การศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติเป็นสารสะท้อนน้ำ

Study and Development of a Coating Formula for Glass Surfaces with Water-Reflective Properties

อรจิรา อารักษ์สกุลวงศ์[1*] และ รัชกฤช ปัทมโสภาสกุล[1]

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

[*]E-mail: ornjira.a@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมของตัวทำละลายน้ำและเอทานอลในการพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือที่เรียกว่าสมบัติสะท้อนน้ำ โดยใช้พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และเฮกซะเดกซิลไตรเมทอกซีไซเลน (HDTMS) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการละลายสภาวะที่เหมาะสมในการละลาย โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่นและเอทานอล จากนั้นทดสอบสมบัติการสะท้อนน้ำโดยศึกษาหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ (contact angle) จากชุดเครื่องมือวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ ศึกษาหาความหนืด และความคงทนในการใช้งานเป็นเวลา 5 วัน เปรียบเทียบผลการทดลองและประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำกับสารเคลือบกระจกที่ผลิตจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาเคลือบกระจกในปัจจุบัน ผลการทดลองพบว่าสาร HDTMS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำมากที่สุดทั้งในตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่นและเอทานอล ผู้วิจัยจึงนำสาร HDTMS มาเตรียมเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกและทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำกับสารเคลือบกระจกที่ผลิตจาก PDMS ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาเคลือบกระจกในปัจจุบัน นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เตรียมน้ำยาเคลือบผิวกระจกจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และแอมโมเนียม ลอริล ซัลเฟต (ALS) เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบด้วย จากการทดลองพบว่าน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่เตรียมจาก HDTMS มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS มากที่สุด ทั้งค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ ค่าความหนืด และความคงทนในการใช้งาน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสาร HDTMS มีสมบัติที่สามารถนำมาผลิตเป็นสารเคลือบผิวกระจกเพื่อทำให้พื้นผิวกระจกมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือมีสมบัติสะท้อนน้ำเพื่อป้องกันการเกาะติดพื้นผิวของหยดน้ำได้

คำสำคัญ: สมบัติสะท้อนน้ำ สารเคลือบผิวกระจก เฮกซะเดกซิลไตรเมทอกซีไซเลน พอลิไดเมทิลไซลอกเซน

Abstract

This research aims to study and develop a formula for glass coatings with hydrophobic properties, known as water reflection properties. Various polymers were used, including polyvinyl alcohol (PVA), polyacrylic acid (PAA), and hexadexyltrimethoxysilane (HDTMS). In this research, the solubility and optimum conditions of solubility were studied. The solvents used were distilled water and ethanol. After that, the water reflection property was tested by studying the contact angle value from the contact angle measuring tool. In addition, the viscosity and durability in use for 5 days were studied, comparing the experimental results and the performance of water reflection with glass coatings produced from

polydimethylsiloxane (PDMS), which is currently used in the glass coating industry. The results showed that HDTMS had the highest water droplet contact angle in both distilled water and ethanol solvents. Therefore, the researcher prepared HDTMS as a glass coating solution and compared the water reflection performance with glass coatings produced from PDMS. In addition, the researcher prepared glass coatings from polyvinyl alcohol (PVA) and ammonium lauryl sulfate (ALS) for comparative studies. From the experiment, it was found that the glass coating prepared from HDTMS had the performance similar to that of PDMS in terms of water droplet contact angle, viscosity and durability in use. Therefore, it can be seen that HDTMS has properties that can be used to produce a glass coating to make the glass surface have hydrophobic properties or reflect water properties to prevent the adhesion of water droplets to the surface.

Keywords: Water-reflective properties, glass surface coating, hexadecyltrimethoxysilane, polydimethyl-siloxane

1. บทนำ

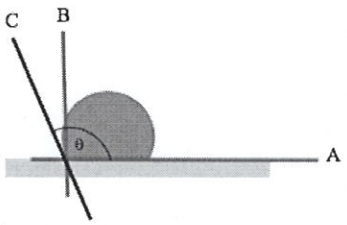
วัสดุประเภทกระจกนับเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในวงการอุตสาหกรรมด้านต่างๆ มากขึ้นเรื่อยๆ เช่น งานก่อสร้าง สถาปัตยกรรม ที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ซึ่งถือได้ว่าปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้กระจกในงานด้านต่างๆ เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างตึกสูงนิยมใช้กระจกเป็นอย่างมาก เพื่อลดพื้นที่การก่อสร้างและใช้กระจกเป็นส่วนประกอบของอาคารทั้งในลักษณะของผนังโปร่งแสงและหลังคาโปร่งแสง

กระจกเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากวัตถุดิบหลักๆ คือ ทรายแก้ว (Silica sand) ประมาณ 60% โซดาแอช (Soda ash) หรือโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ประมาณ 20% แร่ธาตุจำพวกหินปูน เช่น หินฟันม้า (Feldspar) หินโดโลไมต์(Dolomite) และส่วนประกอบที่เหลืออื่นๆ เช่น ผงคาร์บอน ผงเหล็ก โซเดียมซัลเฟต สารเคมีอื่นๆ ฯลฯ ซึ่งกระบวนการผลิตจะต้องนำวัตถุดิบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นผสมเข้าด้วยกัน แล้วนำส่วนผสมนี้ไปให้ความร้อนในเตาที่มีอุณหภูมิสูง 1,500 องศาเซลเซียส จนวัตถุดิบทั้งหมดหลอมละลายเป็นของเหลวได้เป็นน้ำกระจก หลังจากนั้นก็ปรับอุณหภูมิให้ลดลงจนเหลือประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำกระจกนี้มีความหนืดพอเหมาะ ก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นรูปร่างต่างๆ [1] ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของกระจกก็จะเป็น ซิลิกา (silica) หรือที่เรียกว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของทรายแก้ว และจะมีองค์ประกอบเสริมอื่นๆ เช่น ฟอสเฟต (phosphates) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โบรอน (boron) เพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติทางอุณหภูมิ และตัวเพิ่มระบบทางสี (coloring agents) เพื่อให้กระจกมีสีสันหรือความโปร่งใสตามต้องการ นอกจากนี้กระจกยังสามารถเคลือบผิวด้วยชั้นบางๆ เช่น ดีบุก (tin) หรืออะลูมิเนียม (aluminum) เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เฉพาะเจาะจง เช่น ประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงสูง (high reflectivity) หรือความทึบแสง (opacity) และสามารถเติมสารเคมีอื่นๆ เข้าไปในโครงสร้างของกระจกเพื่อเพิ่มคุณสมบัติเฉพาะอื่นๆ ตามต้องการ

ถึงแม้ว่ากระจกจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเรา ถูกนำมาใช้ในงานด้านต่างๆ มากมาย อย่างไรก็ตามปัญหาหลักที่เกิดจากการใช้กระจก คือ สกปรกง่ายทั้งจากฝุ่นละอองและน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำจะทำให้กระจกเป็นคราบและทำให้เกิดฝ้าขึ้นได้ การทำความสะอาดก็อาจจะยุ่งยากหลายขั้นตอน และมีค่าใช้ค่าสูงในบางกรณี เช่น กรณีการใช้กระจกเป็นผนังของอาคารสูงการทำความสะอาดก็จะยุ่งยากเสี่ยงอันตรายและมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงการใช้กระจกเป็นส่วนประกอบหลักของแผงโซลาร์เซลล์ หรือในกรณีการใช้กระจกเป็นส่วนประกอบในรถยนต์ซึ่งกระจกมักสกปรกด้วยน้ำฝน หรือการเกาะติดกับน้ำฝนในระหว่างการขับขี่ขณะที่ฝนตกอาจทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นของผู้ขับขี่ลดลงและเสี่ยงต่อการ

เกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาสารเคลือบผิวกระจกเพื่อเพิ่มสมบัติไม่ชอบน้ำลดการเกาะติดของน้ำทำให้กระจกไม่เปียกน้ำก็จะลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการขับขี่รถยนต์ขณะฝนตกได้ ในปัจจุบันน้ำยาเคลือบผิวกระจกรถยนต์ส่วนใหญ่ที่ขายในท้องตลาดจะมีองค์ประกอบหลักเป็นสารจำพวกน้ำมันซิลิโคนชนิดต่างๆ เช่น พอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่โมเลกุลไม่มีขั้วจึงมีสมบัติสะท้อนน้ำได้ดี และยังเป็นฉนวนกันความร้อนได้อีกด้วย

ในการพิจารณาการเปียกของของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งจะนิยมวัดความเปียกด้วย มุมสัมผัส (contact angle) ซึ่งคือมุมระหว่างหยดของของเหลวเทียบกับพื้นผิวของของแข็ง ณ จุดที่ผิวทั้งสองเกาะติดกันดังภาพที่ 1 โดยค่ามุมสัมผัสจะขึ้นอยู่กับแรงสองชนิด คือ แรงยึดติด (Adhesive force) ระหว่างของเหลวและของแข็งจะทำให้ของเหลวกระจายตัวไปทั่วพื้นผิวของของแข็ง และแรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) ภายในของเหลวจะทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลมและไม่สัมผัสกับพื้นผิวของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว โดยทั่วไปมุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90 องศา หมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และของเหลวจะกระจายตัวออกไปเป็นบริเวณกว้างบนพื้นผิวของของแข็ง มุมสัมผัสที่มากกว่า 90 องศา จะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของแข็งเพียงเล็กน้อยและจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง ซึ่งถ้าของเหลวนั้นเป็นน้ำพื้นผิวที่มีการกระจายตัวของน้ำได้ดีจะถูกเรียกว่า Hydrophilic และพื้นผิวที่มีการกระจายตัวของน้ำไม่ดีจะถูกเรียกว่า Hydrophobic [2]



ภาพที่ 1 การวัดค่ามุมสัมผัส (contact angle)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ หรือที่เรียกว่าสมบัติสะท้อนน้ำ โดยทำการทดลองกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และเฮกซะเดกซิลไตรเมทอกซีไซเลน (HDTMS) [3] รวมถึงพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ซึ่งพอลิเมอร์ที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้เป็นพอลิเมอร์ที่โมเลกุลไม่มีขั้ว ทำให้มีความสามารถในการป้องกันการเปียกน้ำ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำและการนำมาเตรียมเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกเพื่อให้พื้นผิวกระจกมีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยผู้วิจัยจะเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำด้วยการวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบความหนืด และความคงทนในการใช้งาน เพื่อพัฒนาเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานต่อไป

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของสารละลาย PVA PAA และ HDTMS ในน้ำและเอทานอล

เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) สารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และสารละลายเฮกซะเดกซิลไตรเมทอกซีไซเลน (HDTMS) ในตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ น้ำและเอทานอล ให้มีความเข้มข้น 3% 5% และ 7% โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งจากการเตรียมสารละลายพบว่าสารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ในน้ำที่ความเข้มข้น 7% โดยมวลต่อปริมาตร สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ในเอทานอลทั้งสามความเข้มข้น รวมถึงสารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 5% และ 7% โดยมวลต่อปริมาตร ไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้จึงไม่สามารถนำมาทดลองในขั้นตอนต่อไปได้ จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ทั้งหมดมาหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำโดยทำความสะอาดพื้นผิว

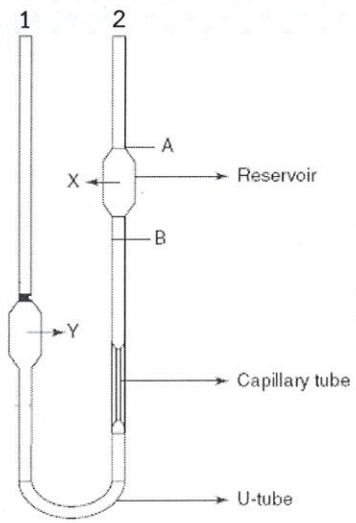
กระจกด้วยน้ำยาล้างจานและน้ำสะอาดจากนั้นทำกระจกให้แห้งด้วยเครื่องเป่าผมเป่าให้ความร้อน (ใช้ความร้อนระดับต่ำที่สุด) จนกระจกแห้ง จากนั้นนำผ้าไมโครไฟเบอร์ชุบสารตัวอย่างพอหมาดมาเช็ดลงบนกระจกที่แห้งสนิท เช็ดถูไปในทางเดียวกัน นำเครื่องเป่าผมมาเป่าให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อทำให้กระจกที่เช็ดด้วยสารตัวอย่างแห้งสนิท [4] แล้วหยดน้ำลงบนแผ่นกระจก ถ่ายรูป และวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำที่เกิดขึ้น ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยจะต้องทำความสะอาดพื้นผิวกระจกด้วยน้ำยาล้างจานก่อนหยดน้ำลงบนพื้นผิวกระจกทุกครั้ง

2.2 การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของน้ำยาเคลือบผิวกระจกสูตรต่างๆ

จากการศึกษาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำที่ขายกันตามท้องตลาดพบว่าน้ำยาเคลือบผิวกระจกส่วนใหญ่ผลิตจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ผู้วิจัยจึงได้ใช้สูตรการผลิตน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่ขายกันตามท้องตลาด และได้ปรับเปลี่ยนสารตั้งต้นจาก PDMS เป็น HDTMS PVA และ แอมโมเนียม ลอริล ซัลเฟต (ALS) โดยเตรียมสารละลาย PDMS เข้มข้น 0.50%V/V ลงในตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 10%V/V และกรดอะซิติกเข้มข้น 0.1% V/V จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในสารละลายผสมเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100.00 มิลลิลิตร แล้วกวนสารละลายผสมที่ได้ด้วยเครื่องกวนแท่งแม่เหล็กความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 10 นาที จะได้น้ำยาเคลือบผิวกระจกจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน ปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร ทำการเตรียมสารละลายเช่นเดียวกันนี้แต่เปลี่ยนจากสารละลาย PDMS เป็นสารละลาย HDTMS PVA และ ALS เข้มข้น 0.50%V/V แทน ก็จะได้น้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้งหมด 4 สูตรจากสารตั้งต้น 4 ชนิด จากนั้นนำน้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้ง 4 สูตรที่เตรียมได้มาหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำด้วยวิธีเดียวกันกับข้อ 2.1

2.3 การศึกษาเปรียบเทียบความหนืดของสารละลาย

นำน้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้ง 4 สูตรที่เตรียมได้ในข้อ 2.2 มาเปรียบเทียบความหนืด โดยใช้ Capillary viscometer [5] โดยนำ Capillary viscometer มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจาน ตามด้วยอะซิโตนแล้วเป่าลมร้อนจากเครื่องเป่าผมเพื่อทำให้แห้ง จากนั้นนำ Capillary viscometer ตั้งให้อยู่ในแนวดิ่ง ปิเปตสารตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Capillary viscometer และใช้ลูกยางดูดสารตัวอย่างให้ระดับสารตัวอย่างอยู่เหนือกระเปาะ X ที่ขีด A พอดี ใช้นิ้วมืออุดปลายหลอดหมายเลข 2 เพื่อไม่ให้สารตัวอย่างภายในหลอดเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับของของเหลว เริ่มจับเวลาเมื่อปล่อยนิ้วออกจากปลายหลอดหมายเลข 2 เพื่อให้สารตัวอย่างไหลลงจากขีด A และหยุดจับเวลาเมื่อสารตัวอย่างไหลลงถึงขีด B บันทึกเวลาในการไหลของสารตัวอย่าง ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง นำค่าระยะเวลาที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 2 ชุดเครื่องมือ Capillary viscometer

2.4 การศึกษาความคงทนในการใช้งาน

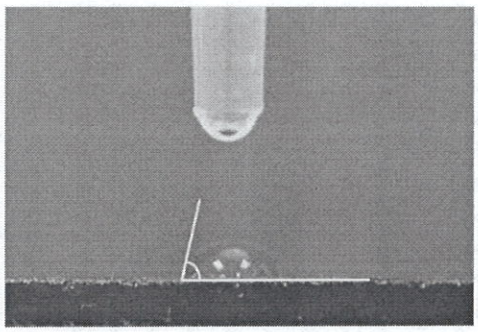
ทำความสะอาดพื้นผิวกระจกด้วยน้ำยาล้างจานและน้ำสะอาดจากนั้นทำกระจกให้แห้งด้วยเครื่องเป่าผมเป่าให้ความร้อน (ใช้ความร้อนระดับต่ำที่สุด) จนกระจกแห้ง จากนั้นนำผ้าไมโครไฟเบอร์ชุบสารตัวอย่างพอหมาดมาเช็ดลงบนกระจกที่แห้งสนิท เช็ดถูไปในทางเดียวกัน นำเครื่องเป่าผมมาเป่าให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อทำให้กระจกที่เช็ดด้วยสารตัวอย่างแห้งสนิท ทำการวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำด้วยวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 2.1 ติดต่อกับเป็นระยะเวลา 5 วัน โดยทำการเคลือบผิวกระจกด้วยสารตัวอย่างแค่เพียง 1 ครั้งเท่านั้นในวันแรกที่เริ่มทำการทดสอบ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของสารละลาย PVA PAA และ HDTMS ในน้ำและเอทานอล

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนผิวกระจกที่ถูกเคลือบด้วยสารละลาย PVA PAA และ HDTMS ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย

สารตั้งต้น	ความเข้มข้น	ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจกที่ (องศา)			
		ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ค่าเฉลี่ย
PVA	3%W/V	33.0	39.0	38.0	36.7 ± 3.2
PVA	5%W/V	56.0	59.0	60.0	58.3 ± 2.1
PVA	7%W/V	61.0	61.0	60.0	60.7 ± 0.6
PAA	3%W/V	40.0	40.0	40.0	40.0 ± 0.0
PAA	5%W/V	56.0	60.0	59.0	58.3 ± 2.1
HDTMS	3%V/V	59.0	60.0	59.0	59.3 ± 0.6
HDTMS	5%V/V	66.0	68.0	64.0	66.0 ± 2.0
HDTMS	7%V/V	67.0	67.0	65.0	66.3 ± 0.6



ภาพที่ 3 ภาพถ่ายหยดน้ำที่หยดลงบนพื้นผิวกระจกที่เคลือบด้วยสารละลาย HDTMS ในน้ำที่ความเข้มข้น 7%V/V

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือที่เรียกว่าสมบัติสะท้อนน้ำ โดยผู้วิจัยเลือกใช้สารตั้งต้นเป็นพอลิเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA)

และเฮกซะเดกซิลไตรเมทอกซีไซเลน (HDTMS) ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความสามารถในการละลายเพื่อเตรียมสารละลายที่จะนำไปหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่นและเอทานอล จากผลการทดลองพบว่าสารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ในน้ำที่ความเข้มข้น 7% โดยมวลต่อปริมาตร สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ในเอทานอลทั้งสามความเข้มข้น รวมถึงสารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 5% และ 7% โดยมวลต่อปริมาตร ไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้จึงไม่สามารถนำมาใช้ในสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกได้ ส่วนสารตัวอย่างที่สามารถละลายเข้าด้วยกันได้ก็จะนำไปหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนผิวกระจกที่ถูกเคลือบด้วยสารละลาย PAA และ HDTMS ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยมีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

สารตั้งต้น	ความเข้มข้น	ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจก (องศา)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
PAA	3%W/V	42.0	42.0	33.0	39.0 ± 5.2
HDTMS	3%V/V	64.0	61.0	62.0	62.3 ± 1.5
HDTMS	5%W/V	69.0	67.0	67.0	67.7 ± 1.2
HDTMS	7%V/V	67.0	69.0	70.0	68.7 ± 1.5

จากการทดลองวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนผิวกระจกที่ถูกเคลือบด้วยสารละลาย PVA PAA และ HDTMS ที่ความเข้มข้น 3% 5% และ 7% โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่าสารละลาย HDTMS ในน้ำมีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำมากที่สุด นั่นแสดงให้เห็นว่าสารละลาย HDTMS มีสมบัติไม่ชอบน้ำมากที่สุด ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการละลายเมื่อนำสาร HDTMS ละลายในน้ำจะมีลักษณะเป็นชั้นน้ำมันไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ อีกทั้งสาร HDTMS เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว เมื่อนำมาเคลือบผิวกระจกจึงทำให้พื้นผิวกระจกมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือไม่มีขั้วด้วย ในขณะที่สารละลาย PVA และ PAA ที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี เนื่องจากสาร PVA และ PAA เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว เมื่อนำไปละลายในน้ำจะได้สารละลายใส ไม่มีสี ดังนั้นเมื่อวัดมุมสัมผัสหยดน้ำจะพบว่าค่ามุมสัมผัสหยดน้ำมีค่าน้อย แสดงให้เห็นว่าสารละลายทั้งสองชนิดนี้มีสมบัติไม่ชอบน้ำน้อยกว่าสารละลาย HDTMS นอกจากนี้จากผลการทดลองยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HDTMS จะมีผลทำให้ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 7% พบว่าค่ามุมสัมผัสหยดน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่าสารละลาย HDTMS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำมากกว่าสารละลาย PAA ถึง 2 เท่า นั่นแสดงให้เห็นว่าสารละลาย HDTMS มีสมบัติไม่ชอบน้ำมากกว่า PAA ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลายพบว่ามุมสัมผัสหยดน้ำเมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายมีค่ามากกว่าเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากสาร HDTMS สามารถละลายในเอทานอลได้ดีกว่าน้ำ จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพในการสะท้อนน้ำเมื่อนำสารละลายไปเคลือบผิวกระจกมากกว่าด้วย

3.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของน้ำยาเคลือบผิวกระจกสูตรต่างๆ

จากการศึกษาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำที่ขายกันตามท้องตลาดพบว่าน้ำยาเคลือบผิวกระจกส่วนใหญ่ผลิตจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ผู้วิจัยจึงได้ใช้สูตรการผลิตน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่ขายกันตามท้องตลาด และได้ปรับเปลี่ยนสารตั้งต้นจาก PDMS เป็น HDTMS PVA และ ALS เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำของสารตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนผิวกระจกที่ถูกเคลือบด้วยน้ำยา PDMS น้ำยา HDTMS น้ำยา PVA และน้ำยา ALS

สารตัวอย่าง	ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจก (องศา)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
น้ำยา PDMS	90.0	90.0	90.0	90.0 ± 0.0
น้ำยา HDTMS	80.0	78.0	80.0	79.3 ± 1.2
น้ำยา PVA	54.0	55.0	57.0	55.3 ± 1.5
น้ำยา ALS	77.0	77.0	76.0	76.7 ± 0.6

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าน้ำยา PDMS ซึ่งเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่ขายตามท้องตลาดสามารถวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำได้มากที่สุด คือ 90.0 ± 0.0 องศา รองลงมา คือ น้ำยา HDTMS น้ำยา ALS และน้ำยา PVA ตามลำดับ ซึ่งน้ำยา HDTMS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าสาร HDTMS มีสมบัติไม่ชอบน้ำเหมือนกันกับสาร PDMS และมีประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำใกล้เคียงกัน สามารถนำมาใช้ในการเคลือบพื้นผิวกระจกเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำได้เช่นเดียวกันกับสาร PDMS

3.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบความหนืดของสารละลาย

ในการศึกษาและพัฒนาน้ำยาเคลือบผิวกระจกความหนืดเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการเคลือบพื้นผิวกระจก เนื่องจากถ้าน้ำยาเคลือบผิวกระจกมีความหนืดมากเกินไปอาจเป็นอุปสรรคในการใช้งาน ทำให้การเคลือบพื้นผิวกระจกทำได้ยากขึ้น ใช้เวลานานมากขึ้น และอาจจะมีผลต่อความใสของกระจกด้วย ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบความหนืดของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า Capillary viscometer ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการวัดความหนืด โดยบันทึกเวลาในการไหลของสารละลายตัวอย่างจากตำแหน่งที่ระบุในเครื่องมือ ซึ่งสารตัวอย่างแต่ละชนิดจะทำการวัดความหนืดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาระยะเวลาเฉลี่ย ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระยะเวลาในการไหลของน้ำยา PDMS, น้ำยา HDTMS, น้ำยา PVA และน้ำยา ALS

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาในการไหล (วินาที)			ระยะเวลาเฉลี่ย (วินาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำยา PDMS	3.20	3.15	3.10	3.15 ± 0.05
น้ำยา HDTMS	3.10	3.07	3.09	3.09 ± 0.02
น้ำยา PVA	3.37	3.44	3.60	3.46 ± 0.12
น้ำยา ALS	3.09	3.18	3.19	3.15 ± 0.06

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่าน้ำยา PVA ใช้ระยะเวลามากที่สุดในการเคลื่อนที่ภายใน Capillary viscometer แสดงให้เห็นว่าน้ำยา PVA มีความหนืดมากที่สุด รองลงมาก็คือ น้ำยา PDMS และน้ำยา ALS โดยน้ำยา HDTMS ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุดในการเคลื่อนที่ภายใน Capillary viscometer แสดงให้เห็นว่าน้ำยา HDTMS มีความหนืดน้อยที่สุด ซึ่งถือเป็นข้อดีต่อการใช้งาน ทำให้กระบวนการเคลือบผิวกระจกทำได้ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน และไม่มีผลต่อความใสของกระจก ซึ่งสารตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ก็จะเพิ่มมากขึ้น ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ปริมาณตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณตัวทำละลายเท่าเดิมทำให้แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกละลายเพิ่มสูงขึ้น ความหนืดของสารละลายจึงเพิ่มขึ้นไปด้วย

3.4 ผลการศึกษาความคงทนในการใช้งาน

ในการศึกษาความคงทนในการใช้งานของสารเคลือบผิวกระจก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากับสารตัวอย่าง 2 ชนิด ได้แก่ น้ำยา PDMS และน้ำยา HDTMS เนื่องจากการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของน้ำยาเคลือบผิวกระจกสูตรต่างๆ และการทดลองเปรียบเทียบความหนืดของสารละลาย พบว่าน้ำยา HDTMS มีความหนืดและประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS ซึ่งเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่ขายตามท้องตลาด โดยทำการทดลองเคลือบผิวกระจกด้วยน้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้งสองชนิด จากนั้นวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำทุกวันติดต่อกันตลอดทั้ง 5 วัน

ตารางที่ 5 ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจกที่เคลือบสารตัวอย่างเป็นระยะเวลา 5 วันติดต่อกัน

สารตัวอย่าง	ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจก (องศา)					
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัส
น้ำยา PDMS	90.0	90.0	91.0	90.0	92.0	90.6 ± 0.9
น้ำยา HDTMS	80.0	85.0	84.0	80.0	87.0	83.2 ± 3.1

จากการศึกษาความคงทนในการใช้งานของน้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้ง 2 สูตร พบว่าค่ามุมสัมผัสหยดน้ำตลอดระยะเวลา 5 วันมีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งในกรณีของน้ำยา PDMS และน้ำยา HDTMS ซึ่งน้ำยา HDTMS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำเฉลี่ยสูงถึง 83.2 ± 3.1 องศา ซึ่งเป็นค่ามุมสัมผัสหยดน้ำที่ใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS ที่เป็นน้ำยาเคลือบกระจกที่ขายตามท้องตลาด ซึ่งมีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำเป็น 90.6 ± 0.9 องศา ดังแสดงในตารางที่ 5 และตลอดระยะเวลา 5 วันในการศึกษาความคงทนในการใช้งานสารตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพความคงทนไม่แตกต่างกัน คือ ในระยะเวลา 5 วัน ประสิทธิภาพในการสะท้อนน้ำยังคงที่เท่าเดิมสำหรับสารตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือที่เรียกว่าสมบัติสะท้อนน้ำ โดยใช้พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และเฮกซะเดกซิลไตรเมทอกซีไซเลน (HDTMS) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการละลาย อัตราส่วนที่เหมาะสมในการละลาย โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่นและเอทานอล โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการสะท้อนน้ำ โดยศึกษาหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ (contact angle) จากชุดเครื่องมือวัดค่ามุมสัมผัส เพื่อบอกประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำของสารตั้งต้นทั้งสามชนิดในตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่นและเอทานอล ผลการทดลองพบว่าสาร HDTMS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำมากที่สุดทั้งในตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่นและเอทานอล ผู้วิจัยจึงนำสาร HDTMS มาเตรียมเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกและทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำกับสารเคลือบกระจกที่ผลิตจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาเคลือบผิวกระจกในปัจจุบัน นอกจากนี้ก็จะมีน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่เตรียมจาก PVA และ ALS ที่ใช้ในการศึกษาร่วมด้วย จากการทดลองพบว่าน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่เตรียมจาก HDTMS มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS มากที่สุด ทั้งค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ ค่าความหนืด และความคงทนในการใช้งาน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสาร HDTMS มีสมบัติที่สามารถนำมาผลิตเป็นสารเคลือบผิวกระจกเพื่อทำให้พื้นผิวกระจกมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือมีสมบัติสะท้อนน้ำเพื่อป้องกันการเกาะติดพื้นผิวของหยดน้ำได้ ซึ่งก็จะสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนนี้ที่พบว่าสาร HDTMS สามารถใช้ในการพัฒนาผ้าสะท้อนน้ำด้วยกระบวนการโซลเจลได้ [6]

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] นิพนธ์ ลักขณาอดิศร. ว่าด้วยเรื่องของกระจก. คบเด็กสร้างบ้าน 151(2009)31-32.

[2] จันทิมา ชั่งสิริพร. การเคลือบผิวกระจกโซลาร์ให้สามารถทำความสะอาดตัวเองได้. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2560.

[3] B. Xu, Q. Zhang, Preparation and Properties of Hydrophobically Modified Nano-SiO_2 with Hexadecyltrimethoxysilane, *ACS Omega*. 6(2021)9764–9770.

[4] X. Tang, F. Yu, W. Guo, T. Wang, Q. Zhang, Q. Zhu, X. Zhanga, M. Pei, A facile procedure to fabricate nano calcium carbonate–polymer-based superhydrophobic surfaces, *New Journal of Chemistry*. 6(2014)2245-2249.

[5] B.M. Mckenna, J.G. Lyng, Principles of food viscosity analysis Instrumental Assessment of Food Sensory Quality A Practical Guide Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition (2013)129-162

[6] เพ็ญวิสาข์ พิสิฏฐศักดิ์, การใช้กระบวนการโซลเจลเพื่อเพิ่มสมบัติของสิ่งทอ: ผ้าสะท้อนน้ำและน้ำมัน, *Thai Journal of Science and Technology*. ปีที่ 4 (ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เมษายน), 2558.