกรณ์ในการผ่าตัด การฉีดยาชาและการระงับความรู้สึก การรักษาเกี่ยวกับหัวใจ เป็นต้น (Wijnhoven et al., 2009) นอกจากนี้ยังได้มีการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปใช้ในผลิตภัณฑ์ทั่วไปทางการแพทย์ เช่น ผ้าปิดแผล ถุงเท้า ผ้าหรือสิ่งทอทางการแพทย์ สายสวนปัสสาวะ และวัสดุปลอดเชื้อต่างๆ

ในทางการรักษา อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการรักษาที่เกี่ยวกับกระดูก เช่น การเป็นสาร additive ใน bone cement ใช้ในการเคลือบข้อต่อและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระดูก (Tolaymat et al., 2010) และได้นำไปใช้ในการทำฟันปลอมอีกด้วย (Sanjen, 2007) นอกจากนี้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ยังได้ถูกนำไปใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง (Asharani et al., 2009) และการรักษาในระบบนำส่งยาร่วมกับเลเซอร์ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น รวมไปถึงการกำจัดเชื้อไวรัส HIV-1 อีกด้วย (Elechiguerra et al., 2005)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

จากการที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์ปรากฏในผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด จึงทำให้เส้นทางการได้รับนาโนซิลเวอร์เข้าสู่ร่างกายมีได้หลายทาง ทั้งการดื่มกินอาหารและน้ำ ไปจนถึงการสัมผัสผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์อยู่ โดยโอกาสการได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีได้จากการได้รับโดยตรง และทางอ้อมโดยผ่านตัวกลางในสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ พืชผัก และดินตะกอน เป็นต้น ซึ่งต้องมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยในการลดการได้รับวัสดุนาโนเหล่านี้ ในส่วนของการได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยตรงจากสารเคมีของผู้ปฏิบัติงานการได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล ดังนี้

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับผงนาโนซิลเวอร์เกิดขึ้นได้ในขณะทำงานเป็นหลัก โดยรับผ่านการหายใจเข้าสู่ร่างกาย

อาการที่ได้รับสาร – ระคายเคืองช่องจมูก อาจมีอาการไอ มีเสมหะ อาจทำให้เกิดโรคหลอดลมอักเสบได้

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับทางปากเกิดขึ้นได้หากมีหายใจเอาอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้าสู่ร่างกายผ่านทั้งทางจมูกและปากขณะปฏิบัติงาน

อาการที่ได้รับสาร – เกิดอันตรายได้หากมีการกลืนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ อาการที่เกิดขึ้นได้แก่ การะคายเคืองในทางเดินอาหาร เกิดคลื่นไส้ อาเจียน และท้องเสียได้

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของผงนาโนซิลเวอร์

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังอาจเกิดการระคายเคืองมีผื่นขึ้น เกิดอาการอักเสบทางผิวหนังได้ หากได้รับต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจทำให้สิผิวทั้งผิวหนัง หรือตา เปลี่ยนเป็นสีเทา หรือสีเงิน ซึ่งเรียกอาการนี้ว่า argyria

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของผงนาโนซิลเวอร์อาจสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตา

อาการที่ได้รับสาร – ถ้าเข้าสู่ดวงตาจะทำให้เกิดการระคายเคือง

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ทางการหายใจ ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธ์ ให้สังเกตุอาการที่เกิดขึ้นขณะหายใจ ถ้ามีการไอหรือหายใจลำบากอาจมีการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ สามารถใช้เครื่องช่วยหายใจได้เพื่อให้ออกซิเจน และนำส่งแพทย์ทันที

หากได้รับสารอนุภาคนาโนซิลเวอร์ทางปาก การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีสติทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด อาจให้ดื่มน้ำหรือนมในปริมาณมากเพื่อให้เกิดการอาเจียน หรือเจือจางปริมาณที่ได้รับและให้นำส่งแพทย์ แต่หากผู้ป่วยได้รับสารในปริมาณมาก หรือ ผู้ป่วยไม่มีสติห้ามให้น้ำหรือสิ่งอื่นใดเข้าปาก ให้นำส่งแพทย์ทันที

การได้รับสารอนุภาคนาโนซิลเวอร์ทางผิวหนัง ให้แกะผ้าหรือถอดผ้าในบริเวณผิวหนังที่ได้รับการปนเปื้อนออก ล้างผิวหนังด้วยน้ำเปล่าและสบู่ในบริเวณที่สัมผัสเป็นเวลานานอย่างน้อย 15 นาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง หากมีอาการระคายเคือง หรือผื่นขึ้นต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากสารอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที และให้ลืมตาเพื่อล้างเปลือกตาบนและล่างในบางครั้ง ให้นำส่งแพทย์ทันที

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของวัสดุนาโนซิลเวอร์จากการทดสอบของ OECD

4.1.1 ชนิดของวัสดุนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนซิลเวอร์โดยมีประเทศอเมริกาและเกาหลีเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก และมีสมาชิกจากประเทศที่สนับสนุนร่วมการวิจัยได้แก่ เยอรมัน คานาดา ออสเตรเลีย และ Nordic Council of Ministers โดยได้ร่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของวัสดุนาโนซิลเวอร์ซึ่งได้กำหนดชนิดของวัสดุนาโนซิลเวอร์ ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษเป็นสารนาโนซิลเวอร์ที่มีหมายเลข CAS 7440-22-4 จำนวนสี่ชนิด โดยเป็นสารนาโนซิลเวอร์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 10-20 นาโนเมตร และ 50-100 นาโนเมตร และมีสาร capping agent สองชนิดได้แก่ citrate และ PVP โดยสารทั้งสี่ชนิดนำมาจากบริษัท ABC Nanotech และ RAS GmbH ชนิดและลักษณะของวัสดุนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (OECD, 2010) แสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ชนิดและลักษณะของวัสดุนาโนซิลเวอร์ (Nano-Ag) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (OECD, 2010)

กลุ่มสาร	สารทดสอบ			
ชนิด	Nano-Ag	Nano-Ag	Nano-Ag	Nano-Ag
OECD code	NM 300 K	NM 300 KDis	NM 300 Dis	
บริษัทผู้ผลิต	ABC Nanotech	RAS GmbH	RAS GmbH	RAS GmbH
ขนาดอนุภาค	10-15 นาโนเมตร	10-20 นาโนเมตร	50-100 นาโนเมตร	50-100 นาโนเมตร
Capping Agent	Citrate	PVP	Citrate	PVP

โดยทั่วไปโลหะซิลเวอร์มีแนวโน้มที่จะมีพิษต่ำสุด ในขณะที่ซิลเวอร์ที่เป็นไอออนในน้ำในรูปของ Ag^+ จะถูกดูดซับได้ง่ายและมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษได้มากที่สุด (Drake and Hazelwood, 2005) ในส่วนของอนุภาคซิลเวอร์นั้น เมื่ออนุภาคนาโนซิลเวอร์อนุภาคอยู่ปรากฏในน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนอิสระของซิลเวอร์ในรูปของ Ag^+ ซึ่งมีความเป็นพิษสูง โดยความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของซิลเวอร์มักขึ้นอยู่กับปริมาณของไอออนอิสระนี้ การได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้าสู่ร่างกายมนุษย์มีโอกาสเกิดขึ้นจากทางการหายใจ ทางปาก และทางผิวหนัง ทั้งจากการได้รับทางตรง และการได้รับทางอ้อมซึ่งเกิดจากการตกค้างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถสะสมได้ในสิ่งมีชีวิต พืชผัก น้ำ และดิน ผ่านการอุปโภคบริโภคเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ในที่สุด

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ความเป็นพิษที่มีต่อสัตว์น้ำ

Griffitt และคณะ (Griffitt et al., 2008) ได้ทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีต่อปลาม้าลาย *Danio rerio* และไรน้ำสองชนิดคือ *Daphnia pulex* และ *Ceriodaphnia dubia* ในช่วงระยะเวลาสั้น (short term) โดยเปรียบเทียบความเป็นพิษของสารซิลเวอร์ไนโตรต อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ทดสอบมีขนาด 20-30 นาโนเมตรแขวนลอยในน้ำโดยมีสารละลายโซเดียมไซเตรท 0.5% เป็นสารทำให้คงตัวในของเหลว วิธีการที่ใช้ทดสอบมาจากมาตรฐานของ ASTM ปี 2002 โดยได้ค่าความเป็นพิษ LC_{50} ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เทียบกับสารซิลเวอร์ไนเตรตดังนี้

ค่าความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

Danio rerio :	LC_{50} - ตัวโตเต็มวัย	7.07 มิลลิกรัม/ลิตร
	LC_{50} – ตัวอ่อน	7.20 มิลลิกรัม/ลิตร
Daphnia pulex :	LC_{50} - ตัวโตเต็มวัย	0.04 มิลลิกรัม/ลิตร
Ceriodaphnia dubia :	LC_{50} –ตัวอ่อน	0.067มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าความเป็นพิษของซิลเวอร์ไนเตรต

Danio rerio :	LC_{50} - ตัวโตเต็มวัย	0.0222มิลลิกรัม/ลิตร
	LC_{50} – ตัวอ่อน	> 10 มิลลิกรัม/ลิตร
Daphnia pulex :	LC_{50} - ตัวโตเต็มวัย	0.008 มิลลิกรัม/ลิตร
Ceriodaphnia dubia :	LC_{50} –ตัวอ่อน	0.16มิลลิกรัม/ลิตร

จากค่าความเป็นพิษดังกล่าว อนุภาคนาโนซิลเวอร์มีความเป็นพิษน้อยกว่าซิลเวอร์ไนเตรตถึง 100-1000 เท่าเมื่อทดสอบกับสัตว์ชนิดเดียวกันที่โตเต็มวัย ในขณะที่เมื่อทดสอบกับตัวอ่อนพบว่าความเป็นพิษของซิลเวอร์ไนเตรตมาน้อยกว่าหรือเท่ากับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ส่วนค่าความเป็นพิษแบบระยะยาว (short term) ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีต่อปลาเรนโบว์เทราท์ *Oncorhynchus mykiss* และไรน้ำ *Daphnia magna* ที่โตเต็มวัย มีค่าเป็น (CTGB, 2004)

ค่าความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

Oncorhynchus mykiss :	NOEC - ตัวโตเต็มวัย	0.00024 มิลลิกรัม/ลิตร
Daphnia magna :	NOEC - ตัวโตเต็มวัย	0.0016 มิลลิกรัม/ลิตร

ความเป็นพิษต่อสาหร่ายและพืช

ในการทดสอบความเป็นพิษต่อสาหร่ายและพืช ได้มีงานวิจัยหลายงานทดสอบหาค่าความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Navarro et al., 2008, Griffitt et al., 2008, CTGB, 2004) โดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เคลือบด้วยคาร์บอเนตเพื่อป้องกันการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีขนาด 10-200 นาโนเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 40 นาโนเมตร ค่าความเป็นพิษที่ได้เป็น

ค่าความเป็นพิษของนาโนซิลเวอร์

Pseudokirchneriela subcapitata :	EC_{50}	0.19 มิลลิกรัม/ลิตร
Chlamydomonas reinhardtii :	EC_{50}-2 ชั่วโมง	0.113มิลลิกรัม/ลิตร
Chlamydomonas reinhardtii (ในรูปไอออน Ag^{+}) :	EC_{50}-2 ชั่วโมง	0.00108 มิลลิกรัม/ลิตร

เมื่อเทียบความเป็นพิษ เกลือซิลเวอร์ไนเตรตมีความเป็นพิษต่อ *Pseudokirchneriela subcapitata* มากกว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ถึง 50 เท่า และมีความเป็นพิษต่อ *Chlamydomonas reinhardti* มากกว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ถึง 6 เท่า อย่างไรก็ดีถ้าในการวัดความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยรวมไปถึงไอออน Ag^{+}แล้ว อนุภาคซิลเวอร์นาโนจะมีความเป็นพิษมากกว่าซิลเวอร์ไนเตรตถึง 100 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากลิแกนด์ไอออนของ Ag^{+}เช่น cysteine เป็นต้น จะทำให้เกิดการขัดขวางการสังเคราะห์แสงของพืช

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

การศึกษาความเป็นพิษกับเซลล์ได้มาจากงานวิจัยของนักวิจัยจากประเทศเกาหลีเป็นหลัก (Ji et al., 2007, Kim et al., 2008, Sung et al., 2008, Sung et al., 2009) โดยการศึกษาความเป็นพิษกับเซลล์ที่ได้มีการรายงานผล (OECD, 2009) มีดังนี้

<u>ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก</u>

ในการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากการได้รับทางปากนั้น ได้ทดสอบกับหนู (rat) ที่มีอายุ 8 วัน โดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ขนาด 60 นาโนเมตร และให้หนูได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเวลาต่อเนื่อง 28 วัน ในระดับแตกต่างกัน คือ ในปริมาณต่ำ 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในปริมาณปานกลาง 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และในปริมาณสูง 1000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยวัดความเป็นพิษที่มีต่อลักษณะสมบัติทางชีวภาพเคมีของเลือด การตรวจสอบทางโลหิตวิทยา (hematology) และการตรวจสอบทางจุลพยาธิวิทยา (hispathology) โดยผลการตวจสอบพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนักตัวของหนู ในขณะที่ระดับของเอนไซม์ alkaline phosphatase และคลอเรสเตอรอลของหนูเปลี่ยนแปลงเมื่อหนูได้รับสารในปริมาณที่มากกว่า 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่ผลจากการตรวจสอบด้าน micronucleated polychromatic erythrocytes (MN PCEs) หรือการตรวจสอบสัดส่วนของ polychromatic erythrocytes เทียบกับ erythrocytes ที่มีทั้งหมด พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง และจากการตรวจวัดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในเนื้อเยื่อต่างๆ พบว่าการสะสมของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในเนื้อเยื่อจะสัมพันธ์กับปริมาณการได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ของหนู (Sung et al., 2009)

<u>ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ</u>

ในการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากการได้รับทางการหายใจนั้น ได้ทดสอบกับหนู (rat) โดยให้หนูได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ขนาด 18 นาโนเมตร ในระดับแตกต่างกัน คือ ในปริมาณต่ำ

$0.7x10^6$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ ในปริมาณปานกลาง $1.4x10^6$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ และในปริมาณสูง $2.9x10^6$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ หนูได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 6 ชั่วโมงต่อวัน โดยได้รับต่อเนื่องเป็นเวลา 90 วัน ผลการศึกษาพบว่ามีการลดลงของปริมาตรอากาศที่หนูหายใจเข้าและออก ในหนูตัวเมียที่มีการรับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณสูงจะมีอาการอักเสบในถุงลมเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ได้รับ และพบว่าผนังของถุงลมหนาขึ้น และมีการรวมกันเป็นก้อนเนื้อเยื่อขนาดเล็กในถุงลมด้วย (Sung et al., 2008)

นอกจากนี้ Ji และคณะ (Ji et al., 2007) ได้เปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาด 18 นาโนเมตร โดยให้การได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในระดับแตกต่างกัน คือ ในปริมาณต่ำ $1.73x10^4$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ ในปริมาณปานกลาง $1.27x10^5$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ และในปริมาณสูง $1.32x10^6$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ และได้รับสารในช่วง 6 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ โดยรับต่อเนื่องกันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการทดสอบพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อตรวจสอบทางโลหิตวิทยา (hematology) และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสมบัติทางชีวเคมีในเลือด

ในการตรวจสอบความเป็นพิษแบบเรื้อรังในการได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยได้ทดสอบกับหนู (rat) อายุ 8 สัปดาห์ โดยให้หนูได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ขนาด 18-19 นาโนเมตร ในระดับแตกต่างกัน คือในปริมาณต่ำ $0.6x10^6$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ ในปริมาณปานกลาง $1.4x10^6$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ และในปริมาณสูง $3.0x10^6$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ หนูได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 6 ชั่วโมงต่อวัน 5 วันต่อสัปดาห์ และได้รับต่อเนื่องเป็นเวลา 13 อาทิตย์ ผลการทดสอบพบว่าการเจริญเติบโตของเซลล์ในตับจำนวนมากที่มีการเจริญมากกว่าเซลล์ปรกติ โดยเกิดแทรกของเซลล์ที่อักเสบในเนื้อเยื่อ เกิดการอักเสบในถุงลม และมีการรวมกันเป็นก้อนเนื้อเยื่อขนาดเล็กในถุงลมด้วย โดยค่าความเป็นพิษ NOAEL มีค่าเป็น 100 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Kim et al., 2008)

ความเป็นพิษทางพันธุกรรม

Ahamed และคณะ (Ahamed et al., 2008) ได้ทำการทดสอบความเป็นพิษทางพันธุกรรมโดยได้ทดสอบความเป็นพิษต่อการทำลาย DNA ที่เกิดจากความแตกต่างของพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในเซลล์สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ประกอบด้วย อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ไม่มีการเคลือบผิว และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เคลือบผิวด้วย polysaccharide แล้วตรวจวัด DNA ที่ถูกทำลายในตัวอ่อนของหนู (embryonic stem (mES) cells) และ fibroblasts ในรังไข่หนู (embryonic fibroblasts (MEF)) โดยผลการทดสอบพบว่ามี DNA ที่ถูกทำลายเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์และพบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เคลือบผิวด้วย polysaccharide มีความเสียหายมากกว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ไม่มีการเคลือบผิว

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของนาโนซิลเวอร์จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

<u>การตกค้างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในสิ่งแวดล้อม</u>

จากการที่อนุภาคซิลเวอร์สามารถแตกตัวเป็นไอออน Ag^+ และมีลักษณะสมบัติเป็นคอลลอยด์ จึงเป็นที่คาดการณ์ได้ว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นสารที่สามารถดูดซับ สร้างพันธะและทำให้เกิดสารเชิงซ้อนที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน ตะกอนดิน เป็นต้น ได้ง่าย (Pronk et al., 2009) อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถรวมตัวกันเป็นก้อน ซึ่งจะทำให้ลดความเข้มข้นในการได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ของสัตว์น้ำ แต่จะทำให้เกิดการตกค้างในตะกอนดินในความเข้มข้นที่สูงได้ นอกจากนี้สารอินทรีย์ในดินจะทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์มีความคงตัวสูงยิ่งขึ้น ส่งผลให้การพบอนุภาคซิลเวอร์นาโนในน้ำมีไม่มากนัก ในขณะเดียวกันจะทำให้จุลินทรีย์นำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในดินไปใช้ได้ง่าย ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถปลดปล่อยอนุภาคนาโนจากโครงสร้างเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ได้ จากงานวิจัยของ Allison และ Allison ในปี 2005 (Allison and Allison, 2005) ได้รายงานค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว K_p ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในสิ่งแวดล้อม ดังนี้

ตัวกลาง – ดิน/น้ำ	K_p	2.6 ลิตร/กิโลกรัม
ตัวกลาง – ดินตะกอน/น้ำ	K_p	3.6 ลิตร/กิโลกรัม
ตัวกลาง – สารแขวนลอย/น้ำ	K_p	4.9 ลิตร/กิโลกรัม

ในส่วนของค่าอัตราการสะสม (bioconcentration factor, BCF) ของไอออน Ag^+ ในปลา โดยใช้ปลาเทราท์และปลาคาร์ฟเป็นสัตว์ทดสอบ มีค่าเป็น 22 และ 70 ลิตร/กิโลกรัม (CTGB, 2004)

<u>การทดสอบความเป็นพิษที่มีต่อสัตว์</u>

งานวิจัยของ Bryan และ Langston (Bryan and Langston, 1992) และงานวิจัยของ Wood และคณะ (Wood et al., 1994) ได้รายงานถึงความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของซิลเวอร์ที่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีและปริมาณของไอออนซิลเวอร์อิสระในน้ำ โดยได้ระบุว่าความเข้มข้นของไอออนอิสระในน้ำเพียง 1-5 ไมโครกรัม/ลิตรจะทำให้สัตว์น้ำหลายชนิด เช่น แมลง ปลาเทราท์ และปลาทะเลขนาดเล็กๆ ตายได้ มากไปกว่านั้นการสะสมของซิลเวอร์ในสิ่งมีชีวิตแม้ว่าจะมีซิลเวอร์ในปริมาณต่ำมาก จะนำไปสู่ผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ได้ (Eisler, 1997)

Lee และคณะ (Lee et al., 2007) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ขนาด 12 นาโนเมตรที่มีต่อปลาม้าลาย *Danio rerio* ซึ่งพบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะส่งผลต่อการพัฒนาตัวอ่อนของปลา นอกจากนี้ Asharani และคณะ (Asharani et al., 2007) ได้รายงานถึงผลกระทบของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ส่งผลทำให้เกิดความผิดปรกติของโครโมโซม และทำลาย DNA และยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์ของปลาม้าลายอีกด้วย

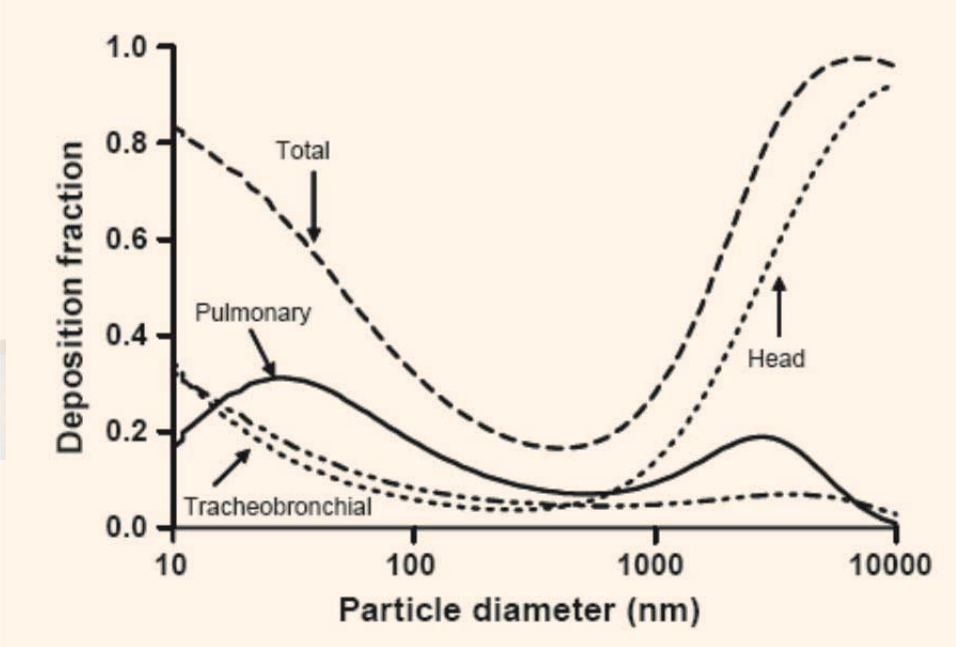
จากงานวิจัยของ Hussain และคณะ (Hussain et al., 2005) และงานวิจัยของ Ji และคณะ (Ji et al., 2007) ได้ทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั้งแบบ *in vitro* และแบบ *in vivo* พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถเข้าไปภายเซลล์และทำให้เกิดการทำลายเซลล์ได้

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

การได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ทางการหายใจเป็นเส้นทางหลักในการได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ สินค้าหลายชนิดใช้การสเปรย์พ่นสารอนุภาคนาโนซิลเวอร์ทำให้การได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านทางการหายใจเกิดขึ้นได้โดยง่าย การกระจายตัวและการตกค้างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในระบบทางเดินหายใจประกอบด้วยปัจจัยหลายประการ เช่น ขนาดของอนุภาค แรงในการหายใจ เป็นต้น จากการที่อนุภาคนาโนมีขนาดเล็กมาก การแพร่กระจายแบบ Brownian ส่งผลให้อนุภาคนาโนแพร่กระจายไปในส่วนของปอดด้านในและการแพร่กระจายเข้าไปยังพื้นที่ผิวของปอดและถุงลม (Pronk et al., 2009)

Price และคณะ (Price et al., 2002) ได้จำลองการตกค้างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคนาโนเป็นหลักโดยใช้แบบจำลอง Multiple-Path Particle Dosimetry (MPPD) โดยแบบจำลองนี้ได้นำมาใช้ในการหาการตกค้างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดตั้งแต่ 10 นาโนเมตรถึง 10 ไมโครเมตร ในระบบทางเดินหายใจ ดังแสดงผลดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 การตกค้างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดตั้งแต่ 10 นาโนเมตรถึง 10 ไมโครเมตร ในระบบทางเดินหายใจที่ได้จากแบบจำลอง MPPD (Price et al., 2002)

จากการจำลองผล อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดต่ำกว่า 100 ไมโครเมตรในปริมาณระหว่างร้อยละ 30-80 จะตกค้างในส่วนของทางเดินหายใจ ในขณะที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กไปจนถึง 50 นาโนเมตร จะตกค้างในส่วนบนของช่องทางการหายใจ เนื่องจากสามารถแพร่กระจายได้ง่ายก่อนที่จะถูกนำไปสู่ทางเดินหายใจภายในและเข้าสู่ปอดด้านในในขณะที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดต่ำกว่า 10 นาโนเมตรนั้นไม่สามารถทำนายการตกค้างได้ชัดเจนด้วยแบบจำลองนี้ (Price et al, 2002) จากงานวิจัยของ Maynard และ

Kuempel (Maynard and Kuempel, 2005) ได้แสดงให้เห็นว่าอนุภาคขนาดมากกว่า 100 นาโนเมตรจะตกค้างในทางเดินหายใจด้านใน ในขณะที่อนุภาคขนาดประมาณ 50 นาโนเมตรจะตกค้างในช่วงทางเดินหายใจตอนบน งานวิจัยของ Takenaka และคณะ (Takenaka et al., 2001) และงานวิจัยของ Ji และคณะ (Ji et al., 2007) ได้ทดสอบการตกค้างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 15 นาโนเมตร โดยใช้หนู (rat) เป็นสัตว์ทดสอบ โดยพบว่าสารนาโนซิลเวอร์จะตกค้างในปอดและเข้าสู่ระบบการหมุนเวียนอากาศภายในปอด นอกจากนี้งานวิจัยของ Oberdorster และคณะ (Oberdorster et al., 2004) ได้บอกถึงการดูดซับอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยเยื่อบุในส่วนของการรับกลิ่นในระบบทางเดินหายใจ ซึ่งจะต่อเนื่องกับระบบประสานส่วนกลางด้วยเส้นประสาทรับกลิ่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Takenaka และคณะ (Takenaka et al., 2001) ได้ตรวจพบอนุภาคนาโนซิลเวอร์ขนาด 15 นาโนเมตรที่ตกค้างในเส้นประสาทรับกลิ่น และสมองของหนูหลังจากได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านการหายใจ ซึ่งแสดงถึงการเชื่อมโยงของการได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านเส้นประสาทรับกลิ่นไปสู่สมองของหนู และจากงานวิจัยเดียวกัน Takenaka และคณะ ยังได้รายงานถึงการตรวจพบซิเลวอร์ที่ตกค้างในตับและม้ามหลังจากที่หนูได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านทางการหายใจ โดยร้อยละ 9-21 ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่พบในปอดจะถูกพบในตับด้วย โดยจากการวิเคราะห์ทางจุลพยาธิวิทยาของตับพบการเกิดช่องว่างใน cytoplasm ในตับ ในขณะที่จากงานของ Ji และคณะ (Ji et al., 2007) พบการตายเฉพาะส่วน (necrosis) เกิดขึ้นในตับเมื่อหนูได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณมาก ในขณะที่ไม่มีความผิดปรกติเกิดขึ้นกับเอนไซม์ alkaline phosphatase (ALP)

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านทางผิวหนัง

การดูดซึมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านทางผิวหนังเกิดขึ้นได้จากการใช้งานของสิ่งทอ และผ้า/พลาสเตอร์ปิดแผลที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์อยู่โดยมีวัตถุประสงค์ในการฆ่าเชื้อโรคเป็นหลัก โดยจากงานของ Trop และคณะ (Trop et al., 2006) ซึ่งได้นำผ้าปิดแผลที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปใช้ในการรักษาผิวหนังที่ถูกไฟไหม้และมีบาดแผล โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีขนาด 15 นาโนเมตร หลังจากใช้งานเป็นเวลา 1 อาทิตย์มีการตรวจพบปริมาณซิลเวอร์ในพลาสมาและปัสสาวะ Vlachou และคณะ (Vlachou et al., 2007) ได้ดำเนินการวิจัยต่อเนื่องจากงานของ Trop และคณะโดยใช้ผ้าปิดแผลชนิดเดียวกันทดลองกับผู้ป่วย 30 คนที่มีบาดแผลไฟไหม้ที่ผิวหนัง ซึ่งได้รับผลตรงกันกับงานของ Trop และคณะโดยการเคลื่อนที่ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนในร่างกายมนุษย์ยังไม่มีคำอธิบายที่ชัดเจน

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

การได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านทางปากนั้น เกิดจากการใช้งานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด ซึ่งมีการวางจำหน่ายในปัจจุบัน (Maynard and Michelson, 2005) นอกจากนี้การได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ทางการหายใจสามารถส่งผ่านไปยังช่องปาก และเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารได้ แม้ว่าในปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานยืนยันถึงการได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในเส้นทางนี้ (Pronk, et al., 2009)

งานวิจัยหลายงานได้ทดสอบความเป็นพิษโดยการดูดซับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และซิลเวอร์ขนาด

คอลลอยด์ผ่านการได้รับทางปาก (White et al., 2003, Mirsattari et al., 2004) โดยพบว่าการดูดซับของซิลเวอร์ขนาดคอลลอยด์เกิดขึ้นโดยหมุนเวียนอย่างเป็นระบบในระบบทางเดินอาหาร และงานของ Kim และคณะ (Kim et al., 2008) ได้รายงานถึงการสะสมของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในเนื้อเยื่อที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของอนุภาคซิลเวอร์ที่ได้รับ โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ทดสอบมีขนาด 60 นาโนเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่รับผ่านทางปากนั้นจะเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารและส่งต่อไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงาน Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (permissible exposure limit, PEL) สำหรับซิลเวอร์เป็น 0.01 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่านี้ได้นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานและการได้รับสารของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ นอกจากนี้ค่าอื่นๆ ที่แนะนำโดย NIOSH มีดังนี้

- ระดับการได้รับที่แนะนำ (Recommended Exposure Level, REL) เป็น 0.01 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

- ระดับความเข้มข้นที่เป็นอันตรายต่อชีวิตหรือสุขภาพอย่างทันที (Immediately Dangerous to Life or Health Concentration, IDLH เป็น 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

หน่วยงาน A committee of American Conference of Government Industrial Hygienists หรือ ACGIH ได้กำหนดค่าความเข้มข้นเมื่อสัมผัสแล้วไม่เป็นอันตรายของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เป็น 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น
- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน
(พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่น โดยเฉพะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับผงนาโนซิลเวอร์ในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับผงนาโนซิลเวอร์ในรูปสารละลาย สามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 7.5



(a) ถุงมือ Silver Shield



(b) ถุงมือ Butyl



(c) ถุงมือ Viton



(d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 7.5 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน
(พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บรักษา

ให้เก็บรักษาสารนาโนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้ง ในบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก โดยมีข้อกำหนดเฉพาะในการเก็บรักษา ได้แก่

- ให้เก็บไว้ในที่เฉพาะที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ
- ต้องเก็บรักษาให้ไกลจากแหล่งกำเนิดไฟ หรือ ประกายไฟ

- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารที่เข้ากันไม่ได้ ได้แก่ อะเซติลีน (acetylene) แอมโมเนีย (ammonia) โบรโมเอไซด์ (bromoazide) คลอรีนไตรฟลูออไรด์ (chlorine trifluoride) และเอธิลอิรีมีน (ethyleniemine)
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารออกซิแดนท์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
- หลีกเลี่ยงการเก็บรักษาสารเคมีร่วมกับกรด
- ภาชนะที่เคยใช้บรรจุอนุภาคนาโนซิลเวอร์อยู่ อาจมีการตกค้างในส่วนของผง ฝุ่นนาโนซิลเวอร์ ให้ทำความสะอาดก่อนนำไปใช้งานอีกครั้ง และระวังอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการสะสมของฝุ่นผงนาโนซิลเวอร์

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กมากสามารถลุกติดไฟได้ และขณะลุกติดไฟจะทำให้เกิดก๊าซพิษหรือควันพิษของซิลเวอร์ออกไซด์ได้

ในส่วนของการระเบิด หากมีการสะสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กมากในลักษณะฝุ่น อาจก่อให้เกิดระเบิดได้

ในการเกิดไฟไหม้ **ไม่ให้ใช้น้ำในการดับไฟ** ให้ใช้ทรายหรือสารเคมีแห้งสำหรับดับไฟที่เกิดจากผงโลหะโดยเฉพาะ ชุดที่ใช้ในการดับเพลิงให้ใส่ชุดป้องกันครบทุกส่วน และมีอุปกรณ์ป้องกันการหายใจแบบคลุมหน้าทั้งหมด พร้อมถังออกซิเจนในการให้อากาศกับผู้ดับเพลิง

5.6 การกำจัดสารเคมีหลังการใช้งาน

สารอนุภาคนาโนซิลเวอร์จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ U.S. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) ของเสียที่มีส่วนประกอบของอนุภาคนาโนซิลเวอร์รวมทั้งภาชนะบรรจุจะต้องถูกกำจัดด้วยวิธีการเดียวกับของเสียอันตราย ซึ่งต้องมีการกำจัดด้วยวิธีเฉพาะและโดยผู้ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ QSI-Nano® Silver Powder ของบริษัท QuantumSphere Inc. (แสดงในภาคผนวก ก.7)

QuantumSphere, Inc.
2905 Tech Center Drive
Santa Ana, CA 92705
(714) 545-6266 – phone
(714) 545-6265 - fax

Material Safety Data Sheet
QSI-Nano® Silver Powder

1. Product and Company Identification

PRODUCT NAME:	QSI-Nano® Silver Powder
SYNONYMS:	Ag, Argentum, Silver, Silver Particles, Ultra-fine Silver
MANUFACTURER:	QuantumSphere, Inc.
ADDRESS:	2905 Tech Center Dr. Santa Ana, CA 92705
EMERGENCY PHONE (CHEMTREC):	(800) 424-9300
OTHER CALLS:	(714) 545-6266
FAX:	(714) 545-6265

2. Composition/Information on Ingredients

Ingredient	CAS No	Percent	Hazardous
Silver	7440-22-4	> 99.9%	No

CHEMICAL NAME:	Silver
CHEMICAL FAMILY:	Metal Powder
CHEMICAL FORMULA:	Ag

3. Hazards Identification

Safety Data
HMIS Ratings: Health=0, Flammability=0, Reactivity=1
Lab Protective Equip: Goggles, gloves, lab coat
Potential Health Effects
Inhalation: May be harmful if inhaled. Material may be irritating to nasal septum, throat, mucous membranes and upper respiratory tract.
Ingestion: May be harmful if swallowed. May cause gastrointestinal irritation with nausea, vomiting and diarrhea.
Skin Contact: May cause skin irritation or ulceration.
Eye Contact: May cause eye irritation or blue-gray eyes.
Chronic Exposure: Absorption of silver compounds by ingestion, inhalation or through broken skin can cause argyria, a permanent bluish-gray discoloration of the skin, conjunctiva and mucous membranes.

6.2 เอกสารความปลอดภัยของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ Silver Nano Colloid จากบริษัท BIONEER (แสดงในภาคผนวก ก.7)

BIONEER MSDS

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Silver Nano Colloid

Section I - Chemical Products & Company Identification

Bioneer Corporation
49-3, Munpyeong-Dong, Daedeok-Gu,
Daejeon 306-220, Korea
Phone: +82-42-930-8594
Creation Date: 05/08
Trade Name/Synonyms: Silver Nano Colloid
Chemical Family: Silver and Water

Section 2 - Composition/Information On Ingredients

Active Component: Silver

Description: (CAS Number)

Silver (CAS Number: 7440-22-4); 0.1%
Water (CAS Number: 7732-18-5); 99.9%

Section 3 - Hazards Identification

Hazard Description: Chronic exposure affects skin, eyes and respiratory tract. May cause irritation to skin and eyes

NFPA Ratings (Scale 0-4):

Health = 1
Flammability = 0
Reactivity = 0

Potential Health Effects:

Skin Contact: May cause irritation with redness and pain
Eye Contact: May cause irritation, redness and pain
Ingestion: See chronic effects
Inhalation: See chronic effects

Chronic Exposure:

Prolonged or repeated inhalation, application or ingestion of silver and its compounds may cause a permanent bluish discoloration of the skin, eyes, and mucous membranes. This condition is called argyria. This effect can be either

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Ahamed M, Karns M, Goodson M, Rowe J, Hussain S, Schlager J, Hong Y, Toxicol Appl Pharmacol 233 (2008) 404.

Asharani PV, Nair G, Zhiyuan H, Manoor P, Valiyaveettil S, Potential health impacts of silver nanoparticles. Abstracts of Papers, 234th ACS National Meeting, Boston, MA, USA, August 19-23, 2007.

Asharani PV, Hande MP, Valiyaveettil S, BMC Cell Biology 10 (2009) 65.

Aslan K, Gryczynski I, Malicka J, Matveeva E, Lakowicz JR, Geddes CD, Curr Opin Biotechnol 16 (2005) 55.

Bryan G, Langston W, Environ Pollut 76 (1992) 89.

Burrell RE, Heggers JP, Davis GJ, Wright JB, Wounds 11 (1999) 64.

Board for the Authorisation of Plant Protection Products and Biocides (CTGB), Authorization report on Chrysal AVB, Board for the Authorisation of Plant Protection Products and Biocides (CTGB), Available: http://www.ctb.agro.nl/ctb_files/ 12617_01.html, September 15, 2012. 2004.

Danilczuk M, Lund A, Sadlo J, Yamada H, Michalik J, Spectrochim Acta A 63 (2006) 189.

DiRienzo M, New Applications for Silver, The LBMA Precious Metals Conference 2006, Montreux, 2006.

Elechiguerra JL, Burt JL, Morones JR, Camacho-Bragado A, Gao X, Lara HH, Yacaman MJ, J Nanobiotechnol 29 (2005) 3.

Eckhoff RK, Dust explosions in the process industries, 3rd edition, Gulf Professional Publishing, 2003.

Eisler R, Silver hazards to fish, wildlife and invertebrates: A synoptic review. Washington, DC, U.S. Department of the Interior, National Biological Service, 44 pp. (Biological Report 32 and Contaminant Hazard Reviews Report 32), 1997.

Griffitt RJ, Luo J, Gao J, Bonzongo JC, Barber DS, Environ Toxicol Chem 27 (2008) 1972.

Hussain SM, Hess KL, Gearhart JM, Geiss KT, Schlager JJ, Toxicol in vitro 19 (2005) 975.

Hwang ET, Lee JH, Chae YJ, Kim YS, Kim BC, Sang B, Gu MB, Small 4 (2008) 746.

Ji JH, Jung JH, Kim SS, Yoon J-U, Park JD, Choi BS, Chung YH, Kwon IH, Jeong J, Han BS, Shin JH, Sung JH, Song KS, Yu IJ, Inhal Toxicol 19 (2007) 857.

Kim YS, Kim JS, Cho HS, Rha DS, Park JD, Choi BS, Lim R, Chang HK, Chung YH, Kwon IH, Jeong J, Han BS, Yu IJ, Inhal Toxicol 20 (2008) 575.

Kim JS, Kuk E, Yu KN, Kim JH, Park SJ, Lee HJ, Kim SH, Park YK, Park YH, Hwang CY, Kim YK, Lee YS, Jeong DH, Cho MH, Nanomedicine 3 (2007) 95.

Lee KJ, Nallathamby PD, Browning LM, Osgood CJ, Xu XN, Am ChemSoc 1 (2007) 133.

Luoma SN, Silver nanotechnologies and the environment: old problems or new challenges? Project on Emerging Nanotechnologies, The Pew Charitable Trusts, 2008.

Maynard AD, Kuempel E D, J Nanopart Res 7 (2005) 587.

Maynard AD, Michelson E, The nanotechnology consumer products inventory.Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2005.

Mirsattari SM, Hammond RR, Sharpe MD, Leung FY, Young GB, Neurology 62 (2004) 1408.

Moores A, Goettmann F, New J Chem, 30 (2006) 1121.

Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramírez JT, Yacaman MJ, Nanotechnology 16 (2005) 2346.

Navarro E, Piccapietra F, Wagner B, Marconi F, Kaegi R, Odzak N, Sigg L, Behra R, Environ Sci Technol 42 (2008) 8959.

Oberdorster G, Sharp V, Atudorei V, Elder A, Gelein R, Kreyling W, Cox C, Inhal Toxicol 16 (2004) 437.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Draft Dossier Development Plan: Silver Nanoparticles, Working Party on Manufactured Nanomaterials, ENV/CHEM/NANO (2009)4/ADD4, 25 Feb 2009.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Exposure Measurement and Exposure Mitigation: Activities and Outputs Since the 6th WPMN, Working Party on Manufactured Nanomaterials, ENV/CHEM/NANO(2010)14, 24 Jun 2010.

Pal S, Tak YK, Song JM, Appl Environ Microbiol, 73 (2007) 1712.

Price OT, Asgharian B, Miller FJ, Cassee FR, de Winter-Sorkina R, Multiple Path Particle Dosimetry model (MPPD v1.0): A model for human and rat airway particle dosimetry. RIVM report 650010030. Available: http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/650010030.html, September 15, 2012. 2009.

Pronk MEJ, Wijnhoven SWP, Bleeker EAJ, Heugens EHW, Peijnenburg WJGM, Luttik R, Hakkert BC, Nanomaterials under REACH: Nanosilver as a case study, National Institute for Public Health and the Environment, RIVM report 601780003/2009 pp 105-132.

Radziuk D, Shchukin DG, Skirtach A, Mohwald H, Sukhorukov G, Langmuir 23 (2007) 4612.

Roldan MV, Frattini A, de Sanctis O, Troiani C, Pellegri N, Appl Surf Sci 254 (2007) 281.

Senjen R, Nanosilver – a threat to soil, water and human health? Friends of the Earth Australia, March 2007.

Shrivastava S, Bera T, Roy A, Singh G, Ramachandrarao P, Dash D, Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles.Nanotechnology 18 (2007) 225103 (9pp).doi: 10.1088/0957-4484/18/22/225103.

Skirtach AG, Antipov AA, Shchukin DG, Sukhorukov GB, Langmuir 20 (2004) 6988.

Skirtach AG, Oz JA, Kreft O, Hler K, PieraAlberola A, Hwald H, Parak WJ, Sukhorukov GB, Angew Chem Int Ed Engl 45 (2006) 4612.

Sondi I, Salopek-Sondi B, J Colloid Interface Sci 275 (2004) 177.

Sun RW, Chen R, Chung NP, Ho CM, Lin CL, Che CM, Chem Commun (Camb.) (2005) 5059.

Sung JH, Ji JH, Park JD, Yoon JU, Kim DS, Jeon KS, Song MY, Jeong J, Han BS, Han JH, Chung YH, Chang HK, Lee JH, Cho MH, Kelman BJ, Yu IJ, Toxicol Sci 108 (2009) 452.

Sung JH, Ji JH, Yoon JU, Kim DS, Song MY, Jeong J, Han BS, Han JH, Chung YH, Kim J, Kim TS, Chang HK, Lee EJ, Lee JH, Yu IJ, Inhal Toxicol 20 (2008) 567.

Takenaka S, Karg E, Roth C, Schultz H, Ziesenis A, Heinzmann U, Schramel P, Heyder J, Environ Health Persp 109 (2001) 547.

Thomas S, Nair SK, Jamal EMA, Al Harthi SH, Varma MR, Anantharaman MR, Nanotechnology, 19 (2008) 075710.

Tolaymat T, El Badawy A, Genaidy A, Scheckel K, Luxton T, Suidan M, Sci Tot Environ, 408 (2010) 999.

Trop M, Novak M, Rodl S, Hellbom B, Kroell W, Goessler W, J Trauma 60 (2006) 648.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), State of the Science, Literature Review: Everything Nanosilver and More, Scientific, Technical, Research, Engineering and Modeling Support Final Report, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, August 2010a.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Nanomaterial Case Study: Nanoscale Silver in Disinfectant Spray (Interagency Review Draft). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2010b.

Vlachou E, Chipp E, Shale E, Wilson YT, Papini R, Moiemen NS, Burns 33 (2007) 979.

White JML, Powell AM, Brady K, Russell-Jones R, Clin Experim Dermatol, 28 (2003) 354.

Wijnhoven SWP, Peijnenburg WJGM, Herberts CA, Hagens WI, Oomen AG, Heugens EHW, Roszek B, Bisschops J, Gosens I, van de Meent D, Dekkers S, de Jong WH, van Zijverden M, Sips AJAM, Geertsma RE, Nanotoxicology 3 (2009) 109.

Wiley B, Sun Y, Mayers B, Xia Y, Chem Eur J 11 (2005) 454.

Wood C, Munger S, Galvez F, Hogstrand C, The physiology of silver toxicity in freshwater fish. In: Andren A, Bober T, Eds, Transport, fate, and effects of silver in the environment, Proceedings of the 2nd international conference. 11-14 September 1994.

Wright JB, Lam K, Burrell RE, Am J Infect Control 26 (1998) 572.

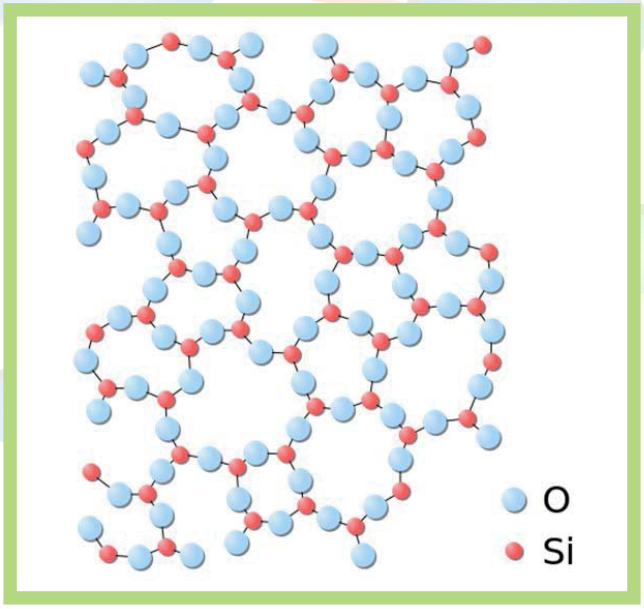
Yin HQ, Langford R, Burrell RE, J Burn Care Rehabil 20 (1999) 195.

บทที่ 8
วัสดุนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อ	silicon dioxide, silica, synthetic amorphous silica, silica nanoparticles
CAS number	7631-86-9 (CAS No 112945-52-5 and 112926-00-8)
สูตรโมเลกุล	SiO_2
น้ำหนักโมเลกุล	60.09 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	2.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อ 20 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	ประมาณ 1700 °C
จุดเดือด	ไม่มีข้อมูล
ลักษณะทั่วไป	ผงสีขาว
	สารไม่ละลายน้ำ (water insoluble)
	ลักษณะโครงสร้าง SiO_4 tetrahedron

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี



รูปที่ 8.1 ลักษณะโครงสร้างของนาโนซิลิกอนไดออกไซด์
(ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Silica.svg)

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

ซิลิกอนไดออกไซด์ หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า ซิลิกา สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติและการสังเคราะห์ขึ้น โดยมีลักษณะโครงสร้างเป็น O=Si=O ซิลิกาจะปรากฏอยู่ในสถานะรูปผลึก และมักอยู่ในรูปของควอตซ์ ทั้งนี้รูปร่างทางกายภาพของซิลิกาแบ่งได้เป็นสามแบบ คือ ผลึก (crystalline) อสัณฐาน (amorphous) และอสัณฐานสังเคราะห์ (synthetic amorphous) วัสดุนาโนซิลิกาโดยทั่วไปแล้วมีรูปเป็นอสัณฐานสังเคราะห์ หรือที่เรียกว่า synthetic amorphous silica หรือ SAS โดยได้มาจากการสังเคราะห์ 3 วิธี (Harrison, 2009) คือ

- การให้ความร้อน (thermal route) โดยมาจากากรให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการ hydrolysis ในสถานะก๊าซของสารคลอโรไซเลน (chlorosilanes) ภายใต้เปลวไฟของออกซิเจน หรือไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส
- วิธีเปียก (wet route) โดยการตกตะกอนของซิลิกา และซิลิกาเจล (หรือ ซิลิกาแอโรเจล) ซึ่งเกิดจากการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา polymerization และเกิดการตกตะกอนของ SAS จากสารละลายโซเดียมซิลิเกต โดยซิลิกาที่ได้จะอยู่ในรูปอสัณฐาน
- วิธีซิลิกาโซล (silica sols) หรือที่เรียกว่า colloidal silica โดยซิลิกาโซลเป็นซิลิกา SAS ที่กระจายตัวในของเหลว โดยทั่วไปคือ น้ำ โดยโซลนี้เกิดจากการ hydrolysis ของซิลิกอนเตตระคลอไรด์ (silicon tetrachloride) ในน้ำ หรือในสารละลายที่เป็น polymerization ของสารละลายโซเดียมซิลิเกต

วิธีการที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ซิลิกาคือ วิธีเปียก (ตกตะกอน) และวิธีให้ความร้อน โดย synthetic amorphous silica ที่ได้จากสองวิธีนี้จะมีลักษณะสมบัติที่ต่างกันจึงมีรหัสของ CAS No. ที่แตกต่างกัน (CAS No 112926-00-8 และ 112945-52-5 ตามลำดับ) (OECD SIDS, 2004) ซิลิกาในรูป amorphous silica จะมีขนาดเล็กในช่วง 100 -1000 นาโนเมตรและมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มจึงเป็นที่รู้จักในนามของอนุภาคนาโนซิลิกา (silica nanoparticles, SNPs) (Harrison, 2009) ในปัจจุบันได้มีการผลิตให้ SAS มีขนาดเล็กมากขึ้น โดยขนาดของอนุภาคนาโนซิลิกาในปัจจุบันมีขนาดเล็กลงถึง 10-25 นาโนเมตร การสังเคราะห์ด้วยการให้ความร้อนทำให้สามารถผลิตอนุภาคนาโนซิลิกาได้เล็กถึง 2 นาโนเมตร ขนาดของรูพรุนของนาโนซิลิกามักอยู่ในช่วง mesopores ซึ่งมีขนาดประมาณ 2-50 นาโนเมตร หรืออาจอยู่ในรูปไม่มีรูพรุนได้ (Iler, 1979)

อนุภาคนาโนซิลิกาไม่ละลายน้ำ เมื่อปรากฏในน้ำจะอยู่ในรูป $SiO_2.xH_2O$ โดยลักษณะพื้นผิวของซิลิกาจะเป็นลักษณะชอบน้ำ (hydrophilicity) ซึ่งลักษณะสมบัตินี้จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของกลุ่มไฮดรอกซิลที่มีพันธะกับซิลิกอน หรือที่เรียกว่ากลุ่ม silanols ในอนุภาคนาโนซิลิกา ซึ่งกลุ่มนี้จะทำให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้อนุภาคนาโนซิลิกามีลักษณะสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี ซึ่งลักษณะสมบัตินี้ได้ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ (Napierska et al., 2010)

นอกจากนี้สารนาโนซิลิกานี้จัดได้ว่าเป็นสารเฉื่อย จึงมักนิยมนำมาใช้ในการผลิตอาหารโดยสารชนิดนี้จะเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ทำหน้าที่ต่างๆ เช่น ตัวกลางเพิ่มรสชาติ สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของอาหาร สารลดฟองในเครื่องดื่ม เป็นต้น และจากการที่สารชนิดนี้สามารถอัดแน่นได้ดีจึงนิยมไปใช้ในการป้องกันการจับตัวของส่วนประกอบต่างๆในยา

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมอาหาร** อนุภาคนาโนซิลิกาจะใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหารกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในส่วนของการเป็นวัตถุเจือปนอาหาร และอยู่ในอาหารโดยตรง เช่น การเป็นสารตัวกลางที่นำพารสชาติ สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของอาหาร สารลดฟองในเครื่องดื่ม เป็นต้น โดยผ่านข้อกำหนดในการเป็นสารปรุงแต่งอาหารของ Joint Expert Committee on Food Additives ของ WHO/FAO อีกด้วยและยังมีการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับหีบห่ออาหาร (Harrison, 2009)

- **อุตสาหกรรมทางการแพทย์** อนุภาคนาโนซิลิกาถูกนำใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับหีบห่ออาหาร นอกจากนี้ยังได้มีการนำอนุภาคนาโนซิลิกาไปใช้งานทางการแพทย์ในส่วนของการรักษามะเร็ง ระบบการนำส่งยา การตรึงเอนไซม์ และ DNA transfection (Hirsch et al., 2003, Moghimi et al., 2005, Ravi Kumar et al., 2004, Slowing et al., 2008, Vijayanathan et al., 2002)

- **อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยา** จากการที่อนุภาคนาโนซิลิกาเป็นสารที่มีความเฉื่อยจึงมักนำมาใช้ในเครื่องสำอาง โดยเฉพะยาสีฟัน ในส่วนของการนำมาใช้กับยานั้นได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายโดยผ่านข้อกำหนดในการรักษานานาชาติ เช่น DAB 10, USP/NF XXIV/19 รวมทั้ง the European Pharmacopoeia 2002 เป็นต้น (Harrison, 2009)

- **อุตสาหกรรมยางและซิลิโคน** อนุภาคนาโนซิลิกานิยมใช้กันมากในการเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของยางและซิลิโคน

- **อุตสาหกรรมยาปราบศัตรูพืช** โดยนิยมนำไปใช้ในส่วนของการเป็นยาฆ่าแมลง โดยสารชนิดนี้จะถูกดูดจับในชั้นไขมันของแมลง และทำให้เกิดการ dehydration ในแมลงทำให้แมลงตายได้ (Mewis and Ulriches, 1999) สาร SAS ซึ่งมาจากกระบวนการให้ความร้อน CAS No. 112945-52-5 ได้ถูกระบุเป็นยาฆ่าแมลงในกลุ่มประเทศยุโรปตามข้อกำหนด EU Regulation 2003 อีกด้วย (OECD SIDS, 2004)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – อนุภาคนาโนซิลิกาในรูปแบบของผงจะสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยง่าย โดยการฟุ้งกระจายและแขวนลอยในอากาศ

อาการที่ได้รับสาร – การระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ และอาจเกิดขาดน้ำของชั้นเยื่อเมือก

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วการได้รับอนุภาคนาโนซิลิกานั้น มักไม่เกิดขึ้นโดยง่าย การได้รับทางปากเกิดขึ้นได้หากมีหายใจเอาผงสารเคมีอนุภาคนาโนซิลิกาเข้าสู่ร่างกายผ่านทั้งทางจมูกและปากขณะปฏิบัติงาน

อาการที่ได้รับสาร – การระคายเคืองต่อทางเดินอาหาร และอาจเกิดขาดน้ำของชั้นเยื่อเมือก

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับผ่านทางผิวหนังนอกจากนี้การสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังอาจเกิดอาการระคายเคือง หากมีผื่นแดง บวมและคัน หรือผิวหนังไหม้ ให้พบแพทย์ทันที

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของผงอนุภาคนาโนซิลิกาที่สามารถปลิวหรือฟุ้ง กระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้าอนุภาคนาโนซิลิกาเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง ซึ่งอาการที่ได้รับจะเกิดเพียงชั่วครู่และหายไป

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาทางการหายใจ หรือจากการสูดดมผง ฝุ่น หรือละอองลอยของอนุภาคนาโนซิลิกาให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธิ์และนอนพัก

หากได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาทางปาก ให้ล้างปากด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง อย่าให้อาเจียน ถ้าผู้ป่วยมีสติให้ดื่มน้ำตาม

การได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาทางผิวหนัง ให้ล้างผิวหนังบริเวณที่สัมผัสด้วยน้ำและสบู่ในปริมาณมากเป็นเวลานานหลายนาทีหากมีผื่นแดง บวมและคัน หรือผิวหนังไหม้ ให้หาแพทย์ทันที หากอนุภาคนาโนซิลิกาเข้าตาให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 15 นาที อาการที่ได้รับจะเกิดเพียงชั่วครู่และหายไป

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) จากการทดสอบของ OECD

4.1.1 ชนิดของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของซิลิกอนไดออกไซด์ได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากกลุ่มประเทศ EU และประเทศฝรั่งเศสเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก และมีสมาชิกจากประเทศที่สนับสนุนร่วมการวิจัยได้แก่ เบลเยียม เกาหลี และกลุ่ม Business and Industry Advisory Committee (BIAC) โดยได้ร่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของซิลิกอนไดออกไซด์ซึ่งได้กำหนดชนิดของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษได้แก่ synthetic amorphous silica PR-A-02 (SAS) ซึ่งเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ที่เป็นอสัณฐาน โดยมีขนาดของอนุภาค 47 นาโนเมตร และมีซิลิกาไดออกไซด์ชนิดอื่นๆ เป็นสารทดสอบรองอีก 4 ชนิด โดยเป็น synthetic amorphous silica ทั้งหมดชนิดและลักษณะของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ (OECD, 2011) แสดงในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ชนิดและลักษณะของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ

กลุ่มสาร	สารทดสอบ	สารทดสอบรอง			
ชนิด	synthetic amorphous silica (SAS) PR-A-02	synthetic amorphous silica (SAS) PR-B-01	synthetic amorphous silica (SAS) PY-AB-03	synthetic amorphous silica (SAS) PY-A-04	synthetic amorphous silica (SAS) PR-A-05
OECD code	NM 200	NM 201	NM 202	NM 203	NM 204
ขนาดอนุภาค	47 นาโนเมตร	62 นาโนเมตร	108 นาโนเมตร	137 นาโนเมตร	75 นาโนเมตร
พื้นที่ผิว	230 (ตารางเมตร/กรัม)	160 (ตารางเมตร/กรัม)	200 (ตารางเมตร/กรัม)	226 (ตารางเมตร/กรัม)	144 (ตารางเมตร/กรัม)
วิธีการผลิต	ตกตะกอน	ตกตะกอน	ให้ความร้อน	ให้ความร้อน	ตกตะกอน

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ลักษณะทั่วไปของซิลิกอนไดออกไซด์ในสิ่งแวดล้อม จะมีลักษณะเป็นสารเฉื่อยในสิ่งแวดล้อม โดยไม่ปรากฏผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายซิลิกอนไดออกไซด์ในสิ่งแวดล้อม ที่อุณหภูมิห้องสารนี้ละลายน้ำได้เล็กน้อย หากในน้ำมีกลุ่มโลหะประจุบวกที่อยู่ในน้ำที่มีพีเอช 7-11 จะทำให้ซิลิกอนไดออกไซด์มีความเสถียร

โดยกลุ่มโลหะเหล่านี้จะรวมกันเป็นก้อนกับประจุบวกเหล่านั้น ซิลิกอนไดออกไซด์ในรูปของ SAS จะมีความคงตัวมากในดินหรือตะกอนดิน ในขณะที่มีความเสถียรน้อยกว่าเมื่ออยู่ในน้ำ จากรายงานของ OECD ในปี 2004 (OECD, 2004) และจาก ECETOC ในปี 2006 (ECETOC, 2006) ปรากฏว่าในการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับปลา และไรน้ำจืด พบว่าไม่มีการรายงานถึงความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีต่อปลาและไรน้ำจืด แม้ว่าสัตว์น้ำทั้งสองชนิดจะได้รับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในรูป SAS ในปริมาณสูงก็ตาม ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ U.S.EPA ที่ได้รายงานไว้ในปี 2011 ซึ่งพบว่า SAS ไม่ได้ส่งผลลบของความเป็นพิษแบบเฉียบพลันต่อสัตว์น้ำเช่นกัน ในส่วนของการทดสอบความเป็นพิษแบบสะสมนั้น OECD ได้รายงานในปี 2004 ซึ่งได้สรุปว่า SAS ไม่ส่งผลต่อความเป็นพิษแบบสะสมต่อสัตว์น้ำเช่นกัน ทั้งนี้อาจสืบเนื่องจากซิลิกาเป็นสารที่อยู่ในน้ำและพบได้โดยทั่วไปในสิ่งแวดล้อมอยู่แล้ว

จากงานวิจัยของ Degussa (Degussa, 1992a, Degussa, 1992b) โดยทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของ SAS โดยใช้ปลาม้าลายในการทดสอบ โดยรับในความเข้มข้น 1,000 และ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยค่าความเป็นพิษแบบเฉียบพลันที่ได้เป็นดังนี้

Brachydanio rerio: LL_0 ช่วง 96 ชั่วโมง 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร

โดยค่าที่ได้นี้ได้แสดงถึงความเป็นพิษเฉียบพลันที่ต่ำมากที่มีต่อปลา หรือแทบไม่มีผลเชิงลบต่อปลา

ในการทดสอบความเป็นพิษโดยใช้ไรน้ำจืด *Daphnia magna* (Degussa, 1992c, Degussa, 1992d) โดยใช้ SAS ในปริมาณ 1,000 และ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่าหลังจากที่ไรน้ำจืดได้รับ SAS เป็นเวลานานกว่า 24 ชั่วโมง ไรน้ำจืดร้อยละ 10 และ 22.5 ของไรน้ำจืดที่มีในน้ำเมื่อได้รับ SAS ในปริมาณ 1,000 และ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่เคลื่อนไหว โดยพบว่ามีอนุภาค SAS อยู่ในรยางค์ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุการตายของไรน้ำจืดในเวลาต่อมา โดยพบ SAS ที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนอยู่ก้นภาชนะที่ใช้ทดลอง โดยจากการทดลองได้ค่าความเป็นพิษของ SAS เป็น

Daphnia magna: LL_0 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร

โดยค่าที่ได้นี้ได้แสดงถึงความเป็นพิษเฉียบพลันที่ต่ำมากที่มีต่อไรน้ำจืด หรือแทบไม่มีผลเชิงลบต่อไรน้ำจืดเลย

ในส่วนการทดสอบกับสิ่งมีชีวิตหน้าดิน โดยสัตว์ทดสอบคือ แมลงสาบ (German cockroach) และแมลงค่อมทอง (Green weevil) โดยพบว่า SAS ได้ส่งผลลบต่อสัตว์เหล่านี้ โดยจำนวนสัตว์ทดสอบลดลงหลังจากได้รับ SAS โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดซับไขมันของ SAS เกิดขึ้นในสัตว์ทดลอง และทำให้เซลล์เกิดการขาดน้ำ แห้งและตายในที่สุด นอกจากนี้ผลการทดสอบความเป็นพิษของ SAS กับแบคทีเรีย ยีสต์ สาหร่าย และหอย พบว่า SAS ส่งผลในแง่ความเป็นพิษน้อยมาก (OECD, 2004, ECETOC, 2006)

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

จากการรายงานของ OECD การปนเปื้อนของอนุภาคนาโนซิลิกา SAS มักเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตเป็นหลัก การได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาของมนุษย์มักเกิดขึ้นระหว่างการบรรจุหีบห่อ โดยมีความเข้มข้นใน

อากาศของนาโนซิลิกาในรูปของฝุ่นในอากาศเป็น 3 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรโดยปริมาณ SAS ที่ถูกปลดปล่อยสู่แหล่งน้ำมีสัดส่วนน้อยกว่าซิลิกาที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำ (OECD, 2004) โดย SAS ที่ถูกปลดปล่อยมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นก้อนและหลอมเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ SAS ที่มีการใช้ในน้ำหอม ซึ่งสามารถแขวนลอยในอากาศเป็นอีกหนึ่งเส้นทางการได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาเข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินหายใจของผู้ใช้สินค้า (Becker et al., 2009) การได้รับ SAS ผ่านทางปากและผิวหนังอาจเกิดขึ้นจากการใช้ผลิตภัณฑ์ดูแลรักษาร่างกาย และการใช้ยารักษาโรค

จากรายงานของ OECD (OECD SIDS, 2004) โดยได้รายงานการทดสอบความเป็นพิษของ SAS ซึ่งได้รับทางการหายใจ โดยใช้หนู (rat) อายุ 12 เดือนเป็นสัตว์ทดสอบ และรับในปริมาณ 50-55 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยหนูมีอัตราการหายใจที่ 30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยได้รับสาร SAS เป็นเวลา 5 ชั่วโมง/วัน และ 5 วัน/สัปดาห์ หลังจากนั้นช่วงเวลาที่ได้รับลดลงเป็น 2 หรือ 3 วัน/สัปดาห์ ผลการทดสอบพบว่าภายหลังจากการได้รับ 3 และ 6 วัน พบว่ามีสาร SAS ในปริมาณ 0.25 และ 0.5 มิลลิกรัมของซิลิกาในปอด โดยการตกค้างของ SAS ที่มีในปอดจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการได้รับสาร หลังจากนั้นการตกค้างของ SAS จะลดลงโดยตรวจพบ 0.5 มิลลิกรัมหลังจากได้รับสารแล้ว 6 สัปดาห์, 1.2 มิลลิกรัมหลังจากได้รับสารแล้ว 18 สัปดาห์ และ 1.37 มิลลิกรัมหลังจากได้รับสารแล้ว 12 เดือน โดยคาดว่าการลดลงของอัตราการตกค้างของ SAS ในปอดเกิดขึ้นจากการลดช่วงเวลาความถี่ในการได้รับสาร SAS นอกจากนี้ยังพบการตกค้างของ SAS ในต่อมน้ำเหลืองด้วย โดยภายหลังจากการได้รับ SAS เป็นเวลา 5 เดือน พบซิลิกาในปริมาณ 0.16 มิลลิกรัมในปอด และ 0.047 มิลลิกรัมในต่อมน้ำเหลือง

ในการทดสอบความเป็นพิษระยะสั้นในการได้รับ SAS ทางการหายใจ เปรียบเทียบกับซิลิกาที่มีโครงสร้างผลึกเพื่อเป็นชุดควบคุมการทดลอง โดยใช้หนูขาวพันธุ์ Wistar rat จำนวน 10 ตัวต่อกลุ่ม โดยมีหนูตัวผู้ 10 ตัวในกลุ่มหนูทดสอบ และ 6 ตัวในกลุ่มชุดควบคุมโดยหนูที่ใช้ทดสอบจะรับสาร SAS ในปริมาณ 1, 5 และ 25 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยรับสาร 6 ชั่วโมงต่อวัน และรับต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน โดยขนาดของอนุภาค SAS เป็น 1.5-3.5 ไมโครเมตร ผลจากการทดสอบพบว่า SAS ที่มีค่าความเข้มข้นสูง 25 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ส่งผลเชิงลบที่มีความสัมพันธ์กับการได้รับสาร โดยเกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อปอด โดยอาการอักเสบเหล่านี้ได้หายไปหรือมีแนวโน้มหายไปเมื่อนำมารักษาให้เหมือนเดิม

ในการทดสอบการได้รับสาร SAS ระยะยาว โดยทดสอบกับหนู (rat) หนูแกสบี้ (guinea pigs) และลิง โดยได้รับในปริมาณ 15 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรของ SAS ร่วมกับซิลิกาในรูปอื่นๆ เช่น pyrogenic เป็นต้น ช่วงเวลาในการรับสารของหนูเป็น 3 เดือน หนูแกสบี้ 6 เดือน และลิง 12 เดือน โดยพบว่า SAS ได้ส่งผลให้เกิดความบกพร่องในการทำงานของปอด และเกิดการอักเสบซึ่งสังเกตได้จากการเกิดตุ่มพังผืด โดยการตกค้างของ SAS ถูกพบในเม็ดเลือดขาวในปอด และในตุ่มน้ำเหลืองของลิง การรวมกันของเซลล์เม็ดเลือดขาวเกิดขึ้นอย่างชัดเจนในลิง ในขณะที่ไม่พบการตกค้างของ SAS ในหหนูและหนูแกสบี้

จากรายงานของ OECD (OECD SIDS, 2004) โดยทดสอบความเป็นพิษของ SAS เมื่อได้รับผ่านทางปาก โดยใช้หนู (rat) อายุ 1 เดือนเป็นสัตว์ทดสอบ โดยได้รับสารในปริมาณ 1500 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัวของหนู โดยหลังจากการทดสอบพบว่าการสะสมของซิลิกาในอวัยวะของหนูมีค่าไม่แตกต่างจากการทดลอง

ของหนูชุดควบคุมที่ไม่ได้รับ SAS โดยในหนูที่ได้รับ SAS จะพบซิลิกาในปริมาณ 1.5 ไมโครกรัมในตับ 6.4 ไมโครกรัมในไต และ 5.3 ไมโครกรัมในม้าม โดยซิลิกาที่ตรวจพบจากหนูชุดควบคุมเป็น 1.8 ไมโครกรัมในตับ 7.2 ไมโครกรัมในไต และ 7.8 ไมโครกรัมในม้าม ซึ่งแสดงถึงการไม่มีผลลบของ SAS ต่อการสะสมในอวัยวะต่างๆ ของหนู ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบอีกหนึ่งชุด โดยใช้หนู (rat) จำนวน 20 ตัว รับ SAS ทางปากในปริมาณ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในช่วงเวลา 20 วัน โดยหลังจากการได้รับ SAS ได้ตรวจพบซิลิกาในเนื้อเยื่อตับและไต ซึ่งเพิ่มขึ้นจากหนูชุดควบคุมเล็กน้อย โดยพบในตับ 4.2 ไมโครกรัม (ค่าจากหนูชุดควบคุมเป็น 1.8 ไมโครกรัม) พบในม้าม 5.5 ไมโครกรัม (ค่าจากหนูชุดควบคุมเป็น 7.2 ไมโครกรัม) และพบในไต 14.2 ไมโครกรัม (ค่าจากหนูชุดควบคุมเป็น 7.8 ไมโครกรัม)

จากรายงานของ OECD (OECD SIDS, 2004) โดยมีการทดสอบความเป็นพิษของ SAS ต่อผิวหนังโดยทดสอบกับกระต่าย ซึ่งได้รับสารในปริมาณ 0.19 กรัม หรือ 0.5 กรัม ในช่วง 4-24 ชั่วโมง ผลจากการทดสอบสาร SAS ไม่ส่งผลเชิงลบต่อการระคายเคืองของผิวกระต่าย ในส่วนผลการทดสอบการได้รับสาร SAS จากการรับทางดวงตา โดยรับในปริมาณ 0.1 กรัม โดยพบว่าไม่เกิดการระคายเคืองต่อดวงตาทั้งในส่วนของม่านรับแสงและตาดำ (OECD SIDS, 2004)

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลิกาจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

<u>ความเป็นพิษที่มีต่อแบคทีเรีย</u>

Jiang และคณะ (Jiang et al., 2009) ได้เปรียบเทียบความเป็นพิษของแบคทีเรียที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันระหว่างระดับไมโครและนาโนเมตร โดยให้ได้รับสารในปริมาณ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ในครั้งเดียว โดยอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ LUDOX® ซึ่งเป็นอนุภาคซิลิกาแบบคอลลอยด์ขนาด 20 นาโนเมตรโดยมีบริษัท Sigma-Aldrich เป็นผู้ผลิตส่งผลความเป็นพิษโดยทำให้จำนวนของแบคทีเรีย Gram-positive *Bacillus subtilis* ลดลงร้อยละ 40 ในขณะที่แบคทีเรีย Gram-negaive *Escherichia coli* ลดลงร้อยละ 58 และทำให้แบคทีเรีย Gram-negative *Pseudomonas fluorescens* ลดลงร้อยละ 70 โดยเกิดจากการดูดซับโดยอนุภาคนาโนซิลิกามีประจุเป็นบวก ในขณะที่แบคทีเรียมีพื้นผิวเป็นลบ ซึ่งทำให้เกิดการรวมกันของอนุภาคนาโนซิลิกาติดบนผนังเซลล์จำนวนมาก ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ ในการทดสอบผลความเป็นพิษที่มีต่อยีสต์โดย Garcia-Saucedo และคณะ (Garcia-Saucedo et al., 2011) โดยใช้อนุภาคนาโนซิลิกาขนาด 10-20 นาโนเมตร โดยมาจากบริษัท American Elements ซึ่งแขวนลอยในสารละลาย Dispex A40 โดยผลการทดสอบพบว่าอนุภาคนาโนซิลิกาไม่เกิดการขัดขวางในการใช้ออกซิเจนของเซลล์ของยีสต์ แม้ว่าอนุภาคซิลิกาที่ใช้ทดสอบมีความเข้มข้นถึง 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่พบว่าอนุภาคนาโนซิลิกาส่งผลลบต่อเซลล์เมมเบรน ทำให้เซลล์เมมเบรนเกิดการเสียหายได้

ความเป็นพิษที่มีต่อสัตว์น้ำ

Lee และคณะ (Lee et al., 2009) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคซิลิกาในรูปของไอและผงซิลิกาโดยมีขนาดเป็น 7 และ 10 นาโนเมตร ซึ่งมีพื้นที่ผิวเป็น 349.71 และ 644.44 ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับโดยนำมาจากบริษัท Sigma และนำมาทดสอบความเป็นพิษต่อไรน้ำจืด *Daphnia magna* ปริมาณที่ได้รับเป็น 1 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในการทดลองช่วงแรกพบว่าอนุภาคนาโนซิลิกาไม่ส่งผลลบต่อลักษณะของ DNA รวมทั้งไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไรน้ำจืด แต่หากเพิ่มช่วงเวลาการได้รับให้นานขึ้นถึง 96 ชั่งโมง พบว่ามีไรน้ำจืดตายมากขึ้น โดยอัตราการตายของไรน้ำจืดเมื่อได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาในรูปของไอเป็นร้อยละ 10 ในขณะอัตราการตายของไรน้ำจืดเมื่อได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาในรูปผงเป็นร้อยละ 15 ในขณะที่ผลเชิงลบโดยการเพิ่มจำนวนการตายของสัตว์ที่ได้รับผงอนุภาคนาโนซิลิกาได้พบในตัวอ่อนของริ้น *Chironomus riparius* เช่นกัน (Lee et al., 2009)

ในส่วนของการทดสอบความเป็นพิษกับปลา Nelson และคณะ (Nelson et al., 2010) ได้ทดสอบกับปลาม้าลาย *Danio rerio* โดยได้นำอนุภาคนาโนซิลิกาในรูปของลวดนาโนขนาด 55 นาโนเมตร ยาว 2.1 ไมโครเมตร ใส่เข้าไปในไข่ของปลาม้าลาย โดยพบว่าอนุภาคซิลิกานาโนส่งผลลบโดยมีความเป็นพิษสูงต่อตัวอ่อน ในขณะที่อนุภาคนาโนซิลิการูปทรงกลมขนาด 200 และ 50 นาโนเมตร ไม่แสดงผลเชิงลบต่อปลาม้าลาย

ค่าความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลิกาในรูปของลวดนาโน

Danio rerio : LD_{50} 110 พิโคกรัม/กรัม

ความเป็นพิษที่มีต่อสาหร่าย

Fujiwara และคณะ (Fujiwara et al., 2008) ได้ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella kessleri* โดยใช้อนุภาคนาโนซิลิกาที่แขวนลอยในสารละลาย Na_2O โดยมีขนาดของคอลลอยด์เป็น 5, 26 และ 78 นาโนเมตร โดยช่วงเวลาในการได้รับเป็น 96 ชั่วโมง โดยมีพีเอชของสารตัวกลางเป็น 7.7 ผลค่าการทดสอบความเป็นพิษมีดังนี้

ความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลิกาขนาด 5 นาโนเมตร

Chlorella kessleri : EC_{50} 0.8±0.6%

ความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลิกาขนาด 26 นาโนเมตร

Chlorella kessleri : EC_{50} 7.1±2.8%

ความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลิกาขนาด 78 นาโนเมตร

Chlorella kessleri : EC_{50} 9.1±4.7%

ผลจากการทดสอบแสดงถึงอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีความเป็นพิษต่ำมากต่อสาหร่าย ในขณะเดียวกัน Ji และคณะ (Ji et al., 2011) พบว่าอนุภาคนาโนซิลิกาไม่พบความเป็นพิษที่มีต่อ *Chlorella kessleri* เมื่อสาหร่ายชนิดนี้ได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาที่ความเข้มข้นสูงถึง 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร

นอกจากนี้ Wei และคณะ (Wei et al., 2010) ได้รายงานถึงอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีความเป็นพิษต่ำมากต่อสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* โดยใช้อนุภาคนาโนซิลิกาที่มีขนาด 10-20 นาโนเมตร จากบริษัท Sigma-Aldrich และซิลิกาในรูปของอนุภาครวมขนาดใหญ่ (bulk paritcles) จากบริษัท Shanghai Chemical Reagent ซึ่งมีขนาด 5-10 ไมโครเมตร โดยพบว่าค่า EC_{50} เมื่อสาหร่ายได้รับสารซิลิกาทั้งสองชนิดในช่วงเวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่ามากกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร โดยสิ่งที่เปลี่ยนแปลงของสาหร่ายเกิดขึ้นเมื่อได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาที่ความเข้มข้น 50-200 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเกิดการลดลงของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกิดจากการที่อนุภาคนาโนซิลิกาสะสมที่ผนังเซลล์ของสาหร่าย ซึ่งขัดขวางการสังเคราะห์แสงเนื่องจากการได้รับแสงน้อยลง

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

ในการศึกษาความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลิกา ได้แสดงถึงความเป็นพิษของขนาดของอนุภาคนาโนซิลิกาทั้งในส่วนของขนาดเล็กละเอียดในรูปอสัณฐาน ขนาดกลางที่เป็นผลึก ตลอดจนขนาดใหญ่ที่รวมตัวเป็นคอลลอยด์ โดยมีการได้รับทางการหายใจเป็นเส้นทางหลักในการนำพาอนุภาคนาโนซิลิกาเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ ในขณะที่เส้นทางได้รับอื่นๆ คือ การได้รับทางปาก และการดูดซึมเข้าสู่ผิวหนัง

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

อนุภาคนาโนซิลิกาในหลายรูปแบบได้ถูกนำมาทดสอบความเป็นพิษเมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายผ่านทางการหายใจ (Arts et al., 2007) โดยอนุภาคนาโนซิลิกาที่ใช้ประกอบด้วย precipitated silica, silica gel และ pyrogenic silica โดยได้รับในปริมาณ 1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรในช่วง 6 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาติดต่อกัน 5 วันใช้หนู (rat) เป็นสัตว์ทดสอบ โดยพบว่าที่ปริมาณดังกล่าวไม่ส่งผลเชิงลบต่อหนูทดสอบ แต่เมื่อได้รับในปริมาณ 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อเล็กน้อย และการเปลี่ยนแปลงต่อการเกิดเสมหะเกิดขึ้น โดยอนุภาคนาโนซิลิกาที่แตกต่างกันส่งผลเชิงลบที่เกิดขึ้นต่อหนูแตกต่างกันน้อยมากโดย Sayes และคณะ (Sayes et al., 2010) ได้รายงานว่าการได้รับอนุภาคนาโนซิลิกา SAS ขนาด 30-80 นาโนเมตรในรูปละอองลอยเป็นเวลา 1 และ 3 วัน แม้ว่าจะได้รับสารในปริมาณมาก 1.8 หรือ 86 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรนั้นไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งในส่วนของการอักเสบในปอด ความเป็นพิษทางพันธุกรรม หรือผลลบต่อเนื่อเยื่อ แต่หากได้รับเป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่องกันถึง 2 เดือนจึงจะเห็นผลเชิงลบเกิดขึ้น ซึ่งได้แก่ ความเป็นพิษต่อปอด ซึ่งเป็นผลจากการนับเม็ดเลือดแดง การเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ lactate dehydrogenase (LDH) และเอนไซม์ alkaline phosphatase ในเสมหะ

Kaewamatawong และคณะ (Kaewamatawong et al., 2005, 2006) ได้เปรียบเทียบความเป็นพิษจากการได้รับซิลิกาในรูปของอนุภาคซิลิกาขนาดละเอียด 14 นาโนเมตร และขนาด 213 นาโนเมตร โดยพบว่าอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีขนาดเล็กจะทำให้เกิดการอักเสบในปอดและการทำลายเนื้อเยื่อได้มากกว่าอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีขนาดใหญ่กว่า โดยพบอนุภาคนาโนซิลิกาในผิวผนังเซลล์ของหลอดลม และถุงลม และพบในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ของเซลล์ในถุงลม เม็ดเลือดขาว และเซลล์เม็ดเลือด

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

จากการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลิกา SAS ที่ได้รับจากทางผิวหนังพบว่า อนุภาคนาโนซิลิกาไม่ส่งผลเชิงลบต่อผิวหนังและดวงตา โดยสัตว์ที่ใช้ทดสอบคือ กระต่าย (EPA, 2011) นอกจากนี้ Park และคณะ (Park et al., 2010a, Park et al., 2010b) ได้รายงานว่าอนุภาคนาโนซิลิกาขนาด 7 และ 10-20 นาโนเมตร ไม่ส่งผลลบ และไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อกระต่าย โดยในปัจจุบันยังไม่มีการรายงานผลการระคายเคืองของอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีต่อมนุษย์

ในการทดสอบผลของความเป็นพิษที่มีต่อเซลล์ผิวหนัง Peters และคณะ (Peters et al., 2004) ได้ทดสอบความเป็นพิษของเซลล์ผิวหนัง และการอยู่รอดของเซลล์ โดยใช้การทดสอบแบบ MTT assay และพบว่าเซลล์เกิดการอักเสบ และส่งผลกระทบต่อความเสียหายของเซลล์ซึ่งส่งผลต่อการรอดชีวิตของเซลล์ ในขณะที่ Napierska และคณะ (Napierska et al., 2009) ได้ทดสอบอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีรูปอสัณฐานขนาด 16-335 นาโนเมตร โดยใช้เซลล์ผิวหนังชั้นในของมนุษย์ พบว่าค่าความเป็นพิษของเซลล์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของอนุภาค โดยอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีขนาดเล็กจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ได้มากกว่าและเร็วกว่าความเป็นพิษที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งผลที่ได้นี้ได้ถูกยืนยันผลโดยงานของ Ye และคณะ (Ye et al., 2010) ซึ่งได้ทดสอบความสัมพันธ์ของขนาดของอนุภาคนาโนซิลิกา (21 และ 48 นาโนเมตร) โดยใช้ myocardial cell ของหนู ซึ่งพบว่าขนาดอนุภาคนาโนซิลิกาที่เล็กกว่าทำให้เกิดความเป็นพิษที่มากกว่าเช่นกัน

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

So และคณะ (So et al., 2008) ได้ศึกษาผลกระทบของอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีขนาด 30 นาโนเมตร และอนุภาคเมโสซิลิกาที่มีขนาด 30 ไมครอน โดยให้หนู (mouse) เป็นสัตว์ทดสอบได้รับสารทางปากในปริมาณ 140 กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัวหนู เป็นเวลา 10 สัปดาห์ โดยผลการทดสอบพบว่าปริมาณของซิลิกาที่ตรวจพบในตับนั้นไม่แตกต่างกันระหว่างการได้รับสารซิลิกาทั้งสองแบบ แต่อนุภาคนาโนซิลิกาได้ทำให้เกิดเซรัมของ alanine aminotransferase มากกว่า Gerloff และคณะ (Gerloff et al., 2009) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีขนาด 14 นาโนเมตร โดยใช้ colon epithelial cell line (Caco-2) ของมุนษย์พบว่าการได้รับสารนี้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะทำให้เซลล์ตายได้ โดยพบการทำลาย DNA และการลดลงของ glutathione

Ye และคณะ (Ye et al., 2010) ได้ศึกษาผลกระทบของอนุภาคนาโนซิลิกาที่มีต่อเซลล์ตับของมนุษย์หากเกิดการได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาทางปาก โดยใช้ hepatic cell line โดยให้ได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาที่เป็นคอลลอยด์ขนาด 21, 48 และ 86 นาโนเมตร โดยตรวจสอบการรอดชีวิตของเซลล์จาก LDH และ MTT assay พบว่าเกิดการทำลายเซลล์ด้วยอนุมูลอิสระ และพบว่าอนุภาคนาโนซิลิกาได้ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณที่ได้รับสาร Nishimori และคณะ (Nishimori et al., 2009) ได้รายงานถึงผลของอนุภาคนาโนซิลิกาขนาด 70 นาโนเมตรที่ทดสอบกับหนูโดยให้ได้รับสารในปริมาณ 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัวหนู พบว่าเกิดผลเชิงลบต่อตับ โดยความรุนแรงของผลลบที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณที่ได้รับเป็นหลักซึ่งจะทำให้เกิดเซลล์ตับอักเสบขึ้น

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงาน Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (permissible exposure limit, PEL) สำหรับสารซิลิกอนไดออกไซด์ ในรูปของ synthetic amorphous silica (SAS) เป็น 6 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่านี้ได้นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานและการได้รับสารของอนุภาคนาโนซิลิกาด้วย

ในขณะที่หน่วยงาน A committee of American Conference of Government Industrial Hygienists หรือ ACGIH ได้กำหนดค่าความเข้มข้นเมื่อสัมผัสแล้วไม่เป็นอันตรายของซิลิกอนไดออกไซด์ ในรูป SAS เป็น 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นใส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่น โดยเฉพะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับอนุภาคนาโนซิลิกาในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับอนุภาคนาโนซิลิกาที่อาจทำให้เกิดควันไอ หรือก๊าซ ควรใช้เครื่องป้องกันการหายใจที่มีการให้อากาศช่วยหายใจมากกว่า 125 มิลลิกรัม/ลูกบาศ์กเมตร

ถ้าปฏิบัติงานกับอนุภาคนาโนซิลิกาในรูปสารละลาย สามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 8.3



(a) ถุงมือ Silver Shield (b) ถุงมือ Butyl (c) ถุงมือ Viton (d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 8.3 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาสารนาโนซิลิกาในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและเก็บได้ที่อุณหภูมิห้อง ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บรักษาสารเคมีชนิดนี้ คือไม่เก็บรวมกับสารเคมีที่ระเหยได้ง่าย เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลิกาจะดูดซับสารเคมีที่ระเหยง่ายนั้นไว้

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

สารนาโนซิลิกาเป็นสารที่ไม่ลุกติดไฟ และโดยทั่วไปแล้วเป็นสารที่ไม่ระเบิด แต่หากมีการสะสมอนุภาคนาโนซิลิกาในลักษณะฝุ่นในปริมาณมากอาจทำให้เกิดการระเบิดได้

สารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยเมื่อเกิดไฟไหม้ ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม

5.6 การกำจัดสารเคมีหลังการใช้งาน

สารนาโนซิลิกาไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ U.S.EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป โดยสามารถกำจัดด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล หรือการเผาด้วยเตาเผาได้ โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศเสีย

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิลิกา CAB-O-SIL® Untreated Fumed Silica

(แสดงในภาคผนวก ก.8)

CABOT

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Prepared in accordance with ISO 11014-1/ ANSI standard Z400.1-1998

Revision Date: 24/May/2006

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Name: **CAB-O-SIL® Untreated Fumed Silica**

Synonyms: Silicon Dioxide, Synthetic Amorphous Silica, Pyrogenic (Fumed) Amorphous Silica

This SDS is valid for the following grades: CAB-O-SIL® Fumed Silica, L-50, L-90, LM-130, LM-150, M-5, M-5K, PTG, MS-55, H-5, H-7D, HS-5, EH-5, LM-130D, LM-150D, M-7D, MS-75D, S-17D, HP-60, M-8D

Use of the Substance/Preparation: Rheological control, Flow agent, Reinforcing agent in: Coatings, Adhesives, Various

Supplier:

Cabot Rheinfelden GmbH, Werk Rheinfelden
Kronenstrasse 2
79618 Rheinfelden
GERMANY
Tel: (+49) 7623.7070
Fax: (+49) 7623.707 530

Cabot Carbon, Ltd.
Sully Moors Road
Sully, Vale of Glamorgan
CF64 5RP
Wales, UNITED KINGDOM
Tel: (+44) 1446.736999
Fax: (+44) 1446.737123

Cabot Corporation
700 E U.S. Highway 36
Tuscola, IL 61953-9643
UNITED STATES
Tel: 1-217-253-3370
Fax: 1-217-253-5586

Cabot Corporation
157 Concord Road
Billerica, MA 01821
UNITED STATES
Tel: 1-978-663-3455
Fax: 1-978-670-6955

Emergency Telephone Number: UK: (+44) 1446-709 641
Cabot (Rheinfelden): (+49) 7623.7070
US: CHEMTREC 1-800-424-9300 or 1-703-527-3887
US: Other 1-217-253-5595

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Chemical Name	CAS Number	EINECS Number	Weight %	EU Classification
Synthetic Amorphous, Pyrogenic Silica	112945-52-5	*	> 99.9	None

* See Section 15.

3. HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW - CAUTION: White powder. Odorless. Dust irritating to respiratory tract. Irritating, but will not permanently injure eye tissue. Repeated exposure may cause skin dryness or cracking. Take precautionary measures against static discharges. All metal parts of the mixing and processing equipment must be earthed/grounded. Ensure all equipment is electrically earthed/grounded before beginning transfer operations.

Principle Routes of Exposure: Inhalation, Skin contact, Eye contact

POTENTIAL HEALTH EFFECTS

Eye Contact: May cause mechanical irritation. Irritating, but will not permanently injure eye tissue. Low hazard for usual industrial or commercial handling.

Skin Contact: Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.

Inhalation: Dust may be irritating to respiratory tract. Provide appropriate exhaust ventilation at machinery and at places where dust can be generated. See also Section 8.

6.2 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิลิกา Silicon Dioxide, Amorphous
(แสดงในภาคผนวก ก.8)



Health	1
Fire	0
Reactivity	0
Personal Protection	E

Material Safety Data Sheet
Silicon Dioxide, Amorphous MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification

Product Name: Silicon Dioxide, Amorphous

Catalog Codes: SLS3940

CAS#: 7631-86-9 or 112926-00-8

RTECS: VV7310000 or VV7315000

TSCA: TSCA 8(b) inventory: Silicon Dioxide, Amorphous

CI#: Not available.

Synonym: Synthetic Amorphous Silica; Synthetic amorphous precipitated silicon dioxide: silica - amorphous.

Chemical Name: Silicon Dioxide

Chemical Formula: Si-O2

Contact Information:

Sciencelab.com, Inc.
14025 Smith Rd.
Houston, Texas 77396

US Sales: **1-800-901-7247**
International Sales: **1-281-441-4400**

Order Online: ScienceLab.com

CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call:
1-800-424-9300

Section 2: Composition and Information on Ingredients

Composition:

Name	CAS #	% by Weight
Silicon Dioxide, Amorphous	7631-86-9 or	100
	112926-00-8	

Toxicological Data on Ingredients: Silicon Dioxide, Amorphous: ORAL (LD50): Acute: >10000 mg/kg [Rat]. DERMAL (LD50): Acute: >5000 mg/kg [Rabbit].

Section 3: Hazards Identification

Potential Acute Health Effects: Slightly hazardous in case of skin contact (irritant), of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation.

Potential Chronic Health Effects:
CARCINOGENIC EFFECTS: 3 (Not classifiable for human.) by IARC. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available. The substance may be toxic to lungs, upper respiratory tract. Repeated or prolonged exposure to the substance can produce target organs damage.

Section 4: First Aid Measures

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Arts JH, Muijser H, Duistermaat E, Junker K, Kuper CF, Toxicol 45 (2007) 1856.

Degussa AG, The acute toxicity of AEROSIL 200 to Brachydaniorerio (OECD guideline203, 96 h), Unpublished report: Degussa AG – US-IT-No. 92-0140-DGO, TNO, 1992a.

Degussa AG, The acute toxicity of ULTRASIL VN 3 to Brachydaniorerio (OECDguideline 203, 96 h). Unpublished report: Degussa AG – US-IT-No. 92-0140-DGO, TNO, 1992b.

Degussa AG, The acute toxicity of AEROSIL 2000 to Daphnia magna (OECD guideline202, 24 h). Unpublished report: Degussa AG – US-IT-No. 92-0139-DGO, TNO, 1992c.

Degussa AG, The acute toxicity with ULTRASIL VN 3 and Daphnia magna (OECDguideline 202, 24 h). Unpublished report: Degussa AG – US-IT-No. 92-0162-DGO, TNO, 1992d.

European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals (ECETOC), Synthetic Amorphous Silica (CAS No. 7631-86-9), JACC No. 51. Brussels, 2006.

Fujiwara K, Suematsu H, Aoki M, Sato M, Nobuko M, J Environ Sci Health Part A 43 (2008) 1167.

Garcia-Saucedo C, Field JA, Otero-Gonzalez L, Sierra-Alvarez R, J Hazard Mat 192 (2011) 1572.

Gerloff K, Albrecht C, Boots AW, Forster I, Schins RPF, Nanotoxicology 3 (2009) 355.

Harrison E, Generally Recognized as Safe Determination for Silicon Dioxide when Added Directly and/or Indirectly to Human Food, Silicon Dioxide GRAS Notification, June 11 2009.

Hirsch LR, Stafford RJ, Bankson JA, Sershen SR, Rivera B, Price RE, Hazle JD,Halas NJ, West JL, Proc Natl Acad Sci USA 100 (2003) 13549.

Iler RK, The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica, New York: Wiley, 1979.

Ji J, Long Z, Lin D, Chem Eng J 170 (2011) 525.

Jiang W, Mashayekhi H, Xing B, Environ Pollut 157 (2009) 1619.

Kaewamatawong T, Kawamura N, Okajima M, Sawada M, Morita T, Shimada A, Toxicol Pathol 33 (2005) 743.

Kaewamatawong T, Shimada A, Okajima M, Inoue H, Morita T, Inoue K, Takano H, Toxicol Pathol 34 (2006) 958.

Lee KP, Kelly DP, Fundam Appl Toxicol 19 (1992) 399.

Lee SW, Kim SM, Choi J, Environ Tax Pharm 28 (2009) 86.

Moghimi SM, Hunter AC, Murray JC, FASEB J 19 (2005) 311.

Napierska D, Thomassen LC, Rabolli V, Lison D, Gonzalez L, Kirsch-Volders M, Martens JA, Hoet PH, Small 5 (2009) 846.

Napierska D, Thomassen LCJ, Lison D, Martens JA, Hoet PH, Part Fibre Toxicol 7 (2010) 1.

Nelson SM, Mahmoud T, Beaux II M, Shapiro P, McIlroy DN, Stenkamp DL, Nanomed Nanotechnol Biol Med 6 (2010) 93.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Synthetic Amorphous Silica and Silicates, UNEP publications, SIDS Initial Assessment Report for SIAM 19, 19-22 October 2004.

Park MVDZ, Verharen HW, Zwart E, Hernandez LYAG, van Benthem J, Elsaesser A, Barnes C, McKerr G, Howard CV, Salvati A, Lynch I, Dawson KA, De Jong WH, Nanotoxicol Early Online (2010a) 1–14.

Park YH, Kim JN, Jeong SH, Choi JE, Lee SH, Choi BH, Lee JP, Sohn KH, Park KL, Kim MK, Son SW, Toxicology 267 (2010b) 178.

Peters K, Unger RE, Kirkpatrick CJ, Gatti AM, Monari E, J Mater Sci Mater Med 15 (2004) 321.

Ravi Kumar MNV, Sameti M, Mohapatra SS, Kong X, Lockey RF, Bakowsky U,Lindenblatt G, Schmidt CH, Lehr M, J Nanosci Nanotechnol 4 (2004) 876.

Slowing II, Vivero-Escoto JL, Wu CW, Lin VS, Adv Drug Deliv Rev 60 (2008) 1278.

Sayes CM, Reed KI, Warheit DB, Toxicol Sci 97 (2007) 163.

Sayes CM, Reed KL, Glover KP, Swain KA, Ostraat ML, Donner EM, Warheit DB, Inhal Toxicol 22 (2010) 348.

So SJ, Jang IS, Han CS, J Nanosci Nanotechnol 8 (2008) 5367.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Screening-Level Hazard Characterization of Silane, Dichlorodimethyl-, Reaction Product with Silica (CASRN 68611-44-9), June 2011.

Vijayanathan V, Thomas T, Thomas TJ, Biochemistry 41 (2002) 14085.

Wei C, Zhang Y, Guo J, Han B, Yang X, Yuan J, J Environ Sci 22 (2010) 155.

Ye Y, Liu J, Xu J, Sun L, Chen M, Lan M, ToxicolIn Vitro 24 (2010) 751.

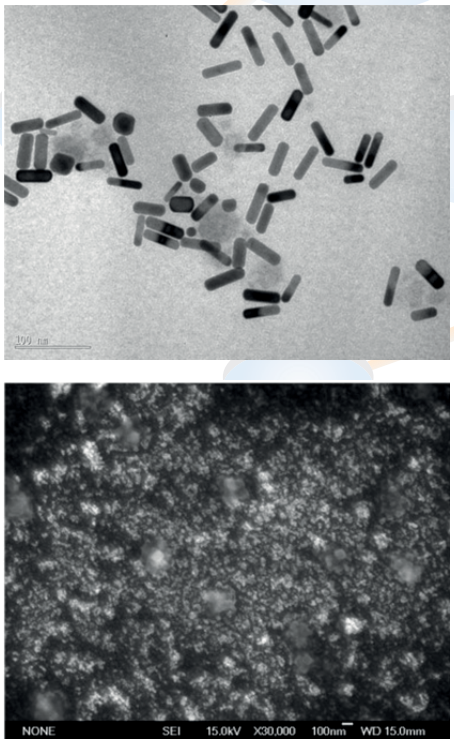
Ye YY, Liu JW, Chen MC, Sun LJ, Lan MB, Environ Toxicol Pharmacol 29 (2010) 131.

บทที่ 9
วัสดุอนุภาคนาโนทองคำ (Nano-Au)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อ	gold
CAS number	7440-57-5
สูตรโมเลกุล	Au
น้ำหนักโมเลกุล	5,000 กรัมต่อโมลหรือมากกว่า
ความหนาแน่น	ไม่มีข้อมูล
จุดหลอมเหลว	ไม่มีข้อมูล
จุดเดือด	ไม่มีข้อมูล
ลักษณะทั่วไป	มักเป็นสารแขวนลอยในตัวทำละลาย เช่น น้ำ หรือสารเคมีอื่นๆ มีสีต่างๆ เช่น แดง ม่วง ฟ้า เขียว เป็นต้น สารไม่ละลายน้ำ (water insoluble) สารไม่ลุกติดไฟ (Non-flammable)

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี



(a) ภาพถ่ายของแท่งอนุภาคนาโนทองคำด้วย TEM (ที่มา :http://em-lab.berkeley.edu/EML/images/NanoGallery1/pages/Gold%20nano%20rod%20cir1.htm)

(b) ภาพถ่ายของอนุภาคนาโนทองคำด้วย SEM (ที่มา :Chen et al., 2010)

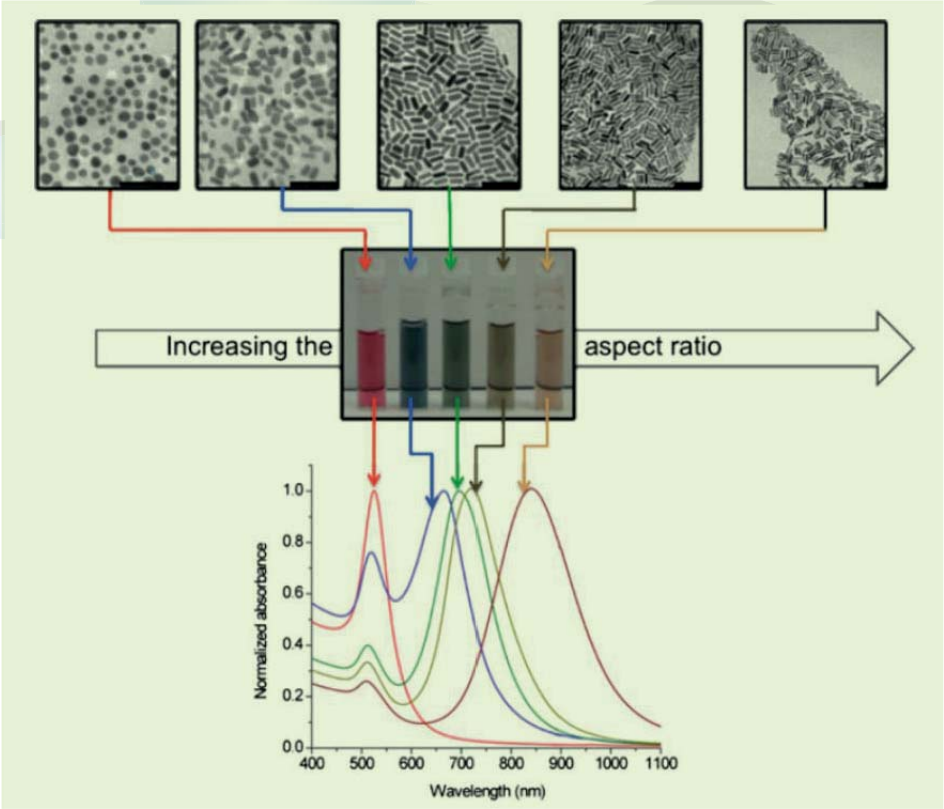
รูปที่ 9.1 ภาพถ่ายของอนุภาคนาโนทองคำ (Nano-Au) ด้วย (a) TEM และ (b) SEM

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

ทองคำ หรือ ทองคำเป็นธาตุที่รู้จักกันโดยทั่วไป โดยมีลักษณะสมบัติที่เป็นธาตุเฉื่อย มักไม่ทำปฏิกริยาและได้นำมาใช้กันมาทางการแพทย์ ในการเป็นสารป้องกันการอักเสบของเนื้อเยื่อในการรักษาโรค เช่น rheumatoid arthritis และยังได้มีการนำมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง โดยใช้เป็นสารในกลุ่มของ radioisotope อีกด้วย เมื่อทองคำมีขนาดเล็กลงขนอยู่ในระดับนาโนที่มีขนาดตั้งแต่ 5 นาโนเมตรขึ้นไป จะยังคงมีลักษณะสมบัติเหมือนกันกับทองคำทั่วไป แต่เมื่อมีขนาดต่ำกว่า 5 นาโนเมตร จะมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างจากทองคำ (Turner et al., 2008,Tsoli et al., 2005) ได้แก่ สีของอนุภาคนาโนของทองคำจะมีสีหลากหลาย เช่น แดง ฟ้า เขียว หรือน้ำตาล ซึ่งไม่ได้ปรากฏเป็นสีทองเหมือนกับทองคำทั่วไป สีที่แตกต่างนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนในแถบของ conduction ในอนุภาคนาโนโลหะกับสนามไฟฟ้าที่มาจากแสงที่ตกกระทบ ซึ่งทำให้เกิดการแทรกสอดของอิเล็กตรอนใน conduction band เกิดขึ้น ซึ่งการแทรกสอดนี้เรียกว่า localized surface plasmon resonance (LSPR) ซึ่งเกิดภายใต้สเปกตรัมของแสงที่มองเห็นได้ และแสงใกล้รังสีเหนือม่วง โดยการเปล่งแสงสีต่างๆนี้ จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของอนุภาคนาโนของทองคำ เช่น ทองคำในรูปของแท่งนาโนจะสามารถดูดซับแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 800-1200 นาโนเมตร เป็นต้น การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างแตกต่างกันแสดงในรูปที่ 9.2 (Alkilany et al., 2010)



รูปที่ 9.2 การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีลักษณะรูปร่างต่างๆ ตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน (Alkilany et al., 2010)

ในช่วงระดับความยาวคลื่น 800-1,200 นาโนเมตรนี้ วัสดุหลายชนิดรวมถึงน้ำไม่สามารถดูดซับแสงได้ โดยหากร่างกายได้รับแสงความยาวคลื่นนี้ แสงจะสามารถส่องทะลุมายังเนื้อเยื่อภายในได้ โดยที่อนุภาคนาโนทองคำจะสามารถดูดซับแสงเหล่านี้ได้ จากลักษณะสมบัตินี้จึงได้มีการนำอนุภาคนาโนทองคำไปใช้งานทางการแพทย์ทั้งในส่วนของการรักษาพยาบาล และการนำไปใช้เป็น imaging agent ในการสร้างภาพอวัยวะได้ (Jain et al., 2008, Lal et al., 2008, Murphy et al., 2008, Skrabalak et al., 2008) เช่น การใช้แท่งนาโนทองคำในการรับแสงที่ความยาวคลื่น 757 นาโนเมตร ในการสร้างภาพของเนื้อเยื่อของหนูที่มีความลึกลงไปใต้ผิว 4 เซนติเมตร เป็นต้น (Eghtedari et al., 2007) นอกจากนี้ยังได้มีการนำอนุภาคนาโนทองคำไปใช้ในการตรวจวัดด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy ซึ่งใช้ในการตรวจสอบภาคตัดขวางของโมเลกุลได้อีกด้วย (Anker et al., 2008) ซึ่งได้มีการพัฒนาเครื่องมือเรียกว่า Surface-enhanced Raman Spectroscopy (SERS) ซึ่งได้นำไปใช้ในการตรวจสอบการเกิดก้อนเนื้อในหนูที่ยังมีชีวิตอยู่ได้ (Qian et al., 2008) และได้มีการพัฒนาเทคนิคในการเป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดระดับน้ำตาลกลูโคสในหนูอีกด้วย (Anker et al., 2008)

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมทางการแพทย์** การนำอนุภาคนาโนทองคำมาใช้งานทางการแพทย์อย่างแพร่หลาย ได้แก่ การตรวจวัดและกำจัดเซลล์ก้อนเนื้อ โดยมีการนำอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างแท่ง และทรงกลมมาใช้ในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย และการกำจัดก้อนเนื้อที่เป็นส่วนของเซลล์มะเร็งได้ (Zharov et al., 2006, Chen et al., 2007) อนุภาคนาโนทองคำยังได้นำไปใช้ในระบบนำส่งยา (drug delivery) โดยอนุภาคนาโนทองคำได้ถูกนำไปใช้ในการนำส่งยาที่มุ่งเป้าในการรักษาเซลล์มะเร็งร่วมกับการฉายแสง ซึ่งจะทำให้อนุภาคนาโนร้อนและสามารถกำจัดเซลล์มะเร็งไปพร้อมกัน โดยจากงานวิจัยของ Patra และคณะ (Patra et al., 2007) อนุภาคนาโนทองคำได้ทำให้เกิดการตายของเซลล์ชนิด carcinoma lung cell line A549 ได้

นอกจากนี้ยังได้มีการนำอนุภาคนาโนทองคำไปใช้ในการผลิตเซ็นเซอร์เพื่อตรวจวัดเนื้อร้ายที่เกิดขึ้น (Gannon et al., 2008) และนำไปใช้ในการตรวจวัดสารพันธุกรรมและ DNA โดย Park และคณะ (Park et al., 2002) ได้พัฒนาเครื่องตรวจวัด DNA โดยใช้อนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งสามารถวัด DNA ได้อย่างแม่นยำและวัดความเข้มข้นของ DNA ได้ถึง 500 femtomolar โดยมี point mutation selectivity factor เป็น 100,000: 1 ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการวัด DNA แทนเทคนิคที่เคยใช้มา และนำมาใช้ในการตรวจวัดเชื้อโรคหลากหลายชนิดอีกด้วย

การสร้างภาพทางชีวภาพหรือภาพอวัยวะ เนื้อเยื่อต่างๆ ที่อยู่ในร่างกายที่เรียกว่า bioimaging เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่มีการนำอนุภาคนาโนทองคำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยอาศัยลักษณะสมบัติในการแทรกสอดแสง (plasmon resonance) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง โครงสร้าง และดัชนีการหักเหของตัวกลางไปใช้งานในการสร้างภาพอวัยวะต่างๆ (Murphy et al., 2008)

- **อุตสาหกรรมเคมี** อนุภาคนาโนทองคำได้ถูกนำมาใช้ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมเคมี โดยใช้ลักษณะสมบัติของอนุภาคนาโนที่เป็นโลหะ จากการแทรกสอดของอิเล็กตรอนจาก

conductionband ของทองคำเมื่อได้รับแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ทำให้อนุภาคนาโนทองคำมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร –โดยทั่วไปแล้วอนุภาคนาโนทองคำเป็นผงขนาดเล็ก ซึ่งอาจได้รับทางการหายใจได้ง่าย นอกจากนี้อนุภาคนาโนทองคำอาจแขวนลอยในสารละลาย เช่น น้ำ หรือ ตัวทำละลายต่างๆ หากแขวนลอยในตัวทำละลาย จะทำให้มีโอกาสได้รับไอระเหยของตัวทำละลายที่มีอนุภาคนาโนทองคำแขวนลอยอยู่

อาการที่ได้รับสาร – ระคายเคืองจมูกระบบทางเดินหายใจ

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – มักไม่ปรากฏการได้รับอนุภาคนาโนทองคำทางปาก แต่หากได้รับอาจเกิดอันตรายขึ้นได้

อาการที่ได้รับสาร – อาจทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – การใส่ถุงมือทุกครั้งในขณะปฏิบัติงาน และทำความสะอาดร่างกายก่อนรับประทานอาหาร

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การรับอนุภาคนาโนทองคำทางผิวหนังเกิดขึ้นได้ จากการสัมผัสไอระเหยของตัวทำละลายที่มีอนุภาคนาโนทองคำแขวนลอยอยู่ ซึ่งมีโอกาสที่จะได้รับอนุภาคจากการสัมผัสได้

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังจะทำให้เกิดการระคายเคืองและเป็นผื่นได้

การป้องกันการได้รับสาร – การใส่ถุงมือ หน้ากาก และชุดคลุมทุกครั้งในขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – มักอยู่ในรูปของผงนาโนทองคำอาจสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตา

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับในปริมาณมากเข้าสู่ดวงตาจะทำให้เกิดการระคายเคืองตา

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับอนุภาคนาโนทองคำทางการหายใจ ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธิ์ ให้

สังเกตุอาการที่เกิดขึ้นขณะหายใจ ถ้ามีการไอหรือหายใจลำบากอาจมีการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ สามารถใช้เครื่องช่วยหายใจได้เพื่อให้ออกซิเจน และนำส่งแพทย์ทันที

หากได้รับสารอนุภาคนาโนทองคำทางปาก การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีสติทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด อาจให้ดื่มน้ำหรือนมในปริมาณมากเพื่อให้เกิดการอาเจียน หรือเจือจางปริมาณที่ได้รับและให้นำส่งแพทย์ แต่หากผู้ป่วยได้รับสารในปริมาณมาก หรือ ผู้ป่วยไม่มีสติห้ามให้น้ำหรือสิ่งอื่นใดเข้าปาก ให้นำส่งแพทย์ทันที

การได้รับสารอนุภาคนาโนทองคำทางผิวหนัง ให้แกะผ้าหรือถอดผ้าในบริเวณผิวหนังที่ได้รับการปนเปื้อนออก ล้างผิวหนังด้วยน้ำเปล่าและสบู่ในบริเวณที่สัมผัสเป็นเวลานานอย่างน้อย 15 นาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง หากมีอาการระคายเคือง หรือผื่นขึ้นต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากสารอนุภาคนาโนทองคำเข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที และให้ลืมตาเพื่อล้างเปลือกตาบนและล่างในบางครั้ง ให้นำส่งแพทย์ทันที

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของวัสดุอนุภาคนาโนทองคำจากการทดสอบของOECD

4.1.1ชนิดของวัสดุอนุภาคนาโนทองคำที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำได้อ้างอิงเอกสารของ OECD (OECD, 2011a) เป็นหลัก ตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนทองคำ โดยมีประเทศอาฟริกาใต้เป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก และมีประเทศสหรัฐอเมริกาสนับสนุนการดำเนินการวิจัยร่วมเพื่อหาความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งได้กำหนดชนิดของอนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษ ดังนี้

- อนุภาคนาโนทองคำจากบริษัท Mintek มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 นาโนเมตร และมีสาร citrate เป็น capping agent โดยอนุภาคนาโนทองคำนี้มาจากการผลิตด้วยกระบวนการ chemical reduction
- อนุภาคนาโนทองคำจากบริษัท Mintek มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 นาโนเมตร และมีสาร citrate เป็น capping agent โดยอนุภาคนาโนทองคำนี้มาจากการผลิตด้วยกระบวนการ chemical reduction

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

อยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

อยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัยโดยได้มีการทดสอบส่วนหนึ่งตามการทดสอบมาตรฐานของ OECD (OECD, 2011b) ดังนี้

ผลการทดสอบ OECD TG 407 โดยเป็นการทดสอบความเป็นพิษกับหนู (rodent) แบบ Repeated dose เป็นเวลา 28 วัน พบว่าอนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 นาโนเมตรไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญต่อชีวเคมีของเลือด หรือมีน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างใด โดยพบว่าอนุภาคนาโนทองคำจะรวมตัวกันและตรวจพบในตับ ไต ม้าม และปอด โดยหลังจากการได้รับสาร 28 วันแล้วพบว่ามีการลดลงของอนุภาคนาโนทองคำที่สะสมในตับ

จากการทดสอบการได้รับอนุภาคนาโนทองคำผ่านการหายใจ โดยใช้การทดสอบ OECD TG413 Subchronic Inhalation Toxicity โดยใช้หนู (rat) อายุ 7 สัปดาห์ เพศผู้น้ำหนัก 200 กรัม และเพศเมียน้ำหนัก 145 กรัมมาทดสอบ โดยแบ่งหนูเป็น 4 กลุ่มกลุ่มละ 10 ตัว และให้ได้รับอนุภาคนาโนทองคำใน 3 ระดับคือ

ระดับต่ำที่ 2.36×10^4 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 0.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ระดับกลาง 2.36×10^5 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 0.38 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ระดับสูง 1.85×10^6 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 20.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

โดยหนูได้รับสารอนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-5 นาโนเมตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาต่อกัน 5 วันต่อสัปดาห์ในระยะเวลา 90 วัน ในห้องทดสอบเฉพาะ โดยมีการบันทึกผลของปริมาณอาหารที่ได้รับ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยน และลักษณะอาการของหนูที่เปลี่ยนแปลงและการตายของหนู รวมทั้งการทำงานของปอด หลังจากครบจำนวนวันที่ทดสอบได้มีการนำตัวอย่างเลือดหนูมาวิเคราะห์ทางโลหิตวิทยา (hematology) และชั่งน้ำหนักอวัยวะตลอดจนการวัดความเป็นพิษการวัดเอนไซม์ lactate dehydrogenase (LDH) และโปรตีน รวมทั้งเสมหะ จากการตรวจสอบ พบว่าปริมาตรของปอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับหนูชุดควบคุม จากการตรวจสอบพยาธิวิทยาระดับเนื้อเยื่อ (histopathology) พบว่าถุงลมของปอดมีขนาดเล็กลง เกิดการอักเสบในเซลล์ต่างๆ และการเพิ่มของเม็ดเลือดขาวมากขึ้นเมื่อหนูได้รับอนุภาคนาโนทองคำในระดับปริมาณมาก การสะสมของอนุภาคนาโนทองคำในเนื้อเยื่อพบในปอดและไต โดยปริมาณที่พบมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่ได้รับและเพศของสัตว์

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์(Ecotoxicology)

ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำจะมีค่อนข้างจำกัด เนื่องจากมีผู้ค้นคว้างานวิจัยอยู่น้อยมาก ในการทดสอบความเป็นพิษทางนิเวศพิษวิทยา Lovern และคณะ (Lovern et al., 2008) ได้ทำการทดสอบกับไรน้ำจืด *Daphnia magna* โดยให้มีการได้รับอนุภาคนาโนทองคำเป็นช่วงเวลา 1, 6, 12 หรือ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงตรวจวัดอนุภาคนาโนทองคำที่อยู่ในอวัยวะต่างๆของไรน้ำ ซึ่งพบว่าการสะสมของอนุภาคนาโนทองคำมีตั้งแต่ช่วงปากไปจนถึงหางของไรน้ำจืด Farkas และคณะ

(Farkas et al., 2010) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่มีต่อปลา *Oncorhynchus mykiss* โดยให้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนทองคำเป็น 0.058-17.4 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่าอนุภาคนาโนทองคำไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อปลาที่ทดสอบ แต่พบว่าระดับของอนุมูลอิสระ reactive oxygen specie (ROS) มีปริมาณมากขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อใช้อนุภาคนาโนทองคำที่ความเข้มข้นสูงสุด 17.4 มิลลิกรัมต่อลิตรในการทดสอบ แต่เนื่องจากความเข้มข้นของ ROS ที่เพิ่มขึ้นนี้ยังไม่อยู่ในระดับที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษและอันตรายได้ โดยยังไม่สามารถทำลายภูมิคุ้มกันได้ จึงทำให้ไม่พบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่ความเข้มข้นดังกล่าวในการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำกับปลาม้าลาย *Danio rerio* โดยใช้อนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดต่างกัน 4 ขนาด คือ 3, 10, 50 และ 100 นาโนเมตร โดยให้มีการได้รับอนุภาคนาโนเป็นเวลา 120 ชั่วโมง พบว่าอนุภาคนาโนทองคำส่งผลความเป็นพิษต่อปลาเพียงร้อยละ 3 หรือต่ำกว่า แม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเป็น 250 ไมโครโมลาร์แล้ว

นอกจากนี้ Tedesco และคณะ (Tedesco et al., 2010a) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำกับหอยสองฝา Marine bivalve mollusks โดยให้รับอนุภาคนาโนทองคำในปริมาณ 750 ส่วนในสิบล้านส่วน โดยอนุภาคนาโนทองคำนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.3 นาโนเมตร และได้รับอนุภาคนาโนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลจากตรวจวัดพบว่าอนุภาคนาโนสะสมอยู่ในต่อมอวัยวะขับถ่าย (digestive gland) โดยมีความคงตัวของเมมเบรนลดลง นอกจากนี้ยังพบการลดลงของโปรตีนอีกด้วย แต่เมื่อทำการทดสอบในลักษณะเดียวกันกับอนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นาโนเมตรจะไม่พบลักษณะความเป็นพิษที่รุนแรง โดยพบว่ายังคงมีการสะสมของอนุภาคนาโนในต่อมอวัยวะขับถ่ายและเหงือก แต่ไม่มีการสะสมในเนื้อเยื่อ (Tedesco et al., 2010b)

ในการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำกับสาหร่ายสีเขียว *Scenedesmus subspicatus* (Renault et al., 2008) โดยใช้อนุภาคนาโนขนาด 10 นาโนเมตร โดยให้ได้รับในปริมาณ $1.6x10^{2}$ – $1.6x10^{5}$ อนุภาคต่อเซลล์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าอัตราการตายของสาหร่ายเกิดขึ้นระหว่างร้อยละ 20-50 และเกิดการสะสมของอนุภาคนาโนทองคำในสาหร่ายในผนังเซลล์เป็นหลัก โดยไม่เข้าไปอยู่ในเซลล์ของสาหร่าย โดย Ferry และคณะ (Ferry et al., 2009) ได้แสดงถึงการสะสมและส่งต่อของอนุภาคนาโนทองคำแบบแท่งที่สะสมในน้ำและส่งต่อไปยังห่วงโซ่อาหารในน้ำผ่านหอย clams (*Mercenaria mercenaria*) ได้ โดยพบความเข้มข้นของอนุภาคนาโนสูงสุดที่ฟิล์มชีวภาพ (biofilm)

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

การทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์ของอนุภาคนาโนทองคำมักอยู่ในรูปของ *in vitro* โดยศึกษาความเป็นพิษกับเซลล์โดยตรงเป็นหลัก จากรายงานวิจัยหลายงานที่ผ่านมาได้มีการรายงานที่ขัดแย้งกันถึงความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำในส่วนของความเป็นพิษเมื่อทดสอบกับเซลล์ โดยหลายงานวิจัยได้รายงานถึงความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำ ในขณะที่หลายงานวิจัยพบว่าอนุภาคนาโนทองคำไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์

Connor และคณะ (Connor et al., 2005) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4, 12 และ 18 นาโนเมตร โดยมีสาร capping agent ได้แก่ citrate, cysteine, glucose, biotin และ cetyltrimethylammonium bromide ซึ่งพบว่าอนุภาคนาโนทองคำที่นำมาทดสอบไม่แสดงความเป็นพิษต่อเซลล์ โดยใช้วิธีการทดสอบ MTT assay ผลที่ได้จากงานวิจยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shukla และคณะ (Shukla et al., 2005) ซึ่งใช้อนุภาคนาโนทองคำรูปร่างทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นาโนเมตร ในการทดสอบระบบภูมิคุ้มกันของเซลล์ โดยพบว่าอนุภาคนาโนทองคำได้เข้าไปสู่เซลล์ ในรูปแบบของ endocytosis ซึ่งการแทรกเข้าสู่เซลล์ในลักษณะนี้จะไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ Villiers และคณะ (Villiers et al., 2009) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่มี citrate เป็น capping agent โดยอนุภาคนาโนทองคำมีรูปร่างทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นาโนเมตร ในการทดสอบระบบภูมิคุ้มกันของเซลล์เช่นกัน ซึ่งผลการวิจัยยืนยันผลเช่นกันว่าอนุภาคนาโนทองคำไม่แสดงความเป็นพิษต่อเซลล์ และไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางพันธุกรรมของเซลล์อีกด้วย

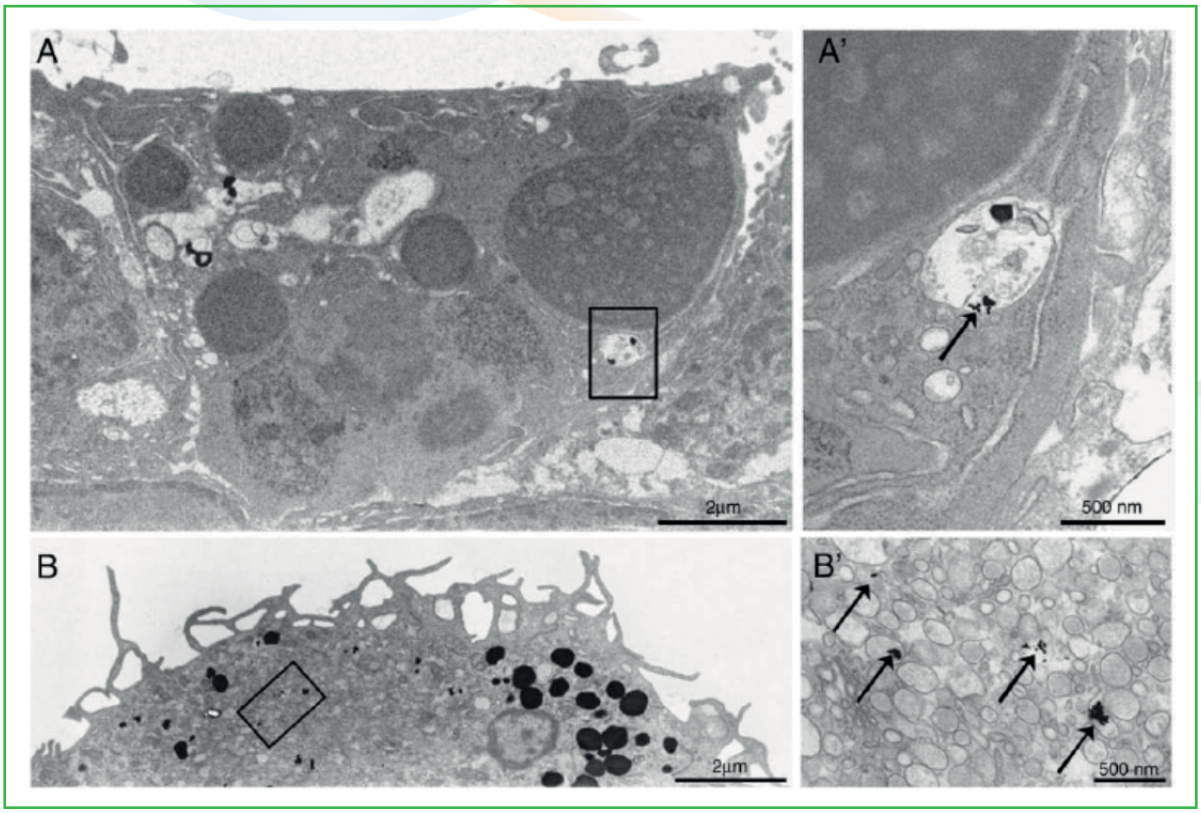
ในขณะที่งานวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งได้รายงานถึงความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำ โดย Goodman และคณะ (Goodman et al., 2004) ได้ทดสอบอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปทรงกลมมีประจุพื้นผิวเป็นประจุบวกและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นาโนเมตร โดยพบว่าเมื่อทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์ จะทำให้เกิดความเป็นพิษกับเซลล์ได้ ในขณะที่เมื่อใช้อนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปทรงกลมมีประจุพื้นผิวเป็นประจุลบและทดสอบกับเซลล์ชนิดเดียวกันจะไม่พบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่มีต่อเซลล์ งานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงความสามารถของประจุบวกของอนุภาคนาโนที่สามารถทำปฏิกิริยากับเมมเบรนของเซลล์ซึ่งมีประจุลบโดยรอบ ส่งผลให้เกิดการทำลายของเมมเบรนขึ้น Pan และคณะ (Pan et al., 2009) ได้รายงานถึงผลกระทบของอนุภาคนาโนทองคำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 นาโนเมตรที่ทำให้เกิดการทำลายของไมโตคอนเดรีย ทำให้เกิดการอักเสบเนื่องมาจากอนุมูลอิสระ และทำให้เซลล์ที่ใช้ทดสอบตายในบางส่วนในรูปแบบของ necrosis ในขณะที่เมื่อใช้อนุภาคนาโนทองคำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นาโนเมตรกลับไม่พบความเป็นพิษในลักษณะเดียวกันที่เกิดขึ้นกับเซลล์เมื่อใช้อนุภาคนาโนทองคำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 นาโนเมตร งานวิจัยของ Pan และคณะจึงได้บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคด้วย ซึ่งผลของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานของ Turner และคณะ (Turner et al., 2008) ซึ่งได้รายงานเช่นกันถึงความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดต่ำกว่า 2 นาโนเมตรที่มีต่อเซลล์ ในขณะที่ไม่พบความเป็นพิษที่มีต่อเซลล์เมื่อใช้อนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดใหญ่กว่านั้น

นอกเหนือจากลักษณะทางกายภาพ-เคมีที่ทำให้ความเป็นพิษที่มีต่อเซลล์แตกต่างกันแล้ว ความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบ จากงานวิจัยของ Petra และคณะ (Petra et al., 2007) พบว่าอนุภาคนาโนทองคำที่มี citrate เป็น capping agent และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 นาโนเมตร จะทำให้เกิดความเป็นพิษกับเซลล์ปอด carcinoma lung cell line ของมนุษย์ แต่ไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษกับเซลล์ตับ carcinoma liver cell line ของมนุษย์ เมื่อใช้อนุภาคนาโนทองคำในปริมาณเดียวกันในปัจจุบันงานวิจัยการศึกษาความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำยังอยู่ระหว่างการ

ดำเนินการวิจัย ผลเชิงลึกของปัจจัยและระดับความรุนแรงของการได้รับพิษที่มีต่อเซลล์ยังอยู่ระหว่างการศึกษา

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

Brandenberger และคณะ (Brandenberger et al., 2010) ได้ทดสอบความเป็นพิษที่มีต่อเซลล์ของถุงลมปอดเมื่อได้รับอนุภาคนาโนทองคำในลักษณะของแอโรซอล โดยอนุภาคนาโนทองคำที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นาโนเมตร โดยปริมาณของอนุภาคนาโนที่ตกค้างเป็น 61 นาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 561 นาโนกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยเซลล์ได้รับอนุภาคนาโนเป็นเวลา 4 และ 24 ชั่วโมง แล้วตรวจวัดการอักเสบ และการถูกทำลายจากการออกซิไดซ์ของ mRNA และโปรตีนโดยอนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าอนุภาคนาโนทองคำได้เข้าไปในเซลล์ทุกชนิดที่ศึกษา โดยส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ตรวจพบอนุภาคนาโนทองคำในเซลล์ถุงลมแสดงดังรูปที่ 9.3



รูปที่ 9.3 อนุภาคนาโนทองคำที่ตรวจพบในเซลล์ถุงลมของปอดโดย A) เซลล์ด้านบน และ dendritic cell และ B) เซลล์ส่วนที่เป็นเมมเบรน อนุภาคสีดำที่ลูกศรชี้เป็นอนุภาคนาโนทองคำ (Brandenberger et al., 2010)

จากงานวิจัยนี้พบว่า อนุภาคนาโนทองคำแม้จะแทรกเข้าไปในเซลล์ของถุงลมปอดได้ แต่ไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบของ mRNA นอกจากนี้ในงานวิจัยได้ใช้ lipopolysaccharide (LPS) ในการทดสอบร่วมด้วย ซึ่งเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบจะไวต่อการตอบสนองของ LPS แต่เมื่อมีอนุภาคนาโนทองคำร่วม

ด้วย พบว่าไม่ส่งผลเชิงลบเพิ่มขึ้นต่อเซลล์แต่อย่างใด งานวิจัยนี้ได้แสดงถึงความไม่เป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่มีต่อเซลล์ถุงลมของปอดในสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านทางผิวหนัง

Wang และคณะ (Wang et al., 2008) ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างเป็นแท่งที่มีขนาดแตกต่างกันในช่วง 2.5-3.5 นาโนเมตร และทรงกลมขนาด 1.5 นาโนเมตรโดยสังเคราะห์จากทองแดงที่เป็นคอลลอยด์ และมีสาร hexadecyl cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) เป็นสาร capping agent โดยทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์ผิวหนังของมนุษย์ (HaCaT keratinocytes) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มาจากชั้นผิวหนังกำพร้า และใช้วิธี MTT assay ในการทดสอบ โดยให้เซลล์สัมผัสกับอนุภาคนาโนทองคำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง และบ่มเพาะต่ออีกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าอนุภาคนาโนทองคำทรงกลมขนาดต่างๆ ไม่ส่งผลความเป็นพิษต่อเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบ ทั้งนี้เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสเป็น 48 ชั่วโมงยังคงไม่พบลักษณะความเป็นพิษที่เกิดขึ้นต่อเซลล์ทดสอบเช่นกัน ในขณะที่ผลการทดสอบของ connor และคณะ (Connor et al., 2005) และ Takashi และคณะ (Takashi et al., 2006) พบว่าอนุภาคนาโนทองคำทั้งในรูปของผงนาโนและแท่งนาโนอาจรวมตัวเป็นก้อนในเซลล์ ซึ่งส่งผลให้เซลล์ตาย โดยคาดว่าความเป็นพิษที่เกิดขึ้นมาจากการรวมตัวกันเป็นก้อนของอนุภาคนาโนทั้งในและนอกเซลล์ โดยงานวิจัยของ (Wang et al., 2008) ได้แสดงว่าอนุภาคนาโนทองคำรวมตัวกันเป็นก้อนภายนอกเซลล์และแทรกเข้าไปในเซลล์ โดยอนุภาคนาโนทองคำที่เป็นแท่งมีความเป็นพิษมากกว่าอนุภาคนาโนทองคำที่เป็นผง ซึ่งความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำที่เป็นแท่งนี้อาจเนื่องมาจากสารเคลือบ CTAB ซึ่งมีความเป็นพิษต่อเซลล์ร่วมด้วย

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

ยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของอนุภาคนาโนทองคำจากหน่วยงานต่างๆ เช่น OSHA, ACGIH เป็นต้น

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโนแว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 9.4



รูปที่ 9.4 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่นโดยเฉพาะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับผงนาโนทองคำในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับผงนาโนทองคำในรูปสารละลายสามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 9.5



(a) ถุงมือ Silver Shield (b) ถุงมือ Butyl (c) ถุงมือ Viton (d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 9.5 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บรักษา

ให้เก็บรักษาสารนาโนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้ง ในบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก โดยให้เก็บรักษาในอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย1ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

โดยทั่วไปแล้วอนุภาคนาโนทองคำไม่ลุกติดไฟได้ง่าย และไม่เกิดการระเบิด แต่เนื่องจากอนุภาคนาโนทองคำนั้นมักจะบรรจุอยู่ในสารละลาย ซึ่งส่วนประกอบของสารละลายอาจนำไปสู่การเกิดอุบัติภัยได้ เช่น หากอนุภาคนาโนทองคำอยู่ในตัวทำละลายที่มีส่วนผสมของสาร azide อยู่ จะต้องระวังการเกิดระเบิดเนื่องจากสาร azide ร่วมด้วยและต้องคำนึงถึงการเข้ากันได้ของ azide กับสารโลหะหนักอื่นๆ เช่น azide สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกับตะกั่ว ทองแดง ปรอท ซึ่งจะทำให้เกิดการระเบิดได้ เป็นต้น

หากเกิดอุบัติภัยเพลิงไหม้ สามารถใช้น้ำยาดับเพลิงได้หลายชนิด ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม โดยในการดับเพลิงนั้น ต้องสวมหน้ากากและเครื่องช่วยหายใจ เนื่องจากอาจเกิดก๊าซพิษเกิดขึ้นได้ขณะเกิดไฟไหม้

5.6 การกำจัดสารเคมีหลังการใช้งาน

สารอนุภาคนาโนทองคำไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ U.S. EPA สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีมาตรฐานทั่วไป เช่น การเผาในเตาเผา หรือการฝังกลบ เป็นต้น โดยต้องมีระบบบำบัดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการกำจัดด้วยวิธีนั้นๆ

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของอนุภาคนาโนทองคำในน้ำของบริษัท AC Diagnostic, Inc.

(แสดงในภาคผนวก ก.9)

AC Diagnostics, Inc.
1131 W Cato Springs Road, Fayetteville, AR 72701, USA

Web: www.acdiainc.com
Phone: (479) 595-0320; Fax: (479) 251-1791
Email: infor@acdiainc.com

MSDS of Au Nanoparticles in Water

1. PRODUCT IDENTIFICATION

CAS No.: Gold (7440-57-5), Ascorbic Acid (50-81-7), Trisodium Citrate hydrate (200-675-3), Water (7732-18-5)
Chemical Name: Non-Functionalized Colloidal Gold Nanoparticles
Chemical Formula: Au
Typical Solvent (CAS No): Water (7732-18-5)

---

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENT (EACH VIAL)

Substance Name	CAS #	Percentage of Whole (by weight)
Au	7440-57-5	<0.02%
Ascorbic Acid	50-81-7	<0.01%
Trisodium Citrate Hydrate	200-675-3	< 0.05%
Water	7732-18-5	<99.92%

---

3. HAZARDS IDENTIFICATION

Not known OSHA hazards
NFPA Ratings:
Health: 0
Fire: 0
Reactivity: 0
Potential Health Effects:
Inhalation: May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin: May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes: May cause eye irritation.
Ingestion: May be harmful if swallowed.

---

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation: Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm. Seek immediate medical advice.
Skin contact: Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly. Seek immediate medical advice.
Eye contact: Rinse opened eye for several minutes under running water. Then consult a doctor.
Ingestion: Rinse mouth with water. Seek immediate medical advice.

---

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Suitable extinguishing agents: Product is not flammable. Use water spray; dry chemical or carbon dioxide fire extinguishers.

6.2 เอกสารความปลอดภัยของอนุภาคนาโนทองคำของบริษัท Nanoprobes

(แสดงในภาคผนวก ก.9)

Nanoprobes

95 Horse Block Road, Unit 1
Yaphank, NY 11980-9710

Updated: September 24, 2007

Attn: SAFETY DIRECTOR

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

CATALOG NUMBER: 2016
PRODUCT NAME: **NANOGOLD®-STREPTAVIDIN**

SECTION 1:	IDENTIFICATION
Product Name	Nanogold® -Streptavidin
Product Number	2016
Product Description	80 µg/ml Nanogold® -Streptavidin in 20 mM Sodium Phosphate, 150 mM NaCl, pH7.4, with 0.1 % BSA and 0.05 % sodium azide
Appearance	Pale brown solution

SECTION 2: HANDLING, STORAGE AND TRANSPORT INFORMATION

HANDLING
User Exposure: Avoid inhalation. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.
STORAGE
Suitable: Keep tightly closed.
Store at 2-8°C
Non-Hazardous for Transport: This substance is considered to be non-hazardous for transport.

SECTION 3: HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW
Caution: Avoid contact and inhalation. Sodium azide may react with lead and copper plumbing to form highly explosive metal azides.
HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS
Hazardous Decomposition Products: Nature of decomposition products not known.
HAZARDOUS POLYMERIZATION
Hazardous Polymerization: Will not occur

SECTION 4: FIRST AID MEASURES

ORAL EXPOSURE
If swallowed, wash out mouth with water provided person is conscious. Call a physician.

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Alkilany AM, Murphy CJ, J Nanopart Res 12 (2010) 2313.

Anker JN, Hall WP, Lyandres O, Shah NC, Zhao J, Van Duyne RP, Nat Mater 7 (2008) 442.

Brandenberger C, Rothen-Rutishauser B, Mühlfeld C, Schmid O, Ferron GA, Maier KL, Gehr P, Lenz A-G, ToxicolAppl Pharm 242 (2010) 56.

Chen J, Wang D, Xi J, Au L, Siekkinen A, Warsen A, Li Z-Y, Zhang H, Xia Y, Li X, Nano Lett 7 (2007) 1318.

ChenK-S, HungT-S, WuH-M, WuJ-Y, LinM-T, FengC-K, Thin Solid Films, 518 (2010) 7557.

Connor EE, Mwamuka J, Gole A, Murphy CJ, Wyatt MD, Small 1 (2005) 325.

Eghtedari M, Oraevsky A, Copland JA, Kotov NA, Conjusteau A, Motamedi M Nano Lett 7 (2007) 1914.

Farkas J, Christian P, Urrea JAG, Roos N, Hassellov M, Tollefsen KE, Thomas KV, AquatToxicol 96 (2010) 44.

Ferry JL, Craig P, Hexel C, Sisco P, Frey R, Pennington PL, Fulton MH, Scott IG, Decho AW, Kashiwada S, Murphy CJ, Shaw TJ, Nat Nanotechnol 4 (2009) 441.

Gannon CJ, Patra CR, Bhattacharya R, Mukherjee P, Curley SA, J Nanobiotechnol 6 (2008) 2.

Jain PK, Huang XH, El-Sayed IH, El-Sayed MA, AccChem Res 41 (2008) 1578.

Lal S, Clare SE, Halas NJ AccChem Res 41 (2008) 1842.

Lovern SB, Owen HA, Klaper R, Nanotoxicology 2 (2008) 43.

Murphy CJ, Gole AM, Stone JW, AccChem Res 41 (2008) 1721.

OECD (2011a), Exposure Measurement and Exposure Mitigation: Status of the Projects and Draft Report of the Face to Face Meeting, 9th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, ENV/CHEM/NANO(2011)19, 29 Nov 2011.

OECD (2011b) Fact sheet — Gold Nanoparticles, 9th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 29 Nov 2011.

Park SJ, Taton TA, Mirkin CA, Science 295 (2002) 1503.

Patra HK, Banerjee S, Chaudhuri U, Lahiri P, Dasguptha AK, Nanotech Biol Med 3 (2007) 111.

Qian XM, Peng XH, Ansari DO, Yin-Goen Q, Chen GZ, Shin DM, Yang L, Young AN, Wang MD, Nie SM, Nat Biotechnol 26 (2008) 83.

Renault S, Baudrimont M, Mesmer-Dudons N, Gonzalez P, Mornet S, Brisson A, Gold Bull 41 (2008) 116.

Wang S, Lu W, Tovmachenko O, Rai US, Yu H, Ray PC, ChemPhy Letters 463 (2008) 145.

Skrabalak SE, Chen JY, Sun YG, AccChem Res 41 (2008) 1587.

Takahashi H, Niidome Y, Niidome T, Kaneko K, Kawasaki H, Yamada S, Langmuir 22 (2006) 2.

Tedesco S, Doyle H, Blasco J, Redmond G, Sheehan D, AquatToxicol 100 (2010a) 178.

TedescoS, DoyleH, BlascoJ, RedmondG, SheehanD, Comp BiochemPhysiol C 151 (2010b) 167.

Tsoli M, Kuhn H, Brandau W, Esche H, Schmid G, Small 1 (2005) 841.

Turner M, Golovko VB, Vaughan OPH, Nature 454 (2008) U31—981.

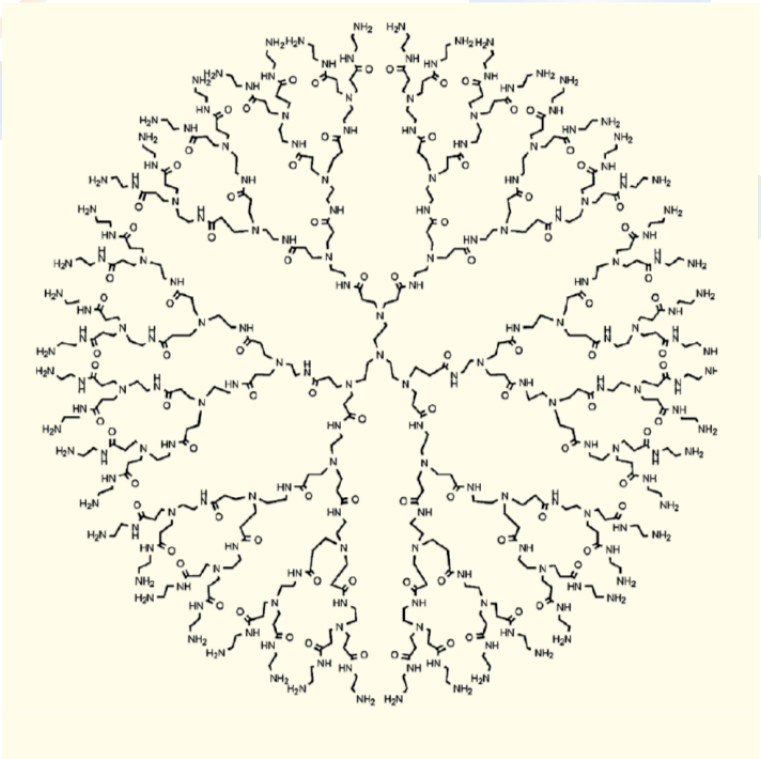
Zharov VP, Mercer KE, Galitovskaya EN, Smeltzer MS, Biophys J 90 (2006) 619.

บทที่ 10
เดนไดรเมอร์ (Dendrimers)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อ	dendrimer, PAMAM dendrimer
CAS number	26937-01-9
สูตรโมเลกุล	-
น้ำหนักโมเลกุล	-
จุดเดือด	65 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	98 องศาเซลเซียส
ความดันไอ	92 มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส
ลักษณะทั่วไป	ไม่ละลายน้ำ
	มีลักษณะใส สีเหลืองอ่อน และปรากฏในของเหลว เช่น เมทานอล เป็นต้น
	เมื่ออยู่ในน้ำ เดนไดรเมอร์จะมีพีเอชในช่วงของด่าง เช่น พีเอช 10 เป็นต้น

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี (รูปที่ 10.1)



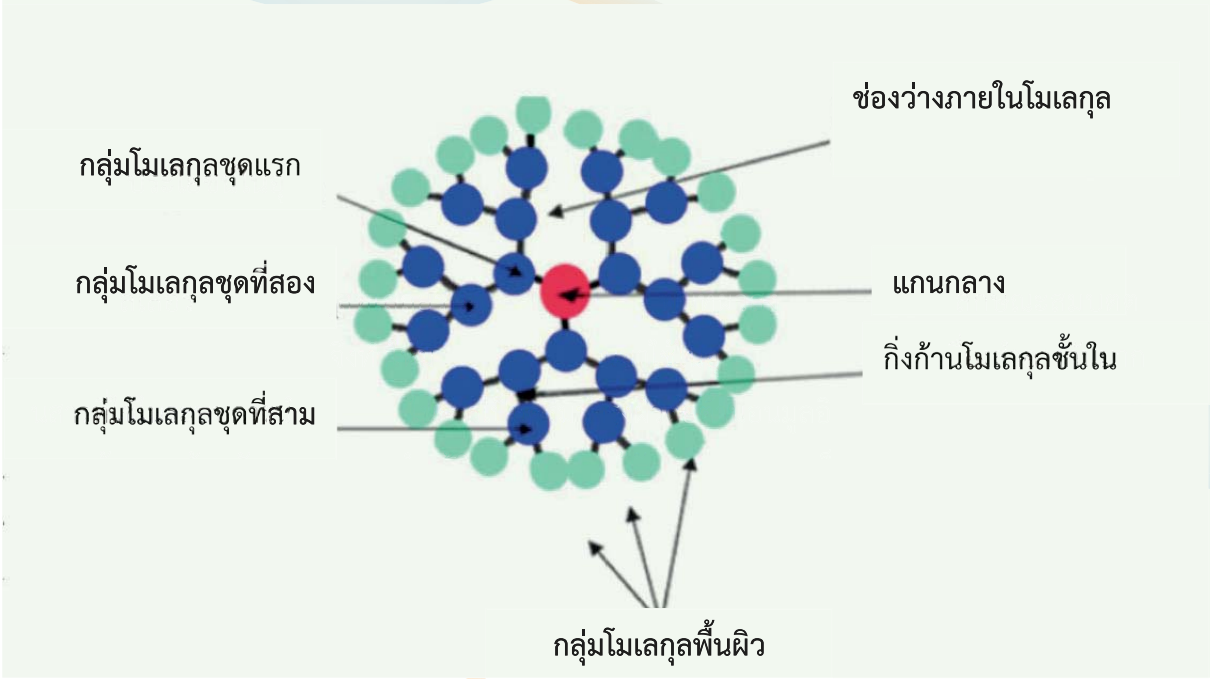
รูปที่ 10.1 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ PAMAM เดนไดรเมอร์ (Jain et al., 2010)

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

เดนไดรเมอร์เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีลักษณะโครงสร้างพอลิเมอร์ที่เหมือนต้นไม้ โดยพันธะที่มีทั้งหมดจะต่อกิ่งก้านสาขาของโมเลกุลเป็นรัศมีออกจากจุดหรือแกนที่เป็นศูนย์กลางในลักษณะโครงสร้างที่ซ้ำกัน และมีขนาดเดียวกัน (Dykes et al., 2001, Frechet, 2002) เดนไดรเมอร์มีลักษณะทรงกรมสามมิติ ซึ่งมีความเสถียรสูง ลักษณะโครงสร้างของเดนไดรเมอร์ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ แกนกลาง (interior core) ชั้นใน (interior layer) ซึ่งมีลักษณะของโครงสร้างที่มีกิ่งก้านแผ่เป็นรัศมีโดยติดกับแกนกลาง และชั้นนอก (exteriorlayer) ซึ่งมีลักษณะของโครงสร้างกิ่งก้านที่แผ่ออกไปจากชั้นด้านใน ดังแสดงในรูปที่ 10.2



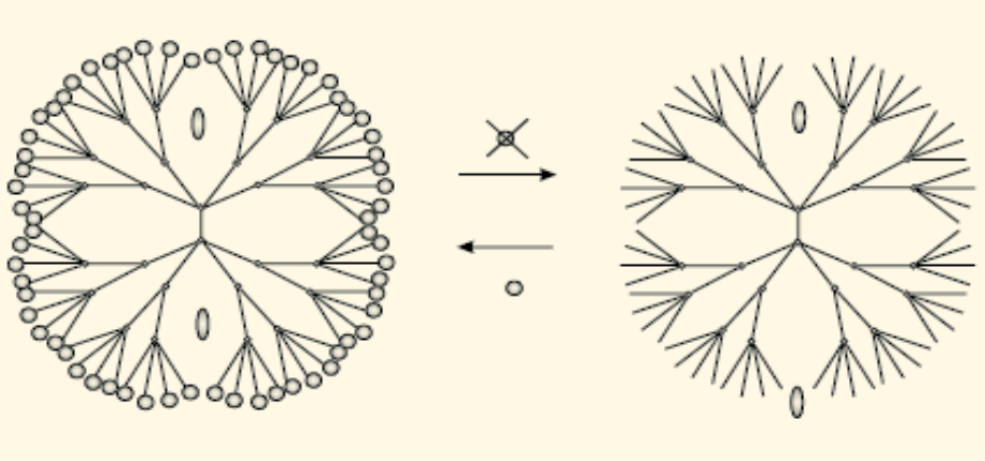
รูปที่ 10.2 ลักษณะโครงสร้างจำลองพื้นฐานของเดนไดรเมอร์ (ดัดแปลงจาก Jain et al., 2010)

ขนาด รูปร่าง และความไวในการทำปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นและส่วนประกอบทางเคมีของแกนกลาง กิ่งก้านโมเลกุลชั้นใน และกลุ่มโมเลกุลพื้นผิว เดนไดรเมอร์ประกอบด้วยโครงสร้างเคมีที่ซ้ำกัน ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้หลายขนาดในระดับโมกุลไปจนถึงระดับนาโน โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของเดนไดรเมอร์จะยาวขึ้นถ้ามีกลุ่มของโครงสร้างโมเลกุลมากขึ้นและกลุ่มโมเลกุลพื้นผิวเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเดนไดรเมอร์มีขนาดเล็กลง จะอัดกันแน่นมากขึ้น ทำให้มีโครงสร้างเหมือนเมมเบรนและถ้าช่องว่างของโมเลกุลมีน้อยลงจนไม่มีเหลือจะทำให้เดนไดรเมอร์ไม่สามารถขยายขนาดกิ่งก้านได้อีกและไม่สามารถมีขนาดใหญ่เพิ่มได้ (Caminati, et al.,

Fischer and Vogtle, 1999) โดยโครงสร้างของ PAMAM เดนไดรเมอร์สามารถสังเคราะห์ให้มีกิ่งก้านโมเลกุลได้ถึง 10 ชั้น (generation) โดยมีมอนอเมอร์ถึง 6141 มอนอเมอร์และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 124 อังสตรอม (Tomalia et al., 1990)

จากการที่เดนไดรเมอร์ประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมากที่เชื่อมต่อกันด้วยลำดับที่เฉพาะเจาะจง และด้วยความยาวที่แน่นอนทำให้แต่ละโมเลกุลมีลักษณะเหมือนกันและมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากันในลักษณะของ monodisperse ซึ่งแตกต่างไปจากพอลิเมอร์ทั่วไป โดยเดนไดรเมอร์สามารถสังเคราะห์โดยควบคุมขนาดและน้ำหนักของโมเลกุลได้ จึงทำให้เดนไดรเมอร์มีลักษณะสมบัติแตกต่างจากพอลิเมอร์ทั่วไป โดยมีความหนืดน้อยกว่าพอลิเมอร์ที่เป็นเส้นตรง (Frechet, 1994) เมื่อขนาดของโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนเมื่อเดนไดรเมอร์ขยายขนาดไปถึงชั้นที่ 4 ความหนืดจะลดลง (Mourey et al., 1992) นอกจากนี้โมเลกุลพื้นผิวซึ่งปรากฏรอบนอกของเดนไดรเมอร์ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน ทำให้ความสามารถในการละลายของเดนไดรเมอร์ต่างกัน เช่นเดนไดรเมอร์จะสามารถละลายน้ำได้ถ้าหมู่ปลายสุดของเดนไดรเมอร์นั้นเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) เป็นต้น (Klajnert and Bryszewska, 2001) เดนไดรเมอร์จะมีพื้นที่ผิวสูงเมื่อเทียบกับปริมาตร เมื่อเดนไดรเมอร์มำจำนวนชั้นที่เกิดขึ้นน้อย แต่ยังคงลักษณะทรงกลมได้โดยไม่เกิดการอัดแน่น โดยมีพื้นที่ผิวได้ถึง 1000 ตารางเมตรต่อกรัม (Alper et al., 1991)

ลักษณะเฉพาะของเดนไดรเมอร์ที่แตกต่างจากสารอื่นๆ เกิดจากการมีลักษณะทรงกลมและมีช่องว่างของโมเลกุลอยู่ด้านใน ซึ่งสามารถใช้ในการบรรจุสารอื่นๆ เข้าไปในช่องว่างนี้ได้ โดยโมเลกุลของสารอื่นที่อยู่ภายในช่องว่างจะไม่เปลี่ยนรูปขณะที่อยู่ในช่องว่างนี้ สารเหล่านี้จะออกมาจากเดนไดรเมอร์เมื่อมีชั้นโมเลกุลพื้นผิวของเดนไดรเมอร์เกิดการทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งทำให้โมเลกุลของเดนไดรเมอร์เกิดการแตกตัว ดังแสดงในรูปที่ 10.3 โดยช่องว่างของโมเลกุลของเดนไดรเมอร์ที่ใช้ในการบรรจุสารอื่นๆ เรียกว่า Dendritic box (Jansen et al., 1994, Jansen and Meijer, 1995) จึงทำให้มีการนำเดนไดรเมอร์ไปใช้กันอย่างมากในระบบการนำส่งยา (drug delivery system)



รูปที่ 10.3 การนำส่งโมเลกุลของสาร (หรือ ตัวยา) ด้วยเดนไดรเมอร์
และการแตกตัวของเดนไดรเมอร์เพื่อปลดปล่อยโมเลกุลของสารออกมาสู่ภายนอกโครงสร้างเดนไดรเมอร์
(Klajnert and Bryszewska, 2001)

นอกจากนี้โมเลกุลพื้นผิวและมวลรวมของเดนไดรเมอร์สามารถทำปฏิกิริยากันเอง ทำให้มีลักษณะสมบัติที่สามารถนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมในการเป็นสารยึดติดผิว สารเคลือบพื้นผิว และใช้ในการเชื่อมไขว้ของพอลิเมอร์ได้

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมยา** จากลักษณะสมบัติเฉพาะของเดนไดรเมอร์ที่มีลักษณะทรงกลมและมีช่องว่างของโมเลกุลอยู่ด้านใน ซึ่งสามารถใช้ในการบรรจุสารอื่นๆ เข้าไปในช่องว่างนี้ได้ จึงทำให้เดนไดรเมอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์เป็นอย่างมาก เพื่อใช้ในระบบการนำส่งยา (drug delivery system) เข้าสู่ภายในร่างกายของผู้ป่วยโดยตรง โดยใช้เดนไดรเมอร์เป็นโมเลกุลขนส่งตัวยาที่ตัวยาเป็นสารของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) โดยบรรจุตัวยาเข้าไปไว้ภายในโครงสร้างของเดนไดรเมอร์หรือให้ตัวยาติดอยู่กับโมเลกุลพื้นผิวของเดนไดรเมอร์และเมื่อเดนไดรเมอร์เคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งที่ต้องการจะรักษาในร่างกายผู้ป่วย โมเลกุลปลายสุดของเดนไดรเมอร์จะถูกกระตุ้นให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุออกมา ซึ่งจะทำให้ตัวยาที่ถูกบรรจุไว้ภายใน หรือติดอยู่ที่โมเลกุลพื้นผิวจะออกมาจากเดนไดรเมอร์และทำปฏิกิริยากับตำแหน่งที่ต้องการรักษาได้ (Klajnert and Bryszewska, 2001)

เดนไดรเมอร์ได้นำมางานในการนำส่งยา ในหลายลักษณะ เช่น ใช้เป็นสารเคลือบผิวยา 5-Fluorouracil (5FU) ซึ่งเป็นยาที่ออกฤทธิ์ต้านเนื้อร้าย (antitumour) ซึ่งมีทำให้เกิดอาการข้างเคียงในการที่ตัวยานี้ความเป็นพิษสูง เดนไดรเมอร์จะถูกนำมาใช้เคลือบยาชนิดนี้เพื่อป้องกันการอวัยวะในตำแหน่งเฉพาะจากความเป็นพิษของยาชนิดนี้ โดยตัวยาที่ถูกเดนไดรเมอร์เคลือบอยู่จะทำให้เกิดการปลดปล่อยของยาเป็นไปอย่างช้าๆ และลดความเป็นพิษที่เกิดขึ้นได้ (Zhuo et al., 1999) เดนไดรเมอร์ยังได้นำไปใช้ในการเป็นสาร genetic material carriers (Bielinska et al., 1996; Kukowska-Latallo, et al., 2000) โดยใช้ในการเป็นตัวยาเพื่อรักษาโรคทางพันธุกรรม โดยใช้ในการขนส่ง DNA ไปยังนิวเคลียส เป็นต้นซึ่งรวมไปถึงการรักษาในลักษณะของ neutron capture therapy (Shukla et al., 2003, Nishiyama et al., 2009)

- **อุตสาหกรรมเคมี** เดนไดรเมอร์ได้นำมาใช้กันมากในการเป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Nlate et al., 2006) จากลักษณะสมบัติที่เดนไดรเมอร์มีพื้นที่ผิวมากและสามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้มีการนำเดนไดรเมอร์ไปใช้ในการเป็นสารเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ประโยชน์จากการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของ homogeneous และ heterogeneous ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้สามารถแยกจากสารที่ทำปฏิกิริยาได้ง่ายโดยใช้การกรองแบบ ultrafiltration โดยปรากฏในงานวิจัยของ Knapen และคณะ โดยเดนไดรเมอร์ที่นำไปใช้งานนั้นสามารถนำไปใช้ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของสาร poly haloalkane ได้ (Knapen et al., 1994) ในงานของ Nlate และคณะ (Nlate et al., 2006) ได้สังเคราะห์เดนไดรเมอร์ชนิดที่มี 9 และ 27 กิ่งของสาร tetrakis (diperoxotungsto) และมีฟอสเฟตเป็นแกนกลาง ซึ่งได้นำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการออกซิเดชันของสารในกลุ่มอัลคีน ซัลไฟด์ และแอกอฮอลล์

นอกจากนี้ได้มีการนำเดนไดรเมอร์ไปใช้ในการห่อหุ้มสารละลายน้ำได้ง่ายในกลุ่มของโลหะหนักและนำส่งผ่านตัวทำละลายเพื่อไปทำปฏิกิริยา Cooper และคณะ (Cooper et al., 1997) ได้มีการนำ

เดนไดรเมอร์ชนิด fluorinated dendrimer ไปใช้ในการสกัดสารประกอบที่เป็นกลุ่มชอบน้ำ (hydrophilic compounds) จากน้ำให้ไปอยู่ในคาร์บอนไดออกไซด์เหลว โดยเดนไดรเมอร์ชนิดนี้สามารถละลายได้ดีใน supercritical CO_2 ในปัจจุบัน แนวโน้มในการนำเดนไดรเมอร์มาใช้ในงานอุตสาหกรรมเคมีมีมากขึ้น ซึ่งยังคงอยู่ระหว่างการพัฒนาและวิจัย

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร –โดยทั่วไปแล้วเดนไดรเมอร์จะแขวนลอยในตัวทำละลายชนิดที่เป็นแอลกอฮอลล์ โดยส่วนมากใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ซึ่งเมทานอลเป็นสารระเหย จึงทำให้การได้รับเดนไดรเมอร์ทางการหายใจเกิดจากการรับเดนไดรเมอร์ในรูปของไอ ซึ่งเป็นไอระเหยปนมากับเมทานอลและมีความเป็นพิษสูง การได้รับเดนไดรเมอร์ทางการหายใจจัดว่าเป็นเส้นทางหลักในการได้รับสารนี้

อาการที่ได้รับสาร – คัดจมูก ระคายเคืองจมูก และระบบทางเดินหายใจ ปวดหัว มึนงง และอาจหมดสติได้

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – มักไม่ปรากฏการได้รับเดนไดรเมอร์ทางปาก แต่อาจเกิดขึ้นได้โดยรับเป็นสารผสมของเดนไดรเมอร์ที่อยู่ในเมทานอล

อาการที่ได้รับสาร – อาจทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – การใส่ถุงมือทุกครั้งในขณะปฏิบัติงาน และทำความสะอาดร่างกายก่อนรับประทานอาหาร

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การรับเดนไดรเมอร์ทางผิวหนังเกิดขึ้นได้ จากการได้รับไอระเหยของเดนไดรเมอร์โดยตรง รวมทั้งการสัมผัสกับแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีเดนไดรเมอร์แขวนลอย อยู่โดยทั่วไปมักเป็นสารเมธานอล การสัมผัสเดนไดรเมอร์ที่แขวนลอยในตัวทำละลายจึงเป็นเส้นทางหลักในการได้รับ เดนไดรเมอร์เข้าสู่ร่างกายนอกเหนือจากการหายใจเอาไอระเหยเข้าไป

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังในปริมาณมากจะทำให้เกิดการระคายเคือง

การป้องกันการได้รับสาร – การใส่ถุงมือ หน้ากาก และชุดคลุมทุกครั้งในขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับไอระเหยของเดนไดรเมอร์โดยตรง รวมทั้งการสัมผัสกับแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีเดนไดรเมอร์แขวนลอยอยู่ โดยทั่วไปมักเป็นสารเมธานอล การสัมผัสเดนไดรเมอร์ที่แขวนลอยในตัวทำละลายสามารถสัมผัสดวงตาได้

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับในปริมาณมากเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับสารเดนไดรเมอร์ทางการหายใจ ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธ์ ให้สังเกตุอาการที่เกิดขึ้นขณะหายใจ ถ้ามีการไอหรือหายใจลำบากอาจมีการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ สามารถใช้เครื่องช่วยหายใจได้ และนำส่งแพทย์

หากได้รับสารเดนไดรเมอร์ทางปากซึ่งอาจมาจากการได้รับผงของเดนไดรเมอร์ขณะปฏิบัติงาน การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีสติทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด และการดื่มน้ำสะอาดในปริมาณมากๆ หรือดื่มนม 1 ถึง 2 แก้วตามไปเพื่อให้เกิดการอาเจียนเอาสารเคมีออกมา และให้นำส่งแพทย์ แต่หากผู้ป่วยไม่มีสติห้ามให้น้ำหรือสิ่งอื่นใดเข้าปาก ให้นำส่งแพทย์

การได้รับสารเดนไดรเมอร์ทางผิวหนัง ให้แกะผ้าหรือถอดผ้าในบริเวณผิวหนังที่ได้รับการปนเปื้อนออก ล้างผิวหนังด้วยน้ำเปล่าและสบู่ในบริเวณที่สัมผัสเป็นเวลานานอย่างน้อย 15 นาทีโดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง หากมีอาการระคายเคือง หรือผื่นขึ้นต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากสารเดนไดรเมอร์เข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเกิดการระคายเคือง เจ็บปวด หรือบวม หรือแพ้แสง ให้นำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ (Dendrimer) จากการทดสอบของOECD

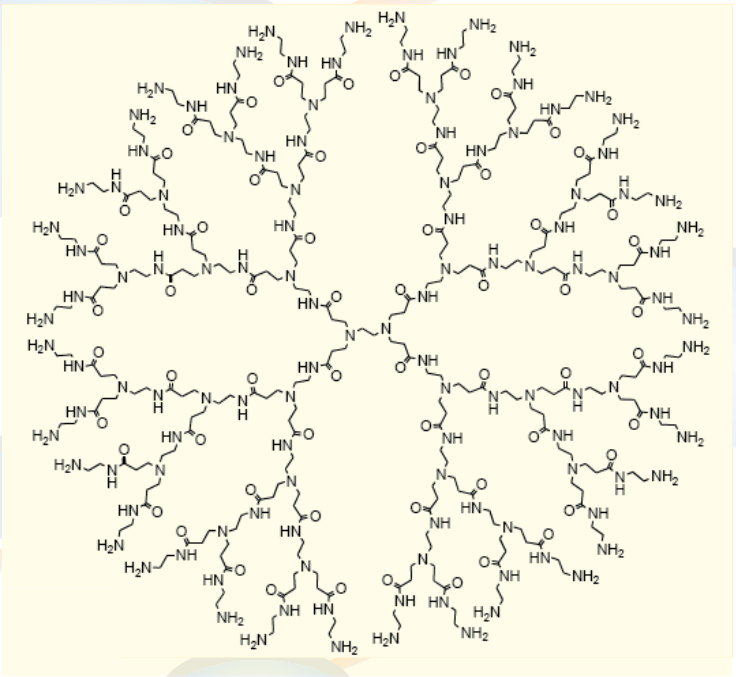
4.1.1 ชนิดของเดนไดรเมอร์ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากประเทศสเปนและประเทศสหรัฐอเมริการ่วมดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ โดย OECD ได้กำหนดชนิดของเดนไดรเมอร์ ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษ คือ Polyamidoamine (PAMAM) ซึ่งเป็นเดนไดรเมอร์ที่มีลักษณะที่เหมาะสมในการใช้งานเป็นวัสดุทางวิทยาศาสตร์ และการประยุกต์ใช้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ โดยเดนไดรเมอร์ PAMAM มีโครงสร้างหลักที่มี alkyl-diamine เป็นแกนกลาง และมีกลุ่มอามีนชนิด tertiary amine เป็นกิ่งสาขา โดยลักษณะเฉพาะของเดนไดรเมอร์จะมีการเพิ่มจำนวนของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นกิ่ง ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

ซึ่งการเพิ่มของพอลิเมอร์กิ่งนั้นจะเรียกว่า generation โดยตารางที่ 10.1 แสดงลักษณะของการเกิดหรือการเพิ่มจำนวนที่ทำให้น้ำหนักโมเลกุลเปลี่ยนไป และมีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งมีกลุ่มโมเลกุลพื้นผิวต่างกันไปด้วย

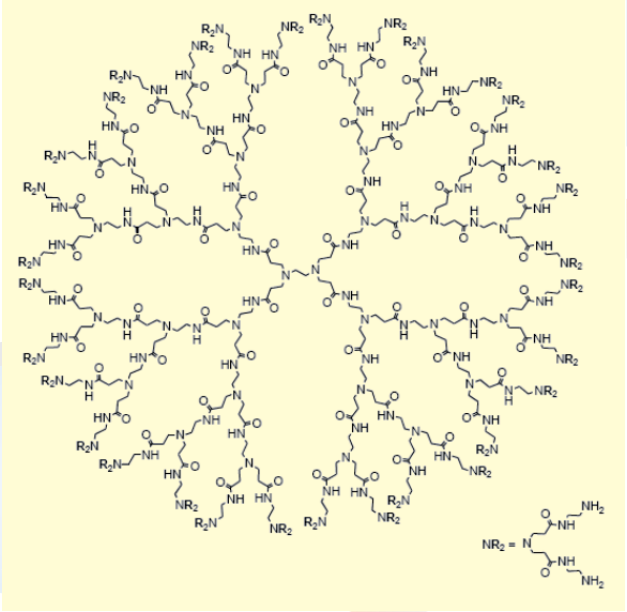
ชนิดของเดนไดรเมอร์ PAMAM ที่กำหนดในการศึกษาความเป็นพิษของ OECD มีดังนี้

- G3-PAMAM-$(NH_2)_{32}$ – มีลักษณะโครงสร้างที่มีจำนวนชั้นวงรอบ 3 generation โดยมีสูตรโครงสร้างแนวเส้นตรงเป็น $(NH_2(CH_2)_2NH_2)$:(G=3); dendri PAMAM$(NH_2)_{32}$ CAS No. 153891-46-1 และมีโครงสร้างเป็น $C_{302}H_{608}N_{122}O_{60}$ น้ำหนักโมเลกุล 6908.94 สารชนิดนี้ใช้เป็นสารหลักในการทดสอบความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ ลักษณะโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 10.4



รูปที่ 10.4 โครงสร้างโมเลกุลของ G3-PAMAM-$(NH_2)_{32}$ (OECD, 2009)

- G4-PAMAM-$(NH_2)_{64}$ – มีลักษณะโครงสร้างที่มีจำนวนชั้นวงรอบ 4 generation โดยมีสูตรโครงสร้างเป็นแนวเส้นตรง $(NH_2(CH_2)_2NH_2)$:(G=3); dendri PAMAM$(NH_2)_{64}$ CAS No. 163442-67-9 และมีโครงสร้างเป็น $C_{622}H_{1248}N_{124}O_{250}$ น้ำหนักโมเลกุล 14214.36 สารชนิดนี้ใช้เป็นสารหลักในการทดสอบความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ ลักษณะโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 10.5



รูปที่ 10.5 โครงสร้างโมเลกุลของ G4-PAMAM-$(NH_2)_{64}$ (OECD, 2009)

- G3-PAMAMs ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลพื้นผิวเป็น (-NH-C(O)$CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$) ถูกกำหนดเป็นสารรองในการทดสอบความเป็นพิษ

ตารางที่ 10.1 ลักษณะโครงสร้าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนักโมเลกุล จำนวนกลุ่มโมเลกุลพื้นผิวของ PAMAM ที่มี NH_2 เป็นโมเลกุลพื้นผิว (OECD, 2009)

Generation	น้ำหนักโมเลกุล	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (อังสตรอม)	จำนวนกลุ่มโมเลกุลพื้นผิว
0	517	15	4
1	1,430	22	8
2	3,256	29	16
3	6,909	36	32
4	14,215	45	64
5	28,826	54	128
6	58,048	67	256
7	116,493	81	512
8	233,383	97	1,024
9	467,162	114	2,048
10	934,720	135	4,096

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

การศึกษาความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์โดยกลุ่มนักวิจัยของประเทศต่างๆ ที่เป็นสมาชิก OECD ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย โดยการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ที่ได้กำหนดไว้ ประกอบด้วย

- การวัดความเป็นพิษเฉียบพลันกับไรน้ำจืด *Daphnnia magna* โดยใช้วิธีการวัดแบบ acute immobilization test (TG 202) และ reproduction test
- การวัดความเป็นพิษที่มีต่อตัวอ่อนของปลา โดยใช้ตัวอ่อนของปลาม้าลาย *Danio rerio* โดยใช้การวัด toxicity test TG 210 หรือ TG 212

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

ลักษณะความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์มีแนวโน้มที่จะเกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระของออกซิเจน (reactive oxygen species, ROS) ซึ่งทำให้เกิดการอักเสบตามมาได้ โดยมีความสัมพันธ์กับการออกซิเดชันของสาร glutathione (GSH) โดยสารชนิดนี้จะเกิดการออกซิเดชันไปเป็น glutathione disulphide (GSSG) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสาร GSH/GSSG จะเป็นดัชนีในการวัดสถานะของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นและระดับการทำลายเซลล์ โดยได้มีงานวิจัยหลายงานที่วัดปริมาณของ ROS ที่เกิดขึ้นจากเดนไดรเมอร์ โดยวัดจากความสัมพันธ์ของ GSH/GSSG นี้

ในการวัดการทำลายเซลล์ที่มีต่อผนังเซลล์ของ PAMAM สามารถทำได้โดยการทดสอบความเป็นพิษแบบ cytotoxicity ซึ่งมีได้หลายแบบ ได้แก่

- การตรวจสอบลักษณะของ plasma membrane เป็นวิธีการหนึ่งในการวัดเอนไซม์ lactate dehydrogenase ซึ่งอาจเกิดการรั่วไหลจากเมมเบรนได้
- การวัด lysosomal membrane นำไปสู่การวัดความเปราะบางของ lysosome เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการวัดความเป็นพิษต่อเซลล์ได้
- การตรวจสอบลักษณะของไมโตคอนเดรียและการหายใจเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่นำมาใช้โดยการวัดการลดลงของเกลือ tetrazolium ที่เปลี่ยนรูปไปเป็น formazan

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

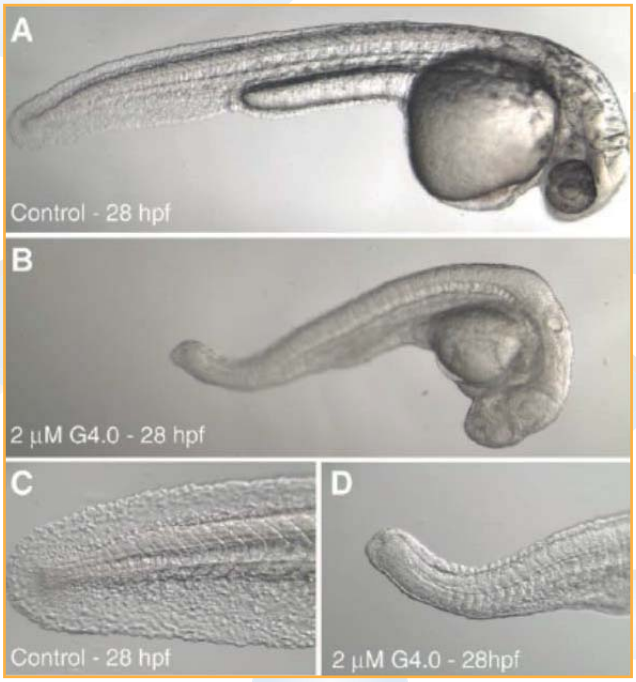
การทดสอบความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ PAMAM กับระบบนิเวศน์ โดยใช้ปลาม้าลาย *Danio rerio* ในงานของ King Heiden และคณะ ได้แสดงถึงความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ที่ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติเฉพาะ ได้แก่ การเกิดของจำนวนชั้นของโมเลกุล และชนิดประจุบนพื้นผิวของเดนไดรเมอร์ โดยได้มีการทดสอบความเป็นพิษของ PAMAM ที่มีจำนวนชั้น 4 generation (หรือ G4 PAMAM) และ PAMAM ที่มีจำนวนชั้น 3.5 generation (หรือ G3.5 PAMAM) ซึ่งพบว่า G4 PAMAM มีความเป็นพิษต่อตัวอ่อนของปลาม้าลายมากกว่า G3.5 PAMAM โดยในการทดสอบกับ G4 PAMAM ปลาม้าลายตายภายใน 48 ชั่วโมงหลังจากได้รับ G4 PAMAM โดยอาการของความเป็นพิษแสดงชัดเจนในรูปที่ 10.6 และ 10.7 การเจริญเติบโตของปลาม้าลายจะ

ลดลง โดยมีขนาดลดลง ในขณะที่ลำตัวจะโค้ง มีส่วนหัวและตาที่มีขนาดเล็กลงอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยเมื่อให้เวลาในการได้รับเดนไดรเมอร์เพิ่มยาวนานขึ้น ความเป็นพิษที่เกิดจะมีระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้น

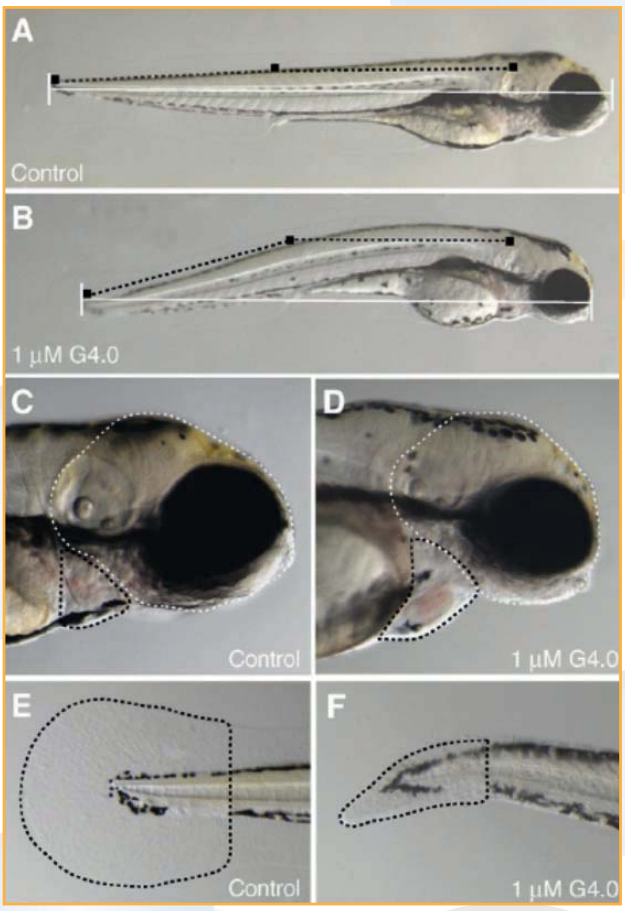
ค่าความเป็นพิษของ G4 PAMAM ที่มีต่อปลาม้าลายเมื่อได้รับเดนไดรเมอร์ในช่วงเวลาต่างๆ กันตามงานวิจัยของ King Heiden และคณะ (King Heiden et al., 2007) เป็นดังนี้

Danio rerio :	LC_{50} – 24 ชั่วโมง	1.0	ไมโครโมลาร์
	LC_{50} – 72ชั่วโมง	0.6	ไมโครโมลาร์
	LC_{50} – 120ชั่วโมง	10.4	ไมโครโมลาร์

นอกจากนี้ยังพบว่าเดนไดรเมอร์ที่มีประจุพื้นผิวเป็นบวกจะส่งผลความเป็นพิษที่มากกว่าเดนไดรเมอร์ที่มีประจุพื้นผิวเป็นลบ



รูปที่ 10.6 ความเป็นพิษของ G4 PAMAM ที่มีต่อตัวอ่อนของปลาม้าลายโดยมีทำให้ปลาม้าลายมีลักษณะลำตัวโค้งและมีขนาดลดลง เมื่อได้รับ G4 PAMAM แล้วเป็นเวลา 6-28 ชั่วโมง (King Heiden et al., 2007)



รูปที่ 10.7 ความเป็นพิษของ G4 PAMAM ที่มีต่อตัวอ่อนของปลาม้าลายโดยมีทำให้ปลาม้าลายมีขนาดลดลง มีขนาดของหัวและตาเล็กลง และมีลำตัวโค้งเมื่อได้รับ G4 PAMAM แล้วเป็นเวลา 6-96 ชั่วโมง (King Heiden et al., 2007)

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

การศึกษาความเป็นพิษกับเซลล์ของเดนไดรเมอร์มุ่งเป้าไปยังการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับการนำเดนไดรเมอร์ใช้ในอุตสาหกรรมยา โดยเฉพาะการนำเดนไดรเมอร์ไปใช้ในระบบนำส่งยา (drug delivery) เป็นหลัก การทดสอบความเป็นพิษจึงมุ่งเป้าไปที่การทดสอบกับเซลล์โดยตรงเมื่อมีการสัมผัสกับเดนไดรเมอร์ เพื่อให้ได้กลไกการทำลายเซลล์ มากกว่าการทดสอบความเป็นพิษที่มีต่ออวัยวะต่างๆจากการได้รับโดยเส้นทางอื่น เช่น ปาก หายใจ หรือการสัมผัส เป็นต้น

งานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงถึงความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ที่ขึ้นอยู่กับการเกิด (generation) ของจำนวนชั้นของเดนไดรเมอร์ โดยหากมีมากกว่า 7 generation จะทำให้เกิดความเป็นพิษในการทดสอบแบบ *in-vitro* ได้ ในขณะที่เดนไดรเมอร์ PAMAM ที่มีจำนวนชั้นน้อยกว่า 5 generation จะสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ ทำให้ความเป็นพิษที่เกิดกับเนื้อเยื่อต่ำ โดย Roberts และคณะ ได้ใช้ PAMAM ที่มี 3, 4 และ 5 generation ในการทดสอบความเป็นพิษกับหนู พบว่า PAMMA ไม่ได้ทำให้เกิดความผิดปกติ หรือการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว หรือความผิดปรกติต่อเนื้อเยื่อแต่อย่างใด ในขณะที่ PAMAM ที่มี 7 generation

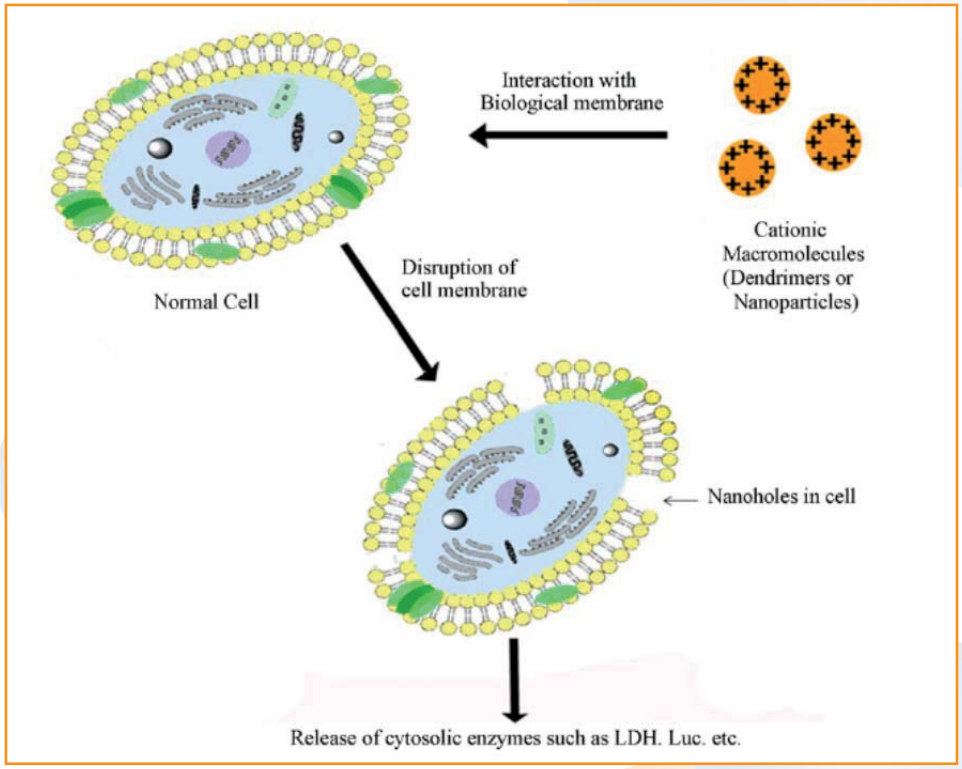
ทำให้เกิดการตายในหนูในร้อยละ 20 ของหนูที่ทดสอบทั้งหมด ในขณะที่หนูที่รอดชีวิตพบว่าเกิดช่องว่างในตับเกิดขึ้น (Roberts et al., 1996) ซึ่งผลวิจัยที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ (Malik et al., 2000, Jevprasesphant et al., 2003, Duncan and Izzo, 2005, Tomalia et al., 2007) โดยพบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนการเกิดของชั้นโมเลกุล หรือ generation ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของเดนไดรเมอร์ และขึ้นอยู่กับชนิดประจุของเดนไดรเมอร์ โดยเดนไดรเมอร์ชนิดที่มีประจุบวก (cationic dendrimers) จะมีความเป็นพิษต่อเซลล์มากกว่าเดนไดรเมอร์ที่มีประจุลบ (anionic dendrimers)

จากงานวิจัยของ Hong และคณะ (Hong et al., 2004 และ 2006) และ งานวิจัยของ Mecke และคณะ (Mecke et al., 2004) ได้ศึกษาถึงกลไกในการทำลายเมมเบรนของเซลล์ที่เกิดจากเดนไดรเมอร์ชนิดที่มีประจุบวก โดยทดสอบกับชั้นไขมัน DMPC lipid bilayers โดยใช้เดนไดรเมอร์ชนิด 5G และ 7G PAMAM ซึ่งพบว่าเดนไดรเมอร์ชนิด 5G PAMAM ไม่ทำให้เกิดช่องว่างแต่ทำให้เกิดการเพิ่มขนาดของการทำลายในเซลล์ให้มีพื้นที่ใหญ่มากขึ้น ในขณะที่เดนไดรเมอร์ชนิด 7G PAMAM ได้ทำให้เกิดช่องว่างในชั้นไขมันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 และ 40 นาโนเมตร

Leroueil และคณะ (Leroueil et al., 2008) ได้ตรวจสอบกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของเดนไดรเมอร์ที่มีขนาดนาโนเมตรนี้กับไขมัน และการทำลายเมมเบรนของชั้นไขมันโดยใช้เครื่อง Atomic Force Microscopy (AFM) โดยได้ทดลองกับสารที่มีขนาดนาโนเมตรหลายชนิด ได้แก่ เดนไดรเมอร์ชนิด PAMAM และ pentanol-core PAMAM รวมทั้งสารอื่นๆ เช่น โปรตีน (TAT) เปปไทด์ (MSI-78) สารพอลิเมอร์ประจุบวก (polycationic polymers) และสารอนินทรีย์ Au-NH_2 และ SiO_2-NH_2 จากงานวิจัยนี้พบว่าสารพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับเมมเบรน และทำให้เกิดการทำลายของเซลล์โดยการสร้างช่องว่างระดับนาโนในเมมเบรนของเซลล์ ทำให้เมมเบรนบางลง และทำให้เมมเบรนเกิดความเสียหาย Jain และคณะ (Jain et al., 2010) ได้อธิบายไว้ว่ากลไกการทำลานี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากเมมเบรนชีวภาพเหล่านี้จะมีประจุลบ ซึ่งทำให้ถูกทำลายได้ง่ายจากการทำปฏิกิริยาของพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกเหล่านี้ เมื่อเมมเบรนเกิดช่องว่างระดับนาโนเกิดขึ้น ซึ่งทำให้เมมเบรนบางลงและเสียหาย จึงทำให้เกิดการรั่วไหลของเอนไซม์ที่อยู่ในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) และทำให้เซลล์เกิดการแตกสลายในที่สุด กลไกในการทำลายเซลล์ของเดนไดรเมอร์ รวมทั้งพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกแสดงในรูปที่ 10.8

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ



รูปที่ 10.8 กลไกการทำลายเซลล์ของเดนไดรเมอร์และสารนาโนพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก (Jain et al., 2010)

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในส่วนความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ได้นำมาจากเอกสารความปลอดภัยของสารเคมีเดนไดรเมอร์ของบริษัท Dendritec, Inc. โดยได้รายงานค่าการทดสอบความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์ตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน ดังนี้

rat:	LD_{50}	> 2500	มิลลิกรัม/กิโลกรัม
rabbit:	LD_{50}	>1000	มิลลิกรัม/กิโลกรัม

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

ยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของเดนไดรเมอร์จากหน่วยงานต่างๆ เช่น OSHA, ACGIH เป็นต้น

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโนแว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 10.9



รูปที่ 10.9 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่นโดยเฉพาะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับเดนไดรเมอร์ที่ละลายในตัวทำละลายในกลุ่มของแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถเป็นไอระเหยและเข้าสู่ร่างกายผ่านการหายใจ ควรใช้หน้ากากประเภทกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

นอกจากนี้หากทำงานกับเดนไดรเมอร์ที่แขวนลอยในตัวทำละลายกลุ่มแอลกฮออล์ต้องเตรียมอุปกรณ์ช่วยหายใจ respirator ไว้ใช้ในการทำงานด้วย หากเกิดการรั่วไหลของสารชนิดนี้ในการปฏิบัติงานต้องใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจดังกล่าว

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตร Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 10.10



(a) ถุงมือ Silver Shield (b) ถุงมือ Butyl (c) ถุงมือ Viton (d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 10.10 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการ

ได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาเดนไดรเมอร์ในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ โดยมีข้อปฏิบัติเฉพาะ ดังนี้

- ต้องเก็บรักษาให้ไกลจากประกายไฟ เนื่องจากเดนไดรเมอร์เกิดการลุกติดไฟและเกิดการเผาไหม้ได้ง่ายหากได้รับประกายไฟ
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารออกซิไดซ์เซอร์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเปอร์คลอเรตสาร เปอร์มังกาเนต เป็นต้น
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากกลุ่มสารประกอบที่มีธาตุฮาโลเจน
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากกลุ่มของโลหะทองแดง ทองเหลือง หรือโลหะผสมทองแดงต่างๆ เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยาของเดนไดรเมอร์ในส่วนที่เป็นอามีนกับกลุ่มโลหะเหล่านี้
- ห้ามเก็บรักษาร่วมกับกรดและด่าง
- หากเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน ควรเก็บในที่ที่อุณหภูมิประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับเดนไดรเมอร์ซึ่งมักแขวนลอยในตัวทำละลายที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย1ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

จากการที่เดนไดรเมอร์มักอยู่ในรูปของสารแขวนลอยในแอลกอฮอล์ จึงทำให้สารละลายผสมนี้มีลักษณะที่ลุกติดไฟได้ง่ายและสามารถระเบิดได้เมื่อได้รับความร้อน หรือมีเปลวไฟ นอกจากนี้อาจเกิดขึ้น

ของสารละลายผสมนี้เป็นไอที่มีลักษณะของสารพิษ สามารถกระจายไปได้ง่ายเป็นวงกว้าง และลุกติดไฟได้อย่างรวดเร็ว จึงต้องระวังอย่างมากในส่วนของการเกิดไฟไหม้ โดยข้อปฏิบัติเพื่อต้องหลีกเลี่ยงอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการลุกไหม้ของเดนไดเมอร์และตัวทำละลาย ได้แก่

- หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
- หลีกเลี่ยงการเกิดเปลวไฟ ประกายไฟ หรืออยู่ใกล้กับวัสดุที่ทำให้เกิดเปลวไฟ เช่น เทียน เป็นต้น
- หลีกเลี่ยงจากการเกิดประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์เชื่อม อุปกรณ์ตัด

เดนไดรเมอร์เมื่ออยู่ในตัวทำละลายแอลกอฮอล์ เมื่อลุกไหม้จะทำให้เกิดกลุ่มก๊าซออกไซด์ของคาร์บอนและออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซพิษ ในการปฏิบัติงานระงับภัยต้องระวังการได้รับก๊าซเหล่านี้

โดยทั่วไปสารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยที่เกี่ยวข้องกับเดนไดรเมอร์ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม ทั้งนี้ต้องมีการตรวจสอบเอกสารความปลอดภัยของสารเคมี (MSDS) ทุกครั้ง

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารเดนไดรเมอร์ไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ US. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป ในขณะที่แอลกอฮอล์จัดเป็นสารไวไฟซึ่งเป็นของเสียอันตรายชนิดหนึ่งในกลุ่มของของเสียอันตราย ข้อแนะนำในการกำจัดเดนไดรเมอร์ในสารละลายผสมให้กำจัดด้วยวิธีการเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูง ที่สามารถเผาตัวทำละลายในกลุ่มของแอลกอฮอล์ได้ โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศพิษ เพื่อบำบัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นขณะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของเดนไดรเมอร์บริษัท Dendritech, INC.

(แสดงในภาคผนวก ก.10)

DENDRITECH, INC.

3110 Schuette Drive · Midland, Michigan 48642 PHONE: (989) 496-2016 FAX: (989) 496-2051
www.Dendritech.com

In case of a Chemical Emergency involving a spill, leak, fire, exposure or accident contact Chemtrec® at 1-800-424-9300

----------SECTION I - PREPARATION/PRODUCT INFORMATION----------

Producer's Name: Dendritech® Inc.
3110 Schuette Drive
Midland, MI 48642
(989)496-2016

Revision Date: April 30, 2003
Preparation Date: February, 1994

Product Name: Polyamidoamine (PAMAM) Dendrimer (***METHANOL SOLUTION***)

----------SECTION II - INGREDIENTS----------

INGREDIENTS	CAS#	%	ACGIH TLV	OSHA PEL	CARCINOGEN LIST IARC	NTP	OSHA	SARA 313
HAZARDOUS INGREDIENTS-								
Methanol	67-56-1	85-50%	200ppm	200ppm	NO	NO	NO	YES
NON-HAZARDOUS INGREDIENTS								
Polyamidoamine	26937-01-9	15-50%	NONE	NONE	NO	NO	NO	NO

HMIS Rating: Health=1, Flammability=3, Reactivity=0, Protection=B

----------SECTION III - PHYSICAL & CHEMICAL DATA----------

Note: Properties based on methanol unless otherwise indicated.

Boiling Pt.- 65°C

Solubility in Water -*Very Soluble

Vapor Pressure- 92mm Hg (20°C)

Vapor Density- 1.11

Evaporation Rate- 4.6 (butyl acetate = 1)

Appearance-*Clear, Slightly Yellow, Viscous Fluid

Odor*- Alcohol smell

Melting/Softening Pt.: -98°C

Odor Threshold- methanol ~200 ppm

pH - Dendrimers have an alkaline (~10) pH

Decomposition Temperature - Not Available

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Alper J,Science251(1991) 1562.

Bielinska AU, Kukowska-Latallo JF, Johnson J, Tomalia DA,Baker JR,Nucleic Acids Res 24 (1996) 2176.

Caminati G, Turro NJ, Tomalia DA,J AmChemSoc 112(1990) 8515.

Cooper AI, Londono JD, Wignall G, McClain JB, Samulski ET, Lin JS, Dobrynin A, Rubinstein M, BurkeALC, Fréchet JMJ, DeSimone JM, Nature 389(1997) 368.

Dykes GM, Brierley LJ, Smith DK, McGrail PT, Seeley GJ, Chemistry 7 (2001) 4730.

Duncan R, Izzo L,Adv DrugDeliv Rev 57 (2005) 2215.

Fischer M, Vögtle F,AngewChem, IntEdn 38(1999) 884.

Frechet JMJ,ProcNatlAcadSci 99 (2002) 4782.

Fréchet JMJ. Science 263(1994) 1710.

Heiden TCK, DenglerE, KaoWJ, HeidemanW, PetersonRE,ToxicolApplPharm 225 (2007) 70.

Hong S, Bielinska AU, Mecke A, Keszler B, Beals JL, Shi X, Balogh L, Orr BG, Baker Jr. JR, Holl MMB,BioconjChem 15 (2004) 774.

Hong S, Hessler JA, Holl, MMB,Leroueil P, Mecke A, Orr BG, J Chem Health Saf 13 (2006) 16.

JainK, KesharwaniP, GuptaU, Jain NK, IntJPharm 394 (2010) 122.

Jansen JFGA, de Brabander van den Berg EMM, Meijer EW, Science 266 (1994) 1226.

Jansen JFGA,Meijer EW,J Am ChemSoc 117(1995) 4417.

Jevprasesphant R, Penny J, Jalal R, Attwood D, McKeown NB,D'Emanuele A,Int J Pharm 252(2003) 263.

Klajnert B, Bryszewska M, ActaBiochimicaPolonica 48 (2001) 199.

Knapen JWJ, van der Made AW, de Wilde JC, van Leeuwen PWNM, Wijkens P, Grove DM, van Koten G,Nature 372(1994) 659.

Kukowska-Latallo JF, Raczka E, Quintana A, Chen CL, Rymaszewski M, Baker JR,Hum Gene Therapy 11 (2000) 1385.

Leroueil PR, Berry SA, Duthie K, Han G, RotelloVM, McNerny DQ, Baker Jr. JR, Orr BG, Holl MM,Nano Lett 8 (2008) 420.

Malik N, Wiwattanapatapee R, Klopsch R, Lorenz K, Frey H, WeenerJW, Meijer EW, Paulus W, Duncan R, J Control Release 65 (2000) 133.

Mecke A, Uppuluri S, Sassanella TJ, Lee DK, Ramamoorthy A, Baker JR, Orr BG, Holl MMB,ChemPhys Lipids 132 (2004) 3.

Mourey TH, Turner SR, Rubenstein M, Fréchet JMJ, Hawker CJ, Wooley KL,Macromolecules 25(1992) 2401.

OECD, Draft Dossier Development Plan: Dendrimers, Working Party on Manufactured Nanomaterials, ENV/CHEM/NANO(2009)4/ADD10, 26 Feb 2009.

Roberts JC, Bhalgat MK, Zera RT, J Biomed MaterRes 30 (1996) 53.

Tomalia DA, Naylor AM, Goddard III WA, AngewChem, IntEdn 29(1990) 138.

Zhuo RX, Du B, Lu ZR,J Controlled Release 57(1999) 249.

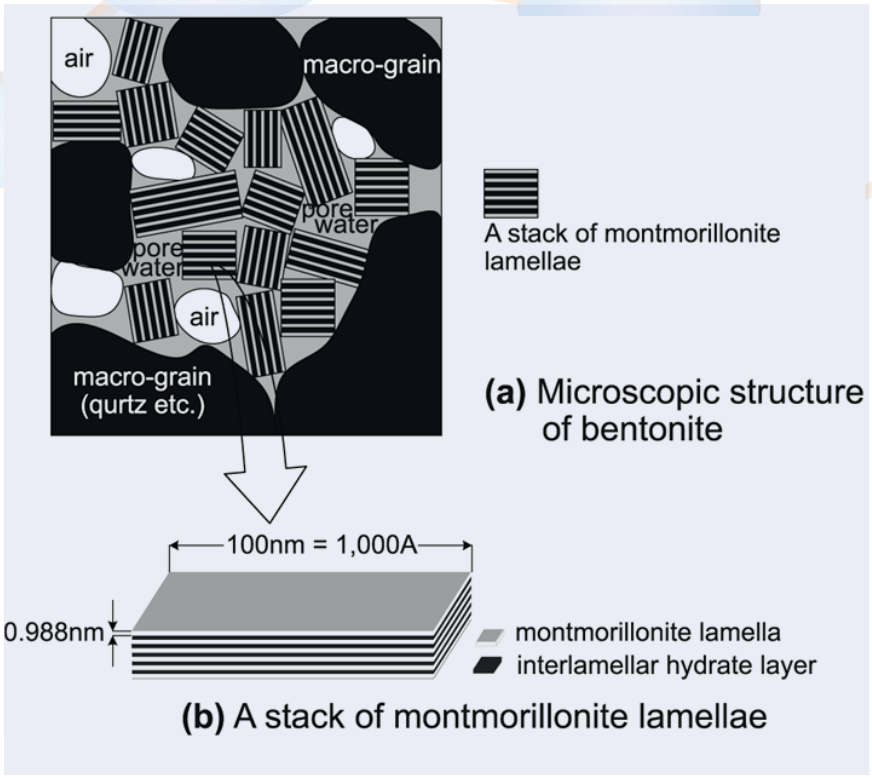
บทที่ 11
นาโนเคลย์ (Nanoclay)

1. ลักษณะสมบัติ

นาโนเคลย์ประกอบด้วยสารกลุ่มแร่หลายประเภทได้แก่ มอนต์มอริลโลไนท์ เบนโทไนท์ และเกาลินไนท์ ในที่นี้ยกตัวอย่างลักษณะสมบัติของเบนโทไนท์ ซึ่งเป็นนาโนเคลย์ที่มีการนิยมมาใช้มากที่สุด

ชื่อ	nanoclay, hydrophilic bentonite
CAS number	1302-78-9
สูตรโมเลกุล	-
ความหนาแน่น	2400 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดเดือด	-
จุดหลอมเหลว	-
ความดันไอ	-
ลักษณะทั่วไป	เป็นก้อนกรานูล มีสีเทาหรือน้ำตาลอ่อน

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี



รูปที่ 11.1 ลักษณะกายภาพทั่วไปของมอนต์มอริลโลไนท์และเบนโทไนท์ซึ่งเป็นกลุ่มสารนาโนเคลย์ (ที่มา : http://www.peterslattery.com)

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

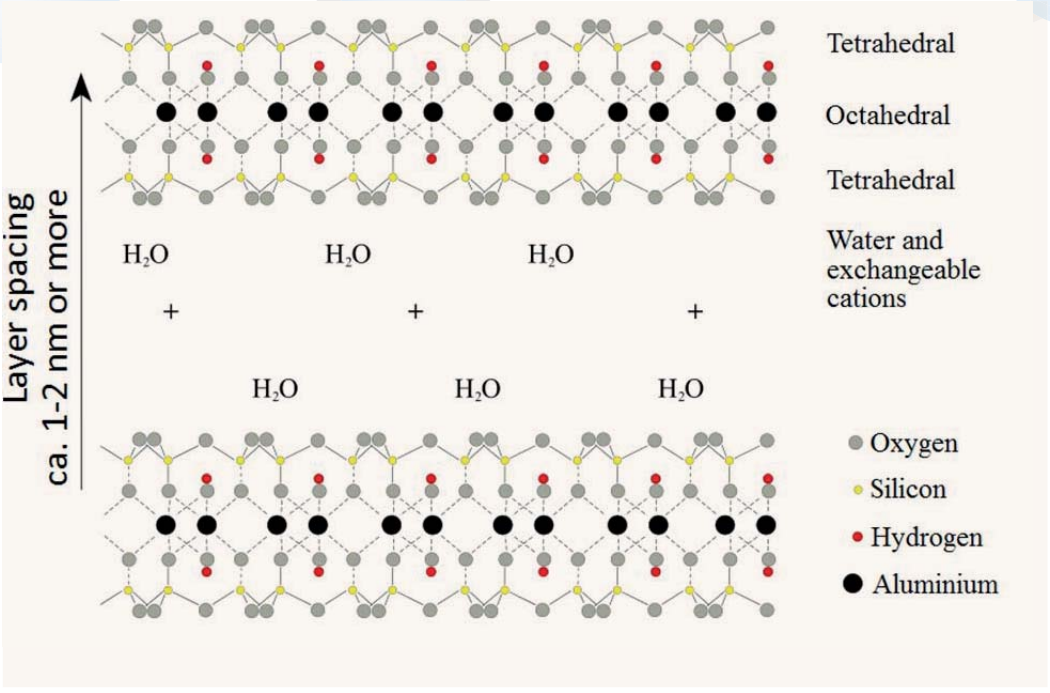
นาโนเคลย์เป็นวัสดุนาโนชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ในกลุ่มของแร่ montmorillonite ซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ มอนต์มอริลโนไนท์ (montmorillonite) เบนโทไนท์ (bentonite)

ลักษณะโดยทั่วไปของโครงสร้างของนาโนเคลย์จะประกอบด้วยชั้นกลุ่มแร่ smectite ที่ลักษณะเป็นแผ่นวางเรียงในลักษณะ 2:1 โดยแผ่นแต่ละแผ่นจะมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตร ในขณะที่มีขนาดที่พื้นผิวประมาณ 300-600 นาโนเมตร ลักษณะทางเคมีของนาโนเคลย์จะเป็นสารในกลุ่มชอบน้ำ hydrophilic และสามารถนำมาปรับปรุงโครงสร้างให้เป็นสาร organophilic ได้ซึ่งทำให้มีลักษณะสมบัติใกล้กับการเป็นสารพอลิเมอร์อินทรีย์ (organic polymers) นาโนเคลย์ที่นิยมใช้งานกันมากคือ เบนโทไนท์ เนื่องจากราคาถูกและหาได้ง่ายกว่ามอนต์มอริลโลไนท์

มอนต์มอริลโลไนท์เป็นสารประกอบของ hydrated sodium calcium aluminium magnesium silicate hydroxide โดยมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น

$(Na,Ca)_{0.33}(Al,Mg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2{\cdot}nH_2O$

ซึ่งมีส่วนผสมของโปตัสเซียม เหล็ก และไอออนประจุบวกอื่นๆ เป็นส่วนประกอบ โดยอัตราส่วนของไอออนประจุบวกที่มีในมอนต์มอริลโลไนท์จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของมอนต์มอริลโลไนท์นั้นๆ โครงสร้างของสารนี้จะเป็นลักษณะเป็นชั้นของ Octahedral สลับกับ tetrahedral ในแนวระนาบ โดยมีน้ำและไอออนประจุบวกแทรกอยู่ตรงกลางดังรูปที่ 11.2 โดยมีระยะห่างของชั้นประมาณ 1-2 นาโนเมตรหรือมากกว่า



รูปที่ 11.2 โครงสร้างทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนท์

เบนโทไนท์ (bentonite) เป็นสารประกอบของ hydrated aluminium silicate ในลักษณะเดียวกันกับมอนต์มอริลโลไนท์ และมีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกัน ทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ เบนโทไนท์โดยทั่วไปอยู่ในรูปของแคลเซียม และ โซเดียมเบนโทไนท์ โครงนร้างของเบนโทไนท์ที่พบโดยทั่วไปจะเป็นชนิด Dioctahedral โครงสร้างผลึกเป็นแบบสามชั้น T-O-T คือมีชั้น Alumina octahedral sheet แทรกอยู่ระหว่าง Silica tetrahedral 2 ชั้น โดยมีน้ำแทรกอยู่ระหว่าง Layer เนื่องจากแรงยึดระหว่าง sheet ของโครงสร้างแต่ละชั้นจะมีค่าน้อยทำให้น้ำหรือของเหลวสามารถแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นได้

การที่อนุภาคของมอนต์มอริลโลไนท์และเบนโทไนท์มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวมากทำให้สารในกลุ่มนี้มีคุณสมบัติพิเศษคือการ swelling, Bending strength สูง, Bleaching (การฟอกสี, กำจัดสี), การเปลี่ยนแปลงความข้นเหลว (Thixotropy) โดยมีความหนืดสูงขึ้น เมื่อถูกตั้งทิ้งไว้โดยไม่มีการรบกวน

ในประเทศไทยนั้นมีแหล่งเบนโทไนท์ที่สำคัญที่ ตำบลลำนารายณ์ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี และที่อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมเซรามิก** ในอุตสาหกรรมชนิดนี้สารในกลุ่มของนาโนเคลย์จะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุ plasticizer เพื่อเสริมความแข็งแรงของชิ้นงานก่อนเผาช่วยเป็นตัวช่วยกระจายลอยตัว เพื่อไม่ให้สีเคลือบตกตะกอนได้ง่ายช่วยปรับเรื่องการแห้งตัวของสีเคลือบและเอนโกบซึ่งทำให้การเคลือบผลิตภัณฑ์เรียบขึ้น และไม่มีปัญหาหลังเผาช่วยให้สีเคลือบยึดเกาะกับเนื้อดินได้ดี แต่การเติมเบนโทไนท์นั้นต้องระมัดระวังในการใช้ไม่ควรเติมลงไปในปริมาณที่มากเกินไปเพราะคุณสมบัติที่ดูดน้ำ (Swell out) ของเบนโทไนท์นั้นจะส่งผลต่อการไหลตัวของน้ำดินและสีเคลือบ และค่าความหนืดที่เปลี่ยนไปได้
- **อุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง** สารในกลุ่มของนาโนเคลย์จะถูกนำมาใช้เป็นสารดูดซับในการเป็นวัสดุรองพื้น composite liner การสร้างเขื่อนและกันซึมต่างๆ และการนำมาทำเป็นโคลนเจาะสำหรับขุดบ่อน้ำบาดาล โดยเบนโทไนท์มีคุณสมบัติเป็นตัวหล่อลื่นและกันการแพร่ผ่าน จึงนิยมใช้กันมากในการเป็นหัวเจาะโคลนและใช้อุดหรือยาแนวขอบเขื่อนทำนบ ใช้ผสมน้ำ เพื่อหล่อเลี้ยงหัวเจาะในการเจาะบ่อบาดาล หรือเจาะบ่อน้ำมัน สร้างเขื่อน และกันซึมต่าง ๆช่วยในด้านการหล่อลื่น และกั้นน้ำไม่ให้ไหลผ่านในหลุมที่ขุดเจาะได้อย่างดีเหมาะสำหรับงานขุดเจาะทุกประเภท
- **การทำแบบหล่อโลหะ** นิยมใช้งานกันมากในการเป็นทรายหล่อหรือแบบหล่อโลหะ รวมไปถึงการประสานแร่ให้เป็นก้อนก่อนถลุง เบนโทไนท์มีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นตัวประสานในการเตรียมทรายหล่อแบบซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการขึ้นรูปให้ความแข็งแรงและมีความสามารถในการทนความร้อนได้ดียิ่งขึ้น
- **อุตสาหกรรมอาหาร** นิยมใช้เป็นวัสดุชนิดหนึ่งการเป็นสารปรุงแต่งอาหาร โดยใช้ในกระบวนการ clarification และการกำจัดโปรตีนในเครื่องดื่มจำพวกน้ำผลไม้หรือไวน์ และใช้ในการเป็นวัสดุส่วนเติมให้กับวัสดุหีบห่อในกลุ่มของพลาสติกหรือกระดาษแข็ง
- **อุตสาหกรรมเกษตร** เบนโทไนท์ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรอย่างแพร่หลาย เช่น การเป็นสารปรับปรุงดินเป็นฟิลเลอร์ของปุ๋ยเคมี เป็นธาตุอาหารเสริมในปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ใช้ป้องกันการรั่วซึม

ของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ บ่อเก็บน้ำการเกษตรและจากการที่เบนโทไนท์มีคุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นได้ดี จึงมีการนำเบนโทไนท์ไปใช้ในฟาร์มปศุสัตว์อีกด้วย

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วนาโนเคลย์จะอยู่ในรูปของก้อนดิน ซึ่งเป็นอนุภาคดินที่เกาะรวมตัวกัน และมีโอกาสฟุ้งกระจายในรูปของฝุ่นดิน ทำให้มีโอกาสในการได้รับสารเข้าสู่รายการทางการหายใจได้ง่าย การได้รับเข้าสู่ร่างกายโดยทางการหายใจจัดว่าเป็นเส้นทางหลักในการได้รับสารนี้

อาการที่ได้รับสาร – คัดจมูก ระคายเคืองจมูก และระบบทางเดินหายใจ ปวดหัว มึนงง และอาจหมดสติได้

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน ในที่ปฏิบัติงานควรมีการระบายอากาศที่ดี หรือหากทำงานกับนาโนเคลย์ควรทำภายใต้ตู้ดูดควัน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – มีโอกาสเกิดขึ้นจากการได้รับทางการหายใจและเข้าสู่ปากไปพร้อมๆ กัน หรือการไม่ใช้ถุงมือขณะสัมผัสและไม่ล้างมือก่อนการรับประทานอาหาร ซึ่งมีโอกาสที่นาโนเคลย์จะติดมือและปะปนไปกับอาหารหรือน้ำดื่มเข้าสู่ร่างกายได้

อาการที่ได้รับสาร – อาจทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – การใส่ถุงมือทุกครั้งในขณะปฏิบัติงาน และทำความสะอาดร่างกายก่อนรับประทานอาหาร

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – มีโอกาสเกิดขึ้นจากการได้รับทางการหายใจและเข้าสู่ปากไปพร้อมๆ กัน หรือการไม่ใช้ถุงมือขณะสัมผัสและไม่ล้างมือก่อนการรับประทานอาหาร ซึ่งมีโอกาสที่นาโนเคลย์จะติดมือและปะปนไปกับอาหารหรือน้ำดื่มเข้าสู่ร่างกายได้

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังในปริมาณมากจะทำให้เกิดการระคายเคือง

การป้องกันการได้รับสาร – การใส่ถุงมือทุกครั้งในขณะปฏิบัติงาน และทำความสะอาดร่างกายก่อนรับประทานอาหาร

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – การรับนาโนเคลย์ทางตาเกิดขึ้นได้ และที่มีโอกาสได้รับมากคือการรับในรูปของฝุ่นเข้าสู่ดวงตาหากไม่มีการสวม แว่นตาขณะปฏิบัติงาน

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับฝุ่นผงนาโนเคลย์เข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

การป้องกันการได้รับสาร – การหน้ากาก แว่นตาเพื่อป้องกันฝุ่นเข้าสู่ดวงตา

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับสารนาโนเคลย์ทางการหายใจ ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธ์ ให้สังเกตอาการที่เกิดขึ้นขณะหายใจ ถ้ามีการไอหรือหายใจลำบากอาจมีการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ สามารถใช้เครื่องช่วยหายใจได้ และนำส่งแพทย์

หากได้รับสารนาโนเคลย์ทางปากซึ่งอาจมาจากการได้รับผงของนาโนเคลย์ขณะปฏิบัติงาน การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีสติทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด และการดื่มน้ำสะอาดในปริมาณมากๆ หรือดื่มนม 1 ถึง 2 แก้วตามไปเพื่อให้เกิดการอาเจียนเอาสารเคมีออกมา และให้นำส่งแพทย์ แต่หากผู้ป่วยไม่มีสติห้ามให้น้ำหรือสิ่งอื่นใดเข้าปาก ให้นำส่งแพทย์

การได้รับสารนาโนเคลย์ทางผิวหนัง ให้ล้างผิวหนังด้วยน้ำเปล่าและสบู่ในบริเวณที่สัมผัสเป็นเวลานานอย่างน้อย 15 นาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง หากมีอาการระคายเคือง หรือผื่นขึ้นต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากสารนาโนเคลย์เข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเกิดการระคายเคือง เจ็บปวด หรือบวม หรือแพ้แสง ให้นำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของนาโนเคลย์ (Nanoclay) จากการทดสอบของ OECD

4.1.1 ชนิดของนาโนเคลย์ (Nanoclay) ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของนาโนเคลย์ได้อ้างอิงเอกสารของ OECD (OECD, 2011) เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากกลุ่มอุตสาหกรรม BIAC ในนามของ Nanotechnology Industries Association เป็นกลุ่มนักวิจัยหลักในการดำเนินการวิจัยเพื่อหาความเป็นพิษของนาโนเคลย์ โดย OECD ได้กำหนดชนิดของนาโนเคลย์ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษ คือ เบนโทไนท์ รหัสทดสอบ NM-600 โดยเป็นสารที่มี CAS No.1302-78-9 หรือ EINECS 215-108-5 ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็น

Hydrated Sodium Calcium Aluminium Magnesium Silicate Hydroxide

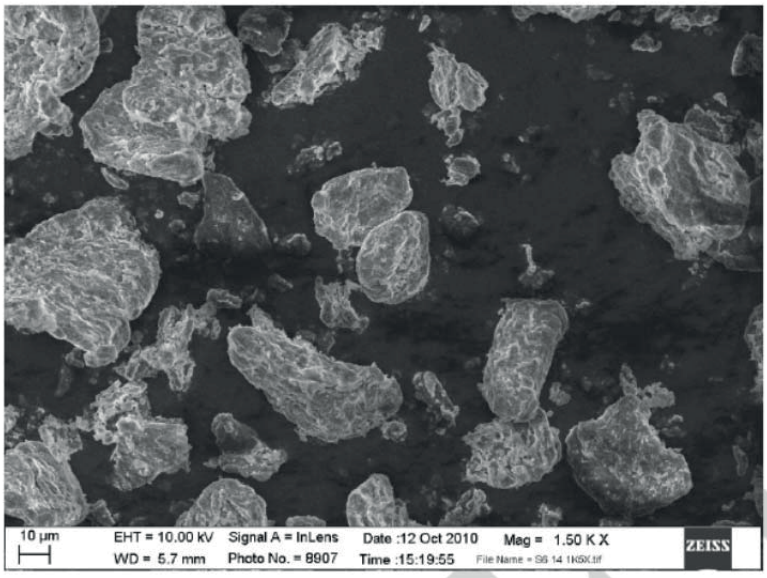
$C_x + (Si_{n1}Al_{8-n1})(Al_{n1+(n2-8)})\ Fe(III)_{n3}Fe(II)_{n4}Mg_{n5}M_{n6}O_{20}(OH)_4.nH_2O$

โดย C เป็นไอออนประจุบวกที่สามารถชดเชยกับประจุลบ โดยทั่วไปได้แก่ Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}ซึ่งมีประจุ x^{+} อยู่ระหว่างค่า 0.5-1.2

n_i= 1,2,3,4,5,6 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธ์จากสมการสมดุลเคมี stoichiometric coefficient ที่มีไอออนประจุบวกแล้ว

ผลรวม n's = 12 สำหรับดินเหนียวที่มีโครงสร้าง dioctahedral clays ของสาร divalent M

ผลรวม n's = 14 สำหรับดินเหนียวที่มีโครงสร้าง trioctahedral clays ของสาร monovalent M สารเบนโทไนท์ที่ใช้อาจมีส่วนผสมของ crystalline silica ในปริมาณมากถึง 3% ได้ ภาพของนาโนโคลย์แสดงในรูปที่ 11.3



รูปที่ 11.3 ภาพนาโนโคลย์ที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope

4.1.2 การศึกษาความเป็นพิษของนาโนเคลย์

4.1.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

การศึกษาความเป็นพิษของนาโนเคลย์โดยกลุ่มนักวิจัยของ BIAC ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย โดยการทดสอบความเป็นพิษต่อสาหร่าย Freshwater Green Alga และ Cyanobacteria โดยใช้วิธีการวัดแบบ OECD 201 Guideline for testing of chemicals โดยสาหร่ายสีเขียวที่ใช้ทดสอบคือ *Pseudokirchneriella subcapitata* โดยให้มีการได้รับนาโนเคลย์เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยสาหร่ายถูกเลี้ยงไว้ในอาหารเลี้ยงเชื้อและให้ได้รับสารที่ความเข้มข้นเป็น 1.2, 3.7, 11.0, 33.0 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตและผลผลิตของสาหร่ายสีเขียว โดยได้ค่าความเป็นพิษ EC_{50}, EC_{10} และ NOEC ดังนี้

ค่าความเป็นพิษของนาโนเคลย์ต่อผลผลิตของสาหร่ายสีเขียว

Pseudokirchneriella subcapitata :	EC_{50}	39.23 มิลลิกรัมต่อลิตร
	EC_{10}	5.62 มิลลิกรัมต่อลิตร
	NOEC	3.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าความเป็นพิษของนาโนเคลย์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียว

Pseudokirchneriella subcapitata :	EC_{50}	248.8 มิลลิกรัมต่อลิตร
	EC_{10}	29.57 มิลลิกรัมต่อลิตร
	NOEC	33.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในขณะที่การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันกับไรน้ำจืด *Daphnnia magna* โดยใช้วิธีการวัดแบบ acute immobilization test (TG 202) ในช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ความเข้มข้นของนาโนเคลย์ที่ใช้เป็น 1.2, 3.7, 11.0, 33.0 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่ามีการตายของไรน้ำจืดเฉพาะที่ความเข้มข้นของนาโนเคลย์เป็น 33 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าความเป็นพิษที่ได้เป็น

Daphnia magna : NOEC ≥100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในส่วนของการทดสอบความเป็นพิษกับปลา *Danio rerio* ตามวิธีการทดสอบ OECD 203 guideline for testing of chemicals – fish, acute toxicity test โดยใช้ความเข้มข้นของนาโนเคลย์ที่ 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดสอบต่อเนื่องเป็นเวลา 96 ชั่วโมง ซึ่งพบว่านาโนเคลย์ไม่ทำให้เกิดการตายหรือมีลักษณะผิดปรกติเกิดขึ้น โดยค่าความเป็นพิษที่ได้เป็น

Danio rerio : NOEC ≥100 มิลลิกรัมต่อลิตร

นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบความเป็นพิษของนาโนเคลย์ต่อริ้นน้ำจืด *Chironomidae larvae* ตามมาตรฐานทดสอบ OECD 219 Sediment-Water Chironomid Toxicity Using Spiked Water โดยใช้ความเข้มข้นของนาโนเคลย์ที่ 1.2, 3.7, 11.0, 33.0 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่านาโนเคลย์ไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อริ้นน้ำจืด ซึ่งทำให้ได้ค่าความเป็นพิษของนาโนเคลย์ต่อริ้นน้ำจืดเป็น

Chironomidae larvae : NOEC ≥100 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.1.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

ลักษณะความเป็นพิษของนาโนเคลย์อยู่ระหว่างการทดสอบ

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของนาโนเคลย์จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ยังไม่มีการรายงานความเป็นพิษของเบนโทไนท์ต่อระบบนิเวศน์

4.2.2 ความเป็นพิษต่อเซลล์

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

งานวิจัยจำนวนหนึ่งได้มีการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของเบนโทไนท์ โดยทดสอบ pulmonary fibrosis และ pneumoconiosis ที่เกิดขึ้นกับคนงานของเหมืองและขณะทำงานกับเบนโทไนท์ โดยพบว่าอนุภาคเบนโทไนท์มีผลึกซิลิกาเป็นส่วนประกอบน้อยกว่าร้อยละ 10 ในส่วนผสมของเบนโทไนท์ โดยผลึกซิลิกานี้ถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งตามมาตรฐานของ International Agency for Research on Cancer (IARC) โดยการเป็นสารก่อมะเร็งของผลึกซิลิกานี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของวัสดุนั้นๆ หรือ inherent characteristics of the material (IARC, 1997) และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางชีวภาพของผลึกควอตซ์ซึ่งมีความแตกต่างกันมาก (Donaldson et al., 1998, Fubini et al., 2001, Schins et al., 2002)

ในส่วนการทดสอบด้าน *In vitro* และ *in vivo* ของเบนโทไนท์ Nagalakshmi และคณะ ได้ทำการทดสอบมุ่งเป้าไปในส่วนของผลเชิงลบในด้านความเป็นพิษทางพันธุกรรมของซิลิกาที่มีในเบนโทไนท์ โดยพบความสัมพันธ์ของปริมาณการได้รับซิลิกาต่อการลดลงของการเกิด micronucleus เมื่อทดลองกับเนื้อเยื่อของสัตว์ประเภทต่างๆ ได้แก่ เนื้อเยื่อที่เป็นเส้นใยของปอดของหนู Chinese hamster เนื้อเยื่อที่เป็นเซลล์รังไข่ของ Syrian hamster และเซลล์ปอด embryo lung cell ของมนุษย์ (Nagalakshmi et al., 1995) โดยงานวิจัยของ Leigh และคณะ (Leigh et al., 2000) ได้รายงานการตกค้างของซิลิกาแม้ว่าในปริมาณน้อยที่พบในส่วนของ intratracheal ของปอดได้ทำให้เกิดการสร้าง micronucleus เกิดขึ้นในหนู อนุภาคซิลิกาแบบ alpha-quartz ได้เหนี่ยวนำให้เกิดการทำลาย DNA ทั้งการทดสอบแบบ *in vitro* และ *in vivo* (Schinset et al., 2002, Fanizza et al., 2007, Knaapen, 2002) นอกจากนี้ในงานวิจัยหลายงานได้รายงานถึงการกลายพันธ์ pre-mutagenic ของเนื้อเยื่อ 8-hydroxydeoxyguanosine (8-OHdG) ที่ผิดปกติทางพันธุกรรมในปอดของหนูหลังจากมีการตกค้างของควอตซ์ในปอด

ในส่วนของความเป็นพิษต่อพันธุกรรมของเบนโทไนท์โดยตรง พบว่าเบนโทไนท์ทำให้เกิดความเป็นพิษและการอักเสบด้วยอนุมูลอิสระต่อเซลล์ human B lymphoblast เมื่อทำการทดสอบแบบ *in vitro* (Zhang et al., 2010) โดยในการติดตามผลที่เกิดในมนุษย์โดยตรวจการเปลี่ยนแปลงที่มีต่อพันธุกรรมของเซลล์เม็ดเลือดขาว human B lymphoblast ซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคเบนโทนไนท์โดยใช้วิธีทดสอบแบบ comet assay และ cytokinesisblock micronucleus (CBMN) แบบ *in vitro* โดยให้เซลล์ได้รับอนุภาคเบนโทไนท์ที่ความเข้มข้น 30, 60, 120 และ 240 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง โดยอนุภาคเบนโทไนท์มีส่วนประกอบของควอตซ์ร้อยละ 6.80±0.20 และ 6.50 ± 0.10 ตามลำดับ โดยให้ยิปซัม และควอตซ์ชนิด DQ-12 เป็นสารควบคุม ผลจากการทดสอบแบบ comet assay พบว่าอนุภาคเบนโทไนท์ทั้งแบบ native และ active ได้ทำให้เกิดการทำลาย DNA ขึ้นในปริมาณที่มากกว่าสารควบคุม และการทำลาย DNA นี้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นและช่วงเวลาที่ได้รับสาร ผลจากการทดสอบแบบ CMBN assay ได้แสดงว่าอนุภาคเบนโทไนท์ทั้งแบบ native และ active ได้ทำให้เกิด micronuclei ในปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารควบคุมชนิดยิปซัม ในขณะที่ไม่เกิดความแตกต่างของ micronucleus frequency (MNF) เมื่อเปรียบเทียบกับควอตซ์ เมื่อพิจารณาลักษณะของเบนโทไนท์พบว่าเบนโทไนท์ที่ละลายน้ำได้ไม่ได้เป็นส่วนที่ส่งผลให้เกิดการทำลาย DNA และ micronuclei ส่วนที่ส่งผลต่อความเป็นพิษของเบนโทไนท์มาจากเบนโทไนท์ที่ละลายน้ำไม่ได้ (Meibian et al., 2012)

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

ยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของนาโนเคลย์จากหน่วยงานต่างๆ เช่น OSHA, ACGIH เป็นต้น

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 11.4



รูปที่ 11.4 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่น โดยเฉพะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 11.5



(a) ถุงมือ Silver Shield



(b) ถุงมือ Butyl



(c) ถุงมือ Viton



(d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 11.5 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษานาโนเคลย์ในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ ไว้ในสถานที่ที่มีการระบายอากาศได้ดี และไม่ให้มีการสะสมของฝุ่นนาโนเคลย์เกิดขึ้นได้

ข้อกำหนดเฉพาะในการเก็บรักษานาโนเคลย์ มีดังนี้

- ให้เก็บสารนี้ห่างจากสารในกลุ่มของอะลูมินัมออกไซด์ (aluminium oxide) และซิลิกอนออกไซด์ (silicon oxide)
- ให้เก็บสารนี้ห่างจากกลุ่มสารออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต สารในกลุ่มของเปอร์คลอเรต เป็นต้น

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

จากการที่นาโนเคลย์มักอยู่ในรูปของอนุภาคดิน ที่โอกาสฟุ้งกระจายเป็นฝุ่น ซึ่งหากมีการสะสมของฝุ่นนาโนเคลย์ในปริมาณมาก และอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการลุกไหม้เนื่องจากการสะสมของฝุ่นเหล่านี้ได้ นอกจากนี้หากสารชนิดนี้ลุกติดไฟ อาจทำให้เกิดควันพิษเกิดขึ้นได้ ในการดับเพลิงจึงควรต้องสวมชุดดับเพลิงและมีอุปกรณ์ช่วยหายใจด้วย รวมทั้งหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารชนิดนี้ขณะดับเพลิง

ข้อปฏิบัติเพื่อต้องหลีกเลี่ยงอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการลุกไหม้ของนาโนเคลย์ ได้แก่

- หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
- หลีกเลี่ยงการเกิดเปลวไฟ ประกายไฟ หรืออยู่ใกล้กับวัสดุที่ทำให้เกิดเปลวไฟ เช่น เทียน เป็นต้น
- หลีกเลี่ยงจากการเกิดประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์เชื่อม อุปกรณ์ตัด

โดยทั่วไปสารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยที่เกี่ยวข้องกับนาโนเคลย์ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม ทั้งนี้ต้องมีการตรวจสอบเอกสารความปลอดภัยของสารเคมี (MSDS) ทุกครั้ง

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารนาโนเคลย์ไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ US. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) ตามข้อกำหนดของ Directive 67/548/EEC และ Regulation (EC) No. 1272/2008 จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีการฝังกลบหรือเผาในเตาเผา โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศพิษ เพื่อบำบัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นขณะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของนาโนเคลย์-เบนโทไนท์ ของบริษัท Sigma-Aldrich

(แสดงในภาคผนวก ก.11)

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006
Version 4.1 Revision Date 13.01.2012
Print Date 16.06.2012
GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

1.1 Product identifiers

Product name : Nanoclay, hydrophilic bentonite

Product Number : 682659
Brand : Aldrich
CAS-No. : 1302-78-9

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd
1 Science Park Road
#02-14 The Capricorn
Singapore Science Park Road II
SINGAPORE 117528
SINGAPORE

Telephone : +65 6779 1200
Fax : +65 6779 1822

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : 1-800-262-8200

2. HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture

Not a hazardous substance or mixture according to Regulation (EC) No. 1272/2008.
This substance is not classified as dangerous according to Directive 67/548/EEC.

2.2 Label elements

The product does not need to be labelled in accordance with EC directives or respective national laws.

2.3 Other hazards - none

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.1 Substances

Synonyms : Montmorillinite clay, bentonite
Nanomer® PGV
Nanomer® clay

Formula : H2Al2O6Si
Molecular Weight : 180,1 g/mol

4. FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

If inhaled
If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration.

In case of skin contact
Wash off with soap and plenty of water.

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Donaldson K, Borm PJ, Ann OccupHyg 42 (1998) 287.

Fanizza C, Ursini CL, Paba E, Ciervo A, Di-Francesco A, Maiello R, De- Simone P, Cavallo D, Toxicol In Vitro 21 (2007) 586.

Fubini B, Fenoglio I, Elias Z, Poirot O, J Environ PatholToxicolOncol 20 (2001) 95.

IARC, Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, Silica, Some silicates, Coal Dust and Para-aramid Fibrils, vol. 68, 1997.

Knaapen AM, Albrecht C, Becker A, Höhr D, Winzer A, Haenen GR, Borm PJ, Schins RP, Carcinogenesis 23 (2002) 1111.

Leigh J, Bonin A, Wang H, InhalToxicol 12 (2000) 199.

MeibianZ, XiaoxueL, YezhenL, XinglinF, QingC, MingluanX, JiliangH,Mutat Res 720 (2011) 62.

Nagalakshmi R, NathJ, Ong T, Whong WZ, Mutat Res 335 (1995) 27.

OECD, Draft Dossier Development Plan, Nanoclay, the 9th Working Party on Manufactured Nanomaterials, 24 November 2011.

SchinsRP, DuffinR, HöhrD, KnaapenAM, ShiT, WeishauptC, StoneV, DonaldsonK, BormPJ, Chem ResToxicol 15 (2002) 1166.

SchinsRP, KnaapenAM, CakmakGD, ShiT, WeishauptC, BormPJ, MutatRes 517 (2002) 77.

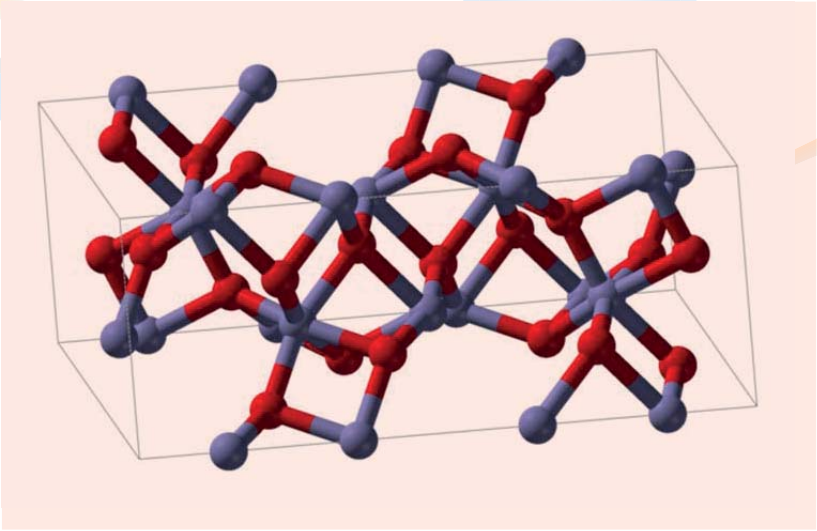
ZhangMB, LuYZ, LiXX,ChenQ, LuLX, XingML, ZouH, HeJL, ChemBiol Interact 183 (2010) 390.

บทที่ 12
นาโนไอรอนออกไซด์ (Fe2O3)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อตามระบบ IUPAC	feric oxide หรือ iron nanoparticles
CAS number	1309-37-1
สูตรโมเลกุล	Fe_2O_3
น้ำหนักโมเลกุล	159.68 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	5.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	-
จุดเดือด	-
ลักษณะทั่วไป	ของแข็งผงสีน้ำตาลแดง
	สารไม่ละลายน้ำ (water insoluble)
	สารไม่ลุกติดไฟ

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี



รูปที่ 12.1 ลักษณะโครงสร้างของอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์
(ที่มา :http://en.wikipedia.org/wiki/File:Haematite-unit-cell-3D-balls.png)

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

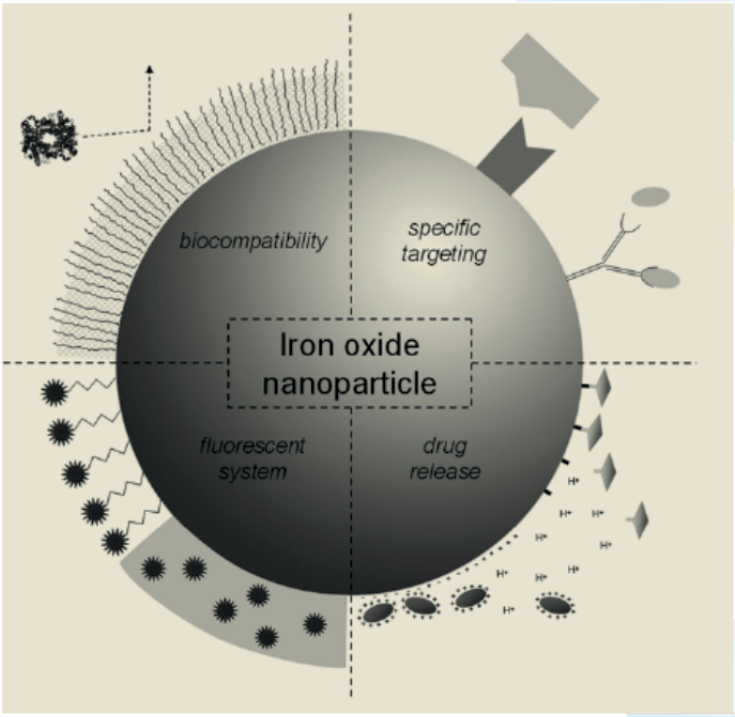
ไอรอนออกไซด์เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการใช้งานสูงมากโดยเฉพาะด้านการแพทย์ ซึ่งความนิยมนี้มาจากคุณสมบัติของการเป็นวัสดุแม่เหล็กที่เหนือกว่าวัสดุอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นวัสดุออกไซด์ หรือโลหะบริสุทธิ์ ไอรอนออกไซด์หลายชนิดมีในธรรมชาติและสามารถสังเคราะห์สร้างขึ้นมาได้แต่ชนิดที่มีการใช้งานกันมากมีสองชนิด คือ maghemite (γ-Fe_2O_3) และ magnetite (Fe_3O_4) ซึ่งมีการนำมาใช้งานกันอย่างมากในทางการแพทย์ ซึ่งมาจากคุณสมบัติของการมีโมเมนต์แม่เหล็กสูง การมีเสถียรภาพทางเคมีเมื่ออยู่ในร่างกาย มีความเป็นพิษต่ำ และสามารถใช้งานได้ง่าย (Mahmoudi et al., 2009)

วัสดุนาโนไอรอนออกไซด์เป็นวัสดุนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นได้จากหลายวิธีการ เช่น hydrothermal method, colloidal method หรือ precipitation method เป็นต้น ซึ่งทำให้ได้วัสดุนาโนไอรอนออกไซด์ในหลายๆ แบบ วัสดุเหล่านี้สามารถแบ่งเป็นชนิดตามขนาดของวัสดุนาโนเมื่อวัสดุนั้นๆ อยู่ในน้ำ ซึ่งจะทำให้มีขนาดของ hydrodynamic ที่แตกต่างกัน วัสดุนาโนไอรอนออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 40 นาโนเมตรจะเรียกว่า Super Paramagnetic Iron Oxide หรือ SPIO ถ้าวัสดุนาโนไอรอนออกไซด์ที่มีขนาดเล็กกว่า 40 นาโนเมตร จะมีเรียกว่า Ultrasmall Super Paramagnetic Iron Oxide หรือ USPIO ในปัจจุบันวัสดุนาโนไอรอนออกไซด์ที่มีจำหน่ายจะอยู่ในกลุ่มของ SPIO ซึ่งมีขนาดประมาณ 60 นาโนเมตรไปจนถึงระดับไมโครเมตร (Figuerola et al., 2010)

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมทางการแพทย์** SPIO ได้นำมาใช้งานในทางการแพทย์อย่างแพร่หลาย เช่น ระบบการนำส่งยา การสร้างภาพโดยใช้ magnetic resonance การซ่อมแซมเนื้อเยื่อ เป็นต้น โดย SPIO จะช่วยในการส่งสนามไฟฟ้าไปยังเป้าหมายเนื้อเยื่อที่ต้องการ และเมื่อเลิกการใช้งานโดยการนำเอาแม่เหล็กภายนอกร่างกายออก SPIO จะยังคงอยู่ในเนื้อเยื่อที่ทำการรักษาอยู่ในช่วงเวลาหนึ่งโดยการใช้งานทางการแพทย์มักจะให้มีการเคลือบผิววัสดุนาโนแม่เหล็กซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เพื่อไม่ให้อนุภาคนาโนเหล่านี้เกิดการรวมตัวกัน ซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มช่วงเวลาในการหมุนเวียนในการนำมาใช้งาน และยังทำให้เข้ากันได้ดีทางชีวภาพเมื่อนำวัสดุนาโนแม่เหล็กไปใช้งานกับเนื้อเยื่อต่างๆ วัสดุนาโนแม่เหล็กที่กระจายกันได้ดีจะสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพกับงานที่ต้องการส่งสัญญาณไปยังเซลล์ เนื้อเยื่อ หรืออวัยวะเป้าหมาย หรือใช้ในการสร้างภาพทางชีวภาพ (bioimaging) ซึ่งมีการนำไปใช้งานในส่วนของเครื่อง magnetic resonance imaging (MRI) อีกด้วย (Mahmoudi et al., 2009)

จากการใช้งานที่หลากหลายในทางการแพทย์ของวัสดุนาโนไอรอนออกไซด์ ทำให้ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการปรับปรุงลักษณะของวัสดุนาโนโดยเฉพาะสำหรับการใช้งานแบบมุ่งเป้า ดังแสดงในรูปที่ 12.2 (Figuerola et al., 2010)



รูปที่ 12.2 การปรับปรุงลักษณะของวัสดุนาโนไอรอนออกไซด์สำหรับการใช้งานแบบมุ่งเป้าทางการแพทย์ ได้แก่ การเคลือบผิวของวัสดุนาโนด้วยสารพอลิเมอร์ในกลุ่มของ amphiphlic หรือ anti-fouling เพื่อเสริมให้เกิดการเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ของวัสดุนาโน, การยึดติดด้วยลิแกนด์ หรือแอนติบอดีกับพื้นผิวของวัสดุนาโนเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานกับเป้าหมายเฉพาะ (specific targeting), การ conjugate วัสดุนาโนเข้ากับสารในกลุ่ม organic fluoropores เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการสร้างภาพที่มีส่วนประกอบที่เรืองแสงของแม่เหล็กได้ (fluorescent system) และการปรับปรุงผิวของวัสดุนาโนด้วยสารในกลุ่ม therapeutic agents เพื่อช่วยให้เกิดปฏิกิริยา electrostatic interactions เพื่อให้เกิดการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ (drug release) (Figuerola et al., 2010)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – อนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ในรูปแบบของผงจะสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยง่าย โดยการฟุ้งกระจายและแขวนลอยในอากาศ

อาการที่ได้รับสาร – การระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วการได้รับอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์นั้นมักไม่เกิดขึ้นโดยง่าย การได้รับทางปากเกิดขึ้นได้หากมีหายใจเอาผงสารเคมีอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เข้าสู่ร่างกายผ่านทั้งทางจมูกและปากขณะปฏิบัติงาน

อาการที่ได้รับสาร – การระคายเคืองต่อทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับผ่านทางผิวหนังนอกจากนี้การสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น

อาการที่ได้รับสาร –ถ้ารับทางผิวหนังอาจเกิดอาการระคายเคือง หากมีผื่นแดง บวมและคันหรือผิวหนังไหม้ ให้พบแพทย์ทันที

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของผงอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ที่สามารถปลิวหรือ ฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้าอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง ซึ่งอาการที่ได้รับจะเกิดเพียงชั่วครู่และหายไป

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ทางการหายใจ หรือจากการสูดดมผง ฝุ่นหรือละอองลอยของอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธ์และนอนพัก

หากได้รับอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ทางปาก ให้นำส่งแพทย์ทันที

การได้ร้อนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ทางผิวหนัง ให้ล้างผิวหนังบริเวณที่สัมผัสด้วยน้ำและสบู่ในปริมาณมากเป็นเวลานานหลายนาทีหากมีผื่นแดง บวมและคัน หรือผิวหนังไหม้ ให้หาแพทย์ทันที หากอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เข้าตาให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 15 นาที อาการที่ได้รับจะเกิดเพียงชั่วครู่และหายไป

หากสารอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเกิดการระคายเคือง เจ็บปวด หรือบวม หรือแพ้แสง ให้นำส่งแพทย์

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วการได้รับอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์นั้นมักไม่เกิดขึ้นโดยง่าย การได้รับทางปากเกิดขึ้นได้หากมีหายใจเอาผงสารเคมีอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เข้าสู่ร่างกายผ่านทั้งทางจมูกและปากขณะปฏิบัติงาน

อาการที่ได้รับสาร – การระคายเคืองต่อทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับผ่านทางผิวหนังนอกจากนี้การสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น

อาการที่ได้รับสาร –ถ้ารับทางผิวหนังอาจเกิดอาการระคายเคือง หากมีผื่นแดง บวมและคัน หรือผิวหนังไหม้ ให้พบแพทย์ทันที

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของผงอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ที่สามารถปลิวหรือ ฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้าอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง ซึ่งอาการที่ได้รับจะเกิดเพียงชั่วครู่และหายไป

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ทางการหายใจ หรือจากการสูดดมผง ฝุ่นหรือละอองลอยของอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธ์และนอนพัก

หากได้รับอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ทางปาก ให้นำส่งแพทย์ทันที

การได้รัอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ทางผิวหนัง ให้ล้างผิวหนังบริเวณที่สัมผัสด้วยน้ำและสบู่ในปริมาณมากเป็นเวลานานหลายนาทีหากมีผื่นแดง บวมและคัน หรือผิวหนังไหม้ ให้หาแพทย์ทันที หากอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เข้าตาให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 15 นาที อาการที่ได้รับจะเกิดเพียงชั่วครู่และหายไป

หากสารอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเกิดการระคายเคือง เจ็บปวด หรือบวม หรือแพ้แสง ให้นำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของนาโนไอรอนออกไซด์จากการทดสอบของ OECD

4.1.1 ชนิดของไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลความเป็นพิษของเฟอริคออกไซด์ได้อ้างอิงเอกสารของ OECD เป็นหลักตามที่องค์กรนี้ได้มีการตั้งคณะทำงานเพื่อทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโนโดยมีสมาชิกจากประเทศจีน และกลุ่มอุตสาหกรรม BIAC ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนการวิจัยนี้เป็นหลัก โดยการหาความเป็นพิษของเฟอริคออกไซด์ได้กำหนดชนิดของเฟอริคออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งนำมาใช้การทดสอบความเป็นพิษเป็นชนิดที่มี CAS no. 1309-37-1 โดยได้รับการสนับสนุนตัวอย่างเฟอริคออกไซด์เพื่อใช้ในการทดสอบจากบริษัท Haoyun Industrial and Trade Co. Ltd. ของประเทศจีน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21±6 นาโนเมตร และมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ **α**-Fe_2O_3

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ยังไม่มีผลการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนไอรอนไดออกไซด์ Fe_2O_3 ต่อระบบนิเวศน์

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

Wang และคณะ (Wang et al., 2009) ได้ทำการทดสอบความเป็นพิษที่มีต่อระบบประสาท (neurotoxicity) และผลกระทบของขนาดของอนุภาคนาโนไอรอนไดออกไซด์ Fe_2O_3 ในปริมาณ 130 ไมโครกรัม โดยใช้อนุภาคนาโนที่มีขนาด 21 นาโนเมตรและ 280 นาโนเมตรต่อหนู (mice) โดยทำการทดสอบถึง biomarker ของการอักเสบเนื่องจากอนุมูลอิสระ การทำงานของไนตริกออกไซด์ และการปลดปล่อยสารโมโนอามีน ซึ่งเป็นสาร neurotransmitter ของสมอง จากผลการทดสอบพบว่าอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ขนาด 21 นาโนเมตร ทำให้เกิดการอักเสบของอนุมูลอิสระและทำลายเซลล์ประสาทในสมองมากกว่าไอรอนออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า (280 นาโนเมตร) (Wang et al., 2009)

Mo-Tao Zhu และคณะ (Zhu et al., 2008) ได้ทดสอบความสัมพันธ์ของขนาด ปริมาณและช่วงเวลาในการได้รับอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ที่มีต่อปอดและศึกษาการรวมตัวกันของอนุภาคหลังจากที่มีการตกค้างในช่องทางเดินหายใจแล้ว โดยทดสอบกับหนูตัวผู้ (Sprague Dawley rat) โดยให้ปริมาณอนุภาคนาโนเป็น 0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวหนู และ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวหนู ผลความเป็นพิษของอนุภาคนาโนนั้นได้มีการตรวจสอบหลังจากมีการได้รับสารไป 1, 7 และ 30 วัน โดยพบว่าอนุภาคนาโนได้ทำให้เกิดแผลในปอดขึ้น โดยถ้าอนุภาคมีขนาดนาโนเมตรจะทำให้เกิดการซึมผ่านได้ของอนุภาคในหลอดเลือดและเกิด cell lysis ในเนื้อเยื่อบุผิวของปอดและขัดขวางการรวมตัวของเลือดอย่างมีนัยสำคัญ (Zhu et al., 2008)

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

Schwegmann และคณะ (Schwegmann et al., 2010) ได้ทดสอบผลของค่า zeta potential ซึ่งเกี่ยวข้องกับการดูดซับของอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ที่มีต่อจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Escherichia coli* ซึ่งอยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่างกัน โดยพบว่าเมื่ออนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ที่ความเข้มข้น 24 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในสารละลายพีเอช 4 ได้ทำให้จุลินทรีย์ *Escherichia coli* มีอัตรารอดชีวิตเพียงร้อยละ 1 ในขณะที่อนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ส่งผลเชิงลบที่น้อยกว่าต่อจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* โดยคาดว่าผลที่ได้มาจากการที่อนุภาคนาโนนั้นจะปกคลุมพื้นที่ผิวของจุลินทรีย์ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับแรง electrostatic interaction ที่เกิดขึ้นกับผิวหน้านั้นๆ

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

การทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ได้มุ่งเป้าไปในส่วนของการทดสอบ cytotoxicity ของ Super Paramagnetic Iron Oxide หรือ SPIO ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทางการแพทย์ โดยทดสอบความเป็นพิษของ SPIO ที่เคลือบด้วย PVA ที่มีลักษณะรูปร่างต่างกัน เช่น เป็นแท่งทรงกลม เป็นเม็ด หรือเกาะกลุ่ม เป็นต้น โดย Mahmoudi และคณะ (Mahmoudi et al., 2009a, Mahmoudi et al., 2009b) ได้ทดสอบความเป็นพิษนี้กับเซลล์เส้นใย fibroblast cells ของหนู (mouse) และเซลล์ leukaemia cell ของมนุษย์ ซึ่งพบว่า SPIO ไม่แสดงผลหรือส่งผลกระทบน้อยมากต่อเซลล์เหล่านี้ นอกจากนี้ Karlsson และคณะ (Karlsson et al., 2008) ได้ทดสอบความเป็นพิษของ SPIO โดยใช้อนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ที่มีปริมาณ 20 และ 40 ไมโครกรัมต่อลิตร ทดสอบกับ lung cancer celllines ของมนุษย์ และพบว่าอนุภาคนาโนไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อ DNA หรือ intracellular ROS เลย ในขณะที่พบการอักเสบของเนื้อเยื่อเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ในขณะที่งานวิจัยอีกหลายงานได้มีการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนแม่เหล็กไอรอนออกไซด์ที่ต่อเซลล์ได้มีการศึกษาโดยใช้ oligodendroglia cell lines เพื่อศึกษาถึงความเข้ากันได้ทางชีวภาพของอนุภาคนาโนกับเนื้อเยื่อ (Hahnholt et al., 2010, Busch et al., 2011, Bulte et al., 2001) โดยพบว่ามีการปลดปล่อยเหล็กออกมาและมีแนวโน้มที่จะทำอันตรายต่อเซลล์ โดยเฉพาะการที่เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดอนุมูลอิสระ (Levy et al., 2010, Soenen et al., 2010) Hohnholt และคณะ (Hohnholt et al., 2011) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนแม่เหล็กที่เคลือบด้วย dimercaptosuccinate โดยทดสอบกับ oligodendroglia OLN-93 cells และให้เซลล์ได้รับอนุภาคนาโนแม่เหล็กที่มีเหล็กในปริมาณ 0-1,000 ไมโครโมลาร์ โดยพบว่าอนุภาคนาโนแม่เหล็กไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษแบบ cytotoxicity หรือทำให้เกิดการอักเสบในเซลล์ แต่การได้รับอนุภาคนาโนแม่เหล็กได้ทำให้เกิดการเพิ่มของปริมาณ cellular ferritin และไม่ทำให้เกิดการยับยั้งเซลล์จากการแบ่งตัว โดยมาจากการเกิด iron chelatordeferoxamine ซึ่งเซลล์ OLN-93 สามารถนำเหล็กที่ปลดปล่อยจากอนุภาคนาโนแม่เหล็กในรูปนี้ไปใช้ในการ metabolism ได้ (Hohnholt et al., 2011)

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาความเป็นพิษแบบ cytotoxicity ของอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ที่เคลือบด้วยไซเตรต (citrate) ร่วมกับอนุภาคนาโนในกลุ่มของสารอินทรีย์ ได้แก่ dextran-coated endorem, carboxydextran-coated resovist, และ lipid-coated magnetoliposomes (MLs) โดยทดสอบกับเซลล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ C17.2 neural progenitor cells, PC12 rat pheochromocytoma cells และ endothelial cells ของมนุษย์ โดยพบว่าอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เป็นสารที่ทำให้เกิดความเป็นพิษมากที่สุด โดยค่าสูงสุดที่ไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษ คือ 18.65 ± 2.07 พิโคกรัมต่อเซลล์ (Soenen et al., 2011)

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงาน Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (permissible exposure limit, PEL) สำหรับสารไอรอนออกไซด์ Fe_2O_3 เป็น 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่านี้ได้นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานและการได้รับสารของอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ด้วย

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน แว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 12.3



รูปที่ 12.3 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่น โดยเฉพาะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 12.4

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง



(a) ถุงมือ Silver Shield (b) ถุงมือ Butyl (c) ถุงมือ Viton (d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 12.4 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาสารนาโนไอรอนออกไซด์ในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บรักษาสารเคมีชนิดนี้ ได้แก่

- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารออกซิไดซ์เซอร์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเปอร์คลอเรต สารเปอร์มังกาเนต เป็นต้น
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากกรด

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

สารนาโนไอรอนออกไซด์เป็นสารที่ไม่ลุกติดไฟ และไม่เป็นสารที่ระเบิดได้ ในการระงับภัยต้องสวมชุดดับเพลิงที่เหมาะสมทุกครั้ง รวมทั้งอุปกรณ์ช่วยหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

สารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยเมื่อเกิดไฟไหม้ ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม และก่อนดับเพลิงให้ตรวจสอบวิธีการดับเพลิงกับเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีนี้ทุกครั้ง

5.6 การกำจัดสารเคมีหลังการใช้งาน

สารนาโนไอรอนออกไซด์ไม่จัดเป็นสารอันตรายตามข้อกำหนดของ US. EPA ตามที่ปรากฏในเอกสารตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป โดยสามารถกำจัดด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล หรือการเผาด้วยเตาเผาได้ โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศเสีย

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนไอรอนออกไซด์

(แสดงในภาคผนวก ก.12)

Iron Oxide Nanoparticles (Fe2O3)

US Research Nanomaterials, Inc.

Material Safety Data Sheet

acc. to OSHA and ANSI

1 Identification of substance:

- **Product details:**
- **Trade name:** Fe_2O_3,α
- **Stock number:** US3180
- **Manufacturer/Supplier:**

US Research Nanomaterials, Inc.
3302 Twig Leaf Lane
Houston, Texas 77084, USA
www.us-nano.com

2 Composition/Data on components:

- **Chemical characterization:**

Description: (CAS#)
Iron (III) oxide (CAS# 1309-37-1), 100%

- **Identification number(s):**
- **EINECS Number:** 215-168-2

3 Hazards identification

- **Hazard description:** Xi Irritant

- **Information pertaining to particular dangers for man and Environment**

R 36/37/38 Irritating to eyes, respiratory system and skin.

4 First aid measures

- **After inhalation**

Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm.
Seek immediate medical advice.

- **After skin contact**

Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.
Seek immediate medical advice.

- **After eye contact**

6.2 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโน

(แสดงในภาคผนวก ก.12)

Iron Oxide Nanopowder Water Dispersion (Fe2O3)

US Research Nanomaterials, Inc.

Material Safety Data Sheet

acc. to OSHA and ANSI

1 Identification of substance:

- Product details:
- Trade name: 20wt% Fe2O3,α in 80wt% Water Dispersion
- Stock number: US7220
- Manufacturer/Supplier:

US Research Nanomaterials, Inc.
3302 Twig Leaf Lane
Houston, Texas 77084, USA
www.us-nano.com

2 Composition/Data on components:

- Chemical characterization:

Description: (CAS#)
20wt% Iron(III)oxide(CAS#1309-37-1) + 80wt% water(CAS#7732-18-5)

- Identification number(s):
- EINECS Number: 215-168-2

3 Hazards identification

- Hazard description: Xi Irritant

- Information pertaining to particular dangers for man and Environment

R 36/37/38 Irritating to eyes, respiratory system and skin.

4 First aid measures

- After inhalation

Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm.
Seek immediate medical advice.

- After skin contact

Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.
Seek immediate medical advice.

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Bing Wang et al., J Nanoparticle Res 11 (2009) 41.

Bulte JW, Douglas T, Witwer B, Zhang SC, Strable E, Lewis BK, et al., Nat Biotechnol19 (2001) 1141.

Busch W, Bastian S, Trahorsch U, Iwe M, Kühnel D, Meißner T, et al., J Nanopart Res13 (2011) 293.

FiguerolaA, Di CoratoR, MannaL, PellegrinoT, Pharmacological Res 62 (2010) 126.

HohnholtMC, GeppertM, DringenR, ActaBiomaterialia 7 (2011) 3946.

Hohnholt MC, Geppert M, DringenR,Neurochem Res35 (2010) 1259.

Karlsson HL, Cronholm P, Gustafsson J, Muller L, ChemResToxicol21(2008) 1726.

Levy M, Lagarde F, Maraloiu VA, Blanchin MG, Gendron F, Wilhelm C, et al., Nanotechnology21 (2010) 395103.

Mahmoudi M, Shokrgozar MA, Simchi A, Imani M, Milani AS, Stroeve P, Vali H, Hafeli UO, Bonakdar S, JPhysChemC 113 (2009a) 2322.

MahmoudiM, Simchi A, Milani AS, Stroeve P, JColloidal Interface Sci336(2009b) 510.

MahmoudiM, Simchi A, Milani AS, Stroeve P, JColloid Interface Sci336 (2009) 510.

Soenen SJH, HimmelreichU, NuyttenN, De CuyperM, Biomaterials 32 (2011) 195.

Soenen SJ, Himmelreich U, Nuytten N, Pisanic 2nd TR, Ferrari A, De Cuyper M,Small6 (2010) 2136.

SchwegmannH, FeitzAJ, FrimmelFH, JColloid Interface Sci 347 (2010) 43.

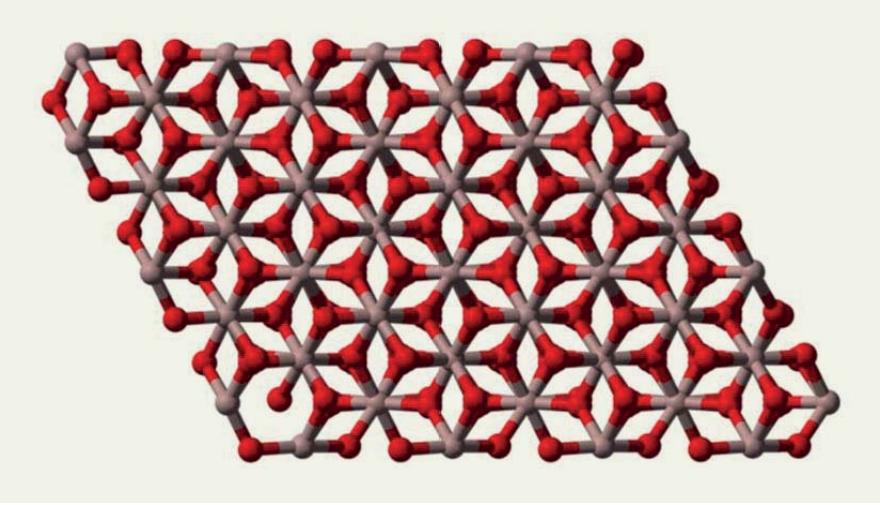
Zhu M-T et al. Am J Physiol Lung Toxicology 247 (2008) 102.

บทที่ 13
อะลูมินัมออกไซด์ (Al2O3)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อ	aluminum dioxide, alumina
CAS number	1344-28-1
สูตรโมเลกุล	Al_2O_3
น้ำหนักโมเลกุล	101.96 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	3.5-3.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	2072 C
จุดเดือด	2977 C
ลักษณะทั่วไป	ผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี



รูปที่ 13.1 ลักษณะโครงสร้างของแอลฟา-อะลูมินัมออกไซด์ (α-Al_2O_3)
(ที่มา :http://en.wikipedia.org/wiki/File:Corundum-3D-balls.png)

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

อะลูมินัมเป็นธาตุชนิดหนึ่งที่มีมากมายในเปลือกโลก โดยทั่วไปแล้วอะลูมินัมที่พบบนเปลือกโลกจะอยู่ในรูปของ aluminum silicate ในการผลิตโลหะอะลูมินัมมาใช้งานมักจะผลิตเริ่มต้นจากผลึกของอะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) หรือ อะลูมินา ซึ่งส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 98 จะผลิตมาจาก bauxite ซึ่งเป็นหินที่มี hydrous alumina (aluminum hydroxides and oxyhydroxides) เป็นส่วนประกอบร่วมกับแร่ธาตุอื่นๆ เช่น iron oxide, silica oxide, titanium dioxide และแร่อื่นๆ หิน bauxite จะมี hydrous alumina เป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 50-80 และมีร้อยละของอะลูมินาอยู่ระหว่างร้อยละ 30-60 โดยส่วนประกอบของหิน bauxite จะขึ้นอยู่กับสถานที่ขุดพบ (Liu et al., 2009, Meyer et al., 2002, Anand et al., 1991)

อะลูมินัมได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายโดยไม่นานมานี้การผลิตอะลูมินาที่มีขนาดอนุภาคนาโนขึ้น ซึ่งวัสดุชนิดใหม่นี้มีความแข็ง และมีคุณสมบัติในการต่อต้านรอยขีดข่วนได้เป็นอย่างดี จึงนิยมนำมาใช้งานในหลายอุตสาหกรรม เช่น สารต้านการเป็นรอยขีดข่วน ฉนวน และตัวเร่งปฏิกิริยา (Tallman et al., 2008; Malenovska et al., 2009, Saywer et al., 2003) และได้นำอนุภาคนาโนอะลูมินามาใช้ในการเป็นสารเคลือบพื้นผิวต้านแรงขีดข่วนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้อนุภาคนาโนอะลูมินาได้นำไปใช้ในการทหารโดย The United States Army ได้ทดลองนำไปใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงแข็งในการจุดระเบิดให้กับจรวด (Miziolek, 2002) รวมทั้งหน่วยงาน the National Aeronautics and Space Agency ได้นำอนุภาคนาโนอะลูมินาขนาด 20-100 นาโนเมตร ไปใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงหัวจุดระเบิดให้กับยานอวกาศ (Hunley, 1999)

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมเครื่องยนต์/ยานยนต์** อนุภาคนาโนอะลูมินา ได้ถูกนำมาใช้ในระบบการให้พลังงานสำหรับการเป็นเชื้อเพลิงจุดระเบิดเครื่องยนต์ของจรวดจากการที่อนุภาคนาโนอะลูมินามีความแข็ง และมีคุณสมบัติในการต่อต้านรอยขีดข่วนได้เป็นอย่างดี จึงได้มีการนำมาใช้งานแทนอะลูมินาในการเป็นสารเคลือบผิวสำหรับต้านทานรอยขีดข่วนสำหรับเรือ และเครื่องบิน (Miziolek, 2002, Department of Defense Director, 2005)

- **อุตสาหกรรมทางยาและเครื่องสำอาง** อนุภาคนาโนอะลูมินาได้ถูกนำใช้งานทางการแพทย์ในส่วนของระบบการนำส่งยาโดยเพิ่มความสามารถในการละลาย โดยนำอนุภาคนาโนอะลูมินาในการกักขัง encapsulate ยา เพื่อให้สามารถละลายน้ำและเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายและนำยาไปสู่เป้าหมายได้ นอกจากนี้ได้มีการนำอนุภาคนาโนอะลูมินามาใช้กันอย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ทางยาต่างๆ (ASTDR, 1999, Tyner et al., 2004)

- **อุตสาหกรรมทางการแพทย์** อนุภาคนาโนอะลูมินาได้นิยมใช้งานกันมากทางการแพทย์ โดยมักใช้ในการเป็นวัสดุสำหรับกระดูกและฟัน โดยแต่เดิมมีการนำอะลูมินาไปใช้กันในการเป็นวัสดุทดแทนกระดูกและฟันกันมาก แต่การใช้อะลูมินัมในการเป็นวัสดุทดแทนกระดูกมักไม่ประสบความสำเร็จมากนัก ซึ่งสืบ

เนื่องมาจากการอักเสบและการหลวมของวัสดุที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของวัสดุกับเนื้อเยื่อกระดูก ซึ่งเป็นปัญหาที่มาจากขนาดที่ใหญ่เกินไปในระดับไมโครเมตรของวัสดุทดแทนกระดูกและการร้าวเชิงกลที่เกิดขึ้น โดยไม่นานมานี้การลดพื้นที่ผิวของวัสดุทดแทนกระดูกจะทำให้แก้ปัญหาเหล่านี้ได้ จึงได้มีการนำอนุภาคนาโนอะลูมินาไปใช้งานในส่วนนี้กันมากในทางการแพทย์ (Gutwein and Webster, 2002, Yamamoto et al., 2004)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – อนุภาคนาโนอะลูมินาในรูปแบบของผงจะสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยง่าย โดยการฟุ้งกระจายและแขวนลอยในอากาศ

อาการที่ได้รับสาร – การระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วการได้รับอนุภาคนาโนอะลูมินานั้นมักไม่เกิดขึ้นโดยง่าย การได้รับทางปากเกิดขึ้นได้หากมีหายใจเอาผงสารเคมีอนุภาคนาโนอะลูมินาเข้าสู่ร่างกายผ่านทั้งทางจมูกและปากขณะปฏิบัติงาน

อาการที่ได้รับสาร – การระคายเคืองต่อทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจที่ปิดทั้งในส่วนจมูกและปากทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับผ่านทางผิวหนัง นอกจากนี้การสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังอาจเกิดอาการระคายเคือง หากมีผื่นแดง บวมและคัน หรือผิวหนังไหม้ ให้หาแพทย์ทันที

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของการได้รับมักอยู่ในรูปของผงอนุภาคนาโนอลูมินาที่สามารถปลิวหรือฟุ้ง กระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้าอนุภาคนาโนอะลูมินาเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง ซึ่งอาการที่ได้รับจะเกิดเพียงชั่วครู่และหายไป

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับอนุภาคนาโนอะลูมินาทางการหายใจ หรือจากการสูดดมผงฝุ่นหรือละอองลอยของอนุภาคนาโนอะลูมินาให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธิ์และนอนพัก

หากได้รับอนุภาคนาโนอะลูมินาทางปาก ให้นำส่งแพทย์ทันที

การได้รับอนุภาคนาโนซิลิกาทางผิวหนัง ให้ล้างผิวหนังบริเวณที่สัมผัสด้วยน้ำและสบู่ในปริมาณมากเป็นเวลานานหลายนาทีหากมีผื่นแดง บวมและคัน หรือผิวหนังไหม้ ให้หาแพทย์ทันที หากอนุภาคนาโนอะลูมินาเข้าตาให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 15 นาที อาการที่ได้รับจะเกิดเพียงชั่วครู่และหายไป

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของอะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) จากการทดสอบของOECD

อะลูมินัมออกไซด์ หรือนาโนอะลูมินา เป็นวัสดุนาโนชนิดหนึ่งที่ถูกกำหนดไว้ให้มีการทดสอบลักษณะความเป็นพิษที่มีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากในปัจจุบัน (ปี 2012) ยังไม่มีประเทศใดอาสาเป็นผู้ดำเนินการวิจัยหลักจึงทำให้ยังไม่มีการทดสอบและรายงานลักษณะความเป็นพิษของอะลูมินัมออกไซด์ดังกล่าว

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ยังไม่มีการทดสอบความเป็นพิษจากกลุ่มนักวิจัยของ OECD

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

ยังไม่มีการทดสอบความเป็นพิษจากกลุ่มนักวิจัยของ OECD

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของอะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) จากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

Yang และ Watts (Yang and Watts, 2005) พบว่าอนุภาคนาโนอะลูมินัมออกไซด์แสดงผลเชิงลบต่อการงอกเมล็ดและความยาวรากของพืชในกลุ่มของข้าวโพด กะหล่ำปลี และแครอท แต่เมื่อนำอนุภาคนาโนอะลูมินามาเคลือบด้วย phenanthrene ผลเชิงลบเหล่านี้ไม่ปรากฏอีก โดยผลเชิงลบที่เกิดขึ้นต่อพืชในลักษณะ phytotoxicity นี้มาจากการทำปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระของกลุ่ม hydroxyl ซึ่งผลเชิงลบนี้หายไปเมื่ออนุภาคนาโนถูกเคลือบด้วย phenantherene โดย Lin และ Xing (Lin and Xing, 2007) และกลุ่มวิจัยของ Hu และคณะ (Hu et al., 2009) ได้แสดงถึงการเกิด phytotoxicity ของอนุภาคนาโนเมตริกซ์ของอะลูมินาโดยทดสอบกับแบคทีเรีย *Escherichia coli* โดยผลเชิงลบที่เกิดพบว่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโน

อะลูมินาที่ทำให้แบคทีเรียที่ตายไปร้อยละ 50 อยู่ที่ 326.1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยอนุภาคนาโนอะลูมินาแสดงความเป็นพิษที่มากกว่าอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และทินออกไซด์

4.2.2 ความเป็นพิษต่อเซลล์

ในการทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนอะลูมินาที่มีต่อเซลล์ Simon-Deckers และคณะ (Simon-Deckers et al., 2008) ได้ทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนหลายชนิดที่มีต่อเซลล์ pneumocytes A549 โดยพบว่าอนุภาคนาโนอะลูมินาได้ทำให้เกิดผลเชิงลบแบบ cytotoxic น้อยกว่าอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และท่อนาโนคาร์บอน โดยความเป็นพิษแบบ cytotoxic นี้ได้ถูกนำไปทดสอบกับหนูทั้งประเภท mice และ rat โดยทดสอบกับเม็ดเลือดขาวในปอด โดยคณะนักวิจัยของ Soto และกลุ่มนักวิจัยของ Wagner (Soto et al., 2005, Wagner et al., 2007) ซึ่งพบว่าเม็ดเลือดขาวของหนูมีความไวสูงต่อการได้รับอนุภาคนาโนอะลูมินา โดยเมื่อให้อนุภาคนาโนอะลูมินาขนาด 50 นาโนเมตรที่ความเข้มข้นต่ำ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะพบว่าอัตราการรอดชีวิตของเซลล์ลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของเซลล์ชุดควบคุม และเมื่อทดสอบความเป็นพิษของอนุภาคนาโนอะลูมินาต่อเซลล์เม็ดเลือดขาวในถุงลม NR8383 โดยให้ได้รับอนุภาคนาโนอะลูมินาขนาด 40 นาโนเมตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบว่าการได้รับอนุภาค นาโนอะลูมินาไม่ส่งผลต่อการอยู่รอดของเซลล์ แม้ว่าได้มีการเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคนาโนอะลูมินาถึง 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรแล้วก็ตาม นอจากนี้ยังไม่พบผลเชิงลบที่มีต่อลักษณะการกลืนกินของเซลล์หรือ phagocytosis ภายหลังจากเซลล์เม็ดเลือดขาวได้รับอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อลิตรไปแล้ว 24 ชั่วโมงก็ตาม (Wagner et al., 2007)

จากการที่อนุภาคนาโนอะลูมินาได้นิยมใช้งานกันมากทางการแพทย์ โดยมักใช้ในการเป็นวัสดุสำหรับกระดูกและฟัน Giri และคณะ (Giri et al., 2003) ได้ทดสอบการใช้งานของอนุภาคนาโนอะลูมินาที่อาจมีผลต่อเซลล์ โดยใช้วัสดุ ferromagnetic ที่ชื่อว่า thermograins ซึ่งเคลือบด้วยอนุภาคนาโนอะลูมินาไปทดสอบความเป็นพิษต่อเม็ดเลือด และทดสอบความสามารถในการเข้ากันได้ทางชีวภาพและการยึดติดของวัสดุ ซึ่งพบว่าอนุภาคนาโนอะลูมินาสามารถเข้ากันได้ดีกับเซลล์เม็ดเลือดที่ใช้ทดสอบ Radziun และคณะ (Radziun et al., 2011) จึงได้นำอนุภาคนาโนอะลูมินามาทดสอบถึงการอยู่รอดของเซลล์ และระดับการทำให้เกิดการตายของเซลล์แบบ apoptosis โดยการทดสอบความเป็นพิษของเซลล์นี้ได้ใช้เซลล์ L929 และเซลล์ BJ โดยให้มีการได้รับอนุภาคนาโนอะลูมินาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าอนุภาคนาโนอะลูมินาสามารถผ่านทะลุผนังเซลล์ membrane ของเซลล์เหล่านี้ได้ โดยไม่ทำให้เกิดการตายของเซลล์แบบ apoptosis หรือการลดลงของการมีชีวิตรอด (cell viability) ของเซลล์

Balasubramanyam และคณะ (Balasubramanyam et al., 2009) ได้ทดสอบความเป็นพิษที่มีต่อพันธุกรรม *in vivo* genotoxicity ของอนุภาคนาโนอะลูมินาที่มีขนาด 30 และ 40 นาโนเมตร โดยทดสอบกับเซลล์กระดูก bone marrow ของหนูตัวเมีย ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ได้รับเป็น 500, 1,000 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวของหนู โดยตรวจวัดการเบี่ยงเบนของโครโมโซม (chromosomal aberration) ผลจากการทดสอบพบว่า มีการตรวจพบอนุภาคนาโนอะลูมินาและอนุภาคนี้ได้

ส่งผลต่อการเกิดการเบี่ยงเบนของโครโมโซมอย่างมีนัยสำคัญหลังจากที่หนูได้รับอนุภาคนาโนขนาด 30 และ 40 นาโนเมตรเป็นเวลา 18 และ 24 ชั่วโมงและได้ตรวจพบอนุภาคนาโนอะลูมินาที่ปะปนมากับปัสสาวะและอุจจาระของหนูอีกด้วย ผลจากการทดสอบนี้ได้แสดงถึงผลเชิงลบของอนุภาคนาโนในสภาวะที่ทดสอบที่มีต่อการทำลายทางพันธุกรรมนอกจากนี้คณะวิจัยเดียวกันนี้ยังได้ทดสอบผลของอนุภาคนาโนอะลูมินาที่มีต่อการกลายพันธุ์ (mutagenicity) โดยทดสอบอนุภาคนาโนอะลูมินาขนาด 30 และ 40 นาโนเมตรด้วยวิธี Ames test โดยทดสอบกับ *Salmonella typhimurium* ที่มีสเตรน TA100, TA1535, TA98, TA97a และ TA102 ซึ่งอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ S9 โดยพบว่าอนุภาคนาโนทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารพันธุกรรมเมื่อเทียบกับผลการทดสอบกับชุดควบคุมที่ใช้อะลูมินาที่ไม่ได้มีขนาดในระดับนาโนเมตร (Balasubramanyam et al., 2010)

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงาน Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (permissible exposure limit, PEL) สำหรับสารอะลูมินัมไดออกไซด์เป็น 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่านี้ได้นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานและการได้รับสารของอนุภาคนาโนอะลูมินาด้วย

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโนแว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 13.2



รูปที่ 13.2 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่นโดยเฉพาะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับอนุภาคนาโนอะลูมินาในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับอนุภาคนาโนอะลูมินาที่อาจทำให้เกิดควันไอ หรือก๊าซ ควรใช้เครื่องป้องกันการหายใจที่มีการให้อากาศช่วยหายใจมากกว่า 125 มิลลิกรัม/ลูกบาศ์กเมตร

ถ้าปฏิบัติงานกับอนุภาคนาโนอะลูมินาในรูปสารละลาย สามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 13.3



(a) ถุงมือ Silver Shield (b) ถุงมือ Butyl

(c) ถุงมือ Viton (d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 13.3 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาสารนาโนอะลูมินาในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและเก็บได้ที่อุณหภูมิห้องข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บรักษาสารเคมีชนิดนี้ ได้แก่

- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารออกซิไดซ์เซอร์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเปอร์คลอเรต สารเปอร์มังกาเนต เป็นต้น
- ห้ามเก็บรักษาร่วมกับสารที่มีส่วนประกอบของฮาโลเจน
- ห้ามเก็บรักษาร่วมกับกรดและด่าง

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

สารนาโนอะลูมินาเป็นสารที่ไม่ลุกติดไฟ และโดยทั่วไปแล้วเป็นสารที่ไม่ระเบิด แต่หากมีการสะสมอนุภาคนาโนซิลิกาในลักษณะฝุ่นในปริมาณมากอาจทำให้เกิดการระเบิดได้

สารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยเมื่อเกิดไฟไหม้ ได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม โดยห้ามใช้สารดับเพลิงที่มีส่วนประกอบของธาตุฮาโลเจนในการดับเพลิง และก่อนดับเพลิงให้ตรวจสอบวิธีการดับเพลิงกับเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีนี้ทุกครั้ง

5.6 การกำจัดสารเคมีหลังการใช้งาน

สารนาโนอะลูมินาไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ US. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป โดยสามารถกำจัดด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล หรือการเผาด้วยเตาเผาได้ โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศเสีย

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนอะลูมินา Nanopowder Water Dispersion

(แสดงในภาคผนวก ก.13)

Aluminum Oxide (Al2O3) Nanopowder Water Dispersion

US Research Nanomaterials, Inc.
Material Safety Data Sheet

acc. to OSHA and ANSI

1 Identification of substance:

- **Trade name:** Aluminum oxide, alpha, 20% in Water, Dispersion
- **Stock number:** US7010
- **Manufacturer/Supplier:**
  US Research Nanomaterials, Inc.
  3302 Twig Leaf Lane
  Houston, Texas 77084, USA
  www.us-nano.com

2 Composition/Data on components:

- **Chemical characterization:**
  Description: (CAS#)

  Aluminum oxide (CAS# 1344-28-1), 20%
  Water (CAS# 7732-18-5), 80%
- **Identification number(s):**
- **EINECS Number:** 215-691-6

3 Hazards identification

- **Hazard description:** Xi Irritant
- **Information pertaining to particular dangers for man and environment**
  R 37 Irritating to respiratory system.

4 First aid measures

- **After inhalation**
  Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm.
  Seek immediate medical advice.
- **After skin contact**
  Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.

6.2 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนอะลูมินา

(แสดงในภาคผนวก ก.13)

Aluminum Oxide Nanoparticles (Al2O3)

US Research Nanomaterials, Inc.

Material Safety Data Sheet

acc. to OSHA and ANSI

1 Identification of substance:

- **Trade name:** Aluminum oxide, Gamma
- **Stock number:** US3024
- **Manufacturer/Supplier:**
  US Research Nanomaterials, Inc.
  3302 Twig Leaf Lane
  Houston, Texas 77084, USA
  www.us-nano.com

2 Composition/Data on components:

- **Chemical characterization:**
  Description: (CAS#)
  Aluminum oxide (CAS# 1344-28-1), 100%
- **Identification number(s):**
- **EINECS Number:** 215-691-6

3 Hazards identification

- **Hazard description:** Xi Irritant
- **Information pertaining to particular dangers for man and environment**
  R 37 Irritating to respiratory system.

4 First aid measures

- **After inhalation**
  Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm.
  Seek immediate medical advice.
- **After skin contact**

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), toxicological profile of aluminium, U.S. Department of health and human services, public health service,June 1999.

Anand RR, Gilkes RJ, Roach GID,ApplGeochem6 (1991) 233.

Balasubramanyam A, Sailaja N, Mahboob M, Rahman MF, Misra S, HussainSM, GroverP, MutatRes 676 (2009) 41.

Balasubramanyam A, Sailaja N, Mahboob M, Rahman MF, HussainSM, GroverP, Toxicol in Vitro 24 (2010) 1871.

Department of Defense Director, Defense Research and Engineering (2005), Defense Nanotechnology Research and Development, (4 January 2006).(http://www.nano.gov/html/res/DefenseNano2005.pdf).

Giri J, Ray A, Dasgupta S, Datta D, Bahadur D, Bio-Medical MaterEng 13 (2003) 387.

Gutwein LG, Webster TJ, JNanoparticle Res4 (2002) 231.

Hu X, Cook S, Wang P, Hwang H, SciTotal Environ407 (2009) 3070.

Hunley JD, Joint Propulsion Conference and Exhibit held at the 35th AIAA, ASME, SAE, ASEE; 1999. American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Lin D, Xing B, Environ Pollut 150 (2007) 243.

Liu W, Yang J, Xiao B, IntJMineral Process93 (2009) 220.

Malenovska M, Neouze MU, Monnier V, Scolan E, Pugin R, ApplSurf Sci 256(2009)9.

Meyer FM, Happel U, Hausberg J, Wiechowski A, Ore Geology Rev20 (2002) 27.

Miziolek A, AMPTIAC Q. 6 (2002) 43.

Radziun E, Wilczynska JD, KsiazekI, Nowak K, Anuszewska EL, Kunicki A, Olszyna A, Zabkowski T,Toxicol in Vitro 25 (2011) 1694.

Sawyer W, FreudenbergK, Bhimaraj P, Schadler L, Wear 254 (2003) 573.

Simon-Deckers A, Gouget B, Mayne-L'Hermite M, Herlin-Boime N, Reynaud C, Carriere M,Toxicol253 (2008) 137.

Soto KF, Carrasco A, Powell TG, Garza KM, Murr LE,JNanoparticle Res7 (2005) 145.

Tallman DE, Levine KL, Siripirom C, Gelling VG, Bierwagen GP, Croll SG, Appl Surf Sci 254 (2008) 5452.

Tyner KM, Schiffman SR, Giannelis EP, J Control Rel 95 (2004) 501.

Wagner AJ, Bleckmann CA, Murdoch RC, Schrand AM, Schlager JJ, Hussain SM, J PhysChemB 111 (2007) 7353.

Yamamoto A, Honda R, Sumita M, Hanawa T, J Biomedical MaterResA 68A (2004) 244.

Yang L, Watts DJ, ToxicolLett158 (2005) 122.

บทที่ 14
คาร์บอนแบล็ก (Carbon black)

1. ลักษณะสมบัติ

ชื่อ	carbon black
CAS number	1333-86-4
สูตรโมเลกุล	C
น้ำหนักโมเลกุล	12.011 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	1.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	-
จุดเดือด	3500 °C
ลักษณะทั่วไป	มีสีดำเป็นผงอนุภาคขนาดเล็ก เบา และแขวนลอยได้ในอากาศ ไม่มีกลิ่น และไม่ละลายน้ำ เป็นสารที่ความคงตัวสูง แต่อาจลุกติดไฟได้ง่าย

ลักษณะโครงสร้างทางเคมี



รูปที่ 14.1 ลักษณะทั่วไปของคาร์บอนแบล็ก

2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

คาร์บอนแบล็กเป็นคาร์บอนที่อยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ หรือจากการแยกส่วนประกอบด้วยความร้อนของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นก๊าซ หรือของเหลวภายใต้สภาวะควบคุม ลักษณะทางกายภาพจะมีสีดำ เป็นผงละเอียด และนำไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ คาร์บอนแบล็กจะอยู่ในรูปของ amorphous carbon ซึ่งมีสัดส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรสูง คาร์บอนแบล็กจัดเป็นสารอันตรายชนิดหนึ่งตามฐานข้อมูลของ Hazardous Substances Data Base [HSDB, 2002] เนื่องจากมีคาร์บอนที่ขนาดเล็กมากซึ่งมาจากกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน หรือมาจากกระบวนการให้ความร้อนที่เป็นการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ หรือการแยกส่วนประกอบด้วยความร้อนของก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมันปิโตรเลียม คาร์บอนแบล็กประกอบด้วย channel black, impingement black, furnace black และ thermal black โดยจากชนิดของคาร์บอนแบล็กทั้งหมดนั้น thermal black เป็นอนุภาคที่มีขนาดค่อนข้างหยาบมากที่สุด ในขณะที่ channel black มีขนาดของอนุภาคเล็กที่สุด โดยขนาดของอนุภาคคาร์บอนแบล็กโดยเฉลี่ยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-400 นาโนเมตร (IARC, 1996)

คาร์บอนแบล็กจะแตกต่างไปจากเขม่าที่เรียกว่า black carbon โดยเขม่ามักหมายถึงคาร์บอนต่างๆที่เราไม่ต้องการซึ่งมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำมัน แกสโซลีน ถ่านหิน กระดาษ พลาสติก หรือขยะ ซึ่งเขม่าเหล่านี้จะมีปริมาณของสารไดคลอโรมีเทน และโทลูอีนจำนวนมาก และอยู่ในเถ้ามากกว่าร้อยละ 50 ลักษณะทางกายภาพเคมีของคาร์บอนแบล็กที่แตกต่างไปจากเขม่า คือ คาร์บอนแบล็กส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 97 จะประกอบด้วยคาร์บอนที่เรียงตัวในลักษณะของ aciniform หรือฝุ่นที่มีโครงสร้างรวมกันเหมือนองุ่น (grape-like cluster particulate) ในขณะที่เขม่าจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าร้อยละ 60 ซึ่งคาร์บอนที่มีจะแตกต่างกันไปตามที่มีและลักษณะสมบัติของคาร์บอน

คาร์บอนแบล็กมักมีส่วนผสมของสาร polycyclic aromatic hydrocarbon หรือ PAHs ซึ่งสามารถสกัดได้ด้วยวิธีการเฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่จะสามารถสกัด PAHs ออกมาได้ในปริมาณน้อยมากๆ ส่วนคาร์บอนชนิดอื่นๆ ที่อาจมีการสับสนกับคาร์บอนแบล็ก คือ คาร์บอนกัมมันต์ (activated carbon) และ bone black ซึ่งได้มาจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันจากคาร์บอนแบล็กทำให้ลักษณะทางกายภาพเคมีแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมยาง** คาร์บอนแบล็กได้มีการนำไปใช้งานกันมากในอุตสาหกรรมยาง โดยจะถูกเติมไปในยางเพื่อให้เป็นวัสดุ filler และเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงให้กับยาง คาร์บอนแบล็กได้นำไปใช้ในชิ้นส่วนต่างๆ ของยาง ได้แก่ ยางใน ตัวเนื้อยาง และผนังของยาง นอกจากนี้ยังได้นำมาใช้ในการขึ้นรูปแบบหล่อ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกมากจากอุตสาหกรรมยาง เช่น เข็มขัด หัวฉีดน้ำ ลูกสูบ อุปกรณ์การสั่นสะเทือน อุปกรณ์กันกระแทก สายพาน เป็นต้น

- **อุตสาหกรรมหมึกพิมพ์และเคลือบ** คาร์บอนแบล็กได้ถูกนำมาใช้มากในการเป็นผงสี pigment ของหมึกพิมพ์และหมึกเคลือบ โดยเมื่อเทียบสัดส่วนการใช้งานแล้วจะเป็นรองเฉพาะการนำคาร์บอนแบล็กไปใช้ในอุตสาหกรรมยางเท่านั้น คาร์บอนแบล็กที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมนี้ต้องเป็นชนิดที่ออกซิไดซ์ด้วยกรด หรือ ชนิด acid oxidized carbon black โดยกรดจะถูกนำมาพ่นที่อุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิตคาร์บอนแบล็กซึ่งจะทำให้คาร์บอนแบล็กที่ได้มีลักษณะพื้นผิวที่ต่างออกไป โดยจะมีจำนวนของพันธะออกซิเจนบนพื้นผิวของคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้นซึ่งจะเหมาะสมกับการนำคาร์บอนแบล็กไปใช้งานในการเป็นหมึกสีและหมึกเคลือบมากกว่าชนิดอื่นๆ

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับคาร์บอนแบล็กทางการหายใจเป็นเส้นทางหลักในการนำคาร์บอนแบล็กเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งเกิดขึ้นได้ง่ายในขณะปฏิบัติงาน เนื่องจากคาร์บอนแบล็กจะอยู่ในรูปของผงซึ่งมีขนาดเล็ก และเบาทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งปรากฏในอากาศได้ทั้งรูปผง และละอองลอย

อาการที่ได้รับสาร – คัดจมูก ระคายเคืองจมูก และระบบทางเดินหายใจ

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงานและในการผลิตหรือสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนควรทำในระบบปิดทุกครั้ง

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – โดยทั่วไปแล้วการได้รับคาร์บอนแบล็กโดยทางปากนั้น เกิดขึ้นได้หากมีการปนเปื้อนของคาร์บอนแบล็กขณะปฏิบัติงาน เช่นอาจติดมือ เป็นต้น จากนั้นเข้าสู่ปากผ่านอาหาร น้ำดื่ม หรือการสูบบุหรี่

อาการที่ได้รับสาร – อาจระคายเคืองระบบทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่ถุงมือชนิดที่เหมาะสมทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน ไม่สัมผัสกับคาร์บอนแบล็กโดยตรงด้วยมือเปล่า และทำความสะอาดร่างกายก่อนรับประทานอาหารและน้ำดื่ม

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การได้รับทางผิวหนังเกิดขึ้นได้ในขณะปฏิบัติงานซึ่งอาจเกิดการหกหรือกระฉอกของของเหลวที่มีคาร์บอนแบลคอยู่ ทำให้เกิดการได้รับผ่านทางผิวหนังได้ นอกจากนี้การสัมผัสกับอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานด้วยมือเปล่า เช่น ถุงมือที่ใช้แล้ว เครื่องมือในการสังเคราะห์ ชุดคลุม เป็นต้น อาจทำให้ได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนังผ่านการสัมผัสได้เช่นกัน

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับทางผิวหนังในปริมาณมากจะทำให้เกิดการระคายเคือง

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – รูปแบบของคาร์บอนแบลคที่แขวนลอยในอากาศมีทั้งในลักษณะผงและละอองลอย ซึ่งสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายเข้าสู่ดวงตาได้ง่าย

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับในปริมาณมากเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับคาร์บอนแบล็กทางการหายใจ หรือจากการสูดดมผง ฝุ่นหรือละอองลอยของคาร์บอนแบล็กให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่งอากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธิ์และนอนพัก หากรับคาร์บอนแบล็กในปริมาณมากให้ใช้เครื่องช่วยหายใจและนำส่งแพทย์

หากได้รับคาร์บอนแบล็กทางปาก ให้นำส่งแพทย์ทันที

การได้รับคาร์บอนแบล็กทางผิวหนัง ให้ล้างผิวหนังบริเวณที่สัมผัสด้วยน้ำและสบู่ในปริมาณมากเป็นเวลานานหลายนาที โดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยความระมัดระวัง แล้วนำส่งแพทย์ หากคาร์บอนแบล็กเข้าตาให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลาหลายนาที แล้วนำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของคาร์บอนแบล็กจากการทดสอบของ OECD

คาร์บอนแบล็กเป็นวัสดุนาโนชนิดหนึ่งที่ถูกกำหนดไว้ให้มีการทดสอบลักษณะความเป็นพิษที่มีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากในปัจจุบัน (ปี 2012) ยังไม่มีประเทศใดอาสาเป็นผู้ดำเนินการวิจัยหลักจึงทำให้ยังไม่มีการทดสอบและรายงานลักษณะความเป็นพิษของคาร์บอนแบล็กดังกล่าว

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ยังไม่มีการทดสอบความเป็นพิษจากกลุ่มนักวิจัยของ OECD

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

ยังไม่มีการทดสอบความเป็นพิษจากกลุ่มนักวิจัยของ OECD

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของคาร์บอนแบล็กจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์(Ecotoxicology)

Canesi และคณะ (Canesi et al., 2008) ได้รายงานถึงผลกระทบของอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีต่อภูมิคุ้มกันของเซลล์เม็ดเลือดของหอยสองฝา *Mytilus* โดยให้มีการได้รับอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็ก 1, 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยพบว่าอนุภาคนาโนไม่ได้ทำให้เกิดการสลายตัวของ lysosomal membrane ซึ่งเป็นผลจากการทดสอบด้วย NR retention time assay โดยการได้รับอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็กส่งผลให้

เกิดการปลดปล่อย lysozyme อย่างรวดเร็ว รวมทั้งทำให้เกิดการสร้างอนุมูลออกซิเจนอิสระและการปลดปล่อยไนตริกออกไซด์ (NO) ในเซลล์ จากการวิเคราะห์ด้วย flow cytometry พบว่าเมื่อใช้อนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็กที่ความเข้มข้นสูงสุด จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญต่อลักษณะของไมโตคอนเดรียในส่วนการลดลงของจำนวนและน้ำหนักไมโตคอนเดรีย นอกจากนี้ผลกระทบของอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็กยังมีต่อการกระตุ้นอย่างรวดเร็วของ stress-activated MAPKs (Mitogen Activated Protein Kinases) p38 และ JNKs ซึ่งส่งผลเชิงลบต่อการสร้างภูมิคุ้มกันและการอักเสบเกิดขึ้นกับหอยสองฝาซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นนี้เป็นลักษณะเดียวกันกับผลความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์

4.2.2 ความเป็นพิษกับเซลล์

คาร์บอนแบล็กเป็นวัสดุนาโนที่มีขนาดเล็กละเอียดและมีพื้นที่ผิวเป็นจำนวนมาก โดยงานวิจัยหลายงานที่ผ่านมาได้แสดงถึงผลกระทบของวัสดุนาโนเหล่านี้ต่อการอักเสบของเซลล์และเนื้อเยื่อ Koike และ Kobayashi (Koike and Kobayashi, 2006) ได้ทดสอบความเป็นพิษของคาร์บอนแบล็กซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14, 56 และ 95 นาโนเมตร และทำการทดสอบโดยการวัดโปรตีน heme oxygenase-1 (HO-1) ใน epithelial cell line (SV40T2) และ alveolar macrophages (AM) ด้วย ELISA ส่วน oxidative capacity ของอนุภาคคาร์บอนแบล็กทำโดยการวัด dithiothreitol (DTT) จากการทดสอบพบว่าปริมาณของสาร dithiothreitol (DTT) ที่ตรวจพบมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของอนุภาค โดยเมื่ออนุภาคคาร์บอนแบล็กมีขนาด 14 นาโนเมตรจะมีการนำสาร dithiothreitol (DTT) ไปใช้ในอัตราที่มากกว่าอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดใหญ่กว่า ในขณะที่โปรตีน HO-1 protein ในเซลล์ SV40T2 มีการเพิ่มอย่างชัดเจนเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดอนุภาคจาก 14 นาโนเมตรไปเป็น 56 นาโนเมตร ในขณะที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ กับอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีขนาด 95 นาโนเมตร ซึ่งแสดงถึงความเป็นพิษที่น้อยกว่าของอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดใหญ่และพื้นที่ผิวน้อยกว่า จากการทดสอบนี้ได้แสดงให้เห็นถึงการอักเสบของเซลล์ของถุงลมปอดที่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของคาร์บอนแบล็ก

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

คาร์บอนแบล็กที่มีขนาดเล็กมาก และมีพื้นที่ผิวสูงนอกจากทำให้เซลล์เกิดการอักเสบแล้ว ยังพบว่าจากการทดสอบกับหนู (rat) อนุภาคเหล่านี้มีการรวมตัวกัน (Ferin et al., 1992, Peters et al., 1997, Li et al., 1999) โดยอนุภาคที่มีความละเอียดมากนี้สามารถผ่านทะลุเข้าไปในระบบทางเดินหายใจในระดับที่ลึกกว่าอนุภาคทั่วไป ซึ่งทำให้เกิดการอักเสบที่รุนแรงได้ (Oberdorster, 2001, Donaldson et al., 2002) นอกจากขนาดของอนุภาคที่มีผลต่อความเป็นพิษของเซลล์แล้ว ลักษณะทางเคมีพื้นผิวเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ จากรายงานของ Wilson และคณะ (Wilson et al., 2002) ได้รายงานว่าอนุภาคคาร์บอนแบล็กสามารถสร้างอนุมูลอิสระ reactive oxygen species ได้ โดยหากเทียบกับคาร์บอนแบล็กทั่วไปแล้ว อนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็กที่ขนาดเล็กละเอียดนี้สามารถสร้างอนุมูลอิสระได้มากกว่า และทำให้ glutathione ลดจำนวนลงได้มากกว่าด้วย

จากลักษณะดังกล่าว Gilmour และคณะ (Gilmour et al., 2004) ได้รายงานว่าการได้รับอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดเล็กละเอียดมากนี้ จะทำให้เกิดการอักเสบในปอดมากกว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดเล็กทั่วไปอีกด้วย การตกค้างของอนุภาคเหล่านี้ยังเหนี่ยวนำทำให้เกิดการอักเสบใน neutrophil influx ในปอดร่วมด้วย (Dick et al., 2003) ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดอนุมูลอิสระ นอกจากนี้อนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็กยังทำให้เกิดการอักเสบในยีน และทำให้เกิดการเพิ่มของ cytosolic Ca^{2+} ในพลาสมาเมมเบรนอีกด้วย (Dick et al., 2003, Stone et al., 2000)

นอกจากนี้ Hussain และคณะ (Hussain et al., 2009) ได้ศึกษาถึงผลของพื้นที่ผิวที่มีต่อการอักเสบของเซลล์เมื่อได้รับอนุภาคนาโนคาร์บอนสองชนิด คือ คาร์บอนแบล็ก และไททาเนียมไดออกไซด์ โดยใช้ bronchial epithelial cell line (16HBE14o-) เป็นเซลล์ทดสอบ โดยวัสดุทั้งสองชนิดได้เคลื่อนที่เข้าไปยัง endosome หรือช่องว่างใน cytoplasm โดยอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็กจะสร้างอนุมูลอิสระ reactive oxygen species (ROS) ขึ้น โดยเซลล์ที่ได้อนุภาคนาโนจะมีกลุ่มของกรานูลเม็ดเลือดขาวมากขึ้นทำให้เกิดผลต่อ RNA และสารคัดหลั่ง โดยการอักเสบที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามกับพื้นที่ผิวเป็นหลัก โดยขนาดของอนุภาคนาโนที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้การอักเสบไม่เหมือนกันได้

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงาน Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงาน (permissible exposure limit, PEL) สำหรับคาร์บอนแบล็กเป็น 3.5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับที่กำหนดไว้ในประเทศอังกฤษ ในขณะที่ประเทศเยอรมันได้กำหนดไว้ที่ 6 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration)และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโนแว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 14.2



รูปที่ 14.2 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมีและฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่นโดยเฉพาะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

ถ้าปฏิบัติงานกับคาร์บอนแบล็กในรูปผงหรือละอองลอย ควรใช้เป็นหน้ากากกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด

ถ้าปฏิบัติงานกับคาร์บอนแบล็กในรูปสารละลายสามารถใช้เป็นหน้ากากกรองอนุภาคที่มีวัสดุกรองอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลงให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะและลดแรงต้านการหายใจได้

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 14.3



(a) ถุงมือ Silver Shield



(b) ถุงมือ Butyl



(c) ถุงมือ Viton



(d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 14.3 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาคาร์บอนแบล็กในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ โดยมีข้อปฏิบัติเฉพาะ ดังนี้

- ต้องเก็บรักษาให้ไกลจากประกายไฟ เนื่องจากคาร์บอนแบล็กเกิดการลุกติดไฟและเกิดการเผาไหม้ได้ง่ายหากได้รับประกายไฟ
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากสารออกซิไดซ์เซอร์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเปอร์คลอเรต สารเปอร์มังกาเนต เป็นต้น
- ต้องเก็บรักษาให้ห่างจากกลุ่มสารประกอบที่มีธาตุฮาโลเจน
- ห้ามเก็บรักษาร่วมกับกรดและด่าง
-

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนที่มีลักษณะเป็นผง (เช่น ฝุ่นคาร์บอน หรือฝุ่นเหล็ก เป็นต้น) ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟหรืออาจเกิดการระเบิดได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย1ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

จากการที่คาร์บอนแบล็กเป็นสารที่ลุกไหม้ได้ง่ายเมื่ออยู่ในรูปผงและสะสมในปริมาณมาก จึงต้องหลีกเลี่ยงอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการลุกไหม้ของท่อนาโนคาร์บอน ได้แก่

- หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
- หลีกเลี่ยงการเกิดเปลวไฟ ประกายไฟ หรืออยู่ใกล้กับวัสดุที่ทำให้เกิดเปลวไฟ เช่น เทียน เป็นต้น
- หลีกเลี่ยงจากการเกิดประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์เชื่อม อุปกรณ์ตัด

คาร์บอนแบล็กเมื่อลุกไหม้ อาจไม่เห็นเปลวเพลิง แต่จะเห็นควันและมีความร้อนออกมาก นอกจากนี้จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซพิษ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการปฏิบัติงานระงับภัยต้องระวังการได้รับก๊าซเหล่านี้ และควรแยกผงคาร์บอนแบล็กออกจากพื้นที่เพลิงไหม้ และนำไปไว้ในที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

โดยทั่วไปสารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนแบล็กได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม ไม่ควรใช้หัวฉีดน้ำความดันสูงในการดับเพลิง ควรใช้เป็นระบบพ่นหมอก ทั้งนี้ต้องมีการตรวจสอบเอกสารความปลอดภัยของสารเคมี (MSDS) ทุกครั้ง เนื่องจากคาร์บอนแบล็กบางชนิดระบุวิธีการดับเพลิงเฉพาะชนิด เช่น ต้องใช้โฟมเป็นสารดับเพลิงเท่านั้น ไม่สามารถใช้น้ำเป็นสารดับเพลิงได้ เป็นต้น

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารคาร์บอนแบล็กไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ US. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) จึงสามารถกำจัดได้เหมือนสารเคมีทั่วไป โดยสามารถกำจัดด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล หรือการเผาด้วยเตาเผาได้ โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศพิษ เพื่อบำบัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นขณะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของคาร์บอนแบล็ก

(แสดงในภาคผนวก ก.14)

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SECTION I. Product Name and Company Identification	
Trade Name: Carbon Black	CHEMICAL NAME: Carbon (Amorphous)

SECTION II. Composition/Information on Components	
Component:	**Carbon Black** (Amorphous Carbon)
CAS Number:	1333-86-4
Weight, %	100

SECTION III. Hazards for Man and Environment	
POSSIBLE EFFECT ON HEALTH	
EYE:	Carbon black may produce eye irritation.
SKIN CONTACT:	The product is not skin irritant.
INFILTRATION THROUGH SKIN:	Infiltration is not probable, carbon black being a dry solid material.
INGESTION:	Specific effect is not known.
INHALATION:	At high concentrations of carbon black dust (above TLV) inhalation may produce irritation of lungs.

SECTION IV. Fist AID	
EYE	Flush with water.
SKIN	Wash with soap and water.
INGESTION	Usually no hazardous effect is produced.
INHALATION	Go out into open air.

SECTION V. Fire Fighting Procedures	
COMBUSTIBILITY	
FLASH POINT	N/A
INFLAMMABILITY IN AIR	May inflame at temperatures above 250 C.
LOWER EXPLOSIBILITY LIMIT (LEL)	60 mg/cu.m *
UPPER EXPLOSIBILITY LIMIT (UEL)	N/A
EXTINGUISHING MEDIA	Atomized jet of water.
UNUSUAL FIRE HAZARDS	Carbon monoxide and carbon dioxide are generated during combustion of carbon black. The product burns (smolders) without flame, therefore in some cases combustion of carbon black cannot be detected, cases combustion of carbon black cannot be detected, unless the product is stirred and sparks are produced.

6.2 เอกสารความปลอดภัยของคาร์บอนแบล็ก

(แสดงในภาคผนวก ก.14)

cancarb

Material Safety Data Sheet
Carbon Black

According to the Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS)

1.0 Identification of Substance and Company

1.1 Product Name: Carbon Black

Trade Names: Thermax N990, N907 Stainless, N990 Ultra-Pure Floform, Thermax N991, N991 Ultra-Pure, N908 Stainless, N908 Stainless Ultra-Pure Powder, Fine Thermal, MFT, Carbocolor, Carbocolor Powder, N991R, Colorant Residue, TB Carbon.

European Union REACH Registration Number: 01-2119384822-32

1.2 Manufacturer/Supplier:

Cancarb Limited
1702 Brier Park. Cr. NW.
Medicine Hat, Alberta
Canada, T1C 1T8
Phone number: + 1- 403-527-1121

1.3 European Union Only Representative:

Global Energy Investments S.a.r.l.
c/o Centralis S.A.
37 rue d'Anvers
L-1130 Luxembourg

1.4 Emergency Number(s):

For Chemical Emergency ONLY (spill, leak, fire, exposure or accident), call CHEMTREC at *+1-703-527-3887 or see section 16 for in country telephone numbers.*

For ALL other inquiries about this product, call +1-403-527-1121 or email;
customer_service@cancarb.com

1.5 Use of Substance/Preparation:

Used as a filler in rubber and plastics, carburizer and reducing agent in metallurgy, colorant/pigment and refractory additive

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

CanesiL, CiacciC, BettiM, FabbriR, CanonicoB, FantinatiA, MarcominiA, PojanaG, Environ Int 34 (2008) 1114.

Dick CA, Brown DM, Donaldson K, Stone V, InhalToxicol 15 (2003) 39.

Donaldson K, Brown D, Clouter A, Duffin R, MacNee W, Renwick L, Tran L, Stone V, J Aerosol Med 15 (2002) 213.

Ferin J, Oberdorster G, Penney DP, Am J Respir Cell MolBiol 6 (1992) 535.

Gilmour PS, Ziesenis A, Morrison ER, Vickers MA, Drost EM, Ford I, Karg E, Mossa C, Schroeppel A, Ferron GA, Heyder J, Greaves M, MacNee W, Donaldson K, ToxicolApplPharmacol 195 (2004) 35.

HSDB, Hazardous Substance Database, 2002, Available from http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/Search/f?./temp/~5PYHZT:1:Full.

HussainaS, BolandS, Baeza-SquibanA, HamelR, ThomassenLCJ, MartensJA, Billon-GallandMA, Fleury-FeithJ, MoisanF, PaironJ-C, MaranoF,Toxicol 260 (2009) 142.

IARC (International Agency for Research on Cancer),Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans: Carbon Black, vol. 65, 1996, pp. 149–262.

KoikeE, KobayashiT,Chemosphere 65 (2006) 946.

Li XY, Brown D, Smith S, MacNee W, Donaldson K,InhalToxicol 11 (1999) 709.

OberdorsterG,IntArchOccup Environ Health 74 (2001) 1.

Peters A, Wichmann HE, Tuch T, Heinrich J, Heyder J, Am J RespirCrit Care Med 155 (1997) 1376.

Stone V, Tuinman M, Vamvakopoulos JE, Shaw J, Brown D, Petterson S, Faux SP, BormP,MacNee W, Michaelangeli F, Donaldson K,EurRespir J 15 (2000) 297.

Wilson MR, Lightbody JH, DonaldsonK, Sales J, Stone V,ToxicolApplPharmacol 184 (2002) 172.

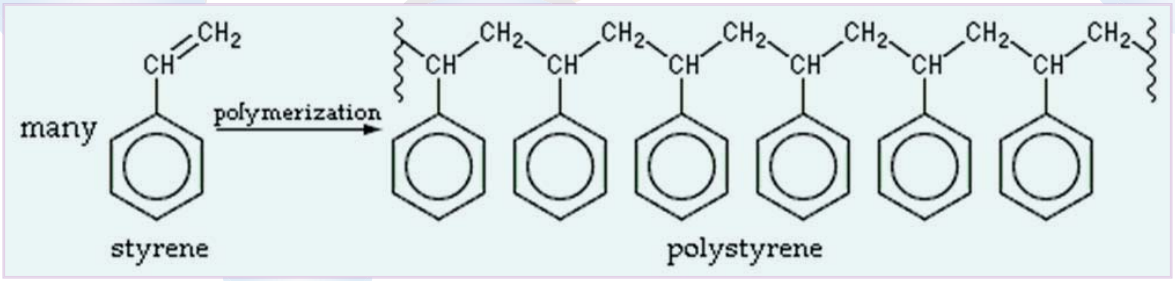
บทที่ 15
พอลิสไตรีน (Polystyrene)

1. ลักษณะสมบัติ

พอลิสไตรีนเป็นสารที่มีอยู่ในหลายรูปแบบ ในที่นี้ลักษณะสมบัติจะยกตัวอย่างของสาร total polystyrene ของ TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC.

ชื่อ	polystyrene
CAS number	9003-53-6
สูตรโมเลกุล	$(-CH(C_6H_5)-CH_2-)_x$ $(-CH_2-CH=CH-CH_2-)_y$
ความหนาแน่น	1.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดติดไฟ	420 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	>132.22 องศาเซลเซียส
ความดันไอ	ไม่ระเหย
ลักษณะทั่วไป	มีทั้งเป็นก้อน เม็ด ผง และของเหลว
	ไม่ละลายน้ำ

ลักษณะโครงสร้างของพอลิสไตรีนแสดงในรูปที่ 15.1



รูปที่ 15.1 ลักษณะโครงสร้างของพอลิสไตรีน
และกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจากสไตรีนมอนอเมอร์เป็นพอลิสไตรีน
(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Polystyrene_formation.PNG)

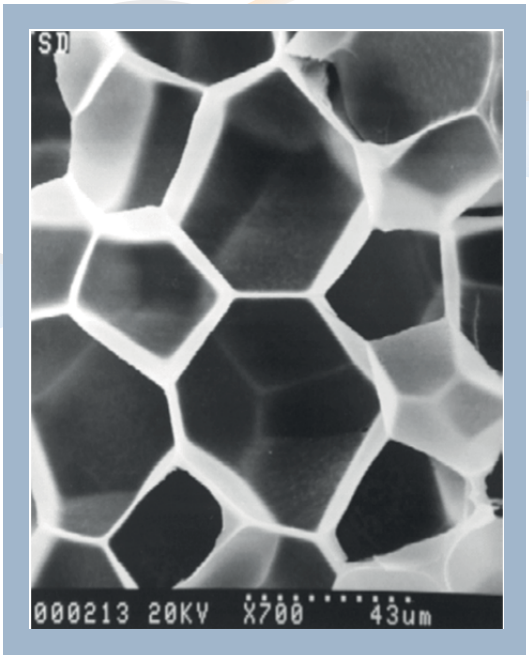
2. ผลิตภัณฑ์และการใช้งาน

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะ

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มาจากสไตรีนโมโนเมอร์ สารไฮโดรคาร์บอนที่มาจากปิโตรเลียม (Brydson, 1999) พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกคือหลอมเป็นของเหลวได้โดยที่อุณหภูมิห้องจะอยู่ในสถานะของแข็งแต่จะหลอมละลายเมื่อทำให้ร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นลงพอลิสไตรีนแข็งที่บริสุทธิ์จะไม่มีสีใสแต่สามารถทำเป็นสีต่างๆได้และยืดหยุ่นได้จำกัด โดยส่วนใหญ่มักผลิตในรูปของเม็ดซึ่งมีขนาดแตกต่างกันไป การขึ้นรูปของเม็ดพอลิสไตรีนให้เป็นโฟม หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไป เรียกว่า expanded polystyrene (EPS) เป็นชนิดที่ได้จากการผสมโพลีสไตรีนร้อยละ 90-95 กับสารทำให้ขยายตัวโดยพอลิสไตรีนจะผ่านกระบวนการที่ใช้สารขยายตัว (blowing agent) ภายใต้ความร้อนและความดันจะทำให้พลาสติกนั้นกลายเป็นโฟม สารขยายตัวที่ใช้กันมากคือ เพนเทน (pentane) และเฮกเซน (hexane) โดยโฟมที่ได้จะประกอบด้วยเม็ดพอลิสไตรีนที่มีสารขยายตัวประมาณร้อยละ 3-8 ของไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำ ได้แก่ เพนเทน ไอโซเพนเทน และไซโคลเพนเทน

นอกจากนี้ยังมีการผลิตโฟมพอลิสไตรีนในรูปของแข็งด้วยกระบวนการ extrusion (Doroudiani and Kortschot, 2003a-c, Han et al., 2002) โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือไนโตรเจนเป็นสารขยายตัว โดยโฟมพอลิสไตรีนประเภทนี้จะมีส่วนประกอบของเซลลูโลส (Doroudiani and Kortschot, 2004, Doroudiani et al., 2002) และแป้ง (Mihai et al., 2007) ร่วมด้วยซึ่งจะทำให้โฟมพอลิสไตรีนเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยโครงสร้างขนาดเล็กของโฟมพอลิสไตรีนที่ผลิตมาจากพอลิสไตรีนที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารขยายตัวแสดงในรูปที่ 15.2



รูปที่ 15.2 ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของพอลิสไตรีนที่มีสารคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารขยายตัว (Doroudiani and Omidian, 2010)

พอลิสไตรีนอีกประเภทหนึ่งที่รู้จักกันในนาม Extruded polystyrene (XPS) มีชื่อทางการค้าที่แพร่หลายคือ Styrofoam เป็นชนิดที่มีการเติมอากาศไว้ในช่องว่างตามเนื้อโฟมทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ ใช้ในงานก่อสร้างและใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในอาคารและยังมีชนิดที่เป็นแผ่นเรียกว่า Polystyrene Paper Foam (PSP) ใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารเช่นกล่องหรือถาดใส่อาหาร

จากการที่พอลิสไตรีนทำมาจากคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ ทำให้วัสดุชนิดนี้เผาไหม้ได้ง่าย จึงทำให้มีโอกาสเกิดเพลิงไหม้ได้ โดยเมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดเขม่า และควันไฟทึบซึ่งจะทำให้เกิดการบดบังสายตาจากการมองเห็นและทำให้ทำงานได้ยาก เมื่อเกิดการเผาไหม้พอลิสไตรีนจะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาพอลิสไตรีนโดยให้มีส่วนผสมของสารหน่วงไฟที่มีธาตุหมู่ 7 เช่น โบรมีน เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดการเผาไหม้ลงแต่ปล่อยสารพิษ เช่น ไฮโดรเจนโบรมีน เป็นต้น สู่อากาศขณะเผาไหม้ได้

2.2 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

- **อุตสาหกรรมพลาสติก** พอลิสไตรีนได้ถูกนำมาใช้อย่างมากในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกของใช้ในครัวเรือน เนื่องจากพอลิสไตรีนมีลักษณะนุ่มและยืดหยุ่นเหมือนยาง มีน้ำหนักเบา เหมาะสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีต่างๆ ผลิตภัณฑ์ทั่วไป ได้แก่ ถ้วยจาน แก้วน้ำ ช้อนส้อม ที่ใช้แล้วทิ้ง กล่องบรรจุอาหารและผลไม้ ไม้บรรทัดของเล่น ขวดหรือกระปุกใส่ยา เฟอร์นิเจอร์บางอย่าง ชิ้นส่วนในตู้เย็น
- **อุตสาหกรรมโฟม** พอลิสไตรีนนิยมใช้กันมากในรูปของโฟมกันแตกสำหรับบรรจุภัณฑ์ต่างๆ รวมทั้งภาชนะโฟม
- **อุตสาหกรรมก่อสร้าง** พอลิสไตรีนนิยมใช้เป็นฉนวนความร้อน โดยจากลักษณะโครงสร้างเหมือนฟองน้ำของพอลิสไตรีนทำให้สามารถบรรจุอากาศได้เป็นจำนวนมาก และมีจุดติดได้ที่อุณหภูมิ 350-490 องศาเซลเซียสทำให้สามารถหน่วงการเกิดไฟไหมได้ (Troitzsch, 1990, ASTM D1929–96, 2001)

3. การได้รับเข้าสู่ร่างกายและการปฐมพยาบาล

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การได้รับเข้าสู่ร่างกาย

- การได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

ลักษณะการได้รับสาร –โดยทั่วไปแล้วพอลิสไตรีนมีหลายรูปแบบ เช่น เม็ด ผง หรือของเหลว เป็นต้น อันตรายที่เกิดขึ้นได้ในการได้รับทางการหายใจมักมาจากสองทาง คือการได้รับพอลิสไตรีนในรูปผงฝุ่น ซึ่งสามารถหายใจเข้าสู่ร่างกายได้โดยง่าย การได้รับอีกลักษณะหนึ่งคือเมื่อพอลิสไตรีนเกิดการเผาไหม้ ซึ่งจะให้ไอควันที่เป็นพิษ ซึ่งสามารถเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจเช่นกัน การได้รับสารชนิดนี้ทางการหายใจจัดว่าเป็นเส้นทางหลักในการได้รับสารนี้

อาการที่ได้รับสาร – คัดจมูก ระคายเคืองจมูก และระบบทางเดินหายใจ

การป้องกันการได้รับสาร – ใส่หน้ากากป้องกันการหายใจทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน ในที่ปฏิบัติงานควรมีการระบายอากาศที่ดี หรือหากทำงานกับพอลิสไตรีนที่มีการให้ความร้อน ควรทำภายใต้ตู้ดูดควัน

- การได้รับวัสดุนาโนทางปาก

ลักษณะการได้รับสาร – มีโอกาสการได้รับทางตรงจากทางปากเกิดขึ้นน้อยมาก เส้นทางที่อาจเกิดขึ้นมาจากการได้รับฝุ่น หรือไอควันทางการหายใจและเข้าสู่ปากไปพร้อมๆกัน

อาการที่ได้รับสาร – อาจทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินอาหาร

การป้องกันการได้รับสาร – การใส่ถุงมือและหน้ากากป้องกันฝุ่นหรือไอพิษทุกครั้งในขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ลักษณะการได้รับสาร – การรับนาโนเคลย์ทางผิวหนังเกิดขึ้นได้ จากการรับในรูปของฝุ่น

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับฝุ่นผง หรือควันไอของพอลิสไตรีนเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

การป้องกันการได้รับสาร – การใส่ถุงมือ หน้ากาก แว่นตาเพื่อป้องกันฝุ่นเข้าสู่ดวงตาและสวมชุดคลุมทุกครั้งในขณะปฏิบัติงาน

- การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ดวงตา

ลักษณะการได้รับสาร – การรับนาโนเคลย์ทางผิวหนังและทางตาเกิดขึ้นได้ จากการรับในรูปของฝุ่น หรือควันไอเข้าสู่ดวงตาหากไม่มีการสวมแว่นตาขณะปฏิบัติงาน

อาการที่ได้รับสาร – ถ้ารับฝุ่นผง หรือควันไอของพอลิสไตรีนเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาแดง

3.2 การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ที่ได้รับสารพอลิสไตรีนทางการหายใจ ให้ผู้ได้รับสารออกจากบริเวณที่ได้รับอากาศปนเปื้อน และไปอยู่ในบริเวณที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก ให้หายใจเอาอากาศบริสุทธ์ ให้สังเกตอาการที่เกิดขึ้นขณะหายใจ ถ้ามีการไอหรือหายใจลำบากอาจมีการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ สามารถใช้เครื่องช่วยหายใจได้ และนำส่งแพทย์

หากได้รับสารพอลิสไตรีนทางปากซึ่งอาจมาจากการได้รับผงของสารพอลิสไตรีนขณะปฏิบัติงาน การปฐมพยาบาลขั้นต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีสติทำโดยการล้างปาก กลั้วปากหลายครั้งด้วยน้ำสะอาด และการดื่มน้ำสะอาดในปริมาณมากๆ หรือดื่มนม 1 ถึง 2 แก้วตามไปเพื่อให้เกิดการอาเจียนเอาสารเคมีออกมา และให้นำส่งแพทย์ แต่หากผู้ป่วยไม่มีสติห้ามให้น้ำหรือสิ่งอื่นใดเข้าปาก ให้นำส่งแพทย์

การได้รับสารพอลิสไตรีนทางผิวหนัง ให้ล้างผิวหนังด้วยน้ำเปล่าและสบู่ในบริเวณที่สัมผัสเป็นเวลานานอย่างน้อย 15 นาทีโดยเฉพาะหากบริเวณที่สัมผัสเป็นแผลเปิดให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยความระมัดระวัง หากมีอาการระคายเคือง หรือผื่นขึ้นต่อเนื่องให้นำส่งแพทย์

หากสารพอลิสไตรีนเข้าตา ให้ล้างตาด้วยน้ำเปล่าอุณหภูมิห้องในปริมาณมาก โดยล้างเป็นเวลาต่อเนื่องอย่างน้อย 15 นาที ถ้าเกิดการระคายเคือง เจ็บปวด หรือบวม หรือแพ้แสง ให้นำส่งแพทย์

4. ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลความเป็นพิษของพอลิสไตรีนจากการทดสอบของOECD

พอลิสไตรีนเป็นวัสดุนาโนชนิดหนึ่งที่ถูกกำหนดไว้ให้มีการทดสอบลักษณะความเป็นพิษที่มีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากในปัจจุบัน (ปี 2012) ยังไม่มีประเทศใดอาสาเป็นผู้ดำเนินการวิจัยหลักจึงทำให้ยังไม่มีการทดสอบและรายงานลักษณะความเป็นพิษของพอลิสไตรีนดังกล่าว

4.1.2 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicology)

ยังไม่มีการทดสอบความเป็นพิษจากกลุ่มนักวิจัยของ OECD

4.1.3 ความเป็นพิษกับเซลล์

ยังไม่มีการทดสอบความเป็นพิษจากกลุ่มนักวิจัยของ OECD

4.2 ข้อมูลความเป็นพิษของพอลิสไตรีนจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

4.2.1 ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์(Ecotoxicology)

ยังไม่มีการรายงานความเป็นพิษของพอลิสไตรีนต่อระบบนิเวศน์

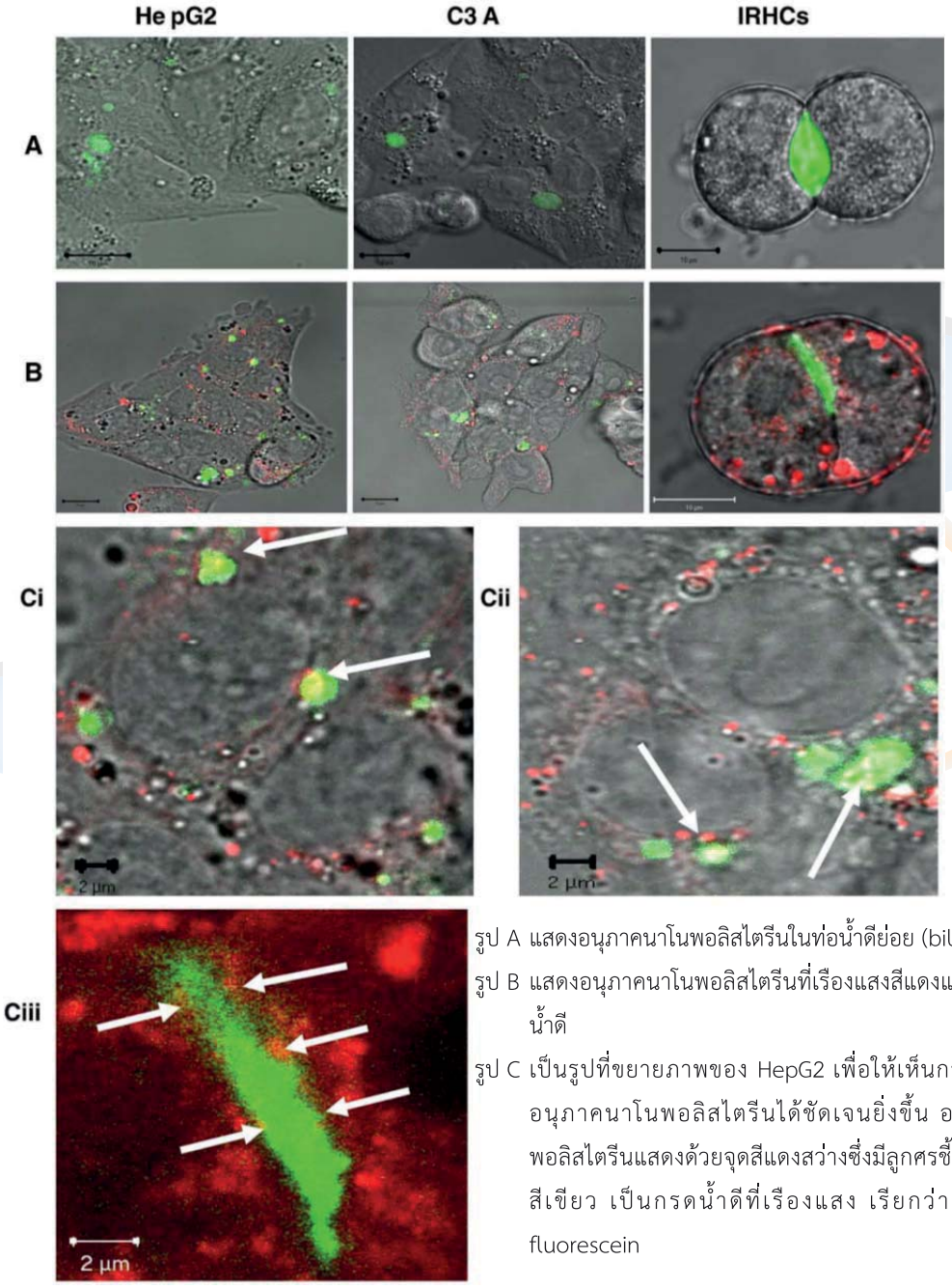
4.2.2 ความเป็นพิษต่อเซลล์

งานวิจัยความเป็นพิษของอนุภาคพอลิสไตรีนที่มีต่อเซลล์ได้มีการดำเนินการวิจัยอยู่ในจำนวนไม่มากนัก โดยได้มีการศึกษาถึงผลของอนุภาค พื้นที่ผิว น้ำหนัก และลักษณะทางเคมีพื้นผิวต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในปอดของกระต่าย โดยใช้อนุภาคโพลีสไตรีนที่มีขนาด 110 นาโนเมตร และ 24 นาโนเมตร แล้วหาค่า Pulmonary microvascular permeability (*Kf,c*) ของอนุภาคนาโนที่ตกค้างในปอด จากผลการทดสอบพบว่ามีอนุภาคพอลิสไตรีนในพื้นที่ช่องว่างในถุงลมของปอด และในเม็ดเลือดขาว ซึ่งทำให้ค่า *Kf,c* มีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่านี้มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวและปริมาณของอนุภาคพอลิสไตรีนมากกว่าน้ำหนักของอนุภาค โดยอนุภาคพอลิสไตรีนที่มีการปรับปรุงลักษณะด้วยอามีนให้มีประจุเป็นบวก (positively charged amine-modified polystyrene particles) ส่งผลกับค่าของ *Kf,c* มากกว่าอนุภาคพอลิสไตรีนที่มีประจุลบ (Hamoir et al., 2008)

งานวิจัยของ Brown และคณะ (Brown et al., 2001) ได้ศึกษาผลของอนุภาคของพอลิสไตรีนที่มีต่อการอักเสบของปอดโดยทดสอบกับหนู (rat) โดยให้หนูได้รับอนุภาคพอลิสไตรีนขนาด 64, 202, 535 นาโนเมตร ผลจากการทดสอบพบว่ามีการเพิ่มของโปรตีนและ lactate dehydrogenase ในเสมหะ โดยพบว่ามีความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวของอนุภาคพอลิสไตรีนกับการอักเสบที่เกิดขึ้น ซึ่งแสดงผลถึงของอนุภาคของพอลิสไตรีนที่มีต่อการอักเสบของปอด ในการทดสอบแบบ *in vitro* ได้มีการวัดการเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมในเซลล์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการนำไปสู่การอักเสบที่แสดงลักษณะของยีน chemokines โดยพบว่าอนุภาค

พอลิสไตรีนทำให้เกิดการเพิ่มความเข้มข้นของ cytosolic calcium นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มของ IL-8 gene expression ใน A549 epithelial cell หลังจากที่เซลล์ได้รับอนุภาคพอลิสไตรีนอีกด้วย

ในการทดสอบผลของพอลิสไตรีนที่มีต่อตับ Helinor และคณะ (Helinor et al., 2010) ได้ทำการทดสอบโดยใช้อนุภาคพอลิสไตรีนที่เรืองแสงและมีขนาด 20 และ 200 นาโนเมตร และตรวจสอบด้วยกล้อง confocal microscopy โดยตรวจวัดเซลล์ขณะที่มีการได้รับอนุภาคและภายหลังที่ได้รับอนุภาค โดยทดสอบกับเซลล์ตับของหนู (rat) และเซลล์ตับของมนุษย์ (C3A และ HepG2) ดังแสดงในรูป 15.3



รูป A แสดงอนุภาคนาโนพอลิสไตรีนในท่อน้ำดีย่อย (bilecanaliculi)

รูป B แสดงอนุภาคนาโนพอลิสไตรีนที่เรืองแสงสีแดงและน้ำดีในท่อน้ำดี

รูป C เป็นรูปที่ขยายภาพของ HepG2 เพื่อให้เห็นการสะสมของอนุภาคนาโนพอลิสไตรีนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น อนุภาคนาโนพอลิสไตรีนแสดงด้วยจุดสีแดงสว่างซึ่งมีลูกศรชี้อยู่ ในขณะที่สีเขียว เป็นกรดน้ำดีที่เรืองแสง เรียกว่า cholyllysyl fluorescein

รูปที่ 15.3 แสดงการสะสมของอนุภาคพอลิสไตรีนที่เรืองแสงได้ขนาด 20 นาโนเมตรและกรดน้ำดีในโครงสร้างของ canalicular structure ของ hepatocyte cell lines ได้แก่ HepG2 cells, C3A และ isolated rat hepatocyte couplets (IRHCs) (Helinor et al., 2010)

โดยจากผลการทดสอบพบว่าการได้รับอนุภาคนาโนของตับนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆของพอลิสไตรีน ได้แก่ ขนาด ช่วงเวลาและเซรัม โดยเมื่อให้มีการได้รับสารอนุภาคพอลิสไตรีนขนาด 20 นาโนเมตรเป็นเวลา 10 นาที พบว่าอนุภาคพอลิสไตรีนจะเคลื่อนที่ไปอยู่กับ tubulin cytoskeleton และหลังจากได้รับเป็นเวลา 30 นาที อนุภาคพอลิสไตรีนจะแทรกอยู่ภายในหรือระหว่างเซลล์ โดยจะอยู่ภายในไมโตคอนเดรียของเซลล์ โดยมีการสะสมใน canaliculi ในปริมาณที่จำกัด และงานวิจัยนี้ได้พบว่าอนุภาคจะถูกกำจัดด้วยน้ำดีในลักษณะเดียวกันกับการกำจัดอนุภาคนาโนโกลด์

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ข้ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงานของประเทศออสเตรเลียได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงานในการทำงาน 8 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ค่า TWA – 8 hr สำหรับสารพอลิสไตรีนที่อยู่ในรูปของฝุ่นผงเป็น 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

โดยจากผลการทดสอบพบว่าการได้รับอนุภาคนาโนของตับนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆของพอลิสไตรีน ได้แก่ ขนาด ช่วงเวลาและเซรัม โดยเมื่อให้มีการได้รับสารอนุภาคพอลิสไตรีนขนาด 20 นาโนเมตรเป็นเวลา 10 นาที พบว่าอนุภาคพอลิสไตรีนจะเคลื่อนที่ไปอยู่กับ tubulin cytoskeleton และหลังจากได้รับเป็นเวลา 30 นาที อนุภาคพอลิสไตรีนจะแทรกอยู่ภายในหรือระหว่างเซลล์ โดยจะอยู่ภายในไมโตคอนเดรียของเซลล์ โดยมีการสะสมใน canaliculi ในปริมาณที่จำกัด และงานวิจัยนี้ได้พบว่าอนุภาคจะถูกกำจัดด้วยน้ำดีในลักษณะเดียวกันกับการกำจัดอนุภาคนาโนโกลด์

4.2.2.1 ความเป็นพิษจากการได้รับทางการหายใจ

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.2 ความเป็นพิษจากการดูดซึมผ่านผิวหนัง

ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.2.2.3 ความเป็นพิษจากการได้รับทางปาก

ข้ในปัจจุบัน (ปี 2013) งานวิจัยที่มีการค้นคว้าในประเด็นนี้มีจำนวนน้อยมาก และผลที่ได้จากงานวิจัยไม่มากพอที่จะสรุปเนื้อหาในประเด็นนี้ได้ ซึ่งจะมีการนำเสนอการปรับปรุงเนื้อหาครั้งต่อไป เมื่อมีผลงานวิจัยในประเด็นนี้ที่มากพอ

4.3 ค่ามาตรฐานที่เกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโน

หน่วยงานของประเทศออสเตรเลียได้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีที่ยอมให้มีในสถานที่ทำงานในการทำงาน 8 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ค่า TWA – 8 hr สำหรับสารพอลิสไตรีนที่อยู่ในรูปของฝุ่นผงเป็น 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

5. การทำงานที่ปลอดภัย

ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

5.1 อุปกรณ์และการควบคุมทางวิศวกรรมที่จำเป็น

- ตู้ดูดควัน

ตู้ดูดควันต้องมีแรงดูดอากาศที่มีความเร็วลม 100 ฟุตต่อนาที มีการติดตั้งชุดพัดลม (blower/fan) ภายในหรือภายนอกตู้ดูดควันที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาตรของอากาศภายในตู้ดูดควัน ตู้ดูดควันควรมีการดูดอากาศภายในบริเวณตู้ผ่านทางด้านหน้าของตู้ดูดควันไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมนอกตู้ดูดควันจนออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด และต้องมีระบบบำบัดอากาศที่อาจมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่ด้วยการกรอง (filtration) และการชะจับด้วยสารเคมี (scrubber)

- การระบายอากาศออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนต้องมีการกรองด้วย high efficiency particulate air (HEPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอนได้ 99.99% หรือการกรองด้วย Ultra low penetration air (ULPA) filter ที่สามารถกรองอนุภาคขนาด 0.12 ไมครอนได้ 99.99% หรือการดักจับด้วยของเหลว (scrubber) เพื่อควบคุมการระบายอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ

- ระบบปิดหรือสถานที่ปิดที่มีความดันลบหรือมีลมดูดเข้าซึ่งตรงข้ามกับพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่เพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน และการลดการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนสู่บรรยากาศในพื้นที่ทำงาน เช่น glove box เป็นต้น

- การแยกส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไป และจำกัดการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เฉพาะนั้นๆ

5.2 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

- แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโนแว่นตาชนิดนี้มีตัวกรอบแว่นจะมีลักษณะกว้างและโค้งแนบกับใบหน้าได้ดีกว่า และไม่มีลิ้นรูระบายความร้อน แต่ใช้ระบบการระบายความร้อนออกจากตัวแว่น ด้วยวิธีไหลผ่านจากเลนส์สู่กรอบแว่นสู่ภายนอกแทน (indirect vent) ใช้สำหรับป้องกันควัน สารเคมีและฝุ่น หรือเศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก รวมไปถึงการป้องกันวัสดุนาโนด้วยดังแสดงในรูปที่ 15.4



รูปที่ 15.4 แว่นครอบตาป้องกันควันสารเคมี และฝุ่นผงขนาดเล็กรวมถึงวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

ถ้าปฏิบัติงานกับสารพอลิสไตรีนที่ละลายในตัวทำละลายในกลุ่มของแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถเป็นไอระเหยและเข้าสู่ร่างกายผ่านการหายใจ หรือปฏิบัติงานที่การให้ความร้อนกับสารพอลิสไตรีน ควรใช้หน้ากากประเภทกรองก๊าซไอระเหยที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับสารเคมี ในรูปของตลับหรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งมีตัวกลาง electret filter media ในการจับมลพิษหรือฝุ่นผงในก๊าซด้วยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยา ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด และควรเตรียมอุปกรณ์ช่วยหายใจ respirator ไว้ใช้ในการทำงานด้วย หากเกิดการรั่วไหลของสารชนิดนี้ในการปฏิบัติงานต้องใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจดังกล่าว

- อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ

อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ หรือหน้ากากที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนขั้นต่ำ ควรใช้เป็นหน้ากากป้องกันการหายใจมาตรฐาน class N95 ซึ่งมักใช้ electret filter media ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบฝังอยู่อย่างถาวรบนแผ่นไส้กรองที่มีวัสดุกรองอากาศสำหรับกรองฝุ่นโดยเฉพะฝุ่นผงที่มีขนาดของรูพรุนในวัสดุกรองอากาศน้อยกว่า 3 ไมครอน

- ถุงมือ

ชนิดของถุงมือที่ควรนำมาใช้ในการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ได้แก่ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl Alcohol หรือถุงมือ Silver Shield® ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือไนไตรล์ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) ดังแสดงในรูปที่ 15.5



(a) ถุงมือ Silver Shield



(b) ถุงมือ Butyl



(c) ถุงมือ Viton



(d) ถุงมือ Nitrile

รูปที่ 15.5 ถุงมือชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำงานกับวัสดุนาโน (พวงรัตน์ และคณะ, 2555)

- อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน

อุปกรณ์ป้องกันลำตัวจากวัสดุนาโน เช่น ชุดคลุมแขนยาว ชุดคลุมแขนสั้น เป็นต้น การเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ปฏิบัติ และระดับการป้องกัน โดยชุดคลุมแขนยาวป้องกันแขนจากการได้รับอันตราย หรือการสัมผัสกับสารเคมี หรือจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน ในขณะที่ชุดคลุมแขนสั้นจะป้องกันแขนส่วนบนเท่านั้น ในการปฏิบัติงานวิจัย ควรสวมชุดคลุมทุกครั้ง

5.3 ข้อกำหนดเฉพาะในการจัดเก็บ

ให้เก็บรักษาสารพอลิสไตรีน โดยเฉพาะที่เป็นฝุ่นผงในภาชนะปิดที่มีฝาปิดแน่น และเก็บไว้ในที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ ไว้ในสถานที่ที่มีการระบายอากาศได้ดี

ข้อกำหนดเฉพาะในการเก็บรักษาสารพอลิสไตรีน มีดังนี้

- ต้องเก็บรักษาให้ไกลจากประกายไฟ เนื่องจากเดนไดรเมอร์เกิดการลุกติดไฟและเกิดการเผาไหม้ได้ง่ายหากได้รับประกายไฟ
- หลีกเลี่ยงการได้รับอุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 316 องศาเซลเซียส
- ให้เก็บสารนี้ห่างจากกลุ่มสารออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต สารในกลุ่มของเปอร์คลอเรต เป็นต้น

5.4 การปฏิบัติงาน

- ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้ง เมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนหรือตัวกลางที่มีวัสดุนาโนรวมอยู่
- ไม่ควรให้วัสดุนาโนสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง
- ไม่ควรปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนโดยไม่สวมถุงมือป้องกัน
- ควรมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจนและเข้มงวด เมื่อปฏิบัติงานกับพอลิสไตรีนซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดการลุกติดไฟได้ง่าย
- ควรลดการฟุ้งกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศโดยเลือกการทดลองแบบเปียกแทนการทดลองแบบแห้ง
- ควรชั่งน้ำหนักวัสดุนาโนในสถานที่ปิดกั้นเพื่อลดการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
- ควรเปิดพัดลมดูดอากาศของสถานที่ควบคุมนั้นไว้อย่างน้อย1ชั่วโมงเพื่อกำจัดวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศนั้น หลังจากปฏิบัติงานชั่งน้ำหนักหรือเตรียมตัวอย่างวัสดุนาโนแล้ว โดยอากาศที่ผ่านพัดลมดูดอากาศนั้นควรผ่านการกรองด้วย HEPA filter ก่อนที่จะระบายอากาศสู่บรรยากาศภายนอก

5.5 อุบัติภัยและการระงับภัย

จากการที่สารพอลิสไตรีนสามารถลุกติดไฟได้ง่าย จึงมีโอกาสที่จะเกิดเพลิงไหม้จากสารชนิดนี้ได้ และเมื่อแขวนลอยในอากาศมีโอกาสที่จะระเบิดได้ นอกจากนี้หากสารชนิดนี้ลุกติดไฟ อาจทำให้เกิดควันพิษเกิดขึ้น

ได้ ในการดับเพลิงจึงควรต้องสวมชุดดับเพลิงและมีอุปกรณ์ช่วยหายใจด้วย รวมทั้งหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารชนิดนี้ขณะดับเพลิง

ข้อปฏิบัติเพื่อต้องหลีกเลี่ยงอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการลุกไหม้ของพอลิสไตรีน ได้แก่

- หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง
- หลีกเลี่ยงการเกิดเปลวไฟ ประกายไฟ หรืออยู่ใกล้กับวัสดุที่ทำให้เกิดเปลวไฟ เช่น เทียน เป็นต้น
- หลีกเลี่ยงจากการเกิดประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์เชื่อม อุปกรณ์ตัด

โดยทั่วไปสารดับเพลิงที่ใช้ในการระงับภัยที่เกี่ยวข้องกับสารพอลิสไตรีนได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีแห้ง และโฟม ไม่ควรใช้หัวฉีดน้ำแบบ water jet ในการดับเพลิง ทั้งนี้ต้องมีการตรวจสอบเอกสารความปลอดภัยของสารเคมี (MSDS) ทุกครั้ง

5.6 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

สารพอลิสไตรีนไม่จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดของ US. EPA ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีการฝังกลบหรือเผาในเตาเผา โดยในการเผาด้วยเตาเผาต้องมีเครื่องบำบัดอากาศพิษ เพื่อบำบัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นขณะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้

6. ตัวอย่างเอกสารข้อมูลความปลอดภัย

6.1 เอกสารความปลอดภัยของพอลิสไตรีน Total Polystyrene

(แสดงในภาคผนวก ก.15)

TOTAL PETROCHEMICALS

TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC.

Material Safety Data Sheet

Section 1. Chemical Product and Company Identification

Trade name	**TOTAL Polystyrene**
Supplier	TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. P O Box 674411 Houston,TX 77267-4411
Synonym	Crystal Polystyrene This MSDS covers all prime grades of General Purpose Polystyrene including but not limited to the following grades: 5##, 5##P1, or 5##P0 CX5### where # can be any number. This MSDS also covers compounded samples labeled TOTAL PETROCHEMICALS USA Polystyrene Nxxxxx and Nxxxxx-x, where x can be any number.
MSDS Name	Polystyrene
Chemical Family	Polymer.
CAS Registry Number	9003-53-6
Threshold Limit Value	Not available.
Manufacturer	TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. P.O. Box 98 Carville, LA 70721

Code	PS_GPPS_PELLETS
MSDS#	P82
Validation Date	**10/7/2009**
Print Date	10/7/2009
Responsible for Preparation	**Paul Bradley**

In Case of Emergency

Chemtrec:
(800) 424-9300
TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC:
(800) 322-3462

Technical Information

TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC.
La Porte Research and Technology
PO Box 1200
Deer Park,Tx. 77536
281-884-7500

Section 2. Composition and Information on Ingredients

Name	CAS #	% by Weight	Exposure Limits
Polystyrene	9003-53-6	~100	Not available.

Section 3. Hazards Identification

Physical State and Appearance	Solid. Pellets.
Emergency Overview	Irritating vapors to respiratory system and eyes may form when polymer is processed at high temperatures. Molten or heated material in skin contact can cause severe burns.
Routes of Entry	FOR HOT MATERIAL: Skin contact. Eye contact. Inhalation.

Potential Acute Health Effects

Eyes	Dust may cause mechanical irritation to eye. **Heated Polymer:** Eye contact can cause serious thermal burns. Vapors formed when polymer is heated may be irritating to the eye.
Skin	No known acute effects of this product resulting from skin contact at room temperature. **Heated Polymer:** skin contact can cause serious thermal burns.
Inhalation	Negligible at room temperature. Nuisance dusts can be irritating to the upper respiratory tract. Irritating vapors may form when the polymer is processed at high temperatures.
Ingestion	No effects are expected for ingestion of small amounts. May be a choking hazard.

Continued on Next Page

6.2 เอกสารความปลอดภัยของสารพอลิสไตรีนเรซิน

(แสดงในภาคผนวก ก.15)

POLYSTYRENE AUSTRALIA

Material Safety Data Sheet

AUSTREX* & STYRON POLYSTYRENE RESIN**
MSDS CODE F GRADES

Not hazardous according to the criteria of Worksafe Australia

COMPANY DETAILS

Company Name:	Polystyrene Australia Pty. Limited A.C.N. 075 812 270
Address:	Mephan Street, Footscray VIC. 3011
Telephone Number:	(03) 9304 6100
Fax Number:	(03) 9304 6111
Emergency Telephone Numbers:	**1800 033111 (STD Free - all hours Australia)**
	0800734607 (STD Free - all hours New Zealand)

IDENTIFICATION

Product Name: **AUSTREX & STYRON POLYSTYRENE RESIN MSDS CODE-F GRADES**

MSDS Code F grades of AUSTREX & STYRON POLYSTYRENE are intended for less critical applications of general purpose and high impact polystyrene in natural or coloured form. The MSDS Code for each grade is printed on the label on the side of each bag or on the side of bulk containers.

Other Names:	Styrene homopolymer Styrene, polymer with 1,3-butadiene
Manufacturing Product Code:	MSDS No.: PSA004
ADG Code Classification	
UN No.:	None allocated
Correct Shipping Name:	None allocated
Dangerous Goods Class:	None allocated
Subsidiary Risk:	None allocated
Packaging Group:	None allocated
Hazchem Code:	None allocated
Emergency Procedure Guide:	None allocated
Poisons Schedule Number:	None allocated
Australian Inventory of Chemical Substances:	All components are listed or meet NICNAS requirements.
Use:	Manufacture of thermoplastic articles by injection moulding or extrusion. AUSTREX & STYRON Polystyrene Resin - MSDS Code F grades comply with Australian Standard 2070 Part 3 - 1992 (Plastics Materials for Food Contact Use, Part 3 - Styrene Plastics Materials).

7. เอกสารอ้างอิง

พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555.

ASTM International, ASTM D1929–96: Standard Test Method for Determining Ignition Temperature of Plastics, Available at http://www.astm.org, 2001.

BrownDM,Wilson MR, MacNee W, Stone V, Donaldson K, ToxicolAppl Pharm 175 (2001) 191.

Brydson JA, Plastics materials, 7th ed. Butterworth-Heinemann, 1999, pp. 457.

Doroudiani S, Chaffey CE, Kortschot MT,JPolym Science B40 (2002) 723.

Doroudiani S, Kortschot MT,JApplPolym Science90 (2003a) 1412.

Doroudiani S, Kortschot MT,JApplPolym Science90 (2003b) 1421.

Doroudiani S, Kortschot MT,JApplPolym Science90 (2003c) 1427.

Doroudiani S, Kortschot MT,JThermoComp Mater17 (2004) 13.

Doroudiani S, Omidian H, BuildEnviron45 (2010) 647.

Hamoir J, Nemmar A, Halloy D, Wirth D, Vincke G, VanderplasschenA,Nemery B, GustinP, ToxicolAppl Pharm 190 (2003) 278.

Han X, Koelling KW, Tomasko DL, Lee LJ, PolymEngScience42 (2002) 2094.

Johnston HJ, Semmler-BehnkeM, BrownDM, KreylingW, TranL, StoneV, ToxicolAppl Pharm 242 (2010) 66.

Mihai M, Huneault MA, FavisBD,JCellular Plastics43 (2007) 215.

Troitzsch J, International plastics flammability handbook, 2nd ed, Munich: HanserPublishers, 1990.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. 1

เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

NanoScale

Material Safety Data Sheet | NanoActive® Titanium (IV) Oxide | MSDS-0012.6

1. PRODUCT AND MANUFACTURER IDENTIFICATION

Product names:

NanoActive® Titanium (IV) Oxide – NanoActive® TiO_2

Manufacturer:

NanoScale Corporation
1310 Research Park Drive
Manhattan, KS 66502
(785) 537-0179

Product Information

785-537-0179

24-Hour Chemtrec Emergency Number:

U.S. (800) 424-9300
International (703) 527-3887

2. CHEMICAL COMPOSITION AND EXPOSURE LIMITS

Component	CAS Number:	OSHA PEL:	ACGIH TLV:
Titanium dioxide	13463-67-7	15 mg/m^3 dust	10 mg/m^3 dust

3. HAZARD IDENTIFICATION AND EMERGENCY OVERVIEW

Appearance and Odor: Fine white odorless powder

Routes of Exposure: Eye and skin contact, inhalation.

Eye Contact: May cause physical eye irritation.
Skin Contact: May cause irritation.
Inhalation: May be irritating to mucous membranes and upper respiratory tract.
Ingestion: May cause irritation of the digestive tract.

Acute Health Effects: May cause physical irritation of the skin and eyes, with redness and swelling, cough, and sneezing.

Signs and symptoms of overexposure: Acute effects include irritation of mucous membranes and upper respiratory tract. Exposure may cause diarrhea.

4. FIRST AID MEASURES

Skin: In case of skin contact, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes.

Inhalation: If inhaled, remove to fresh air.

Eyes: In case of contact with eyes, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by separating eyelids with fingers. Seek medical attention.

Ingestion: If swallowed, wash out mouth with water provided that person is conscious. Seek medical attention.

For internal contact via wounds, flush wound with water.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Titanium dioxide is neither flammable nor explosive. Titanium dioxide may be exposed to water, carbon dioxide, dry chemical, and foam extinguishing agents as necessary during firefighting operations.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

A spill of titanium dioxide poses hazards similar to other nuisance dusts.

Vacuum or sweep up material and place into a suitable disposal container. Clean up spills immediately, using the appropriate protective equipment. Avoid generating dusty conditions, provide adequate ventilation

7. HANDLING AND STORAGE

Store in a tightly closed container. Store in a cool, dry, well-ventilated area away from incompatible substances.

8. EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

Use adequate general or local exhaust ventilation to keep airborne concentrations below the permissible exposure limits.

Respiratory Protection: Use NIOSH approved respirator when use is necessary. As with any nuisance dust, the use of NIOSH approved respirators is recommended in cases where prolonged exposure is expected.
Skin Protection: Wear appropriate protective gloves and clothing to prevent skin exposure.
Eye Protection: Wear appropriate protective glasses or chemical safety goggles.
Other Protective Equipment: Wear appropriate protective clothing to minimize contact with skin.

Titanium dioxide can adsorb moisture and natural oils from the surface of the skin during prolonged exposure. Prolonged exposure should be avoided by wearing suitable protective gloves and clothing.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Color/Appearance: White powder
Odor: None
Molecular Weight: 79.9
Boiling Point: 2500-3000° C
Melting Point: 1830-1850° C
Specific Gravity: 3.9 @ 20° C
Vapor Pressure: No data

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability: Stable under normal temperatures and pressures.
Hazardous Polymerization: None reported.
Incompatibility: Lithium at 200° C.
Decomposition Products: None reported.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute Oral Toxicity: $LD_{50} > 2$ g/kg
Acute Dermal Toxicity: $LD_{50} > 5$ g/kg
Acute Dermal Irritation: PII = 0, non-irritating
Skin Sensitization: Non-sensitizer
Acute Eye Irritation: Practically non-irritating
Acute Inhalation: EPA Toxicity Category IV, non-toxic.

Chronic *dust* inhalation exposure (250 mg/m^3 for 6hrs/day, 5day/week for 2 years) can be a potential carcinogen to rats. The authors of this study concluded that based on the excessive dust loading and overwhelmed clearance mechanism in the lungs of rats exposed chronically at 250 mg/m^3, the biological relevance of lung tumors to man appears to be negligible.

A number of epidemiology studies evaluating > 20,000 TiO_2 industry workers in Europe and the United States have been reported. Workers employed for at least six months in TiO_2 production were assessed using company records and quality controls, taking into account the different manufacturing procedures used a the sites as well as the actual relative levels of exposure to respirable TiO_2. Exposure categories such as job site, title, and calendar years on the job were examined. Findings from each of the studies were similar, in that the authors concluded that the results did not suggest a carcinogenic effect of TiO_2 dust on the human lung, and mortality from other chronic diseases, including other respiratory diseases, was not associated with exposure to TiO_2 dust. Based upon the results of these studies, NanoScale Corporation concludes that titanium dioxide will not cause lung cancer or chronic respiratory disease in humans at concentrations experienced in the workplace.

Carcinogen status: OSHA – No, NTP – No, ACGIH (TiO_2) – Group 3; Not classifiable as a human carcinogen. IARC – 2B; possibly carcinogenic to humans

Although the three animal studies reviewed by IARC showed evidence of tumors it is important to note that these studies tested pigmentary and ultrafine titanium dioxide. As stated in the IARC *draft* monograph, volume 93, primary particle sizes for pigmentary titanium dioxide are typically between 0.2 and 0.3 µm. Ultrafine grades range from 10-50 nm. NanoScale's NanoActive® Titanium Dioxide particles are larger and do not fall into the pigmentary or ultrafine classifications. Also, as realized in studies reviewed by NIOSH, the toxicity seems to be more related to the particle size rather than the chemical itself.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

None available.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal of titanium dioxide should be in accordance with applicable local, state, and federal regulations. Titanium dioxide is a non-hazardous waste under the TCLP rule of RCRA.

14. TRANSPORT INFORMATION

(49 CFR 172.101-2): not listed

15. REGULATORY INFORMATION

TSCA: TiO2 is listed in the TSCA inventory.
SARA (Title 313): Not subject to reporting requirements.
CERCLA RQ: None

This MSDS has been prepared to meet the U.S. OSHA Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200.

16. OTHER INFORMATION

The above information is believed to be correct but does not purport to be all-inclusive and shall be used only as a guide. NanoScale Corporation makes no warranty with respect hereto and disclaims all liability from reliance thereon. The information is intended for use by persons with professional knowledge of the subject matter or with access to such persons. Persons receiving this information are urged to conduct their own assessment of the suitability and completeness of the information for their particular application.

CINKARNA
Metalurško kemična industrija Celje, d.d.
Kidričeva 26
SI-3001 Celje
Slovenija
t 00386 (0)3 427 60 00
f 00386 (0)3 427 62 92
e info@cinkarna.si
w www.cinkarna.si

SAFETY DATA SHEET	Page 1 of 5
	Issued on: 1st November 2010
Trade name: Suspension of ultrafine Titanium Dioxide Anatase CCA 100 A S	Revised on: 1st November 2010 Version: 0

1. Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1.	**Product identifier (Product registration number): 13463-67-7**	Suspension of ultrafine Titanium Dioxide Anatase - CCA 100 A S	**Identification no.:**
1.2.	**Relevant identified uses of the substance/mixture and uses advised against:**	As a photocatalyst (self-cleaning effect, decomposition of harmful nitrogen oxides, air and water purification), DSSC dye-sensitized solar cells	
1.3.	**Details of the supplier of the safety data sheet (manufacturer, importer, only representative , downstream user or distributor):**		
1.3.1.	Supplier name:	CINKARNA CELJE, d.d.	Division:
1.3.2.	Supplier address and phone:	Kidričeva 26, 3001 CELJE, SLOVENIJA, +386 3 427 60 00	
1.3.3.	E-Mail (competent person):	e-mail: peter.bastl@cinkarna.si igor.kolenc@cinkarna.si	
1.4.	**Emergency phone number:**	+386 3 427 61 12 (Cinkarna Celje)	

2. Hazards identification

2.1.	**Classification of substance or mixture:** **(Regulation (EC) No 1272/2008, Directive 67/548/ECC or Directive 1999/45/EC)**	According to Regulation of European Community, the product is not classified as dangerous.
2.2.	**Label elements:**	Product is not labeled as dangerous
2.3.	**Other hazards:**	Label of product does not have any additional elements for danger

3. Composition/information on ingredients

3.1. /3.2	**Substances/ mixture: Product is mixture**

In accordance with EC Regulation n. 1272/2008

Chemical name	Index	Concentration (wt/vol/max. conc. %)	Hazard statements (H)	Hazard class and hazard category
Titanium Dioxide - Anatase (TiO_2)	EC n. : 236-675-5 CAS n. 13463-67-7			

In accordance with Directive 67/548/EEC

Chemical name	Index	Concentration (wt/vol/max. conc. %)	Hazard symbol	Risk statements R
Titanium Dioxide - Anatase (TiO_2)	EC n. : 236-675-5 CAS n. 13463-67-7			

4. First aid measures		
4.1.	**Description of first aid measures:**	
	Inhalation:	Since the product is a suspension (vet form) there is no potentially harmful powder form present.
	Skin contact:	Rinse skin with water and soap. If needed, seek medical assistance.
	Eyes/mycosis contact:	Rinse with water. Remove any contact lenses and continue rinsing with water for at least 15 minutes. Seek medical assistance if required.
	Ingestion:	Rinse mouth with water; seek medical assistance if required.
4.2	**Most important symptoms and effects, acute and delayed:**	Not known.
4.3.	**Indication of any immediate medical attention and special treatment needed:**	Not required.
5. Firefighting measures		
5.1.	**Extinguishing media**	
	Appropriate media:	Product is uninflammable. If the product is involved in a fire, all conventional fire extinguishing agents may be used (CO_2, water mist, dry chemicals, etc.).
	Inappropriate media:	Not known.
5.2.	**Specific hazards arising from the substance or mixture:**	Not known.
5.3.	**Advice for firefighters:**	No additional protection is needed. Protection in compliance with other circumstances.
6. Accidental release measures		
6.1.	**Personal precautions protective equipment and emergency procedures**	
6.1.1.	For non-emergency persons:	Use protective equipment such as goggles and gloves (see Chapters 7 and 8).
6.1.2.	For emergency responders:	Use protective equipment such as goggles and gloves (see Chapters 7 and 8).
6.2.	**Environmental precautions:**	The product is inert and not harmful for the environment under EEC directive.
6.3.	**Methods and material for containment and cleaning:**	
6.3.1.	Appropriate spillage retaining techniques (fencing, covering drains, retaining procedures):	Prevent outflow in canalization and surface waters. Mechanically collect into designated and appropriately marked vessels / containers.
6.3.2.	Appropriate cleaning procedures	
	Neutralization techniques	Product is neutral.
	Decontamination techniques	Not needed.
	Absorbent materials	Suitable all inert absorbent materials.
	Cleaning techniques	Mechanically collect into designated and appropriately marked vessels / containers. Use inert absorbent material.
	Sucking techniques	Not known. Product is liquid.
	Required equipment for retaining /cleaning	Use protective equipment such as goggles and gloves.
6.3.3.	Inappropriate cleaning or retaining techniques	Not known.

6.4.	**Reference to other sections:**	Not needed.
7. Handling and storage		
7.1.	**Precautions for safe handling**	
7.1.1.	Recommendations shall be specified to:	Storage in closed vessels in suspension form.
	Safe handing of substance or mixture:	Avoid skin and eye contact.
	Prevent handling of incompatible substances or mixtures:	Product is inert.
	Reduce the release of the substance or mixture to the environment:	Product should not be released in canalization or surface waters.
7.1.2.	General working hygiene (prohibited eating, drinking and smoking within working area; washing hands …)	Normal working hygiene.
7.2.	**Conditions for safe storage, including any incompatibilities**	
	Management of risk associated with:	
	- explosive atmospheres:	No danger.
	- corrosive substances:	No danger.
	- evaporation substances:	Not evaporational.
	How to control the effects of	
	- temperature:	Do not expose it over boiling point temperatures.
7.3.	**Specific end use(s):**	See chapter 1.2
8. Exposure control/ personal protection		
8.1.	**Control parameters**	
8.1.1.	Limit values (MV):	Data not available.
	DNEL	Data not available.
	PNEC	Data not available.
8.2.	**Exposure control**	
8.2.1.	Appropriate engineering controls:	Data not available.
8.2.2.	Personal protective equipment:	
	- respiratory protection:	Not needed.
	- skin protection:	Protective working overalls (EN 368).
	- hand protection:	Protective gloves (EN 374).
	- eye/face protection:	Protective glasses – while decanting (EN 166)
	- heat radiation protection:	No danger.
	Other:	Normal working hygiene.
8.2.3.	Environment exposure control:	See chapter 7.1.1.
9. Physical and chemical properties		

9.1.	**Information on basic physical and chemical properties:**	
	- appearance	White liquid.
	- color	White suspension.
	- odor:	Odorless.
	pH:	~ 1 (water suspension)
	Melting/freezing point:	~ 0°C
	Boiling point and boiling range :	~ 100°C
	Relative density:	~ 1,2 kg/L (room temperature)
9.2.	**Other information:**	Data not available.
10. Stability and reactivity		
10.1.	**Reactivity:**	Not reactive.
10.2.	**Chemical stability:**	Stable.
10.3.	**Possible hazardous reactions:**	Data not available.
10.4.	**Conditions to avoid:**	Heating over boiling point.
10.5.	**Incompatible materials:**	No danger.
10.6.	**Hazardous decomposition products:**	No danger.
11. Toxicological data		
11.1.	**Information on toxicological effects**	
	- Acute toxicity:	Product is not toxic.
	- skin corrosion/irritation:	Product does not irritate skin.
	- Serious eye damage/irritation:	Product could result eye irritation.
	- respiratory or skin sensitisation:	Data not available.
	- germ cell mutagenicity:	Data not available.
	- Carcinogenicity:	Data not available.
	- Toxicity for reproduction:	Data not available.
	- STOT – single exposure:	Data not available.
	- STOT – repeated exposure:	Data not available.
	- Inhalation hazards:	No danger.
12. Ecological information		
12.1.	**Toxicity:**	Product is not toxic.
12.2.	**Persistence and degradability:**	Inert material. Biologically not degradable.
12.3.	**Accumulation in organisms:**	Data not available.
12.4.	**Mobility in soil:**	See chapter 7.1.1 - realease
12.5.	**PBT and vPvB assessment results:**	Data not available.
12.6.	**Other adversative effects:**	Data not available.
13. Disposal considerations		
13.1.	**Waste treatment methods:**	Dispose of in accordance with local, state and federal regulations.

Cinkarna Celje, SAFETY DATA SHEET	Page 5 of 5
Trade name: Suspension of ultrafine Titanium Dioxide Anatase - CCA 100 A S	

14. Transport information		
	ADR, RID:	Product does not belong under ADR regulations.
15. Regulatory information		
15.1.	**Rules and regulations regarding health, safety, and environmental hazard specific to the substance or mixture:**	In compliance with EEC regulations for clasification, packing and marking of dangerous products (Pravilnik o razvrščanju, pakiranju in označevanju nevarnih snovi in EU Uredbami) product is not clasified as dangerous material.
15.2.	**Chemical safety assessment:**	Data not available.
16. Other information		
	Amendments made in the revised edition:	Version 0.
	List of relevant R phrases, hazard statements, safety phrases and/or precautionary statements. Write out the full text of any statement which are not written out in full under Sections 2 to 15:	Data not available.
	Training of personnel:	In compliance with regulations for safety at workplace.
	Sources:	Uradni list RS št.: 110/03,16/08,35/05,54/07,137/06,88/08,70/08, 23/08,84/06,106/06,110/07,34/08, Uredba (ES) št.:1907/2006, 1272/2008, 453/2010 Direktiva sveta št.: 67/548/EGS Direktiva sveta št.: 2006/8/ES, 2008/58/ES
	A key or legend to abbreviation and acronyms used in the safety data sheet:	ADR – The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road PBT – Persistent, bioaccumulative, toxic chemical vPvB – Very Persistent, Very bioaccumulative, toxic chemical STOT – Specific Target Organ Toxicity DNEL – Derived no effect levels PNEC – The predicted no-effect concentration

Data specified above are based on research and experience of the supplier at the time of compiling the present MSDS. The supplier may not assume responsibility in case the buyer/user should fail to use the product in accordance with the relevant suggestions and recommendations. No information contained in the present SMDS may release the buyer/user from liability to strictly follow any legal requirements regarding his business activities.

ภาคผนวก ก. 2

เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

NanoScale

Material Safety Data Sheet | **NanoActive® Zinc Oxide** | MSDS-0005.5

1. PRODUCT AND MANUFACTURER IDENTIFICATION

Product names:
NanoActive® Zinc Oxide

Manufacturer:
NanoScale Corporation
1310 Research Park Drive
Manhattan, KS 66502
(785) 537-0179

Product Information:
(785) 537-0179
24-Hour Chemtrec Emergency Number:
U.S. (800) 424-9300
International (703) 527-3887

2. CHEMICAL COMPOSITION AND EXPOSURE LIMITS

Component	CAS Number:	OSHA PEL:	ACGIH TLV:
Zinc oxide	1314-13-2	15 mg/m^3 dust	10 mg/m^3 dust

3. HAZARD IDENTIFICATION AND EMERGENCY OVERVIEW

Appearance and odor: Odorless, white powder.

Routes of Exposure: Eye and skin contact inhalation, ingestion.

Eye Contact: May cause moderate irritation.
Skin Contact: May cause skin irritation.
Inhalation: Zinc oxide dust is considered to be of low toxicity and is classified as a nuisance particulate by the ACGIH. May cause irritation.
Ingestion: May cause gastrointestinal irritation with nausea, vomiting and diarrhea.

Acute health hazards: Inhalation of dust may cause irritation of mucus membranes and the upper respiratory tract.

Chronic Health Effects: Prolonged and repeated exposure to skin may cause irritation or dermatitis.

Carcinogen status: NTP: No, **IARC:** No, **OSHA:** No

4. FIRST AID MEASURES

Skin: In case of skin contact, flush with copious amounts of soap and water.

Inhalation: If inhaled, remove to fresh air. If breathing is difficult, give oxygen. If breathing has stopped, give artificial respiration. DO NOT use mouth-to-mouth respiration.

Eyes: In case of contact with eyes, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by separating eyelids with fingers. Seek medical attention.

Ingestion: Do NOT induce vomiting. If conscious and alert, rinse mouth and drink 2-4 cupfuls of water or milk.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Zinc oxide is neither flammable nor explosive. Zinc oxide may be exposed to water, carbon dioxide, dry chemical, and foam extinguishing agents as necessary during firefighting operations. Full protective gear and a NIOSH approved self-contained breathing apparatus (SCBA) should be used to protect eyes, skin, and lungs from exposure during firefighting operations around zinc oxide. During a fire, irritating and highly toxic gases, such as zinc oxide fume, may be generated by thermal decomposition or combustion.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Cleanup spills immediately using appropriate protective equipment. Vacuum or sweep up material and place into a suitable disposal container. Avoid generating dust during transfer of solids. Provide adequate ventilation.

7. HANDLING AND STORAGE

Store in a closed container and in a cool, dry location. Use dust control and protection in handling and storage. Avoid storage near magnesium, rubber, and strong oxidizers.

NanoScale

Material Safety Data Sheet | NanoActive® Zinc Oxide | MSDS-0005.5

8. EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

Use adequate general or local exhaust ventilation to keep airborne solids concentrations below the permissible exposure limits.

Respiratory Protection: Use NIOSH approved respirator when use is necessary.
Skin Protection: Wear appropriate protective gloves.
Eye Protection: Wear appropriate protective glasses or chemical safety goggles.
Other Protective Equipment: Wear appropriate protective clothing to minimize contact with skin.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Color/Appearance: White powder
Odor: None
Molecular Weight: 81.37
Boiling Point: No data
Melting Point: 1975° C
Specific Gravity: 5.607 at 20° C
Vapor Pressure: No data

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability: Stable under normal temperature and pressures.
Hazardous Polymerization: None reported.
Incompatibility: Chlorinated rubber, linseed oil, magnesium, hydrogen fluoride, aluminum + hexchloroethane, zinc chloride or phosphoric acid.
Decomposition Products: Toxic gases such as zinc oxide fumes may be released in a fire.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute Oral Toxicity: LD_{50} > 2 g/kg
Acute Dermal Toxicity: LD_{50} > 5 g/kg
Acute Dermal Irritation: PII = 0, non-irritating
Skin Sensitization: Non-sensitizer
Acute Eye Irritation: Moderately irritating

12. ECOLOGICAL INFORMATION

None available.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal of zinc oxide should be in accordance with applicable local, state, and federal regulations.

14. TRANSPORT INFORMATION

(49 CFR 172.101-2): Not listed.

15. REGULATORY INFORMATION

TSCA: Zinc Oxide is listed in the TSCA inventory.
SARA (Title 313): No reporting requirements.
CERCLA RQ: None

This MSDS has been prepared to meet the U.S. OSHA Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200.

16. OTHER INFORMATION

The above information is believed to be correct but does not purport to be all-inclusive and shall be used only as a guide. NanoScale Corporation makes no warranty with respect hereto and disclaims all liability from reliance thereon. The information is intended for use by persons with professional knowledge of the subject matter or with access to such persons. Persons receiving this information are urged to conduct their own assessment of the suitability and completeness of the information for their particular application.

HORSEHEAD CORPORATION
Leading the World in Zinc Recycling

MSDS FOR NANO-FINE ZINC OXIDE: ZINVISIBLE™ ZC-X035

SECTION I - GENERAL INFORMATION

NAME: ZINC OXIDE

MANUFACTURER:
HORSEHEAD CORPORATION
300 Frankfort Road
Monaca, PA 15061
724-774-1020

TRANSPORTATION EMERGENCY:
CHEMTREC: 800-424-9300

CHEMICAL FAMILY: Nonferrous Metal Oxide **CAS NO.:** 1314-13-2

FORMULA: ZnO

DOT HAZARD CLASS: Not listed **UN NO.:** NAIF* **NA NO.:** NAIF*

SARA SECTION 313: This product is subject to the reporting requirements of Section 313 of Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act and 40 CFR 372. The materials underlined below are present in quantities above the applicable deminimis concentrations and are listed as Toxic Chemicals in 40 CFR 372.65.

ISSUE DATE: 1/11/01 **REVISION DATE:** 1/18/05

* NAIF - No applicable information found.

SECTION II - INGREDIENTS

MATERIAL	CAS NO.	%
ZINC OXIDE	1314-13-2	99.9
LEAD	7439-92-1	0.0021 max
CADMIUM	7440-43-9	0.0017 max

LEAD AND CADMIUM ARE INHERENT IN THE MANUFACTURE OF ZINC AND ARE NOT PHYSICALLY ADDED IN THE MANUFACTURE OF ZINC OXIDE.

MSDS FOR NANO-FINE ZINC OXIDE: ZINVISIBLE™ ZC-X035

SECTION III PHYSICAL DATA

BOILING POINT (760 MM HG): N/A

MELTING POINT: 3587° F

SPECIFIC GRAVITY: 5.61

EVAPORATION RATE (=1): N/A

VAPOR DENSITY (air = 1): N/A

SOLUBILITY IN WATER: Negligible

PERCENT VOLATILE BY VOLUME (%): N/A

VAPOR PRESSURE AT 20° C: N/A

APPEARANCE AND ODOR: Near white powder.

SECTION IV - FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

FLASH POINT: N/A

NFPA FIRE RATING

FLAMMABLE LIMITS: LEL: N/A, UEL: N/A

HEALTH	0
FLAMMABILITY	0
REACTIVITY	0

EXTINGUISHING MEDIA: None

SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES: Non-flammable

UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS: None

SECTION V - HEALTH HAZARD DATA

MATERIAL	FORM	OSHA-PEL TWA mg/m³	ACGIH-TLV TWA mg/m³	ACGIH-TLV STEL mg/m³
ZINC OXIDE	Total Dust	15	10	--
	Respirable (Fume)	5	2	10

ROUTES OF ENTRY

PRIMARY: Inhalation

SECONDARY: Ingestion

Page 2

MSDS FOR NANO-FINE ZINC OXIDE: ZINVISIBLE™ ZC-X035

EFFECTS OF SHORT TERM OVEREXPOSURE:

ZINC OXIDE: Inhalation of high levels of zinc oxide may result in tightness of chest, metallic taste, cough, dizziness, fever, chills, headache, nausea, and dry throat. Overexposure may produce symptoms known as metal fume fever or "zinc shakes"; an acute, self-limiting condition without recognized complications. Symptoms of metal fume fever include: chills, fever, muscular pain, nausea and vomiting. Like any finely divided particulate matter, zinc oxide may cause mechanical irritation to skin and eyes.

MEDICAL CONDITIONS GENERALLY AGGRAVATED BY EXPOSURE: Inhalation of dust may be an irritant to pre-existing respiratory conditions.

EMERGENCY AND FIRST AID PROCEDURES: Symptoms resulting from inhalation overexposure usually disappear within 24 hours. Symptomatic treatment, such as bed rest and possibly aspirin is recommended to provide relief from fever and chills. Skin contact - flush areas with large amounts of water. Eye contact - flush eyes with copious amounts of water. Ingestion - Give water to dilute, at least ten (10) volumes of the amount consumed. In all cases, consult physician for medical attention.

EFFECTS OF LONG TERM OVEREXPOSURE:

ZINC OXIDE: Chronic exposure to zinc oxide may cause respiratory tract irritation with nasopharyngitis and laryngitis. Long term oral ingestion may cause gastric irregularities.

CARCINOGENIC ASSESSMENT:

NTP? No **IARC MONOGRAPH?** No **OSHA?** No

SECTION VI - REACTIVITY DATA

STABILITY: ( ) Unstable
(X) Stable

CONDITIONS TO AVOID: None

INCOMPATIBILITY (MATERIALS TO AVOID): None known. (It has been reported that under certain circumstances zinc oxide may react explosively with chlorinated rubber.)

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS: Temperatures above 1300°C generate metallic zinc that converts to fumed zinc oxides which can lead to metal fume fever.

HAZARDOUS POLYMERIZATION: ( ) May occur
(X) Will not occur

Page 3

MSDS FOR NANO-FINE ZINC OXIDE: ZINVISIBLE™ ZC-X035

SECTION VII - SPILL OR LEAK PROCEDURES

STEPS TO BE TAKEN IN CASE MATERIAL IS RELEASED OR SPILLED: Shovel, sweep or vacuum spilled material. As with any nuisance dust, avoid excessive dusting.

WASTE DISPOSAL METHOD: Dispose in a closed container or heavy bag. Material may be recycled or disposed of in accordance with Federal, State and Local Environmental Regulations.

SECTION VIII - SPECIAL PROTECTION INFORMATION

RESPIRATORY PROTECTION (SPECIFY TYPE): Use respirator above 50 mg/cu m and supplied air respirator above 125 mg/cu m zinc oxide as dust or fume.

VENTILATION: Local exhaust or other ventilation that will reduce dust concentrations to less than permissible exposure limits.

PROTECTIVE GLOVES: Recommended to prevent skin irritation in hypersensitive individuals.

EYE PROTECTION: Use safety eyewear for protection against airborne particulate matter.

OTHER PROTECTIVE EQUIPMENT: Barrier creams may help prevent skin irritation in hypersensitive individuals.

SECTION IX - SPECIAL PRECAUTIONS

PRECAUTIONS TO BE TAKEN IN HANDLING AND STORING: None

OTHER PRECAUTIONS: Practice good personal hygiene when working in areas where this material is used.

DISCLAIMER: As the conditions or methods of use are beyond our control, we do not assume any responsibility and expressly disclaim any liability for any use of the material. Information contained herein is believed to be true and accurate but all statements or suggestions are made without any warranty, express or implied, regarding accuracy of the information, the hazards connected with the use of the material or the results to be obtained from the use thereof.

J:\Msds MS\Word\OXIDE\ZCX035.doc

Page 4

ภาคผนวก ก. 3

เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซีเรียมออกไซด์ (CeO_2)

NanoScale

Material Safety Data Sheet | **NanoActive® Cerium Oxide** | MSDS-0006.4

1. PRODUCT AND MANUFACTURER IDENTIFICATION

Product names:
NanoActive® Cerium Oxide

Manufacturer:
NanoScale Corporation
1310 Research Park Drive
Manhattan, KS 66502
(785) 537-0179

Product Information:
(785) 537-0179
24-Hour International Emergency Number:
U.S. (800) 424-9300
International (703) 527-3887

2. CHEMICAL COMPOSITION AND EXPOSURE LIMITS

Component	CAS Number:	OSHA PEL:	ACGIH TLV:
Cerium oxide	1306-38-3	15mg/m^3 (Nuisance dust)	Not Established

3. HAZARD IDENTIFICATION AND EMERGENCY OVERVIEW

Appearance and odor: Yellow powder, no odor.

Routes of Exposure: Eye and skin contact, inhalation, ingestion.

Eye Contact: May cause eye irritation.
Skin Contact: May cause mild skin irritation.
Inhalation: May cause respiratory tract irritation. Low hazard for usual industrial handling.
Ingestion: May cause gastrointestinal irritation with nausea, vomiting and diarrhea. Expected to be a low ingestion hazard.

Acute health hazards: Inhalation of dust may cause irritation of mucus membranes and the upper respiratory tract.
Chronic health hazards: Like most fine dusts, repeated or long-term exposure may result in irritation of the respiratory tract, pneumoconiosis (dust-filled lungs), pneumonitis (lung inflammation), coughing, and shortness of breath.

Carcinogen status: NTP: No, IARC: No, OSHA: No

4. FIRST AID MEASURES

Skin: In case of skin contact, flush with copious amounts of soap and water for at least 15 minutes. Get medical aid if irritation develops or persists.

Inhalation: Remove from exposure to fresh air immediately. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical aide if cough or other symptoms appear.

Eyes: In case of contact with eyes, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by separating eyelids with fingers. Seek medical attention if irritation or other symptoms appear.

Ingestion: If victim is conscious and alert, give 2-4 cupfuls of milk or water. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical aid if irritation or symptoms occur.

Note to physicians: Because of their high density, lanthanide compounds such as cerium oxide may cause striking abnormalities in chest x-rays. Lanthanides are not believed to be fibrogenic and the lesions typically have little or no clinical significance. Occasional cases of suspected pneumoconiosis have been reported.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Cerium oxide is not flammable or explosive. Cerium oxide may be exposed to water, carbon dioxide, dry chemical, and foam extinguishing agents as necessary during firefighting operations. During a fire, irritating and highly toxic gases may be generated.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Cleanup spills immediately using appropriate protective equipment. Vacuum or sweep up material and place into a suitable disposal container. Avoid generating dust during transfer of solids. Provide adequate ventilation.

7. HANDLING AND STORAGE

Store in a closed container and in a cool, dry location. Use dust control and protection in handling and storage.

8. EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

Use adequate general or local exhaust ventilation to keep airborne solids concentrations below the permissible exposure limits.

Respiratory Protection: Use NIOSH approved respirator when use is necessary.
Skin Protection: Wear appropriate protective gloves.
Eye Protection: Wear appropriate protective glasses or chemical safety goggles.
Other Protective Equipment: Wear appropriate protective clothing to minimize contact with skin.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Color/Appearance: White or light yellow powder
Odor: None
Molecular Weight: 172.12
Boiling point: No data
Melting point: 2000° C
Specific gravity: 7.3 (Water = 1)

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability: Stable under normal temperature and pressures.
Hazardous Polymerization: None reported.
Incompatibility: Strong oxidizing agents.
Decomposition Products: Not known

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Oral, rat: LD50 > 5g/kg

Animal inhalation studies have shown that pneumoconiosis can develop after prolonged exposure to lanthanide dusts but progression to fibrosis has not been observed. Prolonged exposures to some lanthanides may also result in pneumoconiosis but only rare incidences of pulmonary fibrosis have been reported with cerium oxide.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

No information available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal should be in accordance with applicable local, state, and federal regulations.

14. TRANSPORT INFORMATION

(49 CFR 172.101-2): not listed

15. REGULATORY INFORMATION

TSCA: Listed in the TSCA inventory.
SARA (Title 313): No reporting requirements.
CERCLA RQ: None

This MSDS has been prepared to meet the U.S. OSHA Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200.

16. OTHER INFORMATION

The above information is believed to be correct but does not purport to be all-inclusive and shall be used only as a guide. NanoScale Corporation makes no warranty with respect hereto and disclaims all liability from reliance thereon. The information is intended for use by persons with professional knowledge of the subject matter or with access to such persons. Persons receiving this information are urged to conduct their own assessment of the suitability and completeness of the information for their particular application.

ภาคผนวก ก. 4

เอกสารความปลอดภัยของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว (Single Wall Carbon Nanotube, SWCNT)



SWeNT

Material Safety Data Sheet
SWeNT® Freeze-Dried Powder
Single-Wall Carbon Nanotubes

SECTION 1 PRODUCT IDENTIFICATION

PRODUCT NAME: Carbon Nanotube Freeze-Dried Powder - SG65, SG76, CG100, CG200

OTHER/GENERIC NAMES: SWNT; SWCNT, Single-Wall Carbon Nanotubes

MANUFACTURER: SouthWest NanoTechnologies, Inc.
2501 Technology Place
Norman, OK 73071-1102
+1 405.217.8388 – Tel
+1 405.217.8389 – Fax
http://swentnano.com
safety@swentnano.com

SECTION 2 COMPOSITION AND INFORMATION ON INGREDIENTS

Ingredient Name	CAS Number	Weight %
Single-Wall Carbon Nanotubes	None	85-99
Metallic impurities (including Molybdenum and Cobalt)	Various	1-15

Trace impurities and additional material names not listed above may also appear in Section 15 towards the end of the MSDS. These materials may be listed for local "Right-To-Know" compliance and for other reasons.

This material is considered as hazardous under OSHA regulations.

SECTION 3 HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW: Product is a freeze-dried powder. May cause eye, skin and respiratory tract irritation. The complete physical and toxicological properties of this material have not been fully evaluated.

Potential Health Hazards

SKIN: This material may cause skin irritation. Use proper precautions.

EYES: This material may cause eye irritation. Use proper precautions.

INHALATION: This material may cause irritation to the mucous membranes and upper respiratory tract. The product presents an increased inhalation hazard because of the small particle size. Use proper precautions.

INGESTION: Not a probable route of exposure. This material may be harmful if swallowed.

DELAYED EFFECTS: None known.

Ingredients found on one of the OSHA designated carcinogen lists are listed below.

INGREDIENT NAME	NTP STATUS	IARC STATUS	OSHA LIST
Cobalt Compounds		2B	

SECTION 4 FIRST AID MEASURES

SKIN: Wash with soap and water. Get medical attention if irritation develops or persists.

EYES: Flush eyes with plenty of water. Get medical attention if irritation develops or persists.

INHALATION: Remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Get medical attention if irritation develops or persists.

INGESTION: If person is conscious, rinse mouth with water. Do not induce vomiting unless directed to do so by a physician.

ADVICE TO PHYSICIAN: No specific advice, treat symptomatically.

SECTION 5 FIRE FIGHTING MEASURES

FLASH POINT: Not determined.
FLASH POINT METHOD: Not applicable.
AUTOIGNITION TEMPERATURE: Not determined.
UPPER FLAME LIMIT (volume % in air): Not applicable.
LOWER FLAME LIMIT (volume % in air): Not applicable.
FLAME PROPAGATION RATE (solids): Not determined.
OSHA FLAMMABILITY CLASS: Not determined.
DECOMPOSITION PRODUCTS: Carbon Monoxide, Carbon Dioxide.

UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS:
Airborne dust from the dried dispersion in an enclosed space and in the presence of an ignition source may constitute an explosion hazard.

SPECIAL FIRE FIGHTING PRECAUTIONS/INSTRUCTIONS:
As in any fire, wear NIOSH/MSHA approved positive pressure self-contained breathing apparatus and full protective clothing.

SECTION 6 ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

IN CASE OF SPILL OR OTHER RELEASE:
Use appropriate personal protection during clean up. Remove mechanically by a method that minimizes the generation of airbourne dust (HEPA equipped vacuum, wet mopping etc.) Absorb material and place in appropriate containers for disposal. Do not allow spilled material or wash water to enter sewers, surface water, or ground water.

Spills and releases may have to be reported to Federal and/or local authorities. See Section 15 regarding reporting requirements.

SECTION 7 HANDLING AND STORAGE

NORMAL HANDLING: (Always wear recommended personal protective equipment.)
Use local exhaust or general room/dilution ventilation sufficient to maintain exposure below permissible exposure limits (29 CFR 1910.1001 for asbestos). If possible, use in a closed wall ventilated area (e.g. fume hood).

STORAGE RECOMMENDATIONS:
To maintain product quality, store between 40 and 100 °F.

SECTION 8 EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

ENGINEERING CONTROLS:
General room ventilation is adequate for storage and ordinary handling. Use local exhaust at points of use to maintain exposure below the PEL/TLV exposure limits.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

SKIN PROTECTION:
Impervious garments and gloves.

EYE PROTECTION:
Wear chemical goggles that conform to ANSI Z87.1 under normal conditions.

RESPIRATORY PROTECTION:
If there is potential for inhalation of dust, vapors, or aerosols wear a full-face NIOSH approved respirator with N100 cartridges or better.

The respirator must be selected based on contamination levels and use conditions found in the workplace. Use conditions must not exceed the working limits of the respirator. The respirator must be used in accordance with the OSHA respiratory protection standard (29 CFR 1910.134).

ADDITIONAL RECOMMENDATIONS:
Provide safety showers and eyewash stations in close proximity to the work area.

EXPOSURE GUIDELINES

INGREDIENT NAME	ACGIH TLV	OSHA PEL	OTHER LIMIT
Single-Wall Carbon Nanotubes	Not available.	Not available.	None.
Insoluble Molybdenum Compounds, as Mo	TWA = 10 mg/m3 (8-hr day, inhalable fraction), TWA = 3 mg/m3 (8-hr day, respirable fraction)		None.
Cobalt Compounds, as Co	TWA = 0.02 mg/m3 (8-hr day)	TWA = 0.05 mg/m3 (8-hr day)	15 ug/L urine *** 1 ug/L blood ***

* = Limit established by SWeNT for internal use.
** = Workplace Environmental Exposure Level (AIHA).
*** = Biological Exposure Index (ACGIH).

PEL values represent limits established by the 1989 Air Contaminants Rule (29 CFR 1910.1000, Subpart Z, Table Z-1-A) which was subsequently revoked on June 30, 1993. Several states continue to enforce Table Z-1-A limits.

OTHER EXPOSURE LIMITS FOR POTENTIAL DECOMPOSITION PRODUCTS: None.

SECTION 9 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

APPEARANCE: Black powder.
PHYSICAL STATE: Solid.
ODOR: None.
SPECIFIC GRAVITY (water = 1.0): Not determined.
SOLUBILITY IN WATER (weight %): Insoluble.
pH: 4-10
BOILING POINT: Not determined.
MELTING POINT: Not applicable.
VAPOR PRESSURE: Not applicable.
VAPOR DENSITY (air = 1.0): Not determined.
EVAPORATION RATE: Not determined. **COMPARED TO:** Not applicable.
% VOLATILES: Not determined.
FLASH POINT: Not determined.
(Flash point method and additional flammability data are found in Section 5.)

SECTION 10 STABILITY AND REACTIVITY

STABILITY (CONDITIONS TO AVOID)
Normally stable.

INCOMPATIBILITIES:
None known.

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS:
Thermal decomposition products may include carbon monoxide, carbon dioxide and oxides of metallic impurities (including molybdenum and cobalt).

HAZARDOUS POLYMERIZATION:
Will not occur.

SECTION 11 TOXICOLOGICAL INFORMATION

IMMEDIATE (ACUTE) EFFECTS:
No data available.

DELAYED (SUBCHRONIC AND CHRONIC) EFFECTS:
No data available.

OTHER DATA:
None.

SECTION 12 ENVIRONMENTAL INFORMATION

No data available.

SECTION 13 DISPOSAL CONSIDERATIONS

RCRA

Is the unused product a RCRA hazardous waste if discarded? No.
If yes, the RCRA ID number is: Not applicable.

OTHER DISPOSAL CONSIDERATIONS:
Disposal of this product is not allowed by federal, state and local government regulations. It must be destroyed by a suitable method including, but not limited to, incineration.

The information offered here is for the product as shipped. Use and/or alterations to the product, such as mixing with other materials, may significantly change the characteristics of the material and alter the RCRA classification and the proper disposal method.

SECTION 14 TRANSPORTATION INFORMATION

US DOT HAZARD CLASS: Not regulated.

US DOT ID NUMBER: Not applicable.
For additional information on shipping regulations affecting this material, contact the information number found on Section 1.

SECTION 15 REGULATORY INFORMATION

TOXIC SUBSTANCES CONTROL ACT (TSCA)

TSCA INVENTORY STATUS: This material is manufactured under the terms of the TSCA LOREX exemption at 40 CFR 723.50(c)(2), and under the requirements of 40 CFR723.50(j). Further, according to 723.50(k)(2) this material cannot be further distributed until it has been reacted, incorporated into an article, or otherwise rendered into a physical form or state.

OTHER TSCA ISSUES: None.

SARA TITLE III/CERCLA
"Reportable Quantities" (RQs) and/or "Threshold Planning Quantities" (TPQs) exist for the following ingredients.

INGREDIENT NAME	SARA/CERCLA RQ (lb)	SARA EHS TPQ (lb)
No ingredients listed in this section.		

Spills resulting in the loss of any ingredient at or above its RQ requires immediate notification to the National Response Center (1-800-424-8802) and to your Local Emergency Planning Committee.

SECTION 311 HAZARD CLASS: Immediate (Acute).

The following ingredients are SARA 313 "Toxic Chemicals". CAS numbers and weight percents are found in Section 2.

INGREDIENT NAME	COMMENT
Cobalt Compounds	Elemental metal content < 0.10%.

STATE RIGHT-TO-KNOW

In addition to the ingredients found in Section 2, the following are listed for state right-to-know purposes.

INGREDIENT NAME	WEIGHT %	COMMENT
No ingredients listed in this section.		

ADDITIONAL REGULATORY INFORMATION

WHMIS CLASSIFICATION (CANADA):
Not determined.

FOREIGN INVENTORY STATUS:
All components of this product are listed on the following inventories:

Australian (AICS)
Canadian (DSL)
Chinese (IECSC)
European (EINECS)
Japanese (ENCS)
Korean (KECI)

SECTION 16 OTHER INFORMATION

CURRENT ISSUE DATE: August 10, 2009
PREVIOUS ISSUE DATE: April 22, 2009

CHANGES TO MSDS FROM PREVIOUS ISSUE DATE ARE DUE TO THE FOLLOWING:
Additional product names were added.

OTHER INFORMATION:
None.

DISCLAIMER: THE INFORMATION HEREIN IS PROVIDED IN GOOD FAITH, AND IS BELIEVED TO BE ACCURATE. NO WARRANTY, EXPRESSED OR IMPLIED, IS MADE REGARDING THE ACCURACY OR COMPLETENESS OF THIS INFORMATION. FURTHERMORE, SWENT MAKES NO REPRESENTATION OR WARRANTY THAT THE SAMPLE IS FIT FOR ANY PARTICULAR PURPOSE AND SWENT EXPRESSLY DISCLAIMS ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY. THIS DOCUMENT IS INTENDED ONLY AS A PRECAUTIONARY GUIDE FOR THE APPROPRIATE HANDLING OF THE MATERIAL BY A PROPERLY TRAINED PERSON USING THIS PRODUCT, WHO MUST EXERCISE INDEPENDENT JUDGMENT IN DETERMINING HANDLING OF THIS PRODUCT AND THE APPROPRIATENESS OF THIS PRODUCT FOR ANY PURPOSE. SWENT SHALL NOT BE LIABLE FOR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR FOR DAMAGE TO PERSONS OR PROPERTY RESULTING FROM ITS USE. NOTHING HEREIN SHALL BE CONSTRUED AS A RECOMMENDATION FOR USE IN VIOLATION OF ANY PATENT. SWENT® IS A TRADEMARK OF SOUTHWEST NANOTECHNOLOGIES, INC. ***CAUTION: POTENTIAL HAZARDS OF THIS PRODUCT ARE UNKNOWN.*** **MANUFACTURED UNDER** U.S. PATENT NOS. 6,333,016, 6,413,487, 6,955,800 AS WELL AS OTHER PENDING PATENT APPLICATIONS IN THE U.S. AND AROUND THE WORLD.

SINGLE-WALL CARBON NANOTUBES (SWNT)
Material Safety Data Sheet

Nanothinx
P.O. Box 1414
Stadiou Street, Platani
Rio-Patras 26504 GREECE

Tel: +30-2610-965208
Fax: +30-2610-965223
info@nanothinx.com
http://www.nanothinx.com

1. Identification of Product

Trade name Single-Wall Carbon Nanotubes
Manufacturer Nanothinx S.A.

2. Product Composition and Specifications

SWNT		Characterization method
Production method	CCVD	
Available form	Black powder	
Diameter	0.8-1.4 nm	TEM, Raman
Length	≥5 μm	SEM, TEM
Bundles	15-30	SEM, TEM
Nanotubes purity	60%< x < 65% (raw: NTX8) ≥85% (purified: NTX9)	TGA, SEM
Metal particles	40% > x > 35% (NTX8) ≤15% (NTX9)	TGA
Amorphous carbon	< 1 %	TGA, Raman
Surface area	500-600 m^2/g (NTX8) ~900 m^2/g (NTX9)	BET





Date Created: 23/03/2006 Date Revised: 20/01/2009

3. Hazards Identification

Indications of Hazards to Humans and the Environment	Irritating to eyes and respiratory system.

4. First Aid Measures

After Inhalation	If inhaled, remove to fresh air. If not breathing give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen.
After Skin Contact	In case of contact, immediately wash skin with soap and copious amounts of water.
After Eye Contact	In case of contact, immediately flush eyes with copious amounts of water for at least 15 minutes.
After Ingestion	If swallowed, wash out mouth with water provided person is conscious. Call a physician.

5. Fire Fighting Measures

Suitable extinguishing agents Carbon monoxide (CO)	Extinguishing powder. Do not use water.
Special hazards caused by the material, its products of combustion or flue gases	Can be released in case of fire: carbon monoxide (CO)
Protective equipment	Wear self-contained breathing

6. Accidental Release Measures

Spill Procedure	Sweep up, place in a bag and hold for waste disposal. Avoid raising dust. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

7. Handling and Storage

Handling	Do not breathe dust. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.
Storage	Conditions of Storage: Keep tightly closed.

8. Exposure Control / Personal Protection

Engineering Control	Safety shower and eye bath. Mechanical exhaust required.
General Hygiene Measures	Wash thoroughly after handling.
Personal Protective Equipment	Respiratory Protection: Government approved respirator. Hand Protection: Compatible chemical-resistant gloves. Eye Protection: Chemical safety goggles.

Date Created: 23/03/2006 Date Revised: 20/01/2009

9. Physical and Chemical Properties

Available form	Powder
Color	Black
Odor	Odorless
Melting point/Melting range	Not determined
Boiling point/Boiling range	Not determined
Ignition temperature	Not determined
Density	1.4 g/cm³
Water	Insoluble

10. Stability

Stability	Thermal decomposition or combustion may produce smoke of carbon oxide and metal oxide
Materials to avoid	oxidizing and reducing agents, acids, halogens
Conditions to avoid	Avoid excessive heating
Dangerous reactions	No hazardous reaction when used as directed
Boiling point/Boiling range	Not determined

11. Toxicological Information

Primary irritant effect on the skin	Irritant for skin and mucous membranes.
Primary irritant effect on the eyes	Irritant effect
Sensitization	No sensitizing effect known.
Additional toxicological information	The acute and chronic toxicity of this substance is not fully determined

12. Ecological Information

Ecological effects information	The product is not expected to present an environmental hazard

13. Disposal Considerations

As prepared the product is considered as non hazardous. It can then be either disposed in an approved landfill or destroyed by incineration. Volatile dust must be collected during incineration. Liquids containing significant amount of carbon nanotubes must be filtered before their released to the sewer.

Date Created: 23/03/2006 Date Revised: 20/01/2009

14. Transport Information

Not regulated. Use precaution during transport in order to prevent accidental spill.
Not dangerous cargo. Keep separated from foodstuffs.

15. Regulatory Information

Risk Phrase(s)	Irritating to eyes, respiratory system and skin.
Security Phrase(s)	S22 Do not breathe dust S29 Do not empty into drains S36/37/39 Wear suitable protective clothing, gloves, eye/face protection.
National regulations	For use only by technically qualified individuals.
Information about limitation of use	Employment restrictions concerning young persons must be observed.
Water hazard class	Generally not hazardous for water.

16. Other Information

Nanothinx S.A. provides the information contained herein in good faith and makes no representation as to its comprehensiveness or accuracy. Employers should use this information only as a supplement to other information gathered by them, and should make independent judgment of suitability of this information to ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Material Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

Date Created: 23/03/2006 Date Revised: 20/01/2009

ภาคผนวก ก. 5

เอกสารความปลอดภัยของท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (Multi-wall Carbon Nanotube, MWCNT)

blue nano

Material Safety Data Sheet

CNT Series Carbon Nanotubes

Table of Contents

1 – Identification of Substance	9 – Physical & Chemical Properties
2 – Composition / Information on Ingredients	10 – Stability & Reactivity
3 – Hazardous ID: Potential Health Effects	11 – Toxicological Information
4 – First Aid Measures	12 – Ecological Information
5 – Firefighting Measures	13 – Disposal Considerations
6 – Accidental Release Measures	14 – Transport Information
7 – Handling & Storage	15 – Regulations
8 – Exposure Controls / Personal Protection	16 – Other Information

1 – Identification of Substance

Trade Name: Carbon Fullerene
Chemical Family: Synthetic Graphite
Synonyms: Carbon Nanotube, CNT
CAS Number: 308068-56-6
Manufacturer/Supplier: Blue Nano
16925 Pennington Drive, Huntersville, NC 28078, U.S.
Phone: +1 (412) 496-0870
Email: info.US@BlueNanoInc.com

2 - Composition / Information on Ingredients

Component	CAS Number	Amount (%)
Carbon Nanotube	308068-56-6	>99.9%
Amorphous Carbon		<2%
Alumina	1344-28-1	<8%

3 - Hazards Identification: Potential health effects

Eye contact	May cause eye irritation
Skin contact	No known hazards, but may be mildly irritating
Inhalation	May cause irritation to respiratory tract
Ingestion	No known hazards, but may irritate gastrointestinal tract. Acute and Chronic High concentration of dusts may be irritating to eyes, skin
Health Effects	Mucus membranes and respiratory tract
Information pertaining to particular dangers for man and environment	R 36/37 Irritating to eyes and respiratory system

4 - First Aid Measures

After inhalation	Remove to fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm. Seek immediate medical advice.
After skin contact	Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly. Seek immediate medical advice.
After eye contact	Rinse opened eye for several minutes under running water. Then consult a doctor.
After ingestion	Seek immediate medical advice.

5 - Fire Fighting Measures

Flash point	Not applicable
Explosion limits	Unknown
Extinguisher medium	Water, Carbon Dioxide, Dry Chemical, or Foam
Special procedures	None
Decomposition products	Carbon monoxide, carbon dioxide
Unusual Hazards	Thermal decomposition or combustion may produce dense smoke
Suitable extinguishing agents	CO2, extinguishing powder or water spray. Fight larger fires with water spray.
Special hazards caused by the material, its products of combustion or resulting gases	In case of fire, the following can be released: Carbon monoxide.
Protective equipment	Wear self-contained respirator. Wear fully protective impervious suit.

6 - Accidental Release Measures

Person-related safety precautions	Wear protective equipment. Keep unprotected persons away. Ensure adequate ventilation.
Measures for environmental protection	Do not allow material to be released to the environment.
Measures for cleaning/collecting	Ensure adequate ventilation.
Additional information	See Section 7 for information on safe handling. See Section 8 for information on personal protection equipment. See Section 13 for disposal information.

7 - Handling and Storage

Information for safe handling	Keep container tightly sealed. Store in cool, dry place in tightly closed containers. Ensure good ventilation at the workplace.
Information about protection against explosions and fires	Keep away from bright flashes of light. Flashes of light can cause spontaneous combustion.
Storage	Store in light proof packaging.
Requirements to be met by storerooms and receptacles	No special requirements.
Information about storage in one common storage facility	Store away from oxidizing agents. Store away from halogens. Do not store together with acids.
Further information about storage conditions	Keep container tightly sealed. Store in cool, dry conditions in well sealed containers.

8 - Exposure Controls / Personal Protection

Additional information about design of technical systems:

Properly operating chemical fume hood designed for hazardous chemicals and having an average face velocity of at least 100 feet per minute.

Components with limit values that require monitoring at the workplace:

Graphite	mg/m3
ACGIH TLV	2
Belgium TWA	2.5
Finland TWA	5
France VME	2
Germany MAK	6
Ireland TWA	5
Korea TLV	2
Netherlands MAC-TGG	2
Poland TWA	2
Sweden NGV	5 (dust)
Switzerland MAK-W	2.5
United Kingdom	5-LTEL
USA PEL	15 mppcf

Additional information	No Data
General protective and hygienic measures	The usual precautionary measures for handling chemicals should be followed. Keep away from foodstuffs, beverages and feed. Remove all soiled and contaminated clothing immediately. Wash hands before breaks and at the end of work. Avoid contact with the eyes. Avoid contact with the eyes and skin.
Breathing equipment	Use suitable respirator when high concentrations are present.
Protection of hands	Impervious gloves.
Eye protection	Safety glasses.
Body protection	Protective work clothing.

9 - Physical & Chemical Properties

General Information	
Form	Powders
Color	Black
Odor	Odorless
Value/Range Unit Method	
Melting Point / Melting Range	3652-3697°C (6605F-6686F)(subl/vac)
Boiling Point / Boiling Range	Not available
Sublimation temperature / start	Not available
Ignition temperature	Not applicable
Decomposition Temperature	Not available
Danger of explosion	Product does not present an explosion hazard
Explosion Limits	
Lower	Not available
Upper	Not available
Vapor pressure	Not available
Density	~ 2.1 g/cm³ at 20°C (68F)
Solubility in / miscibility with water	Insoluble

10 - Stability & Reactivity

Thermal decomposition / conditions to be avoided	Decomposition will not occur if used and stored according to specifications.
Materials to be avoided	Oxidizing agents, Acids, Halogens, Interhalogens, Alkali metals
Dangerous reactions	No dangerous reactions known.
Dangerous products of decomposition	Carbon monoxide and carbon dioxide

11 - Toxological Information

Acute toxicity	No
Primary irritant effect on the skin	Irritant to skin and mucous membranes.
Primary irritant effect on the eye	Irritating effect.
Sensitization	No sensitizing effects known.
Sub-acute to chronic toxicity	The inhalation of graphite, both natural and synthetic, has caused pneumoconiosis in exposed workers. The pneumoconiosis found is similar to coal worker's pneumoconiosis.
Additional toxicological information	To the best of our knowledge the acute and chronic toxicity of this substance is not fully known. No classification data on carcinogenic properties of this material is available from the EPA, IARC, NTP, OSHA or ACGIH.

12 – Ecological Information

General notes	Do not allow this material to be released to the environment.

13 – Disposal Considerations

Product	Carbon Nanotubes
Uncleaned packages	Consult all state, local or national regulations to ensure proper disposal. Specific care should be taken to insure that no carbon nanotubes or carbon nanotube packaging is released into the environment.
Recommendation	Disposal must be made according to official regulations.

14 – Transport Information

Classification	Not a hazardous material for transportation.
DOT regulations	
Hazard class	None
Land transport ADR/RID (cross-border)	
ADR/RID class	None
Maritime transport IMDG	
IMDG Class	None
Air transport ICAO-TI and IATA-DGR	
ICAO/IATA Class	None
Transport/Additional information	Not dangerous according to the above specifications.

15 - Regulations

Product related hazard information	This material is listed on the US Toxic Substances Control Act (TSCA) Inventory and the following chemical inventories: Canadian Domestic Substances List (DSL), European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (EINECS), Korean Existing Chemicals List (ECL), Australian Inventory of Chemical Substances (AICS), the Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances (PICCS), and the Swiss Giftliste 1 Inventory of Notified New Substances. In addition, this substance is not regulated in Japan and excluded from the Japanese Chemical Substances Control Law according to the Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry, formerly the Ministry of International Trade and Industry (MITI).
Hazard symbols	Eye Irritant
Risk phrases	36/37 Irritating to eyes and respiratory system.
Safety phrases	26 In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.
National regulations	All components of this product are listed in the U.S. Environmental Protection Agency Toxic Substances Control Act. Chemical Substance Inventory.
Information about limitation of use	For use only by technically qualified individuals.

16 – Other Information

Employers should use this information only as a supplement to other information gathered by them, and should make independent judgment of suitability of this information to ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Material Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

HAZARDOUS MATERIALS IDENTIFICATION SYSTEM (HMIS)

Health Flammability Reactivity BASIS

100 Synthetic graphite powder

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA)

Health Flammability Reactivity BASIS

100 Synthetic graphite powder

Label Precautions:

Do not get in eyes, on skin or on clothing.

Do not breathe dust.

Wash thoroughly after handling.

Keep container closed.

Use with adequate ventilation.

Label First Aid:

If inhaled, remove to fresh air. If breathing difficulties persist, get medical attention. In case of contact, immediately flush eyes or skin with plenty of water for at least 15 minutes. If irritation develops or persists, get medical attention.

CNT Safety Considerations

A Material Safety Data Sheet (MSDS) has been written by Blue Nano for its carbon nanotubes. In addition to the MSDS, the following excerpts in this document are recommended reading for further education. Blue Nano, by way of inclusion, does not endorse any particular selection.

Handling Carbon Nanotubes

(From Carbon Nanotubes and Related Structures: New Materials for the Twenty-First Century, by Peter J.F. Harris, Cambridge University Press, 2001, pp. 21-22)

"Opinions are divided on the possible health hazards of carbon nanotubes... Some workers have pointed out the physical similarities between nanotubes and asbestos fibers, which are both extended structures around 10nm in diameter and a few micrometers long... It has been known since the early 1960's that asbestos can be a cause of pneumoconiosis, a serious lung disease, and mesothelioma, a cancer of the lining of the chest which is often fatal.

However, the mechanism by which the silicate fibers cause the damage, at least in the case of mesothelioma, is believed to involve the catalytic formation of reactive oxygen compounds. It seems unlikely that (plain carbon) nanotubes would have the same effect. Nevertheless, in the lack of any definite information on the toxicity of Fullerene-related carbons, it is wise to err on the side of caution when preparing and handling these materials.

Particular care should be taken with the arc-evaporation method since the soot produced in this way is extremely light and can easily become airborne.

Precautions should therefore be taken to avoid inhalation. For this reason, it is recommended that the entire arc-evaporation apparatus be enclosed in a fume hood. A mask should also be worn when opening the chamber and it is advisable to wear gloves when handling the Fullerene-related materials. There are other safety considerations to take into account when carrying out the arc evaporation method. It is clearly important to check the machine for short circuits before carrying out the arc-evaporation, and the vacuum should be tested for leaks before introducing the inert gas. Since most chambers will have a viewing port, care must also be taken to protect the operator's eyes from the intense light of the arc using a high density optical glass filter."

(from "DuPont pinning its future on nanotechnology," by F. Biddle, The (Wilmington, Del.) News Journal and also Reno Gazette-Journal, Saturday, Dec. 27, 2003, pp .1D - 4D)

"Safety is one concern. Eva Oberdorster, an aquatic toxicologist at Southern Methodist University in Dallas, said the tendency of single strands of synthetic DNA to bind to nanotubes may add to longtime concerns that nanotubes can breach the cell membranes of living things. "Does real DNA ... interact with (carbon nanotubes)?" she said. "We don't know that yet. Certainly, if you're in a workplace and working with these nanotubes, there's a possibility of being exposed." That leads to the possibility that nanotubes could disrupt the normal lives and functions of cells, she said."

(from "Nano's Safety Checkup," by I. Amato, Technology Review, Feb. 2004, pp. 22-23)

SOME EFFORTS AND PROPOSALS ON NANOPARTICLE SAFETY ORGANIZATION EFFORT

U.S. Food and Drug Administration;

U.S. Environmental Protection Agency (Washington, D.C.)

Relying on existing protocols to regulate new nanomaterials, while developing data on toxicology, environmental fate, and tissue accumulation.

U.K. Royal Society, U.K. Royal Academy of Engineering (London, England)

Commissioned a blue-ribbon study to assess the risks and benefits of nanomaterials and make regulatory recommendations

Center for Biological and Environmental Nanotechnology, Rice University (Houston, TX) Director Vicki Calvin recommended that 5% of federal nanotechnology expenditures be devoted to the study of environmental and societal consequences.

ETC Group (Winnipeg, Manitoba)

Calling for moratoria on nanotechnology R&D until safety can be established; seeking an international convention to evaluate nanotechnology.

Greenpeace Environmental Trust(London, England)
Calling for far more research on nanotechnology's environmental impact, but not endorsing moratoria.

(from "Health Concerns in Nanotechnology," By Barnaby J. Feder, N.Y. Times, Published: March 29, 2004)

"...Bucky balls, a spherical form of carbon discovered in 1985 and an important material in the new field of nanotechnology, can cause extensive brain damage in fish...Eva Oberdörster, an environmental toxicologist at Southern Methodist University in Dallas, said the buck balls also altered the behavior of genes in liver cells of the juvenile largemouth bass she studied... . Other researchers, including Dr. Oberdörster's father, Günter Oberdörster, a professor of environmental medicine at the University of Rochester, have shown that such particles can enter the brain. The fish studies, however, were the first to indicate destruction of lipid cells, the most common form of brain tissue.
Dr. Oberdörster of S.M.U. said that the results underscored the need to learn more about how bucky balls and other nanoscale materials are absorbed, how they might damage organisms and what levels of exposure represent hazards. But she rejected arguments made by some nanotechnology critics that the limited toxicological research to date justified a moratorium on the development and sale of the new materials..."This is a yellow light, not a red one," Dr.Oberdörster said in a telephone interview last week."

(from "Comparative Pulmonary Toxicity Assessment of Single-wall Carbon Nanotubes in Rats," D. B. Warheit, et al.,Toxicological Sciences 77, 117-125 (2004))

"Exposures to high-dose (5 mg/kg) SWCNT produced mortality in ~15% of the SWCNT instilled rats within 24 h post instillation. This mortality resulted from mechanical blockage of the upper airways by the instillate and was not due to inherent pulmonary toxicity of the instilled SWCNT particulate. Exposures to quartz particles produced significant increases versus controls in pulmonary inflammation, cytotoxicity, and lung cell parenchymal cell proliferation indices. Exposures to SWCNT produced transient inflammatory and cell injury effects."

(from "Pulmonary Toxicity of Single-Wall Carbon Nanotubes in Mice 7 and 90 Days After Intratracheal Instillation,"C.-W.Lam, et al., Toxicological Sciences 77, 126-134 (2004))

"All nanotube products induced dose-dependent epithelioid granulomas and, in some cases, interstitial inflammation in the animals of the 7-d groups. These lesions persisted and were more pronounced in the 90-d groups; the lungs of some animals also revealed peri bronchial inflammation and necrosis that had extended into the alveolar septa. The lungs of mice treated with carbon black were normal, whereas those treated with high dose quartz revealed mild to moderate inflammation. These results show that, for the test conditions described here and on an equal-weight basis, if carbon nanotubes reach the lungs, they are much more toxic than carbon black and can be more toxic than quartz, which is considered a serious occupational health hazard in chronic inhalation exposures."

(from Nanoscience and Nanotechnologies," The Royal Society and the Royal academy of Engineering, July 2004)

"It is very unlikely that new manufactured nanoparticles could be introduced into humans in doses sufficient to cause health effects that have been associated with the nanoparticles in polluted air. However, some may be inhaled in certain work places in significant amounts and steps should be taken to minimize exposure. Toxicological studies have investigated nanoparticles of low solubility and low surface activity. Newer nanoparticles with characteristics that differ substantially from these should be treated with particular caution. The physical characteristics of carbon and other nanotubes mean that they may have toxic properties similar to those of asbestos fibers, although preliminary studies suggest they may not readily escape into the air as individual fibers. Until further toxicological studies have been undertaken, human exposure to airborne nanotubes in laboratories and workplaces should be restricted.

There is virtually no information available about the effect of nanoparticles on species other than humans or about how they behave in the air, water or soil, or about their ability to accumulate in food chains. Until more is known about their environmental impact we are keen that the release of nanoparticles and nanotubes to the environment is avoided as far as possible. Specifically, we recommend as a precautionary measure that factories and research laboratories treat manufactured nanoparticles and nanotubes as if they were hazardous and reduce them from waste streams and that the use of free nanoparticles in environmental applications such as remediation of groundwater be prohibited."

Catalysts

(Blue Nano)

CNTs can contain transition metals, such as Fe, Co, Ni, and Mo, or others, which are used during CNT fabrication. Catalysts may become part of the finished CNT material or byproducts. Accordingly, the raw CNT material, and/or applied technologies may also contain these elements, and should be treated accordingly.

Flammability and Explosion Hazards SOLIDS.

(written by staff, 2003; reference: Dust Explosions, by P. Field, Elsevier Scientific, 1982)

In general, it should be noted that explosions can occur when fine combustible particulates, having a particle size less than 500 micrometers and capable of becoming airborne, are handled. For all combustible particle types, the rate of pressure rise during explosion increases as the particle size decreases. Moreover, the minimum amount of energy required to start the explosion decreases as the particle size decreases. Particulates also exhibit lower and upper explosion limits, as for flammable gases. Any flammable dust may burn at an even more rapid rate if it burns also in the presence of H2.

The specific case of the sensitivity of Carbon Nanotubes (CNTs) to flammability and explosivity has not yet been established. Carbon nanotubes are somewhat similar to graphite in composition and structure. One might therefore expect the reactivity of graphite to predict the reactivity of CNTs. Fortunately; powdered graphite has not been seen to be an explosive dust [Field, p. 201-202].

However, CNTs exist as small-sized individual particles. Moreover, CNTs are produced along side with other carbon materials, such as Fullerenes and amorphous carbon. The amounts of these other components will depend on the process equipment and conditions. The main point is for all workers using CNTs to understand the flammability and explosive potential of nanoparticulates, and to understand the increased risks if:

(1) the particle is known to be combustible

(2) the particle becomes airborne

(3) the particle size is small (<500 nm), or decreases as a result of a process change
(4) the oxidation potential increases due to the composition of product or by-product particulates
(5) oxidizers (e.g. oxygen) are present in sufficient concentrations
(6) the particles also are exposed to flammable gases (e.g. hydrogen)
(7) the particulate concentration falls between the lower and upper explosion limits
(8) an ignition source is present (one or more of the following are true:
(a) temperature is high enough to support combustion,
(b) one of the following comes into contact with the airborne particles:
i) electric spark,
ii) flames,
iii) hot surfaces,
iv) incandescent material (e.g. glowing particles),
v) welding or cutting operations,
vi) friction or impact sparks,
viii) electrostatic discharge sparks .)
(9) The size of the vessel is small and/or will not support the resulting pressure increase The risk of a dust explosion may be minimized by using inert process gases where possible (e.g. nitrogen).

Disclaimer:

Blue Nano provides the information contained herein in good faith and makes no representation as to its comprehensiveness or accuracy. This document is intended only as a guide to the appropriate precautionary handling of the material by a properly trained person using this product. Individuals receiving the information must exercise their independent judgment in determining its appropriateness for a particular purpose. Blue Nano makes no representations or warranties either express or implied, regarding the suitability of the material for any purpose or the accuracy of the information contained within this document. Accordingly, Blue Nano will not be responsible for damages resulting from use of or reliance upon this information.

CNT Co., Ltd.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

PRODUCT NAME	Ctube-100, Ctube-101, Ctube-120
CHEMICAL NAME	Multiwall Carbon Nanotubes
FORMULA	Carbon
CHEMICAL FAMILY	Synthetic Graphite
SYNONYMS	Multi-Walled Carbon Nanotube
MANUFACTURER	CNT Co., Ltd.
	C-2116 The #1st World officetel, 4-1 Songdo-dong Yeonsu-gu
	Incheon, Korea, 406-840
EMERGENCY TEL. NO.	TEL. 82 32 835 5285/6, FAX. 82 32 835 5287

3. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

COMPONENT	%	O/D	LENGTH	CAS NO.
Carbon Nanotube Synthetic graphite	95 MIN.	10~40nm	1~25μm	7782-42-5

2. HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW	Irritant
	Irritating to eyes and respiratory system
HMIS RATING	
HEALTH	2
FLAMMABILITY	0
REACTIVITY	0
NFPA RATING	
HEALTH	2
FLAMMABILITY	0
REACTIVITY	0

For additional information on toxicity, Please refer to Section 11.

Revision date: Nov. 01, 2010

CNT Co., Ltd.

4. FIRST AID MEASURES

ORAL EXPOSURE	If swallowed, wash out a mouth with copious amount of water provided person is conscious. Call a physician
INHALATION EXPOSURE	If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen
DERMAL EXPOSURE	Immediately wash affected area with soap and copious amounts of water
EYE EXPOSURE	Immediately flush eyes with copious amounts of water for at least 15 minutes

5. FIRE FIGHTING MEASURES

FLASH	Not available
EXPLOSION LIMITS	Unknown
EXTINGUISHING MEDIA	Water, Carbon Dioxide, Dry chemical or Foam
DECOMPOSITION PRODUCTS	Carbon Monoxide, Carbon Dioxide
UNUSUAL HAZARDS	Thermal decomposition or combustion may produce dense smoke

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

PROCEDURE OF PEROSNAL PRECAUTION	Wear respirator, chemical safety goggles, rubber boots to avoid skin contact
METHODS FOR CLEANING UP	Sweep up, place in a bag and hold for waste disposal, Avoid raising dust. Ventilate area and wash spill site after material pickup is completed

7. HANDLING AND STORAGE

HANDLING	
USER EXPOSURE	Do not breathe dust. Avoid contact with eyes, skin and clothing Avoid prolonged or repeated exposure
STORAGE	
SUITABLE	Keep tightly closed and store in a cool & dry place

Revision date: Nov. 01, 2010

CNT Co., Ltd.

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

EYE PROTECTION	Use approved safety glasses or goggles
RESPIRATOR	Wear high-efficiency dust mask
SKIN PROTECTION	Impervious gloves and protective clothing to prevent skin contact
VENTILATION	A local or general exhaust system is recommended

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

APPEARANCE	Clumpy, black or dark gray powder
MOLECULAR WEIGHT	N/A
BOILING POINT	N/A
MELTING POINT	3,652~3,697°C
VAPOR PRESSURE	N/A
FREEZING POINT	N/A
SPECIFIC GRAVITY	2.1g/cm^3 at 25°C
BULK DENSITY	0.03~0.06g/cm^3
VOLATILE, %	N/A
WATER CONTENT	N/A
SOLVENT CONTENT	N/A
SOLUBILITY IN WATER	Insoluble
PH	6-7
ODOR	Odorless

N/A = not available

10. STABILITY AND REACTIVITY

STABILITY	Stable
HAZARDOUS POLYMERIZATION	None
HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS	
	Carbon monoxide, Carbon Dioxide
MATERIALS TO AVOID	Strong oxidizing agents

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

ROUTE OF EXPOSURE

SKIN CONTACT	May cause skin irritation
EYE CONTACT	Cause eye irritation

Revision date: Nov. 01, 2010

CNT Co., Ltd.

INHALATION	Material is irritating to mucous membranes and upper respiratory tract
INGESTION	May be harmful if swallowed

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE

Chemical, Physical and toxicological properties have not been thoroughly investigated

12. ECOLOGICAL INFORMATION

ECOLOGICAL INFORMATION No known ecological harms

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

DISPOSAL Dispose of this material in accordance with local, state, and federal regulation

14. TRANSPORTATION INFORMATION

DOT

PROPER SHIPPING NAME None

NON–HAZARDOUS FOR TRANSPORT

This substance is considered to be non – hazardous for transport.

IATA

NON–HAZARDOUS FOR AIR TRANSPORT

This substance is Non – hazardous for air transport

15. REGULATORY INFORMATION

EU **ADDITIONAL CLASSIFICATION**

SYMBOL OF DANGER	Xi
INDICATION OF DANGER	Irritant, R : 36/37
RISK STATEMENTS	Irritating to eyes and respiratory system, S: 26 36
SAFETY STATEMENTS	In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. Wear suitable protective clothing.

Revision date: Nov. 01, 2010

CNT Co., Ltd.

US **CLASSIFICATION AND LABEL TEXT**

INDICATION OF DANGER	Irritant.
RISK STATEMENTS	Irritating to eyes and respiratory system.
SAFETY STATEMENTS	In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. Wear suitable protective clothing.
SARA LISTED	No

CANADA

WHMIS CLASSIFICATION	This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the CPR, and MSDS contains all the information required by the CPR.
DSL	No
NDSL	No

16. OTHER INFORMATION

WARRANTY

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. CNT Co., Ltd. Shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product.

Revision date: Nov. 01, 2010

RAW MULTI-WALL CARBON NANOTUBES (MWNT)
Material Safety Data Sheet

Nanothinx S.A.
P.O. Box 1414
Stadiou Street, Platani
Rio-Patras 26504 GREECE

Tel: +30-2610-965208
Fax: +30-2610-965223
info@nanothinx.com
http://www.nanothinx.com

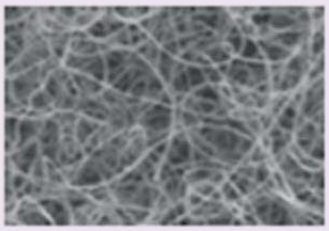
1. Identification of Product

Trade name Multi-Wall Carbon Nanotubes
Manufacturer Nanothinx S.A.

2. Product Composition and Specifications

Raw MWNT		Characterization method
Production method	CCVD	
Available form	Black powder	
Diameter	NTX1: 15-35 nm NTX2: 15-30 nm NTX3: 25-40 nm NTX4 (thin MWNT): 6-10 nm	TEM, SEM
Length	$\geq$ 10 μm	SEM, TEM
Layers	NTX1 & NTX2: 15-35 NTX3: 25-40 NTX4 (thin MWNT): 7-12	TEM
Nanotubes purity	NTX1: 97% NTX2: $\geq$ 95% NTX3: $\leq$ 98.5% NTX4 (thin MWNT): > 90%	TGA, SEM
Metal particles	NTX1: 3% NTX2: $\leq$ 5% NTX3: $\geq$ 1.5% NTX4 (thin MWNT): < 10%	TGA
Amorphous carbon	< 1%	TGA, Raman
Surface area	NTX3, NTX2 & NTX1: 200-250 m^2/g NTX4: ~300 m^2/g	BET
Bulk density	NTX1 & NTX2: ~0.16 g/cm^3 NTX3: 0.20 g/cm^3 NTX4(thin MWNT):0.15 g/cm^3	

Date Created: 21/10/2005 Date Revised: 20/01/2009


3. Hazards Identification

Indications of Hazards to Humans and the Environment	Irritating to eyes and respiratory system.

4. First Aid Measures

After Inhalation	If inhaled, remove to fresh air. If not breathing give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen.
After Skin Contact	In case of contact, immediately wash skin with soap and copious amounts of water.
After Eye Contact	In case of contact, immediately flush eyes with copious amounts of water for at least 15 minutes.
After Ingestion	If swallowed, wash out mouth with water provided person is conscious. Call a physician.

5. Fire Fighting Measures

Suitable extinguishing agents	Extinguishing powder. Do not use water.
Carbon monoxide (CO)	
Special hazards caused by the material, its products of combustion or flue gases	Can be released in case of fire: carbon monoxide (CO)
Protective equipment	Wear self-contained breathing

6. Accidental Release Measures

Spill Procedure	Sweep up, place in a bag and hold for waste disposal. Avoid raising dust. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

7. Handling and Storage

Handling	Do not breathe dust. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.
Storage	Conditions of Storage: Keep tightly closed.

Date Created: 21/10/2005 Date Revised: 20/01/2009

8. Exposure Control / Personal Protection

Engineering Control	Safety shower and eye bath. Mechanical exhaust required.
General Hygiene Measures	Wash thoroughly after handling.
Personal Protective Equipment	Respiratory Protection: Government approved respirator. Hand Protection: Compatible chemical-resistant gloves. Eye Protection: Chemical safety goggles.

9. Physical and Chemical Properties

Available form	Powder
Color	Black
Odor	Odorless
Melting point/Melting range	Not determined
Boiling point/Boiling range	Not determined
Ignition temperature	Not determined
Density	1.4 g/cm³
Water	Insoluble

10. Stability

Stability	Thermal decomposition or combustion may produce smoke of carbon oxide and metal oxide
Materials to avoid	oxidizing and reducing agents, acids, halogens
Conditions to avoid	Avoid excessive heating
Dangerous reactions	No hazardous reaction when used as directed
Boiling point/Boiling range	Not determined

11. Toxicological Information

Primary irritant effect on the skin	Irritant for skin and mucous membranes.
Primary irritant effect on the eyes	Irritant effect
Sensitization	No sensitizing effect known.
Additional toxicological information	The acute and chronic toxicity of this substance is not fully determined

12. Ecological Information

Ecological effects information	The product is not expected to present an environmental hazard

Date Created: 21/10/2005 Date Revised: 20/01/2009

13. Disposal Considerations

As prepared the product is considered as non hazardous. It can then be either disposed in an approved landfill or destroyed by incineration. Volatile dust must be collected during incineration. Liquids containing significant amount of carbon nanotubes must be filtered before their released to the sewer.

14. Transport Information

Not regulated. Use precaution during transport in order to prevent accidental spill.
Not dangerous cargo. Keep separated from foodstuffs.

15. Regulatory Information

Risk Phrase(s)	Irritating to eyes, respiratory system and skin.
Security Phrase(s)	S22 Do not breathe dust S29 Do not empty into drains S36/37/39 Wear suitable protective clothing, gloves, eye/face protection.
National regulations	For use only by technically qualified individuals.
Information about limitation of use	Employment restrictions concerning young persons must be observed.
Water hazard class	Generally not hazardous for water.

16. Other Information

Nanothinx S.A. provides the information contained herein in good faith and makes no representation as to its comprehensiveness or accuracy. Employers should use this information only as a supplement to other information gathered by them, and should make independent judgment of suitability of this information to ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Material Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

Date Created: 21/10/2005 Date Revised: 20/01/2009

ภาคผนวก ก. 6

เอกสารความปลอดภัยของฟูลเลอรีน (Fullerenes)

B1641

TCI AMERICA

Material Safety Data Sheet

HAZARD WARNINGS	RISK PHRASES	PROTECTIVE CLOTHING
	Irritating to skin, eyes, and the respiratory system.	

Section I. Chemical Product and Company Identification

Chemical Name	**Fullerene C_{60}** (>99.9% pure)
Catalog Number	B1641
Synonym	Buckminsterfullerene C_{60}
Chemical Formula	C_{60}
CAS Number	99685-96-8

Supplier
TCI America
9211 N. Harborgate St.
Portland OR
1-800-423-8616

In case of Emergency Call
Chemtrec®
(800) 424-9300 (U.S.)
(703) 527-3887 (International)

Section II. Composition and Information on Ingredients

Chemical Name	CAS Number	Percent (%)	TLV/PEL	Toxicology Data
Fullerene C_{60} (>99.9% pure)	99685-96-8	Min. 99.5	Not available.	Not available.

Section III. Hazards Identification

Acute Health Effects
Irritating to eyes and skin on contact. Inhalation causes irritation of the lungs and respiratory system. Inflammation of the eye is characterized by redness, watering, and itching. Skin inflammation is characterized by itching, scaling, reddening, or, occasionally, blistering. Follow safe industrial hygiene practices and always wear proper protective equipment when handling this compound.

Chronic Health Effects
CARCINOGENIC EFFECTS : Not available.
MUTAGENIC EFFECTS : Not available.
TERATOGENIC EFFECTS : Not available.
Toxicity to the reproductive system: Not available.
There is no known effect from chronic exposure to this product. Repeated or prolonged exposure to this compound is not known to aggravate existing medical conditions.

Section IV. First Aid Measures

Eye Contact
Check for and remove any contact lenses. DO NOT use an eye ointment. Flush eyes with running water for a minimum of 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Seek medical attention. Treat symptomatically and supportively.

Skin Contact
If the chemical gets spilled on a clothed portion of the body, remove the contaminated clothes as quickly as possible, protecting your own hands and body. Place the victim under a deluge shower. If the chemical touches the victim's exposed skin, such as the hands: Gently and thoroughly wash the contaminated skin with running water and non-abrasive soap. Be particularly careful to clean folds, crevices, creases and groin. Cover the irritated skin with an emollient. Seek medical attention. Treat symptomatically and supportively. Wash any contaminated clothing before reusing.

Inhalation
If the victim is not breathing, perform artificial respiration. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. If breathing is difficult, oxygen can be administered. Seek medical attention. Treat symptomatically and supportively.

Ingestion
INDUCE VOMITING by sticking finger in throat. Lower the head so that the vomit will not reenter the mouth and throat. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt, or waistband. If the victim is not breathing, administer artificial respiration. Examine the lips and mouth to ascertain whether the tissues are damaged, a possible indication that the toxic material was ingested; the absence of such signs, however, is not conclusive. Seek immediate medical attention and, if possible, show the chemical label. Treat symptomatically and supportively.

Section V. Fire and Explosion Data

Flammability	Combustible.	Auto-Ignition	Not available.
Flash Points	Not available.	Flammable Limits	Not available.

Combustion Products
These include toxic carbon oxides (CO,CO_2).

Fire Hazards
No specific information is available regarding the flammability of this compound in the presence of various materials.

Explosion Hazards
Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available.
Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Not available.
No additional information is available regarding the risks of explosion.

Continued on Next Page
Emergency phone number (800) 424-9300

Fire Fighting Media and Instructions	SMALL FIRE: Use DRY chemicals, CO_2, water spray or foam. LARGE FIRE: Use water spray, fog or foam. DO NOT use water jet.

Section VI. Accidental Release Measures

Spill Cleanup Instructions	Irritating material. In case of a spill and/or a leak, always shut off any sources of ignition, ventilate the area, and exercise caution. Use a shovel to put the material into a convenient waste disposal container. Finish cleaning the spill by rinsing any contaminated surfaces with copious amounts of water. Consult federal, state, and/or local authorities for assistance on disposal.

Section VII. Handling and Storage

Handling and Storage Information	IRRITANT. Keep away from heat and sources of ignition. Mechanical exhaust required. When not in use, tightly seal the container and store in a dry, cool place. Avoid excessive heat and light. DO NOT breathe dust. In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment. If you feel unwell, seek medical attention and show the label when possible. Treat symptomatically and supportively. Avoid contact with skin and eyes. Always store away from incompatible compounds such as oxidizing agents.

Section VIII. Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls	Use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to keep airborne levels below recommended exposure limits. If user operations generate dust, fume or mist, use ventilation to keep exposure to airborne contaminants below the exposure limit.
Personal Protection	Splash goggles. Lab coat. Dust respirator. Boots. Gloves. A MSHA/NIOSH approved respirator must be used to avoid inhalation of the product. Suggested protective clothing might not be sufficient; consult a specialist BEFORE handling this product. 
Exposure Limits	Not available.

Section IX. Physical and Chemical Properties

Physical state @ 20°C	Powder.	Solubility	Not available.
Specific Gravity	Not available.		
Molecular Weight	720.66	Partition Coefficient	Not available.
Boiling Point	Not available.	Vapor Pressure	Not available.
Melting Point	Not available.	Vapor Density	Not available.
Refractive Index	Not available.	Volatility	Not available.
Critical Temperature	Not available.	Odor	Not available.
Viscosity	Not available.	Taste	Not available.

Section X. Stability and Reactivity Data

Stability	This material is stable if stored under proper conditions. (See Section VII for instructions)
Conditions of Instability	Avoid excessive heat and light.
Incompatibilities	Reactive with oxidizing agents.

Section XI. Toxicological Information

RTECS Number	Not available.
Routes of Exposure	Eye contact. Inhalation. Ingestion. Skin contact.
Toxicity Data	Not available.
Chronic Toxic Effects	**CARCINOGENIC EFFECTS** : Not available. **MUTAGENIC EFFECTS** : Not available. **TERATOGENIC EFFECTS** : Not available. Toxicity to the reproductive system: Not available. There is no known effect from chronic exposure to this product. Repeated or prolonged exposure to this compound is not known to aggravate existing medical conditions.
Acute Toxic Effects	Irritating to eyes and skin on contact. Inhalation causes irritation of the lungs and respiratory system. Inflammation of the eye is characterized by redness, watering, and itching. Skin inflammation is characterized by itching, scaling, reddening, or, occasionally, blistering. Follow safe industrial hygiene practices and always wear proper protective equipment when handling this compound.

Continued on Next Page

Section XII. Ecological Information

Ecotoxicity	Not available.
Environmental Fate	Not available.

Section XIII. Disposal Considerations

Waste Disposal	Recycle to process, if possible. Consult your local or regional authorities. You may be able to dissolve or mix material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber system. Observe all federal, state, and local regulations when disposing of this substance.

Section XIV. Transport Information

DOT Classification	Not a DOT controlled material (United States).
PIN Number	Not applicable.
Proper Shipping Name	Not applicable.
Packing Group (PG)	Not applicable.
DOT Pictograms	

Section XV. Other Regulatory Information and Pictograms

TSCA Chemical Inventory (EPA)	This product is NOT on the EPA Toxic Substances Control Act (TSCA) inventory. The following notices are required by 40 CFR 720.36 (C) for those products not on the inventory list: (i) These products are supplied solely for use in research and development by or under the supervision of a technically qualified individual as defined in 40 CFR 720.0 et sec. (ii) The health risks of these products have not been fully determined. Any information that is or becomes available will be supplied on an MSDS sheet.
WHMIS Classification (Canada)	Not controlled under WHMIS (Canada).
EINECS Number (EEC)	Not available.
EEC Risk Statements	Not controlled under DSCL (Europe).
Japanese Regulatory Data	Not available.

Section XVI. Other Information

Version 1.0
Validated on 5/27/1997.
Printed 1/24/2005.

Notice to Reader

TCI laboratory chemicals are for research purposes only and are NOT intended for use as drugs, food additives, households, or pesticides. The information herein is believed to be correct, but does not claim to be all inclusive and should be used only as a guide. Neither the above named supplier nor any of its subsidiaries assumes any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein. Final determination of suitability of any material is the sole responsibility of the user. All chemical reagents must be handled with the recognition that their chemical, physiological, toxicological, and hazardous properties have not been fully investigated or determined. All chemical reagents should be handled only by individuals who are familiar with their potential hazards and who have been fully trained in proper safety, laboratory, and chemical handling procedures. Although certain hazards are described herein, we can not guarantee that these are the only hazards which exist. Our MSDS sheets are based only on data available at the time of shipping and are subject to change without notice as new information is obtained. Avoid long storage periods since the product is subject to degradation with age and may become more dangerous or hazardous. It is the responsibility of the user to request updated MSDS sheets for products that are stored for extended periods. Disposal of unused product must be undertaken by qualified personnel who are knowledgeable in all applicable regulations and follow all pertinent safety precautions including the use of appropriate protective equipment (e.g. protective goggles, protective clothing, breathing equipment, facial mask, fume hood). For proper handling and disposal, always comply with federal, state, and local regulations.

Printed 1/24/2005.

Material Safety Data Sheet

Fullerenes C70

Revision Date: 09/12/2010
Date Issued: 01/03/2007

1 IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/PREPARATION AND THE COMPANY / UNDERTAKING

Product name	Fullerene C70
Product code	CP-0002-HP
Supplier	IoLiTec Ionic Liquids Technologies GmbH Salzstraße 184 D-74076 Heilbronn Germany
Telephone	+49 (0)7131-89839-0
Fax	+49 (0)7131-89839-109
Emergency telephone	+49 (0)179-5322578
Email	msds@iolitec.de

2 HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification (67/548/EEC or 1999/45/EC)

Irritating to eyes and respiratory system.

Classification (REGULTATION (EC) No 1272/2008)

Serious eye damage/Eye irritation, Category 2, H319

Specific Target Organ Toxicity - Single exposure: Respiratory tract irritation, Category 3, H335

io·li·tec nanomaterials

Material Safety Data Sheet

Fullerenes C70

Revision Date: 09/12/2010
Date Issued: 01/03/2007

5 FIRE FIGHTING MEASURES

Extinguishing media	Water, CO2, drychemical powder or appropriate foam.
Special fire fighting procedures	No special procedures required.
Unusual fire & explosion hazards	CO and CO2 are products of combustion. Thermal decomposition or combustion may produce dense smoke.
Protective measures in fire	Wear self-contained breathing apparatus as combustion may produce hazardous fumes.

6 ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal precautions during spill	Wear protective clothing and avoid inhalation of powder, fume and vapor as well as skin or eye contact.
Precautions to protect environment	Avoid washing into water courses. Avoid contaminating public drains or water supply.
Spill cleanup methods	Avoid contact with skin or inhalation of spillage, dust or vapor, Avoid dust formation. Collect and reclaim or dispose in sealed containers in license waste. Extinguish all ignition sources. Avoid sparks, flames, heat and smoking. Ventilate.

io·li·tec nanomaterials

Material Safety Data Sheet

Fullerenes C70

Revision Date: 09/12/2010
Date Issued: 01/03/2007

7 HANDLING AND STORAGE

Handling precautions	Do not breathe dust. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.
Storage precautions	Keep tightly closed.

8 EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

Protective equipment	Safety goggles. Chemical resident gloves. Protective clothing.
Process control measures	Provide eyewash station and safety shower.
Ventilation	Provide adequate general and local exhaust ventilation. Mechanical exhaust required.
Respirators	Dust mask if TLV is exceeded

Exposure Limits

TLV: 3.5 mg/m^3 (ACGIH)

PEL : 3.5 mg/m^3 (OSHA)

9 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance	Brown-black
Odor/taste	No characteristic odor
PH	N/A
Boiling Point	Sublimes
Melting Point	Sublimes
Flash Point	N/A

io·li·tec nanomaterials

Material Safety Data Sheet

Fullerenes C70

Revision Date: 09/12/2010
Date Issued: 01/03/2007

Flammability	N/A
Autoignition Temp	N/A
Oxidizing Properties	N/A
Explosive Properties	N/A
Explosion Limits	N/A
Vapor Pressure	N/A
SG/Density	N/A
Partition Coefficient	N/A
Viscosity	N/A
Vapor Density	N/A
Saturated Vapor Conc.	N/A
Evaporation Rate	N/A
Bulk Density	N/A
Decomposition Temp.	N/A
Solvent Content	N/A
Water Content	N/A
Surface Tension	N/A
Conductivity	N/A
Solubility in water	insoluble

10 STABILITY AND REACTIVITY

Stability	No particular stability concerns.
Conditions to avoid	Strong oxidizers (chlorate, strong acids), excessive heat or flame in air
Hazardous decomposition products	CO and CO2 when heated in air above 600°C

io·li·tec nanomaterials

Material Safety Data Sheet

Fullerenes C70

Revision Date: 09/12/2010
Date Issued: 01/03/2007

11 TOXICOLOGICAL INFORMATION

Ingestion	May be harmful if swallowed.
Inhalation	May be harmful if inhaled. Material is irritating tomucous membranes and upper respiratory tract.
Skin	Causes skin irritation. May be harmful if absorbed throught the skin.
Eyes	Causes eye irritation

12 ECOLOGICAL INFORMATIONS

Not given.

13 DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal method	Contact specialist disposal companies. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber. Dispose of in accordance with Local Authority requirements. Recover and reclaim or recycle, if practical.

14 TRANSPORT INFORMATION

General	Not classified as dangerous for transport purposes.
UN No.	0
Road transport notes	Not classified as dangerous for road transport.

io·li·tec nanomaterials

Material Safety Data Sheet

Fullerenes C70

Revision Date: 09/12/2010
Date Issued: 01/03/2007

Rail transport notes	Not classified as dangerous for rail transport.
Sea transport notes	Not classified as dangerous for sea transport.
Air transport notes	Not classified as dangerous for air transport.

15 REGULATORY INFORMATION

In accordance with local and national regulations.

16 OTHER INFORMATION

DISCLAIMER

THE ABOVE INFORMATION IS BELIEVED TO BE CORRECT BUT DOES NOT PURPOSED TO BE ALL INCLUSIVE AND SHALL BE USED ONLY AS A GUIDE. IOLITEC SHALL NOT BE HELD LIABLE FOR ANY DAMAGE RESULTING FROM HANDLING OR FROM CONTACT WITH THE ABOVE PRODUCT. THIS INFORMATION RELATES ONLY TO THE SPECIFIC MATERIAL DESIGNATED AND MAY NOT BE VALID FOR SUCH MATERIAL USED IN COMBINATION WITH ANY OTHER MATERIALS OR ANY PROCESS. IT IS THE USERE'S RESPONISIBILTY TO SATISFY HIMSELF AS TO THE SUITABILITY OF SUCH INFORMATION FOR HIS OWN PARTICULAR USE.

IN NO WAY SHALL IOLITEC BE LIABLE FOR ANY CLAIMS, LOSSES OR DAMAGES OF ANY THIRD PARTY OR FOR THE LOST PROFITS OR ANY SPECIAL, INDIRECT, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES, HOWSOEVER ARISING, EVEN IF THE COMPANY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

C60

Last update: Sept 24, 2008

Section 1	Chemical Product and Company Information
MSDS Name:	Fullerene C60, 99%+ (HPLC)
Synonyms:	Buckminsterfullerene C60
Catalog Numbers:	C60-9900
Company Info:	ClearWaterBay Technology Ltd 4585C, Annex Building Hong Kong University of Science and Technology Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong
Phone Number:	
Emergency Number:	

Section 2	Composition, general information on Ingredients
CAS Number:	99685-96-8
Chemical Name:	Fullerene 60
Purity:	99wt%+
EINECS#	unlisted
Hazard Symbols:	None listed
Risk Phrases:	None listed

Section 3 Hazards identification

EMERGENCY OVERVIEW

Caution! May cause respiratory tract irritation. May cause digestive tract irritation. May cause eye and skin irritation. Powdered material may form explosive dust –air-mixtures. Target Organs: None

Potential Health Effects

Eye:	Dust may cause mechanical irritation.
Skin:	May cause skin irritation.
Irrigestion:	May cause irritation of digestive tract. The toxicological properties of this substance have not been fully investigated.
Inhalation:	Inhalation of dust may cause respiratory tract irritation.
Chronic:	No information found.

Section 4 First Aid Measures

Eye:	Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. If irritation develops, get medical aid.
Skin:	Get medical and flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Get medical aid if irritation develops or persists. Wash clothing before reuse.
Ingestion:	If victim is conscious and alert, give 2-4 cupfuls of milk or water. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical aid I irritation or symptoms occur.
Inhalation:	Remove from exposure and move to fresh air immediately. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical aid if cough or other symptoms appear.
Notes to Physician:	None

Section 5 Fire Fighting Measures

General Information:	As in any fire, wear a self-contained breathing apparatus in pressure-demand. MSHA/NIOSH (approved or equivalent) and full protective gear. During a fire, irritating and highly toxic gases may be generated by thermal decomposition or combustion.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET **C60**
Last update: Sept 24, 2008

Extinguishing Media:	Use agent most appropriate to extinguish fire. Use water spray, dry chemical, carbon dioxide, or appropriate foam.
Autoignition Temp.:	Not available
Flash Point:	Not available
Explosion Limits Lower:	Not available
Explosion Limits Upper:	Not available
NFPA Rating:	health (1); flammability (1); instability (0)

Section 6 Accidental Release Measures

General information:	Use proper personal protective equipment as indicated in Section 8
Spills/Leaks:	Clean up spills immediately, observing precautions in the Protective Equipment section. Sweep up or absorb material, then place into a suitable clean, dry, closed container for disposal. Avoid generating dusty conditions. Provide ventilation

Section 7 Handling and Storage

Handling:	Wash thoroughly after handling. Remove contaminated clothing and wash before reuse. Use only in a well-ventilated area. Minimize dust generation and accumulation. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid ingestion and inhalation.
Storage:	Keep container closed when not in use. Store in a cool, dry, well-ventilated area away rom incompatible substances.

Section 8 Exposure Controls, Personal Protection

Chemical Name	ACGIH	NIOSH	OSHA – Final PELs
Fullerene C60	None listed	None listed	None listed

OSHA Vacated PELs: Fullerene C60; None listed

Engineering Controls:	Use adequate ventilation to keep airborne concentrations low
Exposure Limits:	

Personal Protective Equipment

Eyes:	Wear appropriate protective eyeglasses or chemical safety goggles are described by OSHA's eye and face protection regulations in 29 CFR 1910.133 or European Standard EN166.
Skin:	Wear appropriate protective gloves to prevent skin exposure.
Clothing:	Wear appropriate protective clothing to prevent skin exposure.
Respirators:	Follow the OSHA respirator regulations found in 29 CFR 1910.134 or European Standard EN 149. Use a NIOSH/MSHA or European Standard EN 149 approved respirator if exposure limits are exceeded or if limitation or other symptoms are experienced.

Section 9 Physical and Chemical Properties

Physical State:	Solid
Color:	Black
Odor:	None reported
pH:	Not available
Vapor Pressure:	Not available
Vapor Density:	Not available
Evaporation Rate:	Not available
Viscosity:	Not available
Boiling Point:	Not available
Freezing/Melting Point:	Not available
Decomposition Temperature:	Not available
Solubility in water:	Not available

MATERIAL SAFETY DATA SHEET **C60**

Last update: Sept 24, 2008

Specific Gravity/Density: 1.7 – 1.9
Molecular Formula: C60
Molecular Weight: 720.65

Section 10 Stability and Reactivity

Chemical Stability: Stable under normal temperature and pressures.
Conditions to Avoid: Incompatible materials, strong oxidants.
Incompatibilities with Other Materials: Not available
Hazardous Decomposition Products: Carbon monoxide, carbon dioxide.
Hazardous Polymerization: Has not been reported

Section 11 Toxicological Information

RTECS#: CAS# 99685-96-8; None listed
LD50/LC50: RTECS: Not available. Other: Oral rat LD50=> 3200
Carcinogenicity: Fullerene C60 – Not listed as a carcinogen by ACGIH, IARC, NTP, or CA Prop 65.
Epidemiology: Not available
Teratogenicity: Not available
Reproductive: Not available
Neurotoxicity: Not available
Mutagenicity: Not available
Other: Not available

Section 12 Ecological Information

Not Available

Section 13 Disposal Considerations

Chemical waste generators must determine whether a discarded chemicals is classified as a hazardous waste. US EPA guidelines for the classification determination are listed in 40 CFR Parts 261.2. Additionally, waste generators must consult state and local hazardous waste regulations to ensure complete and accurate classification. RCRA P-Series: None listed. RCRA U-Series: None listed.

Section 14 Transport Information

US DOT
Shipping Name: Not regulated as a hazardous material
Hazard Class:
UN Number:
Packing Group:
Canada TDG:
Shipping Name: Not available
Hazard Class:
UN Number:
Packing Group:

Section 15 Regulatory Information

US Federal
TSCA
CAS# 99685-96-8 is not listed on the TSCA inventory. It is for research and development use only
Health & Safety
Reporting List: None of the chemicals are on the Health & Safety Reporting List.
Chemical Test Rules None of the chemicals in this product are under a Chemical Test Rule.
Section 12b: None of the chemicals are listed under TSCA Section 12b.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET **C60**
Last update: Sept 24, 2008

TSCA Significant New Use Rule:	None of the chemicals in this material have a SNUR under TSCA
CERCLA Hazardous Substances and Corresponding RQs:	None of the chemicals in this material have an RQ.
SARA Section 302 Extremely Hazardous Substances:	None of the chemicals in this product have a TPQ.
Section 313	No chemicals are reportable under Section313.
Clean Air Act:	This material does not contain any hazardous air pollutants. This material does not contain any Class 1 Ozone depletors. This material does not contain any Class 2 Ozone depletors.
Clean Water Act:	None of the chemicals in this product are listed as Hazardous Substances under the CWA. None of the chemicals in this product are listed as Priority Pollutants under the CWA. None of the chemicals in this product are listed as Toxic Pollutants under the CWA.
OSHA STATE:	Fullerene C60 is not present on state lists from CA, PA, MN, MA, FL, or NJ.
California Prop 65 California No. Significant Risk Level:	None of the chemicals in this product are listed.

European/International Regulations

European Labeling in Accordance with EC Directives

Hazard Symbols: Not available

Risk Phrases:

Safety Phrases: S 22 Do not breathe dust
S 24/25 Avoid contact with skin and eyes.

WGK (Water Danger/Protection)

CAS# 99685-96-8: Not available

Canada

Canadian WHMIS Classifications: Not available

This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the Controlled Products Regulations and the MSDS contains all of the information required by those regulations.

CAS#99685-96-8 is not listed on Canada's Ingredient Disclosure List.

Section 16 Other Information

MSDS Creation Date:	September 24, 2008
Revision #0 Date:	N.A.

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability, resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall the company be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential, or exemplary damages howsoever arising, even if the company has been advised of the possibility of such damages.

Page 4 of 4

ภาคผนวก ก. 7

เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิลเวอร์ (Nano-Ag)

QuantumSphere, Inc.
2905 Tech Center Drive
Santa Ana, CA 92705
(714) 545-6266 – phone
(714) 545-6265 - fax

Material Safety Data Sheet
QSI-Nano® Silver Powder

1. Product and Company Identification

PRODUCT NAME:	QSI-Nano® Silver Powder
SYNONYMS:	Ag, Argentum, Silver, Silver Particles, Ultra-fine Silver
MANUFACTURER:	QuantumSphere, Inc.
ADDRESS:	2905 Tech Center Dr. Santa Ana, CA 92705
EMERGENCY PHONE (CHEMTREC):	(800) 424-9300
OTHER CALLS:	(714) 545-6266
FAX:	(714) 545-6265

2. Composition/Information on Ingredients

Ingredient	CAS No	Percent	Hazardous
Silver	7440-22-4	> 99.9%	No

CHEMICAL NAME:	Silver
CHEMICAL FAMILY:	Metal Powder
CHEMICAL FORMULA:	Ag

3. Hazards Identification

Safety Data
HMIS Ratings: Health=0, Flammability=0, Reactivity=1
Lab Protective Equip: Goggles, gloves, lab coat
Potential Health Effects
Inhalation: May be harmful if inhaled. Material may be irritating to nasal septum, throat, mucous membranes and upper respiratory tract.
Ingestion: May be harmful if swallowed. May cause gastrointestinal irritation with nausea, vomiting and diarrhea.
Skin Contact: May cause skin irritation or ulceration.
Eye Contact: May cause eye irritation or blue-gray eyes.
Chronic Exposure: Absorption of silver compounds by ingestion, inhalation or through broken skin can cause argyria, a permanent bluish-gray discoloration of the skin, conjunctiva and mucous membranes.

4. First Aid Measures

Inhalation: Remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Seek medical attention immediately.
Ingestion: If conscious, wash out mouth with water. Seek medical attention immediately.
Skin Contact: Flush with copious amounts of soap and water for at least 15 minutes. Remove contaminated clothing and shoes. Seek medical attention if irritation develops or persists. Wash clothing before reuse. Thoroughly clean shoes before reuse.
Eye Contact: Flush with copious amounts of water for at least 15 minutes, occasionally lifting lower and upper eyelids. Seek medical attention immediately.

5. Fire Fighting Measures

Fire: Any very finely divided particles (ultra-fine powder) may burn in air. Combustion of silver powder may cause the release of toxic metal oxide fume.
Pyrophoric/Autoignition: No
Explosion: This material, like most materials in powder form, is capable of creating a dust explosion.
Fire Extinguishing Media: Sand or dry powder type specially designed for metal powder fires. Do not use water.
Special Information: In the event of a fire, wear full protective clothing and NIOSH-approved self-contained breathing apparatus with full face piece operated in the pressure demand or other positive pressure mode.
NFPA Ratings: Health=0, Flammability=0, Reactivity=1

6. Accidental Release Measures

In case of a leak or spill, evacuate area, shut off all sources of ignition and use nonsparking tools. Wear eye protection, self-contained breathing apparatus, boots, and protective gloves. Wear disposable coveralls and discard after use. Sweep up the spill, place in a bag and hold for waste disposal. Avoid raising dust. Ventilate area and wash spill site after material pick-up is complete. Do not let this chemical enter the environment.

7. Handling and Storage

Store in a tightly closed container in a cool, dry, ventilated area. Protect from physical damage, ignition sources and electrostatic discharges. Isolate from incompatible substances. Containers of this material may be hazardous when empty since they retain product residues (dust, solids); observe all warnings and precautions listed for the product.

8. Exposure Controls, Personal Protection

Airborne Exposure Limits:
- OSHA Permissible Exposure Limit (PEL) 0.01 mg/m3 (TWA)
- NIOSH Recommended Exposure Level (REL) 0.01 mg/m3 (TWA)
- NIOSH Immediately Dangerous to Life or Health Concentration (IDLH) 10 mg/m3
- ACGIH Threshold Limit Value (TLV) 0.1 mg/m3 (TWA)

Ventilation System: A system of local and/or general exhaust is recommended to keep employee exposures below the Airborne Exposure Limits. Local exhaust ventilation is generally preferred because it can control the emission of the contaminant at its source, preventing dispersion of it into the general work area.

Respiratory Protection Equipment:
Respirators may be necessary when engineering and administrative controls do not adequately prevent exposures. Currently, there are no specific exposure limits for airborne exposures to engineered nanoparticles although occupational exposure limits exist for larger particles of similar chemical composition. The decision to use respiratory protection should be based on professional judgment that takes into account toxicity information, exposure measurement data, and frequency and likelihood of the worker's exposure. Preliminary evidence shows that for respiration filtration media there is no deviation from the classical single-fiber theory for particulates as small as 2.5 nm in diameter. While this evidence needs confirmation, NIOSH certified respirators will be useful for protecting workers from nanoparticles inhalation when properly selected and fit tested as part of a complete respiratory protection program. Use NIOSH approved positive flow mask if dust becomes airborne. Try to avoid creating dust conditions.

Skin Protection: Wear impervious protective clothing including boots, gloves, lab coat, apron or coveralls, as appropriate, to prevent skin contact. Wash thoroughly after handling. Maintain quick-drench facilities in work area.

Eye Protection: Use chemical safety goggles and/or full face shield where dusting or splashing of solution is possible. Maintain eye wash fountain in work area.

---

9. Physical and Chemical Properties

Appearance:	Dark gray to black powder with an average particle size of 20-100 nanometers.
Odor:	Odorless
Solubility:	Insoluble in water
Theoretical Density:	10.49 g/cm3
Bulk Density:	0.5 g/cm3
Molecular Weight:	107.868 AMU
pH:	Not available
Boiling Point:	2212C (4014F)
Melting Point:	962C (1764F)
Vapor Density (Air=1):	Not available
Vapor Pressure:	Not available
Evaporation Rate:	Not available
Viscosity:	Not applicable
Decomposition Temp:	Not available

---

10. Stability and Reactivity

Stability: Stable under ordinary conditions of use and storage.
Hazardous Decomposition Products: Metal oxide fume.
Hazardous Polymerization: Will not occur.
Incompatibilities: Silver is incompatible with acetylene, ammonia, strong hydrogen peroxide solutions,

strong acids, oxalic acid, tartaric acid, bromoazide, chlorine trifluoride, and ethyleneimine.
Conditions to Avoid: Dust generation and incompatibles.

11. Toxicological Information

NTP Known Carcinogen: No
NTP Anticipated Carcinogen: No
IARC Category: None

12. Ecological Information

This substance may be hazardous to the environment; special attention should be given to aquatic organisms.

13. Disposal Considerations

All components of this product are listed in the U.S. Environmental Protection Agency Toxic Substances Control Act Chemical Substance Inventory. This material and its container must be disposed of as hazardous waste. Processing, use, or contamination of this product may change the waste management options. All components of this product are listed on the Canadian Domestic Substances List (DSL).

14. Transport Information

Not regulated.

15. Regulatory Information

--Chemical Inventory Status – Part 1--

Ingredient	TSCA	EC	Japan	Australia
Silver (7440-22-4)	Yes	not available		

Chemical Inventory Status – Part 2-

		--Canada--		
Ingredient	Korea	DSL	NDSL	Phil.
Silver (7440-22-4)	No	Yes	No	

Federal, State & International Regulations – Part 1-

	--SARA 302--		-----SARA 313-----	
Ingredient	RQ	TPQ	List	Chemical Catg.
Silver (7440-22-4)			Yes	

Federal, State & International Regulations – Part 2 -

		-RCRA-	-TSCA-
Ingredient	CERCLA	261.33	8 (d)
Silver (7440-22-4)	5000	No	No

Chemical Weapons Convention: No
TSCA 12(b): No
CDTA: No
SARA 311/312: Acute: Yes, Chronic: Yes, Fire: No, Pressure: No, Reactivity: No (Pure / Solid)
Australian Hazchem Code: None allocated.
Poison Schedule: None allocated.
WHMIS: This MSDS has been prepared according to the hazard criteria of the Controlled Products Regulations (CPR) and the MSDS contains all of the information required by the CPR.

16. Other Information

Label Precautions: Avoid contact with eyes, skin and clothing. Wash thoroughly after handling. Avoid breathing dust or vapors. Keep container closed. Use only with adequate ventilation.

Label First Aid: If swallowed, induce vomiting immediately as directed by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. In case of contact, immediately flush eyes or skin with plenty of water for at least 15 minutes. Remove contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. In all cases, seek medical attention.

Product Use: Laboratory Reagent.

Disclaimer: QuantumSphere, Inc. believes that the information in this Material Safety Data Sheet is accurate and represents the best and most current information available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, expressed or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use or misuse. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no way shall QuantumSphere be liable for any claims, losses or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if the company has been advised of the possibility of such damages.

Last updated 05/24/07

BIONEER MSDS

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Silver Nano Colloid

Section I - Chemical Products & Company Identification

Bioneer Corporation
49-3, Munpyeong-Dong, Daedeok-Gu,
Daejeon 306-220, Korea
Phone: +82-42-930-8594
Creation Date: 05/08
Trade Name/Synonyms: Silver Nano Colloid
Chemical Family: Silver and Water

Section 2 - Composition/Information On Ingredients

Active Component: Silver

Description: (CAS Number)

Silver (CAS Number: 7440-22-4); 0.1%
Water (CAS Number: 7732-18-5); 99.9%

Section 3 - Hazards Identification

Hazard Description: Chronic exposure affects skin, eyes and respiratory tract. May cause irritation to skin and eyes

NFPA Ratings (Scale 0-4):

Health = 1
Flammability = 0
Reactivity = 0

Potential Health Effects:

Skin Contact: May cause irritation with redness and pain
Eye Contact: May cause irritation, redness and pain
Ingestion: See chronic effects
Inhalation: See chronic effects

Chronic Exposure:

Prolonged or repeated inhalation, application or ingestion of silver and its compounds may cause a permanent bluish discoloration of the skin, eyes, and mucous membranes. This condition is called argyria. This effect can be either

local or generalized. It appears that localized deposition occurs by penetration of fine, metallic particles and that generalized argyria occurs from inhalation or ingestion of silver salts. It is estimated that a gradual intake of 1 to 5g silver will lead to generalized argyria. Argyria of the eyes is not accompanied by vision loss although there may be some difficulty adapting to the dark.

There is some evidence for skin absorption. Repeated skin contact may also cause allergic contact dermatitis. Silver deposits in the respiratory tract may also cause a mild chronic bronchitis.

Section 4: First Aid Measures

Skin Contact: Wash exposed area with soap and water. Get medical advice if irritation develops.

Eye Contact: Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, lifting upper and lower eyelids occasionally. Get medical attention if irritation persists.

Ingestion: Give several glasses of water to drink to dilute. If large amounts were swallowed, get medical advice.

Inhalation: Remove to fresh air. Get medical attention for any breathing difficulty.

Section 5: Fire Fighting Measures

Fire: In water dried form, this material may ignite when exposed to flame or by reaction with incompatible materials.

Explosion: Not considered to be an explosion hazard.

Suitable Extinguishing Agents: Use any means suitable for extinguishing surrounding fire. If material is burning, use dry powder.

Protective Equipment: Use protective clothing and breathing equipment appropriate for the surrounding fire.

Section 6: Accidental Release Measures

Person-related safety precautions: Wear appropriate personal protective equipment as specified in Section 8. Ensure adequate ventilation. Keep away from ignition sources.

Measures for environmental protection: Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

Measures for cleaning/collecting: Ensure adequate ventilation. Keep away from ignition sources.

Section 7 - Handling and Storage

Handling

Information for safe handling: Keep container tightly sealed. Store in cool, dry place in tightly closed containers. Ensure good ventilation at the workplace. Protect against physical damage.

Storage

Requirements to be met by storerooms and receptacles: Store in a cool location.

Further information about storage conditions: Keep container tightly sealed. Store in cool, dry conditions in well sealed containers.

Section 8 - Exposure Controls/Personal Protection

Exposure Controls: Use in laboratory hood or other ventilated device.
Use prudent laboratory practices for handling chemical substances of unknown toxicity.

Airborne Exposure Limits:

-OSHA Permissible Exposure Limit (PEL):
0.01 mg/m3 for silver metal dust and fume as Ag
-ACGIH Threshold Limit Value (TLV):
0.1 mg/m3 for silver metal

Ventilation System:

A system of local and/or general exhaust is recommended to keep employee exposures below the Airborne Exposure Limits. Local exhaust ventilation is generally preferred because it can control the emissions of the contaminant at its source, preventing dispersion of it into the general work area.

Personal Respirators (NIOSH Approved):

If the exposure limit is exceeded and engineering controls are not feasible, a half-face high efficiency particulate respirator (NIOSH type N100 filter) may be worn for up to ten times the exposure limit or the maximum use concentration specified by the appropriate regulatory agency or respirator supplier, whichever is lowest. A full-face piece high efficiency particulate respirator (NIOSH type N100 filter) may be worn up to 50 times the exposure limit, or the maximum use

concentration specified by the appropriate regulatory agency or respirator supplier, whichever is lowest. If oil particles (e.g. lubricants, cutting fluids, glycerine, etc.) are present, use a NIOSH type R or P filter. For emergencies or instances where the exposure levels are not known, use a full-facepiece positive-pressure, air-supplied respirator. WARNING: Air-purifying respirators do not protect workers in oxygen-deficient atmospheres.

Skin Protection: Wear protective gloves and clean body-covering clothing.

Eye Protection: Use chemical safety goggles. Maintain eye wash fountain and quick-drench facilities in work area.

Section 9 - Physical and Chemical Properties

Description: Odorless, Orange Solution in water

Melting point: 960°C for Silver and 0°C for water

Boiling point: 2212°C for Silver and 100°C for water

Density: approximately 1.0 g/cm3

Vapor pressure: Not determined

Vapor density: Not determined

Flash point: Not applicable

Flammability: Not flammable

Decomposition temperature: Not determined

Explosion limits: Not determined

Solubility in water: soluble

Section 10 - Stability and Reactivity

Stability: Stable under normal temperatures and pressure.

Hazardous Decomposition Products: May emit metallic fumes at high temperatures.

Hazardous Polymerization: Will not occur.

Incompatibilities: Acetylene (forms explosive silver acetylides), ammonia (becomes flammable), sulfuric acid, peroxides, carboxylic acids, chlorine trifluoride, oxalic and tartaric acids.

Section 11 - Toxicology Information

No LD50/LC50 information found relating to normal routes of occupational exposure. Investigated as a tumorigen.

NTP Carcinogen of Silver

Known: No
Anticipated: No
IARC Category: None

Section 12 - Ecological Information

Environmental Fate:

This material is not expected to significantly bioaccumulate.

Environmental Toxicity:

No information found.

Section 13 - Disposal Information

Whatever cannot be saved for recovery or recycling should be managed in an appropriate and approved waste facility. Although not a listed RCRA hazardous waste, this material may exhibit one or more characteristics of a hazardous waste and require appropriate analysis to determine specific disposal requirements. Processing, use or contamination of this product may change the waste management options. State and local disposal regulations may differ from federal disposal regulations. Dispose of container and unused contents in accordance with federal, state and local requirements.

Section 14 - Transportation Information

Not regulated.

Section 15 - Regulatory Information

Chemical Inventory Status - Part 1

Ingredient	TSCA	EC	Japan	Australia
Silver (7440-22-4)	Yes	Yes	No	Yes

Chemical Inventory Status - Part 2

Ingredient	Korea	--Canada-- DSL	NDSL	Phil.
Silver (7440-22-4)	Yes	Yes	No	Yes

Federal, State & International Regulations - Part 1

Ingredient	-SARA 302- RQ	TPQ	-------SARA 313------ List	Chemical Catg.
Silver (7440-22-4)	No	No	Yes	No

Federal, State & International Regulations - Part 2

Ingredient	CERCLA	-RCRA- 261.33	-TSCA- 8(d)
Silver (7440-22-4)	1000	No	No

Chemical Weapons Convention: No **TSCA 12(b):** No **CDTA:** No
SARA 311/312: Acute: Yes **Chronic:** Yes **Fire:** No **Pressure:** No
Reactivity: No

Section 16 – Other Information

Label Hazard Warning: WARNING! CHRONIC EXPOSURE AFFECTS SKIN, EYES AND RESPIRATORY TRACT. MAY CAUSE IRRITATION TO SKIN AND EYES.

Label Precautions:

Avoid contact with eyes, skin and clothing. Wash thoroughly after handling. Avoid breathing dust. Use with adequate ventilation. Keep container closed.

Label First Aid:

In case of contact, immediately flush eyes or skin with plenty of water for at least 15 minutes. Get medical attention if irritation develops.

The aforementioned information is believed to be correct, but does not purport to be all-inclusive and shall be only as a guide. Bioneer shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product.

ภาคผนวก ก. 8

เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)

CABOT

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Prepared in accordance with ISO 11014-1/ ANSI standard Z400.1-1998

Revision Date: 24/May/2006

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Name: CAB-O-SIL® Untreated Fumed Silica

Synonyms: Silicon Dioxide, Synthetic Amorphous Silica, Pyrogenic (Fumed) Amorphous Silica

This SDS is valid for the following grades: CAB-O-SIL® Fumed Silica, L-50, L-90, LM-130, LM-150, M-5, M-5K, PTG, MS-55, H-5, H-7D, HS-5, EH-5, LM-130D, LM-150D, M-7D, MS-75D, S-17D, HP-60, M-8D

Use of the Substance/Preparation: Rheological control, Flow agent, Reinforcing agent in: Coatings, Adhesives, Various

Supplier:

Cabot Rheinfelden GmbH, Werk Rheinfelden
Kronenstrasse 2
79618 Rheinfelden
GERMANY
Tel: (+49) 7623.7070
Fax: (+49) 7623.707 530

Cabot Carbon, Ltd.
Sully Moors Road
Sully, Vale of Glamorgan
CF64 5RP
Wales, UNITED KINGDOM
Tel: (+44) 1446.736999
Fax: (+44) 1446.737123

Cabot Corporation
700 E U.S. Highway 36
Tuscola, IL 61953-9643
UNITED STATES
Tel: 1-217-253-3370
Fax: 1-217-253-5586

Cabot Corporation
157 Concord Road
Billerica, MA 01821
UNITED STATES
Tel: 1-978-663-3455
Fax: 1-978-670-6955

Emergency Telephone Number: UK: (+44) 1446-709 641
Cabot (Rheinfelden): (+49) 7623.7070
US: CHEMTREC 1-800-424-9300 or 1-703-527-3887
US: Other 1-217-253-5595

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Chemical Name	CAS Number	EINECS Number	Weight %	EU Classification
Synthetic Amorphous, Pyrogenic Silica	112945-52-5	*	> 99.9	None

* See Section 15.

3. HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW - CAUTION: White powder. Odorless. Dust irritating to respiratory tract. Irritating, but will not permanently injure eye tissue. Repeated exposure may cause skin dryness or cracking. Take precautionary measures against static discharges. All metal parts of the mixing and processing equipment must be earthed/grounded. Ensure all equipment is electrically earthed/grounded before beginning transfer operations.

Principle Routes of Exposure: Inhalation, Skin contact, Eye contact

POTENTIAL HEALTH EFFECTS

Eye Contact: May cause mechanical irritation. Irritating, but will not permanently injure eye tissue. Low hazard for usual industrial or commercial handling.

Skin Contact: Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.

Inhalation: Dust may be irritating to respiratory tract. Provide appropriate exhaust ventilation at machinery and at places where dust can be generated. See also Section 8.

Ingestion: Health injuries are not known or expected under normal use. Low hazard for usual industrial or commercial handling.

Carcinogenic Effects: Does not contain any substances greater than 0.1% listed by IARC (International Agency for Research on Cancer), NTP (National Toxicology Program), OSHA (Occupational Safety and Health Administration), ACGIH (American Conference for Governmental Industrial Hygienists) or EU (European Union). See also Section 11.

Target Organ Effects: Lungs

Medical Conditions Aggravated by Exposure: Asthma, Respiratory disorder

Potential Environmental Effects: No special environmental precautions required.

4. FIRST AID MEASURES

Skin Contact: Wash thoroughly with soap and water. Seek medical attention if redness, swelling, itching, or burning occurs.

Eye Contact: Flush eyes immediately with large amounts of water for 15 minutes. Seek medical attention if redness, swelling, itching, burning or visual disturbances occur.

Inhalation: If cough, shortness of breath or other breathing problems occur, move to fresh air. Seek medical attention if symptoms persist. If necessary, restore normal breathing through standard first aid measures.

Ingestion: Do not induce vomiting. If conscious, give several glasses of water. Never give anything by mouth to an unconscious person.

Notes to Physician: Treat symptomatically.

5. FIRE AND IGNITION INFORMATION

Flash Point: Not determined
Explosion Limits in Air - Upper (%): Not determined
Explosion Limits in Air - Lower (%): Not applicable
OSHA Flammability Classification: Not applicable

Autoignition Temperature: Not determined
Method: Not determined

Extinguishing Media: Use extinguishing measures that are appropriate to local circumstances and the surrounding environment.

Special Protective Equipment for Firefighters: Wear suitable protective equipment. In the event of fire, wear self-contained breathing apparatus.

Specific Hazards: Product resists ignition and does not promote flame spread.

Hazardous Decomposition and/or Combustion Products: None.

Risk of Dust Explosion: This material is an inorganic dust and will not create nor support conditions that would result in a dust explosion or fire.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal Precautions: Avoid dust formation. Remove all sources of ignition. Ensure adequate ventilation. Use personal protective equipment. See also Section 8.

Methods for Cleaning Up: Clean up promptly by vacuum. Use a suitable vacuum cleaner. Do not create a dust cloud by using a brush or compressed air. Pick up and transfer to properly labelled containers. See Section 13.

Environmental Precautions: No special environmental precautions required. Local authorities should be advised if significant spillages cannot be contained.

7. HANDLING AND STORAGE

Handling: Avoid contact with skin and eyes. Avoid dust formation. Do not breathe dust. Provide appropriate exhaust ventilation at machinery and at places where dust can be generated. Do not create a dust cloud by using a brush or compressed air. Take precautionary measures against static discharge. All metal parts of the mixing and processing equipment must be earthed/grounded. Ensure all equipment is electrically earthed/grounded before beginning transfer operations.

Storage: Keep containers tightly closed in a dry, cool and well-ventilated place. Do not store together with volatile chemicals as they may be adsorbed onto product. Keep at ambient temperatures.

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

EXPOSURE LIMITS

Amorphous Silica, The regulatory exposure limits are found under the general silica, CAS RN 7631-86-9:	Australia:	2 mg/m³, TWA, Respirable
	Austria MAK:	4 mg/m³, TWA, Inhalable fraction
	Finland:	5 mg/m³
	Germany TRGS 900:	4 mg/m³, TWA, Inhalable fraction (a1)
	India:	10 mg/m³, TWA
	Ireland:	2.4 mg/m³, TWA, Respirable dust
	Norway:	1.5 mg/m³, TWA, Respirable dust
	Switzerland:	4 mg/m³, TWA
	UK WEL:	6 mg/m³, TWA, Total inhalable fraction 2.4 mg/m³, TWA, Respirable fraction
	US OSHA PEL:	6 mg/m³
Dust, or Particulates Not Otherwise Specified:	US ACGIH - TLV:	10 mg/m³, TWA, Inhalable 3 mg/m³, TWA, Respirable
	Belgium:	10 mg/m³, TWA, Inhalable 3 mg/m³, TWA, Respirable
	China:	8 mg/m³, TWA 10 mg/m³, STEL
	Italy:	10 mg/m³, TWA, Inhalable 3 mg/m³, TWA, Respirable
	Malaysia:	10 mg/m³, TWA, Inhalable 3 mg/m³, TWA, Respirable
	Spain:	10 mg/m³, VLA, Inhalable 3 mg/m³, VLA, Respirable

(a1) - In its facilities globally, Cabot Corporation manages to the Germany TRGS 900 occupational exposure limit of 4 mg/m³, TWA, Inhalable fraction.

MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration (Maximum Workplace Concentration)
OEL: Occupational Exposure Limit
PEL: Permissible Exposure Limit
STEL: Short Term Exposure Limit
TLV: Threshold Limit Value
TRGS: Technische Regeln für Gefahrstoffe (Technical Rule for Hazardous Materials)
TWA: Time Weighted Average
US ACGIH: United States American Conference of Governmental Industrial Hygienists
US OSHA: United States Occupational Safety and Health Administration
VLA: Valore Limite Ambientales (Environmental Limit Value)
WEL: Workplace Exposure Limit

ENGINEERING CONTROLS Ensure adequate ventilation to maintain exposures below occupational limits. Provide appropriate exhaust ventilation at machinery and at places where dust can be generated.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Respiratory Protection: Approved respirator may be necessary if local exhaust ventilation is not adequate.

Hand Protection: Repeated exposure may cause skin dryness or cracking. Use protective skin cream before handling the product. Wear suitable gloves.

Eye Protection: Wear eye/face protection. Safety glasses with side-shields. Goggles.

Skin and Body Protection: Wear suitable protective clothing. No special protective equipment required.

Other: Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Emergency eyewash and safety shower should be located nearby.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance:	White Powder
Odor:	None
pH:	3.6 - 4.5
Vapor Pressure:	Not determined
Boiling Point/Range:	2230°C
Melting Point/Range:	1700°C
Water Solubility:	Insoluble
Density:	Not applicable
Specific Gravity:	2.2 g/cm³ @ 20°C
% Volatile (by Volume):	Not applicable
Evaporation Rate:	Not determined
Viscosity:	Not determined
Partition Coefficient (n-octanol/water):	Not applicable

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability: Stable

Hazardous Polymerization: Hazardous polymerization does not occur.

Mechanical Sensitivity (shock): Not sensitive to mechanical impact.

Conditions to Avoid: Keep away from heat and sources of ignition. Avoid dust formation. Product resists ignition and does not promote flame spread.

Hazardous Decomposition and/or Combustion Products: None.

Static Discharge Effects: Take precautionary measures against static discharges. Avoid dust formation. All metal parts of the mixing and processing equipment must be earthed/grounded. Ensure all equipment is electrically earthed/grounded before beginning transfer operations. This material is an inorganic dust and will not create nor support conditions that would result in a dust explosion or fire.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

ACUTE TOXICITY

Oral LD50: LD50/oral/rat = > 5000 mg/kg.

Inhalation LC50: Due to the product's physical characteristics, no suitable testing procedure is available.

Dermal LD50: LD50/dermal/rabbit = > 2000 mg/kg.

Eye Irritation: Draize score 0.7/110 @ 24 hr. Non-irritating.

Skin Irritation: 0/8. Non-irritating.

SUBCHRONIC TOXICITY

No data is available on the product itself.

CHRONIC TOXICITY

Carcinogenic Effects: Does not contain any substances greater than 0.1% listed by IARC (International Agency for Research on Cancer), NTP (National Toxicology Program), OSHA (Occupational Safety and Health Administration), ACGIH (American Conference for Governmental Industrial Hygienists) or EU (European Union).

Mutagenic Effects: Not mutagenic in AMES Test, unscheduled DNA synthesis, chromosomal aberration in Chinese hamster ovary (CHO) cells.

Reproductive Toxicity: Did not show teratogenic effects in animal experiments. According to experience not expected.

Sensitizing Effects: A delayed contact hypersensitivity study in guinea pigs utilizing the Magnusson and Kligman Maximization technique was performed. No sensitization responses were observed.

Synergistic Materials: None reasonably foreseeable.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Aquatic Toxicity: Fish (Brachydanio rerio) ECO (96 hours): > 10,000 mg/l; (Method: OECD 203)
Daphnia magna ECO (24 hours): > 10,000 mg/l; (Method: OECD 202)

ENVIRONMENTAL FATE

Mobility: Not expected to migrate.

Bioaccumulation: According to experience not expected.

Persistence / Degradability: The methods for determining biodegradability are not applicable to inorganic substances.

Distribution to Environmental Compartments: Not determined.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disclaimer: Information in this section pertains to the product as shipped in its intended composition as described in Section 2 of this MSDS. Contamination or processing may change waste characteristics and requirements. Regulations may also apply to empty containers, liners or rinsate. State/provincial and local regulations may be different from federal regulations.

RCRA Classification (40 CFR 261): Not a hazardous waste.

Unused and Uncontaminated Product: Can be burned in suitable incineration plants or disposed of in a suitable landfill in accordance with the regulations issued by the appropriate federal, provincial, state and local authorities.

14. TRANSPORT INFORMATION

Not classified as dangerous in the meaning of transport regulations.

- US Department of Transportation
- Canadian Transport of Dangerous Goods Regulation
- European Transport of Dangerous Goods Regulation
- GGVS, GGVE, RID, ADR, IMDG Code, ICAO-TI
- United Nations (no UN number)

15. REGULATORY INFORMATION

Regulatory information is found under the general silica: CAS RN 7631-86-9, EINECS RN 231-545-4.

Hazard Classification

United States - OSHA (29 CFR 1910.1200): Hazardous.
Mexico - NOM-018-STPS-2000: Refer to HMIS Rating in Section 16.
Canada - WHMIS Classification (CPR, SOR/88-66): Not controlled.
This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the Controlled Products Regulations and the MSDS contains all the information required by the Controlled Products Regulations.

Chemical Name	WHMIS Ingredient Disclosure List:
Synthetic Amorphous, Pyrogenic Silica	General Silica, CAS RN 7631-89-9, is Listed

International Inventories

All components of this product are listed on or exempt from the following inventories:

YES - Australian Inventory of Chemical Substances (AICS)
YES - Canadian Domestic Substances List (DSL)
YES - Chinese Inventory
YES - European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (EINECS)
YES - Japanese Existing and New Chemical Substances (ENCS)
YES - Korean Existing Chemicals List (KECL)
YES - New Zealand Hazardous Substances and New Organisms Act (HSNO)
YES - Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances (PICCS)
YES - United States Toxic Substances Control Act (TSCA) Inventory

U.S. Federal Regulations

TSCA 12(b) Export Notification: This product does not contain any components that are subject to TSCA 12(b) Export Notification.

Clean Air Act Amendments of 1990 (CAA, Section 112, 40 CFR 82): This product does not contain any components listed as a Hazardous Air Pollutant, Flammable Substance, Toxic Substance, or Class 1 or 2 Ozone Depletor.

Clean Water Act (CWA, 40 CFR 116) Priority Pollutants: This product does not contain any listed Priority Pollutants.

Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA, 40 CFR 302): This product does not contain any listed Hazardous Substances.

Superfund Amendments and Reauthorization Act, Title III (SARA):

SARA Section 302 (40 CFR 355) Extremely Hazardous Substances: No components are listed as extremely hazardous chemicals under SARA Section 302.

SARA Sections 311/312 (40 CFR 370) Hazard Category: This product does not meet any of the MSDS Requirement definitions for a hazardous material under SARA Sections 311/312. Reporting may be required if the material is present at any one time in amounts equal to or greater than 10,000 pounds.

SARA Section 313 (40 CFR 372) Toxics Release Inventory: Does not contain any of the substances identified under Section 313 as toxic chemicals in excess of the de minimis concentrations necessary to be subject to the supplier notification requirements.

Food and Drug Administration (FDA):
The use of CAB-O-SIL has been cleared by the United States Food and Drug Administration (FDA) for many food applications as both a direct food additive at levels up to 2 percent by weight and as a substance allowed in the manufacture of materials that come in direct contact with food in various producing, manufacturing, packing, preparing, transporting and holding operations. Pertinent sections can be found in Title 21 Code of Federal Regulations, Part 172 Food Additives Permitted for Direct Addition to Food for Human Consumption. Additional information on the use of CAB-O-SIL fumed silica in foods is available in the publication, CAB-O-SIL Fumed Silica as a Conditioning Agent for the Food Processing Industry.

Cosmetic Use: Listed by the Cosmetic, Toiletry and Fragrance Association (CTFA) for use in cosmetics and personal care products.

Pharmaceutical Information: Not permitted

U.S. State Regulations

California Proposition 65: This product is not listed on California Proposition 65.

US Coalition of NorthEastern Governors (CONEG) Metals List: This product meets the CONEG Source Reduction Council limits for the sum of the levels of lead, cadmium, mercury and hexavalent chromium of less than 100 parts per million by weight.

16. OTHER INFORMATION

HMIS Rating

HMIS Index: * - chronic, 0 - minimal, 1 - slight, 2 - moderate, 3 - serious, 4 - severe

Health:	1
Flammability:	0
Physical Hazard:	0

Prepared by:	Cabot Corporation - Safety, Health and Environmental Affairs
Revision Date:	24/May/2006
Previous Revision Date:	30/September/2005
Reason for Revision:	Revision to Section(s) 9

Disclaimer:
The information set forth is based on information that Cabot Corporation believes to be accurate. No warranty, expressed or implied, is intended. The information is provided solely for your information and consideration and Cabot assumes no legal responsibility for use or reliance thereon. In the event of a discrepancy between the information on the non-English document and its English counterpart, the English version shall supersede.

® and 'TM' indicate trademarks of the Cabot Corporation.



Health	1
Fire	0
Reactivity	0
Personal Protection	E

Material Safety Data Sheet
Silicon Dioxide, Amorphous MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification

Product Name: Silicon Dioxide, Amorphous

Catalog Codes: SLS3940

CAS#: 7631-86-9 or 112926-00-8

RTECS: VV7310000 or VV7315000

TSCA: TSCA 8(b) inventory: Silicon Dioxide, Amorphous

CI#: Not available.

Synonym: Synthetic Amorphous Silica; Synthetic amorphous precipitated silicon dioxide; silica - amorphous, precipitated silica

Chemical Name: Silicon Dioxide

Chemical Formula: Si-O2

Contact Information:

Sciencelab.com, Inc.
14025 Smith Rd.
Houston, Texas 77396

US Sales: **1-800-901-7247**
International Sales: **1-281-441-4400**

Order Online: ScienceLab.com

CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call: 1-800-424-9300

International CHEMTREC, call: 1-703-527-3887

For non-emergency assistance, call: 1-281-441-4400

Section 2: Composition and Information on Ingredients

Composition:

Name	CAS #	% by Weight
Silicon Dioxide, Amorphous	7631-86-9 or 112926-00-8	100

Toxicological Data on Ingredients: Silicon Dioxide, Amorphous: ORAL (LD50): Acute: >10000 mg/kg [Rat]. DERMAL (LD50): Acute: >5000 mg/kg [Rabbit].

Section 3: Hazards Identification

Potential Acute Health Effects: Slightly hazardous in case of skin contact (irritant), of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation.

Potential Chronic Health Effects:
CARCINOGENIC EFFECTS: 3 (Not classifiable for human.) by IARC. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available. The substance may be toxic to lungs, upper respiratory tract. Repeated or prolonged exposure to the substance can produce target organs damage.

Section 4: First Aid Measures

p. 1

Eye Contact:
Check for and remove any contact lenses. In case of contact, immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes. Get medical attention if irritation occurs.

Skin Contact: Wash with soap and water. Cover the irritated skin with an emollient. Get medical attention if irritation develops.

Serious Skin Contact: Not available.

Inhalation:
If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical attention.

Serious Inhalation: Not available.

Ingestion:
Do NOT induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. Get medical attention if symptoms appear.

Serious Ingestion: Not available.

Section 5: Fire and Explosion Data

Flammability of the Product: Non-flammable.

Auto-Ignition Temperature: Not applicable.

Flash Points: Not applicable.

Flammable Limits: Not applicable.

Products of Combustion: Not available.

Fire Hazards in Presence of Various Substances: Not applicable.

Explosion Hazards in Presence of Various Substances:
Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available. Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Not available.

Fire Fighting Media and Instructions: Not applicable.

Special Remarks on Fire Hazards: Not available.

Special Remarks on Explosion Hazards: Not available.

Section 6: Accidental Release Measures

Small Spill:
Use appropriate tools to put the spilled solid in a convenient waste disposal container. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and dispose of according to local and regional authority requirements.

Large Spill:
Use a shovel to put the material into a convenient waste disposal container. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and allow to evacuate through the sanitary system. Be careful that the product is not present at a concentration level above TLV. Check TLV on the MSDS and with local authorities.

Section 7: Handling and Storage

Precautions:
Do not ingest. Do not breathe dust. If ingested, seek medical advice immediately and show the container or the label.

Storage: Keep container tightly closed. Keep container in a cool, well-ventilated area. Hygroscopic

Section 8: Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls:
Use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to keep airborne levels below recommended exposure limits. If user operations generate dust, fume or mist, use ventilation to keep exposure to airborne contaminants below the exposure limit.

Personal Protection: Safety glasses. Lab coat. Dust respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Gloves.

Personal Protection in Case of a Large Spill:
Splash goggles. Full suit. Dust respirator. Boots. Gloves. A self contained breathing apparatus should be used to avoid inhalation of the product. Suggested protective clothing might not be sufficient; consult a specialist BEFORE handling this product.

Exposure Limits:
TWA: 10 (mg/m3) from ACGIH (TLV) [United States] Inhalation Total. TWA: 6 (mg/m3) from OSHA (PEL) [United States] Inhalation Total.Consult local authorities for acceptable exposure limits.

Section 9: Physical and Chemical Properties

Physical state and appearance: Solid. (Amorphous solid powder.)

Odor: Odorless.

Taste: Tasteless.

Molecular Weight: 60.09 g/mole

Color: White.

pH (1% soln/water): Not applicable.

Boiling Point: Not available.

Melting Point: 1610°C (2930°F)

Critical Temperature: Not available.

Specific Gravity: 2 (Water = 1)

Vapor Pressure: Not applicable.

Vapor Density: Not available.

Volatility: Not available.

Odor Threshold: Not available.

Water/Oil Dist. Coeff.: Not available.

Ionicity (in Water): Not available.

Dispersion Properties: Is not dispersed in cold water, hot water.

Solubility:
Insoluble in cold water, hot water. Very slightly soluble in alkali. Soluble in hot KOH and NaOH solutions. Insoluble in ethanol. Insoluble in acids except Hydrofluoric acid.

Section 10: Stability and Reactivity Data

Stability: The product is stable.

Instability Temperature: Not available.

Conditions of Instability: Incompatible materials, moisture, excess dust generation.

Incompatibility with various substances: Not available.

Corrosivity: Not available.

Special Remarks on Reactivity:
Hygroscopic. Incompatible with (hydrogen) fluoride, oxygen difluoride, chlorine trifluoride. May react vigorously with vinyl acetate vapor.

Special Remarks on Corrosivity: Not available.

Polymerization: Will not occur.

Section 11: Toxicological Information

Routes of Entry: Inhalation. Ingestion.

Toxicity to Animals:
Acute oral toxicity (LD50): >10000 mg/kg [Rat]. Acute dermal toxicity (LD50): >5000 mg/kg [Rabbit].

Chronic Effects on Humans:
CARCINOGENIC EFFECTS: 3 (Not classifiable for human.) by IARC. May cause damage to the following organs: lungs, upper respiratory tract.

Other Toxic Effects on Humans: Slightly hazardous in case of skin contact (irritant), of ingestion, of inhalation.

Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.

Special Remarks on Chronic Effects on Humans: Not available.

Special Remarks on other Toxic Effects on Humans:
Acute Potential Health Effects: Skin: May cause drying of the skin. Eyes: Dust may cause irritation. Inhalation: May cause respiratory tract irritation and drying of the mucous membranes. May affect lungs and respiration. Ingestion: Low hazard expected for normal industrial handling and use.

Section 12: Ecological Information

Ecotoxicity: Not available.

BOD5 and COD: Not available.

Products of Biodegradation:
Possibly hazardous short term degradation products are not likely. However, long term degradation products may arise.

Toxicity of the Products of Biodegradation: The product itself and its products of degradation are not toxic.

Special Remarks on the Products of Biodegradation: Not available.

Section 13: Disposal Considerations

Waste Disposal:
Waste must be disposed of in accordance with federal, state and local environmental control regulations.

Section 14: Transport Information

DOT Classification: Not a DOT controlled material (United States).

Identification: Not applicable.

Conditions of Instability: Incompatible materials, moisture, excess dust generation.

Incompatibility with various substances: Not available.

Corrosivity: Not available.

Special Remarks on Reactivity:
Hygroscopic. Incompatible with (hydrogen) fluoride, oxygen difluoride, chlorine trifluoride. May react vigorously with vinyl acetate vapor.

Special Remarks on Corrosivity: Not available.

Polymerization: Will not occur.

Section 11: Toxicological Information

Routes of Entry: Inhalation. Ingestion.

Toxicity to Animals:
Acute oral toxicity (LD50): >10000 mg/kg [Rat]. Acute dermal toxicity (LD50): >5000 mg/kg [Rabbit].

Chronic Effects on Humans:
CARCINOGENIC EFFECTS: 3 (Not classifiable for human.) by IARC. May cause damage to the following organs: lungs, upper respiratory tract.

Other Toxic Effects on Humans: Slightly hazardous in case of skin contact (irritant), of ingestion, of inhalation.

Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.

Special Remarks on Chronic Effects on Humans: Not available.

Special Remarks on other Toxic Effects on Humans:
Acute Potential Health Effects: Skin: May cause drying of the skin. Eyes: Dust may cause irritation. Inhalation: May cause respiratory tract irritation and drying of the mucous membranes. May affect lungs and respiration. Ingestion: Low hazard expected for normal industrial handling and use.

Section 12: Ecological Information

Ecotoxicity: Not available.

BOD5 and COD: Not available.

Products of Biodegradation:
Possibly hazardous short term degradation products are not likely. However, long term degradation products may arise.

Toxicity of the Products of Biodegradation: The product itself and its products of degradation are not toxic.

Special Remarks on the Products of Biodegradation: Not available.

Section 13: Disposal Considerations

Waste Disposal:
Waste must be disposed of in accordance with federal, state and local environmental control regulations.

Section 14: Transport Information

DOT Classification: Not a DOT controlled material (United States).

Identification: Not applicable.

Elkem

Safety Data Sheet

1. Identification of the Substance/Preparation and Company

Product name:	***NanoSilica Powder Grade 999***
Product application:	Silicone/acrylic sealant, toner, printing ink, coatings, IC-epoxy, paint, special mortars, batteries, CMP-slurry, paper, etc.
Address/Phone No.:	**Elkem AS** **Materials** P.O.Box 8126 Vaagsbygd N-4675 Kristiansand, Norway Telephone: + 47 38 01 75 00 Telefax: + 47 38 01 49 70 http://www.materials.elkem.com
Contact person:	Bernd Friede, e-mail: bernd.friede@elkem.no
Emergency Phone No.:	Not applicable

2. Hazards Identification

The product is unlikely to cause harmful effects when handled and stored as advised. However, nanoparticles (< 100 nm) in general, might cause a health risk if inhaled in noxious amounts, and no specific TWA and TLV have been set for such materials. See section 8 and 11.

3. Composition/Information on Ingredients

Synonyms:	Synthethic amorphous pyrogenic silica. Silica-, amorphous-, fumed-, cryst.free- silica
IUPAC-name:	Silicon dioxide
CAS No.: EINECS No.:	112945-52-5 (Ex. 7631-86-9) (231-545-4)
Constituents (analysis): Silicon dioxide (amorphous) (SiO_2):	Weight % 99.998
Symbols and indications of danger: R and S Phrases:	None None

© Copyright Elkem AS 2009

4. First Aid Measures

Inhalation:	Remove exposed person from dusty area. Fresh air.
Skin contact:	Wash contaminated skin with water and/or a mild detergent.
Eye contact:	Rinse eyes with water/saline solution. If discomfort persists, seek medical attention.
Ingestion:	Not applicable.

5. Fire Fighting Measures

The product is not combustible and the dust entails no danger of explosion.

Extinguishing media: Not applicable

6. Accidental Release Measures

Avoid exposure to dust of the product. Released material should be collected in suitable containers.

7. Handling and Storage

Handling:	Avoid dust generation. See section 8.
Storage:	Keep away from hydrofluoric acid (HF). Not to be stored at temperatures near to or below 0 °C.

8. Exposure Controls/Personal Protection

A) Occupational exposure controls:

Avoid inhalation of dust. Ensure good dust ventilation during use. Wear a CE-marked respirator according to EN 149 FFP 2S/3S during dust generating operations. Use protective gloves and eye protection. Facilities for eye flushing should be available.

Occupational Exposure Limits (ACGIH[1], 2008):

		ACGIH TLV 8hr TWA		ACGIH TLV 15 minute STEL		
Substance	**[CAS No.]**	**ppm**	**mg/m³**	**ppm**	**mg/m³**	**Notations**
PNOS[2]	-	-	$10^{(I)}/3^{(R)}$	-	-	-
Silica, crystalline* (SiO_2) α-Quartz	[14808-60-7]	-	$0.025^{(R)}$	-	-	A2
Cristobalite	[14464-46-1]	-	$0.025^{(R)}$	-	-	A2

[1] American Conference of Governmental Industrial Hygenists
[2] Particulates (Insoluble or Poorly Soluble) Not Otherwise Specified
(I) Inhalable fraction
(R) Respirable fraction

* Although NanoSilica Powder Grade 999 is completely amorphous, crystalline silica polymorphs might be formed upon heating at temperatures > 500 °C.
The above mentioned exposure limit values for Quartz and Cristobalite are therefore not related to the original delivered product but potentially to a further processed downstream product.

See also section 11.

B) Environmental exposure controls:

See sections 6, 7 and 12.

Limit values ambient air (Directive 1999/30/EC):

	Averaging time	Limit value
PM_{10}★	24 Hrs	50 µg/m^3
PM_{10}	Calendar year	40 µg/m^3

★ not to be exceeded more than 35 times a calendar year

9. Physical and Chemical Properties

Form:	Ultrafine amorphous powder
Colour:	White
Odour:	Odourless
Melting Point (°C):	approx. 1700
Solubility (Water):	Poorly water soluble
Solubility (Organic solvents):	Insoluble/Slightly soluble
Specific Gravity (water =1):	2.2
Bulk density (kg/m^3) approx.:	90-110
Reflectance:	94 %
Specific surface (m^2/g):	45-60
Particle size, mean (µm):	average 40 nm (100 % < 400 nm).
pH value:	3.8-4.8 (4 weight % solid in water)

10. Stability and reactivity

Conditions to avoid: See below

Materials to avoid: Hydrofluoric acid (HF).

Hazardous Decomposition Product(s):

The product reacts with hydrofluoric acid (HF) forming toxic gas (SiF_4).

Heating the product above 500 °C can result in the formation of crystalline SiO_2-phases such as cristobalite / tridymite which may cause pulmonary fibrosis (silicosis).

11. Toxicological Information

Acute effects:

INGESTION:	Finely divided dust may cause mechanical irritation and dehydration of mucous membranes.
INHALATION:	Finely divided dust may cause mechanical irritation and dehydration of mucous membranes.
SKIN CONTACT:	Finely divided dust may cause mechanical irritation and dehydration.
EYE CONTACT:	Finely divided dust may cause mechanical irritation and dehydration.

Acute and chronic effects:

Experimental studies in rodents support the concept that the surface area is the dose measurement that best predicts pulmonary toxicity (inflammatory response), but it is not clear whether these experimental findings (of nanoparticles in general) are directly related to clinical toxicity.

12. Ecological Information

The product is not characterised as dangerous for the environment.

MOBILITY:	The product is not mobile under normal environmental conditions.
PERSISTENCE:	Not relevant for inorganic substances.
BIOACCUMULATION:	Not relevant.
ECOTOXICITY:	*Daphnia magna*:
	24 h EC_{100} >10 000 mg/l

No chronic effects and no bioaccumulation in aquatic organisms are expected.

13. Disposal Considerations

The material should be recovered for recycling if possible.
This material is not classified as hazardous waste according to Commission Decisions 2000/532/EC and 2001/118/EC. Prior to disposal of large quantities of this material advice should be sought from the relevant Waste Regulation Authority. Nanoparticles as waste, might be regarded as potentially hazardous until proven otherwise.

14. Transport Information

UN	-
IMDG/IMO	Not subject to classification
ADR/RID	Not subject to classification
ICAO/IATA	Not subject to classification

15. Regulatory Information

Product classification and labelling:

Symbol:	Not subject to classification
R-phrases:	None
S-phrases:	None

The text of this Safety Data Sheet is prepared in compliance with:

- Council Directive 67/548/EEC and its subsequent amendments.
- Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH).

16. Other Information

Literature references are available upon application to the manufacturer.

ภาคผนวก ก. 9

เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนโกลด์ (Nano-Au)

Nanoprobes

95 Horse Block Road, Unit 1
Yaphank, NY 11980-9710

Updated: September 24, 2007

Attn: SAFETY DIRECTOR

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

CATALOG NUMBER: 2016
PRODUCT NAME: **NANOGOLD®-STREPTAVIDIN**

SECTION 1: IDENTIFICATION

Product Name	Nanogold® -Streptavidin
Product Number	2016
Product Description	80 µg/ml Nanogold® -Streptavidin in 20 mM Sodium Phosphate, 150 mM NaCl, pH7.4, with 0.1 % BSA and 0.05 % sodium azide
Appearance	Pale brown solution

SECTION 2: HANDLING, STORAGE AND TRANSPORT INFORMATION

HANDLING
User Exposure: Avoid inhalation. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.
STORAGE
Suitable: Keep tightly closed.
Store at 2-8°C
Non-Hazardous for Transport: This substance is considered to be non-hazardous for transport.

SECTION 3: HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW
Caution: Avoid contact and inhalation. Sodium azide may react with lead and copper plumbing to form highly explosive metal azides.
HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS
Hazardous Decomposition Products: Nature of decomposition products not known.
HAZARDOUS POLYMERIZATION
Hazardous Polymerization: Will not occur

SECTION 4: FIRST AID MEASURES

ORAL EXPOSURE
If swallowed, wash out mouth with water provided person is conscious. Call a physician.

877-447-6266 (US Toll-Free), (631) 205-9490 • Fax (631) 205-9493 • nano@nanoprobes.com • www.nanoprobes.com

INHALATION EXPOSURE
If inhaled, remove to fresh air. If breathing becomes difficult, call a physician.
DERMAL EXPOSURE
In case of contact, immediately wash skin with soap and copious amounts of water.
EYE EXPOSURE
In case of contact with eyes, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by separating the eyelids with fingers. Call a physician.

SECTION 5: FIRE FIGHTING MEASURES

EXPLOSION HAZARDS
Azide reacts with many heavy metals such as lead, copper, mercury, silver, gold to form explosive compounds. Azide reacts with metal halides to give a range of metal azide halides, many of which are explosive.
FLASH POINT
N/A
AUTOIGNITION TEMP
N/A
FLAMMABILITY
N/A
EXTINGUISHING MEDIA
Suitable: Water spray. Carbon dioxide, dry chemical powder, or appropriate foam.
FIREFIGHTING
Protective Equipment: Wear self-contained breathing apparatus and protective clothing to prevent contact with skin and eyes.
Specific Hazard(s): Emits toxic fumes under fire conditions.

SECTION 6: ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

PROCEDURE(S) OF PERSONAL PRECAUTION(S)
Wear respirator, chemical safety goggles, rubber boots, and heavy rubber gloves.
METHODS FOR CLEANING UP
Absorb on sand or vermiculite and place in closed containers for disposal. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

SECTION 7: TOXICOLOGICAL INFORMATION

ROUTE OF EXPOSURE
Skin Contact: May cause skin irritation. Exposure to gold compounds can cause contact dermatitis.
Skin Absorption: May be harmful if absorbed through the skin.
Eye Contact: May cause eye irritation.
Inhalation: May be harmful if inhaled. Material may be irritating to mucous membranes and upper respiratory tract.
Ingestion: May be harmful if swallowed.
TARGET ORGAN(S) OR SYSTEM(S)
Kidneys.
SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE
Many azides cause a fall in blood pressure and some inhibit enzyme action. Laboratory experiments in animals have shown sodium azide to produce a profound hypotensive effect,

demyelination of myelinated nerve fibers in the central nervous system, testicular damage, blindness, attacks of rigidity, and hepatic and cerebral effects. To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

SECTION 8: ECOLOGICAL INFORMATION

No data available.

SECTION 9: OTHER INFORMATION

DISCLAIMER
For R&D use only. Not for drug, household or other uses.

AC Diagnostics, Inc.
1131 W Cato Springs Road, Fayetteville,
AR 72701, USA

Web: www.acdiainc.com
Phone: (479) 595-0320; Fax: (479) 251-1791
Email: infor@acdiainc.com

MSDS of Au Nanoparticles in Water

1. PRODUCT IDENTIFICATION

CAS No.: Gold (7440-57-5), Polyethylene glycol 400 (25322-68-3), Polyethylene glycol monomethyl ether 550 (9004-47-4), Thioctic acid (1077-28-7), Biotin (58-85-5), Nickel (7440-02-0), and Water (7732-18-5)
Chemical Name: PEGylated and Functionalized colloidal Gold Nanoparticles
Chemical Formula: Au
Typical Solvent (CAS No): Water (7732-18-5)

---

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENT (EACH VIAL)

Substance Name	CAS #	Percentage of Whole (by weight)
Au	7440-57-5	<0.02%
Water	7732-18-5	<99.9%
Synthetic PEG ligands		< 0.08%

---

3. HAZARDS IDENTIFICATION

Not known OSHA hazards
NFPA Ratings:
Health: 0
Fire: 0
Reactivity: 0
Potential Health Effects:
Inhalation: May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin: May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes: May cause eye irritation.
Ingestion: May be harmful if swallowed.

---

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation: Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm. Seek immediate medical advice.
Skin contact: Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly. Seek immediate medical advice.
Eye contact: Rinse opened eye for several minutes under running water. Then consult a doctor.
Ingestion: Rinse mouth with water. Seek immediate medical advice.

---

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Suitable extinguishing agents: Product is not flammable. Use water spray; dry chemical or carbon dioxide fire extinguishers.

Protective equipment: Wear self-contained respirator. Wear fully protective impervious suit.

---

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Person-related safety precautions: Wear protective equipment. Keep unprotected persons away. Ensure adequate ventilation.
Measures for environmental protection: Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.
Measures for cleaning/collecting: Dispose contaminated material as waste according to item 12. Ensure adequate ventilation.

---

7. HANDLING AND STORAGE

Information for safe handling: Keep container tightly sealed. Store at 2-8°C. Ensure good ventilation at the workplace.
Requirements to be met by storerooms and receptacles: No special requirements.

---

8. EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

Additional information about design of technical systems: Properly operating chemical fume hood designed for hazardous chemicals and having an average face velocity of at least 100 feet per minute.
General protective and hygienic measures: The usual precautionary measures for handling chemicals should be followed. Keep away from foodstuffs, beverages, and feed. Remove all soiled and contaminated clothing immediately. Wash hands before breaks and at the end of work. Avoid contact with the eyes and skin.
Protection of hands: Impervious gloves
Eye protection: Safety glasses
Body protection: Protective work clothing.

---

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES:

Form: Liquid form. Nano powder suspended in solvent.
Color: Reddish Purple, wine red.
Odor: none
Melting point/Melting range: no data
Boiling point/Boiling range: 100°C for solvent (water)
Flash point: no data
Ignition temperature: no data
Decomposition temperature: no data
Explosion limits: no data
Vapor pressure: no data

---

10. STABILITY AND REACTIVITY

Thermal decomposition / conditions to be avoided: Not determined; store according to recommended storage conditions.

Materials to be avoided: Strong oxidizing agents.
Dangerous reactions: No dangerous reactions known.

---

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Potential Health Effects:
Inhalation: May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin: May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes: May cause eye irritation.
Ingestion: May be harmful if swallowed.
IARC-1: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
NTP-2: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
ACGIH A2: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
OSHA: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.

---

12. ECOLOGICAL INFORMATION:

Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

---

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Consult local or national regulations for proper disposal.

---

14. TRANSPORT INFORMATION

DOT: Not dangerous goods
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods
OSHA: No known OSHA hazards
DLS Status: All components are on the Canadian DSL list
Pennsylvania Right to Know Components: Water (CAS 7732-18-5)
New Jersey Right to Know Components: Water (CAS 7732-18-5)
California Prop. 65: No chemicals known to the State of California to cause cancer, birth, or other reproductive defects.

---

15. OTHER INFORMATION

The information supplied in this document is believed to be correct but does not claim to be all inclusive, and is intended to be used as a guide. This document does not guarantee the properties of the product. AC Diagnostics, Inc. shall not be held liable for damage resulting from handling or contact with the product listed in this document.

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006
Version 5.0 Revision Date 29.05.2012
Print Date 16.06.2012
GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

1.1 Product identifiers

Product name : Gold

Product Number : 636347
Brand : Aldrich
CAS-No. : 7440-57-5

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd
1 Science Park Road
#02-14 The Capricorn
Singapore Science Park Road II
SINGAPORE 117528
SINGAPORE

Telephone : +65 6779 1200
Fax : +65 6779 1822

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : 1-800-262-8200

2. HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture

Not a hazardous substance or mixture according to Regulation (EC) No. 1272/2008.
This substance is not classified as dangerous according to Directive 67/548/EEC.

2.2 Label elements

This substance is not classified as dangerous according to Directive 67/548/EEC.

2.3 Other hazards - none

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.1 Substances

Formula : Au
Molecular Weight : 196,97 g/mol

4. FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

If inhaled
If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration.

In case of skin contact
Wash off with soap and plenty of water.

In case of eye contact
Flush eyes with water as a precaution.

If swallowed
Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed
To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed
no data available

5. FIREFIGHTING MEASURES

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media
Use extinguishing measures that are appropriate to local circumstances and the surrounding environment.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture
no data available

5.3 Advice for firefighters
Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

5.4 Further information
The product itself does not burn.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures
Avoid dust formation. Avoid breathing vapors, mist or gas.

6.2 Environmental precautions
No special environmental precautions required.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up
Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections
For disposal see section 13.

7. HANDLING AND STORAGE

7.1 Precautions for safe handling
Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities
Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

7.3 Specific end uses
no data available

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

8.1 Control parameters

Components with workplace control parameters

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls
General industrial hygiene practice.

Personal protective equipment

Eye/face protection
Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection
Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of

contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

The selected protective gloves have to satisfy the specifications of EU Directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it.

Immersion protection
Material: Nitrile rubber
Minimum layer thickness: 0,11 mm
Break through time: > 480 min
Material tested:Dermatril® (Aldrich Z677272, Size M)

Splash protection
Material: Nitrile rubber
Minimum layer thickness: 0,11 mm
Break through time: > 30 min
Material tested:Dermatril® (Aldrich Z677272, Size M)

data source: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, phone +49 (0)6659 873000, e-mail sales@kcl.de, test method: EN374
If used in solution, or mixed with other substances, and under conditions which differ from EN 374, contact the supplier of the CE approved gloves. This recommendation is advisory only and must be evaluated by an Industrial Hygienist familiar with the specific situation of anticipated use by our customers. It should not be construed as offering an approval for any specific use scenario.

Body Protection
Choose body protection in relation to its type, to the concentration and amount of dangerous substances, and to the specific work-place., The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection
Respiratory protection is not required. Where protection from nuisance levels of dusts are desired, use type N95 (US) or type P1 (EN 143) dust masks. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1 Information on basic physical and chemical properties

a)	Appearance	Form: powder Colour: gold
b)	Odour	no data available
c)	Odour Threshold	no data available
d)	pH	no data available
e)	Melting point/freezing point	Melting point/range: 1.063 °C
f)	Initial boiling point and boiling range	2.808 °C
g)	Flash point	not applicable
h)	Evaporation rate	no data available
i)	Flammability (solid, gas)	no data available
j)	Upper/lower flammability or explosive limits	no data available
k)	Vapour pressure	no data available
l)	Vapour density	no data available
m)	Relative density	19,3 g/mL at 25 °C
n)	Water solubility	no data available

o)	Partition coefficient: n-octanol/water	no data available
p)	Autoignition temperature	no data available
q)	Decomposition temperature	no data available
r)	Viscosity	no data available
s)	Explosive properties	no data available
t)	Oxidizing properties	no data available

9.2 Other safety information
no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

10.1 Reactivity
no data available

10.2 Chemical stability
no data available

10.3 Possibility of hazardous reactions
no data available

10.4 Conditions to avoid
no data available

10.5 Incompatible materials
Halogens, Hydrogen peroxide, Ammonia

10.6 Hazardous decomposition products
no data available

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity
no data available

Skin corrosion/irritation
no data available

Serious eye damage/eye irritation
no data available

Respiratory or skin sensitization
no data available

Germ cell mutagenicity
no data available

Carcinogenicity

Carcinogenicity - rat - Implant
Tumorigenic:Equivocal tumorigenic agent by RTECS criteria. Tumorigenic:Tumors at site or application.

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Reproductive toxicity
no data available

Specific target organ toxicity - single exposure
no data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure
no data available

Aspiration hazard
no data available

Potential health effects

Inhalation	May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Ingestion	May be harmful if swallowed.
Skin	May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes	May cause eye irritation.

Signs and Symptoms of Exposure
To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

Additional Information
RTECS: Not available

12. ECOLOGICAL INFORMATION

12.1 Toxicity
no data available

12.2 Persistence and degradability
no data available

12.3 Bioaccumulative potential
no data available

12.4 Mobility in soil
no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment
no data available

12.6 Other adverse effects
no data available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

13.1 Waste treatment methods

Product
Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company.

Contaminated packaging
Dispose of as unused product.

14. TRANSPORT INFORMATION

14.1 UN number
ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.2 UN proper shipping name
ADR/RID: Not dangerous goods
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods

14.3 Transport hazard class(es)
ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.4 Packaging group
ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Environmental hazards
ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

14.6 Special precautions for user
no data available

15. REGULATORY INFORMATION

This safety datasheet complies with the requirements of Regulation (EC) No. 1907/2006.

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture
no data available

15.2 Chemical Safety Assessment
no data available

16. OTHER INFORMATION

Further information
Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.
The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Corporation and its Affiliates shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See www.sigma-aldrich.com and/or the reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

ภาคผนวก ก.10

เอกสารความปลอดภัยของเดนไดรเมอร์ (Dendrimers)

DENDRITECH, INC.
3110 Schuette Drive · Midland, Michigan 48642 PHONE: (989) 496-2016 FAX: (989) 496-2051
www.Dendritech.com

In case of a Chemical Emergency involving a spill, leak, fire, exposure or accident contact Chemtrec® at 1-800-424-9300

----------SECTION I - PREPARATION/PRODUCT INFORMATION----------

Producer's Name: Dendritech® Inc.
3110 Schuette Drive
Midland, MI 48642
(989)496-2016

Revision Date: April 30, 2003
Preparation Date: February, 1994

Product Name: Polyamidoamine (PAMAM) Dendrimer (*METHANOL SOLUTION*)

----------SECTION II - INGREDIENTS----------

INGREDIENTS	CAS#	%	ACGIH TLV	OSHA PEL	CARCINOGEN LIST IARC	NTP	OSHA	SARA 313
HAZARDOUS INGREDIENTS-								
Methanol	67-56-1	85-50%	200ppm	200ppm	NO	NO	NO	YES
NON-HAZARDOUS INGREDIENTS								
Polyamidoamine	26937-01-9	15-50%	NONE	NONE	NO	NO	NO	NO

HMIS Rating: Health=1, Flammability=3, Reactivity=0, Protection=B

----------SECTION III - PHYSICAL & CHEMICAL DATA----------

Note: Properties based on methanol unless otherwise indicated.

Boiling Pt.- 65°C

Vapor Pressure- 92mm Hg (20°C)

Evaporation Rate- 4.6 (butyl acetate = 1)

Odor*- Alcohol smell

Odor Threshold- methanol ~200 ppm

Decomposition Temperature - Not Available

Solubility in Water -*Very Soluble

Vapor Density- 1.11

Appearance-*Clear, Slightly Yellow, Viscous Fluid

Melting/Softening Pt.: -98°C

pH - Dendrimers have an alkaline (~10) pH

----------SECTION IV - FIRE AND EXPLOSION HAZARD----------

NOTE: BASED ON METHANOL

Fire or Explosion Hazards - Fire hazard when exposed to heat or flame. Vapors can travel considerable distance to ignition source and flash back.

Flash Pt.- 11°C (52°F)

Special Fire Fighting Procedures - Use self contained breathing system

Extinguishing: Carbon Dioxide, foam, dry chemical.

Explosion limits in air:
Lower: 6%
Upper: 36%

Hazardous Combustion Products - May produce irritant fumes

Auto Ignition Temperature- 385°C (725°F)

----------SECTION V - REACTIVITY DATA----------

Stability - Stable under normal temperatures and pressures

Hazardous Decomposition Products - Carbon oxides; nitrogen oxides

Conditions to Avoid - contact with heat, flames, sparks. Poisonous; avoid vapor inhalation and skin contact, use in ventilated area. Prolonged storage above normal room temperature can lead to some deterioration in product quality, but hazardous decomposition does not occur.

Hazardous Polymerization - Does not Occur

Incompatibility – Alkali metals, oxidizing agents, inorganic acids, aldehydes, halogens, halogenated compounds, acid anhydrides, and acrylates. Avoid contact with copper, brass, or other copper alloys to prevent reaction with dendrimer (amines).

-----SECTION VI - HEALTH HAZARD DATA/TOXICOLOGICAL PROPERTIES-----

Hazards to Humans-

Methanol is flammable. Skin contact and inhalation are primary routes of exposure, which could occur during handling. OSHA TWA is 200ppm (262mg/m^3) for methanol.

Test Data- (See component information)

Methanol:

LD_{50} Oral/Rats = 5600mg/kg. Essentially non - toxic
LD_{50} Dermal/Rabbits = 15800 ml/kg. Slightly toxic
LC_{50} 4 hrs Inhalation/Rats = 64,000ppm. Essentially non-toxic.
Irritating to skin, may defat skin.
Slightly irritating to eyes.

Dendrimer:

LD_{50} Oral/Rats: > 2500 mg/kg. Slightly Toxic
LD_{50} Dermal/Rabbits: > 1000 mg/kg. Moderately toxic.
Skin Irritation: Slight Irritant
Eye Irritation: Essentially non-irritating

Additional Information.-
A) Methanol
Methanol is generally non-mutagenic and not a sensitizer. Teratogenic effects in animals have been reported at high dose (maternally toxic). Poisonous to humans. Ingestion by humans may cause central nervous system depression, metabolic acidosis, and blindness if not treated. Methanol may be absorbed through the skin and cause central nervous system effects. Inhalation above TWA may cause headaches, dizziness, anesthetic effects and respiratory tract irritation.

B) Dendrimer
Mutagenicity: Negative, an aqueous dendrimer solution is not a bacterial mutagen by the Ames test.

Skin sensitization: Using a modified Buehler technique, neutralized aqueous solutions (pH=7) of dendrimer showed no sensitization reactions in guinea pigs under test conditions.

----------SECTION VII - EMERGENCY/FIRST AID PROCEDURE----------

Inhalation- Remove to fresh air immediately. Support breathing if necessary and contact a physician.

Skin- Promptly wash skin with copious amount of water for at least 15 minutes. Remove contaminated clothing and shoes. Seek medical attention.

Eyes- Flush eyes with large quantities of water for at least 15 minutes. Seek medical attention.

Ingestion-Seek immediate medical attention. Can be fatal if swallowed.

----------SECTION VIII - SAFE HANDLING/PREVENTATIVE MEASURES----------

Personal Protective Equipment - Chemical workers rubber gloves, safety glasses, adequate ventilation. Additional protective clothing, goggles, and respirator are required for large leaks, spills, or where gross contact is likely.

Ventilation - Provide general dilution ventilation to meet exposure limits. Ventilation equipment must be explosion proof.

Waste Disposal - Incineration is recommended. Comply with all federal, state, and local laws.

Procedures for Leaks or Spills - Soak up with inert absorbent material (e.g. sand, silica gel, clay). Place in suitable containers for disposal by incineration. After cleaning, flush area with water.

Storage requirements - Keep away from heat, flame and sparks. Ensure proper grounding of storage tanks (static sparks). To maintain product quality, store at room temperature. For prolonged storage, refrigeration(5-10°C) under a nitrogen pad recommended.
Labeling: Flammable liquid and poison.

----------SECTION IX - TRANSPORTATION REQUIREMENTS----------

Proper Shipping Name - PAMAM dendrimer in Methanol Hazard class - 3.2/6.1

Identification Number - 1230 Reportable Quantity - 5000lbs.

Packing Group - II (US dept. of Transportation)

International Air Transportation Association (IATA) requirements: Flammable Liquid, Poison
WHMIS B-2, D-1A

----------SECTION X – OTHER INFORMATION----------

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. Dendritech, Inc. shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product.

ภาคผนวก ก.11

เอกสารความปลอดภัยของนาโนเคลย์ (Nanoclay)

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006
Version 4.1 Revision Date 13.01.2012
Print Date 16.06.2012
GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

1.1 Product identifiers

Product name : Nanoclay, hydrophilic bentonite

Product Number : 682659
Brand : Aldrich
CAS-No. : 1302-78-9

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd
1 Science Park Road
#02-14 The Capricorn
Singapore Science Park Road II
SINGAPORE 117528
SINGAPORE

Telephone : +65 6779 1200
Fax : +65 6779 1822

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : 1-800-262-8200

2. HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture

Not a hazardous substance or mixture according to Regulation (EC) No. 1272/2008.
This substance is not classified as dangerous according to Directive 67/548/EEC.

2.2 Label elements

The product does not need to be labelled in accordance with EC directives or respective national laws.

2.3 Other hazards - none

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.1 Substances

Synonyms : Montmorillinite clay, bentonite
Nanomer® PGV
Nanomer® clay

Formula : H2Al2O6Si
Molecular Weight : 180,1 g/mol

4. FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

If inhaled
If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration.

In case of skin contact
Wash off with soap and plenty of water.

In case of eye contact
Flush eyes with water as a precaution.

If swallowed
Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed
Lung irritation, Asthma

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed
no data available

5. FIREFIGHTING MEASURES

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media
Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture
Aluminum oxide, silicon oxides

5.3 Advice for firefighters
Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

5.4 Further information
no data available

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures
Avoid dust formation. Avoid breathing vapors, mist or gas.

6.2 Environmental precautions
Do not let product enter drains.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up
Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections
For disposal see section 13.

7. HANDLING AND STORAGE

7.1 Precautions for safe handling
Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed.Normal measures for preventive fire protection.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities
Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

7.3 Specific end uses
no data available

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

8.1 Control parameters

Components with workplace control parameters

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls
General industrial hygiene practice.

Personal protective equipment

Eye/face protection
Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection
The selected protective gloves have to satisfy the specifications of EU Directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it.

Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

Body Protection
Choose body protection in relation to its type, to the concentration and amount of dangerous substances, and to the specific work-place., The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection
Respiratory protection is not required. Where protection from nuisance levels of dusts are desired, use type N95 (US) or type P1 (EN 143) dust masks. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1 Information on basic physical and chemical properties

a)	Appearance	Form: granules Colour: grey, beige
b)	Odour	no data available
c)	Odour Threshold	no data available
d)	pH	8,0 - 9,0
e)	Melting point/freezing point	no data available
f)	Initial boiling point and boiling range	no data available
g)	Flash point	not applicable
h)	Evaporation rate	no data available
i)	Flammability (solid, gas)	no data available
j)	Upper/lower flammability or explosive limits	no data available
k)	Vapour pressure	no data available
l)	Vapour density	no data available
m)	Relative density	2,400 g/cm3
n)	Water solubility	no data available
o)	Partition coefficient: n-octanol/water	no data available
p)	Autoignition temperature	no data available
q)	Decomposition temperature	no data available
r)	Viscosity	no data available
s)	Explosive properties	no data available
t)	Oxidizing properties	no data available

9.2 Other safety information
no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

10.1 Reactivity
no data available

10.2 Chemical stability
no data available

10.3 Possibility of hazardous reactions
no data available

10.4 Conditions to avoid
no data available

10.5 Incompatible materials
Strong acids

10.6 Hazardous decomposition products
Other decomposition products - no data available

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity
LD50 Intravenous - rat - 35 mg/kg
Remarks: Lungs, Thorax, or Respiration:Acute pulmonary edema.

Skin corrosion/irritation
no data available

Serious eye damage/eye irritation
no data available

Respiratory or skin sensitization
no data available

Germ cell mutagenicity
no data available

Carcinogenicity

Carcinogenicity - mouse - Oral
Tumorigenic:Equivocal tumorigenic agent by RTECS criteria. Liver:Tumors.

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Reproductive toxicity
no data available

Specific target organ toxicity - single exposure
no data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure
no data available

Aspiration hazard
no data available

Potential health effects

Inhalation	May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Ingestion	May be harmful if swallowed.
Skin	May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes	May cause eye irritation.

Signs and Symptoms of Exposure
Lung irritation, Asthma

Additional Information
RTECS: CT9450000

12. ECOLOGICAL INFORMATION

12.1 Toxicity

Toxicity to fish LC50 • Oncorhynchus mykss (rainbow trout) • 19.000 mg/l • 96 h

12.2 Persistence and degradability
no data available

12.3 Bioaccumulative potential
no data available

12.4 Mobility in soil
no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment
no data available

12.6 Other adverse effects
no data available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

13.1 Waste treatment methods

Product
Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company.

Contaminated packaging
Dispose of as unused product.

14. TRANSPORT INFORMATION

14.1 UN number
ADR/RID: • IMDG: • IATA: •

14.2 UN proper shipping name
ADR/RID: Not dangerous goods
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods

14.3 Transport hazard class(es)
ADR/RID: • IMDG: • IATA: •

14.4 Packaging group
ADR/RID: • IMDG: • IATA: •

14.5 Environmental hazards
ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

14.6 Special precautions for user
no data available

15. REGULATORY INFORMATION

This safety datasheet complies with the requirements of Regulation (EC) No. 1907/2006.

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture
no data available

15.2 Chemical Safety Assessment
no data available

16. OTHER INFORMATION

Further information

Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Corporation and its Affiliates shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See www.sigma-aldrich.com and/or the reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006
Version 4.1 Revision Date 13.01.2012
Print Date 16.06.2012
GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

1.1 Product identifiers

Product name : Halloysite nanoclay

Product Number : 685445
Brand : Aldrich
CAS-No. : 1332-58-7

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Sigma-Aldrich Pte Ltd
1 Science Park Road
#02-14 The Capricorn
Singapore Science Park Road II
SINGAPORE 117528
SINGAPORE

Telephone : +65 6779 1200
Fax : +65 6779 1822

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : 1-800-262-8200

2. HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture

Not a hazardous substance or mixture according to Regulation (EC) No. 1272/2008.
This substance is not classified as dangerous according to Directive 67/548/EEC.

2.2 Label elements

The product does not need to be labelled in accordance with EC directives or respective national laws.

2.3 Other hazards - none

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.1 Substances

Synonyms : Kaolin clay

Formula : $H_4Al_2O_9Si_2 \cdot 2H_2O$
Molecular Weight : 294,19 g/mol

4. FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

If inhaled
If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration.

In case of skin contact
Wash off with soap and plenty of water.

In case of eye contact
Flush eyes with water as a precaution.

If swallowed
Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed
no data available

5. FIREFIGHTING MEASURES

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media
Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture
Aluminum oxide, silicon oxides

5.3 Advice for firefighters
Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

5.4 Further information
no data available

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures
Avoid dust formation. Avoid breathing vapors, mist or gas.

6.2 Environmental precautions
No special environmental precautions required.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up
Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections
For disposal see section 13.

7. HANDLING AND STORAGE

7.1 Precautions for safe handling
Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed.Normal measures for preventive fire protection.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities
Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

7.3 Specific end uses
no data available

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

8.1 Control parameters

Components with workplace control parameters

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls
General industrial hygiene practice.

Personal protective equipment

Eye/face protection
Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection
Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

The selected protective gloves have to satisfy the specifications of EU Directive 89/686/EEC and the standard EN 374 derived from it.

Body Protection
Choose body protection in relation to its type, to the concentration and amount of dangerous substances, and to the specific work-place., The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection
Respiratory protection is not required. Where protection from nuisance levels of dusts are desired, use type N95 (US) or type P1 (EN 143) dust masks. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1 Information on basic physical and chemical properties

a)	Appearance	Form: powder
b)	Odour	no data available
c)	Odour Threshold	no data available
d)	pH	no data available
e)	Melting point/freezing point	no data available
f)	Initial boiling point and boiling range	no data available
g)	Flash point	no data available
h)	Evaporation rate	no data available
i)	Flammability (solid, gas)	no data available
j)	Upper/lower flammability or explosive limits	no data available
k)	Vapour pressure	no data available
l)	Vapour density	no data available
m)	Relative density	2,53 g/cm3
n)	Water solubility	no data available
o)	Partition coefficient: n-octanol/water	no data available
p)	Autoignition temperature	no data available
q)	Decomposition temperature	no data available
r)	Viscosity	no data available
s)	Explosive properties	no data available
t)	Oxidizing properties	no data available

9.2 Other safety information
no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

10.1 Reactivity
no data available

10.2 Chemical stability
no data available

10.3 Possibility of hazardous reactions
no data available

10.4 Conditions to avoid
no data available

10.5 Incompatible materials
Strong oxidizing agents

10.6 Hazardous decomposition products
Other decomposition products - no data available

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity
no data available

Skin corrosion/irritation
no data available

Serious eye damage/eye irritation
no data available

Respiratory or skin sensitization
no data available

Germ cell mutagenicity
no data available

Carcinogenicity

IARC: 1 - Group 1: Carcinogenic to humans (Kaolin)

Reproductive toxicity

Reproductive toxicity - rat - Oral
Effects on Newborn: Growth statistics (e.g., reduced weight gain).

Specific target organ toxicity - single exposure
no data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure
no data available

Aspiration hazard
no data available

Potential health effects

Inhalation	May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Ingestion	May be harmful if swallowed.
Skin	May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes	May cause eye irritation.

Additional Information
RTECS: GF1670500

12. ECOLOGICAL INFORMATION

12.1 Toxicity
no data available

12.2 Persistence and degradability
no data available

12.3 Bioaccumulative potential
no data available

12.4 Mobility in soil
no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment
no data available

12.6 Other adverse effects
no data available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

13.1 Waste treatment methods

Product
Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company.

Contaminated packaging
Dispose of as unused product.

14. TRANSPORT INFORMATION

14.1 UN number
ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.2 UN proper shipping name
ADR/RID: Not dangerous goods
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods

14.3 Transport hazard class(es)
ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.4 Packaging group
ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Environmental hazards
ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

14.6 Special precautions for user
no data available

15. REGULATORY INFORMATION

This safety datasheet complies with the requirements of Regulation (EC) No. 1907/2006.

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture
no data available

15.2 Chemical Safety Assessment
no data available

16. OTHER INFORMATION

Further information
Copyright 2012 Sigma-Aldrich Co. LLC. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.
The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Corporation and its Affiliates shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See www.sigma-aldrich.com and/or the reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

SIGMA-ALDRICH

Material Safety Data Sheet

Date Printed: 16/JUN/2012
Date Updated: 28/NOV/2011
Version 1.2
Regulation (EC) No 1907/2006

---

1 - Product and Company Information

Product Name	NANOCLAY, SURFACE MODIFIED, CONTAINS 25-30 WT. % METHYL DIHYDROXYETHYL HYDROGENATED TALLOW AMMONIUM
Product Number	682640
Company	Sigma-Aldrich Pte Ltd #02-14 The Capricorn, Sci. Park II Singapore 117528 Singapore
Technical Phone #	(65) 6779 1200
Fax	(65) 6779 1822

---

2 - Hazards Identification

SPECIAL INDICATION OF HAZARDS TO HUMANS AND THE ENVIRONMENT
Not hazardous according to Directive 67/548/EEC.

---

3 - Composition/Information on Ingredients

Product Name	CAS #	EC no	Annex I Index Number
NANOCLAY, SURFACE MODIFIED, CONTAINS 25-30 WT. % METHYL DIHYDROXYETHYL HYDROGENATED TALLOW AMMONIUM	None	None	None

Ingredient Name	Percent	CAS #	EC no	Annex I Index Number
METHYL DIHYDROXYETHYL HYDROGENATED TALLOW AMMONIUM	>= 25 <= 30	68607-27-2	None	None
MONTMORILLONITE K 10	>= 70 <= 75	1318-93-0	215-288-5	None

Synonyms: Montmorillinite clay surface modified with 25-30WT% methyl dihydroxyethyl hydrogenated tallow ammonium * Nanomer® I.34MN

---

4 - First Aid Measures

AFTER INHALATION
If inhaled, remove to fresh air. If breathing becomes difficult, call a physician.

AFTER SKIN CONTACT
In case of contact, immediately wash skin with soap and copious amounts of water.

AFTER EYE CONTACT
In case of contact with eyes, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by separating the eyelids with fingers. Call a physician.

AFTER INGESTION
If swallowed, wash out mouth with water provided person is conscious. Call a physician.

5 - Fire Fighting Measures

EXTINGUISHING MEDIA
Suitable: Water spray. Carbon dioxide, dry chemical powder, or appropriate foam.

SPECIAL RISKS
Specific Hazard(s): Emits toxic fumes under fire conditions.

SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR FIREFIGHTERS
Wear self-contained breathing apparatus and protective clothing to prevent contact with skin and eyes.

6 - Accidental Release Measures

PROCEDURE(S) OF PERSONAL PRECAUTION(S)
Exercise appropriate precautions to minimize direct contact with skin or eyes and prevent inhalation of dust.

METHODS FOR CLEANING UP
Sweep up, place in a bag and hold for waste disposal. Avoid raising dust. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

7 - Handling and Storage

HANDLING
Directions for Safe Handling: Avoid inhalation. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.

STORAGE
Conditions of Storage: Keep tightly closed.

8 - Exposure Controls / Personal Protection

ENGINEERING CONTROLS
Safety shower and eye bath. Mechanical exhaust required.

GENERAL HYGIENE MEASURES
Wash thoroughly after handling.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT
Respiratory Protection: Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU). Respiratory protection is not required. Where protection from nuisance levels of dusts are desired, use type N95 (US) or type P1 (EN 143) dust masks.
Hand Protection: Protective gloves.
Eye Protection: Chemical safety goggles.

9 - Physical and Chemical Properties

Appearance — Physical State: Solid

Property	Value	At Temperature or Pressure
pH	6,5. - 7,0.	
BP/BP Range	1.200, °C	
MP/MP Range	N/A	
Flash Point	N/A	
Flammability	N/A	
Autoignition Temp	N/A	
Oxidizing Properties	N/A	
Explosive Properties	N/A	
Explosion Limits	N/A	
Vapor Pressure	N/A	
SG/Density	1,7000 g/cm3	
Partition Coefficient	N/A	
Viscosity	N/A	
Vapor Density	N/A	
Saturated Vapor Conc.	N/A	
Evaporation Rate	N/A	
Bulk Density	N/A	
Decomposition Temp.	N/A	
Solvent Content	N/A	
Water Content	N/A	
Surface Tension	N/A	
Conductivity	N/A	
Miscellaneous Data	N/A	
Solubility	N/A	

10 - Stability and Reactivity

STABILITY
Stable: Stable.
Materials to Avoid: Strong oxidizing agents.

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS
Hazardous Decomposition Products: Nature of decomposition products not known.

HAZARDOUS POLYMERIZATION
Hazardous Polymerization: Will not occur

11 - Toxicological Information

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE
To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

ROUTE OF EXPOSURE
Skin Contact: May cause skin irritation.
Skin Absorption: May be harmful if absorbed through the skin.
Eye Contact: May cause eye irritation.
Inhalation: Material may be irritating to mucous membranes and upper respiratory tract. May be harmful if inhaled.
Ingestion: May be harmful if swallowed.

12 - Ecological Information

No data available.

13 - Disposal Considerations

SUBSTANCE DISPOSAL
Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber. Observe all federal, state, and local environmental regulations.

14 - Transport Information

RID/ADR
Non-hazardous for road transport.

IMDG
Non-hazardous for sea transport.

IATA
Non-hazardous for air transport.

15 - Regulatory Information

Not hazardous according to Directive 67/548/EEC.

Caution: Substance not yet fully tested (EU).

16 - Other Information

WARRANTY
The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Inc., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.
Copyright 2010 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimitedpaper copies for internal use only.

DISCLAIMER
For R&D use only. Not for drug, household or other uses.

ภาคผนวก ก.12

เอกสารความปลอดภัยของนาโนไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3)

AC Diagnostics, Inc.
1131 W Cato Springs Road, Fayetteville, AR 72701, USA
Web: www.acdiainc.com
Phone: (479) 595-0320; Fax: (479) 251-1791
Email: infor@acdiainc.com

MSDS of Fe_3O_4 Nanoparticles in water

1. PRODUCT IDENTIFICATION

CAS No.: Fe_3O_4 (1317-61-9), Polyethylene glycol 400 (25322-68-3), Polyethylene glycol monomethyl ether 550 (9004-47-4), Dopamine (62-31-7), Poly(acrylic acid) (9003-01-4), Biotin (58-85-5) and Water (7732-18-5)

Chemical Name: Iron Oxide nanoparticles in water
Chemical Formula: Fe_3O_4 [Fe (II, III) oxide]
Typical Solvent (CAS No): Water (7732-18-5)

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENT (EACH VIAL)

Substance Name	CAS #	Percentage of Whole (by weight)
Iron Oxide	1317-61-9	3%
Organic ligands		2%
Water	7732-18-5	95%

3. HAZARDS IDENTIFICATION

Not known OSHA hazards
NFPA Ratings:
Health: 1
Fire: 0
Reactivity: 0
Potential Health Effects:
Inhalation: May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin: May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes: May cause eye irritation.
Ingestion: May be harmful if swallowed.

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation: Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm. Seek immediate medical advice.
Skin contact: Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly. Seek immediate medical advice.
Eye contact: Rinse opened eye for several minutes under running water. Then consult a doctor.
Ingestion: Rinse mouth with water. Seek immediate medical advice.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Suitable extinguishing agents: Product is not flammable. Use water spray; dry chemical or carbon dioxide fire extinguishers.

Protective equipment: Wear self-contained respirator. Wear fully protective impervious suit.

---

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Person-related safety precautions: Wear protective equipment. Keep unprotected persons away. Ensure adequate ventilation.

Measures for environmental protection: Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

Measures for cleaning/collecting: Dispose contaminated material as waste according to item 12. Ensure adequate ventilation.

---

7. HANDLING AND STORAGE

Information for safe handling: Keep container tightly sealed. Store at 2-8°C. Ensure good ventilation at the workplace.

Requirements to be met by storerooms and receptacles: No special requirements.

---

8. EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

Additional information about design of technical systems: Properly operating chemical fume hood designed for hazardous chemicals and having an average face velocity of atleast 100 feet per minute.

General protective and hygienic measures: The usual precautionary measures for handling chemicals should be followed. Keep away from foodstuffs, beverages, and feed. Remove all soiled and contaminated clothing immediately. Wash hands before breaks and at the end of work. Avoid contact with the eyes and skin.

Protection of hands: Impervious gloves

Eye protection: Safety glasses

Body protection: Protective work clothing.

---

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES:

Form: Liquid form. Nano powder suspended in solvent.

Color: Black

Odor: No order.

Melting point/Melting range: no data

Boiling point/Boiling range: Depends on the solvents used

Flash point: no data

Ignition temperature: no data

Decomposition temperature: no data

Explosion limits: no data

Vapor pressure: no data

---

10. STABILITY AND REACTIVITY

Thermal decomposition / conditions to be avoided: Not determined; store according to recommended storage conditions.

Materials to be avoided: Strong oxidizing agents.
Dangerous reactions: No dangerous reactions known.

---

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Potential Health Effects:
Inhalation: May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin: May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes: May cause eye irritation.
Ingestion: May be harmful if swallowed.
IARC-1: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
NTP-2: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
ACGIH A2: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
OSHA: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.

---

12. ECOLOGICAL INFORMATION:

Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

---

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Consult local or national regulations for proper disposal.

---

14. TRANSPORT INFORMATION

DOT: Not dangerous goods
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods
OSHA: No known OSHA hazards
DLS Status: All components are on the Canadian DSL list
Pennsylvania Right to Know Components: Fe_3O_4, PEG, water
New Jersey Right to Know Components: Fe_3O_4, PEG, water
California Prop. 65: Fe_3O_4 is not toxic, but use precaution when handling.

---

15. OTHER INFORMATION

The information supplied in this document is believed to be correct but does not claim to be all inclusive, and is intended to be used as a guide. This document does not guarantee the properties of the product. AC Diagnostics, Inc. shall not be held liable for damage resulting from handling or contact with the product listed in this document.

AC Diagnostics, Inc.
1131 W Cato Springs Road, Fayetteville,
AR 72701, USA

Web: www.acdiainc.com
Phone: (479) 595-0320; Fax: (479) 251-1791
Email: infor@acdiainc.com

MSDS of Fe_3O_4 Nanoparticles in organic solvents

1. PRODUCT IDENTIFICATION

CAS No.: Fe_3O_4 (1317-61-9), Oleic acid (112-80-1), $CHCl_3$ (67-66-3), hexane (110-54-3), toluene (108-88-3)

Chemical Name: Iron Oxide nanoparticles in organic solvents
Chemical Formula: Fe_3O_4 [Fe (II, III) oxide]
Typical Solvent (CAS No): Toluene (108-88-3), Hexanes (110-54-3), Chloroform (67-66-3), Dichloromethane (75-09-2)

---

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENT (EACH VIAL)

Substance Name	CAS #	Percentage of Whole (by weight)
Iron Oxide	1317-61-9	3%
Oleic Acid	112-80-1	2%
Chloroform	67-66-3	95%

---

3. HAZARDS IDENTIFICATION

Not known OSHA hazards
NFPA Ratings:
Health: 1
Fire: 1
Reactivity: 0
Potential Health Effects:
Inhalation: May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin: May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes: May cause eye irritation.
Ingestion: May be harmful if swallowed.

---

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation: Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm. Seek immediate medical advice.
Skin contact: Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly. Seek immediate medical advice.
Eye contact: Rinse opened eye for several minutes under running water. Then consult a doctor.
Ingestion: Rinse mouth with water. Seek immediate medical advice.

---

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Suitable extinguishing agents: Product is not flammable, but the solvent is. Use water spray; dry chemical or carbon dioxide fire extinguishers.

Protective equipment: Wear self-contained respirator. Wear fully protective impervious suit.

---

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Person-related safety precautions: Wear protective equipment. Keep unprotected persons away. Ensure adequate ventilation.

Measures for environmental protection: Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

Measures for cleaning/collecting: Dispose contaminated material as waste according to item 12. Ensure adequate ventilation.

---

7. HANDLING AND STORAGE

Information for safe handling: Keep container tightly sealed. Store at 2-8°C. Ensure good ventilation at the workplace.

Requirements to be met by storerooms and receptacles: No special requirements.

---

8. EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

Additional information about design of technical systems: Properly operating chemical fume hood designed for hazardous chemicals and having an average face velocity of at least 100 feet per minute.

General protective and hygienic measures: The usual precautionary measures for handling chemicals should be followed. Keep away from foodstuffs, beverages, and feed. Remove all soiled and contaminated clothing immediately. Wash hands before breaks and at the end of work. Avoid contact with the eyes and skin.

Protection of hands: Impervious gloves

Eye protection: Safety glasses

Body protection: Protective work clothing.

---

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES:

Form: Liquid form. Nano powder suspended in solvent.

Color: Black

Odor: Depends on the solvents used.

Melting point/Melting range: no data

Boiling point/Boiling range: Depends on the solvents used

Flash point: no data

Ignition temperature: no data

Decomposition temperature: no data

Explosion limits: no data

Vapor pressure: no data

---

10. STABILITY AND REACTIVITY

Thermal decomposition / conditions to be avoided: Not determined; store according to recommended storage conditions.

Materials to be avoided: Strong oxidizing agents.
Dangerous reactions: No dangerous reactions known.

---

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Potential Health Effects:
Inhalation: May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin: May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes: May cause eye irritation.
Ingestion: May be harmful if swallowed.
IARC-1: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
NTP-2: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
ACGIH A2: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
OSHA: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.

---

12. ECOLOGICAL INFORMATION:

Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

---

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Consult local or national regulations for proper disposal.

---

14. TRANSPORT INFORMATION

DOT: Not dangerous goods
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods
OSHA: No known OSHA hazards
DLS Status: All components are on the Canadian DSL list
Pennsylvania Right to Know Components: Chloroform (CAS 67-66-3)
New Jersey Right to Know Components: Chloroform (CAS 67-66-3)
California Prop. 65: Chloroform is hazard organic, use precaution when handling.

---

15. OTHER INFORMATION

The information supplied in this document is believed to be correct but does not claim to be all inclusive, and is intended to be used as a guide. This document does not guarantee the properties of the product. AC Diagnostics, Inc. shall not be held liable for damage resulting from handling or contact with the product listed in this document.

AC Diagnostics, Inc.
1131 W Cato Springs Road, Fayetteville, AR 72701, USA
Web: www.acdiainc.com
Phone: (479) 595-0320; Fax: (479) 251-1791
Email: infor@acdiainc.com

MSDS of Fe_3O_4 Nanoparticles in water

1. PRODUCT IDENTIFICATION

CAS No.: Fe_3O_4 (1317-61-9), Polyethylene glycol 400 (25322-68-3), Polyethylene glycol monomethyl ether 550 (9004-47-4), Dopamine (62-31-7), Poly(acrylic acid) (9003-01-4), and Water (7732-18-5)

Chemical Name: Iron Oxide nanoparticles in water
Chemical Formula: Fe_3O_4 [Fe (II, III) oxide]
Typical Solvent (CAS No): Water (7732-18-5)

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENT (EACH VIAL)

Substance Name	CAS #	Percentage of Whole (by weight)
Iron Oxide	1317-61-9	3%
Organic ligands		2%
Water	7732-18-5	95%

3. HAZARDS IDENTIFICATION

Not known OSHA hazards
NFPA Ratings:
Health: 1
Fire: 0
Reactivity: 0
Potential Health Effects:
Inhalation: May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin: May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes: May cause eye irritation.
Ingestion: May be harmful if swallowed.

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation: Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm. Seek immediate medical advice.
Skin contact: Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly. Seek immediate medical advice.
Eye contact: Rinse opened eye for several minutes under running water. Then consult a doctor.
Ingestion: Rinse mouth with water. Seek immediate medical advice.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Suitable extinguishing agents: Product is not flammable. Use water spray; dry chemical or carbon dioxide fire extinguishers.

Protective equipment: Wear self-contained respirator. Wear fully protective impervious suit.

---

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Person-related safety precautions: Wear protective equipment. Keep unprotected persons away. Ensure adequate ventilation.

Measures for environmental protection: Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

Measures for cleaning/collecting: Dispose contaminated material as waste according to item 12. Ensure adequate ventilation.

---

7. HANDLING AND STORAGE

Information for safe handling: Keep container tightly sealed. Store at 2-8°C. Ensure good ventilation at the workplace.

Requirements to be met by storerooms and receptacles: No special requirements.

---

8. EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

Additional information about design of technical systems: Properly operating chemical fume hood designed for hazardous chemicals and having an average face velocity of at least 100 feet per minute.

General protective and hygienic measures: The usual precautionary measures for handling chemicals should be followed. Keep away from foodstuffs, beverages, and feed. Remove all soiled and contaminated clothing immediately. Wash hands before breaks and at the end of work. Avoid contact with the eyes and skin.

Protection of hands: Impervious gloves

Eye protection: Safety glasses

Body protection: Protective work clothing.

---

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES:

Form: Liquid form. Nano powder suspended in solvent.

Color: Black

Odor: No order.

Melting point/Melting range: no data

Boiling point/Boiling range: Depends on the solvents used

Flash point: no data

Ignition temperature: no data

Decomposition temperature: no data

Explosion limits: no data

Vapor pressure: no data

---

10. STABILITY AND REACTIVITY

Thermal decomposition / conditions to be avoided: Not determined; store according to recommended storage conditions.

Materials to be avoided: Strong oxidizing agents.
Dangerous reactions: No dangerous reactions known.

---

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Potential Health Effects:
Inhalation: May be harmful if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Skin: May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes: May cause eye irritation.
Ingestion: May be harmful if swallowed.
IARC-1: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
NTP-2: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
ACGIH A2: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.
OSHA: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible, or confirmed human carcinogen.

---

12. ECOLOGICAL INFORMATION:

Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

---

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Consult local or national regulations for proper disposal.

---

14. TRANSPORT INFORMATION

DOT: Not dangerous goods
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods
OSHA: No known OSHA hazards
DLS Status: All components are on the Canadian DSL list
Pennsylvania Right to Know Components: Fe_3O_4, PEG, water
New Jersey Right to Know Components: Fe_3O_4, PEG, water
California Prop. 65: Fe_3O_4 is not toxic, but use precaution when handling.

---

15. OTHER INFORMATION

The information supplied in this document is believed to be correct but does not claim to be all inclusive, and is intended to be used as a guide. This document does not guarantee the properties of the product. AC Diagnostics, Inc. shall not be held liable for damage resulting from handling or contact with the product listed in this document.

Iron Oxide Nanoparticles (Fe2O3)

US Research Nanomaterials, Inc.

Material Safety Data Sheet

acc. to OSHA and ANSI

1 Identification of substance:

• Product details:
• Trade name: Fe2O3,C
• Stock number: US3180
• Manufacturer/Supplier:
US Research Nanomaterials, Inc.
3302 Twig Leaf Lane
Houston, Texas 77084, USA
www.us-nano.com

2 Composition/Data on components:

• Chemical characterization:
Description: (CAS#)
Iron (III) oxide (CAS# 1309-37-1), 100%

• Identification number(s):
• EINECS Number: 215-168-2

3 Hazards identification

• Hazard description: Xi Irritant

• Information pertaining to particular dangers for man and Environment
R 36/37/38 Irritating to eyes, respiratory system and skin.

4 First aid measures

• After inhalation
Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm.
Seek immediate medical advice.

• After skin contact
Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.
Seek immediate medical advice.

• After eye contact

Rinse opened eye for several minutes under running water.
Then consult a doctor.

·After swallowing Seek immediate medical advice.

5 Fire fighting measures

·Suitable extinguishing agents
Product is not flammable. Use fire fighting measures that suit the surrounding fire.

·Protective equipment:
Wear self-contained respirator.
Wear fully protective impervious suit.

6 Accidental release measures

·Person-related safety precautions:
Wear protective equipment. Keep unprotected persons away.
Ensure adequate ventilation

·Measures for environmental protection:
Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

·Measures for cleaning/collecting: Ensure adequate ventilation.

·Additional information:
See Section 7 for information on safe handling
See Section 8 for information on personal protection equipment.
See Section 13 for disposal information.

7 Handling and storage

·Handling

·Information for safe handling:
Keep container tightly sealed.
Store in cool, dry place in tightly closed containers.
Ensure good ventilation at the workplace.

·Information about protection against explosions and fires:
The product is not flammable

· Storage

· Requirements to be met by storerooms and receptacles:
No special requirements.

· Information about storage in one common storage facility:
Do not store together with oxidizing and acidic materials.

· Further information about storage conditions:
Keep container tightly sealed.
Store in cool, dry conditions in well sealed containers.

8 Exposure controls and personal protection

· Additional information about design of technical systems:
Properly operating chemical fume hood designed for hazardous chemicals and having an average face velocity of at least 100 feet per minute.

Components with limit values that require monitoring at the workplace:

Iron (III) oxide

	mg/m³
ACGIH TLV	5
Austria MAK	6 (dust)
Belgium TWA	5 (fume)
Denmark TWA	3.5(Fe)
Finland TWA	5 ppm (fume)
France VME	5 (fume)
Germany MAK	6 (fume)
Korea TLV	5
Netherlands MAC-TGG	10
	5 (fume)
Norway TWA	3
Poland TWA	5 (fume); 10-STEL
Sweden NGV	3.5 (fume)
Switzerland MAK-W	6 (fume)
United Kingdom TWA	5(Fe); 10(Fe)-STEL
	10 (rouge, total inhalable dust)
	4 (rouge, respirable dust)
OSHA PEL	15 (total dust)
	5 (respirable fraction)

· Additional information: No data

· Personal protective equipment

·General protective and hygienic measures
The usual precautionary measures for handling chemicals should be followed.
Keep away from foodstuffs, beverages and feed.
Remove all soiled and contaminated clothing immediately.
Wash hands before breaks and at the end of work.
Avoid contact with the eyes and skin.

·Breathing equipment:
Use suitable respirator when high concentrations are present.

·Protection of hands: Impervious gloves

·Eye protection: Safety glasses

·Body protection: Protective work clothing.

9 Physical and chemical properties:

·General Information

·Form: Powder

·Color: Red-brown

·Odor: Odorless

·	Value/Range	Unit	Method
·Change in condition			
·Melting point/Melting range: (dec)	1565	° C	
·Boiling point/Boiling range:	Not determined		
·Sublimation temperature / start:	Not determined		
·Flash point:	Not applicable		
·Flammability (solid, gaseous)	Product is not flammable.		
·Ignition temperature:	Not determined		

·Decomposition temperature: Not determined

·Danger of explosion:
Product does not present an explosion hazard.

·Explosion limits:

·Lower: Not determined

·Upper: Not determined

·Vapor pressure: Not determined

·Density: at 20 ° C 5.24 g/cm³

·Solubility in / Miscibility with

·Water: Insoluble
Not determined

10 Stability and reactivity

·Thermal decomposition / conditions to be avoided:
Decomposition will not occur if used and stored according to specifications.

·Materials to be avoided:
Acids
Oxidizing agents
Aluminum/aluminum alloys.
Magnesium

·Dangerous reactions No dangerous reactions known

·Dangerous products of decomposition: Metal oxide fume

11 Toxicological information

·Acute toxicity:

·Primary irritant effect:

·on the skin: Irritant to skin and mucous membranes.

·on the eye: Irritating effect.

· Sensitization: No sensitizing effects known.

· Other information (about experimental toxicology):
Tumorigenic effects have been observed on tests with laboratory animals.

· Subacute to chronic toxicity:
Iron compounds may cause vomiting, diarrhea, pink urine, black stool, and liver damage. May cause damage to the kidneys. Irritating to the respiratory tract, they may cause pulmonary fibrosis if dusts are inhaled.

· Additional toxicological information:
To the best of our knowledge the acute and chronic toxicity of this substance is not fully known.
ACGIH A4: Not classifiable as a human carcinogen:
Inadequate data on which to classify the agent in terms of it's carcinogenicity in humans and/or animals.
The Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) contains tumorigenic and/or carcinogenic and/or neoplastic data for components in this product.

12 Ecological information:

· General notes:
Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

13 Disposal considerations

· Product:

· Recommendation
Consult state, local or national regulations to ensure proper disposal.

· Uncleaned packagings:

· Recommendation:
Disposal must be made according to official regulations.

14 Transport information
Not a hazardous material for transportation.

· DOT regulations:

· Hazard class: None

· Land transport ADR/RID (cross-border)

· ADR/RID class: None

· Maritime transport IMDG:

· IMDG Class: None

· Air transport ICAO-TI and IATA-DGR:

· ICAO/IATA Class: None

· Transport/Additional information:
Not dangerous according to the above specifications.

15 Regulations

· Product related hazard informations:

· Hazard symbols: Xi Irritant

· Risk phrases:
36/37/38 Irritating to eyes, respiratory system and skin.

· Safety phrases:
26 In case of contact with eyes, rinse immediately
with plenty of water and seek medical advice. 37/39
Wear suitable gloves and eye/face protection.

· National regulations
All components of this product are listed in the U.S.
Environmental Protection Agency Toxic Substances Control
Act Chemical Substance Inventory.

· Information about limitation of use:
For use only by technically qualified individuals.

16 Other information:
·
Employers should use this information only as a supplement to
other information gathered by them, and should make
independent judgement of suitability of this information to

ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Material Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

Iron Oxide Nanopowder Water Dispersion (Fe2O3)

US Research Nanomaterials, Inc.

Material Safety Data Sheet

acc. to OSHA and ANSI

1 Identification of substance:

- Product details:
- Trade name: 20wt% Fe2O3,α in 80wt% Water Dispersion
- Stock number: US7220
- Manufacturer/Supplier:

US Research Nanomaterials, Inc.
3302 Twig Leaf Lane
Houston, Texas 77084, USA
www.us-nano.com

2 Composition/Data on components:

- Chemical characterization:

Description: (CAS#)
20wt% Iron(III)oxide(CAS#1309-37-1) + 80wt% water(CAS#7732-18-5)

- Identification number(s):
- EINECS Number: 215-168-2

3 Hazards identification

- Hazard description: Xi Irritant

- Information pertaining to particular dangers for man and Environment

R 36/37/38 Irritating to eyes, respiratory system and skin.

4 First aid measures

- After inhalation

Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm.
Seek immediate medical advice.

- After skin contact

Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.
Seek immediate medical advice.

- After eye contact

Rinse opened eye for several minutes under running water.
Then consult a doctor.

· After swallowing Seek immediate medical advice.

5 Fire fighting measures

· Suitable extinguishing agents
Product is not flammable. Use fire fighting measures that suit the surrounding fire.

· Protective equipment:
Wear self-contained respirator.
Wear fully protective impervious suit.

6 Accidental release measures

· Person-related safety precautions:
Wear protective equipment. Keep unprotected persons away.
Ensure adequate ventilation

· Measures for environmental protection:
Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

· Measures for cleaning/collecting: Ensure adequate ventilation.

· Additional information:
See Section 7 for information on safe handling
See Section 8 for information on personal protection equipment.
See Section 13 for disposal information.

7 Handling and storage

· Handling

· Information for safe handling:
Keep container tightly sealed.
Store in cool, dry place in tightly closed containers.
Ensure good ventilation at the workplace.

· Information about protection against explosions and fires:
The product is not flammable

· Storage

· Requirements to be met by storerooms and receptacles:
No special requirements.

· Information about storage in one common storage facility:
Do not store together with oxidizing and acidic materials.

· Further information about storage conditions:
Keep container tightly sealed.
Store in cool, dry conditions in well sealed containers.

8 Exposure controls and personal protection

· Additional information about design of technical systems:
Properly operating chemical fume hood designed for hazardous chemicals and having an average face velocity of at least 100 feet per minute.

Components with limit values that require monitoring at the workplace:

Iron (III) oxide

	mg/m³
ACGIH TLV	5
Austria MAK	6 (dust)
Belgium TWA	5 (fume)
Denmark TWA	3.5(Fe)
Finland TWA	5 ppm (fume)
France VME	5 (fume)
Germany MAK	6 (fume)
Korea TLV	5
Netherlands MAC-TGG	10
	5 (fume)
Norway TWA	3
Poland TWA	5 (fume); 10-STEL
Sweden NGV	3.5 (fume)
Switzerland MAK-W	6 (fume)
United Kingdom TWA	5(Fe); 10(Fe)-STEL
	10 (rouge, total inhalable dust)
	4 (rouge, respirable dust)
OSHA PEL	15 (total dust)
	5 (respirable fraction)

· Additional information: No data

· Personal protective equipment

·General protective and hygienic measures
The usual precautionary measures for handling chemicals should be followed.
Keep away from foodstuffs, beverages and feed.
Remove all soiled and contaminated clothing immediately.
Wash hands before breaks and at the end of work.
Avoid contact with the eyes and skin.

·Breathing equipment:
Use suitable respirator when high concentrations are present.

·Protection of hands: Impervious gloves

·Eye protection: Safety glasses

·Body protection: Protective work clothing.

9 Physical and chemical properties:

·General Information

·Form: Powder

·Color: Red-brown

·Odor: Odorless

·	Value/Range	Unit	Method
·Change in condition			
·Melting point/Melting range: (dec)	1565	°	C
·Boiling point/Boiling range:	Not determined		
·Sublimation temperature / start:	Not determined		
·Flash point:	Not applicable		
·Flammability (solid, gaseous)	Product is not flammable.		
·Ignition temperature:	Not determined		

· Decomposition temperature: Not determined

· Danger of explosion:
Product does not present an explosion hazard.

· Explosion limits:

· Lower: Not determined

· Upper: Not determined

· Vapor pressure: Not determined

· Density: at 20 ° C 5.24 g/cm³

· Solubility in / Miscibility with

· Water: Insoluble
Not determined

10 Stability and reactivity

· Thermal decomposition / conditions to be avoided:
Decomposition will not occur if used and stored according to specifications.

· Materials to be avoided:
Acids
Oxidizing agents
Aluminum/aluminum alloys.
Magnesium

· Dangerous reactions No dangerous reactions known

· Dangerous products of decomposition: Metal oxide fume

11 Toxicological information

· Acute toxicity:

· Primary irritant effect:

· on the skin: Irritant to skin and mucous membranes.

· on the eye: Irritating effect.

• Sensitization: No sensitizing effects known.

• Other information (about experimental toxicology):
Tumorigenic effects have been observed on tests with laboratory animals.

• Subacute to chronic toxicity:
Iron compounds may cause vomiting, diarrhea, pink urine, black stool, and liver damage. May cause damage to the kidneys. Irritating to the respiratory tract, they may cause pulmonary fibrosis if dusts are inhaled.

• Additional toxicological information:
To the best of our knowledge the acute and chronic toxicity of this substance is not fully known.
ACGIH A4: Not classifiable as a human carcinogen:
Inadequate data on which to classify the agent in terms of it's carcinogenicity in humans and/or animals.
The Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) contains tumorigenic and/or carcinogenic and/or neoplastic data for components in this product.

12 Ecological information:

• General notes:
Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

13 Disposal considerations

• Product:

• Recommendation
Consult state, local or national regulations to ensure proper disposal.

• Uncleaned packagings:

• Recommendation:
Disposal must be made according to official regulations.

14 Transport information
Not a hazardous material for transportation.

· DOT regulations:

· Hazard class: None

· Land transport ADR/RID (cross-border)

· ADR/RID class: None

· Maritime transport IMDG:

· IMDG Class: None

· Air transport ICAO-TI and IATA-DGR:

· ICAO/IATA Class: None

· Transport/Additional information:
Not dangerous according to the above specifications.

15 Regulations

· Product related hazard informations:

· Hazard symbols: Xi Irritant

· Risk phrases:
36/37/38 Irritating to eyes, respiratory system and skin.

· Safety phrases:
26 In case of contact with eyes, rinse immediately
with plenty of water and seek medical advice. 37/39
Wear suitable gloves and eye/face protection.

· National regulations
All components of this product are listed in the U.S.
Environmental Protection Agency Toxic Substances Control
Act Chemical Substance Inventory.

· Information about limitation of use:
For use only by technically qualified individuals.

16 Other information:
·
Employers should use this information only as a supplement to
other information gathered by them, and should make
independent judgement of suitability of this information to

ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Material Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

ภาคผนวก ก.13

เอกสารความปลอดภัยของอลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3)

Aluminum Oxide (Al2O3) Nanopowder Water Dispersion

US Research Nanomaterials, Inc.
Material Safety Data Sheet
acc. to OSHA and ANSI

1 Identification of substance:

- **Trade name:** Aluminum oxide, alpha, 20% in Water, Dispersion
- **Stock number:** US7010
- **Manufacturer/Supplier:**
  US Research Nanomaterials, Inc.
  3302 Twig Leaf Lane
  Houston, Texas 77084, USA
  www.us-nano.com

2 Composition/Data on components:

- **Chemical characterization:**
  Description: (CAS#)
  Aluminum oxide (CAS# 1344-28-1), 20%
  Water (CAS# 7732-18-5), 80%
- **Identification number(s):**
- **EINECS Number:** 215-691-6

3 Hazards identification

- **Hazard description:** Xi Irritant
- **Information pertaining to particular dangers for man and environment**
  R 37 Irritating to respiratory system.

4 First aid measures

- **After inhalation**
  Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm.
  Seek immediate medical advice.
- **After skin contact**
  Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.

Seek immediate medical advice.

- **After eye contact**
  Rinse opened eye for several minutes under running water.
  Then consult a doctor.
- **After swallowing** Seek immediate medical advice.
- **Information for doctor**
- **The following symptoms may occur:**
  Gastric or intestinal disorders.
  Coughing
  Breathing difficulty

5 Fire fighting measures

- **Suitable extinguishing agents**
  Product is not flammable. Use fire fighting measures that suit the surrounding fire.
- **For safety reasons unsuitable extinguishing agents**
  Halogenated extinguisher
- **Protective equipment:**
  Wear self-contained respirator.
  Wear fully protective impervious suit.

6 Accidental release measures

- **Person-related safety precautions:**
  Wear protective equipment. Keep unprotected persons away.
  Ensure adequate ventilation
- **Measures for environmental protection:**
  Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.
- **Measures for cleaning/collecting:**
  Dispose contaminated material as waste according to item 13.
  Ensure adequate ventilation.
- **Additional information:**
  See Section 7 for information on safe handling
  See Section 8 for information on personal protection equipment.
  See Section 13 for disposal information.

7 Handling and storage

- **Handling**
- **Information for safe handling:**
  Keep container tightly sealed.
  Store in cool, dry place in tightly closed containers.
  Ensure good ventilation at the workplace.
  Prevent formation of dust.
- **Information about protection against explosions and fires:**
  The product is not flammable
- **Storage**
- **Requirements to be met by storerooms and receptacles:**
  No special requirements.
- **Information about storage in one common storage facility:**
  Do not store together with acids.
  Do not store together with alkalies (caustic solutions).
  Store away from oxidizing agents.
- **Further information about storage conditions:**
  Keep container tightly sealed.
  Store in cool, dry conditions in well sealed containers.

8 Exposure controls and personal protection

- **Additional information about design of technical systems:**
  Properly operating chemical fume hood designed for hazardous chemicals and having an average face velocity of at least 100 feet per minute.

Components with limit values that require monitoring at the workplace:

Aluminum oxide

	mg/m³
ACGIH TLV	10; A4
Belgium TWA	10
Denmark	10
France TWA	10
Germany TWA	1.5 (respirable fraction of the aerosol)

Ireland TWA	5 (respirable dust)
	10 (total inhalable dust)
Netherlands TWA	10 (inhalable)
Russia TWA	4-STEL
Switzerland TWA	6
OSHA PEL	5 (respirable fraction)
	15 (total dust)

- **Additional information:** No data

- **Personal protective equipment**

- **General protective and hygienic measures**
  The usual precautionary measures for handling chemicals should be followed.
  Keep away from foodstuffs, beverages and feed.
  Remove all soiled and contaminated clothing immediately.
  Wash hands before breaks and at the end of work.

- **Breathing equipment:**
  Use suitable respirator when high concentrations are present.

- **Protection of hands:** Impervious gloves

- **Eye protection:** Safety glasses

- **Body protection:** Protective work clothing.

9 Physical and chemical properties:

- **General Information**

- **Form:** Powder

- **Color:** White

- **Odor:** Odorless

	Value/Range	Unit	Method
Change in condition			
Melting point/Melting range:	Not determined		
Boiling point/Boiling range:	Not determined		

- **Sublimation temperature / start:** Not determined
- **Flash point:** Not applicable
- **Flammability (solid, gaseous)** Product is not flammable.
- **Ignition temperature:** Not determined
- **Decomposition temperature:** Not determined
- **Danger of explosion:**
  Product does not present an explosion hazard.
- **Explosion limits:**
- **Lower:** Not determined
- **Upper:** Not determined
- **Vapor pressure:** Not determined
- **Density:** at 20 ° C 3.5-3.9 g/cm³
- **Solubility in / Miscibility with**
- **Water:** Insoluble
  Not determined

10 Stability and reactivity

- **Thermal decomposition / conditions to be avoided:**
  Decomposition will not occur if used and stored according to specifications.
- **Materials to be avoided:**
  Acids
  Bases
  Oxidizing agents
  Interhalogens
  Halocarbons
- **Dangerous reactions** Exothermic reaction with water
- **Dangerous products of decomposition:** Metal oxide fume

11 Toxicological information

- **Acute toxicity:**
- **Primary irritant effect:**
- **on the skin:** Irritant to skin and mucous membranes.
- **on the eye:** Irritating effect.
- **Sensitization:** No sensitizing effects known.
- **Other information (about experimental toxicology):**
  Tumorigenic effects have been observed on tests with laboratory animals.
- **Subacute to chronic toxicity:**
  Aluminum may be implicated in Alzheimers disease.
  Inhalation of aluminum containing dusts may cause pulmonary disease.
- **Subacute to chronic toxicity:**
  Aluminum oxide has caused tumors and neoplasms in experimental animals via implant.
- **Additional toxicological information:**
  To the best of our knowledge the acute and chronic toxicity of this substance is not fully known.
  ACGIH A4: Not classifiable as a human carcinogen:
  Inadequate data on which to classify the agent in terms of it's carcinogenicity in humans and/or animals.
  The Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) contains tumorigenic and/or carcinogenic and/or neoplastic data for components in this product.

12 Ecological information:

- **General notes:**
  Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

13 Disposal considerations

- **Product:**
- **Recommendation**
  Consult state, local or national regulations to ensure proper disposal.

- **Uncleaned packagings:**
- **Recommendation:**
  Disposal must be made according to official regulations.

14 Transport information

Not a hazardous material for transportation.

- **DOT regulations:**
- **Hazard class:** None
- **Land transport ADR/RID (cross-border)**
- **ADR/RID class:** None
- **Maritime transport IMDG:**
- **IMDG Class:** None
- **Air transport ICAO-TI and IATA-DGR:**
- **ICAO/IATA Class:** None
- **Transport/Additional information:**
  Not dangerous according to the above specifications.

15 Regulations

- **Product related hazard informations:**
- **Hazard symbols:** Xi Irritant
- **Risk phrases:** 37 Irritating to respiratory system.
- **Safety phrases:**
  22 Do not breathe dust.
  36 Wear suitable protective clothing.
  38 In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment.
- **National regulations**
  All components of this product are listed in the U.S. Environmental Protection Agency Toxic Substances Control Act Chemical Substance Inventory.
- **Information about limitation of use:**

For use only by technically qualified individuals.

16 Other information:

- Employers should use this information only as a supplement to other information gathered by them, and should make independent judgement of suitability of this information to ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Material Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

Aluminum Oxide Nanoparticles (Al2O3)

US Research Nanomaterials, Inc.

Material Safety Data Sheet

acc. to OSHA and ANSI

1 Identification of substance:

- **Trade name:** Aluminum oxide, Gamma
- **Stock number:** US3024
- **Manufacturer/Supplier:**
  US Research Nanomaterials, Inc.
  3302 Twig Leaf Lane
  Houston, Texas 77084, USA
  www.us-nano.com

2 Composition/Data on components:

- **Chemical characterization:**
  Description: (CAS#)
  Aluminum oxide (CAS# 1344-28-1), 100%
- **Identification number(s):**
- **EINECS Number:** 215-691-6

3 Hazards identification

- **Hazard description:** Xi Irritant
- **Information pertaining to particular dangers for man and environment**
  R 37 Irritating to respiratory system.

4 First aid measures

- **After inhalation**
  Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm.
  Seek immediate medical advice.
- **After skin contact**

Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.
Seek immediate medical advice.

- **After eye contact**
  Rinse opened eye for several minutes under running water.
  Then consult a doctor.
- **After swallowing** Seek immediate medical advice.
- **Information for doctor**
- **The following symptoms may occur:**
  Gastric or intestinal disorders.
  Coughing
  Breathing difficulty

5 Fire fighting measures

- **Suitable extinguishing agents**
  Product is not flammable. Use fire fighting measures that suit the surrounding fire.
- **For safety reasons unsuitable extinguishing agents**
  Halogenated extinguisher
- **Protective equipment:**
  Wear self-contained respirator.
  Wear fully protective impervious suit.

6 Accidental release measures

- **Person-related safety precautions:**
  Wear protective equipment. Keep unprotected persons away.
  Ensure adequate ventilation
- **Measures for environmental protection:**
  Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.
- **Measures for cleaning/collecting:**
  Dispose contaminated material as waste according to item 13.
  Ensure adequate ventilation.
- **Additional information:**
  See Section 7 for information on safe handling
  See Section 8 for information on personal protection equipment.

See Section 13 for disposal information.

7 Handling and storage

- **Handling**
- **Information for safe handling:**
  Keep container tightly sealed.
  Store in cool, dry place in tightly closed containers.
  Ensure good ventilation at the workplace.
  Prevent formation of dust.
- **Information about protection against explosions and fires:**
  The product is not flammable
- **Storage**
- **Requirements to be met by storerooms and receptacles:**
  No special requirements.
- **Information about storage in one common storage facility:**
  Do not store together with acids.
  Do not store together with alkalies (caustic solutions).
  Store away from oxidizing agents.
- **Further information about storage conditions:**
  Keep container tightly sealed.
  Store in cool, dry conditions in well sealed containers.

8 Exposure controls and personal protection

- **Additional information about design of technical systems:**
  Properly operating chemical fume hood designed for hazardous chemicals and having an average face velocity of at least 100 feet per minute.

Components with limit values that require monitoring at the workplace:

Aluminum oxide

	mg/m³
ACGIH TLV	10; A4
Belgium TWA	10
Denmark	10
France TWA	10
Germany TWA	1.5 (respirable fraction of the

aerosol)

Ireland TWA	5 (respirable dust)
	10 (total inhalable dust)
Netherlands TWA	10 (inhalable)
Russia TWA	4-STEL
Switzerland TWA	6
OSHA PEL	5 (respirable fraction)
	15 (total dust)

- **Additional information:** No data

- **Personal protective equipment**

- **General protective and hygienic measures**
  The usual precautionary measures for handling chemicals should be followed.
  Keep away from foodstuffs, beverages and feed.
  Remove all soiled and contaminated clothing immediately.
  Wash hands before breaks and at the end of work.

- **Breathing equipment:**
  Use suitable respirator when high concentrations are present.

- **Protection of hands:** Impervious gloves

- **Eye protection:** Safety glasses

- **Body protection:** Protective work clothing.

9 **Physical and chemical properties:**

- **General Information**

- **Form:** Powder

- **Color:** White

- **Odor:** Odorless

	Value/Range	Unit	Method
Change in condition			
Melting point/Melting range:	Not determined		
Boiling point/Boiling range:	Not determined		

- **Sublimation temperature / start:** Not determined
- **Flash point:** Not applicable
- **Flammability (solid, gaseous)** Product is not flammable.
- **Ignition temperature:** Not determined
- **Decomposition temperature:** Not determined
- **Danger of explosion:**
  Product does not present an explosion hazard.
- **Explosion limits:**
- **Lower:** Not determined
- **Upper:** Not determined
- **Vapor pressure:** Not determined
- **Density:** at 20 ° C 3.5-3.9 g/cm³
- **Solubility in / Miscibility with**
- **Water:** Insoluble
  Not determined

10 Stability and reactivity

- **Thermal decomposition / conditions to be avoided:**
  Decomposition will not occur if used and stored according to specifications.
- **Materials to be avoided:**
  Acids
  Bases
  Oxidizing agents
  Interhalogens
  Halocarbons
- **Dangerous reactions** Exothermic reaction with water
- **Dangerous products of decomposition:** Metal oxide fume

11 Toxicological information

- **Acute toxicity:**
- **Primary irritant effect:**
- **on the skin:** Irritant to skin and mucous membranes.
- **on the eye:** Irritating effect.
- **Sensitization:** No sensitizing effects known.
- **Other information (about experimental toxicology):**
  Tumorigenic effects have been observed on tests with laboratory animals.
- **Subacute to chronic toxicity:**
  Aluminum may be implicated in Alzheimers disease.
  Inhalation of aluminum containing dusts may cause pulmonary disease.
- **Subacute to chronic toxicity:**
  Aluminum oxide has caused tumors and neoplasms in experimental animals via implant.
- **Additional toxicological information:**
  To the best of our knowledge the acute and chronic toxicity of this substance is not fully known.
  ACGIH A4: Not classifiable as a human carcinogen:
  Inadequate data on which to classify the agent in terms of it's carcinogenicity in humans and/or animals.
  The Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) contains tumorigenic and/or carcinogenic and/or neoplastic data for components in this product.

12 Ecological information:

- **General notes:**
  Do not allow material to be released to the environment without proper governmental permits.

13 Disposal considerations

- **Product:**
- **Recommendation**
  Consult state, local or national regulations to ensure proper disposal.

- **Uncleaned packagings:**
- **Recommendation:**
  Disposal must be made according to official regulations.

14 Transport information

Not a hazardous material for transportation.

- **DOT regulations:**
- **Hazard class:** None
- **Land transport ADR/RID (cross-border)**
- **ADR/RID class:** None
- **Maritime transport IMDG:**
- **IMDG Class:** None
- **Air transport ICAO-TI and IATA-DGR:**
- **ICAO/IATA Class:** None
- **Transport/Additional information:**
  Not dangerous according to the above specifications.

15 Regulations

- **Product related hazard informations:**
- **Hazard symbols:** Xi Irritant
- **Risk phrases:** 37 Irritating to respiratory system.
- **Safety phrases:**
  22 Do not breathe dust.
  36 Wear suitable protective clothing.
  38 In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment.
- **National regulations**
  All components of this product are listed in the U.S. Environmental Protection Agency Toxic Substances Control Act Chemical Substance Inventory.
- **Information about limitation of use:**

For use only by technically qualified individuals.

16 Other information:

- Employers should use this information only as a supplement to other information gathered by them, and should make independent judgement of suitability of this information to ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Material Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

ภาคผนวก ก.14

เอกสารความปลอดภัยของคาร์บอนแบลค (Carbon black)

JACAAB L.L.C.

MSDS

SECTION 1 PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

MATERIAL SAFETY DATA SHEET
CARBON BLACK
ACETYLENE BLACK

Company Identification:
JACAAB LLC
4155 Manchester Avenue
St. Louis, MO 63110

Product Information:
MSDS Requests: (314) 652-5400
Technical Information: (800) 852-5531

24-Hour Emergency Telephone Numbers
HEALTH: CHEMTREC 800-424-9300

SECTION 2 COMPOSITION/ INFORMATION ON INGREDIENTS

COMPONENT	CAS NUMBER	AMOUNT
CARBON BLACK	1333-86-4	100.00 % weight

Occupational Exposure Limits:

Component	Limit	TWA	STEL	Ceiling	Notation
CARBON BLACK	ACGIH TLV	3.5 mg/m3	NA	NA	NA
CARBON BLACK	OSHA_PEL	3.5 mg/m3	NA	NA	NA

SECTION 3 HAZARDS IDENTIFICATION

****

EMERGENCY OVERVIEW

Odorless black powder.

- MAY CAUSE RESPIRATORY TRACT IRRITATION IF INHALED

****

IMMEDIATE HEALTH EFFECTS:

Eye: Not expected to cause prolonged or significant eye irritation.

Skin: Not expected to be harmful to internal organs if absorbed through the skin. Contact with the skin is not expected to cause prolonged or significant irritation.

Ingestion: Not expected to be harmful if swallowed.

Inhalation: The dust from this material may cause respiratory irritation. Symptoms of respiratory irritation may include coughing and difficulty breathing.

DELAYED OR OTHER HEALTH EFFECTS:

Cancer: May cause cancer in laboratory animals, but the available information is inadequate to determine if this material can cause cancer in humans.

See Section 11 for additional information. Risk depends on duration and level of exposure.

MSDS

SECTION 4 FIRST AID MEASURES

Eye: No specific first aid measures are required because this material is not expected to cause eye irritation. As a precaution, remove contact lenses, if worn, and flush eyes with water.
Skin: To remove the material from skin, use soap and water. Discard contaminated clothing and shoes or thoroughly clean before reuse.
Ingestion: If swallowed, do not induce vomiting. Give the person a glass of water or milk to drink and get medical attention. Never give anything by mouth to an unconscious person.
Inhalation: Move the exposed person to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical attention if breathing difficulties continue.

SECTION 5 FIRE FIGHTING MEASURES

The ignition temperature of this material in air is approximately 900C. If ignited, flames may not be visible in the burning powder. Some heat and smoke may be noticeable. Soaking with water may spread the fire due to the burning powder floating on the water. High pressure fire extinguishing equipment may blow the burning powder into other areas resulting in more fires. RECOMMENDED ACTION: If possible, isolate the burning powder into an open area (preferably outside), monitor, and allow the fire to burn it out. Gently applying a fine water mist to the area of the fire may be helpful. Stop spraying if water starts to puddle. Eliminating the source of oxygen may also be helpful. DO NOT spray with high pressure fire extinguishers.

NFPA RATINGS: Health: 1 Flammability: 1 Reactivity: 0
FLAMMABLE PROPERTIES:
Flashpoint: NDA
Autoignition: 900 °C (1652°F)
Flammability (Explosive) Limits (% by volume in air): Lower: NA Upper: NA

PROTECTION OF FIRE FIGHTERS:
Fire Fighting Instructions: For fires involving this material, do not enter any enclosed or confined fire space without proper protective equipment, including self-contained breathing apparatus. This material will burn although it is not easily ignited.
Combustion Products: Normal combustion forms carbon dioxide and water vapor; incomplete combustion can produce carbon monoxide.

SECTION 6 ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Spill Management: Clean up spills immediately, observing precautions in Exposure Controls/Personal Protection section. Sweep up material and place in a disposable container.
Reporting: This product is neither listed as a hazardous waste nor does it exhibit any of the characteristics that would cause it to be classified or disposed of as a RCRA hazardous waste.

SECTION 7 HANDLING AND STORAGE

READ AND OBSERVE ALL PRECAUTIONS ON PRODUCT LABEL. REFER TO PRODUCT LABEL OR MANUFACTURERS TECHNICAL BULLETINS FOR THE PROPER USE AND HANDLING OF THIS MATERIAL.

Precautionary Measures: Do not get in eyes, on skin, or on clothing. Wash thoroughly after handling.
Static Hazard: Electrostatic charge may accumulate and create a hazardous condition when handling this material. To minimize this hazard, bonding and grounding may be necessary but may not, by themselves, be sufficient. Review all

operations, which have the potential of generating an accumulation of electrostatic charge and/or a flammable atmosphere (including tank and container filling, splash filling, tank cleaning, sampling, gauging, switch loading, filtering, mixing, agitation, and vacuum truck operations) and use appropriate mitigating procedures. For more information, refer to OSHA Standard 29 CFR 1910.106, 'Flammable and Combustible Liquids', National Fire Protection Association (NFPA 77), 'Recommended Practice on Static Electricity', and/or the American Petroleum Institute (API) Recommended Practice 2003, 'Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents'.

SECTION 8 EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

GENERAL CONSIDERATIONS:
Consider the potential hazards of this material (see Section 3), applicable exposure limits, job activities, and other substances in the work place when designing engineering controls and selecting personal protective equipment. If engineering controls or work practices are not adequate to prevent exposure to harmful levels of this material, the personal protective equipment listed below is recommended. The user should read and understand all instructions and limitations supplied with the equipment since protection is usually provided for a limited time or under certain circumstances.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT:
Eye/Face Protection: No special eye protection is normally required. Where splashing is possible, wear safety glasses with side shields as a good safety practice.
Skin Protection: Wear impervious protective clothing to prevent skin contact. Selection of protective clothing may include gloves, apron, boots, and complete facial protection depending on operations conducted. Users should determine acceptable performance characteristics of protective clothing. Consider physical requirements and other substances present when selecting protective clothing. Suggested materials for protective gloves include: No skin protection is ordinarily required under normal conditions of use.
Respiratory Protection: Wear a NIOSH approved respirator that provides protection when working with this material if exposure to harmful levels of airborne material may occur, such as: Air-Purifying Respirator for Dusts and Mists

Occupational Exposure Limits:

Component	Limit	TWA	STEL	Ceiling	Notation
CARBON BLACK	ACGIH TLV	3.5 mg/m3	NA	NA	NA
CARBON BLACK	OSHA_PEL	3.5 mg/m3	NA	NA	NA

SECTION 9 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

APPEARANCE AND ODOR: Odorless black powder.
pH: 6.5 - 7.5
VAPOR PRESSURE: NA
VAPOR DENSITY (AIR=1): NA
BOILING POINT: 3500 °C (6332°F)
SOLUBILITY: NDA
DENSITY: 1.75 g/cm3

SECTION 10 STABILITY AND REACTIVITY

Chemical Stability: This material is considered stable under normal ambient and anticipated storage and handling conditions of temperature and pressure.
Conditions to Avoid: No Data Available

MSDS

Incompatibility With Other Materials: No data available
Hazardous Decomposition Products: No Data Available
Hazardous Polymerization: Hazardous polymerization will not occur.

SECTION 11 TOXICOLOGICAL INFORMATION

IMMEDIATE HEALTH EFFECTS:

Acute Oral Toxicity: The oral LD50 is undetermined.
Acute Dermal Toxicity: The dermal LD50 is undetermined.

Eye Irritation: This material is not expected to be irritating to the eyes.
Skin Irritation: This material is not expected to be irritating to the skin.
Respiratory Tract Irritation: This material is a mild irritant to the respiratory tract.

ADDITIONAL TOXICOLOGY INFORMATION:

The International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified carbon black as a Group 2B carcinogen (possibly carcinogenic to humans) based on sufficient evidence in animals and inadequate evidence in humans. Carbon black has not been listed as a carcinogen by the National Toxicology Program or the Occupational Safety and Health Administration. Acetylene black, a high purity carbon black, is made from the thermal decomposition of acetylene gas. It is a pure form of carbon containing less than 0.2 ppm polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Therefore, acetylene black is not expected to directly interact with DNA to present a cancer risk by skin exposure or by inhalation.

SECTION 12 ECOLOGICAL INFORMATION

ECOTOXICITY:
The toxicity of this material to aquatic organisms has not been evaluated. Consequently, this material should be kept out of sewage and drainage systems and all bodies of water.

ENVIRONMENTAL FATE:
This material is not expected to present an environmental problem.

SECTION 13 DISPOSAL CONSIDERATIONS

Use material for its intended purpose or recycle if possible. This material, if it must be discarded, may meet the criteria of a hazardous waste as defined by US EPA under RCRA (40 CFR 261) or other State and local regulations. Measurement of certain physical properties and analysis for regulated components may be necessary to make a correct determination. If this material is classified as a hazardous waste, federal law requires disposal at a licensed hazardous waste disposal facility.

SECTION 14 TRANSPORT INFORMATION

The description shown may not apply to all shipping situations. Consult 49CFR, or appropriate Dangerous Goods Regulations, for additional description requirements (e.g., technical name) and mode-specific or quantity-specific shipping requirements.

US DOT
NOT REGULATED AS A HAZARDOUS MATERIAL OR DANGEROUS GOODS FOR TRANSPORTATION

MSDS

ICAO / IATA
NOT REGULATED AS A HAZARDOUS MATERIAL OR DANGEROUS GOODS FOR TRANSPORTATION

IMO / IMDG
NOT REGULATED AS A HAZARDOUS MATERIAL OR DANGEROUS GOODS FOR TRANSPORTATION

RID / ADR
NOT REGULATED AS A HAZARDOUS MATERIAL OR DANGEROUS GOODS FOR TRANSPORTATION

SECTION 15 REGULATORY INFORMATION

SARA 311/312 CATEGORIES:

1.	Immediate (Acute) Health Effects:	YES
2.	Delayed (Chronic) Health Effects:	YES
3.	Fire Hazard:	NO
4.	Sudden Release of Pressure Hazard:	NO
5.	Reactivity Hazard:	NO

REGULATORY LISTS SEARCHED:

04A = IARC Group 1	12 = TSCA Section 8(a) PAIR	21 = TSCA Section 5(a)
04B = IARC Group 2A	13 = TSCA Section 8(d)	25 = CAA Section 112 HAPs
04C = IARC Group 2B	15 = SARA Section 313	26 = CWA Section 311
05 = NTP Carcinogen	16 = CA Proposition 65	28 = CWA Section 307
06 = OSHA Carcinogen	17 = MA RTK	30 = RCRA Waste P-List
09 = TSCA 12(b)	18 = NJ RTK	31 = RCRA Waste U-List
10 = TSCA Section 4	19 = DOT Marine Pollutant	32 = RCRA Appendix VIII
11 = TSCA Section 8(a) CAIR	20 = PA RTK	33 = MN Hazardous Substance

The following components of this material are found on the regulatory lists indicated.
CARBON BLACK 04C, 16, 17, 18, 20, 33

CHEMICAL INVENTORY LISTINGS:
AUSTRALIA: All the components of this material are listed on the Australian Inventory of Chemical Substances (AICS).
CANADA: All the components of this material are on the Canadian Domestic Substances List (DSL).
PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA: All the components of this product are listed on the draft Inventory of Existing Chemical Substances in China.
EUROPEAN UNION: All the components of this material are in compliance with the EU Seventh Amendment Directive 92/32/EEC.
JAPAN: All the components of this product are on the Existing & New Chemical Substances (ENCS) inventory in Japan, or have an exemption from listing.
KOREA: All the components of this product are on the Existing Chemicals List (ECL) in Korea.
PHILIPPINES: All the components of this product are listed on the Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances (PICCS).
UNITED STATES: All of the components of this material are on the Toxic Substances Control Act (TSCA) Chemical Inventory.

SECTION 16 OTHER INFORMATION

NFPA RATINGS: Health: 1 Flammability: 1 Reactivity: 0

Revision Number: 1
Revision Date: 11 /19/2005

5 of 6

MSDS

(0-Least, 1-Slight, 2-Moderate, 3-High, 4-Extreme, PPE:- Personal Protection Equipment Index recommendation, *- Chronic Effect Indicator). These values are obtained using the guidelines or published evaluations prepared by the National Fire Protection Association (NFPA) or the National Paint and Coating Association (for HMIS ratings).

REVISION STATEMENT: This revision updates the transportation information, please review section 14.

ABBREVIATIONS THAT MAY HAVE BEEN USED IN THIS DOCUMENT:

TLV -	Threshold Limit Value	TWA -	Time Weighted Average
STEL -	Short-term Exposure Limit	PEL -	Permissible Exposure Limit
ACGIH -	American Conference of Government Industrial Hygienists	OSHA -	Occupational Safety & Health
NIOSH -	National Institute of Safety & Health	NFPA -	National Fire Protection Agency
WHMIS -	Workplace Hazardous Materials Information System	IRAC -	Intl. Agency for Research on Cancer
EINECS -	European Inventory of existing Commercial Chemical Sales	RCRA -	Resource Conservation Recovery Act
SARA -	Superfund Amendments and Reauthorization Act.	TSCA -	Toxic Substance Control Act
EC50 -	Effective Dose	LC50 -	Lethal Concentration
LD50 -	Lethal Dose	CAS -	Chemical Abstract Service Number
NDA -	No Data Available	NA -	Not Applicable
<= -	Less Than or Equal To	>= -	Greater Than or Equal To
CNS -	Central Nervous System		

The above information is based on the data of which we are aware and is believed to be correct as of the date hereof. Since this information may be applied under conditions beyond our control and with which we may be unfamiliar and since data made available subsequent to the date here of may suggest modifications of the information, we do not assume any responsibility for the results of its use. This information is furnished upon condition that the person receiving it shall make his own determination of the suitability of the material for his particular purpose.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SECTION I. Product Name and Company Identification	
Trade Name: Carbon Black	CHEMICAL NAME: Carbon (Amorphous)

SECTION II. Composition/Information on Components	
Component:	Carbon Black (Amorphous Carbon)
CAS Number:	1333-86-4
Weight, %	100

SECTION III. Hazards for Man and Environment	
POSSIBLE EFFECT ON HEALTH	
EYE:	Carbon black may produce eye irritation.
SKIN CONTACT:	The product is not skin irritant.
INFILTRATION THROUGH SKIN:	Infiltration is not probable, carbon black being a dry solid material.
INGESTION:	Specific effect is not known.
INHALATION:	At high concentrations of carbon black dust (above TLV) inhalation may produce irritation of lungs.

SECTION IV. Fist AID	
EYE	Flush with water.
SKIN	Wash with soap and water.
INGESTION	Usually no hazardous effect is produced.
INHALATION	Go out into open air.

SECTION V. Fire Fighting Procedures	
COMBUSTIBILITY	
FLASH POINT	N/A
INFLAMMABILITY IN AIR	May inflame at temperatures above 250 C.
LOWER EXPLOSIBILITY LIMIT (LEL)	60 mg/cu.m *
UPPER EXPLOSIBILITY LIMIT (UEL)	N/A
EXTINGUISHING MEDIA	Atomized jet of water.
UNUSUAL FIRE HAZARDS	Carbon monoxide and carbon dioxide are generated during combustion of carbon black. The product burns (smolders) without flame, therefore in some cases combustion of carbon black cannot be detected, cases combustion of carbon black cannot be detected, unless the product is stirred and sparks are produced.

HAZARDS OF DUST EXPLOSION	Carbon black does not explode easily, so it is not considered hazardous in practical applications. However, in certain test conditions mixture of carbon black dust and air may explode.

* Reported data on LEL differ. We take the value from The Handbook of Powder Technology, ed. by P.Field, v.4, as being the lowest in litereture.

SECTION VI. Procedures in Case Material is Released or Spilled

Collect with vacuum cleaner, sweep up or sprinkle with water and collect in refuse container.

SECTION VII. Handling and Storage

Store in containers and indoors. Not to expose to open fire or strong oxidizers. Check for carbon monoxide and oxygen content in air before entering container or workroom.

If carbon monoxide is present or oxygen is low use adequate gas masks. Produce less dust in air. Collect all spilled material immediately.

SECTION VIII. Limiting Exposure and Personal Protective Measures

INHALATION STANDARDS	Maximum carbon black dust content in air by U.S. standards is 3.5 mg/cu.m, by German standards 6 mg/cu.m, by Ukrainian standards 4 mg/cu.m, by U.K. standards 3,5 mg/cu.m.
BREATH PROTECTION	Not required in normal conditions. If dust content in air is above recommended limit use protective mask that conforms to European, national, and local regulations.
SKIN PROTECTION	Not required. Use of protective gloves is not necessary.
EYE PROTECTION	Use protective glasses or goggles.
PROTECTIVE CLOTHING	Not required.
TECHNICAL CONTROL	Adequate ventilation is recommended that should keep dust content in air under the standard limit

SECTION IX. Physical Data

APPEARANCE	Amorphous solid material in the form of 0.1 to 3.0 mm black-colored pellets.
ODOR	Odorless
BOILING POINT	N/A
VAPOR PRESSURE	N/A
VAPOR DENSITY	N/A
SOLUBILITY IN WATER	Insoluble
RATE OF VAPORISATION	N/A
SPECIFIC WEIGHT (Water=1)	1.7 to 1.9
POUR DENSITY	150 to 650 (ASTM D1518)
VISCOSITY	N/A

SECTION X. Stability and Reactivity

STABILITY	Product is stabile
INCOMPATIBILITY (MATERIALS TO AVOID)	Strong oxidizers such as liquid oxygen, chlorates, bromates, nitrates.

CONDITIONS TO AVOID	Excessive heating, exposure to open fire.
HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS	Carbon monoxide and dioxide are produced in combustion.
HAZARDOUS POLYMERIZATION	No polymerization occurs.

SECTION XI. Toxicological Data

EYE	
ACUTE	Slight irritation
CHRONIC	Slight irritation
SKIN	
ACUTE	Not expected
CHRONIC	Not expected
INGESTION	
ACUTE	Not expected
CHRONIC	Not expected
INHALATION	
ACUTE	Dust in concentrations above TLV may cause transient irritation of upper respiratory tract.
CHRONIC	Research in USSR showed high incidence of respiratory tract diseases, including pneumoconiosis, emphysema, rhinitis. It is to be noticed that dust concentrations were above TLV in that research. On the other hand, ACGIH Committee on TLV classified carbon black as dust that causes inconvenience with no proved pathological or harmful changes of structure or function of lungs. No carcinogenic effect of carbon black on animals or man was established. Research on humans in USA gave no evidence of carbon black dust concentrations equal to or below TLV in workrooms causing respiratory tract diseases.
OTHER	Oral LD50 > 10000 mg/kg (rat).
CARCINOGENIC EFFECT	The International Agency for Research on Cancer (IARC), the U.S. National Toxicology Program (NTP), the U.S. Occupatioal Safety and Health Administration (OSHA) do not classify carbon black as carcinogenic material.

SECTION XII. Ecological Data

No negative effect on environment has been established.

SECTION XIII. Waste Disposal

Neither in Ukraine nor in Europe (Directive 78/319/EEC) carbon black is classified as toxic or hazardous waste. Waste may be incinerated or buried, observing all European, national, and local regulations.

SECTION XIV. Transportation

According to the rules of transportation established by Ukrainian Ministry of Railroad, carbon black is classified as self-igniting hazardous material, Class 4, Subclass 4.2, and is supplied with Emergency Card 47. It may be transported in bulk in special hopper cars or packed in containers. In most European countries and in the USA carbon black is not considered hazardous material and may be shipped by land, sea, or air transpor without limitations.

SECTION XV. Legal Information

Labeling Requirements

Carbon black, CAS No. 1333-86-4, is included in following inventories :
All-Union Classifier of Industrial and Agricultural Products (Ukraine);
U.S. Toxic Substances Control Act (TSCA);
European Inventory of Existing Chemical Substunces (EINESC - No. 215-609-9);
Canadian Domestic Substances List (DSL);
Australian Inventory of Chemical Substances (AICS);
List of Existing Chemical Substances of Japanese
Ministry of international Trade and Industry (MITI);
Korean Toxic Chemicals Control Law (TCCL).

Classification according to Ukrainian Standards :
Hazard symbol and labeling-according GOST 19433-88
Classification code 4213
UNO Classification No 1361

Classification according to European Standards :
Symbol and Labeling for Huzard : None
Components of Labeling for Risks : None
R - Clauses : None
S - Clauses : None

SECTION XVI. Other Information

TEXT ON LABEL : Carbon Black

The preceding data are based on test results that we consider reliable. However, we cannot guarantee them or take responsibility for the consequences of their use. Users are to conduct their own research in order to determine whether the data or products are suitable for their specific applications. None of the data reported here are to be understood as permission, suggestion, or recommendation for infringement of any laws or application of any inventions protected by patents in force.

This Material Safety Data Sheet is provided courtesy of Astlett Rubber Inc.
Visit our website at www.astlettrubber.com for more information.

Material Safety Data Sheet
Carbon Black

According to the Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS)

1.0 Identification of Substance and Company

1.1 Product Name: Carbon Black
Trade Names: Thermax N990, N907 Stainless, N990 Ultra-Pure Floform, Thermax N991, N991 Ultra-Pure, N908 Stainless, N908 Stainless Ultra-Pure Powder, Fine Thermal, MFT, Carbocolor, Carbocolor Powder, N991R, Colorant Residue, TB Carbon.

European Union REACH Registration Number: 01-2119384822-32

1.2 Manufacturer/Supplier:

Cancarb Limited
1702 Brier Park. Cr. NW.
Medicine Hat, Alberta
Canada, T1C 1T8
Phone number: + 1- 403-527-1121

1.3 European Union Only Representative:

Global Energy Investments S.a.r.l.
c/o Centralis S.A.
37 rue d'Anvers
L-1130 Luxembourg

1.4 Emergency Number(s):
For Chemical Emergency ONLY (spill, leak, fire, exposure or accident), call CHEMTREC at *+1-703-527-3887 or see section 16 for in country telephone numbers.*

For ALL other inquiries about this product, call +1-403-527-1121 or email;
customer_service@cancarb.com

1.5 Use of Substance/Preparation:
Used as a filler in rubber and plastics, carburizer and reducing agent in metallurgy, colorant/pigment and refractory additive

2.0 Hazards Identification

2.1 Hazard Classification:

Not a hazardous substance or preparation under the Globally Harmonized System (GHS). Not a hazardous substance or preparation under EC-directives 67/548/EEC or 1999/45/EC and their various amendments and adaptations. Not hazardous substance or preparation under CLP-Regulation (EC) No 1272/2008. Does not contain any of the "Candidate List of Substances of Very High Concern" (SVHC) at levels ≥0.1 % as defined in the REACH legislation
In 1995 IARC concluded, "There is inadequate evidence in humans for the carcinogenicity of carbon black." Based on rat inhalation studies IARC concluded that there is "sufficient evidence in experimental animals for the carcinogenicity of carbon black," IARC's overall evaluation was that "Carbon black is possibly carcinogenic to humans (Group 2B)." This conclusion was based on IARC's guidelines, which require such a classification if one animal species exhibits carcinogenicity in two or more studies. Lung tumors in rats are the result of exposure under "lung overload" conditions. The development of lung tumors in rats is specific to this species. Mouse and hamster showed no carcinogenicity in similar studies.

In 2006 IARC re-affirmed its 1995 classification of carbon black as, Group 2B (possibly carcinogenic to humans).

Overall, as a result of the detailed epidemiological investigations, no causative link between carbon black exposure and cancer risk in humans has been demonstrated. This view is consistent with the IARC evaluation in 2006. Furthermore, sseveral epidemiological and clinical studies of workers in the carbon black production industries show no evidence of clinically significant adverse health effects due to occupational exposure to carbon black. No dose response relationship was observed in workers exposed to carbon black.

Applying the rules of the Globally Harmonized System of Classification and Labelling (GHS, e.g. UN 'Purple Book' , EU CLP Regulation) the results of repeated dose toxicity and carcinogenicity studies in animals do not lead to classification of Carbon Black for Specific target organ toxicity (Repeated exposure) and carcinogenicity. UN GHS says, that even if adverse effects are seen in animal studies or in-vitro tests, no classification is needed if the mechanism or mode of action is not relevant to humans.[2] The European CLP Regulation also mentions, that no classification is indicated if the mechanism is not relevant to humans.[3] Furthermore, the CLP guidance on classification and labelling states, that „lung overload" in animals is listed under mechanism not relevant to humans. [4]

2.2 Emergency Overview:

A black, odorless, insoluble, powder or pellets that can burn or smolder at temperatures greater than 572°F (>300°C). Hazardous products of decomposition can include carbon monoxide, carbon dioxide, and oxides of sulfur. May cause reversible mechanical irritation to the eyes and respiratory tract especially at concentrations above the occupational exposure limit.Some grades of carbon black are sufficiently electrically non-conductive to allow a build-up of static charge during handling. Take measures to prevent the build-up of electrostatic charge.

2.3 Potential Health Effects:
Routes of Exposure: Inhalation, eye, skin Note: ingestion of carbon black is not considered a likely route of exposure.

Eye Contact: May cause mechanical irritation. Irritating, but will not permanently injure eye tissue. Low hazard for usual industrial or commercial handling.

Skin Contact: May cause mechanical irritation, soiling, and skin drying. No cases of sensitization in humans have been reported.
Inhalation: Dust may be irritating to respiratory tract. Provide appropriate exhaust ventilation at machinery and at places where dust can be generated. See also Section 8.

Ingestion: Health effects are not known or expected under normal use. Low hazard for usual industrial or commercial handling.

Carcinogenic Effects: See section 11
Target Organ Effects: See section 11
Medical Conditions Aggravated by Exposure: Asthma, Respiratory disorders

2.4 Potential Environmental Effects:
No significant environmental hazards are associated with carbon black release to the environment. Carbon black is not soluble in water. See Section 12.

3.0 Composition/Information on Ingredients

3.1 Component(s):
Carbon Black, amorphous (99% by weight))
Chemical formula: C
CAS number: 1333-86-4
EINECS number: 215-609-9
EU Classification: Not Classified
The PAH (polycyclic aromatic hydro-carbons) contents of the Cancarb carbon blacks are below 0.1 %.

4.0 First Aid Measures

4.1 First Aid Procedures:
Inhalation: Take affected persons into fresh air. If necessary, restore normal breathing through standard first aid measures.
Skin: Wash skin with mild soap and water. If symptoms develop, seek medical attention.
Eye: Rinse eyes thoroughly with large volumes of water keeping eyelid open. If symptoms develop, seek medical attention.
Ingestion: Do not induce vomiting. If conscious, give several glasses of water. Never give anything by mouth to an unconscious person.

4.2 Note to Physicians:
Treat symptomatically.

5.0 Fire Fighting Measures

5.0 Flammable Properties:
It may not be obvious that carbon black is burning unless the material is stirred and sparks are apparent. Carbon black that has been on fire should be observed closely for at least 48 hours to ensure no smoldering material is present.

Carbon blacks containing more than 8% volatile materials may form an explosive dust-air mixture. Manufactured carbon blacks do not exceed 8% volatile materials content (unless otherwise noted by the supplier). See Section 9, Chemical and Physical Properties.

5.1 Extinguishing Media:

5.2.1 Suitable Extinguishing Media:
Use foam, carbon dioxide (CO_2), dry chemical, nitrogen (N_2), or water fog. A fog spray is recommended if water is used.

5.2.2 Unsuitable Extinguishing Media:
DO NOT USE high pressure water stream as this may spread burning powder (burning powder will float and may spread fire)

5.3 Protection of Firefighters:
Wear full protective fire fighting gear (Bunker gear) including self-contained breathing apparatus (SCBA).

5.3.1 Specific Hazards Arising from the Chemical: (e.g. nature of any hazardous combustion products)
Products of combustion include carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO2), and oxides of sulfur.

5.3.2 Protective Equipment and Precautions for Firefighters:
Wet carbon black produces very slippery walking surfaces.

6.0 Accidental Release Measures

6.1 Personal Precautions:
Wear appropriate personal protective equipment and respiratory protection. Note: Wet carbon black produces very slippery walking surfaces. See Section 8.

6.2 Environmental Precautions:
Carbon black poses no significant environmental hazards. As a matter of good practice, minimize contamination of sewage water, soil, groundwater, drainage systems, or bodies of water.

6.3 Methods for Containment:
Carbon black is not a hazardous substance under the Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (40 CFR 302), or the Clean Water Act (40 CFR 116), or a hazardous air pollutant under the Clean Air Act Amendments of 1990 (40 CFR, Part 63).

6.4 Methods for Clean-up:
Small spills should be vacuumed when possible. A vacuum equipped with HEPA (high efficiency particulate air) filtration is recommended. Dry sweeping is not recommended. If necessary, light water spray will reduce dust for dry sweeping, but over-wetting may produce very slippery walking surfaces.
Large spills may be shoveled into containers. See Section 13.

6.5 Other Information:
[This may contain specific reporting requirements for spills, leaks, or releases (but may also be referenced in Section 15, Regulatory).]

7.0 Handling and Storage

7.0 Handling:
Avoid dust exposures above the occupational exposure limit.
Use local exhaust ventilation or other appropriate engineering controls to maintain exposures below occupational exposure limit. Avoid contact with skin and eyes. If exposed, wash to avoid mechanical irritation and soiling.
Dust may cause electrical shorts if capable of penetrating electrical equipment. Ensure equipment is tightly sealed.
If hot work (welding, torch cutting, etc.) is required the immediate work area must be cleared of carbon black product and dust.
Some grades of carbon black are sufficiently electrically non-conductive and may allow a build-up of static charge during handling. Take measures to prevent the build up of electrostatic charge, such as ensuring all equipment is electrically grounded/earthed.

7.1 Storage
Store in a dry place away from ignition sources and strong oxidizers.

Before entering closed vessels and confined spaces containing carbon black test for adequate oxygen, flammable gases and potential toxic air contaminants (e.g., CO). Follow standard safe practices when entering confined spaces.

8.0 Exposure Control/Personal Protection

8.1 Exposure Guidelines:

Country	Occupational Exposure Limit, mg/m^3
Australia	3.0 TWA
Canada	3.5 TWA
France	3.5 TWA
Germany - MAK	1.5 TWA (respirable)[A] 4.0 TWA (inhalable)[A]
TRGS 900	3.0 TWA (respirable)[B] 6.0 TWA (respirable)[C] 10.0 TWA (inhalable)[D]
Italy	3.5 TWA
Korea	3.5 TWA
Spain	3.5 TWA
United Kingdom – OES	3.5 TWA (inhalable)
STEL	7.0, 10 minutes (inhalable)
EU REACh DNEL	2.0 (inhalable)
United States - OSHA-PEL	3.5 TWA
ACGIH-TLV	3.0 TWA Inhalable
NIOSH -REL	3.5 TWA (see Section 11)

TWA = 8-hour time-weighted-average, except as noted. MAK = Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (maximum workplace concentration) (advisory). TRGS = Technische Regeln fur Gefahrstoffe (regulatory limits). OES = occupational exposure standard. STEL = short-term exposure limit. OSHA-PEL = Occupational Safety and Health Administration - Permissible Exposure Limit. ACGIH-TLV = American Conference of Governmental Industrial Hygienists–Threshold Limit Value. NIOSH-REL = National Institute of Occupational Safety and Health - Recommended Exposure Limit.
[A] annual average. [B] applies to all activities except those exempted, consult regulatory agency.
[C] applies to certain exempt industries, consult regulatory authority. [D] effective April 2004, consult regulatory agency.

8.2 Engineering Controls:

Use process enclosures and/or exhaust ventilation to keep airborne dust concentrations below the applicable occupational exposure limit.

8.3 Personal Protective Equipment (PPE)

8.3.1 Eye/Face Protection:

Safety glasses or goggles recommended as a matter of good practice

8.3.2 Skin Protection:

Wear general protective clothing to minimize skin contact. Work clothes should not be taken home and should be washed daily.
No special glove composition is required for carbon black. Gloves may be used to protect hands from carbon black soiling. Use of a barrier cream may help to prevent skin drying. Wash hands and other exposed skin with mild soap and water.

8.3.3 Respiratory Protection:

Approved air purifying respirator (APR) for particulates should be used where airborne dust concentrations are expected to exceed occupational exposure limits. Use a positive-pressure, air supplied respirator if there is any potential for uncontrolled release, exposure levels are not known, or in circumstances where APRs may not provide adequate protection. Use of respirators must include a complete respiratory protection program in accordance with national standards and current best practices.

8.3.4 General Hygiene Considerations:

Emergency eyewash and safety shower should be in close proximity as a matter of good practice. Wash hands and face thoroughly with mild soap before eating and drinking.

9.0 Physical and Chemical Properties

Appearance:	powder or pellet
Color:	black
Odor	odorless
Odor threshold:	not applicable
Melting point/range	not applicable
Boiling point/range	not applicable
Vapor pressure	not applicable
Evaporation rate	not applicable
Density: (20°C)	1.7 – 1.9 g/ml
Bulk density:	1.25-40 lb/ft^3, 20-640 kg/m^3
Pellets	200-680 kg/m^3
Powder (fluffy)	20-380 kg/m^3
Solubility (in Water):	insoluble
pH value: (ASTM 1512)	4-11 [50 g/l water, 68°F (20°C)]
Partition coefficient (n-octanol/water):	not applicable
Viscosity:	not applicable
Decomposition temperature:	572°F (300°C)
Auto-inflammability temperature	>284°F (>140°C*)

(*100 mm sample cube temperature did not exceed 392°F (200°C). Not classifiable as a Division 4.2 self-heating substance as defined by UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods and (IMDG[20])

9.1 Explosive Properties:

Explosibility - Kst ASTM (E1226) 23 bar-m/s (30 kJ). ST1 hazard class.
- Pmax ASTM (E1226) 6.7 barg (30 kJ)

Minimum Explosible Concentration (MEC) ASTM (1515) 375 g/m3 (30kJ**)

**Note: ASTM explosion methods recommended 10 kJ energy sources, no explosion occurred until 30 kJ where used.

Dust Cloud, Minimum Auto Ignition Temperature (MAIT), Godberg Greenwald Furnace ASTM (E1491) 800°C

Minimum Ignition Energy (MIE) ASTM E20-19-99: 5130 mJ

10.0 Stability and Reactivity

10.1 Chemical Stability:
Carbon black cannot easily be caused to explode and therefore there is no danger in practical use. However, in special test procedures a carbon black/air mixture can be made to explode.

10.2 Conditions to Avoid:
Prevent exposure to high temperatures and open flames. Avoid temperatures above 183°C in 27 m3 volumes

10.3 Incompatible Materials:
Strong oxidizers such as chlorates, bromates, and nitrates

10.4 Hazardous Decomposition Products:
Carbon monoxide, carbon dioxide, organic products of decomposition, oxides or sulfur (sulfoxides) form if heated above decomposition temperature.

10.5 Possibility of Hazardous Reaction
Will not occur.

11.0 Toxicological Information

Acute Toxicity:

Acute oral toxicity:	LD_{50} (rat), > 8000 mg/kg
Acute dermal toxicity	no data
Acute inhalation toxicity	no data
Skin Irritation: rabbit:	non-irritative, index score 0.6/8 (4.0 = severe edema)
Eye irritation: rabbit:	non-irritative, Draize score 10-17/110 (100 = maximally irritating)
Respiratory sensitization:	No data
Specific target organ toxicity (single exposure)	Not applicable

Specific target organ toxicity (repeated exposure) or Subchronic toxicity:
Rat, inhalation, duration 90 days, NOAEL = 1.1 mg/m^3 (respirable)
Target organ: lungs;
Effect: inflammation, hyperplasia, fibrosis
Rat / Mouse, inhalation, duration 2 years
Target organ: lungs;
Effect: inflammation, fibrosis, tumors

Effects in the rat lung are considered to be related to the "lung overload phenomenon" (1 & 6 & 7 & 8 & 9) rather than to a specific chemical effect of carbon black itself in the lung. These effects in rats have been reported in many studies on other poorly soluble inorganic particles.

Chronic Toxicity:

Rat, oral, duration 2 years
Effect: no tumors

Mouse, oral, duration 2 years
Effect: no tumors

Mouse, dermal, duration 18 months
Effect: no skin tumors

Mouse / Hamster, inhalation, duration 12~24 months
Effect: no lung tumors

Rat, inhalation, duration 2 years
Target organ: lungs

Effect: inflammation, fibrosis, tumors Note: Tumors in the rat lung are considered to be related to the "particle overload phenomenon" rather than to a specific chemical effect of carbon black itself in the lung. These effects in rats have been reported in many studies on other poorly soluble inorganic particles and appear to be rat specific. Tumors have not been observed in other species (i.e., mouse and hamster) for carbon black or other poorly soluble particles under similar circumstances and study conditions.

Sensitization:

No evidence of sensitization was found in animals.
No cases of sensitization in humans have been reported.

Carcinogenicity Assessment:

Tumor development in Rats caused by lung overload, no epidemiological evidence for lung tumors in Humans

Lung tumors in rats are the result of exposure under "lung overload" conditions. The development of lung tumors in rats is specific to this species. Mouse and hamster do not develop lung tumors under similar test conditions. The CLP guidance on classification and labelling states, that „lung overload" in animals is listed under mechanism not relevant to humans. (4)

IARC listed: *Group 2B (possibly carcinogenic to humans).* Not listed as a human carcinogen by NTP, ACGIH, OSHA, or the European Union. ACGIH listed as A3 Confirmed animal carcinogen with unknown relevance to humans: The agent is carcinogenic in experimental animals at a relatively high dose, by route(s) of administration, at site(s), of histologic type(s), or by mechanism(s) that may not be relevant to worker exposure. Available epidemiologic studies do not confirm an increased risk of cancer in exposed humans. Available evidence does not suggest that the agent is likely to cause cancer in humans except under uncommon or unlikely routes or levels of exposure.

Chronic Toxicity:

Rat, oral, duration 2 years
Effect: no tumors

Mouse, oral, duration 2 years
Effect: no tumors

Mouse, dermal, duration 18 months
Effect: no skin tumors

Mouse / Hamster, inhalation, duration 12~24 months
Effect: no lung tumors

Rat, inhalation, duration 2 years
Target organ: lungs

Effect: inflammation, fibrosis, tumors Note: Tumors in the rat lung are considered to be related to the "particle overload phenomenon" rather than to a specific chemical effect of carbon black itself in the lung. These effects in rats have been reported in many studies on other poorly soluble inorganic particles and appear to be rat specific. Tumors have not been observed in other species (i.e., mouse and hamster) for carbon black or other poorly soluble particles under similar circumstances and study conditions.

Sensitization:

No evidence of sensitization was found in animals.
No cases of sensitization in humans have been reported.

Carcinogenicity Assessment:

Tumor development in Rats caused by lung overload, no epidemiological evidence for lung tumors in Humans

Lung tumors in rats are the result of exposure under "lung overload" conditions. The development of lung tumors in rats is specific to this species. Mouse and hamster do not develop lung tumors under similar test conditions. The CLP guidance on classification and labelling states, that „lung overload" in animals is listed under mechanism not relevant to humans. (4)

IARC listed: *Group 2B (possibly carcinogenic to humans).* Not listed as a human carcinogen by NTP, ACGIH, OSHA, or the European Union. ACGIH listed as A3 Confirmed animal carcinogen with unknown relevance to humans: The agent is carcinogenic in experimental animals at a relatively high dose, by route(s) of administration, at site(s), of histologic type(s), or by mechanism(s) that may not be relevant to worker exposure. Available epidemiologic studies do not confirm an increased risk of cancer in exposed humans. Available evidence does not suggest that the agent is likely to cause cancer in humans except under uncommon or unlikely routes or levels of exposure.

Since this IARC evaluation of Carbon Black, Sorahan and Harrington [16] re-analyzed the UK study data using an alternative exposure hypothesis and found a positive association with CB exposure in two of the five plants. The same exposure hypothesis was applied by Morfeld and McCunney [17 & 18] to the German cohort; in contrast, they found no association between CB exposure and lung cancer risk and, thus, no support for the alternative exposure hypothesis used by Sorahan and Harrington. Morfeld and McCunney [19] applied a Bayesian approach to unravel the role of uncontrolled confounders and identified smoking and prior exposure to occupational carcinogens received before being hired in the carbon black industry as main causes of the observed lung cancer excess risk.

Overall, as a result of these detailed investigations, no causative link between CB exposure and cancer risk in humans has been demonstrated. This view is consistent with the IARC evaluation in 2006.

Several epidemiological and clinical studies of workers in the carbon black production industries show no evidence of clinically significant adverse health effects due to occupational exposure to carbon black.

No dose response relationship was observed in workers exposed to carbon black.

Aspiration Toxicity: No data

12.0 Ecological Information

Aquatic Toxicity:

Acute fish toxicity: LC50 (96 h) > 1000mg/l,
Species: *Brachydamio rerio* (zebrafish),
Method: OECD Guideline 203

Acute invertebrate toxicity:
EC50 (24 h) > 5600 mg/l.
Species: *Daphnia magna* (waterflea),
Method: OECD Guideline 202

Acute algae toxicity:
EC 50 (72 h) >10,000 mg/l
NOEC 50 ≥10,000 mg/l
Species: *Scenedesmus subspicatus*,
Method: OECD Guideline 201

Activated sludge:
EC0 (3 h) >= 800 mg/l.
Method: DEV L3 (TTC test)

Environmental Fate:

Mobility
Not soluble in water. Not expected to migrate.
Known or predicted distribution
Not soluble in water. Expected to remain on soil surface. Chemically inert

Bioaccumulation Potential:

Bioaccumulation is not expected due to physicochemical properties of the substance.

Effects of Other Hazards: no data

13.0 Disposal Considerations

Product can be burned in suitable incineration plants or disposed of in a suitable landfill in accordance with the regulations issued by the appropriate federal, provincial, state and local waste management laws.

EU:	EU Waste Code No. 61303 per Council Directive 75/422/EEC
U.S.:	Not a hazardous waste under U.S. RCRA, 40 CFR 261.
Canada:	Not a hazardous waste under provincial regulations.

Container/Packaging. Return reusable containers to manufacturer. Paper bags may be incinerated, or recycled, or disposed of in an appropriate landfill in accordance with national and local laws.

14.0 Transport Information

UN number: not applicable
UN proper shipping name: not applicable
Transport hazard class: not applicable
Packing group: not applicable
Marine pollutant: not applicable
Information on any special precautions, which a user needs to be aware of, or which is necessary, in connection with transport or conveyance: no data
Classifications and rules under transport related other foreign regulations:
Not classified as dangerous in the meaning of transport regulations.
Non-activated carbon black of mineral origin.
No hazardous material of division 4.2

15.0 Regulatory Information

Korea:

Industrial Safety and Health Law, a hazardous factor for which the exposure limit has been established (TWA 3.5 mg/㎥). Dangerous Substance Safety Management Law, not applicable. Wastes Management Law. Dispose of contents/containers in accordance with regulations prescribed in the Wastes Management Law. This substance is not classified as designated wastes.

European Union:

Label Information
Carbon black is not defined as a dangerous substance or preparation according to Council Directive 67/548/EEC or EC CLP 1272/2008 and its various amendments and adaptations.
Symbol – none required.

Germany:

Water classification.WGK Number (Kenn-Nr): 1742. WGK Class (Wassergefährdungsklasse): nwg (non-hazardous to waters). Not a hazardous substance as defined by the Chemicals Act or Hazardous Substance Ordinance.

Canada:

Worker Hazardous Material Information System (WHMIS), Classification D2A.

Statement of Equivalence

"This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the Controlled Products Regulations and MSDS contains all the information required by the Controlled Products Regulations."

Ingredients Disclosure List

Contains carbon black. See Section 3.

United States:

Carbon black is not a dangerous substance under the following regulations: CERCLA (40, CFR 303), CWA (40 CFR 116), CAA 40 CFR.

Carbon black is on the Chemical Hazard Information Profile (CHIP) list under TSCA.

Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA) Title III

Section 313 Toxic Substances: Does not contain any components subject to this section.

OSHA, Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200

Toxic Release Inventory (TRI)

Under EPA's Toxics Release Inventory (TRI) program the reporting threshold for 21 Polycyclic Aromatic Compounds (PACs) has been lowered to 100 pounds per year manufactured, processed, or otherwise used. (64 CFR 58666, Oct. 29, 1999) The 100 pounds/yr applies to the cumulative total of 21 specific PACs. Carbon black may contain certain of these PACs and the user is advised to evaluate their own TRI reporting responsibilities.

California Safe Drinking Water and Toxics Enforcement Act of 1986 (Proposition 65):

"Carbon black (airborne, unbound particles of respirable size)" is a California Proposition 65 listed substance.

Inventory Status:

All components either are listed on or exempt from the following inventories:

Europe: (EU): EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances), EINECS-RN: 215-609-9.

Australia: AICS (Australian Inventory of Chemical Substances)

Canada: CEPA (Canadian Environmental Protection Act), domestic substance list (DSL).

China: Inventory of Existing Chemical Substances

Japan: MITI (Ministry of International Trade and Industry) List of Existing Chemicals Substances. 10-3074/5-3328 and 10-3073/5-5222 (Section-Structure No./Class Reference No.)

Korea: TCC-ECL (Toxic Chemical Control Law Existing Chemical List) KE-04682

Philippine: Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances (PICCS)

United States: SARA (Super Fund Amendments and Reauthorization Act), Sections 311/312 apply if carbon black is present at any one time in amounts equal to or greater than 10,000 pounds. Under Section 311/312 – MSDS requirements, carbon black is determined to be hazardous according to the following EPA hazard categories:

Immediate health hazard:	No
Delayed (chronic) health hazard:	Yes
Sudden release of pressure hazard:	No
Reactive hazard:	No

16.0 Other Information

National Fire Protection Association (NFPA) Rating:
Health: 0 **Flammability: 1** **Reactivity: 0**
0 = minimal, 1 = slight, 2 = moderate, 3 = serious, 4 = severe

---

Hazardous Materials Identification System® (HMIS®) Rating:
Health: 1* (*designates chronic hazard) **Flammability: 1** **Physical Hazard: 0**
0 = minimal, 1 = slight, 2 = moderate, 3 = serious, 4 = severe
HMIS® is a registered trademark of the National Paint and Coatings Association.

In-Country Chemtrec Numbers	Local # Provided in Country	Toll Free in Country
Argentina (Buenos Aires)	+(54)-1159839431	
Australia (Sydney)	+(61)-290372994	
Bahrain (Bahrain)	+(973)-16199372	
Brazil (Rio De Janeiro)	+(55)-2139581449	
Chile (Santiago)	+(56)-25814934	
China		**4001-204937***
Colombia		01800-710-2151
Czech Republic (Prague)	+(420)-228880039	
France	+(33)-975181407	
Germany		0800-181-7059
Hong Kong (Hong Kong)		800-968-793
Hungary (Budapest)	+(36)-18088425	
India		000-800-100-7141
Indonesia		**001-803-017-9114***
Israel (Tel Aviv)	+(972)-37630639	
Italy		800-789-767
Japan (Tokyo)	+(81)-345209637	
Malaysia		1-800-815-308
Mexico		**01-800-681-9531***
Netherlands	+(31)-858880596	
Philippines		1-800-1-116-1020
Poland (Warsaw	+(48)-223988029	
Singapore	+(65)-31581349	800-101-2201
South Africa		**0-800-983-611***
South Korea		**00-308-13-2549***
Spain		900-868538
Sweden (Stockholm)	+(46)-852503403	
Taiwan		**00801-14-8954***
Thailand		001-800-13-203-9987
UK (London)	+(44)-870-8200418	
Vietnam (Ho Chi Minh City)	+(84)-838012436	

***Must be dialed from within country**

Sources of Reference Materials:

1) Baan, R. Carcinogenic Hazards from Inhaled Carbon Black, Titanium Dioxide, and Talc not Containing Asbestos or Asbestiform Fibers: Recent Evaluations by an IARC Monographs Working Group. Inhalation Toxicology, 19 (Suppl. 1); 213-228 (2007).
2) *UN: Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS).Revision 3, 2009. http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev03/03files_e.html:)*
3) *EU: Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No. 1907/2006. 2008:1-1355. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:EN:PDF*
4) *Guidance to Regulation (EC) No 1272/2008 on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures. 14 May 2009- IHCP, DG Joint Research Centre, European Commission http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documents/Classification-Labelling/CLP_Guidance_to_Regulation.pdf*
5) Born, P.J.A., Cakmak, G., Jermann, E., Weishaupt C., Kempers, P., van Schooten,FJ., Oberdorster, G., Schins, RP. Formation of PAH-DNA adducts after in-vivo and vitro exposure of rats and lung cell to different commercial carbon blacks. Tox Appl Pharm. 2005. 1:205(2):157- 167
6) Elder, A.C.P., Corson, N., Gelein, R., Mercer, P.guyen, K., Cox, C., Keng, P., Finkelstein, J.N. and Oberdörster, G. (2000). Particle surface area-associated pulmonary effects following overloading with carbon black. The Toxicologist., Vol. 54, No 1, p. 315.
7) Carter, J.M., Oberdörster, G. and Driscoll, K.E. (2000). Cytokine, Oxidant, and mutational responses after lung overload to inhaled Carbon Black. The Toxicologist., Vol. 54, No 1, p .315
8) Mauderly, J.L., McCunney, R.J., editors. Particle Overload in the Rat Lung and Lung Cancer, Implications for Human Risk Assessment. Proceedings of a Conference Held at the Massachusetts Institute of Technology, March 29 and 30, 1995. Taylor & Frances, Washington, DC. 1996
9) Mauderly, J.L. (1996). Lung overload: The dilemma and opportunities for resolution. Inhalation Toxicology 8, 1-28
10) Sorahan T, Hamilton L, van Tongeren M, Gardiner K, Harrington JM. A cohort mortality study of UK carbon black workers, 1951-1966. Amer J Indust Med 2001; 39: 158-70
11) Wellmann J, Weiland S, Neiteler G, Klein G, Straif K. Cancer mortality in German carbon black workers 1976-1998. Occup Env. Med., August 2006; 63:513-521
12) Morfeld P, Buchte, SF, Straif K, Keil U, McCunney R, Piekarski C. Lung cancer mortality and carbon black exposure – Cox regression analysis of a cohort from a German carbon black production plant. J Occup Env Med 2006 (in press).
13) Buchte, S, Morfeld, P, Wellmann, J, Bolm-Audorff, U, McCunney, R, Piekarski, C. (2006) Lung cancer mortality and carbon black exposure – A nested case-control study at a German carbon black production plant. J Occup Env Med 48 (12), 1242-1252.
14) Morfeld P, Büchte SF, McCunney RJ, Piekarski C (2006b). Lung Cancer Mortality and Carbon Black Exposure: Uncertainties of SMR Analyses in a Cohort Study at a German Carbon Black Production Plant. J. Occup. Environ. Med. 48, 1253–1264.
15) Dell, L, Mundt, K, Luipold, R, Nunes, A, Cohen, L, Heidenreich, M, Bachand, A. A cohort mortality study of employees in the United States carbon black industry. J Occup Env Med 2006 (in press).
16) Sorahan T, Harrington JM (2007). A ''lugged'' analysis of lung cancer risks in UK carbon black production workers, 1951–2004. Am. J. Ind. Med. 50 (8), 555–564.
17) Morfeld P, McCunney RJ (2007). Carbon black and lung cancer: Testing a new exposure metric in a German cohort. American Journal of Industrial Medicine 50(8):565-567.
18) Morfeld P and McCunney RJ, 2009. Carbon black and lung cancer-testing a novel exposure metric by multi-model inference. *Am J Ind Med* 52: 890-899.
19) Morfeld P and McCunney RJ, 2010. Bayesian bias adjustments of the lung cancer SMR in a cohort of German carbon black production workers. *J Occup Med Toxicol* 5.
20) Report No. 60040 (March 2006) UN self heating test data

The data and information presented herein corresponds to the present state of our knowledge and experience and is intended to describe our product with respect to possible occupational safety and health concerns. The user of this product has sole responsibility to determine the suitability of the product for any use and manner of use intended, and for determining the regulations applicable to such use in the relevant jurisdiction. This MSDS is updated on a periodic basis in accordance with applicable health and safety standards.

Prepared by: Cancarb - Safety, Health and Environmental Department
Revision Date: November 30, 2011
Previous Revision Date: April 19, 2011

ภาคผนวก ก.15

เอกสารความปลอดภัยของพอลิสไตรีน (Polystyrene)

HUNTSMAN

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

READ AND UNDERSTAND MATERIAL SAFETY DATA SHEET BEFORE HANDLING OR DISPOSING OF PRODUCT

MSDS CODE AND NAME	:	*GRADE 40*	*EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)*
DATE ISSUED	:	9/20/2005	
DATE PRINTED	:	9/20/2005	

1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

MATERIAL IDENTITY

MSDS CODE AND NAME

GRADE 40 EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)

Chemical Name and/or Family or Description:

Chemical Name: Polystyrene thermoplastic polymer

Synonym(s): Modified EPS

Molecular Formula: $(C_8H_8)_x$

COMPANY INFORMATION

Huntsman Corporation
P.O. Box 4980
The Woodlands, TX 77387-4980

TELEPHONE NUMBERS
Transportation Emergency
Company: (800) 328-8501
CHEMTREC: (800) 424-9300
Medical Emergency: (409) 722-9673 (24 Hour)
General MSDS Assistance: (281) 719-6432
Technical Information: (800) 972-1010

2. COMPOSITION AND INFORMATION ON INGREDIENTS

THE CRITERIA FOR LISTING COMPONENTS IN THE COMPOSITION SECTION ARE AS FOLLOWS: CARCINOGENS ARE LISTED WHEN PRESENT AT 0.1 % OR GREATER; COMPONENTS WHICH ARE OTHERWISE HAZARDOUS ACCORDING TO OSHA ARE LISTED WHEN PRESENT AT 1.0 % OR GREATER; NON-HAZARDOUS COMPONENTS ARE LISTED AT 3.0 % OR GREATER. THIS IS NOT INTENDED TO BE COMPLETE COMPOSITIONAL DISCLOSURE. REFER TO SECTION 14 FOR APPLICABLE STATES' RIGHT TO KNOW AND OTHER REGULATORY INFORMATION.

Product and/or Component(s) Carcinogenic According to:

OSHA___ IARC___ NTP___ OTHER___ NONE_X_

Composition:

Chemical Name	CAS Number	Exposure Limits	Range in %
Benzene, ethenyl-, homopolymer			≥92.6
Pentane	109-66-0	600 ppm TWA ACGIH 1000 ppm TWA OSHA 750 ppm STEL OSHA 120 ppm TWA (Canada) 350 mg/m³ TWA (Canada)	≤7

* May contain trace amounts of styrene. See Section 11 for additional information.

1

MSDS CODE AND NAME	: ***GRADE 40***	***EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)***
DATE ISSUED	: **9/20/2005**	
DATE PRINTED	: **9/20/2005**	
COMPANY	: **HUNTSMAN**	

3. HAZARD IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW

Appearance:

Solid, white beads

Odor:

Slight hydrocarbon odor

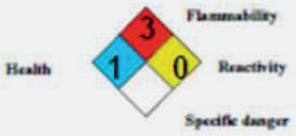
WARNING STATEMENT

DANGER! EXTREMELY FLAMMABLE VAPOR
VAPOR MAY CAUSE FLASH FIRE
VAPOR MAY CAUSE DIZZINESS AND DROWSINESS
VAPOR MAY CAUSE IRRITATION TO EYES AND RESPIRATORY TRACT

Hazardous Material Information System (United States)



National Fire Protection Association NFPA (United States)



POTENTIAL HEALTH EFFECTS

Primary Route of Exposure

Eye__X__ Skin__X__ Inhalation__X__ Ingestion____

Effects of Overexposure

Acute:

Eyes: Vapor may cause irritation, experienced as discomfort, with excess tear production and blinking, and seen as excess redness of the eye. Product may contain residual amounts of dust or small particulates which may cause eye irritation or abrasion experienced as mild discomfort and slight excess redness of the eye.

Skin: Product may contain residual amounts of dust or small particulates that may cause skin irritation or abrasion experienced as local redness with possible mild discomfort.

Inhalation: Vapors or mist may cause irritation of the nose and throat. Inhalation may cause dizziness, drowsiness, euphoria, loss of coordination, disorientation, headache, nausea, and vomiting. In poorly ventilated areas or confined spaces, unconsciousness and asphyxiation may result. Prolonged or repeated overexposure may result in the absorption of potentially harmful amounts of material.

Dust may cause irritation of the nose and throat. Overexposure to high concentrations of dust may cause respiratory irritation, experienced as coughing and difficulty breathing.

Ingestion: If more than several mouthfuls are swallowed, abdominal discomfort, nausea, and diarrhea may occur.

Sensitization Properties: Unknown

Chronic:

Prolonged or repeated inhalation of dust or particulates may impair lung function or cause lung damage.

Medical Conditions Aggravated by Exposure:

Overexposure to vapor, dust or mist may aggravate existing respiratory conditions, such as asthma, bronchitis, and inflammatory or fibrotic respiratory disease.

MSDS CODE AND NAME	: ***GRADE 40***	***EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)***
DATE ISSUED	: **9/20/2005**	
DATE PRINTED	: **9/20/2005**	
COMPANY	: **HUNTSMAN**	

Other Remarks:

None

4. FIRST AID MEASURES

Eye:

Flush eyes with plenty of water for several minutes. Remove larger particulates from the eye as one would any foreign object. Get medical attention if eye irritation persists or particulates are difficult to remove from the eye.

Skin:

Wash skin with plenty of soap and water for several minutes. Get medical attention if skin irritation develops or persists.

Ingestion:

If more than several mouthfuls of this material are swallowed, give two glasses of water (16 oz.). Get medical attention.

Inhalation:

If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, clear person's airway and give artificial respiration. If breathing is difficult, qualified medical personnel may administer oxygen. Get medical attention immediately.

Other Instructions:

None.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Ignition Temperature - AIT (degrees C):

260 (500 F) for Pentane
471 (880 F) by ASTM D-1929 Expanded polystyrene

Flash Point (degrees C):

-40 (-40 F) CC for Pentane

Flammable Limits % (Lower-Upper):

Lower: 1.5 for Pentane
Upper: 7.8 for Pentane

Recommended Fire Extinguishing Agent: And Special Procedures:

Water may be ineffective on flames but should be used to cool fire-exposed containers and provide protection for persons attempting to stop the leak. Use water spray, dry chemical, foam or carbon dioxide to extinguish flames.

Unusual or Explosive Hazards:

Danger! Extremely flammable materials may release vapors that travel long distances, ignite, and flash back. Containers may explode in a fire. Do not expose to heat, sparks, flame, static, or other sources of ignition. When handling, use non-sparking tool, ground and bond all containers.

Explosive air-vapor mixtures may form. Fire gives off dense black smoke and acid gasses. Electrostatic discharge can be a source of ignition due to accumulated pentane vapors exceeding the L.E.L. (lower explosive limit) of 1.5% (15,000 ppm). Pentane vapors may be emitted from newly opened containers or when the product is heated. If ignited, there could be a very high rate of flame propagation.

"NO SMOKING - NO MATCHES - NO LIGHTERS - NO WELDING" rules should be enforced.

Special Protective Equipment for Firefighters:

Wear full protective clothing and positive pressure breathing apparatus.

MSDS CODE AND NAME	: ***GRADE 40***	***EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)***
DATE ISSUED	: **9/20/2005**	
DATE PRINTED	: **9/20/2005**	
COMPANY	: **HUNTSMAN**	

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES (Transportation Spills: CHEMTREC (800)424-9300)

Procedures in Case of Accidental Release, Breakage or Leakage:

Avoid the generation of dust clouds. Place in appropriate containers for disposal or recycle. Avoid breathing dust. Pressure demand air supplied respirators should always be worn when the airborne concentration of the contaminant or oxygen is unknown. Otherwise, wear respiratory protection and other personal protective equipment as appropriate for the potential exposure hazard. Wear gloves, goggles, and protective clothing to avoid contact with eyes, skin, or clothing. Use vacuuming or sweeping compound for clean-up. Do not dry sweep or use methods which increase dusting. Prevent entry into sewers and waterways.

7. HANDLING AND STORAGE

Precautions to be Taken in

Handling:

Use spark-proof tools. Material may be at elevated temperatures and/or pressures. Exercise care when opening bleeders and sampling ports.

Storage:

Ground and bond shipping container, transfer line, and receiving container. Keep away from heat, sparks, flame, and other sources of ignition.

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Protective Equipment (Type)

Eye/Face Protection:

Avoid eye contact. Chemical type goggles should be worn. Do not wear contact lenses.

Skin Protection:

Workers should wash exposed skin several times daily with soap and water. Soiled work clothing should be laundered or dry-cleaned.

Respiratory Protection:

Airborne concentrations should be kept to lowest levels possible. If vapor, mist or dust is generated and the occupational exposure limit of the product, or any component of the product, is exceeded, use appropriate NIOSH or MSHA approved air purifying or air supplied respirator after determining the airborne concentration of the contaminant. Air supplied respirators should always be worn when airborne concentration of the contaminant or oxygen content is unknown.

Ventilation:

Use explosion-proof equipment to maintain adequate ventilation to meet occupational exposure limits, if applicable (see below), prevent accumulation of explosive air-gas mixtures, and avoid significant oxygen displacement. Oxygen levels should be at least 19.5% in confined spaces or other work areas (OSHA value).

Exposure Limit for the Total Product:

None established for product; refer to Section 2 for component exposure limits.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance:

Solid, white beads

Odor:

Slight hydrocarbon odor

MSDS CODE AND NAME	: ***GRADE 40***	***EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)***
DATE ISSUED	: **9/20/2005**	
DATE PRINTED	: **9/20/2005**	
COMPANY	: **HUNTSMAN**	

Boiling Point (degrees C):
Not applicable

Melting/Freezing Point (degrees C):
Softens and expands at 93.3-101.7 C (200-215 F)

Specific Gravity (water=1):
Depending on bulk density of the product, the material may float on top of water.

pH:
Not applicable.

Vapor Pressure:
Negligible

Viscosity:
Not applicable

VOC Content:
Not determined.

Vapor Density (Air=1):
>1

Solubility in Water (%):
< 0.1

Other:
None

10. STABILITY AND REACTIVITY

This Material Reacts Violently With:
Air___ Water___ Heat__X__ Strong Oxidizers__X__ Others___ None of these___

Comments:
None

Products Evolved When Subjected to Heat or Combustion:
Toxic levels of carbon monoxide, carbon dioxide, irritating aldehydes and ketones.

Hazardous Polymerizations:
DO NOT OCCUR

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

TOXICOLOGICAL INFORMATION (ANIMAL TOXICITY DATA)

Oral:
LD50 Believed to be > 5.00 g/kg (rat) practically non-toxic
Inhalation:
Not determined.
Dermal:
LD50 Believed to be > 2.00 g/kg (rabbit) practically non-toxic

IRRITATION INDEX, ESTIMATION OF IRRITATION (SPECIES)

MSDS CODE AND NAME	: ***GRADE 40***	***EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)***
DATE ISSUED	: **9/20/2005**	
DATE PRINTED	: **9/20/2005**	
COMPANY	: **HUNTSMAN**	

Skin:
(Draize) Believed to be > .50 - 3.00 /8.0 (rabbit) slightly irritating
Eyes:
(Draize) Believed to be > 15.00 - 25.00 /110 (rabbit) slightly irritating
Sensitization:
Not determined.

Other:

Product may contain dust or particulates that may cause eye irritation or abrasion.

This product may contain residual styrene. Typical concentrations are less than 0.1%. Please refer to product-specific purchasing specifications for information on residual styrene content of this product.

Chronic (lifetime) exposure to styrene resulted in bronchoalveolar (lung) tumors in mice, but not in rats. The relevance of these cell-type specific mouse lung tumors to humans is not known. Nasal effects were also observed in these rats and mice exposed to styrene. In subchronic exposure studies, repeated exposures of female mice to styrene resulted in liver toxicity, however, this effect was not observed in rats.

12. DISPOSAL CONSIDERATIONS:

Waste Disposal Method::

This material should be disposed of in accordance with local, state and federal regulations.

Remarks::

Do not allow to enter drains or sewers.

13. TRANSPORT INFORMATION

Transportation

DOT:

Proper Shipping Name:
Polymeric beads, expandable

Hazard Class:
9

Identification Number:
UN 2211

Packing Group:
III

Label Required:
Class 9

IMDG

Proper Shipping Name:
Polymeric beads, expandable

Hazard Class
9

Identification Number
UN 2211

Packing Group
III

MSDS CODE AND NAME	: ***GRADE 40***	***EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)***
DATE ISSUED	: **9/20/2005**	
DATE PRINTED	: **9/20/2005**	
COMPANY	: **HUNTSMAN**	

Label Required
Class 9 (See Section 16 for additional information)

ICAO

Proper Shipping Name:
Polymeric beads, expandable

Hazard Class
9

Identification Number
UN 2211

Packing Group
III

Label Required
Class 9 (See Section 16 for additional information)

TDG

Proper Shipping Name:
Polymeric beads, expandable

Hazard Class:
9

Identification Number:
UN 2211

Label Required:
Class 9 (per UN recommendations, black vertical stripes)

14. REGULATORY INFORMATION

Federal Regulations:

SARA Title III:

Section 302/304 Extremely Hazardous Substances:

Chemical Name	CAS Number	Range in %	TPQ	RQ
None.				

Section 311 Hazardous Categorization:

Acute__X__ Chronic__X__ Fire__X__ Pressure____ Reactive____ N/A____

Section 313 Toxic Chemical

Chemical Name	CAS Number	Concentration
Styrene (residual)	100-42-5	0 - 0.3

CERCLA 102(a)/DOT Hazardous Substances:

Chemical Name	CAS Number	Range in %	RQ
Styrene (residual)	100-42-5	0 - 0.3	1000

State Right-to-Know Regulations:

Chemical Name	State Right-to-know
Pentane	FL, MA, MN, NJ, PA, RI
Styrene (residual)	CT, FL, IL, MA, MI, MN, NJ, PA, RI

California Prop. 65:
The following detectable components of this product are substances, or belong to classes of substances, known to the State of California to cause cancer and/or reproductive toxicity.

MSDS CODE AND NAME	: *GRADE 40*	*EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)*
DATE ISSUED	: 9/20/2005	
DATE PRINTED	: 9/20/2005	
COMPANY	: HUNTSMAN	

Chemical Name **CAS Number**

None.

INTERNATIONAL REGULATIONS:

TSCA Inventory Status:

This product, or its components, are listed on, or are exempt from the Toxic Substance Control Act (TSCA) Chemical Substance Inventory.

WHMIS Classification:

Not determined.

Canadian Inventory Status:

This product, or its components, are listed on or are exempt from the Canadian Domestic Substance List (DSL).

EINECS Inventory Status:

This product, or its components, are listed on or are exempt from the European Inventory of Existing Chemical Substances (EINECS) or the European List of Notified Chemical Substances (ELINCS).

Australian Inventory Status:

This product, or its components, are listed on or are exempt from the Australian Inventory of Chemical Substances (AICS).

Japan Inventory Status:

This product, or its components, are listed on or are exempt from the Japanese Ministry of International Trade and Industry (MITI) Inventory.

15. ENVIRONMENTAL INFORMATION

Aquatic Toxicity:

Not applicable.

Mobility:

Not applicable.

Persistence and Biodegradability:

This product is expected to persist in the environment.

Potential to Bioaccumulate

Not applicable.

Remarks

Severe persistent physical obstruction; fish may eat beads and obstruct the digestive tract.

16. OTHER INFORMATION 9/20/2005

European, ADR regulations require additional marking (see Item 2912) "Keep Away From Any Source of Ignition." Vessel carriers request marking warning "No Smoking or Open Flame" on box doors.

Supersedes: 8/31/2003 The following sections have been revised: 2, 11, 14

Date Issued: 9/20/2005.

8

MSDS CODE AND NAME	: GRADE 40	EXPANDABLE POLYSTYRENE (EPS)
DATE ISSUED	: 9/20/2005	
DATE PRINTED	: 9/20/2005	
COMPANY	: HUNTSMAN	

THE INFORMATION IN THIS DATA SHEET IS PROVIDED INDEPENDENTLY OF ANY SALE OF THE PRODUCT. IT IS PROVIDED FOR THE PURPOSE OF HAZARD COMMUNICATION AS PART OF HUNTSMAN'S PRODUCT SAFETY PROGRAM. IT IS INTENDED ONLY AS A GUIDE TO THE APPROPRIATE PRECAUTIONARY HANDLING OF THE PRODUCT BY A PROPERLY TRAINED PERSON. YOU ARE ENCOURAGED AND REQUESTED TO ADVISE THOSE WHO MAY COME IN CONTACT WITH SUCH PRODUCTS OF THE INFORMATION CONTAINED HEREIN. THE DATA RELATES ONLY TO THE SPECIFIC PRODUCT DESIGNATED, AND DOES NOT RELATE TO USE OF THE PRODUCT IN COMBINATION WITH ANY OTHER MATERIAL OR USE OF THE PRODUCT IN ANY PROCESS. THE DATA IS NOT INTENDED TO CONSTITUTE PERFORMANCE INFORMATION CONCERNING THE PRODUCT. NO EXPRESS WARRANTY, OR IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE IS MADE WITH RESPECT TO THE PRODUCT, ITS COMPOSITION, ITS SAFETY OR THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DATA SHEET.

TO DETERMINE THE APPLICABILITY OR THE EFFECTS OF ANY LAW OR REGULATION WITH RESPECT TO THE PRODUCT, THE USER SHOULD CONSULT A LEGAL ADVISOR OR THE APPROPRIATE GOVERNMENT AGENCY. HUNTSMAN DOES NOT UNDERTAKE TO FURNISH ADVICE ON SUCH MATTERS.

CURRENT DATA SHEETS ARE AVAILABLE FOR ALL HUNTSMAN PRODUCTS. YOU ARE URGED TO OBTAIN DATA SHEETS FOR ALL HUNTSMAN PRODUCTS YOU BUY, USE OR DISTRIBUTE BY CALLING (281) 719-6432 OR DIRECTING YOUR INQUIRIES TO:

HUNTSMAN
MANAGER, PRODUCT SAFETY
P.O. BOX 4980
THE WOODLANDS, TX 77387-4980

NO PERSON OR ORGANIZATION EXCEPT A DULY AUTHORIZED HUNTSMAN EMPLOYEE IS AUTHORIZED TO PROVIDE OR MAKE AVAILABLE DATA SHEETS FOR HUNTSMAN PRODUCTS. DATA SHEETS FROM UNAUTHORIZED SOURCES MAY CONTAIN INFORMATION THAT IS NO LONGER CURRENT OR ACCURATE. NO PART OF THIS DATA SHEET MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM, OR BY ANY MEANS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM HUNTSMAN. ALL REQUESTS FOR PERMISSION TO REPRODUCE MATERIAL FROM THIS DATA SHEET SHOULD BE DIRECTED TO HUNTSMAN, MANAGER, PRODUCT SAFETY AT THE ABOVE ADDRESS.

COPYRIGHT © BY HUNTSMAN CORPORATION. ALL RIGHTS RESERVED.

POLYSTYRENE AUSTRALIA

Material Safety Data Sheet

AUSTREX^& STYRON^ POLYSTYRENE RESIN
MSDS CODE F GRADES

Not hazardous according to the criteria of Worksafe Australia

COMPANY DETAILS

Company Name:	Polystyrene Australia Pty. Limited A.C.N. 075 812 270
Address:	Meplan Street, Footscray VIC. 3011
Telephone Number:	(03) 9304 6100
Fax Number:	(03) 9304 6111
Emergency Telephone Numbers:	1300 033 111 (STD Free - all hours Australia)
	0800734607 (STD Free - all hours New Zealand)

IDENTIFICATION

Product Name: AUSTREX & STYRON POLYSTYRENE RESIN MSDS CODE-F GRADES

MSDS Code F grades of AUSTREX & STYRON POLYSTYRENE are intended for less critical applications of general purpose and high impact polystyrene in natural or coloured form. The MSDS Code for each grade is printed on the label on the side of each bag or on the side of bulk containers.

Other Names:	Styrene homopolymer
	Styrene, polymer with 1,3-butadiene
Manufacturing Product Code:	MSDS No.: PSA004
ADG Code Classification	
UN No.:	None allocated
Correct Shipping Name:	None allocated
Dangerous Goods Class:	None allocated
Subsidiary Risk:	None allocated
Packaging Group:	None allocated
Hazchem Code:	None allocated
Emergency Procedure Guide:	None allocated
Poisons Schedule Number:	None allocated
Australian Inventory of Chemical Substances:	All components are listed or meet NICNAS requirements.
Use:	Manufacture of thermoplastic articles by injection moulding or extrusion.
	AUSTREX & STYRON Polystyrene Resin - MSDS Code F grades comply with Australian Standard 2070 Part 3 - 1992 (Plastics Materials for Food Contact Use, Part 3 - Styrene Plastics Materials).

POLYSTYRENE AUSTRALIA

Material Safety Data Sheet

AUSTREX^& STYRON^^ POLYSTYRENE RESIN
MSDS CODE F GRADES

PHYSICAL DESCRIPTION / PROPERTIES

Appearance:	Pellet, either clear, opaque or pigmented; odorless.
Boiling Point:	Not applicable
Melting Point:	Not applicable (see "Softening Point")
Vapour Pressure:	Not applicable
Specific Gravity:	1.04-1.07 @ 25 °C (H_2O=1)
Flash Point:	Not applicable
Flammability Limits:	Not applicable
Solubility in Water:	Insoluble

OTHER PROPERTIES

Solubility in Organic Solvents:	Soluble in aromatic hydrocarbons, acetone, methylethylketone; not soluble in alcohols.	
Softening Point:	90 - 108 °C	Method: ASTM 1525
Flash Ignition Temperature:	260 - 270 °C	Method: ASTM-1929(B)
Auto Ignition Temperature:	480 - 490 °C	Method: ASTM-1929(B)
Percent Volatiles:	Less than 0.1	

INGREDIENTS

Chemical Name	CAS No.	Proportion, %wt.
Polystyrene	9003-53-6	)
or		) 94-100
Styrene, polymer with 1,3-butadiene	9003-55-8	)
Additives (pigments, polymer additives metallic soaps, mineral oil, waxes, antioxidants)	Not available	0-6
Styrene	100-42-5	Less than 0.25

HEALTH HAZARD INFORMATION

HEALTH EFFECTS

Acute-Swallowed:
Swallowing of the pellets does not present any known health hazard.

Acute-Eye:
May cause mechanical irritation.

Acute-Skin:
None known.

POLYSTYRENE AUSTRALIA

Material Safety Data Sheet

AUSTREX^& STYRON^^ POLYSTYRENE RESIN
MSDS CODE F GRADES

Acute-Inhalation:
Dust may cause mechanical irritation. Standard operating temperatures at dies and moulds would involve only minimal exposure to the residual styrene vapors. Studies have indicated exposures of less than 5ppm (The Worksafe Australia exposure standard 8 hr. TWA is 50ppm).

Chronic:
None known.

Other Health Hazard Information:
AUSTREX & STYRON Polystyrene Resin-MSDS Code C G rades may contain low levels of other copolymers, colour additives and performance additives. Under normal conditions of use these additives are contained within the polymer matrix and occupational exposure to these materials are not anticipated.

FIRST AID

Swallowed:
Not probable. Notify medical personnel.

Eye:
Flush with water to wash out any particles.

Skin:
Molten plastic causes severe thermal burns. Cool rapidly with water and seek medical attention. Do not pull off the skin.

Inhaled:
None expected.

First Aid Facilities:
Provide facilities for washing eyes and skin.

ADVICE TO DOCTOR
Treat symptomatically.

PRECAUTIONS FOR USE

EXPOSURE STANDARDS
None established for polystyrene. Normal handling would involve minimal exposure only. Worksafe Australia have established the following exposure standard for "dusts not otherwise classified":

Inspirable dust — 8 hr. TWA: 10 mg.m^{-3}

Keep exposures as low as practicable below exposure standards.

ENGINEERING CONTROLS
Provide mechanical ventilation to control exposure levels below airborne exposure standards and to prevent operator discomfort. Use local mechanical exhaust ventilation at sources of air contamination such as open process equipment.

POLYSTYRENE AUSTRALIA

Material Safety Data Sheet

AUSTREX^& STYRON^^ POLYSTYRENE RESIN
MSDS CODE F GRADES

PERSONAL PROTECTION

Respiratory Protection:
Not required under normal operating conditions. Under atypical conditions, such as dusty conditions, overheating and fuming or a fire, respiratory protection equipment meeting AS/NZS1716 should be used in accordance with AS/NZS1715 (see "Fire/Explosion Hazards" section).

Eye:
Safety glasses with side shields are recommended. Goggles would be required for high airborne dust concentrations. See "Other Precautions" below.

Skin Protection:
None required under normal conditions, but use gloves if deemed necessary. See "Other Precautions" below.

Other Precautions:
Do not smoke or eat in process area.

The greatest potential for injury occurs when working with the molten material such as during purging of the moulding machine, extruder and the like. During this type of operation it is essential that all workers in the immediate area wear eye and skin protection (e.g. full face shield and safety glasses, heat resistant gloves, cuff rails and safety boots) as protection from thermal burns.

FLAMMABILITY
Polymer will burn under the right conditions of heat and oxygen. Use adequate ventilation and provide electrostatic bonding and grounding of equipment to prevent dust explosion.

SAFE HANDLING INFORMATION

STORAGE AND TRANSPORT
Not classified as a Dangerous Good (see "Identification" section). Store in a cool dry area.

SPILLS AND DISPOSAL
Spillages on hard surfaces present a slip hazard. Sweep or vacuum up promptly.

The pellets may cause sewer and waterway obstruction; fish may eat pellets and obstruct their digestive tracts. Prevent exit to sewer and waterways. Remove sources of ignition. Collect material into containers. Recycle, incinerate or landfill as per local, state and federal regulations.

FIRE/EXPLOSION HAZARDS

Extinguishing Media:
Water spray, foam, carbon dioxide and dry chemical.

Special Fire Fighting Procedures:
The product is a combustible thermoplastic material which will melt and drip when ignited and give off combustion products which are toxic (see "Hazardous Decomposition Products" section). Cool surroundings with water to localize the zone. Soak thoroughly with water to prevent ignition. Firefighters and others who may be exposed to products of combustion should wear self-contained breathing apparatus. Equipment should be thoroughly decontaminated after use.

POLYSTYRENE AUSTRALIA

Material Safety Data Sheet

AUSTREX^& STYRON^^ POLYSTYRENE RESIN
MSDS CODE F GRADES

Unusual Fire and Explosion Hazards:
Dust generated during handling and/or storage may form explosive mixtures in air.

Hazardous Decomposition Products:
There are no significant decomposition products occurring in the product below about 230 °C. Decomposition products at greater than about 260 °C may include carbon dioxide, carbon monoxide, hydrocarbons and some residual monomer, e.g. styrene. Fire gives off carbon monoxide, carbon dioxide and dense black smoke.

ADDITIONAL INFORMATION

ENVIRONMENTAL INFORMATION
The Polymer is stable to degradation in soil but will degrade slowly in sunlight. There is no potential for bioconcentration or exotoxicity.

WARNING STATEMENTS
HANDLE PELLETS IN ACCORDANCE WITH GOOD INDUSTRIAL HYGIENE AND SAFETY PRACTICES. THESE PRACTICES INCLUDE AVOIDING UNNECESSARY EXPOSURE AND REMOVAL OF MATERIAL FROM THE EYES, SKIN AND CLOTHING.

MANUFACTURERS INFORMATION
The AUSTREX & STYRON products covered by this MSDS are manufactured in Australia by Huntsman Chemical Company Australia Pty Limited A.C.N. 004146338 or Dow Chemical Australia Limited A.C.N. 000264979.

This MSDS is based on information supplied by Huntsman Chemical Company Australia Pty Limited & Dow Chemical Australia Limited.

CONTACT POINT

Title: Customer Service Manager or Technical Manager
Telephone: (03) 93046100
Fax Number: (03) 93046111

^ - Registered trademark of Huntsman Chemical Company Australia Pty. Limited
^^ - Registered trademark of The Dow Chemical Company

Polystyrene Australia Pty. Limited makes no representation with regard to the completeness or accuracy of the information and any recommendations contained in this data sheet, and it accepts no responsibility for loss or damage whatsoever resulting from the use of, or reliance upon, the information and any recommendations herein. Polystyrene Australia Pty. Limited's products are sold on standard terms and conditions a copy of which is available on request.

TOTAL PETROCHEMICALS

TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC.

Material Safety Data Sheet

Section 1. Chemical Product and Company Identification

Tradename	**TOTAL Polystyrene**
Supplier	TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. P O Box 674411 Houston,TX 77267-4411
Synonym	Crystal Polystyrene This MSDS covers all prime grades of General Purpose Polystyrene including but not limited to the following grades: S##, S##P1, or S##P0 CXS#### where # can be any number. This MSDS also covers compounded samples labeled TOTAL PETROCHEMICALS USA Polystyrene Nxxxxx and Nxxxxx-x, where x can be any number.
MSDS Name	Polystyrene
Chemical Family	Polymer.
CAS Registry Number	9003-53-6
Threshold Limit Value	Not available.
Manufacturer	TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. P.O. Box 98 Carville, LA 70721

Code	PS_GPPS_PELLETS
MSDS#	P82
Validation Date	10/7/2009
Print Date	10/7/2009
Responsible for Preparation	Paul Bradley

In Case of Emergency	Chemtrec: (800) 424-9300 TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC: (800) 322-3462
Technical Information	TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. La Porte Research and Technology PO Box 1200 Deer Park,TX. 77536 281-884-7500

Section 2. Composition and Information on Ingredients

Name	CAS #	% by Weight	Exposure Limits
Polystyrene	9003-53-6	~100	Not available.

Section 3. Hazards Identification

Physical State and Appearance	Solid. Pellets.
Emergency Overview	Irritating vapors to respiratory system and eyes may form when polymer is processed at high temperatures. Molten or heated material in skin contact can cause severe burns.
Routes of Entry	FOR HOT MATERIAL: Skin contact. Eye contact. Inhalation.
Potential Acute Health Effects	
Eyes	Dust may cause mechanical irritation to eye. Heated Polymer: Eye contact can cause serious thermal burns. Vapors formed when polymer is heated may be irritating to the eye.
Skin	No known acute effects of this product resulting from skin contact at room temperature. Heated Polymer: skin contact can cause serious thermal burns.
Inhalation	Negligible at room temperature. Nuisance dusts can be irritating to the upper respiratory tract. Irritating vapors may form when the polymer is processed at high temperatures.
Ingestion	No effects are expected for ingestion of small amounts. May be a choking hazard.

Continued on Next Page

TOTAL Polystyrene	Page: 2/6
Potential Chronic Health Effects	CARCINOGENIC EFFECTS: Polystyrene is not a known carcinogen. Not listed as a carcinogen by OSHA, NTP or IARC.
Medical Conditions Aggravated by Overexposure	There is no known effect from chronic exposure to this product. Repeated or prolonged exposure is not known to aggravate any medical condition.
Overexposure Signs/Symptoms	No adverse health effects anticipated from the solid pellet.
See Toxicological Information (Section 11)	

Section 4. First Aid Measures	
Eye Contact	Rinse with water for a few minutes. Seek medical attention if necessary.
Skin Contact	Polymer: NO known EFFECT on skin contact, rinse with water for few minutes. Heated Polymer: For serious burns from heated polymer, get medical attention. In case of skin contact, immediately immerse in or flush with clean, cold water.
Inhalation	Allow the victim to rest in a well-ventilated area.
Ingestion	No First Aid procedures are needed.

Section 5. Fire Fighting Measures	
Flammability of the Product	May be combustible at high temperature.
Auto-ignition Temperature	440°C (824°F)
Flash Points	>200°C (>392°F)
Flammable Limits	Not available.
Products of Combustion	Carbon oxides (CO, CO2) and soot.
Fire Hazards in Presence of Various Substances	No specific information is available in our database regarding the flammability of this product in presence of various materials.
Explosion Hazards in Presence of Various Substances	Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not expected. Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Possible. Risk of explosion from dust accumulation of this product is possible. See MSDS section 7 Handling for more information.
Fire Fighting Media and Instructions	SMALL FIRE: Dry chemical extinguisher (ABC or AB). Use water spray or fog. LARGE FIRE: Use water spray or fog. Do not use water jet. May re-ignite itself after fire is extinguished.
Protective Clothing (Fire)	Wear MSHA/NIOSH-approved self-contained breathing apparatus or equivalent and full protective gear.
Special Remarks on Fire Hazards	Fire may produce irritating gases and dense smoke. Flowing material may produce static discharge, igniting dust accumulations.
Special Remarks on Explosion Hazards	Processing or material handling equipment may generate dust of sufficiently small particle size, that when suspended in air may be explosive.

Section 6. Accidental Release Measures	
Small Spill and Leak	Pellets on the floor could present a serious slipping problem. Good housekeeping must be maintained at all times to avoid this hazard. Sweep, shovel, or vacuum material in to clean containers.
Large Spill and Leak	Use a shovel to put the material into a convenient waste disposal container. Do not allow any potentially contaminated water with pellets to enter any waterway, sewer or drain.

Continued on Next Page

TOTAL Polystyrene — Page: 3/6

Section 7. Handling and Storage

Handling	Avoid Temperatures of 600 °F (316°C) or above. Handling of plastic may form airborne dust. Protect personnel. Pneumatic material handling and processing equipment may generate dust of sufficiently small particle size that, when suspended in air, may be explosive. Dust accumulations should be controlled through a comprehensive dust control program that includes, but is not limited to, source capture, inspection and repair of leaking equipment, routine housekeeping and employee training in hazards. See NFPA 654. When handled in bulk quantities, this product and its associated packaging may present a crushing hazard due to the large masses involved, possibly resulting in severe injury or death.
Storage	Keep container dry. Keep in a cool place. Ground all equipment containing material. Keep container tightly closed. Keep in a cool, well-ventilated place. Combustible materials should be stored away from extreme heat and away from strong oxidizing agents.

Section 8. Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls	Use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to keep airborne levels below recommended exposure limits. If user operations generate dust, fumes or mist, use ventilation to keep exposure to airborne contaminants below the exposure limit.
Personal Protection	
Eyes	Safety glasses.
Body	Coveralls.
Respiratory	Ventilation is normally required when handling this product at high temperatures. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate.
Hands	Thermally insulated gloves required when handling hot material.
Feet	Shoes.
Protective Clothing (Pictograms)	
Personal Protection in Case of a Large Spill	Safety glasses. Gloves. Coveralls

Product Name	Exposure Limits
Polystyrene	Not available.

Consult local authorities for acceptable exposure limits.

Section 9. Physical and Chemical Properties

Physical State and Appearance	Solid. Pellets.	**Odor**	Odorless.
Molecular Weight	Not available.	**Taste**	Not available.
Molecular Formula	(-CH(C6H5)-CH2-)x (-CH2-CH=CH-CH2-)y	**Color**	Clear.
Melting/Freezing Point	>132.22°C (270°F)		
Specific Gravity	1.04 (Water = 1)		
Volatility	Negligible.		
VOC	0 (%)		
Solubility in Water	Insoluble in water.		

Continued on Next Page

TOTAL Polystyrene	Page: 4/6

Section 10. Stability and Reactivity	
Stability and Reactivity	The product is stable. Avoid Temperatures of 600°F (316°C) or above.
Incompatibility with Various Substances	Reactive with strong oxidizing agents.
Hazardous Decomposition Products	Hazardous decomposition products are carbon monoxide, carbon dioxide, dense smoke, and various hydrocarbons. Exposure of polystyrene to extremely high temperatures (600 deg F or higher) may cause partial decomposition. Chemicals that may be released include styrene monomer, benzene, and other hydrocarbons.
Hazardous Polymerization	No.

Section 11. Toxicological Information	
Toxicity to Animals	LD50: Not available. LC50: Not available.
Chronic Effects on Humans	CARCINOGENIC EFFECTS: Not listed as a carcinogen by OSHA, NTP or IARC.
Other Toxic Effects on Humans	Not considered to be dangerous to humans.

Section 12. Ecological Information	
Ecotoxicity	Not available.
BOD5 and COD	Not available.
Biodegradable/OECD	Not available.
Mobility	Not available.
Toxicity of the Products of Biodegradation	No additional information.

Section 13. Disposal Considerations	
Waste Information	Transfer to an approved disposal area in accordance with federal, state, and local regulations. Consult your local or regional authorities.

Section 14. Transport Information (for bulk shipments, non-bulk shipments may differ)	
DOT Classification for Bulk Shipments (non bulk shipments may differ)	Not a DOT controlled material (United States).
DOT Proper Shipping Name	Not applicable.
UN Number	Not established
Packing Group	Not applicable.
USCG Proper Shipping Name	Not Available
Marine Pollutant	Not listed in Appendix B to 49CFR172.101
Hazardous Substances Reportable Quantity	Not listed in Appendix A to 49CFR172.101
Special Provisions for Transport	Not applicable.
TDG Classification	Not controlled under TDG (Canada).

Continued on Next Page

TOTAL Polystyrene	Page: 5/6
ADR/RID Classification	Not controlled under ADR (Europe).
IMO/IMDG Classification	Not controlled under IMDG.
ICAO/IATA Classification	Not controlled under IATA.

Section 15. Regulatory Information

HCS Classification

This product is not a "Hazardous Chemical" as defined by the OSHA Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200.

US. Federal Regulations

TSCA Inventory: All components listed

SARA 301/302/303

No chemicals in this product are listed as extremely hazardous substances in 40 CFR 355, Emergency Planning And Notification (Appendix A to Part 355).

SARA 304

No chemicals in this product require reporting under the requirement of 40 CFR 355, Emergency Planning And Notification (SARA extremely hazardous substances listed in Appendix A to Part 355 or CERCLA hazardous substances listed in Table 302.4 of 40 CFR Part 302).

SARA 313

This product contains no chemicals in excess of the applicable de minimis concentration that are subject to the reporting requirements of Section 313 of Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 and 40 CFR Part 372 (Table 372.65).

SARA 311/312

This product is not a "Hazardous Chemical" as defined by the OSHA Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200, and as such does not require reporting under the requirements of 40 CFR 370, Hazardous Chemical Reporting: Community Right-To-Know.

Specific state and local regulations should be consulted to determine if there are any additional requirements. Because many states and localities have added requirements or incorporated the Federal contents in their own forms, Tier I & II forms should be obtained from the State Emergency Response Commission (SERC).

Clean water act (CWA) 307: No products were found.
Clean water act (CWA) 311: No products were found.

Clean air act (CAA) 112 accidental release prevention: No products were found.
Clean air act (CAA) 112 regulated flammable substances: No products were found.
Clean air act (CAA) 112 regulated toxic substances: No products were found.

International Regulations

WHMIS (Canada)

Not controlled under WHMIS (Canada).

CEPA Toxic substances: This material is not listed.
Canadian ARET: This material is not listed.
Canadian NPRI: This material is not listed.
Alberta Designated Substances: This material is not listed.
Ontario Designated Substances: This material is not listed.
Quebec Designated Substances: This material is not listed.

DSCL (EEC)

This product is not classified according to EU legislation.

International Lists

Australia Inventory: (AICS): This material is listed or exempted.
China Inventory: (IECSC): This material is listed or exempted.
Japan Inventory: (ENCS): This material is listed or exempted.
Japan Inventory: (ISHL): Not determined.
Korea Inventory: (KECI): This material is listed or exempted.
New Zealand Inventory of Chemicals (NZIoC): This material is listed or exempted.
Philippines Inventory: (PICCS): This material is listed or exempted.

State Regulations

CALIFORNIA PROPOSITION 65: The following statement is made in order to comply with the California Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act of 1986.

Continued on Next Page

Ethylbenzene was listed on California Proposition 65 in June 2004. Under the law, a warning must be given unless a business demonstrates that the exposure to the listed chemical poses no significant risk. With this notification TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. provides a "clear and reasonable" warning concerning the presence of this listed chemical at low levels in polystyrene. TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. has chosen to provide a warning simply based on its knowledge about the presence of the listed chemical as a constituent of the starting materials.

The Office of Environmental Health Hazard Assessment's Proposition 65 Implementation Office has published a No Significant Risk Level (NSRL) for ethylbenzene of 54 micrograms/day for exposure by inhalation and 41 milligrams/day for oral exposure. TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. worked with industry groups to develop a workbook to assist our customers to comply with the California regulations with respect to ethylbenzene. This workbook is available to our customers upon request (please contact customer service at 1-800-344-3452). We have no scientific information to suggest that the presence of the very low levels of ethylbenzene in polystyrene poses any significant risk to the consumer.

Section 16. Other Information

Label requirements

Irritating vapors to respiratory system and eyes may form when polymer is processed at high temperatures.
Molten or heated material in skin contact can cause severe burns.

Hazardous Material Information System (U.S.A.)

Health	0
Fire Hazard	1
Reactivity	0
Personal Protection	

National Fire Protection Association (U.S.A.)



References

HSDB - Hazardous Substances Data Bank

Other Special Considerations

Acceptable business/technical terms necessary for medical device applications must be developed by contacting your TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. sales representative. Without such documented business terms, TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC. makes no representations and disclaims all warranties, express or implied, concerning biocompatibility and/or suitability of this product for medical device applications.

Validated by Paul Bradley on 10/7/2009.

Verified by Karen Scheel.

Printed 10/7/2009.

Chemtrec:
(800) 424-9300
TOTAL PETROCHEMICALS USA, INC:
(800) 322-3452

Intimate Reader

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, neither the above named supplier nor any of its subsidiaries assume any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein. Final determination of suitability of any material is the sole responsibility of the user. All materials may present unknown hazards and should be used with caution. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards that exist.

3.03

To obtain an electronic copy of this MSDS, please email: productstewardship@total.com.