



รายงานฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่าบัวแดงโดยการสกัดสีย้อมธรรมชาติและเส้นใย

Value Added Product (Dye Extract and Fiber) from
Red Water Lilly

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ และคณะ
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธันวาคม พ.ศ. 2561

สัญญาเลขที่ RDG61T0045

รายงานฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มมูลค่าบัวแดงโดยการสกัดสี้อมธรรมชาติและเส้นใย
Value Added Product (Dye Extract and Fiber) from
Red Water Lilly

คณะผู้วิจัย		สังกัด
.1	รศ. ดร. กาวี ศรีกุลกิจ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
.2	รศ. ดร. ปิยะพร คามภิรภาพพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
.3	ผศ. ดร. พรทิพย์ รูปถมพงค์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2560

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกอก จังหวัดอุดรธานี จัดเป็นกลุ่ม OTOP ที่มีศักยภาพ สามารถสร้างงานและรายได้ให้กับชุมชน ภายใต้แบรนด์ “อารยา” ผู้ก่อตั้งและบริหารจัดการคนรุ่นใหม่ที่มีความสามารถทางการตลาด โดยเฉพาะการขายออนไลน์ มี Facebook ชื่อ “กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกอก” มีการถ่ายทอดสด ผ่าน Facebook Live ทำให้ผลิตภัณฑ์ของกลุ่มคือ ผลิตภัณฑ์ของกลุ่มฯ เป็นผ้าชนิดทั้งที่ทำจากผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้าฝ้ายผสมไหม ไม่พอขายต้องสั่งจองล่วงหน้า ประกอบกับพัฒนาลายชนิดโดยการประยุกต์ลายชนิดโบราณของชุมชนก่อให้เกิดเป็นลายใหม่จนได้รับรางวัลจากการประกวดมากมาย จุดเด่นของผ้าไหมของกลุ่มฯ นอกเหนือจากลายชนิดที่มีความสวยงามแล้ว ยังมีจุดเด่นในด้านการนำบัวแดงซึ่งเป็นพืชในท้องถิ่น อยู่ในลำห้วยของหมู่บ้านมาเป็นวัตถุดิบในการย้อมเส้นไหม ทำให้ผ้าไหมของกลุ่มฯ มีเรื่องราวที่สามารถสร้างความแตกต่างอย่างมีอัตลักษณ์ ปัญหาสำคัญที่เกิดกับกระบวนการย้อมของกลุ่มฯ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบทั่วไปในการย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนของประเทศ คือ ทำการย้อมซ้ำไม่ได้ ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของเฉดสีให้ได้เหมือนกันทุกครั้ง งานวิจัยนี้จึงต้องการปรับปรุงคุณภาพเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีจากบัวแดงของชุมชนบ้านโนนกอก อุดรธานี ด้วยการพัฒนาสีจากบัวแดงในรูปสีย้อมด้วยวิธีที่ง่ายและกลุ่มฯ สามารถนำไปใช้ได้จริง และการนำเทคโนโลยีขั้นสูงเข้ามาช่วยให้การเตรียมสีย้อมทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) นอกจากนี้ยังทำการศึกษาวิจัยเพื่อที่จะนำกากที่เหลือจากการสกัดสีจากสายบัวมาพัฒนาเป็นเซลล์ูโลส ด้วยกระบวนการหมักเพื่อนำไปประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรที่ไม่ก่อให้เกิดขยะ (zero waste)

บัวแดงอยู่ในตระกูลของบัวสาย (water lily หรือ Nymphaea) เป็นพืชน้ำชนิดหนึ่ง ขยายพันธุ์ได้ง่าย สามารถปลูกได้ตลอดปี ทะเลบัวแดง ที่หนองหานกุมภวาปี จัดเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงสัญลักษณ์ที่สำคัญของจังหวัดอุดรธานีสามารถดึงดูดนักท่องเที่ยวจำนวนมาก ดังคำขวัญประจำจังหวัด “กรมหลวงประจักษ์สร้างเมือง ลือเลื่องแหล่งธรรมะ อารยธรรมบ้านเชียงมรดกโลกห้าพันปี ธานีผ้าหมี่ขิด ธรรมชาติเนรมิตทะเลบัวแดง” ซึ่งในดอกและสายบัวแดงมีสารที่สามารถนำมาย้อมเส้นไหมสำหรับใช้ในการทอชนิดได้ คือ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และแทนนิน (polyphenol) แต่แอนโทไซยานินเป็นสารที่สลายตัวง่าย เสถียรภาพต่ำโดยเฉพาะเสถียรภาพต่อแสงและความร้อน ทำให้สีที่ติดมีความคงทนต่ำ แต่แทนนินเป็นสารที่มีเสถียรภาพสูงต่อแสงและความร้อน เหมาะที่จะนำมาย้อมเส้นไหมด้วยวิธีการย้อมร้อนซึ่งเป็นวิธีการย้อมที่กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกอกใช้ในการย้อม เมื่อนำดอกและสายบัวแดงมาทำการสกัดผงสีด้วยความร้อน สามารถสกัดผงสีได้ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งผงสีที่สกัดได้ประกอบด้วยแทนนินปริมาณสูงโดยเฉพาะผงสีที่สกัดจากดอกบัวจะมีแทนนินสูงกว่าสายบัวมากกว่า 5 เท่า ทำให้สีเส้นไหมที่ย้อมจากดอกบัวมีเฉดน้ำตาลทอง-น้ำตาลเข้ม และเส้นไหมที่ย้อมจากสายบัวมีเฉดสีเงิน-เทาเข้มขึ้นอยู่กับปริมาณสีที่ใช้ ซึ่งทำให้เราสามารถสร้างความหลากหลายของเฉดสีได้เป็นจำนวนมาก

รวมถึงสามารถเพิ่มความหลากหลายของกรดสีจากการเติมสารช่วยติดทั้งจากธรรมชาติ เช่น การหมักโคลนในพื้นที่ และจากการสังเคราะห์โดยสามารถเพิ่มความสว่างให้กับเส้นไหมด้วยการเติมสารที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ เพิ่มความเข้มสีด้วยการใช้ แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$) ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) กรดอะซิติก (CH_3COOH) สารส้ม และคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) หรือต้องการเปลี่ยนเฉดเป็นโทนเทา-ดำ ด้วยการเติมสารที่มีธาตุเหล็ก (เฟอร์รัส) เป็นองค์ประกอบ การหมักโคลนในพื้นที่นั้นจะมีลักษณะเปลี่ยนเฉดเป็นโทนเทา-ดำ เนื่องจากในเนื้อโคลนมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบซึ่งสามารถดูดติดบนเส้นไหมได้ เส้นไหมที่ย้อมจากผงสีบัวแดงทั้งส่วนของดอกและสายบัวมีความความคงทนต่อการซักและการขัดถูดีมาก มีความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับ ≥ 4 นอกจากนี้เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีดอกแดงมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ได้อย่างดีเยี่ยม ในขณะที่ผงสีจากสายบัวไม่สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ แต่สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ได้ดี

วิธีการทำผงสีจากน้ำที่สกัดจากดอกและสายบัวแดงนั้น วิธีการที่นิยมใช้และสามารถผลิตจริงในเชิงพาณิชย์ได้มี 2 วิธี คือ การอบร้อนและการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) วิธีการแรกทำได้ง่าย การลงทุนต่ำ แต่ต้องใช้เวลานาน ทำให้กำลังการผลิตต่ำกว่าวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในการผลิตสีผสมอาหารคือ การอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วยเทคนิคการเอนแคปซูเลชัน (microencapsulation technology) เนื่องจากได้ผลิตผลที่มีคุณภาพดีและต้นทุนไม่สูงมากนัก โดยมอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นหนึ่งในสารที่นิยมใช้เป็นผนังห่อหุ้มสารสำคัญ (สี) พบว่าปัจจัยต่างๆ มีผลต่อลักษณะผงสีจากดอกและสายบัวแดง ดังนี้ การเพิ่มอุณหภูมิเข้าของสารสูงขึ้นส่งผลให้ผงสีมีสีอ่อนลง ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ความชื้นของผงสีลดลง ค่ากิจกรรมของน้ำลดลงและใช้เวลาในการละลายนานขึ้น แต่เมื่อใช้อัตราการป้อนสารสูงขึ้น ผงสีมีสีเข้มขึ้น ปริมาณผลผลิตลดลง ความชื้นของผงสีเพิ่มขึ้น ค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นและใช้เวลาในการละลายสั้นลง นอกจากนี้ การศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อลักษณะและสมบัติของผงสีจากดอกบัวและสายบัวโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้น ผงสีมีสีอ่อนลง ความชื้นของผงสีลดลง ค่ากิจกรรมของน้ำลดลงและความสามารถในการละลายของผงสีลดลง เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีสมบัติที่ไม่แตกต่างกับกาย้อมด้วยผงสีจากการอบ

บัวแดงนั้นนอกจากสามารถให้สีเพื่อใช้ย้อมเส้นไหมสำหรับทอชุดแล้ว กากสายบัวที่เหลือหลังจากการย้อมสีแล้วยังสามารถนำมาหมักด้วยกากน้ำตาลเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อสกัดเอาเซลลูโลสมาระยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (zero waste) และมีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ เช่น เตรียมเป็นฟิล์มเซลลูโลสด้วยเทคนิคการละลายและตกตะกอน ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ แล้ว สารสกัดจะมีลักษณะเป็นเยื่อสีขาวที่ประกอบด้วยเซลลูโลสถึงร้อยละ 53 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบอื่นนอกจากเซลลูโลส คือ เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 31.37 โดยน้ำหนัก ลิกนิน ร้อยละ 0.46 โดยน้ำหนัก และส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 15.18 โดยน้ำหนัก คือ สิ่งสกปรกจำพวกแป้ง ไขมัน และน้ำ

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีบัวแดงด้วยการเตรียมสีให้อยู่ในรูปสีผงเพื่อควบคุมเฉดสีให้คงที่และเพิ่มความสะดวกในการย้อมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของกลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกกอก จังหวัดอุดรธานี นอกจากนี้ยังศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากกากสายบัวเพื่อการประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น บัวแดงสามารถนำมาสกัดผงสีจากดอกและสายบัวด้วยการอบแห้งได้ร้อยละ 51 และร้อยละ 56 โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยแทนนิน และเกลือ (โปแตสเซียมคลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์) โดยดอกบัวมีแทนนินสูงกว่าสายบัวประมาณ 5 เท่า ทำให้เส้นไหมที่ย้อมได้มีเฉดสีน้ำตาล-ทอง ในขณะที่สายบัวให้เฉดสีเทา-น้ำตาล สามารถเพิ่มความหลากหลายของเฉดสีด้วยการปรับปริมาณผงสีที่ใช้ และการเติมสารช่วยติดชนิดต่าง ๆ โคลนจากชุมชนบ้านโนนกกอกจัดเป็นสารช่วยติดตามธรรมชาติ เมื่อวิเคราะห์หองค์ประกอบ พบว่าประกอบด้วยปริมาณของแข็งในน้ำ ไอออนเหล็กกรรม ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียม เท่ากับ 587 0.16 122.3 20.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เส้นไหมที่ผ่านการย้อมแล้วนำมาหมักโคลนจะให้เฉดสีเทา-ดำเพิ่มขึ้น

ภาวะในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเข้าส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณผงสี ความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของผงสีลดลงทำให้ต้องใช้เวลาในการระลายนานขึ้น ผลของอัตราการป้อนสารที่สูงขึ้น ทำให้ปริมาณผงสีที่ผลิตได้ลดลง ความชื้นในผงสีเพิ่มขึ้นแต่ค่ากิจกรรมของน้ำลดลง ทำให้ละลายง่ายขึ้น ผลการใช้มอลโทเดกซ์ทรินช่วยในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่สูงขึ้นมีผลทำให้ผงสีมีความสว่างขึ้น ความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำลดลง ค่ากิจกรรมของน้ำลดลง อย่างไรก็ตาม ผงสีที่เตรียมขึ้นนี้ทั้งการทำแห้งแบบอบและการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย มีสมบัติด้านความคงทนของสีต่อการซักและการขัดถูอยู่ในเกณฑ์ดี-ดีมาก และมีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ ≥ 4 นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมลบ *E. coli* และแกรมบวก *S. aureus*

กากสายบัวที่เหลือจากการสกัดสีประกอบด้วยแอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 52.98 และปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 31.37 เป็นองค์ประกอบหลัก จึงสามารถนำมาเตรียมเป็นฟิล์มเซลลูโลสด้วยเทคนิคการละลายและตกตะกอน นำฟิล์มที่ได้มาทำเป็นแผ่นกระดาษสาด้วยการแช่ในน้ำยาฟอติเมอร์อิมัลชันผสมน้ำมันตะไคร้หอมได้เป็นแผ่นกระดาษสาที่มีสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียสำหรับใส่ในกล่องบรรจุภัณฑ์ผ้าย้อมมือเพื่อป้องกันกลิ่นเหม็นอับในระหว่างการจัดส่งสินค้า

Abstract

This research aims to develop water lily dyeing process using dye powder to control color shades and improve convenience of dyeing for product development of Ban Non Kok weaving, Udon Thani. Moreover, cellulose extraction from lotus stem residue was studied for applied products. Water lily can be extracted, dried, and then ground into powder. The powder yield of water lily flower and stem was 51 and 56% by weight, respectively consisting of tannin and salt (potassium chloride and sodium chloride). Water lily flowers contained about 5 times more tannins than stem. Silk dyeing with water lily flower showed shade of brown to gold, while dyeing with lotus stem gave gray to brown shade. A wide variety of color shades was adjusted by amount of used dye powder and mordants. The mud from Ban Non Kok community is a natural mordant having 587 mg/L of solid content in water, 0.16 mg/L of ferric ions, 122.3 mg/L of calcium and 20.39 mg/L of magnesium. The dyed silk fabric fermented in mud gave a darker shade of gray-black color.

Spray drying condition of the dye powder was observed. Increasing of inlet air temperature increased powder yield and lead to reduction in the moisture content and water activity resulting in poorer solubility. Increased feed rate in spray drying caused a significant decrease in yield with high moisture content. Furthermore, water activity of powder also increased with increased feed rate causing better solubility. High maltodextrin concentration lead to increase of lightness of powder while moisture content and water activity decreased. However, the dyed silk fabric with dye powder from both oven drying and spray drying method showed good to very good color fastness to washing and rubbing and the color fastness to light was equal to or higher than 4. In addition, the dye powder showed antibacterial activity against pathogenic strains of Gram positive (*S. aureus*) and Gram negative (*E. coli*) bacteria.

The extracted lotus stem residue contained 52.98% of α -cellulose and 31.37% of hemicellulose as their main constituents. The cellulose film can be prepared using dissolution/ precipitation technique. The obtained film was soaked in emulsion polymer mixed with citronella oil to make antibacterial cellulose paper. This paper can potentially be used in packaging for hand weaving fabric to control odor in transportation.

สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
สารบัญ		ค
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ญ
บทที่ 1	บทนำ	1
1.1	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
1.5	กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม	3
1.6	แผนงานโครงการ	7
บทที่ 2	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	8
2.1	บัวแดง	9
2.1.1	ประเภทของบัว	9
2.1.2	ประวัติของทะเลบัวแดง	10
2.1.3	ขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยด้วยบัวแดง	11
2.2	การเตรียมสีผงด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)	11
2.2.1	การสกัดสีย้อมธรรมชาติ	12
2.2.2	การทำแห้ง	12
2.2.3	เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน	12
2.2.4	การประยุกต์เทคนิคเอนแคปซูเลชันร่วมกับเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย	14
2.2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.3	ลิกโนเซลลูโลส	19
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	23
3.1	วัสดุและสารเคมี	24
3.1.1	วัสดุ	24
3.1.2	สารเคมี	24
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	25
3.3	วิธีการวิจัย	26

	หัวข้อ	หน้า
	3.3.1 การสกัดน้ำสีจากบัวแดง	26
	3.3.2 การควบคุมมาตรฐานการย้อมสีจากบัวแดง	26
	3.3.3 การศึกษาผลของสารช่วยติด (mordant)	27
	3.3.4 การเตรียมผงสีด้วยเทคนิคการทำผงแห้งแบบพ่นฝอย	28
	3.3.5 การศึกษาอัตราส่วนของมอลโทเดกซ์ทรินต่อดอกบัวและสายบัว	28
	3.3.6 การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากกากสายบัว	28
	3.3.7 การเตรียมเซลลูโลสเจลจากเยื่อเซลลูโลสสายบัว	29
	3.3.8 การเตรียมกระดาษสาผสมน้ำมันตะไคร้หอม	30
3.4	วิธีการทดสอบ	30
	3.4.1 ร้อยละของปริมาณผงสี (%yield)	30
	3.4.2 ปริมาณแทนนิน	30
	3.4.3 ปริมาณแอนโทไซยานิน	32
	3.4.4 สีของผงสี	32
	3.4.5 สันฐานวิทยาของผงสี	32
	3.4.6 ร้อยละความชื้น	33
	3.4.7 ความสามารถในการละลาย	33
	3.4.8 ค่ากิจกรรมของน้ำ	33
	3.4.9 วิธีทดสอบความคงทนของสีย้อม	33
	3.4.10 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเซลลูโลสตามมาตรฐาน TAPPI	36
	3.5 การทดลองและวิเคราะห์โคลนจากชุมชนบ้านโนนกก จังหวัดอุดรธานี	38
บทที่ 4	ผลการทดลอง	40
	4.1 ผลการสกัดน้ำสีจากบัวแดง	41
	4.2 ผลการควบคุมมาตรฐานการย้อมสีจากบัวแดง	42
	4.2.1 ผลการย้อมสีจากบัวแดง	43
	4.2.2 ผลของสารช่วยติด	48
	4.3 ผลการเตรียมผงสีด้วยเทคนิคการทำผงแห้งแบบพ่นฝอย	54
	4.3.1 ศึกษาอุณหภูมิเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเตรียมดอกบัวและสายบัวผง	54
	4.3.2 ผลศึกษาอัตราการป้อนสารของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเตรียมดอกบัวและสายบัวผง	61
	4.3.3 ผลศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อลักษณะของดอกบัวและสายบัวผงที่ได้จากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	66
	4.4 ความคงตัวของผงสี	72
	4.5 ผลการทดสอบความคงทนของสีย้อมจากบัวแดง	74

	หัวข้อ	หน้า
	4.5.1 ความคงทนของสีต่อการซัก	74
	4.5.2 ความคงทนของสีต่อการขัดถู	76
	4.5.3 ความคงทนของสีต่อแสง	77
	4.5.4 สมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	79
	4.6 ผลการวิเคราะห์โคลน ณ จากชุมชนบ้านโนนกกอก จังหวัดอุดรธานี	80
	4.7 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของผงเซลลูโลส	80
	4.8 ลักษณะของเซลลูโลสเจลโดยเทคนิคการละลายและตกตะกอน	82
	4.9 การเตรียมกระดาษสากลั่นน้ำมันตะไคร้หอม	83
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย	85
บรรณานุกรม		88
ภาคผนวก		98
	ก ร้อยละผลผลิต	99
	ข ปริมาณความชื้น	106
	ค ค่ากิจกรรมของน้ำ	113
	ง ค่า CIE L*a*b*	120
	จ ความสามารถในการละลาย	127
	ฉ ราคาและสมบัติของไหม	134
	ช การถ่ายทอดเทคโนโลยี	136
	ซ เอกสารเผยแพร่	142

สารบัญตาราง

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 3		
ตารางที่ 3.1	ค่าการดูดกลืนคลีนแสงของสารละลายกรดแทนนิกความเข้มข้นต่าง ๆ	31
บทที่ 4		
ตารางที่ 4.1	ผลการสกัดผงสีจากดอกและสายบัว	41
ตารางที่ 4.2	ผลการย้อมเส้นไหมด้วยสีจากดอกบัวแดง	44
ตารางที่ 4.3	ผลการย้อมเส้นไหมด้วยสีจากสายบัวแดง	45
ตารางที่ 4.4	ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากดอกบัวแดง	49
ตารางที่ 4.5	ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากสายบัวแดง	51
ตารางที่ 4.6	ผลการหมักโคลนของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง	54
ตารางที่ 4.7	อุณหภูมิขาเข้าต่อร้อยละผลผลิตและความชื้นของดอกบัวและสายบัวผง	55
	ค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวและสายบัวจากการอบและจากเครื่องทำแห้ง	56
ตารางที่ 4.8	แบบพ่นฝอยเมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้าต่างกัน	
	สีของดอกบัวผงจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อใช้อุณหภูมิ	58
ตารางที่ 4.9	ขาเข้าต่างกัน	
	สีของสายบัวผงจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้า	59
ตารางที่ 4.10	เข้าต่างกัน	
	สัณฐานวิทยาของดอกบัวและสายบัวผงจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบ	60
ตารางที่ 4.11	พ่นฝอย เมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้าต่างกัน (กำลังขยาย 1,500 เท่า)	
	การละลายของดอกบัวและสายบัวผงจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่น	61
ตารางที่ 4.12	ฝอย เมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้าต่างกัน	
	ผลของอัตราการป้อนสารต่อร้อยละผลผลิตและความชื้นของดอกบัวและ	63
ตารางที่ 4.13	สายบัวผง	
ตารางที่ 4.14	ค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวและสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน	63
ตารางที่ 4.15	สีของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน	64
ตารางที่ 4.16	สีของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน	64
ตารางที่ 4.17	สัณฐานวิทยาของดอกบัวและสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน	65
	ผลของอัตราการป้อนสารต่อความสามารถในการละลายของดอกบัวและสายบัว	66
ตารางที่ 4.18	ผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน	
ตารางที่ 4.19	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวและสายบัวผง	67
ตารางที่ 4.20	ค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวและสายบัวผงผสมมอลโทเดกซ์ทรีน	68
ตารางที่ 4.21	สีของดอกบัวผง เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่างกัน	69
ตารางที่ 4.22	สีของสายบัวผง เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีน ต่างกัน	69

	หัวข้อ	หน้า
	สัณฐานวิทยาของดอกบัวและสายบัวผงผสมมอลโทเดกซ์ทรีน เมื่อใช้ปริมาณ	71
ตารางที่ 4.23	มอลโทเดกซ์ทรีนต่างกัน	
ตารางที่ 4.24	การละลายของดอกบัวและสายบัวผงเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่างกัน	72
ตารางที่ 4.25	ผลความคงตัวของผงสีจากดอกบัวแดงในการย้อมเส้นไหม	73
ตารางที่ 4.26	ผลความคงตัวของผงสีจากสายบัวแดงในการย้อมเส้นไหม	73
	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก (ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้น	74
ตารางที่ 4.27	ทดสอบ)	
	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักของผงสีจากดอกบัวแดง (ผลการติด	75
ตารางที่ 4.28	เปื้อนบนผ้าฝ้ายดิฟเบอร์)	
	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักของผงสีจากสายบัวแดง (ผลการติด	75
ตารางที่ 4.29	เปื้อนบนผ้าฝ้ายดิฟเบอร์)	
ตารางที่ 4.30	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของผงสีจากดอกบัวแดง	76
ตารางที่ 4.31	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของผงสีจากสายบัวแดง	77
ตารางที่ 4.32	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง	78
	ผลการเปรียบเทียบสมบัติด้านความคงทนของสีย้อมจากบัวแดงกับมาตรฐาน	78
ตารางที่ 4.33	ผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.835/2554)	
ตารางที่ 4.34	การย้อมย้อมแบบที่เรียของตัวอย่าง	79
ตารางที่ 4.35	ผลการวิเคราะห์น้ำจากเนื้อโคลนที่ใช้ในการหมักเส้นไหม	80
ตารางที่ 4.36	สัดส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่พบอยู่ในผงเซลลูโลสจากสายบัว	81
บรรณานุกรม		
	อุณหภูมิกษาเข้าต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10	100
ตารางที่ ก-1	รอบต่อนาที	
	อุณหภูมิกษาเข้าต่อร้อยละผลผลิตของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10	101
ตารางที่ ก-2	รอบต่อนาที	
	อัตราการป้อนสารต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศา	102
ตารางที่ ก-3	เซลเซียส	
	อัตราการป้อนสารต่อร้อยละผลผลิตของสายบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศา	103
ตารางที่ ก-4	เซลเซียส	
	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150	104
ตารางที่ ก-5	องศาเซลเซียส	
	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่อร้อยละผลผลิตของสายบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150	105
ตารางที่ ก-6	องศาเซลเซียส	
ตารางที่ ข-1	ปริมาณความชื้นของดอกบัวผงจากการอบแห้ง	107
	อุณหภูมิกษาเข้าต่อปริมาณความชื้นของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่	107
ตารางที่ ข-2	10 รอบต่อนาที	

	หัวข้อ	หน้า
ตารางที่	ข-3 ปริมาณความชื้นของสายบัวผงจากการอบแห้ง	108
	อุณหภูมิขาเข้าต่อปริมาณความชื้นของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10	108
ตารางที่	ข-4 รอบต่อนาที	
	อัตราการป้อนสารต่อปริมาณความชื้นของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศา	109
ตารางที่	ข-5 เซลเซียส	
	อัตราการป้อนสารต่อปริมาณความชื้นของสายบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศา	110
ตารางที่	ข-6 เซลเซียส	
	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการ	111
ตารางที่	ข-7 ป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	
	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการ	112
ตารางที่	ข-8 ป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	
ตารางที่	ค-1 ค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวผงจากการอบแห้ง	114
	อุณหภูมิขาเข้าต่อค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่	114
ตารางที่	ค-2 10 รอบต่อนาที	
ตารางที่	ค-3 ค่ากิจกรรมของน้ำของสายบัวผงจากการอบแห้ง	115
	อุณหภูมิขาเข้าต่อค่ากิจกรรมของน้ำของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่	115
ตารางที่	ค-4 10 รอบต่อนาที	
	อัตราการป้อนสารต่อค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150	116
ตารางที่	ค-5 องศาเซลเซียส	
	อัตราการป้อนสารต่อค่ากิจกรรมของน้ำของสายบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150	117
ตารางที่	ค-6 องศาเซลเซียส	
	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการ	118
ตารางที่	ค-7 ป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	
	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อค่ากิจกรรมของน้ำของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการ	119
ตารางที่	ค-8 ป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	
ตารางที่	ง-1 ค่า CIE L*a*b* ของดอกบัวผงจากการอบแห้ง	121
	ค่า CIE L*a*b* ของดอกบัวผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อัตรา	121
ตารางที่	ง-2 การป้อนสาร 10 รอบต่อนาที เมื่อใช้อุณหภูมิต่างกัน	
ตารางที่	ง-3 ค่า CIE L*a*b* ของสายบัวผงจากการอบแห้ง	122
	ค่า CIE L*a*b* ของสายบัวผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อัตราการ	122
ตารางที่	ง-4 ป้อนสาร 10 รอบต่อนาที เมื่อใช้อุณหภูมิต่างกัน	
	ค่า CIE L*a*b* ของดอกบัวผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิ	123
ตารางที่	ง-5 150 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน	
	ค่า CIE L*a*b* ของสายบัวผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิ	124
ตารางที่	ง-6 150 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน	

	หัวข้อ	หน้า
	ผลของสัดส่วนมอลโทเดกซ์ทรินต่อค่า CIE L*a*b* ของดอกบัวผงจากเทคนิค การทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อใช้อัตราการป้อนที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ	125
ตารางที่	ง-7 150 องศาเซลเซียส	
	ผลของสัดส่วนมอลโทเดกซ์ทรินต่อค่า CIE L*a*b* ของสายบัวผงจากเทคนิค การทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อใช้อัตราการป้อนที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ	126
ตารางที่	ง-8 150 องศาเซลเซียส	
ตารางที่	จ-1 ความสามารถในการละลายของดอกบัวผงจากการอบแห้ง	128
	อุณหภูมิขาเข้าต่อความสามารถในการละลายของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการ	128
ตารางที่	จ-2 ป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที	
ตารางที่	จ-3 ความสามารถในการละลายของสายบัวผงจากการอบแห้ง	129
	อุณหภูมิขาเข้าต่อความสามารถในการละลายของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการ	129
ตารางที่	จ-4 ป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที	
	อัตราการป้อนสารต่อความสามารถในการละลายของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ	130
ตารางที่	จ-5 150 องศาเซลเซียส	
	อัตราการป้อนสารต่อความสามารถในการละลายของสายบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ	131
ตารางที่	จ-6 150 องศาเซลเซียส	
	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อความสามารถในการละลายของดอกบัวผง เมื่อใช้	132
ตารางที่	จ-7 อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	
	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อความสามารถในการละลายของสายบัวผง เมื่อใช้	133
ตารางที่	จ-8 อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	

สารบัญภาพ

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 1		
ภาพที่	1.1 โครงสร้างทางเคมีของไดโบรโมอินดีโกจากหอยทะเล	4
ภาพที่	1.2 โครงสร้างทางเคมีของอะลิซารินจากรากแมดเดอร์	4
ภาพที่	1.3 โครงสร้างทางเคมีของ carmine จากแมลงโคชินีล	4
ภาพที่	1.4 โครงสร้างทางเคมีของอินดีโกจากใบคราม	4
ภาพที่	1.5 โครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานิน	5
ภาพที่	1.6 ผ้าทอย้อมสีบัวแดงชุมชนบ้านโนนกอก จังหวัดอุดรธานี	6
บทที่ 2		
ภาพที่	2.1 ทะเลบัวแดง	10
ภาพที่	2.2 การเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	14
ภาพที่	2.3 ลิกโนเซลลูโลส	19
บทที่ 3		
ภาพที่	3.1 ดอกบัวและสายบัวแดงตากแห้งจากชุมชนโนนกอก อุดรธานี	24
ภาพที่	3.2 เส้นไหมที่ใช้ในงานวิจัยนี้	24
ภาพที่	3.3 ขั้นตอนการสกัดน้ำสีจากบัวแดง	26
ภาพที่	3.4 เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วย (ก) สีจากดอกบัวแดง (ข) สีจากสายบัวแดง	27
ภาพที่	3.5 การเตรียมเซลลูโลสเจลจากเยื่อเซลลูโลสสายบัว	29
ภาพที่	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (abs) และค่าความเข้มข้นของกรด	31
	3.6 แทนนิก	
ภาพที่	3.7 เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (Crock meter)	35
ภาพที่	จำนวนแบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i> บนผลิตภัณฑ์ผงสีดอกบัว (ก) ที่เวลา 0	36
	3.8 ชั่วโมง เจือจาง 10^{-3} และ (ข) ที่เวลา 24 ชั่วโมง เจือจาง 10^0	
ภาพที่	โคลนจากชุมชนบ้านโนนกอก จังหวัดอุดรธานี (ก) เนื้อโคลน (ข) น้ำที่ได้จาก	39
	3.9 การสกัดโคลน	
บทที่ 4		
ภาพที่	4.1 ลักษณะผงสีที่สกัดจากดอกบัวแดง (ก) ผงสีจากดอกบัว (ข) ผงสีจากสายบัว	41
ภาพที่	4.2 ลักษณะกากของเหลือจากการสกัด (ก) ดอกบัวแดง (ข) สายบัวแดง	42
ภาพที่	ผลวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD แสดงว่าพบธาตุโปแตสเซียมคลอไรด์และ	42
	โซเดียมคลอไรด์ใน (ก) ดอกบัวและ (ข) สายบัว ที่เก็บตัวอย่างจากชุมชนบ้าน	
	4.3 โนกอก จังหวัดอุดรธานี	
ภาพที่	4.4 ค่าความเข้ม (K/S) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง	46
ภาพที่	4.5 ค่าความสว่าง (L^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง	46
ภาพที่	4.6 ค่าความแดง (a^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง	47

	หัวข้อ	หน้า
ภาพที่	4.7 ค่าความเหลือง (b*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง	47
ภาพที่	4.8 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากดอกบัวแดงกลุ่มเพิ่มความสว่าง	50
ภาพที่	4.9 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากดอกบัวแดงกลุ่มเพิ่มความเข้มสี	50
ภาพที่	4.10 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากดอกบัวแดงกลุ่มเปลี่ยนเป็นโทนเทา-ดำ	50
ภาพที่	4.11 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากสายบัวแดงกลุ่มเพิ่มความสว่าง	52
ภาพที่	4.12 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากสายบัวแดงกลุ่มเพิ่มความเข้มสี	52
ภาพที่	4.13 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากสายบัวแดงกลุ่มเปลี่ยนเป็นโทนเทา	53
ภาพที่	4.14 ผลการหมักโคลนของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง	53
ภาพที่	4.15 ลักษณะของดอกบัวผง (ก) การอบ (ข) อุณหภูมิขาเข้าที่ 130°C (ค) อุณหภูมิขาเข้าที่ 150°C (ค) อุณหภูมิขาเข้าที่ 170°C	55
ภาพที่	4.16 ลักษณะของสายบัวผง (ก) การอบ (ข) อุณหภูมิขาเข้าที่ 130°C (ค) อุณหภูมิขาเข้าที่ 150°C (ค) อุณหภูมิขาเข้าที่ 170°C	55
ภาพที่	4.17 สันฐานวิทยาของ (ก) ดอกบัวผง และ (ข) สายบัวผงจากการอบ ที่กำลังขยาย 100 เท่า	59
ภาพที่	4.18 ลักษณะของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน (ก) 5 รอบต่อนาที (ข) 10 รอบต่อนาที (ค) 15 รอบต่อนาที (ง) 20 รอบต่อนาที	62
ภาพที่	4.19 ลักษณะของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน (ก) 5 รอบต่อนาที (ข) 10 รอบต่อนาที (ค) 15 รอบต่อนาที (ง) 20 รอบต่อนาที	62
ภาพที่	4.20 ลักษณะของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราส่วนของสีต่อมอลโทเดกซ์ทรินที่ (ก) 100:0 (ข) 85:15 (ค) 70:30 (ง) 55:45 (จ) 40:60	66
ภาพที่	4.21 ลักษณะของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราส่วนของสีต่อมอลโทเดกซ์ทรินที่ (ก) 100:0 (ข) 85:15 (ค) 70:30 (ง) 55:45 (จ) 40:60	67
ภาพที่	4.22 ลักษณะทางกายภาพของผงเซลลูโลสสายบัว	81
ภาพที่	4.23 เซลลูโลสเจล	82
ภาพที่	4.24 ลักษณะของกระดาษสากลั่นตะไคร้หอม	83
บรรณานุกรม		
ภาพที่	ช-1 วันพฤหัสบดีที่ 26 เมษายน 2561 ณ กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกก	137
ภาพที่	ช-2 ตัวอย่างผงสีที่สกัดจากดอกและสายบัวแดง	137
ภาพที่	ช-3 คู่มือการเตรียมผงสีและการย้อมสีจากผงสีบัวแดง	138
ภาพที่	ช-4 แผนทอนสีในการย้อมไหมจากผงสีสกัดจากดอกและสายบัวแดง	138
ภาพที่	ช-5 หนังสือรับรองแสดงความประสงค์ในการนำผลงานไปใช้ประโยชน์	139

	หัวข้อ	หน้า
	การแสดงผลงานในการประชุมวิชาการ “แผนยุทธศาสตร์สนับสนุนทุนวิจัย และการใช้ประโยชน์จากงานวิจัย เพื่อพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาด ภาพที่ ช-6 ย่อม (SME) ทั้งระบบ”	140
ภาพที่	ช-7 การจัดแสดงผลงานในงาน Thailand Industry Expo 2018	141

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกอก ตั้งอยู่ที่ตำบลหนองนาคำ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี เป็นกลุ่มอาชีพ OTOP ที่มีความเข้มแข็ง ต้องการสร้างงานและรายได้ให้กับชุมชนด้วยการทอผ้าไหมและผ้าฝ้าย โดยนำส่วนประกอบของดอกบัวแดงซึ่งสามารถหาได้ตลอดทั้งปีในลำห้วยของหมู่บ้านมาทำการย้อมเส้นด้ายไหมและเส้นด้ายฝ้าย จากนั้นจึงนำมาทอทั้งการทอด้วยลวดลายโบราณและการทอด้วยลวดลายแบบใหม่ที่มีการผสมผสานลายชนิดดั้งเดิมในท้องถิ่น ทำให้สามารถสร้างชื่อเสียงให้กับกลุ่มจากการได้รับรางวัลจำนวนมากในการเข้าร่วมประกวดในโอกาสต่าง ๆ กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกอกต้องการฟื้นฟูการทอผ้าโบราณให้สามารถเป็นรายได้ให้กับชุมชน สร้างความยั่งยืนและเป็นชุมชนต้นแบบในการนำทรัพยากรธรรมชาติที่มีในชุมชน คือ บัวแดง มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บัวแดงอยู่ในตระกูลของบัวสาย (water lily หรือ Nymphaea) เป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งมีลำต้นใต้ดินเป็นเหง้าใบและดอกเกิดจากตาหรือหน่อที่เจริญขึ้นมาเหนือน้ำด้วยก้านส่งใบ (petiole) ดอกเป็นดอกเดี่ยว มีทั้งชนิดที่บานกลางคืนและบานกลางวัน บางชนิดมีกลิ่นหอม มีสีสันทากหลายแตกต่างกันไป บัวแดงจะมีดอกสีแดง ก้านส่งใบภายในจะมีสีชมพู สารสีชมพูที่พบในดอกบัวแดงคือ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นสารสีละลายน้ำ มีความสามารถในการดูดซับในเส้นใยได้ดี แต่มีเสถียรภาพต่ำ โดยเฉพาะเสถียรภาพต่อแสง นอกจากนี้ ในสายบัวและดอกบัวยังประกอบด้วยแทนนิน (polyphenol) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการช่วยเพิ่มเสถียรภาพของสารสีแอนโทไซยานิน การนำน้ำสกัดสีย้อมบัวแดงมาย้อมเส้นใยโดยเฉพาะเส้นใยเซลลูโลส หรือไหม จึงมีสีสวย มีความคงทนสูง

อุปสรรคของการย้อมผ้าจากดอกบัวแดงของกลุ่มฯ คือ ทำการย้อมซ้ำไม่ได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบในการย้อมสีธรรมชาติโดยทั่วไปที่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของเจดสี ดังนั้น การพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีบัวแดงที่ได้มาตรฐานและการเตรียมสีให้อยู่ในรูปสีผงจึงเป็นแนวทางที่ช่วยควบคุมเจดสีให้คงที่และทำให้การย้อมมีความสะดวก

นอกจากสีย้อมแล้ว สายบัวหลังจากการย้อมสีแล้วยังประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 25-28 เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและมีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ ในโครงการการวิจัยนี้ จะเลือกใช้กระบวนการทางชีวภาพในการสกัดเอาเซลลูโลสบริสุทธิ์ออกจากสายบัว เพื่อให้ได้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์มีสมบัติเชิงกลที่ดี เพื่อการประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ต่อไป เช่น ทำเป็นกระดาษใส่เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ของกลุ่ม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ผ้าทอที่ย้อมด้วยสีย้อมบัวแดงของชุมชนบ้านโนนกอก อุดรธานี
- 2) พัฒนาสีย้อมบัวแดงในรูปสีผง
- 3) พัฒนาเส้นใยเซลลูโลสจากสายบัวและพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษใส่

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

หากรรมวิธีการปรับปรุงการย้อมสีบัวแดงที่สะดวกและมีมาตรฐานของชุมชนบ้านโนนกก อุดรธานี เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอชุมชนที่มีคุณภาพสูง มีเอกลักษณ์ของตัวเอง พัฒนาการผลิตสีผงด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และกรรมวิธีการย้อม สกัดเซลล์ลูโลสคุณภาพสูงจากสายบัวด้วยกรรมวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและทำกระดาษใส่จากเยื่อเซลล์ลูโลสจากสายบัว

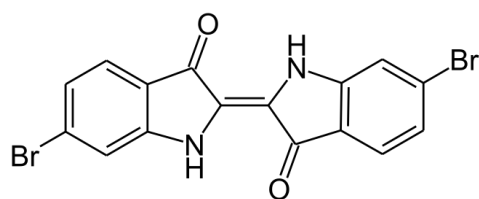
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) ได้กรรมวิธีการย้อมสีย้อมบัวแดงที่ได้มาตรฐาน
- 2) ได้สีย้อมบัวแดงในรูปผงด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- 3) ได้เยื่อเซลล์ลูโลสบริสุทธิ์ที่สามารถนำไปทำกระดาษใส่

1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม

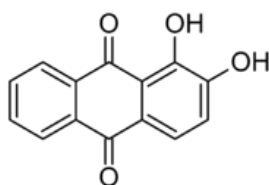
กรอบแนวความคิดของการวิจัย

ในยุคแรก ย้อนหลังไปเมื่อ 7,000 ปี สีย้อมธรรมชาติเป็นสีย้อมหลักที่มีคุณค่าสูงสำหรับใช้ย้อมสิ่งทอหัตถกรรม ต่อมาเนื่องจากมีความต้องการสีย้อมในปริมาณมากสำหรับผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เป็นผลผลิตจากการพัฒนาการผลิตแบบหัตถกรรมไปสู่การผลิตแบบอุตสาหกรรม ทำให้สีย้อมหลักที่ได้จากธรรมชาติไม่เพียงพอและมีอุปสรรคหลายอย่าง เช่น ไม่สะดวกในการนำมาใช้สำหรับสิ่งทออุตสาหกรรม เนื่องจากไม่มีจำหน่ายในรูปสีผง การควบคุมเฉดสีทำได้ยากและไม่มีเฉดสีที่หลากหลายให้เลือก อีกทั้งสีย้อมมีความคงทนต่ำจึงมีการพัฒนาสีย้อมสังเคราะห์ขึ้น อย่างไรก็ตาม สีย้อมธรรมชาติเป็นสีย้อมต้นแบบสำหรับสีย้อมสังเคราะห์ในปัจจุบัน ตามหลักฐานที่พบในแหล่งอารยธรรมต่าง ๆ เช่น ในยุคไมโนน (Minoan) ซึ่งเป็นเผ่าพันธุ์ก่อนยุคกรีกโบราณ ได้สกัดสีย้อมสีม่วง (purple dye) จากหอยทะเลมาใช้ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญของสีม่วงนี้ คือ ไดโบรโมอินดิโก (6, 6'-dibromoindigo) ดังภาพที่ 1.1 (Stieglotz, R.R. 1994.: 46-54) ชาวอียิปต์โบราณค้นพบสีแดงจากรากของพืชแมดเดอร์ (madder) ซึ่งเคมีของสีคืออะลิซาริน (alizarin) ดังภาพที่ 1.2 (Nicholson, P.T. and Shaw, I. 2006.: 306) นอกจากนี้ ชาวเผ่ามายา (Maya) ในแถบลาตินอเมริกาสกัดสีแดงจากแมลงโคชินีล (cochineal) ที่อาศัยอยู่ในต้นกระบองเพชร โดยสารที่ให้สีหลัก คือ กรดคาร์มินิก (carminic acid) (ภาพที่ 1.3) ซึ่งเป็นสารสีในกลุ่มแอนทราควิโนน (anthraquinone) สำหรับในแถบเอเชียสามารถสกัดสีแอนทราควิโนนจากตัวครั่ง (Lac) ได้เช่นกัน (Dyeing with lac extract. n.d.: online) ส่วนอารยธรรมเอเชียโบราณ พบว่ามีการใช้สีอินดิโก (indigo) จากใบคราม (ภาพที่ 1.4) สำหรับย้อมผ้าฝ้ายและไหม (History of indigo & indigo dyeing. n.d.: online)



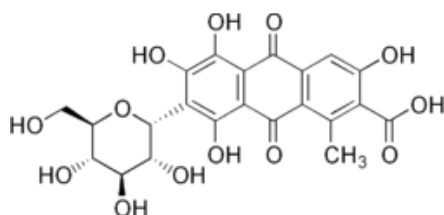
ภาพที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของไดโบโรโมอินดิโกจากหอยทะเล

ที่มา: Cartwright, M. 2016.: online



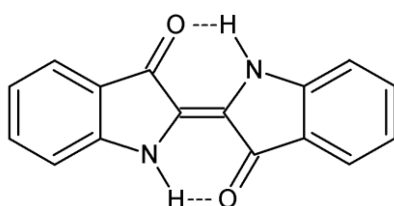
ภาพที่ 1.2 โครงสร้างทางเคมีของอะลิซารินจากรากแมตเตอร์

ที่มา: Siren, S. n.d.: online



ภาพที่ 1.3 โครงสร้างทางเคมีของ carmine จากแมลงโคชินีล

ที่มา: Jergens, K. 2016.: online



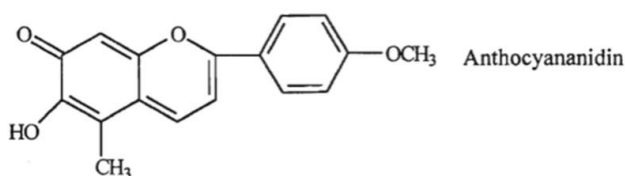
ภาพที่ 1.4 โครงสร้างทางเคมีของอินดิโกจากใบคราม

ที่มา: ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. 2557.: ออนไลน์

แหล่งของสีย้อมธรรมชาติมาจากสองแหล่งใหญ่ ๆ คือ พืชและสัตว์ ส่วนของพืชที่ให้สี ได้แก่ รากหรือเหง้า ลำต้น เปลือก ใบ ผล ดอกและเมล็ด จากสัตว์ส่วนใหญ่พบในแมลง เช่น ครั่ง เณดสีธรรมชาติ

ยังสามารถแปรเปลี่ยนไปตามมอร์แดนต์ (mordants) ซึ่งเป็นโลหะไอออนที่นิยมเติมลงไปหลังการย้อม เพื่อปรับปรุงสมบัติความคงทนให้กับสีย้อมบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

สารที่ให้สีย้อมในดอกบัวแดงคือ แอนโทไซยานิน มีโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 1.5 ซึ่งเป็นสารสีที่ละลายน้ำ มีความสามารถในการดูดซับเข้าเส้นใยดี แต่มีเสถียรภาพต่ำโดยเฉพาะเสถียรภาพต่อแสง



ภาพที่ 1.5 โครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานิน

บ้านโนนกกอก ตั้งอยู่ที่ตำบลหนองนาคำ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี เป็นชุมชนที่มีการทอผ้าซิดโบราณมาแต่ดั้งเดิม โดยมีลายนาค ลายเล็บแมวและลายขอซิดเกียงเป็นลายดั้งเดิม โดยในปี 2557 ครูต้น หรือ นายอภิชาติ พลบัวไข ได้จัดตั้งกลุ่มอาชีพ OTOP ภายใต้ชื่อ “กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกกอก” หรือภายใต้แบรนด์ “อารยา” ขึ้นเพื่อสร้างงานและรายได้ให้กับชุมชนและลูกหลาน กลุ่มฯ ได้รับรางวัลจำนวนมากในการเข้าร่วมประกวดในโอกาสต่าง ๆ อาทิเช่น รางวัลชนะเลิศชุมชนแห่งการอนุรักษ์และสืบสานภูมิปัญญาท้องถิ่น ประจำปี 2559 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากการประกวดชุมชนแห่งการอนุรักษ์และสืบสานภูมิปัญญาท้องถิ่น ปี 2559 จัดโดยกรมพัฒนาชุมชน กระทรวงมหาดไทย ภายใต้ผลงาน “ภูมิปัญญาทอผ้าซิดไหมลายสายธารนาคเขียวรงย้อมสายบัวแดง” และรางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 OTOP KBO CONTEST จากการประกวดและเผยแพร่การดำเนินงานเครือข่ายองค์ความรู้ KBO จังหวัดดีเด่น ปี 2559 ภายใต้ผลงาน “อุดรมหัศจรรย์แพร่พรรณบัวแดง” ในงานศิลปาชีพ ประทับไทย OTOP ก้าวไกล ด้วยพระบารมี จนเป็นที่รู้จักและชื่นชอบในกลุ่มคนที่รักผ้าไทย (พระราชล แฉ่ง ชัน. 2560.: ออนไลน์)

ผลิตภัณฑ์ของกลุ่มฯ เป็นผ้าซิดทั้งที่ทำจากผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้าฝ้ายผสมไหม ทั้งที่การทอด้วยลวดลายโบราณและการทอด้วยลวดลายแบบใหม่ที่มีการผสมผสานลายซิดดั้งเดิมในท้องถิ่น ก่อนนำเส้นด้ายมาทำการทอนั้นทางกลุ่มจะนำเส้นด้ายฝ้ายและเส้นด้ายไหมไปย้อมสีธรรมชาติที่ผลิตจากวัตถุดิบในท้องถิ่น เช่น บัวแดง หมากคูน เปลือกไม้ประดู่ ทองกวาว ดินโคลนและเปลือกไม้ต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้บัวแดงซึ่งเป็นอัตลักษณ์ของผ้าทอจากกลุ่มฯ ที่สามารถหาบัวได้ตลอดทั้งปีในลำห้วยของหมู่บ้าน สามารถย้อมได้ทั้งการย้อมร้อนและการย้อมเย็น และส่วนประกอบของบัวแดงจะให้

สีบนเส้นด้ายที่แตกต่างกัน อาทิ สายบัวแดงให้สีเทาเงิน กลีบดอกบัวแดงให้สีชมพูอ่อนและเกสรบัวแดงให้สีเหลืองนวล

กรรมวิธีการย้อมสีบัวแดงของชาวชุมชนบ้านโนนกอก จังหวัดอุดรธานี ใช้วิธีทางภูมิปัญญาชาวบ้าน โดยนำสายบัวมาแยกเอาก้านสายบัวและดอกออกจากกัน ตากแดดให้แห้ง หลังจากนั้น นำเฉพาะดอกหรือก้าน หรือคละกันมาต้มเพื่อสกัดสีย้อม กรองเอาแต่น้ำสีย้อม แล้วนำใจด้ายเรยอนหรือไหมมาต้มแช่ในน้ำสีสกัดเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างน้ำทำความสะอาดเส้นด้ายที่ผ่านการย้อมสี จะได้เฉดสีต่าง ๆ ตั้งแต่เหลืองทอง ชมพูและสีเทาตามภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 ผ้าทอย้อมสีบัวแดงชุมชนบ้านโนนกอก จังหวัดอุดรธานี

อุปสรรคของการย้อมผ้าจากดอกบัวแดงของกลุ่มฯ คือ ทำการย้อมซ้ำไม่ได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบในการย้อมสีธรรมชาติโดยทั่วไปที่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของเฉดสีให้ได้เหมือนกันทุกครั้ง นอกจากนี้ กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกอก ยังมีแนวทางที่ต้องการพัฒนาเพื่อสร้างความยั่งยืน สร้างอัตลักษณ์และสร้างความแตกต่างให้กับผลิตภัณฑ์ของกลุ่มในอนาคต ด้วยแนวคิดที่จะนำากากดอกบัวแดงที่เกิดขึ้นจากภายหลังการสกัดสีย้อมแล้วมาสร้างประโยชน์

ขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม

(1) การหาวิธีการย้อมสีบัวแดงที่ได้มาตรฐาน

นำดอกบัวและสายบัวที่ผ่านการทำแห้งด้วยการตากแดดเพื่อให้เก็บได้นาน มาทำการสกัดน้ำสี วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของแทนนินและแอนโทไซยานิน สมบัติการละลาย พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยในการย้อม ดังนี้

- ศึกษาผลของส่วนประกอบของบัวต่อความเข้มและเฉดสีบนไหม
- ศึกษาผลของความเข้มข้นของสีต่อความเข้มและเฉดสีบนไหม
- ศึกษาผลของสารช่วยย้อมและมอร์แดนต์ต่อความเข้มและเฉดสีบนไหม

เพื่อหาโปรไฟล์การย้อมเส้นด้ายที่เหมาะสม และจัดทำฐานข้อมูลสูตรสีย้อมบัวแดงให้กับชุมชนโนนกกอก อุดรธานี พร้อมผลทดสอบสมบัติด้านทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก การขัดถูและแสง

(2) เตรียมสีผงด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เตรียมผงสีจากน้ำสีบัวแดง โดยการใช้มอลโทเดกซ์ทรินในการทำเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสีผงที่เตรียมได้ ดังนี้

- ศึกษาภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- ศึกษาสัดส่วนของสารเคลือบ

วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสีผงที่เตรียมได้ การละลายน้ำและสมบัติการติดสีของผงสีบนผ้า

(3) การสกัดเซลลูโลสจากบัวน้ำด้วยวิธีการหมัก

นำกากของบัวที่เหลือจากการสกัดน้ำสีมาสกัดเซลลูโลสโดยเตรียมน้ำหมักชีวภาพผสมกากน้ำตาลคลุกเคล้ากับกากของบัวที่เตรียมไว้ แล้วนำไปหมักในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร เป็นเวลา 5 - 7 วัน นำสายบัวที่ผ่านการหมักแล้วมาล้างทำความสะอาด แล้วฟอกขาวด้วยไฮโปคลอไรท์ด้วยวิธีการแช่ประมาณ 2-3 วัน จะได้เซลลูโลสที่สะอาดและบริสุทธิ์ วิเคราะห์ความบริสุทธิ์และปริมาณแอลฟาเซลลูโลสด้วยการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน TAPPI และทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใย

1.6 แผนงานโครงการ

กิจกรรม	เดือนที่ 1 – เดือนที่ 3	เดือนที่ 4 – เดือนที่ 12
1. จัดหาอุปกรณ์และสารเคมี		
2. หาวิธีย้อมสีแดงที่ได้มาตรฐาน		
3. เตรียมผงสีบัวแดงและทดสอบสมบัติของผงสี เช่น ความสามารถในการละลาย สมบัติการย้อมสี และ สมบัติความคงทน		
4. การสกัดเซลลูโลสจากสายบัวด้วยวิธีการหมักชีวภาพ การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส และการทดสอบสมบัติเชิงกลของเซลลูโลสที่เตรียมได้		
5. สรุปและส่งรายงาน		

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม/ สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 บัวแดง

บัวเป็นพืชล้มลุก ลักษณะของลำต้นมีทั้งที่เป็นเหง้า ไหลหรือหัว ใบเป็นใบเดี่ยวเจริญขึ้นจากลำต้น โดยมีก้านใบส่งขึ้นมาเจริญที่ใต้น้ำ ผิวน้ำหรือเหนือน้ำ รูปร่างของใบส่วนใหญ่มีลักษณะกลม

2.1.1 ประเภทของบัว (ดอกบัว พันธุ์ไม้คู่บ้านคู่เมืองของไทย. 2557.: ออนไลน์)

นักพฤกษศาสตร์แบ่งบัวเป็น 3 สกุลใหญ่ คือ สกุลเนลุมโบ (Nelumbo) หรือปทุมชาติ สกุลนิมเฟีย (Nymphaea) หรืออุบลชาติ และสกุลวิกตอเรีย (Victoria) หรือบัววิกตอเรีย ซึ่งในแต่ละสกุลสามารถจำแนกบัวได้หลายชนิด สำหรับประเทศไทยนั้น ชนิดของบัวที่ปลูกทางการค้ามี 6 ชนิด คือ

1) บัวหลวง

บัวหลวงอยู่ในสกุลปทุมชาติ มีลักษณะใบขนาดใหญ่ชูเหนือน้ำ มีไหลอยู่ใต้ดิน ดอกมีทั้งดอกซ้อนและไม่ซ้อน พันธุ์บัวหลวงที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือ พันธุ์ฉัตรขาว พันธุ์ฉัตรแก้วและพันธุ์ฉัตรแดง

2) บัวฝรั่ง

บัวฝรั่งอยู่ในสกุลอุบลชาติ ลักษณะคล้ายบัวหลวง ใบมีทั้งขอบเรียบและขอบใบจัก ดอกลอยและชูเหนือน้ำเล็กน้อย ดอกมีหลายสี กลีบดอกซ้อนกันมีชื่อเรียกต่างกันตามลักษณะสีและดอก

3) บัวผันหรือบัวเพื่อน

บัวผันอยู่ในสกุลอุบลชาติ ดอกชูพ้นน้ำ บานในเวลาเช้าหรือกลางวันและหุบตอนเย็น ดอกมีกลิ่นหอม สามารถผสมพันธุ์ข้ามระหว่างสีต่าง ๆ ได้ง่าย

4) บัวสาย

บัวสายอยู่ในสกุลอุบลชาติ ใบมีลักษณะมน ขอบใบจัก ดอกบานกลางคืนและหุบเวลาเช้า เป็นบัวที่ชาวบ้านนิยมเก็บสายบัวมาทำอาหาร บัวชนิดนี้มีก้านใบและก้านดอกยาว สามารถขึ้นในระดับน้ำลึกได้ พบได้ทั่วไปตามหนองบึงและแหล่งธรรมชาติ

บัวแดงเป็นบัวสายพันธุ์พื้นเมืองของไทย เป็นบัวชนิดบัวสาย ดอกเป็นไม้ประดับ ส่วนก้านดอกนิยมนำมารับประทานเป็นอาหาร ดอกเป็นดอกซ้อน ปลายดอกเรียวแหลม เมื่อดอกบานเต็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-25 เซนติเมตร

5) บัวจงกลนี

บัวจงกลนีอยู่ในสกุลอุบลชาติ เป็นบัวที่พบใหม่ในธรรมชาติคาดว่าเกิดจากการแปลงพันธุ์ในธรรมชาติ ลักษณะใบเหมือนบัวผันและบัวเพื่อนแต่มีดอกซ้อนเหมือนบัวฝรั่ง

6) บัวกระดัง

บัวกระดังอยู่ในสกุลวิกตอเรีย จัดเป็นบัวขนาดใหญ่ที่สุด มีลำต้นใต้ดินเป็นหัวใหญ่ ใบเป็นใบเดี่ยวมีขนาดใหญ่ลอยบนผิวน้ำ ดอกมีสีขาวและสีชมพู ดอกบานตอนกลางคืนและหุบในตอนเช้า

2.1.2 ประวัติของทะเลบัวแดง

แหล่งน้ำธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในจังหวัดอุดรธานี คือ หนองหาน มีพื้นที่ประมาณ 22,500 ไร่ หรือ 36 ตารางกิโลเมตร หนองหานเป็นแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรและการอุปโภคบริโภคของชาวบ้าน

นอกจากหนองหานจะเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยพันธุ์ปลา พันธุ์นกและพืช น้ำจำนวนมากซึ่งชาวบ้านที่อาศัยอยู่โดยรอบได้พึ่งพาแล้วนั้น หนองหานยังมีระบบนิเวศน์ที่เป็นเอกลักษณ์ทำให้นักวิชาการสนใจศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ หนองหานยังมีทะเลบัวแดงที่มีความงดงามด้วย (ภาพที่ 2.1) (ทะเลบัวแดง หนองหานกุมภวาปี. ม.ป.ป.: ออนไลน์)



ภาพที่ 2.1 ทะเลบัวแดง

ที่มา: ชมทะเลบัวแดง ณ หนองหาน กุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี. 2560.: ออนไลน์

แต่เดิมบ้านโนนกกอกเป็นกลุ่มหนึ่งของบ้านหนองนาคำ ต่อมาปี พ.ศ. 2547 ทางราชการแบ่งแยกหมู่บ้านหนองนาคำตั้งเป็นหมู่บ้านโนนกกอก ชาวบ้านโนนกกอกมีฝีมือการทอผ้ามาแต่ดั้งเดิม มีลายผ้าทอที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวเพื่อใช้ในครัวเรือน ต่อมาเมื่อ พ.ศ. 2556 นายอภิชาติ พลบัวไข ลูกหลานชาวบ้านโนนกกอกทำวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับการทอผ้าจากภูมิปัญญาดั้งเดิมของชาวบ้านโนนกกอกจากผู้สูงอายุในหมู่บ้านและในตำบลหนองนาคำ จึงเกิดแนวคิดจัดตั้งกลุ่มเพื่อสร้างงานและรายได้ให้กับชุมชนมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2557 จัดตั้งกลุ่มทอผ้าขึ้นโดยใช้ชื่อว่า “กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกกอก” เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์สินค้า OTOP ที่นำเอาภูมิปัญญาการทอผ้าและลายจากหมอนขิดผสมผสานกับแนวคิดใหม่ que สร้างสรรค์โดยนำสายบัวแดงและดอกมาล้อมผ้าโดยบัวแดงที่ใช้ในการล้อมนำมาจากลำห้วยนาค

เขียนรวกที่ไหลผ่านหมู่บ้านโนนกกอก ซึ่งถือว่าเป็นเอกลักษณ์ท้องถิ่นของชุมชนโนนกกอก (พรรษชล แห้งขัน และคณะ. 2560.: ออนไลน์)

สีจากดอกบัวแดงเป็นสีธรรมชาติสามารถติดสีบนเส้นใยได้ดี ในการย้อมสีบัวแดงแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เมื่อใช้ก้านบัวย้อมเส้นไหมจะได้สีเทา ส่วนเมื่อใช้ดอกย้อมเส้นไหมจะได้สีทอง ระดับความเข้มของสีขึ้นกับอายุของบัวและความแห้งของบัว กล่าวคือ การตากบัวยิ่งนาน ระดับความเข้มของสีเมื่อย้อมยิ่งเข้ม (มหัศจรรย์สายบัวแดง. 2559.: ออนไลน์)

2.1.3 ขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยด้วยบัวแดง (พรรษชล แห้งขัน และคณะ. 2560.: ออนไลน์)

ขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยด้วยบัวแดงของกลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกกอกมีขั้นตอนดังนี้

- 1) คัดแยกสายบัว กลีบดอกและเกสรบัว
- 2) ตากแดดสายบัว กลีบดอกและเกสรบัวไว้ในช่วงฤดู
- 3) แช่เส้นไหมหรือฝ้ายในน้ำเปล่าเพื่อปรับสภาพก่อนการย้อม
- 4) นำสายบัว กลีบบัวและเกสรบัวแยกต้มจนออกสี จากนั้นกรองเพื่อนำน้ำไปย้อม
- 5) นำเส้นไหมหรือฝ้ายลงไปย้อม (ย้อมสายบัวได้สีเทาเงิน ย้อมกลีบบัวได้สีชมพูอ่อน ย้อมเกสรบัวได้สีเหลืองนวล)

2.2 การเตรียมสีผงด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)

สีจากธรรมชาติได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการย้อมผ้ามานานกว่า 2,000 ปี โดยสีย้อมธรรมชาติส่วนใหญ่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ส่วนของเปลือกไม้ ใบไม้และรากไม้ ซึ่งนับว่าเป็นภูมิปัญญาเดิมของบรรพบุรุษที่บอกต่อกันจากรุ่นสู่รุ่น ตัวอย่างสีธรรมชาติที่ใช้ในการย้อมผ้า เช่น สีเขียวจากเปลือกต้นเพกา สีเหลืองจากแก่นขนุนและสีดำจากเปลือกสมอ (การย้อมสีธรรมชาติ. ม.ป.ป.: ออนไลน์)

อย่างไรก็ตาม การใช้สีย้อมธรรมชาติจากพืชได้รับความนิยมน้อยลง เนื่องจากสีย้อมธรรมชาติมีความคงทนของสีย้อมต่ำและสีไม่สดใสเมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมสังเคราะห์ ทำให้ในช่วงเวลาหนึ่ง คนไทยใช้สีย้อมธรรมชาติลดลง แต่เมื่อใช้สีย้อมสังเคราะห์มากขึ้นก็พบว่า สีย้อมสังเคราะห์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ กล่าวคือ สีย้อมสังเคราะห์ส่วนใหญ่มีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพทำให้มีอาการ เช่น คอแห้ง ไอบ่อย หายใจเหนื่อยหอบและแสบตา นอกจากนี้ สารที่เหลือจากการย้อมยังก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันจึงมีความพยายามสนับสนุนให้คนไทยกลับมาใช้สีธรรมชาติมากขึ้น (Velho, S.R.K. et al. 2017.: 248-254)

ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นเขตที่มีการใช้สีธรรมชาติในการย้อมสีผ้ามากกว่าภาคอื่นของประเทศ ส่วนใหญ่ใช้การย้อมจากการแยกสีจากพืชด้วยวิธีการต้มกับน้ำทำให้ไม่สะดวกในการย้อม ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยนี้จึงแนวคิดพัฒนาการทำผงสีธรรมชาติเพื่อใช้งานได้ง่ายขึ้น

2.2.1 การสกัดสีธรรมชาติ (พรพิมล ม่วงไทย. ม.ป.ป.: ออนไลน์)

- 1) โขลก ทับหรือปั่นพืช ผสมกับน้ำประมาณ 10-20 เท่าโดยน้ำหนัก คั้นแล้วกรองเอาน้ำสี
- 2) ต้มพืชกับน้ำประมาณ 10-20 เท่าโดยน้ำหนัก นาน 1 ชั่วโมง กรองเอาน้ำสี
- 3) การสกัดด้วยตัวทำละลาย

2.2.2 การทำแห้ง

การทำแห้งเป็นการลดความชื้นของสารลง โดยหลักการทำแห้งมีหลายวิธี คือ

- 1) ใช้ลมร้อน (hot air dryer)
- 2) การอบแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze dry)
- 3) วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry)
- 4) ใช้ไมโครเวฟ (microwave)

การทำแห้งมีผลต่อการละลายน้ำของสี ผงสีที่ได้จากการใช้ลมร้อนหรือไมโครเวฟเป็นผงสีที่ละลายน้ำยากและมีคุณภาพต่ำ ส่วนการใช้การอบแห้งแบบเยือกแข็งได้ผงสีที่มีคุณภาพดี แต่เครื่องมือที่ใช้มีราคาสูงจึงเป็นข้อจำกัดในการส่งเสริมให้เกิดการต่อยอดเชิงพาณิชย์ ส่วนผงสีที่อบแห้งโดยใช้การพ่นฝอย ได้ผงสีที่มีคุณภาพดีและราคาของเครื่องมือที่ใช้ไม่สูงมากนักจึงเป็นที่น่าสนใจในการผลิตเชิงพาณิชย์ (Özkan, G. and Bilek, S.E. 2014.: 145-156)

ในกระบวนการผลิตสีผสมอาหารนั้น บริษัทหรืออุตสาหกรรมผลิตสีผสมอาหารนิยมใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากได้ผลิตผลที่มีคุณภาพดี มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำและต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวิธีอื่น (Gharsallaoui, A. et al. 2007.: 1107-1121)

2.2.3 เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน (microencapsulation technology)

เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน เป็นกระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์ชั้นบาง ๆ พอลิเมอร์ชั้นบาง ๆ นี้เป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาเมื่อต้องการ โดยสารสำคัญที่ต้องป้องกันในไมโครแคปซูลเรียกว่า คอร์ (core) และผนังที่ห่อหุ้มสารสำคัญเรียกว่า เซลล์ (shell) (Paulo, F. and Santos, L. 2017.: 1327-1340)

- 1) ขั้นตอนการทำไมโครแคปซูล (รัชฎาพร อุ่นศิริไธย์. 2553.: 1-2)
 - (1) ทำให้เกิดฟิล์มบาง ๆ รอบอนุภาคหรือทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน
 - (2) ทำให้ฟิล์มแข็งแรง
 - (3) แยกแคปซูลและทำให้แห้ง

2) พลังห่อหุ้มสารสำคัญหรือเซลล์

ลักษณะของเซลล์ที่ดี ควรต้องมีความสามารถแผ่เป็นฟิล์มบางได้ มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงเพียงพอ มีสมบัติในการยึดติดกับคอร์ได้ดีโดยไม่ต้องไม่ทำปฏิกิริยากัน มีความคงตัวสูงเพื่อป้องกันคอร์จากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ และปลดปล่อยคอร์ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

สารที่นำไปทำเซลล์ได้มีมากมายหลายชนิด แต่สารที่นิยมใช้และมีราคาไม่แพง คือ สารในกลุ่มของแป้ง เช่น แป้งดัดแปร กลูโคสไซรัปและมอลโทเดกซ์ทริน (เอกลักษณ์ ทวีโรจนกุล. 2552.: 39-42)

1) N-octenyl succinic anhydride-substituted starches (OSAn) เป็นแป้งดัดแปรชนิดหนึ่ง นิยมใช้กับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ละลายน้ำได้ดี มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี ไม่มีกลิ่นและรส ไม่เกิดปฏิกิริยาง่ายและราคาถูก แต่ข้อเสีย คือ ทำให้สารละลายที่ได้เป็นกรด (พีเอช 3) เนื่องจากผลของ noctenylsuccinic acid จึงไม่เหมาะสมกับสารที่มีความไวต่อกรด

2) กัมอาราบิก (gum arabic) เป็นกัมธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ได้จากต้นไม้ประเภท Acacia Senegal เป็นสารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีมาก โดยเฉพาะอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ มีความหนืดต่ำและเมื่ออยู่ในรูปผงแห้งจะไม่จับตัวเป็นก้อนจึงเหมาะสำหรับการใช้ห่อหุ้มคอร์ที่ขึ้นง่าย

3) มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นแป้งที่ผ่านการไฮโดรไลซิสเพียงบางส่วนแล้วหยุดปฏิกิริยาด้วยการปรับค่าพีเอชหรือใช้ความร้อน มีค่าสมมูลเดกซ์โทรส (Dextrose equivalent, DE) น้อยกว่า 20 มอลโทเดกซ์ทรินมีลักษณะเป็นผงสีขาว เป็นสารที่ไม่มีกลิ่นและรส ละลายน้ำได้ดี มีความหนืดต่ำ นิยมใช้เป็นตัวเคลือบ (Encapsulating agent) หรือสารตัวกลาง (coating medium) ของสารให้กลิ่นหรือฟลักเมนต์ในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยเนื่องจากมีราคาถูก ไม่มีกลิ่นและมีความหนืดต่ำ ถึงแม้ว่าจะใช้ %solid สูง (Cai, Y.Z. and Corke, H. 2000.: 1248-1252)

4) แป้งอะเซทิลเลเทต ออกซิไดซ์ (acetylated oxidized starch, AOS) เป็นแป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาอะซิทิเลชันร่วมกับวิธีออกซิเดชัน ซึ่งปฏิกิริยาอะซิทิเลชันเป็นการใช้หมู่แอซีทิลเข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของแป้ง ซึ่งจะสามารถยับยั้งการรวมตัวกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน และวิธีออกซิไดซ์เป็นการทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดส์ที่เปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลให้เป็นหมู่แอลดีไฮด์ หมู่คีโตนหรือหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลอะไมโลสทำให้แป้งสามารถต้านทานการคืนตัวหลังจากเกิดเจล ละลายน้ำได้ดีและสารละลายมีความใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เจลมีความคงตัวสูง มีความหนืดต่ำ เหมาะกับการทำไมโครเอนแคปซูลเลตผลิตภัณฑ์ (Apeldoorn von, M.E., Speijers, G.J.A., Baines, J. and Sinhaseni, P. 2000.: online) อย่างไรก็ตามยังไม่พบการศึกษาที่ใช้ AOS เป็นตัวกลางในการเคลือบสำหรับการอบแห้งแบบพ่นฝอย

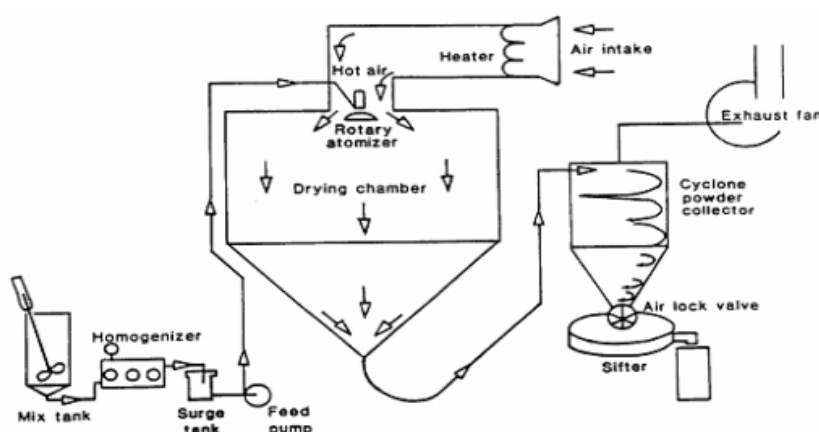
5) โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate) เป็นสารสกัดที่ได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ละลายน้ำได้ดี ให้ความหนืดต่ำ ราคาไม่แพงและใช้ปริมาณน้อย แต่ฟิล์มที่ได้มักไม่ค่อยแข็งแรงจึงต้องเสริมความแข็งแรงด้วยเกลือแคลเซียมและทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ (เอกลักษณ์ ทวีโรจนกุล. 2552.: 39-42)

2.2.4 การประยุกต์เทคนิคเอนแคปซูเลชันร่วมกับเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่ายและต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวิธีอื่น

1) ขั้นตอนการเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ขั้นตอนการเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วยการนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier หรือ wall material) หรือสารตัวกลาง (coating medium) เช่น มอลโทเดกซ์ทรีน (maltodextrin) แป้งดัดแปร (modified starch) หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำเพื่อเพิ่มสมบัติการคงตัวและปริมาณสีที่อยู่ในสารสกัดนั้น นำสารสีที่สกัดได้มาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier solution) แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (homogenization) เพื่อให้สารตัวกลางเคลือบสารสีที่สกัดได้ การผสมสารสกัดที่ได้กับสารตัวกลางให้มีสัดส่วนที่เหมาะสมอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สมบัติด้านสี เคมีและด้านชีวภาพของสารสกัดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 การเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา: Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. 2006.: 1-21.

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ (สุเมธ บุญเกิด. ม.ป.ป.:ออนไลน์)

(1) การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง

กระบวนการนี้เป็นการทำให้ของเหลวในระบบ กระจายตัวกลางเป็นละออง โดยใช้ Atomizer ซึ่งถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมี 3 ชนิด คือ

หัวเหวี่ยงแบบโรตารี (rotary atomizer)

เครื่องพ่นละอองนี้มีของเหลวในระบบซึ่งจะไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลางโดยจานหมุนมีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที ของเหลวในระบบที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-120 ไมครอน ซึ่งขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยนี้จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของของเหลวในระบบและความหนืดจะแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน

หัวฉีดแบบใช้ความดัน (pressure nozzles atomizer)

เครื่องพ่นละอองนี้ ของเหลวในระบบจะไหลผ่านช่องของหัวฉีดภายใต้ความดันสูงทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดกระจายเป็นละอองฝอยได้โดยไม่ต้องใช้อากาศ อนุภาคที่ได้มีขนาดเฉลี่ย 120-150 ไมครอน โดยขนาดของอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของของเหลวในระบบและความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน

two-fluid nozzle

ของเหลวในระบบและอากาศจะไหลผ่านหัวฉีดซึ่งจะทำให้ของเหลวในระบบแตกเป็นละอองฝอย เนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายในหัวฉีด การปรับอัตราการไหลของอากาศจะช่วยให้การกระจายเป็นละอองของของเหลวในระบบ วิธีนี้นิยมใช้กับของเหลวในระบบที่มีความหนืดสูง อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีค่าดำเนินการสูงและให้ผลผลิตต่ำ

(2) การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ

ขั้นตอนนี้ ละอองของของเหลวในระบบที่ถูกฉีดออกมาจะสัมผัสหรือเข้าผสมกับอากาศร้อน และเมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของเครื่องพ่นละอองกับอากาศแห้งเข้าจะแบ่งรูปแบบการสัมผัสกับอากาศร้อนได้ ดังนี้

การไหลผ่านทางเดียว (co-current flow)

ทิศทางการฉีดของเหลวในระบบเป็นทิศทางเดียวกับการไหลของอากาศร้อน ละอองของของเหลวในระบบจะสัมผัสและผสมกับอากาศร้อน ขณะที่ยังมีความชื้นสูง จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้ระเหยทันทีจนกลายเป็นผง วิธีนี้เป็นวิธีการทำแห้งของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยทั่วไป

การไหลผ่านสวนทางกัน (counter-current flow)

ทิศทางการฉีดของเหลวในระบบเป็นทิศทางตรงข้ามกับการไหลของอากาศร้อน โดยของเหลวในระบบถูกฉีดลงมาจากด้านบนในขณะที่อากาศร้อนจะไหลขึ้นจากด้านล่าง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความร้อนสูงมาก วิธีนี้จึงเหมาะเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เสถียรต่อความร้อนสูงเท่านั้น

การไหลผ่านแบบผสม (mixed flow)

การไหลของของเหลวในระบบจะเคลื่อนที่ผ่านทั้งห้องการไหลผ่านทางเดียว และการไหลผ่านสวนทางกัน วิธีนี้เหมาะสมสำหรับการทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงหยาบและทนความร้อนได้สูงมาก

(3) การระเหยของละอองฝอย

เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศแห้งร้อนจะเกิดการระเหยของชั้นไอน้ำผิว บริเวณผิวของละอองอย่างรวดเร็วโดยมีอุณหภูมิที่ผิวละอองที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอุณหภูมิอากาศแห้ง จะแพร่สู่ผิวหน้าซึ่งอยู่ในภาวะอิ่มตัว ช่วงนี้เป็นช่วงที่อัตราการระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นต่ำ ไม่มีการแพร่สู่ผิวหน้า ทำให้เกิดชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลา ช่วงนี้อัตราการระเหยจะลดลง

(4) ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ

การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้ไซโคลน (cyclone) เป็นตัวเก็บผงผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของไซโคลน ส่วนลมที่ออกจากด้านบนของไซโคลนจะผ่านไปยังตัวเก็บชั้นสุดท้าย

2) การปรับตัวแปร

การปรับเปลี่ยนตัวแปรทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ โดยตัวแปรเหล่านั้น คือ

(1) ความหนืดของวัตถุดิบและอุณหภูมิของวัตถุดิบก่อนเข้าทำแห้ง

ถ้าของเหลวในระบบมีความหนืดสูง ละอองที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น ที่ภาวะของเครื่องฟั่นละอองเดียวกัน

(2) อัตราความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ

ถ้าอัตราการไหลของของเหลวในระบบสูงขึ้น ในขณะที่หัวเหวี่ยงทำงานด้วยความเร็วคงที่ ทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

(3) ความเร็วของหัวเหวี่ยง

ในขณะที่อัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ การเพิ่มความเร็วของหัวเหวี่ยงมีผลทำให้ละอองของของเหลวที่ฉีดได้มีขนาดเล็กลง

(4) ชนิดหัวฉีด

การเลือกชนิดของหัวฉีดขึ้นกับขนาดของอนุภาคผงและลักษณะการกระจายของขนาดผงที่ต้องการ ถ้าใช้หัวเหวี่ยงแบบโรตารี ขนาดของอนุภาคผงแห้งอยู่ระหว่าง 20-150 ไมครอน และถ้าต้องการผงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำได้โดยผลิตห้องทำแห้งขนาดใหญ่ขึ้น

(5) ประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวเป็นละอองฝอย

ประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวเป็นละอองฝอยขึ้นกับการออกแบบระบบหัวเหวี่ยงตั้งแต่ความเร็วในการหมุนของวงล้อหัวเหวี่ยง จำนวนรอบหมุนลักษณะของใบพัด ลักษณะของปลอกวงล้อและปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้า

(6) อัตราการไหลของอากาศ

อัตราการไหลของอากาศที่ลดลงทำให้เวลาที่ละอองอยู่ใน driving chamber นานขึ้น ซึ่งจะสัมผัสกับอากาศร้อนนานขึ้น และเป็นผลให้ลดความชื้นได้ดี แต่หากอัตราการไหลของของเหลวในระบบสูง อัตราการไหลของอากาศต่ำไป และมีอุณหภูมิไม่สูงเพียงพอก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูงและเกาะติดอยู่กับผนังของห้องอบแห้ง (drying chamber) ได้

(7) อุณหภูมิในการทำแห้ง

การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนก่อนเข้าทำแห้ง ในขณะที่อัตราความเร็วลมคงที่จะทำให้การระเหยน้ำเพิ่มขึ้นและทำให้ Bulk density ลดลง ถ้าอุณหภูมิของลมร้อนก่อนเข้าทำแห้งสูงเกินไป ผงที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วผงจะมีลักษณะร่วนหรือโป่ง การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนหลังการทำแห้ง ในขณะที่อัตราความเร็วลมคงที่ ทำให้ปริมาณความชื้นของผงที่ได้ลดลง ถ้าต้องการผงที่ได้มีอนุภาคใหญ่เกาะกันเป็นเม็ดจะใช้อุณหภูมิลมร้อนหลังการทำแห้งที่ระดับต่ำ ผงที่ได้มีสมบัติละลายน้ำง่าย นอกจากนี้ การปรับอัตราการไหลของของเหลวในระบบมีผลต่ออุณหภูมิขาออก ถ้าอัตราไหลของของเหลวในระบบสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิลมออกลดลง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงจะเกาะอยู่บริเวณผนังของห้องอบแห้งได้

(8) ทิศทางและอัตราเร็วของลมร้อน

อัตราของลมร้อนเป็นตัวควบคุมระยะเวลาในการทำแห้งของละอองของเหลว ถ้าระยะเวลาในการทำแห้งนาน ความชื้นในผงที่ได้ลดลง การลดอัตราของลมร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกผงออกจากเครื่องทำแห้ง ส่วนการกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของลมร้อนภายในห้องทำแห้งเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงมากเพราะถ้าทิศทางการไหลของลมร้อนเหมาะสมทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้เร็วขึ้น

3) ข้อดีและข้อเสียของการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (เอนแคปซูเลชันและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลีนิรส. ม.ป.ป.: ออนไลน์)

ข้อดี

- (1) ต้นทุนการผลิตต่ำ
- (2) เครื่องมือที่ใช้หาได้ง่าย
- (3) สามารถปกป้องสารแกนกลางได้เป็นอย่างดีและเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด

ข้อเสีย

- (1) อาจเกิดการสูญเสียแกนกลางที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- (2) อาจมีสารแกนกลางติดที่ผิวของไมโครแคปซูลซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ได้

2.2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Park and Chang (2007.: 187-192) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีของพริกปาปริก้าภายใต้ภาวะการทำแห้งและการเก็บรักษาที่เหมาะสม โดยวิธีการทำแห้งมี 4 วิธี ได้แก่ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งแบบสุญญากาศ การทำแห้งแบบใช้รังสีอินฟราเรด และการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน พบว่าการทำแห้งแบบเยือกแข็งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาคุณภาพของพริกปาปริก้า

Horvath and Hodur (2007.: 67-72) ศึกษาลักษณะสีของผงพริกปาปริก้าที่มีความชื้นแตกต่างกันโดยใช้ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ พบว่า ความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L^* และ b^*

Cai and Corke (2000.: 1248-1252) ศึกษาการผลิตและสมบัติของสีเบตาไซยานินในผล *Amaranthus* ด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้แป้งมอลโทเดกซ์ทรีนที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรสระหว่าง 10-25 และแป้งข้าวโพด (แบบธรรมชาติและแบบดัดแปร) เป็นตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ พบว่า การใช้ตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบต่างชนิดกันมีผลต่อสมบัติและการรักษาสภาพของพริกเมนต์

Azeredo และคณะ (2007.: 307-312) ศึกษาสมบัติของเบตาไซยานินจากบีทรูทแดงในระหว่างกระบวนการผลิตด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแปรอัตราส่วนระหว่างมอลโทเดกซ์ทรีนต่อบีทรูท พบว่า อัตราส่วนของมอลโทเดกซ์ทรีนต่อบีทรูทเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณเบตาไซยานิน โดยปริมาณเบตาไซยานินลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีน อัตราส่วนระหว่างมอลโทเดกซ์ทรีนกับบีทรูทเท่ากับ 1 ต่อ 3 มีปริมาณเบตาไซยานินมากที่สุด

Obón, Castellar, Alacid, and Fernández-López (2009.: 471-479) ศึกษาเรื่องกระบวนการผลิตสีผสมอาหารโทนสีแดงม่วงจากผล *Opuntia stricta* ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยและนำไปใช้ในอาหาร พบว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่เหมาะสมต่อการผลิตสีผสมอาหารโทนสีแดงม่วงจากผล *Opuntia stricta* ผลผลิตหลังการอบแห้งสูง (ร้อยละ 58) มีค่าความเข้มของสีสูงและพริกเมนต์คงเหลือในระหว่างกระบวนการอบแห้งมากกว่าร้อยละ 98

Ersus และคณะ (2007.: 805-812) ศึกษาผลกระทบของมอลโทเดกซ์ทรีนที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรสต่างกันต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากแครอทดำ โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

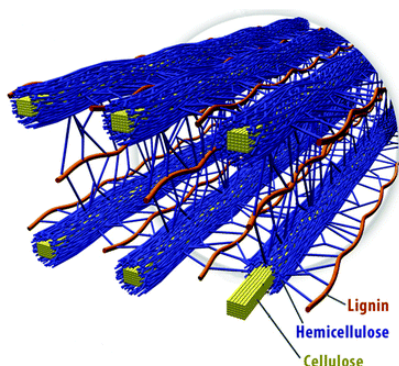
พบว่า การใช้ Glucodry 210 (DE 20-23) รักษาแอนโทไซยานินจากความร้อนได้มากที่สุด รองลงมาคือ SD10 (DE 10) และ MDX29 (DE 28-31)

Prichystal และคณะ (2013.: 64-68) ศึกษาผลของกระบวนการย้อมเมื่อใช้ไมโครแคปซูลของสีย้อมและสารช่วย ผลการทดลองพบว่า การใช้ไมโครแคปซูลช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอในการย้อมบนผ้าถักพอลิเอไมด์

2.3 ลิกโนเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่พบมากที่สุด ซึ่งพบในรูปของเซลลูโลสบริสุทธิ์ (ฝ้ายและป่านปอ เช่น ปอกระเจาและปอแก้ว) เซลลูโลสเหล่านี้พบในรูปเส้นใยสั้น (staple fiber) ซึ่งสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้โดยตรงผ่านกระบวนการปั่น ถักทอ พอกย้อมและการย้อมตามลำดับ หรือนำไปใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงสำหรับวัสดุเชิงประกอบ (polymer composites) ส่วนลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) พบในไม้เนื้อแข็ง (hard woods) ไม้เนื้ออ่อน (soft woods) และพืชจากการเกษตร (fiber crops) เช่น ไม้ ฟางต่าง ๆ (straws) ชานอ้อย (bagasse) และในบัวน้ำ (water lily)

ลิกโนเซลลูโลสเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของลิกนิน เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส (ภาพที่ 2.3) โดยเซลลูโลสเป็นสายพอลิแซคคาไรด์ของน้ำตาล D-กลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1, 4 กลูโคซิดิก ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสมากกว่า 10,000 หน่วย ส่วนเฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดเชื่อมต่อกันเป็นโซ่สาขา ได้แก่ น้ำตาลเฮกโตสและน้ำตาลเพนโตส สำหรับลิกนินเป็นสารอินทรีย์พอลิเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) มากกว่า 10,000 หน่วย และเป็นองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์ของพืชทำหน้าที่ห่อหุ้ม เส้นใยของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าด้วยกัน (สุภาวดี ผลประเสริฐ. 2557.: 641-649)



ภาพที่ 2.3 ลิกโนเซลลูโลส

ที่มา: Brandt, A. et al. 2013.: 550-583.

การสกัดเซลลูโลสออกจากลิกโนเซลลูโลสจะได้เซลลูโลสในรูปเยื่อ (pulp) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษและบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ เซลลูโลสยังสังเคราะห์ขึ้นได้ด้วยเทคโนโลยีทางชีวภาพ เรียกเซลลูโลสนี้ว่า แบคทีเรียเซลลูโลส (bacterial cellulose) (Keshk, S. M. 2014.: 1000150) เป็นเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูง มีขนาดเส้นใยในระดับนาโนเมตร มีสมบัติความแข็งแรงสูง และกักเก็บน้ำไว้ได้ดี เหมาะสำหรับการใช้งานในด้านเครื่องสำอาง ด้านการแพทย์ (ไฮโดรเจล) และวัสดุนาโนคอมโพสิต (nanocomposites) (Brandes, R. et al. 2016.: 73-80; Saska, S. et al. 2012.: 22102-22112)

ลิกโนเซลลูโลสเป็นเส้นใยสั้นเกินกว่าที่จะปั่นเป็นเส้นด้ายได้ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการละลายลิกโนเซลลูโลสและฉีดเป็นเส้นใยเซลลูโลสด้วยกระบวนการต่าง ๆ เช่น เส้นใยวิสโคสเรยอน (viscose rayon) ละลายเยื่อในระบบ NaOH/CS₂ แล้วปั่นเป็นเส้นใยในอ่างกรดซัลฟิวริก (Miao, Q. et al. 2014.: 109-113) เส้นใยเทนเซล (Tencel) เส้นใย (Lyocell) ละลายเยื่อใน N-methylmorpholine oxide แล้วปั่นเป็นเส้นใยในอ่างน้ำหรือระเหยไล่ตัวทำละลายออก (Brodeur, G. et al. 2016.: 621-628) กระบวนการละลายเยื่อลิกโนเซลลูโลส นอกจากได้เส้นใยเซลลูโลสแล้ว ยังสามารถฉีดเป็นฟิล์มใสได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น กระดาษแก้ว (cellophane) เป็นฟิล์มแก้วใสมีสมบัติด้านการซึมผ่านของแก๊สได้ดีจึงเหมาะสำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์หีบห่อขนมคุกกี้ (cookie) และลูกกวาด (candy) (Fukuzumi, H. et al. 2009.: 162-165; Aulin, C. et al. 2010.: 559-574)

เนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่สามารถดัดแปรให้เป็นหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ ได้ เช่น คาร์บอกซิเลท (carboxylate) เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose, CMC) เอสเทอร์ (ester) เช่น เซลลูโลสแอซีเตต (cellulose acetate) อัลคิล (alkyl) เช่น เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose) และไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (hydroxypropylcellulose) ไนโตร (nitro) เช่น ไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) เรียกเซลลูโลสดัดแปรเหล่านี้ว่า อนุพันธ์เซลลูโลส (cellulose derivatives) การใช้งานของอนุพันธ์เซลลูโลสส่วนใหญ่ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickening agent) ในอุตสาหกรรมทอผ้า/พิมพ์ผ้า อุตสาหกรรมอาหารและยา สารเคลือบผิว (coatings) และวัสดุตัวเติมในพลาสติก (fillers)

การดัดแปรโครงสร้างทางกายภาพของเซลลูโลสก็สามารถทำได้เช่นกัน ผงเซลลูโลสไมโครคริสตัลลีน (cellulose microcrystalline powder) ได้จากการย่อยเอาเซลลูโลสอสัณฐาน (amorphous cellulose) ออกจากเยื่อหรือเส้นใยเซลลูโลสด้วยปฏิกิริยาแอซิดไฮโดรไลซิสได้เป็นไมโครคริสตัลลีนในรูปผงสีขาว เซลลูโลสไมโครคริสตัลลีนมีการใช้งานกว้างขวางซึ่งนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตอาหารเสริมอัดเม็ด (tablet) และใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อในอุตสาหกรรมอาหาร (texturizer)

ความสนใจในปัจจุบันกำลังมุ่งไปที่การเตรียมนาโนเซลลูโลส (nano-structured cellulose) ซึ่งมีรูปร่างและชื่อเรียกต่าง ๆ เช่น เส้นใยนาโนเซลลูโลส (cellulose nanofibers, CNF) เซลลูโลส

ไมโครไฟบริล (microfibrillated cellulose, MFC) ผลึกนาโนเซลลูโลส (nanocrystalline cellulose, NCC) (Lee, H.V. et al. 2014.: 631013; Peng, B.L. et al. 2011.: 1191-1206) และรวมทั้งแบคทีเรียเซลลูโลส

นาโนเซลลูโลสมีลักษณะพิเศษ คือ เป็นเซลลูโลสไฟบริลที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาว (aspect ratio) สูง มีความสามารถในการกักเก็บน้ำในโครงสร้างได้หลายเท่าตัวจึงอยู่ในรูปของเจล (gel) แต่ไหลตัวได้เมื่อทำการเขย่า กรรมวิธีการเตรียมนาโนเซลลูโลสมีหลายวิธีทั้งเชิงกลและทางเคมี ซึ่งจะได้นาโนเซลลูโลสในรูปแบบต่าง ๆ เช่น MFC เป็นนาโนเซลลูโลสที่อยู่ในรูปไมโครไฟบริลมีค่าอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวสูงมีความยาวในระดับไมครอนและมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 20-50 นาโนเมตร (Nguyen, H.D. et al. 2013.: 015016) สามารถสกัดออกจากไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อนและจากพืชจากการเกษตร ในธรรมชาติไมโครไฟบริลจะเกาะยึดกันเองอย่างเหนียวแน่นและอยู่ในรูปของเยื่อ วิธีการแยกในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลัก ๆ คือ เทคนิคเชิงกล เทคนิคการย่อยด้วยเอนไซม์ร่วมกับเทคนิคเชิงกลและเทคนิคทางเคมีร่วมกับเทคนิคเชิงกล โดยอาศัยเครื่องมือไมโครฟลูอิดิเซอร์ (microfluidizers) การทำงานของเครื่องนี้อาศัยหลักการการบีบเยื่อผสมน้ำผ่านช่องเล็ก ๆ ด้วยแรงดันสูงเพื่อเนียนให้ไมโครไฟบริลแยกออกจากกัน ขนาดของเยื่อจะเล็กลงเรื่อย ๆ ตามจำนวนรอบของการผ่านเข้าช่องเล็ก ๆ นอกจากการใช้เทคนิคไมโครฟลูอิดิเซอร์ยังสามารถเตรียมไมโครไฟบริลได้ด้วยวิธีอื่น ๆ อีก เช่น การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (electrospinning) และ dissolution/flocculation การย่อยเยื่อด้วยกรดอินทรีย์ เช่น กรดซัลฟูริก จะได้เซลลูโลสนาโนคริสตัล (nanocrystal cellulose) หรือบางที่เรียกว่า cellulose nanowhisker ที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวที่สั้นกว่า MFC อย่างมาก จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นสารเสริมแรงให้กับวัสดุนาโนคอมพอสิต (Kumar, A. et al. 2014.: 1-8)

ในปัจจุบันวัสดุพอร์ระดับนาโนเมตร (aerogel) กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีลักษณะและสมบัติพิเศษที่ไม่พบในวัสดุพอร์ทั่วไป ตัวอย่างเช่น ซีโอไลต์ (zeolite) มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) และเซลลูโลส (Heath, L. and Thielemans, W. 2010.: 1448-1453) โดยเฉพาะเซลลูโลสเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายในประเทศ เซลลูโลสแอโรเจลมีลักษณะพิเศษเมื่อเทียบกับเซลลูโลสในรูปแบบอื่น ๆ คือ มีรูพรุนสูงและมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ระดับนาโนเมตรถึงระดับไมโครเมตร ทำให้เซลลูโลสแอโรเจลมีศักยภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์ (วัสดุปลดปล่อยยา, drug control release) ด้านการสังเคราะห์วัสดุนาโนในรูพรุน (nanomaterials template) ด้านสิ่งแวดล้อม (วัสดุดูดซับประสิทธิภาพสูง, high performance adsorbent) (Nguyen, S.T. 2013.: 18386-18391) ด้านอนุรักษ์พลังงาน (ฉนวนความร้อน, thermal insulator) เป็นวัสดุพอง (catalyst support) และคอมพอสิตโปร่งแสง (transparent wood composite)

การสกัดเซลล์ออกจากลิกโนเซลล์ในปัจจุบันใช้กระบวนการทางเคมี ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ จะนำเสนอวิธีการสกัดเซลล์จากบวบน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้เส้นใยเซลล์ที่มีคุณภาพสูง เช่น ความบริสุทธิ์และสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าวิธีทางเคมี

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 วัสดุ

- 1) ดอกบัวและสายบัวตากแห้งจากชุมชนโนนกกอก อุดรธานี (ภาพที่ 3.1)
- 2) เส้นไหม ควบ 4 เส้น เบอร์ 55/60D เกลียว 150 จากบริษัทจุลไหมไทย (ภาพที่ 3.2)
- 3) กากน้ำตาล
- 4) มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin) ที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรส 10

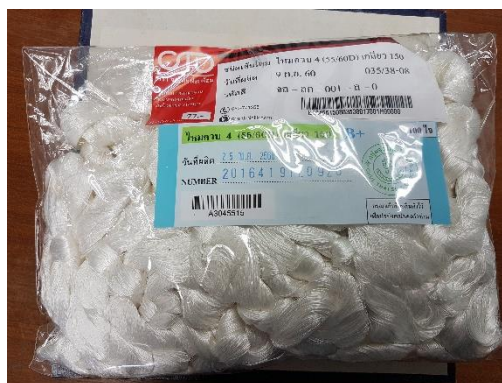


(ก) ดอกบัวอบแห้ง



(ข) สายบัวอบแห้ง

ภาพที่ 3.1 ดอกบัวและสายบัวตากแห้งจากชุมชนโนนกกอก อุดรธานี



ภาพที่ 3.2 เส้นไหมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

3.1.2 สารเคมี

- 1) กรดซัลฟูริก (sulfuric acid; H_2SO_4) (Lab Scan)
- 2) กรดแทนนิก (tannic Acid : $\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{46}$) (GAMMACO)
- 3) กรดอะซิติก (CH_3COOH) (Sigma-Aldrich)
- 4) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid: HCl) (Sigma-Aldrich)
- 5) คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (LOBA Chemie)
- 6) ซิงค์ซัลเฟต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (Avantor Performance Materials)

- 7) โซเดียมคลอไรท์ (sodium chlorite; NaClO_2) (Ajax Finechem)
- 8) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (CARLO ERBA REAGENTS GROUP)
- 9) โซเดียมแอสซิเตต (sodium acetate anhydrous AR/ACS : CH_3COONa)
- 10) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) (Ajax Finechem)
- 11) เบนซีน (benzene) (CARLO ERBA)
- 12) แป้ง
- 13) ผงซักฟอกมาตรฐาน (ECE detergent) ยี่ห้อ Jame H. Heal
- 14) ผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินมาตรฐาน (ISO blue wool standard)
- 15) ผ้ามัลติไฟเบอร์ชนิด DW บริษัท SDC Enterprises Limited ตามมาตรฐาน BS EN ISO 105 F10
- 16) โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride : KCl) (Ajax Finechem)
- 17) โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) (CARLO ERBA)
- 18) โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (UNIVAR)
- 19) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) (LOBA Chemie)
- 20) ฟอลินฟินอล (Folin & Ciacalteaus Phenol Reagent) (LOBA Chemie)
- 21) เฟอรัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (LOBA Chemie)
- 22) เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (CARLO ERBA)
- 23) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (UNIVAR Inc.)
- 24) แมงกานีสซัลเฟต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Avantor Performance Materials)
- 25) สารส้ม
- 26) อะซิโตน (acetone) (Fisher Scientific)
- 27) เอทานอล (ethanol; CH_3COOH) (VWR Chemical)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

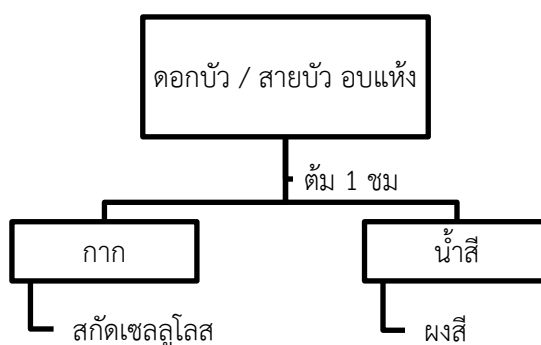
- 1) เกรย์สเกลสำหรับทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสี (gray scale for color change)
- 2) เกรย์สเกลสำหรับทดสอบการเปื้อนติดสี (gray scale for color staining)
- 3) เครื่อง Buchner funnel
- 4) เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (crock meter)
- 5) เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสงสีนออน (xenontest Alpha)
- 6) เครื่องย้อมระบบอินฟราเรด (infrared dyeing machine) ยี่ห้อ Starlet รุ่น DL 6000

- 7) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) รุ่น SPECORD 250
- 8) เครื่องวัดความชื้น (moisture analyzer) รุ่น MX-50 ยี่ห้อ A&D
- 9) เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter) รุ่น Aqualab Series 4TE ยี่ห้อ Aqualab
- 10) เครื่องวัดสี (Macbeth spectrophotometer) รุ่น ColorEye 7000
- 11) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) รุ่น YC-015, Shanghai Pilotech Instrument & Equipment Co., Ltd.
- 12) ชุด Reflux
- 13) ถ้วยกรอง (sinter glass crucible) เบอร์ 1 2 และ 4
- 14) ถังหมัก ขนาด 250 ลิตร
- 15) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- 16) เครื่องวัดปริมาณของแข็งในน้ำ (total dissolve solid)
- 17) เครื่องวัดปริมาณธาตุต่าง ๆ (Inductively coupled plasma, ICP)

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การสกัดน้ำสีจากบัวแดง

นำดอกบัวและสายบัวตากแห้งจากชุมชนโนนกก อุดรธานี มาอบให้แห้งอีกครั้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาทำการต้มเพื่อสกัดน้ำสี เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของดอกบัวหรือสายบัวต่อน้ำ (LR) เท่ากับ 1:30 จากนั้นกรองแยกเฉพาะน้ำสีมาทำการอบแห้งเพื่อเตรียมเป็นผงสี ส่วนกากที่เหลือนำไปสกัดเซลลูโลสต่อไป (ภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการสกัดน้ำสีจากบัวแดง

3.3.2 การควบคุมมาตรฐานการย้อมสีจากบัวแดง

งานวิจัยนี้ทำการย้อมสีบนเส้นไหมจากผงสีที่สกัดได้จากส่วนของดอกบัวและสายบัวด้วยการต้มหรือการย้อมร้อน โดยนำผงสีที่สกัดได้มาย้อมบนเส้นไหมน้ำหนักประมาณ 5 กรัม ด้วยอัตราส่วน

เส้นไหมต่อน้ำ (LR) เท่ากับ 1:30 ควบคุมปริมาณผงสีที่ใช้ในมีความแตกต่างกันตั้งแต่ 5-100%owf (on weight fabric; ปริมาณผงสีต่อน้ำหนักผ้า) สำหรับผงสีที่สกัดจากดอกบัว และ 5-150%owf สำหรับผงสีที่สกัดจากสายบัว ทำการย้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำเส้นไหมขึ้นมาล้างน้ำสะอาดและตากให้แห้ง นำเส้นไหมที่ผ่านการย้อมไปวัดค่าความเข้ม (K/S) และฉีกสีบนผ้าด้วยเครื่องวัดสี



(ก) สีจากดอกบัวแดง



(ข) สีจากสายบัวแดง

ภาพที่ 3.4 เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วย (ก) สีจากดอกบัวแดง (ข) สีจากสายบัวแดง

3.3.3 การศึกษาผลของสารช่วยติด (mordant)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงเฉดสีและความเข้มสีของการย้อมเส้นไหมด้วยผงสีสกัดจากดอกและสายบัวแดงในภาวะที่มีสารช่วยติด โดยสารช่วยติดที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 11 ชนิด คือ

- | | |
|--|--|
| - กรดอะซิติก (CH_3COOH) | - คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) |
| - ซิงค์ซัลเฟต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | - โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) |
| - โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) | - โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) |
| - เฟอรัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | - แมงกนีเซียมคลอไรด์ ($\text{MnCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) |
| - แมงกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) | - สารส้ม |
| - ไอออน (II) อะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) | |

ทำการเติมสารช่วยติด (mordant) 5%owf ลงไปพร้อมกับผงสีในกระบวนการย้อมไหม ดังนี้ ทำการย้อมเส้นไหม 5 กรัม ด้วยอัตราส่วนเส้นไหมต่อน้ำ (LR) เท่ากับ 1:30 โดยใช้ผงสีที่สกัดจากดอกและสายบัวแดงความเข้มข้น 20%owf ร่วมกับสารช่วยติด 5%owf ทำการย้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำเส้นไหมขึ้นมาล้างน้ำสะอาดและตากให้แห้ง นำเส้นไหมที่ผ่านการย้อมไปวัดค่าความเข้ม (K/S) และฉีกสีบนผ้าด้วยเครื่องวัดสี

สำหรับการหมักโคลนนั่น มีวิธีการดังนี้ ย้อมเส้นไหมด้วยผงสีที่สกัดจากดอกและสายบัวแดงความเข้มข้น 30%owf ด้วยอัตราส่วนเส้นไหมต่อน้ำ (LR) เท่ากับ 1:30 ย้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำเส้นไหมล้างน้ำให้สะอาดและตากให้แห้ง จากนั้นนำไหมไปหมักโคลนที่เก็บจากชุมชนบ้านโนนกกอก จังหวัดอุดรธานี เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำเส้นไหมล้างน้ำและตากให้แห้งอีกครั้ง ก่อนนำไปวัดค่าความเข้ม (K/S) และเจดสีบนผ้าด้วยเครื่องวัดสี

3.3.4 การเตรียมผงสีด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เตรียมสารละลายผงสีความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยละลายผงสีที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.3.1 ในน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ศึกษาอุณหภูมิขาเข้า (inlet temperature) และอัตราป้อน (feed rate) ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อสัณฐานวิทยาและสีของดอกบัวและสายบัวผง รวมทั้งศึกษาปริมาณผลผลิตและความชื้นของดอกบัวและสายบัวผง โดยตั้งค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20

3.3.5 การศึกษาอัตราส่วนของมอลโทเดกซ์ทรินต่อดอกบัวและสายบัว

เตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยชั่งดอกบัวหรือสายบัวผงต่อมอลโทเดกซ์ทรินโดยใช้อัตราส่วนที่ 85:15 70:30 55:45 และ 40:60 ผสมให้เข้ากันโดยใช้แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic stirrer) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

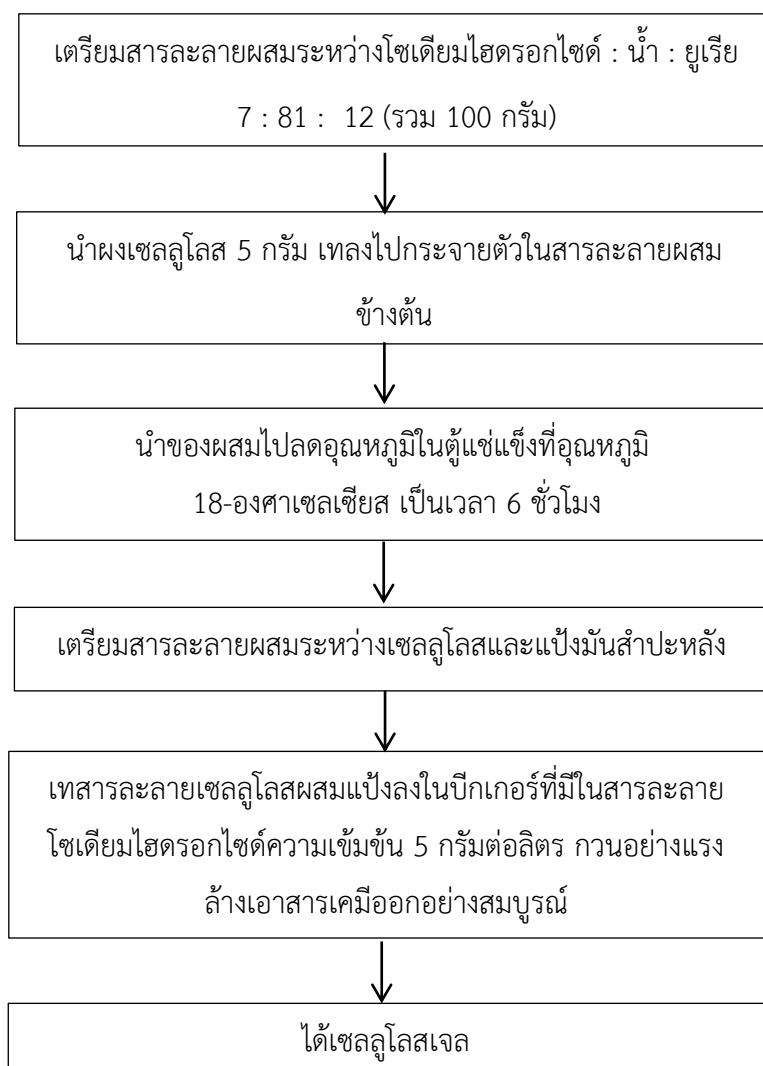
นำสารละลายที่เตรียมไว้เข้าในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยตั้งค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20 ใช้อุณหภูมิขาเข้าที่ 150 องศาเซลเซียส รอจนได้อุณหภูมิตามที่ตั้งไว้แล้วจึงป้อนสารละลายเข้าไปในเครื่องที่อัตรา 10 รอบต่อนาที ศึกษาสัณฐานวิทยาและสีของดอกบัวและสายบัวผง รวมทั้งศึกษาปริมาณผลผลิตและความชื้นของดอกบัวและสายบัวผง

3.3.6 การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากกากสายบัว

นำกากสายบัวแห้งที่ผ่านการสกัดสีออกมาแล้ว มาหมักในถังหมักขนาด 250 ลิตร นำกากน้ำตาล (1:10 โดยน้ำหนักของกากสายบัว) มาคลุกเคล้า ผสมน้ำพอประมาณ แล้วทำการหมักไว้ในถังเป็นเวลา 1 เดือนเพื่อให้สายบัวย่อยอย่างสมบูรณ์ จากนั้นล้างทำความสะอาดกากสายบัวด้วยน้ำเปล่า และนำไปฟอกขาวด้วยน้ำยาไฮเตอร์ (sodium chlorite) จนกระทั่งได้เชื้อเซลลูโลสสีขาว ทำการย่อยให้เป็นผงด้วยการต้มในสารละลายกรดไฮดรอกลอลิกความเข้มข้น 1 นอร์มอล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างจนกระทั่งค่าพีเอชเป็นกลาง ตากให้แห้ง แล้วนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่าง ๆ

3.3.7 การเตรียมเซลล์โลสเจลจากเยื่อเซลล์โลสสายบัว

วิธีการเตรียมเซลล์โลสเจลเริ่มจากเตรียมสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 7 wt% ยูเรีย 12 wt% และ น้ำ 81 wt% จากนั้นนำผงเซลล์โลส 5 wt% เทลงในบีกเกอร์สารละลายผสม กวนให้กระจายตัวแล้วนำไปแช่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จะได้สารละลายเซลล์โลสใส จากนั้น เตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลัง 1 wt% ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร และนำสารละลายแป้งที่ได้ผสมรวมกับสารละลายเซลล์โลส กวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำสารละลายเซลล์โลสผสมแป้ง เทลงในสารละลายกรดไฮดรอกลอร์ริกความเข้มข้น 5 นอร์มอล ในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 5 ลิตร อย่างช้า ๆ พร้อมกวนอย่างแรงตลอดเวลา ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อให้กรดย่อยส่วนที่เป็นแป้งออก เหลือเพียงเซลล์โลสเจล ทำการล้างเอาโซเดียมคลอไรด์ กรด และยูเรียออกจนสมบูรณ์จะได้เป็นเซลล์โลสเจล (ภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.5 การเตรียมเซลล์โลสเจลจากเยื่อเซลล์โลสสายบัว

3.3.8 การเตรียมกระดาษสาผสมน้ำมันตะไคร้หอม

นำเซลลูโลสเจลมาผสมกับพอลิเมอร์อิมัลชันของน้ำมันตะไคร้หอมแล้วเทลงถาดแม่แบบปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งจนได้แผ่นกระดาษสา กระดาษสาที่ได้มีสมบัติด้านเชื้อแบคทีเรีย ป้องกันกลิ่นเหม็นอับของผ้าที่บรรจุกล่องในระหว่างการส่งของ โดยจะเตรียมไว้ให้กลุ่มย่อยมัดแดงจำนวนหนึ่ง

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 ร้อยละของปริมาณผงสี (%yield)

ผงสีจากการอบแห้งด้วยความร้อน

ชั่งน้ำหนักแห้งของดอกบัวและสายบัวอย่างละ 5 กรัม นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แยกเอาส่วนของน้ำสีและกากที่ได้ไปอบให้แห้งก่อนนำมาชั่งน้ำหนักแห้งอีกครั้งหนึ่ง ปริมาณผงสีและปริมาณกากของเหลือที่ได้คำนวณตามสมการที่ 1 และ 2

$$\text{ร้อยละของปริมาณผงสี (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของผงสี}}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 1}$$

$$\text{ร้อยละของปริมาณกากของเหลือ (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของกากของเหลือ}}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 2}$$

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งสำหรับดอกบัวและสายบัวนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผงสีจากการเทคนิคการทำผงแห้งแบบพ่นฝอย

ชั่งน้ำหนักของดอกบัว/สายบัวผง หรือ ดอกบัว/สายบัวผสมมอลโทเดกซ์ทรีนแห้ง จากนั้นเตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยการเตรียมจากดอกบัว/สายบัวผง หรือ ดอกบัว/สายบัวผสมมอลโทเดกซ์ทรีนในน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและนำเข้าเครื่องทำผงแห้งแบบพ่นฝอย ชั่งน้ำหนักผงที่ได้ และคำนวณร้อยละของปริมาณผงสีตามสมการที่ 3 ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{ร้อยละของปริมาณผงสี (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของผงสีจากเครื่องทำผงแห้งแบบพ่นฝอย}}{\text{น้ำหนักแห้งของผงสีเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3}$$

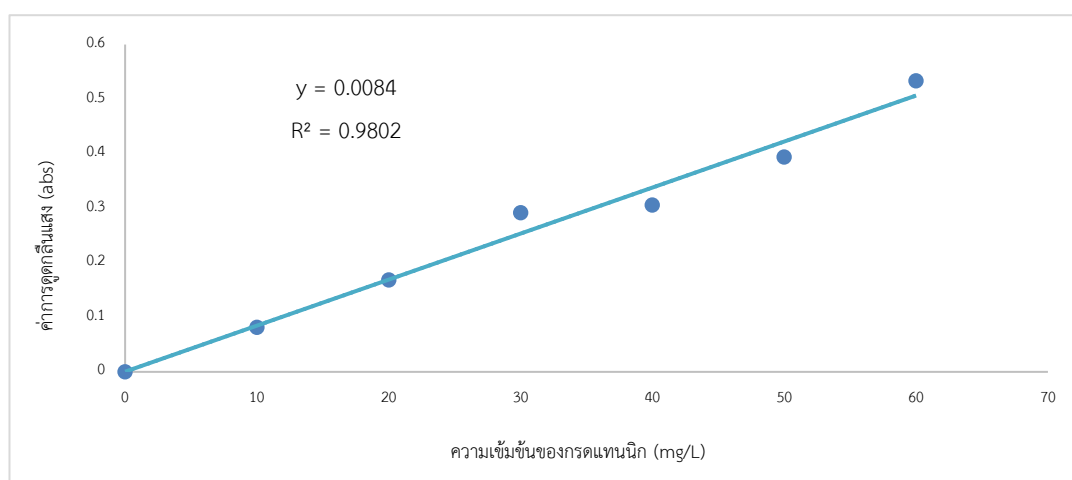
3.4.2 ปริมาณแทนนิน

การวิเคราะห์แทนนินด้วยวิธี Folin & Ciocalteus Phenol method เป็นการวิเคราะห์สารไฮโดรไลซ์แทนนินจากการเกิดปฏิกิริยากับฟอลินฟินอล ซึ่งจะดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 735 นาโนเมตร ทำการเปรียบเทียบปริมาณแทนนินกับกราฟมาตรฐานของกรดแทนนิก ดังนี้ เตรียม

สารละลายกรดแทนนิก (tannic acid) ให้มีความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ถึง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ผสมสารละลายกรดแทนนิก ปริมาณ 1 มิลลิลิตรกับโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมฟอลินฟีนอล (Folin & Ciocalteus Phenol reagent) ปริมาณ 1 มิลลิลิตรลงไป ตั้งสารละลายทิ้งไว้ 20 นาที จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (abs) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 735 นาโนเมตร ผลการดูดกลืนแสงของสารละลายแทนนิกที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.6

ตารางที่ 3.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดแทนนิกความเข้มข้นต่าง ๆ

กรดแทนนิก (mg/L)	10	20	30	40	50	60
ค่าการดูดกลืนแสง	0.08134	0.16819	0.29174	0.3059	0.39375	0.53322



ภาพที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (abs) และค่าความเข้มข้นของกรดแทนนิก

การหาปริมาณแทนนิกในสารละลายตัวอย่างทำได้โดย เตรียมสารละลายผงสีจากดอกและสายบัวแดง ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก กรองเอาเฉพาะสารละลายใสมาใส่หลอดทดลอง 3 หลอด หลอดละ 1 มิลลิลิตรผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก หลอดละ 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมฟอลินฟีนอล (Folin & Ciocalteus Phenol reagent) ปริมาณ 1 มิลลิลิตรลงไป เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้ 20 นาทีและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ก่อนนำสารละลายมาวัดค่าดูดกลืนแสง (abs) ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 735 นาโนเมตร ปริมาณแทนนิกวิเคราะห์ได้ตามสมการที่ 4

$$\text{ปริมาณแทนนิก (mg/l)} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ } 735 \text{ nm}}{0.0084} \times \text{DF} \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ DF = dilution factor (ดอกบัวแดง DF = 300 และก้านบัว DF = 150)

3.4.3 ปริมาณแอนโทไซยานิน

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล (pH differential) ซึ่งเป็นวิธีการที่วัดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของแอนโทไซยานิน โดยค่าพีเอชที่ทำการวัด คือ pH 1.0 และ pH 4.5 (Lee, J. 2005.:1267-1278) ดังนี้

เตรียมสารละลายผงสีจากดอกและสายบัวให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก กรองเอาเฉพาะสารละลายใส มาใส่หลอดทดลอง ตัวอย่างละ 6 หลอด หลอดละ 1 มิลลิลิตร เติมน้ำ KCl buffer (pH 1.0) ลงไปหลอดละ 1 มิลลิลิตร จำนวน 3 หลอดและเติมน้ำ CH₃COONa buffer (pH 4.5) ลงไปหลอดละ 4 มิลลิลิตร อีก 3 หลอด เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปอ่านค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) คำนวณตามสมการที่ 5

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/l)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1,000}{\epsilon} \quad \text{สมการที่ 5}$$

$$\text{เมื่อ } A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH } 4.5}$$

$$MW = 449.2 \text{ กรัมต่อโมล}$$

$$DF = 5 \text{ (Dilution factor)}$$

$$\epsilon = 26,900 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1} \text{ (molar extinction coefficient)}$$

3.4.4 สีของผงสี

วัดค่า CIE L*a*b* ของผงสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.4.5 สัณฐานวิทยาของผงสี

ศึกษาสัณฐานวิทยาของผงสีจากดอกบัวและสายบัว โดยใช้การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) รุ่น JSM-6400 ผลิตโดย Joel Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาของผงสีจากดอกบัวและสายบัวมีขั้นตอนดังนี้ เทพผงสีตัวอย่างลงบนเทปกาวยสองหน้าที่ดีกับแท่นรองรับซึ่งทำจากทองเหลือง (brass stub) จากนั้นเคลือบทองลงบนผิวของผงสีเพื่อให้มีสมบัติการนำไฟฟ้า แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.6 ร้อยละความชื้น

วัดความชื้นของผงสีด้วยเครื่องวัดความชื้น (moisture analyzer) รุ่น MX-50 จาก A&D Company, limited. ประเทศญี่ปุ่น โดยมีหลักการคือ ใส่ตัวอย่างลงในเครื่อง เครื่องจะบันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างไว้ จากนั้น เครื่องจะกระจายความร้อนโดยใช้หลอดไฟฟ้าโลเจนไปที่ 105 องศาเซลเซียสเพื่ออบแห้งตัวอย่าง พร้อมชั่งน้ำหนักตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง เมื่อตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ เครื่องจะปิดการทำงานและคำนวณค่าปริมาณความชื้นในตัวอย่างตามสมการที่ 6

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างที่ } 105^{\circ}\text{C})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 6}$$

3.4.7 ความสามารถในการละลาย

ใช้วิธีการทดสอบความสามารถในการละลายของผงสีตาม Al-Kahtani and Hassan (1990) กล่าวคือ ชั่งผงสีปริมาณ 10 กรัมในน้ำกลั่น 100 กรัมในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นใส่แท่งแม่เหล็กกวนสารลงไป และวางบีกเกอร์บนเครื่องกวนสาร กวนสารที่ความเร็วระดับ 5 ที่อุณหภูมิห้อง จับเวลาที่ผงสีใช้ในละลายในน้ำได้อย่างสมบูรณ์

3.4.8 ค่ากิจกรรมของน้ำ

วิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ (Water activity) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter) รุ่น Aqualab Series 4TE ยี่ห้อ Aqualab ทดสอบ 3 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่างและหาค่าเฉลี่ย

3.4.9 วิธีทดสอบความคงทนของสีย้อม

การทดสอบความคงทนของสีย้อมบนเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีจากดอกบัวและสายบัวแดงนั้น จะทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างผงสี 2 ลักษณะ คือ ผงสีที่ผ่านการทำแห้งด้วยความร้อนและผงสีที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ภายใต้อุณหภูมิทำแห้งที่ 150 องศาเซลเซียส การไหลของอากาศ (air blow) เท่ากับ 20 และอัตราเร็วในการป้อนสารละลาย 10 รอบต่อนาที โดยผงสีที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น ได้เลือกทั้งชนิดที่ไม่มี/มีการเติมมอลโทเดกซ์ทรินอัตราส่วนผงสีต่อมอลโทเดกซ์ทริน เท่ากับ 55:45

นำผงสีทั้งหมดมาทำการย้อมสีจากดอกบัวและสายบัวแดงความเข้มข้น 30%owf ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้ง มี/ไม่ สารช่วยติด จากนั้นล้างน้ำสะอาดและตากแห้ง ก่อนนำมาทดสอบในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

3.4.9.1 ความคงทนของสีต่อการซัก (Colorfastness to washing)

ทดสอบความคงทนของสีต่อการซักบนเส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากดอกบัวและสายบัวแดงตามมาตรฐาน ISO 105 C10 ดังนี้ เย็บเส้นไหมติดกับผ้ามัลติไฟเบอร์ขนาด 4x10 ตารางเซนติเมตร ทำการเตรียมสารละลายผงซักฟอกมาตรฐาน (ECE detergent) ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร จากนั้นนำไปทำการซักด้วยอัตราส่วนสารละลายผงซักฟอกมาตรฐานต่อน้ำหนักตัวอย่าง 50:1 ด้วยเครื่องย้อมอินฟาเรดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส/นาที) นำผ้าไปล้างด้วยน้ำสะอาดและตากให้แห้ง ประเมินผลการติดเปื้อนสีของย้อมบนผ้ามัลติไฟเบอร์ด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color staining) และประเมินการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีของเส้นไหมด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color change) ในแสงไฟ D65

ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีบนผ้ามัลติไฟเบอร์ด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color staining) ในแสงไฟ D65

ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการติดเปื้อนของสี คือ ดีที่สุด (Excellent)

ระดับ 4 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (Very Good)

ระดับ 3 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีปานกลาง คือ ดี (Good)

ระดับ 2 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมาก คือ แย่ (Fairly Poor)

ระดับ 1 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (Poor)

ผลการประเมินการติดเปื้อนของสีของเส้นไหมด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color change) ในแสงไฟ D65

ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการติดเปื้อนของสี คือ ดีที่สุด (Excellent)

ระดับ 4 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (Very Good)

ระดับ 3 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีปานกลาง คือ ดี (Good)

ระดับ 2 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมาก คือ แย่ (Fairly Poor)

ระดับ 1 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (Poor)

3.4.9.2 ความคงทนของสีต่อการขัดถู (Colorfastness to crocking)

ทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูบนเส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากดอกบัวและสายบัวแดงตามมาตรฐาน AATCC Test method 8-1996 ดังนี้ เตรียมชิ้นทดสอบโดยการนำเส้นไหมมาพันบนกระดาษขนาด 7x20 เซนติเมตร จำนวน 4 ชุดต่อหนึ่งตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบการขัดถูแบบแห้งจำนวน 2 ผืน และทดสอบการขัดถูแบบเปียกจำนวน 2 ผืน โดยใช้ผ้าฝ้ายขาวขนาด 2x2 นิ้ว เป็น test cloth ทำการทดสอบการขัดถูแบบแห้งโดยการวางชิ้นทดสอบเตรียมไว้บนเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (ภาพที่ 3.7) แล้วนำผ้าฝ้ายขาว (test cloth) ไปหุ้มตุ้มน้ำหนัก

(Finger) จากนั้นทำการขัดถูผ้าจำนวน 10 รอบ ในขณะที่การทดสอบการขัดถูแบบเปียกทำด้วยวิธีการเดียวกัน แต่ทำการฉีบน้ำให้ผ้าฝ้ายขาว (test cloth) เปียกก่อนทำการทดสอบ



ภาพที่ 3.7 เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (Crock meter)

ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีบนผ้าฝ้ายขาว (test cloth) ด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color staining) ในแสงไฟ D65

- ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการติดเปื้อนของสี คือ ดีที่สุด (Excellent)
- ระดับ 4 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (Very Good)
- ระดับ 3 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีปานกลาง คือ ดี (Good)
- ระดับ 2 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมาก คือ แย่ (Fairly Poor)
- ระดับ 1 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (Poor)

ผลการประเมินการติดเปื้อนของสีของเส้นไหมด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color change) ในแสงไฟ D65

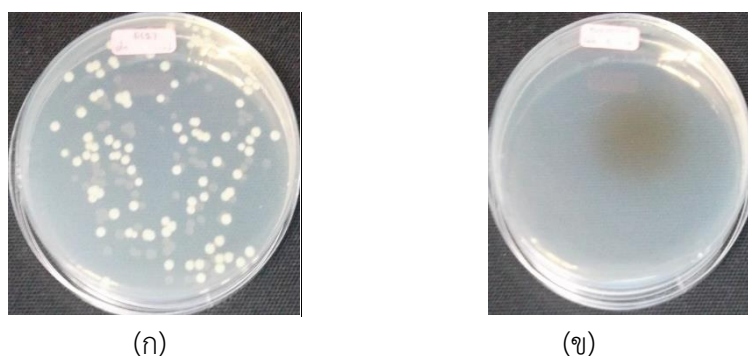
- ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการติดเปื้อนของสี คือ ดีที่สุด (Excellent)
- ระดับ 4 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (Very Good)
- ระดับ 3 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีปานกลาง คือ ดี (Good)
- ระดับ 2 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมาก คือ แย่ (Fairly Poor)
- ระดับ 1 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (Poor)

3.4.9.3 ความคงทนของสีต่อแสง

ทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อแสงบนไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากดอกบัวและสายบัวแดงตามมาตรฐาน ISO 105-B02: 2014 Method 1, Xenon-arc-lamp และประเมินผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีเส้นไหมเปรียบเทียบกับผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินมาตรฐาน (blue wool standard) ด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color change) ในแสงไฟ D65

3.4.9.4 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย

นำผงสีที่สกัดจากดอกบัวแดงและสายบัวแดง ทั้งชนิดอบแห้งด้วยความร้อนและชนิดทำแห้งแบบพ่นฝอย มาทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (*Escherichia coli*) และชนิดแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) ตามมาตรฐาน ASTM E2149-10 ส่วนเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีจากดอกบัวแดงและสายบัวแดงทั้งชนิด ผ่าน/ไม่ผ่านการหมักโคลน ทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (*Escherichia coli*) และชนิดแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) ตามมาตรฐาน AATCC 100 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณในการหาค่าการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%reduction) ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 จำนวนแบคทีเรีย *Escherichia coli* บนผลิตภัณฑ์ผงสีดอกบัว (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง เจือจาง 10^{-3} และ (ข) ที่เวลา 24 ชั่วโมง เจือจาง 10^0

3.4.10 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเซลลูโลสตามมาตรฐาน TAPPI

3.4.10.1 สารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน

การวิเคราะห์ปริมาณสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน ตามมาตรฐาน TAPPI T204-cm97 ทำได้ดังนี้ ชั่งน้ำหนักแห้งของเซลลูโลสที่สกัดประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในเครื่องสกัด Soxhlet extraction ทำการสกัดด้วยสารละลายผสมระหว่างเอทานอลและเบนซีนในอัตราส่วน 1:2 ปริมาณ 150 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายและอบให้แห้งชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละปริมาณสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์ เบนซีน-ตามสมการที่ 7

$$\text{สารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์ - เบนซีน (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักแห้งที่ผ่านการสกัด})}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 7}$$

3.4.10.2 ปริมาณสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์

การวิเคราะห์ปริมาณสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์ตามมาตรฐาน TAPPI T264-cm97 ทำได้ดังนี้ ชั่งเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน ประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในเครื่องสกัด Soxhlet extraction ทำการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลความ

เข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 150 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายและอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละปริมาณสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์ ตามสมการที่ 8

$$\text{สารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์ (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักแห้งที่ผ่านการสกัด})}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 8}$$

3.4.10.3 สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน

การวิเคราะห์ปริมาณสารแทรกที่ละลายในน้ำร้อนตามมาตรฐาน TAPPI T207-om93 ทำได้ดังนี้ ชั่งเซลล์ูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน และผ่านกระบวนการสกัดสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์ประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำการกรองตัวอย่างด้วยเครื่อง Buchner funnel และล้างด้วยน้ำกลั่นเดือดปริมาณ 500 มิลลิลิตร อบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละปริมาณสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์ ตามสมการที่ 9

$$\text{สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักแห้งที่ผ่านการสกัด})}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 9}$$

3.4.10.4 ปริมาณลิกนิน

การวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน ตามมาตรฐาน TAPPI T222-om98 ทำได้ดังนี้ นำเซลล์ูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน แอลกอฮอล์ และน้ำร้อน มาชั่งน้ำหนักแห้งประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร วางบีกเกอร์ลงในอ่างน้ำแข็ง เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 72 ที่มีอุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงไป ควบคุมอุณหภูมิของสารผสมให้อยู่ที่ 2 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงจนกระทั่งการละลายสมบูรณ์ เทสารละลายลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งมีปริมาตรรวม 575 มิลลิลิตร ทำการ reflux เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืนเพื่อให้ของแข็งเกิดการตกตะกอน กรองตะกอนผ่านถ้วยกรองเบอร์ 4 (sinter glass crucible) ที่ทราบน้ำหนัก ทำการล้างตะกอนของลิกนินด้วยน้ำร้อน นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนัก ปริมาณลิกนินคำนวณตามสมการที่ 10

$$\text{ปริมาณลิกนิน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของลิกนินที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 10}$$

3.4.10.5 ปริมาณโฮโลเซลล์ูโลส (holocellulose)

การวิเคราะห์ปริมาณโฮโลเซลล์ูโลส ตามวิธีของ Browning ทำได้ดังนี้ นำเซลล์ูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดสารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน แอลกอฮอล์ และน้ำร้อน มาชั่งน้ำหนักแห้งประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 160

มิลลิลิตร กรดอะซิติกเข้มข้นปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณ 1.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ตามลำดับ ปิดฝาและนำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ให้มีอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นทำการเติมกรดอะซิติกเข้มข้น ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 1.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่เขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำอีก 2-3 ครั้งจนกระทั่งผงตัวอย่างมีสีขาว จึงนำขวดรูปชมพู่นี้มาแช่ในอ่าง น้ำแข็งเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้สารละลายมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส กรองตะกอนผ่านถ้วย กรองเบอร์ 1 (sinter glass crucible) ที่ทราบน้ำหนัก ทำการล้างตะกอนของไฮโดรเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่น และอะซิโตน นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนัก ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส คำนวณตามสมการที่ 11 พร้อมเก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) ต่อไป

$$\text{ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของผงไฮโดรเซลลูโลสที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของตัวอย่าง}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 11}$$

3.4.10.6 ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose)

การวิเคราะห์ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส ตามมาตรฐาน TAPPI T203-om88 ทำได้ดังนี้ นำน้ำหนักแห้งของไฮโดรเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร เติม สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 17.5 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิ ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยทำการกวนสารละลายเพื่อให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้น เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 โดยน้ำหนัก อีก 25 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส โดยทำการกวนสารละลายเป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร กวน สารละลายอีกเป็นเวลา 30 นาที กรองสารละลายด้วยถ้วยกรองเบอร์ 2 ทำการล้างตะกอนแอลฟา เซลลูโลสด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดอะซิติก เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 40 มิลลิลิตรเป็นเวลา 5 นาที ล้างตะกอนแอลฟาเซลลูโลสอีก ครั้งด้วยน้ำกลั่น นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณ แอลฟาเซลลูโลสคำนวณตามสมการที่ 12

$$\text{ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส(ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของผงแอลฟาเซลลูโลสที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของไฮโดรเซลลูโลส}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 12}$$

3.5 การทดลองและวิเคราะห์โคลนจากชุมชนบ้านโนนกก จังหวัดอุดรธานี

สกัดน้ำจากเนื้อโคลนที่ได้จากชุมชนบ้านโนนกก จังหวัดอุดรธานี ด้วยการนำเนื้อโคลนมาละลาย น้ำภายใต้แรงกวน ในอัตราส่วนเนื้อโคลนต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้น้ำ โคลนตกตะกอน เป็นเวลา 1 คืน กรอกเอาเฉพาะน้ำใสมาใช้ในการแช่เส้นไหม 3 ชนิด คือ เส้นไหมขาวที่

ไม่ผ่านการย้อม (เส้นไหม ควบ 4 เส้น เบอร์ 55/60D เกลียว 150 จากบริษัทจุฬาไหมไทย) เส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีจากดอกบัวแดงและเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีจากสายบัวแดง (ความเข้มข้น 30%owf) ทำการแช่เส้นไหมในน้ำโคลน ด้วยอัตราส่วนเส้นไหมต่อน้ำ (LR) เท่ากับ 1:30 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำน้ำมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำด้วยเครื่องวัดปริมาณของแข็งในน้ำ (Total dissolve solid) และวิเคราะห์ธาตุโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ ธาตุเหล็ก แคลเซียมและแมกนีเซียมด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma (ICP)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.9 โคลนจากชุมชนบ้านโนนกกอก จังหวัดอุดรธานี (ก) เนื้อโคลน (ข) น้ำที่ได้จากการสกัดโคลน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการสกัดน้ำสีจากบัวแดง

ดอกบัวแดงและสายบัวสามารถสกัดผงสีได้ร้อยละ 51 และร้อยละ 56 โดยน้ำหนัก และเหลือกากของแข็งประมาณ ร้อยละ 33 โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถนำไปสกัดเซลลูโลสได้ ผงสีที่สกัดได้จากส่วนประกอบของบัวแดงมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ผงสีจากส่วนของดอกบัวจะมีดำเข้มและมีความมันวาว ในขณะที่ผงสีจากสายบัวจะออกสีน้ำตาลเข้มและด้าน (ภาพที่ 4.1) ผงสีทั้ง 2 ชนิด ส่วนกากของเหลือจะมีลักษณะเป็นก้อนเส้นใยสีดำ (ภาพที่ 4.2)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินและแอนโทไซยานินในผงสีแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งไม่พบปริมาณแอนโทไซยานินในผงสีสกัดจากทั้งดอกและสายบัวแดงเลย เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารที่ไม่ทนความร้อนและสลายตัวง่าย แต่ในการสกัดผงสีจากบัวแดงนั้นมีการให้ความร้อนในหลายขั้นตอนเป็นเวลานาน ตั้งแต่การอบบัวให้แห้ง (ใช้อุณหภูมิ 70-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายวัน) การต้มสกัดน้ำสี (ใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง) การเคี่ยวให้น้ำสีมีความเข้มข้นสูงขึ้น (ใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) รวมถึงการอบผงสีให้แห้ง (ใช้อุณหภูมิ 70-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายวัน) จึงอาจทำให้แอนโทไซยานินสลายตัวจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้

ผงสีสกัดจากทั้งดอกและสายบัวแดงละลายน้ำดี มีปริมาณแทนนินที่สูงมาก โดยในสารละลายผงสีจากดอกบัวความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะพบแทนนินประมาณ 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ผงสีจากสายบัวความเข้มข้นเดียวกันพบแทนนินประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.1 ผลการสกัดผงสีจากดอกและสายบัว

ส่วนประกอบของบัว	องค์ประกอบของบัว (ร้อยละ)		ผงสี (mg/L)	
	ผงสี	กากของเหลือ	แทนนิน	แอนโทไซยานิน
ดอกบัว	50.66 ± 2.17	33.10 ± 1.29	7,987 ± 300	0
สายบัว	55.84 ± 0.99	32.75 ± 0.74	1,396 ± 149	0



(ก) ผงสีจากดอกบัวแดง



(ข) ผงสีจากสายบัวแดง

ภาพที่ 4.1 ลักษณะผงสีที่สกัดจากดอกบัวแดง (ก) ผงสีจากดอกบัว (ข) ผงสีจากสายบัว



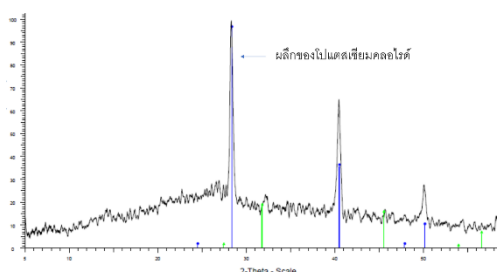
(ก) กากของเหลือจากดอกบัวแดง



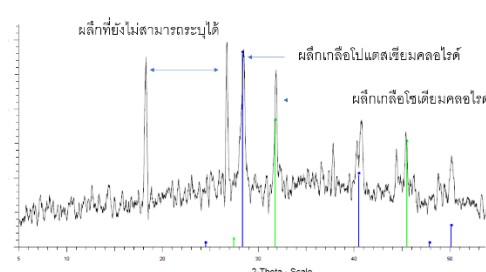
(ข) กากของเหลือจากสายบัวแดง

ภาพที่ 4.2 ลักษณะกากของเหลือจากการสกัด (ก) ดอกบัวแดง (ข) สายบัวแดง

จากการสำรวจทางธรณีวิทยาของดินในบริเวณอำเภอนองหาน จังหวัดอุดรธานี พบว่าอุดมด้วยแร่โปแตช (potash) คืออุดมสมบูรณ์ด้วยโปแตสเซียมคลอไรด์และเจือปนด้วยโซเดียมคลอไรด์เล็กน้อย ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์หาแร่โปแตชที่อยู่ในผงสีที่สกัดสายบัวและดอกบัวจากแหล่งชุมชนบ้านโนนกกอก ผลการวิเคราะห์พบว่าในผงสีจากดอกบัวจะมีธาตุโปแตสเซียมคลอไรด์ในปริมาณสูง ในส่วนผงสีจากสายบัวพบทั้งโปแตสเซียมคลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเกลือทั้งสองชนิดมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของสีย้อม และเป็นเอกลักษณ์ของบัวแดงชุมชนบ้านโนนกกอก ที่ทำให้สีย้อมจากบัวแดงมีสีสันสวยงามและมีความคงทนสูง



(ก) ดอกบัว



(ข) สายบัว

ภาพที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD แสดงว่าพบธาตุโปแตสเซียมคลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์ใน (ก) ดอกบัวและ (ข) สายบัว ที่เก็บตัวอย่างจากชุมชนบ้านโนนกกอก จังหวัดอุดรธานี

4.2 ผลการควบคุมมาตรฐานการย้อมสีจากบัวแดง

การเตรียมสีธรรมชาติจากส่วนประกอบของบัวแดงทั้งจากดอกบัวและสายบัวให้อยู่ในรูปของผงสีจะช่วยควบคุมคุณภาพการย้อมในแต่ละครั้งให้มีความเข้มและเฉดสีที่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากความสามารถในการควบคุมปริมาณผงสีในการย้อมแต่ละครั้งให้เท่ากันทำได้ง่ายกว่าการเตรียมสีธรรมชาติในรูปของสารละลาย การเตรียมสีในรูปของสารละลายมีหลายปัจจัยที่ทำให้ปริมาณสีใน

สารละลายของแต่ละครั้งที่เตรียมไม่เท่ากัน เช่น น้ำหนักวัตถุดิบ ความชื้นของวัตถุดิบ ปริมาณน้ำในสารละลายจากการสกัดและปริมาณน้ำสีในการย้อม เป็นต้น ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของการย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในประเทศไทย นอกจากการเตรียมผงสีจะช่วยคุณภาพการย้อมในแต่ละครั้งให้สม่ำเสมอแล้ว ยังสามารถทำสูตรการย้อมเพื่อให้ได้เฉดสีที่ต้องการ รวมถึงขั้นตอนการเก็บรักษาผงสีทำได้ง่าย ประหยัดพื้นที่และเก็บได้นาน แต่ขั้นตอนการทำผงสีควรทำการศึกษาเพื่อเลือกวิธีการหรือเทคนิคที่ใช้เหมาะสมในการเก็บรักษาสารให้สีตามธรรมชาติที่ต้องการ ในงานวิจัยนี้สารให้สีที่ทำให้ย้อมติดสีบนเส้นไหม คือ แทนิน ซึ่งมีสมบัติในการทนความร้อนได้ดี งานวิจัยนี้จึงเลือกเทคนิคในการเตรียมผงสีที่สกัดจากดอกและสายบัวแดง 2 เทคนิค คือ การทำแห้งหรือการทำให้เป็นผงด้วยการระเหยนํ้าออกด้วยความร้อนและเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)

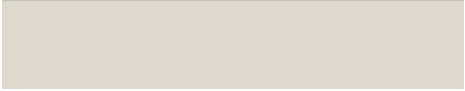
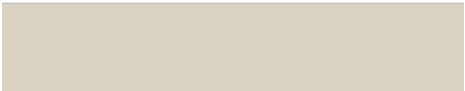
4.2.1 ผลการย้อมสีจากบัวแดง

เมื่อนํ้าผงสีที่สกัดจากดอกและสายบัวแดงด้วยการระเหยนํ้าออกด้วยความร้อนมาทำการย้อมเส้นไหม ผลการย้อมแสดงดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 เส้นไหมที่ย้อมด้วยสีจากดอกบัวแดงจะให้เฉดสีน้ำตาล-ทอง เมื่อใช้ปริมาณสีในการย้อมสูงขึ้นจะให้สีน้ำตาลที่ชัดเจนซึ่งสารที่ติดสีบนเส้นไหม คือ แทนิน ส่วนการย้อมเส้นไหมด้วยสีจากสายบัวจะให้เฉดสีเงิน-เทา เมื่อใช้ปริมาณสีในการย้อมสูงขึ้นจะเริ่มแสดงเฉดสีน้ำตาล-ทองของแทนินที่เด่นชัดขึ้น เนื่องจากในดอกบัวมีแทนินในปริมาณที่สูงกว่าสายบัวมากจึงให้เฉดสีน้ำตาล-ทองบนเส้นไหมที่ชัดเจนตั้งแต่ใช้ปริมาณสีย้อมต่ำ ในขณะที่สีจากสายบัวต้องใช้ปริมาณสีที่มากจึงจะแสดงเฉดสีน้ำตาล-ทองของแทนิน แต่เนื่องจากปริมาณสารต่าง ๆ ในองค์ประกอบของผงสีที่สกัดจากดอกและสายบัวมีความแตกต่างกันจึงทำให้เส้นไหมมีเฉดสีการย้อมที่แตกต่างกันระหว่างการย้อมสีจากดอกบัวและสายบัว สามารถสร้างความหลากหลายของเฉดสีบนเส้นไหมมากกว่า 20 เฉดสีจากการย้อมผงสีจากดอกและสายบัวแดง ตั้งแต่ เฉดเทา-เงิน น้ำตาล-ทอง จนกระทั่งถึงเฉदनํ้าตาลเข้ม

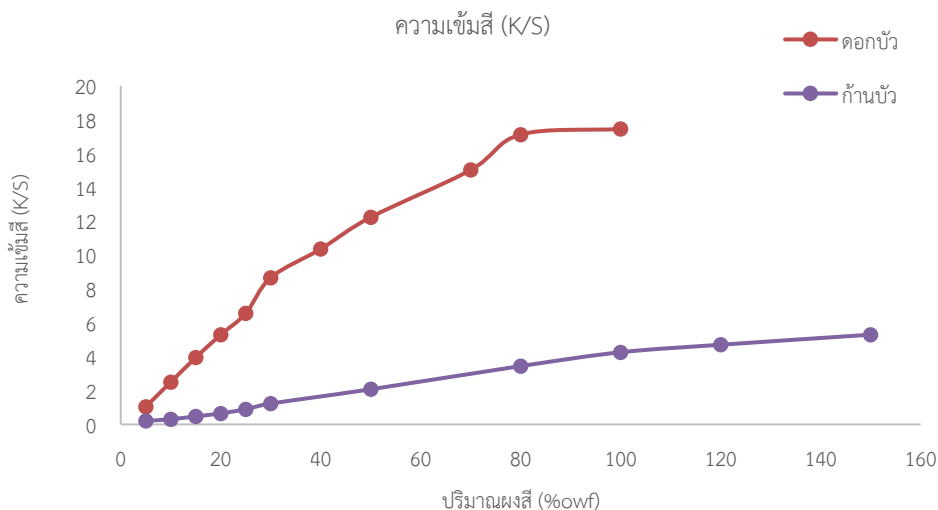
ตารางที่ 4.2 ผลการย้อมเส้นไหมด้วยสีจากดอกบัวแดง

ผงสีจาก ดอกบัว (%owf)	ความเข้ม สี (K/S)	เฉดสี			
		L [*]	a [*]	b [*]	CIE
5	1.04	75.77	2.43	14.57	
10	2.50	67.20	3.83	18.59	
15	3.95	61.87	4.66	20.13	
20	5.29	58.69	5.20	21.17	
25	6.56	56.49	5.77	22.14	
30	8.67	53.63	6.36	23.30	
40	10.36	50.64	6.87	23.34	
50	12.23	48.86	7.29	24.00	
70	15.02	45.86	7.98	24.52	
80	17.12	42.96	8.11	23.85	
100	17.45	42.12	8.29	23.61	

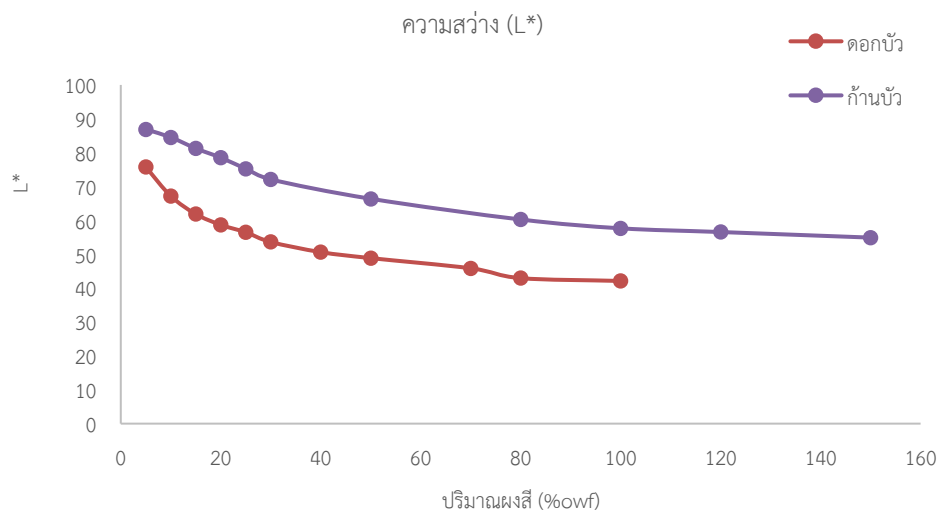
ตารางที่ 4.3 ผลการย้อมเส้นไหมด้วยสีจากส่ายบัวแดง

ผงสีจาก ดอกบัว (%owf)	ความ เข้มข้น (K/S)	เฉดสี			
		L [*]	a [*]	b [*]	CIE
5	0.20	86.89	0.40	6.82	
10	0.31	84.54	0.90	8.75	
15	0.47	81.27	1.49	10.37	
20	0.65	78.53	1.85	11.48	
25	0.90	75.24	2.37	12.55	
30	1.23	72.11	2.80	13.76	
50	2.07	66.39	3.85	15.78	
80	3.44	60.27	4.91	17.52	
100	4.26	57.67	5.38	18.25	
120	4.70	56.57	5.66	18.79	
150	5.30	54.92	5.88	19.01	

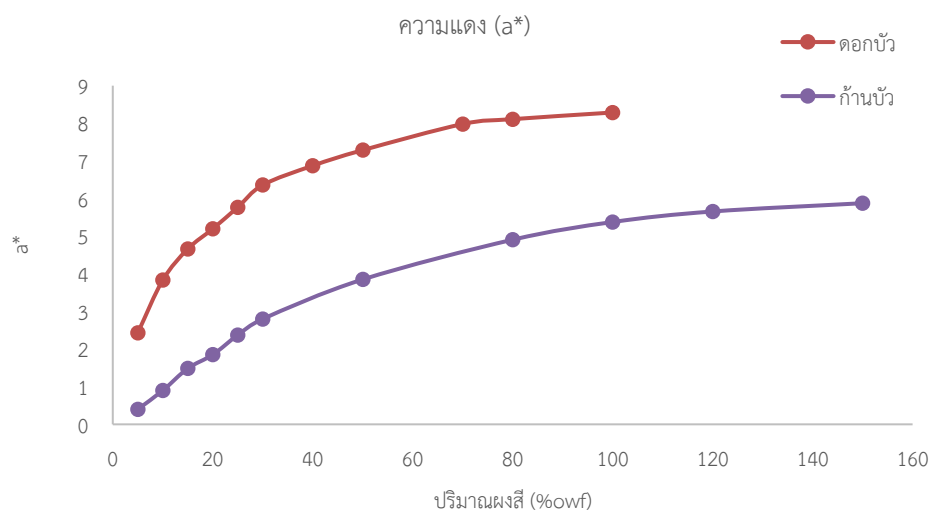
ผงสีสกัดจากดอกและสายบัวแดงละลายน้ำดีจึงสามารถย้อมเส้นไหมด้วยความเข้มข้นที่สูง โดยผงสีสกัดจากดอกบัวสามารถใช้ปริมาณสีที่สูงถึง 100%owf และผงสีสกัดจากสายบัวสามารถใช้ปริมาณสีที่สูงถึง 150%owf ปริมาณผงสีที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นไหมติดสีย้อมได้ดีขึ้น (K/S) ดังภาพที่ 4.4 เจดสีที่ย้อมได้มีความสว่างของสี (L^*) ที่ลดลง ความแดง (a^*) และความเหลือง (b^*) ของสีที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.5-4.7



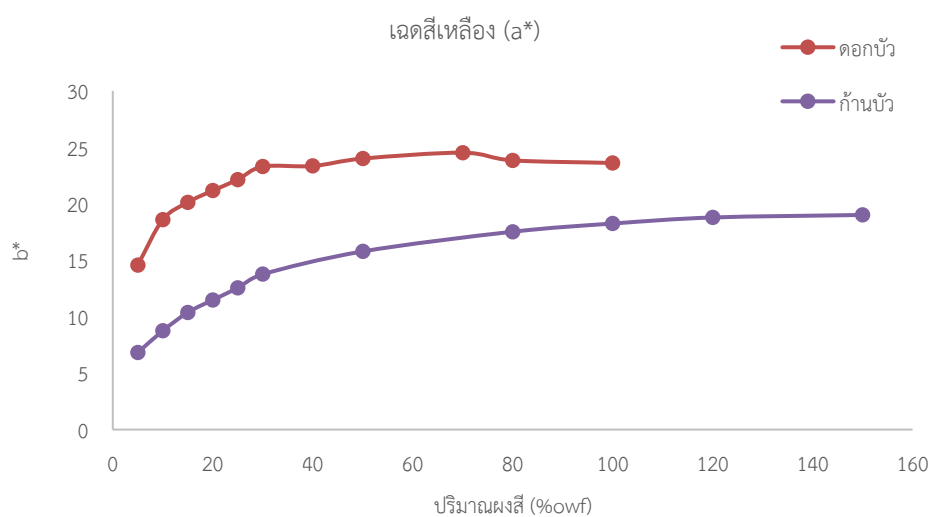
ภาพที่ 4.4 ค่าความเข้ม (K/S) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง



ภาพที่ 4.5 ค่าความสว่าง (L^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง



ภาพที่ 4.6 ค่าความแดง (a^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง



ภาพที่ 4.7 ค่าความเหลือง (b^*) ของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง

4.2.2 ผลของสารช่วยติด

การย้อมสีธรรมชาตินั้นสามารถสร้างความหลากหลายของเฉดสีและเพิ่มสมบัติด้านความคงทนของสีได้ด้วยสารเติมสารช่วยติด (mordants) งานวิจัยนี้จึงศึกษาชนิดของสารช่วยติดต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มและเฉดสีบนเส้นไหม ในกระบวนการย้อมเดียวกัน พบว่ามีสารช่วยติด 11 ชนิดที่ส่งผลต่อสมบัติดังกล่าว คือ

- | | |
|--|---|
| - กรดอะซิติก (CH_3COOH) | - คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) |
| - ซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) | - โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) |
| - โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) | - โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) |
| - เฟอรัสซัลเฟต (FeSO_4) | - แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) |
| - แมงกานีสซัลเฟต (MnSO_4) | - สารส้ม |
| - เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$) | |

ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากดอกบัวแดงแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่ามีสารช่วยติด 10 ชนิดที่ทำให้เส้นไหมมีความเข้มหรือเฉดสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยแบ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1) กลุ่มเพิ่มความสว่าง (ภาพที่ 4.8) เกิดจากการใช้สารช่วยย้อม 3 ชนิดที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
- 2) กลุ่มเพิ่มความเข้มสี (ภาพที่ 4.9) เกิดจากการใช้สารช่วยย้อม 5 ชนิด ได้แก่ แมงกานีสซัลเฟต (MnSO_4) ซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) กรดอะซิติก (CH_3COOH) สารส้ม และคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4)
- 3) กลุ่มเปลี่ยนเป็นโทนเทา-ดำ (ภาพที่ 4.10) เกิดจากการใช้สารช่วยย้อม 2 ชนิดที่มีธาตุเหล็ก (เฟอรัส) เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$) และเฟอรัสซัลเฟต (FeSO_4)

ตารางที่ 4.4 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากดอกบัวแดง

สารช่วยติด	ความเข้มข้น (K/S)	เฉดสี			
		L*	a*	b*	CIE
20%owf	5.29	58.69	5.20	21.17	
K ₂ CrO ₄	0.9	78.01	1.25	17.69	
K ₂ Cr ₂ O ₇	0.87	79.54	1.29	18.69	
KOH	0.67	81.22	1.37	12.81	
MnSO ₄	7.61	54.87	6.1	23.95	
ZnSO ₄	7.28	57.25	6.09	25.97	
Acetic acid	8.34	51.22	7.33	23.14	
สารส้ม	8.6	59.73	6.19	30.51	
CuSO ₄	13.85	47.55	8.01	29.38	
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂	12.95	29.53	1.28	3.7	
FeSO ₄	11.46	31.36	1.34	3.93	



ภาพที่ 4.8 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากดอกบัวแดงกลุ่มเพิ่มความสว่าง



ภาพที่ 4.9 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากดอกบัวแดงกลุ่มเพิ่มความเข้มสี



ภาพที่ 4.10 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากดอกบัวแดงกลุ่มเปลี่ยนเป็นโทนเทา-ดำ

ตารางที่ 4.5 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากสายบัวแดง

สารช่วยติด	ความเข้มข้น (K/S)	เฉดสี			
		L*	a*	b*	CIE
สี 20%owf	0.65	78.53	1.85	11.48	
K ₂ Cr ₂ O ₇	0.51	82.42	1.18	12.91	
KOH	0.37	86.34	0.86	9.03	
K ₂ CrO ₄	0.42	84.01	0.97	12.04	
MgCl ₂	0.96	74.85	2.53	13.7	
ZnSO ₄	1.32	73.14	2.91	17.16	
MnSO ₄	1.43	71.63	3.32	16.99	
สารส้ม	1.37	74.23	2.8	18.04	
Acetic acid	2.47	65.44	4.7	18.39	
CuSO ₄	3.06	65.76	4.22	22.78	
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂	2.12	60.18	1.75	9.56	
FeSO ₄	2.45	59.09	1.99	10.41	

ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากสายบัวแดงแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่ามีสารช่วยติด 11 ชนิดที่ทำให้เส้นไหมมีความเข้มหรือเจดสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มเช่นกัน คือ

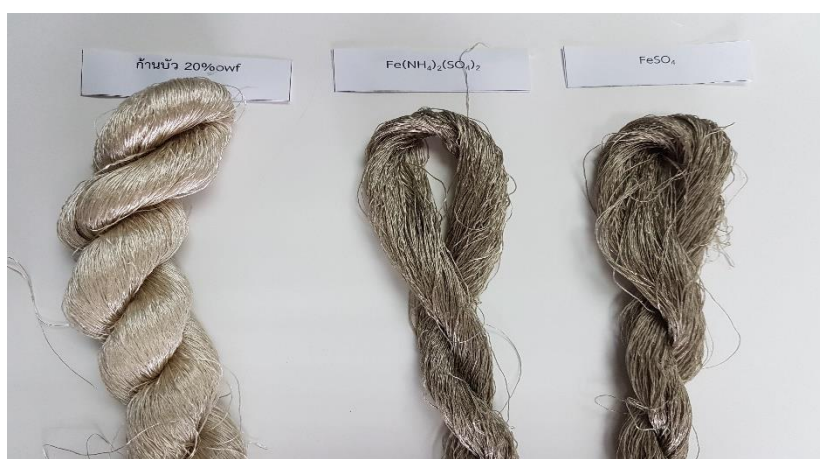
- 1) กลุ่มเพิ่มความสว่าง (ภาพที่ 4.11) เกิดจากการใช้สารช่วยย้อม 3 ชนิดที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
- 2) กลุ่มเพิ่มความเข้มสี (ภาพที่ 4.12) เกิดจากการใช้สารช่วยย้อม 5 ชนิด ได้แก่ แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) กรดอะซิติก (CH_3COOH) สารส้ม และคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$)
- 3) กลุ่มเปลี่ยนเป็นโทนเทา (ภาพที่ 4.13) เกิดจากการใช้สารช่วยย้อม 2 ชนิดที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) และเฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)



ภาพที่ 4.11 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากสายบัวแดงกลุ่มเพิ่มความสว่าง



ภาพที่ 4.12 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากสายบัวแดงกลุ่มเพิ่มความเข้มสี



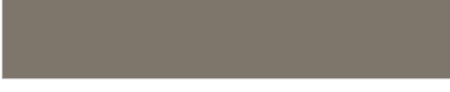
ภาพที่ 4.13 ผลการใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยสีจากสายบัวแดงกลุ่มเปลี่ยนเป็นโทนเทา

เมื่อนำเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีจากดอกบัวและสายบัวแดงมาทำการหมักโคลนจากชุมชนบ้านโนนกก จังหวัดอุดรธานี เป็นเวลา 3 วัน พบว่าเส้นไหมจะมีเฉดสีเปลี่ยนไปในโทนสีเทา เนื่องจากเนื้อโคลนมีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งจัดเป็นสารช่วยติดที่เกิดการเปลี่ยนเฉดสีเป็นโทนเทา แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารช่วยติดเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) พบว่าเฟอร์รัสซัลเฟตให้เฉดสีเทา-ดำที่เข้มกว่าเพราะมีไอออนของธาตุเหล็กมากกว่าโคลน ดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 ผลการหมักโคลนของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง

ตารางที่ 4.6 ผลการหมักโคลนของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสกัดจากบัวแดง

สารช่วยติด	ความเข้มข้น (K/S)	เฉดสี			
		L*	a*	b*	CIE
ดอกบัวแดง 30%owf	8.67	53.63	6.36	23.30	
หมักโคลน	11.75	40.59	4.82	16.49	
FeSO ₄	17.7	22.09	1.08	0.57	
สายบัวแดง 30%owf	1.23	72.11	2.80	13.76	
หมักโคลน	1.97	63.69	2.07	12.75	
FeSO ₄	3.56	50.10	1.86	7.05	

4.3 ผลการเตรียมผงสีด้วยเทคนิคการทำผึ่งแห้งแบบพ่นฝอย

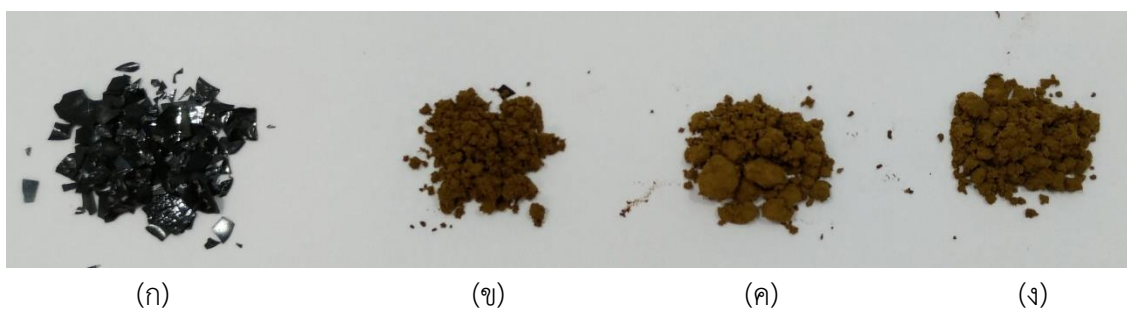
4.3.1 ศึกษาอุณหภูมิขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเตรียมดอกบัวและสายบัวผง

ศึกษาอุณหภูมิขาเข้าต่อสัณฐานวิทยา สี ร้อยละผลผลิตและความชื้นของดอกบัวหรือสายบัวผง โดยใช้อัตราการป้อนที่ 10 รอบต่อนาทีและค่าการไหลของอากาศ (Air blow) ที่ 20

4.3.1.1 ลักษณะของดอกบัวและสายบัวผง

ศึกษาลักษณะของดอกบัวและสายบัวผงจากการอบแห้งและจากการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้าที่ต่างกัน ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.15-4.16

จากการทำแห้งด้วยการอบ ลักษณะของดอกบัวผงมีสีดำและมันวาว (ภาพที่ 4.15 (ก)) ในขณะที่สายบัวผงมีสีน้ำตาลเข้มและมีลักษณะด้าน (ภาพที่ 4.16 (ก)) แต่เมื่อใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยในการทำผงสี พบว่า ทั้งดอกบัวและสายบัวผงมีสีอ่อนลงเมื่อเทียบกับการอบแห้ง โดยดอกบัวผงมีสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 4.15) ส่วนสายบัวผงมีสีเหลือง (ภาพที่ 4.16) เมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้าที่ต่างกันในการทำสีผง แสดงว่า อุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้นส่งผลให้สีผงทั้งจากดอกบัวและสายบัวมีสีอ่อนลง



ภาพที่ 4.15 ลักษณะของดอกบัวผง (ก) การอบ (ข) อุณหภูมิเข้าที่ 130°C (ค) อุณหภูมิเข้าที่ 150°C (ง) อุณหภูมิเข้าที่ 170°C



ภาพที่ 4.16 ลักษณะของสายบัวผง (ก) การอบ (ข) อุณหภูมิเข้าที่ 130°C (ค) อุณหภูมิเข้าที่ 150°C (ง) อุณหภูมิเข้าที่ 170°C

4.3.1.2 ร้อยละผลผลิตและปริมาณความชื้น

ศึกษาอุณหภูมิเข้าต่อร้อยละผลผลิตและปริมาณความชื้นของดอกบัวและสายบัวผง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิเข้าต่อร้อยละผลผลิตและความชื้นของดอกบัวและสายบัวผง

อุณหภูมิเข้า (°C)	ร้อยละผลผลิต		ร้อยละความชื้น	
	ดอกบัว	สายบัว	ดอกบัว	สายบัว
การอบ	-	-	6.92 ± 0.03	6.75 ± 0.06
130	43.66 ± 0.68	6.92 ± 0.03	5.86 ± 0.04	5.63 ± 0.11
150	46.40 ± 0.70	5.86 ± 0.04	5.76 ± 0.06	4.80 ± 0.09
170	49.76 ± 0.72	5.76 ± 0.06	4.84 ± 0.04	4.52 ± 0.09

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 พบว่า ผลผลิตของดอกบัวและสายบัวอยู่ในช่วงร้อยละ 43-49 และ 49-59 ตามลำดับ ซึ่งร้อยละของผลผลิตที่ได้ (ประมาณร้อยละ 50)

สอดคล้องกับการทดลองของ Obón และคณะ (2009: 471-479) ที่ศึกษาการทำสีผสมอาหารจากผลไม้ *Opuntia stricta* โดยใช้อุณหภูมิขาเข้าที่แตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ แสดงว่า การใช้อุณหภูมิขาเข้าที่แตกต่างกันมีผลต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวและสายบัวผง กล่าวคือ การใช้อุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการทำผงแห้งเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวล (Heat and mass transfer process) ที่ดีขึ้น น้ำระเหยออกไปกับลมร้อนได้เร็วขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์เกาะติดตามผนังห้องอบแห้งและส่วนต่าง ๆ ของเครื่องลดลง (Shishir et al. 2016: 462-468, Ngamsanga, S. et al. 2015: 465-468)

ผลศึกษาความชื้นของผงสีที่ได้จากดอกบัวและสายบัวแดงด้วยเครื่องวัดความชื้น (moisture analyzer) พบว่า ความชื้นของดอกบัวและสายบัวผงจากการอบมีความชื้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยในการทำผงสี และการเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าของสารสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นของทั้งดอกบัวและสายบัวผงลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราถ่ายเทความร้อน (Rate of heat transfer) ไปที่อนุภาคดีขึ้น จึงส่งผลให้การระเหยของความชื้นที่ดีขึ้น (Fazaeli, M. et al. 2012.: 667-675)

4.3.1.3 ปริมาณน้ำอิสระ

ปริมาณน้ำอิสระ หมายถึง กลุ่มโมเลกุลของน้ำที่เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในสารตัวอย่าง น้ำในกลุ่มนี้จะว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือเป็นตัวกลางที่สำคัญสำหรับปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมี จุลินทรีย์จึงนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ปริมาณน้ำอิสระนิยมนระบุโดยค่ากิจกรรมของน้ำ (Water activity, a_w) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 (น้ำ, ม.ป.ป.: ออนไลน์) ค่ากิจกรรมของน้ำของผงสีจากดอกบัวและสายบัวแดงเมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้าต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า การใช้อุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่ากิจกรรมของน้ำต่ำลงซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Daza L.D. et al. (2016.: 20-29)

ตารางที่ 4.8 ค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวและสายบัวจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้าต่างกัน

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	ค่ากิจกรรมของน้ำ	
	ดอกบัว	สายบัว
การอบ	0.380 ± 0.017	0.362 ± 0.010
130	0.329 ± 0.018	0.317 ± 0.006
150	0.310 ± 0.005	0.294 ± 0.008
170	0.290 ± 0.007	0.285 ± 0.010

4.3.1.4 สีของผงสี

นำดอกบัวและสายบัวผงมาวัดค่า CIE $L^*a^*b^*$ ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9-4.10

การมองเห็นของมนุษย์ต่อวัตถุสีนั้นเป็นการมองเห็นที่มีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล จึงมีการพัฒนาอุปกรณ์วัดสีเพื่อลดปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการมองเห็นสี เช่น แหล่งกำเนิดและผู้สังเกตการณ์ โดยองค์กรที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานด้านสีคือ Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) ระบบการวัดสีที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบัน คือ $L^*a^*b^*$ เป็นการบรรยายสีแบบสามมิติมีความหมาย ดังนี้ (เจริญชัย เหลืองอ่อน. 2553.: ออนไลน์)

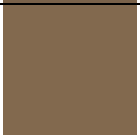
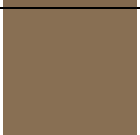
L^* คือ ความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) -100 (สีขาว)

a^* คือ แกนสีจากสีเขียว ($-a^*$) จนถึง สีแดง ($+a^*$)

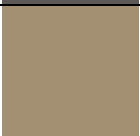
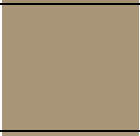
b^* คือ แกนสีจากสีน้ำเงิน ($-b^*$) จนถึงสีเหลือง ($+b^*$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9-4.10 พบว่า ดอกบัวและสายบัวผงจากการอบแห้งมีความสว่างต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยในการทำผงสี โดยรวม สีของสายบัวผงมีความสว่างสูงกว่าและมีความแดงน้อยกว่าสีจากดอกบัวผง การใช้อุณหภูมิเข้าของสารที่สูงขึ้น ส่งผลให้ทั้งดอกบัวและสายบัวผงมีความสว่างขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นในสีผงลดลงตามอุณหภูมิเข้าที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากสีผงที่มีความสว่างขึ้นแล้ว การใช้อุณหภูมิเข้าของสารที่สูงขึ้นส่งผลให้สีผงมีสีไปในทางสีเหลืองขึ้นเล็กน้อยและความแดงลดลงเล็กน้อย (ตารางที่ 4.9-4.10)

ตารางที่ 4.9 สีของดอกบัวผงจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อใช้อุณหภูมิเข้า
ต่างกัน

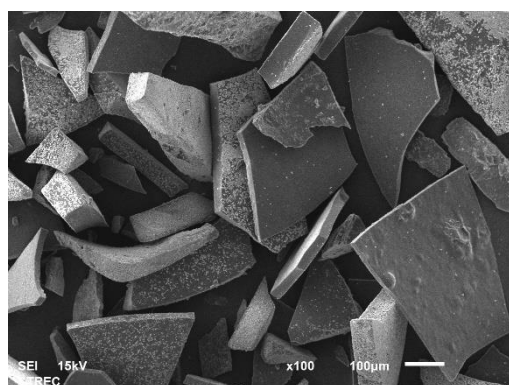
อุณหภูมิเข้า (องศาเซลเซียส)	L*	a*	b*	สี
การอบ	36.81 ± 0.62	-0.01 ± 0.05	-1.51 ± 0.12	
130	43.42 ± 0.56	7.83 ± 0.20	17.22 ± 0.30	
150	46.22 ± 0.17	7.41 ± 0.17	18.81 ± 0.47	
170	48.73 ± 0.19	7.34 ± 0.35	19.51 ± 0.16	

ตารางที่ 4.10 สีของสายบัวผงจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อใช้อุณหภูมิเข้า
ต่างกัน

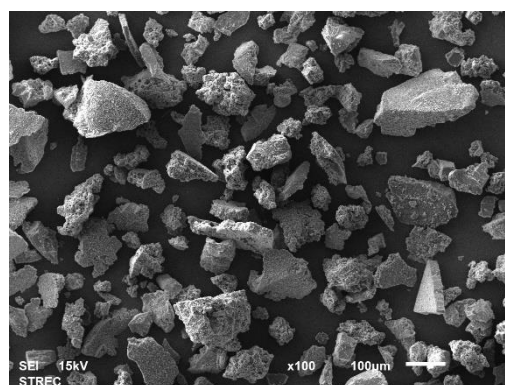
อุณหภูมิเข้า (องศาเซลเซียส)	L*	a*	b*	สี
การอบ	38.27 ± 0.12	1.29 ± 0.25	1.50 ± 0.42	
130	60.67 ± 1.22	4.56 ± 0.09	18.23 ± 0.27	
150	62.88 ± 0.81	4.38 ± 0.11	18.32 ± 0.22	
170	64.95 ± 0.87	4.22 ± 0.10	18.60 ± 0.27	

4.3.1.5 สัณฐานวิทยาของสีผง

ผลศึกษาสัณฐานวิทยาของดอกบัวผงและสายบัวผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อใช้วิธีการเตรียมสีผงต่างกัน คือ การอบและการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.17 และตารางที่ 4.11



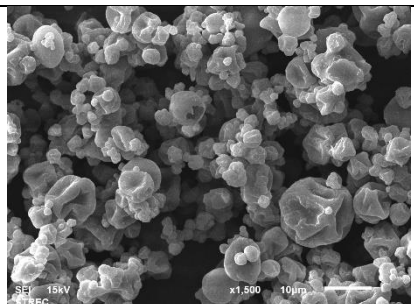
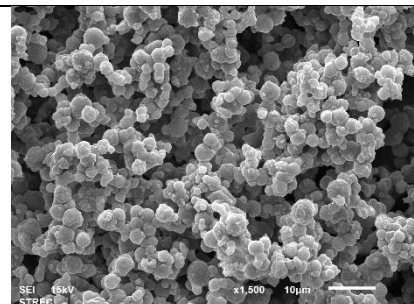
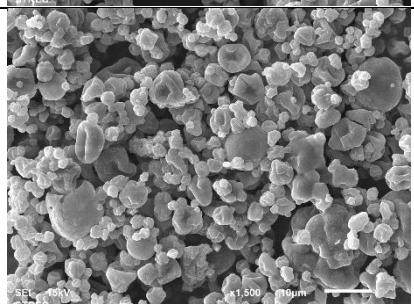
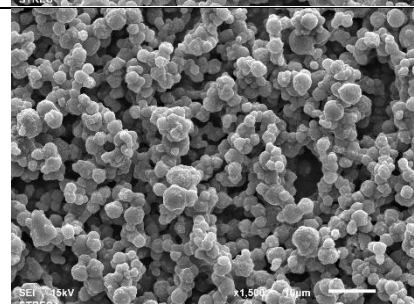
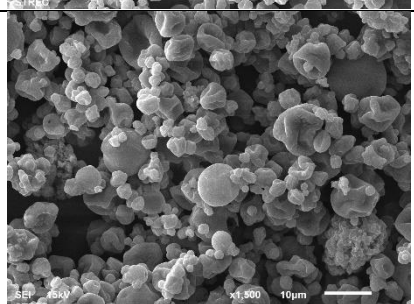
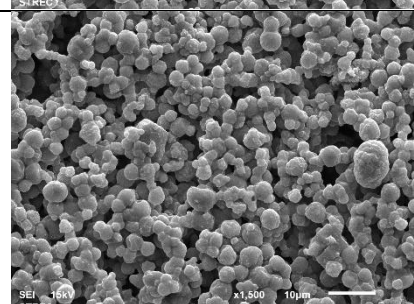
(ก) ดอกบัวผง



(ข) สายบัวผง

ภาพที่ 4.17 สัณฐานวิทยาของ (ก) ดอกบัวผง และ (ข) สายบัวผงจากการอบ ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ตารางที่ 4.11 สัณฐานวิทยาของดอกบัวและสายบัวผงจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าต่างกัน (กำลังขยาย 1,500 เท่า)

อุณหภูมิเข้า (°C)	สัณฐานวิทยา	
	ดอกบัว	สายบัว
130		
150		
170		

สัณฐานวิทยาของดอกบัวและสายบัวผงจากการอบแห้ง (ภาพที่ 4.17) มีลักษณะเป็นเกล็ดและมีขนาดใหญ่กว่าสัณฐานวิทยาของดอกบัวและสายบัวผงจากการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย อนุภาคผงมีขนาดตั้งแต่ 2 ถึง 15 ไมโครเมตร อนุภาคผงมีรูปร่างกลมและมีโครงสร้างที่เกาะติดกัน ซึ่งการเกาะติดกันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากผลทางไฟฟ้าสถิต (Static electrical effects) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) (Martinez, F.M.L. et al. 2010: 864-870)

เมื่อเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของดอกบัวและสายบัวผงจากการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า ผงสีจากสายบัวมีขนาดเล็กกว่าผงสีจากดอกบัว เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าเท่ากัน

4.3.1.6 ผลการละลายของผงสี

หนึ่งในสมบัติของสีย้อมที่ดี คือ ควรมีการกระจายตัวหรือละลายในน้ำได้ดี ดังนั้นจึงทดสอบการละลายของผงสีที่เตรียมจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าต่างกัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การละลายของดอกบัวและสายบัวผงจากการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อใช้อุณหภูมิเข้าต่างกัน

อุณหภูมิเข้า (องศาเซลเซียส)	ความสามารถในการละลาย (วินาที)	
	ดอกบัว	สายบัว
การอบ	254.33 ± 7.37	247.67 ± 10.79
130	116.67 ± 3.51	115.00 ± 2.65
150	131.33 ± 3.79	127.67 ± 2.52
170	148.67 ± 4.73	135.33 ± 4.16

ความสามารถในการละลายของผงสีจากก้านบัวและดอกบัวในน้ำกลั่นอยู่ในช่วง 115 - 254 วินาที (ตารางที่ 4.12) เมื่อเปรียบเทียบผงสีที่เตรียมจากการอบกับผงสีจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าผงสีจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยละลายในน้ำได้เร็วกว่าผงสีจากการอบ ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของผงสีจากการอบมีขนาดใหญ่กว่าผงสีจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โมเลกุลของน้ำที่จะแพร่ผ่านเข้าไปในผงสีจึงยากกว่า เวลาที่ใช้ในการละลายผงสีจากการอบจึงนานกว่าการละลายผงสีจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย สำหรับการใช้อุณหภูมิเข้าที่สูงขึ้นส่งผลให้ผงสีละลายช้าลง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิเข้าที่สูงขึ้นอาจทำให้พื้นผิวภายนอกของผงสีมีความแข็งมากขึ้นจึงป้องกันโมเลกุลของน้ำในการแพร่ผ่านเข้าไปในอนุภาคของผงสีได้ (Chegini and Ghobadian, 2005)

4.3.2 ผลศึกษาอัตราการป้อนสารของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเตรียมดอกบัวและสายบัวผง

การศึกษากำหนดอัตราการป้อนสารต่อสัณฐานวิทยา สี ร้อยละผลผลิตและความชื้นของดอกบัวหรือสายบัวผง โดยใช้อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียสและค่าการไหลของอากาศ (air blow) ที่ 20

4.3.2.1 ลักษณะของดอกบัวและสายบัวผง

ศึกษาลักษณะของดอกบัวและสายบัวผงจากการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ต่างกัน ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.18-4.19 จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้อัตราการป้อนสารสูงขึ้น ทั้งดอกบัวและสายบัวผงมีสีเข้มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราการป้อนสารสูงขึ้น น้ำในสารที่ป้อนเข้าเครื่องมีเวลาน้อยในการระเหยจึงส่งผลให้ผงสีมีความชื้นสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.18 ลักษณะของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน (ก) 5 รอบต่อนาที (ข) 10 รอบต่อนาที (ค) 15 รอบต่อนาที (ง) 20 รอบต่อนาที



ภาพที่ 4.19 ลักษณะของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน (ก) 5 รอบต่อนาที (ข) 10 รอบต่อนาที (ค) 15 รอบต่อนาที (ง) 20 รอบต่อนาที

4.3.2.2 ร้อยละผลผลิตและปริมาณความชื้น

ศึกษาอัตราการป้อนสารต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวและสายบัวผง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลของอัตราการป้อนสารต่อร้อยละผลผลิตและความชื้นของดอกบัวและสายบัวผง

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	ร้อยละผลผลิต		ร้อยละความชื้น	
	ดอกบัว	สายบัว	ดอกบัว	สายบัว
5	51.07 ± 0.78	54.36 ± 0.47	4.84 ± 0.09	3.76 ± 0.05
10	46.40 ± 0.70	54.80 ± 0.72	5.76 ± 0.06	4.80 ± 0.09
15	42.62 ± 0.60	46.50 ± 1.33	6.22 ± 0.05	5.12 ± 0.10
20	39.75 ± 0.65	21.55 ± 1.51	6.51 ± 0.07	5.53 ± 0.09

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.13 พบว่า ผลผลิตของดอกบัวและสายบัวลดลงเมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการถ่ายโอนความร้อนและมวลช้าลงเมื่ออัตราการป้อนสารสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อใช้อัตราการป้อนสารสูงขึ้น บางส่วนของสารที่ป้อนเข้าไปจะตรงไปที่ที่เก็บสาร (Chamber) โดยไม่มีการทำเป็นละออง (Atomization) ส่งผลให้มีการสูญเสียมากและร้อยละผลผลิตต่ำ (Thirugnanasambandham and Sivakumar. 2017: 358-366; Tee, *et al.* 2012: 1833-1841)

ผลการศึกษาความชื้นของผงสีที่ได้จากดอกบัวและสายบัวแดงด้วยเครื่องวัดความชื้น (moisture analyzer) ในตารางที่ 4.13 พบว่า เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่สูงขึ้น น้ำในสารที่ป้อนเข้าเครื่องมีเวลาน้อยลงในการระเหยจึงส่งผลให้ผงสีมีความชื้นสูงขึ้น

4.3.2.3 ปริมาณน้ำอิสระ

ปริมาณน้ำอิสระระบุโดยค่ากิจกรรมของน้ำ เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า ค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวและสายบัวผงมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนสารที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4.14 ค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวและสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	ค่ากิจกรรมของน้ำ	
	ดอกบัว	สายบัว
5	0.299 ± 0.008	0.284 ± 0.011
10	0.310 ± 0.005	0.294 ± 0.008
15	0.323 ± 0.009	0.308 ± 0.004
20	0.353 ± 0.008	0.323 ± 0.009

4.3.2.4 สีของผงสี

นำดอกบัวและสายบัวผงมาวัดค่า CIE L*a*b* ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.15-4.16 จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้อัตราการป้อนสารสูงขึ้น ส่งผลให้ดอกบัวและสายบัวผงที่เตรียมจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความสว่างลดลง เนื่องจากสารที่ป้อนเข้าเครื่องมีเวลาน้อยลงในการระเหยจึงส่งผลให้ผงสีมีความชื้นสูงขึ้น ส่วนในด้านความเหลืองของผงสีนั้น เมื่อใช้อัตราการป้อนสารสูงขึ้น สีของดอกบัวผงมีค่าความเหลืองลดลง ในขณะที่สีของสายบัวผงมีค่าความเหลืองสูงขึ้น

ตารางที่ 4.15 สีของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	L*	a*	b*	สี
5	50.19 ± 0.99	6.81 ± 0.22	19.05 ± 0.43	
10	46.22 ± 0.17	7.41 ± 0.17	18.81 ± 0.47	
15	44.31 ± 0.39	7.47 ± 0.14	16.28 ± 0.57	
20	42.47 ± 0.26	7.35 ± 0.18	11.85 ± 0.25	

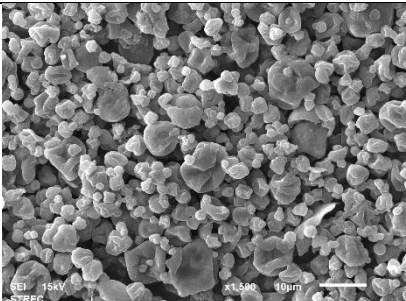
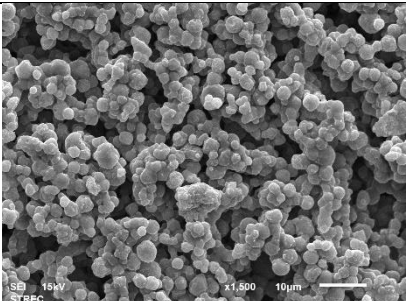
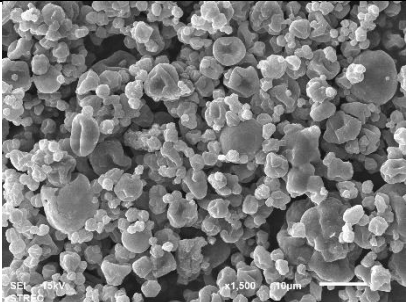
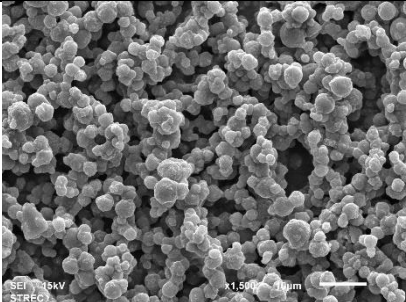
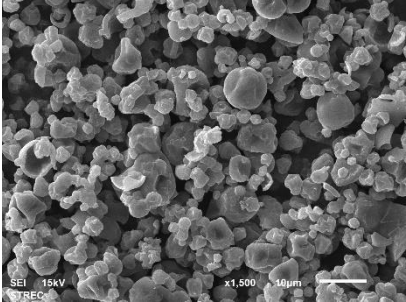
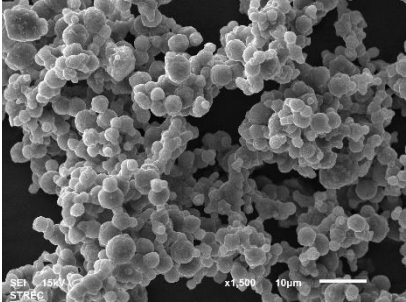
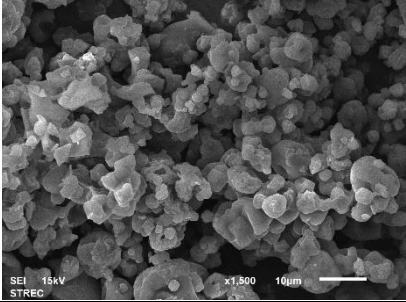
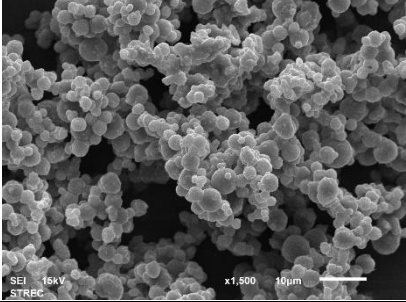
ตารางที่ 4.16 สีของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน

อัตราการป้อนสาร (รอบ ต่อนาที)	L*	a*	b*	สี
5	66.86 ± 0.41	3.58 ± 0.06	17.66 ± 0.14	
10	62.88 ± 0.81	4.38 ± 0.11	18.32 ± 0.22	
15	61.27 ± 0.59	4.58 ± 0.11	18.52 ± 0.15	
20	59.39 ± 0.62	4.76 ± 0.06	18.82 ± 0.54	

4.3.2.5 สัณฐานวิทยาของสีผง

ศึกษาสัณฐานวิทยาของดอกบัวผงและสายบัวผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.17 พบว่า อัตราการป้อนสารที่สูงขึ้นส่งผลให้ผงสีเกาะรวมกันเป็นก้อนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นระเหยออกจากสารได้น้อยลง เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารขึ้น

ตารางที่ 4.17 สัณฐานวิทยาของดอกบัวและสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	สัณฐานวิทยา	
	ดอกบัว	สายบัว
5		
10		
15		
20		

4.3.2.6 การละลายของผงสี

ความสามารถในการละลายของผงสีจากก้านบัวและดอกบัวในน้ำกลั่น เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกันแสดงในตารางที่ 4.18 พบว่า อัตราการป้อนสารสูงขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของผงสีเร็วขึ้น เนื่องจากพื้นผิวภายนอกของผงสีจากการใช้อัตราการป้อนสารที่สูง มีความแข็งแรงน้อยกว่าพื้นผิวภายนอกของผงสีจากการใช้อัตราการป้อนสารต่ำ โมเลกุลของน้ำในการแพร่ผ่านเข้าไปในอนุภาคของผงสีได้ง่ายกว่า

ตารางที่ 4.18 ผลของอัตราการป้อนสารต่อความสามารถในการละลายของดอกบัวและสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	ความสามารถในการละลาย (วินาที)	
	ดอกบัว	สายบัว
5	138.00 ± 3.46	132.33 ± 2.08
10	131.33 ± 3.79	127.67 ± 2.52
15	127.00 ± 6.08	124.00 ± 3.00
20	119.67 ± 4.04	116.00 ± 2.65

4.3.3 ผลศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อลักษณะของดอกบัวและสายบัวผงที่ได้จากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

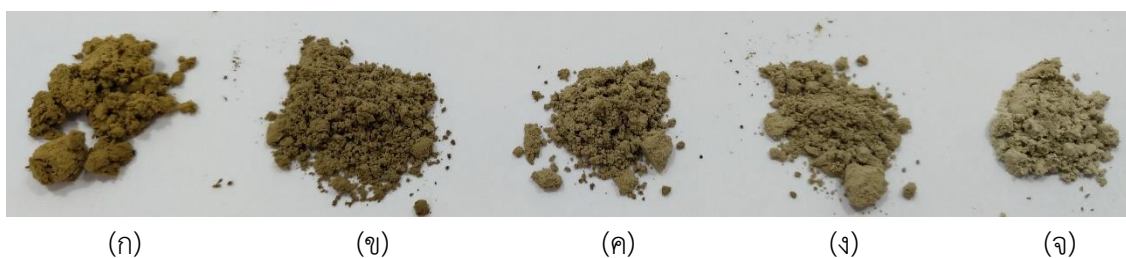
ผลศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อสัณฐานวิทยา สี ร้อยละผลผลิตและความชื้นของดอกบัวหรือสายบัวผง โดยควบคุมภาวะ ดังนี้ ใช้อุณหภูมิ อัตราการป้อนสารและค่าการไหลของอากาศที่ 150 องศาเซลเซียส 10 รอบต่อนาทีและ 20 ตามลำดับ

4.3.3.1 ลักษณะของดอกบัวและสายบัวผง

ศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อลักษณะของดอกบัวและสายบัวผง โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.20-4.21



ภาพที่ 4.20 ลักษณะของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราส่วนของสีต่อมอลโทเดกซ์ทรินที่ (ก) 100:0 (ข) 85:15 (ค) 70:30 (ง) 55:45 (จ) 40:60



ภาพที่ 4.21 ลักษณะของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราส่วนของสีต่อมอลโทเดกซ์ทรินที่ (ก) 100:0 (ข) 85:15 (ค) 70:30 (ง) 55:45 (จ) 40:60

เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้น ผงสีจากทั้งดอกบัวและสายบัวมีสีอ่อนลง (ภาพที่ 4.20-4.21) ทั้งนี้เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินมีสีขาว เมื่อนำไปผสมกับผงสีจึงทำให้มีสีอ่อนลง

4.3.3.2 ร้อยละผลผลิตและปริมาณความชื้น

ผลศึกษาปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อร้อยละผลผลิตและปริมาณความชื้นของดอกบัวและสายบัวผง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวและสายบัวผง

อัตราส่วน สี : มอลโทเดกซ์ทริน	ร้อยละผลผลิต		ร้อยละความชื้น	
	ดอกบัว	ดอกบัว	ดอกบัว	สายบัว
100 : 0	46.40 ± 0.70	5.76 ± 0.06	5.76 ± 0.06	4.80 ± 0.09
85 : 15	50.61 ± 1.37	5.17 ± 0.04	5.17 ± 0.04	4.56 ± 0.15
70 : 30	51.30 ± 0.93	4.98 ± 0.12	4.98 ± 0.12	4.34 ± 0.19
55 : 45	51.57 ± 1.67	4.67 ± 0.09	4.67 ± 0.09	4.10 ± 0.08
40 : 60	52.02 ± 0.57	4.54 ± 0.22	4.54 ± 0.22	3.94 ± 0.13

การใส่มอลโทเดกซ์ทรินไม่ได้ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของสายบัวผง อย่างไรก็ตาม ในส่วนของดอกบัวผง พบว่าการใส่มอลโทเดกซ์ทรินช่วยเพิ่มร้อยละผลผลิต (ตารางที่ 4.19) ทั้งนี้เนื่องจาก มอลโทเดกซ์ทรินที่มีสมบัติดูดซึมความชื้นต่ำ การใช้ความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินในสารละลายที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการไหลของผง (Powder flowability) ดีขึ้น ดังนั้น ร้อยละผลผลิตจึงสูงขึ้น (A-sun et al. 2016: 1315-1319)

ในกรณีของสายบัว สายบัวมีปริมาณเกลือสูง จึงทำให้ผงสีจากสายบัวดูดซึมความชื้นได้อย่างรวดเร็วซึ่งลดความสามารถในการไหลของผงลง ดังนั้นแม้จะใส่มอลโทเดกซ์ทรินลงไป ในสารละลายสำหรับทำสีผงก็ไม่ได้ช่วยเพิ่มร้อยละผลผลิตของสายบัวผง

ผลศึกษาความชื้นของผงสีที่ได้จากดอกบัวและสายบัวแดงผสมมอลโทเดกซ์ทรินด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.19 พบว่าความชื้นของดอกบัวและสายบัวผงผสมมอลโทเดกซ์ทรินมีค่าลดลง ตามสัดส่วนการใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Fazaeli, M. et al. (2012: 667-675) ที่พบว่าความชื้นของผงหม่อนลดลงเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารตัวนำเพิ่มขึ้น

4.3.3.3 ปริมาณน้ำอิสระ

ค่ากิจกรรมของน้ำเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับผงที่ทำจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพราะส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของสารที่ผลิตได้ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวและสายบัวผงผสมมอลโทเดกซ์ทริน

อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทริน	ค่ากิจกรรมของน้ำ	
	ดอกบัว	สายบัว
100 : 0	0.310 ± 0.005	0.294 ± 0.008
85 : 15	0.300 ± 0.003	0.273 ± 0.017
70 : 30	0.272 ± 0.004	0.260 ± 0.004
55 : 45	0.261 ± 0.003	0.257 ± 0.004
40 : 60	0.254 ± 0.007	0.252 ± 0.002

จากตารางที่ 4.20 พบว่า ค่ากิจกรรมของน้ำของผงสีจากดอกบัวแดงและสายบัวแดงอยู่ในช่วง 0.25-0.31 ซึ่งแสดงว่าผงสีจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยค่อนข้างมีเสถียรภาพทางจุลชีววิทยา

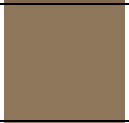
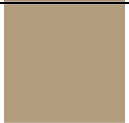
ค่ากิจกรรมของน้ำของผงสีจากดอกบัวแดงและสายบัวแดงมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kanpairo, K. et al (2012: 893-899) ที่ศึกษาการทำผงกลั่นหนูว่า การใช้มอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้น ค่ากิจกรรมของน้ำลดลง

4.3.3.4 สีของผงสี

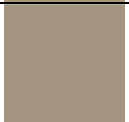
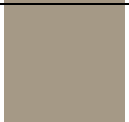
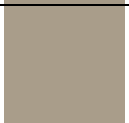
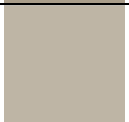
นำผงสีจากดอกบัวและสายบัวผสมมอลโทเดกซ์ทรินมาวัดค่า CIE L*a*b* ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.21-4.22 เนื่องจาก มอลโทเดกซ์ทรินมีสีขาว เมื่อผสมมอลโทเดกซ์ทรินลงในสีจากดอกบัวและสายบัวจึงทำให้ผงสีที่ได้มีค่าความสว่างสูงขึ้น (ตารางที่ 4.21-4.22) ในกรณีค่าความเหลืองนั้นพบว่า ดอกบัวผงมีค่าความเหลืองไม่แตกต่างกัน ในขณะที่สายบัวผงมีค่าความเหลืองลดลงเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้น ตามลำดับ นอกจากนี้ ทั้งดอกบัวผงและสายบัวผงมีค่า a* ลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินสูงขึ้นเพราะอัตราส่วน

ของสารตัวนำ (มอลโทเดกซ์ทรีน) ต่อสารตัวอย่างสูงชันส่งผลให้สารตัวอย่างเจือจางลง (เจษฎา สนทอง และคณะ. 2561: 439-451)

ตารางที่ 4.21 สีของดอกบัวผง เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่างกัน

อัตราส่วนสีต่อมอลโท เดกซ์ทรีน	L*	a*	b*	สี
100 : 0	46.22 ± 0.17	7.41 ± 0.17	18.81 ± 0.47	
85 : 15	51.51 ± 0.26	6.37 ± 0.05	18.59 ± 0.18	
70 : 30	54.30 ± 0.61	6.00 ± 0.12	20.02 ± 0.38	
55 : 45	61.59 ± 0.16	4.93 ± 0.06	20.00 ± 0.01	
40 : 60	65.76 ± 0.58	3.91 ± 0.05	19.89 ± 0.12	

ตารางที่ 4.22 สีของสายบัวผง เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่างกัน

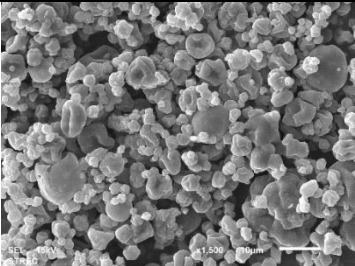
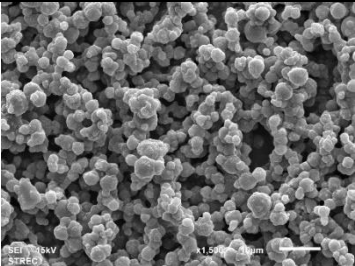
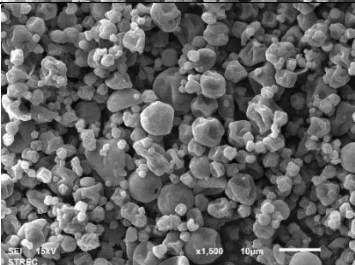
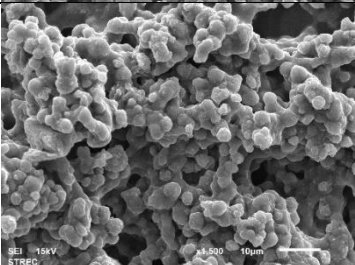
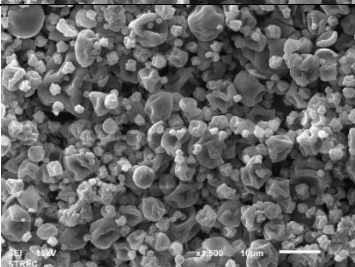
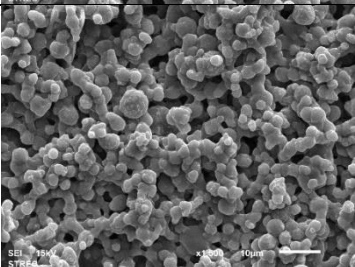
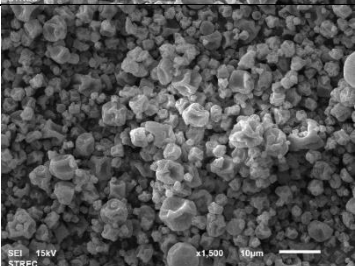
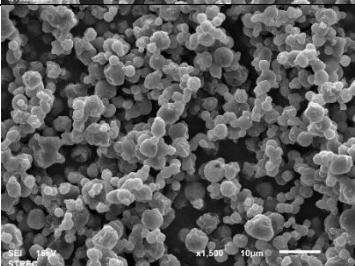
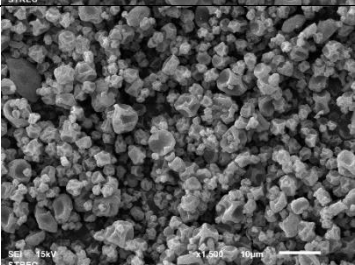
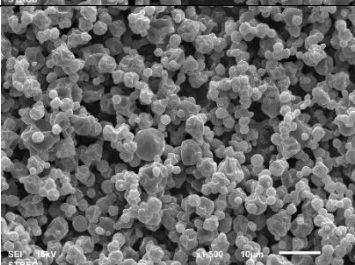
อัตราส่วนสีต่อมอลโท เดกซ์ทรีน	L*	a*	b*	สี
100 : 0	62.88 ± 0.81	4.38 ± 0.11	18.32 ± 0.22	
85 : 15	62.28 ± 0.15	2.73 ± 0.02	12.01 ± 0.14	
70 : 30	63.84 ± 0.02	2.36 ± 0.05	11.78 ± 0.13	
55 : 45	65.28 ± 0.80	2.28 ± 0.11	11.72 ± 0.26	
40 : 60	74.15 ± 0.36	1.32 ± 0.03	9.29 ± 0.09	

4.3.3.5 สัณฐานวิทยาของสีผง

ศึกษาสัณฐานวิทยาของดอกบัวผงและสายบัวผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อใช้สัณฐานของสีต่อมอลโทเดกซ์ทรีนต่างกัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.23

ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีน พบว่าอนุภาคมีทรงกลมที่มีพื้นผิวหดตัว (a spherical shape with a shriveled surface) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Kurozawa, L.E. et al. (2009: 326-333) ที่ทำผงแห้งของโปรตีนไฮโดรไลเซตจากเนื้อไก่ (chicken meat protein hydrolysate) ผสมมอลโทเดกซ์ทรีน รอยบูนนี้เกิดจากการหดตัวของอนุภาคในขณะที่ทำแห้งและทำให้เย็นตัวลง รอยบูนเหล่านี้มีผลกระทบต่อสมบัติการไหลของอนุภาคของผง

ตารางที่ 4.23 สัณฐานวิทยาของดอกบัวและสายบัวผงผสมมอลโทเดกซ์ทรีน เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่างกัน

อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทรีน	ร้อยละความชื้น	
	ดอกบัว	สายบัว
100 : 0		
85 : 15		
70 : 30		
55 : 45		
40 : 60		

4.3.3.6 การละลายของผงสี

ขนาดอนุภาค โครงสร้างที่มีความเป็นรูพรุนและปริมาณความชื้นของผงสีเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความสามารถในการละลายได้ (Goula and Adamopoulos, 2008) ผลการศึกษาความสามารถในการละลายของผงสีเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 การละลายของดอกบัวและสายบัวผงเมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีนต่างกัน

อัตราส่วนสีต่อมอลโทเดกซ์ทรีน	ความสามารถในการละลาย (วินาที)	
	ดอกบัว	สายบัว
100 : 0	131.33 ± 3.79	127.67 ± 2.52
85 : 15	140.67 ± 5.51	134.67 ± 2.65
70 : 30	154.00 ± 3.61	145.33 ± 3.06
55 : 45	163.67 ± 3.51	154.00 ± 4.00
40 : 60	167.67 ± 7.51	160.33 ± 4.93

จากการทดลองในตารางที่ 4.24 พบว่าความสามารถในการละลายของผงสีลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทรีน เนื่องจากความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรีนส่งผลให้ผงสีมีความหนาแน่นสูงขึ้น ผงสีจึงมีความเป็นรูพรุนน้อยลง ซึ่งส่งผลโดยตรงในการลดความสามารถในการดูดซึมความชื้นของผงสีลง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ A-sun, K และคณะ (2016) ที่ศึกษาความสามารถในการละลายของน้ำตาลมะพร้าวจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

4.4 ความคงตัวของผงสี

นำผงสีที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 เดือนมาชั่งบดใหม่ด้วยความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุสิ่งทอนาน 1 ชั่วโมง และทดสอบสี ความขาว ความเหลืองและความเข้มของสีบนไหม ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.25-4.26

ตารางที่ 4.25 ผลความคงตัวของผงสีจากดอกบัวแดงในการย้อมเส้นไหม

วิธีการเตรียมผงสี	ภาวะ	K/S	L*	a*	b*
การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	10.79	51.61	7.11	24.75
	K ₂ Cr ₂ O ₇	0.89	79.34	1.22	18.67
	FeSO ₄	17.70	22.09	1.08	0.57
	สารส้ม	8.69	59.15	5.97	29.67
	โคลน	11.75	40.59	4.82	16.49
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	ผงสี	10.79	52.31	6.78	24.06
	ผงสีผสมมอลโทเดกซ์ทรีน	6.33	57.96	5.61	22.19

ตารางที่ 4.26 ผลความคงตัวของผงสีจากสายบัวแดงในการย้อมเส้นไหม

วิธีการเตรียมผงสี	ภาวะ	K/S	L*	a*	b*
การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	1.66	69.47	3.49	15.87
	K ₂ Cr ₂ O ₇	0.73	79.78	1.09	14.60
	FeSO ₄	3.56	50.10	1.86	7.05
	สารส้ม	2.81	66.06	3.87	21.27
	โคลน	1.97	63.69	2.07	12.75
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	ผงสี	1.83	66.35	3.65	13.68
	ผงสีผสมมอลโทเดกซ์ทรีน	1.21	67.84	2.13	8.70

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มและเจดสีบนเส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีที่เตรียมโดยการอบ พบว่า ความเข้มและเจดสีไม่มีความแตกต่างกันเมื่อทำการเก็บผงสีไว้นานกว่า 2 เดือน ทั้งผงสีจากดอกบัวแดง (ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.25) และผงสีจากสายบัวแดง (ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.26) ที่ความเข้มข้นของผงสี 30 %owf ในส่วนของการเตรียมผงสีที่แตกต่างกัน คือ การอบและการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น นั้น พบว่า วิธีการเตรียมไม่มีผลต่อความเข้มและเจดสีของเส้นไหมทั้งที่ย้อมจากดอกบัวและสายบัวแดง โดยเส้นไหมที่ย้อมด้วยผงสีจากสายบัวแดงมีค่าความเข้มของสีน้อยกว่าไหมที่ย้อมด้วยผงสีจากดอกบัวแดง เนื่องจากดอกบัวมีปริมาณแทนนินที่สูงกว่าสายบัว แต่ในการผสมมอลโทเดกซ์ทรีนเข้าไปในระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอัตราส่วนผงสีต่อมอลโทเดกซ์ทรีน เท่ากับ 55:45 จะให้ค่าความเข้มของสีบนเส้นไหมต่ำกว่ากระบวนการทำแห้งที่ใช้ผงสีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการผสมมอลโทเดกซ์ทรีนในกระบวนการ ทำให้ปริมาณเนื้อสีในผงสีที่ใช้ย้อมลดลง ความเข้มสีบนเส้นไหมที่ย้อมจากสีของดอกบัวและสายบัวแดงจึงลดลง

4.5 ผลการทดสอบความคงทนของสีย้อมจากบัวแดง

4.5.1 ความคงทนของสีต่อการซัก

เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผลสีจากดอกและสายบัวแดง ความเข้มข้น 30%owf (ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุสิ่งทอ) นาน 1 ชั่วโมง ถูกนำมาทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นไหมแสดงในตารางที่ 4.27 ส่วนผลการการติดเปื้อนบนผ้าฝ้ายสีเทาแสดงในตารางที่ 4.28-4.29 พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีของเส้นไหมภายหลังผ่านการซักตามมาตรฐาน ISO 105 C10 แสดงว่า เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผลสีจากดอกและสายบัวแดงมีความคงทนของสีต่อการซักในระดับดีมาก (ระดับ 5) ส่วนผลการทดสอบในด้านการติดเปื้อนสีบนผ้าฝ้ายสีเทาแสดงในตารางที่ 4.28 พบว่า ผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยสีจากดอกบัวและสายบัวแดงมีผลการย้อมที่ดี กล่าวคือ ไม่มีการติดเปื้อนหรือมีการติดเปื้อนบนผ้าฝ้ายสีเทาน้อย โดยเปื้อนติดสีบนเส้นใยฝ้ายเพียงเล็กน้อย (ระดับ 4-4/5) ส่วนเส้นใยชนิดอื่น เช่น แอซีเตต ไนลอน พอลิเอสเตอร์ อะคริลิกและขนสัตว์ ไม่มีการติดเปื้อน

เมื่อเปรียบเทียบผลการเปื้อนติดบนผ้าฝ้ายสีเทาของผงสีทั้ง 2 ชนิดในตารางที่ 4.28 สำหรับเส้นไหมที่ย้อมจากดอกบัวแดง และตารางที่ 4.29 สำหรับเส้นไหมที่ย้อมจากสายบัวแดง พบว่า ผงสีจากดอกบัวแดงมีการติดเปื้อนบนผ้าฝ้ายสีเทามากกว่าผงสีจากสายบัวแดง เนื่องจากเมื่อนำมาย้อมบนเส้นไหมผงสีจากดอกบัวแดงจะให้ความเข้มข้นสูงกว่าเส้นไหมที่ย้อมจากสายบัวแดง แต่วิธีการเตรียมเป็นผงสีด้วยการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่ส่งผลต่อความคงทนของสีย้อมบนเส้นไหม เพราะให้ผลด้านการติดเปื้อนสีบนผ้าฝ้ายสีเทาในลักษณะเดียวกัน

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก (ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบ)

วิธีการเตรียมผงสี / ภาวะการย้อม		ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีของเส้นไหม	
		ย้อมจากดอกบัว	ย้อมจากสายบัว
การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	5	5
	K ₂ Cr ₂ O ₇	5	5
	FeSO ₄	5	5
	สารส้ม	5	5
	โคลน	5	5
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	ผงสี	5	5
	ผงสีผสมมอลโทเดกซ์ทริน	5	5

ตารางที่ 4.28 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักของผงสีจากดอกบัวแดง (ผลการติดเปื้อนบนผ้าฝ้ายลดีไฟเบอร์)

วิธีการเตรียมผงสี / ภาวะการย้อม		ระดับการติดเปื้อน					
		แอซีเทต	ฝ้าย	ไนลอน	พอลิเอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	5	4	5	5	5	5
	K ₂ Cr ₂ O ₇	5	5	5	5	5	5
	FeSO ₄	5	5	5	5	5	5
	สารส้ม	5	4	5	5	5	5
	โคลน	5	5	5	5	5	5
เครื่องทำแห้งแบบ พ่นฝอย	ผงสี	5	4	5	5	5	5
	ผงสีผสมมอลโท เดกซ์ทริน	5	4	5	5	5	5

ตารางที่ 4.29 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักของผงสีจากสายบัวแดง (ผลการติดเปื้อนบนผ้าฝ้ายลดีไฟเบอร์)

วิธีการเตรียมผงสี / ภาวะการย้อม		ระดับการติดเปื้อน					
		แอซีเทต	ฝ้าย	ไนลอน	พอลิเอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	5	4/5	5	5	5	5
	K ₂ Cr ₂ O ₇	5	5	5	5	5	5
	FeSO ₄	5	5	5	5	5	5
	สารส้ม	5	5	5	5	5	5
	โคลน	5	5	5	5	5	5
เครื่องทำแห้งแบบ พ่นฝอย	ผงสี	5	4/5	5	5	5	5
	ผงสีผสมมอลโท เดกซ์ทริน	5	5	5	5	5	5

4.5.2 ความคงทนของสีต่อการขัดถู

เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผลสีจากดอกและสายบัวแดง ความเข้มข้น 30%owf (ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุสิ่งทอ) นาน 1 ชั่วโมง ถูกนำมาทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู ผลการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าฝ้ายขาวมาตรฐาน (test cloth) และเส้นไหมแสดงในตารางที่ 4.30 และ 4.31

ตารางที่ 4.30 แสดงผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีจากดอกบัวแดง พบว่า เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากดอกบัวมีความคงทนของสีต่อการขัดถูในภาวะแห้งในระดับดีมาก และมีความคงทนของสีต่อการขัดถูในภาวะเปียกในระดับปานกลาง-ดี แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีเส้นไหมภายหลังผ่านการขัดถูทั้งภาวะเปียกและแห้ง ซึ่งวิธีการเตรียมเป็นผงสีด้วยการอบและจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยไม่ส่งผลต่อความคงทนของสีย้อมบนเส้นไหม เพราะให้ผลการทดสอบในลักษณะเดียวกัน แต่เส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีแล้วนำไปหมักโคลนจะมีระดับความคงทนของสีต่อการขัดถูต่ำกว่าในภาวะอื่น เนื่องจากกระบวนการล้างทำความสะอาดโคลนบนผ้าภายหลังการหมักโคลนทำได้ยาก ทำให้กำจัดโคลนออกไม่หมดในการล้างครั้งเดียว

ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของผงสีจากดอกบัวแดง

วิธีการเตรียมผงสี / ภาวะการย้อม		ระดับการเปลี่ยนแปลงของสี		
		ผ้าฝ้ายขาว (test cloth)		เส้นไหม
		ภาวะแห้ง	ภาวะเปียก	
การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	5	4/5	5
	$K_2Cr_2O_7$	5	4/5	5
	$FeSO_4$	5	4	5
	สารส้ม	5	4	5
	โคลน	4/5	3/4	5
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	ผงสี	5	4/5	5
	ผงสีผสมมอลโทเดกซ์ทรีน	5	4/5	5

ตารางที่ 4.31 แสดงผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของผงสีจากสายบัวแดง พบว่า เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากสายบัวมีความคงทนของสีต่อการขัดถูในภาวะแห้งในระดับดีมาก และมีความคงทนของสีต่อการขัดถูในภาวะเปียกในระดับดี ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีเส้นไหมภายหลังผ่านการขัดถูทั้งภาวะเปียกและแห้ง การทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีสายบัวแดงให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าย้อมจากดอกบัวแดง เนื่องจากให้สีย้อมของสายบัวมีความเข้มสีต่ำกว่าสีย้อมจากดอกบัว วิธีการเตรียมเป็นผงสีด้วยการอบและจากเครื่องทำแห้งแบบพ่น

ฝอยไม่ส่งผลกระทบต่อความคงทนของสีย้อมบนเส้นไหม เพราะให้ผลการทดสอบในลักษณะเดียวกัน และเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีแล้วนำไปหมักโคลนจะมีระดับความคงทนของสีต่อการขัดถูต่ำกว่าในภาวะอื่น

ตารางที่ 4.31 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของผงสีจากสายบัวแดง

วิธีการเตรียมผงสี / ภาวะการย้อม		ระดับการเปลี่ยนแปลงของสี		
		ผ้าฝ้ายขาว (test cloth)		เส้นไหม
		ภาวะแห้ง	ภาวะเปียก	
การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	5	5	5
	K ₂ Cr ₂ O ₇	5	5	5
	FeSO ₄	5	4/5	5
	สารส้ม	5	4/5	5
	โคลน	4/5	4	5
เครื่องทำแห้ง	ผงสี	5	5	5
แบบพ่นฝอย	ผงสีผสมมอลโทเดกซ์ทริน	5	5	5

4.5.3 ความคงทนของสีต่อแสง

ผลทดสอบความคงทนของสีต่อแสงของเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยดอกบัวและสายบัวแดงความเข้มข้นร้อยละ 30 ตามมาตรฐาน ISO 105-B02: 2014 ซึ่งได้ทำการทดสอบถึงการเปลี่ยนแปลงของผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินมาตรฐาน (wool blue standard) ถึงระดับ 4 ซึ่งเป็นภาวะที่ใช้สำหรับสีย้อมโดยทั่วไป โดยเฉพาะสีธรรมชาติ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.32 พบว่า เส้นไหมเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยดอกบัวและสายบัวแดงมีระดับความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับมากกว่าหรือเท่ากับ 4 จัดได้ว่าสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เสื้อผ้าสำเร็จรูปผู้หญิงที่กำหนดค่าไว้ดังนี้ “เมื่อเทียบกับผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินมาตรฐาน (ยกเว้นผ้าไหมและผ้าย้อมสีธรรมชาติ ต้องไม่น้อยกว่าระดับ 3-4” (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.835/2554) ซึ่งจัดได้ว่าเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมด้วยดอกบัวและสายบัวแดง มีค่าความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เนื่องจากเป็นผ้าไหมและผ่านการย้อมสีธรรมชาติ

ตารางที่ 4.32 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

ผงสี	วิธีการเตรียมผงสี / ภาวะการย้อม		ระดับการเปลี่ยนแปลงของ Blue wool
ดอกบัว	การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	≥ 4
		FeSO ₄	≥ 4
สายบัว		ไม่เติมสารช่วยติด	≥ 4
		FeSO ₄	≥ 3-4
ดอกบัว	เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	ผงสี	≥ 4
		ผงสีผสมมอลโทเดกซ์ทรีน	≥ 4
สายบัว		ผงสี	≥ 4
		ผงสีผสมมอลโทเดกซ์ทรีน	≥ 4

ตารางที่ 4.33 ผลการเปรียบเทียบสมบัติด้านความคงทนของสีย้อมจากบัวแดงกับมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.835/2554)

สมบัติความคงทนของสี	เกณฑ์	ดอกบัว	สายบัว
ต่อการซัก (สีย้อมธรรมชาติ)	ค่าการเปื้อนติด $\geq 2-3$	4-5	4/5-5
	การเปลี่ยนแปลงสี $\geq 2-3$	5	5
ต่อการขัดถู (สีย้อมธรรมชาติ)	สภาพแห้ง $\geq 2-3$	4/5-5	4/5-5
	สภาพเปียก $\geq 2-3$	3/4 – 4/5	4-5
ต่อแสง (ทั่วไป)	Wool blue $\geq 3-4$	$\geq 3/4-4$	≥ 4

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติด้านความคงทนของสีบนเส้นไหมที่ย้อมจากดอกบัวแดงและสายบัวแดงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แสดงผลในตารางที่ 4.33 พบว่าเส้นไหมที่ย้อมจากผงสีทั้งที่เตรียมจากการอบและเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยในทุกภาวะการทดสอบผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนทั้งในด้านความคงทนของสีต่อการซัก การขัดถูและแสง

4.5.4 สมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ผลการทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด แกรมลบ (*Escherichia coli*) และชนิด แกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) ตามมาตรฐาน ASTM E2149-10 ของผงสีที่สกัดจากดอกและสายบัวแดง แสดงในตารางที่ 4.34 พบว่า ผงสีที่สกัดจากดอกบัวผ่านการทำให้แห้งแบบอบและเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ได้อย่างดีเยี่ยม ในขณะที่ผงสีที่สกัดจากดอกบัวผ่านการทำให้แห้งแบบอบและเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ แต่สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ได้เป็นอย่างดี

เส้นไหมดิบจากบริษัทจุลไหมไทยมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ร้อยละ 42.35 แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ เมื่อนำไปทำการย้อมด้วยผงสีจากดอกและสายบัวแดง พบว่า สามารถเพิ่มสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ให้กับเส้นไหมได้ โดยทำให้เชื้อแบคทีเรียทั้งชนิด *E. coli* และ *S. aureus* มีการเจริญเติบโตที่ลดลง เนื่องจากผงสีมีแทนนินเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งแทนนินมีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย แต่เมื่อนำไปหมักโคลนหลังการย้อม เส้นไหมยังคงมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ได้ระดับหนึ่ง แต่น้อยกว่าเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีจากดอกบัวและสายบัวเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 4.34 การยับยั้งแบคทีเรียของตัวอย่าง

ผงสี	วิธีการเตรียม/ภาวะ		การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)	
			<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
ผงสีจากดอกบัว	การอบ		100	99.99
	เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย		100	100
ผงสีจากสายบัว	การอบ		0	100
	เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย		0	97.03
เส้นไหมดิบ			0	42.35
<u>เส้นไหมย้อมสี</u>				
ดอกบัว	การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	90.50	99.47
		หมักโคลน	39.91	27.84
สายบัว	การอบ	ไม่เติมสารช่วยติด	76.02	44.55
		หมักโคลน	3.86	70.27

4.6 ผลการวิเคราะห์โคลน ณ จากชุมชนบ้านโนนกอก จังหวัดอุดรธานี

สารที่ละลายน้ำด้วยอัตราส่วนเนื้อโคลนต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 ของเนื้อโคลนจากชุมชนโนนกอก จังหวัดอุดรธานี ประกอบด้วยปริมาณของแข็งในน้ำ (total dissolve solid; TDS) 587 ppm ปริมาณไอออนเหล็กรวม (total Iron; Fe) 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ธาตุแคลเซียม (Ca) 122.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และธาตุแมกนีเซียม (Mg) 20.39 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.35) ภายหลังจากการแช่เส้นไหม 3 ชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไหมดิบสามารถดูดซับธาตุแคลเซียม ในขณะที่เส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยผงสีจากดอกและสายบัวแดงไม่ดูดซับธาตุแคลเซียม แต่ดูดซับไอออนเหล็ก เส้นไหมทั้ง 3 ชนิดไม่ดูดซับธาตุแมกนีเซียมเลย ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นเส้นไหมหลักการหมักโคลน (ตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.14) ที่ออกโทนสี เทา-ดำลักษณะเดียวกับการใช้สารช่วยติดประเภทที่มีไอออนเหล็กเป็นองค์ประกอบ (เฟอร์รัสซัลเฟต; FeSO_4)

ตารางที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์น้ำจากเนื้อโคลนที่ใช้ในการหมักเส้นไหม

ลักษณะน้ำ	TDS (ppm)	Fe (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
น้ำก่อนการหมัก	587	0.16	122.3	20.39
น้ำหลักการหมักเส้นไหม 24 ชม.				
เส้นไหมดิบ	532	0.101	84.97	22.39
เส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีจากดอกบัวแดง	562	0.061	127.6	24.63
เส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีจากสายบัวแดง	531	0.054	122	22.63

4.7 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของผงเซลลูโลส

ลักษณะทางกายภาพของผงเซลลูโลสแสดงดังในภาพที่ 4.22 และองค์ประกอบทางเคมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.36



ภาพที่ 4.22 ลักษณะทางกายภาพของผงเซลลูโลสสายบัว

ตารางที่ 4.36 สัดส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่พบอยู่ในผงเซลลูโลสจากสายบัว

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ			มาตรฐาน
	ตย 1	ตย 2	ค่าเฉลี่ย	
สารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์-เบนซิน	0.57	0.53	0.56	TAPPI T264
สารแทรกที่ละลายในแอลกอฮอล์อย่างเดียวน	1.84	1.51	1.69	TAPPI T264
สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน	7.97	7.52	7.75	TAPPI T264
ปริมาณสารแทรกรวม	10.42	9.57	10.00	TAPPI T264
ปริมาณลิกนิน	0.4	0.52	0.46	TAPPI T222
ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส (holocellulose)	84.39	84.37	84.36	Acid chlorite method of browning
ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (alphacellulose)	52.98	52.98	52.98	TAPPI T203
ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)	31.41	31.34	31.37	Holocellulose-alphacellulose

จากตารางที่ 4.36 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อเซลลูโลสจากสายบัว พบว่า มีองค์ประกอบของลิกนินร้อยละ 0.46 โอลิโกเซลลูโลสร้อยละ 84.36 ซึ่งจะแบ่งได้เป็นปริมาณ แอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 52.98 และปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 31.37 และส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 15.18 คือสิ่งสกปรกจำพวกแป้ง ไขมัน และน้ำ

4.8 ลักษณะของเซลลูโลสเจลโดยเทคนิคการละลายและตกตะกอน

เซลลูโลสเจลที่เตรียมโดยเทคนิคการละลายและตกตะกอน มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 เซลลูโลสเจล

การทำให้ได้ซึ่งเซลลูโลสเจลในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นด้วยการสกัดลิกโนเซลลูโลสให้เป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ จากนั้นทำการละลายเซลลูโลสด้วยระบบ non-derivatizing solvent คือใช้ระบบสารละลายผสม NaOH/Urea/water ในภาวะอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ในภาวะอุณหภูมิดังกล่าว โมเลกุลของหมู่ไฮดรอกซ์ (OH-) จะสามารถสอดแทรกเข้าไปทำลายพันธะ inter-hydrogen bonding ระหว่างสายโซ่โมเลกุลเซลลูโลส ทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัว หลังจากนั้นโมเลกุลของยูเรีย จะแทรกสอดเข้าไปอยู่ระหว่างกลางของสายโมเลกุลเซลลูโลสจนทำให้ intermolecular hydrogen bonding มีค่าเป็นศูนย์ สายโซ่โมเลกุลเซลลูโลสจึงแยกออกจากกันและกันและกัน จึงได้เซลลูโลสในรูปของสารละลาย เนื่องจากโมเลกุลของเซลลูโลสสามารถรวมกลายเป็นผลึกกลับมาได้อีกครั้งเมื่อทำการกำจัดเอาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และยูเรียออกจากสารละลายเซลลูโลส เพื่อให้ได้เซลลูโลสในรูปเจลจึงต้องเติมตัวขัดขวางการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลเซลลูโลส ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้เติมสารช่วยกระจายตัว (stabilizing agent) ซึ่งในที่นี้คือ สารละลายแป้ง โดยโมเลกุลของแป้งจะไปแทรกสอดอยู่

ระหว่างกลางของโมเลกุลเซลลูโลสจึงทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โมเลกุลเซลลูโลสเกาะรวมตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ เมื่อทำการกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรียออกจากสารละลายเซลลูโลส โดยการตกตะกอนสารละลายเซลลูโลสในสารละลายกรดไฮดรอกลอร์ริกเข้มข้น NaOH จะถูกสะเทินให้เป็นโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งจะส่งผลให้โมเลกุลเซลลูโลสพยายามจัดเรียงตัวใหม่อีกครั้งเพื่อเกิดเป็นผลึกเซลลูโลส แต่ด้วยมีโมเลกุลแป้งขัดขวางอยู่การจัดเรียงตัวจึงเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในขณะที่โมเลกุลแป้งเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด เมื่อทำการปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง โมเลกุลแป้งจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างสมบูรณ์ จึงทำการกรองเพื่อล้างโซเดียมคลอไรด์ ยูเรียและกลูโคสออก ผลที่ได้จะได้เป็นเซลลูโลสเจลบริสุทธิ์ดังภาพที่ 4.23

4.9 การเตรียมกระดาษสาจากลื่นน้ำมันตะไคร้หอม

เซลลูโลสเจลที่ได้สามารถนำมาเตรียมเป็นกระดาษสาได้ โดยผสมเซลลูโลสเจลกับพอลิเมอร์อิมัลชันแล้วเทลงแบบเมื่อปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งจะได้เป็นแผ่นกระดาษดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 ลักษณะของกระดาษสาจากลื่นตะไคร้หอม

ลักษณะเด่นของกระดาษสาที่เตรียมได้จะมีกลิ่นตะไคร้หอมที่อ่อน ๆ ไม่มีกลิ่นฉุนรุนแรง และถูกตรึงไว้ในแผ่นกระดาษสา กลิ่นจะค่อย ๆ ออกจึงสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน ซึ่งน้ำมันตะไคร้หอมมีลักษณะพิเศษคือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้จึงเป็นข้อดีสำหรับนำไปใส่ในกล่องบรรจุภัณฑ์ผ้าย้อมมือเนื่องจากกระบวนการย้อมของกลุ่มไม่ใช่สารเคมี ซึ่งผ้าอาจจะมีการหมิ่นหมิ่นเกิดขึ้น ดังนั้นการนำกระดาษสาจากลื่นตะไคร้หอมใส่ไว้ในห่อบรรจุภัณฑ์ผ้าย้อมมือจะสามารถช่วยลดกลิ่นหมิ่นหมิ่นของผ้าลงเมื่อถูกพับเก็บไว้เป็นเวลานาน ๆ

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์โครงการ	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1. ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ผ้าทอที่ย้อมด้วยสีย้อมบัวแดงของชุมชนบ้านโนนกอก อุดรธานี 2. พัฒนาสีย้อมบัวแดงในรูปสีผง 3. พัฒนาเส้นใยเซลลูโลสจากสายนับด้วยกระบวนการสกัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและได้เส้นใยเซลลูโลสที่มีคุณภาพสูง	จัดหาอุปกรณ์และสารเคมี	จัดหาอุปกรณ์และสารเคมี	1. ได้กรรมวิธีการย้อมสีบัวแดงที่ได้มาตรฐาน 2. ได้สีย้อมบัวแดงในรูปผงด้วยเทคนิคสเปรย์ดราย 3. ได้เซลลูโลสบริสุทธิ์คุณภาพสูงจากสายนับด้วยวิธีการหมักทางชีวภาพ
	หาวิธีย้อมสีแดงที่ได้มาตรฐาน	หาวิธีย้อมสีแดงที่ได้มาตรฐาน	
	เตรียมผงสีบัวแดงและทดสอบสมบัติของผงสี เช่น ความสามารถในการละลาย สมบัติการย้อมสี และ สมบัติความคงทน	เตรียมผงสีบัวแดงและทดสอบสมบัติของผงสี เช่น ความสามารถในการละลาย สมบัติการย้อมสี และ สมบัติความคงทน	
	การสกัดเซลลูโลสจากสายนับด้วยวิธีการหมักชีวภาพ การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส และการทดสอบสมบัติเชิงกลของเซลลูโลสที่เตรียมได้	การสกัดเซลลูโลสจากสายนับด้วยวิธีการหมักชีวภาพ การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส และการทดสอบสมบัติเชิงกลของเซลลูโลสที่เตรียมได้	
	สรุปและส่งรายงาน	สรุปและส่งรายงาน	

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

- 1) ดอกบัวแดงมีปริมาณผงสีร้อยละ 51 โดยน้ำหนัก ลักษณะเป็นผงของแข็งสีดำเข้มและมีความมันวาว ส่วนสายบัวแดงมีปริมาณผงสีร้อยละ 56 โดยน้ำหนัก ลักษณะเป็นผงของแข็งสีน้ำตาลเข้มและด้าน
- 2) องค์ประกอบหลักในผงสีที่สกัดจากดอกและสายบัวแดง คือ แทนนิน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ดอกบัวมีแทนนินประมาณ 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่สายบัวมีแทนนินประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3) เกลือที่พบในดอกบัวส่วนใหญ่คือโพแทสเซียมคลอไรด์ ในขณะที่สายบัวพบโพแทสเซียมคลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์
- 4) เส้นไหมที่ย้อมด้วยสีจากดอกบัวแดงจะให้เฉดสีน้ำตาล-ทอง ส่วนเส้นไหมด้วยสีจากสายบัวจะให้เฉดสีเงิน-เทา แต่ถ้าใช้ปริมาณสีมากจะให้เฉดสีน้ำตาล-ทอง สามารถสร้างเฉดสีได้มากกว่า 20 เฉดสี ตั้งแต่ เฉดเทา-เงิน น้ำตาล-ทอง จงกระทั่งถึงเฉदनํ้าตาลเข้ม
- 5) การใช้สารช่วยติดพร้อมกับการย้อม ทำให้เส้นไหมมีความเข้มหรือเฉดสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แบ่งเป็น
 - กลุ่มเพิ่มความสว่าง ได้แก่ การใช้สารช่วยย้อมที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ดังนี้ โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
 - กลุ่มเพิ่มความเข้มสี ได้แก่ แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$) ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) กรดอะซิติก (CH_3COOH) สารส้ม และคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$)
 - กลุ่มเปลี่ยนเป็นโทนเทา-ดำ ได้แก่ การใช้สารช่วยย้อมที่มีธาตุเหล็ก (เฟอร์รัส) เป็นองค์ประกอบ ดังนี้ เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) และเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$)
- 6) นำน้ำสีจากดอกบัวและสายบัวมาเตรียมผงสีด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ ผงจากดอกบัวและสายบัวมีสีน้ำตาลและสีเหลือง ตามลำดับ โดยร้อยละผลผลิตของผงสีจากดอกบัวแดงอยู่ในช่วง 40-50 โดยน้ำหนัก ส่วนร้อยละผลผลิตของผงสีจากสายบัวแดงอยู่ในช่วง 50-60 โดยน้ำหนัก
- 7) การเพิ่มอุณหภูมิเข้าส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณผงสี ผงสีมีความสว่างขึ้น ในขณะที่ความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของผงสีลดลง ทำให้ต้องใช้เวลาในการละลายนานขึ้น
- 8) อัตราการป้อนสารสูงขึ้น ทำให้ปริมาณผงสีที่ผลิตได้ลดลง ผงสีมีความสว่างลดลง ความชื้นในผงสีเพิ่มขึ้นแต่ค่ากิจกรรมของน้ำลดลง ทำให้ผงสีละลายง่ายขึ้น
- 9) ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่สูงขึ้นมีผลทำให้ผงสีมีความสว่างขึ้น ความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำลดลง ค่ากิจกรรมของน้ำลดลง

- 10) ผงสีที่เตรียมจากการทำแห้งแบบอบและการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย มีสมบัติด้านความคงทนของสีต่อการซักและการขัดถูอยู่ในเกณฑ์ดี-ดีมาก และมีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ ≥ 4 และมีสมบัติด้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง *E. coli* และ *S. aureus*
- 11) เยื่อเซลลูโลสที่เตรียมได้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไฮโดรเซลลูโลส ประกอบด้วย แอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 53 และเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 31 โดยน้ำหนัก
- 12) เตรียมฟิล์มเซลลูโลสด้วยเทคนิคการละลายและตกตะกอนผสมน้ำมันตะไคร้หอมได้แผ่นกระดาษที่มีสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

บรรณานุกรม

“การย้อมสีธรรมชาติ”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://cyberlab.lh1.ku.ac.th/elearn/faculty/agriculture/agri03/html/Lesson03/4.html> (วันที่สืบค้น 18 ธันวาคม 2560).

เจริญชัย เหลืองอ่อน. 2553. “การวัดสีด้วยเทคนิค UV-VIS-NIR SPECTROPHOTOMETRY”.

[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/251_8-13.pdf (วันที่สืบค้น 6 สิงหาคม 2561).

เจษฎา สอนทอง และคณะ. 2561 “สมบัติทางเคมีกายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผงกะเพราที่ได้จากกระบวนการเอนแคปซูเลทกับมอลโทเดกซ์ทรินและกัมอารบิกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย”. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 28(2): 439-451.

“ชมทะเลบัวแดง ณ หนองหาน กุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี”. 2560. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.amazingthaitour.com/%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0%B8%B5%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%99/%E0%B8%8A%E0%B8%A1%E0%B8%97%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B9%81%E0%B8%94%E0%B8%87-%E0%B8%93-%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%99-%E0%B8%81%E0%B8%B8%E0%B8%A1%E0%B8%A0%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%9B%E0%B8%B5-%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%AB%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%94%E0%B8%A3%E0%B8%98%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%B5/> (วันที่สืบค้น 22 ธันวาคม 2560).

ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. 2557. “คราม”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.sptn.dss.go.th/otopinfor/index.php/en/2014-10-09-08-12-02/m/color-from-plants/36-indigofera-tinctoria> (วันที่สืบค้น 20 ธันวาคม 2560).

“ดอกบัว พันธุ์ไม้คู่บ้านคู่เมืองของไทย”. 2557. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://www.sanook.com/home/313/> (วันที่สืบค้น 12 กรกฎาคม 2560).

“ทะเลบัวแดง หนองหานกุมภวาปี”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.kumpawahealth.net/work3.htm> (วันที่สืบค้น 22 ธันวาคม 2560).

“น้ำ”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.thirdthai.ac.th/E-learning/kaaato/1/lesson02/content/02.htm> (วันที่สืบค้น 16 ตุลาคม 2561)

พรพิมล ม่วงไทย. ม.ป.ป. “การเตรียมผงสีจากพืช”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

http://cms2.swu.ac.th/Portals/155/%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A1%E0%B8%B5/%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%87/CHEM_55_%E0%B8%AA%E0%B8%81%E0%B8%AD.5.2_5_2.pdf (วันที่สืบค้น 18 กันยายน 2560).

พรรัชชล แจ่มจัน และคณะ. 2560. “รายงานผลการดำเนินงานโครงการบริการวิชาการแก่สังคม การทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ในโครงการสืบสานงานผ้า หัตถศิลป์ถิ่นอีสาน” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.stou.ac.th/Offices/rdec/udon/main/%E0%B8%A8%E0%B8%B4%E0%B8%A5%E0%B8%9B%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%92%E0%B8%99%E0%B8%98%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1/%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%B7%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%9C%E0%B9%89%E0%B8%B260.pdf> (วันที่สืบค้น 18 กันยายน 2560).

“มหัศจรรย์สายบัวแดง”. 2559. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://utalkmagazineblog.wordpress.com/2016/10/06/%E0%B8%A1%E0%B8%AB%E0%B8%B1%E0%B8%A8%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A2%E0%B9%8C%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B9%81%E0%B8%94%E0%B8%87/> (วันที่สืบค้น 22 ธันวาคม 2560)

“มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 835/2554”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps835_54.pdf (วันที่สืบค้น 16 ตุลาคม 2561)

รัชฎาพร อุ่นศิริไธย. 2553. การผลิตไมโครแคปซูลของสารสกัดรางจืดเพื่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยสุรนารี ปีงบประมาณ 2553.

สุภาวดี ผลประเสริฐ. 2557. “การปรับสภาพวัตถุดิบพริกไทยดำเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22(5): 641-649.

สุเมธ บุญเกิด. ม.ป.ป. “เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/spray.html> (วันที่สืบค้น 12 กรกฎาคม 2560)

- เอกลักษณ์ ทวีโรจนกุล. 2552. “Microencapsulation เทคโนโลยีจิ๋วแต่แจ๋ว”. Technology Promotion and InnoMag Magazine. 36(206): 39-42.
- เอนแคปซูเลชันและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลีนิรส”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463\(50\)/FY463-4.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf) (วันที่สืบค้น 12 กรกฎาคม 2560).
- Ahola, S. et al. 2007. "Cellulose nanofibrils—adsorption with poly(amideamine) epichlorohydrin studied by QCM-D and application as a paper strength additive". **Cellulose**. 15: 303–314. doi:10.1007/s10570-007-9167-3.
- Apeldoorn von, M. E., et al. 2000. “Acetylated oxidized starch (WHO Food Additives Series 48)”. [online] Available from: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v48je09.htm#1.0>. (Retrieved August 2, 2017).
- A-san, K. et al. 2016. “Effect of spray drying conditions on physical characteristics of coconut sugar powder”. **International Food Research Journal**. 23(3): 1315-1319.
- A-sun, K. et al. 2016. “Effect of spray drying conditions on physical characteristics of coconut sugar powder”. **International Food Research Journal**. 23(3): 1315-1319.
- Aulin, C. et al. 2009. "Nanoscale cellulose films with different crystallinities and mesostructures-their surface properties and interaction with water". **Langmuir**. 25(13): 7675–7685. doi:10.1021/la900323n.
- Aulin, C. et al. 2010. "Aerogels from nanofibrillated cellulose with tunable oleophobicity". **Soft Matter**. 6(Advance publication): 3298. doi:10.1039/c001939a.
- Aulin, C. et al. 2010. "Oxygen and oil barrier properties of microfibrillated cellulose films and coatings". **Cellulose**. 17(3): 559–574. doi:10.1007/s10570-009-9393-y.
- Azeredo, H. M. C., et al. 2007. “Betacyanin stability during processing and storage of a microencapsulated red beetroot extract”. **American Journal of Food Technology**. 2(4): 307-312. doi:10.3923/ajft.2007.307.312.
- Berglund, L. 2005. "Cellulose-based nanocomposites". In A.K. Mohanty, M. Misra, and L. Drzal (Eds). Natural fibers, biopolymers and biocomposites. Boca Raton, Florida: CRC Press. pp. 807–832. ISBN 978-0-8493-1741-5.

- Brandes, R. et al. 2016. "Preparation and characterization of bacterial cellulose/TiO₂ hydrogel nanocomposite". **Journal of Nano Research**. 43.: 73-80. doi: 10.4028/www.scientific.net/JNanoR.43.73
- Brandt, A. et al. 2013. "Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids". **Green Chemistry**. 15.: 550-583. doi: 10.1039/C2GC36364J
- Brodeur, G. et al. 2016. "Two-stage dilute-acid and organic-solvent lignocellulosic pretreatment for enhanced bioprocessing". **Bioresource Technology**. 220.: 621-628. doi: 10.1016/j.biortech.2016.08.089
- Brown, E.E. et al. 2013. "Potential of nanocrystalline cellulose–fibrin nanocomposites for artificial vascular graft applications". **Biomacromolecules**. 14(4): 1063. doi:10.1021/bm3019467.
- Cai, Y.Z. and Corke, H. 2000. "Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments". **Journal of Food Science**. 65: 1248-1252. doi: 10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x
- Cartwright, M. 2016. "Tyrian purple" [online] Available from: https://www.ancient.eu/Tyrian_Purple/ (Retrieved December 20, 2017).
- Chegin, G.R. and Ghobadian, B. 2005. "Effect of spray drying conditions on physical properties of orange juice powder". **Drying Technology**. 23.: 657-668.
- Chinga-Carrasco, G. 2011. "Cellulose fibres, nanofibrils and microfibrils: The morphological sequence of MFC components from a plant physiology and fibre technology point of view". **Nanoscale Research Letters**. 6(1): 417. doi:10.1186/1556-276X-6-417.
- Daza L.D. et al. 2016. "Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC) fruit extracts". **Food and Bioproducts Processing**. 97: 20-29.
- "Dyeing with lac extract". n.d. [online] Available from: http://www.wildcolours.co.uk/html/lac_extract.html (Retrieved December 20, 2017).
- Eichhorn, S.J. et al. 2010. "Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites". **Journal of Materials Science**. 45: 1–33. doi:10.1007/s10853-009-3874-0.

- Ersus, S., and Yurdagel, U. 2007. "Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier". **Journal of Food Engineering**. 80: 805-812. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.07.009
- Fazaeli, M. et al. 2012. "Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder". **Food and Bioproducts Processing**. 90.: 667-675. doi: 10.1016/j.fbp.2012.04.006
- Fazaeli, M. et al. 2012. "Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder". **Food and Bioproducts Processing**. 90: 667-675.
- Fukuzumi, H. et al. 2009. "Transparent and high gas barrier films of cellulose nanofibers prepared by TEMPO-mediated oxidation". **Biomacromolecules**. 10 (1): 162–165. doi:10.1021/bm801065u.
- Gharsallaoui, A. et al. 2007. "Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview". **Food Research International**. 40.: 1107-1121.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2008. "Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties." **Drying Technology**. 26.: 726-737.
- Heath, L. and Thielemans, W. 2010. "Cellulose nanowhisker aerogels". **Green Chemistry**. 12(8): 1448–1453. doi:10.1039/c0gc00035c.
- Henriksson, M. and Berglund L. 2007. "Structure and properties of cellulose nanocomposite films containing melamine formaldehyde". **Journal of Applied Polymer Science**. 106(4): 2817–2824. doi: 10.1002/app.26946.
- Henriksson, M. et al. 2008. "Cellulose nanopaper structures of high toughness". **Biomacromolecules**. 9(6): 1579–1585. doi:10.1021/bm800038n.
- "History of indigo & indigo dyeing". n.d. [online] Available from: http://www.wildcolours.co.uk/html/indigo_history.html (Retrieved December 19, 2017).
- Horvath, Zs.H. and Hodur, C. 2007. "The colour of paprika powders with different moisture content", **International Agrophysics**. 21: 67-72.
- Jergens, K. 2016. "How the red coat got its red". [online] Available from: <http://katieinbrooklyn.com/red.html> (Retrieved December 20, 2017).

- Kanpairo, K. et al. 2012. "The compositions and properties of spray dried tuna flavor powder produced from tuna precooking juice". **International Food Research Journal**. 19(3): 893-899.
- Keshk, S. M. 2014. "Bacterial cellulose production and its industrial applications". **Journal of Bioprocessing & Biotechniques**. 4(2): 1000150. doi: 10.4172/2155-9821.1000150
- Kumar, A. et al. 2014. "Characterization of cellulose nanocrystals produced by acid-hydrolysis from sugarcane bagasse as agro-waste". **Journal of Materials Physics and Chemistry**. 2(1): 1-8. doi: 10.12691/jmpc-2-1-1
- Kurozawa, L.E. et al. 2009. "Effect of carrier agents on the physicochemical properties of a spray dried chicken meat protein hydrolysate". **Journal of Food Engineering**. 94: 326-333.
- Lavoine, N. et al. 2012. "Microfibrillated cellulose - its barrier properties and applications in cellulosic materials: a review". **Carbohydrate Polymer**. 90: 735-64. doi:10.1016/j.carbpol.2012.05.026.
- Lee, H.V. et al. 2014. "Conversion of lignocellulosic biomass to nanocellulose: structure and chemical process". **The Scientific World Journal**. 631013. doi:10.1155/2014/631013
- Lee, J. et al. 2005 "Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content
- Li, Q. and Renneckar, S. 2011. "Supramolecular structure characterization of molecularly thin cellulose I nanoparticles". **Biomacromolecules**. 12(3): 650-659. doi:10.1021/bm101315y.
- Lif, A. et al. 2010. "Fischer-Tropsch diesel emulsions stabilised by microfibrillated cellulose". **Colloid and Interface Science**. 352(2): 585-592. doi:10.1016/j.jcis.2010.08.052.
- Madene, A., et al. 2006. "Flavour encapsulation and controlled release – a review". **International Journal of Food Science and Technology**. 41:1-21. doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x
- Martinez, F.M.L. et al. 2010. "Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): effects on powder properties and characterization". **Carbohydrate Polymers**. 81: 864-870.

- Miao, Q. et al. 2014. "A process for enhancing the accessibility and reactivity for hardwood kraft-based dissolving pulp for viscose rayon production by cellulose treatment". **Bioresource Technology**. 154.: 109-113. doi: 10.1016/j.biortech.2013.12.040.
- Narayanan, M. et al. 2018. "Physical properties of microencapsulated anthocyanin obtained by spray drying of Red *Amaranthus* extract with maltodextrin". **Malaysian Journal of Nutrition**. 24(1): 139-147.
- Ngamsanga, S. et al. 2015 "Characterization and performance assessment of banana (Kluay Hom Tong) powder obtained by spray-drying technology". **Agricultural Science Journal**. 46(3) (Supplement): 465-468
- Nguyen, H.D. et al. 2013. "A novel method for preparing microfibrillated cellulose from bamboo fibers". **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**. 4(1): 015016. doi:10.1088/2043-6262/4/1/015016
- Nguyen, S.T. et al. 2013. "Cellulose aerogel from paper waste for crude oil spill cleaning". **Industrial & Engineering Chemistry Research**. 52(51): 18386-18391. doi: 10.1021/ie4032567
- Nicholson, P.T. and Shaw, I. 2006. **Ancient Egyptian Materials and Technology**. 4th edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nyström, G. et al. 2015. "Self-assembled three-dimensional and compressible interdigitated thin-film supercapacitors and batteries". **Nature Communications**. 6: 7259. doi:10.1038/ncomms8259. ISSN 2041-1723.
- Obón, J.M., et al. 2009. "Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems". **Journal of Food Engineering**. 90(4): 471-479. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.07.013
- of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study." : *Journal of AOAC International*. 88(5): 1269-1278
- Olsson, R.T. et al. 2010. "Making flexible magnetic aerogels and stiff magnetic nanopaper using cellulose nanofibrils as templates". **Nature Nanotechnology**. 5(8): 584–8. doi:10.1038/nnano.2010.155. PMID 20676090.

- Özkan, G. and Bilek, S.E. 2014. "Microencapsulation of natural food colourants"
International Journal of Nutrition and Food Sciences. 3(3): 145-156. doi:
10.11648/j.ijnfs.20140303.13
- Pääkkö, M. et al. 2007. "Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and
high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels".
Biomacromolecules. 8(6): 1934–1941. doi:10.1021/bm061215p. PMID 17474776.
- Pääkkö, M. et al. 2008. "Long and entangled native cellulose I nanofibers allow flexible
aerogels and hierarchically templates for functionalities". **Soft Matter** 4(12):
2492–2499. doi:10.1039/b810371b.
- Park, J.H. and Chang, S.K. 2007. "The stability of color and antioxidant compounds in
praprika (*Capsicum annuum* L.) powder during the drying and storing process".
Food Science and Biotechnology. 16(2): 187-192.
- Paulo, F. and Santos, L. 2017. "Design of experiments for microencapsulation
applications: A review" **Material Science and Engineering C**. 77.: 1327-1340. doi:
10.1016/j.msec.2017.03.219.
- Peng, B.L. et al. 2011. "Chemistry and applications of nanocrystalline cellulose and its
derivatives: A nanotechnology perspective". **The Canadian Journal of Chemical
Engineering**. 89(5): 1191–1206. doi:10.1002/cjce.20554.
- Prichystal, R. et al. 2013. "Encapsulation of textile dyes and textile auxiliary agents into
liposome systems and their use for polyamide dyeing". **Coloration Technology**.
129(1): 64-68. doi: 10.1111/cote.12002.
- Saska, S. et al. 2012. "Bacterial cellulose-collagen nanocomposite for bone tissue
engineering". **Journal of Materials Chemistry**. 22.: 22102-22112.
doi:10.1039/C2JM33762B
- Sehaqui, H. et al. 2010. "Mechanical performance tailoring of tough ultra-high porosity
foams prepared from cellulose I nanofiber suspensions". **Soft Matter**. 6(8): 1824–
1832. doi:10.1039/b927505c.
- Shishir, M.R.I. et al 2016. "Optimization of spray drying parameters for pink guava
powder using RSM". **Food Science and Biotechnology**. 25(2): 461-468.

- Siren, S. n.d. "Energizing shawl". [online] Available from:
<https://seamsiren.com/products/kulung-shawl-madder> (Retrieved December 20, 2017).
- Siró, I. and Plackett, D. 2010. "Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review". **Cellulose**. 17(3): 459–494. doi:10.1007/s10570-010-9405-y.
- Stieglotz, R.R. 1994. "The Minoan origin of Tyrian purple". **The Biblical Archaeologist**. 57(1): 46-54.
- Svagan, A. et al. 2007. "Biomimetic polysaccharide nanocomposites of high cellulose content and high toughness". **Biomacromolecules**. 8(8): 2556–2563. doi:10.1021/bm0703160.
- Syverud, K. and Stenius, P. 2009. "Strength and barrier properties of MFC films". **Cellulose**. 16(1): 75–85. doi:10.1007/s10570-008-9244-2.
- Syverud, K. et al. 2011. "Cross-linking cellulose nanofibrils for potential elastic cryo-structured gels". **Nanoscale Research Letters**. 6(1): 626. doi:10.1186/1556-276X-6-626.
- Taipale, T. et al. 2010. "Effect of microfibrillated cellulose and fines on the drainage of kraft pulp suspension and paper strength". **Cellulose**. 17: 1005–1020. doi:10.1007/s10570-010-9431-9.
- Tee, L.H. et al. 2012. "Optimization of spray drying process parameters of Piper betle L. (Sirih) leaves extract coated with maltodextrin". **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**. 4(3): 1833-1841.
- Thielemans, W. et al. 2009. "Permselective nanostructured membranes based on cellulose nanowhiskers". **Green Chemistry**. 11(4): 531–537. doi:10.1039/b818056c.
- Thirugnanasambandham, K and Sivakumar, V. 2017. "Influence of process conditions on the physicochemical properties of pomegranate juice in spray drying process: modelling and optimization". **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. 16: 358-366. doi: 10.1016/j.jssas.2015.11.005
- Turbak, A.F. et al. 1983. "Microfibrillated cellulose, a new cellulose product: Properties, uses and commercial potential". In A. Sarko (ed.). Proceedings of the Ninth

- Cellulose Conference. **Applied Polymer Symposia**, 37. New York City: Wiley. pp. 815–827. ISBN 0-471-88132-5.
- Vartiainen, J. et al. 2011. "Health and environmental safety aspects of friction grinding and spray drying of microfibrillated cellulose". **Cellulose**. 18(3): 775–786. doi:10.1007/s10570-011-9501-7.
- Velho, S.R.K. et al. 2017. "Development of structured natural dyes for use into plastics". **Dyes and Pigments**. 136.: 248-254. doi: 10.1016/j.dyepig.2016.08.021

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ร้อยละผลผลิต

ตารางที่ ก-1 อุณหภูมิขาเข้าต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อ
นาที่

อุณหภูมิ	รายการ	ตัวอย่างที่		
		1	2	3
130	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	15.38	15.12	15.45
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	6.82	6.60	6.64
	ร้อยละผลผลิต	44.34	43.65	42.98
	ค่าเฉลี่ย	43.66		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.68		
150	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	37.65	15.26	15.01
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	17.55	6.96	7.05
	ร้อยละผลผลิต	46.61	45.61	46.97
	ค่าเฉลี่ย	46.40		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.70		
170	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	15.15	14.98	14.95
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	7.55	7.34	7.54
	ร้อยละผลผลิต	49.84	49.00	50.43
	ค่าเฉลี่ย	49.76		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.72		

ตารางที่ ก-2 อุณหภูมิขาเข้าต่อร้อยละผลผลิตของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อ นาที

อุณหภูมิ	รายการ	ตัวอย่างที่		
		1	2	3
130	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	16.73	15.89	16.70
	น้ำหนักสารหลังออกจากเครื่อง (กรัม)	8.33	8.01	8.20
	ร้อยละผลผลิต	49.79	50.41	49.10
	ค่าเฉลี่ย	49.77		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.65		
150	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	19.13	19.15	19.04
	น้ำหนักสารหลังออกจากเครื่อง (กรัม)	10.53	10.34	10.54
	ร้อยละผลผลิต	55.06	53.99	55.36
	ค่าเฉลี่ย	54.80		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.72		
170	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	18.82	18.11	18.12
	น้ำหนักสารหลังออกจากเครื่อง (กรัม)	11.03	10.89	10.56
	ร้อยละผลผลิต	58.61	60.13	58.28
	ค่าเฉลี่ย	59.01		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.99		

ตารางที่ ก-3 อัตราการปนสารต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อัตราการปนสาร (รอบต่อนาที่)	รายการ	ตัวอย่างที่		
		1	2	3
5	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	17.31	15.78	15.78
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	8.99	8.02	7.96
	ร้อยละผลผลิต	51.94	50.82	50.44
	ค่าเฉลี่ย	51.07		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.78		
10	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	37.65	15.26	15.01
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	17.55	6.96	7.05
	ร้อยละผลผลิต	46.61	45.61	46.97
	ค่าเฉลี่ย	46.40		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.70		
15	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	14.95	14.98	14.95
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	6.41	6.45	6.27
	ร้อยละผลผลิต	42.88	43.06	41.94
	ค่าเฉลี่ย	42.62		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.60		
20	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	15.00	15.45	15.04
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	6.06	6.14	5.88
	ร้อยละผลผลิต	40.4	39.74	39.10
	ค่าเฉลี่ย	39.75		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.65		

ตารางที่ ก-4 อัตราการป้อนสารต่อร้อยละผลผลิตของสายบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	รายการ	ตัวอย่างที่		
		1	2	3
5	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	22.52	22.48	22.50
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	12.23	12.12	12.34
	ร้อยละผลผลิต	54.31	53.91	54.84
	ค่าเฉลี่ย	54.36		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.47		
10	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	19.13	19.15	19.04
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	10.53	10.34	10.54
	ร้อยละผลผลิต	55.06	53.99	55.36
	ค่าเฉลี่ย	54.80		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.72		
15	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	8.24	22.44	22.14
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	3.76	10.78	10.15
	ร้อยละผลผลิต	45.63	48.04	45.84
	ค่าเฉลี่ย	46.50		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.33		
20	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	22.50	22.45	22.52
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	5.24	4.67	4.63
	ร้อยละผลผลิต	23.29	20.80	20.56
	ค่าเฉลี่ย	21.55		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.51		

ตารางที่ ก-5 ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อร้อยละผลผลิตของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสีต่อ มอลโทเดกซ์ทริน	รายการ	ตัวอย่างที่		
		1	2	3
85 : 15	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	22.52	22.50	22.48
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	11.64	11.04	11.48
	ร้อยละผลผลิต	51.69	49.07	51.07
	ค่าเฉลี่ย	50.61		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.37		
70 : 30	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	22.50	45.00	22.51
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	11.37	22.96	11.78
	ร้อยละผลผลิต	50.53	51.02	52.33
	ค่าเฉลี่ย	51.30		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.93		
55 : 45	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	45.00	22.46	22.54
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	23.58	11.15	11.87
	ร้อยละผลผลิต	52.40	49.64	52.66
	ค่าเฉลี่ย	51.57		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.67		
40 : 60	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	22.46	22.50	22.54
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	11.83	11.64	11.64
	ร้อยละผลผลิต	52.67	51.73	51.64
	ค่าเฉลี่ย	52.02		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.57		

ตารางที่ ก-6 ปริมาณมลพิษต่อรถจักรยานยนต์ร้อยละผลผลิตของสายบัวผง เมื่อใช้ถ่านหิน 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสีต่อมอล โทเดกซ์ทริน	รายการ	ตัวอย่างที่		
		1	2	3
85 : 15	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	22.15	22.51	22.48
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	11.91	12.15	11.93
	ร้อยละผลผลิต	53.77	53.98	53.07
	ค่าเฉลี่ย	53.61		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.48		
70 : 30	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	22.50	22.49	22.51
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	11.86	12.45	12.48
	ร้อยละผลผลิต	52.71	55.36	55.44
	ค่าเฉลี่ย	54.50		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.55		
55 : 45	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	22.50	22.46	22.54
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	12.30	12.28	12.64
	ร้อยละผลผลิต	54.67	54.67	56.08
	ค่าเฉลี่ย	55.14		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.81		
40 : 60	น้ำหนักสารก่อนเข้าเครื่อง (กรัม)	22.50	22.50	22.48
	น้ำหนักสารหลังออกจาก เครื่อง (กรัม)	11.76	12.30	12.45
	ร้อยละผลผลิต	52.27	54.67	55.38
	ค่าเฉลี่ย	54.11		
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.63		

ภาคผนวก ข

ปริมาณความชื้น

ตารางที่ ข-1 ปริมาณความชื้นของดอกบัวผงจากการอบแห้ง

ตัวอย่างที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
1	6.91
2	6.96
3	6.90
ค่าเฉลี่ย	6.92
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.03

ตารางที่ ข-2 อุณหภูมิขาเข้าต่อปริมาณความชื้นของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตัวอย่างที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
130	1	5.85
	2	5.90
	3	5.82
	ค่าเฉลี่ย	5.86
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.04
150	1	5.72
	2	5.83
	3	5.73
	ค่าเฉลี่ย	5.76
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.06
170	1	4.80
	2	4.88
	3	4.84
	ค่าเฉลี่ย	4.84
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.04

ตารางที่ ข-3 ปริมาณความชื้นของสายบัวผงจากการอบแห้ง

ตัวอย่างที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
1	6.75
2	6.70
3	6.81
ค่าเฉลี่ย	6.75
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.06

ตารางที่ ข-4 อุณหภูมิขาเข้าต่อปริมาณความชื้นของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อ นาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตัวอย่างที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
130	1	5.61
	2	5.74
	3	5.53
	ค่าเฉลี่ย	5.63
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.11
150	1	4.87
	2	4.91
	3	4.73
	ค่าเฉลี่ย	4.84
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.09
170	1	4.52
	2	4.60
	3	4.43
	ค่าเฉลี่ย	4.52
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.09

ตารางที่ ข-5 อัตราการป้อนสารต่อปริมาณความชื้นของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	ตัวอย่างที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
5	1	4.82
	2	4.76
	3	4.93
	ค่าเฉลี่ย	4.84
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.09
10	1	5.72
	2	5.83
	3	5.73
	ค่าเฉลี่ย	5.76
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.06
15	1	6.17
	2	6.27
	3	6.23
	ค่าเฉลี่ย	6.22
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.05
20	1	6.48
	2	6.59
	3	6.45
	ค่าเฉลี่ย	6.51
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.07

ตารางที่ ข-6 อัตราการป้อนสารต่อปริมาณความชื้นของสายบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	ตัวอย่างที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
5	1	3.70
	2	3.78
	3	3.80
	ค่าเฉลี่ย	3.76
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.05
10	1	4.87
	2	4.91
	3	4.73
	ค่าเฉลี่ย	4.84
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.09
15	1	5.07
	2	5.24
	3	5.05
	ค่าเฉลี่ย	5.12
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.10
20	1	5.46
	2	5.49
	3	5.63
	ค่าเฉลี่ย	5.53
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.09

ตารางที่ ข-7 ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสืต่อมอลโทเดกซ์ทริน	ตัวอย่างที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
85 : 15	1	5.17
	2	5.21
	3	5.13
	ค่าเฉลี่ย	5.17
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.04
70 : 30	1	5.09
	2	4.98
	3	4.86
	ค่าเฉลี่ย	4.98
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.12
55 : 45	1	4.64
	2	4.60
	3	4.78
	ค่าเฉลี่ย	4.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.09
40 : 60	1	4.42
	2	4.80
	3	4.41
	ค่าเฉลี่ย	4.54
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.22

ตารางที่ ข-8 ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสืต่อมอลโทเดกซ์ทริน	ตัวอย่างที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
85 : 15	1	4.50
	2	4.73
	3	4.46
	ค่าเฉลี่ย	4.56
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.15
70 : 30	1	4.12
	2	4.46
	3	4.45
	ค่าเฉลี่ย	4.34
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.19
55 : 45	1	4.12
	2	4.16
	3	4.01
	ค่าเฉลี่ย	4.10
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.08
40 : 60	1	4.07
	2	3.81
	3	3.94
	ค่าเฉลี่ย	3.94
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.13

ภาคผนวก ค

ค่ากิจกรรมของน้ำ

ตารางที่ ค-1 ค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวผงจากการอบแห้ง

ตัวอย่างที่	ค่ากิจกรรมของน้ำ
1	0.365
2	0.378
3	0.398
ค่าเฉลี่ย	0.380
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.017

ตารางที่ ค-2 อุณหภูมิขาเข้าต่อค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบ ต่อนาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตัวอย่างที่	ค่ากิจกรรมของน้ำ
130	1	0.316
	2	0.349
	3	0.322
	ค่าเฉลี่ย	0.329
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.018
150	1	0.315
	2	0.305
	3	0.311
	ค่าเฉลี่ย	0.310
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.005
170	1	0.297
	2	0.288
	3	0.284
	ค่าเฉลี่ย	0.290
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.007

ตารางที่ ค-3 ค่ากิจกรรมของน้ำของสายบัวผงจากการอบแห้ง

ตัวอย่างที่	ค่ากิจกรรมของน้ำ
1	0.353
2	0.359
3	0.373
ค่าเฉลี่ย	0.362
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.010

ตารางที่ ค-4 อุณหภูมิขาเข้าต่อค่ากิจกรรมของน้ำของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตัวอย่างที่	ค่ากิจกรรมของน้ำ
130	1	0.312
	2	0.314
	3	0.324
	ค่าเฉลี่ย	0.317
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.006
150	1	0.285
	2	0.301
	3	0.296
	ค่าเฉลี่ย	0.294
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.008
170	1	0.275
	2	0.294
	3	0.287
	ค่าเฉลี่ย	0.285
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.010

ตารางที่ ค-5 อัตราการปนสารต่อค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อัตราการปนสาร (รอบต่อนาที)	ตัวอย่างที่	ค่ากิจกรรมของน้ำ
5	1	0.296
	2	0.308
	3	0.294
	ค่าเฉลี่ย	0.299
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.008
10	1	0.315
	2	0.305
	3	0.311
	ค่าเฉลี่ย	0.310
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.005
15	1	0.324
	2	0.331
	3	0.314
	ค่าเฉลี่ย	0.323
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.009
20	1	0.345
	2	0.361
	3	0.353
	ค่าเฉลี่ย	0.353
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.008

ตารางที่ ค-6 อัตราการปนสารต่อค่ากิจกรรมของน้ำของสายบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อัตราการปนสาร (รอบต่อนาที)	ตัวอย่างที่	ค่ากิจกรรมของน้ำ
5	1	0.272
	2	0.286
	3	0.294
	ค่าเฉลี่ย	0.284
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.011
10	1	0.285
	2	0.301
	3	0.296
	ค่าเฉลี่ย	0.294
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.008
15	1	0.311
	2	0.310
	3	0.304
	ค่าเฉลี่ย	0.308
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004
20	1	0.321
	2	0.332
	3	0.315
	ค่าเฉลี่ย	0.323
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.009

ตารางที่ ค-7 ปริมาณมลโทเดกซ์ทรินต่อค่ากิจกรรมของน้ำของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที่ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสีต่อมลโทเดกซ์ทริน	ตัวอย่างที่	ค่ากิจกรรมของน้ำ
85 : 15	1	0.301
	2	0.297
	3	0.303
	ค่าเฉลี่ย	0.300
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.003
70 : 30	1	0.274
	2	0.275
	3	0.267
	ค่าเฉลี่ย	0.272
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004
55 : 45	1	0.259
	2	0.265
	3	0.260
	ค่าเฉลี่ย	0.261
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.003
40 : 60	1	0.257
	2	0.246
	3	0.258
	ค่าเฉลี่ย	0.254
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.007

ตารางที่ ค-8 ปริมาณมลโทเดกซ์ทรินต่อค่ากิจกรรมของน้ำของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที่ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสีต่อมลโทเดกซ์ทริน	ตัวอย่างที่	ค่ากิจกรรมของน้ำ
85 : 15	1	0.286
	2	0.278
	3	0.254
	ค่าเฉลี่ย	0.273
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.017
70 : 30	1	0.264
	2	0.257
	3	0.260
	ค่าเฉลี่ย	0.260
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004
55 : 45	1	0.254
	2	0.256
	3	0.261
	ค่าเฉลี่ย	0.257
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004
40 : 60	1	0.250
	2	0.253
	3	0.252
	ค่าเฉลี่ย	0.252
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.002

ภาคผนวก ง

ค่า CIE L*a*b*

ตารางที่ ง-1 ค่า CIE L*a*b* ของดอกบัวผงจากการอบแห้ง

รายการ	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
การอบ	36.17	0.02	-1.52
	37.40	-0.06	-1.62
	36.85	0.02	-1.39
ค่าเฉลี่ย	36.81	-0.01	-1.51
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.62	0.05	0.12

ตารางที่ ง-2 ค่า CIE L*a*b* ของดอกบัวผงจากเทคนิคการทำผงแห้งแบบพ่นฝอย ที่อัตราการป้อนสาร 10 รอบต่อนาที เมื่อใช้อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
130	43.97	7.75	16.94
	43.42	7.68	17.19
	42.86	8.05	17.53
ค่าเฉลี่ย	43.42	7.83	17.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.56	0.20	0.30
150	46.41	7.26	18.52
	46.11	7.37	18.55
	46.13	7.59	19.35
ค่าเฉลี่ย	46.22	7.41	18.81
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.17	0.17	0.47
170	48.86	7.12	19.37
	48.83	7.74	19.68
	48.51	7.16	19.49
ค่าเฉลี่ย	48.73	7.34	19.51
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.19	0.35	0.16

ตารางที่ ง-3 ค่า CIE L*a*b* ของสายบัวผงจากการอบแห้ง

รายการ	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
การอบ	38.29	1.29	1.59
	38.38	1.04	1.04
	38.15	1.53	1.87
ค่าเฉลี่ย	38.27	1.29	1.50
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.12	0.25	0.42

ตารางที่ ง-4 ค่า CIE L*a*b* ของสายบัวผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อัตราการป้อนสาร 10 รอบต่อนาที เมื่อใช้อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
130	61.58	4.51	18.17
	61.15	4.50	17.99
	59.29	4.66	18.52
ค่าเฉลี่ย	60.67	4.56	18.23
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.22	0.09	0.27
150	63.80	4.25	18.08
	62.28	4.45	18.37
	62.55	4.44	18.51
ค่าเฉลี่ย	62.88	4.38	18.32
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.81	0.11	0.22
170	65.68	4.13	18.40
	65.17	4.22	18.48
	63.99	4.32	18.91
ค่าเฉลี่ย	64.95	4.22	18.60
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.87	0.10	0.27

ตารางที่ ง-5 ค่า CIE L*a*b* ของดอกบัวผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
5	49.12	7.06	19.52
	51.08	6.73	18.97
	50.37	6.64	18.67
ค่าเฉลี่ย	50.19	6.81	19.05
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.99	0.22	0.43
10	46.41	7.26	18.52
	46.11	7.37	18.55
	46.13	7.59	19.35
ค่าเฉลี่ย	46.22	7.41	18.81
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.17	0.17	0.47
15	43.97	7.63	16.73
	44.23	7.36	15.64
	44.73	7.43	16.46
ค่าเฉลี่ย	44.31	7.47	16.28
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.39	0.14	0.57
20	42.37	7.21	11.91
	42.76	7.29	11.58
	42.28	7.56	12.07
ค่าเฉลี่ย	42.47	7.35	11.85
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.26	0.18	0.25

ตารางที่ ง-6 ค่า CIE L*a*b* ของสายบัวผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อัตราการป้อนสารต่างกัน

อัตราการป้อนสาร (รอบต่อนาที)	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
5	66.88	3.57	17.75
	67.25	3.52	17.50
	66.44	3.64	17.73
ค่าเฉลี่ย	66.86	3.58	17.66
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.41	0.06	0.14
10	63.80	4.25	18.08
	62.28	4.45	18.37
	62.55	4.44	18.51
ค่าเฉลี่ย	62.88	4.38	18.32
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.81	0.11	0.22
15	61.29	4.59	18.52
	60.67	4.69	18.37
	61.84	4.47	18.66
ค่าเฉลี่ย	61.27	4.58	18.52
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.59	0.11	0.15
20	59.84	4.71	19.03
	58.68	4.82	19.22
	59.65	4.76	18.20
ค่าเฉลี่ย	59.39	4.76	18.82
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.62	0.06	0.54

ตารางที่ ง-7 ผลของสัดส่วนมอลโทเดกซ์ทรินต่อค่า CIE L*a*b* ของดอกบัวผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อใช้อัตราการป้อนที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสีต่อมอลโท เดกซ์ทริน	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
85 : 15	51.70	6.31	18.59
	51.62	6.40	18.77
	51.22	6.40	18.42
ค่าเฉลี่ย	51.51	6.37	18.59
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.26	0.05	0.18
70 : 30	54.99	5.86	19.65
	54.05	6.03	20.40
	53.85	6.10	20.01
ค่าเฉลี่ย	54.30	6.00	20.02
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.61	0.12	0.38
55 : 45	61.71	4.90	20.00
	61.66	4.90	19.99
	61.41	5.00	20.01
ค่าเฉลี่ย	61.59	4.93	20.00
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.16	0.06	0.01
40 : 60	65.74	3.92	19.76
	65.19	3.95	20.00
	66.34	3.85	19.91
ค่าเฉลี่ย	65.76	3.91	19.89
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.58	0.05	0.12

ตารางที่ ง-8 ผลของสัดส่วนมอลโทเดกซ์ทรินต่อค่า CIE L*a*b* ของสายบัวผงจากเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อใช้อัตราการป้อนที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสีต่อมอลโทเดกซ์ทริน	CIE L*a*b*		
	L*	a*	b*
85 : 15	62.12	2.71	11.84
	62.42	2.73	12.09
	62.30	2.75	12.09
ค่าเฉลี่ย	62.28	2.73	12.01
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.15	0.02	0.14
70 : 30	63.84	2.32	11.63
	63.85	2.36	11.82
	63.82	2.41	11.89
ค่าเฉลี่ย	63.84	2.36	11.78
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.02	0.05	0.13
55 : 45	66.11	2.16	11.45
	65.22	2.32	11.75
	64.52	2.36	11.97
ค่าเฉลี่ย	65.28	2.28	11.72
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.80	0.11	0.26
40 : 60	74.42	1.29	9.37
	73.74	1.32	9.19
	74.29	1.34	9.30
ค่าเฉลี่ย	74.15	1.32	9.29
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.36	0.03	0.09

ภาคผนวก จ

ความสามารถในการละลาย

ตารางที่ จ-1 ความสามารถในการละลายของดอกบัวผงจากการอบแห้ง

ตัวอย่างที่	ความสามารถในการละลาย (วินาที)
1	260
2	257
3	246
ค่าเฉลี่ย	254.33
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.37

ตารางที่ จ-2 อุณหภูมิเข้าต่อความสามารถในการละลายของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตัวอย่างที่	ความสามารถในการละลาย (วินาที)
130	1	120
	2	117
	3	113
	ค่าเฉลี่ย	116.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.51
150	1	134
	2	127
	3	133
	ค่าเฉลี่ย	131.33
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.79
170	1	145
	2	154
	3	147
	ค่าเฉลี่ย	148.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.73

ตารางที่ จ-3 ความสามารถในการละลายของสายบัวผงจากการอบแห้ง

ตัวอย่างที่	ความสามารถในการละลาย (วินาที)
1	240
2	243
3	260
ค่าเฉลี่ย	247.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10.79

ตารางที่ จ-4 อุณหภูมิเข้าต่อความสามารถในการละลายของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตัวอย่างที่	ความสามารถในการละลาย (วินาที)
130	1	118
	2	114
	3	113
	ค่าเฉลี่ย	115
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.65
150	1	128
	2	125
	3	130
	ค่าเฉลี่ย	127.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.52
170	1	134
	2	140
	3	132
	ค่าเฉลี่ย	135.33
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.16

ตารางที่ จ-5 อัตราการปนสารต่อความสามารถในการละลายของดอกบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อัตราการปนสาร (รอบต่อนาที)	ตัวอย่างที่	ความสามารถในการละลาย (วินาที)
5	1	134
	2	140
	3	140
	ค่าเฉลี่ย	138
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.46
10	1	134
	2	127
	3	133
	ค่าเฉลี่ย	131.33
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.79
15	1	124
	2	123
	3	134
	ค่าเฉลี่ย	127
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	6.08
20	1	119
	2	124
	3	116
	ค่าเฉลี่ย	119.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.04

ตารางที่ จ-6 อัตราการปนสารต่อความสามารถในการละลายของสายบัวผง เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อัตราการปนสาร (รอบต่อนาที)	ตัวอย่างที่	ความสามารถในการละลาย (วินาที)
5	1	134
	2	130
	3	133
	ค่าเฉลี่ย	132.33
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.08
10	1	128
	2	125
	3	130
	ค่าเฉลี่ย	127.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.52
15	1	124
	2	121
	3	127
	ค่าเฉลี่ย	124.00
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.00
20	1	114
	2	119
	3	115
	ค่าเฉลี่ย	116
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.65

ตารางที่ จ-7 ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อความสามารถในการละลายของดอกบัวผง เมื่อใช้อัตราการ
ป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสืต่อมอลโทเดกซ์ทริน	ตัวอย่างที่	ความสามารถในการละลาย (วินาที)
85 : 15	1	141
	2	135
	3	146
	ค่าเฉลี่ย	140.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	5.51
70 : 30	1	151
	2	153
	3	158
	ค่าเฉลี่ย	154.00
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.61
55 : 45	1	164
	2	160
	3	167
	ค่าเฉลี่ย	163.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.51
40 : 60	1	160
	2	175
	3	168
	ค่าเฉลี่ย	167.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.51

ตารางที่ จ-8 ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อความสามารถในการละลายของสายบัวผง เมื่อใช้อัตราการ
ป้อนสารที่ 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

สัดส่วนผงสืต่อมอลโทเดกซ์ทริน	ตัวอย่างที่	ความสามารถในการละลาย (วินาที)
85 : 15	1	135
	2	137
	3	132
	ค่าเฉลี่ย	134.67
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.52
70 : 30	1	146
	2	148
	3	142
	ค่าเฉลี่ย	145.33
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.06
55 : 45	1	154
	2	158
	3	150
	ค่าเฉลี่ย	154.00
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.00
40 : 60	1	157
	2	166
	3	158
	ค่าเฉลี่ย	160.33
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.93

ภาคผนวก ฉ

ราคาและสมบัติของไหม

ไหมเบอร์ 20/22D ควบ 4 เส้น

แหล่งผลิต	บริษัทจุลไหมไทยจำกัด
ราคา	2,250 บาทต่อกิโลกรัม
ทิศทางของเกลียว (Direction of twist)	S
จำนวนเกลียวต่อเมตร (Average twists per meter)	605 รอบ
ความสะอาด (Cleanness)	99.60 %
ความเรียบ (Neatness)	96.50 %
ความทนแรงดึง (Tenacity)	4.20 กรัมต่อดีเนียร์
ร้อยละการยืดตัว (Elongation)	22.50 %
ความสามารถในการดูดซับความชื้นเฉลี่ย (Average moisture regain)	11.70 %

ภาคผนวก ข

การถ่ายทอดเทคโนโลยี

เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 26 เมษายน 2561 คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ไปที่กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกก ตำบลหนองนาคำ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี เพื่อถ่ายทอดวิธีการควบคุมมาตรฐานการย้อมสีจากบัวแดงเพื่อให้สามารถทำการย้อมผ้าได้ ทำการถ่ายทอดเทคนิคต่าง ๆ ตั้งแต่การเตรียมผงสีจนกระทั่งถึงการย้อมเพื่อให้สามารถควบคุมเฉดสีที่ต้องการ โดยจัดทำคู่มือการเตรียมผงสี ผงสีตัวอย่าง คู่มือการย้อมที่เข้าใจง่าย แพนโทนสี และสารเพิ่มความนุ่มและลดการเกิดกลิ่น เพื่อให้ทางกลุ่มฯ ได้นำไปทดลองย้อมจากการพูดคุยทำให้ทราบว่าในการย้อมเส้นไหมจากห้องปฏิบัติการและการย้อมจริงของกลุ่มฯ เฉดสีที่ได้มีความแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากน้ำที่ย้อมแตกต่างกัน โดยกลุ่มจะใช้น้ำบาดาลแต่ในงานวิจัยใช้น้ำปะปา ทำให้คุณภาพและสารประกอบในน้ำมีความแตกต่างกัน ซึ่งน้ำเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการทำให้เกิดความแตกต่างของเฉดสีได้ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้แนะนำให้กลุ่มทดลองย้อมและทำแพนโทนสีของการย้อมจากการใช้น้ำในพื้นที่ในลักษณะเดียวกัน เพื่อให้เป็นข้อมูลในการเลือกเฉดสีและกำหนดอัตราส่วนผสมต่างๆ ในการย้อมสำหรับใช้เป็นข้อมูลของกลุ่มฯ ต่อไป

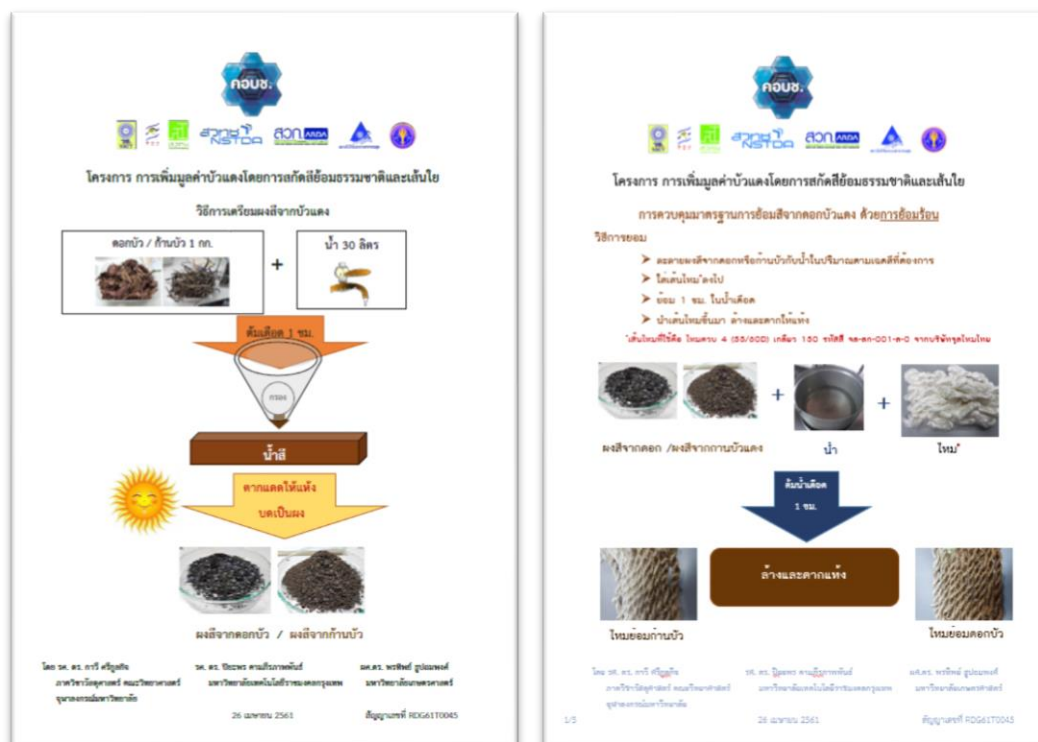
กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกกเป็นกลุ่มที่เน้นวัตถุดิบที่ใช้ในการย้อมไหมจากธรรมชาติและหาได้ในพื้นที่ รวมถึงการเลือกใช้สารช่วยติดจากธรรมชาติ เช่น โคลนจากหนองน้ำในพื้นที่ ผู้วิจัยจึงได้ขอตัวอย่างโคลนของกลุ่มฯ เพื่อมาทำการทดลองวิจัยต่อไป



ภาพที่ ข-1 วันพฤหัสบดีที่ 26 เมษายน 2561 ณ กลุ่มทอผ้าโบราณบ้านโนนกก



ภาพที่ ข-2 ตัวอย่างผงสีที่สกัดจากดอกและสายบัวแดง



ภาพที่ ข-3 คู่มือการเตรียมผงสีและการย้อมสีจากผงสีข้าวแดง



ภาพที่ ข-4 แผนโทนสีในการย้อมไหมจากผงสีสกัดจากดอกและสายข้าวแดง

หนังสือรับรองแสดงความประสงค์ในการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ข้าพเจ้า พ.อ.อภิชาติ พลบัว

ตำแหน่ง ผู้ประสานงานภาค หน่วยงาน กองอำนวยการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยกลาง

ขอยืนยันว่า ข้าพเจ้านำผลงานวิจัยของแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย เรื่อง การเพิ่มผลผลิตข้าวหอมมะลิ 105 ของเกษตรกรในจังหวัดสุรินทร์

ซึ่งมี นาย/นาง/นางสาว กวี ทรัพย์

สังกัด ภาควิชาสังคมศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

เป็นผู้ดำเนินการแผนงาน/หัวหน้าโครงการ ไปใช้ประโยชน์เมื่อโครงการดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้นแล้วในด้าน การนำผลผลิตข้าวหอมมะลิ 105 ไปใช้ประโยชน์ของเกษตรกรในจังหวัดสุรินทร์

ลงชื่อ (นายอภิชาติ พลบัว)

๒๔/๓/๒๕๖๑

ภาพที่ ข-5 หนังสือรับรองแสดงความประสงค์ในการนำผลงานไปใช้ประโยชน์

การประชุมวิชาการ “แผนยุทธศาสตร์สนับสนุนทุนวิจัยและการใช้ประโยชน์จากงานวิจัย เพื่อพัฒนา
วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) ทั้งระบบ”

วันพฤหัสบดีที่ 26 กรกฎาคม 2561

ณ ห้องอินฟินิตี้ บอลรูม โรงแรมพูลแมน คิง เพาเวอร์ กรุงเทพฯ

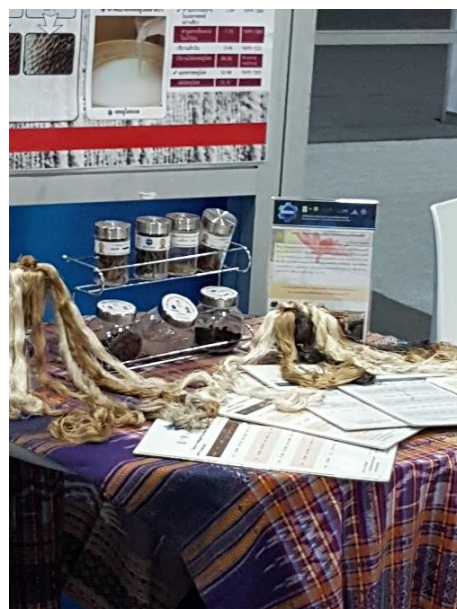


ภาพที่ ข-6 การแสดงผลงานในการประชุมวิชาการ “แผนยุทธศาสตร์สนับสนุนทุนวิจัยและการใช้ประโยชน์จากงานวิจัย เพื่อพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) ทั้งระบบ”

เข้าร่วมจัดแสดงผลงานในงาน Thailand Industry Expo 2018

ระหว่างวันที่ 2-5 สิงหาคม 2561

ณ อาคารชาเลนเจอร์ อิมแพค อารีนา เมืองทองธานี



ภาพที่ ช-7 การจัดแสดงผลงานในงาน Thailand Industry Expo 2018

ภาคผนวก ซ

เอกสารเผยแพร่



โครงการ **การเพิ่มมูลค่าบัวแดง**

โดย **การสกัดสีจากธรรมชาติ** และ **เส้นใย**

วิธีการเตรียมผงสีจากบัวแดง

ดอกบัว / ก้านบัว 1 กก. น้ำ 30 ลิตร



ต้มเดือด 1 ชม.

กรอง

น้ำสี

ตากแดดให้แห้ง
บดเป็นผง

ผงสีจากดอกบัว / ผงสีจากก้านบัว

โดย รศ. ดร. กาวี ศรีกุลกิจ
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ. ดร. ปิยะพร ความภิรมภาพพันธ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.ดร. พรทิพย์ รูปถมพวงศ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัญญาเลขที่ RDG61T0045




โครงการ การเพิ่มมูลค่า บัวแดง

โดยการสกัดสีธรรมชาติ
และ เส้นใย

การควบคุมมาตรฐานการย้อมสีจากดอกบัวแดง
ด้วยการย้อมร้อน

วิธีการย้อม

- ละลายผงสีจากดอกหรือก้านบัวกับน้ำในปริมาณตามเกณฑ์ที่ต้องการ
- ใส่เส้นไหม*ลงไป
- ย้อม 1 ชม. ในน้ำเดือด
- นำเส้นไหมขึ้นมา ล้างและตากให้แห้ง



ผงสีจากดอก/ผงสีจากก้านบัวแดง + น้ำ + ไหม

ต้มน้ำเดือด 1 ชม.

ล้างและตากแห้ง

ไหมย้อมก้านบัว ไหมย้อมดอกบัว

*เส้นไหมที่ใช้คือ ไหมควบ 4 (55/60D) เกียว 150 รหัสสี จล-ลก-001-ล-0 จากบริษัทจุลไหมไทย

โดย รศ. ดร. กาวี ศรีกุลกิจ
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ. ดร. ปิยะพร ความภักภาพันธุ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.ดร. พรทิพย์ รูปถมพงศ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัญญาเลขที่ RDG61T0045

บัวแดง

โครงการ **การเพิ่มมูลค่า**
 โดยการ **สกัดสีธรรมชาติ**
 และ **เส้นใย**
 เจดสีจากพวงก้านบัวแดง

เส้นไหม	น้ำ	ผงสี	ค่าสี				PANTONE®	เจดสี
			K/S	L*	a*	b*		
1 กก.	30 ลิตร	50 กรัม	0.20	86.89	0.40	6.82	11-4202 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	100 กรัม	0.31	84.54	0.90	8.75	11-4301 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	150 กรัม	0.47	81.27	1.49	10.37	12-4302 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	200 กรัม	0.65	78.53	1.85	11.48	12-0404 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	250 กรัม	0.90	75.24	2.37	12.55	12-0105 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	300 กรัม	1.23	72.11	2.80	13.76	13-0401 TPX	

โดย รศ. ดร. กวี ศรีกุลกิจ
 ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ. ดร. ปิยะพร ความภิรมภาพพันธ์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.ดร. พรทิพย์ รูปถมพงศ์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัญญาเลขที่ RDG61T0045












โครงการ
การเพิ่มมูลค่า

บัวแดง

โดย การสกัดสีธรรมชาติ
และ เส้นใย

เจดสีจากพวงก้านบัวแดง

เส้นไหม	น้ำ	ผงสี	ค่าสี				PANTONE®	เจดสี
			K/S	L*	a*	b*		
1 กก.	30 ลิตร	500 กรัม	2.07	66.39	3.85	15.78	14-1107 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	800 กรัม	3.44	60.27	4.91	17.52	15-1116 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	1 กก.	4.26	57.67	5.38	18.25	15-1307 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	1.2 กก.	4.70	56.57	5.66	18.79	16-1324 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	1.5 กก.	5.30	54.92	5.88	19.01	17-1038 TPX	

โดย รศ. ดร. กาวี ศรีกุลกิจ
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ. ดร. ปิยะพร ความภิรมภาพพันธ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.ดร. พรทิพย์ รูปถมพงศ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัญญาเลขที่ RDG61T0045



โครงการ
การเพิ่มมูลค่า
บัวแดง
โดยการสกัดสีธรรมชาติ
และ เส้นใย
เจดสีจากผงดอกบัวแดง

เส้นไหม	น้ำ	ผงสี	ค่าสี				PANTONE®	เจดสี
			K/S	L*	a*	b*		
1 กก.	30 ลิตร	50 กรัม	1.04	75.77	2.43	14.57	13-1007 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	100 กรัม	2.50	67.20	3.83	18.59	14-1108 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	150 กรัม	3.95	61.87	4.66	20.13	14-1014 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	200 กรัม	5.29	58.69	5.20	21.17	15-1216 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	250 กรัม	6.56	56.49	5.77	22.14	15-1119 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	300 กรัม	8.67	53.63	6.36	23.30	17-1028 TPX	

โดย รศ. ดร. กาวี ศรีกุลกิจ
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ. ดร. ปิยะพร ความภิรมภาพพันธ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.ดร. พรทิพย์ รูปถมพงศ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัญญาเลขที่ RDG61T0045



โครงการ
การเพิ่มมูลค่า
บัวแดง
โดย การสกัดสีธรรมชาติ
และ เส้นใย
เจดสีจากพง**ดอกบัวแดง**

เส้นไหม	น้ำ	ผงสี	ค่าสี				PANTONE®	เจดสี
			K/S	L*	a*	b*		
1 กก.	30 ลิตร	400 กรัม	10.36	50.64	6.87	23.34	16-1326 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	500 กรัม	12.23	48.86	7.29	24.00	17-0942 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	700 กรัม	15.02	45.86	7.98	24.52	17-1036 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	800 กรัม	17.12	42.96	8.11	23.85	18-0940 TPX	
1 กก.	30 ลิตร	1 กก.	17.45	42.12	8.29	23.61	18-0937 TPX	

โดย รศ. ดร. กาวี ศรีกุลกิจ
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ. ดร. ปิยะพร ความภิรมภาพันธุ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.ดร. พรทิพย์ รูปถมพงศ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัญญาเลขที่ RDG61T0045