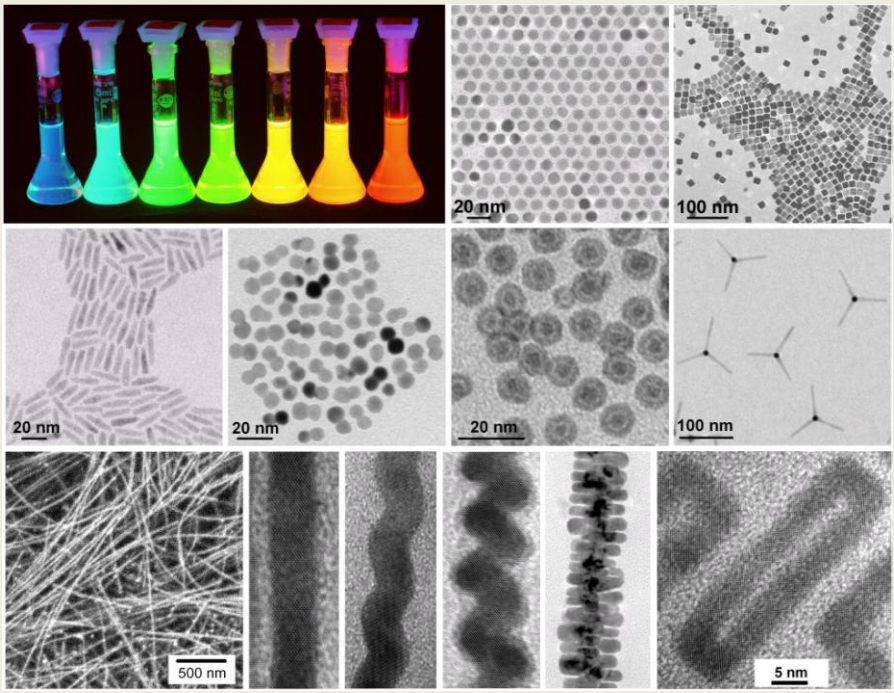
ความปลอดภัยในการทำงาน เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี



สำนักความปลอดภัยแรงงาน
กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้าง สังเคราะห์ ควบคุม หรือจัดการสิ่งที่มีขนาดเล็ก 1-100 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร เท่ากับ 1 ในพันล้านส่วนของ 1 เมตร) ซึ่งโครงสร้างระดับนี้ทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษทางกายภาพ เคมี หรือชีวภาพ ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ตามที่ต้องการ โดยกระบวนการดังกล่าวสามารถควบคุมได้อย่างมีความถูกต้องแม่นยำ

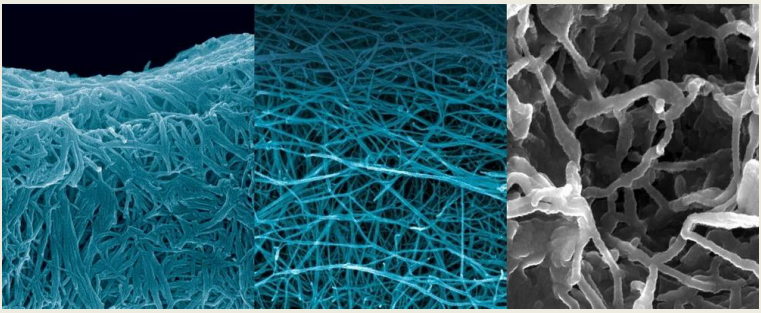
- **อนุภาคนาโน (Nanoparticle)** หมายถึงวัตถุนาโนที่มิติภายนอกทุกมิติเป็นขนาดนาโน ซึ่งเป็นช่วงขนาดเดียวกับอนุภาคขนาดเล็กยิ่งยวด (Ultrafine particle) ที่เรียกกันมาแต่เดิม
- **วัสดุนาโน (Nanomaterial)** หมายถึงวัสดุที่มีขนาดอย่างน้อยหนึ่งมิติเป็นขนาดนาโน หรือมีโครงสร้างของพื้นผิวหรือโพรงภายในอยู่ในระดับนาโน โดยอาจเป็นวัสดุนาโนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจ หรือเกิดจากการผลิตขึ้นด้วยกระบวนการทางนาโนเทคโนโลยี
- **อุตสาหกรรมนาโน** หมายถึงอุตสาหกรรมที่มีการใช้นาโนเทคโนโลยีในการสังเคราะห์ ขึ้นรูป ควบคุม จัดระเบียบ ดัดแปลง หรือวิเคราะห์สสาร หรือหมายถึงอุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุนาโนเป็นวัตถุดิบ หรืออุตสาหกรรมที่สังเคราะห์ให้เกิดวัสดุนาโนขึ้นในเนื้อผลิตภัณฑ์หรือเคลือบอยู่บนผิวของผลิตภัณฑ์ โดยใช้วัสดุนาโนเป็นวัตถุดิบหรือไม่ก็ได้
- **ผลิตภัณฑ์นาโน** หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นโดยใช้นาโนเทคโนโลยี หรือผลิตขึ้นจากวัตถุดิบที่เป็นวัสดุนาโน หรือผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโนเป็นองค์ประกอบ ไม่ว่าในการผลิตจะใช้วัสดุนาโนเป็นวัตถุดิบหรือไม่ก็ตาม

ประเภท และชนิดของวัสดุนาโน

แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

- **โลหะ ออกไซด์ของโลหะ อัลลอยด์ และเซรามิคส์ (Metals, Metal oxides, Alloys and Ceramics)** ที่มีขนาดอนุภาคเล็กในระดับนาโน ได้แก่ TiO_2, ZnO, CuO, Fe, Nano-Silver, Nano-Alumina, Nano-Silica, Nano-Gold เป็นต้น

- **นาโนคอมโพสิต (Nanocomposites)** ได้แก่ Quantum Dots, Core Shell Nanoparticles,
- **นาโนคอมโพสิตโพลิเมอร์ (Polymer Nanocomposites; PCN)** โดยทั่วไปเป็นของผสมระหว่างโพลิเมอร์ (หรือโคโพลิเมอร์) กับวัสดุนาโน
- **นาโนคาร์บอน (Carbon-based Nanomaterials)** เป็นอนุภาคคาร์บอนที่ถูกจัดเตรียมให้มีขนาดเล็กระดับนาโน เช่น Carbon Black, Fullerence, Carbon Nanotube (CNT)



การพัฒนาทางนาโนเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม

นวัตกรรมที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงที่ผ่านมา โดยมีการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมต่างๆ หลายประเภท ได้แก่

- **อุตสาหกรรมสิ่งทอ (สิ่งทอนาโน)** มีการใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมหรือเคลือบเส้นใยผ้า ทำให้สวมใส่สบายขึ้น รวมทั้งฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ระงับกลิ่นเหงื่อ หรือมีการใช้ CNT เคลือบเสริมความแข็งแรงของเส้นใยสิ่งทอ
- **อุตสาหกรรมโลหะและวัสดุก่อสร้าง** เช่น เหล็กเส้นมีการใช้วัสดุนาโนเสริมให้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นตัวสูงขึ้นและมีความเหนียวมากขึ้น กระเบื้องคอนกรีตมีการใช้เส้นใยนาโนเป็นส่วนประกอบคอนกรีต ทำให้มีความละเอียดมากขึ้น ส่งผลให้การยึดเกาะดีขึ้น และเพิ่มความแข็งแรงทนทาน สีทาบ้านมีการผสมอนุภาคนาโนไททาเนียม (TiO_2) เพื่อให้สีดูสว่าง และสามารถทำความสะอาดตัวเองได้

- **อุตสาหกรรมยานยนต์** เช่น ตัวถังหรือชิ้นส่วนภายในรถยนต์มีการใช้ CNT เสริมความแข็งแรง แต่มีน้ำหนักเบาและไม่เป็นสนิม กระจกรถยนต์มีการเคลือบวัสดุนาโนเพื่อลดการสะท้อนแสง ป้องกันคราบน้ำเกาะ ฯลฯ ยางรถยนต์มีการผสม Carbon Black, Nano-silica เพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะถนน ช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงยิ่งขึ้น ผ้าเบรคมีการพัฒนาวัสดุนาโนจาก CNT เพื่อทดแทนแร่ใยหิน
- **อุตสาหกรรมพลังงาน** เช่น การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์เชื้อเพลิง หรือแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- **อุตสาหกรรมอิเลคทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์** เช่น วงจรรวมมีการใช้นาโนโกลด์ เป็นองค์ประกอบในสารกึ่งตัวนำในการผลิตชิป/แผงวงจร ทำให้อุปกรณ์ความหนาแน่นสูงขึ้น และมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าดีขึ้น หน่วยความจำมีการพัฒนาเป็น nanoRAM (NRAM) โดยใช้ CNT ทำให้สามารถเก็บข้อมูลได้ด้วยความหนาแน่นสูง ประหยัดไฟมากขึ้น
- **อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า** เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ/ฟอกอากาศ เครื่องซักผ้า ฯลฯ มีการใช้นาโนซิลเวอร์ในตัวกรอง เพื่อฆ่าเชื้อโรคและช่วยดับกลิ่น
- **อุตสาหกรรมสินค้าอุปโภคในบ้าน** เช่น ผงซักฟอก น้ำยาทำความสะอาด ผงดูดซับกลิ่นสเปรย์ปรับอากาศ ฯลฯ มีการผสมนาโนซิลเวอร์เพื่อจุดประสงค์ในการฆ่าเชื้อโรคและดับกลิ่น
- **อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์** เช่น โลชั่นทากันแดด ซึ่งมีการผสมนาโนซิงค์ (ZnO) หรือนาโนไททาเนียม (TiO_2) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยปกป้อง UV นอกจากนี้ ครีมหรือเจลเวชสำอางค์ ที่ผสมอนุภาคนาโน จะช่วยรักษาความชุ่มชื้น ทั้งยังช่วยให้การดูดซึมตัวยาเข้าสู่ผิวหนังดีขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของครีมหรือเจลนั้น
- **อุตสาหกรรมยา/การแพทย์** ตัวยาที่เป็นอนุภาคนาโนทำให้ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีและออกฤทธิ์ได้เร็วขึ้น ใช้ปริมาณยาน้อยลง เวชภัณฑ์/ยาฆ่าเชื้อโรค มีใช้บรรจุภัณฑ์ที่เคลือบนาโนซิลเวอร์ หรือใส่ในผ้าปิดแผลเพื่อฆ่าเชื้อโรค ช่วยให้แผลหายสนิทโดยไม่ติดเชื้อ การรักษาทางการแพทย์มีการพัฒนาไปเป็นการผ่าตัดระดับนาโน (Nanosurgeons) การใช้อนุภาค Nanoshell ในการทำลายเซลล์มะเร็ง เป็นต้น

- **อุตสาหกรรมอื่นๆ**
  - สารเคมี ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นอนุภาคขนาดนาโนจะมีความไวต่อปฏิกิริยาทางเคมีมากขึ้น
  - อาหารและบรรจุภัณฑ์ เช่น ภาชนะที่ทำจากนาโนที่ช่วยคงความสดของเนื้อสัตว์ ใช้นาโนซิลเวอร์เคลือบภาชนะเพื่อฆ่าจุลินทรีย์ ทำให้อาหารไม่บูด
  - อุปกรณ์กีฬา เช่น ไม้เทนนิสเสริม CNT เพิ่มความแข็งแรง ฯลฯ

กระบวนการทำงานที่มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสอนุภาคนาโน

- การเปิดภาชนะบรรจุ รวมทั้งการจัดเก็บวัตถุดิบ ซึ่งถ้าเป็นฝุ่นผง อาจเกิดการฟุ้งกระจาย หรือเกิดการสัมผัสโดยตรงกรณีเป็นของเหลว
- การสังเคราะห์โดยวิธีการต่างๆ รวมทั้งการบด ซึ่งมีโอกาสก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายในอากาศ
- การชั่ง ตวง วัด เพื่อควบคุมคุณภาพการผลิต
- การผสม การเตรียมการผสม **ถือ**เป็นขั้นตอนสำคัญในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน ที่มักก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายและการสัมผัสเข้าสู่ร่างกาย
- การฉีดพ่น หรือทำให้กระจายตัวลงบนชิ้นงาน ซึ่งผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสสูงที่จะสัมผัสหรือได้รับอนุภาคนาโนเข้าสู่ร่างกาย หากกระบวนการดังกล่าวไม่ได้ทำให้ระบบปิดหรือมีมาตรการควบคุมป้องกันที่ดีพอ
- การขึ้นรูป ตัดแต่งด้วยเครื่องจักร ซึ่งวัสดุนาโนที่ฝังตัวอยู่ในชิ้นงานนั้นๆ อาจหลุดออกมาและฟุ้งกระจายในอากาศได้
- การบรรจุหีบห่อ อาจเกิดการรั่วไหลของวัสดุนาโน และผู้ปฏิบัติมีโอกาสสัมผัสหรือได้รับเข้าสู่ร่างกายได้เช่นกัน
- การทำความสะอาดเครื่องจักร บริเวณการทำงาน ซึ่งอาจมีการตกค้างของวัสดุนาโนตามส่วนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เป็นผงฝุ่น ซึ่งสามารถเกิดการฟุ้งกระจายได้
- การจัดการของเสียที่เป็นวัสดุนาโน อาจเกิดการรั่วไหล การฟุ้งกระจาย หรือสัมผัสผิวหนังได้

การสัมผัส/ได้รับอนุภาคนาโนเข้าสู่ร่างกาย

ช่องทางการสัมผัสและได้รับอนุภาคนาโนในสภาพแวดล้อมเข้าสู่ร่างกาย แบ่งออกเป็น 3 ทาง ได้แก่

- **ทางการหายใจ** ถือเป็นช่องทางหลักของการสัมผัสอนุภาคนาโนในกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีการใช้วัสดุนาโนที่เป็นผง เนื่องจากอนุภาคขนาดนาโนที่ฟุ้งกระจายอยู่ในสภาพแวดล้อม สามารถลอยตัวอยู่ในอากาศได้นานกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้มีแนวโน้มในการถูกหายใจเข้าสู่ร่างกายได้มากกว่า อนุภาคขนาดนาโนนี้ จะสามารถเข้าถึงถุงลมขนาดเล็กภายในปอด ทั้งยังมีศักยภาพในการแทรกซึมผ่านเนื้อเยื่อเข้าสู่กระแสเลือดไปยังอวัยวะต่างๆ เช่น หัวใจ ตับ สมอง ได้ง่ายและรวดเร็ว
- **ทางผิวหนัง** สามารถเกิดขึ้นง่ายกรณีการใช้อนุภาคนาโนที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว เช่น นาโน TiO_2 ในน้ำ และมีการสัมผัสผิวหนังโดยตรง ซึ่งอนุภาคจะแทรกซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่กระแสเลือดได้ง่าย และในกรณีเป็นอนุภาควัสดุนาโนที่เป็นผงหรือฟุ้งกระจายในอากาศ ก็มีโอกาสได้รับเข้าสู่ร่างกายจากการหยิบจับหรือการปนเปื้อนได้เช่นกัน
- **ทางการกิน** เป็นช่องทางที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะผู้ปฏิบัติงานที่มีสุขอนามัยส่วนบุคคลไม่ดี อาจใช้มือที่ปนเปื้อนวัสดุนาโนหยิบจับอาหารรับประทานได้ หรือหากรับประทานอาหารในบริเวณปฏิบัติงาน

อันตรายจากการทำงานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน

- **อันตรายต่อสุขภาพ** ข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายจากอนุภาคนาโนชนิดต่างๆ ต่อร่างกายมนุษย์ยังมีอยู่จำกัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบในระยะยาว อย่างไรก็ตาม จากรายงานการศึกษาวิจัย พบว่าการสัมผัสอนุภาคนาโนอาจก่อให้เกิดการอักเสบ ระคายเคือง หรือภูมิแพ้ นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดมะเร็ง เป็นพิษต่อสารพันธุกรรม เซลล์ อวัยวะต่างๆ
- **อันตรายจากการติดไฟและการระเบิด** เนื่องจากอนุภาคนาโนมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมาก ทำให้มีความเป็นไปได้ของการระเบิดมากขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นในอากาศสูงพอ

หลักการควบคุมป้องกันอันตราย

- **การควบคุมป้องกันทางด้านวิศวกรรม** มุ่งเน้นลดโอกาสการฟุ้งกระจายหรือการสัมผัสอนุภาคนาโน โดยออกแบบพื้นที่ปฏิบัติงาน เช่น จัดทำผนังกั้นพื้นที่ทำงานเพื่อลดการปนเปื้อน การออกแบบระบบระบายอากาศและความชื้นที่เหมาะสมในบรรยากาศการทำงาน ไม่ระบายอากาศที่คาดว่ามีการปนเปื้อนอนุภาคนาโนออกสู่ภายนอกโดยไม่มีการควบคุม ตรวจสอบประสิทธิภาพ บำรุงรักษาระบบระบายอากาศตามข้อกำหนด
- **การควบคุมป้องกันที่ตัวผู้ปฏิบัติงาน** โดยจัดให้มีการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลที่เหมาะสม ได้แก่
  - อุปกรณ์ปกป้องระบบหายใจ เช่น หน้ากากที่มีตัวกรอง P-100
  - อุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสผิวหนัง เช่น ถุงมือไนไตร ชุดป้องกันลำตัว
  - อุปกรณ์ป้องกันดวงตา เช่น แว่นครอบตาที่ทนต่อสารเคมี

  ทั้งนี้ ต้องมีการประเมินและปรับปรุงอุปกรณ์ฯ ที่ใช้งาน เช่น ทดสอบประสิทธิภาพการสวมใส่หน้ากาก (Respirator Fit Testing) และหากจำเป็น ควรประเมินมาตรการควบคุมการสัมผัสสารเคมี (Control Banding Technique) และประเมินประสิทธิภาพของวัสดุทางเลือกอื่นๆ

- **มาตรการด้านการจัดการอื่นๆ** ได้แก่
  - ลดระยะเวลาการทำงานกับวัสดุนาโน โดยการสลับ หมุนเวียนงาน
  - จัดทำแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
  - จัดระบบข้อมูล/การสื่อสาร ที่สามารถเข้าถึงได้โดยง่ายและรวดเร็ว
  - จัดฝึกอบรม/ให้ความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้วัสดุนาโน
  - จัดการเฝ้าระวังทางสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน ได้แก่ การตรวจสุขภาพตามความเสี่ยง และเก็บข้อมูล/รายงานผลการตรวจอย่างเป็นระบบ

กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันยังไม่มีกฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความปลอดภัยด้านนาโนเทคโนโลยี ที่มีผลบังคับใช้ในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม กฎหมายที่มีอยู่และอาจต้องมีการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม ได้แก่

- **พรบ. ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมฯ 2554** ควรต้องมีการเพิ่มเติมข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานในสถานประกอบกิจการที่มีการใช้วัสดุนาโน
- **พรบ. วัตถุอันตราย 2525** ควรต้องมีการปรับปรุงโดยเพิ่มวัสดุนาโนเป็นหนึ่งในวัตถุอันตราย
- **พรบ. ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม 2535** ควรต้องมีการเพิ่มเติมข้อกำหนดเกี่ยวกับมาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษนาโน และบทลงโทษ

ผู้เรียบเรียง

ดร. วิสันติ เลาหอุดมโชค	นักวิชาการแรงงานชำนาญการ
ดร. เกษร เทพแปง	นักวิชาการแรงงานชำนาญการ
ดร. กรรณิกา แท่นคำ	นักวิชาการแรงงานปฏิบัติการ

กลุ่มงานยุทธศาสตร์ความปลอดภัยแรงงาน
สำนักความปลอดภัยแรงงาน
โทร. 02 448 8338 ต่อ 609-610