สมบัติของทรายนาโนไม่เปียกน้ำ
Properties of Nano-Hydrophobic Sand

ชูจิต สาระภาค[1*], อรนุช นาคชาติ[2] และ Chad White[3]
Sarapak, C.[1*], Nakchat, O.[2], & White, C.[3]

บทคัดย่อ

บทความนี้อธิบายเกี่ยวกับหลักการ ทฤษฎี และประโยชน์ของทรายไม่เปียกน้ำ (Hydrophobic Sand) ทรายไม่เปียกน้ำถูกทำให้เกิดจากกระบวนการนาโนเทคโนโลยี ซึ่งก็คือการนำทรายธรรมดาเคลือบด้วยสารที่ไม่มีขั้ว โดยความหนาของสารเคลือบผิวทรายนั้นจะมีความบางมาก นั่นคือจะมีความบางเพียง 1 นาโนเมตร โดยทั่วจะไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างทรายธรรมดากับทรายไม่เปียกน้ำ ด้วยการมองหรือการสัมผัส แต่ถ้านำทรายทั้งสองใส่ลงไปในน้ำหรือน้ำมันจะทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างทรายทั้งสองอย่างชัดเจน ทรายไม่เปียกน้ำดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์และใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น เทคโนโลยีการเกษตรในพื้นที่แล้งน้ำและเทคโนโลยีการก่อสร้างใต้ดิน

คำสำคัญ: ทรายไม่เปียกน้ำ, นาโนเทคโนโลยี, มุมสัมผัส

---

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
Assistant Professor, Dr. Physics Program, Department of Basic Science, Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University

[2] อาจารย์ ดร. สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
Dr. Chemistry Program, Department of Basic Science, Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University

[3] EP Program Sirindhirn School Surin

* Corresponding Author, E-mail : csarapak@gmail.com

Abstract

This review article discussed the basic principles, theories and advantages of hydrophobic sand. The hydrophobic sand is created from nanotechnology processes, the regular sand is coated by non-polar substances. The thickness of the non-polar coating is extremely small, in fact, it's one nanometer thick. In general, it is not able to tell how different between the coated sand and the regular sand from looking or feeling them. However, if they are added in water or oil that the ways they behave will be completely different. There are a number of benefits and applications of hydrophobic sand such as agricultural technology for desert areas and constructional technology for foundations.

Keywords: Hydrophobic Sand, Nanotechnology, Contact Angle

1. บทนำ

วิทยาศาสตร์นาโน คือ ความรู้ความเข้าใจสมบัติโครงสร้างของวัสดุ/สสาร ระดับนาโน เนื่องจากวัสดุบางประเภทเมื่อมีขนาดเล็กระดับนาโนจะมีสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีเปลี่ยนไป เช่น การดูดกลืนแสง การนำไฟฟ้า ความจุความร้อน ความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเปลี่ยนไป การนำความรู้ความเข้าใจไปออกแบบสังเคราะห์และควบคุมเพื่อใช้งาน เรียกว่า นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) หรือ เทคโนโลยีระดับนาโน โดย นาโนเทคโนโลยี คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับกระบวนการการจัดการ การสร้าง หรือการวิเคราะห์ วัสดุ/สสาร หรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมาก ๆ โดยมีขนาดประมาณ นาโนเมตร (10^{-9} เมตร) หรือมีความยาวประมาณ 3 อะตอม โดยเส้นผมของมนุษย์หนึ่งเส้นจะมีความกว้างประมาณ 60,000-80,000 นาโนเมตร

มีหลายหลากแนวคิดเกี่ยวกับนิยามของคำว่า นาโนเทคโนโลยี แต่โดยทั่วไป นักวิทยาศาสตร์เห็นตรงกันว่า วัสดุ/ผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนาด้วยเทคโนโลยีในระดับนาโนนั้น ควรจะมี 3 สิ่งที่สำคัญนี้รวมอยู่คือ

1) เกิดจากการใช้เทคโนโลยีในระดับขนาดนาโนหน่วย นั่นคือ ต้องอยู่ในช่วงไม่เกินระดับขนาด 100 นาโนหน่วย หรือน้อยกว่า

2) วัสดุ/ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีคุณสมบัติที่พิเศษเนื่องจากมีขนาดเล็ก วัสดุ/ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเกิดจากการใช้เทคโนโลยีในระดับขนาดนาโนควบคุมโครงสร้างและส่วนประกอบของสารในระดับขนาดนาโน เพื่อที่จะควบคุมคุณสมบัติของสารนั้น (NNIN, 2007)

นักวิทยาศาสตร์ได้พบว่าสสารที่อยู่ในระดับขนาดนาโน จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ถ้าเปรียบเทียบกับสสารของวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งทำให้นักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาและสร้างเครื่องมือที่ซึ่งสามารถใช้งานในระดับโมเลกุลอีกด้วย นาโนเทคโนโลยีมีศักยภาพที่ยิ่งใหญ่มาก ถ้าเราสามารถเข้าใจถึงคุณสมบัติของวัสดุในระดับนาโน เรียนรู้ที่จะควบคุมโครงสร้างของโมเลกุล ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาปรับปรุงเครื่องมือ วัสดุ หรือโครงสร้างภายในระดับอะตอมเพื่อให้เกิดคุณสมบัติที่พิเศษและแตกต่างไป (NNIN, 2007)

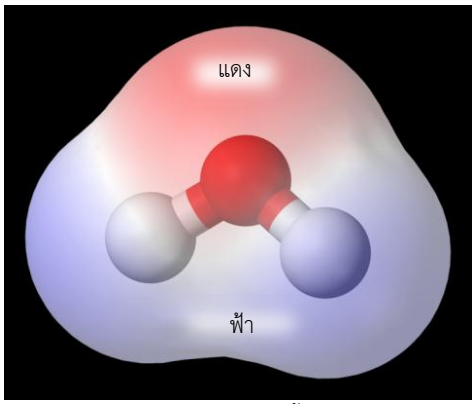
นาโนเทคโนโลยีเป็นการบูรณาการศาสตร์ ซึ่งทำให้นักวิทยาศาสตร์จากหลายสาขา เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา วิศวกรรม คณิตศาสตร์ รวมถึง IT และสาขาอื่น ๆ ได้ร่วมกันทำงาน ทำให้เกิดการทำงานเป็นทีม โดยในปัจจุบัน นาโนเทคโนโลยีได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขา เช่น อิเล็กทรอนิกส์ ออฟติกส์ เทคโนโลยีสารสนเทศ วัสดุศาสตร์ ด้านทางทหาร และการแพทย์

2. โมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้ว

แรงที่อยู่ระหว่างโมโลกุล (Intermolecular) คือ แรงไฟฟ้าสถิตในธรรมชาติเกิดจากการดึงดูดกันระหว่างประจุที่มีลักษณะตรงข้ามกัน ขั้วทางเคมีจะบอกถึงว่ามีอิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างอะตอมอย่างไร ซึ่งกรณีดังกล่าวมีผลต่อแรงระหว่างโมเลกุล ดังนั้น บางโมเลกุลจึงถูกพิจารณาให้เป็นโมเลกุลมีขั้ว (Polar) หรือไม่มีขั้ว (Non-polar) โมเลกุลของสารประกอบอาจจะประกอบไปด้วยหนึ่งพันธะทางเคมีระหว่างอะตอมหรือมากกว่า ขั้วของแต่ละพันธะภายในสารประกอบจะกำหนดว่าสารประกอบดังกล่าวถูกจำแนกให้เป็นขั้วแบบไหน นั่นคือ เป็นประเภทสารมีขั้วหรือไม่มีขั้ว โดยโมเลกุลมีขั้วโดยทั่วไปจะเกิดจากพันธะโคเวเลนต์ (พันธะที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกันจะทำให้เกิดแรงที่ทำให้อะตอมยึดติดกัน เป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอม กล่าวคือ โมเลกุลหลายโมเลกุลจะจับกันด้วยพันธะโคเวเลนต์)

เมื่ออะตอมสองอะตอมเข้าใกล้กันจะเกิดการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยอะตอมทั้งสองจะดูดอิเล็กตรอนเข้าหาตัวเอง โดยความสามารถในการดูดอิเล็กตรอนเข้าหาตัวเองนี้ถูกเรียกว่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (EN) นั่นคือ ธาตุที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงจะสามารถดึงดูดอิเล็กตรอนเข้าหาตัวเองได้ดีจะมีสภาพขั้วเป็นลบ ส่วนธาตุที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่ำจะมีสภาพขั้วเป็นบวก โดยค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของธาตุนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนประจุในนิวเคลียส และระยะห่างระหว่างอิเล็กตรอนกับนิวเคลียส ถ้าธาตุมีจำนวนประจุในนิวเคลียสมาก และระยะห่างระหว่างนิวเคลียสกับวาเลนซ์อิเล็กตรอนสั้น ธาตุนั้นจะมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ในพันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีเท่ากัน คือ อิเล็กตรอนร่วมพันธะจะอยู่กึ่งกลางระหว่างอะตอมทั้งสองเป็นส่วนใหญ่ หรือกล่าวได้ว่านิวเคลียสของอะตอมทั้งสองดึงดูดด้วยแรงเท่ากัน เราจึงเรียกว่า พันธะโคเวเลนต์ไม่มีขั้ว

โดยโมเลกุลที่เกิดจากพันธะโคเวเลนต์ไม่มีขั้วจะเรียกว่า โมเลกุลไม่มีขั้ว แต่ถ้าอะตอมของธาตุใดที่มีการดึงดูดอิเล็กตรอนร่วมด้วยแรงที่ต่างกันหรือระยะห่างระหว่างอะตอมร่วมกับนิวเคลียสทั้งสองต่างกัน หรือนิวเคลียสของอะตอมทั้งสองดึงดูดด้วยแรงไม่เท่ากัน เราจะเรียกว่า พันธะโคเวเลนต์มีขั้ว โดยโมเลกุลที่เกิดจากพันธะโคเวเลนต์มีขั้วจะเรียกว่า โมเลกุลมีขั้ว (NNIN, 2007)



ภาพที่ 1 แบบจำลองโมเลกุลของน้ำ (NNIN, 2007)

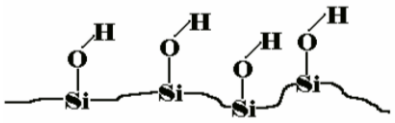
โดยปกติสารประกอบที่เป็นตัวอย่างของโมเลกุลมีขั้วก็คือน้ำ (H_2O) อิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนจะมีแรงดึงดูดจากอะตอมของออกซิเจนค่อนข้างสูงและมีระยะที่อยู่ใกล้กับนิวเคลียสของอะตอมออกซิเจนมากกว่านิวเคลียสของไฮโดรเจน ดังนั้น น้ำจะเป็นสารที่มีขั้วเนื่องจากศูนย์กลางของประจุบวกกับประจุลบแยกกัน (จากภาพที่ 1 ออกซิเจนจะเป็นบริเวณที่มีสีแดงหรือชมพู ส่วนปลายอะตอมไฮโดรเจนทั้งสองจะมีประจุเป็นบวก (บริเวณสีฟ้า)) แต่โดยภาพรวมประจุโมเลกุลของน้ำจะเป็นกลางทางไฟฟ้า

โดยสารที่เป็นโมเลกุลมีขั้วจะสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งจะถูกพิจารณาให้เป็น สารที่เรียกว่า Hydrophilic คือ สารที่ชอบน้ำ (Hydro แปลว่า น้ำ, Philic แปลว่า ชอบ,รัก) กรณีนี้ อาจกล่าวได้ว่า “สารชอบน้ำจะละลายในสารที่ชอบน้ำ” ส่วนโมเลกุลไม่มีขั้วจะไม่ละลายในน้ำ จึงเรียกว่าสาร Hydrophobic (ไม่ชอบน้ำ หรือกลัวน้ำ โดย Phobic มาจากคำว่า Phobia ซึ่งแปลว่า เกลียดหรือกลัว) โมเลกุลเหล่านี้จะต้านโมเลกุลของน้ำและจะจับกับโมเลกุลไม่มีขั้วด้วยกัน

3. ทรายไม่เปียกน้ำ (Hydrophobic Sand หรือ Magic Sand)

คือทรายธรรมดาที่ถูกเคลือบด้วยสาร Hydrophobic Silicon (NEATEC, 2013) ทรายไม่เปียกน้ำได้ถูกพัฒนาโดยนักวิจัยในรัฐแมสเสชูสเซทส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้พัฒนากระบวนการทำให้สารประกอบ Trimethyl-chlorosilane [$(CH_3)_3SiCl$] เกิดปฏิกิริยาด้วยพื้นผิวที่มีวัสดุที่เป็นสารประกอบซิลิเกต เช่น ทรายและแก้ว หรือกระจก ทรายคือ แร่ซิลิเกตที่มีสูตรทางเคมีเป็น SiO_2 พื้นผิวของเม็ดทรายถูกจับด้วยพันธะโคเวเลนต์ของอะตอมไฮโดรเจนดังภาพที่ 2 ซึ่งเป็นพันธะที่มีขั้ว ดังนั้น น้ำและทรายจึงประกอบด้วยโมเลกุลที่มีขั้วซึ่งทำให้ทรายเปียกน้ำได้ (สารชอบน้ำกับสารชอบน้ำ) ถ้าเราหยดน้ำลงบนทราย หยดน้ำจะกระจายตัวและรูปร่างของ

หยดจะไม่กลม ดังนั้นทรายจึงถูกจัดให้เป็นสาร Hydrophilic (NNIN, 2007)

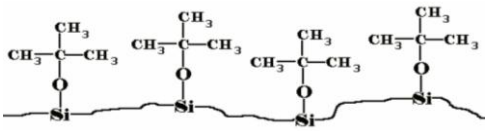


ภาพที่ 2 โมเลกุลที่เคลือบเม็ดทรายธรรมดา

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าโมเลกุลที่เคลือบผิวเม็ดทรายจะอยู่ในกลุ่ม Hydroxyl (--OH) ซึ่งจับกับอะตอมซิลิคอน (Si) ซึ่งจะเห็นว่า OH ยื่นออกจากพื้นผิวของเม็ดทราย อะตอมซิลิคอนโดยปกติจะจับกับอะตอมของออกซิเจน เป็นการเรียงตัวแบบ Tetrahedral ภายในเม็ดทรายนั้น (Goldsmith, & Robert, 2000; Hoffman, 1985) (โครงสร้างในภาพที่ 2 แสดงอันตรกิริยาระหว่างทรายปกติกับน้ำ)

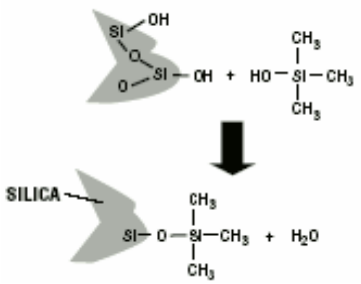
ส่วนทรายไม่เปียกน้ำมีพฤติกรรมไม่เหมือนทรายทั่วไป เนื่องจากถูกเคลือบด้วยสาร Organohalosilane ซึ่งเป็นรูปของฟิล์มซิลิโคน (Monolayer) (Katz, 2005) เมื่อทรายไม่เปียกน้ำถูกเทลงไปในน้ำ เม็ดของทรายไม่เปียกน้ำ จะรวมกันเพื่อลดพื้นผิวสัมผัสที่จะสัมผัสกับน้ำ และน้ำจะไม่สามารถจับกับทรายไม่เปียกน้ำ ซึ่งทรายดังกล่าวเป็นสารที่ไม่มีขั้ว โดยจะทำให้เกิดช่องอากาศขึ้นระหว่างทรายไม่เปียกน้ำกับน้ำ ทำให้สามารถปั้นทรายให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ภายในน้ำ โดยทั่วไปทรายที่จะนำมาทำทรายไม่เปียกน้ำจะใช้ทรายที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลมมากกว่าจะใช้ทรายที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม โดยสารเคลือบเม็ดทรายจะประกอบด้วยสารกลุ่ม CH_3 (Non-Polar) ทำให้พื้นผิวของทรายไม่เปียกน้ำ นั้นคือเป็นสาร Hydrophobic

โมเลกุลที่เคลือบบนพื้นผิวของเม็ดทรายไม่เปียกน้ำคือ Trimethylchlorosilane [$(CH_3)_3$ SiCl] จะมีอันตรกิริยากับพื้นผิวของเม็ดทรายแทนที่อะตอมของไฮโดรเจนซึ่งก็เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่ม Hydroxyl ร่วมด้วยกลุ่ม [$(CH_3)_3$Si--] ดังภาพที่ 3 (NNIN, 2007)



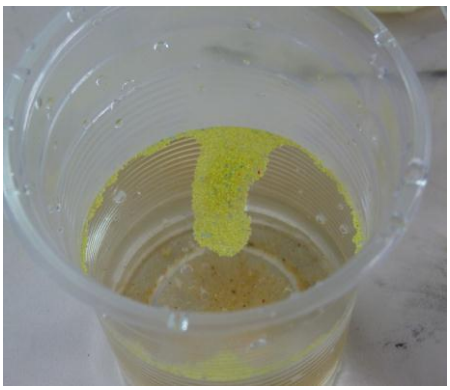
ภาพที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของทรายไม่เปียกน้ำ

ภาพที่ 4 จะแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างไร ในขณะที่ไอของ Trimethylhydroxy-silane ทำปฏิกิริยากับกลุ่ม Hydroxyl ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วเกิดขึ้นบนซิลิกา ดังนั้น กลุ่ม Methyl ดังกล่าวที่อยู่รอบ ๆ เม็ดทรายจึงทำให้ทรายธรรมดากลายเป็นทรายไม่เปียกน้ำ และจะเห็นว่าน้ำจะเป็น Byproduct นั่นเอง (NNIN, 2007; Vitz, 1990)



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาในการทำให้เกิดทรายไม่เปียกน้ำ (NNIN, 2007)

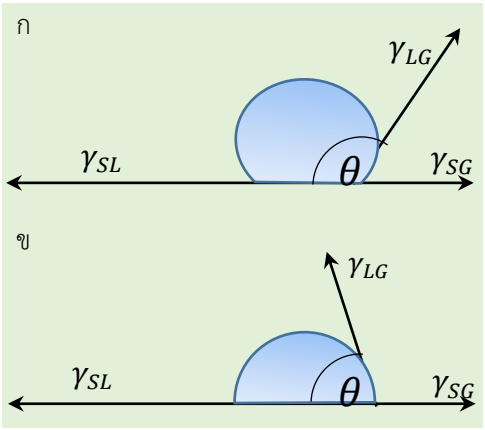
การเคลือบซิลิคอนบนเม็ดทรายเป็นการทำให้ทรายธรรมดากลายเป็นทรายที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยในการที่จะเคลือบทรายแต่ละเม็ดให้สมบูรณ์ได้นั้น ความหนาของสารซิลิคอนที่มาเคลือบต้องมีขนาดที่บางมาก ซึ่งมีขนาดเพียงแค่ 1 นาโนเมตร เท่านั้น เนื่องจากความบางของซิลิกอนที่เคลือบบนทรายมีความบางมาก เมื่อใช้มือสัมผัสกับทรายไม่เปียกน้ำจึงไม่รู้สึกถึงความแตกต่างกันกับการสัมผัสทรายธรรมดา แต่เมื่อเทน้ำหรือน้ำมันลงบนทรายทั้งสองชนิด จึงสามารถเห็นคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จะสังเกตเห็นว่าน้ำกับทรายไม่เปียกน้ำจะไม่จับกับน้ำซึ่งจะแตกต่างกับทรายธรรมดาที่จะเปียกน้ำและน้ำสามารถซึมผ่านไปได้จากภาพที่ 5 จะเห็นว่าทรายไม่เปียกน้ำจะลอยอยู่บนน้ำ ซึ่งเหตุผลที่ทรายไม่เปียกน้ำสามารถลอยบนน้ำได้เป็นบางส่วน ทั้งที่ความหนาแน่นของทรายสูงกว่าน้ำนั้น เนื่องจากทรายไม่เปียกน้ำถูกเคลือบด้วยสารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำซึ่งแรงตึงผิวของน้ำจะทำให้ทรายไม่เปียกน้ำบางส่วนลอยบนน้ำได้ ซึ่งทรายไม่เปียกน้ำอาจจะจมน้ำ หรือมีบางส่วนลอยบนน้ำได้



ภาพที่ 5 ทรายไม่เปียกน้ำลอยอยู่บนน้ำ

4. มุมสัมผัส (Contact Angle) บนพื้นผิวที่เปียกน้ำและไม่เปียกน้ำ

น้ำเป็นของเหลวชนิดหนึ่งที่หยดน้ำมีแนวโน้มที่จะมีรูปร่างแผ่แบนและกระจายตัวเป็นพื้นผิวที่เรียกว่า พื้นผิวเปียกน้ำ (Hydrophilic Surfaces) โดยรูปร่างของหยดน้ำนี้จะแสดงให้เห็นว่าน้ำหรือของเหลวมีการยึดเกาะกับพื้นผิวมากน้อยเพียงใด โดยสามารถวัดได้จากมุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวกับของเหลว มุมสัมผัสดังกล่าว สามารถนำมาอธิบายเกี่ยวกับหลักการความเปียกน้ำและไม่เปียกน้ำของพื้นผิว



ภาพที่ 6 แสดงมุมสัมผัสที่เกิดขึ้นเนื่องจากรอยต่อระหว่างสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ
(ก) มุมสัมผัสมากกว่า 90^0 และ
(ข) มุมสัมผัสน้อยกว่า 90^0

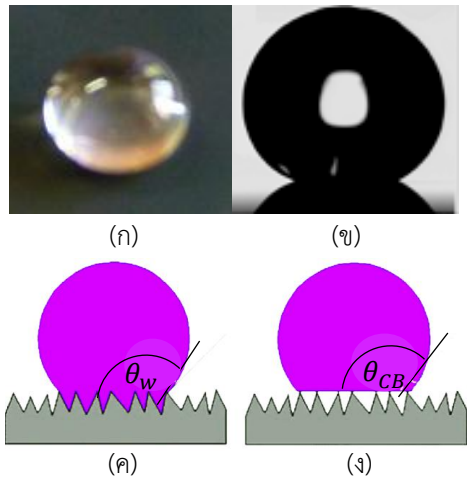
โดยกระบวนการในการวัด สามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุดก็คือ การสังเกตลักษณะหยดน้ำจากด้านข้าง ซึ่งถูกหยดบนพื้นผิวที่วางอยู่ในแนวราบ โดยจะทำการสังเกตและหาเส้นโค้งรอบวงของหยดน้ำที่มาสัมผัสกับพื้นผิวดัง

ภาพที่ 6 มุมระหว่างเส้นรอบวงของหยดน้ำกับพื้นผิวนี้เรียกว่ามุมสัมผัส (Contact Angle) มุมสัมผัสนี้จะมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ (ฟิล์มเขม่าคาร์บอน, น้ำ และอากาศ ดังภาพที่ 7 (ข)) การหาค่ามุมสัมผัสนี้จะใช้สมการของยังค์ (Young's Equation) เมื่อ γ คือพลังงานอิสระที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างของแข็ง (S) ของเหลว (L) และก๊าซ (G) (Baxter, 1950)

$$cos\theta = (\frac{\gamma_{SG}-\gamma_{LS}}{\gamma_{LG}}) \quad (1)$$

พลังงานอิสระนี้ยังสามารถอธิบายได้จากหลักการพลังงานอิสระในระบบที่สมดุลเนื่องจากการเชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคจาก 2 สถานะ โดยพลังงานนี้ยังเกี่ยวข้องกับความตึงผิว (Surface Tension) ซึ่งเป็นตัวแปรในการอธิบายถึงหน่วยของพลังงงานต่อพื้นที่ผิว (จูล/เมตร^2) และยังใช้ในการอธิบายถึง แรงอันตรกิริยาระหว่างของเหลวกับพื้นที่ผิว เช่น แรง Cohesion ซึ่งจะยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารในสถานะเดียวกันเข้าด้วยกันและ แรง Adhesion จะยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารระหว่าง 2 สถานะเข้าด้วยกัน หยดน้ำบนพื้นผิวที่มีมุมสัมผัสน้อยกว่า 90˚(θ<90˚) ลักษณะหยดน้ำจะแผ่แบนกระจายตัวบนพื้นผิว ซึ่งถูกเรียกว่า การเปียก นั่นหมายความว่าแรง Adhesion ระหว่างของเหลวกับพื้นผิวนั้นมีค่ามากกว่าแรง Cohesion ที่เกิดระหว่างของเหลวด้วยกัน แต่ถ้าหยดน้ำบนพื้นผิวมีมุมมากกว่า 90˚(θ<90˚) จะถือว่าพื้นผิวดังกล่าวเป็นพื้นผิวไม่เปียกน้ำ นั่นคือแรง Adhesion ระหว่างของเหลวกับพื้นผิวมีค่าน้อยกว่าแรง Cohesion ทั้งนี้ ถ้ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวกับของเหลวมีค่ามากกว่า 150˚ (θ<90˚) จะเรียกพื้นผิวดังกล่าวว่า พื้นผิวไม่เปียกน้ำอย่างยิ่งยวด (Super Hydrophobic) เช่น ฟิล์มเขม่าคาร์บอน ดังรูปที่ 7 ก และ 7 ข

ความขรุขระของพื้นผิวทำให้เกิดพฤติกรรมความไม่ชอบน้ำโดยของเหลวสามารถสัมผัสกับพื้นผิวที่ขรุขระได้หลายแบบ ตัวอย่างเช่น แบบของ Wenzel แสดงให้เห็นว่าของเหลวสัมผัสกับพื้นผิวทุกส่วนทั้งในที่สูงสุดและต่ำสุดของความขรุขระดังรูปที่ 7 ค



ภาพที่ 7 (ก) หยดน้ำบนแผ่นฟิล์มเขม่าคาร์บอนที่อยู่บนแผ่นทองแดงทอง
(ข) มุมสัมผัสของหยดน้ำที่อยู่บนเขม่าคาร์บอนประมาณ 152^0
(ค) การสัมผัสแบบ Wenzel หยดน้ำกับพื้นผิวน้ำไม่แยกจากกัน
(ง) การสัมผัสแบบ Cassie–Baxter (หยดน้ำกับพื้นผิวแยกกัน)

มุมสัมผัสจะมีความสัมพันธ์กับ $cos\theta_w$ จะเท่ากับ $cos\theta$ ของมุมสัมผัสที่พื้นผิวราบเรียบ (จากสมการของยังค์) ของวัตถุเดียวกัน คูณกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวสัมผัสจริง (Actual Area) ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสภาพฉาย (Projected Area) ของพื้นผิวขรุขระเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าพื้นผิวขรุขระมาก มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวก็จะมากขึ้นซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2 (Wenzel, 1936)

$$cos\theta_w = \left(\frac{A_{actual}}{A_{projected}}\right) cos\theta \qquad (2)$$

หรือ

$$cos\theta_w = rcos\theta \qquad (3)$$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวขรุขระ, θ คือ มุมสัมผัสจากสมการของยังค์ บนพื้นผิวอุดมคติ (ราบเรียบ) ดังภาพที่ 6 ส่วน θ_w คือ มุมปรากฏของ Wenzel โดยจะชี้ให้ว่าความขรุขระของพื้นผิวมีผลต่อมุม θ_w นี้

ลักษณะการสัมผัสกันระหว่างของเหลวกับพื้นผิวอีกชนิดหนึ่งคือ แบบของ Cassie-Baxter ที่ของเหลวจะสัมผัสเพียงแค่จุดสูงสุดบนของความขรุขระของพื้นผิว ดังภาพที่ 7 ง ส่วนช่องว่างระหว่างความขรุขระที่อยู่ด้านล่างจะเพียงอากาศเท่านั้น การสัมผัสกันในลักษณะนี้สามารถอธิบายด้วยตัวแปร φ คือส่วนของพื้นผิวที่สัมผัสกับของเหลวโดยตรง แสดงได้ดังสมการที่4 (Cassie, & Baxter, 1944)

$$cos\theta_{CB} = \varphi(cos\theta + 1) - 1 \qquad (4)$$

การสัมผัสแบบ Cassie-Baxter นี้จะสัมพันธ์กับลักษณะการสัมผัสแบบแยกกัน เมื่อ θ_{CB} คือ มุมปรากฏของ Cassie-Baxter นอกจากนั้นยังสามารถเขียนสมการที่เกี่ยวข้องกับ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวขรุขระ r_c (พื้นผิวขรุขระจริง/พื้นผิวขรุขระภาพฉาย) ดังนั้นจึงสามารถเขียนได้เป็น

$$cos\theta_{CB} = r_c\varphi cos\theta + \varphi - 1 \qquad (5)$$

ถ้า $\varphi = 1$ และ $r_c = r$ สมการที่ 5 จะกลับไปเป็นสมการที่ 3 ของ Wenzel อีกครั้ง ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ถ้าพื้นผิวไม่เปียกน้ำที่มีความขรุขระ จะทำให้หยดน้ำบนพื้นผิวดังกล่าวมีมุมสัมผัสมาก (θ >90˚)

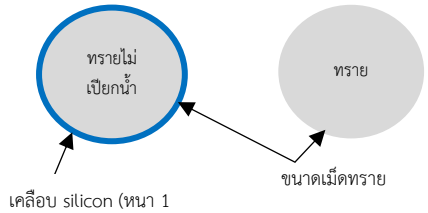
5. สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวเช่น พวกสบู่ โดยทั่วไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีคุณสมบัติที่เป็นทั้ง Hydrophilic และ Hydrophobic โดยส่วนหัวเป็น Hydrophilic และมีหางเป็น Hydrophobic ดังนั้น หางที่เป็น Hydrophobic ของสารลดแรงตึงผิวจะไปจับกับน้ำมันที่เป็นสาร Hydrophobic (ไขมันที่ต้องการชำระล้าง) ส่วนหัวที่เป็น Hydrophilic จึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ ดังนั้น สารลดแรงตึงผิวนี้จึงสามารถละลายได้ทั้งน้ำและน้ำมัน เราจึงสามารถชำระล้างไขมันออกไปด้วยสารลดแรงตึงผิวผสมกับน้ำนั่นเอง

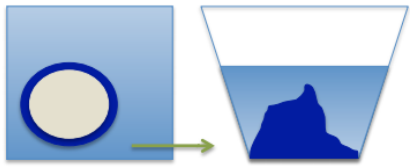
ทรายไม่เปียกน้ำเป็นการเคลือบสารประเภทไม่มีขั้วให้กับเม็ดทราย ดังนั้น ทรายดังกล่าวจะสามารถลอยน้ำได้บางส่วน (สาเหตุมาจากแรงตึงผิวของน้ำและคุณสมบัติของผิวที่ไม่ชอบน้ำของทราย) และไม่เปียกน้ำซึ่งต่างจากทรายปกติทั่วไปที่เปียกน้ำ น้ำมันเป็นสารไม่มีขั้วหรือเป็น Hydrophobic จะสามารถจับกับผิวของ ทรายไม่เปียกน้ำได้ดี สาร Hydrophobic นี้บางครั้งยังเชื่อมโยงถึงไลโพฟิลิก (Lipophilic) ซึ่งลักษณะคล้ายน้ำมันและไขมันอื่น ๆ โดยไขมัน (Lipids) คือสิ่งที่ไม่สามารถละลายในน้ำได้ แต่สามารถละลายในตัวละลายที่ไม่มีขั้วได้ ดังนั้น ทรายไม่เปียกน้ำดังกล่าวจะจับกับน้ำมันและทำให้น้ำมันหนักพอที่จะจมลงใต้น้ำ อย่างไรก็ตาม ทรายไม่เปียกน้ำก็จะจับกับสารลดแรงตึงผิวเช่นเดียวกับน้ำมันที่จับกับสารลดแรงตึงผิว ดังนั้น เมื่อทรายไม่เปียกน้ำอยู่ในสารลดแรงตึงผิวทรายไม่เปียกน้ำก็จะมีคุณสมบัติเหมือนทรายทั่วไปนั่นเอง

6. ประโยชน์ของทรายไม่เปียกน้ำ

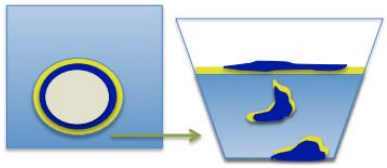
แต่เดิมแล้วทรายไม่เปียกน้ำถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อการทำความสะอาดน้ำมันที่ปนเปื้อนบนผิวน้ำเช่น กรณีน้ำมันรั่วในทะเลหรือแม่น้ำ โดยการโรยทรายไม่เปียกน้ำบนผิวน้ำเพื่อจับกับน้ำมันทำให้น้ำมันหนักและจมลง ดังภาพที่ 8 (ค) ดังนั้นเมื่อทรายไม่เปียกน้ำจับกับน้ำมันแล้วจะสามารถทำการตักทรายไม่เปียกน้ำพร้อมน้ำมันขึ้นมาเพื่อทำให้พื้นน้ำสะอาดได้ อย่างไรก็ตาม ทรายไม่เปียกน้ำ ยังมีราคาสูงเกินไปสำหรับการใช้เพื่อดักจับน้ำมัน (UC-CEIN, 2014)



(ก) ทรายไม่เปียกน้ำกับทรายธรรมดา



(ข) ทรายไม่เปียกน้ำกับน้ำ



(ค) ทรายไม่เปียกน้ำ, น้ำ และน้ำมัน
(ทรายไม่เปียกน้ำจะจับกับน้ำมันจะจมลงด้านล่าง)

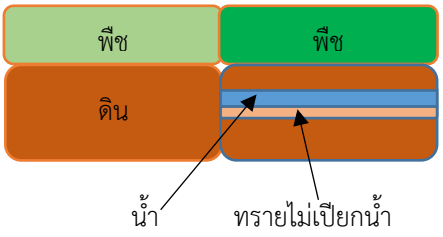
ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบระหว่างทรายและทรายไม่เปียกน้ำ

7. ทรายไม่เปียกน้ำกับการเกษตร

สามารถใช้ทรายไม่เปียกน้ำผสมเป็นชั้นดินเพื่อทำการเพาะปลูกพืชในฤดูแล้งหรือบริเวณที่เป็นทะเลทราย กล่าวคือ ในหน้าแล้งดินจะมีความชุ่มชื้นน้อยจำเป็นต้องรดน้ำพืชมากขึ้นและบ่อยขึ้น ถ้านำทรายไม่เปียกน้ำแทรกในชั้นดินภายในกระถาง ทรายไม่เปียกน้ำจะอุ้มน้ำไว้ไม่ให้

น้ำไหลผ่านไปได้ รากพืชสามารถดูดน้ำจากบริเวณดังกล่าวไปใช้ได้ จึงทำให้ประหยัดน้ำมากขึ้น ดังภาพที่ 10 (Zyga, 2009; Baldwin, 2009)

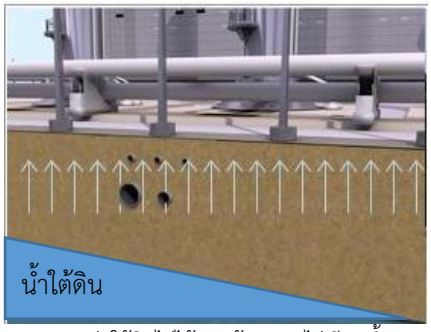
ภาพที่ 9 ลักษณะของหยดน้ำบนทรายไม่เปียกน้ำ



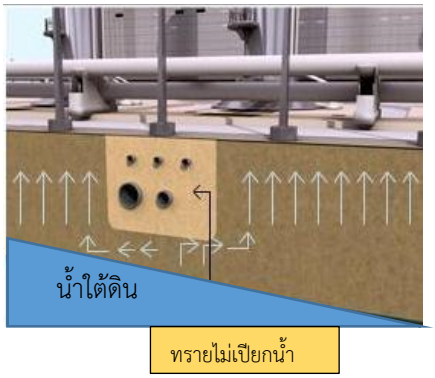
ภาพที่ 10 การนำทรายไม่เปียกน้ำไปใช้ในการเกษตร โดยภาพขวาจะเห็นชั้นของน้ำที่ไม่ซึมผ่านทรายไม่เปียกน้ำ ซึ่งจะทำให้พื้นดินด้านบนมีความชุ่มชื้น

8. ทรายไม่เปียกน้ำกับการก่อสร้าง

นอกจากนั้น ทรายไม่เปียกน้ำยังใช้ในวางเป็นฐานในสิ่งปลูกสร้างเพื่อป้องกันการเกิดความชื้นบริเวณใต้ฐานสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ และยังใช้ในการรองพื้นบริเวณที่ต้องการวางท่อน้ำที่เป็นเหล็กเพื่อป้องกันการเกิดสนิมของท่อเหล็ก เนื่องจากจะไม่มีน้ำซึมผ่านเข้ามาบริเวณท่อเหล็ก กล่าวคือ ชั้นน้ำใต้ดินและความเค็มสูงของดินด้านล่าง ส่งผลให้พื้นผิวดินเกิดการยุบตัวได้ง่าย เนื่องจากความเค็มของดินจะสามารถซึมผ่านคอนกรีตที่เป็นฐานสิ่งปลูกสร้างขึ้นมา ดังภาพที่ 11 (Wang, 2009) ทรายไม่เปียกน้ำจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการป้องกันฐานของสิ่งก่อสร้างเพื่อไม่ให้น้ำและเกลือซึมขึ้นมา นอกจากนั้น ยังใช้ประโยชน์ด้านการวางท่อใต้ดิน หรือสายไฟใต้ดินซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้ง่ายต่อการซ่อมแซมแล้วยังมีความปลอดภัยเนื่องจากทรายดังกล่าวป้องกันการเปียกน้ำได้ โดยคลุมทรายไม่เปียกกับท่อและสายไฟใต้ดิน จะเป็นการป้องกันการเสื่อมสภาพของท่อใต้ดินซึ่งเกิดจากการกัดกร่อนและความชื้นของดินได้เป็นเวลานานขึ้น



(ก) ท่อใต้ดินไม่ได้คลุมด้วยทรายไม่เปียกน้ำ



(ข) ท่อใต้ดินคลุมด้วยทรายไม่เปียกน้ำ

ภาพที่ 11 การซึมของความชื้นจากน้ำใต้ดิน

นอกจากนั้น บริษัทด้านการวางสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ใต้ดินยังสามารถนำไปประยุกต์ในการป้องกันความเสียหายของสายส่งเนื่องจากสภาพอากาศและภัยธรรมชาติ เช่น ถ้ามีสิ่งที่จำเป็นต้องซ่อมแซมในช่วงฤดูหนาว การขุดเจาะเพื่อการซ่อมแซมจะทำได้ไม่ง่ายนักเนื่องจากอุณภูมิของดินอยู่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีศักยภาพสูงในการขุดเจาะ เพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมแซมและตรวจสอบการวางสายไฟใต้ดินทำได้โดยการใช้ทรายไม่เปียกน้ำมาแทรกระหว่างชั้นดินกับท่อสายไฟ โดยความหนาของทรายไม่เปียกน้ำอยู่ที่ประมาณ 2-3 นิ้ว เมื่อฝนตก น้ำจะไม่สามารถซึมผ่านทรายลงไปสู่ท่อส่ง ถึงแม้ดินจะอยู่ในจุดเยือกแข็ง ทรายดังกล่าวก็ยังคงแห้งและไม่แข็งตัว ซึ่งง่ายต่อการขุดและซ่อมแซม

นอกจากนั้น ยังใช้สำหรับป้องกันน้ำท่วมและการกัดเซาะของชายฝั่งได้อีกด้วย โดยทั่วไปการใช้กระสอบทรายธรรมดากั้นป้องกันน้ำท่วมไหลเข้าบ้านเรือนหรือการกัดเซาะของกระแสน้ำของชายฝั่ง แต่น้ำก็ยังสามารถซึมผ่านเข้าไปในกระสอบทราย ซึ่งทรายไม่เปียกน้ำจะป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้

9. สรุป

นาโนเทคโนโลยีคือเทคโนโลยีที่อยู่ในระดับขนาดที่เล็กมาก นั้นคือ ระดับอะตอมและโมเลกุล ทรายไม่เปียกน้ำถูกสร้างโดยการใช้หลักการ การจับกันของพันธะโมเลกุล ซึ่งเป็นการทำงานในระดับอะตอม ทำให้พื้นผิวของทรายธรรมดามีคุณสมบัติพิเศษ ถึงแม้ว่าการมองด้วยตาเปล่าและการสัมผัสจะไม่สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างทรายธรรมดากับทรายไม่เปียกน้ำได้ แต่จะสามารถเห็นความแตกต่างเมื่อนำทรายทั้งสองชนิดใส่ลงไปในน้ำ โดยประโยชน์ของทรายไม่เปียกน้ำดังกล่าวมีอย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการเกษตร การก่อสร้าง ด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งด้านการศึกษา โดยสามารถนำหลักการผลิตและการใช้ประโยชน์ของทรายไม่เปียกน้ำมาสร้างกิจกรรมการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นการกระตุ้นและเร้าความสนใจให้ผู้เรียนได้

เอกสารอ้างอิง

Cassie, A.B.D., & Baxter, S. (1944) Wettability of porous surfaces. *Trans. Faraday Soc*, 40, 546-551.

Baldwin, D. (2009). *Nanotechnology general news.* Retrieved January 6, 2018, from https://www.nanowerk.com/news/newsid=9164.php

Karcher, D.E., and Landreth, J.W. (2003). *Wetting Agents Decrease Wilt Symptoms and Water Repellency on a Sand-Based Putting Green.* AAES Research Series, 44-46.

Goldsmith, R.H. (2000). Illustrating the Properties of Magic Sand. *J. Chem. Educ, 77*, 41.

Hoffman, A.B. (1985). A Demonstration Model for Immiscibility. *J. Chem. Educ, 59*, 155.

Katz, D.A. (2005). *MAGIC SANDTM/MYSTIC SAND.* Tucson, AZ .

NEATEC. (2013). *Chemistry of Hydrophobic Sand.* Troy, NY: Hudson Valley Community College.

NNIN. (2007). *Nanotechnology Education.* Retrieved June 07, 2007, from http://www.nnin.org/

Wenzel, R.N. (1936). Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Ind. Eng. Chem, 28*, 988-994.

Baxter, S. (1950). Wetting and contact-angle hysteresis. *Nature (London), 165*, 198.

UC-CEIN. (2014). *Simulation:Oil Spill Clean Up*. Retrieved January 6, 2018, from http://www.cein.ucla.edu/new/file_uploads/CEINOil_Spill_Clean_UpNISENET.pdf

Vitz, E. (1990). Magic sand: Modeling the hydrophobic effect and reversed-phase liquid chromatography. *J. Chem. Educ, 67*, 512.

Wang, B. (2009). *Hydrophobic Sand Details-Waterproof Nanosand*. Retrieved January 6, 2018, from nextbigfuture: https://www.nextbigfuture.com/2009/02/hydrophobic-sand-details-waterproof.html

Zyga, L. (2009). *Hydrophobic Sand Could Combat Desert Water Shortages*. Retrieved May 03, 2015, from https://phys.org/news/2009-02-hydrophobic-sand-combat-shortages.html