

นาโนเคมี (Nanochemistry)

การควบคุมขนาด รูปร่าง องค์ประกอบ
และสมบัติการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนโลหะ

ความรู้ด้านนาโนเคมีและนาโนศาสตร์เป็นพื้นฐานที่สำคัญของนาโนเทคโนโลยี สามารถนำมาต่อยอดใช้ประโยชน์เพื่อสร้างวัสดุอุปกรณ์ หรือผลิตภัณฑ์ ที่มีสมบัติและหน้าที่ใหม่ ๆ ภายใต้หลักการสร้างที่สำคัญ คือ ต้องสามารถ ควบคุมหรือจัดการได้อย่างถูกต้องและแม่นยำในระดับอะตอม

หนังสือเล่มนี้เขียนขึ้นจากประสบการณ์การสอนรายวิชานาโนเคมี สำหรับ นิสิตสาขาวิชาเคมี ระดับบัณฑิตศึกษาและการทำงานวิจัยด้านการออกแบบ และการควบคุมการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานาโน เพื่อการประยุกต์ใช้งาน ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมมาเป็นระยะเวลากว่า 15 ปี ข้าพเจ้าหวังว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของแหล่งเรียนรู้ที่สำคัญ เพื่อการพัฒนา นาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย



จัดพิมพ์โดย

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 0-2218-3269-70

โทรสาร 0-2218-3547

e-mail: cupress@chula.ac.th

www.cupress.chula.ac.th

สรรคุณคำวิชาการ *สู่สังคม*

Knowledge to All



กระบวนการผลิตหนังสือเล่มนี้ช่วยลดโลกร้อน
ด้วยการชดเชยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 100%
0.65 kg CO₂ eq/เล่ม



CU Press
Chulalongkorn
University
Press



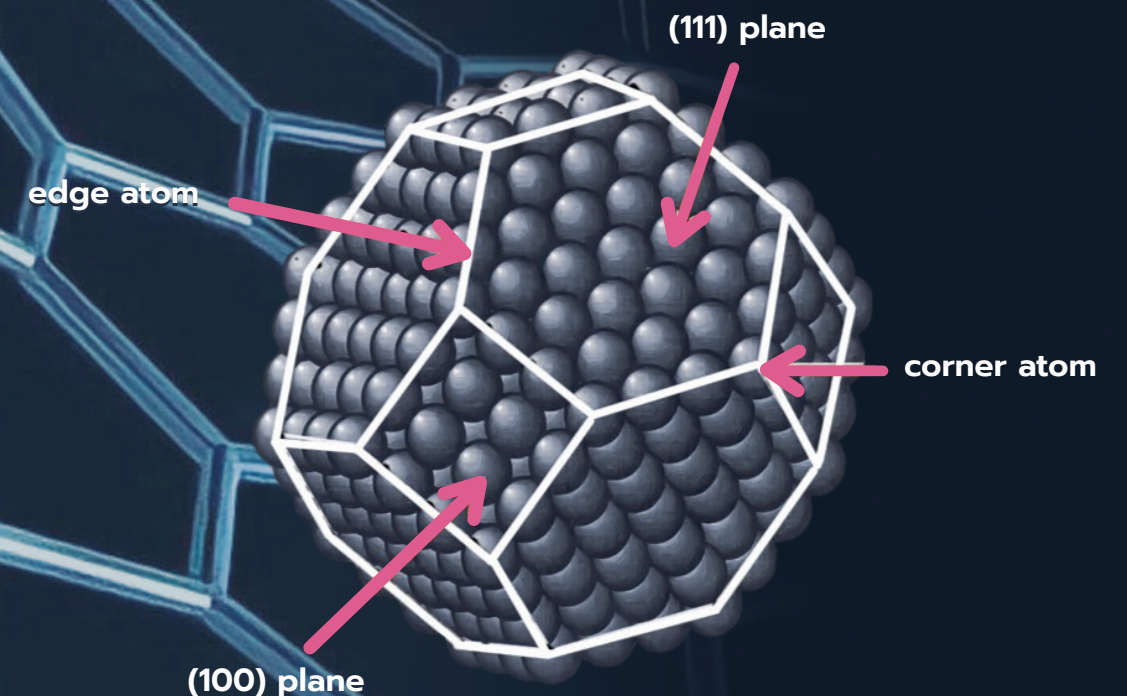
นาโนเคมี : การควบคุมขนาด รูปร่าง องค์ประกอบ และสมบัติการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนโลหะ

การเกษตร เทคโนโลยี

Q19

นาโนเคมี (Nanochemistry)

การควบคุมขนาด รูปร่าง องค์ประกอบ
และสมบัติการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนโลหะ



การเกษตร เทคโนโลยี

นาโนเคมี

การควบคุมขนาด รูปร่าง องค์ประกอบ
และสมบัติการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนโลหะ

นาโนเคมี

การควบคุมขนาด รูปร่าง องค์ประกอบ
และสมบัติการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนโลหะ

การะเกด เทศศรี

การเกิด เทศศรี

นาโนเคมี : การควบคุมขนาด รูปร่าง องค์ประกอบ และสมบัติการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาค

นาโนโลหะ / การเกิด เทศศรี

1. นาโนเคมี. 2. อนุภาคนาโนโลหะ. 3. นาโนวิทยา.

620.115

ISBN (e-book) 978-616-590-964-8

Q19/06/2565



assคณค่าวิชาการ ผู้สังคม

Knowledge to All

www.cupress.chula.ac.th

หนังสือเล่มนี้ผ่านการตรวจคุณภาพวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิของสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จัดทำโดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การเกิด เทศศรี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มือถือ 080-565-9915 อีเมล karaked@go.buu.ac.th

ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2565

[CUP6412-156D]

บรรณาธิการอำนวยการ :

นางอรทัย นันทนาคิตย

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรณู หาญสืบสาย

กองบรรณาธิการฝ่ายวิชาการ :

ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.ปิยนารถ บุนนาค

รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์

รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ชิษณุ พันธุ์เจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์

ผู้ประสานงาน :

วาสนา ชำเซ็น

พิสูจน์อักษร : ทิพวรรณ โหละสุต

ออกแบบปก :

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบปกและรูปเล่ม :

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การเกิด เทศศรี

สั่งซื้อได้ที่

ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

<http://www.chulabook.com> โทร. 08-6323-3703-4

คำนำ

นาโนเคมี เกี่ยวข้องกับการควบคุมการสังเคราะห์หน่วยโครงสร้างทางเคมี เพื่อสร้างวัสดุระดับนาโนที่มีขนาด รูปร่าง องค์ประกอบ และโครงสร้างพื้นผิวที่แตกต่างกัน หนังสือเล่มนี้เขียนขึ้นจากประสบการณ์การสอนในรายวิชานาโนเคมีสำหรับนิสิตเคมีระดับบัณฑิตศึกษา และการทำงานวิจัยด้านการสังเคราะห์และวิเคราะห์วัสดุนาโน โดยเฉพาะวัสดุนาโนอินทรีย์มาเป็นเวลากว่า 15 ปี รายละเอียดเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะทั้งโลหะเดี่ยวและโลหะคัลโดยวิธีทางเคมีเพื่อควบคุมขนาด รูปร่าง และโครงสร้างพื้นผิว รวมทั้งการพิสูจน์เอกลักษณ์และสมบัติการเร่งปฏิกิริยา ผู้อ่านควรมีความรู้เบื้องต้นทางเคมีที่เกี่ยวกับข้อกับวัสดุศาสตร์ นาโนศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี ผู้เขียนหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา นักวิจัย และผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าความรู้ทั่วไป

การะเกด เทศศรี

มีนาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	3
1.1 กำเนิดนาโนเคมี	4
1.2 แนวคิดของฟิสิกส์แมนูสร้างวัลโนเบลสาขาเคมี ค.ศ. 2016	6
1.3 ความท้าทายของนาโนเคมี	8
บทที่ 2 สมบัติที่ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของวัสดุนาโน	11
2.1 วัสดุนาโน	11
2.2 ผลกระทบเนื่องจากขนาด	12
2.3 ผลกระทบเนื่องจากรูปร่าง	15
2.4 สมบัติที่ขึ้นกับขนาดและรูปร่าง	19
บทที่ 3 การพิสูจน์เอกลักษณ์วัสดุนาโนโลหะ	31
3.1 การวิเคราะห์โดยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	31
3.2 การวิเคราะห์โดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี	36
3.3 การวิเคราะห์พื้นผิวโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	39
3.4 การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์รังสีเอกซ์	42
3.5 การวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	45
3.6 การวิเคราะห์ขนาดโดยเทคนิคการกระเจิงแสงแบบพลวัต	51
บทที่ 4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะโดยวิธีรีดักชันทางเคมี	57
4.1 สมบัติและความเสถียรของคอลลอยด์	58
4.2 การสังเคราะห์คอลลอยด์อนุภาคนาโนโลหะ	62
4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะ	64
4.4 การรักษาเสถียรภาพอนุภาคนาโนคอลลอยด์	72
บทที่ 5 การสังเคราะห์โดยการควบคุมขนาดอนุภาคนาโนโลหะ	83
5.1 กลไกการเกิดนิวเคลียสและการเติบโตของอนุภาคนาโน	83
5.2 การจับตัวของอนุภาคนาโน	91

	หน้า
5.3 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการควบคุมขนาดอนุภาคนาโน	92
5.4 การควบคุมขนาดโดยวิธีก่อก้อนภาคต้นกำเนิด	96
บทที่ 6 การสังเคราะห์โดยการควบคุมรูปร่างผลึกนาโนโลหะ	99
6.1 การควบคุมการเกิดนิวเคลียสและการเติบโต	99
6.2 ระนาบพื้นผิวและการเติบโตของอนุภาคนาโน	100
6.3 การควบคุมรูปร่างผลึกนาโนโดยวิธีก่อก้อนภาคต้นกำเนิด	101
6.4 การควบคุมรูปร่างอนุภาคนาโนโดยอิทธิพลของสารช่วยเสถียร	104
6.5 การควบคุมรูปร่างโดยการกีดกันจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน	106
6.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมรูปร่างของผลึกนาโน	109
บทที่ 7 การสังเคราะห์โดยการควบคุมโครงสร้างพื้นผิวอนุภาคนาโนโลหะคู่	115
7.1 โครงสร้างอนุภาคนาโนโลหะคู่	116
7.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะคู่	119
7.3 การเติบโตของอนุภาคนาโนโลหะคู่	122
7.4 นาโนโลหะคู่โครงสร้างต่าง ๆ	125
7.5 สมบัติของวัสดุนาโนโลหะคู่	130
บทที่ 8 ขนาด รูปร่าง และสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโน	137
8.1 ตัวเร่งปฏิกิริยานาโน	138
8.2 ขนาด รูปร่าง และสมบัติการเร่งปฏิกิริยาอนุภาคนาโนโลหะเดี่ยว	140
8.3 สมบัติการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนโลหะคู่	142
8.4 ผลของขนาด รูปร่าง และองค์ประกอบพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันทางไฟฟ้าของกรดฟอร์มิก	147
8.5 การออกแบบพื้นผิวดตัวเร่งปฏิกิริยานาโนโลหะคู่ และการผลิต ไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดฟอร์มิก	150
8.6 ขนาดและองค์ประกอบพื้นผิวต่อประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยา การเติมไฮโดรเจนของซินนามาลดีไฮด์	153
บรรณานุกรม	157
ดัชนี	163



นาโนเคมี

TEM image of Ag nanoparticles

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

สาขาเคมีเฉลิมฉลองการสิ้นสุดศตวรรษที่ 20 ด้วยผลงานการค้นคว้าที่โดดเด่น จากความสำเร็จในการตรวจวัดและบ่งชี้พฤติกรรมทางกายภาพและทางเคมีของโมเลกุลเดี่ยว ผลงานดังกล่าวทำให้เกิดสาขาวิชาใหม่ เรียกว่า นาโนเคมี (Nanochemistry) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบคุมการสังเคราะห์หน่วยโครงสร้างทางเคมีเพื่อสร้างวัสดุนาโน (Nanomaterials) ที่มีขนาด รูปร่าง องค์ประกอบพื้นผิวสมบัติและหน้าที่ที่แตกต่างกัน นาโนเคมีเกิดจากการบูรณาการความรู้ระหว่างเคมีและนาโนศาสตร์ (Nanoscience) ซึ่งเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของอะตอม โมเลกุล และวัสดุที่มีขนาดระดับนาโน (Nanoscale) โดยทั่วไปกำหนดในช่วง 1-100 นาโนเมตร ด้วยวัสดุนาโนมีขนาดเล็กมาก ๆ จึงส่งผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนถูกจำกัดการเคลื่อนที่ (Electron confinement) ส่งผลกระทบเชิงควอนตัม (Quantum effect) สมบัติต่าง ๆ ของวัสดุนาโน เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติทางแสง สมบัติแม่เหล็ก สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติเชิงกล และสมบัติการเร่งปฏิกิริยา จึงแตกต่างจากวัสดุกลุ่มก้อน (Bulk materials) อะตอม และโมเลกุล ความรู้ด้านนาโนเคมีและนาโนศาสตร์เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนานาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างวัสดุ อุปกรณ์ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติและหน้าที่ใหม่ ๆ ภายใต้หลักการสร้างที่สำคัญ คือ การควบคุมหรือจัดการได้อย่างถูกต้องและแม่นยำในระดับอะตอม

นาโนเคมีมีบทบาทสำคัญต่อการขับเคลื่อนนาโนเทคโนโลยี โดยมีส่วนร่วมในการออกแบบและควบคุมการสังเคราะห์วัสดุให้มีโครงสร้างและสมบัติตามความต้องการ ซึ่งเกิดจากความเข้าใจสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ขึ้นกับขนาด รูปร่าง และองค์ประกอบพื้นผิวของวัสดุ นำไปสู่การพัฒนาวัสดุนาโนที่มีคุณลักษณะและสมบัติใหม่ ๆ ไม่มีที่สิ้นสุด นาโนเคมีเป็นเครื่องมือหลักของการค้นคว้าด้านนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ความก้าวหน้าด้านการสังเคราะห์และการวิเคราะห์วัสดุนาโนประเภทต่าง ๆ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถสร้างวัสดุที่มีสมบัติที่ดีกว่า

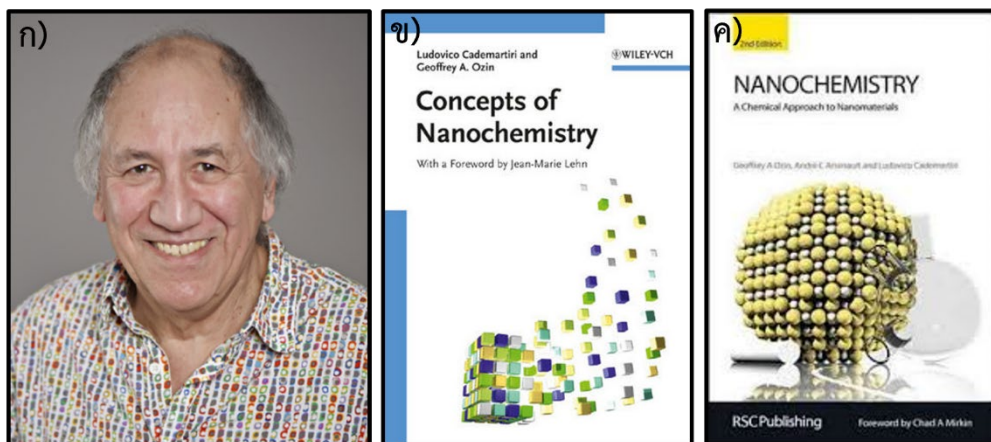
เช่น แข็งแรงกว่า เบากว่า ทนทานกว่า ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่า และมีสมบัติทางไฟฟ้าและความร้อนที่ดีกว่า สมบัติที่พัฒนาขึ้นเหล่านี้เป็นผลจากการสังเคราะห์โดยการออกแบบและควบคุมระดับอะตอม ทำให้วัสดุนาโนสามารถประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง เช่น การแพทย์ การสะสมพลังงาน การป้องกันสิ่งแวดล้อม การป้องกันศัตรู การขนส่ง การพัฒนาคุณภาพอาหาร เทคโนโลยีการสื่อสารและอื่น ๆ ปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีได้รับการยอมรับว่าเป็นความหวังสูงสุดของมนุษยชาติที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างยั่งยืน

1.1 กำเนิดนาโนเคมี

ปัจจุบันยังไม่เป็นที่แน่ชัดเรื่องจุดกำเนิดของนาโนเคมี อย่างไรก็ตาม ผลงานชิ้นสำคัญที่อาจถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของนาโนเคมี ได้แก่ รายงานการเตรียมสารแขวนลอยอนุภาคทองคำที่มีสีแดงเหมือนทับทิมโดยไมเคิล ฟาราเดย์ นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ใน ค.ศ. 1857 อนุภาคทองคำเหล่านี้เตรียมจากปฏิกิริยารีดักชันไซเดียมเททระคลอโรอโรอเตรในน้ำ โดยมีคาร์บอนไดซัลไฟด์เป็นตัวรีดิวซ์ และทำให้เสถียรในรูปคอลลอยด์โดยวิธีการแลกเปลี่ยนสถานะ (Phase exchange) ฟาราเดย์อธิบายว่าเมื่ออนุภาคทองคำมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และอธิบายสมบัติทางแสงที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้หลักการกระเจิงแสง เมื่อฉายลำแสงไปยังคอลลอยด์ทองคำในตัวกลางน้ำ อนุภาคขนาดเล็ก ๆ เหล่านี้จะทำให้แสงเกิดการกระเจิงและมองเห็นเป็นลำแสง หรือเกิดปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall effect) ในศตวรรษต่อมาเมื่อมีการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope) จึงทราบว่าคอลลอยด์ทองคำที่เตรียมได้นั้นมีขนาดอนุภาคในช่วง 4-8 นาโนเมตร

คำว่านาโนเคมีนำมาใช้เป็นครั้งแรกใน ค.ศ. 1992 โดยเจฟเฟอรี โอซิน (Geoffrey Ozin) (รูปที่ 1.1 ก.) ศาสตราจารย์ประจำภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยโตรอนโต ประเทศแคนาดา โดยตีพิมพ์บทความเรื่อง Nanochemistry : Synthesis in Diminishing Dimensions ในวารสาร Advanced Materials จากบทความดังกล่าวโอซินอธิบายว่า นาโนเคมีเป็นศาสตร์ที่เน้นการสังเคราะห์สารที่มีขนาดระดับนาโน (Nanoscale) ในหนึ่ง สอง หรือสามมิติ โดยกระบวนการสร้างและการจัดการเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมขนาดและรูปร่างวัสดุนาโนได้ในระดับอะตอม ศาสตราจารย์

โอซินมีชื่อเสียงเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง จากผลงานการค้นคว้าวิจัยด้านนาโนเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างวัสดุนาโนโดยวิธีทางเคมี เป็นรากฐานสำคัญของเคมีสมัยใหม่และนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีในวัสดุขั้นสูง จากผลงานการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนนานกว่าครึ่งทศวรรษ ทำให้ท่านได้รับการยกย่องว่าเป็นผู้ก่อตั้งนาโนเคมี สาขาวิชาใหม่ทางเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมองค์ความรู้หลากหลายสาขาวิชา และเป็นหนึ่งกุญแจสำคัญในการขับเคลื่อนนาโนเทคโนโลยีในศตวรรษที่ 21 ศาสตราจารย์เจฟเฟอรี โอซิน มีผลงานการวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับนาโนเคมี เช่น เคมีวัสดุพอร์พุนขนาดนาโน (Nanoporous materials chemistry) วัสดุนาโนลอกเลียนแบบสัณฐานวิทยาวัสดุธรรมชาติ (Biomimetic nanomaterials) วัสดุนาโนลูกผสม (Hybrid nanomaterials) วัสดุนาโนโฮสต์-เกสต์ (Host-guest nanomaterials) วัสดุพอร์พุนมีโซ (Mesoscopic nanomaterials) และนาโนเคมีสีเขียว (Green nanochemistry) การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเชื้อเพลิง (Solar fuels) และอื่น ๆ นอกจากนี้ ยังมีผลงานการเขียนหนังสือมากมายที่เกี่ยวข้องกับนาโนเคมี เช่น Concepts of Chemistry และ Nanochemistry (รูปที่ 1.1 ข และ ค)



รูปที่ 1.1 ก) ภาพถ่ายศาสตราจารย์เจฟเฟอรี โอซิน ข) และ ค) ผลงานการเขียนหนังสือนาโนเคมี (ภาพถ่ายได้รับอนุญาตจากศาสตราจารย์เจฟเฟอรี โอซิน)

1.2 แนวคิดของไฟน์แมนสู่รางวัลโนเบลสาขาเคมี ค.ศ. 2016

ศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟิลลิปส์ ไฟน์แมน (Richard Phillips Feynman) นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน เป็นท่านแรกที่เปิดแนวความคิดเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของนาโนเทคโนโลยี โดยเมื่อ ค.ศ. 1959 ท่านได้กล่าวปาฐกถาในหัวข้อ “There’s plenty of room at the bottom” (ข้างล่างยังมีที่ว่างอีกเยอะ) และแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการจัดการกับอะตอมเดี่ยว ๆ จากคำกล่าวที่ว่า “ในอนาคตข้างหน้ามนุษย์จะสามารถสร้างสิ่งต่าง ๆ ด้วยการจัดเรียงอะตอมได้ในระดับที่แม่นยำ ซึ่ง ณ วันนี้ยังไม่มีกฎฟิสิกส์ใด ๆ รวมทั้งกฎแห่งความไม่แน่นอนใด ๆ มาขัดขวางความเป็นไปได้” หลังจากที่ไฟน์แมนจุดประกายแนวคิดเกี่ยวกับการสร้างและการศึกษาวัสดุที่มีขนาดเล็กในระดับอะตอม ในช่วง 20 ปีต่อมา รายงานการค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยียังมีไม่มากนัก จนกระทั่งเมื่อมีการประดิษฐ์เครื่อง Scanning tunneling microscope (STM) สำเร็จใน ค.ศ. 1981 แนวคิดของไฟน์แมนก็ได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ใน ค.ศ. 1986 ได้มีการตีพิมพ์หนังสือที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี เรื่อง จักรกลแห่งการสร้างสรรค์ (Engines of Creation : The coming era of nanotechnology) แต่งโดย อีริก เดรกเลอร์ (Eric Drexler) ผู้ที่นำแนวคิดของไฟน์แมนมาอธิบายความเป็นไปได้ในการสร้างและการประยุกต์ใช้วัสดุนาโน ทำให้เกิดกระแสกระตุนนักวิทยาศาสตร์ถึงความเป็นไปได้ โดยมีทั้งกลุ่มผู้เห็นด้วยและไม่เห็นด้วย หลังจากนั้น ใน ค.ศ. 1985 มีการค้นพบโครงสร้างคาร์บอนแบบใหม่ ได้แก่ บัคมินสเตอร์ฟูลเลอร์รีน (Buckminster fullerene) หรือบัคกี้บอล ซึ่งเป็นวัสดุนาโน โครงสร้างประกอบด้วยคาร์บอนจำนวน 60 อะตอมเชื่อมต่อกันเป็นทรงกลมคล้ายลูกฟุตบอลโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 1 นาโนเมตร นับตั้งแต่ไฟน์แมนจุดประกายความคิดเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี และเดรกซ์เลอร์ศึกษาแนวทางเพื่อให้เกิดขึ้นเป็นรูปธรรม ในที่สุดเทคโนโลยีที่เคยเชื่อว่าสร้างได้เฉพาะในนิยายวิทยาศาสตร์ เช่น ภาพยนตร์เรื่องมฤตมิตมหัศจรรย์ (Fantastic Voyage) ซึ่งฉายใน ค.ศ. 1966 ก็เป็นจริงได้

ปัจจุบันการสร้างจักรกลวิทยาศาสตร์สามารถเป็นจริงได้ ดังจะเห็นได้จากการที่สมัชชาโนเบลได้มอบรางวัลโนเบล สาขาเคมี ประจำปี ค.ศ. 2016 แด่นักวิทยาศาสตร์ 3 ท่าน ได้แก่ ฌ็อง-ปีแอร์ ซัววาม (Jean-Pierre Sauvage) จากมหาวิทยาลัยสตราสบูร์ก (University of Strasbourg) ประเทศฝรั่งเศส เซอร์ เจ. ฟราเซอร์ สตัดดาร์ต (Sir J. Fraser Stoddart) จากมหาวิทยาลัยอ็อกซ์ฟอร์ด

(Northwestern University) สหรัฐอเมริกา และเบอร์นาร์ด แอล เฟอริงกา (Bernard L. Feringa) จากมหาวิทยาลัยโกรนิงเงิน (University of Groningen) ประเทศเนเธอร์แลนด์ (รูปที่ 1.2) จากผลงานการออกแบบและสังเคราะห์จักรกลโมเลกุล โดยคณะผู้ได้รับรางวัลได้พัฒนาโมเลกุลที่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวให้สามารถทำภารกิจได้เมื่อได้รับพลังงาน ในอนาคตจักรกลโมเลกุลเหล่านี้จะสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุใหม่ เช่น เซอร์ และแหล่งสะสมพลังงาน



รูปที่ 1.2 นักวิทยาศาสตร์รางวัลโนเบลสาขาเคมี ค.ศ. 2016 ซ้าย : ฌ็อง-ปีแอร์ โซวาม

กลาง : เซอร์ เจ ฟราเซอร์ สตัดดาร์ต ขวา : เบอร์นาร์ด แอล เฟอริงกา

(ภาพถ่ายได้รับอนุญาตจาก Nobel Price Outreach)

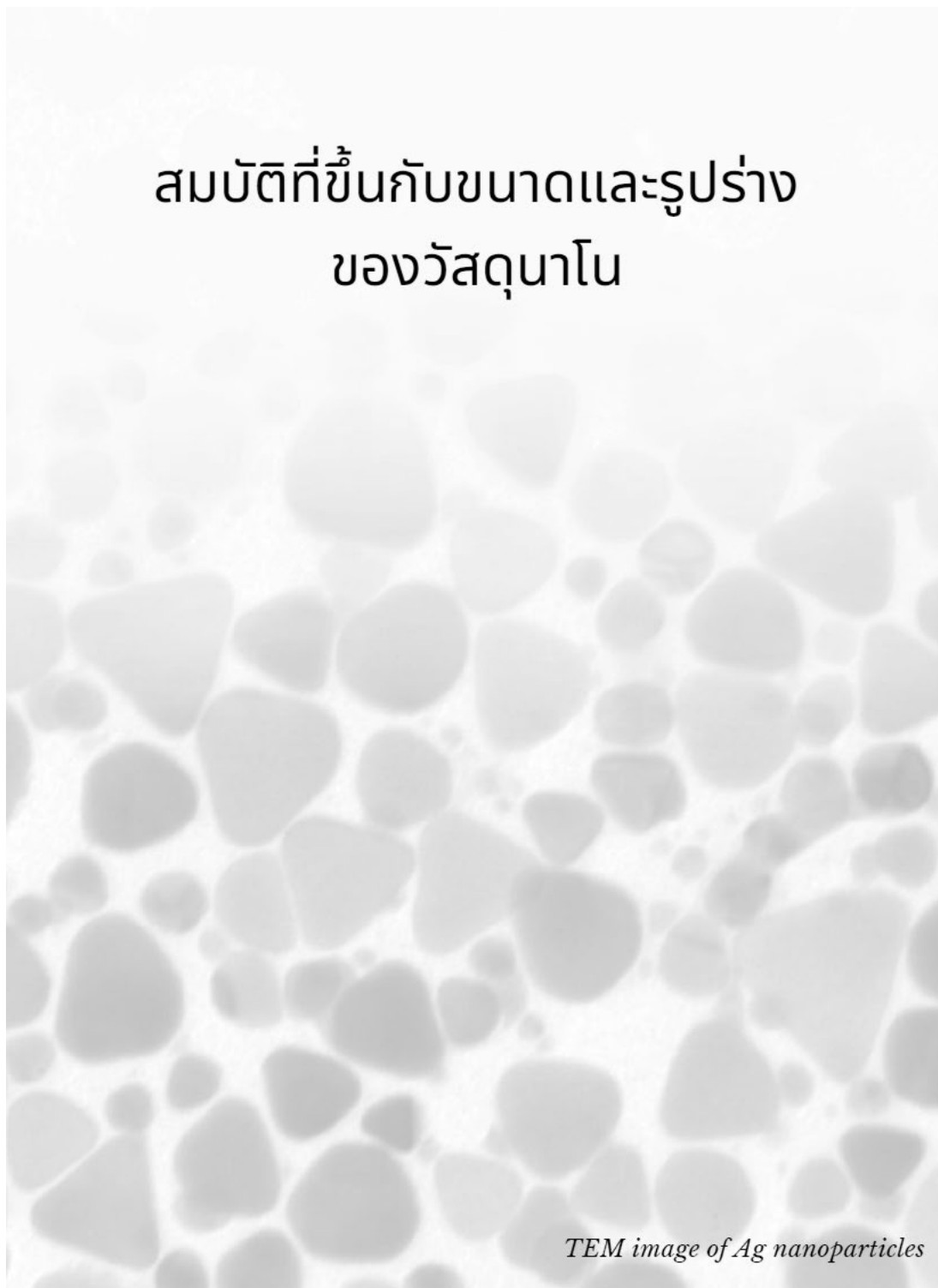
ความสำเร็จในการค้นคว้าและพัฒนาเกี่ยวกับจักรกลโมเลกุลเริ่มต้นตั้งแต่ ค.ศ. 1983 เมื่อ ฌ็อง-ปีแอร์ โซวาม สามารถเชื่อมโมเลกุลวงแหวน 2 วงให้กลายเป็นสายโซ่ เรียกว่า “คาทีเนน” (Catenane) ซึ่งแตกต่างจากปกติที่โมเลกุลจะเกิดแรงยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเคมี แต่กรณีนี้วงแหวนทั้งสองกลับเชื่อมต่อกันลักษณะคล้ายโซ่ ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่สัมพันธ์กัน ต่อมาใน ค.ศ 1991 ฟราเซอร์ สตัดดาร์ต รายงานการพัฒนาโมเลกุลที่มีชื่อว่า โรทาเซน (Rotaxane) ซึ่งมีรูปร่างเป็นวงแหวนร้อยเข้ากับแกนโมเลกุลซึ่งทำหน้าที่เหมือนเพลลา และสาธิตให้เห็นการเคลื่อนที่ของวงแหวนพร้อมกับแกนโมเลกุล ใน ค.ศ. 2004 สตัดดาร์ต รายงานความสำเร็จในการสร้างลิฟต์โมเลกุล ซึ่งสามารถยกสูงจากระดับพื้นได้ถึง 0.7 นาโนเมตร รวมทั้งความสำเร็จในการสร้างกล้ามเนื้อโมเลกุล

ใน ค.ศ. 2005 นอกจากนี้สื่อดอตดาร์ทยังร่วมมือกับกลุ่มวิจัยอื่น ๆ ในการพัฒนาชิปคอมพิวเตอร์ที่มีโมเลกุลเป็นฐาน และอีกหนึ่งความสำเร็จเริ่มต้นใน ค.ศ. 1999 เมื่อ เบอร์นาร์ด เฟอริงกา รายงานความสำเร็จในการพัฒนามอเตอร์โมเลกุล โดยสามารถสร้างไบพัตโมเลกุลที่หมุนต่อเนื่องในทิศทางเดียวกันได้ มอเตอร์โมเลกุลของเขาสามารถเคลื่อนกระบอกแกว่งขนาด 28 ไมโครเมตร ซึ่งใหญ่กว่าขนาดมอเตอร์ถึง 10,000 เท่า และใน ค.ศ. 2011 กลุ่มวิจัยของเฟอริงกายังสามารถสร้างรถยนต์นาโนขับเคลื่อนสล็อตโดยมีไบพัตโมเลกุลทำหน้าที่เป็นล้อ เมื่อไบพัตหมุนจะทำให้รถยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ จากการค้นพบดังกล่าวข้างต้นและรางวัลโนเบลที่ได้รับย่อมเป็นที่ประจักษ์ว่านาโนเคมีมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1.3 ความท้าทายของนาโนเคมี

นาโนเคมี เกี่ยวข้องกับการออกแบบและควบคุมการสังเคราะห์วัสดุที่มีขนาดเล็กระดับนาโน รวมถึงการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุเหล่านั้น เนื่องจากวัสดุนาโนมีขนาดเล็กมาก และมีจำนวนอะตอมที่พื้นผิวสูง สมบัติต่าง ๆ จึงถูกกำหนดโดยสมบัติของอะตอมที่พื้นผิว ทำให้วัสดุนาโนมีสมบัติที่แตกต่างตามขนาด เรียกว่า สมบัติที่ขึ้นกับขนาด (Size-dependent property) และมีสมบัติที่แตกต่างตามรูปร่าง เรียกว่า สมบัติที่ขึ้นกับรูปร่าง (Shape-dependent property) สมบัติที่ต่างกันนี้ส่งผลกระทบต่อความว่องไวและความจำเพาะในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น หนึ่งในโจทย์วิจัยสำคัญด้านนาโนเคมี คือ การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและรูปร่างต่อประสิทธิภาพทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยานาโน แม้ว่าวัสดุนาโนโดยทั่วไปมีขนาดในช่วง 1-100 นาโนเมตร แต่บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแต่ละตำแหน่งเกี่ยวข้องในระดับประมาณ 1 นาโนเมตรหรืออาจอยู่ในระดับอะตอมเท่านั้น ดังนั้น สมบัติของธาตุ คลัสเตอร์ และวัสดุนาโนจึงขึ้นอยู่กับอะตอมที่สภาวะแวดล้อมต่างกัน ความเข้าใจกลไกการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับขนาดและรูปร่างเป็นประเด็นท้าทายสำคัญที่นำไปสู่ความสำเร็จในการพัฒนาองค์ความรู้ด้านนาโนเคมี จนสามารถออกแบบและควบคุมการสังเคราะห์วัสดุนาโนให้มีสมบัติต่าง ๆ ตามความต้องการ และที่สำคัญต้องสามารถควบคุมได้อย่างละเอียดแม่นยำในระดับอะตอม

สมบัติที่ขึ้นกับขนาดและรูปร่าง ของวัสดุนาโน



TEM image of Ag nanoparticles

สมบัติที่ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของวัสดุนาโน

(Size and Shape Dependent Properties of Nanomaterials)

2.1 วัสดุนาโน

วัสดุนาโน (Nanomaterial) คือ วัสดุที่เกิดจากการรวมกันเป็นกลุ่มของอะตอม โมเลกุล หรือ ไอออน และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับนาโน โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร นอกจากนี้ วัสดุนาโนยังครอบคลุมวัสดุโครงสร้างนาโน (Nanostructure material) ซึ่งมีโครงสร้างภายในหรือ โครงสร้างพื้นผิวระดับนาโน วัสดุนาโนแบ่งตามมิติของโครงสร้างได้ 3 ประเภท ได้แก่ 1) วัสดุนาโนที่ โครงสร้างทั้ง 3 มิติถูกจำกัดในระดับนาโน เรียกว่า วัสดุนาโนศูนย์มิติ (Zero-dimensional (0-D) nanomaterials) เช่น อนุภาคนาโน (Nanoparticle) และหมุดควอนตัม (Quantum dot) 2) วัสดุนาโนที่โครงสร้าง 2 มิติถูกจำกัดในระดับนาโน และ 1 มิติมีขนาดในระดับมหภาค เรียกว่า วัสดุนาโนหนึ่งมิติ (One-dimensional (1-D) nanomaterials) เช่น ลวดนาโน (Nanowire) และท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube) และ 3) วัสดุที่มีโครงสร้าง 1 มิติถูกจำกัดในระดับนาโนและ 2 มิติ มีขนาดในระดับมหภาค เรียกว่า วัสดุนาโน 2 มิติ (Two-dimensional (2-D) nanomaterials) เช่น ฟิล์มบางนาโน (Nano-thin film) แผ่นบางนาโน (Nanosheet) และผลึกนาโนรูปแผ่น (Nanoplate) นอกจากนี้วัสดุนาโนสามารถแบ่งตามชนิดของวัสดุองค์ประกอบ ได้แก่ วัสดุนาโนอนินทรีย์ (Nano-inorganic materials) เช่น อนุภาคนาโนโลหะ (Metallic nanoparticles) อนุภาคนาโนโลหะออกไซด์ (Metal oxide nanoparticles) และหมุดควอนตัม วัสดุนาโนอินทรีย์ เช่น เดนไดเมอร์ (Dendrimers) ไมเซลล์ (Micelles) ลิโพโซม (Liposomes) และวัสดุนาโนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (Carbon-based nanomaterials) เช่น ฟูลเลอร์รีน (Fullerene) ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube) และแกรฟีน (Graphene) ฯลฯ