

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๔๗๔๘ (พ.ศ. ๒๕๕๘)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นาโนเทคโนโลยี เล่ม ๑ แนวทางการระบุข้อกำหนดวัสดุนาโนจากการผลิต

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ฉบับที่ ๗) พ.ศ. ๒๕๕๘ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม นาโนเทคโนโลยี เล่ม ๑ แนวทางการระบุข้อกำหนดวัสดุนาโนจากการผลิต มาตรฐานเลขที่ มอก. 2691 เล่ม 1 - 2558 ไว้ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๗ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

อรรชกา สีบุญเรือง

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นาโนเทคโนโลยี

เล่ม 1 แนวทางการระบุข้อกำหนด

วัสดุนาโนจากการผลิต

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ครอบคลุมถึงแนวทางในการจัดเตรียมข้อกำหนดลักษณะเฉพาะเชิงเทคนิคทั่วไป สำหรับวัสดุนาโนจากการผลิต เพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการผลิตและจัดส่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพเหมือนกันในทุกรอบการผลิต โดยในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ได้รวบรวมแนวทางในการกำหนดลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนซึ่งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป
- 1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมถึงแนวทางในการกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุโครงสร้างนาโน วัสดุเชิงประกอบนาโน และวัสดุที่มีนาโนเฟสผสมอยู่ในเนื้อของวัสดุ วัสดุนาโนที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการทางธรรมชาติ หรือเกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจ และการประเมินความปลอดภัยต่อสุขภาพ อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อมของวัสดุนาโนจากการผลิต

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

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

หมายเหตุ 1. ในกรณีที่วัสดุแสดงสมบัติใหม่ (ที่อาศัยการคาดการณ์ หรือเทียบบัญญัติใดอย่างจากวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าไม่ได้) ในช่วงนาโนสเกลนี้ อนุโลมให้คำจำกัดความของนาโนสเกลเป็น “ค่าโดยประมาณ” ระหว่าง 1 nm ถึง 100 nm ได้

2. การกำหนดให้ขอบเขตล่างของนาโนสเกลมีค่าเท่ากับ 1 nm มีวัตถุประสงค์เพื่อหลีกเลี่ยงการกำหนดอะตอมหรือกลุ่มอะตอมว่าเป็น “วัสดุนาโน” หรือ ระบุองค์ประกอบของวัสดุโครงสร้างนาโน
 - 2.2 นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) หมายถึง การประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการจัดการและควบคุมสสารในระดับนาโนสเกล เพื่อใช้ประโยชน์จากสมบัติหรือปรากฏการณ์ที่ขึ้นกับขนาดหรือโครงสร้างของสสาร โดยสมบัติหรือปรากฏการณ์ดังกล่าวแตกต่างจากที่พบในอะตอม หรือโมเลกุล หรือวัสดุนาโนใหญ่
- หมายเหตุ การจัดการและควบคุมนั้นรวมถึงการสังเคราะห์วัสดุด้วย

- 2.3 วัสดุนาโน (nanomaterial) หมายถึง วัสดุที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล หรือ วัสดุที่มีโครงสร้างภายใน หรือมีโครงสร้างพื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล
- 2.4 วัสดุนาโนจากการผลิต (manufactured nanomaterial) หมายถึง วัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นสำหรับใช้ในวัตถุประสงค์ทางการค้าเพื่อให้มีสมบัติหรือองค์ประกอบที่จำเพาะ
- 2.5 วัตถุนาโน (nano-object) หมายถึง วัสดุที่มีมิติภายนอก 1 มิติ 2 มิติ หรือ 3 มิติ อยู่ในระดับนาโนสเกล
- 2.6 อนุภาคนาโน (nanoparticle) หมายถึง วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกทั้ง 3 มิติอยู่ในระดับนาโนสเกล
- หมายเหตุ** หากอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของวัตถุมีค่ามากกว่า 3 ให้เรียกว่า “เส้นใยนาโน” หรือ “แผ่นนาโน” แทน “อนุภาคนาโน”
- 2.7 เส้นใยนาโน (nanofibre) หมายถึง วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ ส่วนมิติภายนอกที่ 3 มีขนาดใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญ
- หมายเหตุ** 1. เส้นใยนาโนมีความยืดหยุ่นหรือยืดหยุ่นไม่ได้
2. มิติภายนอกที่อยู่ในระดับนาโนสเกลทั้งสองมิติมีขนาดแตกต่างกันไม่เกิน 3 เท่า และมิติภายนอกที่ 3 ใหญ่กว่าทั้งสองมิติมากกว่า 3 เท่า
3. มิติภายนอกที่ 3 ไม่จำเป็นต้องอยู่ในระดับนาโนสเกล
- 2.8 ท่อนาโน (nanotube) หมายถึง เส้นใยนาโนที่มีลักษณะกลวง
- 2.9 ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotube) หมายถึง ท่อนาโนที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน
- หมายเหตุ** ท่อนาโนคาร์บอนโดยปกติประกอบด้วยแผ่นของแกรไฟีนม้วนเป็นท่อ รวมถึงท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว (single-wall carbon nanotube) และ ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (multi-wall carbon nanotube)
- 2.10 แท่งนาโน (nanorod) หมายถึง เส้นใยนาโนที่เป็นของแข็ง
- 2.11 ลวดนาโน (nanowire) หมายถึง เส้นใยนาโนที่มีสมบัติเป็นตัวนำหรือกึ่งตัวนำไฟฟ้า
- 2.12 แผ่นนาโน (nanoplate) หมายถึง วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ ส่วนมิติที่ 2 และ 3 ใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญ
- หมายเหตุ** 1. มิติภายนอกที่เล็กที่สุด คือ ความหนาของแผ่นนาโน
2. มิติภายนอก 2 มิติ ต้องมีขนาดใหญ่กว่ามิติภายนอกที่เล็กที่สุดมากกว่า 3 เท่า
3. มิติภายนอกที่มีขนาดใหญ่กว่าไม่จำเป็นต้องอยู่ในระดับนาโนสเกล
- 2.13 วัสดุโครงสร้างนาโน (nanostructured material) หมายถึง วัสดุที่มีโครงสร้างภายในอยู่ในระดับนาโนสเกล หรือมีโครงสร้างพื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล
- หมายเหตุ** หากวัสดุมีมิติภายนอกมิติใดมิติหนึ่งอยู่ในระดับนาโนสเกล แนะนำให้ใช้คำว่า “วัสดุนาโน”

- 2.14 นาโนเฟส (nanophase) หมายถึง บริเวณที่มีสมบัติทางฟิสิกส์หรือทางเคมีที่ชัดเจน หรือบริเวณที่มีสมบัติทางฟิสิกส์เหมือนกันอยู่รวมกันในเนื้อวัสดุ โดยบริเวณดังกล่าวมีมิติภายนอกอย่างน้อย 1 มิติ อยู่ในระดับนาโนสเกล

หมายเหตุ วัสดุนาโนที่ฝังตัวอยู่ในเฟสอื่นของวัสดุทำให้เกิดเป็นนาโนเฟส

- 2.15 วัสดุประกอบนาโน (nanocomposite) หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยเฟสที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 เฟส ขึ้นไป โดยมีอย่างน้อย 1 เฟส เป็นนาโนเฟส

หมายเหตุ 1. ไม่รวมถึงนาโนเฟสที่อยู่ในสถานะแก๊ส

2. วัสดุที่มีเฟสในระดับนาโนสเกลที่เกิดขึ้น โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียวไม่จัดว่าเป็นวัสดุเชิงประกอบนาโน

- 2.16 ก้อนเกาะแน่น (aggregate) หมายถึง อนุภาคเดี่ยวที่ยึดติดกันด้วยพันธะที่แข็งแรง หรือ อนุภาคหลายอนุภาคที่หลอมรวมกัน และส่งผลให้พื้นที่ผิวภายนอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับผลรวมพื้นที่ผิวของแต่ละอนุภาคทั้งหมดรวมกัน

หมายเหตุ 1. แรงยึดเหนี่ยวที่เชื่อมยึดก้อนเกาะแน่นเข้าด้วยกันเป็นแรงที่แข็งแรง เช่น พันธะโคเวเลนต์ หรือ ผลจากการเผาเพื่อผนึก หรือการพันเกี่ยวของอนุภาคทางฟิสิกส์อย่างซับซ้อน (entanglement)

2. ก้อนเกาะแน่นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคทุติยภูมิ” และอนุภาคเริ่มต้นก้อนเกาะเป็นก้อนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคปฐมภูมิ”

- 2.17 ก้อนเกาะหลวม (agglomerate) หมายถึง กลุ่มของอนุภาค หรือ กลุ่มของอนุภาคก้อนเกาะแน่น หรือส่วนผสมของอนุภาคทั้ง 2 ชนิด ที่เกาะกันด้วยแรงแบบอ่อน ๆ และส่งผลให้พื้นที่ผิวภายนอกไม่แตกต่างไปจากผลรวมพื้นที่ผิวของแต่ละอนุภาคทั้งหมดรวมกัน

หมายเหตุ 1. แรงยึดเหนี่ยวที่เชื่อมยึดอนุภาคก้อนเกาะหลวมเข้าด้วยกันเป็นแรงแบบอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ การพันเกี่ยวของอนุภาคทางฟิสิกส์อย่างง่าย

2. ก้อนเกาะหลวมเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคทุติยภูมิ” และอนุภาคเริ่มต้นก้อนเกาะเป็นก้อนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคปฐมภูมิ”

- 2.18 แกรฟีน (graphene) หมายถึง อะตอมคาร์บอนที่เรียงตัวเป็นแผ่นและมีช่องคล้ายรังผึ้ง สามารถนำไฟฟ้าได้ โดยขึ้นกับขนาดและรูปร่างของแผ่น

3. การกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโน

3.1 ทัวไป

ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปต้องระบุถึงชื่อทางการค้า ระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ข้อมูลความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ วันที่ผลิต คำเตือน หนังสือรับรอง และข้อความโฆษณา

ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์สำหรับผู้ทำ ผู้จัดจำหน่าย หรือ ผู้ส่งมอบ แสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถของกระบวนการผลิตสินค้า และเป็นการสร้างความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่มีระดับคุณภาพแตกต่างกัน

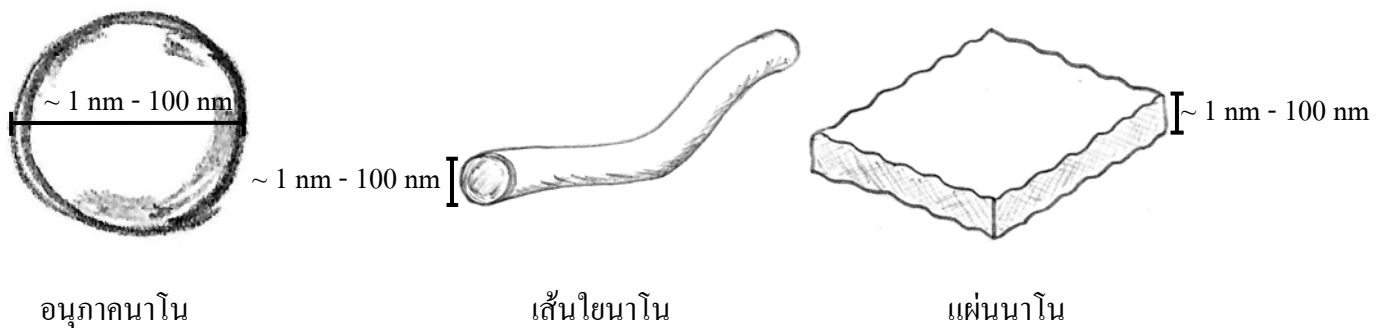
ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์สำหรับผู้ใช้ หรือ ผู้รับมอบ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผู้จัดจำหน่ายแต่ละราย หรือผลิตภัณฑ์แต่ละรายการ

ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์สำหรับผู้ทำ ผู้จัดจำหน่ายและผู้ใช้ เป็นตัวชี้วัดระดับองค์กรในด้านที่เกี่ยวกับระบบคุณภาพเพื่อให้แน่ใจว่ามีการผลิตที่สอดคล้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการจัดกิจกรรมเชิงพาณิชย์ เช่น การแก้ปัญหาข้อร้องเรียน การเรียกคืนผลิตภัณฑ์ การรับประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์

พบว่าวัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นในแต่ละรอบการผลิตมีความไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อความสม่ำเสมอของกระบวนการผลิตขั้นต่อไปที่มีการนำวัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นนั้น ๆ ไปใช้งาน และ/หรือมีผลต่อความสม่ำเสมอของประสิทธิภาพการใช้งานในผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการใช้วัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นนั้น ๆ โดยความไม่สม่ำเสมอดังกล่าวนั้นเกิดขึ้นจากสาเหตุที่อธิบายไม่ได้อย่างครบถ้วนทั้งในส่วนของผู้ส่งมอบและผู้รับมอบ ดังนั้นสิ่งสำคัญที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหานี้ในทางความไม่สม่ำเสมอดังกล่าวนี้นี้ คือการที่ทั้งผู้ส่งมอบและผู้รับมอบต้องมีพื้นฐานเดียวกันในการพัฒนาข้อกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่เกิดจากการตกลงร่วมกันและยอมรับกันได้ทั้งสองฝ่าย โดยที่แนวทางในการจัดเตรียมข้อกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่ระบุในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้มีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับข้อปฏิบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของกลุ่มผู้ทำและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งแนวทางดังกล่าวนี้ นำไปใช้ในการจัดเตรียมข้อกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนสำหรับการใช้งานในทุกรูปแบบ โดยเฉพาะการระบุเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ รูปร่างและขนาด หรือการที่ผลิตภัณฑ์นั้นมีขนาดในระดับนาโนสเกลหรือไม่ โดยแนวทางการกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนเหล่านี้ใช้ได้กับวัสดุนาโนที่มีการส่งมอบในลักษณะที่เป็นผงแห้ง หรือมีการส่งมอบในลักษณะที่เป็นสารแขวนลอย โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ได้มีการจัดจำแนกวัสดุนาโนออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ โดยการพิจารณาจากจำนวนมิติภายนอกของวัสดุนาโนที่มีขนาดในระดับนาโนสเกล ดังนี้

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

ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพแสดงการจำแนกวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล
(ข้อ 3.1)

3.2 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ

3.2.1 ทั่วไป

ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ เช่น อนุภาคนาโนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป และจำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไป มีดังนี้

- (1) การกระจายตัวของขนาดอนุภาค (particle size distribution)
- (2) การกระจายตัวของขนาดผลึก (crystallize size distribution)
- (3) ระดับการรวมตัวเป็นก้อนเกาะหลวม (degree of agglomeration)
- (4) พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area)
- (5) ส่วนประกอบทางเคมีแบบมวลรวม (bulk chemical composition)

3.2.2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ ที่จำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน มีดังนี้

- (1) ความสามารถในการกระจายตัวในเมทริกซ์ของแข็ง (solid matrix) ที่ให้ค่าการเสริมแรงในระดับนาโนสเกลของวัสดุเชิงประกอบ
- (2) ความสามารถในการกระจายตัวในของเหลว เช่น ความมีขี้วและไม่ขี้ว
- (3) พื้นที่ผิวฟูคส์ (Fuchs surface area) เช่น การใช้อนุภาคนาโนในรูปแบบละอองลอย (aerosol)
- (4) ส่วนประกอบภาพตัดขวางของอนุภาค เช่น อนุภาคนาโนที่มีโครงสร้างแบบมีเปลือกหุ้มและแกนกลาง (core shell structure)

3.2.3 ลักษณะเฉพาะอื่นของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ ที่อาจจำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ มีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต มีดังนี้

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

3.3 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ

3.3.1 ทั่วไป

วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ ได้แก่ ท่อนาโน แท่งนาโน และลวดนาโน ทั้งนี้ท่อนาโนที่มีการใช้ในเชิงพาณิชย์มากที่สุด คือท่อนาโนคาร์บอน

การกำหนดลักษณะเฉพาะของท่อนาโนคาร์บอนกล่าวถึงในข้อ 3.3.2 และการกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ ชนิดอื่น กล่าวถึงในข้อ 3.3.3

3.3.2 ลักษณะเฉพาะของท่อนาโนคาร์บอน

3.3.2.1 ทั่วไป

ลักษณะเฉพาะของท่อนาโนคาร์บอนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือ กระบวนการผลิตขั้นต่อไป และจำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไป มีดังนี้

- (1) การกระจายตัวของขนาดความยาว (length distribution)
- (2) การกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter distribution)
- (3) การกระจายตัวของอัตราส่วนลักษณะความยาวด้าน (aspect ratio distribution)
- (4) ความหนาของผนัง (wall thickness)
- (5) จำนวนของผนังท่อ (number of wall) เช่น ผนังเดี่ยวหรือผนังหลายชั้น
- (6) ความบริสุทธิ์ทางเคมี (chemical purity) เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปนเปื้อนมา
- (7) ความบริสุทธิ์ของโครงสร้าง/ผลิตภัณฑ์ (structural/product purity) เช่น วัสดุคาร์บอนอื่นที่ปนเปื้อน

- 3.3.2.2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของท่อนาโนคาร์บอนที่จำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน มีดังนี้
- (1) ความสมมาตร (symmetry) เช่น กรณีการใช้งานที่เกี่ยวกับสมบัติทางไฟฟ้า
- 3.3.2.3 ลักษณะเฉพาะอื่นของท่อนาโนคาร์บอนที่จำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าท่อนาโนคาร์บอนมีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต มีดังนี้
- (1) ความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility)
 - (2) ระดับการรวมตัวเป็นก้อนเกาะหลวม (degree of agglomeration)
 - (3) การวิเคราะห์ทางเคมีของผิว (surface chemical analysis)
 - (4) การทำให้มีลักษณะการใช้งานเฉพาะที่ผิว (surface functionalisation)
 - (5) โครงสร้างของปลายท่อทั้งสองด้าน เช่น ปลายเปิด และปลายปิด
- 3.3.3 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ ชนิดอื่น ได้แก่ แท่งนาโน หรือ ลวดนาโน
- 3.3.3.1 ทัวไป
- ลักษณะเฉพาะของแท่งนาโน หรือ ลวดนาโนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป และจำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไป มีดังนี้
- (1) การกระจายตัวของขนาด (size distribution)
 - (2) การกระจายตัวของขนาดความยาว
 - (3) การกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
 - (4) การกระจายตัวของอัตราส่วนลักษณะความยาวด้าน
 - (5) ระดับการรวมตัวเป็นก้อนเกาะหลวม
 - (6) พื้นที่ผิว (surface area)
 - (7) ความพรุน
 - (8) การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีแบบมวลรวม
- 3.3.3.2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของแท่งนาโน หรือ ลวดนาโนที่จำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน มีดังนี้
- (1) ความสามารถในการกระจายตัวในเมทริกซ์ของแข็งที่ให้ค่าการเสริมแรงในระดับนาโนสเกลของวัสดุเชิงประกอบ
 - (2) ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุกับเมทริกซ์ที่ให้ค่าการเสริมแรงในระดับนาโนสเกลของวัสดุเชิงประกอบ

- (3) คุณสมบัติของผลึกและทางกลที่ขึ้นกับทิศทางของแรงกระทำ (crystallographic and mechanical anisotropy)

3.3.3.3 ลักษณะเฉพาะอื่นของแท่งนาโน หรือ ลวดนาโนที่อาจจำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าแท่งนาโน หรือ ลวดนาโนมีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต มีดังนี้

- (1) ความเข้ากันได้กับเมทริกซ์
- (2) ความสามารถในการกระจายตัวในของเหลว
- (3) ลักษณะการไหล
- (4) การวิเคราะห์ทางเคมีของผิว
- (5) การทำให้เกิดฟุ้งกระจายบนผิว

3.4 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ

3.4.1 ทั่วไป

ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ เช่น แผ่นนาโน หรือ กระบวนการเคลือบในระดับนาโนสเกลนั้นจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพในการเคลือบระดับนาโนสเกลด้วยวิธีการที่เหมาะสม โดยการควบคุมสภาวะที่ใช้ในกระบวนการเคลือบเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบคุณภาพการเคลือบจากลักษณะเฉพาะที่เป็นการตกลงร่วมกัน จากนั้นควบคุมคุณภาพของการเคลือบในแต่ละรอบการผลิตโดยเฝ้าติดตามและควบคุมสภาวะที่ใช้ในกระบวนการแทนการวัดลักษณะเฉพาะ

3.4.2 ลักษณะเฉพาะที่จำเป็นในการกำหนดสภาวะกระบวนการสำหรับการควบคุมคุณภาพการเคลือบระดับนาโนสเกลสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน มีดังนี้

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

3.4.3 ลักษณะเฉพาะอื่นของแผ่นนาโน และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเคลือบระดับนาโนสเกลที่อาจจำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ามีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต มีดังนี้

- (1) ความพรุน
- (2) ส่วนประกอบทางเคมีของผิว

4. การกำหนดลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโน

4.1 ทัวไป

ในข้อ 3. ได้ระบุถึงลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่จำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนกลุ่มต่าง ๆ สำหรับการใช้งานทั่วไป สำหรับลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนที่จำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้านระบุไว้ในข้อ 4.2 และในกรณีที่ลักษณะเฉพาะที่ระบุในข้อ 3. และข้อ 4.2 ยังไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพของวัสดุนาโนแต่ละกลุ่มให้มีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต อาจจำเป็นต้องเพิ่มลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนตามที่ได้ระบุไว้ในข้อ 4.3

4.2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนที่มีผลต่อการนำไปใช้งานเฉพาะด้าน

ในกรณีที่มีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานเฉพาะด้านนั้น อาจจำเป็นต้องนำลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 ไปใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนร่วมด้วย

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต
(ข้อ 4.2)

ลักษณะเฉพาะ	อนุภาคนาโน	เส้นใยนาโน	แผ่นนาโน
การกระจายตัวในเมทริกซ์ของแข็ง และการเสริมแรงโดยใช้วัสดุนาโนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบ	✓	✓	✓
การกระจายตัวในของเหลว เช่น สภามีขี้ผึ้งและไม่มีขี้ผึ้ง	✓	✓	✓
พื้นที่ผิวฟูลล์ (การใช้วัสดุนาโนในละอองลอย)	✓	✓	✓
ความสมมาตร (สำหรับสมบัติทางไฟฟ้าของท่อนาโน)	✗	✓	✗
ความแข็งแรงของรอยต่อกับเมทริกซ์ในการเสริมแรงขนาดนาโนสำหรับวัสดุประกอบ	✓	✓	✓
คุณสมบัติของผลึกและทางกลที่ขึ้นกับทิศทางของแรงกระทำ	✓	✓	✓

หมายเหตุ ✓ หมายถึง จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ

✗ หมายถึง ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ

- 4.3 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่อาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป เพื่อเป็นการประกันคุณภาพของวัสดุนาโนว่ามีคุณภาพคงที่ในทุกกรอบการผลิต และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอ ต้องนำลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนที่ระบุไว้ในตารางที่ 2 มาเพิ่มเติมในการกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนร่วมด้วย

ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป
(ข้อ 4.3)

ลักษณะเฉพาะ	อนุภาคนาโน	เส้นใยนาโน	แผ่นนาโน
สถานฐานวิทยาของอนุภาค	✓	✗	✗
ลักษณะการไหล	✓	✓	✓
ความหนาแน่นจำเพาะที่หาได้จากการอัด	✓	✓	✓
ความหนาแน่นปรากฏ	✓	✓	✓
ความพรุน	✓	✓	✓
โครงสร้างผลึกและระดับการเป็นผลึก	✓	✓	✓
สี	✓	✓	✓
ความโปร่งแสง	✓	✓	✓
ความแข็งแรงของอนุภาคก่อนเกาะหลวม เดี่ยว	✓	✓	✓
โครงสร้างที่ปลายท่อนาโน	✗	✓	✗

หมายเหตุ ✓ หมายถึง จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ

✗ หมายถึง ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ

5. การปนเปื้อนต่อวัสดุนาโนจากการผลิต และแนวทางการแก้ไข

เนื่องจากวัสดุนาโนจากการผลิตมีพื้นที่ผิวมากและมีพลังงานที่ผิวสูง ดังนั้นวัสดุนาโนจากการผลิตจึงอยู่รวมเป็นกลุ่มก้อน หรือติดกับผิว หรือติดกับวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งผลกระทบที่ตามมา คือการทำให้ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมได้ง่าย โดยที่กลไกการเปลี่ยนแปลงและอัตราการเสื่อมสภาพของวัสดุนาโนจากการผลิตนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรที่หลากหลาย ซึ่งรวมถึงส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตเอง และลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์ เช่น ขนาดและรูปร่าง รวมทั้งระยะเวลาและสภาวะในการจัดเก็บวัสดุนาโนจากการผลิต

เพื่อป้องกันผลกระทบให้พิจารณาถึงเทคนิคที่นำมาใช้แก้ไขหรือบรรเทาปัญหาการเสื่อมสภาพของวัสดุนาโน โดยสภาวะการบรรจุ และจัดเก็บรักษาวัสดุนาโนจากการผลิตต้องได้รับความเห็นชอบจากทั้งผู้ทำและผู้ซื้อ ข้อมูลเกี่ยวกับสภาวะในการจัดเก็บรักษาควรพิจารณาถึงวัสดุนาโนจากการผลิตอาจเสื่อมสภาพได้จากการสัมผัสกับความชื้นหรือความร้อน และจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างวัสดุนาโนจากการผลิตกับวัสดุชนิดอื่นที่เก็บรักษาไว้ในบริเวณเดียวกัน

6. การบรรจุ

การบรรจุวัสดุนาโนจากการผลิตให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย โดยคำนึงถึงกฎระเบียบ และความปลอดภัย

7. การทำเครื่องหมาย และฉลาก

- 7.1 ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ควรกำหนดให้ติดฉลากที่เห็นได้ชัดเจนไว้ที่ภาชนะบรรจุ หรือวัสดุห่อหุ้มวัสดุนาโนจากการผลิต โดยฉลากนั้นต้องมีรายละเอียดอย่างน้อย ดังนี้
 - (1) แสดงข้อความระบุว่า เป็น “วัสดุนาโน” ที่เห็นได้ชัดเจน
 - (2) ชื่อทางเคมีหรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ของวัสดุนาโน
 - (3) ปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุนาโน
 - (4) อันตรายและอาการเกิดพิษจากวัสดุนาโน
 - (5) คำเตือนเกี่ยวกับวิธีเก็บ วิธีใช้ วิธีเคลื่อนย้ายวัสดุนาโน และวิธีกำจัดหีบห่อภาชนะบรรจุหรือวัสดุห่อหุ้มวัสดุนาโนอย่างปลอดภัย
 - (6) วิธีปฐมพยาบาลเมื่อมีอาการหรือความเจ็บป่วยเนื่องจากวัสดุนาโน และคำแนะนำให้รับส่งผู้ป่วยไปหาแพทย์
- 7.2 รายละเอียดตามข้อ 7.1 (4) ถึงข้อ 7.1 (6) อาจพิมพ์ไว้ในใบแทรกกำกับในภาชนะบรรจุฉลากและใบแทรกกำกับให้จัดทำเป็นภาษาไทย
- 7.3 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศด้วย ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การขนส่ง

หลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการขนส่ง การเก็บรักษา การเคลื่อนย้าย และการกำจัดหีบห่อ ภาชนะบรรจุ หรือวัสดุห่อหุ้มวัสดุนาโนจากการผลิตให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย โดยคำนึงถึงกฎระเบียบ และความปลอดภัย