



ผลของการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิกต่อความทนทานและสมบัติของผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุประกอบฟิล์มอีพอกซีสำหรับการทำความสะอาดตัวเอง

Effect of Ultrasonic Washing on Durability and Properties of Cotton Fabric Coated With Epoxy Composite Film for Self-Cleaning Applications

อนิรุท ท่าทราย (Anirut Tasai)* ดร.พรนภา เกษมศิริ (Dr.Pornnapa Kasemsiri)^{1**}

ดร.อุไรวรรณ พงศา (Dr.Uraiwan Pongsa)*** นฤเบศ หล่อวนิชไพศาล (Narubeth Lorwanishpaisarn)****

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้วัสดุประกอบฟิล์มอีพอกซี/ซิลิกาได้ถูกเตรียมขึ้นและเคลือบบนผ้าฝ้าย พร้อมศึกษาผลของจำนวนรอบการเคลือบผิวและการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิกบนผ้าฝ้าย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามุมสัมผัสน้ำบนผิวผ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของการเคลือบผิวที่เพิ่มขึ้น การเคลือบผิวผ้าจำนวน 3 รอบส่งผลให้ได้ค่ามุมสัมผัสน้ำที่สูงที่สุดคือ 153 ± 0.8 องศา ผลทดสอบการซักผ้าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกแสดงให้เห็นว่ามุมสัมผัสน้ำมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังผ่านการซัก 3 รอบ โดยมีค่ามุมสัมผัสน้ำอยู่ในช่วง 150-153 องศา ซึ่งยังคงแสดงสมบัติของพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดได้ จากการทดสอบความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง อนุภาคของแข็งและของเหลวที่พบได้ในครีวเรือนบนผิวของผ้าที่ผ่านการเคลือบก่อนและหลังการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิกสามารถล้างออกได้อย่างง่ายดายด้วยน้ำเปล่า กล่าวได้ว่า จำนวนรอบของการเคลือบเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความทนทานของพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

ABSTRACT

In this work, the epoxy/silica composite film was prepared and coated on cotton fabric. The effects of number of coating and ultrasonic washing on the obtained cotton fabrics were studied. The results indicated that the contact angle values increased with the increase of coating number. The highest water contact angle value of $153 \pm 0.8^\circ$ was achieved from the cotton fabric coated with film composite at three-times of coating. The ultrasonic washing results revealed that the contact angle slightly decreased after three cycles. The water contact angle values of coated fabrics were in range of $150 - 153^\circ$, which can be considered as superhydrophobic surface. Based on the self-cleaning testing, the solid powder and household liquid on coated fabric before and after washing were easily rinsed out with water. The number of composite film coating was one of the main factors which affected durability of superhydrophobic surface.

คำสำคัญ: พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ซิลิกาที่ปรับแต่งพื้นผิว (APTES) การซัก

Keywords: Superhydrophobic, SiO_2 -APTES, Washing

¹Correspondent author: pornkas@kku.ac.th

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**** นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในงานด้านต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ใช้เคลือบบนผิวของกระจก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และผนังด้านของนอกอาคาร เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีในด้านต่างๆ ของพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ เช่น ความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง ป้องกันความปนเปื้อนของคราบสกปรก และคุณสมบัติในการต้านทานการยืดยึด [1] พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดนี้มีลักษณะคล้ายกับผิวของใบบัว คือ เมื่อหยดน้ำลงไปแล้วน้ำจะไม่เกาะกับผิวใบแต่จะกลิ้งไปตามผิวของใบบัว เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Lotus effect [2-4] ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อมี 2 องค์ประกอบ คือพื้นผิวที่มีพลังงานต่ำกับความขรุขระของพื้นผิวที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อรวม 2 อย่างนี้เข้าด้วยกันจะสามารถสร้างพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดที่มีมุมสัมผัสของน้ำมากกว่า 150 องศา ซึ่งมีวิธีการง่ายๆ อยู่ 2 วิธีที่จะทำให้ได้พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำนี้ วิธีแรกคือการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมี ยกตัวอย่างเช่น หมู่ CH_3 หรือหมู่ CF_3 เพื่อที่จะลดพลังงานพื้นผิว วิธีที่สองคือการปรับแต่งลักษณะพื้นผิวซึ่งสามารถทำได้โดยการเลียนแบบพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดตามธรรมชาติ เช่น ใบบัวและใบราสเบอร์รี่ เมื่อไม่นานมานี้ นักวิจัยหลายคนสามารถเคลือบพื้นผิวด้วยวัสดุประกอบพอลิเมอร์ จากงานวิจัยของ Liu และคณะ [5] ได้ศึกษาพื้นผิวไม้ที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยวิธีการเคลือบด้วยวัสดุประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิกา (SiO_2) พื้นผิวไม้ที่ถูกเคลือบโดย PVA/ SiO_2 ได้ถูกปรับปรุงคุณภาพโดย อีพอกซีเรซินไตรคลอโรไซโลน โครงสร้างที่ได้ของวัสดุประกอบพอลิเมอร์ถูกศึกษาและพบว่ามีค่ามุมสัมผัสน้ำ 159 องศา Zhang และคณะ [6] พัฒนาพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดและมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของผ้าป่านรามิที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุประกอบพอลิเบนซอควาซีนที่เสริมแรงด้วยท่อนาโนคาร์บอน ผ้าป่านที่ถูกเคลือบแสดงให้เห็นถึงค่ามุมสัมผัสน้ำที่สูงถึง 152 องศา และการนำไฟฟ้าที่ดี อีพอกซีเรซินเป็นสารเทอร์โมเซตติงชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสำหรับการยืดยึดและการเคลือบผิววัสดุ โครงสร้างและเมทริกซ์คอมโพสิตเนื่องจากความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีเยี่ยม คุณสมบัติการยึดเกาะที่ดี การหดตัวต่ำ และราคาต่ำ [7-8] ซึ่งจากงานวิจัยของ Gao และคณะ [9] ได้สร้างแผ่นฟิล์มที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดบนพื้นผิวกระดาษกรองบางด้วยอีพอกซีเรซินนาโน/ไมโครไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาโดยศึกษาผลของจำนวนรอบในการเคลือบผิวกระดาษกรอง ซึ่งผลที่ได้คือกระดาษกรองที่ผ่านการเคลือบผิวมีค่ามุมสัมผัสน้ำ 133 องศา และเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการเคลือบผิวกระดาษกรองเพิ่มขึ้นพบว่าค่ามุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยมีค่ามุมสัมผัสสูงสุด 153 องศาเมื่อเคลือบผิวกระดาษกรองที่ 4 รอบ

จากการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนรอบการเคลือบผิวจะส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของจำนวนรอบในการเคลือบผิวผ้าฝ้าย ที่ทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสน้ำสูงที่สุดและเป็นพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด พร้อมทั้งศึกษาผลของการซักผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยเครื่องอัลตราโซนิก โดยศึกษาสมบัติของผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวก่อนและหลังผ่านการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก ดังต่อไปนี้ ค่ามุมสัมผัสน้ำและเสถียรภาพ ความสามารถในการป้องกันการยืดยึดของคราบสกปรก ความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง และ โครงสร้างทางจุลภาค

วัสดุและวิธีการทดลอง

1. วัสดุอุปกรณ์

ผ้าฝ้ายที่ใช้เป็นผ้าฝ้ายทั่วไปทางการค้าที่ผ่านการซักด้วยน้ำยาซักผ้าและทำให้แห้งก่อนการใช้งาน พุ่มซิลิกาที่ใช้มีขนาดน้อยกว่า 10 นาโนเมตร จาก HDK T40 Wacker Chemical AG อะมิโนโพรพิลไตรเอทโทซิลิโคน



(Aminopropyltriethoxysilane : APTES) จากบริษัท OPTIMAL TECH จำกัด อีพอกซีและเจฟฟามีนได้จากบริษัท Aditya Birla Chemicals ประเทศไทยจำกัด (Epoxy Division) และอะซิโตนความเข้มข้นร้อยละ 99.5 จากบริษัท Qrec Chemical จำกัด

2. การเตรียมผ้าฝ้าย

ผ้าฝ้ายที่ใช้ในการทดลองจะถูกตัดให้มีขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร และยาว 3 เซนติเมตร แล้วนำไปทำความสะอาดด้วยน้ำยาซักผ้าเด็กและล้างออกด้วยน้ำสะอาด หลังจากนั้นนำผ้าฝ้ายมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. การเคลือบผิวผ้าฝ้าย

ในการทดลองนี้ได้นำฟุ้งซิลิกาที่ปรับแต่งพื้นผิวด้วย APTES มาใช้ในการทดลอง ซึ่งวิธีการเตรียมมีดังนี้ เริ่มด้วยการกระตุ้นผิวของฟุ้งซิลิกาด้วย NaOH โดยทำการกวนผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อมา นำสารที่ได้ไปปรับแต่งพื้นผิวด้วย APTES เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ SiO_2 -APTES ออกมา [10] เดิมอนุภาค SiO_2 -APTES ที่ปริมาตรร้อยละ 20 โดยปริมาตร ในอีพอกซีกับเจฟฟามีนที่ละลายในอะซิโตน 5 มิลลิกรัมต่ออัตราส่วนของ อีพอกซี : เจฟฟามีน เท่ากับ 1 : 0.45 โดยน้ำหนัก ทำการกวนผสมสารละลายเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงนำผ้าฝ้ายมาแช่ในสารละลายเป็นเวลา 5 นาที สุดท้ายนำผ้าฝ้ายที่แช่สารละลายไปอบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำผ้าที่ผ่านการเคลือบมาทำการเคลือบซ้ำด้วยวิธีการเดิมตามจำนวนรอบที่ต้องการ

4. การทดสอบเสถียรภาพของฟิล์มที่เคลือบอยู่บนผ้า

ในการทดสอบเสถียรภาพของฟิล์มที่เคลือบอยู่บนผ้า จะทดสอบโดยการนำผ้าที่หาค่ามัมสัมผัสน้ำแล้วไปซักในน้ำยาซักผ้าที่ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:200 โดยน้ำหนัก (น้ำยาซักผ้า : น้ำ) ด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจะนำไปหาค่ามัมสัมผัสน้ำแล้วชั่งต่อ

5. การวิเคราะห์คุณสมบัติ

5.1 การวิเคราะห์พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ (มุมสัมผัสน้ำ)

มุมสัมผัสน้ำจะวัดจากหยดน้ำที่ปราศจากไอออนปริมาณ 5 ไมโครลิตร ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสน้ำ (OCA 15EC) โดยค่ามุมสัมผัสน้ำที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 จุดบนพื้นผิวของแต่ละตัวอย่าง

5.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของผ้า

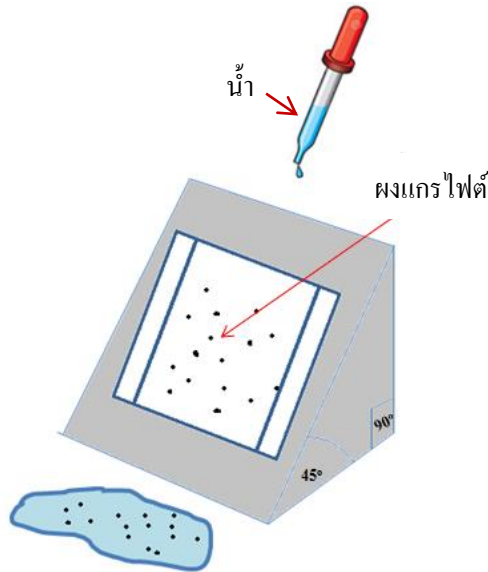
เป็นการวิเคราะห์ความทนทานของฟิล์มที่เคลือบอยู่บนผ้าโดยใช้การวัดมุมสัมผัสน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสน้ำหลังการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (DT 255 H Bandelin at 35 kHz and an output power of 160 W) จำนวน 5 รอบ รอบละ 30 นาที

5.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการป้องกันการขีดเกาและการทำความสะอาดตัวเอง

ความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองจะทดสอบโดยการหยดของเหลวชนิดต่างๆ เช่น กาแฟ น้ำสี และน้ำผลไม้ ลงบนผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วดูลักษณะของหยดน้ำที่อยู่บนผ้า และทดสอบหยดน้ำลงบนผ้าที่ผ่านการเคลือบที่มีผงแกรไฟต์ดังแสดงในภาพที่ 1

5.4 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

เป็นการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) โดยจะศึกษาลักษณะพื้นผิวของผ้าที่เคลือบผิวหลังการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

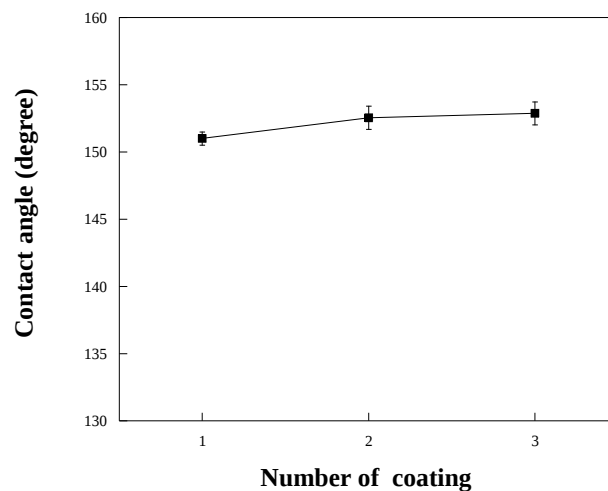


ภาพที่ 1 รูปจำลองการทดสอบการทำความสะอาดตัวเอง

ผลและอภิปรายผลงานวิจัย

1. จำนวนรอบการเคลือบผิวกับความไม่ชอบน้ำและเสถียรภาพของผ้า

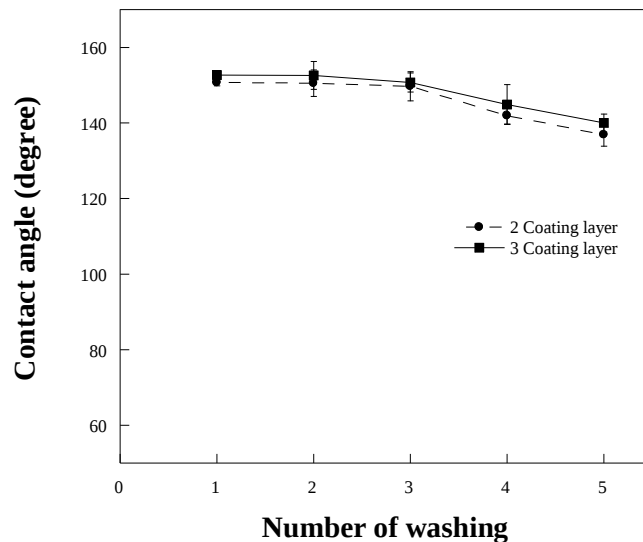
จากที่กล่าวมาพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดเกิดจากการรวมกันของคุณสมบัติ 2 อย่างคือ พื้นผิวที่มีพลังงานต่ำและ โครงสร้างที่มีความขรุขระที่เหมาะสม ดังนั้นเพื่อปรับปรุงพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดที่ได้จากการเคลือบผิวผ้าด้วยอีพอกซีที่เติม SiO_2 -APTES ร้อยละ 20 โดยปริมาตร โดยการเพิ่มจำนวนรอบในการเคลือบผิว ซึ่งผลของการเพิ่มจำนวนรอบในการเคลือบผิวส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าค่ามุมสัมผัสของผ้าที่เคลือบผิวด้วยอีพอกซีและ SiO_2 -APTES มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบการเคลือบผิวเพิ่มขึ้น โดยการเคลือบผิวผ้า 2 และ 3 รอบจะส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้นเป็น 152.5 ± 0.5 และ 153 ± 0.8 องศา ตามลำดับ [6, 11, 12] ซึ่งจะเห็นได้ว่ามุมสัมผัสของผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีที่เติม SiO_2 -APTES ที่ 3 รอบ มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการเคลือบผิวผ้าที่ 2 รอบทำให้เกิดความขรุขระที่เหมาะสม



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการเคลือบผิวและค่ามุมสัมผัส



นอกจากนั้นการเพิ่มจำนวนรอบในการเคลือบผิวยังส่งผลถึงเสถียรภาพ ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่าผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวที่ 2 และ 3 รอบ ยังคงรักษาพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดได้หลังจากผ่านการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 3 รอบ โดยมีค่ามุมสัมผัสน้ำเท่ากับ 150 และ 150.7 องศา ตามลำดับ และเมื่อผ่านการซักไป 5 รอบพบว่าค่ามุมสัมผัสน้ำลดลงเหลือ 136 และ 140 องศา สำหรับผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวที่ 2 และ 3 รอบตามลำดับ จะเห็นได้ว่าจำนวนรอบการเคลือบผิวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เสถียรภาพของผ้าสูงขึ้นไปด้วยเนื่องจากเกิดรอยร้าวบนฟิล์มอีพอกซีได้ยากขึ้น



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสน้ำกับจำนวนรอบการซักด้วยอัลตราโซนิก ของผ้าที่เคลือบผิว 2 และ 3 รอบ

2. ความสามารถในการป้องกันการยิดเกาะของคราบสกปรกและการทำความสะอาดตัวเอง

ความสามารถในการป้องกันการยิดเกาะของคราบสกปรกและการทำความสะอาดตัวเองเป็นลักษณะที่โดดเด่นของวัสดุที่มีพื้นผิวไม่ชอบน้ำ หลักการในการทำความสะอาดตัวเองของพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำคือ เมื่อหยดน้ำลงไบบนพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำหยดน้ำจะกลิ้งไปบนพื้นผิวแล้วนำเอาเศษฝุ่นหรือสิ่งสกปรกที่อยู่บนพื้นผิวออกไปด้วย ซึ่ง ภาพที่ 4 เป็นภาพของหยดของเหลวที่พบได้ในครัวเรือน ยกตัวอย่างเช่น น้ำ กาแฟ และน้ำผลไม้ บนพื้นผิวของผ้าชนิดต่างๆ ได้แก่ ผ้าธรรมดา และผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีและ $\text{SiO}_2\text{-APTES}$ ร้อยละ 20 โดยปริมาตร จำนวน 3 รอบ ทั้งก่อนและหลังถูกซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 5 รอบ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าหยดของเหลวทุกหยดมีรูปร่างเป็นทรงกลมบนพื้นผิวของผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีและ $\text{SiO}_2\text{-APTES}$ ทั้งก่อนและหลังจากการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำของผ้าที่ผ่านการเคลือบสามารถป้องกันการคราบสกปรกที่เกิดจากของเหลวที่สามารถพบได้ในครัวเรือนได้ แม้ว่าจะผ่านการซักมาแล้วก็ตาม

ผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีและ SiO₂-APTES 3 รอบ ก่อนการซัก ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก	 0 นาที	 30 นาที
ผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีและ SiO₂-APTES 3 รอบ หลังการซัก ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 5 รอบ	 0 นาที	 30 นาที
ผ้าธรรมดา	 0 นาที	 5-10 วินาที

ภาพที่ 4 หยดของเหลวที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไปบนผ้าธรรมดาและผ้าผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีและSiO₂-APTES

ภาพที่ 5 เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองของผ้าธรรมดาและผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีและ SiO₂-APTES ผงแกรไฟท์จะถูกวางไว้บนผิวของผ้าตัวอย่างหลังจากนั้นจะหยดน้ำลงไปบนผ้าให้ไหลผ่านผงแกรไฟท์ ซึ่งผลที่ได้คือ น้ำจะถูกดูดซับอย่างรวดเร็วและทิ้งคราบไว้บนผ้าธรรมดาในขณะที่ผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีและ SiO₂-APTES น้ำที่หยดลงไปจะมีรูปร่างเป็นหยดน้ำแล้วไหลผ่านผงแกรไฟท์แล้วพาเอาผงแกรไฟท์ออกไปด้วย



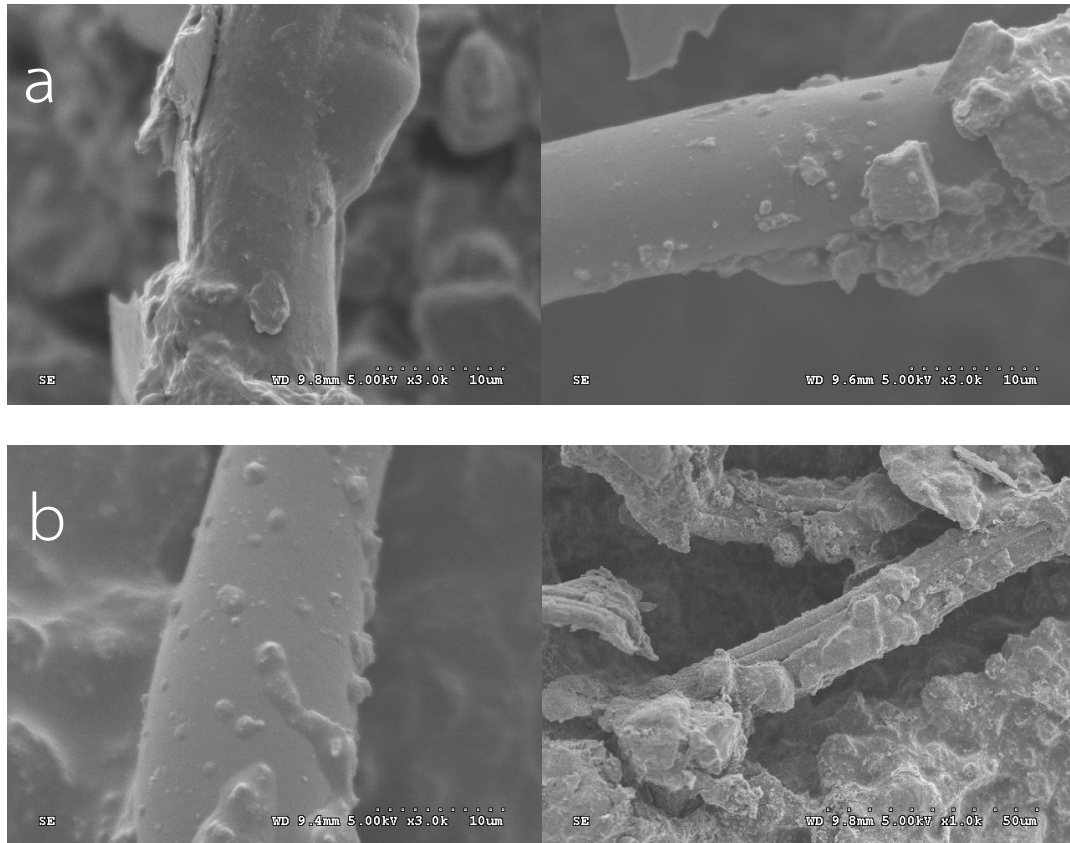
ตัวอย่าง	ก่อน	หลัง
ผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีและ SiO_2 -APTES 3 รอบ ก่อนการชักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก		
ผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีและ SiO_2 -APTES 3 รอบ หลังการชักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 5 รอบ		
ผ้าธรรมดา		

ภาพที่ 5 ความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองของผ้าที่ผ่านการเคลือบ ก่อนและหลังการชักด้วยเครื่องอัลตราโซนิกและผ้าธรรมดา

3. การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของผ้าที่เคลือบด้วยอีพอกซีที่เติม SiO_2 -APTES ที่จำนวนรอบในการเคลือบผิว 2 และ 3 รอบ หลังผ่านการชักด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นจำนวน 5 รอบ ถูกแสดงในภาพที่ 6 ภาพที่ 6a แสดงภาพของผ้าที่ผ่านเคลือบผิว 2 รอบและผ่านการชักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 5 รอบที่กำลังขยาย 3000 เท่าและภาพที่ 6b คือภาพของผ้าที่ผ่านเคลือบผิว 3 รอบ และผ่านการชักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 5 รอบ ที่กำลังขยาย 3000 และ 1000 เท่า พบว่าผ้าที่ผ่านการชัก 5 รอบ จะเกิดรอยแตกร้าวของอีพอกซีและการหลุดร่อนของ SiO_2 -APTES ที่พื้นผิวของเส้นใย ซึ่งรอยแตกร้าวนี้จะทำให้ค่ามุมสัมผัสน้ำของผ้าลดลงเนื่องจากน้ำสามารถซึมผ่านรอยแตกของอีพอกซีแล้วไปสัมผัสกับเส้นใยผ้าได้โดยตรง [13] ด้วยธรรมชาติของเส้นใยจะมีความชอบน้ำสูงทำให้เกิดการดูดซึมน้ำผ่านทางรอยแตกของอี

พอกซี ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่ามูมสัมพัทธ์ลดลง เช่นเดียวกันกับการหลุดร่อนของ SiO_2 -APTES ซึ่งจะส่งผลให้ความขรุขระของพื้นผิวผ้าที่ผ่านการเคลือบลดลง ซึ่งความขรุขระของพื้นผิวเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของการสร้างพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดเมื่อความขรุขระลดลงจะส่งผลให้ค่ามูมสัมพัทธ์ลดลงไปด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 6 ภาพ SEM แสดงถึงการเกิดรอยแตกร้าวของอีพอกซีและการหลุดร่อนของ SiO_2 -APTES ที่เกิดจากการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 5 รอบ (a) ผ้าที่เคลือบผิว 2 รอบที่ค่าล้างขยา 3000 เท่า (b) ผ้าที่เคลือบผิว 3 รอบที่ค่าล้างขยา 3000 และ 1000 เท่า

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองจำนวนรอบการเคลือบผิวต่อค่ามูมสัมพัทธ์พบว่า การเคลือบผิวหลายรอบสามารถเพิ่มค่ามูมสัมพัทธ์และเสถียรภาพให้กับผ้า โดยผ้าที่เคลือบผิว 2 และ 3 รอบ มีค่ามูมสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเป็น 152.5 ± 0.5 และ 153 ± 0.8 องศา ตามลำดับ และยังสามารถรักษาพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดได้แม้ผ่านการซักด้วยเครื่องอัลตราโซนิกถึง 3 รอบ และจากการทดลองหยดของเหลวชนิดต่างๆลงบนผ้าที่ผ่านการเคลือบและผ้าธรรมดา พบว่าหยดของเหลวต่างๆที่หยดลงบนผ้าที่ผ่านการเคลือบจะมีลักษณะเป็นทรงกลม แต่หยดของเหลวที่หยดลงบนผ้าธรรมดาจะถูกดูดซับไว้ในผ้า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการป้องกันคราบสกปรกและยังได้ทดสอบความสามารถในการทำความสะดวกตัวเอง โดยการ โรยผงแกรไฟต์ลงบนผ้าที่ผ่านการเคลือบและผ้าธรรมดาแล้วหยดน้ำลงไปให้ผ่านผงแกรไฟต์พบว่าผ้าที่ผ่านการเคลือบ เมื่อหยดน้ำลงไปหยดน้ำจะกลิ้งไปบนผ้าและนำผงแกรไฟต์ออกไปด้วย แต่สำหรับผ้าธรรมดาหยดน้ำจะถูกดูดซับไว้ในผ้าทำให้ผงแกรไฟต์ยังคงอยู่บนผ้าเช่นเดิมซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีในการทำความสะดวกตัวเองของผ้าที่ผ่านการเคลือบผิว



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพิชเชษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. Ma M, Hill RM. Superhydrophobic surfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2006; 11(4): 193-202.
2. Wang Y, Li B, Liu T, Xu C, Ge Zh. Controllable fabrication of superhydrophobic TiO₂ coating with improved transparency and thermostability. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2014; 441: 298-305.
3. Xu X, Zhang Z, Liu W. Fabrication of superhydrophobic surfaces with perfluorooctanoic acid modified TiO₂/polystyrene nanocomposites coating. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2009; 341(1-3): 21-26.
4. Zhang W, Lu P, Qian L, Xiao H. Fabrication of superhydrophobic paper surface via wax mixture coating. *Chemical Engineering Journal*. 2014; 250: 431-436.
5. Liu F, Wang S, Zhang M, Ma M, Wang Ch, Li J. Improvement of mechanical robustness of the superhydrophobic wood surface by coating PVA/SiO₂ composite polymer. *Applied Surface Science*. 2013; 280: 686-692.
6. Zhang T, Yan H, Fang Zh, E Y, Wu T, Chen F. Superhydrophobic and conductive properties of carbon nanotubes/polybenzoxazine nanocomposites coated ramie fabric prepared by solution-immersion process. *Applied Surface Science*. 2014; 309: 218-224.
7. Zhang M, Wang C. Fabrication of cotton fabric with superhydrophobicity and flame retardancy. *Carbohydr Polym*. 2013; 96(2): 396-402.
8. Zhang M, Wang C, Wang S, Li J. Fabrication of superhydrophobic cotton textiles for water-oil separation based on drop-coating route. *Carbohydr Polym*. 2013; 97(1): 59-64.
9. Yu Z, Di H, Ma Y, Lv L, Pan Y, Zhang C, et al. Fabrication of graphene oxide–alumina hybrids to reinforce the anti-corrosion performance of composite epoxy coatings. *Applied Surface Science*. 2015; 351: 986-996.
10. Tasai A. Fabrication of silica/epoxy superhydrophobic film on cotton textile [MSc thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2017. Thai.
11. Gao Z, Zhai X, Liu F, Zhang M, Zang D, Wang Ch. Fabrication of TiO₂/EP super-hydrophobic thin film on filter paper surface. *Carbohydrate Polymers*. 2015; 128: 24-31.
12. Huang W, Xing Y, Yu Y, Shang S, Dai J. Enhanced washing durability of hydrophobic coating on cellulose fabric using polycarboxylic acids. *Applied Surface Science*. 2011; 257(9): 4443-4448.
13. Chatterjee S, Wang J. W, Kuo W. S, Tai N. H, Salzmann C, Li W. L, et al. Mechanical reinforcement and thermal conductivity in expanded graphene nanoplatelets reinforced epoxy composites. *Chemical Physics Letters*. 2012; 531: 6-10.