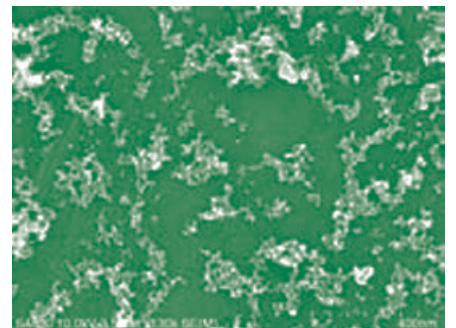
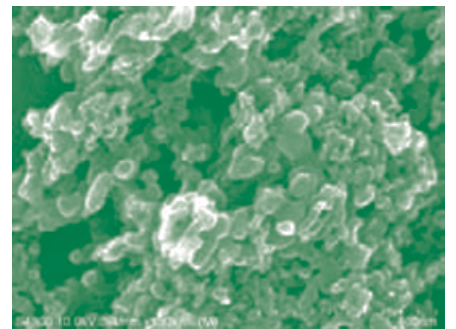
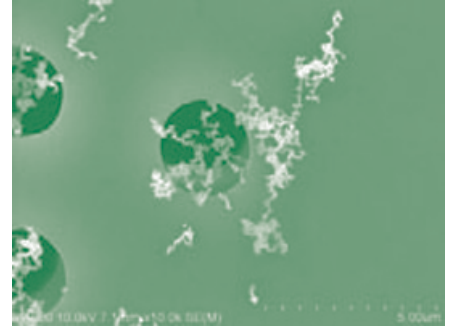
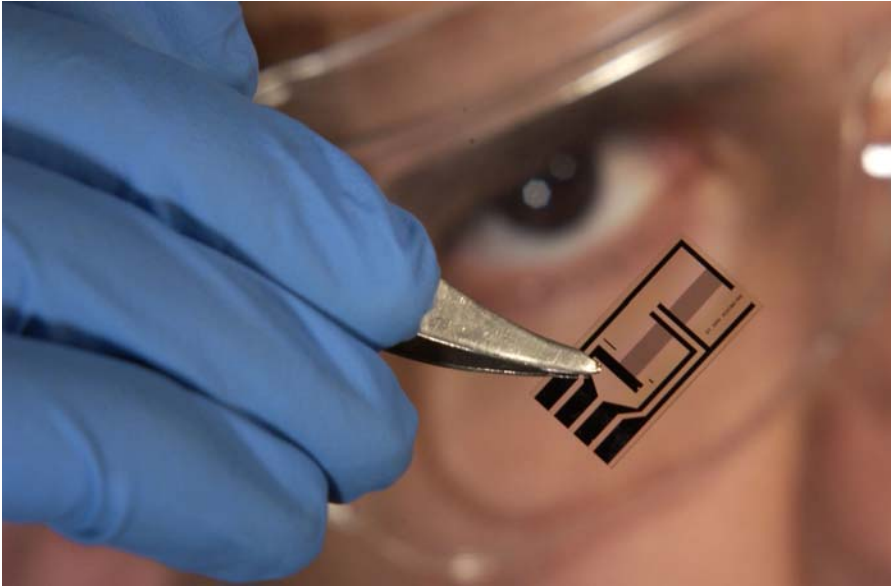


ความปลอดภัยนาโนเทคโนโลยี



Ultrafine (Nanoscale) Particles

นาโน (Nano) มาจากรากศัพท์ภาษากรีก แปลว่า “แคระ” ใช้เป็นคำนำหน้าหน่วยวัดสิ่งที่มีขนาดเล็กมาก เช่น นาโนเมตร (1 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 1 ใน 1,000 ล้านส่วนของ 1 เมตร) นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นวิทยาการประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ในระดับหน่วยย่อย (Nano-structure) ในช่วง 1-100 นาโนเมตร เทียบเท่ากับระดับอนุภาคของโมเลกุลหรืออะตอม ส่งผลให้เกิดคุณสมบัติพิเศษบางอย่างขึ้น ไม่ว่าจะเป็นทางด้านกายภาพ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ตามจุดประสงค์ที่ต้องการได้ หรือทำให้เกิดความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

นาโนเทคโนโลยีมีจุดเริ่มต้นตั้งแต่ อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้ทำการศึกษานาโน และการเคลื่อนไหวของโมเลกุลน้ำตาลและพบว่าขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วงนาโนเมตร ถือเป็นจุดกำเนิดของการศึกษานาโนระดับนาโน แต่ที่ได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาแห่งนาโนเทคโนโลยีคือ ดร. ริชาร์ด ฟายน์แมน (Richard Phillips Feynman) นักฟิสิกส์ชาวอเมริกันเรื่องนามที่สุดแห่งศตวรรษที่ 20 และได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1965 โดยเป็นบุคคลแรกที่เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการศึกษาด้านนาโนเทคโนโลยีจากการปาฐกถาเรื่อง “There’s Plenty of Room at the Bottom” เมื่อปี ค.ศ. 1969 โดยเฉพาะ

ประโยคสำคัญ “ในขนาดอันใกล้ เราจะสามารถประกอบ ผลิต หรือจัดการสิ่งที่มีขนาดเล็กระดับอะตอมได้ด้วยความแม่นยำ และไม่มีกฎทางฟิสิกส์ใดๆ ที่ขัดแย้งกับความเป็นไปได้”

ต่อมาในปี ค.ศ. 1986 ดร. อีริค เดรกซ์เลอร์ (Eric Drexler) เขียนหนังสือชื่อ “จักรกลแห่งการสร้างสรรค์ (Engines of Creation)” ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก คำว่า “นาโนเทคโนโลยี” จึงเริ่มเป็นที่รู้จักแพร่หลายตั้งแต่นั้นมา ทั้งนี้ ดร.เดรกซ์เลอร์ เป็นบุคคลแรกที่สำเร็จการศึกษาปริญญาเอกสาขาเทคโนโลยีจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซตต์ (MIT) ในปี ค.ศ. 1991 และปีถัดมาได้เขียนหนังสือเล่มใหม่ชื่อ “ระบบนาโน : เครื่องจักรกลระดับโมเลกุล การผลิต และการคิดคำนวณ (Nanosystems : Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation)” ซึ่งยอมรับกันว่าเป็นงานเขียนชิ้นเอกด้านนาโนเทคโนโลยีที่ไม่เคยปรากฏมาก่อน

วิทยาการเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามาโดยลำดับโดยเน้นไปในทางอุตสาหกรรมการผลิต ตั้งแต่ยารักษาโรค เครื่องสำอาง เครื่องนุ่งห่มไปจนถึงผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม ในปี ค.ศ. 2000 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ผลักดันให้เกิดแผนงานทางด้านนาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (National

Nanotechnology Initiative and Its Implementation Plan) ขึ้น ส่งผลให้เกิดกระแสตื่นตัวเกี่ยวกับการพัฒนานาโนเทคโนโลยีไปทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย ปัจจุบันคำว่า “นาโนเทคโนโลยี” กลายเป็นคำสามัญมีนัยยะหมายถึงสิ่งทันสมัย และมีคุณภาพสูง ระบาดไปทั่วทุกวงการ

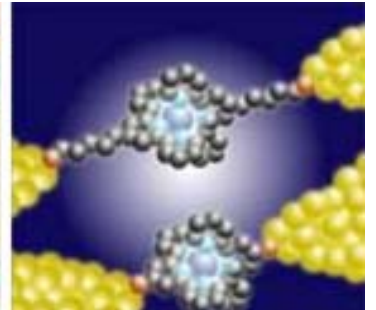
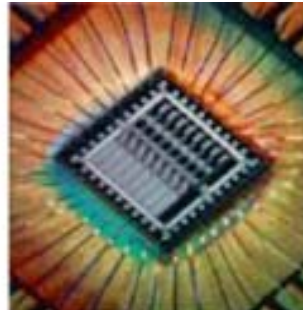
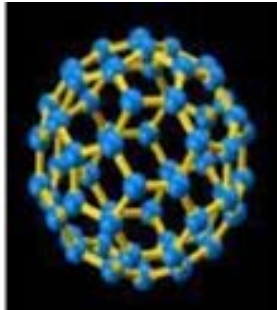
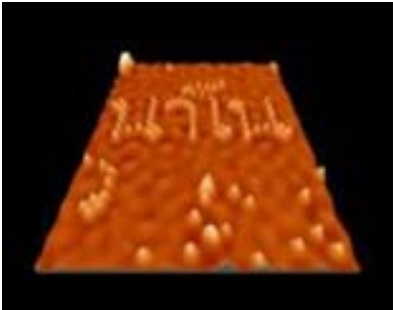
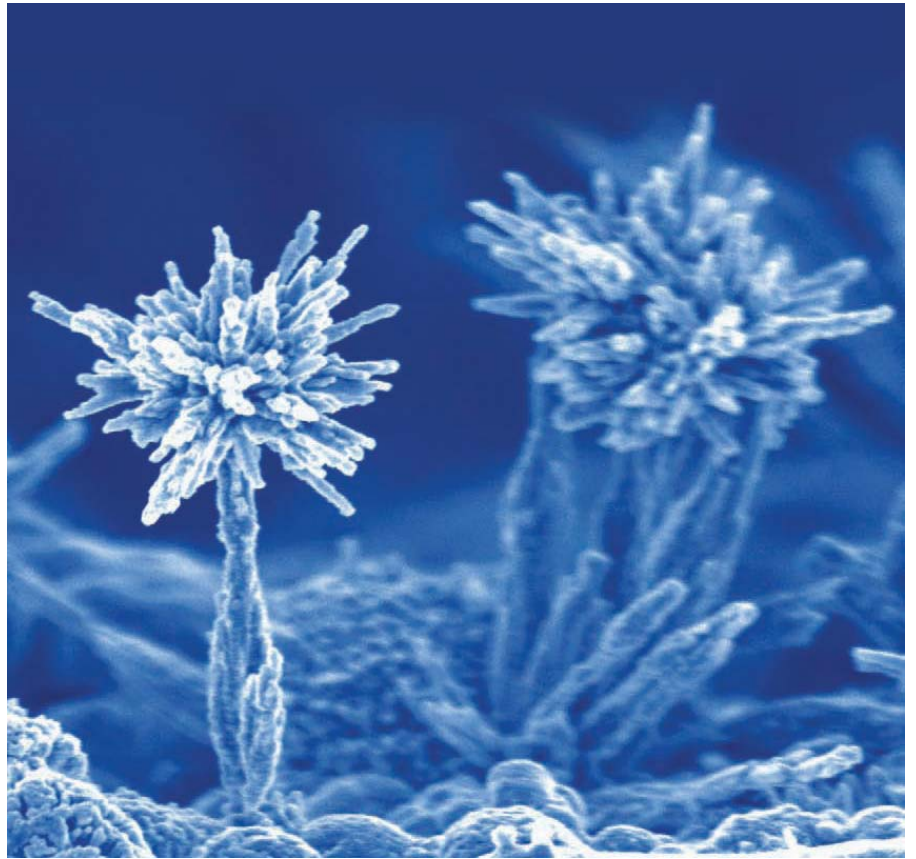
ตั้งแต่เริ่มศตวรรษที่ 21 เป็นต้นมา ด้วยแรงผลักดันจากพัฒนาการที่ไม่หยุดยั้งประกอบกับการแข่งขันสูงทางการตลาด ทำให้ภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เน้นการนำเสนอสิ่งใหม่ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม ดังนั้นกระบวนการนาโนเทคโนโลยีจึงเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น ทั้งการประยุกต์ใช้หรือเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตสินค้าทางอุตสาหกรรมหลายประเภท ตัวอย่างเช่น

- อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ มีการใช้วัสดุระดับนาโนเป็นองค์ประกอบของสารกึ่งตัวนำในการผลิตชิป/แผงวงจร หน่วยความจำขนาดนาโน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กลงแต่สามารถบรรจุข้อมูลได้จำนวนมหาศาล ทั้งยังประหยัดไฟและมีประสิทธิภาพโดยรวมเพิ่มขึ้น

- อุตสาหกรรมสิ่งทอ (สิ่งทอนาโน) มีการใช้อนุภาคนาโนเคลือบเส้นใยผ้าทำให้สวมใส่สบายขึ้นเนื่องจากตัวอนุภาคจะช่วยดูดความชื้น ป้องกันรังสี UV และความร้อน ทำลายแบคทีเรียระงับกลิ่นเหม็น และยังอาจมีการเสริมวิตามินอีช่วยบำรุงผิวอีกด้วย

- อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น ผลิตภัณฑ์แก้ทาหน้าอนุภาคระดับนาโน ทำให้แป้งมีคุณสมบัติไม่สะท้อนแสง ทาแล้วใบหน้าไม่ขาวอกและดูอ่อนเยาว์ขึ้น ผลิตภัณฑ์ครีมบำรุงผิวอนุภาคนาโนจะช่วยให้การดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังดีขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของครีม

- อุตสาหกรรมยา ซึ่งยาที่มีองค์ประกอบ



เป็นอนุภาคระดับนาโน ทำให้ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีและออกฤทธิ์ได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาการรักษาโรคมะเร็งและระบบนำส่งยาที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเพื่อให้ใช้ปริมาณยาที่มีขนาดน้อยลงและไปถึงเป้าหมายเฉพาะที่โดยไม่ส่งผลข้างเคียงต่อเซลล์หรือเนื้อเยื่ออื่นที่ไม่ต้องการให้ได้รับผลกระทบจากการออกฤทธิ์ของยา

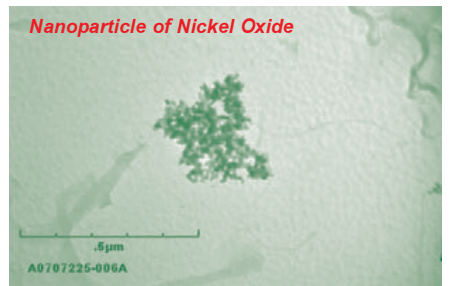
- อุตสาหกรรมการแพทย์ โดยการผ่าตัดแบบดั้งเดิมอาจเปลี่ยนไปเป็นการผ่าตัดระดับนาโน (Nanosurgeons) โดยการควบคุมหุ่นยนต์นาโน (Nanorobots) เข้าไปตรวจจับและทำลายเซลล์มะเร็งหรือไวรัสโดยไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์อื่น นอกจากนี้ ยังมีการผลิตตัวเซนเซอร์ทางการแพทย์ อวัยวะเทียม กระดูกเทียมที่มีอนุภาคในระดับนาโนสำหรับผู้พิการ

- อุตสาหกรรมสารเคลือบผิว นอกจาก

การใช้สารเคลือบผิวที่มีส่วนผสมอนุภาคนาโนกับผลิตภัณฑ์สิ่งทอแล้ว ยังมีการใช้กับผลิตภัณฑ์อื่น เช่น เคลือบผิวโลหะภายในเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อลื่นและป้องกันการสึกหรอ เคลือบผิวฟิล์มติดกระจกรถยนต์ หรือแว่นตาป้องกันรังสี UV และความชื้น เคลือบผิวภาชนะบรรจุภัณฑ์ป้องกันความชื้น เป็นต้น

- อุตสาหกรรมโลหะและวัสดุก่อสร้าง เช่น เหล็ก สามารถนำอนุภาคนาโนไปใช้เสริมทำให้เหล็กมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นตัวสูงขึ้น และมีความเหนียวมากขึ้น คอนกรีต มีการใช้อนุภาคเส้นใยนาโนเข้าไปเป็นส่วนประกอบทำให้คอนกรีตมีความละเอียดมากขึ้น ส่งผลให้การยึดเกาะดีขึ้น เพิ่มความแข็งแรง ทนทาน ทั้งยังทำให้เกิดคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเองได้

- อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ปรับสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น บำบัดน้ำเสีย ปรับสภาพดิน ฯลฯ



ซึ่งอนุภาคนาโนสามารถเปลี่ยนแปลง/ปรับปรุงโครงสร้างระดับโมเลกุลของมลพิษต่างๆ ได้ดีกว่ากระบวนการทางเคมีที่ใช้กันมาแต่เดิม

ความปลอดภัยในการทำงาน

แม้ว่านาโนเทคโนโลยีจะมีคุณประโยชน์อย่างอเนกอนันต์ แต่เมื่อเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของภาคอุตสาหกรรม สิ่งที่น่าเป็นกังวลก็คือปัญหาด้านความปลอดภัยต่อชีวิตและสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน มีการตั้งสมมติฐานตั้งแต่นั้นแล้วว่า นาโนเทคโนโลยีน่าจะทำให้เกิดอันตราย



ทางใดทางหนึ่งต่อลูกจ้างซึ่งอยู่ในกระบวนการผลิต สังเคราะห์ แปรรูป ตัดแปลง และอื่นๆ

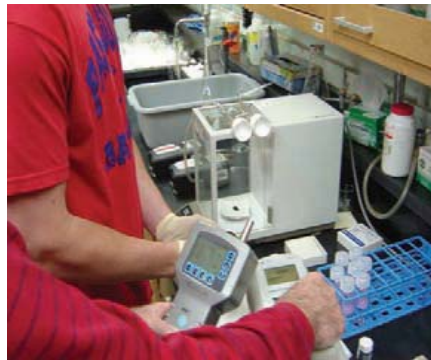
สถาบันสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานแห่งชาติสหรัฐฯ (NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health) ริเริ่มพัฒนาแนวทางการดำเนินงานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีโดยจะเป็นประเด็นหัวข้อใหม่ที่มีความสำคัญลำดับต้นๆ ทั้งนี้ NIOSH ได้บ่งชี้ 10 หัวข้อวิกฤติที่จะต้องทำการศึกษาวิจัยที่จะนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้ ยุทธศาสตร์ และข้อเสนอแนะเพื่อการดำเนินงานความปลอดภัยและอาชีวอนามัยที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี ได้แก่

1. ความเป็นพิษและปริมาณในร่างกาย (Toxicity & Internal Dose) มุ่งเน้นการวิเคราะห์ประเมินคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีที่มีผลต่อความเป็นพิษของอนุภาคนาโน กลไกทางพิษวิทยา การบ่งชี้ระดับการสัมผัสและความเสี่ยง รวมทั้งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะสั้นและระยะยาว

2. การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) มุ่งเน้นการศึกษาและนำข้อมูลทางพิษวิทยาที่มีอยู่เพื่อใช้ในการบ่งชี้วิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงต่ออันตรายจากการสัมผัสอนุภาคนาโนในสิ่งแวดล้อมการทำงาน

3. ระบาดวิทยาและการเฝ้าระวัง (Epidemiology & Surveillance) มุ่งเน้นการศึกษาวิจัยเชิงระบาดวิทยาที่ดำเนินการในสถานประกอบการที่มีการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยี ทำการวิเคราะห์ ประเมินช่องว่างทางวิชาการที่ต้องการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมและผลสำเร็จการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องเข้ากับระบบ การเฝ้าระวังโรคจากการประกอบอาชีพ เพื่อพัฒนารูปแบบที่มีอยู่ให้ครอบคลุมในด้านนาโนเทคโนโลยีและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4. การควบคุมทางด้านวิศวกรรมและการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (Engineering Controls and PPE) มุ่งเน้น



การประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมป้องกันเพื่อลดระดับการสัมผัสอนุภาคนาโนจากสิ่งแวดล้อมการทำงาน รวมถึงการพัฒนาข้อเสนอแนะแนวทางการป้องกัน อุปกรณ์/การใช้มาตรการอื่นๆ ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น

5. วิธีการตรวจวัด (Measurement Methods) มุ่งเน้นการพัฒนาและประเมินวิธีการตรวจวิเคราะห์อนุภาคนาโนในสิ่งแวดล้อมการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในภาคสนาม รวมทั้งการทดสอบ ประเมิน เปรียบเทียบและยืนยันตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

6. การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment) มุ่งเน้นการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการก่อให้เกิดอนุภาคนาโนการฟุ้งกระจาย การรวมตัว และวงจรการไหลวนในสิ่งแวดล้อมการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตรูปแบบต่างๆ นอกจากนี้ ยังมุ่งเน้นเกี่ยวกับวิธีการสัมผัส การเข้าสู่ร่างกาย การกระจายตัวสู่เนื้อเยื่อเป้าหมาย และการใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพเพื่อให้ทราบถึงระดับการสัมผัสและปริมาณในร่างกาย

7. ความปลอดภัยเกี่ยวกับอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion Safety) มุ่งเน้นการบ่งชี้คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนที่เกี่ยวข้องด้านอากาศพลศาสตร์ การติดไฟ ความไวไฟ การเป็นสื่อนำไฟฟ้า การระเบิด ฯลฯ เพื่อพัฒนามาตรการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมป้องกันอันตรายนั้นๆ

8. ข้อเสนอแนะ/แนวทางการปฏิบัติงาน (Recommendations & Guidance) มุ่งเน้นการนำผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องมาพัฒนาข้อเสนอแนะ/แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานซึ่งจะนำไปสู่การประเมิน/ปรับปรุงค่ามาตรฐานความปลอดภัยให้มีความเหมาะสม

9. สารสนเทศและการสื่อสาร (Information & Communication) มุ่งเน้นการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการ การศึกษาวิจัย และการแลกเปลี่ยนข้อมูล ตลอดจนการพัฒนาและเผยแพร่สื่อรูปแบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยนาโนเทคโนโลยี

10. การประยุกต์ใช้ (Applications) มุ่งเน้นการบ่งชี้เกี่ยวกับการใช้นาโนเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เพื่อพัฒนารูปแบบและระบบการดำเนินงานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยให้มีความจำเพาะ และขยายผลสู่กลุ่มเป้าหมายได้อย่างเหมาะสม

แนวโน้มอันตรายของวัสดุนาโน

เมื่อไม่นานมานี้ NIOSH ได้นำเสนอรายงานการวิเคราะห์แนวโน้มอันตรายของวัสดุ

ได้จากกระบวนการทางนาโนเทคโนโลยี หรือที่เรียกว่า **“วัสดุนาโน” (Nanomaterials)** ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านต่างๆ แก่ลูกจ้างในสถานประกอบการที่ทำการผลิต สังเคราะห์ แปรรูป ตัดแปลง ฯลฯ ซึ่งมีสาระสำคัญสรุปได้ดังต่อไปนี้

แนวโน้มปัญหาด้านสุขภาพ

● แนวโน้มที่วัสดุนาโนจะเข้าสู่ร่างกาย ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ จากการศึกษาวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ชั้นนำพบว่า วัสดุนาโนหากอยู่ในสถานะ **“อนุภาคนาโน” (Nanoparticles)** และมีลักษณะแขวนลอยในอากาศ (Airborne) จะมีแนวโน้มเข้าสู่ร่างกายทางระบบหายใจมากที่สุด ตามมาด้วยการสัมผัสและการกลืน

● จากผลการทดลองทั้งกับมนุษย์และสัตว์ อนุภาคนาโนที่แขวนลอยในอากาศจะถูกสูดเข้าไปและติดอยู่ภายในอวัยวะของระบบหายใจ แต่ในการทดลองเฉพาะกับสัตว์พบว่า อนุภาคนาโนซึมเข้ากระแสเลือดและเคลื่อนย้ายไปยังอวัยวะอื่นๆ ได้

● จากการทดลองในหนูพบว่า อนุภาคนาโนไม่สลายตัวปริมาณเดียวกันกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า มีส่วนทำให้เกิดปอดอักเสบและมีอาการสั้น ผลการทดลองกับเซลล์เพาะเลี้ยงในสิ่งแวดล้อมเทียมก็ได้ผลลัพธ์ที่สนับสนุนผลการทดลองในหนูดังกล่าว

● จากการศึกษาทดลองในสัตว์ เซลล์เพาะเลี้ยง และระบบปลอดเซลล์ ในเงื่อนไขเดียวกันพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมสารเคมี โครงสร้างผลึก และขนาดของอนุภาคมีผลต่อคุณสมบัติในการสร้างสารออกซิเดชั่น และเซลล์พิษ

● จากการศึกษาทดลองในคนงานที่สัมผัสสารแขวนลอยในอากาศ (Aerosols) ทั้งชนิดละเอียด (Microscopic) และละเอียดมาก (Ultrafine) ซึ่งแพร่กระจายจากกระบวนการผลิตปกติหรือจากเหตุไม่ตั้งใจพบว่ามีผลกระทบในทางลบต่อการทำงานของปอดและทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับปอดหลายชนิด อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาทดลองดังกล่าวไม่อาจสรุปถึงผลกระทบของอนุภาคนาโน (Nanoparticles) ต่อมนุษย์ได้ในขณะนี้ เนื่องจากอนุภาคนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์มีคุณสมบัติแตกต่างออกไป

● มีความจำเป็นจะต้องศึกษาทดลองเพิ่มเติมเพื่อสืบค้นไปถึงลักษณะทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนที่เป็นแนวโน้มจะก่ออันตรายต่อสุขภาพมนุษย์



กระบวนการประเมินอันตรายเบื้องต้นในพื้นที่ทำงานนาโน (ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้และแหล่งกำเนิดอนุภาคนาโน)

แนวโน้มปัญหาด้านความปลอดภัย

● แม้ยังไม่มีข้อมูลสนับสนุนที่เพียงพอในการพยากรณ์ถึงความเสี่ยงจะเกิดอัคคีภัยและการระเบิดอันเกี่ยวข้องกับวัสดุที่มีความละเอียดสูงในระดับนาโน แต่จากศึกษาเปรียบเทียบด้านคุณสมบัติทางการภาพและเคมี มีข้อสนับสนุนสมมุติฐานที่ว่า ฝุ่นหรือวัสดุที่มีความละเอียดสูงถึงขั้นนาโน (Nanoscale) มีความเสี่ยงสูงกว่าวัสดุที่หยาบกว่าโดยพิจารณาจากคุณสมบัติด้านการเคลื่อนไหวและพื้นที่พื้นผิวโมเลกุลโดยรวม

● วัสดุบางชนิดอาจมีคุณสมบัติในการเริ่มต้นทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยา (Catalytic) ขึ้น อยู่กับส่วนผสมและโครงสร้างทางเคมีรวมทั้ง ชนิดของสารที่มีส่วนร่วม

การทำงานกับวัสดุนาโนสังเคราะห์ทางวิศวกรรม

วัสดุนาโนสังเคราะห์ทางวิศวกรรม (Engineered Nanomaterials) หมายถึง วัสดุที่ผ่านการจัดโครงสร้างในระดับโมเลกุลด้วยวิธีการ

ทางวิศวกรรมจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทางนาโน (Nanomaterial-enabled Products) เช่น ส่วนผสมนาโน สารเคลือบผิวนาโน รวมทั้งวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบโครงสร้างนาโน เช่น แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ในการทำงานกับวัสดุดังกล่าวต้องพยายามลดความเสี่ยงในลักษณะต่างๆ ดังนี้

● ความเสี่ยงจากการสัมผัสขณะทำการจัดเก็บหรืออยู่ในระหว่างกระบวนการผลิต

● ความเสี่ยงจากการสัมผัสขณะซ่อมบำรุงระบบ รวมถึงการทำความสะอาดและกำจัดสิ่งหลงเหลือจากการผลิต

● กระบวนการทำงานต่อไปนี้อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการสัมผัสวัสดุนาโนได้

■ การทำงานกับวัสดุนาโนในตัวกลางที่เป็นของเหลวโดยไม่มีการป้องกันที่เพียงพอ เช่น ไม่สวมถุงมือ

■ การทำงานกับวัสดุนาโนในตัวกลางที่เป็นของเหลวในลักษณะของการถ่ายเท การ



ตัวอย่างเครื่องมือใช้ในการวัดอัตราการสัมผัสอนุภาคนาโนของผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงการตรวจนับจำนวนและวัดขนาดของอนุภาคนาโนตามเวลาจริง (Real-Time)

ผสม การกวนหรือเขย่าอย่างแรง

- การผลิตวัสดุนาโนในระบบที่ไม่มีส่วนปกปิดมิดชิด

- การหยิบจับวัสดุนาโนในรูปของผงละเอียด เช่น การตวงวัด การผสม การฉีด ฯลฯ

- การทำความสะอาดอุปกรณ์และวัสดุติดในกระบวนการผลิต รวมถึงการชำระล้างวัสดุนาโนที่เกิดการปนเปื้อนหรือหกหล่น

- การทำความสะอาดระบบดักฝุ่นซึ่งอนุภาคนาโนเจือปนอยู่

- การบำบัดด้วยเครื่องจักร การขัด การเจาะหรือวิธีทางกลอื่นๆ กับวัสดุที่มีอนุภาคนาโน

มาตรการในการเฝ้าระวัง

- จำกัดปริมาณอนุภาคนาโนที่มีแนวโน้มจะสัมผัสผู้ปฏิบัติงาน หรือลดโอกาสหรือแนวโน้มที่ผู้ปฏิบัติงานจะไปสัมผัสอนุภาคนาโน

- ใช้มาตรการทางวิศวกรรมเพื่อควบคุมอนุภาคนาโนที่แขวนลอยในอากาศ (Nano-aerosols) พร้อมกับป้องกันไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับอนุภาคนาโนที่อาจแพร่กระจายในบรรยากาศหรือสัมผัสน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

- จัดทำโครงการจัดการความเสี่ยงในสถานที่ทำงานที่มีอนุภาคนาโนแพร่กระจายอยู่เพื่อช่วยลดแนวโน้มการสัมผัส โดยโครงการดังกล่าวควรประกอบด้วยสิ่งสำคัญต่อไปนี้

- ประเมินอันตรายจากการสัมผัสวัสดุนาโนโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานด้านคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ความเป็นพิษ รวมไปถึงผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

- ประเมินสภาพการทำงานของลูกจ้างเพื่อพิจารณาแนวโน้มการสัมผัสกับวัสดุนาโน

- ให้การศึกษาและฝึกอบรมลูกจ้างที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน

- ดำเนินมาตรการทางวิศวกรรมบริเวณที่อาจมีวัสดุนาโนแพร่กระจายออกจากแหล่งกำเนิด เช่น ติดตั้งระบบระบายอากาศ เป็นต้น

- พิจารณาความจำเป็นในการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่เหมาะสม เช่น เสื้อผ้า ถุงมือ หน้ากาก และอื่นๆ

- ประเมินค่าการสัมผัสอนุภาคนาโนอย่างเป็นระบบเพื่อให้มั่นใจว่า มาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายต่างๆ ที่จัดทำขึ้นมานั้นมีประสิทธิภาพเพียงพอ

- มาตรการควบคุมทางวิศวกรรม เช่น ปิดคลุมแหล่งกำเนิด แยกแหล่งกำเนิดจากตัวคนงาน ติดตั้งระบบระบายอากาศ ฯลฯ จะต้องมีประสิทธิภาพสูงในการปิดกั้นหรือดักจับอนุภาคนาโนไม่ให้แพร่กระจายออกสู่ภายนอก ทั้งนี้จากข้อมูลเท่าที่มีอยู่พบว่า ระบบระบายอากาศชนิดไส้กรองอนุภาคประสิทธิภาพสูง (HEPA Filters) ซึ่งใช้กันทั่วไปในปัจจุบันสามารถกรองอนุภาคนาโนได้

- ดำเนินมาตรการปฏิบัติงานดี (Good Work Practices) เพื่อลดความเสี่ยงในการสัมผัสอนุภาคนาโน เช่น ทำความสะอาดพื้นที่ปฏิบัติงานด้วยเครื่องดูดฝุ่นติดไส้กรอง HEPA หรือใช้วิธีกวาดเปียก (Wet Wiping) ออกค่าเตือนให้หลีกเลี่ยงการดื่มหรือรับประทานอาหารในห้องทำงานที่อาจจะมีอนุภาคนาโนแพร่กระจายในบรรยากาศ จัดหาอ่างล้างมือ ผักบัวอาบน้ำ รวมถึงห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า ฯลฯ

- ปัจจุบันยังไม่มีคำแนะนำเกี่ยวกับการเลือกเสื้อผ้าหรือเครื่องแต่งกายอื่น เช่น ถุงมือเพื่อป้องกันการสัมผัสวัสดุนาโนทางผิวหนังขณะปฏิบัติงาน แต่เสื้อผ้าหรือเครื่องแต่งกายใดๆ ที่ได้รับมาตรฐานการป้องกันอนุภาคขนาดเล็กใน

ระดับนาโนเมตรถือว่ามีประสิทธิภาพป้องกันเพียงพอในขณะนี้

- หน้ากากกรองอนุภาคอาจเป็นสิ่งจำเป็น หากมาตรการทางวิศวกรรมและขั้นตอนปฏิบัติงานไม่สามารถป้องกันอันตรายได้อย่างเพียงพอ แต่ต้องให้ผู้เชี่ยวชาญด้านอนุภาคนาโนเป็นผู้ตัดสินใจเลือกชนิดของไส้กรอง เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานหรือข้อแนะนำใดๆ บ่งชี้ชัดเจนว่าควรเลือกไส้กรองชนิดไหนและระดับความสามารถในการกรองเท่าใด อีกทั้ง ไส้กรองที่วางขายทั่วไปในปัจจุบัน ส่วนใหญ่กรองได้เฉพาะอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคนาโน ที่สำคัญยังไม่มีผลิตภัณฑ์ใดๆ ระบุตรงตัวว่า สามารถกรองอนุภาคนาโนได้

นาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย

ประเทศไทยถือเป็นฐานการผลิตของภาคอุตสาหกรรมนาโนที่สำคัญแห่งหนึ่งในภูมิภาคเอเชีย คาดการณ์กันว่าในปี พ.ศ. 2556 มูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีจะอยู่ที่ระดับร้อยละ 1 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศหรือประมาณ 120,000 ล้านบาท และมูลค่ารวมของผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีทั้งโลกในอีกสิบปีข้างหน้าจะสูงกว่า 40 ล้านล้านบาท ซึ่งภาคอุตสาหกรรมไทยมีโอกาสจะได้ส่วนแบ่งทางสินค้าหมวดเครื่องสำอางและสารเคลือบผิว

ทั้งนี้ ประเทศไทยเริ่มมีการดำเนินการศึกษาวิจัยด้าน Computational Nanoscience เป็นครั้งแรกที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปี พ.ศ. 2538 หลังจากนั้นได้ตั้งศูนย์นาโนเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดลเพื่อทำการวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

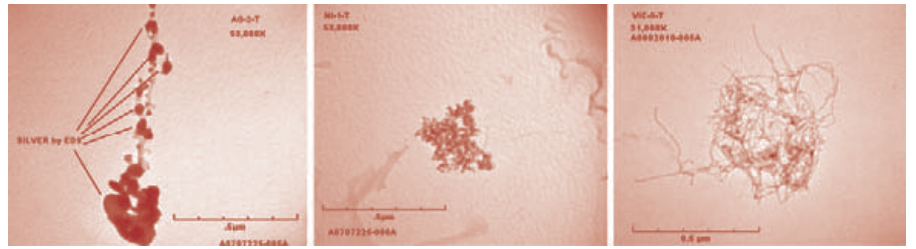
ปี พ.ศ. 2546 คณะรัฐมนตรีมีมติอนุมัติการจัดตั้ง **“ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ”**

เป็นหน่วยงานหลักของประเทศในการศึกษาวิจัย เพื่อพัฒนานวัตกรรมทางด้านนาโนเทคโนโลยี นอกจากนี้ ยังได้จัดทำ Roadmap ด้านนาโนเทคโนโลยี โดยสร้างเครือข่ายหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาบูรณาการสร้างความเข้มแข็งและความปลอดภัยในการใช้นาโนเทคโนโลยีในทางอุตสาหกรรม นำมาซึ่งการตื่นตัวเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีที่เพิ่มมากขึ้นในสังคมไทย

ปัจจุบัน แม้ว่าประเทศไทยจะได้นำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมและผลิตภัณฑ์ต่างๆ หลากหลายประเภท แต่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องผลกระทบที่อาจมีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมยังมีจำกัด ประกอบกับขณะนี้ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายเฉพาะด้านนาโนเทคโนโลยี และยังไม่มียุทธศาสตร์ระดับชาติและเอกชนทำหน้าที่ควบคุมดูแลและเฝ้าระวังผลกระทบในเรื่องนี้อย่างจริงจัง ดังนั้น ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติและภาคีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงร่วมกันจัดทำร่าง “**แผนยุทธศาสตร์ด้านความปลอดภัยและจริยธรรมนาโนเทคโนโลยี พ.ศ. 2555-2559**” ขึ้น เพื่อใช้เป็นกรอบการทำงาน ครอบคลุมตั้งแต่การสร้างความรู้ความเข้าใจ ควบคุม กำกับดูแล เฝ้าระวัง รวมทั้งบริหารจัดการด้านความปลอดภัยและจริยธรรมควบคู่ไปกับการพัฒนาเพื่อเป็นการป้องกันและเตรียมรับมือแก้ไขผลกระทบต่างๆ อันอาจเกิดขึ้นจากการใช้และพัฒนาทางด้านนาโนเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ในประเทศ

แผนยุทธศาสตร์ด้านความปลอดภัยและจริยธรรมนาโนเทคโนโลยีฉบับนี้ ได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสอดคล้องกับนโยบายรัฐบาล โดยบูรณาการแผนแม่บทและแผนยุทธศาสตร์ต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยด้านนาโนเทคโนโลยีทั้งในระดับประเทศและนานาชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แผนยุทธศาสตร์การจัดการสารเคมีแห่งชาติฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2550-2554) โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้การบริหารจัดการด้านความปลอดภัยนาโนเทคโนโลยีของหน่วยงานต่างๆ ในประเทศไทยมีความเป็นเอกภาพ มีการดำเนินเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีความสอดคล้องกับสถานการณ์ของประเทศไทยในปัจจุบัน อีกทั้งเป็นกรอบแนวทางการดำเนินงานในอนาคต ทั้งนี้ ร่างแผนฯ ฉบับดังกล่าว มีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

• วิสัยทัศน์ : “นาโนปลอดภัย พัฒนาไทย ก้าวไกลอย่างยั่งยืน”



ภาพถ่ายอนุภาคนาโนแขวนลอยในอากาศผ่านการดักแด้ทางวิศวกรรม (Airborne Engineered Nanoparticles)

องค์ประกอบของการดำเนินงานด้านความปลอดภัยนาโนเทคโนโลยี จะเกี่ยวข้องกับ 3 ส่วนคือ

- 1. การวิจัยและพัฒนา** เพื่อสร้างและจัดการองค์ความรู้ทางด้านความปลอดภัยและจริยธรรมนาโนเทคโนโลยีในการนำไปใช้ประโยชน์อย่างมั่นคงและยั่งยืน
- 2. การผลิต** จะมุ่งเน้นให้ทั้งกระบวนการรวมทั้งผู้บริโภคได้ใช้ผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีที่มีความปลอดภัย และยังสามารถส่งออกเพื่อความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ

3. การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีและ/หรือวัสดุนาโน โดยส่งเสริมให้สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างทั่วถึง และประชาชนมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง

• เป้าประสงค์

เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และความมั่นคงของประเทศ ด้วยกระบวนการวิจัยและพัฒนา ผลิต จำหน่ายและใช้นาโนเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์นาโนอย่างมีจริยธรรม เหมาะสม ยั่งยืน และมีส่วนร่วมจากภาคส่วนต่างๆ

• ตัวชี้วัดหลัก

ตัวชี้วัดหลักและค่าเป้าหมายของแผนยุทธศาสตร์ฯ ฉบับนี้ ประกอบด้วย

- ประเทศไทยมีระบบการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยและจริยธรรมนาโนเทคโนโลยีในระดับชาติที่ครอบคลุมการดำเนินงานของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องภายในเวลา 5 ปี
- ผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีที่วางจำหน่ายในประเทศทั้งหมดมีการระบุ มีวัสดุนาโน และมีข้อมูลด้านความปลอดภัยตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจและรู้เท่าทันถึงความปลอดภัยด้านนาโนเทคโนโลยี และสามารถเลือกใช้ผลิตภัณฑ์นาโนได้อย่างปลอดภัยมากขึ้น

• ยุทธศาสตร์

เพื่อให้บรรลุวิสัยทัศน์และเป้าประสงค์ของ

แผนฯ ดังกล่าว จึงได้มีการกำหนดยุทธศาสตร์ 3 ด้าน เพื่อให้ทุกภาคส่วนได้ร่วมดำเนินการในลักษณะบูรณาการ ดังนี้

- สร้างและบริหารจัดการองค์ความรู้ด้านความปลอดภัยและจริยธรรมนาโนเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์นาโน
- พัฒนาและเสริมสร้างความเข้มแข็งของมาตรการ มาตรฐาน รวมถึงกลไกต่างๆ ในกำกับดูแลและบังคับใช้
- สร้างความเข้มแข็งและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน

• มาตรการหลัก

แผนยุทธศาสตร์ฯ ฉบับนี้ ประกอบด้วย มาตรการหลัก 5 ด้าน ดังนี้

- มาตรการด้านกฎหมาย
- มาตรการด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินการคลัง
- มาตรการด้านการพัฒนาการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม
- มาตรการด้านการศึกษา การจัดการความรู้/กระบวนการเรียนรู้
- มาตรการด้านเสริมสร้างการมีส่วนร่วม/พัฒนาศักยภาพของภาคประชาชน

เอกสารอ้างอิง

- Approach to Safe Nanotechnology; Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials, Department of Health and Human Services; Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational and Health (NIOSH). <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125/pdfs/2009-125.pdf>
- เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ : ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี โดย ดร. วิสันติ เลหาอุดมโชค นักวิชาการแรงงานชำนาญการ สำนักความปลอดภัยแรงงานกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานกระทรวงแรงงาน http://www.oshthai.org/upload/file_linkitem/20110113072549_2.pdf