ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๔๗๔๙ (พ.ศ. ๒๕๕๘)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นาโนเทคโนโลยี เล่ม ๒ แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะสำหรับวัสดุนาโนจากการผลิต

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ฉบับที่ ๗) พ.ศ. ๒๕๕๘ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม นาโนเทคโนโลยี เล่ม ๒ แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะสำหรับวัสดุนาโนจากการผลิต มาตรฐานเลขที่ มอก. 2691 เล่ม 2 – 2558 ไว้ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๗ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

อรรชกา สีบุญเรือง

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
นาโนเทคโนโลยี
เล่ม 2 แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะสำหรับวัสดุนาโนจากการผลิต

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ครอบคลุมแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิต เพื่อใช้กำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการผลิตวัสดุนาโนจากการผลิตในทุกรอบการผลิตมีคุณภาพคงที่ ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสมบัติหรือมีประสิทธิภาพ และตรงตามความต้องการ

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุม

(1) แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้ประเมินความปลอดภัยต่อสุขภาพ อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม

(2) แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุโครงสร้างนาโน

(3) แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุเชิงประกอบนาโน และวัสดุที่มีเฟส (phase) ในระดับนาโนสเกลผสมอยู่ในเนื้อของวัสดุโดยที่เฟสระดับนาโนสเกลดังกล่าวเกิดขึ้นในเนื้อของวัสดุได้เองตามธรรมชาติ เช่น การตกตะกอนของอนุภาคขนาดเล็กในเนื้อของโลหะผสม

(4) แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะในเชิงปริมาณของวัสดุนาโนจากการผลิต

(5) แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์นาโน

1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กล่าวถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่อาจใช้กำหนดคุณภาพของวัสดุนาโนจากการผลิต แต่ไม่นำไปบังคับเพื่อจัดตั้งระบบการบริหารงานคุณภาพ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ให้เป็นไปตาม มอก. 2691 เล่ม 1 และดังต่อไปนี้

2.1 ความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility) หมายถึง ระดับของการกระจายตัวเมื่ออยู่ในสภาวะคงที่ภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะแวดล้อมที่กำหนด

หมายเหตุ *สภาพการกระจายตัวเป็นการลอยตัวของอนุภาคที่แยกกันโดยสิ้นเชิง*

2.2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาค (particle size distribution) หมายถึง การกระจายตัวสะสมของความเข้มข้นของอนุภาคที่สัมพันธ์กับขนาดอนุภาค

2.3 เคมีผิว (surface chemistry) หมายถึง ธรรมชาติทางเคมีของพื้นผิว

2.4 ประจุที่ผิว (surface charge) หมายถึง ประจุไฟฟ้าบนพื้นผิว

2.5 พื้นที่ผิว (surface area) หมายถึง พื้นที่ของพื้นที่ผิวภายนอกรวมกับพื้นผิวภายในรูขนาดเล็กหรือรูขนาดใหญ่ที่เข้าถึงได้

หมายเหตุ *รวมถึงพื้นที่ผิวมวลจำเพาะหรือพื้นที่ผิวปริมาตรจำเพาะ*

2.6 สภาพเป็นผลึก (crystallinity) หมายถึง การจัดเรียงตัวแบบสามมิติที่ระดับโมเลกุล

2.7 ความสามารถในการละลาย (solubility) หมายถึง มวลที่มากที่สุดของวัสดุนาโนที่ละลายได้ในปริมาตรที่กำหนดของตัวทำละลายเฉพาะภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ระบุไว้

หมายเหตุ *ความสามารถในการละลายแสดงในหน่วยของกรัมต่อลิตรของตัวทำละลาย*

3. อักษรย่อ

ความหมายของอักษรย่อที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

3.1 AES (Auger electron spectroscopy) คือ ออเจร์อิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี

3.2 AFM (atomic force microscope) คือ กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม

3.3 BET (Brunauer, Emmett amd Teller analysis) คือ บรูเนาเออร์ เอลเม็ท แอนด์เทลเลอร์

3.4 D-SIMS (dynamic-secondary ion mass spectrometry) คือ ไดนามิกแมสสเปกโทรเมตรีไอออนทุติยภูมิ

3.5 EBSD (electron backscatter diffraction) คือ การเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ

3.6 EELS (electron energy loss spectrometry) คือ สเปกโทรเมตรีการสูญเสียพลังงานอิเล็กตรอน

3.7 GDMS (glow discharge mass spectrometry) คือ โกล์วดิสชาร์จแมสสเปกโทรเมตรี

3.8 GDOES (glow discharge optical emission spectrometry) คือ โกล์วดิสชาร์จสเปกโทรเมตรีแบบปล่อยแสง

3.9 IBA (ion beam analysis) คือ การวิเคราะห์ลำไอออน

3.10 NIR-PL (near infrared-photoluminescence) คือ เนียร์อินฟาเรดโฟโตลูมิเนสเซนซ์

3.11 PCS (photon correlation spectroscopy) คือ สเปกโทรสโกปีสหสัมพันธ์โฟตอน

3.12 SAM (scanning Auger electron microscope) คือ กล้องจุลทรรศน์ออเจร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.13 SIMS (secondary ion mass spectrometry) คือ แมสสเปกโทรเมตรีแบบไอออนทุติยภูมิ

3.14 SMPS (scanning mobility particle sizer) คือ เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบกราด

3.15 SNOM (near field scanning optical microscope) คือ กล้องจุลทรรศน์แบบหัวเข็มนำแสงใกล้ผิว

3.16 SPM (scanning probe microscope) คือ กล้องจุลทรรศน์แบบหัวเข็มกราด

3.17 STM (scanning tunneling microscope) คือ กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดทันเนลลิ่ง

3.18 TEM (transmission electron microscope) คือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

3.19 TGA (thermogravimetric analysis) คือ การวิเคราะห์เชิงความร้อนแบบเทอร์โมกราวิเมตริก

3.20 ToF-SIMS (time of flight secondary ion mass spectrometry) คือ ไทม์ออฟไฟลท์แมสสเปกโทรเมตรีไอออนทุติยภูมิ

3.21 TXRF (total reflection X-ray fluorescence spectroscopy) คือ การเรืองรังสีเอกซ์แบบสะท้อนกลับหมด

3.22 UPS (ultra-violet photoelectron spectroscopy) คือ อัลตราไวโอเลตโฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี

3.23 UV-visible-NIR spectroscopy คือ อัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล-เนียร์อินฟาเรด สเปกโทรสโกปี

3.24 XPS (X-ray photoelectron spectroscopy) คือ เอกซเรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี

3.25 XRD (X-ray diffraction) คือ การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

3.26 XRDLB (X-ray diffraction line broadening) คือ การแผ่กว้างของเส้นเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

4. แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต

4.1 ทั่วไป

การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตจำแนกได้ตามจำนวนมิติภายนอก คือ วัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 3 มิติ 2 มิติ และ 1 มิติ โดยใช้แผนผังประกอบการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตในภาคผนวก ก. ในการตัดสินใจ การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะมี 2 แนวทาง ดังนี้

4.1.1 **แนวทางที่ 1** ใช้วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้การควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ตารางที่ ข.1) เป็นวิธีที่วิเคราะห์ได้ภายในโรงงานอุตสาหกรรม

4.1.2 **แนวทางที่ 2** ใช้วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้ตรวจประเมิน (ตารางที่ ข.2) วิธีการวิเคราะห์ในกลุ่มนี้ใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจงและมีความถูกต้องแม่นยำสูงสุด เพื่อตรวจประเมินความสามารถในการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานที่ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายให้การยอมรับ

วิธีการชักตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผง และวิธีวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการละลายตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงในของเหลวนั้น ให้เป็นไปตาม ISO 14488

เนื่องจากวัสดุนาโนจากการผลิตส่วนใหญ่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตจึงอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในระหว่างขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่าง ดังนั้นผู้ทำและผู้ใช้ควรตกลงร่วมกันเกี่ยวกับวิธีการชักตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อให้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างกันได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสมบัติของวัสดุนาโนจากการผลิตที่พบอาจเป็นสมบัติที่แท้จริงของวัสดุนาโนจากการผลิตเอง หรืออาจเป็นสมบัติที่ได้มาจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ ก็เป็นได้ ดังนั้นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตด้วยวิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกันจึงเทียบกันไม่ได้ นอกจากนี้ การพยายามใช้วิธีวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบสมบัติที่แท้จริงของวัสดุนาโนจากการผลิตอาจทำให้ผลการวิเคราะห์มีความเอนเอียง และผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นอาจไม่ตรงกับวิธีวิเคราะห์อื่น ๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะเฉพาะเดียวกัน ทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์วิธีหนึ่งนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์อีกวิธีหนึ่งไม่ได้

เนื่องจากแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ระบุในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ได้รวบรวมวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ ไว้เป็นจำนวนมาก ทำให้มีข้อมูลที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม แนวทางการวิเคราะห์ต่าง ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงได้และจำเป็นต้องทำให้มีความทันสมัยอยู่ตลอดเวลา

4.2 แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 3 มิติ (อนุภาคนาโน)

ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ ได้แก่ อนุภาคนาโน ได้ระบุไว้ในตารางที่ 1 เป็นการแสดงลักษณะเฉพาะทั่วไปที่เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการอธิบายวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป โดยตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 1 หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ในภาคผนวก ข. (ตารางที่ ข.1 และ ตารางที่ ข.2) สำหรับลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 1 หมายถึง ยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง ให้ใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์

4.3 แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 2 มิติ (เส้นใยนาโน)

ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 2 มิติ ได้แก่ เส้นใยนาโน ได้ระบุไว้ในตารางที่ 2 โดยเส้นใยนาโนมีทั้งแบบที่เป็นแบบตัน (แท่งนาโน ลวดนาโน) หรือแบบกลวง (ท่อนาโน) โดยลักษณะเฉพาะที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 เป็นการแสดงลักษณะเฉพาะทั่วไปที่ใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไปที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป และตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 2 หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ในภาคผนวก ข. (ตารางที่ ข.1 และตารางที่ ข.2) สำหรับลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ใน

วิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 2 หมายถึง ยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง ให้ใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์

4.4 แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 1 มิติ (แผ่นนาโน)

ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 1 มิติ ได้แก่ แผ่นนาโน ได้ระบุไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการแสดงลักษณะเฉพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป และจำเป็นต้องใช้ในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไป โดยตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 3 หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ในภาคผนวก ข. (ตารางที่ ข.1 และ ตารางที่ ข.2) ลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 3 หมายถึง ยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง ให้ใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 3 มิติ

(ข้อ 4.2)

ลักษณะเฉพาะ	วัสดุนาโนแบบแห้ง	วัสดุนาโนแบบสารแขวนลอย	วิธีวิเคราะห์
องค์ประกอบทางเคมี (รวมถึงการทำให้เกิดฟังก์ชันบนผิว และภาคตัดขวางของโครงสร้างแบบมีเปลือกหุ้มและแกนกลาง)	✓	✓	ข้อ ข.1.9 ข้อ ข.1.13 ข้อ ข.1.14 ข้อ ข.2.9 และข้อ ข.2.10
พื้นที่ผิวจำเพาะ	✓	✓	ข้อ ข.1.4
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	✓	✓	ข้อ ข.1.1 และข้อ ข.2.1
ขนาดอนุภาคผลึกปฐมภูมิเฉลี่ย และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผลึก	✓ (กรณีผลึก)	✓ (กรณีผลึก)	ข้อ ข.1.2 และข้อ ข.2.4
ระดับก้อนเกาะหลวม หรือก้อนเกาะแน่น	✓	✓	ข้อ ข.1.3 และข้อ ข.2.5
เฟสต่อเนื่องของการกระจายตัว	×	✓	-
ความเป็นกรด-ด่าง	×	✓ (กรณีกระจายตัวในของเหลว)	-

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 3 มิติ (ต่อ)

ลักษณะเฉพาะ	วัสดุนาโนแบบแห้ง	วัสดุนาโนแบบสารแขวนลอย	วิธีวิเคราะห์
อายุการเก็บรักษา	✓ (กรณีที่มีความไวต่อสภาวะการเก็บรักษา)	✓	-
ความหนาแน่นสัมพัทธ์	×	✓	-

หมายเหตุ ✓ *หมายถึง จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

× *หมายถึง ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 2 มิติ

(ข้อ 4.3)

ลักษณะเฉพาะ	แท่งนาโนและลวดนาโนแบบผงแห้ง	ท่อนาโนแบบผงแห้ง	แบบสารแขวนลอย	วิธีวิเคราะห์
องค์ประกอบทางเคมี รวมถึงความบริสุทธิ์ทางเคมี (และสารเจือ) หมู่ฟังก์ชันบนผิว และภาคตัดขวางของโครงสร้างที่มีเปลือกหุ้ม และแกนกลาง	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.9 ข้อ ข.1.13 ข้อ ข.1.14 ข้อ ข.2.9 ข้อ ข.2.10 และข้อ ข.2.11
ความยาวเฉลี่ย และการกระจายตัวของความยาว	✓	✓	✓	ข้อ ข.2.15
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย และการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	✓	✓	✓	ข้อ ข.2.14
สัดส่วนความยาวด้านเฉลี่ย และการกระจายตัวของสัดส่วนความยาวด้าน	✓	✓	✓	ข้อ ข.2.16
ระดับก้อนเกาะหลวม	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.3 และข้อ ข.2.5
พื้นที่ผิวจำเพาะ	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.4

ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 2 มิติ (ต่อ)

ลักษณะเฉพาะ	แท่งนาโนและลวดนาโนแบบผงแห้ง	ท่อนาโนแบบผงแห้ง	แบบสารแขวนลอย	วิธีวิเคราะห์
จำนวนผนัง เช่น เดี่ยว คู่ หรือหลายชั้น	×	✓	✓	ข้อ ข.2.17
ความหนาผนังเฉลี่ยและการกระจายตัวความหนาผนัง	× (เหมือนเส้นใย)	✓	✓ (สำหรับท่อเท่านั้น)	ข้อ ข.2.17
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่	×	✓	✓	ข้อ ข.1.9 และข้อ ข.2.11
ความบริสุทธิ์ของโครงสร้างคาร์บอน	×	✓ (สำหรับคาร์บอน)	✓ (สำหรับคาร์บอน)	-
เฟสต่อเนื่องของการกระจายตัว	×	×	✓	-
ความหนาแน่นสัมพัทธ์	×	×	✓	-
ความเป็นกรด-ด่าง	×	×	✓	-
อายุการเก็บรักษา	✓ (กรณีที่มีความไวต่อสภาวะการเก็บรักษา)	✓ (กรณีที่มีความไวต่อสภาวะการเก็บรักษา)	✓	-

หมายเหตุ ✓ *หมายถึง จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

× *หมายถึง ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

ตารางที่ 3 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล 1 มิติ

(ข้อ 4.4)

ลักษณะเฉพาะ	แบบผงแห้ง	แบบสารแขวนลอย	วิธีวิเคราะห์
องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งรวมถึงการทำให้เกิดฟังก์ชันบนผิว และโครงสร้างผลึก	✓	✓	ข้อ ข.1.9 ข้อ ข.1.13 ข้อ ข.1.14 ข้อ ข.2.9 และข้อ ข.2.10
พื้นที่ผิวจำเพาะ	✓	✓	ข้อ ข.1.4
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	✓	✓	ข้อ ข.1.1 และ ข้อ ข.2.1
ขนาดอนุภาคผลึกปฐมภูมิโดยเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผลึก	✓ (กรณีผลึก)	✓ (กรณีผลึก)	ข้อ ข.1.2 และ ข้อ ข.2.4
ระดับก้อนเกาะหลวม หรือก้อนเกาะแน่น	✓	✓	ข้อ ข.1.3 และ ข้อ ข.2.5
สัณฐานวิทยาของผิว	✓	✗	ข้อ ข.1.15 ข้อ ข.2.2 และข้อ ข.2.13
เฟสต่อเนื่องของการกระจายตัว	✗	✓	-
ความเป็นกรด-ด่าง	✗	✓ (กรณีกระจายตัวในของเหลว)	-
อายุการเก็บรักษา	✓ (กรณีที่มีความไวต่อสภาวะการเก็บรักษา)	✓	-
ความหนาแน่นสัมพัทธ์	✗	✓	-

หมายเหตุ ✓ *หมายถึง จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

✗ *หมายถึง ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

5. แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนจากการผลิต

5.1 ทั่วไป

ในข้อ 4. ได้ระบุถึงแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่จำเป็นต่อการกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตกลุ่มต่าง ๆ สำหรับการใช้งานทั่วไป แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนจากการผลิตที่จำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน ระบุไว้ในข้อ 5.2

ในกรณีที่แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะที่ระบุในข้อ 4. และข้อ 5.2 ยังไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพของวัสดุนาโนจากการผลิตแต่ละกลุ่มให้มีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต อาจจำเป็นต้องเพิ่มแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนจากการผลิตตามที่ได้ระบุไว้ในข้อ 5.3

5.2 แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานเฉพาะด้าน

ในกรณีที่มีการนำวัสดุนาโนจากการผลิตไปใช้งานเฉพาะด้านนั้น อาจพิจารณาลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานเฉพาะด้านที่ระบุไว้ในตารางที่ 4 ร่วมด้วย โดยตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 4 หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ในภาคผนวก ข. (ตารางที่ ข.1 และตารางที่ ข.2) สำหรับลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 4 หมายถึง ยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง ให้ใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์

5.3 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่อาจมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป

เพื่อเป็นการประกันคุณภาพของวัสดุนาโนจากการผลิตว่ามีคุณภาพคงที่ในทุกรอบการผลิต และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอ อาจจำเป็นต้องนำลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ระบุไว้ในตารางที่ 5 มาเพิ่มเติมในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตร่วมด้วย โดยตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 5 หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ในภาคผนวก ข. (ตารางที่ ข.1 และตารางที่ ข.2) สำหรับลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 5 หมายถึง ยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง ให้ใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานเฉพาะด้าน

(ข้อ 5.2)

ลักษณะเฉพาะ	อนุภาคนาโน	เส้นใยนาโน	แผ่นนาโน	วิธีวิเคราะห์
ความสามารถในการกระจายตัวในตัวกลางที่เป็นของแข็ง-ในการเสริมแรงระดับนาโนสเกลในวัสดุนาโนคอมโพสิต	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.8 และข้อ ข.2.8
ความสามารถในการกระจายตัวในของเหลว-ความมีขั้วและไม่มีขั้ว	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.7
พื้นที่ผิวฟุคส์-การใช้วัสดุนาโนในละอองลอย	✓	✓	✓	ข้อ ข.2.3
ความสมมาตร-สำหรับสมบัติทางไฟฟ้าของท่อนาโน	✗	✓	✗	ข้อ ข.2.18
ความแข็งแรงของรอยต่อกับเมทริกซ์ในการเสริมแรงระดับนาโนสเกลในวัสดุนาโนคอมโพสิต	✓	✓	✓	-
สมบัติเชิงผลึกและเชิงกลที่ขึ้นกับทิศทางของแรงกระทำ	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.6

หมายเหตุ ✓ *หมายถึง จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

✗ *หมายถึง ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

ตารางที่ 5 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป

(ข้อ 5.3)

ลักษณะเฉพาะ	อนุภาคนาโน	เส้นใยนาโน	แผ่นนาโน	วิธีวิเคราะห์ตามข้อ
สัณฐานวิทยาของอนุภาค	✓	✗	✗	ข้อ ข.2.2
การไหล	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.10
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ได้จากการอัด	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.11
ความหนาแน่นปรากฏ	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.12
ความพรุน	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.5 และข้อ ข.2.6
โครงสร้างผลึก และระดับความเป็นผลึก	✓	✓	✓	ข้อ ข.1.6
สี	✓	✓	✓	-
ความโปร่งแสง	✓	✓	✓	-
ความแข็งแรงของอนุภาคก้อนเกาะหลวมเดี่ยว	✓	✓	✗	-
โครงสร้างปลายท่อนาโน	✗	✓ (สำหรับท่อ)	✗	ข้อ ข.2.17

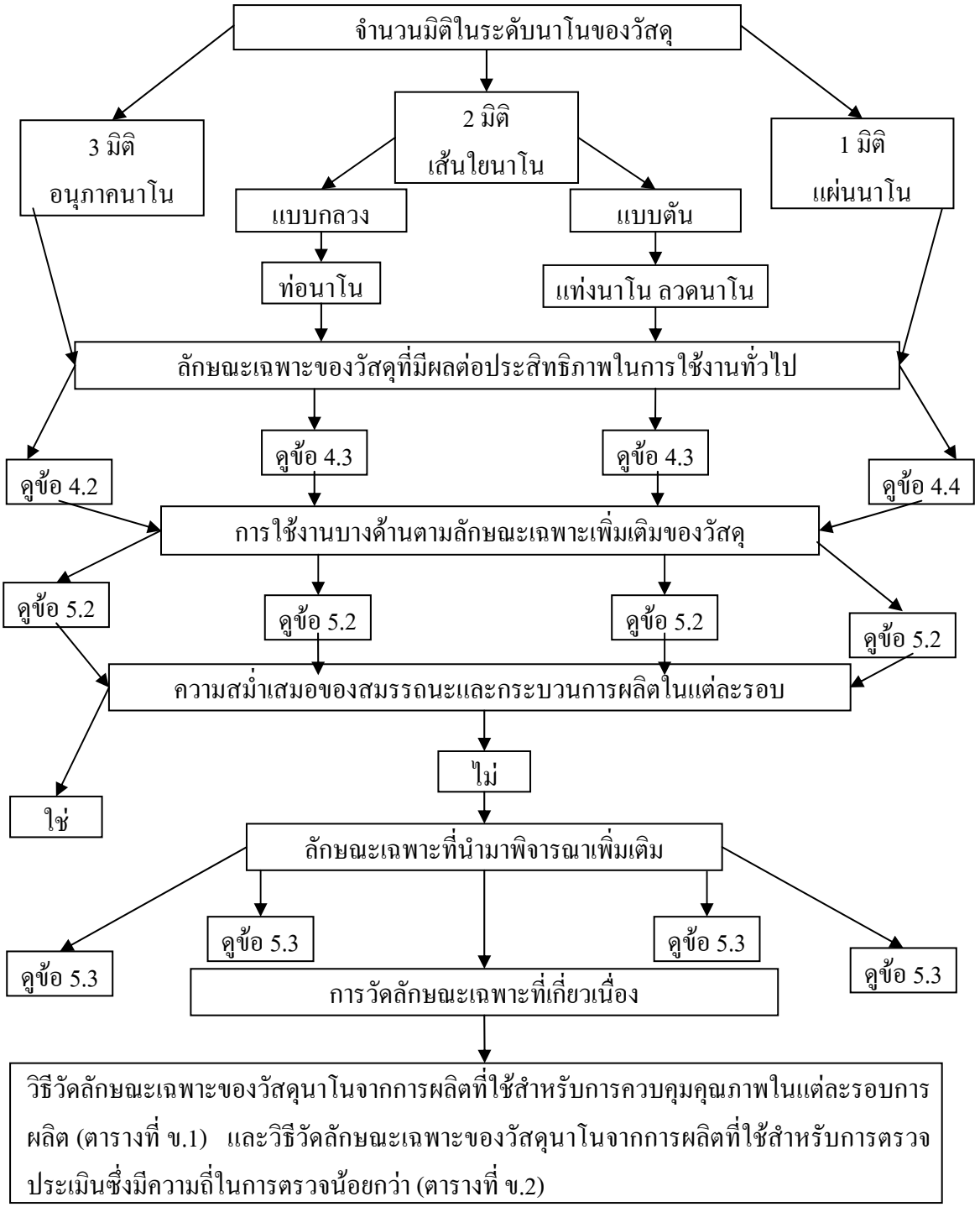
หมายเหตุ ✓ *หมายถึง จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

✗ *หมายถึง ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะเฉพาะ*

ภาคผนวก ก.

ข้อแนะนำ

(ข้อ 4.1)



รูปที่ ก.1 แผนผังช่วยการตัดสินใจในการใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

(ข้อ 4.1)

ภาคผนวก ข.

วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต

ตารางที่ ข.1 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้ควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต

(ข้อ 4.1.1 ข้อ 4.2 ข้อ 4.3 ข้อ 4.4 ข้อ 5.2 และข้อ 5.3)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.1	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป	เทคนิคการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันให้ผลการวิเคราะห์วัสดุรุ่นผลิตเดียวกันแตกต่างกันด้วย ดังนั้นผู้ขายและผู้ซื้อจำเป็นต้องตกลงกันถึงวิธีวิเคราะห์ที่นำมาใช้วิเคราะห์การกระจายของขนาดอนุภาคเพื่อกำหนดคุณลักษณะของวัสดุ
		วิธีวัดที่อาศัยการกระเจิงและเลี้ยวเบน	วิธีนี้ใช้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 40 nm โดยประมาณ ทั้งนี้ขึ้นกับธรรมชาติของอนุภาคนั้น (รูปทรงกลมหรือใกล้ทรงกลม) การสอบเทียบอุปกรณ์และขั้นตอนการวัด ตาม ISO 13320-1 และ ISO 21501-2
		วิธีวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ตาม ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ตาม ISO 13322-1
		วิธี PCS	วิธีนี้เป็นการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในของเหลว (hydrodynamic diameter) จากการเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian motion) ใช้ได้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 nm ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของวัสดุทดสอบ แนวทางการวัด ตาม ISO 13321 และ ISO 22412
		วิธีวิเคราะห์ด้วยกลไกการสั่นของคลื่นเสียง (electrokinetic sonic amplitude testing)	วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ค่าศักย์ซีต้าโดยการจ่ายสัญญาณไฟสลับไปที่อนุภาคเพื่อให้เกิดการสั่นและส่งคลื่นเสียงออกมา โดยเส้นผ่านศูนย์กลางหาได้จากการเหลื่อมเฟสของคลื่นเสียงในขณะที่การกระจายของขนาดของอนุภาคหาได้จากขนาดแอมพลิจูดของเสียงที่เล็กลง วิธีนี้เหมาะกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 nm

ตารางที่ ข.1 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.2	ขนาดผลึกและการกระจายตัวของขนาดผลึก	วิธี XRDLB	วิธีนี้ใช้สำหรับวิเคราะห์ขนาดและความเครียดของผลึกเดี่ยวที่มีขนาดเล็กกว่า 100 nm ซึ่งวิเคราะห์ได้จากเส้นวงเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ถูกทำให้กว้างออกในรูปของวงแหวนเดอบาย (Debye ring) ค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่ขึ้นกับการเกาะก้อนแบบแน่น หรือแบบหลวมของอนุภาค ***หมายเหตุ*** *การแผ่กว้างของเส้นเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์อาจเกิดจากความเครียดในผลึกหรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดผลึก* แนวทางการวิเคราะห์ระบุไว้ใน EN 13925-1 EN 13925-2 และ EN 13925-3
ข.1.3	ระดับก้อนเกาะหลวม หรือเกาะแน่น	วิธีวิเคราะห์ด้วยการคำนวณค่าดัชนีก้อนเกาะหลวม หรือเกาะแน่น	คำนวนได้จากการวิเคราะห์ค่าขนาดผลึกเฉลี่ย (d) ด้วยวิธี XRDLB (ข้อ ข.1.2) และ ค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D) ด้วยวิธีวิเคราะห์ข้อ ข.1.1 ค่าดัชนีก้อนเกาะหลวม หรือเกาะแน่น (T) หาได้จากอัตราส่วน D/d นอกจากนี้ อาจประเมินระดับก้อนเกาะหลวมหรือเกาะแน่นจากการอนุมานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคในอากาศ (อนุภาคปฐมภูมิ และอนุภาคก้อนเกาะหลวม/เกาะแน่น) ด้วยการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางไฟฟ้า (Differential mobility analysis, DMA) ***หมายเหตุ*** วิธี XRDLB *ใช้กับวัสดุที่มีความเป็นผลึกเท่านั้น*
ข.1.4	พื้นที่ผิว และพื้นที่ผิวจำเพาะ	วิธี BET	เป็นวิธีที่พัฒนาจากโมเดลของบรูเนาเออร์ เอมเม็ท และเทลเลอร์ สำหรับหาพื้นที่ผิวของตัวอย่างที่เป็นผงจากการดูดซับแก๊ส แก๊สที่ใช้โดยทั่วไปเป็นไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนคริปทอนหรืออาร์กอนนั้นเหมาะกับวัสดุมีพื้นที่ผิวน้อยเนื่องจากเป็นแก๊สที่ไว (น้ำหนักโมเลกุลของแก๊สที่ใช้ต่อพื้นที่สูง) ค่าพื้นที่จำเพาะหาได้จากอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อมวลสารตัวอย่างตาม ISO 9277 และ ISO 18757

ตารางที่ ข.1 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.5	ความพรุน	วิธีพิกโนมิเตอร์ (pycnometer)	เป็นวิธีหาความพรุนโดยใช้พิกโนมิเตอร์ ทำโดยการบรรจุผงตัวอย่างที่ทราบมวลและปริมาตรในพิกโนมิเตอร์ที่ทราบปริมาตรของพิกโนมิเตอร์ แล้วนำไปชั่งมวล จากนั้นเติมด้วยของเหลวหรือแก๊สที่ทราบความหนาแน่น โดยผงตัวอย่างนี้ต้องไม่ละลายในสารที่เติม จากนั้นชั่งมวลอีกครั้งหนึ่ง คำนวณปริมาตรของของเหลวหรือแก๊สที่เติม และคำนวณหาปริมาตรของรูพรุนของผงตัวอย่างได้จากผลต่างระหว่างปริมาตรรวมของผงตัวอย่างและของเหลว/แก๊สกับปริมาตรของพิกโนมิเตอร์
		วิธีใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ตาม ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีวิเคราะห์ภาพนิ่ง ตาม ISO 13322-1
ข.1.6	โครงสร้างผลึก ระดับความเป็นผลึก และสมบัติผลึกที่ขึ้นกับทิศทาง	วิธี XRD	วิธีนี้ได้ระบุไว้ใน EN 13925-1 EN 13925-2 และ EN 13925-3
ข.1.7	ความสามารถในการกระจายตัวในของเหลว	วิธีศักย์ซีตา (Zeta potential)	วิธีนี้ใช้การวัดด้วยศักย์ไฟฟ้าสถิตบริเวณพื้นผิวของอนุภาคที่โมเลกุลของของเหลวเริ่มเคลื่อนที่ออกจากพื้นผิว (slipping plan) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้ ค่าศักย์ซีตา เป็นตัวระบุการผลักกันของอนุภาคซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดความคงตัวของการกระจายตัว แนวทางการวิเคราะห์ ตาม ISO 20998-1
		วิธีวัดการไหล	แนวทางการหาค่าความหนืดเฉือนเชิงซ้อนโดยใช้เครื่องวัดสมบัติการไหลด้วยหัววัดแบบแผ่นคู่ขนานในโหมดสั่น (parallel plate oscillatory rheometer) ตาม ISO 6721-10
ข.1.8	ความสามารถในการกระจายตัวในตัวกลางที่เป็นของแข็ง	วิธี XRD	วิธีนี้ได้ระบุไว้ใน EN 13925-1 EN 13925-2 และ EN 13925-3

ตารางที่ ข.1 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.9	ความบริสุทธิ์ทางเคมี	วิธี TGA	วิธีนี้เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลสารที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ นิยมใช้ในการหาค่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการสลายตัว ปริมาณความชื้นที่ดูดซับไว้ในสาร ระดับขององค์ประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ จุดที่สลายตัว เช่น จากการระเบิด และตัวทำละลายที่ตกค้าง เครื่อง TGA ประกอบด้วยเครื่องชั่งความละเอียดสูง และถาดตัวอย่าง (pan) ในการวัดต้องนำถาดที่บรรจุตัวอย่างใส่ลงในตู้อบขนาดเล็กที่มีเทอร์มอคับเปิลวัดอุณหภูมิแม่นยำ อาจปรับสภาพบรรยากาศด้วยแก๊สเฉื่อยเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน หรือใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์เพื่อวัดผลที่สัมพันธ์กับการเกิดออกซิเดชัน การวัดทำโดยการเพิ่มอุณหภูมิของระบบขึ้นทีละน้อย พร้อมกับเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป การวัดทำโดยการเพิ่มอุณหภูมิของระบบขึ้นทีละน้อย พร้อมกับเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากเส้นกราฟที่แสดงน้ำหนักที่หายไปที่ปรากฏขึ้นหลายเส้นนั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงข้อมูลก่อนการแปรผล ใช้สมการดิฟเฟอเรนเชียลของกราฟมวลที่หายไปในการชี้จุดที่ตัวอย่างมีการสูญเสียมวลปริมาณมากได้ ในปัจจุบันเครื่อง TGA รุ่นใหม่สามารถเผาตัวอย่างและเชื่อมต่อกับเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์หรือเครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์เพื่อวัดองค์ประกอบของตัวอย่างได้
ข.1.10	การไหลของผง	วัดด้วยเซลล์แรงเฉือนแบบวงแหวน (annular shear cell)	ใช้วัดค่าความเครียดเฉือน และการขยายตัวของผงหยาบหรือละเอียด

ตารางที่ ข.1 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.10	การไหลของผง (ต่อ)	มาตรอัตราการไหลแบบฮอลล์ (Hall flowmeter)	มีพื้นฐานมาจากการหาเวลาในการไหลของผงตัวอย่างที่ทราบมวลจากกรวยที่ทราบมุมเอียงและเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิด ในกรณีที่เป็นผงโลหะ การออกแบบกรวยและการทดสอบที่ใช้ ตาม ISO 4490
		วิธีวัดอัตราส่วนเฮาส์เนอร์และดัชนีคารร์ (Hausner ratio และ Carr index)	วิธีนี้คำนวนจากค่าความหนาแน่นหลังเคาะ (ความหนาแน่นปรากฏที่ปริมาตรของผงตัวอย่างได้จากการเคาะหรือสั่นด้วยความถี่สม่ำเสมอ) และความหนาแน่นปรากฏ (น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของผงตัวอย่าง ซึ่งต่างจากน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของแต่ละอนุภาค) อัตราส่วนเฮาส์เนอร์มีค่าเท่ากับ ค่าความหนาแน่นหลังเคาะหารด้วยความหนาแน่นปรากฏ โดยค่าอัตราส่วนที่มากกว่าแสดงถึงสมบัติการไหลที่ต่ำกว่า ดัชนีคารร์ = $\frac{\text{(ค่าความหนาแน่นหลังเคาะ - ความหนาแน่นปรากฏ)}}{\text{ค่าความหนาแน่นหลังเคาะ}} \times 100$ ค่าดัชนีนี้ใช้โดยทั่วไปในการหาสมบัติเฉพาะการไหลของผง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในงานด้านเภสัชกรรม
		วัดเซลล์ความหนืดเฉือนแบบเจไนก์ (Jenike shear cell)	ใช้วัดค่าความแข็ง มุมเสียดทานภายใน ค่ายังผลของมุมเสียดทานภายในและมุมเสียดทานของผนังมีเป็นฟังก์ชันของของแข็งที่มีต่อความดัน
ข.1.11	ความหนาแน่นหลังเคาะ (tap density) ของผง	-	เป็นวิธีการหาความหนาแน่นหลังเคาะของผงขนาดใหญ่ (ความหนาแน่นปรากฏของปริมาณของผงเมื่อเคาะหรือเขย่าภาชนะบรรจุ) ทั้งนี้ มาตรฐานเกี่ยวกับขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกัน คือ ISO 3953 ซึ่งเกี่ยวข้องกับผงโลหะ และ ISO 23145-1 ซึ่งเกี่ยวข้องกับผงเซรามิก
ข.1.12	ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) ของผง	-	วิธีวัดความหนาแน่นปรากฏสำหรับผงขนาดใหญ่ในปัจจุบันมีหลายวิธี การวิเคราะห์ทำโดยเติมผงในถ้วยที่ทราบปริมาตรแน่นอน ชั่งน้ำหนักของผงที่อยู่ในถ้วย โดยวิธีการนำผงใส่ลงในถ้วยนั้น ISO 3923 ครอบคลุม 2 ขั้นตอน คือ วิธีการถ่ายผงลงในกรวย

ตารางที่ ข.1 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.12	ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) ของผง (ต่อ)	-	(funnel method–ISO 3923-1) และวิธีการใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาตรแบบสกอตต์ (Scott volumeter method-ISO 3923-2) สำหรับการวิเคราะห์ความหนาแน่นปรากฏของผงเซรามิก ตาม ISO 18754
ข.1.13	เคมีผิว (surface chemical)	-	ปัจจุบันไม่มีวิธีวิเคราะห์เคมีพื้นผิวของวัสดุนาโนจากการผลิตที่นำมาใช้เพื่อการควบคุมคุณภาพภายในสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมได้ สำหรับวิธีการที่นำมาประยุกต์หาค่าองค์ประกอบของพื้นผิวเพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจประเมินแสดงไว้ในตารางที่ ข.2 ข้อ ข.2.9
ข.1.14	เคมีมวลรวม (bulk chemical)	-	ผู้ทำควรพิจารณาองค์ประกอบของวัสดุและสิ่งที่อาจเจือปนเมื่อต้องเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้มีมาตรฐานหลายฉบับที่มีการประกาศใช้ซึ่งครอบคลุมการวิเคราะห์ทางเคมีในหลาย ๆ ด้าน เช่น การเตรียมตัวอย่าง คุณภาพของน้ำและคุณภาพของตัวทำปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี
ข.1.15	สัณฐานวิทยาของผิว (surface morphology)	วิธีวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบโฟกัสร่วม (confocal microscopy)	ระบบกล้องจุลทรรศน์แบบโฟกัสร่วมใช้หาระดับความสูงที่แตกต่างกัน ตามแกน z ของตัวอย่าง จากการเคลื่อนที่ของตัวอย่างผ่านระนาบของตัวจับสัญญาณ ด้วยตัวปรับระยะตามแกน x และแกน y ระบบการทำงานของกล้องใช้การส่องสว่างเป็นจุด และรูในระนาบของแสงเดียวกัน (optically conjugate plane) หน้าตัวจับสัญญาณเพื่อกำจัดข้อมูลที่อยู่นอกจุดโฟกัสออก และเนื่องจากการรับแสงของกล้องทำได้ครั้งละจุดโฟกัส ดังนั้นหากต้องการภาพ 2 มิติ หรือ 3 มิติ ต้องส่องกราดด้วยลำแสงทั่วทั้งชิ้นตัวอย่าง ความละเอียดภาพที่ได้มีขนาดน้อยกว่า 1 μm ในแกน x และแกน y และมีขนาดน้อยกว่า 10 nm ในแกน z ทำให้สังเกตรายละเอียดความแตกต่างของลักษณะช่วงไมโครเมตรและรูปร่างของผิวได้ ขนาดของตัวอย่างอยู่ในช่วง 2 mm^2 ถึง 3 mm^2 จนถึง 10000 mm^2

ตารางที่ ข.1 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.15	สัณฐานวิทยาของผิว (surface morphology) (ต่อ)	วิธีวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	การหาสัณฐานวิทยาผิวทำได้โดยใช้ SEM และ TEM แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ตาม ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการหาภาพนิ่ง ตาม ISO 13322-1
		วิธีอีลิปโซเมทรี (ellipsometry)	วิธีนี้อาศัยการการเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์ของแสงที่สะท้อนออกจากตัวอย่าง และนำมาใช้ประเมินความสม่ำเสมอและความหยาบของผิวได้

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า

(ข้อ 4.1.2 ข้อ 4.2 ข้อ 4.3 ข้อ 4.4 ข้อ 5.2 และข้อ 5.3)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.1	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	-	เทคนิคการวัดที่แตกต่างกันอาจให้ผลการวัดที่แตกต่างกันของวัสดุในรุ่นผลิตเดียวกัน ดังนั้นผู้ขายและผู้ซื้อต้องตกลงกันถึงเทคนิคการวัดที่ใช้เพื่อกำหนดคุณลักษณะของวัสดุ
		วิธีหาด้วยเครื่องวัดจำนวนอนุภาคแบบควบแน่น (condensation particle counter)	วิธีนี้ใช้เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่นที่นิยมใช้ในการตรวจหาและนับจำนวนอนุภาคนาโนชนิดละอองลอย (nano aerosols) โดยการทำให้เกิดการควบแน่นของไอระเหย เช่น น้ำหรือแอลกอฮอล์ ลงบนผิวอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก เพื่อให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตรวจพบได้ด้วยเครื่องนับมาตรฐาน ตามวิธีมาตรฐานของเครื่องนับทางแสง (optical counter) วิธีวัดนี้เหมาะกับอนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 100 nm
		วิธี SMPS	วิธีนี้ใช้สำหรับตรวจหาและนับจำนวนอนุภาคนาโนและใช้ได้กับอนุภาคละอองลอยที่มีขนาดการกระจายตัวระหว่าง 3 nm ถึง 800 nm การวัดอาศัยการทำให้อนุภาคเกิดประจุและแยกอนุภาคออกจากกันตามความสามารถในการเคลื่อนที่ ระหว่างผ่านเข้าสู่ขั้วไฟฟ้า อนุภาคที่แยกออกมาจะตรวจพบได้โดยเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการควบแน่น หรือโดยการวัดประจุไฟฟ้าบนอนุภาค SMPS มีระบบย่อยเพื่อการจำแนกขนาด และมีระบบย่อยเพื่อการตรวจหาอนุภาค

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.1	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (ต่อ)	วิธีหาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ตาม ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ตาม ISO 13322-1
ข.2.2	สัณฐานวิทยาของอนุภาค	วิธีหาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ตาม ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ตาม ISO 13322-1
		วิธี SPM	วิธีนี้เป็นการถ่ายภาพและวิเคราะห์ขนาดพื้นผิวในสเกลที่มีขนาดเล็กมาก การทำให้เกิดภาพอาศัยการลากหัวเข็ม (tip) ที่มีขนาดเล็กมากที่ยึดติดอยู่กับคานยืดหยุ่น (flexible cantilever) ผ่านไปตลอดผิวหน้าของวัสดุทำให้เกิดเป็นภาพโครงร่างของผิว กล้องจุลทรรศน์แบบหัวเข็มกราดมีหลายชนิด ได้แก่ AFM STM และ NSOM
		วิธี AFM	วิธีนี้เป็นการใช้ AFM ในการวัดรูปร่างและโครงสร้างของอนุภาคนาโน ทำงานโดยใช้หัวเข็มที่มีความคมสูง (ด้านปลายสุดของเข็มมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 nm) เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวโดยเข็มเคลื่อนที่ในแนวแกน z ขึ้นลง เพื่อทำให้แรงระหว่างปลายเข็มและตัวอย่างมีค่าคงที่ วิธีนี้ใช้วัดมิติในแนวแกน z ได้โดยตรง เช่น ความสูง ความหยาบของพื้นผิว และปริมาตร
		วิธี STM	วิธีนี้ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างระดับอะตอมที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นอิเล็กตรอนบนพื้นผิวโดยใช้หัวอ่านที่มีลักษณะคล้ายเข็มเคลื่อนที่เข้าใกล้กับวัสดุที่ต้องการวัดแล้ววัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (เกิดจากการปรับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ปลายเข็ม) บริเวณช่องว่างระหว่างเข็มและวัสดุหรือกระแสทันเนลลิ่ง (tunneling current) การประมวลผลเป็นภาพสามมิติของผิวทำโดยให้เข็มเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวแกน z ผ่านผิว และทำแผนที่ตำแหน่งของปลายเข็มเมื่อให้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ที่จุดต่าง ๆ
		วิธี NSOM	วิธีนี้เป็นการถ่ายภาพผิวจากการส่องผ่านของแสง หรือการสะท้อนของแสงโดยใช้โพรบแสง (optical probe) ที่มีขนาด

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.2	สัณฐานวิทยาของอนุภาค (ต่อ)	วิธี NSOM (ต่อ)	เล็กกว่าความยาวคลื่นแสงผ่านบนผิวของตัวอย่างขณะที่มีการตรวจติดตามการส่องผ่านหรือการสะท้อนของแสง ตำแหน่งของตัวตรวจหาจะมีระยะใกล้ชิดกับผิวหน้าตัวอย่างมากทำให้การตรวจสอบผิวมีความละเอียดสูง
ข.2.3	พื้นที่ผิวฟุกส์ (Fuchs surface area)	วิธีวัดด้วยการให้ประจุละอองลอยเคลื่อนที่ (aerosol diffusion charging)	วิธีนี้เป็นการวัดค่าพื้นที่ผิวฟุกส์โดยตรง ทำได้โดยให้อนุภาคที่มีค่าประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์เคลื่อนที่ผ่านบริเวณไอออนที่เป็นขั้วเดี่ยว และตรวจวัดค่าประจุของละอองลอยที่ผ่านออกมา เมื่ออัตราการให้ประจุต่ำ ประจุของละอองลอยมีค่าเป็นสัดส่วนกับค่าพื้นที่ผิวฟุกส์
		วิธีเอพิฟานิโอมิเตอร์ (epiphaniometer)	วิธีนี้ใช้วัดค่าพื้นที่ผิวฟุกส์โดยตรง โดยละอองลอยเคลื่อนที่ผ่านช่องให้ประจุซึ่งธาตุแอกทิเนียม (actinium) สลายตัวให้ไอโซโทปของตะกั่ว (lead isotope) ออกมายึดเกาะกับพื้นผิวของอนุภาคหลัง จากนั้นอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านหลอดรูเล็กไปยังบริเวณแผ่นกรองเก็บอนุภาค ปริมาณของรังสีที่วัดได้เป็นสัดส่วนกับพื้นที่ผิวของละอองลอย
ข.2.4	ขนาดผลึกเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดผลึก	วิธี EBSD	วิธีนี้ใช้วัดขนาดของผลึกโดยใช้ SEM ที่ติดตั้งมากับกล้องรับการเลี้ยวเบนของแสงกระเจิงกลับ (backscatter diffraction camera) โดยอิเล็กตรอนเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันกับระนาบแลตทิซของอะตอมของโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง และอิเล็กตรอนเกิดการกระเจิงกลับเมื่อสภาวะที่ใช้เป็นไปตามกฎของแบรกก์ (Bragg's law) ขนาดของผลึกหาได้จากความสว่างของภาพซึ่งขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของผลึก
		วิธีวัดด้วยการเลี้ยวเบนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope diffraction)	วิธีนี้ใช้วัดขนาดของผลึกโดยให้อิเล็กตรอนเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันกับระนาบแลตทิซของอะตอมของโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง และอิเล็กตรอนเกิดการกระเจิงกลับเมื่อสภาวะที่ใช้เป็นไปตามกฎของแบรกก์ โดยความแตกต่างของทิศทางการจัดเรียงตัวของแลตทิซ (lattice orientation) จะสอดคล้องกับผลึกที่แตกต่างกัน และให้ผลความเข้มการเลี้ยวเบนที่แตกต่างกัน ขนาดของผลึกได้มาจากการคำนวณรูปแบบผลที่ได้

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.5	ระดับก้อนเกาะหลวม และก้อนเกาะแน่น	วิธีหาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ตาม ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ตาม ISO 13322-1
ข.2.6	ความพรุน	วิธีหาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ตาม ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ตาม ISO 13322-1
ข.2.7	ความเข้ากันได้กับเมทริกซ์ (compatibility with matrix)	วิธีวัดด้วยรามานสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy)	วิธีนี้อาศัยปรากฏการณ์รามาน (Raman effect) ในการตรวจสอบระดับพลังงานโมเลกุล ปรากฏการณ์นี้เกี่ยวข้องกับการกระเจิงแสงร่วมกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะความถี่ของวัสดุที่ทำให้เกิดการกระเจิง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือน การหมุนตัว หรือพลังงานไฟฟ้าของสารซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับพันธะเคมีหรือสภาพความเค้นเชิงกลได้
ข.2.8	ความสามารถในการกระจายตัวในตัวกลางที่เป็นของแข็ง	วิธีหาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ตาม ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ตาม ISO 13322-1
ข.2.9	เคมีผิว	-	วิธีนี้มีความละเอียดในระดับนาโนเมตรที่แนวแกน z เท่านั้น ส่วนแกน x และแกน y มีความละเอียดในระดับไมโครเมตร ยกเว้นกรณีของ EELS และ AES ดังนั้นวิธีการที่กล่าวถึงจึงเหมาะต่อการใช้กับวัสดุนาโน 1 มิติ แทนที่จะนำไปใช้กับวัสดุนาโนจากการผลิต 2 มิติ และ 3 มิติ
		วิธี AES และ SAM	วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้สเปกโทรสโกปีวิเคราะห์การกระจายตัวของพลังงานที่ปล่อยออกมาจากออเจร์อิเล็กตรอน (Auger electron) บนผิว โดยแนวปฏิบัติสำหรับวิธีนี้ ตาม ISO/TR 18394 และ ISO 20903
		วิธี EELS	วิธีนี้เป็นวิธีที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic interaction) ระหว่างลำอิเล็กตรอนกับตัวอย่างโปร่งใส อะตอมในตัวอย่างที่ทำให้เกิดสเปกตรัมการกระจายตัวของพลังงานซึ่งสามารถให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.9	เคมีผิว (ต่อ)	วิธี EELS (ต่อ)	องค์ประกอบและพันธะทางเคมีได้ วิธีวิเคราะห์นี้สามารถให้ข้อมูลที่มีความละเอียดในระดับนาโนเสกลทั้งในแนวแกน x และแกน y
		วิธี IBA	วิธีนี้ใช้หาข้อมูลองค์ประกอบและโครงสร้างของชั้นอะตอมนอกสุดของวัสดุที่เป็นของแข็ง โดยอาศัยการตรวจวัดและบันทึกจำนวนโพรบไอออนแบบประจุเดี่ยว (single-charged probe ions) ที่มีพลังงานค่าเดียวที่กระเจิงออกมาจากผิว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพลังงาน และ/หรือ มุมของการกระเจิง
		วิธี SIMS	วิธีนี้ใช้แมสสเปกโทรมิเตอร์วัดสัดส่วนมวลต่อประจุ (mass-to-charge ratio) และปริมาณไอออนทุติยภูมิ (secondary ions) ที่ปล่อยออกมาหลังจากการให้ไอออนพลังงานสูงพุ่งเข้าชนพื้นผิวตัวอย่าง แนวปฏิบัตินี้ ตาม ISO 22048 และ ISO 18114 การวัดด้วย SIMS แสดงพฤติกรรมเคมีผิว ได้ 3 แบบ คือ แบบ SIMS คงที่ (static SIMS) แบบ SIMS ผันแปร (dynamic SIMS) และ SIMS แบบถ่ายภาพ (imaging SIMS) ความแตกต่างระหว่างแบบ SIMS คงที่กับแบบ SIMS ผันแปร คือ ระดับประจุของลำไอออนปฐมภูมิ (primary beam) ซึ่งใช้ในระดับที่ต่ำกว่าสำหรับแบบ SIMS คงที่ ทำให้การเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวของตัวอย่างเกิดขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนการวิเคราะห์เพิ่มเติมในแบบ SIMS ถ่ายภาพนั้นทำได้โดยให้แสงปฐมภูมิส่องผ่านพื้นผิวตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของประจุที่แตกออกมาจากพื้นผิวบริเวณต่าง ๆ
		วิธี D-SIMS	วิธีนี้ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับธาตุและโมเลกุลอย่างง่ายที่บริเวณพื้นผิวของตัวอย่างลึกลงไปในระดับ 2 μm ถึง 3 μm วิธีนี้ใช้ทำโพรไฟล์ของธาตุและโมเลกุลที่อยู่ในระดับความเข้มข้นส่วนในพันล้านส่วน
		วิธี ToF-SIMS	วิธีนี้มีระดับความไวสูง ใช้วิเคราะห์บริเวณพื้นผิวที่มีความลึกของชั้นตัวอย่างที่ต้องการศึกษาน้อยกว่า 2 nm ความไวในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้สูงมากแต่ไม่ใช่วิธีวิเคราะห์เชิงปริมาณส่วนในด้านความจำเพาะทางเคมีของสาร (chemical

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.9	เคมีผิว (ต่อ)	วิธี ToF-SIMS (ต่อ)	specificity) นั้นวิเคราะห์กึ่งเชิงปริมาณได้ โดยความแตกต่างของความเข้มข้นที่พื้นผิวของสารเคมีต่างชนิดกันสามารถตรวจติดตามได้จากความเข้มของสัญญาณ ToF-SIMS
		วิธี TXRF	วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้เอกซเรย์สเปกโทรมิเตอร์ (X-ray spectrometer) วิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของพลังงานจากรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมาจากผิวที่ได้รับรังสีเอกซ์ภายใต้ภาวะที่มีการสะท้อนกลับหมด
		วิธี UPS	วิธีนี้ใช้อิเล็กตรอนสเปกโทรมิเตอร์ (electron spectrometer) วิเคราะห์การกระจายตัวพลังงานของโฟโตอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจากผิวที่ฉายด้วยอัลตราไวโอเลตโฟตอน (ultra-violet photon)
		วิธีเอกซเรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)	วิธีนี้ใช้อิเล็กตรอนสเปกโทรมิเตอร์วิเคราะห์การกระจายตัวพลังงานของออเจร์อิเล็กตรอน (Auger electron) และโฟโตอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจากผิวที่ฉายด้วยเอกซเรย์โฟตอน (X-ray photon) วิธีนี้มีความไวสูงและเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ ภาวะทางเคมีเชิงปริมาณบริเวณพื้นผิวสำหรับทุกธาตุ ยกเว้นไฮโดรเจนและฮีเลียม แนวปฏิบัติสำหรับวิธีการนี้ ตาม ISO 20903 วิธีนี้โดยปกติเรียกว่า อิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปีสำหรับสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี (electron spectroscopy for chemical analysis, ESCA)
ข.2.10	เคมีแบบมวลรวม	วิธี GDMS	วิธีนี้ใช้แมสสเปกโทรมิเตอร์ (mass spectrometer) วิเคราะห์สัดส่วนมวลต่อประจุ (mass-to-charge ratio) และปริมาณไอออนจากการปล่อยประจุแบบมีแสงบริเวณพื้นผิว
		วิธี GDOES	วิธีนี้ใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์แบบปล่อยแสง (optical emission spectrometer) วิเคราะห์ความยาวคลื่นและความเข้มแสงที่ปล่อยออกมาจากการปล่อยประจุแบบมีแสงบริเวณพื้นผิว แนวปฏิบัติสำหรับการทำ GDOES ตาม ISO 14707

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.11	ความบริสุทธิ์ทางเคมี	วิธี UV/VIS-Near IR	วิธีนี้เป็นการนำวิธีสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงแบบต่าง ๆ มารวมกัน ซึ่งอาศัยหลักการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นของอัลตราไวโอเลต/แสงที่ตามองเห็น/และอินฟาเรดใกล้ วิธีนี้ประกอบด้วยการวัดและการเปรียบเทียบพลังงานของลำแสงก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวอย่าง และใช้ร่วมกับวิธีมอดูเลชันเทคนิค (modulation technique) ซึ่งนิยมใช้การปรับความยาวคลื่น แต่ในบางครั้งใช้การปรับความถี่คลื่นเพื่อลดสัญญาณรบกวนในระบบ เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดรังสี เครื่องตรวจหาและอุปกรณ์ที่ใช้ในการกระจายแสง เช่น ปริซึม หรือทั่วไปนิยมใช้เกรตติ้ง เพื่อช่วยให้บันทึกความเข้มของแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันได้ เครื่องมือที่จำหน่ายทางการค้าหลายรุ่นนิยมใช้ตัวตรวจหาตัวเดียวกันเพื่อบันทึกสเปกตรัมของทั้ง 3 ช่วงคลื่น วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ NIR-PL ในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว ตาม ISO/TS 10867 วิธีนี้ใช้ประมาณความเข้มข้นมวลสัมพัทธ์ของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวที่มีสมบัติทางไฟฟ้าแบบกึ่งตัวนำ (semi-conducting SWCNTs) ที่มีอยู่ในตัวอย่างโดยการตรวจวิเคราะห์ร่วมกับความเข้มของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (PL) และจากข้อมูลภาคตัดขวางของโฟโตลูมิเนสเซนซ์
ข.2.12	ความแข็งแรงของอนุภาคก้อนเกาะหลวมแบบเดี่ยว (single agglomerate crushing strength)	-	วิธีวิเคราะห์ความแข็งแรงของอนุภาคก้อนเกาะหลวมแบบเดี่ยวต่อการทำให้แตกออกจากกันอยู่ระหว่างการพัฒนา ตัวอย่างวิธีวิเคราะห์อนุภาคก้อนเกาะหลวมแบบเดี่ยวที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 63 μm) ทำได้โดยวางอนุภาคลงบนลำแสงตามขวางและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ใช้ในการกดทับกับการเสียรูปร่าง โดยวิเคราะห์จนกระทั่งก้อนตัวอย่างแตก

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.12	ความแข็งแรงของอนุภาคก้อนเกาะหลวมแบบเดี่ยว (single agglomerate crushing strength) (ต่อ)	-	ออกเป็นชิ้นเล็ก อย่างไรก็ตามยังไม่มีการทดสอบความแข็งแรงของก้อนหลวมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าหรือเท่ากับ 63 μm
ข.2.13	สัณฐานวิทยาของผิว	วิธี AFM	วิธีนี้เป็นการถ่ายภาพผิวโดยใช้การสแกนความโค้งเว้าของพื้นผิวทางกลผ่านการใช้โพรบขนาดไมครอนที่มีปลายแหลม (ขนาดปลายโพรบทั่วไปประมาณ 10 nm) ยึดติดอยู่กับคาน (cantilever) ลากผ่านผิวตัวอย่างและเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวแกน z เพื่อทำให้แรงที่เกิดขึ้นระหว่างปลายโพรบกับตัวอย่างคงที่ สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการขยับจะถูกส่งไปยังตัวประมวลผล ทำให้ทราบมิติในแนวแกน z เช่นความสูง ความขรุขระ และปริมาตร
		วิธี NSOM	วิธีนี้เป็นการถ่ายภาพผิวจากการส่องผ่านของแสง หรือการสะท้อนของแสงโดยใช้โพรบแสง (optical probe) ที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงผ่านบนพื้นผิวของตัวอย่างขณะที่มีการตรวจติดตามการส่องผ่านหรือการกระเจิงของแสง ตำแหน่งของตัวติดตามจะมีระยะใกล้ชิดกับผิวหน้าตัวอย่างมากทำให้การตรวจสอบพื้นผิวมีความละเอียดสูง
		วิธี STM	วิธีนี้ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างระดับอะตอมที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นอิเล็กตรอนบนผิวโดยใช้หัวอ่านที่มีลักษณะคล้ายเข็มเคลื่อนที่เข้าใกล้กับวัสดุที่ต้องการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (เกิดจากการปรับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ปลายเข็ม) บริเวณช่องว่างระหว่างเข็มและวัสดุ หรือกระแสทันเนลลิ่ง (tunneling current) การประมวลผลเป็นภาพสามมิติของผิวทำโดยให้เข็มเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวแกน z ผ่านผิว และทำแผนที่ตำแหน่งของปลายเข็มเมื่อให้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ที่จุดต่าง ๆ

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวัด/วิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.14	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนาโน	วิธีวัดด้วยรามานสเปกโทรสโกปี	วิธีนี้เป็นสเปกโทรสโกปีที่อาศัยปรากฏการณ์รามานในการตรวจสอบระดับพลังงานโมเลกุล ปรากฏการณ์นี้เกี่ยวข้องกับการกระเจิงแสงร่วมกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะความถี่ของวัสดุ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือน การหมุนตัว หรือพลังงานไฟฟ้าของสารซึ่งขนาด (magnitude) จากปรากฏการณ์ สามารถประมาณค่าในช่วง (interpolation) เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนคาร์บอนได้
		วิธี STM	วิธีนี้ใช้วิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนคาร์บอนได้
ข.2.15	ความยาวเฉลี่ยและการกระจายตัวของความยาวเส้นใยนาโน	วิธี SEM	วิธีนี้ใช้วัดความยาวของเส้นใยนาโนจากภาพถ่ายของเส้นใยที่ปั่นเคลือบลงบนตัวยึดเกาะที่เหมาะสม โดยแนวปฏิบัติการสอบเทียบกำลังขยายตาม ISO 16700
ข.2.16	อัตราส่วนเฉลี่ยความยาว และการกระจายตัวของอัตราส่วนด้านความยาวของเส้นใยนาโน	-	วิธีนี้เป็นการหาสัดส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย โดยวิธีนี้ได้กล่าวไว้ในข้อ ข.2.14 และข้อ ข.2.15
ข.2.17	ความหนาของผนังเฉลี่ย และการกระจายตัวของความหนาของผนังและโครงสร้างส่วนปลายของท่อนาโน	วิธี TEM	วิธีนี้ใช้วิเคราะห์ความหนาของผนังท่อนาโนจากภาพถ่ายภาคตัดขวางของเส้นใยนาโน
ข.2.18	ความสมมาตร	-	วิธีนี้ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความสมมาตรของท่อนาโนคาร์บอนอยู่ระหว่างการพัฒนา ตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์อาจทำได้โดยใช้การรายงานผลจาก STM และ EBSD แต่วิธีวิเคราะห์ดังกล่าวที่กล่าวมายังไม่มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง

ตารางที่ ข.2 วิธีวัด/วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งมีความถี่ในการตรวจน้อยกว่า (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
2.18	ความสมมาตร (ต่อ)	-	วิธีการวิเคราะห์เพื่อหาดัชนีการม้วนตัว (chiral indices) ของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวที่มีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นสารกึ่งตัวนำในตัวอย่าง ร่วมกับความเข้มสัมพัทธ์ของโฟโตลูมิเนสเซนต์ตาม ISO/TS 10867