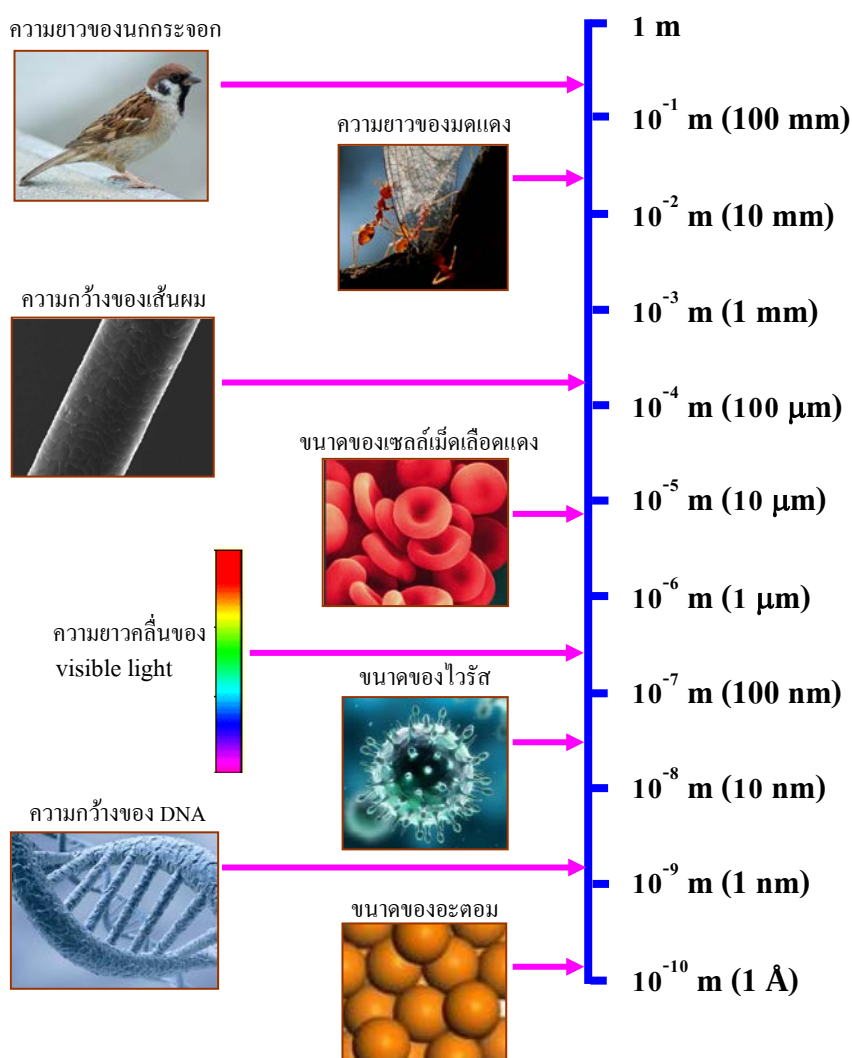


บทนำ

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) ตามความหมายที่ถูกนิยามขึ้นโดยมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (National Science Foundation; NSF) ของสหรัฐอเมริกา คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ การสร้างหรือการสังเคราะห์ รวมไปถึงการออกแบบและใช้เครื่องมือเพื่อสร้างวัสดุ อุปกรณ์ หรือ สสารที่มีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 1-100 นาโนเมตร ซึ่งมีผลทำให้โครงสร้างของวัสดุ อุปกรณ์ หรือ สสารมีสมบัติเปลี่ยนไปไม่ว่าจะเป็นทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ตามที่ต้องการได้ แต่ทั้งนี้การศึกษาและพัฒนาวัสดุ หรือสสารที่มีขนาดอยู่นอกเหนือจากช่วง 1-100 นาโนเมตร ที่แสดงสมบัติแตกต่างจากวัสดุหรือสสารขนาดปกติก็จัดเป็นนาโนเทคโนโลยีได้เช่นเดียวกัน



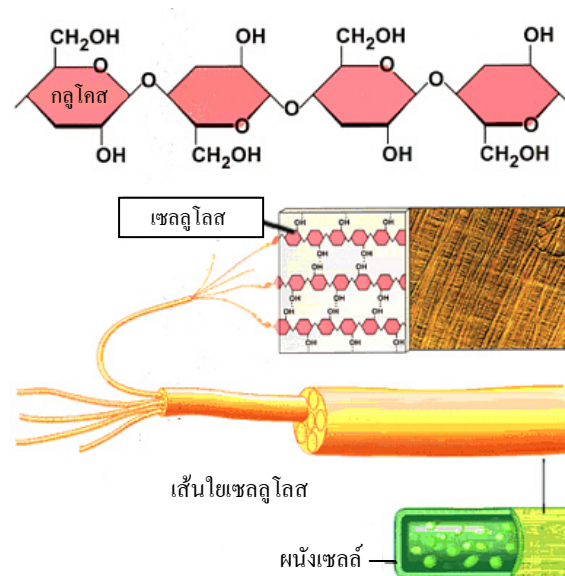
รูปที่ 1 การเปรียบเทียบขนาดของสิ่งต่าง ๆ

ที่มาของภาพ นกกระจอก (<http://commons.wikimedia.org>) มดแดง (นายอนุรักษ แพทย์กิจ) เส้นผม (<http://riesenbach.com>) เซลล์เม็ดเลือดแดง (<http://singularityhub.com>) visible light (<http://ed101.bu.edu>) ไวรัส (<http://nanobiotechnews.com>) DNA (<http://www.sanfranmag.com>) และ อะตอม (<http://nanotechnologytoday.blogspot.com>)

หมายเหตุ mm = มิลลิเมตร μ m = ไมโครเมตร nm = นาโนเมตร Å = อังสตรอม

ความเป็นมาของนาโนเทคโนโลยี

วัสดุและสารขนาดนาโนเมตรไม่ใช่ของใหม่ แต่กำเนิดมาพร้อมกับการสร้างสิ่งมีชีวิตบนโลก เช่น พืชสร้างผนังเซลล์จากการนำโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาต่อกัน (ดังรูปที่ 2) แต่มนุษย์เพิ่งเริ่มทำความเข้าใจพยายามที่จะควบคุมและใช้ประโยชน์จากขนาดของวัสดุและสารในระดับนาโนเมตรได้เมื่อไม่นานมานี้เอง จึงได้มีการบัญญัติศาสตร์ที่เรียกว่า นาโนเทคโนโลยี ขึ้นมา



รูปที่ 2 ผนังเซลล์จากการต่อกันของโมเลกุลกลูโคส
(ภาพจาก <http://www.botany.hawaii.edu>)

ปี พ.ศ. 2448 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการแพร่ของน้ำตาลซูโครสในน้ำ ซึ่งได้นำข้อมูลจากการทดลองมาคำนวณหาขนาดของน้ำตาลซูโครส 1 โมเลกุลพบว่ามีความประมาณ 1 นาโนเมตร ทำให้คำว่า “นาโน” เป็นที่รู้จักกันในวงการวิทยาศาสตร์

ปี พ.ศ. 2502 ริชาร์ด ฟายน์แมน (Richard Feynman) ผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี พ.ศ. 2508 ได้แสดงความคิดเห็นและกล่าวถึงความเป็นไปได้และประโยชน์ที่จะได้จากการจัดการกับสารต่าง ๆ ในระดับอะตอมและโมเลกุล ในปาฐกถา เรื่อง “There’s Plenty of Room at the Bottom” ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นการกล่าวถึงนาโนเทคโนโลยีเป็นครั้งแรกและจากปาฐกถาดังกล่าวได้นำไปสู่การศึกษาค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการจัดการสารต่าง ๆ ในระดับอะตอมและโมเลกุลอย่างกว้างขวาง เขาจึงได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี



รูปที่ 3 ริชาร์ด ฟายน์แมน
(ภาพจาก <http://nobelprize.org>)

ปี พ.ศ. 2517 โนริโอะ ทานิกูชิ (Norio Taniguchi) ศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น เป็นคนแรกที่ใช้คำว่า นาโนเทคโนโลยี อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการ เช่น separation consolidation และ deformation ของอะตอมหรือโมเลกุลที่เกิดขึ้นในระดับนาโน ในการผลิตสารกึ่งตัวนำและการควบคุมลำแสง และยังเป็นผู้นำบุกเบิกในการประยุกต์ใช้ลำแสงของโฟตอน (เลเซอร์) อิเล็กตรอน หรือไอออน ผลิตเครื่องมือตัดเจาะวัตถุที่มีความแข็งแต่เปราะซึ่งมีความแม่นยำสูง

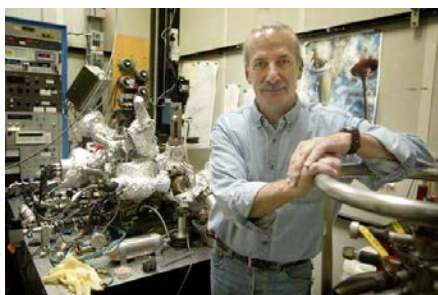
ปี พ.ศ. 2524 เกร็ด บินนิง (Gerd Binnig) และไฮน์ริช โรทเทอร์ (Heinrich Rohrer) ประสบความสำเร็จในการสร้างกล้อง Scanning Tunneling Microscope (STM) (ทั้งสองคนได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี พ.ศ. 2529) ที่สามารถให้ภาพการจัดเรียงตัวของอะตอมของสสารได้อย่างชัดเจน



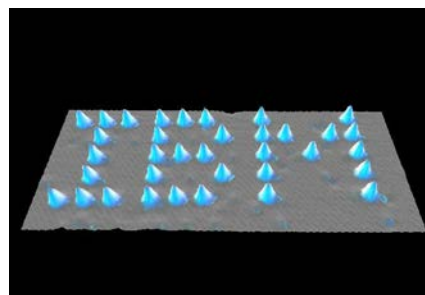
รูปที่ 4 เกร็ด บินนิง และ ไฮน์ริช โรทเทอร์ กับกล้อง STM ที่ประดิษฐ์ขึ้น

(ภาพจาก <http://picasaweb.google.com/>)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2532 ดอน ไอเกลอร์ (Don Eigler) ได้ใช้กล้อง STM เป็นเครื่องมือในการจัดเรียงอะตอมของธาตุซีนอนทีละอะตอมให้เป็นอักษร “IBM” บนแผ่นโลหะนิกเกิล (รูปที่ 6) ซึ่งเหตุการณ์นี้แสดงให้เห็นว่ามนุษย์สามารถเข้าไปจัดวางตำแหน่งของอะตอมได้เป็นครั้งแรก



รูปที่ 5 ดอน ไอเกลอร์ กับกล้อง STM
(ภาพจาก <http://imgs.sfgate.com>)



รูปที่ 6 ธาตุซีนอน 35 อะตอม ถูกจัดเรียงเป็นอักษร IBM บนแผ่นนิกเกิล (ภาพจาก <http://www.nccr-nano.org>)

ปี พ.ศ. 2529 อีริก เดรกซ์เลอร์ (Eric Drexler) ได้เขียนหนังสือชื่อ “Engines of Creation” ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการอธิบายวิธีการผลิตหรือประดิษฐ์อุปกรณ์ในระดับนาโนเมตรและความคาดหวังที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมากจนทำให้กระแสของนาโนเทคโนโลยี แพร่กระจายอย่างกว้างขวางในเวลาอันรวดเร็วในหมู่นักวิทยาศาสตร์และนักเทคโนโลยี



รูปที่ 7 อีริก เดรกซ์เลอร์

(ภาพจาก <http://e-drexler.com>)



รูปที่ 8 บิล คลินตัน

(ภาพจาก <http://www.mrlocke.com>)

ปี พ.ศ. 2543 บิล คลินตัน (Bill Clinton) ประธานาธิบดีสหรัฐอเมริกาในสมัยนั้น ได้ผลักดันให้จัดตั้ง National Nanotechnology Initiation (NNI) ซึ่งเป็นโครงการที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในเรื่องเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี ทำให้ประเทศต่างๆ ทั่วโลกตื่นตัวและหันมาให้การสนับสนุนการวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีมากขึ้น

สำหรับประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2546 รัฐบาลได้อนุมัติการจัดตั้งศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (นาโนเทค; Nanotec) ซึ่งเป็นองค์กรภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีภารกิจหลักในการสร้าง สนับสนุน ส่งเสริมศักยภาพของนาโนเทคโนโลยีและถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ภาคอุตสาหกรรม รวมทั้งเผยแพร่ความรู้และสร้างความตระหนักให้กับประชาชนในประเทศไทยให้มีความพร้อมในการรับข่าวสารข้อมูลเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

ปัจจุบันความก้าวหน้าของนาโนเทคโนโลยีกำลังได้รับความสนใจในหมู่นักวิจัยและได้ถูกพัฒนาให้เข้ามามีบทบาทอยู่ในสิ่งของเครื่องใช้หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเราในชีวิตประจำวัน โดยนักวิจัยเชื่อว่านาโนเทคโนโลยีจะมีส่วนในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น มีอายุยาวนานขึ้น ปราศจากโรคร้าย มีความสะดวกสบาย ลดปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนพลังงานและอาหาร

งานวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีได้เผยออกมาเป็นระยะๆ ในรอบหลายสิบปีที่ผ่านมา โดยปรากฏอยู่ในงานวิจัยของหลายสาขา ตัวอย่างเช่น

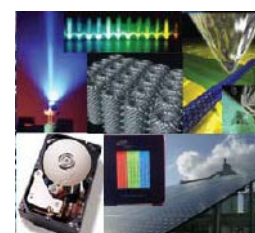


การผลิตวงจรรีเลย์ทรอนิกส์สำหรับคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ หรืออุปกรณ์ในรถยนต์ ซึ่งมีขนาดเล็กลงแต่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

รูปที่ 9 วงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก

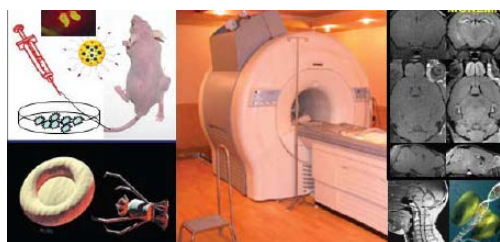
(ภาพจาก <http://www.actel.com>)

การสังเคราะห์จักรกลนาโนซึ่งสามารถนำมาใช้งานในด้านวิศวกรรมเครื่องกลระดับโมเลกุล หรือการสังเคราะห์วัสดุที่มีสมบัติพิเศษสำหรับการทำงานที่มีหน้าที่ซับซ้อนได้มากขึ้น



รูปที่ 10 วัสดุระดับนาโน

(ภาพจาก <http://c2e2.snu.ac.kr>)



รูปที่ 11 นาโนกับงานวิจัยทางการแพทย์

(ภาพจาก <http://c2e2.snu.ac.kr>)

การวิจัยหรือผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ที่สามารถทำหน้าที่ในการควบคุมการปลดปล่อยหรือนำส่งยาเพื่อการรักษาโรคในอวัยวะเป้าหมายที่มีความแม่นยำมากขึ้น

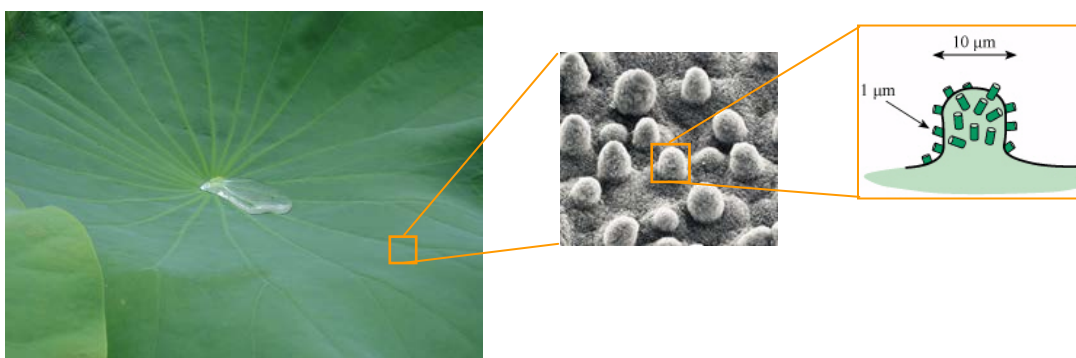
อย่างไรก็ตามนาโนเทคโนโลยียังอยู่ในช่วงกำลังพัฒนาและยังไม่มีมีการตรวจสอบผลกระทบในระยะยาว ถ้ามนุษย์ไม่สามารถควบคุมหรือขาดคุณธรรมจริยธรรมในการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเหล่านี้ ก็จะส่งผลเสียได้อย่างมากมาย เช่น การผลิตอาวุธสงครามหรืออาวุธชีวภาพโดยอาศัยนาโนเทคโนโลยี หรืออนุภาคนาโนเมตรที่เล็กมากนั้นจะมีผลข้างเคียงอันไม่พึงประสงค์ต่อร่างกายมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมในระยะยาวหรือไม่ ก็ยังเป็นเรื่องที่ต้องทำการศึกษากันต่อไป

นาโนเทคโนโลยีในธรรมชาติ

นาโนเทคโนโลยีมีอยู่แล้วในธรรมชาติ มนุษย์เราสามารถพัฒนาร่างกายตั้งแต่ปฏิสนธิจนมีอวัยวะที่ซับซ้อนได้ก็อาศัยการควบคุมในระดับอะตอมหรือโมเลกุลซึ่งมีรูปแบบที่ค่อนข้างแน่นอน เช่น การควบคุมให้อะตอมและโมเลกุลต่างๆ จัดเรียงตัว ณ ตำแหน่งที่เหมาะสมในสาย DNA การถ่ายทอดหรือส่งผ่านข้อมูลไปยัง RNA เพื่อนำคำสั่งไปสังเคราะห์โปรตีนโดยให้กรดอะมิโนแต่ละตัวมาเชื่อมต่อกันในลำดับที่ถูกต้องเหมาะสมและปรับเปลี่ยนรูปร่างไปเป็นโปรตีนที่มีความซับซ้อนเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ อย่างเฉพาะเจาะจง เป็นต้น นอกจากนี้ในร่างกายเราแล้ว สิ่งต่างๆ รอบตัวไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์บางชนิดก็ใช้นาโนเทคโนโลยีในการดำรงชีวิตเช่นเดียวกัน

ใบบัว

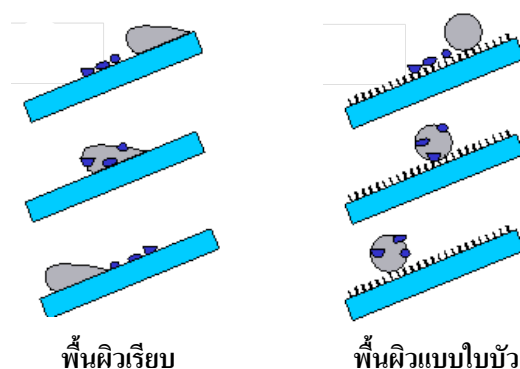
ใบบัวมีพื้นผิวที่น้ำไม่สามารถเกาะติดได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus effect) เมื่อพิจารณาภาพขยายของใบบัวจะพบว่ามียูนขนาดเล็กประมาณ $10\ \mu\text{m}$ เรียงตัวกระจายอยู่ทั่วไป และบนยูนขนาดเล็กนี้ยังมีเส้นขนที่มีขนาดประมาณ $1\ \mu\text{m}$ เกาะอยู่จำนวนมาก ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 พื้นผิวของใบบัว

(ภาพจาก <http://gotoknow.org> และ <http://physicsweb.org>)

การที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านหรือกระจายตัวลงไปแนบกับผิวใบได้ เนื่องมาจากยูนขนาดเล็กและเส้นขนบนใบบัวมีไขมันเคลือบอยู่ทำให้ไม่รวมตัวกับน้ำ นอกจากนี้อากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างยูนหนามเหล่านั้นจะช่วยผลักและประคองไม่ให้น้ำซึมผ่านลงไปได้ ดังนั้นถ้ามีสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่น เชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อรา เกาะอยู่บนใบบัว เมื่อหยดน้ำไหลผ่านจะทำให้สิ่งสกปรกเหล่านั้นหลุดติดไปกับหยดน้ำได้อย่างง่ายดายจึงทำให้ใบบัวสะอาดอยู่ตลอดเวลา นักวิทยาศาสตร์จึงได้นำปรากฏการณ์นี้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น สีทาบ้าน กระเบื้องมุงหลังคา กระຈก เสื้อผ้าและพื้นผิวของสิ่งต่างๆ ที่ไม่ต้องการให้เปียกน้ำและสามารถทำความสะอาดตัวเองได้

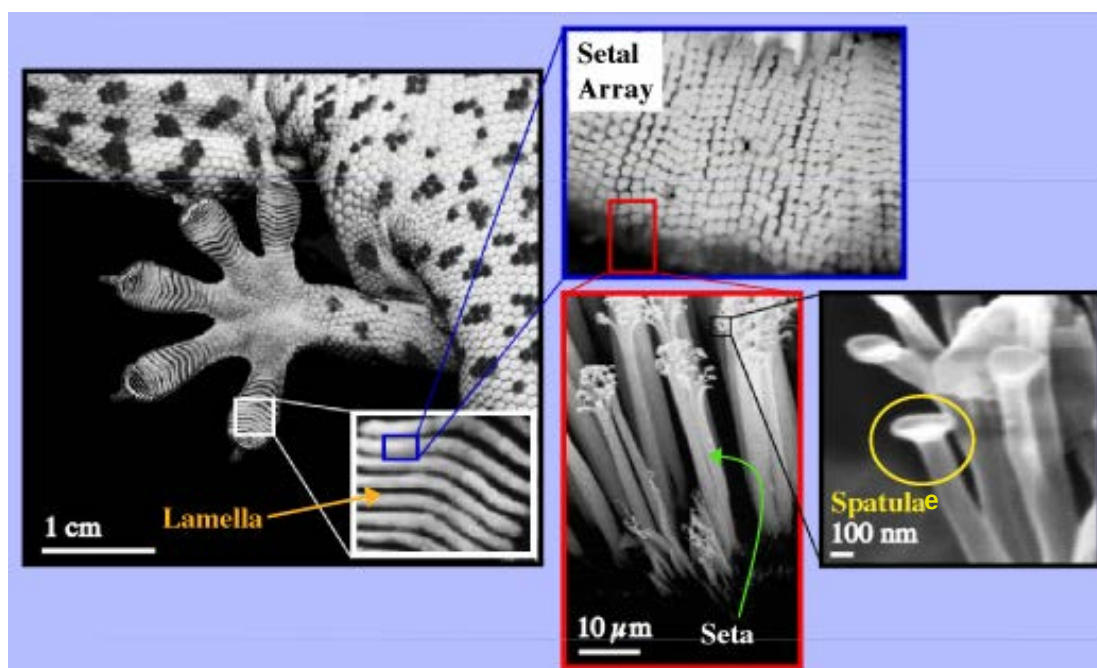


รูปที่ 13 เปรียบเทียบการทำความสะอาดสิ่งสกปรกของวัตถุที่มีพื้นผิวเรียบกับพื้นผิวแบบใบบัว

(ภาพจาก <http://www.ces.clemson.edu>)

ตุ๊กแก

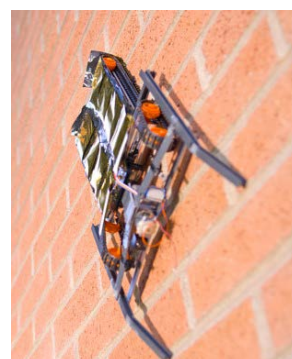
ตุ๊กแกสามารถปีนกำแพงหรือเกาะติดผนังที่ราบเรียบและลื่นได้อย่างมั่นคง เมื่อพิจารณาที่เท้าของตุ๊กแกจะพบว่า บริเวณนี้เท้ามีลักษณะเหมือนเป็นเกล็ดมองเห็นเป็นชั้นๆ นักวิทยาศาสตร์เรียกชั้นเหล่านี้ว่า ลามเล่ (lamellae) เมื่อส่องดูลามเล่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะพบว่า ประกอบด้วยขนเส้นเล็กๆ จำนวนมากมายเป็นหลายล้านเส้น เรียกว่า ซีต (setae) และแต่ละซีตจะมีเส้นขนแตกแขนงออกไปอีกเป็นจำนวนนับร้อย ซึ่งแต่ละเส้นมีขนาดเล็กประมาณ 200 nm เรียกว่า สปาตุเล่ (spatulae)



รูปที่ 14 ภาพขยายได้เท้าตุ๊กแก

(ภาพจาก <http://socrates.berkeley.edu>)

แต่ละปลายของสไปดูล์สามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับผนังหรือเพดานได้ โดยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) ถึงแม้ว่าแรงแวนเดอร์วาลส์จะเป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อน แต่เนื่องจากสไปดูล์มีจำนวนมากมายมหาศาลจึงทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวอย่างเหนียวแน่น นักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองวัดแรงดึงของซีเด่หนึ่งเส้นพบว่า สามารถยกมดที่มีน้ำหนัก 20 mg ได้ 1 ตัว เมื่อรวมแรงดึงดูดของซีเด่จำนวนประมาณสองล้านเส้นจากเท้าทั้งสี่ของตุ๊กแกพบว่า มีค่าประมาณ 40 kg ซึ่งมากกว่าแรงที่ตุ๊กแกต้องการใช้ในคืบน้ำหนักของตัวเองเพื่อไต่บนเพดานถึง 1000 เท่า จึงอธิบายได้ว่าทำไมตุ๊กแกจึงสามารถเกาะติดเพดานได้แม้ว่าจะใช้นิ้วยึดเพดานเพียงแค่นิ้วเดียว



นักวิทยาศาสตร์ได้นำหลักการนี้มาใช้ในการผลิตวัสดุสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยขนขนาดนาโน เพื่อนำไปผลิตเป็นแถบยึดโดยไม่ต้องใช้กาว นอกจากนี้ยังนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ถุงมือ ผ้าพันแผล ตลอดจนนำไปพัฒนาหุ่นยนต์ให้สามารถไต่ผนังหรือเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งได้อีกด้วย

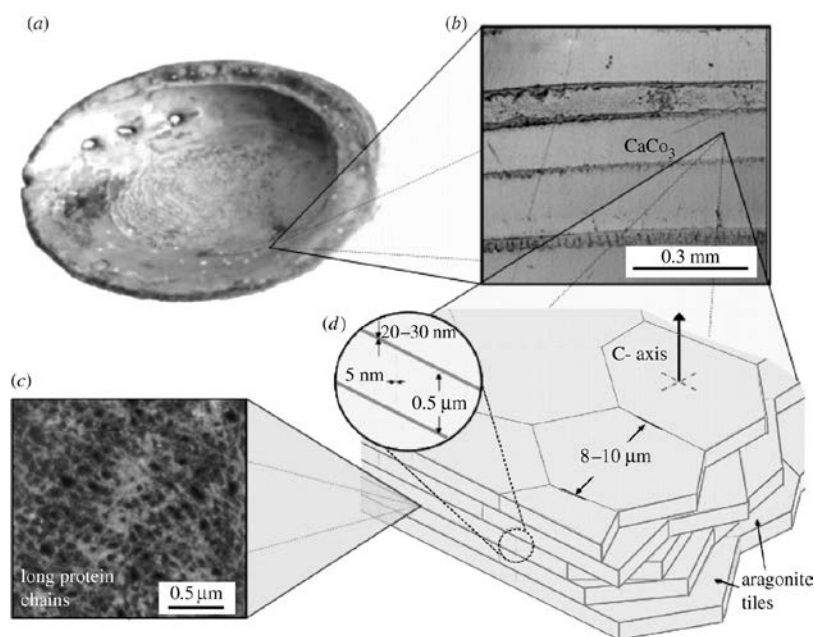
รูปที่ 15 หุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการเดียวกับเท้าตุ๊กแก
(ภาพจาก <http://www.hizook.com>)

หอยเป๋าฮื้อ

การที่เปลือกหอยเป๋าฮื้อมีลักษณะเป็นมันวาว มีความแข็งแรงทนทานไม่แตกหักง่ายเมื่อถูกทุบหรือกระแทกอย่างแรง เมื่อเปรียบเทียบกับชอล์กซึ่งมีองค์ประกอบเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เหมือนกันนั้น เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตในชอล์กจะมีลักษณะเป็นผงฝุ่น แต่ในเปลือกหอยเป๋าฮื้อ แคลเซียมคาร์บอเนตจะมีการจัดเรียงตัวเป็นแผ่นเหล็ยมเล็กๆ ที่มีความหนาประมาณ 0.5 – 10 μm และจะวางเรียงซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบมีลักษณะคล้ายกำแพงอิฐ โดยแต่ละชั้นจะห่างกันประมาณ 20 – 30 nm และในระหว่างชั้นนั้นจะมีโปรตีนสายยาวทำหน้าที่เสมือนกาวเชื่อมระหว่างชั้น จึงทำให้เปลือกหอยเป๋าฮื้อมีความแข็งแรงมาก



รูปที่ 16 หอยเป๋าฮื้อ
(ภาพจาก <http://www.nanotec.or.th>)



รูปที่ 17 ภาพขยายโครงสร้างของเปลือกหอยเป้าสือ

(ภาพจาก <http://rsta.royalsocietypublishing.org>)

ความรู้ที่ได้จากการที่สารเคมีชนิดเดียวกันจัดเรียงตัวในโครงสร้างระดับนาโนแตกต่างกัน แล้วทำให้มีสมบัติทางกายภาพและเคมีต่างกัน ดังตัวอย่างของเปลือกหอยเป้าสือกับขอลค์นี้ ทำให้นักนาโนเทคโนโลยีสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างวัสดุใหม่ๆ ที่มีสมบัติแตกต่างไปจากเดิมได้

ผีเสื้อ

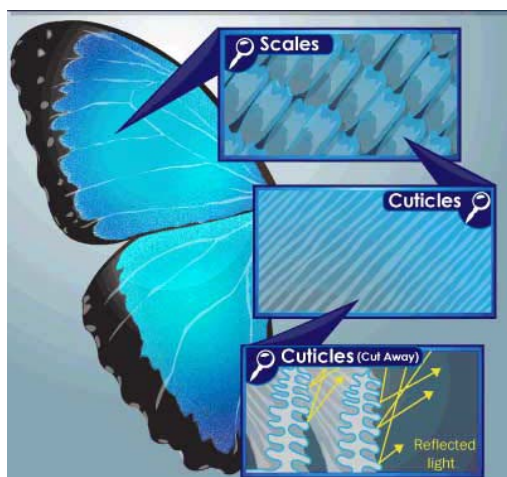
ผีเสื้อในธรรมชาติมีสีที่สวยงาม โดยสีเหล่านั้นอาจใช้ในการพรางตัว ดึงดูดเพศตรงข้าม หรือเป็นสัญญาณเตือนภัยก็ได้ สีบนปีกผีเสื้อสามารถจำแนกตามแหล่งการเกิดได้เป็น 2 ประเภท คือ เกิดจากเม็ดสี (pigment) ซึ่งมีสารเคมีที่สามารถดูดซับคลื่นแสงบางความยาวคลื่นและสะท้อนคลื่นแสงที่ไม่ถูกดูดซับออกมา โดยผีเสื้อส่วนใหญ่อาจมีโทนสีแตกต่างกันตั้งแต่สีน้ำตาลจนไปถึงสีเหลือง เนื่องจากในเม็ดสีมีสารเมลานิน (melanin) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกันกับในเม็ดสีบนผิวของเรานั่นเอง

ส่วนประเภทที่สองเกิดจากโครงสร้างของปีกผีเสื้อซึ่งสามารถหักเหและสะท้อนคลื่นแสงได้ อย่างเช่น ผีเสื้อ *Morpho rhetenor* ซึ่งมีโครงสร้างในระดับนาโนที่มีลักษณะคล้ายกับต้นสนเรียงต่อกัน โดยแต่ละก้านของต้นสนมีความหนาประมาณ 90 nm เมื่อแสงตกกระทบจะทำให้เกิดการหักเหและสะท้อนแสงจำนวนมากมายหลายครั้ง ทำให้สีที่ปรากฏมีความเข้มของสีมาก ดังเช่นสีที่ปรากฏซึ่งมองเห็นเป็น



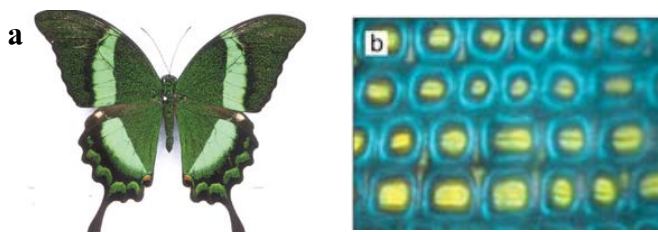
รูปที่ 18 ผีเสื้อ *Morpho rhetenor*

(ภาพจาก <http://www.nano.ecs.soton.ac.uk>)



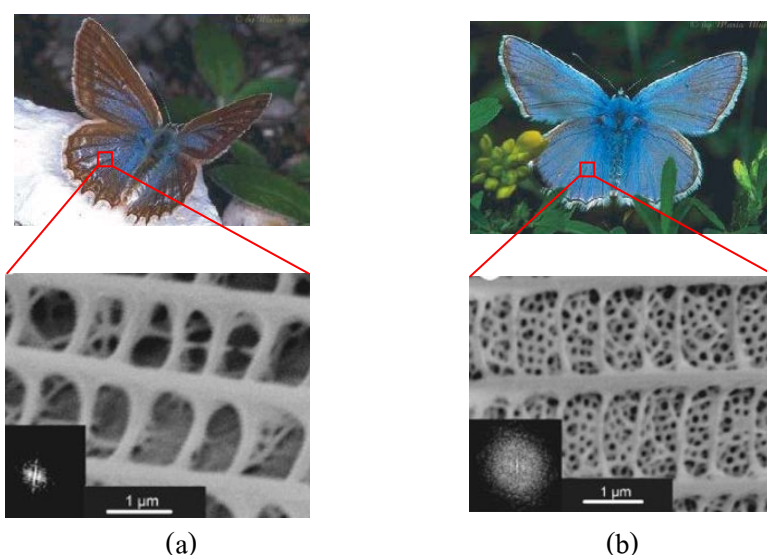
รูปที่ 19 ภาพขยาย โครงสร้างปีกผีเสื้อ Morpho rhetenor
(ภาพจาก <http://animals.howstuffworks.com>)

นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างของปีกผีเสื้อแบบอื่นอีกที่อาศัยหลักการหักเหและสะท้อนแสงเช่นเดียวกับผีเสื้อ Morpho rhetenor เพียงแต่มีรูปร่างแตกต่างกันออกไป เช่น ผีเสื้อ Papilio palinurus มีโครงสร้างของปีกเป็นช่องเล็กๆ ที่เมื่อแสงตกกระทบแล้วจะหักเหและสะท้อนให้สีออกมา หรือ ผีเสื้อ Polyommatus daphnis หรือ Meleager's blue ซึ่งโครงสร้างของปีกมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กๆ คล้ายฟองน้ำ โดยจำนวนและขนาดของรูพรุนจะส่งผลต่อสีของปีกผีเสื้ออีกด้วย



รูปที่ 20 ผีเสื้อ Papilio palinurus (a) และภาพขยายแสดงสีที่เกิดจากการสะท้อนของช่องเล็กๆ ที่อยู่ในโครงสร้างปีก (b)

(ภาพจาก <http://www.clspectrum.com>)



รูปที่ 21 ภาพแสดงสีของปีกและภาพขยายแสดงให้เห็นรูพรุนบนปีกของผีเสื้อ Polyommatus daphnis ที่อยู่บนภูเขาสูง (a) และที่อยู่บนที่ราบ (b)

(ภาพจาก <http://www.thai-nano.com>)

สี น้ำเงินสดใส อย่างไรก็ตามถ้าเรามองที่ตกกระทบแตกต่างกัน สีที่มองเห็นก็จะแตกต่างกันไปด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตามสีของผีเสื้อที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการผสมกันของสีที่เกิดจากเม็ดสีและจากโครงสร้างของปีก เช่น ถ้าปีกผีเสื้อมีเม็ดสีที่สะท้อนให้สีเหลืองอยู่ภายใต้ปีกที่มีโครงสร้างที่สะท้อนให้สีน้ำเงิน เราอาจจะมองเห็นผีเสื้อตัวนั้นมีปีกสีเขียว หรือในตอนที่ผีเสื้อขยับปีก เราอาจจะเห็นปีกของผีเสื้อเป็นสีน้ำเงิน เหลือง เขียว หรืออาจเห็นเป็นสีผสมของทั้งสามสีก็ได้

เอกสารอ้างอิง

ณัฐพันธุ์ ศุภกา. “ไขปริศนานาโนเทคโนโลยี,” [Online]. Available:

<http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php?Aid=324&page=9>

(Retrieved 27/1/2011)

เวฬุรีย์ ทองคำ. “โครงสร้างนาโนในธรรมชาติ ตอน ดินตุ๊กแกแสนหนึบ,” [Online]. Available:

http://www.thai-nano.com/nano_articledetail.php?article_id=38

(Retrieved 7/2/2011)

เวฬุรีย์ ทองคำ. “โครงสร้างนาโนในธรรมชาติ ตอน ผีเสื้อสีส้มอันน่ามหัศจรรย์,” [Online]. Available:

http://www.thai-nano.com/nano_articledetail.php?article_id=18

(Retrieved 7/2/2011)

“ความเป็นมาของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ,” [Online]. Available:

http://www.nanotec.or.th/nanotec_th/index.php?status=about_us (Retrieved 4/2/2011)

“รู้จักนาโนเทคโนโลยี,” [Online]. Available:

http://www.nanotec.or.th/nanotec_th/index.php?status=knowledge&s_status=k_01#

(Retrieved 27/1/2011)

Bharat Bhushan. “Biomimetics: lessons from nature—an overview,” [Online]. Available:

<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/367/1893/1445.full> (Retrieved 8/2/2011)

Chris Phoenix. “Nanotechnology Press Kit - History of Nanotechnology,” [Online]. Available:

http://www.nanotech-now.com/Press_Kit/nanotechnology-history.htm

(Retrieved 27/1/2011)

Jennifer Horton. “Where do butterflies get their striking colors?,” [Online]. Available:

<http://animals.howstuffworks.com/insects/butterfly-colors.htm/printable>

(Retrieved 10/2/2011)

“Nanochemistry,” [Online]. Available: <http://www.bookrags.com/research/nanochemistry-woc/>

(Retrieved 27/1/2011)