

บทความ

ดร.ศุภมาส ด้านวิทยากร
ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีวัสดุเพื่อสิ่งแวดล้อม
หน่วยวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม

• ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
e-mail: supamasd@mtec.or.th

วัสดุนาโน เลียนแบบสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ

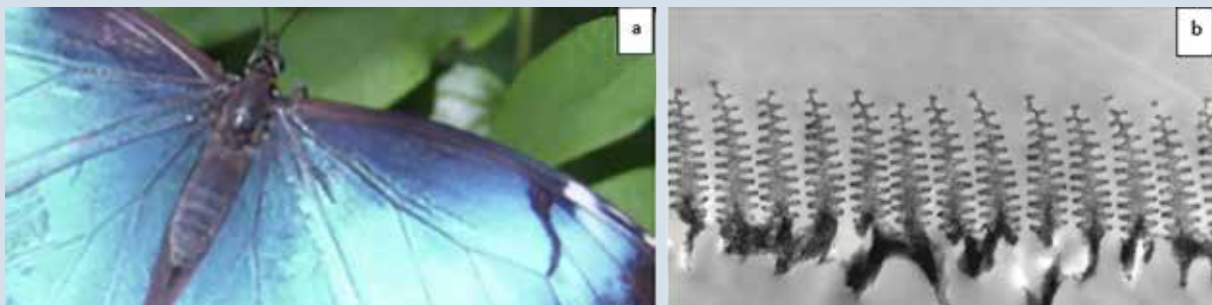
การสังเคราะห์วัสดุนาโนเลียนแบบสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติเป็นไปอย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการเลียนแบบโครงสร้างระดับนาโนเพื่อทำให้วัสดุนาโนเหล่านั้นเกิดสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากวัสดุแบบดั้งเดิม หรือการเลียนแบบความสามารถในบางลักษณะของสิ่งมีชีวิตเพื่อจำลองเป็นสิ่งประดิษฐ์ เช่น โดรนจิ๋ว โดยเลียนแบบความสามารถการมองรอบทิศทางของแมลงวัน และกำหนดทิศทางการบินได้อย่างดีเยี่ยม เป็นต้น บทความนี้ได้ยกตัวอย่างถึงความพิเศษของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติที่นักวิจัยและวิศวกรสนใจเลียนแบบสำหรับการพัฒนาวัสดุนาโนเพื่อประโยชน์ในการใช้สอยที่กว้างขวางมากขึ้น

ทำไมปีกผีเสื้อบางชนิดมีสีสวยงามถึงที่ไม่เป็นสีได้ทั้งที่ไม่มีรงควัตถุหรือเม็ดสีเป็นองค์ประกอบเลย เรียกว่า “structural coloration” โครงสร้างระดับนาโนนี้ไม่ได้พบแต่ในผีเสื้อเท่านั้น สัตว์ปีกที่อื่นก็มีโครงสร้างแบบเดียวกันก็จะมีสีที่สวยงามเช่นกัน

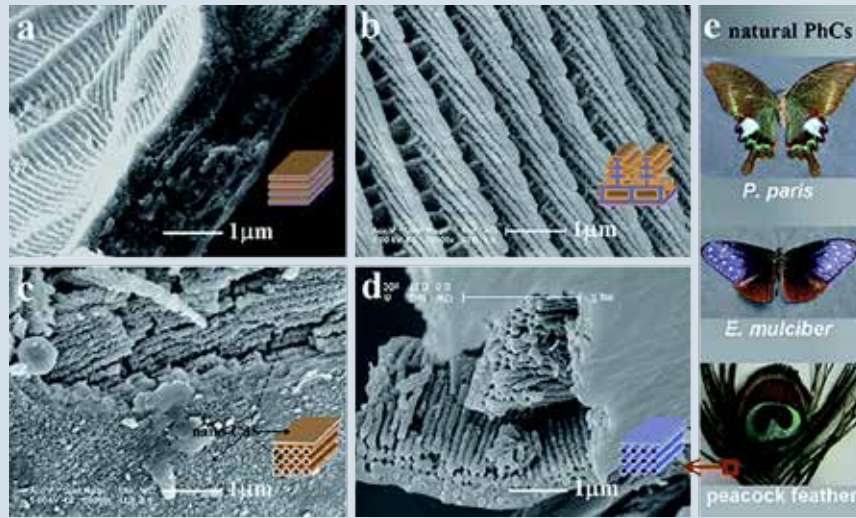
ทานทราบหรือไม่ว่าปีกผีเสื้อที่มีสีล้วนแวววาวสวยงามนั้น เกิดจากการหักเหและแทรกสอดของแสงที่ตกกระทบบนโครงสร้างระดับนาโนของแผงของปีกผีเสื้อ (ภาพที่ 1b) แสงที่ผ่านการแทรกสอดและถูกปล่อยออกมาได้จะมีความยาวคลื่นจำเพาะค่าหนึ่ง ซึ่งขึ้นกับโครงสร้างระดับนาโนและมุมในการมองของผู้สังเกตการณ์ และเป็นที่มาของปีกผีเสื้อที่สวยงามในกรณีนี้ด้วยโครงสร้างระดับนาโนที่เหมาะสมส่งผลให้แสงที่ตกกระทบด้านบนของปีกผีเสื้อถูกมองเห็นเป็นสีน้ำเงิน แต่กลับกันที่ด้านล่างของปีกผีเสื้อจะมีสีน้ำตาล (ภาพที่ 1a) ปรากฏการณ์ที่แสงสะท้อนจากโครงสร้างระดับนาโนนี้เข้าสู่ตาและทำให้มองเห็น

เป็นสีได้ทั้งที่ไม่มีรงควัตถุหรือเม็ดสีเป็นองค์ประกอบเลย เรียกว่า “structural coloration” โครงสร้างระดับนาโนนี้ไม่ได้พบแต่ในผีเสื้อเท่านั้น สัตว์ปีกที่อื่นก็มีโครงสร้างแบบเดียวกันก็จะมีสีที่สวยงามเช่นกัน

เมื่อมนุษย์เลียนแบบโครงสร้างดังกล่าวโดยการสังเคราะห์ผลึก ก็จะได้ผลึกที่มีสมบัติพิเศษทางแสงเรียกว่า “photonic crystal” ที่มีโครงสร้างระดับนาโนจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มักนำผลึกนี้ไปใช้ควบคุมการเดินทางของแสง หรือเคลือบบนเลนส์ที่ต้องการให้มีการสะท้อนแสงสูง ผลึกดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อแสงตกกระทบ ตัวอย่างเช่นผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ที่สังเคราะห์โดยควบคุมโครงสร้างระดับนาโนให้เหมือนแผงขนของนกยูง (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 a) ผีเสื้อชนิด *Morpho peleides limpida* ที่มีปีกสีฟ้าแวววาวสวยงาม
b) โครงสร้างระดับนาโนของปีกผีเสื้อ [1]

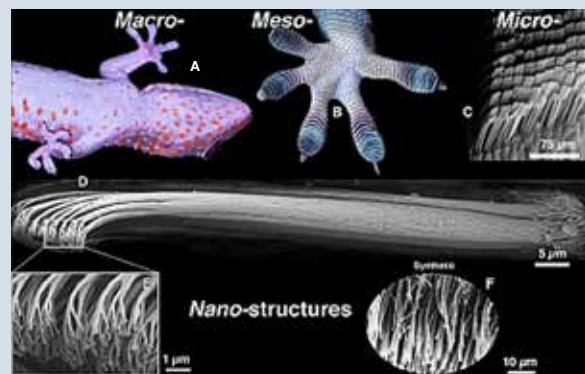


ภาพที่ 2 ภาพถ่ายด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปแสดงโครงสร้างระดับนาโนของ photonic crystals ชนิดแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) (a-c) ที่เลียนแบบโครงสร้างระดับนาโนของขนนกยูง (d) และภาพปีกผีเสื้อและขนนกยูง (e) [2]

เหตุใดตุ๊กแกจึงเกาะผนังได้อย่างเหนียวแน่น ในขณะที่เดียวกันก็สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างรวดเร็ว?

เมื่อพิจารณาภาพที่ 3 จะเห็นว่าตัวตุ๊กแกมีโครงสร้างมหภาค (macro) เป็นตามภาพที่ 3A เมื่อมองลงไประดับเมโซ (meso) เป็นตามภาพที่ 3B และเมื่อมองในระดับไมโคร (micro) จะเห็นโครงสร้างจุลภาคของฝ่าเท้าตุ๊กแกที่เป็นเหมือนเส้นใยเรียงเป็นแผงๆ เรียกว่า สแกนเซอร์ (scansors) (ภาพที่ 3C) แต่ละสแกนเซอร์ก็ประกอบด้วยซีตี¹ (setae) (ภาพที่ 3D และ 3E) จำนวนมหาศาล โดยฝ่าเท้าตุ๊กแกจะมีซีตีอยู่มากถึง 500,000 ซีตี ในแต่ละซีตียังประกอบด้วยเส้นใยสปาตุเล² (spatulae) (ภาพที่ 3F) จำนวนกว่าพันเส้น จากโครงสร้างตามที่กล่าวทำให้เท้าตุ๊กแกมีพื้นที่ผิวที่สูงมาก

เมื่อตุ๊กแกประกบฝ่าเท้าบนผนังจะเกิดแรงระหว่างผนังและพื้นที่บนฝ่าเท้า ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals force) และเนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของเท้าตุ๊กแกต่อผนังสูงมาก ทั้งระยะห่างระหว่างเท้าตุ๊กแกกับผนังก็ชิดกันมากอยู่ที่ระดับ 2 นาโนเมตร จึงทำให้เท้าตุ๊กแกมีความเหนียวมากนั่นเอง



ภาพที่ 3 ภาพโครงสร้างของตุ๊กแกโตเคย์ตั้งแต่ระดับมหภาค เมโซ ไมโคร และนาโน ตามลำดับ [3]

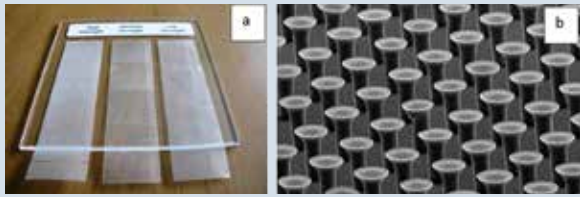
เมื่อคำนวณแรงรับน้ำหนักของเท้าตุ๊กแกด้วยซีตีเพียง 1 ซีตี พบว่าสามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 0.02 กรัม ทำให้ตุ๊กแกโตเคย์ที่มีซีตีจำนวน 6.5 ล้านซีตี สามารถรับน้ำหนักได้ถึง 130 กิโลกรัม แม้เท้าตุ๊กแกจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผนังที่สูงมาก แต่การถอนเท้าออกจากผนังก็ไม่ใช่ว่าเรื่องยาก เมื่อตุ๊กแกต้องการเคลื่อนที่ มันจะเอียงฝ่าเท้าที่มุมประมาณ 30 องศา เพื่อให้ผิวสัมผัสของซีตีกับผนังลดลงจึงสามารถถอนเท้าจากผนังได้อย่างง่ายดาย [1]

จากสมบัติการยึดติดแน่นของเท้าตุ๊กแกโดยไม่ต้องพึ่งกาว ทั้งยังดึงออกได้แบบไม่ทิ้งร่องรอย จึงมี

¹ ซีตี (setae) คือ เส้นใยที่มีขนาดประมาณ 100 ไมครอน

² สปาตุเล (spatulae) คือ เส้นใยที่มีขนาดประมาณ 200 นาโนเมตร

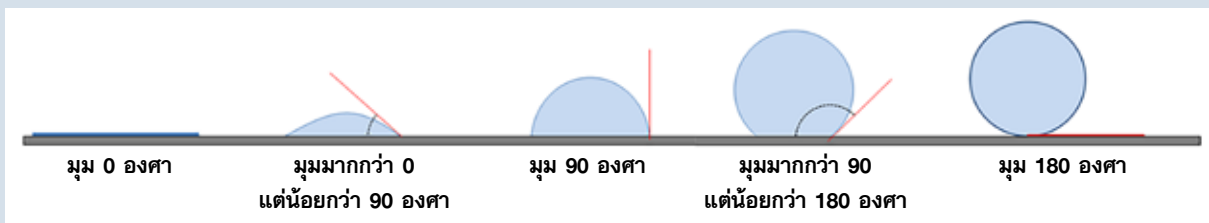
งานวิจัยทำแผ่นปิดแผลที่เลียนแบบโครงสร้างของเท้าตุ๊กแก เพราะต้องการสมบัติยึดติดที่ดีแม้กระทั่งบนพื้นเปียกชื้น [4] หรือแผ่นยึดแน่นไร้กาว (ภาพที่ 4) สำหรับผู้ที่ต้องทำงานป็นป้ายผนัง เช่น ผู้ที่ต้องทำความสะอาดผนังอาคาร เป็นต้น [5] วัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นมาใหม่อาศัยโครงสร้างระดับนาโนที่เลียนแบบจากโครงสร้างระดับไมโครและนาโนของเท้าตุ๊กแกนั่นเอง



ภาพที่ 4 a) แผ่นติดแน่นไร้กาวพัฒนาโดยบริษัท นาโนกริฟเทค ที่เลียนแบบโครงสร้างเท้าตุ๊กแก b) ภาพโครงสร้างจุลภาคของแผ่นติดแน่นไร้กาว [5]

“น้ำกลิ้งบนใบบัว” แต่เอ๊ะ! ทำไมน้ำถึงกลิ้งบนใบบัวได้?

ปกติเมื่อน้ำหยดลงบนพื้นกระจก กระเบื้อง หรือแผ่นโลหะ น้ำจะแผ่อกในแนวราบ เรียกสมบัติของวัสดุดังกล่าวว่า ชอบน้ำ (wettability หรือ hydrophilic property) แต่เมื่อน้ำหยดลงบนใบบัว น้ำจะมีลักษณะเหมือนลูกบอลและกลิ้งบนใบบัวได้ เรียกสมบัตินี้ว่า ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic property) สมบัติชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำสามารถวัดได้โดยการหยดน้ำลงบนวัสดุที่ต้องการทดสอบ และวัดมุมสัมผัส (contact angle) ระหว่างหยดน้ำและวัสดุนั้นๆ (ภาพที่ 5) ถ้ามุมมีค่าระหว่าง 90-180 องศา แสดงว่าไม่ชอบน้ำ แต่ถ้ามุมต่ำกว่า 90 องศา นั่นคือวัสดุนั้นชอบน้ำ



ภาพที่ 5 แผนภาพการวัดมุมสัมผัส (contact angle) ของหยดน้ำบนผิววัสดุ [6]

เมื่อนำใบบัวไปขยายดูโครงสร้างจุลภาคพบว่า ผิวของใบบัวไม่ได้ราบเรียบเหมือนผิวกระจก กระเบื้อง หรือวัสดุอื่นๆ ตามที่กล่าวมา แต่กลับมีโครงสร้างเป็นแท่งๆ ระดับไมครอน ตั้งฉากกับพื้นสูงขึ้นมาดังในภาพที่ 6 โครงสร้างจุลภาคแบบขรุขระนี้เองที่ทำให้พื้นผิวสัมผัสระหว่างใบบัวกับหยดน้ำไม่มากพอที่จะเอาชนะแรงดึงผิวของน้ำได้ น้ำจึงคงรูปเป็นหยดน้ำบนผิวใบบัวนั่นเอง นอกจากนั้น ผิวของใบบวยังมีสารคิวตินที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำเคลือบอยู่ด้วย ด้วยคุณลักษณะทั้งสองคือ โครงสร้างทางจุลภาคและผิวเคลือบที่ไม่ชอบน้ำทำให้น้ำกลิ้งบนใบบัวได้



ภาพที่ 6 ภาพจำลองโครงสร้างจุลภาคของหยดน้ำบนผิวใบบัว [1]

สมบัติไม่ชอบน้ำดังกล่าว ทำให้ใบบัวมีสมบัติทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning property) ได้ เพราะเมื่อหยดน้ำกลิ้งบนใบบัว หยดน้ำจะพาเศษสกปรกที่เกาะบนใบบัวไปด้วย เศษสิ่งสกปรกเหล่านี้มักมีสมบัติชอบน้ำทำให้น้ำกำจัดสิ่งสกปรกออกจากใบบัวได้นั่นเอง ดังนั้นจึงมีการปลูกสารเคลือบกระจกรถยนต์ เลนส์แว่นตา หรือกระจกอาคารที่มักเจอสิ่งสกปรกให้มีโครงสร้างคล้ายใบบัว ซึ่งก็จะช่วยให้กระจกนั้นมีสมบัติทำความสะอาดตัวเองได้ โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้ง

สร้างโรนจิ๋วเลียนแบบแมลงตัวน้อย

นอกเหนือจากสมบัติพิเศษในสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติที่จุดประกายการพัฒนาวัสดุนาโนชนิดแปลกใหม่ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การสร้างหุ่นยนต์จิ๋ว หรือโดรนขนาดจิ๋วให้มีรูปลักษณะและความสามารถเลียนแบบแมลงตัวน้อยก็เป็นหนึ่งในความพยายามของนักวิจัยและวิศวกร เพื่อใช้ในการตรวจตราความปลอดภัยในด้านการทหาร การบริการจัดส่งพัสดุในเมืองที่แออัด และการพัฒนาโทรศัพท์ติดกล้องที่ลอยตามเจ้าของได้ในโลกอนาคต ถึงแม้ว่าการบินด้วยเครื่องบินโดยสารขนาดใหญ่ประสบความสำเร็จไปนานแล้ว แต่การปรับใช้เทคโนโลยีการบินนี้กับโดรนขนาดจิ๋วเพื่อใช้บินในสังคมเมืองที่มีสิ่งกีดขวางจำนวนมากยังเป็นไปได้ยาก

เมื่อพิจารณาสัตว์ตัวเล็กและบินได้ที่พบในเมืองตั้งแต่นกพิราบสื่อสารไปยังแมลงวันที่มีทัศนวิสัยเที่ยงตรงและแม่นยำในการหาตำแหน่งต่างๆ สัตว์เหล่านี้สามารถเรียนรู้วิธีการควบคุมการบินในสังคมเมืองที่มีสิ่งกีดขวางได้อย่างรวดเร็ว

การพัฒนาโดรนจิ๋วให้มีความสามารถทัดเทียมสัตว์เหล่านี้ได้ ต้องมีการพัฒนาในส่วนการควบคุมการบินให้แม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งต้องอาศัยเซ็นเซอร์ขนาดระดับนาโน รวมถึงการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์อย่างดีเยี่ยม นอกจากนั้นยังต้องการกล้องที่มีความสามารถมองได้รอบทิศทางที่สามารถบอกระยะสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าได้ อีกทั้ง ความสามารถ

ในการประมวลผลด้านอื่นๆ อาทิ การรับและส่งของการถ่ายภาพและวิดีโอ และการส่งข้อมูลก็ต้องได้รับการพัฒนาเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 7 โดรนตัวจิ๋วพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด [7]

ตัวอย่างที่กล่าวมาทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการที่สิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการมาอย่างยาวนาน ย่อมทำให้สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นมีลักษณะพิเศษที่น่าค้นหา เมื่อมนุษย์ต้องการใช้ประโยชน์จากลักษณะพิเศษนี้ก็จะใช้ธรรมชาติเป็นแม่แบบเพื่อตอบสนองความต้องการของตัวเองที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด

เอกสารอ้างอิง

1. G.L. Hornyak, H.F. Tibbals, J. Dutta, *Introduction to Nanoscience*, CRC Press, 2008.
2. Jie Han, Huilan Su, Fang Song, Di Zhang, Zhixin Chen, *Controllable reflection properties of nanocomposite photonic crystals constructed by semiconductor nanocrystallites and natural periodic bio-matrices*, *Nanoscale*, 2010, 2, 2203.
3. http://www.nextbigfuture.com/2008/01/progress-to-artificial-gecko-like-wall_2110.html
4. http://www.brighamandwomens.org/about_bwh/publicaffairs/news/publications/DisplayBulletin.aspx?articleid=4052
5. <http://wesa.fm/post/tech-company-mimics-mother-nature-gecko-inspired-adhesives#stream/0>
6. <http://www.vcharkarn.com/varticle/43544>
7. D. Lentink, "Bioinspired flight control", *Bioinspiration & Biomimetics*, 9 (2014) 020301.

