

1  
2  
3

สมอ./ศน.พว./CDV  
มีนาคม 2557

ห้ามใช้หรือยึดถือร่างนี้เป็นมาตรฐาน  
มาตรฐานฉบับสมบูรณ์จะมีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16

ร่าง  
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์ – เคมี  
ในการจัดการวัสดุนาโนสำหรับการประเมินความเป็นพิษ  
NANOTECHNOLOGIES - GUIDANCE ON PHYSICO-CHEMICAL  
CHARACTERISATION FOR TOXICOLOGIC ASSESSMENT  
OF MANUFACTURED NANOMATERIALS  
สำหรับเสนอคณะกรรมการวิชาการพิจารณาร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400  
โทรศัพท์ 0 2202 3439

## คณะผู้จัดทำร่างมาตรฐาน

### มาตรฐานข้อเสนอแนะเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์ – เคมีในการจัดการวัสดุนาโน สำหรับการประเมินความเป็นพิษ

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30

#### ที่ปรึกษา

นายชัยณรงค์ เชิดชู

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

นายศิริศักดิ์ เทพาคำ

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

#### ประธาน

นางฉลอม เลาเจริญกุล

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

#### รองประธาน

นายประสงค์ นรจิตร์

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

#### กรรมการ

นางสาวทิพชา โปษยานนท์

สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ

นางสาวทรงศิริ จุมพล

สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค

นางนราพร รังสีมันตุกุล

สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

นายสมศักดิ์ ศรีสุกรวณิชย์

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

นางครุณี เอ็ดเวิร์ดส

หอการค้าและสภาหอการค้าแห่งประเทศไทย

นางสุพิน แสงสุข

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายวิสันติ เลาหอุดมโชค

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

นางสาวจรรยา บัวเจริญ

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

นางสาวปริญา จันทรัตน์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นางสาวพิศุทธอง ขอเพิ่มทรัพย์

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

นางสาวสุภาพันธุ์ นุนนาค

นางสาวฉวีวรรณ ทรัพย์เจริญกุล

นางสาวภนิตา เกษมโชติช่วง

#### กรรมการและเลขานุการ

นายฉัฐพันธุ์ สุภกา

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

1 การใช้วัสดุนาโนในสินค้าอุปโภคบริโภคและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความ  
2 สนใจเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสกับวัสดุนาโนต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน  
3 โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุนาโน ในกลุ่มของวัสดุนาโน และกลุ่มของวัสดุนาโนที่เกาะเป็นก้อนแบบแน่น/แบบหลวม  
4 (nano-objects and their aggregates and agglomerates; NOAA) ข้อมูลการศึกษาพิษวิทยาของ NOAA จำนวนมากที่  
5 มีการรายงานนั้น พบว่าขาดการให้รายละเอียดลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของสิ่งที่นำมาทดสอบ เพื่อใช้ใน  
6 ประเมินผลที่ได้รับ และเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ ซึ่งหากกล่าวถึงความหลากหลายของ NOAA ที่ได้จากการ  
7 ผลิตที่มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกันแล้วนั้น การระบุลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมี นับว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งขาด  
8 สำหรับใช้ในการบ่งชี้วัสดุทดสอบได้อย่างแม่นยำ รวมทั้งมีส่วนสนับสนุนการพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบ  
9 ทางพิษวิทยาของวัสดุนาโนได้ดียิ่งขึ้น

10 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการแสดงลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของ  
11 วัสดุนาโนจากการผลิต (เพื่อการค้า) ก่อนดำเนินการประเมินทางพิษวิทยาทั้งต่อมนุษย์และระบบนิเวศวิทยา โดยมี  
12 วัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้นักวิทยาศาสตร์สุขภาพและผู้เชี่ยวชาญจากสาขาวิชาต่าง ๆ สามารถเข้าใจ วางแผน บ่งชี้  
13 และแสดงลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุดังกล่าวก่อนการทดสอบทางพิษวิทยา การแสดงลักษณะเฉพาะ  
14 ทางฟิสิกส์-เคมีจำเป็นต้องดำเนินการก่อนการประเมินทางชีวภาพใด ๆ

15 การแสดงลักษณะเฉพาะควรให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับอิทธิพลของสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีต่อการตอบสนอง  
16 ที่สังเกตได้จากการทดสอบทางพิษวิทยา มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้มีข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ดังต่อไปนี้

- 17 (1) การแสดงลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมี เพื่อให้สอดคล้องกับกรอบการทดสอบพิษวิทยาของ NOAA
- 18 (2) ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีที่สำคัญสำหรับการประเมินก่อนการทดสอบทางพิษวิทยา
- 19 (3) ค่าที่ควรวัด สำหรับประเมินลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมี

20 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ จัดทำขึ้นตามความร่วมมือด้านการกำหนดมาตรฐานระหว่างสำนักงาน  
21 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกับศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
22 แห่งชาติ และใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

23 ISO/TR 13014:2012(E)	Nanotechnologies - Guidance on physico-chemical characterization of
24	engineered nanoscale materials for toxicologic assessment
25 มอก.2535-2555	การประเมินความเสี่ยงด้านสารเคมีต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงานในโรงงาน
26	อุตสาหกรรม
27 ISO/IEC Guide 99:2007	International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and
28	associated terms (VIM)
29 ISO/TS 27687:2008	Nanotechnologies - Terminology and definitions for nano-objects -
30	Nanoparticle, nanofibre and nanoplate

1	ISO/TS 80004-1:2010	Nanotechnologies – Vocabulary - Part 1: Core terms
2	ISO/TS 80004-3:2010	Nanotechnologies - Vocabulary - Part 3: Carbon nano-objects
3	ISO/TR 12805:2011	Nanotechnologies - Materials specifications - Guidance on specifying nano-
4		objects
5	JCGM 100:2008	Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in
6		measurement (GUM 1995 with minor corrections)
7	JCGM 200:2012	International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and
8		associated terms (VIM)
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		

## สารบัญ

1		
2		
3		หน้า
4	1. ขอบข่าย	1
5	2. บทนิยาม	1
6	3. อักษรย่อ	6
7	4. การประเมินทางพิษวิทยา	7
8	5. สมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุ	9
9	6. พารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีก่อนการประเมินทางพิษวิทยา	13
10	7. การแสดงค่าผลการวัดและค่าความไม่แน่นอน	25
11	8. การรายงานผล	29
12	ภาคผนวก ก. แผนภาพแสดงการใช้ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมี ในการทดสอบทางพิษวิทยา	31
13	ภาคผนวก ข. ตัวอย่างวิธีการวัดและมาตรฐาน	32
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		



- 1           **หมายเหตุ 1** สำหรับคำนิยามนี้ “สิ่งอ้างอิง” (reference) สามารถเป็นคำนิยามของหน่วยการวัดโดยทำให้เกิด  
2           การปฏิบัติที่ใช้ได้จริง หรือเป็นวิธีการวัดรวมทั้งหน่วยการวัดสำหรับปริมาณที่ไม่เป็นลำดับ หรือ  
3           มาตรฐานการวัด
- 4           **หมายเหตุ 2** การสอบกลับได้เชิงมาตรวิทยาต้องการลำดับการสอบเทียบที่จัดตั้งขึ้น
- 5    2.4   การตรวจสอบความใช้ได้ (validation) หมายถึง การพิสูจน์ความจริงซึ่งข้อกำหนดที่ระบุไว้มีความเหมาะสม  
6           สำหรับวัตถุประสงค์การใช้งาน
- 7    2.5   ขนาดอนุภาค (particle size) หมายถึง ขนาดของทรงกลม หรือเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค ซึ่งวัดได้จากการ  
8           เทียบความสัมพันธ์ของสมบัติทางฟิสิกส์ที่ใช้ในวิธีการวิเคราะห์ระหว่างขนาดอนุภาคที่ต้องการวัด กับ  
9           อนุภาคอ้างอิง
- 10           **หมายเหตุ 1** คำจำกัดความของขนาดอนุภาคไม่ได้มีเพียงคำจำกัดความเดียว แต่ขึ้นกับสมบัติทางฟิสิกส์ที่นำมาใช้  
11           ในการวัด ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์กับเส้นผ่านศูนย์กลางบ่งชี้ได้โดยอาศัยอนุภาค  
12           อ้างอิงมาตรฐานที่สอดคล้องกับขนาดอนุภาคที่ต้องการวัด
- 13           **หมายเหตุ 2** สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงขนาดอนุภาค หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม ตามมาตรฐาน ISO คือ  $x$  แต่  
14           สัญลักษณ์ที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ  $d$  ดังนั้นจึงสามารถใช้  $x$  หรือ  $y$  เพื่อแสดงขนาดอนุภาคได้
- 15    2.6   ความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility) หมายถึง ระดับของการกระจายตัวเมื่ออยู่ในสภาวะคงที่  
16           ภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะแวดล้อมที่กำหนด
- 17           **หมายเหตุ** การกระจายตัวคือการลอยตัวของอนุภาคที่แยกกันโดยสิ้นเชิง
- 18    2.7   ความสามารถในการละลาย (solubility) หมายถึง มวลที่มากที่สุดของวัสดุนาโนที่สามารถละลายในปริมาตร  
19           ที่กำหนดของตัวทำละลายเฉพาะภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ระบุไว้
- 20           **หมายเหตุ** สภาพละลายได้สามารถแสดงในหน่วยของ กรัมต่อลิตรของตัวทำละลาย
- 21    2.8   ค่าความไม่แน่นอนของการวัดขยาย (expanded measurement uncertainty) หรือ ค่าความไม่แน่นอนขยาย  
22           (expanded uncertainty) หมายถึง ผลคูณ ของค่าความไม่แน่นอนของการวัดมาตรฐานรวม กับ ตัวประกอบ  
23           ครอบคลุมที่มีค่ามากกว่า 1
- 24           **หมายเหตุ 1** ตัวประกอบ (factor) ขึ้นอยู่กับชนิดของการกระจายตัวความน่าจะเป็นของปริมาณผลลัพธ์ (output  
25           quantity) ในแบบจำลองของการวัดและขึ้นกับความน่าจะเป็นที่ครอบคลุมที่เลือก
- 26           **หมายเหตุ 2** คำว่า “ตัวประกอบ” ในที่นี้ หมายถึงตัวประกอบครอบคลุม (coverage factor) โดยตัวประกอบ  
27           ครอบคลุมคือจำนวนที่นำมาคูณด้วยค่าความไม่แน่นอนของการวัดมาตรฐานของผลการวัดเพื่อให้ได้  
28           ค่าความไม่แน่นอนของการวัดขยาย
- 29    2.9   ค่าความไม่แน่นอนของการวัดมาตรฐานรวม (combined standard measurement uncertainty) หรือ ค่า  
30           ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม หมายถึง ค่าความไม่แน่นอนของการวัดมาตรฐานซึ่งได้จากการใช้ค่าความ

- 1 ไม่แน่นอนของการวัดมาตรฐานแต่ละอันที่เกี่ยวข้องกับปริมาณที่ใช้ในการวัด (input quantities) ใน  
 2 แบบจำลองการวัด คู่มือ 2.16
- 3 **หมายเหตุ** ในกรณีของความสัมพันธ์ของปริมาณที่ใช้ในการวัดในแบบจำลองการวัด ควรคำนึงถึง  
 4 ความแปรปรวนเมื่อคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดมาตรฐานรวม คู่มือใน ISO/IEC Guide  
 5 98-3:2008, 2.3.4
- 6 2.10 เคมีพื้นผิว (surface chemistry) หมายถึง ธรรมชาติทางเคมีของพื้นผิว
- 7 2.11 ท่อนาโน (nanotube) หมายถึง เส้นใยนาโนที่มีลักษณะกลวง
- 8 2.12 ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotube) หมายถึง ท่อนาโนที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน
- 9 **หมายเหตุ** ท่อนาโนคาร์บอนโดยปกติประกอบด้วยแผ่นของกราฟีนม้วนเป็นท่อ เช่น ท่อนาโนคาร์บอนแบบ  
 10 ผนังเดี่ยว (single-wall carbon nanotube) และ ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (multi-wall carbon  
 11 nanotubes)
- 12 2.13 นาโนคอลลอยด์ (nano-colloid) หมายถึง สารเนื้อผสมที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดนาโนสเกลกระจายอย่าง  
 13 สม่ำเสมอในของเหลวด้วยประจุไฟฟ้าของอนุภาค ซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบบราวน์ และมีการเคลื่อนที่เนื่องจาก  
 14 อิทธิพลทางสนามไฟฟ้าในของเหลวนั้น
- 15 2.14 นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) หมายถึง การประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการจัดการและ  
 16 ควบคุมสสารในระดับนาโนสเกล เพื่อใช้ประโยชน์จากสมบัติหรือปรากฏการณ์ที่ขึ้นกับขนาดหรือ  
 17 โครงสร้างของสสาร โดยสมบัติหรือปรากฏการณ์ดังกล่าวแตกต่างจากที่พบในอะตอม หรือโมเลกุล หรือ  
 18 วัสดุขนาดใหญ่
- 19 **หมายเหตุ** การจัดการและควบคุมนั้นรวมถึงการสังเคราะห์วัสดุด้วย
- 20 2.15 นาโนสเกล (nanoscale) หมายถึง ขนาดในช่วง 1 nm ถึง 100 nm โดยประมาณ
- 21 **หมายเหตุ 1** ในกรณีที่วัสดุสามารถแสดงสมบัติใหม่ (ที่ไม่สามารถอาศัยการคาดการณ์ หรือเทียบบัญญัติไตรยางค์  
 22 จากวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าได้) ในช่วงนาโนสเกลนี้ สามารถอนุมานให้คำจำกัดความของนาโนสเกล  
 23 เป็น “ค่าโดยประมาณ” ระหว่าง 1 nm ถึง 100 nm ได้
- 24 **หมายเหตุ 2** การกำหนดให้ขอบเขตล่างของนาโนสเกลมีค่าเท่ากับ 1 nm มีวัตถุประสงค์เพื่อหลีกเลี่ยงการกำหนด  
 25 อะตอมหรือกลุ่มอะตอม ว่าเป็น “วัสดุนาโน” หรือ ชาติองค์ประกอบของโครงสร้างนาโน
- 26 2.16 แบบจำลองการวัด (measurement model) หมายถึง ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณทั้งหมดที่  
 27 เกี่ยวข้องในการวัด
- 28 **หมายเหตุ** รูปแบบทั่วไปของแบบจำลองการวัดคือสมการ  $h(Y, X_1, \dots, X_n) = 0$  ซึ่ง  $Y$  คือปริมาณที่วัดหรือปริมาณ  
 29 ที่สนใจในแบบจำลองการวัด ค่าปริมาณที่ได้มาจากข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณที่ใช้ในการคำนวณใน  
 30 แบบจำลองการวัด ( $X_1, \dots, X_n$ )
- 31 2.17 ประจุพื้นผิว (surface charge) หมายถึง ประจุไฟฟ้าบนพื้นผิว



- 1 2.18 ปริมาณที่ถูกวัด (measurand) หมายถึง ปริมาณที่ต้องการวัด
- 2 **หมายเหตุ 1** ข้อมูลจำเพาะของปริมาณที่ถูกวัดต้องการความรู้ของชนิดของปริมาณ การอธิบายสภาวะของ
- 3 ปรากฏการณ์ ส่วนประกอบหลักของสิ่งต่าง ๆ หรือ สารที่นำส่งปริมาณรวมทั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ที่
- 4 เกี่ยวข้อง และองค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้อง
- 5 **หมายเหตุ 2** ในการพิมพ์ครั้งที่ 2 ของประมวลศัพท์ระหว่างประเทศว่าด้วยคำศัพท์พื้นฐานและคำศัพท์ทั่วไปใน
- 6 มาตรฐานวิทยาศาสตร์ (international vocabulary of basic and general terms in metrology, VIM) และใน
- 7 คณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยไฟฟ้าเทคนิค (international electrotechnical commission, IEC
- 8 60050-300:2001) ได้นิยามคำว่า ปริมาณที่ถูกวัดไว้ว่าเป็น “ปริมาณที่นำไปวัด”
- 9 **หมายเหตุ 3** การวัด เช่นระบบการวัดและสภาวะแวดล้อมหรือเงื่อนไขภายใต้การวัดที่ถูกดำเนินการตามที่กำหนด
- 10 ในกรณีนี้ อาจเปลี่ยนปรากฏการณ์ ส่วนประกอบหลักของสิ่งต่าง ๆ หรือสาร เพื่อที่ปริมาณที่จะทำ
- 11 การวัดอาจจะแตกต่างจากปริมาณที่ถูกวัด ในกรณีนี้การแก้ไขที่เพียงพอมีความจำเป็น
- 12 **หมายเหตุ 4** ในทางเคมี “สารที่วิเคราะห์” (analyte) หรือชื่อของวัสดุหรือสารประกอบ คือคำที่บางครั้งใช้แทน
- 13 “ปริมาณที่ถูกวัด” ซึ่งการใช้แบบนี้ไม่ถูกต้องเนื่องจากความเข้าใจผิดเพราะว่าคำนี้ไม่ได้อ้างถึง
- 14 ปริมาณ
- 15 2.19 แผ่นนาโน (nanoplate) หมายถึง วัตถุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 1 มิติ ส่วนมิติที่ 2
- 16 และ 3 มีขนาดใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญ
- 17 **หมายเหตุ 1** มิติภายนอกที่เล็กที่สุด คือ ความหนาของแผ่นนาโน
- 18 **หมายเหตุ 2** สองมิติภายนอกที่ใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญ มีขนาดใหญ่กว่ามิติภายนอกที่เล็กที่สุดมากกว่า 3 เท่า
- 19 **หมายเหตุ 3** มิติภายนอกที่มีขนาดใหญ่กว่าไม่จำเป็นต้องอยู่ในระดับนาโนสเกล
- 20 2.20 พื้นที่ผิว (surface area) หมายถึง พื้นที่ของพื้นผิวภายนอกบวกกับพื้นที่ผิวภายในรูขนาดเล็กหรือรูขนาดใหญ่
- 21 ที่สามารถเข้าถึงได้
- 22 **หมายเหตุ** รวมถึงพื้นที่ผิวจำเพาะมวล หรือ พื้นที่ผิวจำเพาะปริมาตร
- 23 2.21 ฟูลเลอร์ีนส์ (fullerenes) หมายถึง โมเลกุลที่ประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอนทั้งหมดซึ่งสร้างเป็นรูปแบบ
- 24 ของระบบของพอลิไซคลิก (polycyclic) ที่มีการหลอมวงแหวนคล้ายกรงปิดประกอบด้วยวงแหวนห้าเหลี่ยม
- 25 12 วง และที่เหลือเป็นวงแหวนหกเหลี่ยม
- 26 **หมายเหตุ 1** ดัดแปลงมาจากคำนิยามในระบบการเรียกชื่อคำศัพท์สารเคมีของ IUPAC (IUPAC Compendium of
- 27 chemical terminology)
- 28 **หมายเหตุ 2** ตัวอย่างที่รู้จักกันดีคือ  $C_{60}$  ซึ่งมีรูปร่างแบบทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 nm
- 29 2.22 รูปร่าง (shape) หรือ รูปร่างอนุภาค (particle shape) หมายถึง รูปร่างทางเรขาคณิตภายนอกของอนุภาค
- 30 2.23 วัตถุนาโน (nano-object) หมายถึง วัตถุที่มีมิติภายนอก 1 มิติ 2 มิติ หรือ 3 มิติ อยู่ในระดับนาโนสเกล

- 1 2.24 วัสดุโครงสร้างนาโน (nanostructured material) หมายถึง วัสดุที่มีโครงสร้างภายในอยู่ในระดับนาโนสเกล  
 2 หรือ มีโครงสร้างพื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล  
 3 **หมายเหตุ** หากวัสดุมีมิติภายนอกมิติใดมิติหนึ่งอยู่ในระดับนาโนสเกล แนะนำให้ใช้คำว่า “วัสดุนาโน”
- 4 2.25 วัสดุนาโน (nanomaterial) หมายถึง วัสดุที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกล หรือ วัสดุที่มีโครงสร้าง  
 5 ภายใน หรือมีโครงสร้างพื้นผิวอยู่ในระดับนาโนสเกล
- 6 2.26 สภาพเป็นผลึก (crystallinity) หมายถึง มีการจัดเรียงตัวแบบสามมิติที่ระดับโมเลกุล
- 7 2.27 เส้นใยนาโน (nanofibre) หมายถึง วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลจำนวน 2 มิติ ส่วนมิติ  
 8 ภายนอกที่ 3 มีขนาดใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญ  
 9 **หมายเหตุ 1** เส้นใยนาโนสามารถมีความยืดหยุ่นหรือไม่ยืดหยุ่น  
 10 **หมายเหตุ 2** มิติภายนอกที่อยู่ในระดับนาโนสเกลทั้งสองมิติมีขนาดแตกต่างกันไม่เกิน 3 เท่า และมิติภายนอกที่ 3  
 11 ใหญ่กว่าทั้งสองมิติมากกว่า 3 เท่า  
 12 **หมายเหตุ 3** มิติภายนอกที่ 3 ไม่จำเป็นต้องอยู่ในระดับนาโนสเกล
- 13 2.28 องค์ประกอบ (composition) หมายถึง สมบัติของวัสดุนาโนที่ได้จากเอกลักษณ์ และส่วนประกอบจำเพาะแต่  
 14 ละชนิดที่มีอยู่
- 15 2.29 อนุภาคเกาะก้อนแบบแน่น (aggregate) หมายถึง อนุภาคเดี่ยวที่ยึดติดกันด้วยพันธะที่แข็งแรง หรือ อนุภาค  
 16 หลายอนุภาคที่หลอมรวมกัน และส่งผลให้พื้นที่ผิวภายนอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับผลรวมพื้นที่  
 17 ผิวของแต่ละอนุภาคทั้งหมดรวมกัน  
 18 **หมายเหตุ 1** แรงยึดเหนี่ยวที่เชื่อมยึดอนุภาคเกาะก้อนแบบแน่นเข้าด้วยกันเป็นแรงที่แข็งแรง เช่น พันธะ โคเวเลนต์  
 19 หรือ ผลจากการเผาเพื่อผนึก หรือ การพัวพันทางกายภาพของอนุภาคอย่างซับซ้อน  
 20 **หมายเหตุ 2** อนุภาคเกาะก้อนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคทุติยภูมิ” และอนุภาคเริ่มต้นก่อนเกาะเป็นก้อนเรียกอีก  
 21 ชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคปฐมภูมิ”
- 22 2.30 อนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม (agglomerate) หมายถึง กลุ่มของอนุภาค หรือ กลุ่มของอนุภาคเกาะก้อนแบบ  
 23 แน่น หรือส่วนผสมของอนุภาคทั้งสองชนิด ที่เกาะกันด้วยแรงแบบอ่อน ๆ และส่งผลให้พื้นที่ผิวภายนอกไม่  
 24 แตกต่างไปจากผลรวมพื้นที่ผิวของแต่ละอนุภาคทั้งหมดรวมกัน  
 25 **หมายเหตุ 1** แรงยึดเหนี่ยวที่เชื่อมยึดอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมเข้าด้วยกันเป็นแรงแบบอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์  
 26 วาลส์ หรือ การพัวพันทางกายภาพของอนุภาคอย่างง่าย  
 27 **หมายเหตุ 2** อนุภาคเกาะก้อนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคทุติยภูมิ” และอนุภาคเริ่มต้นก่อนเกาะเป็นก้อนเรียกอีก  
 28 ชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคปฐมภูมิ”
- 29 2.31 อนุภาคนาโน (nanoparticle) หมายถึง วัสดุนาโนที่มีมิติภายนอกอยู่ในระดับนาโนสเกลทั้ง 3 มิติ  
 30 **หมายเหตุ** หากอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของวัตถุมีค่ามากกว่า 3 ให้เรียกว่า “เส้นใยนาโน” หรือ “แผ่น  
 31 นาโน” แทน “อนุภาคนาโน”

### 3. อักษรย่อ

- 1
- 2 3.1. กล้องจุลทรรศน์ออร์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด (scanning auger electron microscopy; SAM)
- 3 3.2. กล้องจุลทรรศน์ออร์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องผ่าน (transmission electron microscope; TEM)
- 4 3.3. กล้องจุลทรรศน์ออร์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องผ่าน / แช่เยือกแข็ง (cryo-transmission electron microscope; cryo-
- 5 TEM)
- 6 3.4. การกระเจิงนิวตรอนเป็นมุมเล็ก (small angle neutron scattering; SANS)
- 7 3.5. การกระเจิงรังสีเอกซ์เป็นมุมเล็ก (small angle X-ray scattering; SAXS)
- 8 3.6. การกระเจิงแสงสถิต (static light scattering; SLS)
- 9 3.7. การดูดซึม การกระจายตัว กระบวนการเผาผลาญ และการขับถ่าย (absorption, distribution, metabolism and
- 10 excretion; ADME)
- 11 3.8. การเปล่งแสงจากวัตถุร้อนที่เหนี่ยวนำด้วยเลเซอร์ (laser-induced incandescence; LII)
- 12 3.9. การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction; XRD)
- 13 3.10. การวิเคราะห์เชิงความร้อนแบบเทอร์โมกราวิเมตริก (thermogravimetric analysis; TGA)
- 14 3.11. ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotube; CNT)
- 15 3.12. เทคนิคการกระเจิงของแสงพลวัต (dynamic light scattering; DLS)
- 16 3.13. นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (nuclear magnetic resonance; NMR)
- 17 3.14. แนวทางในการแสดงค่าความไม่แน่นอนในการวัด (guide to the expression of uncertainty in measurement;
- 18 GUM)
- 19 3.15. แมสสเปกโตรเมตรีแบบไอออนทุติยภูมิ (secondary ion mass spectrometry; SIMS)
- 20 3.16. รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet; UV)
- 21 3.17. วัตถุนาโน และกลุ่มของวัตถุนาโนที่เกาะเป็นก้อนแบบแน่น/แบบหลวม (nano-objects and their aggregates
- 22 and agglomerates; NOAAs)
- 23 3.18. สเปกโตรเมตรีการสูญเสียพลังงานอิเล็กตรอน (electron energy loss spectrometry; EELS)
- 24 3.19. สำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Mesures; BIPM)
- 25 3.20. สิ่งแวดล้อม สุขภาพ และความปลอดภัย (environment, health and safety; EHS)
- 26 3.21. หลักเกณฑ์ และวิธีการที่ดีในการผลิต (good manufacturing practices; GMP)
- 27 3.22. องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Cooperation and
- 28 Development; OECD)
- 29 3.23. ออร์อิเล็กทรอนิกส์สเปกโตรสโคปี (Auger electron spectroscopy; AES)

- 1 3.24. อินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา แมสสเปกโตรมิเตอร์ (inductively coupled plasma-mass spectrometer; ICP-  
2 MS)
- 3 3.25. อินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา ออปติคัล อิมิสชัน แมสสเปกโตรมิเตอร์ (inductively coupled plasma-optical  
4 emission spectrometer; ICP-OES)
- 5 3.26. เอกซเรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี (X-ray photoelectron spectroscopy; XPS)
- 6 3.27. เอกซเรย์สเปกโตรเมตรีแบบกระจายพลังงาน (energy dispersive X-ray spectrometry; EDS)

#### 7 4. การประเมินทางพิษวิทยา

- 8 4.1 วัตถุประสงค์ของการทดลองทางพิษวิทยา
- 9 เมื่อมีการนำวัสดุชนิดใหม่มาใช้ในทางการค้า จำเป็นต้องมีการประเมินความเสี่ยงก่อนล่วงหน้า ทั้งนี้ขึ้นกับ  
10 ธรรมชาติของวัสดุที่นำมาใช้ โดยจำเป็นต้องมีข้อมูลพิษวิทยา และนิเวศพิษวิทยาสำหรับประเมินแนวโน้ม  
11 ผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม
- 12 การทดลองทางพิษวิทยามีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินแนวโน้มผลกระทบจากการรับสัมผัสสารเคมี รวมทั้ง  
13 NOAA ต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ความเสี่ยงในการเกิดพิษของสาร คือ ความสามารถของสารในการ  
14 ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และมักเป็นผลมาจากสมบัติที่เป็นอันตรายของสารร่วมกับการรับสัมผัสกับ  
15 สารนั้น การออกแบบการศึกษาทดลองทางพิษวิทยาที่เหมาะสมนั้นเป็นประโยชน์ในการช่วยลดค่าความไม่  
16 แน่นนอนในผลการวัดได้ โดยเป้าหมายหลักในการทดลองทางพิษวิทยา คือ การได้มาซึ่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือซึ่ง  
17 เกี่ยวข้องกับข้อมูล ดังต่อไปนี้
- 18 — การตอบสนองต่อปริมาณ (dose-response)
  - 19 — ความแตกต่างใด ๆ ในการตอบสนองที่เกิดขึ้นจาก สมบัติเฉพาะตัวของสาร
  - 20 — ความแตกต่างใด ๆ ในการตอบสนองที่เกิดขึ้นจาก ช่องทางการรับสัมผัสที่แตกต่าง
  - 21 — ชนิด และความรุนแรงของผลกระทบอันไม่พึงประสงค์
  - 22 — รูปแบบ และกลไกการออกฤทธิ์ ซึ่งรวมถึงกระบวนการทางชีวเคมีของเซลล์
  - 23 — ช่วงเวลาใด ๆ ที่สิ่งมีชีวิตมีความไวต่อการรับสัมผัส (เช่น ช่วงการพัฒนาของตัวอ่อน)
  - 24 — การก่อมะเร็ง (carcinogenicity) การก่อกลายพันธุ์ (mutagenicity) และการเกิดทารกวิรูป (teratogenicity)
  - 25 — ระยะเวลาการตอบสนอง
  - 26 — การใช้ตัวอย่างควบคุม
- 27 4.2 ความสำคัญของการทดลองทางพิษวิทยา ต่อการประเมินความเสี่ยง
- 28 การทดลองทางพิษวิทยามีความสำคัญ เนื่องจากสามารถให้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินความเสี่ยง และ  
29 ข้อมูลที่ได้จากการประเมินความเสี่ยงนั้นสามารถนำไปใช้ในการรวบรวมข้อมูลอื่น ๆ ต่อไป เช่น ค่าขีดจำกัด

1 สารเคมีที่สัมผัสได้ในสถานที่ทำงาน ในที่สาธารณะ หรือ สำหรับผู้บริโภค ข้อเสนอแนะสำหรับอุปกรณ์  
2 คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล และเอกสารสื่อสารความเป็นอันตรายของสารเคมี  
3 การประเมินความเสี่ยงสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ตามมอก. 2535-2555 ดังนี้

4 4.2.1. การระบุว่าเป็นสารเคมีอันตราย (hazard identification)

5 การชี้บ่งอันตรายเป็นขั้นตอนแรกในการประเมินความเสี่ยง และเป็นกระบวนการในการกำหนดว่า  
6 สารเคมีนั้นมีความเป็นพิษหรือไม่ รูปแบบของข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ซึ่งนิยมใช้ในขั้นตอนนี้ ได้แก่  
7 การศึกษาในสัตว์ทดลอง (in vivo study) การศึกษาในหลอดทดลอง (in vitro study) ข้อมูลทางระบาด  
8 วิทยา และข้อมูลทางคลินิกของมนุษย์ การศึกษาทดลองที่มีการดำเนินการที่ตีความใช้วิธีการทาง  
9 วิทยาศาสตร์ เช่น การออกแบบการทดลองที่ทดสอบความเป็นพิษของวัสดุต้องเป็นการทดลองที่ทวนซ้ำ  
10 ได้ (repeatable) และทำซ้ำได้ (reproducible) และเพื่อช่วยให้บรรลุเป้าหมายนี้แนะนำให้ใช้วิธีการ  
11 ทดสอบมาตรฐานทางพิษวิทยา

12 แนวคิดทางด้านวิทยาศาสตร์ และจริยธรรมในปัจจุบัน ได้นำมาซึ่งความพยายามในการเปลี่ยนแปลง  
13 รูปแบบการศึกษาจากเดิมที่ทำในสัตว์ทดลอง นำไปสู่การศึกษาในหลอดทดลอง ซึ่งรวมถึงการศึกษาใน  
14 สิ่งมีชีวิตอย่างง่าย เช่น แบคทีเรีย เซลล์เพาะเลี้ยง หรือชิ้นเนื้อเยื่อ และการศึกษาด้วยแบบจำลอง  
15 คอมพิวเตอร์แทนในกรณีที่สามารถทำได้ การศึกษาด้วยแนวทางดังกล่าวช่วยจำกัดปริมาณการใช้  
16 สัตว์ทดลอง และทำให้ได้รับข้อมูลกลไก เช่น กลไกทางชีวเคมี เช่น การศึกษาในหลอดทดลองเพื่อ  
17 ตรวจสอบกลไกการทำงานเมื่อสารเคมีจับกับตัวรับบนเยื่อหุ้มผนังเซลล์ และกระตุ้นให้สารพิษเกิด  
18 อันตรกิริยากับองค์ประกอบเซลล์ได้อย่างไร นอกจากนี้ผลที่ได้จากการศึกษาในหลอดทดลองอาจมี  
19 ความเชื่อมโยงกับการออกแบบการศึกษาในสัตว์ทดลองได้

20 4.2.2. การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพ หรือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีอันตรายที่ได้รับและการ  
21 ตอบสนอง (dose-response / concentration-effect assessment)

22 เป็นขั้นตอนที่ 2 ของการประเมิน และเป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีอันตราย  
23 ที่ได้รับและการตอบสนองของระบบทดสอบ ซึ่งพิจารณาถึง ความแข็งแรง อายุ เพศ ความไว ขนาด  
24 ความเป็นเอกลักษณ์ ความหลากหลาย และปัจจัยเพิ่มเติมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับประชากรที่รับสัมผัส  
25 รวมทั้งปริมาณ ช่วงเวลา ความถี่ และช่องทางการรับสัมผัส ในกรณีของการศึกษาผลกระทบต่อ  
26 สิ่งแวดล้อมควรพิจารณาถึงธรรมชาติและพฤติกรรมของวัสดุในสิ่งแวดล้อมด้วย การทดสอบทาง  
27 พิษวิทยาต่อสุขภาพมนุษย์สำหรับการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารเคมีอันตรายที่ได้รับนั้น  
28 สามารถแบ่งได้เป็นการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) เรื้อรัง (chronic toxicity) หรือ  
29 กึ่งเรื้อรัง (subchronic toxicity)

30 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน: เป็นการทดสอบโดยใช้การรับสัมผัสสารในปริมาณที่สูงและ  
31 ช่วงเวลาสั้น (ระยะเวลาหลายชั่วโมง หรือหลายวัน)

1 การทดสอบความเป็นพิษเรื้อรัง: เป็นการทดสอบโดยใช้การรับสัมผัสสารในปริมาณที่ต่ำและ  
 2 มีระยะเวลาการรับสัมผัสที่ยาวนาน (ปี หรือหลายปี) เพื่อดู  
 3 ผลกระทบบางชนิดที่อาจมีความสัมพันธ์กับความยาวนาน  
 4 ของระยะเวลาการรับสัมผัส เช่น โรครื้อรังบางชนิดเกิดจาก  
 5 การรับสัมผัสกับสารซ้ำ ๆ เป็นระยะเวลานาน เช่น มะเร็ง  
 6 การทดสอบความเป็นพิษเรื้อรังกึ่งเรื้อรัง: เป็นการทดสอบโดยใช้การรับสัมผัสสารในช่วงระยะเวลาที่  
 7 สั้นกว่าแบบเรื้อรัง เช่น การทดสอบฤทธิ์แบบ 90 d

8 4.2.3. การประเมินการรับสัมผัส (exposure assessment)  
 9 เป็นขั้นตอนที่ 3 ของการประเมิน และเกี่ยวข้องกับการวัดหรือการประเมินค่าความเข้มข้น ความถี่ และ  
 10 ระยะเวลาที่บุคคลหรือสิ่งแวดล้อมรับสัมผัสกับสาร หรือคาดการณ์จากสมมติฐานของการรับสัมผัสที่  
 11 อาจเกิดขึ้นจากการปลดปล่อยสารไปสู่สิ่งแวดล้อม การประเมินการรับสัมผัสของ NOAAs คาดว่าอาจมี  
 12 ความซับซ้อน เช่น เมื่อมีการผลิตวัสดุในโรงงานอุตสาหกรรม ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพนั้น ได้แก่  
 13 ช่องทางของการรับสัมผัส และระยะเวลาของการรับสัมผัสของพนักงาน ซึ่งในกรณีตัวอย่างนี้ ช่อง  
 14 ทางการรับสัมผัสสามารถเป็นทางการหายใจ หรือทางการสัมผัสผ่านผิวหนัง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการนำ  
 15 NOAA ไปใช้ในผลิตภัณฑ์ และมีการปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมแล้วนั้น คำถามที่เกิดขึ้นตามมา คือ  
 16 ควรตรวจวัดความเข้มข้น และระยะเวลาการรับสัมผัสของวัสดุชนิดใด หรือวัสดุรูปแบบใด เนื่องจาก  
 17 NOAAs อาจมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงการประเมิน  
 18 การรับสัมผัสของวัสดุที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยอย่างมีเหตุผล

19 4.2.4. การระบุลักษณะเฉพาะความเสี่ยง (risk characterization)  
 20 เป็นขั้นตอนที่ 4 และเป็นกระบวนการประเมินความน่าจะเป็นหรือโอกาสของผลกระทบที่อาจเกิดต่อ  
 21 สุขภาพ หรือต่อสิ่งแวดล้อม ภายใต้สภาวะการรับสัมผัสของมนุษย์ หรือ สิ่งแวดล้อมที่ได้อธิบายไว้ใน  
 22 ขั้นตอนที่ 3 ซึ่งทำได้โดยใช้ข้อมูลที่จัดทำในขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนที่ 4 แสดงให้เห็นได้ว่าการ  
 23 ทดสอบทางพิษวิทยาเป็นองค์ประกอบพื้นฐานในการระบุลักษณะเฉพาะความเสี่ยง ทั้งนี้การระบุ  
 24 ลักษณะเฉพาะความเสี่ยง NOAAs มีความคล้ายคลึงกับกรณีของวัสดุขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถใช้คาดการณ์  
 25 ความเสี่ยงประเภทที่ก่อให้เกิดมะเร็งและไม่ก่อให้เกิดมะเร็งได้

## 26 5. สมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุ

27 5.1 ความสำคัญของสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีต่อการประเมินทางพิษวิทยา  
 28 ศักยภาพของ NOAAs ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมทั้งด้านบวกและด้านลบ มีความสัมพันธ์กับ  
 29 สมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนั้น ๆ รวมถึงสิ่งเจือปนของวัสดุด้วย ดังนั้นข้อมูลด้านฟิสิกส์-เคมีของ

- 1 NOAAs จึงเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของการทดลองทางพิษวิทยาที่ดีและสอดคล้องตามวิธีการทาง  
 2 วิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ข้อมูลทางฟิสิกส์-เคมีที่มีความถูกต้องยังช่วยให้นักวิทยาศาสตร์สามารถแสดง และ  
 3 อธิบายได้ว่า NOAAs ที่ทดสอบอยู่นั้นเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน และสามารถทำการทดสอบในแบบเดียวกัน  
 4 เพื่อให้ได้ผลการทดสอบทางพิษวิทยาที่สามารถทำการทดสอบซ้ำได้ (reproducibility)  
 5 ลักษณะทางฟิสิกส์-เคมีของ NOAAs อาจเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับใช้ในการประเมินความสัมพันธ์  
 6 ระหว่างปริมาณที่ได้รับและการตอบสนอง เช่น ปริมาณสารที่ใช้ทดสอบพิษวิทยาแบบดั้งเดิมนั้นแสดงเป็น  
 7 ค่ามวลของวัสดุ (ต่อมวล ต่อน้ำหนักตัว หรือต่อลิตรของน้ำ) แต่สำหรับ NOAAs อาจมีการใช้พื้นที่ผิว และ  
 8 จำนวนอนุภาค เป็นพารามิเตอร์เสริมด้วย
- 9 5.2 ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัตถุนาโน
- 10 ความหลากหลายของ NOAAs จากการผลิตทั้งในปัจจุบัน และในอนาคต สามารถส่งผลให้เกิดความแตกต่าง  
 11 ในองค์ประกอบของ NOAAs รวมทั้งความหลากหลายของ NOAAs สามารถเกิดจากความแตกต่างของ  
 12 NOAAs ชนิดเดียวกัน เช่น ความแตกต่างในด้านรูปร่าง ขนาด เคมีพื้นผิว ระดับการเกาะก้อนแบบหลวม  
 13 การแสดงลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีพื้นฐานของ NOAAs อาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญ  
 14 ต่อการประเมินทางพิษวิทยาของ NOAAs มีดังนี้
- 15 (1) ลักษณะเฉพาะทางกายภาพ (ลักษณะปรากฏของ NOAA)
- 16 — ขนาดอนุภาค / การกระจายตัวของขนาดอนุภาค
- 17 — การเกาะก้อนแบบแน่น/แบบหลวมของอนุภาคในตัวกลางที่เกี่ยวข้อง
- 18 — รูปร่าง ได้แก่ ความยาว ความกว้าง และสัดส่วนความยาวด้าน (สัดส่วนของด้านที่ยาวที่สุดต่อ  
 19 ด้านที่สั้นที่สุด) ของเส้นใย และอนุภาคยาว
- 20 — พื้นที่ผิว / พื้นที่ผิวจำเพาะ
- 21 (2) องค์ประกอบทางเคมี
- 22 — องค์ประกอบ
- 23 — ความบริสุทธิ์ รวมทั้งระดับสิ่งเจือปน
- 24 — เคมีพื้นผิว
- 25 (3) สมบัติภายนอก (การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง NOAA กับสิ่งแวดล้อมหรือตัวกลาง)
- 26 — ประจุพื้นผิว
- 27 — ความสามารถในการละลาย
- 28 — ความสามารถในการกระจายตัว
- 29 5.3 ความบริสุทธิ์ และสิ่งเจือปนของวัตถุนาโนทดสอบ

1 ความเข้าใจเชิงลึกในวัสดุที่นำมาทดสอบทางพิษวิทยาเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการประเมิน  
2 ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมี รวมทั้งความบริสุทธิ์ เนื่องจากสิ่งเจือปนอาจเป็นสาเหตุหลักของผลกระทบไม่  
3 พึงประสงค์

#### 4 5.3.1. ความบริสุทธิ์

5 การระบุว่าวัสดุมีความบริสุทธิ์นั้นสามารถทำได้เมื่อวัสดุนั้น ๆ มีสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีสอดคล้องกับที่  
6 จัดทำหรือบันทึกไว้ในข้อกำหนด เอกสารสืบค้น หรือเอกสารอื่น ๆ ตามที่กำหนด โดยทั่วไปความ  
7 บริสุทธิ์คือส่วนของวัสดุที่บริสุทธิ์ในบรรจุภัณฑ์ และมีการแสดงองค์ประกอบของวัสดุไว้โดยผู้ผลิต  
8 เช่น ความบริสุทธิ์ ณ เวลาที่ทำการบรรจุ การให้ความสำคัญกับการใช้ตัวอย่างบริสุทธิ์ของวัสดุที่สนใจ  
9 ช่วยให้เกิดความเข้าใจผลกระทบทางพิษวิทยาของวัสดุนั้น ๆ ได้ดีขึ้น และหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนที่  
10 เกิดจากสิ่งเจือปน อย่างไรก็ตาม การทดสอบพิษวิทยาเชิงกฎหมาย ควรทำกับวัสดุที่มีสูตรเดียวกับที่ใช้  
11 ในทางการค้า ซึ่งอาจทราบหรือไม่ทราบชนิดของสิ่งเจือปนก็ตาม แนวความคิดดังกล่าวเหมาะสมกับการ  
12 ทดสอบวัสดุในกลุ่ม NOAAs

#### 13 5.3.2. สิ่งเจือปน

14 สิ่งเจือปนเป็นองค์ประกอบที่ปรากฏอยู่โดยไม่ตั้งใจในวัตถุนาโนที่ผลิตขึ้น สิ่งเจือปนอาจมาจากวัตถุดิบ  
15 ที่ใช้ หรือเป็นผลจากปฏิกิริยาทุติยภูมิ หรือผลจากการทำปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ในระหว่างกระบวนการ  
16 ผลิต หรือเป็นผลมาจากการปนเปื้อนก่อน ระหว่าง หรือหลังกระบวนการผลิต ในด้านพิษวิทยานั้น  
17 สิ่งเจือปนเหล่านี้มีความสำคัญหากพบในปริมาณที่สามารถส่งผลกระทบด้านพิษวิทยา และหรือ นิเวศ  
18 พิษวิทยาอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่ทำได้ ต้องมีการระบุทางเคมีของสิ่งเจือปน และความเข้มข้นสูงสุด  
19 ของสิ่งเจือปนที่อนุญาตให้มีได้ลงในข้อกำหนดลักษณะเฉพาะของวัสดุ อย่างไรก็ตามแม้มีการตั้ง  
20 ข้อกำหนดก็จำเป็นต้องวิเคราะห์รายละเอียดเพื่อหาองค์ประกอบที่แน่นอนของตัวอย่างที่ใช้ในการ  
21 ทดสอบพิษวิทยา โดยสามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนดขอบเขตของการ  
22 วิเคราะห์สิ่งเจือปน เช่น ถ้ามีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะในกระบวนการผลิตวัสดุนาโน ข้อมูลนี้สามารถ  
23 บอกให้นักวิจัยทราบถึงสิ่งเจือปนในผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่อาจพบ และในกรณีที่มีการใช้สารเพิ่มความ  
24 เสถียรใด ๆ ในวัสดุนาโนสุดท้ายควรต้องมีการระบุรายละเอียดดังกล่าวด้วย

#### 25 5.4 ช่วงเวลาสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมี

26 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของ NOAA ที่ได้จากผู้ผลิตทางการค้าเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากข้อมูล  
27 ดังกล่าวจัดทำขึ้นเพื่อให้เหมาะสมต่อคุณลักษณะเฉพาะในการใช้งาน และแปรรูปของลูกค้า มากกว่า  
28 การทดสอบทางพิษวิทยา การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีต่างหากก่อนการทดสอบพิษวิทยาทำให้  
29 แน่ใจว่าผลลัพธ์ที่ได้สัมพันธ์กับวัสดุที่ใช้ในการทดสอบทางพิษวิทยา การพิจารณาว่าเมื่อใดควรทำ  
30 การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ



คำศัพท์ที่ใช้สำหรับอธิบาย จุดเวลา ที่สามารถดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะได้ มีดังนี้

(1) “แรกรับ” คือ วัสดุถูกนำออกจากบรรจุภัณฑ์

(2) “พร้อมทดสอบ” คือ วัสดุที่ผ่านการเตรียมพร้อมนำเข้าสู่ระบบทดสอบทั้งในหลอดทดลองหรือใน  
สัตว์ทดลอง

(3) “ในระบบทดสอบ” คือ การวิเคราะห์เมื่อวัสดุอยู่ในระบบทดสอบทางพิษวิทยา

ประโยชน์ของการทดสอบเมื่อ “แรกรับ” คือ สามารถชี้บ่งวัตถุนาโนในจุดที่มีสภาพปกติ จดจำได้ และมี  
เอกสารประกอบ และจะยังเป็นประโยชน์มากขึ้น หากสามารถนำข้อมูลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทาง  
ฟิสิกส์-เคมีเมื่อ “แรกรับ” ผสมเข้ากับรายละเอียดและเอกสารอธิบายวัสดุ “พร้อมทดสอบ” มาใช้ร่วมกัน

ในเอกสารทุกฉบับที่เกี่ยวข้องควรมีการระบุข้อมูลของวิธีการชักตัวอย่างจากภาชนะ วิธีการจัดการกับวัสดุ  
จนกระทั่งถึงการเตรียมวัสดุ และวิธีการเตรียมวัสดุสำหรับนำเข้าสู่ระบบทดสอบ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง  
อาจส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลง NOAA อย่างมีนัยสำคัญจึงจำเป็นต้องมีการบันทึกข้อมูลเหล่านี้ไว้เพื่อให้เข้าใจ  
ถึงปัจจัยที่อาจส่งผลทางพิษวิทยาของวัสดุ

ถึงแม้ว่า การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีเมื่อ “แรกรับ” มีความสำคัญในลำดับต้น แต่  
การวิเคราะห์นี้กลับไม่สามารถให้ข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เพียงพอ เช่น การเกาะก้อนแบบแน่น/แบบหลวม  
ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อวัสดุสัมผัสกับตัวกลางที่เหมาะสมกับการทดสอบทาง  
พิษวิทยา ดังนั้นการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ “พร้อมทดสอบ” จึงมีความสำคัญที่ควรดำเนินการเช่นกัน

การเปิดหีบห่อของวัสดุทดสอบควรดำเนินการด้วยความระมัดระวัง เช่น เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีวัสดุ  
แปลกปลอมปนลงในวัสดุระหว่างการจัดการและขนส่งสินค้า ผู้ส่งสินค้าควรแสดงการรับรองความสมบูรณ์  
ของพัสดุเมื่อส่งมอบ และพัสดุที่มีร่องรอยของการเปิดหรือชำรุดต้องปิดผนึกและส่งคืนไปยังผู้ผลิต

ผู้ใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ควรตระหนักว่าอาจมีจุดเวลาอื่น ๆ ที่ควรวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทาง  
ฟิสิกส์-เคมี เช่น เมื่อวัสดุทดสอบอยู่ “ในระบบทดสอบ” ซึ่งอาจให้ข้อมูลที่มีค่าเกี่ยวกับกลไกการออกฤทธิ์ทั้ง  
ในระดับเซลล์และระดับโมเลกุล

การพิจารณากำหนดจุดเวลาสำหรับการวิเคราะห์ กรณีที่มีการปล่อยวัสดุออกสู่สิ่งแวดล้อมอาจมี  
ความซับซ้อนมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลง  
ตลอดวัฏจักรชีวิตของวัสดุนั้น ๆ การประเมินพารามิเตอร์ด้านฟิสิกส์-เคมีหลังการเก็บรักษาอาจให้ข้อมูล  
เกี่ยวกับความคงตัวของวัสดุทดสอบเมื่อเวลาผ่านไปได้ และช่วยให้อุ่นใจได้ว่าการทดลองที่สามารถให้  
ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ได้อย่างแท้จริง

## 5.5 ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการประเมินวัสดุ

### 5.5.1. ปัจจัยรบกวน

ปัจจัยรบกวน เกี่ยวข้องกับ ค่าผิดพลาดในการแปรผลของการ วัดที่พิจารณาแล้วว่าถูกต้อง หากมีการนำ  
NOAA (ตัวแปรอิสระ) มาทดสอบหาโอกาสของผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ (ตัวแปรตาม) ผลการวัดที่

1 ได้ควรมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตัวแปรอิสระ และต้องมั่นใจว่าผลที่วัดได้เกิดจากตัวแปรอิสระเท่านั้น  
 2 ไม่ได้เกิดจาก ระบบทดสอบ อุปกรณ์ หรือสิ่งเจือปน หากผลการวัดที่ได้เกิดจากสิ่งอื่น ๆ แสดงว่ามีความ  
 3 เอนเอียงหรือปัจจัยรบกวนเกิดขึ้น

4 ปัจจัยรบกวนสามารถส่งผลในเชิงบวก หรือ เชิงลบกับค่าการวัด ทำให้ค่าการวัดของตัวแปรตามอาจ  
 5 สูงกว่า หรือต่ำกว่าค่าที่แท้จริง เช่น ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ CNT ในหลอดทดลองพบว่า  
 6 ผลการวัดชุดเดียวกันให้ค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีโลหะเจือปนอยู่ใน CNT จากกระบวนการผลิต ซึ่ง  
 7 ในตัวอย่างนี้ หากไม่ได้มีการพิจารณาและกล่าวถึงโอกาสของปัจจัยรบกวน อาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาด  
 8 ในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับ CNT บริสุทธิ์ ในทางกลับกัน หากมีความเข้าใจว่า NOAAs ที่อยู่ใน  
 9 สภาพแวดล้อมควบคุม เช่น ในสถานะการทดสอบในหลอดทดลอง NOAAs อาจเกิดเป็นอนุภาคเกาะ  
 10 ก้อนแบบหลวม และสูญเสียสมบัติเฉพาะในการเคลื่อนที่ ทั้งที่ในความเป็นจริง พื้นผิวของ NOAAs อาจ  
 11 มีโมเลกุลสารอินทรีย์ หรือ โมเลกุลอื่น ๆ สะสมอยู่ และป้องกันการเกิดเป็นอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม  
 12 และยังมีปัจจัยรบกวนอื่น ๆ อีกมากมายที่อาจเกิดขึ้น การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของ  
 13 NOAAs อย่างครบถ้วนจึงสามารถช่วยชี้บ่งปัจจัยรบกวนที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้

#### 14 5.5.2. ความแปรผันระหว่างชุดการผลิต

15 การทำให้สูตรผสม NOAA มีความสม่ำเสมอระหว่างชุดการผลิตเป็นสิ่งท้าทายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์  
 16 สูตรผสมที่มีวัตถุดิบเป็นองค์ประกอบพื้นฐานอาจมีความซับซ้อน และแม้แต่ตัวอย่างวัตถุดิบที่มี  
 17 ความบริสุทธิ์สูงยังสามารถมีความไม่สม่ำเสมอในด้านของขนาด และองค์ประกอบในกรณีที่มีส่วนผสม  
 18 ของสารเคมีที่มีความซับซ้อน บ่อยครั้งที่การวิเคราะห์ NOAA ไม่สามารถทำได้อย่างจำเพาะ เนื่องจากมี  
 19 สารอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบร่วมซึ่งส่งผลต่อลักษณะเฉพาะของ NOAA

20 ความซับซ้อนขององค์ประกอบที่เกิดขึ้น ทำให้ NOAAs เกิดความผันแปรระหว่างชุดการผลิตสูงหากไม่  
 21 ควบคุมกระบวนการผลิตด้วยระบบ ISO 9000 หรือ GMP ความผันแปรนี้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ  
 22 ผลการศึกษาในหลอดทดลอง และในสัตว์ทดลองเมื่อใช้วัสดุที่ได้ชุดการผลิตที่แตกต่าง นอกจากนี้  
 23 ความผันแปรเพียงเล็กน้อยของเคมีพื้นผิว การเคลือบ การสังเคราะห์ หรือสูตรผสมของ NOAA สามารถ  
 24 ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความปลอดภัยและความเป็นพิษ การวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์-เคมีเพื่อ  
 25 ทวนสอบอีกครั้งสามารถช่วยชี้บ่งได้ว่าวัสดุจากชุดการผลิตที่ต่างกันมีความแตกต่างกันหรือไม่  
 26 จึงแนะนำให้มีการทดสอบวัสดุที่มาจากชุดการผลิตที่แตกต่างกันด้วย

## 27 6. พารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีก่อนการประเมินทางพิษวิทยา

1 รายละเอียดในหัวข้อนี้ เป็นส่วนที่ให้รายละเอียดของพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทาง  
 2 ฟิสิกส์-เคมีของวัตถุนานก่อนการประเมินทางพิษวิทยา ซึ่งประกอบด้วย ข้อบ่งชี้ คำอธิบาย ความสัมพันธ์  
 3 และปริมาณที่ถูกวัด

- 4 — ข้อบ่งชี้ คือ คำ หรือวลีสั้นที่ใช้บ่งชี้พารามิเตอร์
- 5 — คำอธิบาย ให้ไว้เพื่ออธิบายรายละเอียดพารามิเตอร์เพิ่มเติม
- 6 — ความสัมพันธ์ คือ นัยสำคัญทางพิษวิทยาของพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์-เคมี ซึ่งเป็นปัจจุบันและมี  
 7 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในมาตรฐานอุตสาหกรรมนี้กล่าวถึง  
 8 ความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจไม่  
 9 สามารถอ้างอิงความสัมพันธ์ทางพิษวิทยาได้
- 10 — ปริมาณที่ถูกวัด คือ สิ่งที่วัดเพื่อประเมินค่าเชิงปริมาณของพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์-เคมี

11 **หมายเหตุ 1** แผนภาพแสดงการใช้ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีในการทดสอบทางพิษวิทยาซึ่งแสดงไว้ใน  
 12 ภาคผนวก ก. มีไว้สำหรับใช้เป็นแนวทางในการเลือกพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์-เคมีที่สัมพันธ์กับการ  
 13 บ่งชี้วัสดุ และพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์-เคมีที่สามารถช่วยในการตีความผลการทดสอบทางพิษวิทยา

14 **หมายเหตุ 2** ตัวอย่างวิธีการวัดและมาตรฐานซึ่ง แสดงไว้ในภาคผนวก ข. มีไว้เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานตระหนักถึง  
 15 จำนวนวิธีการที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันสำหรับการประเมินปริมาณที่ถูกวัดที่เกี่ยวข้อง

16 6.1 ขนาดอนุภาค และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

17 6.1.1. ข้อบ่งชี้  
 18 มิติทางกายภาพของอนุภาค และสำหรับกลุ่มของอนุภาคให้ใช้การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซึ่ง  
 19 วิเคราะห์ภายใต้สภาวะของการวัดที่กำหนด

20 6.1.2. คำอธิบาย  
 21 การกระจายตัวของขนาด หมายถึง กลุ่มของอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยมาก NOAAs ที่สังเคราะห์  
 22 ได้นั้นไม่ได้มีเพียงขนาดเดียว แต่มีอนุภาคหลายขนาดปะปนกันอยู่ในกรณีที่กระบวนการสังเคราะห์ให้  
 23 NOAA ที่มีขนาดแตกต่างกันน้อย การกระจายตัวของขนาดย่อมแคบ แต่หากกระบวนการสังเคราะห์ให้  
 24 อนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันมาก การกระจายตัวของขนาดย่อมกว้าง เมื่อกลุ่มของอนุภาคมีความแตกต่าง  
 25 ของขนาดควรแสดงค่าของขนาดในรูปของค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

26 **หมายเหตุ** กระบวนการเตรียมตัวอย่างมักก่อให้เกิดสิ่งปลอมปนซึ่งสามารถส่งผลต่อขนาดอนุภาค และหรือ  
 27 การกระจายตัวของขนาดอนุภาค

28 6.1.3. ความสัมพันธ์  
 29 สภาวะที่ใช้ในการวัดขนาดอาจส่งผลต่อขนาดของอนุภาคเดี่ยวของวัสดุนั้น หรืออาจส่งผลต่อการเกาะ  
 30 ก้อนแบบหลวม การกระจายออกจากก้อนหลวม การเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาค และการละลายของ  
 31 อนุภาค เช่น ขนาดของอนุภาคนานาในบางชนิดอาจเปลี่ยนไป อันเป็นผลมาจากการสูญเสียในสภาวะ

1            สุญญากาศที่ใช้ในการวัดขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การวัดขนาดอนุภาคโดยทั่วไปสามารถ  
2            ทำได้โดยอาศัยปรากฏการณ์ทางด้านฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกับขนาดอนุภาคที่ต้องการวัด เช่น  
3            การอาศัยปรากฏการณ์อัตราเร็วการแพร่ในของเหลว หรือ การเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าในของเหลวหรือใน  
4            แก๊ส ซึ่งผลที่เกิดจากโครงสร้างทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันของอนุภาค ทำให้อนุภาคมีปฏิสัมพันธ์  
5            กับสิ่งแวดล้อมโดยรอบในรูปแบบที่จำเพาะ อย่างไรก็ตาม ขนาดอนุภาคที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคที่  
6            แตกต่างกันอาจให้ผลที่ต่างกันด้วย เนื่องจากพฤติกรรมของอนุภาคที่เหมาะสมต่อการวัดอาจเกิดขึ้นในช่วงใด  
7            ช่วงหนึ่งของอนุภาคเท่านั้น

8            **หมายเหตุ** กล้องจุลทรรศน์สามารถนำมาใช้วัดขนาดของแต่ละอนุภาคได้ และการใช้กล้องจุลทรรศน์นั้น  
9            ไม่ได้อาศัยการวัดสมบัติทางฟิสิกส์เหมือนเทคนิคการกระเจิงของแสง หรือการตกตะกอน

10           การประเมินผลกระทบต่อ EHS นั้นจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับระบบของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีความซับซ้อน และ  
11           อาจนำมาซึ่งความซับซ้อนในการประเมินสมบัติของวัสดุด้วย การประเมินความสัมพันธ์ระหว่าง  
12           การเปลี่ยนแปลงของขนาดต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านอื่น ๆ อาจนำมาซึ่งสมการความสัมพันธ์  
13           ทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงได้ ระบบสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไปมีน้ำอังก์ประกอบ  
14           ซึ่งอาจส่งผลให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่อาจมีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ส่งผลให้มีการกระจายตัวของ  
15           อนุภาคได้ดี สารที่ละลายในระบบสิ่งมีชีวิตอาจยึดเกาะหรือดูดซับเข้าไปในวัสดุส่งผลต่อขนาดอนุภาค  
16           และการตอบสนองทางชีวภาพที่ตามมา ดังนั้นการวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ NOAA ควรทำที่สภาวะ  
17           เดียวกันกับที่ใช้ในการทดสอบทางพิษวิทยา สำหรับข้อมูลความสัมพันธ์ของขนาดที่จำเพาะต่อความเป็น  
18           พิษของวัสดุ แสดงไว้ใน หัวข้อ พื้นที่ผิว

19           **หมายเหตุ** การวิเคราะห์ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดอนุภาค มีความสำคัญอย่างมากต่อการประเมินผล  
20           กระทบของขนาดต่อความเป็นพิษ

#### 21   6.1.4. ปริมาณที่ถูกวัด

22           — ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลมสมมูล ใช้กับอนุภาคที่มีรูปทรงเรขาคณิตทั่วไป

23           หน่วย [เมตร]

24           — ความยาวด้านของอนุภาค

25           หน่วย [เมตร]

26           — ชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย การกระจายตัวของขนาดอนุภาค จำนวนฟีด และความกว้างของการ  
27           กระจายตัว (นิยมแสดงเป็นฮิสโทแกรมที่แสดงจำนวนอนุภาคในแต่ละกลุ่มของขนาด ซึ่งอาจแสดง  
28           เป็นจำนวนอนุภาค หรือความยาวสะสม พื้นที่ผิวสะสม หรือปริมาตรสะสมของอนุภาคเหล่านี้ หรือ  
29           ความเข้มของสัญญาณที่เกิดจากอนุภาค)

#### 30   6.2   สถานะการเกาะก้อนแบบแน่น / แบบหลวมในตัวกลางที่เกี่ยวข้อง

- 1 6.2.1. อนุภาคเกาะก๊อแนแบบแนแน
- 2 6.2.1.1. ฌ็อบังฌ็
- 3 อนุภาคที่ฌ็ดหรือหลอมรวมกัน ฌ็งสงผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะภายนอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบ
- 4 กับผลรวมของพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคปฐมภูมิ
- 5 6.2.1.2. ค้ำอธิบาย
- 6 แรงแฌ็ดอนุภาคเกาะก๊อแนแบบแนแนเข้าไว้ด้วยกันเป็นแรงแฌ็มีความแข็งแรง เช่น พ้นชะ โคเวเลนต
- 7 หรือผลจากการเผาฌ็ก หรือ การพัวพันทางกายภาพของอนุภาคอย่างฌ็บฌ็อน อนุภาคเกาะก๊อแน
- 8 เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคทุติยภูมิ” และอนุภาคเริ่มต่นก๊อแนเป็นก๊อแนเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า
- 9 “อนุภาคปฐมภูมิ”
- 10 6.2.1.3. ความสัมพันธ์
- 11 ความเข้าใจที่เกดขึ้นในปัจจุบัน คือ อนุภาคทุติยภูมิที่เกดจากการเกาะก๊อแนแบบแนแนหรือแบบหลวม
- 12 นั้นมีขนาดใหญขึ้น ฌ็งอาจสงผลต่อการรับสัมผัส ดังนั้น หากวัตตุนาโนเกาะเป็นก๊อแนแนแน โอกาส
- 13 การรับสัมผัสย่อมมีความสัมพันธ์ต่อขนาดของอนุภาคเกาะก๊อแนแบบแนแนมากกว่าขนาดของ
- 14 อนุภาคปฐมภูมิ หรือวัตตุนาโน จึงควรวให้ความสนใจกับอนุภาคเกาะก๊อแนแบบแนแนในการทดสอบ
- 15 ทางพิษวิทยา และขนาดของอนุภาคเกาะก๊อแนแบบแนแนยอมเป็นต้วที่สงผลต่อ ADME
- 16 6.2.1.4. ปริมาณที่ถูกวัด
- 17 — ขนาดอนุภาค
- 18 หน่วย [เมตร]
- 19 — จำนวนอนุภาคเกาะก๊อแนแบบแนแนต่อจำนวนของอนุภาคปฐมภูมิทั้งหมด
- 20 หน่วย [จำนวน/ จำนวน]
- 21 — จำนวนอนุภาคปฐมภูมิต่อจำนวนอนุภาคเกาะก๊อแนแบบแนแน
- 22 หน่วย [จำนวน/จำนวน]
- 23 — การกระจายต้วของจำนวนของอนุภาคปฐมภูมิต่อจำนวนอนุภาคเกาะก๊อแนแบบแนแน
- 24 **หมายเหตุ** ปริมาณที่ถูกวัดที่แตกต่างกันสำหรับพารามิเตอร์นี้ไม่สามารถเทียบเท่าได้เสมอไป
- 25 6.2.2. อนุภาคเกาะก๊อแนแบบหลวม
- 26 6.2.2.1. ฌ็อบังฌ็
- 27 กลุ่มของอนุภาค หรือ กลุ่มของอนุภาคเกาะก๊อแนแบบแนแน หรือส่วนผสมของอนุภาคทั้งสองชนิด ที่
- 28 เกาะกันด้วยแรงแบบอ่อน ๆ และสงผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะภายนอกไม่แตกต่างไปจากผลรวมพื้นที่
- 29 ผิวจำเพาะของแต่ละอนุภาคทั้งหมดรวมกัน
- 30 6.2.2.2. ค้ำอธิบาย

1 แรงแยงชนิดเหนียวที่เชื่อมยึดอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมเข้าด้วยกันเป็นแรงแบบอ่อน เช่น แรงแยง  
 2 แวนเดอร์วาลส์ หรือ การพัวพันทางกายภาพของอนุภาคอย่างง่าย สถานะของการเกาะก้อน  
 3 แบบหลวมเป็นคำอธิบายกลุ่มอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม ณ เวลาหนึ่ง ๆ และการเปลี่ยนแปลง  
 4 สถานะของการเกาะก้อนแบบหลวมเป็นตัวชี้บ่งความสมดุลภายใต้การเปลี่ยนแปลงของเวลา และ  
 5 สภาพแวดล้อม ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนของอนุภาคปฐมภูมิที่ยึดเกาะกันอยู่

### 6 6.2.2.3. ความสัมพันธ์

7 อนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคทุติยภูมิ” และอนุภาคเริ่มต้นก่อนเกาะเป็น  
 8 ก้อน เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “อนุภาคปฐมภูมิ” หรือ “อนุภาคทุติยภูมิ” ขึ้นอยู่กับสถานะการเกาะเป็น  
 9 ก้อนแบบแน่นของอนุภาคเกาะก้อนแบบแน่น การจัดการที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและที่เกิดขึ้นใน  
 10 ระบบสิ่งมีชีวิตที่ส่งผลต่อขนาดอนุภาคนั้นมีความสัมพันธ์ต่อการทดสอบทางพิษวิทยา อนุภาคที่  
 11 เกาะเป็นก้อนแบบหลวมด้วยแรงแบบอ่อนมักหลุดเป็นอนุภาคเดี่ยวได้ง่ายกว่าอนุภาคที่เกาะเป็น  
 12 ก้อนแบบแน่นด้วยพันธะที่แข็งแรง ซึ่งหมายความว่าอนุภาคที่ใช้ทดสอบทางพิษวิทยาอาจมี  
 13 ความแตกต่างกันอย่างมากจากตัวอย่าง “แรกจับ” นอกจากนี้ อนุภาคที่หลุดออกจากการเกาะเป็น  
 14 ก้อนแบบหลวมอาจเกิดเป็นอนุภาคเกาะก้อนแบบแน่น อนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมที่มีขนาดเล็ก  
 15 ลง และอนุภาคปฐมภูมิ ด้วยเหตุนี้ทำให้มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคในตัวอย่างกลางทาง  
 16 ชีวภาพที่เกี่ยวข้อง เช่น เลือด ซีรัม หรืออาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ ณ  
 17 จุดเวลา “พร้อมทดสอบ” เพื่อเปรียบเทียบกับจุดเวลา “แรกจับ” โดยตัวอย่างที่แสดงถึงการที่  
 18 อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นของตัวอย่าง ณ จุด “พร้อมทดสอบ” แสดงไว้ในข้อ 6.8.2 (ความสามารถใน  
 19 การกระจายตัว) นอกจากนี้ยังมีการให้ข้อสันนิษฐานถึงความเป็นไปได้ที่อนุภาคอาจมีขนาดเล็กกลง  
 20 เมื่ออยู่ “ในระบบทดสอบ” ซึ่งยังคงเป็นประเด็นโต้เถียงกันในการศึกษาเกี่ยวกับมาตรวัด  
 21 ความเข้มข้นของการรับสัมผัสทางการหายใจ

22 เมื่อไม่นานมานี้ มีผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับ การเปลี่ยนแปลงขนาดและมวลของอนุภาค  
 23 ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกาะก้อนแบบหลวมที่เกิดจากเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียและเคลื่อนที่เข้าสู่  
 24 สิ่งแวดล้อมผ่านทางแบคทีเรีย โดยทั่วไปผู้ทำการศึกษาควรวัดขนาดของอนุภาคเพื่อให้แน่ใจว่ามี  
 25 การเกิดขึ้นของอนุภาคทุติยภูมิหรือไม่ หากมีอนุภาคทุติยภูมิจริง ผู้นำอนุภาคไปศึกษาควรมี  
 26 การตรวจสอบผลกระทบที่เกิดจากแรงเฉือน แรงสั่นสะเทือนจากเสียง และหรือการจัดการใด ๆ  
 27 ที่ส่งผลต่อขนาดอนุภาค เพื่อให้สามารถคาดคะเนปฏิสัมพันธ์ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างขนาดของ  
 28 อนุภาค ณ จุด “พร้อมทดสอบ” กับขนาดช่องว่างภายในของสิ่งมีชีวิตที่สามารถรับอนุภาคเข้าไป  
 29 ได้ การเกิดรูพรุนที่ผิวของโครงสร้าง เช่น เยื่อหุ้มเซลล์ (fenestration) และการกลืนกินอนุภาคเข้าสู่  
 30 เซลล์ (engulfment)

- 1 6.2.2.4. ปริมาณที่ถูกวัด
- 2 — จำนวนอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมต่อจำนวนอนุภาคปฐมภูมิทั้งหมด
- 3 หน่วย [จำนวน/จำนวน]
- 4 — จำนวนของอนุภาคปฐมภูมิในอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม
- 5 หน่วย [จำนวน/จำนวน]
- 6 — การกระจายตัวของจำนวนอนุภาคปฐมภูมิต่ออนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม หรือขนาด
- 7 6.3 รูปร่าง
- 8 6.3.1. ข้อบ่งชี้
- 9 คำอธิบายรูปร่างหรือโครงร่างของพื้นผิวของวัตถุนาโน หรือกลุ่มของวัตถุนาโนที่มีการเกาะก้อน
- 10 แบบแน่น หรือแบบหลวม ที่ประกอบเป็นวัสดุภายใต้การศึกษา
- 11 6.3.2. คำอธิบาย
- 12 รูปร่างเชิงโมเลกุลและเชิงกายภาพนั้นสามารถดูได้จากรูปแบบที่อะตอมในโมเลกุลหนึ่ง ๆ สร้างพันธะ
- 13 ต่อกัน และเกิดเป็นรูปร่างในแบบที่ช่วยลดพลังงานอิสระให้ต่ำลง และสามารถเกิดขึ้นได้จริงทางหลัก
- 14 จลนศาสตร์ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนด การณ์ดังกล่าวอาจทำได้ในกรณีของกระบวนการผลิตที่
- 15 อาศัยการควบคุมการสร้างในระดับอะตอม หรือโมเลกุลเพื่อให้ได้เป็นวัตถุนาโน (bottom up
- 16 manufacture) ขณะที่รูปร่างเชิงโมเลกุลและเชิงกายภาพของวัตถุนาโนที่ได้จากกระบวนการผลิตที่อาศัย
- 17 การลดขนาดของวัตถุขนาดใหญ่ให้เล็กลง (top down manufacture) อาจขึ้นกับปัจจัยอื่น เช่น แรงดึงผิว
- 18 ของเฟสที่เป็นของเหลวของวัสดุ การศึกษารูปร่างสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ภาพ SEM หรือ TEM
- 19 หรือ SPM
- 20 วัตถุนาโนสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบเหมือนกันสามารถเกิดเป็นรูปร่างที่หลากหลาย เช่น ทรงกลม
- 21 เส้นใย และแผ่น รูปร่างที่แตกต่างกันเหล่านี้อาจนำมาซึ่งสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพที่แตกต่างกัน
- 22 เนื่องจากการเชื่อมต่อของพันธะทางโมเลกุล (เช่น พันธะระหว่างโมเลกุลที่อยู่บนพื้นผิวด้านนอกสุด) มี
- 23 ความแตกต่างกันถึงแม้ว่าจะมีองค์ประกอบอะตอมที่เหมือนกันก็ตาม
- 24 6.3.3. ความสัมพันธ์
- 25 วัตถุนาโนสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบเหมือนกันสามารถเกิดเป็นรูปร่างที่หลากหลาย เช่น ทรงกลม
- 26 เส้นใย และแผ่น ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของรูปร่าง NOAAs ต่อความเป็นพิษนั้น ยังไม่ได้รับ
- 27 การตรวจสอบอย่างสมบูรณ์ สำหรับความสัมพันธ์ในแง่ของรูปร่างต่อผลกระทบด้านสุขภาพนั้นอาจให้
- 28 ความสำคัญกับสัดส่วนความยาวด้าน เช่น เส้นใยนาโนที่มีค่าสัดส่วนความยาวด้านสูงมีโอกาสใน
- 29 การก่อให้เกิดการตอบสนองในสัตว์ทดลองที่มีความคล้ายคลึงกับกรณีของแร่ใยหิน นอกจากนี้ ยังคาดว่า
- 30 รูปร่างของ NOAAs อาจมีผลต่อจลนศาสตร์ของการยึดเกาะและดูดซึมภายในร่างกายด้วย

- 1 6.3.4. ปริมาณที่ถูกวัด  
 2 ข้อซึ่งรูปร่างที่ไม่เกี่ยวข้องกับขนาด เช่น  
 3 — สัดส่วนความยาวด้านในทิศทางที่แตกต่างกัน  
 4 — อัตราส่วนความยาวด้าน หน่วย [เมตร/เมตร]  
 5 — มิติเรขาคณิตเศษส่วน (fractal dimension)  
 6 — การกระจายตัวของค่าซึ่งรูปร่างที่ไม่เกี่ยวข้องกับขนาด
- 7 6.4 พื้นที่ผิว/พื้นที่ผิวที่จำเพาะต่อมวล / พื้นที่ผิวที่จำเพาะต่อปริมาตร
- 8 6.4.1. ข้อบ่งชี้  
 9 พื้นที่ผิว เป็นค่าเชิงปริมาณของพื้นผิวตัวอย่างที่สามารถเข้าถึงได้เมื่อสัมผัสกับแก๊สหรือของเหลวที่ใช้  
 10 เป็นเฟสที่ถูกดูดซับ (adsorbate phase) การแสดงค่าพื้นที่ผิวแต่เดิมใช้เป็นค่าพื้นที่ผิวที่จำเพาะต่อมวล  
 11 หรือพื้นที่ผิวที่จำเพาะต่อปริมาตร ที่ได้จากการนำค่าพื้นที่ผิวทั้งหมดมาคูณด้วยน้ำหนักของ  
 12 ตัวอย่างหรือปริมาตรของตัวอย่างนั้น ๆ
- 13 6.4.2. คำอธิบาย  
 14 เนื่องจากพื้นที่ผิวเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปริมาณของวัสดุ ดังนั้นเพื่อให้การเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะนี้ทำได้  
 15 ง่ายขึ้น จึงนิยมใช้ค่าพื้นที่ผิวต่อมวลของวัสดุปริมาณหนึ่ง หรือเรียกว่า พื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งเป็นสมบัติที่  
 16 ไม่ขึ้นกับปริมาณของวัสดุ  
 17 สำหรับวัสดุที่มีรูพรุนนิยมนิยามเป็นค่าพื้นที่ผิวภายนอกของอนุภาค และพื้นที่ผิวของรูพรุน พื้นที่ผิว  
 18 ภายนอกเป็นส่วนที่ล้อมรอบอนุภาคเดี่ยว หรืออนุภาคเกาะก้อนหลวม ซึ่งการระบุค่าพื้นที่ผิวภายนอก  
 19 อย่างถูกต้องนั้นทำได้ยาก เนื่องจากพื้นผิวที่เป็นของแข็งมักไม่เรียบในมุมมองระดับอะตอม แนวปฏิบัติ  
 20 ที่แนะนำให้ใช้ คือ พื้นที่ผิวภายนอก ประกอบด้วย ส่วนที่ยื่นนูนออกมาทั้งหมด และพื้นที่ผิวของ  
 21 รอยแตกซึ่งมีความกว้างมากกว่าความลึก ส่วนพื้นที่ผิวของรูพรุน ประกอบด้วย ผนังของรอยแตก  
 22 ทั้งหมด รูพรุน และช่องว่างที่มีความลึกมากกว่าความกว้างที่สามารถเข้าถึงได้โดยแก๊สทดสอบ ใน  
 23 ทางปฏิบัติ การกำหนดขอบเขตของพื้นที่ผิวภายนอกและภายในมักแตกต่างกันไป ขึ้นกับวิธีการที่ใช้ใน  
 24 การประเมิน และธรรมชาติการกระจายตัวของขนาดรูพรุน เนื่องจากการเข้าถึงรูพรุนนั้นสามารถขึ้นกับ  
 25 ขนาดและรูปร่างของโมเลกุลแก๊สหรือของเหลวที่ใช้ทดสอบ ดังนั้นพื้นที่รูพรุน ปริมาตรภายในรูพรุน  
 26 และผิวของรูพรุนที่วิเคราะห์ได้จากการทดสอบการดูดซับของแก๊สหรือของของเหลวอาจเป็นค่าที่  
 27 ขึ้นกับตัวโมเลกุลที่ถูกดูดซับเอง (molecular sieve effect)
- 28 6.4.3. ความสัมพันธ์  
 29 บ่อยครั้งที่ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นที่พื้นผิว ดังนั้นจึงสามารถคาดเดาได้ว่าหากตัวอย่างวัสดุมีพื้นที่ผิวสูงอาจมี  
 30 ความไวปฏิกิริยาโดยมวลสูงกว่าตัวอย่างจากวัสดุเดียวกันที่มีสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ



1 พื้นที่ผิวมีความเกี่ยวข้องกับหลายพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินอันตรายทางพิษวิทยาและนิเวศวิทยา  
 2 เช่น พื้นที่ผิวสามารถส่งผลต่อประจุของพื้นผิว และส่งผลโดยตรงต่อ

- 3 (1) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตฤนาโน (เช่น การเกาะก๊อแนแบบหลวม) กับอนุภาคที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ  
 4 (เช่น สิ่งเจือปน)
- 5 (2) ช่องทางการรับสัมผัส ในรูปแบบที่มีความสัมพันธ์กันของบริเวณสัมผัสระหว่างลิแกนด์บนพื้นผิว  
 6 กับเซลล์ (เช่น การสะสมในสิ่งมีชีวิต หรืออวัยวะ) วิธี และชีวปริมาณออกฤทธิ์
- 7 (3) กลไกการเกิดพิษ (เช่น กราฟแสดงการตอบสนองต่อปริมาณซึ่งนอร์มัลไลซ์ด้วยพื้นที่ผิวจำเพาะ  
 8 สามารถนำมาใช้บ่งชี้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับผลการตอบสนองต่อปริมาณในหน่วยมวล)

9 6.4.4. ปริมาณที่ถูกวัด

- 10 — พื้นที่ผิวจำเพาะ (ต่อมวล)  
 11 หน่วย [ตารางเมตร/กรัม]
- 12 — พื้นที่ผิวจำเพาะ (ต่อปริมาตร)  
 13 หน่วย [ตารางเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร] กรณีของงานวิจัยควรรายงานผลทั้งในหน่วย [ตาราง  
 14 เมตร/กรัม] และ [ตารางเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร]

15 6.5 องค์ประกอบ

16 6.5.1. ข้อบ่งชี้

17 ข้อมูลทางเคมีและ โครงสร้างผลึกของตัวอย่างทั้งหมดของวัตฤนาโน ประกอบด้วย

- 18 (1) องค์ประกอบ
- 19 (2) โครงสร้างผลึก
  - 20 — พารามิเตอร์แลตทิซ (lattice parameters) ซึ่งใช้บ่งชี้โครงสร้างแลตทิซ ที่ซึ่งอะตอมหรือ  
 21 โมเลกุลของแต่ละผลึกมีการจัดเรียงตัว (ใช้พารามิเตอร์แลตทิซ และชนิดของแลตทิซ เช่น  
 22 แบบลูกบาศก์กลางหน้า แบบบรรจุชิดสุดแบบหกเหลี่ยม หรือแบบลูกบาศก์กลางตัว  
 23 เป็นต้น)
  - 24 — กลุ่มสเปซ (space group)
- 25 (3) สิ่งเจือปน (ถ้ามี)

26 6.5.2. คำอธิบาย

27 การวิเคราะห์องค์ประกอบ ต้องรวมถึงองค์ประกอบที่คาดว่ามี และองค์ประกอบที่ไม่พึงประสงค์ เช่น  
 28 สิ่งเจือปน การจำแนกเคมีของพื้นผิวออกจากองค์ประกอบนั้นทำได้ยากขึ้น เมื่อขนาดของวัตฤนาโนเข้าสู่  
 29 ช่วงต้นของนาโนสเกล ดังนั้นในบางกรณีอาจรวมโมเลกุลที่ยึดติดอยู่บนพื้นผิวเป็นหนึ่งใน  
 30 องค์ประกอบได้ แต่หากเป็นไปได้ควรระบุเคมีพื้นผิวแยกออกจากองค์ประกอบ สิ่งทำหายสำหรับ

1 การวิเคราะห์นี้คือการที่โมเลกุลที่พื้นผิวอาจมีการแลกเปลี่ยนอย่างต่อเนื่อง เช่น ด้วยโมเลกุลในตัวกลาง  
 2 แขนงลอย การจัดเรียงตัวของโมเลกุล เช่น ในแนวตั้งฉาก หรือ ขนานกับพื้นผิว อาจส่งผลต่อ  
 3 ความเป็นพิษได้

#### 4 6.5.3. ความสัมพันธ์

5 องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึกเป็นตัวชี้บ่งทางพิษวิทยาที่มีความสำคัญมากในระดับโมเลกุล  
 6 และสำหรับวัสดุนาโนหลายชนิด ดังนั้นการให้ข้อมูลทางเคมี และ โครงสร้างของตัวอย่าง ดังต่อไปนี้จึงมี  
 7 ส่วนช่วยให้เกิดความเข้าใจในแง่ความเป็นพิษของวัสดุได้ดีที่สุด

8 (1) องค์ประกอบ

9 (2) การมีอยู่หรือไม่มีอยู่ของโครงสร้างผลึกรวมทั้งพารามิเตอร์แลตทิซ และกลุ่มสเปซ

10 (3) สิ่งเจือปน (ถ้ามี) เพื่อให้เข้าใจความเป็นพิษได้ดีที่สุด

#### 11 6.5.4. ปริมาณที่ถูกวัด

12 จำนวนและชนิดของธาตุเดี่ยว หรือ โมเลกุล (ในรูปสูตรเคมี สถานะผลึก โครงสร้างผลึก สถานะทางเคมี  
 13 ของอะตอม/ธาตุ โครงสร้าง-โครงสร้างใน 3 มิติ (บิตระนาบแสงตามเข็มนาฬิกา; dextrorotatory และ บิต  
 14 ระนาบแสงทวนเข็มนาฬิกา; levorotatory) หรือการกระจายตัวของสมบัติต่าง ๆ ที่กล่าวมา)

### 15 6.6 เคมีพื้นผิว

#### 16 6.6.1. ข้อบ่งชี้

17 ธรรมชาติทางเคมี ประกอบด้วย องค์ประกอบที่ชั้นนอกสุดของ NOAAs

#### 18 6.6.2. คำอธิบาย

19 บางกรณีเคมีพื้นผิวอาจเกิดจากอะตอมชนิดเดียว เช่น วัสดุอนินทรีย์ที่มีลักษณะเสมือนฟูเลอรีนส์ (เช่น  
 20  $\text{MoS}_2$  สามารถเกิดเป็นวัสดุทรงกลมคล้ายรังนกที่มีชั้นอะตอมนอกสุดเป็นกำมะถัน) หรือ วัสดุที่มี  
 21 โมเลกุลที่จำเพาะมายึดติดบนพื้นผิวโดยรอบอย่างสมบูรณ์ (เช่น ทองที่ทำให้เสถียรด้วยซิเตรท) แต่ใน  
 22 กรณีที่มีการเคลือบผิววัสดุนาโนเหล่านี้ ซึ่งนิยมทำเพื่อลดการเกาะก้อนแบบหลวมของอนุภาคนั้น  
 23 สามารถส่งผลต่อเคมีพื้นผิวได้ ในกรณีที่วัสดุนาโนมีรูพรุนกระจายตัวอยู่ในตัวกลาง ควรพิจารณาเคมี  
 24 พื้นผิวจากส่วนของวัสดุนาโนที่สัมผัสโดยตรงกับตัวกลาง

#### 25 6.6.3. ความสัมพันธ์

26 การดูดซับของโปรตีนบนผิวของ NOAAs ส่งผลต่อเคมีพื้นผิว (เช่น เมื่อโปรตีนดังกล่าวมีผลต่อเคมี  
 27 พื้นผิวของ NOAAs อย่างมาก ผลจากการวิจัยในเบื้องต้น พบว่า การตอบสนองของเซลล์ต่อ NOAAs  
 28 ควบคุมโดยชั้น โมเลกุลที่ดูดซับอยู่ที่ผิววัสดุ

29 หมู่โมเลกุลฟังก์ชันที่มีอยู่อย่างหลากหลายซึ่งยึดติดบนพื้นผิวของ NOAAs อาจนำไปสู่การเกิดอันตราย  
 30 กิริยามากมาย และเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนด

- 1 (1) การเข้าสู่สิ่งมีชีวิต และการกระจายตัวในสิ่งมีชีวิต
- 2 (2) การแปรสภาพในระบบที่เป็นของเหลวในธรรมชาติ
- 3 (3) ความคงตัวของนาโนคอลลอยด์
- 4 (4) การรับสัมผัสของเซลล์หรือเนื้อเยื่อเป้าหมาย

5 นอกจากนี้ โมเลกุลฟังก์ชันที่ใช้ยังสามารถส่งผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีอื่น ๆ เช่น การเกาะก่อกัน  
 6 แบบหลวม การฟุ้งกระจาย ศักย์ซีตา พื้นที่ผิวจำเพาะ และการละลายน้ำ ดังนั้นเคมีพื้นผิวจึงเป็นปัจจัยที่  
 7 สำคัญในการพิจารณาความเสี่ยงของ NOAAs

8 ตัวชี้วัดของเคมีพื้นผิว คือ สมบัติความชอบ หรือไม่ชอบน้ำของ NOAA ซึ่งเป็นตัวควบคุมอันตรกิริยา  
 9 ของพื้นผิวกับน้ำ โดยทั่วไป NOAAs สำหรับการประยุกต์ในทางชีวภาพมักมีสมบัติชอบน้ำ อย่างไรก็ตาม การมีอยู่ของทั้งส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำของวัสดุเสมือนฟูเลอรินส์ชนิดประจุบวก  
 10 สามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของเม็ดเลือดแดงได้

12 6.6.4. ปริมาณที่ถูกต้อง

- 13 — สัดส่วนธาตุ หรือโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบ
- 14 หน่วย [สัดส่วนโดยโมล หรือโดยมวล หรือ โดยปริมาตร] ที่ความหนาของชั้นที่กำหนด
- 15 หน่วย [จำนวนโมเลกุล/พื้นที่ผิว]
- 16 หน่วย [จำนวนของโมเลกุล หรือจำนวนโมเลกุลทางทฤษฎีที่ยึดติดจากปฏิกิริยาหรือการเรียง
- 17 ตัวอย่างสมบูรณ์แบบ] สำหรับสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เปลี่ยนสถานะ
- 18 — ความไวปฏิกิริยา: อัตราการเกิดปฏิกิริยามาตรฐาน
- 19 หน่วย [โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร/วินาที] นิยมแสดงค่าของสารเคมีที่มีความสำคัญทางพิษวิทยา
- 20 หรือตัวแทนสารเคมีนั้น

21 **หมายเหตุ** การวัดค่าความไวปฏิกิริยาเป็นการวัดที่จำเพาะกับสารที่เกิดปฏิกิริยา (เช่น เกิดปฏิกิริยากับน้ำ)  
 22 และมักเกี่ยวข้องกับการวัดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยานั้น

23 6.7 ประจุพื้นผิว

24 6.7.1. ข้อบ่งชี้

25 ประจุไฟฟ้าบนพื้นผิวที่สัมผัสกับเฟสต่อเนื่อง (continuous phase)

26 6.7.2. คำอธิบาย

27 ค่าประจุพื้นผิวในระบบคอลลอยด์ (เช่น ระบบที่มีเฟสกระจายตัว (dispersed phase) กระจายอยู่อย่าง  
 28 สม่าเสมอทั่วทั้งเฟสต่อเนื่องที่เป็นของเหลวในระดับเมคโครสเกล ซึ่งเฟสกระจายตัวในกรณีนี้คือ  
 29 NOAAs) สามารถหาได้จากค่าศักย์ซีตา ค่าศักย์ซีตาเป็นค่าที่ใช้เรียกค่าศักย์จลนศาสตร์ไฟฟ้าในระบบ  
 30 คอลลอยด์ ในทางทฤษฎี ค่าศักย์ซีตาคือค่าศักย์ไฟฟ้าในชั้นคู่พื้นผิว (interfacial double layer) ที่เทียบ  
 31 ระหว่างระนาบเลื่อน (slipping plane) กับของเหลวในเฟสต่อเนื่อง ณ ตำแหน่งที่ห่างออกไปจากพื้นผิว

1 หรืออาจอธิบายได้ว่า ค่าศักย์ซึดา คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันระหว่างตัวกลางที่ใช้ในการกระจายตัว  
2 กับชั้นของเหลวหนึ่งที่อยู่บนผิวของอนุภาค

3 ในระบบที่ NOAAs อยู่ในรูปแบบของละอองลอยในอากาศ ค่าประจุไฟฟ้าสถิตสามารถเกิดขึ้นได้จาก  
4 แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิว เช่น บนผนัง และบนอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งโมเลกุลของแก๊สสามารถส่งต่อ  
5 ประจุจากพื้นผิวเหล่านี้ไปยัง NOAAs ได้

6 ประจุไฟฟ้าบนอนุภาคนาโนอาจมีอิทธิพลต่อการเกิดอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวมได้

### 7 6.7.3. ความสัมพันธ์

8 ศักย์ซึดาเป็นค่าที่มีความสำคัญต่อการระบุดัชนีการสะสมของ NOAAs ในสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นไปได้มากที่  
9 จะส่งผลกระทบต่อโอกาสของความเป็นพิษที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบชีวภาพหรือสิ่งมีชีวิตด้วย นอกจากนี้ศักย์ซึดา  
10 ยังมีความสัมพันธ์กับความคงตัวของสารกระจายของนาโนคอลลอยด์ ค่าศักย์ซึดาแสดงถึงระดับของแรง  
11 ผลักระหว่างอนุภาคที่มีประจุเหมือนกัน และกระจายตัวอยู่ใกล้กัน สำหรับโมเลกุลและอนุภาคที่มีขนาด  
12 เล็ก ค่าศักย์ซึดาที่เป็นบวกหรือลบสูง สามารถทำให้เกิดความคงตัวในการกระจายตัว และลดโอกาสการ  
13 เกิดอนุภาคเกาะก้อนแบบหลวม แต่หากศักย์ซึดามีค่าเป็นบวกหรือลบที่ต่ำ ทำให้แรงดึงดูดมากกว่าแรง  
14 ผลัก ส่งผลให้การกระจายตัวล้มเหลว และเกิดการรวมตัวของอนุภาคเป็นก้อนแบบหลวม ในกรณีที่  
15 สารละลายมีค่าความแรงของไอออนต่ำ (ค่าความแรงของไอออนน้อยกว่า 0.1 M โดยประมาณ) ไอออน  
16 ที่มีค่ามากกว่าไฮโดรเจนสามารถเกิดพันธะที่พื้นผิวของอนุภาคนาโน และทำให้ค่าศักย์ซึดาเพิ่มสูงขึ้น  
17 ในพหิวัยของอนุภาค ค่าศักย์ซึดา (ประจุพื้นผิว) มีบทบาทสำคัญต่อ

18 (1) ระดับของอันตรกิริยานาโนคอลลอยด์ ซึ่งสัมพันธ์กับค่า pH และความแรงของไอออนใน  
19 สารละลาย

20 (2) ชีวปริมาณออกฤทธิ์ของสารประกอบ เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่มี  
21 ประจุสัมพันธ์กับการรับสัมผัส

### 22 6.7.4. ปริมาณที่ถูกวัด

23 — จำนวนประจุบวกและลบสุทธิ ต่อหน่วยพื้นที่ผิวของอนุภาค

24 หน่วย [คูอมบ์/ตารางเมตร]

25 — ศักย์ซึดา

26 หน่วย [โวลต์]

## 27 6.8 ความสามารถในการละลาย / ความสามารถในการกระจายตัว

### 28 6.8.1. ความสามารถในการละลาย

#### 29 6.8.1.1. ขั้วบ่งชี้

30 ระดับที่วัสดุ (ตัวถูกละลาย) สามารถละลายได้ในวัสดุอื่น (ตัวทำละลาย) เป็นเนื้อเดียว

## 6.8.1.2. คำอธิบาย

การละลายมีความเกี่ยวข้องกับตัวถูกละลายที่เป็นของแข็ง/ของเหลว/แก๊ส และตัวทำละลายที่เป็นของแข็ง/ของเหลว (บางกรณี มีการใช้แก๊สในรูปของไหลวิกฤตยิ่งยวดเป็นตัวทำละลายได้) ความสามารถในการละลายมักขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และอาจขึ้นกับความดัน และ pH วัสดุที่ละลายได้ในสัดส่วนที่กำหนด เรียกว่า เข้ากัน ได้อย่างสมบูรณ์ เช่น แอลกอฮอล์กับน้ำ และกรณีที่วัสดุที่ไม่สามารถเกิดเป็นสารละลายไม่ว่าที่ความเข้มข้นใดก็ตาม เรียกว่า ไม่ละลายหรือไม่เข้ากันอย่างสิ้นเชิง (เช่น เบนซินกับน้ำ) การที่วัสดุขาดความสามารถในการละลายในตัวทำละลายสามารถเกิดเป็นตะกอนของแข็ง และสามารถเกิดการแยกชั้นระหว่างของเหลว และของเหลวกับของแข็ง

เนื่องจากวัตุนาโนมีขนาดเล็ก การระบุว่าวัตุนาโนนั้น “มีการกระจายตัว” หรือ “มีการละลาย” จึงทำได้ยาก ความแตกต่างหลักระหว่างการกระจายตัวและการละลายคือ การละลายต้องมีการแตกตัวของโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของของแข็งในกระบวนการละลาย ขณะที่การกระจายตัวของสารนั้นไม่มีการแตกตัวอย่างมีนัยสำคัญ

## 6.8.1.3. ความสัมพันธ์

ถ้า NOAAs สามารถละลายได้ในตัวกลางทางชีวภาพหรือสิ่งแวดล้อมแล้ว NOAAs มีแนวโน้มที่จะปรากฏอยู่ทั่วไปทั้งภายนอกและภายในของสิ่งมีชีวิตในรูปแบบโมเลกุลหรือไอออน และคาดการณ์ได้ว่าการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตที่มีต่อ NOAAs ที่ละลายแล้วอาจไม่แตกต่างจากสารละลายที่เกิดจากสารชนิดเดียวกันซึ่งมีขนาดใหญ่กว่านาโนสเกล สารชนิดเดียวกัน เมื่อมีขนาดนาโนสเกลมักละลายได้เร็วกว่าเมื่อมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารขณะที่มีการละลายเกิดขึ้นที่เวลาต่าง ๆ กันมีค่าแตกต่างกันด้วย ในกลุ่มของวัตุนาโนที่ไม่ละลายในตัวกลางทางชีวภาพหรือสิ่งแวดล้อมวัตุนาโนจะอยู่ในรูปแบบเดิม และมีการกระจายตัวที่คาดว่าแตกต่างไปจากวัสดุเดียวกันที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า

ในการศึกษาด้านพิษวิทยาของวัสดุนั้น สภาพละลายได้ของวัสดุทั้งในตัวกลางที่เป็นน้ำมันและน้ำ นับเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของวัสดุนั้น ๆ ในสิ่งมีชีวิต และหรือ ในสิ่งแวดล้อม

## 6.8.1.4. ปริมาณที่ถูกวัด

- มวล หรือ ความเข้มข้นสูงสุดที่ละลายได้ต่อหนึ่งหน่วยมวล หรือปริมาตรของตัวทำละลายที่อุณหภูมิและความดันที่กำหนด (หรือสภาวะมาตรฐาน)  
หน่วย [กิโลกรัม/กิโลกรัม] หรือ [กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร] หรือ [โมล/โมล]

## 6.8.2. ความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility)

## 6.9.1.1. ข้อบ่งชี้

1 ระดับที่ละอองวัสดุ (เฟสที่มีการกระจายตัว) สามารถกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอในวัสดุชนิดอื่น  
2 (เฟสตัวกลาง หรือ เฟสต่อเนื่อง) และการกระจายตัวดังกล่าวมีความคงตัว (เช่น คงตัวได้นาน 1 h  
3 หรือ 1 min)

#### 4 6.9.1.2. คำอธิบาย

5 หลักการกระจายตัวของสารมีความเกี่ยวข้องกับของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยปกติเมื่อของเหลว  
6 และแก๊สมีการกระจายตัวเกิดขึ้นมักมีความคงตัวต่ำ และเกิดการแยกชั้นออกจากกันเป็นสองเฟสใน  
7 ท้ายที่สุด แต่หากการกระจายตัวที่เกิดขึ้นมีขนาดของละอองวัสดุที่กระจายตัวเล็กละเอียดมาก เช่น  
8 วัสดุนาโน การกระจายตัวที่ได้ (ทั้งในรูปแบบนาโนคอลลอยด์ หรือละอองลอย) มักมีความคงตัว  
9 สูง และไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างเฟส

#### 10 6.9.1.3. ความสัมพันธ์

11 หากขนาดของอนุภาคที่นำมาใช้ในการศึกษาด้านพิษวิทยามีผลต่อการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน  
12 หรือการอักเสบของเซลล์แล้ว ความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาคย่อมเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อ  
13 ความเป็นพิษเช่นกัน เมื่อวัสดุมีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ย่อมทำให้อนุภาค  
14 ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ลดลง หรือยับยั้งแมโครเฟจ (macrophage) ในการทำหน้าที่ในกระบวนการ  
15 การกลืนกินของเซลล์หรือฟาโกไซโทซิส (phagocytosis) ส่วนอิทธิพลที่เกิดจากความสามารถใน  
16 การกระจายตัวของวัสดุนาโนต่อผลความเป็นพิษนั้นยังไม่มีข้อมูลยืนยันที่ชัดเจน

#### 17 6.9.1.4. ปริมาณที่ถูกวัด

- 18 — มวล หรือ ความเข้มข้นที่สูงที่สุดของเฟสที่มีการกระจายตัวต่อหนึ่งหน่วยมวลของตัวกลางใน
- 19 เฟสต่อเนื่อง (ตัวทำละลาย) หรือต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของระบบ (ตัวทำละลายรวมกับเฟส
- 20 กระจายตัว) ในอุณหภูมิและความดันที่กำหนด (หรือสภาวะมาตรฐาน)
- 21 หน่วย [กิโลกรัม/กิโลกรัม] หรือ [กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร] หรือ [โมล/โมล]

## 22 7. การแสดงค่าผลการวัดและค่าความไม่แน่นอน

### 23 7.1 ทั่วไป

24 ในการวัดค่าใด ๆ ก็ตาม มีค่าความไม่แน่นอนเกิดขึ้นในระดับที่แตกต่างกันไป และความถูกต้องของผล  
25 การวัดนั้นสามารถแสดงได้ด้วยค่าความไม่แน่นอน เนื้อหาในส่วนนี้กล่าวถึงการแสดงค่าผลการวัดและ  
26 ค่าความไม่แน่นอน

27 ความแม่นยำการวัด ค่าการวัด และคุณภาพของค่าดังกล่าวมีประโยชน์ในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลอง  
28 ที่ใช้ทำนายพฤติกรรมของการวัดนั้น ๆ ปริมาณที่ต้องการตรวจวัดนั้นเราเรียกว่า “ปริมาณที่ถูกวัด” เมื่อมี

1 การรายงานค่าเชิงปริมาณต้องมีการระบุค่าความไม่แน่นอนให้กับค่าการวัดเพื่อใช้ตัดสินความน่าเชื่อถือของ  
2 ค่านั้น โดยคำจำกัดความและคำอธิบายคำศัพท์ในทางมาตรวิทยาสามารถดูได้จาก VIM

3 ความสามารถในการทวนซ้ำ (repeatability) และทำซ้ำ (reproducibility) มีความสำคัญต่อความเชื่อมั่นของ  
4 ห้องปฏิบัติการที่มีอยู่ในพื้นที่ซึ่งหมายความว่าความสามารถของห้องปฏิบัติการนั้นที่สามารถให้ผลที่  
5 เปรียบเทียบได้กับห้องปฏิบัติการอื่น ๆ ทั่วโลก

6 การสอบกลับได้เชิงมาตรวิทยา เป็นอีกหนึ่งสมบัติที่จำเป็นทางด้านการวัด ซึ่งหมายถึงผลการวัดที่สามารถ  
7 เชื่อมโยงไปยังมาตรฐานระหว่างประเทศได้อย่างไม่ขาดช่วงเป็นลูกโซ่ ความสามารถสอบกลับได้ของการวัด  
8 นั้นทำให้เกิดความมั่นใจในค่าการวัดที่ได้ และช่วยปรับปรุงผลการเปรียบเทียบค่าการวัดระหว่าง  
9 ห้องปฏิบัติการ

10 ความเข้าใจในประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่ามีการใช้อย่างสอดคล้องกันทั่วโลกตาม ISO 80000-1  
11 เช่น ปริมาณทางฟิสิกส์ ข้อกำหนดของค่าเชิงปริมาณ หน่วยการวัด และการวัดค่าความไม่แน่นอน โดยหาก  
12 การเขียนระบุค่าความยาวคลื่น  $\lambda = (5\,896 \pm 0.003) \times 10^{-7} \text{ m}$  นั้นแสดงให้เห็นว่า  $\lambda$  คือสัญลักษณ์สำหรับ  
13 ปริมาณทางฟิสิกส์ (ความยาวคลื่น) ส่วน m คือสัญลักษณ์สำหรับหน่วย (เมตร) และ  $5\,896 \times 10^{-7}$  คือค่า  
14 เชิงปริมาณของความยาวคลื่นในหน่วยเมตร และ  $\pm 0.003 \times 10^{-7}$  คือค่าความไม่แน่นอนของการวัดซึ่งใช้ใน  
15 การอธิบายขยายความถึงความถูกต้องของผลการวัด โดยการให้ข้อมูลเพิ่มเติมประกอบค่าความไม่แน่นอน  
16 สามารถช่วยให้เกิดความเข้าใจที่ดีขึ้นได้ (เช่น การระบุค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

17 การประเมินความน่าเชื่อถือของการวัดค่าความไม่แน่นอนมีส่วนสำคัญในการประเมินความสอดคล้อง  
18 (conformity assessment) ซึ่งการตัดสินว่าค่าของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการมีความสอดคล้องกับ  
19 ค่าขอบเขตที่กำหนดไว้สำหรับการควบคุมคุณภาพการผลิต ความสอดคล้องกับการชั่งตวงวัดทางกฎหมาย  
20 (legal metrology) หรือข้อกำหนดกฎหมายหรือไม่ โดยแนวทางในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของ  
21 การวัดสามารถศึกษาได้จาก GUM ซึ่งเมื่อระบุค่าความไม่แน่นอนได้ ทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าการวัดที่  
22 ได้ในแต่ละครั้งของการวัดได้ เอกสารอื่น ๆ ที่ช่วยประกอบความเข้าใจเกี่ยวกับการให้ค่าผลการวัดและ  
23 ค่าความไม่แน่นอนคือในบทนำของ GUM ซึ่งอธิบายถึงรายละเอียดในภาพรวมที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ  
24 และในส่วนเพิ่มเติมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถดูได้จากเว็บไซต์ของ BIPM

## 25 7.2 การหาค่าความไม่แน่นอน

26 การวัดค่าความไม่แน่นอนของ “ปริมาณที่ถูกวัด” ประเมินได้จากการรวมค่าความไม่แน่นอนจากแต่ละปัจจัย  
27 ที่มีอิทธิพลเข้าด้วยกัน (quadrature) ให้ใช้วิธีการนี้เมื่อค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากแต่ละปัจจัยมีความ  
28 เป็นอิสระต่อกัน การรวมค่าความไม่แน่นอนทำได้โดยใช้ค่ารากที่สองของผลรวมค่าความไม่แน่นอนแต่ละ  
29 ด้วยกำลังสอง การประเมินค่าความไม่แน่นอนควรเริ่มจากการอธิบายการคำนวณปริมาณที่ถูกวัดที่สนใจ  
30 หรือผลที่วัดได้ ซึ่งเป็นการเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ การประเมินค่า  
31 ความไม่แน่นอนของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลทำได้ด้วยการประเมินทางสถิติจากการวัดซ้ำ (type A) หรือจาก

ข้อมูลที่ได้มาจากแหล่งอื่น เช่น ค่าการสอบเทียบจากการวัดอื่น ๆ การตัดสินใจทางวิทยาศาสตร์ หรือจาก  
 ประสบการณ์ของนักมาตรวิทยา (type B) การประเมินค่าความไม่แน่นอน ไม่ว่าจะด้วยวิธีการใดก็ตาม ค่าความ  
 ไม่แน่นอนมาตรฐาน (standard uncertainty) ที่ได้คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ปัจจัยอื่น ๆ  
 ที่มีผลต่อค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน ได้แก่ ความละเอียด การทวนซ้ำ ความคงตัวของเครื่องมือ (drift) และ  
 การสอบเทียบเครื่องมือ การรวมค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานลงในปริมาณที่ถูกวัดขึ้นอยู่กับอิทธิพลของ  
 ปัจจัยแต่ละตัวที่มีผลค่าได้จากการวัด

หากปริมาณที่สนใจ  $y$  มีรูปแบบความสัมพันธ์กับปริมาณที่ใช้ในการคำนวณ (input quantity)  $x_i$  สามารถ  
 เขียนเป็นแบบจำลองความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ว่า  $y = f(x_i)$  และมีสัมประสิทธิ์ความไว (sensitivity  
 coefficients)  $c_i \equiv \partial y / \partial x_i$  ในการรวมค่าความไม่แน่นอนเข้าด้วยกัน ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความไวคูณกับค่า  
 ความไม่แน่นอนมาตรฐานแต่ละตัว โดยสมการทั่วไปที่ใช้คำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม  
 (combined measurement uncertainty) คือ

$$u_c^2 = \sum (c_i u_i)^2$$

เมื่อ  $u_i$  คือ ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานจากปัจจัยที่มีอิทธิพลแต่ละตัวที่เป็นอิสระต่อกัน

$c_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความไวสำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานจากปัจจัยที่มีอิทธิพลแต่ละตัว

$u_c$  คือ ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

นอกจากการรายงานค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมแล้วยังสามารถรายงานเป็นค่าความไม่แน่นอนขยาย  
 เพื่อตอบโจทย์การใช้งานที่ต่างออกไป การหาค่าความไม่แน่นอนขยายได้มาจากการนำค่าความไม่แน่นอน  
 มาตรฐานรวมคูณกับค่าตัวประกอบครอบคลุม ( $k$ ) ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 2 เมื่อค่า  $k$  มีค่าเท่ากับ 2 และค่า  
 องศาอิสระ (degree of freedom) ของค่าความไม่แน่นอนรวมมีค่ามากพอ ทำให้ผลการวัดนั้นมีความเชื่อมั่น  
 ว่าถูกต้องอยู่ที่ประมาณ 95% ในทางปฏิบัติสามารถใช้ค่าความเชื่อมั่นที่ระดับอื่นได้ ขึ้นอยู่กับการใช้งานและ  
 วัตถุประสงค์การใช้งานสุดท้ายของค่าความไม่แน่นอน

### 7.3 การประยุกต์ใช้ค่าความไม่แน่นอนวัดคุณภาพ

เนื่องจากความหลากหลายของ NOAAs สิ่งเคราะห์ที่ทำให้การวัดเพื่อทดสอบคุณลักษณะของ NOAAs มี  
 ความหลากหลายด้วย ดังนั้นการระบุชนิดของปริมาณที่ถูกวัดอย่างจำเพาะจึงเป็นกุญแจสำคัญในการประเมิน  
 การวัดค่าความไม่แน่นอน ในการวัดค่าใด ๆ ก็ตามผู้ใช้งานค่าที่ได้จากการวัดในลำดับสุดท้าย (end user) มี  
 ส่วนสำคัญสูงสุดที่จำเป็นต้องระบุว่าต้องการวัดค่าอะไร และต้องระบุอย่างแม่นยำว่าต้องการวัดค่านั้นอย่างไร  
 ครอบคลุมตั้งแต่เครื่องมือที่ใช้ในการวัด สภาพที่ใช้ และจุดที่ต้องการวัด เช่น การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ



1 อนุภาคอาจตีความได้หลากหลายขึ้นกับสถานะการใช้งาน เช่น ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต การศึกษา  
2 สมบัติทางเคมี หรือการบ่งชี้ เป็นต้น การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดในบางกรณีอาจ  
3 ตรงไปตรงมา เช่น กรณีที่แบบจำลองการวัดมีความชัดเจนและเข้าใจอย่างถ่องแท้แล้ว อย่างไรก็ตามการวัดค่า  
4 ความไม่แน่นอนนั้นต้องมีความเข้าใจเชิงลึกถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการวัดอย่างแท้จริง เพื่อให้  
5 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์จึงได้มีการพัฒนาคู่มือแนวทางในการหาค่า  
6 ความไม่แน่นอนการวัดสำหรับนาโนเทคโนโลยี ร่วมกับการพัฒนาการวัดที่มีความแม่นยำสำหรับใช้ใน  
7 การศึกษาลักษณะเฉพาะของ NOAAs ตัวอย่างของการวัดอนุภาคขนาดนาโน ได้แก่ แนวทางสำหรับ  
8 การวัดขนาดโดยใช้ SEM นอกจากนี้ยังมีผลงานตีพิมพ์ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเผยแพร่ออกมาอย่าง  
9 ต่อเนื่องทำให้ความเข้าใจเพิ่มขึ้นในแง่ของความถูกต้อง การสอบกลับได้ และการประเมินค่า  
10 ความไม่แน่นอน

11 นอกจากนี้เครื่องมือและวิธีการที่นำมาใช้ในการวัดแล้ว คุณภาพของวัสดุอ้างอิง (reference materials) วัสดุ  
12 สำหรับสอบเทียบ (calibration materials) ยังมีส่วนสำคัญในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดด้วย  
13 วัสดุอ้างอิงที่เหมาะสมมีส่วนสำคัญสำหรับการทวนสอบเพื่อยืนยันความเข้าใจ และเพื่อให้ได้การวัดที่มี  
14 ค่าความไม่แน่นอนต่ำที่สุด การพัฒนาวัสดุอ้างอิงที่มีคุณภาพสูงสุดเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบ  
15 ความต้องการการใช้งาน เอกสารมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับวิธีการมาตรฐานและระเบียบขั้นตอนการวัดควรมี  
16 การระบุแบบจำลองการวัดไว้ด้วย ในระเบียบขั้นตอนการวัดนั้นความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานหรือ  
17 นักมาตรวิทยา และสภาพแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ โดยรอบส่งผลอย่างมากต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัด  
18 ประเด็นต่าง ๆ เหล่านี้ได้มีการอภิปรายไว้ในเอกสารมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการวัดและปริมาณที่ถูกวัด โดย  
19 บางประเด็นอาจมีการรวบรวมการสรุปข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะเชิงปริมาณ  
20 หรืออีกนัยหนึ่ง ระเบียบปฏิบัติสำหรับการวัด คำอธิบายและข้อห้าม แนวทางการสอบกลับไปยังหน่วย SI  
21 หน่วยในการวัด อุปกรณ์และเครื่องมือในการวัด การทดสอบความใช้ได้ และการควบคุมคุณภาพ การตีพิมพ์  
22 บทความในวารสารที่มีคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา และมีการเสนอแนะปัจจัยที่มีผลต่อค่า  
23 ความไม่แน่นอน หรือแหล่งความไม่แน่นอน

#### 24 7.4 ความสำคัญของการตรวจสอบความใช้ได้ (validation)

25 ผลการวัดและการประเมินค่าความไม่แน่นอนควรมีการตรวจสอบความใช้ได้ซึ่งอาจใช้การตรวจสอบความ  
26 ใช้ได้ภายใน (in-house validation) โดยใช้วัสดุอ้างอิงที่เหมาะสม หรือผ่านการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่าง  
27 ห้องปฏิบัติการ (interlaboratory comparison) ซึ่งดำเนินการโดยการให้ห้องปฏิบัติการหลายแห่งทำการวัด  
28 วัสดุอ้างอิงหรือตัวอย่างตามที่กำหนดและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ผลข้อมูลการเปรียบเทียบที่ได้  
29 สามารถใช้ในการทวนสอบ (verify) ว่าห้องปฏิบัติการทั้งหมดให้ผลการวัดอยู่ในขอบเขตของค่า  
30 ความไม่แน่นอนที่คาดการณ์ไว้หรือไม่ การเปรียบเทียบข้อมูลทำได้ง่ายโดยอาศัยการลงจุดข้อมูล หรือใช้  
31 วิธีการทางสถิติและระเบียบปฏิบัติที่ใช้กันอย่างสากล สำหรับกรณีที่คาดว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันก็

1 สามารถใช้วิธีการทางสถิติและเครื่องมืออื่น ๆ ที่มีวิเคราะห์ต่อไปในเชิงลึก การระบุสาเหตุเชิงเทคนิค  
 2 เบื้องหลังความแตกต่างของข้อมูลหรือข้อมูลที่ผิดปกติเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้เข้าใจถึงวิธีการในการวัดและ  
 3 ตัวอย่างได้

#### 4 8. การรายงานผล

5 การรายงานข้อมูลทางฟิสิกส์-เคมีควรทำในรูปแบบที่ทำให้ลูกค้าสามารถตีความและใช้งานได้อย่างถูกต้อง  
 6 และกรณีที่เป็นไปได้ควรแสดงข้อมูลในรูปแบบที่สามารถสืบค้นต่อในฐานข้อมูลสมบัติของวัสดุ (material  
 7 properties database) ในการรายงานผลนั้นมีปัจจัยหลายประการที่สามารถใช้ในการตัดสินใจความต้องการและ  
 8 ความน่าเชื่อถือของข้อมูลการทดสอบ เช่น ปัจจัยที่เกิดจากมนุษย์ สิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ วิธีการใน  
 9 การวัดและการตรวจสอบความใช้ได้ อุปกรณ์ การสอบกลับได้ของการวัด การสุ่มตัวอย่าง การเก็บรักษาและ  
 10 การเตรียมตัวอย่าง การอภิปรายอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ในรายละเอียดและแนวทางปฏิบัติได้กล่าวไว้  
 11 ในเอกสาร ISO/IEC 17025:2005

12 รายงานผลการทดสอบที่มีการระบุวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะที่ชัดเจนนำมาซึ่งความเข้าใจ  
 13 และความสามารถในการเปรียบเทียบผล กรณีที่เป็นไปได้ควรมีการระบุรายละเอียดในรายงานตามรายการ  
 14 ต่อไปนี้

- 15 (1) คำบรรยายลักษณะของวัสดุพร้อมรายละเอียด โดยใช้ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีที่เหมาะสม
- 16 (2) การเตรียมตัวอย่าง โดยระบุถึงระเบียบวิธีมาตรฐานที่ใช้
- 17 (3) สภาพที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลการวัด
- 18 (4) วิธีการวิเคราะห์มาตรฐาน และสภาพที่ใช้ในการสกัดสาร

19 การอ้างอิงไปยังวิธีการมาตรฐานช่วยให้ผลที่ได้จากการวัดมีข้อมูลสนับสนุนทางด้านวิทยาศาสตร์ สำหรับ  
 20 กรณีที่ใช้วิธีการใหม่ที่มีการพัฒนาและทวนสอบ การดำเนินการทดสอบวิธีการครอบคลุมข้อมูลต่าง ๆ  
 21 เหล่านี้เป็นอย่างน้อย

- 22 (1) การบ่งชี้ข้อมูลของห้องปฏิบัติการทดสอบและวิธีการวัดตามเหมาะสม
  - 23 — ขอบเขต (กล่าวถึงวัสดุที่ใช้ ขอบเขตการวัด และความเข้มข้น ตามความเหมาะสม)
  - 24 — คำอธิบายชนิดของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ หรือสอบเทียบ
  - 25 — พารามิเตอร์ หรือปริมาณของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ
  - 26 — ข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้ ครอบคลุมค่าความไม่แน่นอน และข้อมูลการสอบกลับ
  - 27 — มาตรฐานอ้างอิง และวัสดุอ้างอิงที่จำเป็น
  - 28 — สภาพแวดล้อมที่จำเป็น และระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้สภาวะแวดล้อมมีความเสถียร

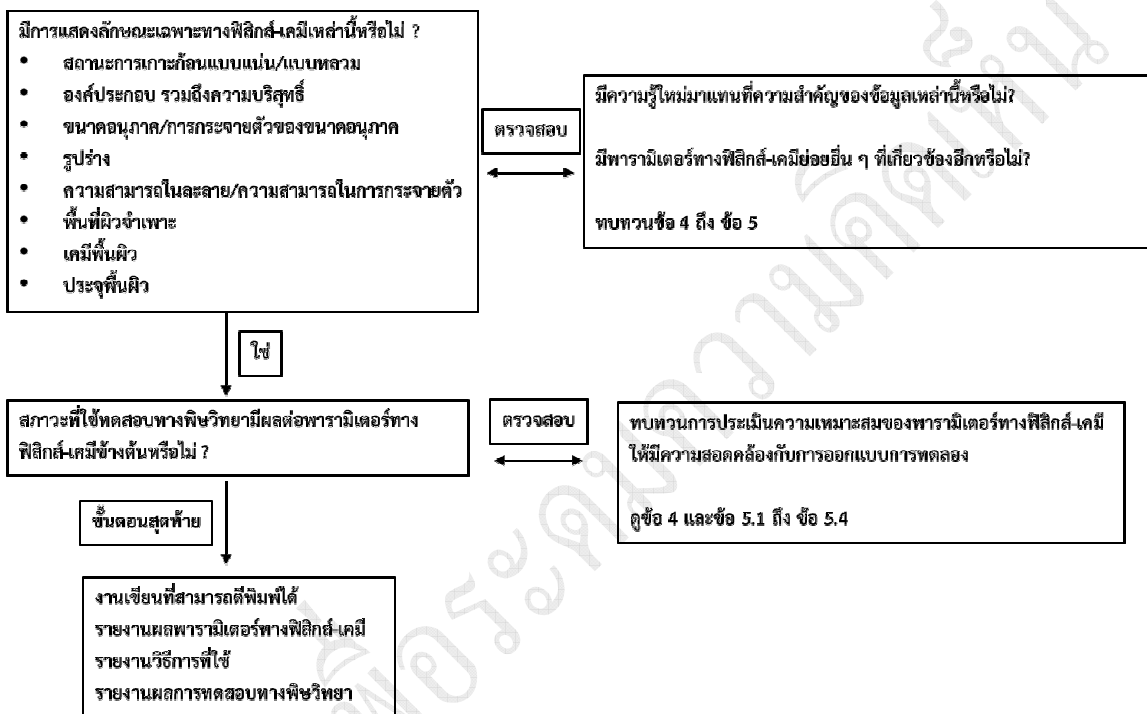
- 1                   — ระเบียบวิธีการในการปฏิบัติ ประกอบด้วย
- 2                   • การติดเครื่องหมายบ่งชี้ การดูแล การขนส่ง การเก็บรักษา และการจัดเตรียมชิ้นงาน
- 3                   • การตรวจสอบที่จำเป็นก่อนเริ่มปฏิบัติงาน
- 4                   • การตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ สอบเทียบและปรับอุปกรณ์ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน
- 5                   • วิธีการจดบันทึกข้อมูลและผล
- 6                   • การวัดค่าความปลอดภัยที่ต้องสังเกต
- 7                   — เกณฑ์ และหรือ ข้อกำหนดสำหรับการยอมรับหรือปฏิเสธ
- 8                   — การจดบันทึกข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์และนำเสนอ
- 9                   — ค่าความไม่แน่นอน หรือระเบียบปฏิบัติสำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอน
- 10                  (2) อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้
- 11                  (3) การสอบกลับได้ – การสอบเทียบ และมาตรฐาน/วัสดุอ้างอิง
- 12                  (4) ข้อมูลเชิงคุณภาพ ความเห็น และการตีความ ต้องมีความชัดเจนและกล่าวแยกออกมาจากส่วนที่
- 13                  รายงานถึงข้อสังเกตที่พบเจอ
- 14                  (5) ข้อมูลเชิงปริมาณ (ค่าความไม่แน่นอนในการวัด และข้อมูลการสอบกลับได้)
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26

1  
2  
3  
4  
5

ภาคผนวก ก.

แผนภาพแสดงการใช้ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมี ในการทดสอบทางพิษวิทยา

(ข้อ 6)



6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16

รูปที่ ก.1 แผนภาพแสดงการใช้ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีในการทดสอบทางพิษวิทยา

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30

**ภาคผนวก ข.**

**ตัวอย่างวิธีการวัดและมาตรฐาน**

**(ข้อ 6)**

วิธีการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางฟิสิกส์-เคมีของวัสดุนาโนให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนาโนเทคโนโลยี – แนวทางการวัดลักษณะเฉพาะเพื่อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุนาโน (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม ISO/TR 12805:2011)

ข้อควรระวังที่ผู้ใช้งานควรทราบคือวิธีการเหล่านี้ยังมิได้มีการตรวจสอบความใช้ได้สำหรับการนำไปใช้งานด้านการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ NOAAs ที่มีความหลากหลาย วิธีการเหล่านี้สามารถนำไปใช้ได้สำหรับ NOAAs ส่วนน้อย และที่ความเข้มข้นบางระดับของ NOAAs ในการทดสอบทางพิษวิทยาเท่านั้น การพัฒนาและทวนสอบวิธีการวัดรวมทั้งวิธีการวัดใหม่ ๆ สำหรับปัจจัยเหล่านี้จึงต้องมีการดำเนินการอย่างเร่งด่วน

เช่นเดียวกันกับรายการของวิธีการวัด คือรายการของมาตรฐานปัจจุบัน การนำวิธีการใหม่ วิธีการที่เกี่ยวข้อง วิธีการที่ผ่านการตรวจสอบความใช้ได้แล้วเข้าสู่การจัดทำมาตรฐานนั้น อยู่ระหว่างการดำเนินการโดย ISO/TC 229 และคณะกรรมการเทคนิค ISO อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ISO/TC 201 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เคมีพื้นผิว และ ISO/TC 24 ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของอนุภาค (ดูข้อมูลเพิ่มเติมที่ <http://www.iso.org>) วิธีการวัดและระเบียบวิธีการในการปฏิบัติอื่น ๆ นั้นมีการใช้งานอยู่และมีการนำเสนอโดยหน่วยงานระหว่างประเทศ (เช่น OECD และ ASTM) และองค์กรประเทศเจ้าภาพ (EPA harmonized test guidelines และ NCL nanotechnology characterization laboratory เป็นต้น) และผู้อ่านที่มีความสนใจสามารถหารือกับหน่วยงานดังกล่าวได้เช่นกัน

หมายเหตุ ISO มีการปรับปรุงความทันสมัยของเอกสารอย่างต่อเนื่อง และอาจส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่นำเสนอไว้ในตาราง ข.1

1

## ตารางที่ ข.1 วิธีการวัด และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัย	วิธีการวัด	มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
ขนาดอนุภาค	DLS	– ISO 9276-1:1998, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 1: Graphical representation</i>
	SAXS	
	โครมาโตกราฟีแยกตามขนาด (size exclusion chromatography)	– ISO 9276-1:1998/Cor 1:2004, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 1: Graphical representation – Technical corrigendum 1</i>
	SEM หรือ TEM	
	เทคนิคการแยก เช่น การตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifugal liquid sedimentation) หรือ การวิเคราะห์ติดตามอนุภาคนาโน (nanoparticle tracking analysis)	– ISO 9276-2:2001, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 2: Calculation of average particle sizes/diameters and moments from particle size distributions</i> – ISO 9276-3:2008, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 3: Adjustment of an experimental curve to a reference model</i>
	รามานสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy) -วัดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโน	– ISO 9276-4:2001, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 4: Characterization of a classification process</i>
	LII	– ISO 9276-5:2005, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 5: Methods of calculation relating to particle size analyses using logarithmic normal probability distribution</i> – ISO 9276-6:2008, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 6: Descriptive and quantitative representation of particle shape and morphology</i> – ISO 9277:2010, <i>Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption – BET method</i> – ISO 9276-1:1998, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 1: Graphical representation</i> – ISO 9276-1:1998/Cor 1:2004, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 1: Graphical representation – Technical corrigendum 1</i> – ISO 9276-2:2001, <i>Representation of results of particle size analysis – Part 2: Calculation of average particle sizes/diameters and moments from particle size distributions</i>

2

1

ตารางที่ ข.1 วิธีการวัดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปัจจัย	วิธีการวัด	มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
ขนาดอนุภาค (ต่อ)		<ul style="list-style-type: none"> <li>–ISO 9276-3:2008, Representation of results of particle size analysis – Part 3: Adjustment of an experimental curve to a reference model</li> <li>–ISO 9276-4:2001, Representation of results of particle size analysis – Part 4: Characterization of a classification process</li> <li>–ISO 9276-5:200, Representation of results of particle size analysis – Part 5: Methods of calculation relating to particle size analyses using logarithmic normal probability distribution</li> <li>–ISO 9276-6:2008, Representation of results of particle size analysis – Part 6: Descriptive and quantitative representation of particle shape and morphology</li> <li>–ISO 9277:2010, Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption – BET method</li> </ul>
สถานะการเกาะก้อน แบบแน่น/แบบหลวม (Aggregation/Agglomeration State)	cryo-SEM หรือ cryo-TEM การกระเจิงผันตามมุมที่ความยาวคลื่นที่ ต่างกัน (angle dependent scattering at different wavelength) SLS SAXS XRD SANS วิธีการที่เกี่ยวข้องกับสมบัติการไหล (rheology methods) การตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง การเลี้ยวเบนของเลเซอร์ (laser diffraction) การวิเคราะห์หัตถ์ติดตามอนุภาคนาโน	ดูในส่วนของ “ขนาดอนุภาค”(ด้านบน) สำหรับวิธีการวัด –ISO/TC 24, Particle Characterization ได้พัฒนาเป็นมาตรฐาน ISO/TR 13097, Guide for the characterization of dispersion stability –ISO/DIS 12025, Nanotechnologies, พัฒนาสำหรับใช้เป็นกรอบ ในการพิจารณากำหนดการปลดปล่อยวัตถุนาโนจากผง –ISO 13322-1:2004, Particle size analysis – Image analysis method – Part 1: Static image analysis methods
รูปร่าง	SEM หรือ TEM DLS LII	–ISO 16700:2004, Microbeam analysis –Scanning electron microscopy – Guidelines for calibrating image magnification –ISO 13322-1:2004, Particle size analysis – Image analysis method – Part 1: Static image analysis methods

2

1

## ตารางที่ ข.1 วิธีการวัดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปัจจัย	วิธีการวัด	มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
พื้นที่ผิว	วิธีการที่อาศัยการดูดซับแก๊ส หรือของเหลวที่อุณหภูมิเสมอ (gas or liquid adsorption isotherms)	–ISO 15901-1:2005, Pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption – Part 1: Mercury porosimetry
	การวัดความพรุนด้วยของเหลว (liquid porosimetry)	–ISO 15901-2:2005, Pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption – Part 2: Analysis of mesopores and macropores by gas adsorption
	การวิเคราะห์ภาพ (image analysis)	–ISO 15901-3:2005, Pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption – Part 3: Analysis of micropores by gas adsorption
	LII	–ISO 18757:2003, Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Determination of specific surface area of ceramic powders by gas adsorption using the BET method –ISO 13322-1:2004, Particle size analysis – Image analysis methods – Part 1: Static image analysis methods
องค์ประกอบ	การเรืองรังสีเอกซ์ (x-ray fluorescence)-ความบริสุทธิ์ทางเคมี	–ISO 22309:2006, Microbeam analysis-quantitative analysis using energy-dispersive spectrometry (EDS)
	XPS- ความบริสุทธิ์ทางเคมี	–ISO 22489:2006, Microbeam analysis-electron probe microanalysis –quantitative point analysis for bulk specimens using wavelength-dispersive X-ray spectroscopy
	AES - ความบริสุทธิ์ทางเคมี	–ISO 24173: 2009, Microbeam analysis-Guidelines for orientation measurement using Electron Backscatter Diffraction
	XRD-ผลึก ปริมาณสัมพัทธ์ของเฟส ผลึกที่แตกต่างกัน ความบริสุทธิ์	–ISO 13084:2011, Surface chemical analysis-Secondary-ion mass spectrometry-Calibration of the mass scale for a time-of-flight secondary-ion mass spectrometer
	รามานสเปกโตรสโคปี โคปี้ และสเปกโตรสโคปี โคปี้เชิงโมเลกุล (Raman and molecular spectroscopies)	–ISO 18114:2003, Surface chemical analysis-Secondary-ion mass spectrometry-Determination of relative sensitivity factors from ion-implanted reference materials
	TGA-ความบริสุทธิ์	
	อัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโตรเมตรี (uv-visible spectrometry)	
	SEM	
	NMR	
	ICP-OES	
ICP-MS		

2



1

ตารางที่ ข.1 วิธีการวัดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปัจจัย	วิธีการวัด	มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
เคมีพื้นผิว	SAM/AES	— ISO/DTR 14187, Surface chemical analysis-Characterization of nanostructured materials
	XPS	— ISO 18115:2001, Surface chemical analysis –Vocabulary
	SIMS	— ISO 24236:2005, Surface chemical analysis-Auger electrons spectroscopy –Repeatability and constancy of intensity scale
	การถ่ายภาพจำลองสามมิติด้วยเทคนิคโทโมกราฟีแบบหัววัดอะตอม (3D atom probe tomography)	— ISO 15471:2004, Surface chemical analysis –Auger electron spectroscopy-Description of selected instrumental performance parameters
	EDS	— ISO/TR 19319:2003, Surface chemical analysis-Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy-Determination of lateral resolution, analysis area and sample area viewed by the analyser
	EELS	— ISO 17973:2002, Surface chemical analysis-Medium resolution Auger electron spectrometers-Calibration of energy scales for elemental analysis
	สเปกโตรสโคปีแบบไอออนพลังงานต่ำ (low energy ion spectroscopy)	— ISO 18118:2004, Surface chemical analysis-Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy-Guide to the use of experimentally determined relative sensitivity factors for the quantitative analysis of homogeneous materials
	รามานสเปกโตรสโคปี และสเปกโตรสโคปีเชิงโมเลกุล (Raman and molecular spectroscopies)	ISO 20903:2006, Surface chemical analysis-Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy-Methods used to determine peak intensities and information required when reporting results — ISO/TR 18394:2006, Surface chemical analysis-Auger electron spectroscopy-Derivation of chemical information — ISO 23830:2008, Surface chemical analysis-Secondary ion mass spectrometry-Repeatability and constancy of the relative intensity scale in static secondary ion mass spectrometry — ISO 17560:2002, Surface chemical analysis-Secondary ion mass spectrometry-Method for depth profiling of boron in silicon

2

1

## ตารางที่ ข.1 วิธีการวัดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปัจจัย	วิธีการวัด	มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
เคมีพื้นผิว (ต่อ)		<ul style="list-style-type: none"> <li>— ISO 18114:2003, Surface chemical analysis-Secondary ion mass spectrometry-Determination of relative sensitivity factors from ion implanted reference materials</li> <li>— ISO 20341:2003, Surface chemical analysis-Secondary ion mass spectrometry-Method for estimating depth resolution parameters with multiple delta-layer reference materials</li> <li>— ISO 15472:2002, Surface chemical analysis-X-ray photoelectron spectrometers-Calibration of energy scales</li> <li>— ISO 21270:2004, Surface chemical analysis-X-ray photoelectron spectrometers-Linearity of intensity scale</li> <li>— ISO 24237:2005, Surface chemical analysis-X-ray photoelectron spectrometers-Repeatability and constancy of intensity scale</li> <li>— ISO 15470:2004, Surface chemical analysis-X-ray photoelectron spectrometers-Description of selected instrumental performance parameters</li> <li>— ISO 19318:2004, Surface chemical analysis-X-ray photoelectron spectrometers-Reporting of methods used for charge control and charge correction</li> <li>— ISO/TR 18392:2005, Surface chemical analysis-X-ray photoelectron spectrometers-Procedures for determining backgrounds</li> <li>— ISO 18516:2006, Surface chemical analysis-Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy-Determination of lateral resolution</li> <li>— ISO 18117:2009, Surface chemical analysis-Handling of specimens prior to analysis</li> <li>— ISO 23812:2009, Surface chemical analysis-Secondary ion mass spectrometry-Method for depth calibration for silicon using multiple delta-layer reference materials</li> </ul>

2

1

ตารางที่ ข.1 วิธีการวัดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปัจจัย	วิธีการวัด	มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
ประจุพื้นผิว	จุดไฟฟ้าเสมอ (isoelectric point)	— ISO 22309:2006, Measurement and characterization of particles by acoustic methods-Part 1: Concepts and procedures in ultrasonic attenuation spectroscopy
	การกระเจิงแสงจากการเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า (electrophoretic light scattering)	
	อิเล็กโทรโฟรีซิส (electrophoresis)	
	อิเล็กโทรออสโมซิส (electroosmosis)	
	อิเล็กตริกโซนิกแอมพลิจูด (electric sonic amplitude)	
	กระแสการสั่นของคอลลอยด์ (colloidal vibration current)	
สภาพละลายได้	ยังไม่มีวิธีมาตรฐานที่ใช้สำหรับการประเมินสภาพละลายได้ของวัสดุนาโนอย่างจำเพาะเจาะจง อย่างไรก็ตามสามารถประยุกต์ใช้วิธีการวัดอื่นในการประเมินได้ เช่น วิธีการแยกสารผ่านเยื่อแบบสมดุล วิธีการวัดโดย ICP-OES และ ICP-MS	— ยังไม่มีมาตรฐานในขณะนี้
ความสามารถในการกระจายตัว	วิธีการทั่วไปที่ใช้สำหรับการประเมินความสามารถในการกระจายตัวของวัสดุนาโนมักขึ้นอยู่กับวิธีการวัดขนาดอนุภาค	— ISO/TR 13097, Guidelines for characterization of dispersion stability

2  
3  
4  
5  
6  
7  
8