

**กระบวนการตกแต่งสารยึดติดพอลิยูรีเทนและอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์บนผ้าทอลายขัดผ้าฝ้าย 100%
ด้วยกระบวนการพ่นเคลือบแบบ One และ Two Steps Spraying Method
A Finishing Process of a Mixture of Polyurethane Binder
and Micro/Nano Silk Particles Coated on Plain 100% Cotton Woven Fabrics
Using One and Two Steps Spraying Method**

นพรัตน์ เนื่องชมภู¹ สมนึก สังข์หนู² และ อภิชาติ สนธิสมบัติ³

Noparat_n@mail.rmutt.ac.th¹, somnuk.s@en.rmutt.ac.th², apichart.s@en.rmutt.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการตกแต่งแบบใหม่ (พ่นเคลือบด้วยกาพ่นสี) ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการตกแต่งแบบจุ่ม-บีบอัด-ทำแห้ง (Dip-Nip-Dry Finishing Method) ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทออย่างแพร่หลาย กระบวนการ One Step Spraying Method (สารยึดติดพอลิยูรีเทนความเข้มข้น 10% ผสมกับสารละลายอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0% ตามลำดับ) พ่นบนผิวน้ำผ้าทอลายขัดผ้าฝ้าย 100% ชั่งน้ำหนักผ้า หลังจากนั้นอบแห้ง 120°C เป็นเวลา 120 วินาที นำผ้าไปเก็บไว้ ณ ห้องทดสอบมาตรฐาน และกระบวนการ Two Steps Spraying Method ครั้งแรกเป็นการพ่นเคลือบด้วยสารยึดติดก่อน จากนั้นพ่นครั้งที่สองด้วยสารละลายอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ด้วยความเข้มข้นที่เหมือนกับกระบวนการ One Step Spraying Method พ่นผิวน้ำผ้าทอลายขัดผ้าฝ้าย 100% ชั่งน้ำหนักผ้า หลังจากนั้นอบแห้ง 120°C เป็นเวลา 120 วินาที นำผ้าไปเก็บไว้ ณ ห้องทดสอบมาตรฐาน จากนั้นนำผ้ามาทดสอบความคงทนต่อการขัดถู (สภาวะแห้ง และเปียก) ทดสอบความคงทนต่อการซักล้าง (20 ครั้ง) ทดสอบเวลาในการซึมน้ำ และตรวจสอบขนาดและสัณฐานของอนุภาคที่เกาะอยู่บนผิวน้ำผ้าฝ้ายด้วยกล้อง SEM สรุปว่าผลการทดลองความคงทนต่อการขัดถูมีร้อยละน้ำหนักสูญเสียอยู่ในช่วงต่ำสุด -0.114% ถึงสูงสุด -0.510% ทั้งสองกระบวนการ และเวลาในการซึมน้ำเท่ากันทั้งสองกระบวนการ แต่กระบวนการแบบ Two Steps Spraying Method พบว่าผ้ามีความคงทนต่อการซักล้างดีกว่ากระบวนการ One Step Spraying Method ซึ่งสอดคล้องกับภาพจากกล้อง SEM แสดงว่าอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ยังคงหลงเหลืออยู่บนผ้าที่ตกแต่งทั้งสองกระบวนการ สรุปว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่ง Two Steps Spraying Method อาจจะถูกละเลือกมาใช้ในการตกแต่งผ้าสำหรับงานสปา เนื่องจากสารยึดติดถูกพ่นเคลือบบนผืนผ้าก่อนเติมพื้นที่ของผิวน้ำผ้า จึงน่าจะมีการยึดติดที่ดีกว่า.

คำสำคัญ: อนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ ผ้าทอลายขัดผ้าฝ้าย 100% กระบวนการพ่นเคลือบ กาพ่นสี

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาสิ่งทอ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

^{2,3} อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ABSTRACT

The aim of this research was to study the new finishing method (Spraying Method using a Spray Gun) which is different from the Dip-Nip-Dry Finishing Method that is widely used in the textile industries. One Step Spraying Method, the solutions were prepared by mixing 10% Polyurethane binder solution with Micro/Nano Silk solutions of the amount of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0% respectively and the solutions were sprayed on the surface of plain 100% cotton woven fabrics, weighed the fabrics and then dried at 120°C for 120 seconds. The fabrics were put into a standard condition at textile testing laboratories. Two Steps Spraying Method, the solutions were prepared by mixing 10% Polyurethane binder solution, sprayed on the surface of the fabrics, weighed the fabrics. After the first spraying, the Micro/Nano Silk solutions of the amount of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0% respectively were sprayed on each fabric, weighed the fabrics again and then dried at 120°C for 120 seconds. The fabrics were tested for the percentage weight loss after abrasion resistance (dry and wet conditions), after washing fastness (20 times). The fabrics were tested for wicking time and they were investigated the size and morphology of the particles. It was concluded that the abrasion resistance test results had weight loss percentage (-0.114% to -0.510%). Both methods gave the same wicking time (water permeability time). Nevertheless, it was found that the Two Steps Spraying Method fabrics showed less percentage weight loss after washing process than that from the One Step Spraying Method. From the SEM images, the fabrics from both methods showed that the particles remained on the fabrics. It can be concluded that two steps spraying method may be used to finish the fabrics for spa purposes because the binder was firstly sprayed on the cloth. It might have possibilities to contact much more surface areas than that from the one step Spraying Method before spraying the Micro/Nano silk particles on top of the fabrics again.

Keywords: Micro/Nano Particles Silk, Plain 100% Cotton Woven Fabrics, Spraying Method, Spray Gun.

1. บทนำ

เส้นใยไหมเป็นเส้นใยที่ผลิตจากหนอนไหม เป็นเส้นใยที่มาจากธรรมชาติ ประเภทโปรตีนเช่นเดียวกับเส้นใยขนสัตว์ แต่เส้นใยไหมมีปริมาณของซัลเฟอร์น้อยมาก โดยทั่วไปไหมจำแนกออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ไหมเลี้ยง (Mulberry Silk: ไหมบอมบิกซ์ มอริ (Bombyx mori)) เป็นหนอนไหมที่มนุษย์นำมาเพาะเลี้ยงด้วยใบหม่อน (Mulberry Leaves) สดๆ ซึ่งไหมชนิดนี้จะมักมีสีค่อนข้างขาว (ยกเว้นไหมไทยที่มีสีเหลืองทอง) และหลังการลอกกาวแล้วเส้นใยไหมจะมีความมันเงาเพิ่มขึ้น
2. ไหมป่า (Wild Silk) เป็นไหมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยปกติไหมทาชาร์ (Tussah Silk) จะเป็นกลุ่มตัวแทนของเส้นไหมชนิดนี้ ไหมทาชาร์จะมีแหล่งกำเนิดอยู่

ที่จีน และอินเดีย ซึ่งเจริญเติบโตด้วยใบโอ๊ก (Oak Leaves) ซึ่งปกติไหมป่าจะให้เส้นใยที่มีสีน้ำตาล มีความหยาบกระด้าง และไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับเส้นใยจากไหมเลี้ยง

จากการสำรวจพบว่าเกือบร้อยละ 80 ของการผลิตเส้นใยไหมทั่วโลกจะได้อาจาก เส้นใยไหมเลี้ยงสำหรับไหมไทยจัดว่าเป็นไหมเลี้ยง (บอมบิกซ์ มอริ) แต่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากเส้นใยมีสีเหลืองทอง และค่อนข้างหยาบ นอกจากนี้จากการทดลองของอภิชชาติ สนธิสมบัติ [1-2] พบว่าไหมไทยสีเหลืองทองบางพันธุ์มีส่วนประกอบที่เป็นกาวไหมปริมาณมากถึงร้อยละ 38 ซึ่งมีปริมาณมากกว่าไหมเลี้ยงชนิดอื่นๆ โดยปกติเส้นใยไหมเลี้ยงมักมีปริมาณกาวไหมร้อยละ 20-25 กระบวนการปั่นเส้นใยไหมเริ่มตั้งแต่ตัวหนอนไหมที่โตเต็มวัยเริ่มจะกลายเป็นดักแด้

พ่นของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมขนาดใหญ่สองต่อม ภายในตัวหนอนไหม สารละลายนี้จะถูกอัดผ่านท่อสองท่อในหัวของตัวหนอนไหมไปสู่บริเวณที่เป็นแวนกดเส้นใย ส่วนที่ของเหลวหนืดคือเส้นใย (Fibroin: ไฟโบรอิน) ถูกเคลือบด้วยกาไหม (Sericin: เซรีซิน) ซึ่งกาไหมจะครอบคลุมเส้นใย 2 เส้นติดกัน เมื่อโปรตีนทั้งสองชนิดสัมผัสกับอากาศจะเกิดการแข็งตัว ยึดติดกัน ก่อให้เกิดเส้นใยยาวต่อเนื่อง [1,2]

ดังนั้นเส้นใยไหมจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กาไหม (เซรีซิน) และเส้นใยไหม (ไฟโบรอิน) กาไหมเป็นส่วนที่น้อยกว่าเส้นใย (มีปริมาณประมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนักของไหมดิบ) และกาไหมจะมีสิ่งเจือปน เช่น ขี้ผึ้ง ไขมัน และสีที่ไม่ละลายน้ำ กาไหมมีสีเหลือง ลักษณะแข็งไม่ยืดหยุ่น ทำหน้าที่เชื่อมเส้นใยยาวทั้งสองเส้นเพื่อป้องกันอันตรายกับเส้นใยไหม (ไฟโบรอิน) และปิดบังความมันเงาของไฟโบรอิน กาไหมถือว่าเป็นส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) และสามารถละลายน้ำสบูร้อนได้ ปริมาณของกาไหมจะปรากฏมากที่สุดบริเวณด้านนอกสุดของรังไหม ส่วนด้านในจะมีกาไหมน้อยลงเรื่อยๆ สำหรับเส้นใยไหม (ไฟโบรอิน) เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ (ประมาณร้อยละ 75 ของน้ำหนักของไหมดิบ) ซึ่งเส้นใยไหมนี้จะมีโครงสร้างที่ค่อนข้างเป็นระเบียบและมีการเรียงตัวดี [2,3]

เส้นใยไหมมีส่วนประกอบของกรดอะมิโน 16-18 ชนิด ซึ่งจัดว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมีสารกำจัดเชื้อจุลินทรีย์บางอย่างที่เป็นเหตุให้เกิดโรคผิวหนังของมนุษย์ได้ และมีสมบัติที่สำคัญ เช่น ช่วยควบคุมระดับโคเลสเตอรอล ช่วยสลายแอลกอฮอล์ในร่างกาย ช่วยทำให้แผลหายเร็วขึ้น ช่วยความจำ ช่วยขยายหลอดเลือด และกระตุ้นการทำงานของหัวใจ ช่วยต่อต้านไวรัส (โรคเริม และงูสวัด) รักษาปริมาณน้ำในผิวหนัง กำจัดสิ่งสกปรกในเซลล์ และยืดอายุเซลล์ผิวหนัง เป็นต้น [4-6]

อภิชาติ สนธิสมบัติ [5] จดอนุสิทธิบัตรเกี่ยวกับ นำเอาเส้นใยไหมดิบ เศษเส้นใยไหมดิบ หรือรังไหมดิบ มาผลิตเป็นอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ที่ผลิตได้มีสมบัติเป็นสารทำให้ผิวหนังชุ่มชื้น (Moisturizing agent) นอกจากนี้ยังมีสมบัติเป็นสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (UV Protecting)

หรือการนำเอาอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์มาเคลือบวัสดุด้านสิ่งทอ เพื่อทำให้ผิวหนังชุ่มชื้น ดูดความชื้นในอากาศได้ดี ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (UV Protecting) และลดริ้วรอยบนผิวหนังผู้สวมใส่ได้

กระบวนการตกแต่งสิ่งทอมีหลากหลายวิธี อาทิ กระบวนการจุ่ม-บีบอัด-อบแห้ง กระบวนการพ่นสเปรย์ เคลือบผิวหนังสิ่งทอ กระบวนการดูดซึม กระบวนการเคลือบด้วยโฟม ซึ่งกระบวนการตกแต่งสิ่งทอที่เหมาะสมกับมิติของสิ่งทอเกือบทุกประเภท คือ กระบวนการพ่นสเปรย์ เคลือบผิวหนังสิ่งทอ อย่างไรก็ตามอาจมีปัญหาเรื่องของความไม่สม่ำเสมอของการพ่นสเปรย์ อีกทั้งการสูญเสียสารเคมีเนื่องจากละอองกระจายตัวไม่สัมผัสกับผิวหนังสิ่งทอ [3, 7-9]

กาพ่นสีที่มีจำหน่ายในท้องตลาด [10-11] มีขนาดหัวพ่น 1.5 มม. เหมาะสมกับงานละเอียด และพื้นที่ขนาดเล็ก ขนาด 1.8 มม. เหมาะสมกับงานพ่นทั่วไป ขนาด 2.0 มม. เหมาะสมกับงานพ่นพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งขนาดหัวพ่นมีผลกับสารที่ต้องการพ่น เนื่องจากหากเลือกหัวพ่นเล็กเกินไป จะเกิดการอุดตันของหัวพ่น และไม่สามารถพ่นอย่างสม่ำเสมอ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงกระบวนการตกแต่งสารยัดติด พอลิยูรีเทนและอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์บนผ้าฝ้าย 100% ด้วยกระบวนการตกแต่งแบบใหม่ (พ่นเคลือบด้วยกาพ่นสี) ซึ่งปกติในอุตสาหกรรมสิ่งทอจะไม่ใช้กระบวนการแบบนี้ ส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการจุ่ม-บีบอัด-ทำแห้ง (Dip-Nip-Dry) ในงานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการ One Step Spraying Method (พ่นสารยัดติดพอลิยูรีเทนผสมกับอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์) เปรียบเทียบกับกระบวนการ Two Steps Spraying Method (พ่นเคลือบสารยัดติด (ครั้งที่ 1) แล้วพ่นเคลือบด้วยสารละลายอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ (ครั้งที่ 2) และเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในตกแต่งผ้าสำหรับงานสปา และทดสอบคงทนต่อการขัดถูและคงทนต่อการซักล้างว่ามีความคงทนมากน้อยเพียงใด

3. วัสดุและวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ-สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- รังไหมพันธุ์ไทย (สีเหลือง)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดไฮโดรคลอริก
- ผ้าซิงกรีนขนาด 180-200 Mesh (รูนีว)
- ผ้าทอลายขัดเส้นใยฝ้าย 100% เบอร์ 40 (ด้ายยืน) เบอร์ 40 (ด้ายพุ่ง) ขนาด 40 x 40 ซม.
- สารย้อมติดพอลิยูรีเทน

3.2 กระบวนการเตรียมอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ และวิธีการตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

3.2.1 กรรมวิธีการเตรียมอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์

นำรังไหมพันธุ์ไทย (สีเหลือง) จำนวน 1 กิโลกรัม มาตัดด้วยกรรไกรให้มีขนาดประมาณ 2 x 2 เซนติเมตร จากนั้นละลายรังไหมที่ตัดแล้วด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2-5 (% w/v) ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อรังไหม เท่ากับ 5:1 จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิหม้อต้มอย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิ 95-98 องศาเซลเซียส พร้อมกับคนให้สม่ำเสมอจนรังไหมละลายเป็นสารละลายทั้งหมด ปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิปกติ เมื่อสารละลายไหมเย็นตัวแล้ว จึงไตเตรทด้วยกรดไฮโดรคลอริก จนสารละลายมีค่า pH เป็นกลาง (6.5-7.5) ในตู้ดูดควัน คนให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นนำสารละลายที่ได้มากรองสิ่งสกปรกออกด้วยผ้าซิงกรีนขนาด 180-200 Mesh (รูนีว) นำสารละลายที่เป็นน้ำใสที่ผ่านการกรองมาลงในภาชนะกระเบื้อง แล้วนำเข้าตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-10 ชั่วโมง จนได้ผงไหม เมื่อแห้งสนิท นำไปบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ (Ball Mill Grinding Machine) ด้วยความเร็ว 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที จำนวน 3 ครั้ง นำอนุภาคที่ผ่านการบดแล้ว มาผ่านตะแกรงกรองขนาด 180-200 เมช เก็บเฉพาะผงที่ละเอียดใส่ถุงพลาสติกซีลปากถุงให้แน่น

3.2.2 วิธีการตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM)

การตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) ดำเนินการที่บริษัท ธาธาบิสสิเนส จำกัด (Do SEM: ดูเพิ่ม) อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ด้วยเครื่อง SEM JSM-5410LV ที่ 20 kV กำลังขยาย 1,000-10,000 เท่า และใช้โปรแกรม SemAfore 5.2 [12] ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบขนาดอนุภาคจากภาพถ่ายจากกล้อง SEM

3.3 กระบวนการตกแต่งด้วยการพ่นเคลือบสารย้อมติดผสมกับอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์และสารย้อมติดพอลิ-ยูรีเทน (One Step Method) บนผ้าฝ้าย

3.3.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างผ้าฝ้าย

ตัดผ้าทอลายขัดเส้นใยฝ้าย 100% เบอร์ 40 (ด้ายยืน) เบอร์ 40 (ด้ายพุ่ง) ขนาด 40 x 40 ซม. จำนวน 24 ผืน เขียนหมายเลข 1-24 แล้วนำมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ซึ่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งละเอียด ในห้องทดสอบสิ่งทอ ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 65±2% อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส บันทึกผลการทดลอง ทำเช่นนี้จนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

3.3.2 วิธีการเตรียมสารละลายสารย้อมติดพอลิ-ยูรีเทนผสมกับอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ (One Step Spraying Method)

ชั่งสารย้อมติดพอลิยูรีเทน ปริมาณ 60 กรัม และชั่งอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ ปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 กรัม และผสมน้ำ 540 กรัม สำหรับตัวอย่างสารย้อมติดพอลิยูรีเทนผสมกับอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 (ตามลำดับ)

3.3.3 วิธีพ่นเคลือบสารละลายสารยึดติดพอลิ-ยูรีเทนผสมกับอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์

นำสารละลายจำนวน 25 กรัมมาพ่นด้วยกาพ่นสี (กระป๋องล่าง) ปริมาณการพ่นสูงสุด 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อพื้นที่ ที่ความดันลมอัดไม่เกิน 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หัวพ่นขนาด 1.8 มม. (เหมาะกับการพ่นทั่วไป) พ่นสารด้วยระยะห่างจากผ้า 30 ซม. โดยมีแท่นยึดผ้าฝ้ายให้ตึง ตั้งมุม 125-130 องศา (เฉียงกับพื้น) และมุมในการพ่นขนานกับพื้น โดยพ่นจากซ้ายไปขวา บริเวณด้านบนไล่ลงมาข้างล่าง จนทั่วทั้งผืน ด้านหน้า

สำหรับด้านหลัง นำสารละลายจำนวน 25 กรัมมาพ่นด้วยกาพ่นสี ดังกล่าวข้างต้น พ่นจากซ้ายไปขวา บริเวณด้านบนไล่ลงมาข้างล่าง จนทั่วทั้งผืน

เมื่อพ่นเคลือบเสร็จ นำผ้าฝ้าย ที่เปียกมาชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งละเอียด บันทึกผลการทดลอง

3.3.4 กระบวนการอบแห้ง/ทำปฏิกิริยาร่างแห

นำผ้าฝ้าย ที่ผ่านการพ่นเคลือบเรียบร้อยแล้วตามข้อ 2.2.3 เข้าเครื่องสแต็นเตอร์ อบแห้งและทำปฏิกิริยาร่างแหบนผ้าฝ้าย ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที เมื่อผ่านเครื่องดังกล่าวแล้วนำผ้าฝ้าย ที่ให้เย็น แล้วนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งละเอียด ในห้องทดสอบสิ่งทอ ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 2\%$ อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส บันทึกผลการทดลอง ทำเช่นนี้จนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง เก็บผ้าฝ้าย รอทดสอบขั้นตอนต่อไป

3.4 กระบวนการตกแต่งด้วยการพ่นเคลือบสารยึดติดตามด้วยอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ (Two Steps Spraying Method) บนผ้าฝ้าย

3.4.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างผ้าฝ้าย

ตัดผ้าฝ้าย ขนาด 40×40 ซม. จำนวน 24 ผืน เขียนหมายเลข 25-48 แล้วนำมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ให้เย็นนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งละเอียด บันทึกผลการทดลอง ทำเช่นนี้จนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

3.4.2 วิธีเตรียมสารละลายสารยึดติดพอลิยูรีเทน

ซึ่งสารยึดติดพอลิยูรีเทน ปริมาณ 60 กรัม แล้วผสมน้ำ 540 กรัม

3.4.3 วิธีเตรียมสารละลายอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ความเข้มข้น 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0%

สารละลายอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ความเข้มข้น 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% เตรียมด้วยวิธีการชั่งอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ปริมาณ 3, 6, 9 และ 12 กรัมละลายในน้ำ 597, 594, 591, 588 กรัม (ตามลำดับ)

3.4.4 วิธีพ่นเคลือบสารละลายสารยึดติดพอลิยูรีเทน

นำสารละลายสารยึดติดพอลิยูรีเทนจำนวน 25 กรัมมาพ่นด้วยกาพ่นสี (ตามกระบวนการ 3.3.3) โดยพ่นจากซ้ายไปขวา บริเวณด้านบนไล่ลงมาข้างล่าง จนทั่วทั้งผืน ด้านหน้า

สำหรับด้านหลัง นำสารละลายจำนวน 25 กรัมมาพ่นด้วยกาพ่นสี (ตามกระบวนการ 3.3.3) โดยพ่นจากซ้ายไปขวา บริเวณด้านบนไล่ลงมาข้างล่าง จนทั่วทั้งผืน

เมื่อพ่นเคลือบเสร็จ นำผ้าฝ้าย ที่เปียกมาชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งละเอียด บันทึกผลการทดลอง

3.4.5 วิธีการเตรียมสารละลายอนุภาค- ไมโคร/นาโนซิลค์

สารละลายอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ความเข้มข้น 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% เตรียมด้วยวิธีการชั่งอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ปริมาณ 3, 6, 9 และ 12 กรัมละลายในน้ำ 597, 594, 591, 588 กรัม (ตามลำดับ)

3.4.6 วิธีพ่นเคลือบสารละลายอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์

นำสารละลายสารละลายอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์จำนวน 25 กรัมมาพ่นด้วยกาพ่นสี ระยะห่าง 30 ซม. โดยมีแท่นยึดผ้าฝ้าย โดยทำให้มุมในการพ่น 50 องศา พ่นจากซ้ายไปขวา บริเวณด้านบนไล่ลงมาข้างล่าง จนทั่วทั้งผืน ด้านหน้า

สำหรับด้านหลัง นำสารละลายจำนวน 25 กรัมมาพ่นด้วยกาพ่นสี ระยะห่าง 30 ซม. โดยมีแท่นยึดผ้าฝ้าย โดยทำให้มุมในการพ่น 50 องศา พ่นจากซ้ายไปขวา บริเวณด้านบนไล่ลงมาข้างล่าง จนทั่วทั้งผืน

เมื่อพ่นเคลือบเสร็จ นำผ้าฝ้าย ที่เปียกมาชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งละเอียด บันทึกผลการทดลอง

3.4.7 กระบวนการอบแห้ง/ทำปฏิกิริยาร่างแห

นำผ้าฝ้าย ที่ผ่านการพ่นเคลือบเรียบร้อยแล้ว ตามข้อ 2.3.6 เข้าเครื่องสแต็นเตอร์ อบแห้งและทำปฏิกิริยาร่างแหบนผ้าฝ้าย ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที เมื่อผ่านเครื่องดังกล่าวแล้วนำผ้าฝ้าย ที่ให้เย็นแล้วนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ซึ่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งละเอียด บันทึกผลการทดลอง ทำเช่นนี้จนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง เก็บผ้าฝ้าย รอทดสอบขั้นตอนต่อไป

3.5 กระบวนการทดสอบสมบัติผ้าที่ผ่านกระบวนการตกแต่งแล้ว

3.5.1 การทดสอบการขัดถูแบบแห้งและเปียก (ISO 105-X12:2011) ดำเนินการที่บริษัท อินเตอร์เทค เทสติ้ง เซอร์วิสเชส (ประเทศไทย) จำกัด จ.กรุงเทพฯ ด้วยเครื่องขัดถู COMETECH รุ่น QC-319

3.5.2 การทดสอบหลังการซักล้าง (ISO 3801 : 1977) จำนวน 20 ครั้ง ดำเนินการที่บริษัท อินเตอร์เทค เทสติ้ง เซอร์วิสเชส (ประเทศไทย) จำกัด จ.กรุงเทพฯ ด้วยเครื่อง DURAWASH

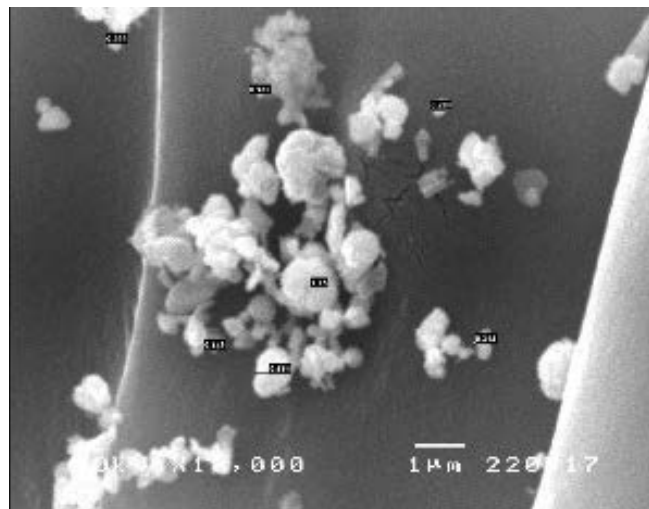
3.5.3 การทดสอบเวลาในการซึมน้ำ (Wicking Test) (AATCC 197:2011) ดำเนินการที่บริษัท อินเตอร์เทค เทสติ้ง เซอร์วิสเชส (ประเทศไทย) จำกัด จ.กรุงเทพฯ

3.5.4 วิธีการตรวจสอบขนาดอนุภาคบนผ้าที่ผ่านกระบวนการตกแต่งแล้วด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM)

การตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.2

4. ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล

4.1 ตรวจสอบขนาดอนุภาคและสัญญาณที่ปรากฏด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM)



รูปที่ 1 ขนาดอนุภาค/สัญญาณของอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์

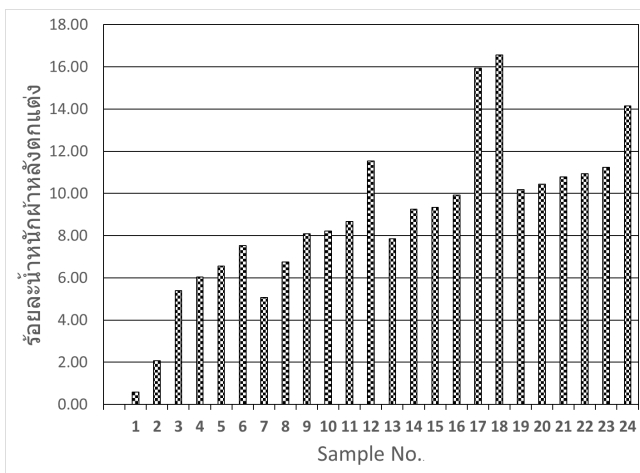
จากรูปภาพที่ 1 พบว่าอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ ที่เตรียมและพ่นเคลือบในงานวิจัยนี้ มีขนาดเล็กที่สุดอยู่ในช่วง 132-314 นาโนเมตร (อนุภาคเดี่ยว) และมีขนาดใหญ่ที่สุดในช่วง 694-1,150 นาโนเมตร (อนุภาคที่จับตัวเป็นก้อน) ซึ่งพิสูจน์ได้ว่าอนุภาคที่นำมาใช้มีขนาดอยู่ระหว่างอนุภาคไมโคร (10^{-6} m) ถึงอนุภาคนาโน (10^{-9} m)

4.2 ความแตกต่างของน้ำหนักผ้าที่ผ่านกระบวนการทั้งสองแบบ

ตารางที่ 1 ร้อยละของน้ำหนักของผ้าหลังอบที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายสารยึดติดพอลิยูรีเทนกับอนุภาค ไมโคร/นาโนซิลค์ (One Step Spraying Method)

ความเข้มข้น	ชิ้นตัวอย่างหมายเลข	% น้ำหนักผ้าหลังอบ (เพิ่มขึ้น)
Silk 0.5%	1	0.58
	2	2.06
	3	5.40
	4	6.03
	5	6.55
	6	7.53

Silk 1.0%	7	5.07
	8	6.74
	9	8.09
	10	8.22
	11	8.67
	12	11.54
Silk 1.5%	13	7.84
	14	9.26
	15	9.33
	16	9.91
	17	15.93
	18	16.57
Silk 2.0%	19	10.18
	20	10.44
	21	10.78
	22	10.93
	23	11.24
	24	14.14



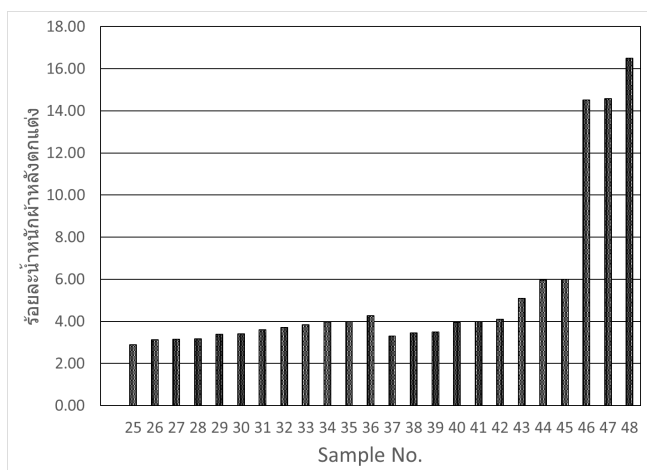
รูปที่ 2 กราฟแสดงร้อยละของน้ำหนักของผ้าที่ผ่านการเคลือบ One Step Spraying Method

จากรูปที่ 2 พบว่าร้อยละของน้ำหนักผ้าหลังการตกแต่ง ขึ้นตัวอย่างที่ 1 2 7 8 12 17 18 และ 24 (ตามที่เรียงในตารางที่ 1) มีค่าที่แตกต่างมากกว่าขึ้นตัวอย่างอื่นๆ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการพ่นเคลือบมีข้อจำกัดในด้านสารเคมีที่ขึ้นไปติดบนผ้า ขึ้นตัวอย่าง

ที่กล่าวข้างต้น จะไม่ถูกเลือกนำมาใช้ในการทดสอบในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากปริมาณสารเคมีน้อยเกินไปหรือมากเกินไป เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดของข้อมูลจากการทดสอบในการทดลองถัดไป

ตารางที่ 2 ร้อยละของน้ำหนักของผ้าหลังอบที่ผ่านการพ่นเคลือบสารยึดติดตามด้วยอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ (Two Steps Spraying Method)

ความเข้มข้น	ขึ้นตัวอย่างหมายเลข	% น้ำหนักผ้าหลังอบ(เพิ่มขึ้น)
Silk 0.5%	25	2.89
	26	3.13
	27	3.15
	28	3.17
	29	3.38
	30	3.41
Silk 1.0%	31	3.60
	32	3.71
	33	3.83
	34	3.96
	35	3.99
	36	4.28
Silk 1.5%	37	3.31
	38	3.44
	39	3.50
	40	3.95
	41	3.98
	42	4.10
Silk 2.0%	43	5.08
	44	5.96
	45	5.99
	46	14.51
	47	14.57
	48	16.50

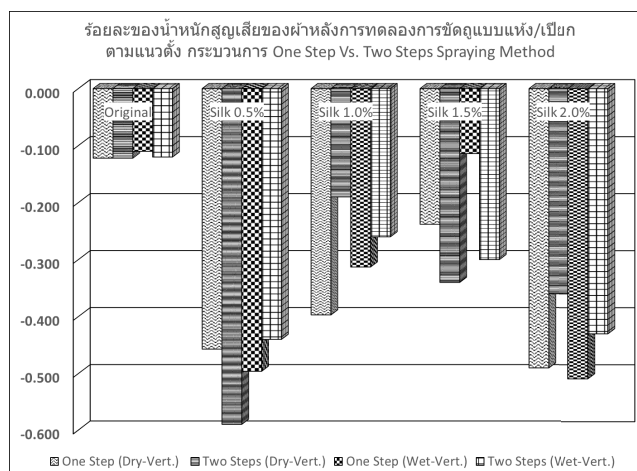


รูปที่ 3 กราฟแสดงร้อยละของน้ำหนักของผ้าที่ผ่านการเคลือบ Two Step Spraying Method

จากรูปที่ 3 พบว่าร้อยละของน้ำหนักผ้าหลังการตกแต่ง ขึ้นตัวอย่างที่ 25 36 42 และ 46-48 (ตามที่แรงเงาในตารางที่ 2) มีค่าที่แตกต่างมากกว่าขึ้นตัวอย่างอื่นๆ (คล้ายรูปที่ 2) ดังนั้นขึ้นตัวอย่างที่กล่าวข้างต้น จะไม่ถูกเลือกนำมาใช้ในการทดสอบในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากปริมาณสารเคมีน้อยเกินไป หรือมากเกินไป เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดของข้อมูลจากการทดสอบในการทดลองถัดไป

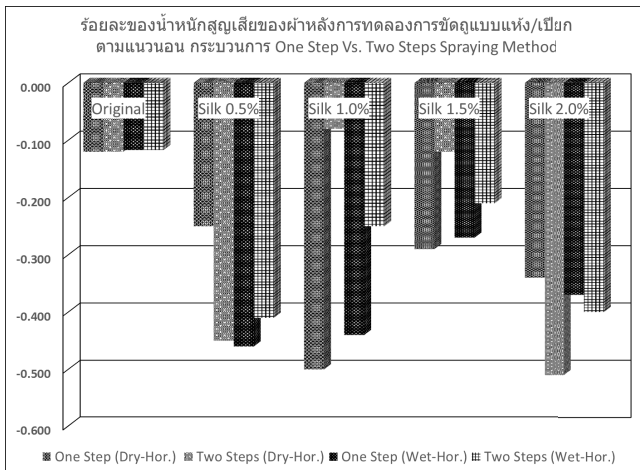
อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างร้อยละของน้ำหนักของผ้าจากกระบวนการ One Step Process อยู่ในช่วงเฉลี่ยประมาณ +10% และร้อยละของน้ำหนักของผ้าจากกระบวนการ Two Steps Process อยู่ในช่วงเฉลี่ยประมาณ +4% ทั้งนี้อาจเกิดจากการพันเคลือบ 2 ครั้ง ทำให้สูญเสียสารเคมีไปในอากาศมากกว่าการพันเคลือบครั้งเดียว

4.3 ทดสอบการขัดถูแบบแห้งและเปียก (ISO 105-X12: 2011)



รูปที่ 4 กราฟแสดงร้อยละของน้ำหนักสูญเสียของผ้าหลังการทดลองการขัดถูแบบแห้ง/เปียก ตามแนวตั้ง กรรมวิธีการ One Step เปรียบเทียบกับ Two Steps Spraying Method

จากรูปที่ 4 พิสูจน์ได้ว่าร้อยละของน้ำหนักสูญเสียของผ้าหลังการทดลองการขัดถูแบบแห้ง และเปียก ตามแนวตั้ง ทั้ง One Step Spraying Method และ Two Steps Spraying Method พบว่ามีค่าร้อยละน้ำหนักสูญเสียอยู่ในช่วงต่ำสุด -0.114% ถึงสูงสุด -0.590% โดยการขัดถูแบบแห้ง/เปียก ตามแนวตั้งมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่ากระบวนการทั้งสองกระบวนการไม่มีความแตกต่างกัน และสามารถสรุปได้ว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งทั้งสองกระบวนการมีความคงทนต่อการขัดถูดี เนื่องจากร้อยละน้ำหนักสูญเสียหลังการขัดถูน้อยมาก

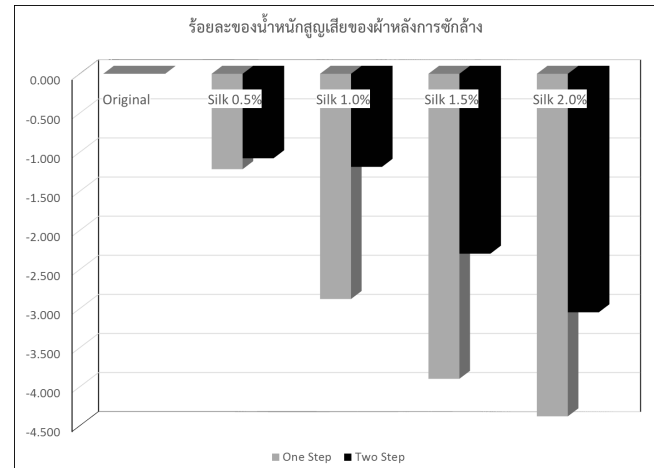


รูปที่ 5 กราฟแสดงร้อยละของน้ำที่ดูดซับของผ้าหลังการทดลองการขัดถูแบบแห้ง/เปียก ตามแนวนอน กระบวนการ One Step Vs. Two Steps Spraying Method

จากรูปที่ 5 ร้อยละของน้ำที่ดูดซับของผ้าหลังการทดลองการขัดถูแบบแห้ง และเปียก ตามแนวนอน ทั้ง One Step Spraying Method และ Two Steps Spraying Method พบว่ามีค่าร้อยละน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่วงต่ำสุด -0.120% ถึงสูงสุด -0.510% โดยการขัดถูแบบแห้ง/เปียก ตามแนวนอนมีค่าใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4 และ 5 พบว่ามีค่าร้อยละของน้ำที่ดูดซับน้อยมาก แสดงว่ากระบวนการทั้งสองกระบวนการให้ผลความคงทนต่อการขัดถู (ในสภาวะแห้งและเปียก ตามแนวนอนและแนวตั้ง) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สามารถสรุปได้ว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งทั้งสองกระบวนการมีความคงทนต่อการขัดถูดีมาก เนื่องจากร้อยละน้ำที่ดูดซับหลังการขัดถูน้อยมาก

4.4 ผลการทดสอบหลังการซักล้าง (ISO 3801: 1977)



รูปที่ 6 กราฟแสดงร้อยละของน้ำที่ดูดซับของผ้าหลังการซักล้าง (20 ครั้ง)

จากรูปที่ 6 พบว่าร้อยละน้ำที่ดูดซับของผ้าหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านกระบวนการ One Step Spraying Method จะมีค่าการดูดซับน้ำหนัก (สารเคลือบ) มากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารยึดติดผสมกับอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ ทำให้การยึดติดไม่คงทนต่อการซักล้าง เมื่อเปรียบเทียบกับ Two Steps Spraying Method (ที่ดูดซับน้ำหนักน้อยกว่า) เพราะสารยึดติดถูกพ่นเคลือบบนผืนผ้าก่อน จึงยึดเกาะแน่นกับผิวหน้าผ้า เมื่อพ่นอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ทับอีกครั้ง จึงทำให้สามารถยึดเกาะบนผิวหน้าผ้าอีกชั้นได้ดีกว่า

อย่างไรก็ตามค่าร้อยละน้ำที่ดูดซับหลังการซักล้าง 20 ครั้ง ทั้งสองกระบวนการ มีร้อยละน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่วงต่ำสุด -1.08% ถึงสูงสุด -4.38% (น้อย) จัดว่าสารยึดติดและอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ สามารถยึดเกาะบนผิวหน้าผ้าดีมาก (น้ำหนักของสารเคมีที่หลุดออกไปน้อยมาก)

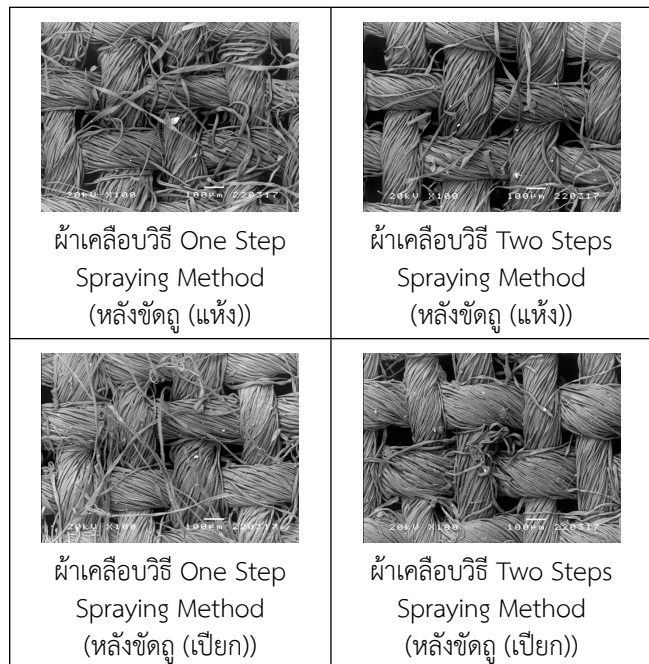
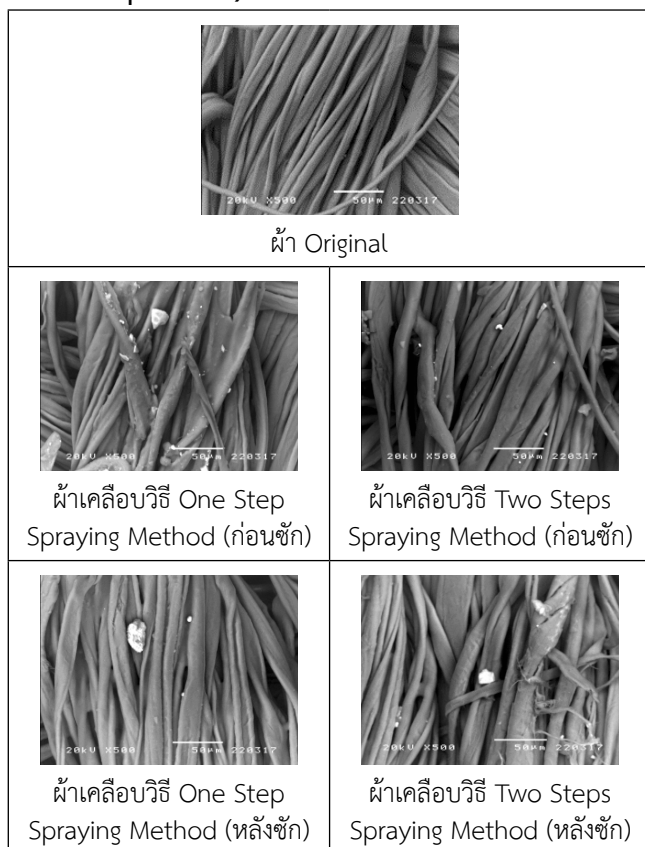
4.5 ผลการทดสอบเวลาในการซึมน้ำ (Wicking Test) (AATCC 197:2011) (หน่วย: วินาที)

ตารางที่ 3 เวลาในการซึมน้ำ (วินาที) ของผ้า Original ผ้าผ่านกระบวนการ One Step Spraying Method และ Two Steps Spraying Method (0.5% Silk)

Samples	Original	One Step Spraying Method	Two Steps Spraying Method
Wicking Time	6 Sec.	5 Sec.	5 Sec.

จากตารางที่ 3 พบว่าผ้าฝ้ายก่อนเคลือบมีเวลาในการซึมน้ำเร็วกว่าเล็กน้อย ผ้าที่ผ่านกระบวนการทั้งสองกระบวนการมีเวลาในการซึมน้ำเท่ากัน แต่มีเวลาต่างจากผ้าก่อนเคลือบ (Original) เพียง 1 วินาที ถือว่ามีผลน้อยมากสำหรับในช่วงการนำไปใช้งานที่ต้องการเวลาในการซึมน้ำที่รวดเร็ว เมื่อนำไปใช้งานผู้สวมใส่ไม่สามารถแยกความแตกต่างเวลาในการซึมน้ำได้ จึงถือว่าไม่มีผลเสียกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่ง

4.6 ตรวจสอบขนาดอนุภาคและสัณฐานที่ปรากฏด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM)



หมายเหตุ ผ้าเคลือบวิธี One และ Two Steps Spraying Method ณ ความเข้มข้นของอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ 0.5%

รูปที่ 7 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

จากรูปที่ 7 พบว่าผ้า Original (ผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง) ผ้าผ่านการตกแต่งหลังการซัก และผ้าผ่านการตกแต่งหลังการซัก (20 ครั้ง) พบว่าผ้า Original ไม่มีอนุภาคเล็กๆ ปรากฏอยู่บนผืนผ้า ผ้าผ่านการตกแต่งหลังการซัก และหลังการซัก (20 ครั้ง) ปรากฏว่ามีอนุภาคเล็กๆ สีขาว ของอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์จำนวนเล็กน้อยแทรกหรือลอยอยู่บนผืนผ้า แสดงให้เห็นว่ากระบวนการตกแต่งในงานวิจัยนี้มีความคงทนต่อการซัก และหลังการซัก (20 ครั้ง) ยังคงมีอนุภาคเล็กๆ ปรากฏอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในรูปที่ 4 5 และ 6 (ร้อยละของน้ำหนักสูญเสีย้น้อยมาก)

5. บทสรุป

จากการทำวิจัยในครั้งนี้ สามารถสรุปว่า

1. กระบวนการตกแต่งด้วยการพ่นเคลือบด้วยกาพ่นสี เป็นกระบวนการตกแต่งแบบใหม่ สำหรับกระบวนการตกแต่งสิ่งทอ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีข้อจำกัดในด้านสารเคมีที่ขึ้นไปติดบนผ้า เนื่องจากการพ่นสเปรย์จากกาพ่นสีนั้น จะมีบางส่วนที่ฟุ้งกระจายไปในอากาศ

ถึงแม้จะควบคุมมุมการพ่น ทิศทางการพ่น ใช้กรอบซึ่งผ้าให้ตึง และใช้การชั่งน้ำหนักผ้าหลังพ่น เพื่อลดความผิดพลาดก็ตาม หากต้องการลดการฟุ้งกระจาย และต้องการตกแต่งให้สารเคมีสม่ำเสมอและมากกว่างานวิจัยนี้ อาจจะต้องพิจารณากระบวนการตกแต่งแบบจุ่ม-บีบอัด-ทำแห้ง หรือกระบวนการตกแต่งอื่นๆ อาทิ แบบโฟม แบบลูกกลิ้งเคลือบ ที่น่าจะทำให้เกิดการเคลือบผิวหน้าผ้าอย่างสม่ำเสมอ แต่อาจมีข้อเสีย ทำให้ผ้ามีความหนามากขึ้น และผิวสัมผัสหยาบกระด้างมากขึ้นเช่นกัน

2. ร้อยละน้ำหนักสูญเสียของผ้าหลังการชักล้าง (20 ครั้ง) ของผ้าที่ผ่านกระบวนการ One Step Spraying Method จะมีค่าร้อยละน้ำหนักสูญเสียมากกว่ากระบวนการ Two Steps Spraying Method ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารยึดติดผสมกับอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ ทำให้การยึดติดไม่คงทนต่อการชักล้าง เมื่อเปรียบเทียบกับ Two Steps Spraying Method ที่มีร้อยละน้ำหนักสูญเสียน้อยกว่า เพราะสารยึดติดถูกพ่นเคลือบบนผืนผ้าก่อน มีการยึดติดที่ดีกว่า จึงพ่นอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ตามอีกครั้ง

3. ผ้าที่ผ่านการตกแต่งทั้งสองกระบวนการ มีเวลาในการซึมน้ำเท่ากัน แต่มีเวลาในการซึมน้ำน้อยกว่าผ้าก่อนเคลือบ (Original) เพียง 1 วินาที ซึ่งผู้สวมใส่ไม่สามารถสังเกตเห็นในการใช้งานปกติ ถือว่ามีผลน้อยมากสำหรับในช่วงการนำไปใช้งานที่ต้องการเวลาในการซึมน้ำที่รวดเร็วสำหรับผ้าในงานสปา

4. เมื่อถ่ายภาพจากกล้อง SEM พบว่าผ้าที่ผ่านกระบวนการทั้งสองกระบวนการ หลังการขัดถู (แห้ง-เปียก) และหลังการชัก (20 ครั้ง) พบว่าอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ยังคงหลงเหลืออยู่บนผ้าที่ตกแต่ง สอดคล้องกับร้อยละน้ำหนักสูญเสียของผ้าหลังการทดลองการขัดถู และหลังการทดลองการชักล้าง ที่มีค่าร้อยละน้ำหนักสูญเสียน้อยมาก

5. สรุปว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่ง Two Steps Spraying Method อาจจะถูกเลือกใช้มากกว่า One Step Spraying Method เนื่องจากสารยึดติดถูกพ่นเคลือบบนผืนผ้าเต็มพื้นที่ของผิวหน้าผ้า จึงน่าจะมีการยึดติดที่ดีกว่า การผสมสารละลายสารยึดติดที่ผสมอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ครั้งเดียว

6. งานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ตกแต่งผ้าสำหรับงานสปา แต่ในอนาคต ควรเพิ่มปริมาณของอนุภาคไมโคร/นาโนซิลค์ เพื่อให้สามารถเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนในภาพถ่ายจากกล้อง SEM

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้สนับสนุนทุนวิจัยโดยสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ประจำปีงบประมาณ 2550 (สำหรับทุนวิจัยขั้นต้นการศึกษากระบวนการผลิตอนุภาคนาโนเซรีซินและไฟโบรอิน) และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับเครื่องมือ อุปกรณ์ครุภัณฑ์ต่างๆ ที่นำมาศึกษาค้นคว้าวิจัยต่อยอดกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ตั้งแต่ปี 2551 จนถึงปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sonthisombat, A. 1993, M.Sc.Dissertation, The University of Leeds, UK.
- [2] Sonthisombat, A. 1997, Ph.D.Thesis, The University of Leeds, UK.
- [3] อภิชาติ สนธิสมบัติ สมนึก สังข์หนู สิงห์โตสกุล เขมฤทัย ปิยะพงษ์ อัครศุภฤกษ์ ชินพิทยพรหมหิตาทร โครงการวิจัย “การผลิตอนุภาคนาโนเซรีซิน และ ไฟโบรอิน เพื่อนำไปใช้ในการตกแต่งบนเสื้อผ้ากีฬา” สนับสนุนทุนวิจัยโดยสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ประจำปีงบประมาณ 2550 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี หน้า 1-278.
- [4] พวงผกา คุ่มสีไฉ และ ยิ่งมณี ตระกูลพั้ว การประชุมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6 26 มิถุนายน 2558 มหาวิทยาลัยหาดใหญ่ หน้า 1524-1534.
- [5] อภิชาติ สนธิสมบัติ, 6 มกราคม 2558, กรรมวิธีการผลิตผงไหม (ไฟโบรอินและเซรีซิน) เพื่อใช้ในงานด้านสิ่งทอ การแพทย์ และเครื่องสำอาง, ประเทศไทย เลขที่อนุสิทธิบัตร 9418.

- [6] Robson, R.M., **Silk; Composition, Structure and Properties**, in **Handbook of Fiber Science and Technology**, Vol. IV, Ed. By Lewin, M., and Pearce, E.M., Marcel Dekker Inc., New York, 1985, pp 647-700.
- [7] อภิชาติ สนธิสมบัติ, **กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ**, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ปทุมธานี, 2545 หน้า 1-327.
- [8] **ความหมายของการตกแต่งเชิงกล และเชิงเคมี** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.ttcexpert.com/lesson4.html> (29 มีนาคม 2560).
- [9] ศรีณญา พันทุกษ์, นราวิชญ์ ทองแบน และ จุฑามาศ ฉายปรีชา, 2558. **การศึกษาเปรียบเทียบสารช่วยยิดเกาะไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งสดพันธุ์ขาวเคลือบลงบนเสื้อผ้ากีฬาเส้นใยพอลิเอสเตอร์ 100 % เพื่อต้านทานแบคทีเรีย**. ปรินญาณพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [10] **Spray Gun** [Online] Available: <http://anestiwata.com/wp-content/uploads/2011/12/manual-catalog.pdf> (13 May 2017).
- [11] **เทคนิคการฟั่นสี** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://goo.gl/uSWrfv> (13 พฤษภาคม 2560).
- [12] **โปรแกรม SemAfore 5.2** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://semafore.software.informer.com/5.2/> (29 มีนาคม 2560).