

ห้ามใช้หรือยึดถือร่างนี้เป็นมาตรฐาน
มาตรฐานฉบับสมบูรณ์จะมีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ร่าง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

**นาโนเทคโนโลยี บทที่ 1: แนวปฏิบัติสำหรับการควบคุมและ
ผลิตวัสดุนาโนที่มีคุณภาพ**

**NANOTECHNOLOGIES - PART 1: GOOD PRACTICE GUIDE FOR
SPECIFYING MANUFACTURED NANOMATERIALS**

สำหรับเสนอคณะกรรมการวิชาการพิจารณาร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 0 2202 3490

คณะผู้จัดทำร่างมาตรฐาน

มาตรฐานนาโนเทคโนโลยี บทที่ 1: แนวปฏิบัติสำหรับการควบคุมและผลิตวัสดุนาโนที่มีคุณภาพ

ที่ปรึกษา

นายชัยณรงค์ เชิดชู

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

นายศิริศักดิ์ เทพาคำ

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

ประธาน

นางฉลอง เลาจริยกุล

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

รองประธาน

นายประสงค์ นรจิตร์

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

กรรมการ

นางสาวทิพิชา โปษยานนท์

สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ

นางนราพร รังสิมันต์กุล

สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

นายสมศักดิ์ ศรีสุภรวาณิชย์

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

นางครุณี เอ็ดเวิร์ดส

หอการค้าและสภาหอการค้าแห่งประเทศไทย

นางสุพิน แสงสุข

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายวิสันติ เลาหอุดมโชค

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

นางสาวจริยา บัวเจริญ

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

นางกนกวรรณ บุญยาภิธาน

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นางสาวพิกุลทอง ขอเพิ่มทรัพย์

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

นางสาวสุภาพันธุ์ บุญนาค

นางสาวฉวีวรรณ ทรัพย์เจริญกุล

นางสาวกนิดา เกษมโชติช่วง

กรรมการและเลขานุการ

นายฉัฐพันธุ์ สุภกา

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนสังเคราะห์ เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของวัสดุนาโนสังเคราะห์ให้มีคุณภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต และเป็นการช่วยให้การผลิตวัสดุนาโนสังเคราะห์ในระดับอุตสาหกรรมมีมาตรฐานเดียวกัน รวมถึงใช้เป็นแนวทางในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนสังเคราะห์เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการส่งมอบผลิตภัณฑ์วัสดุนาโนสังเคราะห์ระหว่างผู้ผลิต ผู้ใช้ และผู้บริโภค

การที่วัสดุนาโนสังเคราะห์ในการผลิตแต่ละรอบมีคุณภาพไม่คงที่หรือมีประสิทธิภาพในการใช้งานไม่สม่ำเสมอทั้งที่วัสดุนาโนสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นนั้นมีลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีตรงตามคุณลักษณะเฉพาะที่กำหนดไว้ทุกประการ อาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ข้อตกลงคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนสังเคราะห์ที่ผู้ผลิตและผู้ใช้มีร่วมกันไม่ครอบคลุมลักษณะเฉพาะทั้งหมดของวัสดุนาโนสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ หรือผู้ผลิตและผู้ใช้มีการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน หรือ การที่วัสดุนาโนสังเคราะห์มีความหลากหลายทำให้การกำหนดคุณลักษณะเฉพาะต้องมีความจำเพาะเจาะจงและไม่สามารถใช้ร่วมกันได้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ จัดทำขึ้นตามความร่วมมือระหว่างสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกับศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้ และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

BS PD 6699-1:2007	Nanotechnologies-Part 1: Good practice guide for specifying manufactured nanomaterials
ISO/TS 27687:2008	Nanotechnologies-Terminology and definitions for nano-objects - nanoparticle, nanofibre and nanoplate
ISO/TS 80004-1:2010	Nanotechnologies-Vocabulary -Part 1: Core terms
ISO/TS 80004-3:2010	Nanotechnologies-Vocabulary-Part 3: Carbon nano-objects
ISO 13320:2009	Particle size analysis-Laser diffraction methods
ISO 13322-1:2004	Particle size analysis-Image analysis methods Part 1: Static image analysis methods
ISO 13321:1996	Particle size analysis-Photon correlation spectroscopy
ISO 9277:2010	Determination of specific surface area of solids by gas adsorption-BET method

สารบัญ

	หน้า
1. ขอบข่าย	1
2. บทนิยาม	1
3. การกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโน	4
4. การกำหนดคุณลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโน	9
5. การปนเปื้อนต่อวัสดุนาโนสังเคราะห์ และแนวทางการแก้ไข	10
6. การบรรจุ	11
7. การทำเครื่องหมาย และฉลาก	11
8. การขนส่ง	11

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นาโนเทคโนโลยี บทที่ 1: แนวปฏิบัติสำหรับการควบคุมและผลิตวัสดุนาโนที่มีคุณภาพ

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถึงแนวทางในการจัดเตรียมข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะเชิงเทคนิคทั่วไป สำหรับวัสดุนาโนสังเคราะห์ เพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการผลิตและจัดส่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพเหมือนกันในทุกรอบการผลิต โดยในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ได้รวบรวมแนวทางในการกำหนดลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนซึ่งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป
- 1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมถึงแนวทางในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับการประเมินความปลอดภัยต่อสุขภาพ อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม
- 1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมถึงแนวทางในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุโครงสร้างนาโน
- 1.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมถึงแนวทางในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุเชิงประกอบนาโน และวัสดุที่มีเฟสนาโนผสมอยู่ในเนื้อของวัสดุ โดยที่เฟสนาโนดังกล่าวเกิดขึ้นในเนื้อของวัสดุได้เองตามธรรมชาติ เช่น การตกตะกอนของอนุภาคขนาดเล็กในเนื้อของโลหะผสม เป็นต้น
- 1.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมถึงแนวทางในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการทางธรรมชาติ หรือเกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจ เช่น วัสดุนาโนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล การเชื่อมโลหะ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมฉบับนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 นาโนสเกล (nanoscale) หมายถึง ขนาดในช่วง 1 nm ถึง 100 nm โดยประมาณ

หมายเหตุ 1 ในกรณีที่วัสดุสามารถแสดงสมบัติใหม่ (ที่ไม่สามารถอาศัยการคาดการณ์ หรือเทียบบัญญัติไตรยางค์จากวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าได้) ในช่วงนาโนสเกลนี้ สามารถอนุมานให้คำจำกัดความของนาโนสเกลเป็น "ค่าโดยประมาณ" ระหว่าง 1 nm ถึง 100 nm ได้

หมายเหตุ 2 การกำหนดให้ขอบเขตล่างของนาโนสเกลมีค่าเท่ากับ 1 nm มีวัตถุประสงค์เพื่อหลีกเลี่ยงการกำหนดอะตอมหรือกลุ่มอะตอมว่าเป็น “วัสดุนาโน” หรือ ธาตุองค์ประกอบของวัสดุโครงสร้างนาโน

- 2.2 นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) หมายถึง การประยุกต์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการจัดการและ ควบคุม สสารในระดับนาโนสเกล เพื่อให้ประโยชน์จากสมบัติหรือปรากฏการณ์ที่ขึ้นกับขนาดหรือโครงสร้างของ สสาร โดยสมบัติหรือปรากฏการณ์ดังกล่าวแตกต่างจากที่พบในอะตอม หรือโมเลกุล หรือวัสดุขนาดใหญ่

หมายเหตุ การจัดการและควบคุมนั้นรวมถึงการสังเคราะห์วัสดุด้วย

- 2.3 วัสดุนาโน (nanomaterial) หมายถึง วัสดุที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล หรือ วัสดุที่มีโครงสร้าง ภายใน หรือมีโครงสร้างพื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล

- 2.4 วัสดุนาโนสังเคราะห์ (manufactured nanomaterial) หมายถึง วัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นสำหรับใช้ในวัตถุประสงค์ ทางการค้าเพื่อให้มีสมบัติหรือองค์ประกอบที่จำเพาะ

- 2.5 วัสดุนาโน (nano-object) หมายถึง วัสดุที่มีมิติภายนอก 1 มิติ 2 มิติ หรือ 3 มิติ อยู่ในระดับนาโนสเกล

- 2.6 วัสดุโครงสร้างนาโน (nanostructured material) หมายถึง วัสดุที่มีโครงสร้างภายในอยู่ในระดับนาโนสเกล หรือมีโครงสร้างพื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล

หมายเหตุ หากวัสดุที่มีมิติภายนอกมิติใดมิติหนึ่งในระดับนาโนสเกล แนะนำให้ใช้คำว่า “วัสดุนาโน”

- 2.7 อนุภาคนาโน (nanoparticle) หมายถึง วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกทั้ง 3 มิติอยู่ในระดับนาโนสเกล

หมายเหตุ หากอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของวัสดุมีค่ามากกว่า 3 ให้เรียกว่า “เส้นใยนาโน” หรือ “แผ่นนาโน” แทน “อนุภาคนาโน”

- 2.8 เส้นใยนาโน (nanofibre) หมายถึง วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลเหมือนกัน 2 มิติ ส่วนมิติ ที่ 3 ใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญ

หมายเหตุ 1 เส้นใยนาโนสามารถมีความยืดหยุ่นหรือไม่ยืดหยุ่น

หมายเหตุ 2 มิตินาโนสเกลทั้ง 2 มิติมีขนาดแตกต่างกันไม่เกิน 3 เท่า และมิติที่ 3 ใหญ่กว่าทั้ง 2 มิติมากกว่า 3 เท่า

หมายเหตุ 3 มิติที่ 3 ไม่จำเป็นต้องอยู่ในระดับนาโนสเกล

- 2.9 ลวดนาโน (nanowire) หมายถึง เส้นใยนาโนที่มีสมบัติเป็นตัวนำหรือกึ่งตัวนำไฟฟ้า

- 2.10 แท่งนาโน (nanorod) หมายถึง เส้นใยนาโนที่เป็นของแข็ง

- 2.11 ท่อนาโน (nanotube) หมายถึง เส้นใยนาโนที่มีลักษณะกลวง

- 2.12 ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotube) หมายถึง ท่อนาโนที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน

หมายเหตุ ท่อนาโนคาร์บอนโดยปกติประกอบด้วยแผ่นของกราฟีนม้วนเป็นท่อ เช่น ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว (single-wall carbon nanotube) และ ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (multi-wall carbon nanotube)

- 2.13 แผ่นนาโน (nanoplate) หมายถึง วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 1 มิติ ส่วนมิติที่ 2 และ 3 ใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญ

หมายเหตุ 1 มิติภายนอกที่เล็กที่สุด คือ ความหนาของแผ่นนาโน

หมายเหตุ 2 มิติภายนอก 2 มิติต้องมีขนาดใหญ่กว่ามิติที่เล็กที่สุดมากกว่า 3 เท่า

หมายเหตุ 3 มิติภายนอกที่มีขนาดใหญ่กว่าไม่จำเป็นต้องอยู่ในระคนาโน

2.14 วัสดุเชิงประกอบนาโน (nanocomposite) หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยเฟสที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 เฟสขึ้นไป โดยมีอย่างน้อย 1 เฟส เป็นเฟสนาโน

หมายเหตุ 1 ไม่รวมถึงเฟสนาโนที่อยู่ในสถานะแก๊ส

หมายเหตุ 2 วัสดุที่มีเฟสในระคนาโนสเกลที่เกิดขึ้น โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียวไม่จัดว่าเป็นวัสดุเชิงประกอบนาโน

2.15 เฟสนาโน (nanophase) หมายถึง บริเวณที่มีสมบัติทางฟิสิกส์หรือทางเคมีที่ชัดเจน หรือบริเวณที่มีสมบัติทางฟิสิกส์เหมือนกันอยู่รวมกันในเนื้อวัสดุ โดยบริเวณดังกล่าวมีมิติภายนอกอย่างน้อย 1 มิติอยู่ในระคนาโนสเกล

หมายเหตุ วัสดุนาโนที่ฝังตัวอยู่ในเฟสอื่นของวัสดุทำให้เกิดเป็นเฟสนาโน

2.16 อนุภาคเกาะก้อนแบบแน่น (aggregate) หมายถึง อนุภาคเดี่ยวที่ยึดติดกันด้วยพันธะที่แข็งแรง หรือ อนุภาคหลายอนุภาคที่หลอมรวมกัน และส่งผลให้พื้นที่ผิวภายนอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับผลรวมพื้นที่ผิวของแต่ละอนุภาคทั้งหมดรวมกัน

หมายเหตุ 1 แรงยึดเหนี่ยวที่เชื่อมยึดอนุภาคเกาะก้อนแบบแน่นเข้าด้วยกันเป็นแรงที่แข็งแรง เช่น พันธะ โควเลนต์ หรือ ผลจากการเผาเพื่อฉีก หรือ การพัวพันทางกายภาพของอนุภาคอย่างซับซ้อน

หมายเหตุ 2 อนุภาคเกาะก้อนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "อนุภาคทุติยภูมิ" และอนุภาคเริ่มต้นก่อนเกาะเป็นก้อนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "อนุภาคปฐมภูมิ"

2.17 อนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม (agglomerate) หมายถึง กลุ่มของอนุภาค หรือ กลุ่มของอนุภาคเกาะก้อนแบบแน่น หรือส่วนผสมของอนุภาคทั้งสองชนิด ที่เกาะกันด้วยแรงแบบอ่อน ๆ และส่งผลให้พื้นที่ผิวภายนอกไม่แตกต่างไปจากผลรวมพื้นที่ผิวของแต่ละอนุภาคทั้งหมดรวมกัน

หมายเหตุ 1 แรงยึดเหนี่ยวที่เชื่อมยึดอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมเข้าด้วยกันเป็นแรงแบบอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ การพัวพันทางกายภาพของอนุภาคอย่างง่าย

หมายเหตุ 2 อนุภาคเกาะก้อนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "อนุภาคทุติยภูมิ" และอนุภาคเริ่มต้นก่อนเกาะเป็นก้อนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "อนุภาคปฐมภูมิ"

3. การกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโน

3.1 ทั่วไป

คุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อผู้จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในท้องตลาด โดยคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปมักมีการระบุถึงชื่อทางการค้า ระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ข้อมูลความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ วันที่ผลิต คำเตือน หนังสือรับรอง และข้อความโฆษณา

สำหรับผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย หรือ ผู้ส่งมอบ คุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์เป็นการแสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถของกระบวนการผลิตสินค้า และเป็นการสร้างความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่มีระดับคุณภาพแตกต่างกัน

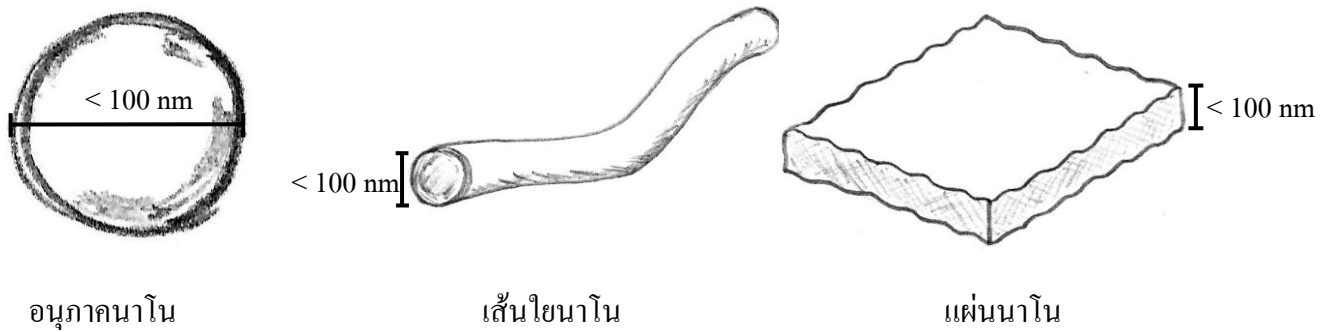
สำหรับผู้ใช้ หรือ ผู้รับมอบ คุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์เป็นการแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผู้จัดจำหน่ายแต่ละราย หรือผลิตภัณฑ์แต่ละรายการ

สำหรับผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่ายและผู้ใช้ คุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์เป็นตัวชี้วัดระดับองค์กรในด้านที่เกี่ยวข้องกับระบบคุณภาพเพื่อให้แน่ใจว่ามีการผลิตที่สอดคล้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการจัดกิจกรรมเชิงพาณิชย์ เช่น การแก้ปัญหาข้อร้องเรียน การเรียกคืนผลิตภัณฑ์ การรับประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

พบว่าวัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นในแต่ละรอบการผลิตมีความไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อความสม่ำเสมอของกระบวนการผลิตขั้นต่อไปที่มีการนำวัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นนั้น ๆ ไปใช้งาน และ/หรือมีผลต่อความสม่ำเสมอของประสิทธิภาพการใช้งานในผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการใช้วัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นนั้นๆ โดยความไม่สม่ำเสมอดังกล่าวนี้เกิดขึ้นจากสาเหตุที่ไม่สามารถอธิบายได้อย่างครบถ้วนทั้งในส่วนของผู้ส่งมอบและผู้รับมอบ ดังนั้นสิ่งสำคัญที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาในความไม่สม่ำเสมอดังกล่าวนี้ คือการที่ทั้งผู้ส่งมอบและผู้รับมอบต้องมีพื้นฐานเดียวกันในการพัฒนาข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นที่เกิดจากการตกลงร่วมกันและยอมรับกันได้ทั้งสองฝ่าย โดยที่แนวทางในการจัดเตรียมข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่ระบุในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้มีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับข้อปฏิบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของกลุ่มผู้ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งแนวทางดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้ในการจัดเตรียมข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนสำหรับการใช้งานในทุกรูปแบบ โดยเฉพาะการระบุเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ รูปร่างและขนาด หรือการที่ผลิตภัณฑ์นั้นมีขนาดในระดับนาโนสเกลหรือไม่ โดยแนวทางกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนเหล่านี้สามารถใช้ได้กับวัสดุนาโนที่มีการส่งมอบในลักษณะที่เป็นผงแห้ง หรือมีการส่งมอบในลักษณะที่เป็นสารแขวนลอย โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ได้มีการจัดจำแนกวัสดุนาโนออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ โดยการพิจารณาจากจำนวนมิติภายนอกของวัสดุนาโนที่มีขนาดในระดับนาโนสเกล ดังนี้

- (1) วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ เช่น อนุภาคนาโน
- (2) วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ เช่น เส้นใยนาโน
- (3) วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ เช่น แผ่นนาโน

ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพวาดแสดงการจัดจำแนกวัสดุนาโนออกเป็นกลุ่มโดยการพิจารณาจากจำนวนมิติภายนอกของวัสดุนาโนที่มีขนาดในระดับนาโนสเกล (ข้อ 3.1)

3.2 คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ

3.2.1 ทั่วไป

ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ เช่น อนุภาคนาโน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป และจำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไป มีดังนี้

- (1) การกระจายตัวของขนาดอนุภาค (particle size distribution)
- (2) การกระจายตัวของขนาดผลึก (crystallite size distribution)
- (3) ระดับการรวมตัวเป็นก้อนแบบหลวม (degree of agglomeration)
- (4) พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area)
- (5) องค์ประกอบทางเคมีแบบมวลรวม (bulk chemical composition)

3.2.2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติที่จำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน มีดังนี้

- (1) ความสามารถในการกระจายตัวในเมทริกซ์ของแข็ง (solid matrix) ที่ให้ค่าการเสริมแรงในระดับนาโนสเกลของวัสดุเชิงประกอบ
- (2) ความสามารถในการกระจายตัวของเหลว เช่น ความมีขี้และไม่ขี้ขี้

- (3) พื้นที่ผิวฟุคส์ (Fuchs surface area) เช่น การใช้อนุภาคนาโนในรูปแบบละอองลอย (aerosol)
- (4) องค์ประกอบตลอดภาพตัดขวางของอนุภาค เช่น อนุภาคนาโนที่มีโครงสร้างแบบมีเปลือกหุ้มและแกนกลาง (core shell structure)

3.2.3 ลักษณะเฉพาะอื่นของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ ที่อาจจำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ มีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต มีดังนี้

- (1) ลักษณะวิทยาของอนุภาค (particle morphology)
- (2) ลักษณะการไหล (flow characteristic)
- (3) ความหนาแน่นจำเพาะที่หาได้จากการอัด (tap density)
- (4) ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density)
- (5) ความพรุน (porosity)
- (6) องค์ประกอบเคมีของพื้นผิว (surface chemical composition)
- (7) โครงสร้างของผลึก (crystal structure)
- (8) ปริมาณความชื้น (moisture content)
- (9) ความเป็นกรดต่าง
- (10) สี
- (11) ความโปร่งแสง (transparency)

3.3 คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ

3.3.1 ทั่วไป

วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ เช่น เส้นใยนาโน ท่อนาโน แ่งนาโน และลวดนาโน โดยท่อนาโนคาร์บอนเป็นวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติที่มีการใช้ในเชิงพาณิชย์มากที่สุด

สำหรับการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของท่อนาโนคาร์บอนได้กล่าวถึงในข้อ 3.3.2 และการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติชนิดอื่น ๆ ได้กล่าวถึงในข้อ 3.3.3

3.3.2 คุณลักษณะเฉพาะของท่อนาโนคาร์บอน

3.3.2.1 ทั่วไป

ลักษณะเฉพาะของท่อนาโนคาร์บอนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป และจำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไป มีดังนี้

- (1) การกระจายตัวของความยาว (length distribution)

- (2) การกระจายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter distribution)
 - (3) การกระจายตัวของอัตราส่วนความยาวด้าน (aspect ratio distribution)
 - (4) ความหนาของผนัง (wall thickness)
 - (5) จำนวนของผนังท่อ (number of wall) เช่น ผนังเดี่ยว ผนังคู่ หรือ ผนังหลายชั้น
 - (6) ความบริสุทธิ์ทางเคมี (chemical purity) เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปะปนมา
 - (7) โครงสร้าง/ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ (structural/product purity) เช่น วัสดุคาร์บอนอื่นที่ปะปน
- 3.3.2.2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของท่อนาโนคาร์บอนที่จำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน มีดังนี้
- (1) ความสมมาตร (symmetry) เช่น กรณีการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางไฟฟ้า
- 3.3.2.3 ลักษณะเฉพาะอื่นของท่อนาโนคาร์บอนที่อาจจำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าท่อนาโนคาร์บอนมีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต มีดังนี้
- (1) ความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility)
 - (2) ระดับการเกาะเป็นก้อนแบบหลวม (degree of agglomeration)
 - (3) การวิเคราะห์ทางเคมีของพื้นผิว (surface chemical analysis)
 - (4) การทำให้เกิดฟังก์ชันบนพื้นผิว (surface functionalisation)
 - (5) โครงสร้างของปลายท่อทั้งสองด้าน เช่น ปลายเปิด และปลายปิด
- 3.3.3 คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติชนิดอื่น ๆ เช่น เส้นใยนาโน และแท่งนาโน
- 3.3.3.1 ทั่วไป
- ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนหรือแท่งนาโนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป และจำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไป มีดังนี้
- (1) การกระจายตัวของขนาด (size distribution)
 - (2) การกระจายตัวของความยาว
 - (3) การกระจายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง
 - (4) การกระจายตัวของสัดส่วนรูปร่าง
 - (5) ระดับการรวมตัวเป็นก้อนแบบหลวม
 - (6) พื้นที่ผิว (surface area)
 - (7) ความพรุน

(8) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบมวลรวม (bulk chemical analysis)

3.3.3.2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของเส้นใยนาโน และแท่งนาโนที่จำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน มีดังนี้

- (1) ความสามารถในการกระจายตัวในเมทริกซ์ของแข็งที่ให้ค่าการเสริมแรงในระดับนาโนสเกลของวัสดุเชิงประกอบ
- (2) ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุกับเมทริกซ์ในการให้ค่าการเสริมแรงในระดับนาโนสเกลของวัสดุเชิงประกอบ
- (3) คุณสมบัติเชิงผลึกและเชิงกลที่ขึ้นกับทิศทางของแรงกระทำ (crystallographic and mechanical anisotropy)

3.3.3.3 ลักษณะเฉพาะอื่นของเส้นใยนาโน และแท่งนาโนที่อาจจำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเส้นใยนาโน และแท่งนาโนมีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต มีดังนี้

- (1) ความเข้ากันได้กับเมทริกซ์
- (2) ความสามารถในการกระจายตัวในของเหลว
- (3) ลักษณะการไหล
- (4) การวิเคราะห์ทางเคมีของพื้นผิว
- (5) การทำให้เกิดฟังก์ชันบนพื้นผิว

3.4 คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ

3.4.1 ทั่วไป

คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ เช่น แผ่นนาโนหรือกระบวนการเคลือบในระดับนาโนสเกลนั้นจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพในการเคลือบระดับนาโนสเกลด้วยวิธีการที่เหมาะสม โดยการควบคุมสถานะที่ใช้ในกระบวนการเคลือบเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบคุณภาพการเคลือบจากลักษณะเฉพาะที่เป็นการตกลงร่วมกัน จากนั้นควบคุมคุณภาพของการเคลือบในแต่ละรอบการผลิตโดยการเฝ้าติดตามและควบคุมสถานะที่ใช้ในกระบวนการแทนการวัดลักษณะเฉพาะ

3.4.2 ลักษณะเฉพาะที่จำเป็นในการกำหนดสถานะกระบวนการสำหรับการควบคุมคุณภาพการเคลือบระดับนาโนสเกลสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน มีดังนี้

- (1) ความหนาของการเคลือบ (coating thickness)
- (2) ความสม่ำเสมอของความหนา (thickness uniformity)
- (3) องค์ประกอบทางเคมีของสารเคลือบ (chemical composition of the coating)
- (4) ความแข็งแรงระหว่างผิวเคลือบกับฐานรองเคลือบ (interfacial strength with the substrate)

3.4.3 ลักษณะเฉพาะอื่นของแผ่นนาโน และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเคลือบระดับนาโนสเกลที่อาจจำเป็นต้องการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ามีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกกรอบการผลิต มีดังนี้

- (1) ความพรุน
- (2) องค์ประกอบเคมีของพื้นผิว

4. การกำหนดคุณลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโน

4.1 ทัวไป

ในข้อ 3. ได้ระบุถึงลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่จำเป็นต้องการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนกลุ่มต่าง ๆ สำหรับการใช้งานทั่วไป สำหรับลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนที่จำเป็นต้องการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน ได้ระบุไว้ในข้อ 4.2 และในกรณีทีลักษณะเฉพาะที่ระบุในข้อ 3. และข้อ 4.2 ยังไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพของวัสดุนาโนแต่ละกลุ่มให้มีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกกรอบการผลิต อาจจำเป็นต้องเพิ่มลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนตามที่ได้ระบุไว้ในข้อ 4.3

4.2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนที่ทราบอย่างแน่ชัดว่ามีผลต่อการนำไปใช้งานเฉพาะด้าน

ในกรณีที่มีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานเฉพาะด้านนั้น อาจจำเป็นต้องนำลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 ไปใช้ในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนร่วมด้วย

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะสำหรับการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนที่ผลิตขึ้น
(ข้อ 4.2)

ลักษณะเฉพาะ	อนุภาคนาโน	เส้นใยนาโน	แผ่นนาโน
การกระจายตัวในเมทริกซ์ของแข็ง และการเสริมแรงโดยใช้วัสดุนาโนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
การกระจายตัวของเหลว เช่น สภาพมีขี้ผึ้งและไม่มีขี้ผึ้ง	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
พื้นที่ผิวฟุคส์ (การใช้วัสดุนาโนในละอองลอย)	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
ความสมมาตร (สำหรับสมบัติทางไฟฟ้าของท่อนาโน)	ไม่จำเป็น	จำเป็น	ไม่จำเป็น
ความแข็งแรงของรอยต่อกับเมทริกซ์ในการเสริมแรงขนาดนาโนสำหรับวัสดุเชิงประกอบ	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
แอนไอโซทรอปีที่มีผลต่อผลึกและสมบัติเชิงกล	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น

- 4.3 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่อาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป เพื่อเป็นการประกันคุณภาพของวัสดุนาโนว่ามีคุณภาพคงที่ในทุกกรอบการผลิต และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอ อาจจำเป็นต้องนำลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่ระบุไว้ในตารางที่ 2 มาเพิ่มเติมในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนร่วมด้วย

ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนที่อาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป (ข้อ 4.3)

ลักษณะเฉพาะ	อนุภาคนาโน	เส้นใยนาโน	แผ่นนาโน
สัณฐานวิทยาของอนุภาค	จำเป็น	ไม่จำเป็น	ไม่จำเป็น
ลักษณะการไหล	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
ความหนาแน่นจำเพาะที่หาได้จากการอัด	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
ความหนาแน่นปรากฏ	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
ความพรุน	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
โครงสร้างผลึกและระดับการเป็นผลึก	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
สี	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
ความโปร่งแสง	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
ความแข็งของก้อนที่บดละเอียด	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
โครงสร้างที่ปลายท่อนาโน	ไม่จำเป็น	จำเป็น (ในกรณีท่อนาโน)	ไม่จำเป็น

5. การปนเปื้อนต่อวัสดุนาโนสังเคราะห์ และแนวทางการแก้ไข

เนื่องจากวัสดุนาโนสังเคราะห์มีพื้นที่ผิวสูงมากและมีพลังงานพื้นผิวสูง ดังนั้นวัสดุนาโนสังเคราะห์จึงมักอยู่รวมเป็นกลุ่มก้อน หรือ ติดกับพื้นผิว หรือ ติดกับวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งผลกระทบที่ตามมา คือการทำให้ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนสังเคราะห์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมได้ง่าย โดยที่กลไกการเปลี่ยนแปลงและอัตราการเสื่อมสภาพของวัสดุนาโนสังเคราะห์นั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรที่หลากหลาย ซึ่งรวมถึงองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุนาโนสังเคราะห์เอง และลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์ เช่น ขนาดและรูปร่าง รวมทั้งระยะเวลาและสภาวะในการจัดเก็บวัสดุนาโนสังเคราะห์ เป็นต้น สำหรับผลกระทบที่เกิดขึ้นตามมานั้น คือ ควรมีการพิจารณาถึงเทคนิคที่นำมาใช้ในการแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาในการเสื่อมสภาพของวัสดุนาโน โดยที่สภาวะในการบรรจุ และจัดเก็บรักษาวัสดุนาโนสังเคราะห์ ควรได้รับความเห็นชอบจากทั้งผู้ผลิตและผู้ซื้อ ข้อมูลเกี่ยวกับสภาวะในการจัดเก็บรักษาควรพิจารณาด้วยว่า

วัสดุนาโนสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นอาจเสื่อมสภาพได้จากการสัมผัสกับความชื้นหรือความร้อน และจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างวัสดุนาโนสังเคราะห์กับวัสดุชนิดอื่นที่เก็บรักษาไว้ในบริเวณเดียวกัน

6. การบรรจุ

การบรรจุวัสดุนาโนสังเคราะห์ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย โดยคำนึงถึงกฎ ระเบียบ และความปลอดภัย

7. การทำเครื่องหมาย และฉลาก

ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ควรกำหนดให้ติดฉลากที่เห็นได้ชัดเจนไว้ที่ภาชนะบรรจุ หรือวัสดุห่อหุ้มวัสดุนาโนสังเคราะห์ โดยฉลากนั้นต้องมีรายละเอียดอย่างน้อยดังนี้

- (1) แสดงข้อความระบุว่า เป็น “วัสดุนาโน” ที่เห็นได้ชัดเจน
- (2) ชื่อทางเคมีหรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ของวัสดุนาโน
- (3) ปริมาณ และองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุนาโน
- (4) อันตรายและอาการเกิดพิษจากวัสดุนาโน
- (5) คำเตือนเกี่ยวกับวิธีเก็บ วิธีใช้ เคลื่อนย้ายวัสดุนาโนและวิธีกำจัดหีบห่อภาชนะบรรจุ หรือวัสดุห่อหุ้มวัสดุนาโนอย่างปลอดภัย
- (6) วิธีปฐมพยาบาลเมื่อมีอาการหรือความเจ็บป่วยเนื่องจากวัสดุนาโน และคำแนะนำให้รับส่งผู้ป่วยไปหาแพทย์
- (7) รายละเอียดตามข้อ 7. (4) ถึง ข้อ 7. (6) อาจพิมพ์ไว้ในใบแทรกกำกับในภาชนะบรรจุ ฉลากและใบแทรกกำกับให้จัดทำเป็นภาษาไทย เว้นแต่รายละเอียดตามข้อ 7. (2) และ ข้อ 7. (3) อาจใช้เป็นภาษาอังกฤษ

8. การขนส่ง

หลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการขนส่ง เก็บรักษา เคลื่อนย้าย และกำจัดหีบห่อ ภาชนะบรรจุ หรือวัสดุห่อหุ้มวัสดุนาโนสังเคราะห์ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย โดยคำนึงถึงกฎ ระเบียบ และความปลอดภัย