พื้นผิวอัจฉริยะด้วยนาโนเทคโนโลยี

Smart Surfaces with Nanotechnology

ภัทร์ สุขแสน*

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Pat Sooksaen*

Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Silpakorn University.

Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materials, Chulalongkorn University.

บทคัดย่อ

บทความนี้อธิบายหลักการของพื้นผิวที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ซึ่งเกิดจากการสังเกตพฤติกรรมทางธรรมชาติของใบพืชบางประเภทเช่นใบบัวและการค้นพบปรากฏการณ์ดอกบัว (lotus effect) ต่อมานำมาซึ่งการค้นคว้าวิจัยและสร้างผลิตภัณฑ์มากมายที่อำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์โดยใช้หลักการความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophobic) และหลักการความชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophilic) ประกอบกับหลักการเกี่ยวกับความขรุขระของพื้นผิวในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตร เนื้อหาในบทความนี้ได้มีการกล่าวถึงประวัติความเป็นมาโดยย่อรวมถึงแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เทคโนโลยีวัสดุขั้นสูงระดับนาโนเมตร และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่สำคัญที่ใช้เทคโนโลยีพื้นผิวฉลาดนี้

คำสำคัญ : การทำความสะอาดตัวเอง เทคโนโลยีขั้นสูงระดับนาโนเมตร มุมสัมผัส การเปียกผิว

Abstract

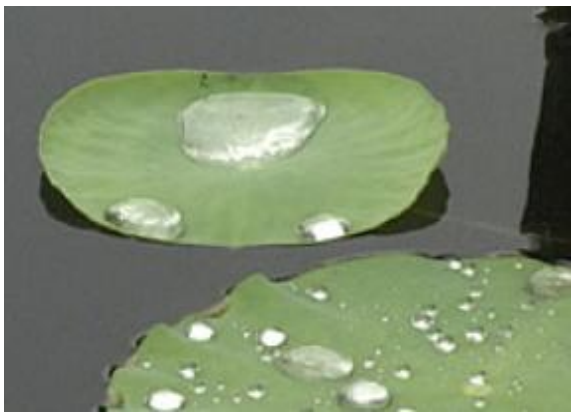
This review article discussed the basic principles of self-cleaning surfaces which emerged from the observation of natural leaves such as lotus and later the discovery of the lotus effect. This led to a number of researches and commercial products available on market these days which make human life so comfortable. The principles were based on superhydrophobic and superhydrophilic effect as well as the roughness of surfaces at miro/nanometer length scale. The contents of this article include brief history, basic theories, advanced technology at nano-scale levels and the examples of commercially important products which adopted this smart surface technology.

Keywords : self-cleaning, advanced nanotechnology, contact angle, wetting

***Corresponding author.** E-mail: pat@su.ac.th

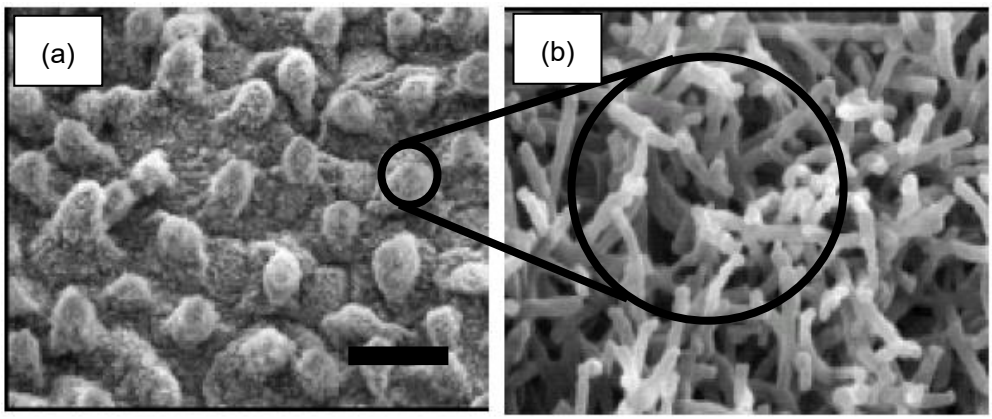
บทนำ

หลายๆ คนคงจะเบื่อไม่น้อยกับการที่จะต้องทำความสะอาดหน้าต่างกระจก ผนังสิ่งก่อสร้าง หรือแม้แต่ภาพเขียนราคาแพงที่มีฝุ่นจับ ในปัจจุบันปัญหาเหล่านี้ได้ถูกบรรเทาลงโดยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระดับนาโนขั้นสูง (advanced nanotechnology) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การพิสูจน์เอกลักษณ์ และการนำมาประยุกต์ใช้งาน ให้เกิดเป็นโครงสร้าง อุปกรณ์ หรือระบบ และโดยทั่วไปขนาดสิ่งที่ศึกษาอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 100 นาโนเมตร ในปัจจุบันเทคโนโลยีระดับนาโนมีความสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมากและนำมาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติใหม่ๆ และมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นออกจำหน่ายสู่ท้องตลาด ในบทความนี้จะกล่าวเกี่ยวกับเทคโนโลยีระดับนาโนที่นำมาซึ่งพื้นผิวที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ (self-cleaning) และปรากฏอย่างชัดเจนว่าไม่จำเป็นต้องทำความสะอาดโดยการขัดถูหรือใช้สารเคมีช่วยแต่อย่างใด

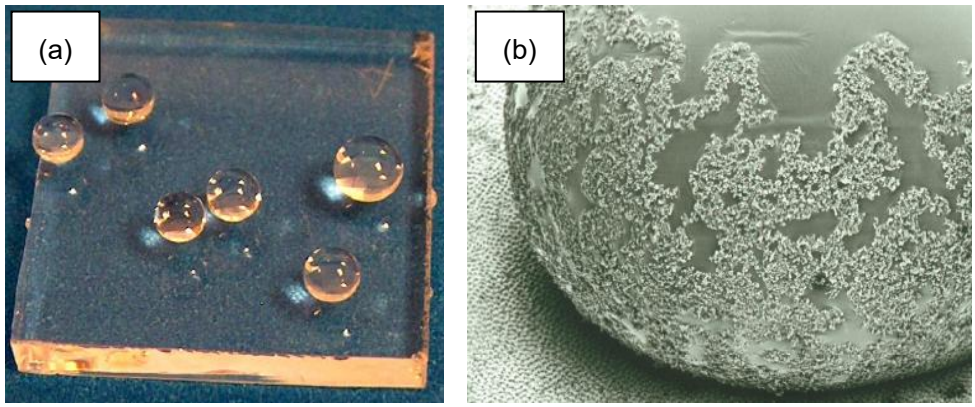


ภาพที่ 1 การไม่เกาะติดของน้ำที่ผิวใบบัวและเกิดการกลิ้งของหยดน้ำ

ประวัติความเป็นมาของปรากฏการณ์การทำความสะอาดตัวเองได้ เริ่มจากการที่นักพฤกษศาสตร์ชื่อ Barthlott และ Neinhuis แห่ง University of Bonn ประเทศเยอรมันศึกษาโครงสร้างใบพืชหลากหลายชนิดรวมถึงลักษณะทางกายภาพและเคมีที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวที่มีลักษณะมันเหมือนแว็กซ์โดยเฉพาะใบบัว เนื่องจากเกิดการไม่เกาะติดของน้ำที่ผิวใบและเกิดการกลิ้งของหยดน้ำไปตามใบ (Blossey, 2003; Forbes, 2008, Koch *et al*., 2008) ดังตัวอย่างในภาพที่ 1 ซึ่งเป็นใบบัวหรือชื่อทางพฤกษศาสตร์คือ Nelumbo Nucifera กล่าวได้ว่าเป็นสัญลักษณ์แห่งความบริสุทธิ์ตามความนับถือในหลายๆ ประเทศในแถบเอเชีย เมื่อผุดขึ้นจากน้ำที่มีโคลนตมก็จะเกิดการแผ่ของใบที่ปราศจากสิ่งสกปรกปนเปื้อน (Sun *et al*., 2005) โดย Barthlott และ Neinhuis ได้ใช้การสังเกตที่มีค่านี้ในการค้นพบปรากฏการณ์ที่ให้ชื่อว่า lotus effect หรือน้ำกลิ้งบนใบบัว (Barthlott and Neinhuis, 1997; Roach *et al*., 2008) โดยในปี ค.ศ. 1970 Barthlott เริ่มทำการศึกษาพื้นผิวของใบบัวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ที่ได้มีการพัฒนาออกสู่ท้องตลาดราวปี ค.ศ. 1965 พบว่าพื้นผิวประกอบไปด้วยความขรุขระระดับไมโครเมตรเป็นปุ่มแท่งเล็กๆ (micropapillar) (ภาพที่ 2a) โดยที่แท่งเหล่านี้ถูกปกคลุมด้วยโครงสร้างแตกกิ่งแบบละเอียดระดับนาโนเมตรโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 125 นาโนเมตร (ภาพที่ 2b) ทำให้พื้นผิวมีลักษณะที่สังเกตด้วยตาเปล่าเหมือนแว็กซ์ มุมสัมผัส (contact



ภาพที่ 2 พื้นผิวของใบบัวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ขีดบาร์ 20 μm
(a) กำลังขยายต่ำ (b) กำลังขยายสูงบริเวณปุ่ม



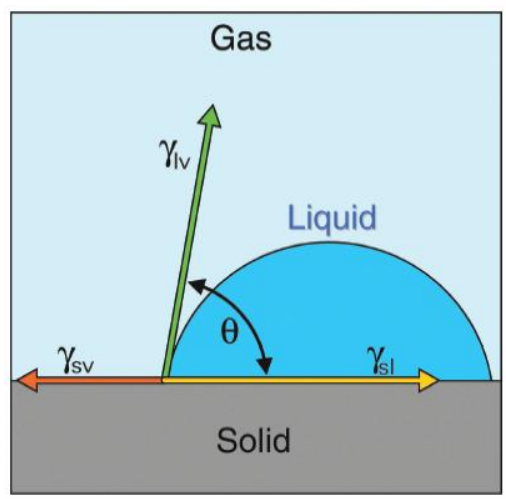
ภาพที่ 3 (a) ผิวกระจกแบบ superhydrophobic (b) หยดน้ำกลิ้งและนำพาอนุภาคสิ่งสกปรกเกาะติดไปด้วย

angle) กับน้ำมีค่ามากกว่า 150° ซึ่งทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่าความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด การที่มีปุ่มแท่งเล็กๆ เป็นจำนวนมากจะเกิดอากาศที่บริเวณช่องว่างระหว่างปุ่มทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของมุมสัมผัสซึ่งอธิบายได้จากสมการ Cassie-Baxter (Roach *et al*., 2008) ต่อมา Barthlott ได้คิดว่าถ้าพื้นผิวใดๆ สามารถสังเคราะห์ให้เกิดปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัวได้ก็จะนำมาซึ่งการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เขาได้จดสิทธิบัตรแนวคิดการสร้างพื้นผิวเช่นที่กล่าวมาและจดชื่อทางการค้าว่า “Lotus Effect ™” นำมาซึ่งการประยุกต์ใช้สร้างผลิตภัณฑ์ฉลาดที่พื้นผิวสามารถทำความสะอาดตัวเองได้เนื่องจากน้ำเกาะเป็นเม็ดเกือบจะกลมที่ผิว (ภาพที่ 3a) และอนุภาคของสิ่งปนเปื้อนไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ก็จะติดไปกับหยดน้ำและกลิ้งออกไปตามหยดน้ำ (ภาพที่ 3b) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่พื้นผิวสามารถทำความสะอาดตัวเองได้เป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับสถานการณ์ที่การทำความสะอาดมีความลำบากและค่าใช้จ่ายสูง เช่น ตึกสูง หลังคากระจกตามศูนย์กีฬา ป้ายบอกทางตามถนน ภายในอุโมงค์ ผนังอาคาร หรือแม้แต่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมสิ่งทอเช่น เครื่องนุ่งห่มและเบาะรถยนต์

การค้นพบปรากฏการณ์ดอกบัวเป็นจุดเริ่มต้นในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นผิวมีมีความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง ต่อมานักวิจัยหลายคณะได้ตระหนักว่าในทางตรงกันข้ามกับความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด นั่นคือ ความชอบน้ำยิ่งยวดของพื้นผิวก็น่าสนใจในการศึกษาเช่นกัน (Blossey, 2003, Roach *et al*., 2008) เป็นการที่น้ำแผ่กระจายทั่วพื้นผิวหรือมีการเปียกผิวที่ดีมาก (superwettability) และนำมาซึ่งสมบัติการทำความสะอาดตัวเองได้เช่นกัน

หลักการการทำความสะอาดตัวเอง

พื้นผิวฉลาดที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้นี้ใช้หลักเกณฑ์ที่แตกต่างกันสองข้อ อย่างแรกคือความชอบน้ำยิ่งยวด และอย่างที่สองคือความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทนำ การที่น้ำอยู่บนพื้นผิวใดๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการยัง (Young’s equation) ที่เสนอในปี ค.ศ. 1807 ความสัมพันธ์คือ $\gamma_{SL} - \gamma_{SV} + \gamma_{LV}\cos\theta = 0$ โดยสมการอธิบายมุมสัมผัส (contact angle, θ) ที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และอากาศรอบๆ และแรงตึงผิวที่เกี่ยวข้อง (Lai, 2003; Ma and Hill, 2006; Shaw, 1992) ค่า γ_{SL}, γ_{SV}, γ_{LV} คือพลังงานพื้นผิวร่วม (interfacial energy) ระหว่างของแข็ง-ของเหลว, ของแข็ง-อากาศ และของเหลว-อากาศ ตามลำดับ ภาพที่ 4 แสดงหยดน้ำถูกสมมติให้เป็นรูปหมวกโค้งเรียกว่า spherical cap เมื่ออยู่



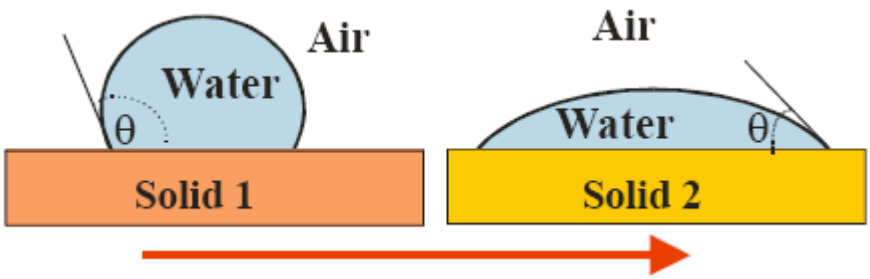
ภาพที่ 4 มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของแข็ง หยดน้ำ และอากาศรอบๆ และแรงตึงผิวที่เกี่ยวข้อง

บนผิวของของแข็งมุมสัมผัส θ ที่มีค่าน้อยจะนำมาซึ่งหยดน้ำที่แบนราบและเกาะพื้นผิวของแข็ง หรือเรียกว่ามีการเปียกผิวที่ดี (good wetting) ในทางกลับกันมุมสัมผัสที่มีค่ามากจะส่งผลถึงพื้นผิวร่วมระหว่างของเหลว-ของแข็งที่น้อยและการเปียกผิวบนพื้นผิวของแข็งที่ไม่ดี (bad wetting) พื้นผิวแบบทำความสะอาดตัวเองได้ใช้หลักการแบบใดแบบหนึ่ง กล่าวคือเมื่อมุมสัมผัสมีค่าน้อยจนเข้าสู่ศูนย์จะเกิดสถานการณ์ที่เรียกว่าความชอบน้ำยิ่งยวด หรือเมื่อมุมสัมผัสเข้าใกล้ 180° จะเกิดสถานการณ์ที่เรียกว่าความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด โดยทั่วไปพื้นผิวที่มีมุมสัมผัสของหยดน้ำน้อยกว่า 90° ถูกพิจารณาว่าเป็นพื้นผิวแบบชอบน้ำและเกิดการเปียกผิวที่ดี เป็นพื้นผิวที่มีขั้วและมีการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ในขณะที่มุมสัมผัสของหยดน้ำมากกว่า 90° เป็นพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำซึ่งเป็นพื้นผิวที่ไม่มีขั้วและเกิดการเปียกผิวที่แย่ เช่น Teflon® (Dupont-Teflon Industrial, 2008) ภาพที่ 5 แสดงการเปียกผิวของหยดน้ำบนผิวของแข็ง ลูกศรจากซ้ายไปขวาแสดงถึงความเป็น hydrophilic ของพื้นผิว น้ำซึ่งหล่นบนพื้นผิวแบบ ชอบน้ำยิ่งยวดจะเกิดการกระจายตัวไปทั่วทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ ในขณะที่พื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวด น้ำจะเกิดการก่อตัวเป็นหยดเม็ดเล็กๆ เพื่อลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว ในกรณีแรกการทำความสะอาดเกิดขึ้นเมื่อน้ำที่แผ่กระจายเป็นชั้นบางๆ ไหลไปทั่วตามพื้นผิวและทำการกวาดชะล้างเศษสิ่งสกปรกออกไป ในส่วนของกรณีที่สองนั้นหยดน้ำที่เป็นเม็ดกลมเกิดการกลิ้งบนพื้นผิวและนำพาเศษสิ่งสกปรกติดไปด้วยระหว่างทางที่หยดน้ำกลิ้งออกไป ในทางทฤษฎีแล้วทั้งสองแนวทางที่แตกต่างกันนี้ให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันคือพื้นผิวช่วยในการกำจัดสิ่งสกปรกได้มากที่สุด

หลักการเบื้องต้นของพื้นผิวทำความสะอาดตัวเองทั้งสองวิธีที่กล่าวมาข้างต้นอาจจะฟังดูง่าย แต่การที่จะสร้างวัสดุที่สามารถทำให้เศษสิ่งสกปรกไถลไปตามผิวเมื่อมีน้ำไหลผ่าน จำเป็นต้องใช้ความรู้อย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับเคมีพื้นผิว วิทยาการและวิศวกรรมด้านพื้นผิวในระดับนาโนเมตร (Seemann *et al*., 2001) เพื่อที่จะสามารถปรับปรุงพื้นผิวให้มีมุมสัมผัสที่มากหรือน้อยตามต้องการ และการทำพื้นผิวให้มีความขรุขระในระดับไมโครเมตรหรือนาโนเมตรดั่งเช่นใบบัว (Darhuber, 2000; Herminghaus 1999 & 2000) นอกจากนี้เทคโนโลยีการผลิตก็มีความสำคัญไม่น้อย เทคนิคที่มีการใช้ในปัจจุบัน เช่น การกัดด้วยเลเซอร์/พลาสม่า (laser/plasma etching), กระบวนการโซล-เจล (sol-gel), เทคนิคเคลือบไอเคมี (chemical vapor deposition), การจัดวางโมเลกุลคอลลอยด์อย่างเป็นระเบียบ (colloidal assembly) และการปั่นเส้นใยด้วยระบบไฟฟ้าสถิต (electrospinning) (Ma & Hill, 2006; Tadanaga *et al*., 1997)

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พื้นผิวฉลาด

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นกระจกทำความสะอาดตัวเองโดยใช้สมบัติความชอบน้ำยิ่งยวดและกระบวนการโฟโตแคตาไลติก (photo-catalytic) เช่น Pilkington Activ™ ของบริษัท Pilkington ผู้ผลิตกระจกแผ่นรายใหญ่ของอังกฤษ เป็นกระจกทำความสะอาดตัวเองตัวแรกของโลก (http://www.pilkington.com/sefl-cleaningglass) ซึ่งปัจจุบันมีการจำหน่ายอย่างแพร่หลายในสหรัฐอเมริกาและประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป กระจกถูกทำการเคลือบผิวแบบพิเศษด้วยอนุภาคนาโนของไททาเนีย (TiO_2 nanoparticles) ชั้นฟิล์มหนาประมาณ 40 nm และใช้เทคนิคเคลือบไอเคมี (Chemical Vapor Deposition, CVD) ในระหว่างกระบวนการผลิตกระจกที่อุณหภูมิ 600°C กระบวนการนี้ทำให้ได้ผิวที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้โดยมีความคงทนสูง ช่วงอายุการใช้งานยาวนาน ผิวกระจกเป็นแบบชอบน้ำยิ่งยวด โดยที่เมื่อผิวกระจกได้รับแสงแดดก็จะเกิดการแตกสลายของสารอินทรีย์ที่เป็นสิ่งสกปรกติดค้างอยู่ที่ผิว เช่น มูลนก จากนั้นเมื่อฝนตกน้ำก็

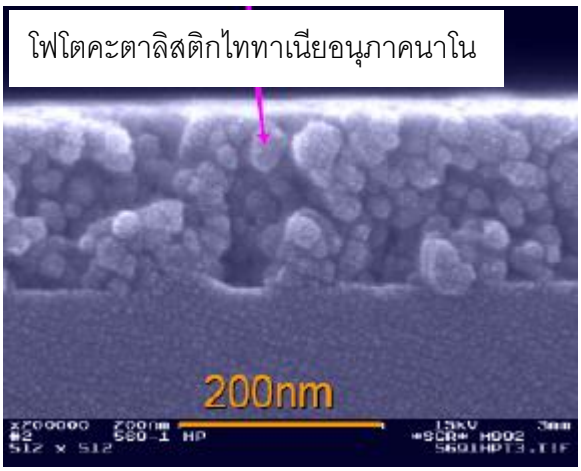


ภาพที่ 5 การเปียกผิวของหยดน้ำบนของแข็ง ลูกศรจากซ้ายไปขวาแสดงถึงความเป็น hydrophilic ที่เพิ่มขึ้นของพื้นผิว

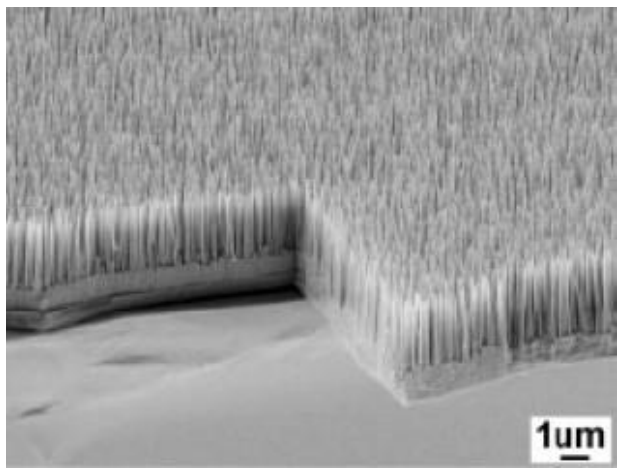
จะเกิดการแผ่กระจายไปทั่วผิวกระจกสิ่งสกปรกจึงถูกกำจัดออกไป นอกจากนี้น้ำที่ผิวกระจกระเหยแห้งอย่างรวดเร็ว ลดการเกิดจุดรอยคราบน้ำ ทางบริษัทกล่าวว่ากระจกที่เคลือบนี้มองด้วยตาเปล่าแล้วไม่แตกต่างจากกระจกทั่วไปและไม่มีผลต่อค่าความแข็งแกร่ง (strength) เพียงแต่ว่ามีการลดลงของแสงและพลังงานที่ผ่านกระจกเป็นปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้บริษัท Saint-Gobain (http://www.saint-gobain-glass.com) ประเทศฝรั่งเศสได้ออกผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติคล้ายคลึงกันกับ Pilkington Activ™ ในชื่อ SGG Bioclean

หลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำไททาเนีย (TiO_2) อนุภาคนาโนที่มีสมบัติโฟโตแคตาไลติกและความชอบน้ำยิ่งยวด คือเมื่อชั้นของอนุภาคนาโนไททาเนียที่เคลือบผิวกระจกดังแสดงในภาพที่ 6 ได้รับการกระตุ้นโดยแสงยูวีจากดวงอาทิตย์และเมื่อเจอบรรยากาศที่เป็นออกซิเจนก็เกิดการออกซิไดซ์ทำให้สามารถทำลายแบคทีเรียและสลายสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่เป็นสิ่งสกปรกบางประเภทได้ สมบัติความชอบน้ำยิ่งยวดของอนุภาคนาโนไททาเนียที่เคลือบผิวเมื่อมีหยดน้ำมาเกาะบนผิวก็จะเกิดการแผ่กระจายเป็นชั้นฟิล์มบางอย่างสม่ำเสมอ สิ่งสกปรกเล็กๆ สามารถถูกชะล้างโดยน้ำที่แผ่ไปตามผิวได้และไม่ทำให้เกิดฝ้าหรือรอยหยดน้ำเป็นจุดที่กระจกเมื่อแห้งตัว (Ammerlaan *et al*., 2000; Blossey, 2003; Greenberg, 2000) อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวที่มีสมบัติชอบน้ำยิ่งยวด ในปัจจุบันพบว่าบางครั้งไอออนโลหะจากน้ำฝนทำให้สมบัติความเป็นโฟโตแคตาไลติกลดลงไปเมื่อเวลาการใช้งานผ่านไป และในบางครั้งพื้นผิวเกิดการเปลี่ยนสี นอกจากนี้ฝนที่ตกเบาๆ อาจจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่เร็วเกินไปแทนที่จะเป็นการไหลแบบแผ่กระจายและอาจจะทำให้เกิดการสะสมของบริเวณที่มีสิ่งสกปรก (Blossey, 2003)

ตัวอย่างพื้นผิวทำความสะอาดตัวเองแบบใช้หลักการความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดผลิตโดยบริษัท *n*Gimat เมืองแอตแลนตา สหรัฐอเมริกา ได้ใช้เทคนิคเคลือบไอเคมีทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มบางของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO nanoparticles) พบว่าเมื่อทำการเคลือบบนผิวแก้วบอโรซิลิเกตจะทำให้เกิดมุมสัมผัสที่มากกว่า 165° บริษัท *n*Gimat เป็นบริษัทที่เน้นการผลิตอนุภาคนาโนและการเคลือบชั้นฟิล์มบางโดยมีทีมวิจัยและการผลิตจากหลากหลายสาขาวิชา เช่นวัสดุศาสตร์ เคมี ฟิสิกส์ ชีวเคมี วิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล เป็นต้น (http://www.ngimat.com/) ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่มีลักษณะเป็นแท่งเข็ม สังเคราะห์ด้วยเทคนิคเคลือบไอเคมีจากงานวิจัยของ Tseng และคณะ (Tseng *et al*., 2003) เพื่อทำการเตรียมพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวดที่มีความขรุขระที่ปลายเข็มในช่วงระดับนาโนเมตร โดยในปีถัดมา Feng และคณะ (Feng *et al*., 2004) ได้สังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่เป็นแท่งเข็มบนแผ่นฟิล์มโดยใช้กระบวนการเตรียมแบบสารละลาย และพบสิ่งที่น่าสนใจคือสามารถเปลี่ยนจากความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดให้กลายเป็นชอบน้ำยิ่งยวดได้โดยนำมาถูกแสงยูวีให้เกิดการสร้างคู่อิเล็กตรอน-หลุมอิเล็กตรอนและนำมาซึ่งการเกาะผิวของหมู่



ภาพที่ 6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงตัวอย่างชั้นฟิล์มบางของไททาเนียอนุภาคนาโนเคลือบบนแผ่นกระจกด้วยเทคนิคเคลือบไอเคมี



ภาพที่ 7 ตัวอย่างซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่มีลักษณะเป็นแท่งเข็ม เตรียมโดยเทคนิคเคลือบไอเคมี

ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวซิงค์ออกไซด์ แต่เมื่อนำแผ่นฟิล์มนี้ไปเก็บในที่มืดเป็นเวลา 7 วันก็จะกลับมามีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวดเหมือนเดิม ทฤษฎีการและโมเดลที่ใช้ในการอธิบายเกี่ยวกับความขรุขระของพื้นผิว และลักษณะมิติและรูปร่างของความขรุขระที่กระทบต่อการเกิด wetting ถูกอธิบายอย่างกว้างขวางโดยอ้างอิงอย่างมากจากงานวิจัยของ Cassie & Baxter และWenzel (Cassie & Baxter, 1944; Wenzel, 1936)

บริษัท BASF Future Business ประเทศเยอรมัน ได้ทำงานร่วมกับนักพฤกษศาสตร์ในการสร้างวัสดุที่มีความสามารถในการเลียนแบบปรากฏการณ์ดอกบัวและได้ผลิตสินค้าภายใต้ชื่อ Lotus Spray® ใช้ฉีดบนผิวที่ต้องการสมบัติการไม่เกาะติดของน้ำ ซึ่งมีส่วนผสมของซิลิกาหรืออะลูมินาอนุภาคนาโน สารพอลิเมอร์ที่มีความไม่ชอบน้ำ และแก๊สที่เป็นตัวขับดัน สเปรย์ที่กล่าวมาพิสูจน์แล้วว่ามีความสามารถในการต่อต้านน้ำได้ดีกว่าพื้นผิวเรียบที่ถูกเคลือบด้วยแว็กซ์เสียอีก แต่อย่างไรก็ตามความไม่ชอบน้ำเมื่อเทียบกับใบบัวยังไม่ดีมากนักและพื้นผิวที่ถูกพ่นเคลือบมีการสูญเสียความมันวาว นอกจากนี้ผิวเคลือบมีการหลุดออกโดยการขัดถูได้ง่ายเกินไป ทีมวิจัยของ BASF ได้ใช้เทคโนโลยีสเปรย์พัฒนาสูตรของเหลวโดยนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุก่อสร้าง เช่น หิน ไม้ หรือแม้แต่สิ่งทอด้วย (http://www.basf.com) ตัวอย่างสินค้าวัสดุก่อสร้างที่มีสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง เช่น สีทาภายนอกภายใต้ชื่อทางการค้า Lotusan ของบริษัท STO corp สหรัฐอเมริกา ผู้ผลิตวัสดุก่อสร้างคุณภาพสูงรายใหญ่ จำหน่าย Lotusan ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 ช่วยทำให้พื้นผิวที่ทาสีทำความสะอาดตัวเองได้เมื่อถูกน้ำชะล้างและปราศจากคราบสกปรกเกาะติด (http://www.stocorp.com) ในส่วนของผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง เช่น Nano-Care®, Nano-Pel® และ Nano-Touch® ของบริษัท NANO-TEX (http://www.nano-tex.com) มีสมบัติต้านน้ำ ต้านน้ำมัน ต้านการเกิดริ้วรอย และสวมใส่สบาย

ในช่วงไม่กี่ปีมานี้นักวิจัยและบริษัทผู้ผลิตมากมายนอกจากทำการพัฒนาเทคนิคการเคลือบผิวเพื่อให้เกิดการทำความสะอาดตัวเองแล้วยังได้ทำการศึกษาถึงช่วงอายุการใช้งาน คุณภาพทางด้านแสงและการทนทานต่อการขูดขีดอีกด้วย สำหรับวัสดุทำความสะอาดตัวเองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด เมื่อมองลงไปที่พื้นผิวระดับไมโครหรือนาโนเมตรก็จะพบว่ามีความขรุขระอยู่มาก ซึ่งการที่มีความขรุขระอยู่นี้ก็อาจจะนำมาซึ่งการสะสมของเศษสิ่งสกปรกขนาดเล็กบนพื้นผิวและนำมาซึ่งปัญหาและความยากลำบากในการทำความสะอาดพื้นผิวเคลือบเนื่องจากเศษสิ่งสกปรกเกาะติดกันเป็นกลุ่มหลังจากผิวเกิดการแห้งซึ่งยากต่อการกำจัดออกเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ (Shirtcliffe *et al*., 2004; McHale *et al*., 2001) อย่างไรก็ดีการวิจัยในอนาคตก็ได้มีการมองถึงการสังเคราะห์พื้นผิวที่เลียนแบบธรรมชาติให้มากที่สุดโดยที่พื้นผิวสามารถสร้างตัวใหม่ได้ (self-renewable) เมื่อถูกทำลายไป (Blossey, 2003)

สรุป

การสังเกตปรากฏการณ์และพฤติกรรมต่างๆ ทางธรรมชาติอย่างชาญฉลาดของมนุษย์ ประกอบกับวิทยาการและเทคโนโลยีพื้นผิวระดับนาโนเมตรทำให้เกิดการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวฉลาดสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ สามารถสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ ออกมาได้อย่างน่ามหัศจรรย์ และตัวอย่างที่กล่าวมาในบทความนี้ชี้ให้เห็นถึงผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มความสะดวกสบายในการใช้ชีวิตของมนุษย์และการประหยัดในหลายๆ ด้าน เช่น ค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาด เป็นต้น ปัญหาหลักที่ยังเป็นอุปสรรคของพื้นผิวสังเคราะห์เพื่อให้เกิดปรากฏการณ์การทำความสะอาดตัวเองคือผิวที่ถูกทำลายได้ง่ายหรือเกิดการปนเปื้อนในช่วงระยะเวลาการใช้งานตามปกติ เกิดการขูดขีดที่ผิว และปัญหาเกี่ยวจำนวนรอบของการชะล้างด้วยน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร และศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการสนับสนุน

เอกสารอ้างอิง

Ammerlaan, J., McCurdy, R.J. and Hurst, S.J. (2000). Process fro the production of photocatalytic coatings on substrates. *World patent 00/75087*.

Barthlott, W. and Neinhuis, C. (1997). Purity of the scared lotus or escape from contamination in biological surfaces. *Planta, 202*, 1-8.

Blossey, R. (2003). Self-cleaning surfaces-virtual realities. *Nature* materials, 2, 301-306.

Cassie, A.B.D. and Baxter, S. (1944). Wettability of porous surface. *Transations of the Faraday Society, 40*, 546-551.

Darhuber, A., Trojan, S.M. and Miler, S. (2000). Morphology of liquid microstructure on chemically patterned surfaces. *Journal of Applied Physics*, 87, 7768-7775.

Dupont-Teflon Industrial. (2008) *Oustanding Properties*. http://www2.dupont.com/Teflon_Industrial/en_US/products/selection_guides/properties.html (Jan, 2010)

Feng X.J., Feng L, Jin M.H. and Zhai J. (2004). Reversible super-hydrophobicity to super-hydrophilicity transition of aligned ZnO nanorod films. *Journal of the American Ceramic Society, 126,* 62-63.

Forbes, P. (2008). Self-Cleaning Materials: Lotus leaf-inspired nanotechnology, *Scientific American Magazine*.

Greenberg, C.B., (2000). Photocatalytically-activated self-cleaning article and method of making. *World patent 98/41480*.

Herminghaus, S. (2000). Roughness-induced non-wetting. *Europhysics Letters, 52*, 165-170.

Herminghaus, S. (1999). Liquid microstructures at solid interfaces. *Journal of Physics, A11*, 57-74.

Koch, K., Bhushan, B. and Barthlott, W. (2008). Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces, *Soft Matter*, 4, 1943-1963.

Lai, S. (2003). *Mimicking nature: Physical basis and artifiical synthesis of the Lotus Effect*. http://home.wanadoo.nl/scslai/lotus.pdf (Jan, 2010)

Ma, M. and Hill, R.M. (2006). Superhydrophobic surfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science, 11*, 193-202.

McHale, G., Rowan, S.M., Newton, M.I. and Banerjee, M. (2001). Evaporation and the wetting of a low-energy solid surface. *Journal of Physical Chemistry, B102*, 1964-1967.

Roach P, Shirtcliffe N.J. and Newton M.I. (2008). Progess in superhydrophobic surface development. *Soft Matter*, *4*, 224–240.

Shaw, D. (1992). *Colloid and Surface Chemistry*. Fourth Edition. Wiltshire: Redwood Books.

Seemann, R., Monch, W. and Herminghaus, S. (2001). Liquid flow in wetting layers on rough substrates. *Europhysics Letters, 55*, 698-704.

Shirtcliffe, N.J., McHale, G., Newton, M.I. and Chabrol, G. (2004). Dual-scale roughness produces unusually water-repellent surfaces. *Advanced Materials, 16*, 1929-1932.

Sun, T.L., Feng, L., Gao, X.F. and Jiang, L. ((2005). Bioinspired surfaces with special wettability. *Accounts of Chemical Research, 38*, 644-652.

Tadanaga, K., Katata, N. and Minami, T. (1997). Formation process of super-water-repellant Al_2O_3 coating films with high transparency by the sol-gel method. *Journal of the American Ceramic Society, 80*, 3213-3229.

Tseng, Y.K., Huang, C.J., Cheng, H.M. and Lin, I.N. (2003). Properties of needle-like zinc oxide nanowires grown vertically on conductive zinc oxide films. *Advanced Functional Materials, 13*, 811-814.

Wenzel, R.N. (1936). Surface roughness and contact angle. *Industrial and Engineering Chemistry Research, 28*, 988-994.

http://www.basf.com/ (12 March, 2010)

http://www.nano-tex.com/ (3 April, 2010)

http://www.ngimat.com/ (12 March, 2010)

http://www.pilkington.com/seflcleaningglass (10 March, 2010)

http://www.saint-gobain-glass.com (13 March, 2010)

http://www.stocorp.com/ (5 April, 2010)