การออกแบบและสร้างเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง
DESIGN AND CONSTRUCTION OF A WATER REPELLENT NANOCOATING MACHINE FOR TRADITIONAL WOVEN FABRICS

ศุทธินี กล่อมแสร์[1*] เรือนขวัญ หรุ่นเริงใจ[1] กีรติกร นาคประเสริฐ[1] ศรัณยู อินคำ[1] อัครพล ทับทิมหิน[1]
[1]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

Sutthinee Klomsae[1*] Rueankhwan Roonreangjai[1] Keerateekorn Nachpasert[1]
Saranyoo Aincam[1] Akarapon Tabtimhin[1]
[1]Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University
*Corresponding author e-mail: Klomsae.uru@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง และเพื่อทดสอบหาระดับแรงดันน้ำ ความสูงของหัวฉีด และความเร็วรอบในการลำเลียงที่เหมาะสม โดยการออกแบบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นชุดโครงสร้าง ส่วนที่สองเป็นชุดฉีดพ่นสารนาโนประกอบด้วยปั๊มน้ำที่ทำหน้าที่ดูดสารนาโนจากถังเก็บส่งไปยังหัวฉีดแบบใบพัด ส่วนที่สามเป็นระบบส่งกำลังที่มีมอเตอร์ทำหน้าที่ส่งกำลังผ่านสายพานไปยังมู่เลย์ทดแบบอัตราทดหลายชั้น ส่วนที่สี่เป็นชุดลำเลียงผ้าทอพื้นเมืองเข้าสู่กระบวนการฉีดและรีดสารนาโน ผลการทดสอบเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีการทดลอง 3 ซ้ำ จำนวนทั้งสิ้น 36 การทดลอง พบว่า ทุกการทดลองมีหยดน้ำอยู่ครบ 9 ตำแหน่ง และมีมุมสัมผัสอยู่ในช่วง 125 - 129 องศา อยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ ทำให้ผ้าเกิดการสะท้อนน้ำ และเมื่อใช้ Response Optimizer ในการวิเคราะห์ พบว่า แรงดันน้ำที่ 2 บาร์ ความสูงหัวฉีด 30 เซนติเมตร และความเร็วรอบในการลำเลียง 50 รอบต่อนาที เป็นระดับในการปรับตั้งเครื่องที่เหมาะสมที่สุด โดยมีเวลาเฉลี่ย 11.9067 วินาที

คำสำคัญ: เครื่องเคลือบสารนาโน, การเคลือบนาโน, สารสะท้อนน้ำ, มุมสัมผัส, ผ้าทอพื้นเมือง

Abstract

This research focuses on the design and development of nanocoating machine for traditional woven fabrics, enabling them to acquire a water-repellent surface. The study includes comprehensive testing of the machine's functionalities, such as water pressure levels, nozzle height, and rotational speed, to optimize the nanocoating process. The four main components of the nanocoating spray machine encompass the frame structure, the spray system, the power transmission system, and the fabric conveyance system. The spray system incorporates a water pump responsible for drawing the nanocoating material from a reservoir and distributing it through a fan-shaped nozzle. The power transmission system employs a motor-driven multi-layer belt pulley system to transfer power efficiently. Additionally, the fabric conveyance system is designed to smoothly guide the woven fabric through the nanocoating and squeezing process. Through a factorial experimental design, comprising 9 replications and totaling 36 experiments, the research aims to identify the ideal parameters

for the nanocoating spray machine. Each experiment ensures uniform distribution of water droplets in 9 positions and achieves contact angles within the range of 125 - 129 degrees, indicating the desired water repellency on the fabric's surface. The utilization of Response Optimizer for analysis reveals the optimal settings for the nanocoating spray machine at 2 bars of water pressure, 30 centimeters of nozzle height, and 50 rotations per minute of rotational speed. These settings contribute to an average processing time of 11.9067 seconds.

Keywords: Nanocoating Machine, Nanocoating, Water-Repellent, Contact Angles, Traditional Woven Farbric

1. บทนำ

ผ้าทอเป็นสื่อสัญลักษณ์ของคนในแต่ละชุมชน แสดงถึงเชื้อชาติเผ่าพันธุ์และความแตกต่างทางวัฒนธรรม ผ้าทอยังคงเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่แก่จนถึงตาย และมีบทบาทสำคัญทั้งในแง่เศรษฐกิจสังคมและวัฒนธรรม ในอดีตเด็กผู้หญิงทุกคนจะถูกฝึกหัดให้รู้จักการทอผ้าและเย็บปักถักร้อย ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิต ในชุมชนภาคเหนือผ้าทอยังคงบทบาททางสังคมและวัฒนธรรม นอกจากบทบาททางการค้า ยังมีการใช้ผ้าในประเพณีและพิธีกรรมต่าง ๆ ดังนั้น การสืบทอดความคิด ความเชื่อแบบแผนทางสังคมจากคนรุ่นเก่าสู่คนรุ่นใหม่ และพัฒนาศักยภาพภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีอยู่ในการเสริมสร้างคุณภาพชีวิต เพื่อการดำรงอยู่ของวัฒนธรรมควบคู่กับการพัฒนาเป็นอาชีพและรายได้ของคนชุมชน (นุสรา เตียงเกตุ และคณะ, 2550)

การสร้างสมบัติพิเศษให้กับผลิตภัณฑ์ถือเป็นกลยุทธ์การสร้างความแตกต่างที่ช่วยดึงดูดกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มใหม่ และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ (เพ็ญวิสาข์ พิสิฏฐศักดิ์, 2558) ดังนั้น การนำผ้าทอพื้นเมืองมาทำการเคลือบผิวด้วยเทคโนโลยีการตกแต่งสำเร็จทั่วไปในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่น การจุ่มเคลือบ การจุ่มอัด หรือการพ่นเคลือบ จะทำให้ผ้าทอให้มีสมบัติพิเศษตรงตามความต้องการได้ เช่น การตกแต่งผ้าทอด้วยสารสะท้อนน้ำ (Water Repellent) มีคุณสมบัติป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าสู่เนื้อทำให้ผ้าไม่สกปรกจากของเหลวที่หกใส่ สารหน่วงไฟ (Anti Fire) มีคุณสมบัติป้องกันไม่ให้ไฟลามที่เนื้อผ้า และสามารถดับไฟได้อย่างรวดเร็ว ช่วยปกป้องอันตรายจากไฟไหม้ได้ และการใช้สารแต่งกลิ่น (Microbeads) ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมของสมุนไพรไทย เพื่อเพิ่มลักษณะพิเศษในการใช้งาน ความสะดวกในการดูแลรักษาผลิตภัณฑ์ และความน่าสนใจในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ให้กับผู้บริโภค การใช้สารนาโนเพิ่มลักษณะพิเศษให้กับวัสดุที่มีประโยชน์ใช้สอยเพิ่มขึ้น เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านรูปแบบและประโยชน์ใช้สอยให้เหมาะสมกับภาวะปัจจุบัน และเป็นการพัฒนางานด้านผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่นำคุณค่าความงามจากภูมิปัญญาพื้นถิ่น มาประยุกต์ให้มีความสะดวกในการใช้งานได้จริงในปัจจุบัน (ใจภักดิ์ บุรพเจตนา, 2559)

จากการศึกษาวิธีการตกแต่งผ้าด้วยสารนาโน จึงมีแนวคิดในการออกแบบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง โดยผสมผสานวิธีการพ่นเคลือบร่วมกับการอัดรีด เพื่อลดข้อจำกัดของขนาดและรูปร่างของวัสดุ และการใช้สารเคลือบนาโนสะท้อนน้ำเป็นจำนวนมากในการจุ่มเคลือบ (รัชนีวรรณ ศิริ, 2561) และลดปัญหาเรื่องความไม่สม่ำเสมอของการพ่นเคลือบโดยการอัดด้วยลูกกลิ้งคู่ เพื่อบีบอัดให้สารนาโนสะท้อนน้ำกระจายตัวในเนื้อผ้าทออย่างสม่ำเสมอ และช่วยลดปริมาณของเหลวเพื่อให้ผ้าแห้ง (เพ็ญวิสาข์ พิสิฏฐศักดิ์, 2558) และทดสอบหาระดับแรงดันน้ำ ความสูงของหัวฉีด และความเร็วรอบในการลำเลียงที่เหมาะสมในการเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับผ้าทอพื้นเมือง ซึ่งจะช่วยเพิ่มความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นเมืองของจังหวัดอุตรดิตถ์มากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง

2.2 เพื่อทดสอบหาระดับแรงดันน้ำ ความสูงของหัวฉีด และความเร็วรอบในการลำเลียงที่เหมาะสม

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการไว้ 4 ขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ

การศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ มีดังนี้

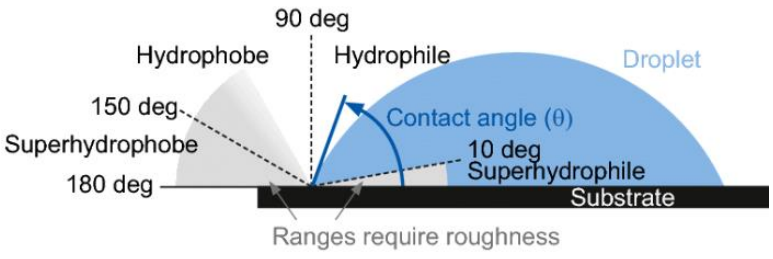
3.1.1 การตกแต่งผ้าสะท้อนน้ำ

ผ้าที่ตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำจะต่อต้านการเปียก หยดน้ำจะต้องเป็นหยดอยู่บนผ้า โดยกลไกการสะท้อนน้ำมาจากความสัมพันธ์ของค่าแรงตึงผิววิกฤตของผ้าและของเหลว โดยมีค่าแรงตึงวิกฤตของผ้ามีค่าน้อยกว่าแรงตึงผิววิกฤตของของเหลว โดยของเหลวจะไม่ซึมเข้าและจะเกิดสมบัติสะท้อนน้ำขึ้น

เมื่อหยดน้ำอยู่บนผิวของของแข็งจะต้องไม่แพร่ หยดน้ำจะต้องคงรูปและแสดงมุม θ ซึ่งเรียกว่า มุมสัมผัส เป็นลักษณะของแรงตึงผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง มุมสัมผัสที่สมดุลจะเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการเปียกของของแข็งโดยของเหลว เรียกว่า ปรากฏการการโค้งของผิวของเหลว (ศูนย์ข้อมูลสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2554) การใช้มุมสัมผัสจำแนกสมบัติการเปียกของน้ำบนพื้นผิว (ในที่นี้จะหมายถึง ผ้า) สามารถออกเป็น 4 ประเภท (Yuan et.al., 2013; Comanns., 2018; สำเริง ลำเจียก, 2561) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 และภาพที่ 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สมบัติการเปียกของน้ำบนพื้นผิว

สมบัติการเปียกของน้ำบนพื้นผิว	มุมสัมผัส (องศา)	ลักษณะการเปียกของน้ำบนพื้นผิว
1. สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด	> 150	ของเหลวรวมกันเป็นหยดทรงกลม
2. สมบัติความไม่ชอบน้ำ	90 – 150	ของเหลวรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม
3. สมบัติความชอบน้ำ	10 – 90	ของเหลวกระจายบนพื้นผิว แต่ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อย
4. สมบัติความชอบน้ำอย่างยิ่งยวด	< 10	ของเหลวกระจายเป็นชั้นบาง ๆ คลุมพื้นผิว



ภาพที่ 1 มุมสัมผัสในการจำแนกสมบัติการเปียก (Comanns, 2018)

3.1.2 หัวฉีดพ่นสาร แบ่งออกเป็น 3 แบบ (วิรัช กองสิน และรังสิวุฒิ กองงาม, 2561) ดังนี้

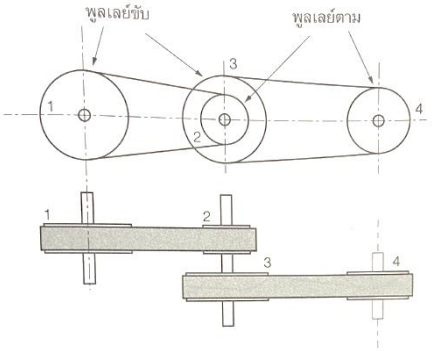
1) หัวฉีดแบบแรงปะทะ ทำด้วยโลหะหรือพลาสติกแข็ง มีรูขนาดเล็กตรงกลาง ของเหลวที่ไหลผ่านรูนี้จะปะทะกับแผ่นกั้นแล้วกระจายตัวออกเป็นละอองสาร

2) หัวฉีดรูปใบพัด ทำด้วยวัตถุชิ้นเดียว มีลักษณะกลมตรงกลางเจาะเป็นรูปวงรีเล็ก ๆ ให้ของเหลวไหลผ่าน ขนาดของเหลวที่ไหลผ่านรูฉีดด้วยแรงดันสูงจะเป็นรูปใบพัด

3) หัวฉีดแบบกรวย ประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญ 2 ชิ้น คือ รูฉีด ทำด้วยโลหะหรือวัสดุแข็งเป็นแผ่นแบน ๆ หรือเป็นแท่งกลมมีรูหรือร่องเอียงให้ของเหลวไหลผ่าน เพื่อเกิดกระแสวนด้านหลังของรูฉีดและผ่านออกไปเป็นรูปกรวย

3.1.3 การคำนวณอัตราทดสายพานหลายชั้นของเครื่องต้นกำลัง

อัตราทดสายพานหลายชั้น ดังภาพที่ 2 เป็นการส่งกำลังที่มีชุดล้อขับและล้อตามสองชุด คือ มีล้อสายพานทั้งหมด 4 ตัว คือ d1, d2, d3 และ d4 ส่วนความเร็วรอบจะมี 4 ตัวเหมือนกัน คือ n1, n2, n3 และ n4 แต่ n2 จะเท่ากับ n3 เพราะอยู่บนเพลาเดียวกัน โดยสาเหตุที่ต้องใช้อัตราทดหลายชั้นเพราะว่าการส่งกำลังมีอัตราทดสูง ถ้าส่งด้วยอัตราทดชั้นเดียว ล้อตามของสายพานจะมีขนาดใหญ่มาก (วีรเดช เกตุมรรค และพงศกร สุรินทร์, 2555)



ภาพที่ 2 อัตราทดสายพานหลายชั้น (บุญธรรม ภัทราจารุกุล, 2562)

สูตรในการหาอัตราทดดังนี้

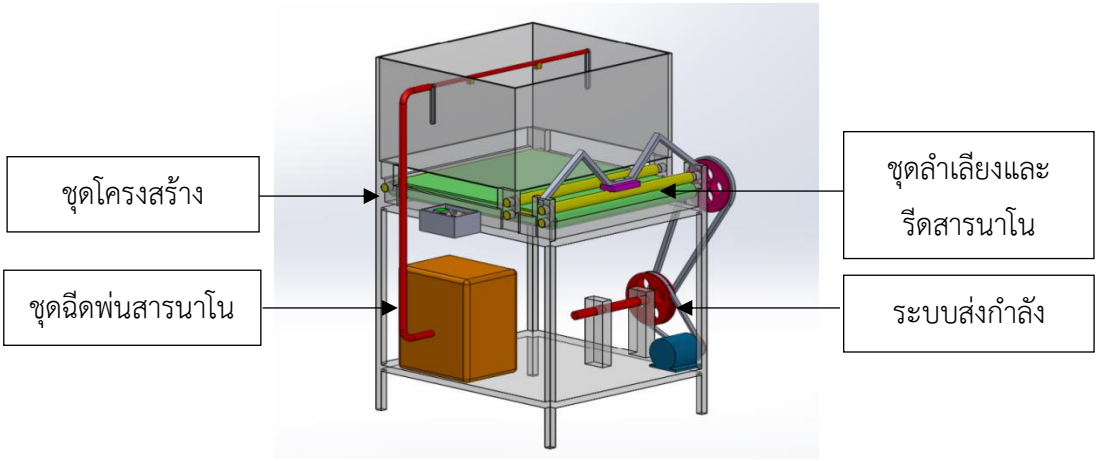
อัตราทดคู่ที่ 1: $i_1 = \frac{n_1}{n_2}$ หรือ $= \frac{d_2}{d_1}$

อัตราทดคู่ที่ 2: $i_2 = \frac{n_3}{n_4}$ หรือ $= \frac{d_4}{d_3}$

อัตราทดรวม $= i_1 \times i_2$

3.2 การออกแบบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง

การออกแบบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ (ภาพที่ 3) ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ชุดโครงสร้าง ชุดฉีดพ่นสารนาโน ชุดระบบส่งกำลัง และชุดลำเลียงและรีดสารนาโน โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3 เครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ

1) การออกแบบชุดโครงสร้างเครื่องเคลือบสารนาโน เป็นฐานสำหรับติดตั้งถาดสแตนเลสสำหรับรองรับสารนาโนที่เหลือจากการฉีดพ่นและการรีด และรองรับการติดตั้งแผ่นอคิลิคใสที่ครอบอยู่ส่วนบนของเครื่องเคลือบสารนาโน เพื่อป้องกันการกระเด็นของสารนาโน โดยมีการเลือกใช้เหล็กกล่องขนาดกว้าง 1.5 นิ้ว สูง 1.5 นิ้ว เพื่อความแข็งแรง

2) การออกแบบชุดฉีดพ่นสารนาโน จะมีการฉีดพ่นเคลือบสารนาโนโดยใช้ปั๊มน้ำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลท์ ปรับแรงดันน้ำได้ตั้งแต่ 0 - 2 บาร์ เพื่อดูดสารนาโนจากถังเก็บขนาด 18 ลิตร ส่งไปยังหัวฉีดแบบใบพัด จำนวน 2 หัว ซึ่งมีระยะห่างระหว่างหัวฉีด 27 เซนติเมตร โดยสามารถปรับระดับความสูงของหัวฉีดที่ระยะ 30 - 40 เซนติเมตร ทั้งนี้สารนาโนที่เหลือจากการฉีดพ่นและการรีดจะไหลไปรวมกันอยู่บนถาดแสตนเลสที่มีความลาดเอียง 45 องศา โดยบริเวณมุมด้านล่างของถาดจะมีการเจาะรูเพื่อต่อสายยางลำเลียงสารนาโนกลับเข้าสู่ถังเก็บ เพื่อนำสารนาโนกลับไปใช้ใหม่

3) การออกแบบชุดระบบส่งกำลัง มีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลท์ ขนาด 300 วัตต์ ความเร็วรอบ 2,750 รอบต่อนาทีเป็นต้นกำลัง ส่งกำลังไปยังมู่เลย์ทดแบบอัตราทดหลายชั้นผ่านสายพาน โดยมู่เล่ย์ตัวที่ 1 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว มู่เล่ย์ตัวที่ 2 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 นิ้ว มู่เล่ย์ตัวที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว และมู่เล่ย์ตัวที่ 4 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 นิ้ว ส่งผลให้มีอัตราทดเท่ากับ 64 : 1

4) การออกแบบชุดลำเลียงและรีดสารนาโน ประกอบด้วยชุดลูกกลิ้งจำนวน 5 ลูก ทำจากเหล็กทรงกระบอกตันครอบด้วยท่อพีวีซีเพื่อป้องกันสนิม ลูกกลิ้งทุกลูกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ยาว 82 เซนติเมตร มีเพลาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ต่ออยู่กับแบริ่ง โดยลูกกลิ้งคู่ที่ 1 จะทำหน้าที่รับกำลังจากมอเตอร์ผ่านชุดส่งกำลัง เพื่อขับลูกกลิ้งตัวล่างให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา และลูกกลิ้งตัวบนหมุนตามเข็มนาฬิกา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียงที่มีหน้ากว้าง 75 เซนติเมตร และมีความยาวรอบสายพาน 200 เซนติเมตร โดยทำงานร่วมกับลูกกลิ้ง 1 ลูก ที่อยู่บริเวณปลายอีกด้านหนึ่งของเครื่องเคลือบสารนาโน ทั้งนี้บริเวณจุดกึ่งกลางของลูกกลิ้งคู่ที่ 1 จะมีหัวกดสำหรับปรับระนาบของลูกกลิ้ง ทำให้ลูกกลิ้งคู่ที่ 1 นอกจากจะทำหน้าที่ลำเลียงผ้าทอพื้นเมืองแล้วยังมีหน้าที่ในการรีดสารนาโนส่วนเกินออกจากผ้าทอพื้นเมือง ขณะที่ลูกกลิ้งคู่ที่ 2 มีลักษณะเหมือนกับลูกกลิ้งคู่ที่ 1 โดยออกแบบให้อยู่ระหว่างลูกกลิ้งคู่ที่ 1 กับหัวฉีดสารนาโนทำหน้าที่ลำเลียงและรีดสารนาโนส่วนเกินออกจากผ้าทอพื้นเมือง

3.3 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัย คือ ระดับแรงดันน้ำมี 3 ระดับ ได้แก่ 0.25 บาร์ 1.2 บาร์และ 2 บาร์ ระยะความสูงของหัวฉีดมี 2 ระดับ ได้แก่ 30 เซนติเมตรและ 40 เซนติเมตร ความเร็วรอบในการลำเลียงมี 2 ระดับ ได้แก่ 25 รอบต่อนาทีและ 50 รอบต่อนาที การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำจึงเป็นการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีจำนวน 12 การทดลอง ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 36 การทดลอง โดยมีลำดับการทดลองแบบสุ่มและซ้ำ

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโนสำหรับผ้าทอพื้นเมือง

ในการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโน มีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1) นำผ้าทอพื้นเมืองขนาดความกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร วางบนสายพานลำเลียง

2) เปิดสวิตช์ควบคุมชุดฉีดสารนาโนและสวิตช์ควบคุมชุดลำเลียง เพื่อทำการฉีดสารนาโนลงบนผ้าทอพื้นเมือง

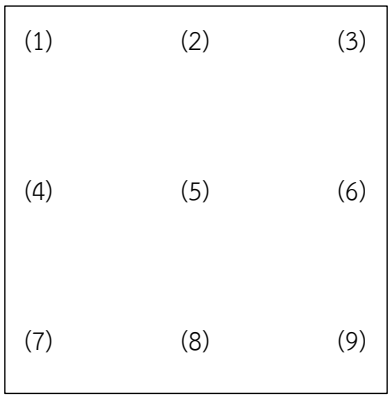
3) จับเวลาและบันทึกผลการทดลอง

4) นำผ้าทอพื้นเมืองมาทำการผึ่งเป็นเวลา 5 นาที

5) นำผ้าทอพื้นเมืองมารีดจำนวน 10 รอบ

6) ผึ่งผ้าทอพื้นเมือง 2 นาที เพื่อให้ผ้าเซตตัว

7) ทดสอบโดยการหยดน้ำลงไปบนผ้าทอใน 9 ตำแหน่ง (ภาพที่ 4) ในบริเวณมุมด้านซ้าย ตรงกลางและมุมด้านขวาของผืนผ้าในบริเวณด้านบน ตรงกลางและด้านล่าง



ภาพที่ 4 การทดสอบหยดน้ำลงบนผ้าทอพื้นเมือง 9 ตำแหน่ง

8) บันทึกผลการทดลองภายหลังจากการหยดน้ำผ่านไป 30 นาที เพื่อประเมินผลการคงอยู่ของหยดน้ำและวัดมุมสัมผัส (Contact Angle) ด้วยโปรแกรม Kinovea

3.5 การวิเคราะห์ผล

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อน แบ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์ผลการสะท้อนน้ำ โดยพิจารณาจากผลการคงอยู่ของหยดน้ำใน 9 ตำแหน่ง ร่วมกับการใช้มุมสัมผัสจำแนกสมบัติการเปียกของน้ำบริสุทธิ์บนพื้นผิวผ้าทอพื้นเมือง และส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (Mean) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากร โดยวิเคราะห์ผ่านความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล และหาระดับของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ แรงดันน้ำ ความสูงของหัวฉีด และความเร็วรอบในการลำเลียงที่เหมาะสมที่สุด

4. ผลการวิจัย

จากการออกแบบและทดสอบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง สามารถแบ่งผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผลการออกแบบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง และผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการออกแบบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง

ผลการออกแบบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง ดังภาพที่ 5 มีส่วนประกอบ 4 ส่วนหลัก คือ ชุดโครงสร้าง ชุดฉีดพ่นสารนาโน ชุดระบบส่งกำลัง และชุดลำเลียงและรีดสารนาโน โดยเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสามารถปรับแรงดันน้ำ 3 ระดับ คือ 0.25 บาร์ 1.2 บาร์ และ 2 บาร์ ปรับความสูงของหัวฉีด 2 ระดับ คือ 30 เซนติเมตรและ 40 เซนติเมตร และปรับความเร็วรอบในการลำเลียง 2 ระดับ คือ 25 รอบต่อนาทีและ 50 รอบต่อนาที การทำงานของเครื่องจะเริ่มจากการปรับตั้งแรงดันน้ำ ระดับความสูงของหัวฉีดและความเร็วรอบในการลำเลียง จากนั้นจะนำผ้าทอพื้นเมืองวางบนสายพานลำเลียงให้เรียบร้อยแล้วจึงเปิดสวิตช์ควบคุมชุดฉีดสารนาโนและสวิตช์ควบคุมชุดลำเลียง เพื่อลำเลียงผ้าทอพื้นเมืองผ่านหัวฉีดพ่นเคลือบสารนาโนและลำเลียงต่อไปยังชุดลูกกลิ้งรีดน้ำจำนวน 2 ชุด ทำให้ได้ผ้าทอพื้นเมืองที่มีความหมาด

ภาพที่ 5 เครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมือง

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ เป็นการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีการทดลองทั้งหมด 36 ทดลอง ซึ่งสามารถแสดงผลการทดลอง ดังตารางที่ 2

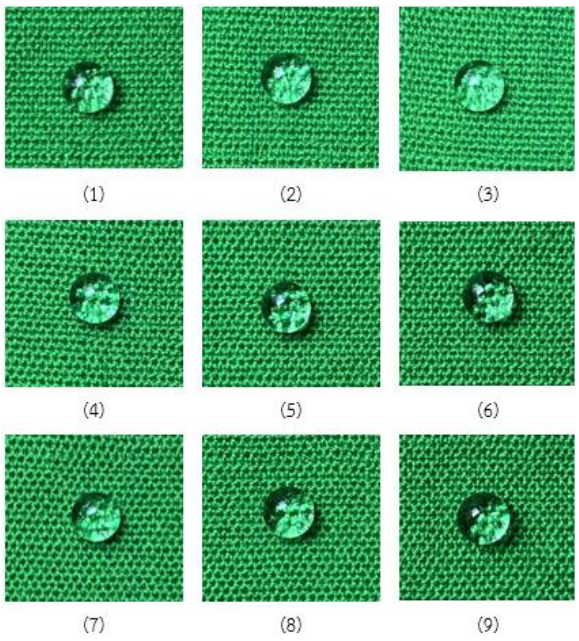
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ

	ความสูง 30 ซม.				ความสูง 40 ซม.			
	ความเร็ว 25 รอบต่อนาที		ความเร็ว 50 รอบต่อนาที		ความเร็ว 25 รอบต่อนาที		ความเร็ว 50 รอบต่อนาที	
แรงดัน (บาร์)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	หยดน้ำคงอยู่ (ตำแหน่ง)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	หยดน้ำคงอยู่ (ตำแหน่ง)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	หยดน้ำคงอยู่ (ตำแหน่ง)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	หยดน้ำคงอยู่ (ตำแหน่ง)
0.25	23.33	9	12.01	9	23.49	9	11.95	9
	23.22	9	11.91	9	23.35	9	11.90	9
	23.43	9	11.83	9	23.24	9	11.88	9
1.2	23.24	9	11.87	9	23.42	9	11.91	9
	23.45	9	11.82	9	23.31	9	11.88	9
	23.37	9	12.05	9	23.23	9	11.98	9
2	23.41	9	11.85	9	23.25	9	11.96	9
	23.34	9	11.98	9	23.40	9	11.84	9
	23.30	9	11.89	9	23.47	9	11.92	9

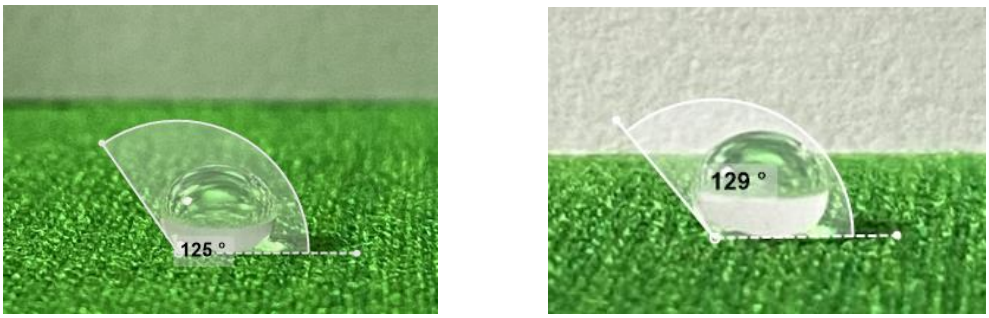
จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ พบว่า การฉีดพ่นเคลือบสารนาโนที่ระดับความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที จะใช้เวลาในการฉีดพ่นเคลือบสารนาโนเฉลี่ย 23.35 วินาที ขณะที่การฉีดพ่นเคลือบสารนาโนที่ระดับความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที จะใช้เวลาในการฉีดพ่นเคลือบสารนาโนเฉลี่ย 11.91 วินาที โดยผลการทดสอบหยดน้ำลงบนผ้าทอพื้นเมืองทั้ง 9 ตำแหน่ง พบว่า หยดน้ำยังคงอยู่ครบทุกการทดลอง

4.2.1 ผลการสะท้อนน้ำ

ภายหลังทำการทดสอบหยดน้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที พบว่า หยดน้ำในทุกการทดลองยังคงอยู่ครบทั้ง 9 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 6 และเมื่อทำการตรวจวัดมุมสัมผัสเพื่อจำแนกสมบัติการเปียกของน้ำบริสุทธิ์บนพื้นผิวผ้าทอพื้นเมือง พบว่า หยดน้ำในทุกการทดลองมีมุมสัมผัส (Contact Angle) กับผ้าทอพื้นเมืองอยู่ในช่วง 125 - 129 องศา ดังภาพที่ 7 อยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โดยหยดน้ำจับตัวเป็นก้อน รูปทรงค่อยข้างกลม บริเวณฐานของหยดน้ำแตะกับผิวผ้าทอเล็กน้อย ทำให้หยดน้ำไม่ซึมเปียกผ้าทอพื้นเมือง



ภาพที่ 6 ตัวอย่างผลการทดสอบหยดน้ำลงบนผ้าทอพื้นเมือง 9 ตำแหน่ง



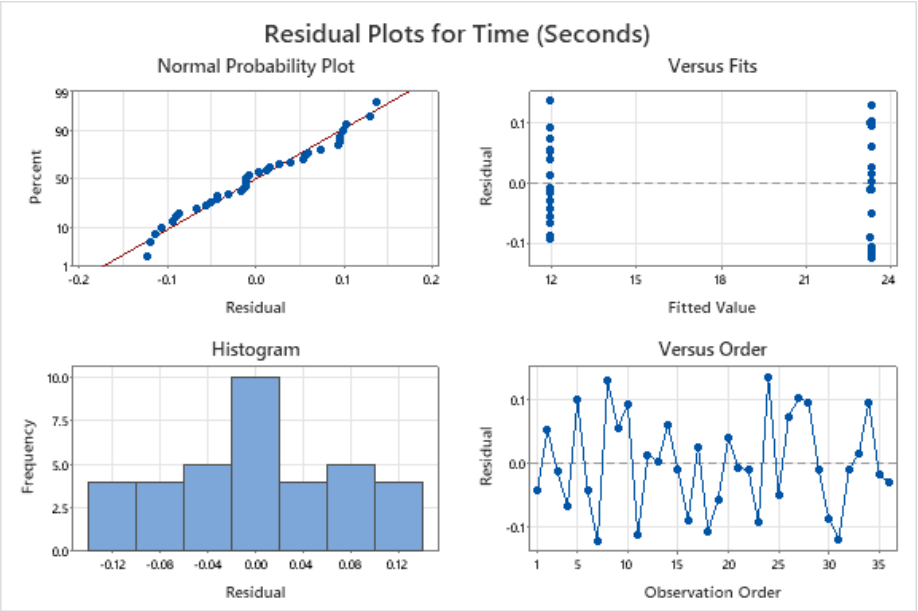
ภาพที่ 7 ตัวอย่างการตรวจสอบมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผ้าทอพื้นเมือง

4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองและหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

การวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และ Residual Plot ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 8 พบว่า ความเร็วรอบในการลำเลียง มีค่า P–Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า มีอิทธิพลต่อเวลาในการเคลือบสารนาโนอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลของแรงดันน้ำและความสูงของหัวฉีดไม่มีอิทธิพลต่อเวลาในการเคลือบอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาการเกิดอันตกิริยาแบบ 2 ปัจจัย และแบบ 3 ปัจจัย พบว่า ไม่มีอิทธิพลต่อกัน ขณะที่การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาด (Residual) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวของค่าความผิดพลาดเป็นการแจกแจงแบบปกติ ความแปรปรวนคงที่ของค่าความผิดพลาดมีการกระจายตัวแบบสุ่ม และข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน จึงสามารถกล่าวได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสมต่อการใช้วิเคราะห์

ตารางที่ 3 ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

แหล่งที่มา	ผลบวกกำลังสอง	องศาเสรี	ค่าเฉลี่ย	ค่าสถิติ (F_0)	P–Value
แรงดันน้ำ (บาร์)	0.000	2	0.000	0.02	0.981
ความสูง (ซม.)	0.000	2	0.000	0.02	0.884
ความเร็ว (รอบต่อนาที)	1,176.72	1	1,176.72	144,579.77	0.000
อันตกิริยา 2 ปัจจัย	0.000	5	0.000	0.08	0.994
อันตกิริยา 3 ปัจจัย	0.000	2	0.000	0.18	0.837
ค่าผิดพลาด	0.20	24	0.01		
ผลรวม	1176.92	35			

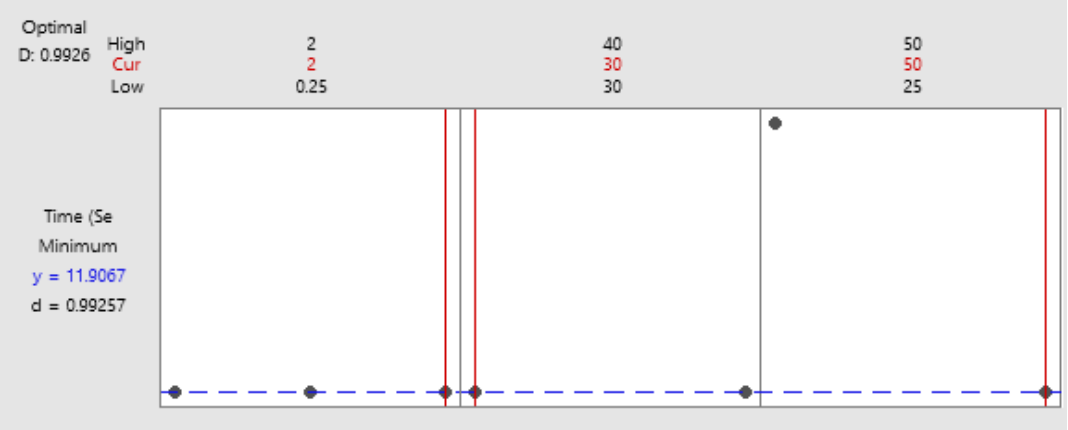


ภาพที่ 8 ผล Residual Plot ของการทดลอง

การวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ Response Optimizer พบว่า แรงดันน้ำที่ 2 บาร์ ความสูงหัวฉีด 30 เซนติเมตร และความเร็วรอบในการลำเลียง 50 รอบต่อนาที เป็นระดับของปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสำหรับผ้าทอพื้นเมืองที่เหมาะสมที่สุด (ภาพที่ 9) โดยมีค่าเวลาในการเคลือบสารนาโนน้อยที่สุด เท่ากับ 11.9067 วินาที ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ของการตอบสนอง

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Time (Seconds)	11.9067	0.0521	(11.7992, 12.0142)	(11.6917, 12.1217)



ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์ระดับการตั้งค่าแต่ละปัจจัย

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ชุดโครงสร้าง ชุดฉีดพ่นสารนาโน ชุดระบบส่งกำลัง และชุดลำเลียงและรีดสารนาโน โดยชุดโครงสร้างเครื่องเคลือบสารนาโนทำจากเหล็กกล่อง เพื่อเป็นฐานสำหรับติดตั้งถาดสแตนเลสสำหรับรองรับสารนาโน และรองรับการติดตั้งแผ่นอคิลิคใสเพื่อป้องกันการกระเด็นของสารนาโน ขณะที่ชุดฉีดพ่นสารนาโนจะประกอบด้วยปั๊มน้ำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลท์ ทำหน้าที่ดูดสารนาโนจากถังเก็บส่งไปยังหัวฉีดแบบใบพัด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวิรัช กองสิน และรังสิวุฒิ ทองงาม (2561) ที่ได้เปรียบเทียบหัวฉีดแต่ละชนิด พบว่าหัวฉีดแบบใบพัดมีความคุ้มค่าในด้านของพลังงานต่อการฉีดสารมากที่สุด ส่วนชุดส่งกำลังจะมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลท์ เป็นต้นกำลัง ส่งกำลังไปยังมู่เลย์ทดแบบอัตราทดหลายชั้นผ่านสายพานทำให้ชุดลำเลียงและรีดสารนาโนทำงาน โดยลูกกลิ้งคู่ที่ 1 จะรับกำลังจากมอเตอร์ผ่านชุดส่งกำลัง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียงโดยทำงานร่วมกับลูกกลิ้ง 1 ลูก ที่อยู่บริเวณปลายอีกด้านหนึ่ง ขณะที่ลูกกลิ้งคู่ที่ 2 จะทำหน้าที่รีดสารนาโนเช่นเดียวกับลูกกลิ้งคู่ที่ 1

ผลการทดสอบเพื่อหาระดับแรงดันน้ำ ความสูงของหัวฉีด และความเร็วรอบในการลำเลียงที่เหมาะสม โดยมีการทดสอบที่ระดับแรงดันน้ำ 3 ระดับ คือ 0.25 บาร์ 1.2 บาร์และ 2 บาร์ ระยะความสูงของหัวฉีดมี 2 ระดับ คือ 30 เซนติเมตรและ 40 เซนติเมตร และความเร็วรอบในการลำเลียงมี 2 ระดับ คือ 25 รอบต่อนาที และ 50 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีการทดลอง 3 ซ้ำ จำนวนทั้งสิ้น 36 การทดลอง พบว่า ทุกการทดลองมีหยดน้ำอยู่ครบทั้ง 9 ตำแหน่ง และมีมุมสัมผัสอยู่ในช่วง 125 – 129 องศา อยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ เกิดการสะท้อนน้ำทำให้ผ้าไม่เปียกน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Yuan et.al. (2013) ที่มีการใช้มุมสัมผัสจำแนกสมบัติการเปียกของน้ำบนพื้นผิว ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การปรับตั้งเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำสามารถปรับตั้งปัจจัยแต่ละตัวได้ทุกระดับ แต่เมื่อนำผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำมาวิเคราะห์ร่วม พบว่า ความเร็วรอบในการลำเลียงเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อเวลาในการฉีดพ่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพิมพ์พรรณ ปรืองาม (2563) ซึ่งได้ทำการทดลองเตรียม

เชือกกล้วยด้วยเครื่องเตรียมกาบกล้วยที่ความเร็วรอบชุดลำเลียงและความเร็วรอบชุดรีดน้ำที่ระดับต่าง ๆ พบว่า ที่ระดับความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดไม่ต่างจากค่าอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อใช้ Response Optimizer ในการวิเคราะห์ พบว่า แรงดันน้ำที่ 2 บาร์ ความสูงหัวฉีด 30 เซนติเมตร และความเร็วรอบในการลำเลียง 50 รอบต่อนาที เป็นระดับในการปรับตั้งเครื่องที่เหมาะสมที่สุด โดยมีเวลาในการเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ 11.9067 วินาที

6. ข้อเสนอแนะ

คุณสมบัติของผ้าสะท้อนน้ำเป็นคุณสมบัติที่ไม่คงทน สามารถเสื่อมลงได้เมื่อมีการใช้งานและการซักผ้า ดังนั้น ควรมีการศึกษาความสามารถในการสะท้อนน้ำของผ้าที่ผ่านการเคลือบสารนาโนด้วยเครื่องเคลือบสารนาโนสะท้อนน้ำ ภายหลังมีการใช้งานและซักผ้าทอพื้นเมือง

7. เอกสารอ้างอิง

ใจภักดิ์ บุรพเจตนา. (2559). การประยุกต์ลวดลายจากอัตลักษณ์ผ้าทอตีนจกแม่แจ่มเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์สิ่งทอเชิงวัฒนธรรมประเภทของตกแต่งบ้าน. *วารสารอิเล็กทรอนิกส์ Veridian มหาวิทยาลัยศิลปากร (มนุษยศาสตร์สังคมศาสตร์และศิลปะ),* 9(3), 1720-1738.

นุสรา เตียงเกตุ, วลัย จักรทิพย์, และบุษบา อินต๊ะพันธ์. (2550). *ห้องเรียนทอผ้า การสืบทอดความรู้เรื่องผ้าพื้นเมืองแม่แจ่ม*. เชียงใหม่: โครงการโรงเรียนทอผ้า.

บุญธรรม ภัทราจารุกุล. (2562). *คณิตศาสตร์เครื่องมือกล.* กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

พิมพ์พรรณ ปรืองาม. (2563). การออกแบบเครื่องเตรียมกาบกล้วยสำหรับทำเชือกกล้วย. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 26(1), 35-43.

เพ็ญวิสาข์ พิสิฏฐศักดิ์. (2558). การใช้กระบวนการโซลเจลเพื่อเพิ่มสมบัติของสิ่งทอ: ผ้าสะท้อนน้ำและน้ำมัน. *Thai Journal of Science and Technology*, *4*(1), 46–63.

รัชนีวรรณ ศิริ. (2561). *การสังเคราะห์พื้นผิวไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดที่มีความใสด้วยเทคนิคการจัดเรียงตัวเองทีละชั้นโดยอาศัยการพ่นสเปร์ย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วิรัช กองสิน และรังสิวุฒิ กองงาม. (2561). การศึกษาหัวฉีดสำหรับรถฉีดสารบำรุงผักคะน้า. ใน *การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5* (น.1267–1273). ตาก: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก.

วีรเดช เกตุมรรค และพงศกร สุรินทร์. (2555). การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะครั่ง. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 2(2), 63–76.

ศูนย์ข้อมูลสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2554). ผ้าสะท้อนน้ำรับหน้าพระพิรุณ. *Thai Textile Outlook by THTI,* 4(1), 44–49.

สำเริง ลำเจียก. (2561). *สมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดของฟิล์มบางพอลิเตตระฟลูออโรเอทีลีนที่เคลือบบนฟิล์มอะลูมิเนียมผิวขรุขระ*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Comanns, P. (2018). Passive water collection with the integument: mechanisms and their biomimetic potential. *Journal of Experimental Biology*, 221, 1–13.

Yuan, Y. and Lee, T. R. (2013). *Contact Angle and Wetting Properties.* New York: Springer Series in Surface Sciences.