

การสังเคราะห์สารเคลือบผิวนาโนสมบัติไม่ชอบน้ำ และการออกแบบการทดลองเพื่อการเรียนรู้นาโนเทคโนโลยี

มลฤดี สไตน์ และ การะเกด เทศศรี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

karaked@go.buu.ac.th

บทคัดย่อ

ศึกษาและพัฒนาวิธีการสังเคราะห์สารเคลือบผิวนาโนสมบัติไม่ชอบน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบการทดลอง ประกอบการเรียนรู้นาโนเทคโนโลยีในหัวข้อ ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว และนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีเลียนแบบธรรมชาติ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีเงื่อนไขในการออกแบบการสังเคราะห์ได้แก่ ทำการทดลองได้ง่าย ไม่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ปฏิบัติการเกิดสมบูรณ์ในระยะเวลาสั้น เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ผลการค้นคว้าพบว่าสามารถเตรียมสารเคลือบผิวนาโนซิลิกาที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวิธีการสังเคราะห์แบบหม้อเดียว (one-pot synthesis) ใช้เตตระเอท-ทอกซิลไซเลน (tetraethoxysilane: TEOS) ในการเตรียมอนุภาคนาโนซิลิกา ภายใต้สภาวะที่มีเบสแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ในตัวกลางผสมน้ำและเอทานอล การปรับเปลี่ยนอัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำต่างกัน ทำให้ได้อนุภาคซิลิกาที่มีลักษณะการแขวนลอยและขนาดต่างกัน นอกจากนี้สามารถปรับปรุงโครงสร้างพื้นผิวของซิลิกาให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำสามารถได้ง่าย โดยการเติมโพลีไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethylsiloxane; PDMS) หรือ ซิลิโคน ลงในสารคอลลอยด์ซิลิกาโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการแยกซิลิกาออกก่อน ทำให้สามารถเตรียมสารเคลือบผิวนาโนได้สำเร็จพร้อมใช้ภายในเวลา 1.50 ชั่วโมง การทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันการเปียกน้ำของพื้นผิว ทำโดยวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ พบว่าให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 145 ± 3 องศา การหาค่ามุมสัมผัสโดยอุปกรณ์ประยุกต์เทียบกับเครื่องวัดค่ามุมสัมผัสพบว่าได้ค่าใกล้เคียงที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิดร้อยละ 6

คำสำคัญ: สารเคลือบนาโนสมบัติไม่ชอบน้ำ, อนุภาคนาโนซิลิกา, การออกแบบการทดลอง, นาโนเทคโนโลยีในโรงเรียน

บทนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านการศึกษ เพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของโลกในยุคศตวรรษที่ 21 เน้นการจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนสามารถนำองค์ความรู้ที่มีอยู่ทุกหนทุกแห่งบนโลกนี้มาบูรณาการเชิงสร้างสรรค์ เชื่อมโยงกับความรู้ด้านวิชาการในสาขาวิชา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (Science Technology Engineering Mathematics : STEM) [1] ผู้เรียนวิทยาศาสตร์ควรได้รับการกระตุ้นให้เกิดความตื่นตัวท้าทายโดยการเผชิญสถานการณ์หรือปัญหา มีการร่วมกันคิด ลงมือปฏิบัติจริง เข้าใจและเห็นความเชื่อมโยงของวิทยาศาสตร์กับวิชาอื่น รวมทั้งสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตที่ดีตลอดจนการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติอย่างสมดุลและยั่งยืน

ปัจจุบันความรู้ด้านนาโนศาสตร์ และการพัฒนาด้านนาโนเทคโนโลยี ทำให้มนุษย์สามารถเข้าใจสมบัติต่างๆ ที่น่าทึ่งของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ และสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์และนวัตกรรมใหม่ ๆ จากการเลียนแบบธรรมชาติ (biomimicry) ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดได้แก่ ความเข้าใจโครงสร้างผิวใบบัวและปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus effect) จากผลการศึกษาผิวใบบัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทำให้ทราบว่าโครงสร้างของใบบัวมีลักษณะโครงสร้างลำดับขั้น (hierarchical structure) โดยมีหนามขนาดเล็กไม่โครเมตร จำนวนมากกระจายอยู่ทั่วไปอย่างเป็นระเบียบ หนามเหล่านี้ปกคลุมด้วยขนเล็กๆ ระดับนาโนซึ่งเคลือบด้วยสารที่มีลักษณะเป็นไขหรือขี้ผึ้ง [2] เมื่อน้ำตกลงบนใบบัว ทำให้มีพื้นผิวสัมผัสน้อยมากและไม่สามารถซึมผ่านได้ จึงมีลักษณะเม็ดกลมมนและกลิ้งไปมาตามใบบัว พื้นผิวใบบัวจึงมีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophobic) จากองค์ความรู้ในระดับนาโน นักวิทยาศาสตร์นำหลักการน้ำกลิ้งบนใบบัว มาใช้ในการสังเคราะห์พื้นผิวไม่เปียกน้ำ โดยการผลิตสารเคลือบผิวจากวัสดุนาโนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด เพื่อใช้เคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ เช่น เคลือบผิวเซรามิก กระดาษ ผ้า และไม้ เป็นต้น [3-6]

มีรายงานวิจัยทางการศึกษาไม่มากนักที่นำความรู้ด้านนาโนเทคโนโลยี และความรู้เรื่องพื้นผิวไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน มาสร้างเป็นการทดลองสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา โดยส่วนมากสำหรับนักศึกษาระดับอุดมศึกษา Shauna P. Flynn และผู้ร่วมงาน [7] สร้างชุดทดลองในรูปของซิลปะบนแผ่นน้ำ (Aqua-Art) เพื่ออธิบายสมบัติของพื้นผิวชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ (hydrophilic and hydrophobic surfaces) สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 โดยใช้เทคนิคพีอีซีวีดี (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition: PECVD) ทำให้กระจกสไลด์มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ โดยกระจกส่วนที่ไม่ชอบน้ำดัดแปลงเป็นตัวอักษรและส่วนที่เหลือดัดแปลงให้มีสมบัติชอบน้ำ เมื่อหยดน้ำสีลงบนกระจก บริเวณที่ไม่ชอบน้ำจะเห็นเป็นตัวอักษรที่ซ่อนอยู่ นอกจากนี้ยังมีชุดการทดลองในลักษณะเดียวกัน เรื่อง การเขียนข้อความด้วยน้ำ (hydroglyphics) เพื่ออธิบายสมบัติการเปียกบนพื้นผิวที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำสำหรับนักเรียน [8] Sumuel Verbanic และผู้ร่วมงาน [9] สร้างชุดทดลองสำหรับวิชาเคมีทั่วไป จากการสร้างพื้นผิวที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนโดยใช้พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (polydimethylsiloxane: PDMS) ในการสร้างแบบพิมพ์จากใบไม้ และวิเคราะห์ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ นอกจากนี้ Jessica X. H. และผู้ร่วมงาน [10] ออกแบบการทดลองสำหรับการเรียนการสอนเรื่อง สมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน วิชาเคมีฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์สำหรับนักศึกษา เพื่อสาธิตเรื่อง การเปียก สมบัติเชิงแสง และสมบัติการทำความสะอาดตัวเองของพื้นผิวที่ถูกดัดแปลง การดัดแปลงพื้นผิวกระจกสไลด์ให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน ทำโดยใช้เมทิลไตรคลอโรซิลเลน (methyltrichlorosilane) และออกตะเดซิลไตรคลอโรซิลเลน (octadecyltrichlorosilane) ตามลำดับ จากตัวอย่างรายงานที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าโดยส่วนมากมีลักษณะเป็นการสาธิตการทดลอง และไม่พบรายงานเกี่ยวกับการเรียนการสอนเรื่องสมบัติไม่ชอบน้ำจากการนำหลักการทางนาโนเทคโนโลยีมาสร้างพื้นที่ที่มีความขรุขระและไม่ชอบน้ำเหมือนผิวลำดับขั้นของใบไม้

ปัจจุบันสารเคลือบพื้นผิววัสดุเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำมีจำหน่ายบนหน้าเว็บไซต์และตามท้องตลาด โดยอยู่ในรูปของสารแขวนลอยของอนุภาคนาโนซิลิกา หรือซิลิกาโซล และโลหะออกไซด์อื่นๆ การใช้งานเพียงฉีดพ่นลงบนพื้นผิวที่ต้องการและปล่อยให้แห้ง พื้นผิววัสดุที่ต้องการจะกลายเป็นพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำได้ โดยทั่วไปซิลิกาโซล สามารถเตรียมโดย กระบวนการโซล-เจล ประกอบด้วยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส และปฏิกิริยาการควบแน่นของสารประกอบออร์โธซิลิเกต โดยทั่วไปนิยมใช้เตตระเอท-ทอกซีซิลเลน (tetraethoxysilane: TEOS) ในตัวกลางน้ำ/แอลกอฮอล์ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดหรือเบส การควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ เช่น ความเข้มข้น TEOS อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำ ค่า pH ทำให้ได้อนุภาคซิลิกาที่มีขนาดต่างๆ กัน [11-13] ขั้นตอนการทำให้อนุภาคนาโนซิลิกามีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยทั่วไปนิยมใช้พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เฮกซะเดซิลไตรเมทอกซีซิลเลน (hexadecyltrimethoxysilane: HDTMS) พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (polydimethyl siloxane; PDMS และพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene: PTFE) เป็นต้น [14] ความสามารถในการป้องกันการเปียกน้ำเมื่อเคลือบด้วยสารที่เตรียมโดยวิธีข้างต้น ขึ้นกับความขรุขระของพื้นผิวซิลิกาและการดัดแปลงพื้นผิวซิลิกาให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยสามารถให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงสุดถึง 160 องศา สารเคลือบผิวที่เกาะอยู่บนอนุภาคนาโนจะทำให้มีความแข็งแรงในการยึดเกาะบนพื้นผิวมากขึ้นส่งผลให้สามารถป้องกันการเปียกน้ำได้นานขึ้น

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมสารเคลือบผิวนาโนซิลิกาที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ และหาวิธีวัดค่ามุมสัมผัสอย่างง่าย เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบชุดการทดลอง สำหรับการเรียนการสอนวิชาเคมี โดยประเด็นหลักที่นำมาพิจารณาออกแบบชุดทดลอง คือ ทำการทดลองได้ง่าย และสามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการโรงเรียนระดับมัธยมศึกษา ปฏิบัติการเกิดขึ้นที่อุณหภูมิห้อง และเกิดได้ในเวลาสั้น เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน ใช้สารเคมีที่ไม่เป็นอันตราย สามารถเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนรู้กับการนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน โดยนักเรียนจะได้ทำการสังเคราะห์วัสดุนาโนซิลิกา และนำไปทำสารเคลือบผิวเพื่อเคลือบผิวหน้าวัสดุ และการหาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ ได้ศึกษาสมบัติสมบัติไม่ชอบน้ำและปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบไม้ บนพื้นฐานแนวคิดด้านนาโนศาสตร์ นอกจากนี้สามารถนำแนวคิดการนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์และนวัตกรรมใหม่ ๆ

วิธีดำเนินการวิจัย

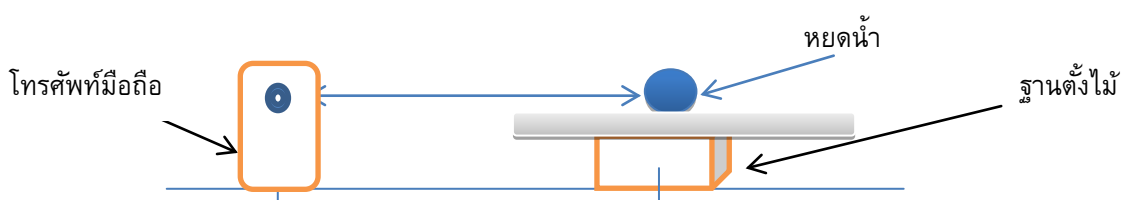
สารเคมี และเครื่องมือวิเคราะห์

สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ได้แก่ เตตระเอท-ทอกซีไซเลน (Tetraethoxysilane; TEOS) ความบริสุทธิ์ 99.0% เกรดวิเคราะห์ (analytical reagent) ชื้อจากบริษัท Schuchardt และพอลิเมอร์พอลิไดเมทิลไซลอกเซน (Polydimethylsiloxane; PDMS) เกรดวิเคราะห์ชื้อจากบริษัท Sigma Aldrich เอทานอล (Ethanol) ความบริสุทธิ์ 95% และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium Hydroxide) เข้มข้นร้อยละ 25 โดยมวล เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) ยี่ห้อ Philip รุ่น TECNAI 20 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ Philip รุ่น TECNAI 20 เครื่องวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle meter) ยี่ห้อ Drop Shape Analyzer - DSA30

วิธีการทดลอง

เตรียมสารเคลือบผิวนาโนซิลิกาที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำโดยละลายเตตระเอท-ทอกซีไซเลนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ในสารละลายผสม เอทานอลและน้ำปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ที่มีปริมาตรเอทานอลต่อน้ำต่างๆ ได้แก่ 50:0 (ตัวอย่างที่ 1) 40: 10 (ตัวอย่างที่ 2) และ 30:20 (ตัวอย่างที่ 3) คนให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวนสารละลาย ค่อยๆ หยดสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 25 โดยมวล ที่ละหยดจนปริมาตรครบ 3.0 มิลลิลิตร คนสารละลายต่อไปเป็นเวลา 40 นาที จะได้อนุภาคคอลลอยด์ของนาโนซิลิกา (nano-SiO₂) เติมพอลิเมอร์พอลิไดเมทิลไซลอกเซน ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร คนสารผสมต่อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จะได้สารเคลือบผิวนาโนซิลิกา (PDMS-nanoSiO₂) ที่พร้อมใช้งาน ศึกษาความเสถียรของสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากการแยกชั้นของสารละลาย เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์ขนาด และสัณฐานของอนุภาคนาโนซิลิกาโดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

การทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันการเปียกน้ำของสารเคลือบผิวนาโนซิลิกากำโดยการเคลือบบนผิวไม้ การเคลือบพื้นผิวใช้วิธีจุ่มเคลือบ จุ่มตัวอย่างไม้ไอศกรีม ขนาด 1 x 12 เซนติเมตร ลงในสารแขวนลอยของ PDMS-nanoSiO₂ ที่เตรียมได้จำนวน 2-3 ครั้ง ปลอ่ยให้แห้งตามธรรมชาติ วิเคราะห์สัณฐานของอนุภาคนาโนซิลิกาที่เคลือบบนผิวไม้แปรรูป โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ศึกษาสมบัติในการป้องกันการเปียกน้ำจากการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ ทำโดยหยดน้ำปริมาตร 5 ไมโครลิตร ลงบนพื้นผิวที่ทดสอบ และวัดค่ามุมสัมผัสจากภาพถ่ายที่ถ่ายโดยการติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 1 โดยกำหนดจุดตั้งกล้องถ่ายรูปให้อยู่ตำแหน่งเดิมและอยู่ระดับเดียวกับหยดน้ำบนพื้นผิว ใช้ค่ากำลังขยายเดียวกันหมด ถ่ายภาพหยดน้ำบนพื้นผิวที่บริเวณต่างกัน 5 จุด ทำซ้ำจุดละ 5 ครั้ง นำภาพถ่ายหยดน้ำที่ได้ หาค่ามุมสัมผัส เพื่อกำหนดจุดรอบหยดน้ำ จุดระหว่างพื้นผิวกับอากาศ ทำการวัดมุมของหยดน้ำ นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

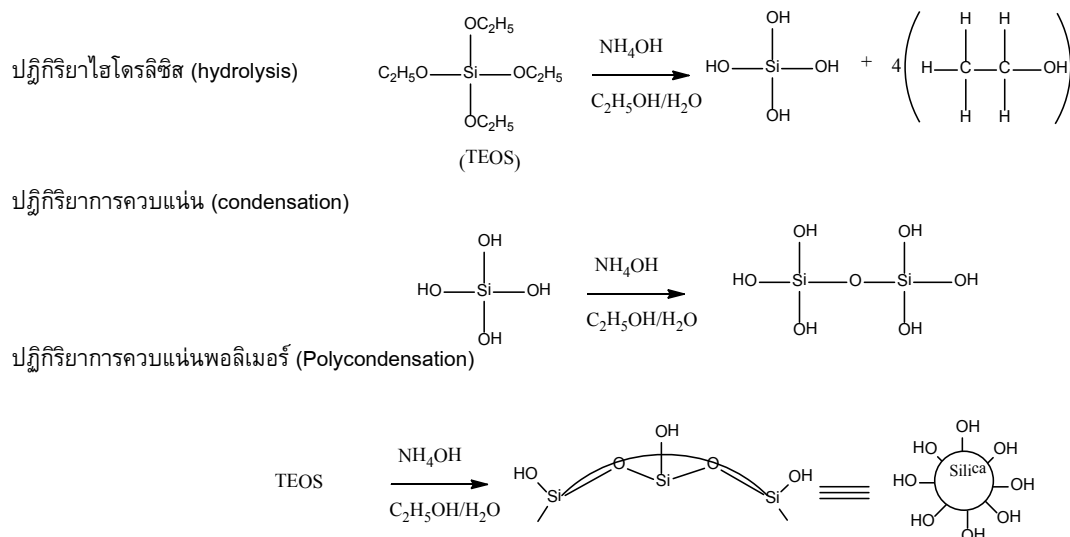


รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพหยดน้ำบนพื้นผิว

ผลและอภิปรายผล

การเตรียมสารเคลือบผิวนาโนซิลิกาสมบัติไม่ชอบน้ำ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมสารคอลลอยด์นาโนซิลิกาหรือซิลิกาโซล และการเคลือบพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลิกาโดยสารที่ไม่มีขั้วเพื่อให้พื้นผิวมีสมบัติไม่ชอบน้ำ นาโนซิลิกาในรูปคอลลอยด์สามารถเตรียมได้ที่อุณหภูมิห้อง จากกระบวนการโซล-เจล โดยวิธีสโตเบอร์ (Stöber method) ใช้เตตระเอท-ทอกซีไซเลนเป็นสารตั้งต้น ทำปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่เป็นเบส ในตัวกลางสารละลายผสมเอทานอลและน้ำ กระบวนการโซล-เจล ประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยาสำคัญคือปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis) และการควบแน่น (condensation) แผนภาพการเตรียมนาโนซิลิกาจากกระบวนการโซล-เจล แสดง

ดังรูปที่ 2 น้ำเป็นสารที่จำเป็นสำหรับกระบวนการไฮโดรไลซิส ในขณะที่แอลกอฮอล์ช่วยในการละลายสารตั้งต้น TEOS [9] อัตราส่วนของน้ำและแอลกอฮอล์ มีบทบาทสำคัญในการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและการควบแน่น



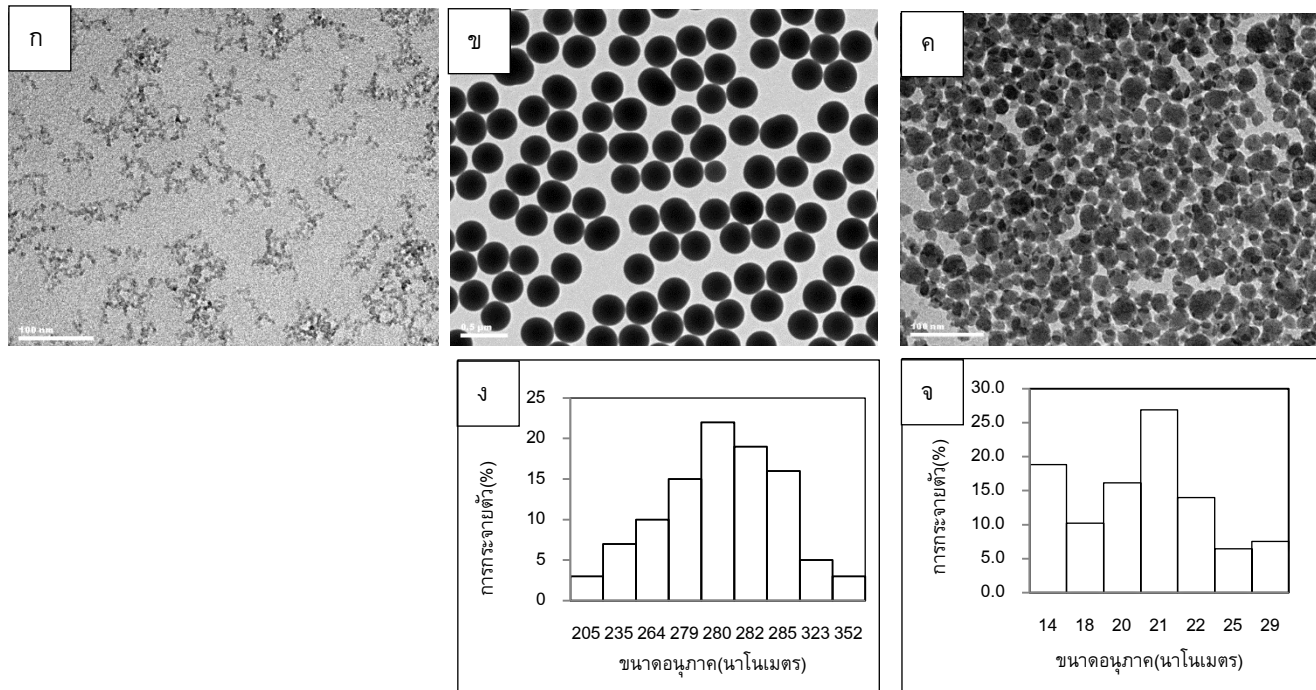
รูปที่ 2 การเตรียมคอลลอยด์ PDMS-nanoSiO₂ โดยกระบวนการโซล-เจล

อัตราส่วนน้ำและแอลกอฮอล์มีผลต่ออัตราการเกิดไฮโดรไลซิสและการควบแน่น และส่งผลต่อขนาดและสัณฐานของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมได้ [15-17] การทดลองนี้ศึกษาผลการเปลี่ยนอัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 5:0 4:1 และ 3:2 พบว่าสารเนื้อผสมที่ได้มีลักษณะขุนขาวแตกต่างกัน การเตรียมโดยใช้เฉพาะเอทานอล ในขั้นเติมเบสจะเกิดตะกอนขุนขาวในลักษณะสารแขวนลอยขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับการเตรียมที่อัตราส่วน 4:1 ในขณะที่การเพิ่มปริมาณน้ำที่อัตราส่วน 3:2 ค่อยๆเกิดตะกอนขาวขุนอมฟ้าขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วในรูปคอลลอยด์ การเปรียบเทียบความเสถียรในการแขวนลอยของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมได้ที่อัตราส่วนต่างๆทำโดยการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังภาพถ่ายรูปที่ 3



รูปที่ 3 อนุภาคซิลิกาแขวนลอยในตัวอย่างผสมเอทานอลต่อน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ก) ตัวอย่างที่ 1 อัตราส่วน 5 : 0 ข) ตัวอย่างที่ 2 อัตราส่วน 4 : 1 ค) ตัวอย่างที่ 3 อัตราส่วน 3:2 หลังตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

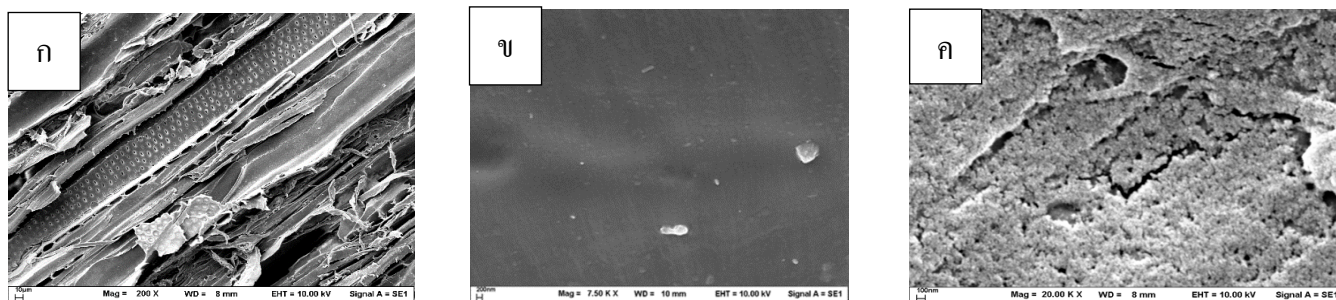
จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าตัวอย่างที่ 1 และ 2 สารผสมที่เตรียมได้ในรูปสารแขวนลอย มีบางส่วนตกตะกอนหลังการตั้งทิ้งไว้ในขณะที่ตัวอย่างที่ 3 อนุภาคซิลิกากระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันอยู่ในตัวทำละลายและไม่เกิดการตกตะกอน เมื่อทดสอบโดยการส่องลำแสงผ่านพบว่าการกระเจิงของแสงจากปรากฏการณ์ทินดอลล์ ซึ่งแสดงลักษณะเฉพาะของคอลลอยด์ แสดงว่าตัวอย่างที่ 3 มีความเสถียรในสารละลายมากกว่า ขนาดของอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาที่เตรียมได้ สามารถวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านอนุภาคนาโนซิลิกาเตรียมที่อัตราส่วนปริมาตรเอทานอลต่อน้ำต่างกัน ก) ตัวอย่างที่ 1 อัตราส่วน 5:0 ข) ตัวอย่างที่ 2 อัตราส่วน 4 : 1 ค) ตัวอย่างที่ 3 อัตราส่วน 3:2 ง) และ จ) กราฟการกระจายตัวของอนุภาค

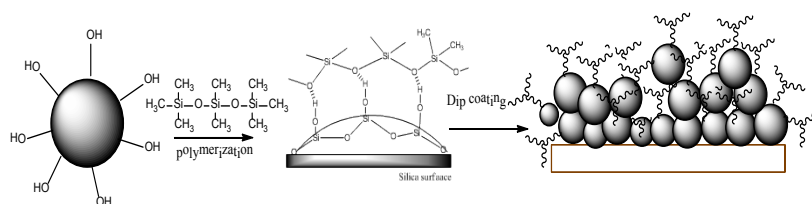
จากรูปที่ 4 ก) ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ในตัวกลางเอทานอล มีขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 5 นาโนเมตร) ไม่มีลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยวๆ โดยมีแนวโน้มเกิดแรงกระทำระหว่างอนุภาคอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการเกาะตัวเป็นกลุ่ม (aggregate) ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน สาเหตุอาจเนื่องจากการมีอัตราส่วนน้ำต่อ TEOS ต่ำ ทำให้ปฏิกิริยาการควบแน่นอย่างรวดเร็วในขณะที่ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสเกิดได้ช้า เปรียบเทียบกับซิลิกาที่สังเคราะห์ในตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอลและน้ำที่อัตราส่วน 4:1 (รูปที่ 4 ข) พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคที่สูง (high dispersion) และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่แคบ (narrow size distribution) ขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 280.0 ± 25.0 นาโนเมตร การเพิ่มปริมาณน้ำทำให้อัตราส่วนน้ำต่อ TEOS สูงขึ้น ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสเกิดได้เร็วขึ้นและลดอัตราการควบแน่น แต่เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 3:2 (รูปที่ 4 ค) จะเห็นว่าซิลิกามีลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยว ที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 20.5 ± 4.5 นาโนเมตร ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ wright และผู้ร่วมงาน [18] รายงานว่าการเพิ่มปริมาณน้ำทำให้อัตราส่วนน้ำต่อ TEOS สูงขึ้น และช่วยให้ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสเกิดได้ดี ในขณะที่ปฏิกิริยาการควบแน่นเกิดได้ช้ากว่า และการเกิดเจลใช้เวลานานขึ้น ทำให้อนุภาคนาโนซิลิกาเกิดการก่อตัวได้ช้า ส่งผลให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็ก กรณีที่ใช้เฉพาะเอทานอล ตัวอย่างที่ 1 ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคก่อนถึงจุดก่อเจล ทำให้เกิดเป็นตะกอนขึ้นทันที

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของตัวอย่างไม้ที่กำลังขยายต่ำและสูง เปรียบเทียบกับพื้นผิวที่เคลือบโดยสารเคลือบ PDMS-nanoSiO₂ ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ภาพถ่ายกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ก) ภาพพื้นผิวไม้ที่กำลังขยาย 200 เท่า ข) พื้นผิวไม้ที่กำลังขยาย 7500 เท่า ค) พื้นผิวไม้ที่เคลือบด้วยสารเคลือบพื้นผิว PDMS-nanoSiO₂ ตัวอย่างที่ 3 ที่กำลังขยาย 20000 เท่า

ภาพถ่ายพื้นผิวไม้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายต่ำ (รูปที่ 5ก) แสดงลักษณะผิวไม้ที่ไม่เรียบ ประกอบด้วยท่อลำเลียงน้ำและอาหารและส่วนของเนื้อไม้ เปรียบเทียบกับรูปที่กำลังขยายสูงกว่า (รูปที่ 5ข) แสดงเนื้อไม้บริเวณที่เรียบ และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายเนื้อไม้หลังการเคลือบด้วยสารเคลือบพื้นผิว PDMS-SiO₂ (รูปที่ 5ค) จะเห็นได้ว่ามีอนุภาคนาโนซิลิกาปกคลุมอยู่ทั่วไปบนพื้นผิว อนุภาคนาโนซิลิกาที่ซ้อนทับกันอยู่ ทำให้พื้นผิวมีลักษณะขรุขระเป็นลำดับชั้นในระดับนาโนเมตร แผนภาพแสดงการเกิดแรงกระทำระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวซิลิกาและPDMS และการลักษณะพื้นผิวขรุขระของอนุภาคนาโนซิลิกาที่ปกคลุมเนื้อไม้แสดงดังรูปที่ 6 ความขรุขระของพื้นผิวในระดับนาโน และสมบัติของสารเคลือบผิวสมบัติไม่ชอบน้ำที่เคลือบอยู่บางๆ บนนาโนซิลิกา ทำให้พื้นผิวไม้มีลักษณะคล้ายผิวใบบัว



รูปที่ 6 แรงกระทำระหว่างพื้นผิวระหว่างซิลิกาและ PDMS และลักษณะพื้นผิวไม้เรียบของอนุภาคนาโนซิลิกาที่ปกคลุมบนพื้นผิวไม้

การประเมินประสิทธิภาพในการป้องกันการเปียกน้ำของสารเคลือบนาโนซิลิกาที่เตรียมได้ ทำโดยการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ ภาพถ่ายหยดน้ำจากชุดอุปกรณ์ประยุกต์ และจากเครื่องวัดค่ามุมสัมผัส แสดงดังรูปที่ 7 ค่ามุมสัมผัสที่วัดได้จากตัวอย่างที่ 1-3 ซึ่งได้จากการเตรียมที่อนุภาคนาโนซิลิกาอัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำต่างๆ กัน แสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 7 แสดงลักษณะหยดน้ำบนพื้นผิวไม้ ก) การวัดค่ามุมสัมผัสโดยวิธีการประยุกต์ ข) ค่ามุมสัมผัสจากเครื่องวัดค่ามุมสัมผัส

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของน้ำที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ประยุกต์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดค่ามุมสัมผัส

สารเคลือบผิว	ขนาดอนุภาคซิลิกา (นาโนเมตร)	ค่ามุมสัมผัส (องศา) จากการวัดโดยวิธีต่าง ๆ		ร้อยละความคลาดเคลื่อน
		อุปกรณ์ประยุกต์	เครื่องวัดค่ามุมสัมผัส	
PDMS-nanoSiO ₂				
ตัวอย่างที่ 1	-	87±4	92±3	5.43
ตัวอย่างที่ 2	280.00±25.00	105±3	111±2	5.41
ตัวอย่างที่ 3	20.50 ± 4.50	139±3	145±3	4.14

จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างไม้ที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวตัวอย่างที่ 3 ให้ค่ามุมสัมผัสที่สูงที่สุด ค่าเท่ากับ 145±3 องศา แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันการเปียกน้ำมากที่สุด โดยค่ามุมสัมผัสบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวกระจายตัวในพื้นที่ผิว มุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของหยดน้ำ ถ้าหยดน้ำกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90 องศา แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) กรณีที่มุมสัมผัสมากกว่า 90 องศา แสดงว่าพื้นผิวมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หากมีค่ามากกว่า 150 องศา แสดงว่ามีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด [19] นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าขนาดและสัญญาณของอนุภาคนาโนซิลิกา มีผลต่อประสิทธิภาพในการป้องกันการเปียกน้ำ ขนาดที่แตกต่างกันเมื่อเคลือบบนพื้นผิวทำให้เกิดพื้นผิวที่มีความขรุขระต่างกัน โดยความขรุขระมีผลต่อแรงแอดฮีชันซึ่งเป็นแรงระหว่างอะตอมของของเหลวกับของแข็งที่สัมผัสกัน และแรงโคฮีชันแรงระหว่างอะตอมของของเหลวเอง [3] และ [20] ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าอาจทำให้การเคลือบพื้นผิวที่มีความขรุขระมากกว่า จึงมีพื้นผิวสัมผัสน้อย ทำให้แรงโคฮีชัน (cohesion) มีค่ามากกว่าแอดฮีชัน (adhesion) หยดน้ำจึงมีลักษณะค่อนข้างกลม จากการทดลองตัวอย่างที่ 3 ซึ่งซิลิกามีขนาดอนุภาคประมาณ 15 นาโนเมตร ทำให้หยดได้พื้นผิวที่มีความขรุขระเหมาะสมที่สุด ค่ามุมสัมผัสจึงมีค่าสูงสุด ตามที่มีรายงานขนาดอนุภาคที่ทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสมากกว่า 150 องศา อยู่ในช่วง 20-200 นาโนเมตร [21-22] อย่างไรก็ตาม นอกจากผลของขนาด ชนิดและปริมาณของสารเคลือบที่ไม่มีขั้วก็มีรายงานผลกระทบต่อค่ามุมสัมผัส [23] การค่ามุมสัมผัสโดยชุดอุปกรณ์ประยุกต์ พบว่าให้ค่าใกล้เคียงกับการวัดโดยเครื่องวัดค่ามุมสัมผัส โดยให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 6 สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการเรียนการสอนในโรงเรียน

จากการศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมสารเคลือบผิวซิลิกานาโนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ สามารถนำไปสร้างเป็นชุดการทดลองประกอบการเรียนการสอน วิชานาโนเทคโนโลยีในหัวข้อ ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว และนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีเลียนแบบธรรมชาติ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ทั้งหมด 2 ชุด ใช้เวลาในการสอนชุดละ 2-3 ชั่วโมง นักเรียนแต่ละกลุ่มประมาณ 3-5 คน

ชุดการทดลองที่ 1 ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว ชุดการทดลองนี้ใช้เวลาในการสอน 2 ชั่วโมง สอนให้นักเรียนรู้จักนาโนเทคโนโลยีในธรรมชาติ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของใบบัวผ่านภาพถ่าย SEM การทดลองวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนใบบัวโดยใช้วิธีการวัดประยุกต์ ความเข้าใจเรื่องแรงโคฮีชันและแอดฮีชัน

ชุดการทดลองที่ 2 นวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีเลียนแบบพื้นผิวใบบัว การทดลองนี้ใช้เวลาทำการทดลอง 2-3 ชั่วโมง นักเรียนจะได้ทดลองเตรียมนาโนซิลิกาในรูปซิลิกาโซล ทำให้อยู่ในรูปคอลลอยด์ของซิลิกาที่พื้นผิวไม่มีขั้ว และเคลือบลงบนผิววัสดุ เช่น ไม้ และการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่ได้ แต่ละกลุ่มนักเรียนจะต้องได้ทักษะในการทำการทดลอง การทำงานเป็นกลุ่ม รู้จักการแก้ปัญหา สังเกต วิเคราะห์ สังเคราะห์ และบูรณาการการเรียนรู้แบบ STEM นักเรียนสามารถนำทักษะทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการหาค่ามุมสัมผัส นอกจากนี้ยังสามารถเปิดให้มีการอภิปรายเสนอแนวทางการนำสารเคลือบผิวที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน และปัญหาท้องถิ่นต่อไป

สรุปผลการวิจัย

สามารถพัฒนาวิธีการเตรียมสารเคลือบผิวซิลิกาโนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยวิธีง่าย ได้ที่อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาในการเตรียมไม่เกิน 1.5 ชั่วโมง เมื่อนำไปเคลือบบนพื้นผิวไม้ทำให้ได้พื้นผิวที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ให้ค่ามุมสัมผัสสูงสุด 145 ± 3 องศา การเตรียมอนุภาคนาโนซิลิกาโดยใช้ตัวทำละลายผสมเอทานอลต่อน้ำที่อัตราส่วน 3:2 ทำให้ได้อนุภาคนาโนซิลิกาที่มีการกระจายตัวได้ดีในรูปคอลลอยด์ และมีขนาดอนุภาคประมาณ 20 นาโนเมตร การหาค่ามุมสัมผัสของน้ำโดยใช้ชุดอุปกรณ์ประยุกต์ ที่มีการควบคุมปัจจัยต่างๆให้คงที่ พบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการวัดด้วยเครื่องวัดค่ามุมสัมผัส และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับห้องเรียน การทดลองชุดนี้เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้การจัดการเรียนการสอนนาโนเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีและการเลียนแบบวัสดุนาโนในธรรมชาติ สามารถนำมาปรับใช้เพื่อการสอนแบบบูรณาการในรูปแบบ STEM Education

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ (สสวท) ที่สนับสนุนทุนการวิจัยจากทุนการศึกษาระดับปริญญาโทสำหรับข้าราชการทุนการส่งเสริมการผลิตครูผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สศวก) อาจารย์วรรณภา บุญวานิช อาจารย์ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือผู้วิจัยในการใช้เครื่องวัดค่ามุมสัมผัส

บรรณานุกรม

- [1] J Bellanca and R Brandt. 21st Century Skills: Rethinking How Students Learn. Bloomington, In: Solution Tree, 2010.
- [2] HJ Ensikat, PD Kuru, C Neinhuis and W Barthlott. Superhydrophobicity in perfection: The outstanding properties of the lotus leaf. Beilstein Journal Nanotechnology 2011; 2, 152-161.
- [3] ธิดารัตน์ เปรตแก้ว, ลดาพันธ์ สุขุมธนา, สุธรรม ศรีหล่มสั๊ก และ วราลี บางหลวง. การสังเคราะห์ โซลเจล TEOS-SiO₂-PDMS เพื่อเคลือบผิวเซรามิกให้ มีสมบัติไม่ ชอบน้ำSol gel synthesis of TEOS-SiO₂-PDMS hydrophobic film for ceramic coating. วารสาร กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2555; ปีที่ 1 ฉบับที่ 1, หน้า 50-58.
- [4] H Ogihara, J Xie, J Okagaki and T Saji. Simple method for preparing superhydrophobic paper: SprayDeposited hydrophobic silica nanoparticle coatings exhibit high water-repellency and transparency. Langmuir. 2012; 28, 4605-4608.
- [5] P Pisitsak. Introducing new functionalities to textiles using the sol-gel process: Water and oil repellent fabrics. Thai Journal of Science and Technology. 2015.
- [6] H Chang, K Tu, X Wang, and J Liu. Facile preparation of stable superhydrophobic coatings on wood surfaces using silica-polymer nanocomposites. BioResources. 2015; 10, 2585-2596.
- [7] S P Flynn, M Mckenna, R Monaghan, S M. Kelleher, S Daniels, and Aoife MacCormac,. Aqua-Art: A demonstration of hydrophilic and hydrophobic surfaces fabricated by plasma enhanced chemical vapor deposition. Journal of Chemical Education. 2017; 94, 221-225.
- [8] P Kim, J Alvarenga, J Aizenberg and R Sleeper. Hydroglyphics: Demonstration of selective wetting on hydrophilic and hydrophobic surfaces. Journal of Chemical Education 2013; 90, 625-628.
- [9] S Verbanic, O Brady, A Sanda, C Gustafson and ZJ Donhauser. A novel general chemistry laboratory: Creation of biomimetic superhydrophobic surfaces through replica molding. Journal of Chemical Education 2014; 91, 1477-1480.
- [10] X Jessica, H Wong and H Z Yu. Preparation of transparent superhydrophobic glass slides: Demonstration of surface chemistry characteristics. Journal of Chemical Education. 2013; 90, 1203-1206.

- [11] A.M Ismail, Ibrahim, A.A.F Zikry and A. S. Mohamed. Preparation of spherical silica nanoparticles: Stober silica. *Journal of American Science* 2010; 6, 985-989.
- [12] W Stöber, A Fink, and E Bohn. Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range. *Journal of Colloid and Interface Science*. 1968; 26, 62-69.
- [13] T Kiyoharu, M Koji, M Keisuke and T Masahiro. Synthesis of monodispersed silica nanoparticles with high concentration by the Stober process. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2013; 68, 341-34.
- [14] H.M Shang, Y Wang, S.J Limmer, T.P Chou, K Takahashi, and G.Z Cao. Optically transparent superhydrophobic silica-based films. *Thin Solid Films*. 2005; 472, 37-43.
- [15] G. H. Bogush, M. A. Tracy, and C. F. Zukoski. Preparation of monodisperse silica particles: control of size and mass fraction. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 1988; 104, 95-106.
- [16] T. Matsoukas and E. Gulari. Monomer-addition growth with a slow initiation step: a growth model for silica particles from alkoxides. *Journal of Colloid And Interface Science*. 1989; 132, 13-21.
- [17] G. H. Bogush and C. F. Zukoski. Studies of the kinetics of the precipitation of uniform silica particles through the hydrolysis and condensation of silicon alkoxides. *Journal of Colloid and Interface Science*. 1991; 142, 19-34.
- [18] J. D. Wright and N. A. J. M. Sommerdijk. *Sol-Gel Materials Chemistry and Applications*. CRC Press, Florida, 2001.
- [19] R.V Prathapan, G Anand, V Shantikumar, Nair and A. N Sreekumaran. A review on 'self-cleaning and multifunctional materials. *Journal of Materials Chemistry*. 2014; 2, 14773-14797.
- [20] Y Tan and M Guo. Using surface free energy method to study the cohesion and adhesion of asphalt mastic. *Construction and Building Materials*. 2013; 47, 254-260.
- [21] G Gu, H. Dang, Z Zhang, Z Wu. Fabrication and characterization of transparent superhydrophobic thin films based on silica nanoparticles. *Applied Physics A*. 2006; 83, 131-132.
- [22] L Cao. *Super hydrophobic Surface: Design, Fabrication, And Applications*. University of Pittsburgh, 2010.
- [23] P Fabbri, M Messori, M Montecchi, S Nannorone, L Pasquali, F Pilati, C Tonelli and M Toselli. Perfluoropolyether-based organic-inorganic hybrid coatings. *Polymer*. 2006; 47, 1055-1062.