สมอ./ศน.พว./CDV

มีนาคม 2557

ห้ามใช้หรือยึดถือร่างนี้เป็นมาตรฐาน

มาตรฐานฉบับสมบูรณ์จะมีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ฉบับร่างนี้ยังไม่ผ่านความคิดเห็น

ร่าง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ข้อแนะนำเกี่ยวกับข้อกำหนดเฉพาะของวัสดุนาโน

NANOTECHNOLOGIES – GUIDANCE ON MATERIAL CHARACTERISATION FOR SPECIFYING MANUFACTURED NANOMATERIALS

สำหรับเสนอคณะกรรมการวิชาการพิจารณาร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 0 2202 3439

คณะผู้จัดทำร่างมาตรฐาน

มาตรฐานข้อแนะนำเกี่ยวกับข้อกำหนดเฉพาะของวัสดุนาโน

ที่ปรึกษา

นายชัยณรงค์ เชิดชู	ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
นายศิรศักดิ์ เทพาคำ	ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

ประธาน

นางฉลอง เลาจริยกุล	ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

รองประธาน

นายประสงค์ นรจิตร์	กรมโรงงานอุตสาหกรรม

กรรมการ

นางสาวทิพิชา โปษยานนท์	สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ
นางสาวทรงศิริ จุมพล	สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค
นางนราพร รังสิมันตกุล	สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ
นายสมศักดิ์ ศรีสุภรวาณิชย์	สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
นางดรุณี เอ็ดเวิร์ดส	หอการค้าและสภาหอการค้าแห่งประเทศไทย
นางสุพิณ แสงสุข	สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นายวิสันติ เลาหอุดมโชค	กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน
นางสาวจริยา บัวเจริญ	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นางสาวปริญา จันทรัตน์	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
นางสาวพิกุลทอง ขอเพิ่มทรัพย์	ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
นางสาวสุภาพันธุ์ บุนนาค	
นางสาวฉวีวรรณ ทรัพย์เจริญกุล	
นางสาวภนิตา เกษมโชติช่วง	

กรรมการและเลขานุการ

นายณัฐพันธุ์ ศุภกา	ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

ร่างเพื่อรับฟังความคิดเห็น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อแนะนำในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตเพื่อใช้สำหรับการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างความมั่นใจว่ากระบวนการผลิตวัสดุนาโนจากการผลิตในทุกรอบการผลิตมีคุณภาพคงที่สม่ำเสมอ ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสมบัติหรือมีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการ และเป็นการช่วยให้การผลิตวัสดุนาโนจากการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมีมาตรฐานเดียวกัน เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการส่งมอบวัสดุนาโนจากการผลิตระหว่างผู้ผลิต ผู้ใช้ และผู้บริโภค

การที่วัสดุนาโนจากการผลิตที่ได้จากการผลิตแต่ละรอบมีคุณภาพไม่คงที่หรือมีประสิทธิภาพในการใช้งานไม่สม่ำเสมอ ทั้งที่วัสดุนาโนจากการผลิตนั้นมีลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีตรงตามคุณลักษณะเฉพาะที่กำหนดไว้ทุกประการ อาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุต่อไปนี้

- คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ผู้ผลิตและผู้ใช้ได้มีการตกลงร่วมกันทั้งสองฝ่ายไม่ได้ครอบคลุมถึงลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีผลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และ/หรือการนำไปใช้ในการผลิตในขั้นตอนต่อไป หรือการที่ผู้ผลิตและผู้ใช้มีการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่แตกต่างกัน
- ลักษณะเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างของวัสดุนาโนจากการผลิตถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ที่ไม่เหมาะสม
- วิธีการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธี เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ไม่ถูกต้อง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ได้เสนอแนวทางในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตโดยการจัดจำแนกวัสดุนาโนจากการผลิตออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีขนาดมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ กลุ่มวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีขนาดมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ และกลุ่มวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีขนาดมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ

เนื่องจากการส่งมอบวัสดุนาโนจากการผลิตโดยส่วนใหญ่มักเป็นการส่งมอบในรูปแบบที่เป็นสารแขวนลอยที่มีวัสดุนาโนจากการผลิตกระจายตัวอยู่ในของเหลว ดังนั้นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้จึงได้ระบุถึงแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของวัสดุนาโนจากการผลิตแต่ละกลุ่มด้วย

สำหรับวัสดุนาโนจากการผลิตที่ผลิตขึ้นทุกกลุ่ม

(1) ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่แสดงไว้เป็นลักษณะเฉพาะที่มีผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพในการใช้งานทั่วไป

(2) ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนจากการผลิตที่แสดงไว้เป็นลักษณะเฉพาะที่มีผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพในกรณีที่มีการใช้งานเฉพาะด้าน

(3) ในกรณีที่ลักษณะเฉพาะทั้งหมดของวัสดุนาโนจากการผลิตที่แสดงไว้ในข้อ (1) และ ข้อ (2) ยังไม่สามารถทำให้วัสดุนาโนจากการผลิตมีคุณภาพคงที่ในแต่ละรอบการผลิตได้ อาจจำเป็นต้องพิจารณาเพิ่มเติมลักษณะเฉพาะอื่น ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพในการใช้งานของวัสดุนาโนจากการผลิตเข้าไปร่วมด้วย

(4) ลักษณะเฉพาะทั้งหมดของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ได้ระบุไว้ จำเป็นต้องใช้วิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมซึ่งสามารถจำแนกแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะออกเป็น 2 แนวทาง ดังนี้

แนวทางที่ 1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีจุดมุ่งหมายในการควบคุมคุณภาพของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ผลิตขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกรอบการผลิตซึ่งอาจดำเนินการวิเคราะห์ได้ภายในโรงงานอุตสาหกรรม

แนวทางที่ 2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีจุดมุ่งหมายในการตรวจประเมินซึ่งต้องใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจงและมีความถูกต้องแม่นยำสูงสุด เพื่อตรวจประเมินความสามารถในการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานที่ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายให้การยอมรับ

(5) แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีการระบุในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เป็นการให้ข้อมูลพื้นฐานของวิธีวิเคราะห์แต่ละวิธี และในบางกรณีมีการระบุถึงเอกสารอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ที่ดี (โดยทั่วไปเป็นวิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน) และในบางกรณีอาจไม่ได้มีการระบุถึงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์บางอย่างที่ยังไม่มีวิธีมาตรฐานใดที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ จัดทำขึ้นตามความร่วมมือระหว่างสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกับศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้ และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ISO/TS 12805:2011	Nanotechnologies-Materials spectifications – Guidance on specifications nano-objects
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
ISO14488:2007	Particulate materials-Sampling and sample splitting for the determination of particulate properties

สารบัญ

		หน้า
1.	ขอบข่าย	1
2.	บทนิยาม	1
3.	แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต	4
4.	แนวทางทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนจากการผลิต	9
5.	ภาคผนวก ก. ข้อมูลความรู้	11
6.	ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต	12

ฉบับร่างเพื่อระดมความคิดเห็น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ข้อแนะนำเกี่ยวกับข้อกำหนดเฉพาะของวัสดุนาโน

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมแนวทางในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตเพื่อใช้สำหรับการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างความมั่นใจว่ากระบวนการผลิตวัสดุนาโนจากการผลิตในทุกรอบการผลิตมีคุณภาพคงที่สม่ำเสมอ ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสมบัติหรือมีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการ

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมแนวทางในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการประเมินความปลอดภัยต่อสุขภาพ อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม

1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมแนวทางในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุโครงสร้างนาโน

1.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมแนวทางในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุเชิงประกอบนาโน และวัสดุที่มีเฟส (phase) ในระดับนาโนสเกลผสมอยู่ในเนื้อของวัสดุโดยที่เฟสระดับนาโนสเกลดังกล่าวเกิดขึ้นในเนื้อของวัสดุได้เองตามธรรมชาติ เช่น การตกตะกอนของอนุภาคขนาดเล็กในเนื้อของโลหะผสม เป็นต้น

1.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะในเชิงปริมาณของวัสดุนาโนจากการผลิต

1.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์นาโน

1.7 แม้ว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ได้กล่าวถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่อาจใช้กำหนดคุณภาพของวัสดุนาโนจากการผลิตได้ แต่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไม่มีวัตถุประสงค์ในการนำไปบังคับใช้เพื่อจัดตั้งระบบการบริหารงานคุณภาพ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

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

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

หมายเหตุ 2 *การกำหนดให้ขอบเขตล่างของนาโนสเกลมีค่าเท่ากับ 1* nm *มีวัตถุประสงค์เพื่อหลีกเลี่ยงการกำหนดอะตอมหรือกลุ่มอะตอมว่าเป็น "วัตถุนาโน" หรือ ธาตุองค์ประกอบของวัสดุโครงสร้างนาโน*

2.2 นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) หมายถึง การประยุกต์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการจัดการและควบคุมสสารในระดับนาโนสเกล เพื่อใช้ประโยชน์จากสมบัติหรือปรากฏการณ์ที่ขึ้นกับขนาดหรือโครงสร้างของสสาร โดยสมบัติหรือปรากฏการณ์ดังกล่าวแตกต่างจากที่พบในอะตอม หรือโมเลกุล หรือวัสดุขนาดใหญ่

หมายเหตุ *การจัดการและควบคุมนั้นรวมถึงการสังเคราะห์วัสดุด้วย*

2.3 วัสดุนาโน (nanomaterial) หมายถึง วัสดุที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล หรือ วัสดุที่มีโครงสร้างภายใน หรือมีโครงสร้างพื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล

2.4 วัสดุนาโนจากการผลิต (manufactured nanomaterial) หมายถึง วัสดุนาโนที่ผลิตขึ้นให้มีสมบัติเฉพาะหรือมีองค์ประกอบเฉพาะเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

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

2.6 วัสดุโครงสร้างนาโน (nanostructured material) หมายถึง วัสดุที่มีโครงสร้างภายในอยู่ในระดับนาโนสเกล หรือมีโครงสร้างพื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล

หมายเหตุ *หากวัสดุมีมิติภายนอกมิติใดมิติหนึ่งอยู่ในระดับนาโนสเกล แนะนำให้ใช้คำว่า "วัตถุนาโน"*

2.7 อนุภาคนาโน (nanoparticle) หมายถึง วัตถุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ

หมายเหตุ *หากอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของวัตถุมีค่ามากกว่า 3 ให้เรียกว่า "เส้นใยนาโน" หรือ "แผ่นนาโน" แทน "อนุภาคนาโน"*

2.8 เส้นใยนาโน (nanofibre) หมายถึง วัตถุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ ส่วนมิติที่ 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 เส้ยใยนาโนที่มีลักษณะกลวง

2.12 ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotube) หมายถึง ท่อนาโนที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน

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

2.13 แผ่นนาโน (nanoplate) หมายถึง วัตถุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ ส่วนมิติที่ 2 และ 3 มีขนาดใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญ

หมายเหตุ 1 *มิติภายนอกที่เล็กที่สุด คือ ความหนาของแผ่นนาโน*

หมายเหตุ 2 *มิติภายนอก 2 มิติต้องมีขนาดใหญ่กว่ามิติที่เล็กที่สุดมากกว่า 3 เท่า*

หมายเหตุ 3 *มิติภายนอกที่มีขนาดใหญ่กว่าไม่จำเป็นต้องอยู่ในระดับนาโนสเกล*

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

หมายเหตุ 1 *ไม่รวมถึงเฟสนาโนที่อยู่ในสถานะแก๊ส*

หมายเหตุ 2 *วัสดุที่มีเฟสในระดับนาโนสเกลที่เกิดขึ้นโดยการตกกะกอนเพียงอย่างเดียวไม่จัดว่าเป็นวัสดุเชิงประกอบนาโน*

2.15 เฟสนาโน (nanophase) หมายถึง บริเวณที่มีสมบัติทางฟิสิกส์หรือทางเคมีที่ชัดเจน หรือบริเวณที่มีสมบัติทางฟิสิกส์เหมือนกันอยู่รวมกันในเนื้อวัสดุ โดยบริเวณดังกล่าวมีมิติภายนอกอย่างน้อย 1 มิติอยู่ในระดับนาโนสเกล

หมายเหตุ *วัตถุนาโนที่ฝังตัวอยู่ในเฟสอื่นของวัสดุทำให้เกิดเป็นเฟสนาโน*

2.16 อนุภาคเกาะก้อนแบบแน่น (aggregate) หมายถึง อนุภาคเดี่ยวที่ยึดติดกันด้วยพันธะที่แข็งแรง หรือ อนุภาคหลายอนุภาคที่หลอมรวมกัน และส่งผลให้พื้นที่ผิวภายนอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับผลรวมพื้นที่ผิวของแต่ละอนุภาคทั้งหมดรวมกัน

หมายเหตุ 1 *แรงยึดเหนี่ยวที่เชื่อมยึดอนุภาคเกาะก้อนแบบแน่นเข้าด้วยกันเป็นแรงที่แข็งแรง เช่น พันธะโคเวเลนท์ หรือ ผลจากการเผาเพื่อผนึก 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"*

2.18 สภาพเป็นผลึก (crystallinity) หมายถึง มีการจัดเรียงตัวแบบสามมิติที่ระดับโมเลกุล

2.19 การกระจายตัว (dispensability) หมายถึง ระดับของการกระจายตัวเมื่ออยู่ในสภาวะคงที่ภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะแวดล้อมที่กำหนด

หมายเหตุ *การกระจายตัวถูกกำหนดให้เป็นการลอยตัวของอนุภาคที่แยกกันโดยสิ้นเชิง*

2.20 การกระจายตัวขนาดอนุภาค (particle size distribution) หมายถึง การกระจายตัวสะสมของค่าความเข้มข้นของอนุภาคต่อขนาดอนุภาค

2.21 สภาพละลายได้ (solubility) หมายถึง มวลที่มากที่สุดของวัสดุนาโนที่สามารถละลายในปริมาตรที่กำหนดของตัวทำละลายเฉพาะภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ระบุไว้

หมายเหตุ *ความสามารถในการละลายสามารถแสดงในหน่วยของ กรัมต่อลิตรของตัวทำละลาย*

2.22 พื้นที่ผิว (surface area) หมายถึง พื้นที่ของพื้นผิวภายนอกบวกกับพื้นที่ผิวภายในรูขนาดเล็กหรือรูขนาดใหญ่ที่สามารถเข้าถึงได้

หมายเหตุ *รวมถึงพื้นที่ผิวมวลจำเพาะหรือพื้นที่ผิวปริมาตรจำเพาะ*

2.23 ประจุพื้นผิว (surface charge) หมายถึง ประจุไฟฟ้าบนพื้นผิว

2.24 เคมีพื้นผิว (surface chemistry) หมายถึง ธรรมชาติทางเคมีของพื้นผิว

3. แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต

3.1 ทั่วไป

สำหรับแนวทางการในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตแต่ละกลุ่มเพื่อใช้สำหรับการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตขึ้นนั้น สามารถจำแนกแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะออกได้เป็น 2 แนวทาง ดังนี้

3.1.1 แนวทางที่ 1 การใช้วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ตาราง ข.1) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถดำเนินการวิเคราะห์ได้ภายในโรงงานอุตสาหกรรม

3.1.2 แนวทางที่ 2 การใช้วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน (ตาราง ข.2) วิธีการวิเคราะห์ในกลุ่มนี้ใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจงและมีความถูกต้องแม่นยำสูงสุด เพื่อตรวจประเมินความสามารถในการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานที่ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายให้การยอมรับสำหรับวิธีการชักตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผง และวิธีวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการละลายตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงในของเหลวนั้น ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 14488:2007

เนื่องจากวัสดุนาโนจากการผลิตส่วนใหญ่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนจากการผลิตจึงอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในระหว่างขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่าง ดังนั้นผู้ผลิตและผู้ใช้ควรต้องมีการตกลงร่วมกันเกี่ยวกับวิธีการชักตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างกันได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสมบัติของวัสดุนาโนจากการผลิตที่พบอาจเป็นสมบัติที่แท้จริงของวัสดุนาโนจากการผลิตเอง หรืออาจเป็นสมบัติที่ได้มาจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ ก็เป็นได้ ดังนั้นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตด้วยวิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถนำค่ามาเทียบกันได้ นอกจากนี้ การพยายามใช้วิธีวิเคราะห์

เพื่อตรวจสอบสมบัติที่แท้จริงของวัสดุนาโนจากการผลิตอาจทำให้ผลการวิเคราะห์มีความเอนเอียง และผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นอาจไม่ตรงกับวิธีวิเคราะห์อื่น ๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะเฉพาะเดียวกัน ทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์วิธีหนึ่งไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์อีกวิธีหนึ่งได้

เนื่องจากแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ระบุอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ได้รวบรวมวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ ไว้เป็นจำนวนมาก ทำให้มีข้อมูลที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม แนวทางการวิเคราะห์ต่าง ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงได้และจำเป็นต้องทำให้มีความทันสมัยอยู่ตลอดเวลา

แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตสามารถจำแนกได้ตามจำนวนมิติภายนอก คือ วัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 3 มิติ 2 มิติ และ 1 มิติ ทั้งนี้สามารถใช้แผนผังแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเพื่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตในภาคผนวก ก. เป็นแนวทาง

3.2 แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ

ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ เช่น อนุภาคนาโน ได้ระบุไว้ในตารางที่ 1 เป็นการแสดงลักษณะเฉพาะทั่วไปที่เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการอธิบายวัสดุนาโนจากการผลิตซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป โดยตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 1 หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ภาคผนวก ข. (ตาราง ข.1 และ ตาราง ข.2) สำหรับลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 1 หมายถึง ลักษณะเฉพาะนั้นยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง แต่สามารถใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ได้

3.3 แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ

ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ เช่น เส้นใยนาโน ได้ระบุไว้ในตารางที่ 2 โดยเส้นใยนาโนมีทั้งแบบที่เป็นของแข็ง (แท่งนาโน ลวดนาโน) หรือเป็นท่อกลวง (ท่อนาโน) โดยลักษณะเฉพาะที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 เป็นการแสดงลักษณะเฉพาะทั่วไปที่ใช้ในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไปที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป และตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 2 หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ภาคผนวก ข. (ตาราง ข.1 และตาราง ข.2) สำหรับลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 2 หมายถึง ลักษณะเฉพาะนั้นยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง แต่สามารถใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ได้

3.4 แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล จำนวน 1 มิติ

แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล จำนวน 1 มิติ เช่น แผ่นนาโน ได้ระบุไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการแสดงลักษณะเฉพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป และจำเป็นต้องใช้ในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานทั่วไป โดยตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 3 หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ภาคผนวก ข. (ตาราง ข.1 และ ตาราง ข.2) สำหรับลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 3 หมายถึง ลักษณะเฉพาะนั้นยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง แต่สามารถใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ได้

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ

(ข้อ 3.2)

ลักษณะเฉพาะ	แบบแห้ง	แบบสารแขวนลอย	วิธีวิเคราะห์
องค์ประกอบทางเคมี (รวมถึงการทำให้เกิดฟังก์ชันบนพื้นผิว และภาคตัดขวางของโครงสร้างแบบมีเปลือกหุ้มและแกนกลาง)	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.9 ข้อ ข.1.13 ข้อ ข.1.14 ข้อ ข.2.9 และข้อ ข.2.10
พื้นที่ผิวจำเพาะ	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.4
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.1 และข้อ ข.2.1
ขนาดอนุภาคผลึกปฐมภูมิเฉลี่ย และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผลึก	ใช่ (กรณีผลึก)	ใช่ (กรณีผลึก)	ข้อ ข.1.2 และข้อ ข.2.4
ระดับการเกาะก้อนแบบหลวม หรือแบบแน่น	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.3 และข้อ ข.2.5
เฟสต่อเนื่องของการกระจายตัว	ไม่ระบุ	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
ความเป็นกรด-ด่าง	ไม่ระบุ	ใช่ (กรณีกระจายตัวในของเหลว)	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
อายุการเก็บรักษา	ใช่ (กรณีที่มีความไวต่อสภาวะการเก็บรักษา)	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
ความถ่วงจำเพาะ	ไม่ระบุ	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป

ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ

(ข้อ 3.3)

ลักษณะเฉพาะ	แท่งนาโน และ ลวดนาโน แบบผงแห้ง	ท่อนาโนแบบ ผงแห้ง	แบบสาร แขวนลอย	วิธีวิเคราะห์
องค์ประกอบทางเคมี รวมถึงความบริสุทธิ์ทางเคมี (และสารเจือ) หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว และภาคตัดขวางของโครงสร้างที่มีเปลือกหุ้ม และแกนกลาง	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.9 ข้อ ข.1.13 ข้อ ข.1.14 ข้อ ข.2.9 ข้อ ข.2.10 และ ข้อ ข.2.11
ความยาวเฉลี่ย และการกระจายตัวของความยาว	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.2.15
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย และการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.2.14
สัดส่วนความยาวด้านเฉลี่ย และการกระจายตัวของสัดส่วนความยาวด้าน	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.2.16
ระดับการเกาะก้อนแบบหลวม	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.3 และข้อ ข.2.5
พื้นที่ผิวจำเพาะ	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.4
จำนวนผนัง เช่น เดี่ยว คู่ หรือหลายชั้น	ไม่ระบุ	ใช่	ใช่	ข้อ ข.2.17
ความหนาผนังเฉลี่ย และการกระจายตัวของความหนาผนัง	ไม่ระบุ (เหมือนเส้นใย)	ใช่	ใช่ (สำหรับท่อเท่านั้น)	ข้อ ข.2.17
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่	ไม่ระบุ	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.9 และข้อ ข.2.11
ความบริสุทธิ์ของโครงสร้างคาร์บอน	ไม่ระบุ	ใช่ (สำหรับคาร์บอน)	ใช่ (สำหรับคาร์บอน)	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
เฟสต่อเนื่องของการกระจายตัว	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
ความถ่วงจำเพาะ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
ความเป็นกรด-ด่าง	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
อายุการเก็บรักษา	ใช่ (กรณีที่มีความไวต่อสภาวะการเก็บรักษา)	ใช่ (กรณีที่มีความไวต่อสภาวะการเก็บรักษา)	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป

ตารางที่ 3 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ

(ข้อ 3.4)

ลักษณะเฉพาะ	แบบผงแห้ง	แบบสารแขวนลอย	วิธีวิเคราะห์
องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งรวมถึงการทำให้เกิดฟังก์ชันบนพื้นผิว และโครงสร้างผลึก	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.9 ข้อ ข.1.13 ข้อ ข.1.14 ข้อ ข.2.9 และข้อ ข.2.10
พื้นที่ผิวจำเพาะ	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.4
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.1 และ ข้อ ข.2.1
ขนาดอนุภาคผลึกปฐมภูมิโดยเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผลึก	ใช่ (กรณีผลึก)	ใช่ (กรณีผลึก)	ข้อ ข.1.2 และ ข้อ ข.2.4
ระดับการเกาะก้อนแบบหลวม หรือแบบแน่น	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.3 และ ข้อ ข.2.5
สัณฐานวิทยาของพื้นผิว	ใช่	ไม่ระบุ	ข้อ ข.1.15 ข้อ ข.2.2 และข้อ ข.2.13
เฟสต่อเนื่องของการกระจายตัว	ไม่ระบุ	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
ความเป็นกรด-ด่าง	ไม่ระบุ	ใช่ (กรณีกระจายตัวในของเหลว)	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
อายุการเก็บรักษา	ใช่ (กรณีที่มีความไวต่อสภาวะการเก็บรักษา)	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
ความถ่วงจำเพาะ	ไม่ระบุ	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป

ฉบับร่างเพื่อรับฟังความคิดเห็น

4. แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนจากการผลิต

4.1 ทั่วไป

ในข้อ 3. ได้ระบุถึงแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่จำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตกลุ่มต่าง ๆ สำหรับการใช้งานทั่วไป สำหรับแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนจากการผลิตที่จำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานเฉพาะด้านได้ระบุไว้ในข้อ 4.2

ในกรณีที่แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะที่ระบุในข้อ 3. และข้อ 4.2 ยังไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพของวัสดุนาโนจากการผลิตแต่ละกลุ่มให้มีคุณภาพคงที่และมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอในทุกรอบการผลิต อาจจำเป็นต้องเพิ่มแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเพิ่มเติมของวัสดุนาโนจากการผลิตตามที่ได้ระบุไว้ในข้อ 4.3

4.2 แนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานเฉพาะด้าน

ในกรณีที่มีการนำวัสดุนาโนจากการผลิตไปใช้งานเฉพาะด้านนั้น อาจพิจารณาลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานเฉพาะด้านที่ระบุไว้ในตารางที่ 4 ร่วมด้วย โดยตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 4 หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ภาคผนวก ข. (ตาราง ข.1 และตาราง ข.2) สำหรับลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 4 หมายถึง ลักษณะเฉพาะนั้นยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง แต่สามารถใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ได้

4.3 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่อาจมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป

เพื่อเป็นการประกันคุณภาพของวัสดุนาโนจากการผลิตว่ามีคุณภาพคงที่ในทุกรอบการผลิต และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอ อาจจำเป็นต้องนำลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ระบุไว้ในตารางที่ 5 มาเพิ่มเติมในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตร่วมด้วย โดยตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 5หมายถึงวิธีวิเคราะห์ตามข้อที่ระบุไว้ภาคผนวก ข. (ตาราง ข.1 และตาราง ข.2) สำหรับลักษณะเฉพาะใดที่ไม่มีตัวเลขปรากฏอยู่ในวิธีวิเคราะห์ในตารางที่ 5 หมายถึงลักษณะเฉพาะนั้นยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจง แต่สามารถใช้วิธีวิเคราะห์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ได้

ตารางที่ 4 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานเฉพาะด้าน

(ข้อ 4.2)

ลักษณะเฉพาะ	อนุภาคนาโน	เส้นใยนาโน	แผ่นนาโน	วิธีวิเคราะห์
ความสามารถในการกระจายตัวในตัวกลางที่เป็นของแข็ง-ในการเสริมแรงระดับนาโนสเกลในวัสดุคอมโพสิต	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.8 และ ข้อ ข.2.8
ความสามารถในการกระจายตัวในของเหลว-ความมีขั้วและไม่มีขั้ว	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.7
พื้นที่ผิวฟุคส์-การใช้วัตถุนาโนในละอองลอย	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.2.3
ความสมมาตร-สำหรับสมบัติทางไฟฟ้าของท่อนาโน	ไม่ระบุ	ใช่	ไม่ระบุ	ข้อ ข.2.18
ความแข็งแรงของรอยต่อกับเมทริกซ์ในการเสริมแรงระดับนาโนสเกลในวัสดุคอมโพสิต	ใช่	ใช่	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
สมบัติเชิงผลึกและเชิงกลที่ขึ้นกับทิศทางของแรงกระทำ	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.6

ตารางที่ 5 ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่อาจมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และ/หรือกระบวนการผลิตขั้นต่อไป

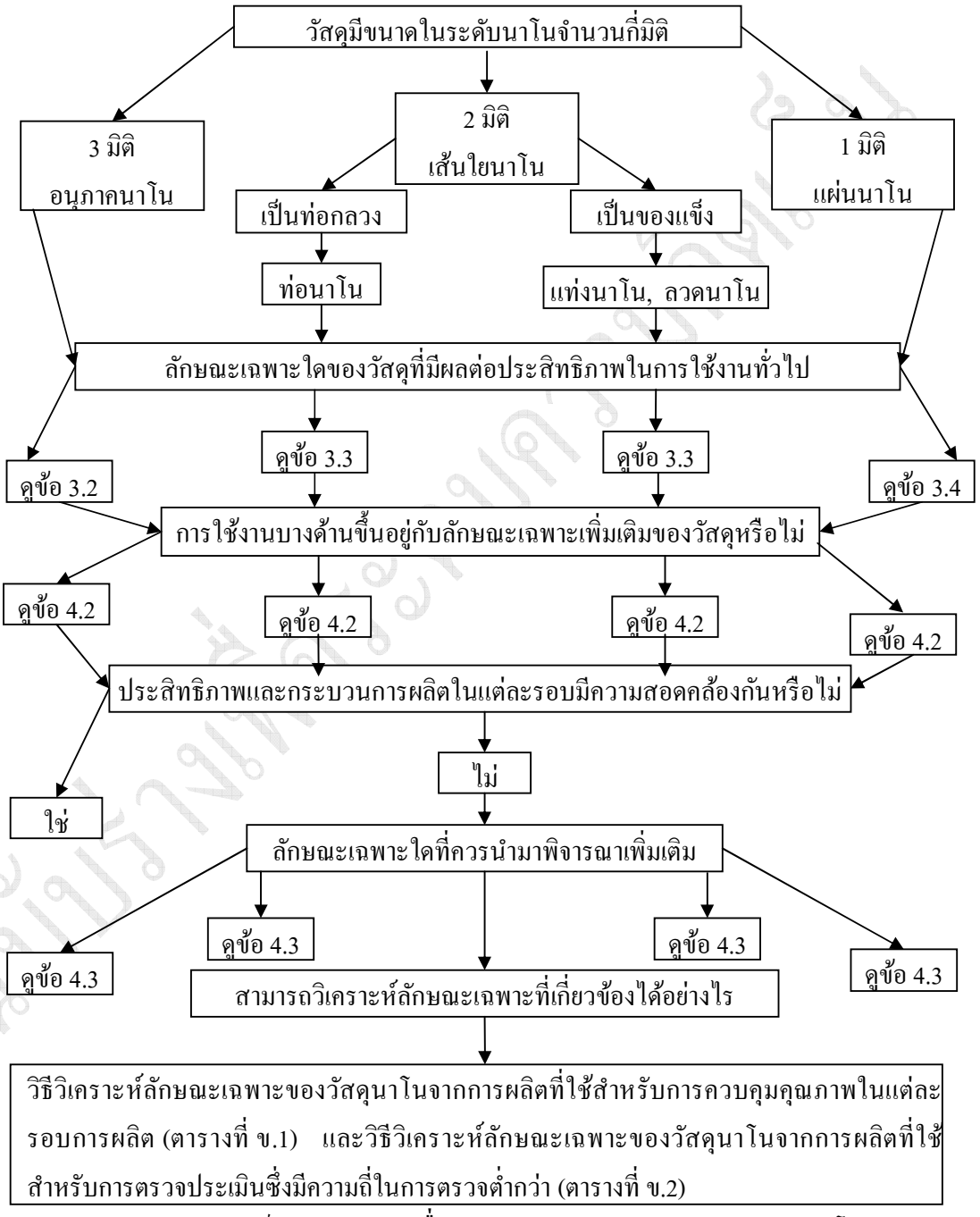
(ข้อ 4.3)

ลักษณะเฉพาะ	อนุภาคนาโน	เส้นใยนาโน	แผ่นนาโน	วิธีวิเคราะห์ตามข้อ
สัณฐานวิทยาของอนุภาค	ใช่	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ข้อ ข.2.2
ลักษณะการไหล	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.10
ความหนาแน่นจำเพาะที่ได้จากการอัด	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.11
ความหนาแน่นปรากฏ	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.12
ความพรุน	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.5 และ ข้อ ข.2.6
โครงสร้างผลึก และระดับความเป็นผลึก	ใช่	ใช่	ใช่	ข้อ ข.1.6
สี	ใช่	ใช่	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
ความโปร่งแสง	ใช่	ใช่	ใช่	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
ความแข็งแรงของอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมเดี่ยว	ใช่	ใช่	ไม่ระบุ	วิธีวิเคราะห์ทั่วไป
โครงสร้างปลายท่อนาโน	ไม่ระบุ	ใช่ (สำหรับท่อ)	ไม่ระบุ	ข้อ ข.2.17

ภาคผนวก ก.

(ข้อมูลความรู้)

(ข้อ 3)



รูปที่ ก.1 แผนผังแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเพื่อการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต

ภาคผนวก ข.

วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิต

(ข้อ 3.1.1 ข้อ 3.1.2 ข้อ 3.2 ข้อ 3.3 ข้อ 3.4 ข้อ 4.2 และข้อ 4.3)

ตารางที่ ข.1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.1	การกระจายตัวของขนาดอนุภาค	ทั่วไป	วิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างอาจให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้จำหน่ายและผู้ซื้อจำเป็นต้องตกลงกันถึงวิธีวิเคราะห์ที่นำมาใช้วิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเพื่อใช้กำหนดคุณลักษณะของวัสดุ
		วิธีวิเคราะห์ที่อาศัยการกระเจิงของแสง	วิธีนี้ใช้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 40 nm โดยประมาณ ทั้งนี้ขึ้นกับสมบัติทางธรรมชาติของอนุภาคนั้น ๆ การสอบเทียบอุปกรณ์และขั้นตอนการวิเคราะห์การสอดคล้องตาม ISO 13320-1 และ ISO 21501-2
		กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1
		วิธีวิเคราะห์สเปกโตรสโคปีสหสัมพันธ์โฟตอน (photon correlation spectroscopy; PCS)	วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในของเหลว (hydrodynamic diameter) จากการเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian motion) ใช้ได้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 nm ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของวัสดุทดสอบ แนวทางการวิเคราะห์ ดูได้จาก ISO 13321 และ ISO 22412
		วิธีวิเคราะห์ด้วยกลไกการสั่นของคลื่นเสียง (electrokinetic sonic amplitude testing)	วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ค่าศักย์ซีต้าโดยการจ่ายสัญญาณไฟสลับไปที่อนุภาคเพื่อให้เกิดการสั่นและส่งคลื่นเสียงออกมา โดยเส้นผ่านศูนย์กลางหาได้จากการเหลื่อมเฟสของคลื่นเสียงในขณะที่การกระจายของขนาดของอนุภาคหาได้จากขนาดแอมพลิจูดของเสียงที่เล็กลง วิธีนี้เหมาะกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 nm
ข.1.2	ขนาดผลึกและการกระจายตัวของขนาดผลึก	วิธีวิเคราะห์การแผ่กว้างของเส้นเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction line broadening ; XRDLB)	วิธีนี้ใช้สำหรับวิเคราะห์ขนาดและความเครียดของผลึกเดี่ยวที่มีขนาดเล็กกว่า 100 nm ซึ่งวิเคราะห์ได้จากเส้นวงเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ถูกทำให้กว้างออกในรูปของวงแหวนเดอบาย (Debye rings) ค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่ขึ้นกับการเกาะก้อนแบบแน่น หรือแบบหลวมของอนุภาค ***หมายเหตุ*** *การแผ่กว้างของเส้นเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์อาจเกิดจากความเครียดในผลึกหรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดผลึก* *แนวทางการวิเคราะห์ระบุไว้ใน EN 13925-1, EN 1925-2 และEN 13925-3*

ตารางที่ ข.1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.3	ระดับการเกาะก้อนแบบหลวมหรือแบบแน่น	การคำนวณค่าดัชนีการเกาะก้อนแบบหลวม หรือแบบแน่น	คำนวนได้จากการวิเคราะห์ค่าขนาดผลึกเฉลี่ย (d) ด้วยวิธีวิเคราะห์ XRDLB (ข้อ ข.1.2) และ ค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D) ด้วยวิธีวิเคราะห์ข้อ ข.1.1 ค่าดัชนีการเกาะก้อนแบบหลวม หรือแบบแน่น (T) หาได้จากอัตราส่วน D/d นอกจากนี้ อาจประเมินระดับการเกาะก้อนแบบหลวมหรือแบบแน่นจากการอนุมานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคในอากาศ (อนุภาคปฐมภูมิ และอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม/แบบแน่น) ด้วยการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางไฟฟ้า (Differential mobility analysis; DMA) ***หมายเหตุ*** วิธีวิเคราะห์ XRDLB *สามารถใช้กับวัสดุที่มีความเป็นผลึกเท่านั้น*
		กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1
ข.1.4	พื้นที่ผิว และพื้นที่ผิวจำเพาะ	วิธีบลูเนอร์ เอลเม็ท แอนด์เทลเลอร์ หรือวิธีบีอีที (Brunauer, Emmet amd Teller analysis ; BET)	วิธีนี้เป็นวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาจากโมเดลของบลูเนอร์ เอลเม็ท แอนด์เทลเลอร์ สำหรับหาพื้นที่ผิวของตัวอย่างที่เป็นผงจากการดูดซับแก๊ส แก๊สที่ใช้โดยทั่วไปเป็นแก๊สไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับคริปตอนหรืออาร์กอนนั้นเหมาะสำหรับวัสดุมีพื้นที่ผิวน้อยเนื่องจากเป็นแก๊สที่มีความไว (น้ำหนักโมเลกุลของแก๊สที่ใช้ต่อหน่วยพื้นที่สูง) ค่าพื้นที่จำเพาะหาได้จากอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อมวลสารตัวอย่าง แนวทางของวิธีวิเคราะห์นี้ ดูได้จาก ISO 9277 และ ISO 18757
ข.1.5	ความพรุน	พิคโนมิเตอร์ (pycnometer)	วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ความพรุนโดยใช้พิคโนมิเตอร์ (การรมด้วยแก๊สที่ปริมาตรคงที่) ทำได้โดยการบรรจุผงตัวอย่างที่ทราบมวลและปริมาตรในพิคโนมิเตอร์ ซึ่งถูกชั่งและถูกเติมด้วยของเหลวหรือแก๊ส ที่ทราบความหนาแน่น โดยที่ผงนี้ไม่ละลายโดยสารที่เติมจากนั้นทำการชั่งอีกครั้ง ปริมาตรของของเหลวและแก๊สสามารถคำนวนความต่างระหว่างปริมาตรรวมของผงตัวอย่างกับแก๊ส/ของเหลวและปริมาตรของพิคโนมิเตอร์ ที่ใส่ผงตัวอย่างไว้ในตอนแรก
		กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1

ตารางที่ ข.1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.6	โครงสร้างผลึก ระดับความเป็นผลึก และสมบัติผลึกที่ขึ้นกับทิศทาง	การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction; XRD)	วิธีวิเคราะห์นี้ได้ระบุไว้ใน EN 13925-1, EN 13925-2 และ EN 13925-3
ข.1.7	ความสามารถในการกระจายตัวในของเหลว	วิธีวิเคราะห์ศักย์ซีตา (Zeta potential)	วิธีนี้ใช้การวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าสถิตบริเวณพื้นผิวของอนุภาคที่โมเลกุลของของเหลวเริ่มเคลื่อนที่ออกจากพื้นผิว (slipping plan) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้ ค่าศักย์ซีตา เป็นตัวชี้บ่งการผลักกันของอนุภาคซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดความคงตัวของการกระจายตัว แนวทางการวิเคราะห์ดูได้จาก ISO 20998-1
		สมบัติการไหล	แนวทางการวิเคราะห์ความหนืดเฉือนเชิงซ้อนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติการไหลด้วยหัววัดแบบแผ่นคู่ขนานในโหมดสั่น (parallel plate oscillatory rheometer) ที่ระบุไว้ใน ISO 6721-10
ข.1.8	ความสามารถในการกระจายตัวในตัวกลางที่เป็นของแข็ง	การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)	วิธีวิเคราะห์นี้ได้ระบุไว้ใน EN 13925-1, EN 13925-2 และ EN 13925-3
		กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1
ข.1.9	ความบริสุทธิ์ทางเคมี	การวิเคราะห์เชิงความร้อนแบบเทอร์โมกราวิเมตริก (thermogravimetric analysis; TGA)	วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงมวลสารที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ นิยมใช้ในการค่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการสลายตัว ปริมาณความชื้นที่ดูดซับไว้ในสาร ระดับองค์ประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ตัวทำละลายที่ตกค้าง และจุดที่สารสลายตัว เช่น จากการระเบิด เครื่อง TGA ประกอบด้วยเครื่องชั่งความละเอียดสูง และถาดตัวอย่าง (pan) ในการวิเคราะห์ต้องนำถาดที่บรรจุตัวอย่างใส่ลงในตู้อบขนาดเล็กที่มีโพรบสำหรับติดตามอุณหภูมิ (thermocouple) ซึ่งอาจมีการปรับสภาพบรรยากาศการวิเคราะห์ด้วยแก๊สเฉื่อยเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน หรืออาจใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์เพื่อวิเคราะห์ผลที่สัมพันธ์กับการเกิดออกซิเดชันได้ การวิเคราะห์ทำโดยการเพิ่มอุณหภูมิของระบบขึ้นเรื่อย ๆ พร้อมกับมีการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

1 **ตารางที่ ข.1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพ**

2 **ในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)**

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.10	สมบัติการไหลของผง	เซลล์แรงเฉือนแบบวงแหวน (annular shear cell)	วิธีนี้ใช้สำหรับการวิเคราะห์ค่าความเครียดเฉือน และการขยายตัวของผงหยาบหรือละเอียด
		เครื่องวิเคราะห์อัตราการไหลฮอลล์ (Hall flowmeter)	วิธีนี้มีพื้นฐานมาจากการหาเวลาในการไหลของผงตัวอย่างจากท่อกรวยที่ทราบมุมเอียงและเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิด ในกรณีของผงโลหะดูแนวทางการออกแบบท่อและวิธีการทดลองที่ระบุไว้ใน ISO 4490
		อัตราส่วนเฮ้าส์เนอร์และดัชนีคารร์ (Hausner ratio และ Carr index)	วิธีนี้สามารถคำนวนจากค่าความหนาแน่นจำเพาะที่ได้จากการอัด (ความหนาแน่นของปริมาตรของผงตัวอย่างที่โดนเคาะหรือสั่นด้วยความถี่ที่สม่ำเสมอ) และความหนาแน่นปรากฏ อัตราส่วนเฮ้าส์เนอร์มีค่าเท่ากับ ค่าความหนาแน่นจำเพาะที่ได้จากการอัดหารด้วยความหนาแน่นปรากฏ โดยค่าอัตราส่วนที่มากกว่าแสดงถึงสมบัติการไหลที่ต่ำกว่า Carr index = 100 x (ค่าความหนาแน่นจำเพาะที่ได้จากการอัด-ความหนาแน่นปรากฏ) / ค่าความหนาแน่นจำเพาะที่ได้จากการอัด ค่าดัชนีนี้ใช้โดยทั่วไปในการวิเคราะห์สมบัติการไหลของผงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในงานด้านเภสัชกรรม
		เซลล์วิเคราะห์ความหนืดเฉือนแบบเจไนต์ (Jenike shear cell)	วิธีนี้ใช้วิเคราะห์ค่าความแข็ง มุมเสียดสีภายใน ค่ายังผลของมุมเสียดสีภายในและมุมเสียดมีที่เป็นฟังก์ชันของของแข็งที่มีต่อความดัน
ข.1.11	ความหนาแน่นจำเพาะที่ได้จากการอัดของผง (tap density)	ทั่วไป	วิธีนี้เป็นวิธีการที่มีอยู่แล้วสำหรับการตรวจวิเคราะห์ความหนาแน่นจำเพาะเมื่ออัดตัวของผง (ความหนาแน่นที่ปรากฏของปริมาณของผงเมื่อภาชนะที่บรรจุถูกเคาะหรือสะเทือน ของผงขนาดใหญ่ว่าอนุภาคนาโน ทั้งนี้ มาตรฐานเกี่ยวกับขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกัน คือ ISO 3953 ซึ่งเกี่ยวข้องกับผงโลหะ และ ISO 23145-1 ซึ่งเกี่ยวข้องกับผงเซรามิก
ข.1.12	ความหนาแน่นปรากฏของผง (apparent density)	ทั่วไป	วิธีวิเคราะห์หลายวิธีที่มีอยู่แล้วสำหรับการตรวจวิเคราะห์ความหนาแน่นปรากฏของผงขนาดใหญ่กว่าอนุภาคนาโนการวิเคราะห์ทำโดยเติมผงในถ้วยที่ทราบปริมาตรแน่นอน ชั่งน้ำหนักของผงที่อยู่ในถ้วย โดยวิธีการนำผงใส่ลงในถ้วยนั้น ISO 3923 ครอบคลุม 2 ขั้นตอน คือ วิธีการถ่ายผงลงในกรวย (funnel method– ISO 3923-1) และวิธีการใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาตรแบบสกอตต์ (scott volumeter method -ISO 3923-2) สำหรับการวิเคราะห์ความหนาแน่นปรากฏของผงเซรามิกระบุไว้ใน ISO 18754

ตารางที่ ข.1 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.1.13	เคมีพื้นผิว	ทั่วไป	ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการสำหรับวิเคราะห์เคมีพื้นผิวของวัสดุนาโนจากการผลิตที่สามารถนำมาใช้เพื่อการควบคุมคุณภาพภายในสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมได้ สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่สามารถนำมาประยุกต์หาค่าองค์ประกอบของพื้นผิวเพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจประเมิน แสดงไว้ในตารางที่ ข.2 ข้อ ข.2.9
ข.1.14	เคมีมวลรวม	ทั่วไป	ผู้ผลิตควรพิจารณาองค์ประกอบของวัสดุและสิ่งที่อาจเจือปนเมื่อต้องเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้มีมาตรฐานหลายฉบับที่มีการประกาศใช้ซึ่งครอบคลุมการวิเคราะห์ทางเคมีในหลาย ๆ ด้าน เช่น การเตรียมตัวอย่าง คุณภาพของน้ำและคุณภาพของตัวทำปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี เป็นต้น
ข.1.15	สัณฐานวิทยาของพื้นผิว และความขรุขระของพื้นผิว	กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (confocal microscopy)	ระบบกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลสามารถใช้วิเคราะห์ระดับความสูงที่แตกต่างกัน (z-axis) ของตัวอย่างได้ จากการเคลื่อนที่ของตัวอย่างผ่านระนาบของตัวจับสัญญาณ ด้วยตัวปรับระดับแกน x และแกน y ระบบการทำงานของกล้องอาศัยหลักการเรืองแสงรายจุด และรูรับแสงในออพติคอลลี่คอนจูเกตเพลน (optically conjugated plane) ด้านหน้าตัวจับสัญญาณเพื่อกำจัดข้อมูลที่อยู่นอกโฟกัสออก และเนื่องจากการรับแสงของกล้องทำได้ครั้งละจุดโฟกัส ดังนั้นหากต้องการภาพ 2 มิติ หรือ 3 มิติ ต้องส่องกราดด้วยลำแสงทั่วทั้งชิ้นตัวอย่าง ความละเอียดภาพที่ได้มีขนาดน้อยกว่า 1 μm ในแกน x และ แกน y และมีขนาดน้อยกว่า 10 nm ในแกน z ทำให้สามารถสังเกตรายละเอียดความแตกต่างของลักษณะช่วงไมโครเมตรและรูปร่างของพื้นผิวได้ ขนาดของตัวอย่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วงไม่กี่ตารางมิลลิเมตร ถึง 100 mm x 100 mm
		กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวสามารถทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscopy; TEM) แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1
		อีลิปโซเมทรี (ellipsometry)	วิธีนี้อาศัยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์ของแสงที่กระเจิงออกจากตัวอย่าง และอาจนำมาใช้ประเมินความสม่ำเสมอและความขรุขระของพื้นผิวได้

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ร่างเพื่อรับฟังความคิดเห็น

ตารางที่ ข.2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.1	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	ทั่วไป	วิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างอาจให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้จำหน่ายและผู้ซื้อจำเป็นต้องตกลงกันถึงวิธีวิเคราะห์ที่นำมาใช้วิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเพื่อใช้กำหนดคุณลักษณะของวัสดุ
		เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบควบแน่น (condensation particle counter)	วิธีนี้เป็นการใช้เครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการควบแน่นที่นิยมใช้ในการตรวจหาและนับจำนวนอนุภาคนาโนชนิดละอองลอย (nano aerosols) โดยการทำให้เกิดการควบแน่นของไอระเหย เช่น น้ำหรือแอลกอฮอล์ ลงบนผิวอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก เพื่อให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตรวจพบได้ด้วยเครื่องนับมาตรฐาน (optical counter) ตามวิธีมาตรฐานของเครื่องนับเชิงแสง วิธีวิเคราะห์นี้เหมาะกับอนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 100 nm
		เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบกราด (scanning mobility particle sizer; SMPS)	วิธีนี้ใช้สำหรับตรวจหาและนับจำนวนอนุภาคนาโนและใช้ได้กับอนุภาคละอองฝอยที่มีขนาดการกระจายตัวระหว่าง 3 nm ถึง 800 nm การวิเคราะห์อาศัยการทำให้อนุภาคเกิดประจุและแยกอนุภาคออกจากกันตามความสามารถในการเคลื่อนที่ ระหว่างผ่านเข้าสู่ขั้วไฟฟ้า อนุภาคที่แยกออกมาจะตรวจพบได้โดยเครื่องนับจำนวนอนุภาคแบบการควบแน่น หรือ SMPS มีระบบย่อยเพื่อการจำแนกขนาด และมีระบบย่อยเพื่อการตรวจหาอนุภาค
		กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1
ข.2.2	สัณฐานวิทยาของอนุภาค	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1
		กล้องจุลทรรศน์แบบหัวเข็มกราด (scanning probe microscopy; SPM)	วิธีนี้เป็นการถ่ายภาพและวิเคราะห์ขนาดพื้นผิวในสเกลที่มีขนาดเล็กมาก การทำให้เกิดภาพอาศัยการลากหัวเข็ม (tip) ที่มีขนาดเล็กมากที่ยึดติดอยู่กับคานยึดหยุ่น (flexible cantilever) ผ่านไปตลอดผิวหน้าของวัสดุทำให้เกิดเป็นภาพโครงร่างของพื้นผิว กล้องจุลทรรศน์แบบหัวเข็มกราดมีหลายชนิด ได้แก่ AFM STM และ SNOM

ตารางที่ ข.2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.2	สัณฐานวิทยาของอนุภาค (ต่อ)	กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (atomic force microscopy; AFM)	วิธีนี้เป็นการใช้ AFM ในการวิเคราะห์รูปร่างและโครงสร้างของอนุภาคนาโน ทำงานโดยใช้หัวเข็มที่มีความคมสูง (ด้านปลายสุดของเข็มมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 nm) เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวโดยเข็มเคลื่อนที่ในแนวแกน x ขึ้นลง เพื่อทำให้แรงระหว่างปลายเข็มและตัวอย่างมีค่าคงที่ วิธีนี้ใช้วิเคราะห์มิติในแนวแกน z ได้โดยตรง เช่น ความสูง ความขรุขระของพื้นผิว และปริมาตร
		กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดทันเนลลิ่ง (scanning tunneling microscopy; STM)	วิธีนี้ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างระดับอะตอมที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นอิเล็กตรอนบนพื้นผิวโดยใช้หัวอ่านที่มีลักษณะคล้ายเข็มเคลื่อนที่เข้าใกล้กับวัสดุที่ต้องการวิเคราะห์แล้ววิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (เกิดจากการปรับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ปลายเข็ม) บริเวณช่องว่างระหว่างเข็มและวัสดุ หรือกระแสทันเนลลิ่ง (tunneling current) การประมวลผลเป็นภาพสามมิติของพื้นผิวทำโดยให้เข็มเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวแกน z ผ่านพื้นผิว และทำแผนที่ตำแหน่งของปลายเข็มเมื่อให้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ที่จุดต่าง ๆ
		กล้องจุลทรรศน์แบบหัวเข็มนำแสงใกล้ผิว (near field scanning optical microscopy; SNOM)	วิธีนี้เป็นการถ่ายภาพพื้นผิวจากการส่องผ่านของแสง หรือการกระเจิงของแสงโดยใช้หัวอ่านแสง (optical probe) ที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงผ่านบนพื้นผิวของตัวอย่างขณะที่มีการตรวจติดตามการส่องผ่านหรือการกระเจิงของแสง ตำแหน่งของตัวติดตามจะมีระยะใกล้ชิดกับผิวหน้าตัวอย่างมากทำให้การตรวจสอบพื้นผิวมีความละเอียดสูง
ข.2.3	พื้นที่ผิวฟุคส์ (Fuchs surface area)	การให้ประจุละอองลอยเคลื่อนที่ (aerosol diffusion charging)	วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวฟุคส์โดยตรง ทำได้โดยให้อนุภาคที่มีค่าประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์เคลื่อนที่ผ่านบริเวณให้ประจุ และตรวจวิเคราะห์ค่าประจุของละอองลอยที่ผ่านออกมา ประจุของละอองลอยมีค่าเป็นสัดส่วนกับค่าพื้นที่ผิวละอองลอย
		อีพิฟานิโอมิเตอร์ (epiphaniometer)	วิธีนี้ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวละอองลอยโดยตรง โดยละอองลอยเคลื่อนที่ผ่านช่องให้ประจุที่ซึ่งธาตุแอกทิเนียม (actinium) สลายตัวให้ไอโซโทปของตะกั่ว (lead isotopes) ออกมายึดเกาะกับพื้นผิวของอนุภาคหลัง จากนั้นอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านหลอดแคพิลลารีไปยังบริเวณแผ่นกรองเก็บอนุภาค ปริมาณของรังสีที่วิเคราะห์ได้เป็นสัดส่วนกับค่าพื้นที่ผิวของละอองลอย

ตารางที่ ข.2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.4	ขนาดผลึกเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดผลึก	การเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (electron backscatter diffraction; EBSD)	วิธีนี้ใช้วิเคราะห์ขนาดของผลึกโดยใช้ SEM ที่ติดตั้งมากับกล้องรับการเลี้ยวเบนของแสงกระเจิงกลับ (backscatter diffraction camera) โดยอิเล็กตรอนจะเกิดอันตรกิริยากับระนาบแลตทิซของอะตอมของโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง และอิเล็กตรอนจะเกิดการกระเจิงกลับเมื่อสภาวะที่ใช้เป็นไปตามกฎของแบรกก์ (Bragg's law) ขนาดของผลึกได้มาจากการคำนวณรูปแบบการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้น
		การเลี้ยวเบนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope diffraction)	วิธีนี้ใช้วิเคราะห์ขนาดของผลึกโดยให้อิเล็กตรอนเกิดอันตรกิริยากับระนาบแลตทิซของอะตอมของโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง และอิเล็กตรอนจะเกิดการกระเจิงกลับเมื่อสภาวะที่ใช้เป็นไปตามกฎของแบรกก์ โดยความแตกต่างของทิศทางการจัดเรียงตัวของผลึก (lattice orientation) จะสอดคล้องกับผลึกที่แตกต่างกัน และให้ผลความเข้มการเลี้ยวเบนที่แตกต่างกันด้วย ขนาดของผลึกได้มาจากการคำนวณรูปแบบผลที่ได้
ข.2.5	ระดับการเกาะก้อนแบบหลวมหรือแบบแน่น	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1
ข.2.6	ความพรุน	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1
ข.2.7	ความเข้ากันได้กับแมทริกซ์ (compatibility with matrix)	รามานสเปกโตรสโคปี (raman spectroscopy)	วิธีนี้อาศัยปรากฏการณ์รามาน (raman effect) ในการตรวจสอบระดับพลังงานโมเลกุล ปรากฏการณ์นี้เกี่ยวข้องกับการกระเจิงแสงร่วมกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะความถี่ของวัสดุที่ทำให้เกิดการกระเจิง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือน การหมุนตัว หรือพลังงานไฟฟ้าของสารซึ่งสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับพันธะเคมีหรือสภาพความเค้นเชิงกลได้

ตารางที่ ข.2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.8	ความสามารถในการกระจายตัวในตัวกลางที่เป็นของแข็ง	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและการวิเคราะห์ภาพ	แนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายภาพ ดูได้จาก ISO 16700 และแนวปฏิบัติสำหรับวิธีการวิเคราะห์ภาพนิ่ง ดูได้จาก ISO 13322-1
ข.2.9	เคมีพื้นผิว	ทั่วไป	วิธีที่กล่าวถึงต่อไปนี้มีความละเอียดในระดับนาโนเมตรที่แนวแกน z เท่านั้น ส่วนแกน x และ y มีความละเอียดในระดับไมโครเมตร ยกเว้นกรณีของ EELS และ AES ดังนั้นวิธีการที่กล่าวถึงจึงเหมาะต่อการใช้วิเคราะห์ฟิล์มบางนาโน หรือการเคลือบบางระดับนาโนเป็นหลัก แทนที่จะนำไปใช้กับวัสดุนาโนจากการผลิต 2 และ 3 มิติ
		วิธีออเจร์อิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี (Auger electron spectroscopy; AES) และจุลทรรศน์ออเจร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning auger electron microscopy; SAM)	วิธีนี้เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้สเปคโตรสโคปีวิเคราะห์การกระจายตัวของพลังงานที่ปล่อยออกมาจากออเจร์อิเล็กตรอน (Auger electron) บนพื้นผิว โดยแนวปฏิบัติสำหรับวิธีดูได้จาก ISO/TR 18394 และ ISO 20903
		สเปกโตรเมตรีการสูญเสียพลังงานอิเล็กตรอน (electron energy loss spectrometry; EELS)	วิธีนี้เป็นวิธีวิเคราะห์ที่อาศัยการเกิดอันตรกิริยาแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic interaction) ระหว่างลำอิเล็กตรอนกับอะตอมในตัวอย่างที่ทำให้เกิดสเปกตรัมการกระจายตัวของพลังงานซึ่งสามารถให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบและพันธะทางเคมีได้ วิธีวิเคราะห์นี้สามารถให้ข้อมูลที่มีความละเอียดในระดับนาโนเมตรทั้งในแกน x และ y
		การวิเคราะห์ลำไอออน (ion beam analysis; IBA)	วิธีนี้ใช้วิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบและโครงสร้างของชั้นอะตอมนอกสุดของวัสดุที่เป็นของแข็ง โดยอาศัยการตรวจวิเคราะห์และบันทึกจำนวนโพรบไอออนแบบประจุเดี่ยว (single-charged probe ions) ที่มีพลังงานค่าเดียวที่กระเจิงออกมาจากพื้นผิว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพลังงาน และ/หรือ มุมของการกระเจิง

1 **ตารางที่ ข.2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน (ต่อ)**

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.9	เคมีพื้นผิว (ต่อ)	แมสสเปกโตรเมตรีไอออนทุติยภูมิ (secondary ion mass spectrometry; SIMS)	วิธีนี้ใช้แมสสเปกโตรมิเตอร์วิเคราะห์สัดส่วนมวลต่อประจุ (mass-to-charge quotient) และปริมาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ที่ปล่อยออกมาหลังจากการให้อิเล็กตรอนพลังงานสูงพุ่งเข้าชนพื้นผิวตัวอย่าง แนวปฏิบัติสำหรับวิธีการนี้มีการระบุไว้ใน ISO 22048 และ ISO 18114 การตรวจวิเคราะห์ด้วย SIMS สามารถทำได้ใน 3 รูปแบบ คือ แบบคงที่ (static SIMS) แบบผันแปร (dynamic SIMS) และแบบภาพถ่าย (imaging SIMS) ความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ในรูปแบบคงที่กับแบบผันแปร คือ ระดับประจุของลำแสงปฐมภูมิ (primary beam) ซึ่งใช้ในระดับที่ต่ำกว่าสำหรับรูปแบบคงที่ ทำให้การเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวของตัวอย่างเกิดขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนการวิเคราะห์เพิ่มเติมในรูปแบบภาพถ่ายนั้นทำได้โดยให้แสงปฐมภูมิส่องผ่านพื้นผิวตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของประจุที่แตกออกมาจากพื้นผิวบริเวณต่าง ๆ
		ไดนามิกแมสสเปกโตรเมตรีไอออนทุติยภูมิ (dynamic-secondary ion mass spectrometry; D-SIMS)	วิธีนี้ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับธาตุและโมเลกุลอย่างง่ายที่บริเวณพื้นผิวของตัวอย่างลึกลงไปในระดับ 2 ถึง 3 µm วิธีวิเคราะห์นี้สามารถใช้ในการทำโพรไฟล์ของธาตุและโมเลกุลที่อยู่ในระดับความเข้มข้นส่วนในพันล้านส่วน (ppb)
		ไทม์ออฟไฟลท์แมสสเปกโตรเมตรีไอออนทุติยภูมิ (time of flight secondary ion mass spectrometry; ToF-SIMS)	วิธีนี้มีระดับความไวในการวิเคราะห์สูงบริเวณพื้นผิวเมื่อความลึกของชั้นตัวอย่างที่ต้องการศึกษาน้อยกว่า 2 nm ความไวในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการนี้สูงมากแต่ไม่ใช่วิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ส่วนในด้านความจำเพาะของสารนั้นสามารถวิเคราะห์กึ่งเชิงปริมาณได้ โดยความแตกต่างของความเข้มข้นที่พื้นผิวของสารเคมีต่างชนิดกันสามารถตรวจติดตามได้จากความเข้มของสัญญาณ ToF-SIMS
		การเรืองรังสีเอกซ์แบบสะท้อนกลับหมด (total reflection X-ray fluorescence spectroscopy; TXRF)	วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้เอกซเรย์สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray spectrometer) วิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เรืองออกมาจากพื้นผิวที่ฉายด้วยรังสีเอกซ์ภายใต้สภาวะที่มีการสะท้อนกลับทั้งหมด

2

3

ตารางที่ ข.2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.9	เคมีพื้นผิว (ต่อ)	อัลตราไวโอเลตโฟโตอิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี (ultra-violet photoelectron spectroscopy; UPS)	วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้อิเล็กตรอนสเปกโตรมิเตอร์ (electron spectrometer) วิเคราะห์การกระจายตัวพลังงานของโฟโตอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจากพื้นผิวที่ฉายด้วยโฟตอนของอัลตราไวโอเลต (ultra-violet photon)
		เอกซเรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี (X-ray photoelectron spectroscopy; XPS)	วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้อิเล็กตรอนสเปกโตรมิเตอร์วิเคราะห์การกระจายตัวพลังงานของออเจร์อิเล็กตรอน (Auger electron) และโฟโตอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจากพื้นผิวที่ฉายด้วยเอกซเรย์โฟตอน (X-ray photon) วิธีนี้มีความไวสูงและเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ สภาวะทางเคมีเชิงปริมาณบริเวณพื้นผิวสำหรับทุกธาตุ ยกเว้นไฮโดรเจนและฮีเลียม แนวปฏิบัติสำหรับวิธีการนี้มีการระบุไว้ใน ISO 20903 วิธีวิเคราะห์นี้โดยปกติเรียกว่า อิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปีสำหรับสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี (electron spectroscopy for chemical analysis; ESCA)
ข.2.10	เคมีแบบมวลรวม	โกล์วดิสชาร์จแมสสเปกโตรเมตรี (glow discharge mass spectrometry; GDMS)	วิธีนี้ใช้แมสสเปกโตรมิเตอร์ (mass spectrometer) วิเคราะห์สัดส่วนมวลต่อประจุ (mass-to-charge quotient) และปริมาณไอออนจากการปล่อยประจุแบบมีแสงบริเวณพื้นผิว
		โกล์วดิสชาร์จสเปกโตรเมตรีแบบปล่อยแสง (glow discharge optical emission spectrometry; GDOES)	วิธีนี้ใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบปล่อยแสง (optical emission spectrometer) วิเคราะห์ความยาวคลื่นและความเข้มแสงที่ปล่อยออกมาจากการปล่อยประจุแบบมีแสงบริเวณพื้นผิว แนวปฏิบัติสำหรับการทำ GDOES มีการระบุไว้ใน ISO 14707

ตารางที่ ข.2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.11	ความบริสุทธิ์ทางเคมี	วิธีอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล-เนียร์อินฟาเรดสเปกโตรสโคปี (UV-visible-NIR spectroscopy)	วิธีนี้เป็นการนำวิธีวิเคราะห์สเปกโตรสโคปีการดูดกลืนแสงแบบต่าง ๆ มารวมกัน ซึ่งอาศัยหลักการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นของอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล และเนียร์อินฟาเรด วิธีวิเคราะห์นี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบพลังงานของลำแสงก่อนและหลังการเกิดอันตรกิริยากับตัวอย่าง และมักใช้ร่วมกับวิธีวิเคราะห์โมดูเลชัน (modulation technique) ซึ่งนิยมใช้การปรับความยาวคลื่น แต่ในบางครั้งใช้การปรับความถี่คลื่นเพื่อลดสัญญาณรบกวนในระบบ เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง เครื่องมือตรวจวิเคราะห์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการการกระจายแสง เช่น ปริซึม หรือทั่วไปนิยมใช้เกรตติ้ง เพื่อช่วยให้สามารถบันทึกความเข้มของแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันได้ เครื่องมือที่จำหน่ายทางการค้าหลายรุ่นนิยมใช้ตัวตรวจวิเคราะห์ตัวเดียวกันเพื่อบันทึกสเปกตรัมของทั้ง 3 ช่วงคลื่น สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้เนียร์อินฟาเรดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (near infrared-photoluminescence; NIR-PL) ในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวมีการระบุไว้ใน ISO/TS 10867 วิธีนี้สามารถใช้ประมาณความเข้มข้นมวลสัมพัทธ์ของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวที่มีสมบัติทางไฟฟ้าแบบกึ่งตัวนำ (semi-conducting SWCNTs) ที่มีอยู่ในตัวอย่างโดยการตรวจวิเคราะห์ร่วมกับความเข้มของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (PL intensities) และจากข้อมูลโฟโตลูมิเนสเซนซ์ที่ได้จากภาคตัดขวาง
ข.2.12	ความแข็งแรงของอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมเดี่ยว (single agglomerate crushing strength)	วิธีทั่วไป	วิธีสำหรับวิเคราะห์ความแข็งแรงของอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมเดี่ยวต่อการทำให้แตกออกจากกันอยู่ระหว่างการพัฒนา ตัวอย่างวิธีวิเคราะห์สำหรับอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมเดี่ยวที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 63 μm) ทำได้โดยวางอนุภาคลงบนลำแสงตามขวางและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ใช้ในการกดทับกับการเสียรูปร่าง โดยวิเคราะห์จนกระทั่งก้อนตัวอย่างแตกออกเป็นชิ้นเล็ก อย่างไรก็ตามยังไม่มีการทดสอบความแข็งแรงของก้อนหลวมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าหรือเท่ากับ 63 μm

ตารางที่ ข.2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.13	สัณฐานวิทยาของพื้นผิว	AFM	วิธีนี้เป็นการถ่ายภาพพื้นผิวโดยใช้การสแกนความโค้งเว้าของพื้นผิวทางกลผ่านการใช้โพรบขนาดไมครอนที่มีปลายแหลม (ขนาดปลายโพรบทั่วไปประมาณ 10 nm) ยึดติดอยู่กับคาน (cantilever) ลากผ่านผิวตัวอย่างและเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวแกน z เพื่อทำให้แรงที่เกิดขึ้นระหว่างปลายโพรบและตัวอย่างคงที่ สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการขยับจะถูกส่งไปยังตัวประมวลผล ทำให้ทราบมิติในแนวแกน z เช่นความสูง ความขรุขระ และปริมาตร
		SNOM	วิธีนี้เป็นการถ่ายภาพพื้นผิวจากการส่องผ่านของแสง หรือการกระเจิงของแสงโดยใช้การหัวอ่านแบบแสง (optical probe) ที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงผ่านบนพื้นผิวของตัวอย่างขณะที่มีการตรวจติดตามการส่องผ่านหรือการกระเจิงของแสง ตำแหน่งของตัวติดตามจะมีระยะใกล้ชิดกับผิวหน้าตัวอย่างมากทำให้การตรวจสอบพื้นผิวมีความละเอียดสูง
		STM	วิธีวิเคราะห์นี้ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างระดับอะตอมที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นอิเล็กตรอนบนพื้นผิวโดยใช้หัวอ่านที่มีลักษณะคล้ายเข็มเคลื่อนที่เข้าใกล้กับวัสดุที่ต้องการวิเคราะห์แล้ววิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (เกิดจากการปรับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ปลายเข็ม) บริเวณช่องว่างระหว่างเข็มและวัสดุ หรือ “กระแสทันเนลลิ่ง” การประมวลผลเป็นภาพสามมิติของพื้นผิวทำโดยให้เข็มเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวแกน z ผ่านพื้นผิว และทำแผนที่ตำแหน่งของปลายเข็มเมื่อให้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ที่จุดต่าง ๆ
ข.2.14	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนาโน	รามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectroscopy)	วิธีนี้เป็นสเปกโตรสโคปีที่อาศัยปรากฏการณ์รามานในการตรวจสอบระดับพลังงานโมเลกุล ปรากฏการณ์นี้เกี่ยวข้องกับการกระเจิงแสงร่วมกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะความถี่ของวัสดุ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือน การหมุนตัว หรือพลังงานไฟฟ้าของสารซึ่งขนาดของปรากฏการณ์ (magnitude) สามารถประมาณค่า (interpolation) เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนคาร์บอนได้
		STM	วิธีนี้สามารถใช้วิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนคาร์บอนได้

ตารางที่ ข.2 วิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโนจากการผลิตที่ใช้สำหรับการตรวจประเมิน (ต่อ)

ข้อ	ลักษณะเฉพาะ	วิธีวิเคราะห์	แนวทาง
ข.2.15	ความยาวเฉลี่ยและการกระจายตัวของความยาวเส้นใยนาโน	SEM	วิธีนี้สามารถใช้วิเคราะห์ความยาวของเส้นใยนาโนได้จากภาพถ่ายของเส้นใยที่ปั่นเคลือบลงบนตัวยึดเกาะที่เหมาะสม โดยแนวปฏิบัติสำหรับการสอบเทียบกำลังขยายมีการระบุไว้ใน ISO 16700
ข.2.16	สัดส่วนความยาวด้านเฉลี่ย และการกระจายตัวของสัดส่วนความยาวด้านของเส้นใยนาโน	ทั่วไป	วิธีวิเคราะห์นี้เป็นการวิเคราะห์สัดส่วนรูปร่างคืออัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย โดยวิธีวิเคราะห์นี้ได้มีกล่าวถึงไว้ในข้อ 2.14 และ 2.15
ข.2.17	ความหนาของผนังเฉลี่ยและ การกระจายตัวของความหนาของผนัง และโครงสร้างส่วนปลายของท่อนาโน	TEM	วิธีนี้สามารถใช้วิเคราะห์ความหนาของผนังท่อนาโนได้จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของท่อนาโนคาร์บอน
ข.2.18	ความสมมาตร	ทั่วไป	วิธีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความสมมาตรของท่อนาโนคาร์บอนอยู่ระหว่างการพัฒนา ตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์อาจทำได้โดยใช้การรายงานผลจาก STM และEBSD แต่วิธีวิเคราะห์ดังกล่าวที่กล่าวมายังไม่มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง สำหรับวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาดัชนีการม้วนตัว (chiral indices) ของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวที่มีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นสารกึ่งตัวนำในตัวอย่าง ร่วมกับความเข้มสัมพัทธ์ของโฟโตลูมิเนสเซนต์ได้มีการระบุไว้ใน ISO/TC 10867