วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการสินค้าสิ่งทอ)

ปริญญา

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการสินค้าสิ่งทอ วิทยาการสิ่งทอ

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง การเตรียมและการใช้ซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศในกระบวนการเคมีสิ่งทอ

Preparation and Application of Saponins from *Sapindus rarak* Pericarp and *Glycyrrhiza* Root in Textile Chemical Processes

นามผู้วิจัย นางสาวอันธิกา หนูช่วย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ .....

(อาจารย์พรทิพย์ แซ่เบ๊,วท.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์พิมพวรรณ คุ้มภัย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรทิพย์ วัชรปัญญาวงศ์เตชะเมธีกุล, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเตรียมและการใช้ซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ ในกระบวนการเคมีสิ่งทอ

Preparation and Application of Saponins from *Sapindus rarak* Pericarp and *Glycyrrhiza* Root in Textile Chemical Processes

โดย

นางสาวอันธิกา หนูช่วย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการสินค้าสิ่งทอ)

พ.ศ. 2558

อันธิกา หนูช่วย 2558: การเตรียมและการใช้ซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศในกระบวนการเคมีสิ่งทอ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการสินค้าสิ่งทอ) สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการสินค้าสิ่งทอ ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์พรทิพย์ แซ่เบ๊, วท.ด. 86 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดซาโปนินจากผลประคำดีควาย (*Sapindus rarak*) และรากชะเอมเทศ (*Glycyrrhiza*) สำหรับใช้งานเป็นสารช่วยเปียกในกระบวนการลอกกาวไหม กระบวนการทำความสะอาดผ้าฝ้าย และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำซาโปนินได้มาใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวในกระบวนการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์ จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายได้ร้อยละ 55.08 โดยน้ำหนัก ผงซาโปนินที่สกัดได้มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ละลายน้ำดีและมีฟองมาก ค่า CMC เท่ากับ 6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ส่วนรากชะเอมเทศสกัดซาโปนินได้ร้อยละ 20.09 โดยน้ำหนัก ลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ละลายน้ำดี มีให้ฟองเล็กน้อย ค่า CMC เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 95 องศาเซลเซียส ซาโปนินจากผนังผลประคำดีควาย (SN) และรากชะเอมเทศ (SL) สามารถทำการลอกกาวเส้นไหมดิบทั้ง 3 ชนิด (ไหมจุล ไหมหนึ่งและไหมสองสายพันธุ์เหลืองไพโรจน์) ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนตได้ดังนี้ ทำการลอกกาวไหมขั้นตอนแรกด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นทำการลอกกาวไหมต่อด้วยซาโปนินที่สกัดจากประคำดีควายและรากชะเอมเทศ ที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งกระบวนการลอกกาวไหมในงานวิจัยนี้ไม่ส่งผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรงและการยืดตัวของเส้นไหม การทำความสะอาดผ้าฝ้ายถัก ด้วยซาโปนิน 2 ชนิด (SN และ SL) ทำได้โดยการต้มผ้าฝ้ายในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำมาทำความสะอาดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักผ้า ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และทำความสะอาดผ้าฝ้ายในขั้นตอนสุดท้ายด้วยซาโปนินที่สกัดได้จากประคำดีควายและรากชะเอมเทศที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 ของน้ำหนักผ้า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที วิธีการนี้สามารถทำให้ผ้าฝ้ายดูดซึมน้ำภายใน 5 วินาทีตามเกณฑ์มาตรฐาน และจากการศึกษาพบว่าซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศสามารถนำมาใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมผ้าพอลิเอสเตอร์ร่วมกับสีดิสเพิร์สซึ่งจะช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อการซักให้กับผ้าพอลิเอสเตอร์ได้

/ /

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Antika Noochuay 2015: Preparation and Application of Saponins from *Sapindus rarak* Pericarp and *Glycyrrhiza* Root in Textile Chemical Processes. Master of Science (Textile Industrial Technology and Merchandising), Major Field: Textile Industrial Technology and Merchandising, Department of Textile Science. Thesis Advisor: Miss. Porntip Sae-bae, Ph.D. 86 pages.

This research aimed to study the extraction of saponins from Soap Nut Fruit (*Sapindus rarak*) and Licorice root (*Glycyrrhiza*) to be used as wetting agent in degumming silk as well as scouring cotton fabric. Additionally, to study the possibility of using the extracted saponins as dispersing agent in disperse dyeing on polyester fabric. Saponins can be extracted from Soap Nut Fruit pericarp (SN) and Licorice root (SL) using water as the solvent. Soap Nut Fruit pericarp contained saponins 55.08% by weight. The extracted saponins were in brown powder with good water solubility, foam well and CMC 6 mg/ml. The extracted can be used at the temperature not higher than 70° C. The extracted Licorice root had saponins 20.09% by weight. The extracted saponins were in brown powder with good solubility, foam well and CMC 10 mg/ml. The extracted can be used at the temperature higher than 95° C. The results showed that both extracted saponins powders from SN and SL could used to degumming three types of Thai silk (Chul silk and 2 kinds of Luang-pairoach silk). By using both types of saponins with sodium carbonate as in the following process. First, degumming silk in 0.5 g/l sodium carbonate solution at 95° C for 60 minutes. Then, put in the saponins extracted from both SN and SL with 20 g/l of saponins at 40° C for 60 minutes. These degumming processes had no impact on tenacity and elongation properties of degummed silk. As for scouring cotton fabric, both types of saponins (SN and SL) should be used with sodium hydroxide. First, cotton fabric was prewashed in boiling water for 15 minutes then scoured cotton fabric in 4 %owf sodium hydroxide at 95° C for 60 minutes. Finally, remove waxes using 40 %owf Saponins at 40° C for 60 minutes. All scoured fabrics absorbed water in 5 seconds. In addition, saponins extracted from Licorice root can be used as dispersing agent in disperse dyeing on polyester, which would increase wash fastness property in polyester fabric.

_____ _____ __ / __ / __

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร. พรทิพย์ แซ่เบ๊ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำในทุกๆ เรื่อง และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอขอบพระคุณ ดร. พิมพวรรณ คุ้มภัย กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. จันทร์ทิพย์ เศรษฐยานนท์ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และขอบพระคุณ ผศ. ดร. ณัฐยา วุฒิกานนท์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2557 และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนการเสนอผลงานวิทยานิพนธ์แบบปากเปล่า ในการประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ ณ วันที่ 10-11 มกราคม 2014 สาธารณรัฐประชาชนจีน และบริษัท DYSTAR ที่ได้เอื้อเฟื้อสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ท้ายสุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดาและครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ และสนับสนุนด้านการศึกษา รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ สำหรับการให้ความช่วยเหลือ มิตรภาพที่ดี และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จได้ด้วยดี

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่านในสถาบันการศึกษาอันทรงเกียรติแห่งนี้ ที่ได้อบรมสั่งสอนข้าพเจ้าจนมีความรู้ถึงปัจจุบัน

อันธิกา หนูช่วย
มิถุนายน 2558

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	34
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	77
สรุป	77
ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	79
ภาคผนวก	84
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	90

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	ปริมาณซาโปนินที่พบในพืชแต่ละชนิด	12
2	สมบัติทางฟิสิกส์ของซาโปนิน	16
3	องค์ประกอบของรากชะเอมเทศ	19
4	องค์ประกอบของเส้นใยไหมดิบ	21
5	องค์ประกอบของกรดอะมิโนที่พบในไฟโบรอินและเซริซิน	22
6	องค์ประกอบเส้นใยฝ้าย	24
7	เส้นด้ายไหมที่ใช้ในงานวิจัย	31
8	**สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย**	32
9	ภาวะที่ใช้ในการลอกกาวเส้นด้ายไหม	38
10	ภาวะที่ใช้ในการทำความสะอาดผ้าฝ้าย	39
11	ลักษณะและปริมาณซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ	53
12	ลักษณะพื้นผิวและสมบัติทั่วไปของเส้นไหมดิบ	58
13	ค่าการดูดซึมน้ำของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว	59
14	ลักษณะพื้นผิวของไหมจุลภายหลังการลอกกาว	60
15	ลักษณะพื้นผิวของไหมหนึ่งภายหลังการลอกกาว	61
16	ลักษณะพื้นผิวของไหมสองภายหลังการลอกกาว	62
17	ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกในระหว่างการลอกกาวไหม	63
18	การติดสีของเซริซินบนเส้นไหม	65
19	ปริมาณโปรตีนในสารละลายจากการลอกกาวไหมขั้นที่หนึ่ง (Na_2CO_3)	67
20	ปริมาณโปรตีนในสารละลายจากการลอกกาวไหมขั้นตอนที่สอง (สารช่วยเปียก)	67
21	ค่าความแข็งแรงและร้อยละการยืดตัวของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว	68
22	ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดผ้าฝ้าย	70
23	ผลการย้อมผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยสีดิสเพิร์ส	74
24	ค่าความคงทนของสีบนผ้าต่อการซัก	75

ตารางผนวกที่

1	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าแรงตึงผิวซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควาย	85
2	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าแรงตึงผิวซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศ	87

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปรากฏการณ์พื้นผิว	5
2	กระบวนการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิว	6
3	ลักษณะโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว	6
4	การแขวนลอยของน้ำมันและไขมันในน้ำด้วยสารลดแรงตึงผิว	7
5	ค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (CMC)	8
6	ลักษณะของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว	11
7	ส่วนประกอบของซาโปนิน	13
8	โครงสร้างของอะไกลโคน	13
9	ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของประคำดีควาย	18
10	ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของชะเอมเทศ	20
11	โครงสร้างเส้นไหม	21
12	โครงสร้างสีดิสเพิร์สชนิดโมโนอะโซ	26
13	โครงสร้างสีดิสเพิร์สชนิดแอนทราควิโนน	26
14	ผลประคำดีควาย	30
15	รากชะเอมเทศ	30
16	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	35
17	ลักษณะซาโปนินจากผนังผลประคำดีควาย	36
18	ลักษณะซาโปนินจากรากชะเอมเทศ	37
19	ขั้นตอนการลอกกาวไหม	38
20	ขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าฝ้าย	40
21	รูปแบบการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์	41
22	เครื่องวัดค่าแรงตึงผิว	44
23	การวัดค่าการดูดซึมน้ำ	46
24	ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนคลื่นแสงต่อความเข้มข้นของโปรตีน	48
25	ค่า CMC ของประคำดีควาย	54
26	ค่า CMC ของรากชะเอมเทศ	55
27	ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกในการลอกกาวไหม	64
28	ปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ถูกกำจัดออกในการลอกกาวไหม	67
29	ค่าความแข็งแรงของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว	68
30	ปฏิกิริยาสะพอนนิฟิเคชัน	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
31	ผลการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาด	71
32	ค่าความขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาด	72
33	ค่าความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาด	73

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ผ้า Pre-washed = ผ้าฝ้ายที่ผ่านการต้มน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

CMC = ค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต

SN = ซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย

SL = ซาโปนินที่สกัดได้จากรากชะเอมเทศ

DB = สีดิสเพิร์ส (Dianix Navy S-G)

DB_N = สีดิสเพิร์ส (Dianix Navy S-G) ที่ผ่านสกัดสารช่วยกระจายตัวออก

การเตรียมและการใช้ซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ ในกระบวนการเคมีสิ่งทอ

Preparation and Application of Saponins from *Sapindus rarak* Pericarp and *Glycyrrhiza* Root in Textile Chemical Processes

คำนำ

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) คือ สารที่ทำหน้าที่ในการลดแรงตึงผิวของของเหลว ส่งผลให้ค่าแรงตึงผิวของของเหลวเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายสามารถรวมกันได้ อุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้สารลดแรงตึงผิวค่อนข้างมากในกระบวนการเคมีสิ่งทอ เช่น สารช่วยเปียกในกระบวนการลอกกาวไหม สารช่วยเปียกในขั้นตอนการทำความสะอาดผ้า สารช่วยกระจายตัวสำหรับการย้อมสีดิสเพิร์สบนเส้นใยสังเคราะห์ สารเพิ่มความนุ่มให้กับผ้าผืน และสารลดปัญหาการเกิดไฟฟ้าสถิตบนเส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้จากการสังเคราะห์ไขมันหรือน้ำมันจากวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี แล้วทำการดัดแปรโครงสร้างเคมีโดยการเพิ่มสภาพขั้วลงไปในโมเลกุล สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์นี้เมื่อหลงเหลือจากการใช้งานแล้วจะย่อยสลายยาก เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำชุมชนจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศสัตว์และพืชน้ำ เป็นมลพิษของแหล่งน้ำในระยะยาว ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมกำลังส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อการดำรงชีวิตของผู้คนและสิ่งมีชีวิต ทำให้คนเริ่มตระหนักและหันมาสนใจใช้วัสดุธรรมชาติชดเชยการใช้สารเคมีต่างๆ เนื่องจากวัสดุจากธรรมชาติมีความเป็นพิษต่ำ สามารถย่อยสลายง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ซาโปนิน คือ สารลดแรงตึงผิวจากธรรมชาติสามารถพบได้ในพืชสมุนไพรไทย เช่น ผนังผลประคำดีควาย (*Sapindus rarak*) หรือรากชะเอมเทศ (*Glycyrrhiza*) เป็นต้น สารลดแรงตึงผิวธรรมชาติในประเทศไทยถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ของชุมชนประเภทยาและเครื่องสำอางค์มากกว่าจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ซาโปนิน (Saponins) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลของส่วนที่ชอบน้ำหรือไกลโคน (Glycone) เชื่อมต่อพันธะโคเวเลนต์กับส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรืออะไกลโคน (Aglycone) ผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศมีปริมาณซาโปนินร้อยละ 30 (Sarin and Beri., 1939) และร้อยละ 22-32 (Ozalem and Gluseppeet., 2007) โดยน้ำหนักตามลำดับ ซาโปนินมีสมบัติเป็นสารซักฟอกที่ดีซึ่งเป็นสมบัติสำคัญในการใช้เป็นสารช่วยเปียก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศมาใช้งานเป็นสารช่วยเปียกในกระบวนการลอก

กาวไหมและกระบวนการทำความสะอาดผ้าฝ้าย รวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานเป็นสารช่วยกระจายตัวสำหรับการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดการใช้งานของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ
2. เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการลอกกาวไหมด้วยซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ
3. เพื่อศึกษาภาวะในการทำความสะอาดผ้าฝ้ายถักด้วยซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ
4. เพื่อศึกษาการใช้ซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศเป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์

สมมุติฐาน

กระบวนการเคมีสิ่งทอมีการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นจำนวนมาก และสารลดแรงตึงผิวที่นำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นสารสังเคราะห์ซึ่งย่อยสลายยากและมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ซาโปนินในพืชมีลักษณะและสมบัติใกล้เคียงกับสารลดแรงตึงผิว จึงน่าจะนำมาใช้ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสกัดซาโปนินจากจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ เพื่อใช้ในการลอกกาวไหม (Degumming Processes) การทำความสะอาดผ้าฝ้าย (Cotton Scouring) และใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) ในการย้อมผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยสีดิสเพิร์ส

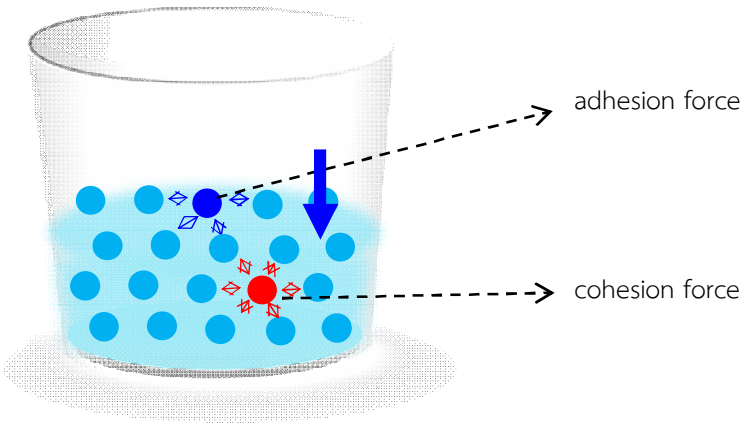
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศสำหรับใช้งาน
2. สามารถนำซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศมาใช้ลอกกาวไหม
3. สามารถนำซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศมาใช้ทำความสะอาดผ้าฝ้ายถัก
4. เป็นแนวทางในการนำซาโปนินมาใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์สบนเส้นใยพอลิเอสเตอร์
5. ลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ในกระบวนการผลิตสิ่งทอ
6. เพิ่มมูลค่าและการใช้งานให้กับผลประคำดีควายและชะเอมเทศซึ่งเป็นสมุนไพรไทย
7. ส่งเสริมธุรกิจทอผ้าของชุมชนให้ใช้วัตถุดิบธรรมชาติในพื้นที่ในกระบวนการฟอกย้อมทดแทนการสั่งซื้อสารเคมี

การตรวจเอกสาร

แรงตึงผิว (Surface tension)

บริเวณพื้นผิวของของเหลวจะเกิดแรงกระทำขึ้นภายในโมเลกุลของของเหลว 2 ชนิด คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวด้วยกันเอง (Cohesion force) ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของของเหลวภายในเนื้อสารด้วยแรงที่เท่ากันทุกทิศทาง และแรงระหว่างพื้นผิวของของเหลว หรือแรงที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวและอากาศ (Adhesion force) ซึ่งจะเกิดแรงดึงดูดที่มีค่าไม่เท่าทุกทิศทาง ก่อให้เกิดพลังงานอิสระซึ่งมีทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (ดึงลง) ดังภาพที่ 1 ดังนั้นของเหลวบริเวณพื้นผิวจึงต้องสร้างแรงต้านการดึงลงดังกล่าวเพื่อรักษาสมดุลของแรงไว้ แรงต้านดังกล่าวเรียกว่า แรงตึงผิว

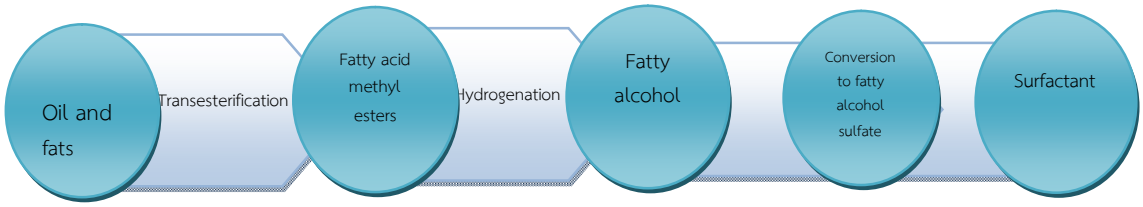


ภาพที่ 1 ปรากฏการณ์พื้นผิว

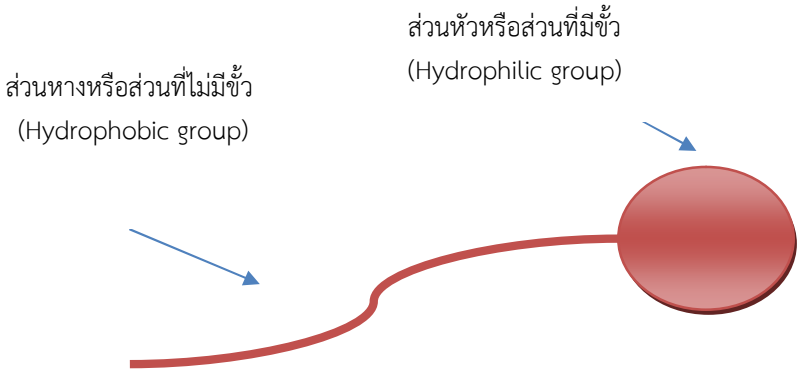
แรงตึงผิว (Surface tension) คือแรงที่ทำให้พื้นผิวของของเหลวแผ่ขยายออกไป 1 เซนติเมตร มีหน่วยเป็น แรงต่อความยาว เช่น ไดน์ต่อเซนติเมตร (dyne/cm) หรือนิวตันต่อเมตร (N/m) (Vargaftik *et al.*, 1983)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactants)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) คือ สารเคมีที่ถูกดูดซับไว้ที่บริเวณผิว (Surface) หรือระหว่างพื้นผิว (Interfacial) ของของเหลวแล้วทำให้ค่าแรงตึงผิว (Surface Tension) ของของเหลวลดลง วัสดุจึงสามารถเปียกได้ง่ายขึ้น หรือทำให้ของเหลว 2 เฟสที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันสามารถกระจายตัวอยู่ในกันและกัน สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่แล้วจะสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ดังภาพที่ 2 โดยการนำน้ำมันหรือไขมันมาทำปฏิกิริยาเคมีจนได้สารเคมีที่มีลักษณะโมเลกุลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัวหรือส่วนที่มีขั้ว (Hydrophilic group) เป็นส่วนที่ชอบน้ำหรือส่วนที่สามารถละลายน้ำ และส่วนหางหรือส่วนที่ไม่มีขั้ว (Hydrophobic group) เป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือส่วนที่สามารถละลายในน้ำมัน ดังภาพที่ 3

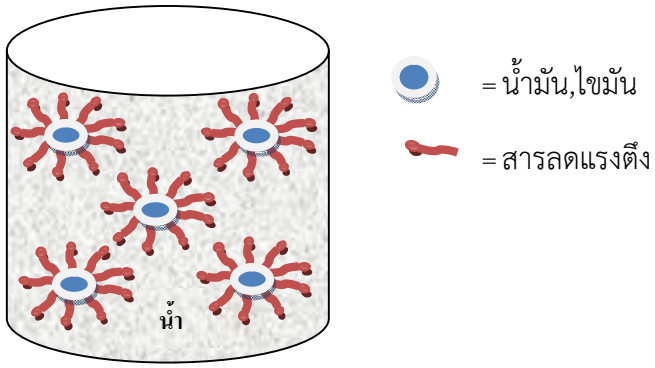


ภาพที่ 2 กระบวนการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิว



ภาพที่ 3 ลักษณะโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว

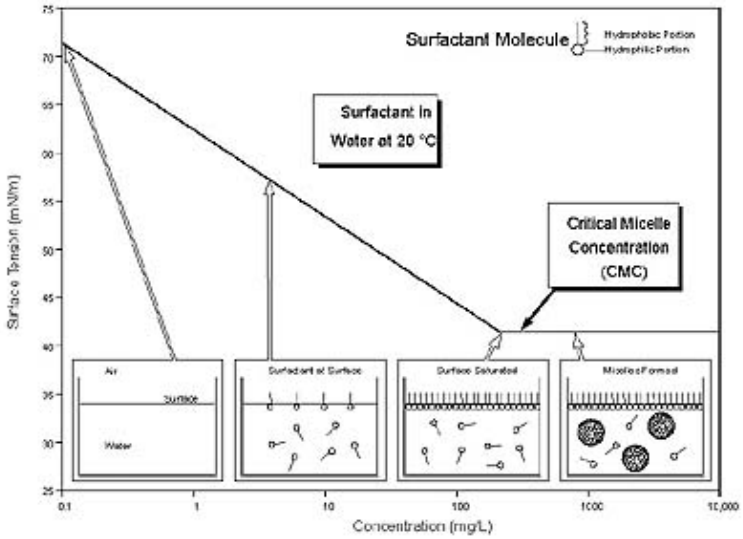
เมื่อสารลดแรงตึงผิวกระจายตัวอยู่ในน้ำ ส่วนที่ชอบน้ำหรือส่วนที่มีขั้วจะทำหน้าที่จับกับโมเลกุลน้ำหรือโมเลกุลที่มีขั้วเหมือนกัน ในขณะที่ส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือส่วนที่ไม่มีขั้วทำหน้าที่จับกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เช่น น้ำมัน ไขมันหรือสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำ แล้วทำให้ไขมัน น้ำมันและสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำแขวนลอยหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การแขวนลอยของน้ำมันและไขมันในน้ำด้วยสารลดแรงตึงผิว

ค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (Critical Micelle Concentration, CMC)

ค่าแรงตึงผิวของน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 72.75 มิลลินิวตันต่อเมตร (Vargaftik *et al.,* 1983) สามารถทำให้ค่าแรงตึงผิวของน้ำลดลงได้ซึ่งจะช่วยให้วัสดุสามารถเปียกได้ง่ายขึ้นด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวจะสร้างไมเซลล์ในน้ำ พฤติกรรมการสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นต่ำ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเคลื่อนตัวอยู่ระหว่างพื้นผิวของน้ำ (ของเหลว) และอากาศมีการจัดเรียงโมเลกุลโดยหันส่วนที่มีขั้วของโมเลกุลเข้าหาน้ำและส่วนที่ไม่มีขั้วของโมเลกุลเข้าหาอากาศ ทำให้ค่าแรงตึงผิวของน้ำลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้นที่โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมากเกินกว่าที่จะอยู่บริเวณพื้นผิวระหว่างน้ำกับอากาศ สารลดแรงตึงผิวจึงเริ่มอยู่ในน้ำและจับตัวกันสร้างไมเซลล์ (Micelle) ขึ้นในน้ำ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เริ่มเกิดไมเซลล์ขึ้นเรียกว่า ค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต หรือ ค่า CMC ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถนำมาใช้งานเป็นสารลดแรงตึงผิว หาได้จากค่าความเข้มข้นที่น้อยที่สุดของสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้ค่าแรงตึงผิวของน้ำ (ของเหลว) มีค่าคงที่ (Fujimoto., 1985)



ภาพที่ 5 ค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (CMC)

ที่มา : Biolinscientific : http://www.biolinscientific.com

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า CMC

- โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวสารลดแรงตึงผิวที่มีขนาดของส่วนที่มีขั้ว หรือส่วนที่ชอบน้ำมากจะมีค่า CMC สูง

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะส่งผลต่อสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ (Nonionic surfactants) ที่อุณหภูมิสูง ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุจะลดลง และเกิดการตกตะกอน อุณหภูมิที่ทำให้สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุตกตะกอน เรียกว่า จุดขุ่น (Cloud point) ซึ่งเป็นจุดกำหนดอุณหภูมิการใช้งานของสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ

- สารอิเล็กโทรไลต์

สารอิเล็กโทรไลต์ทำให้จำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในการเกิดไมเซลล์ลดลง ค่า CMC จึงลดลง

ประเภทของสารลดแรงตึงผิว

ประเภทของสารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ แบ่งตามลักษณะการใช้งาน หรือแบ่งตามโครงสร้างของโมเลกุล

การแบ่งตามลักษณะการใช้งาน อาทิ

- สารซักฟอก (Detergent)
- สารกันการเกิดฟอง (Antifoaming agent)
- อิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier)
- สารช่วยละลาย (Solubilizing agent) สารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent)
- สารช่วยเปียก (Wetting agent)

การแบ่งตามโครงสร้างของโมเลกุล สามารถแบ่งได้ 4 ประเภท คือ

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactants) คือ สารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุเป็นลบในส่วนที่มีขั้ว หมู่ฟังชันในโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวที่แสดงประจุเป็นลบได้แก่

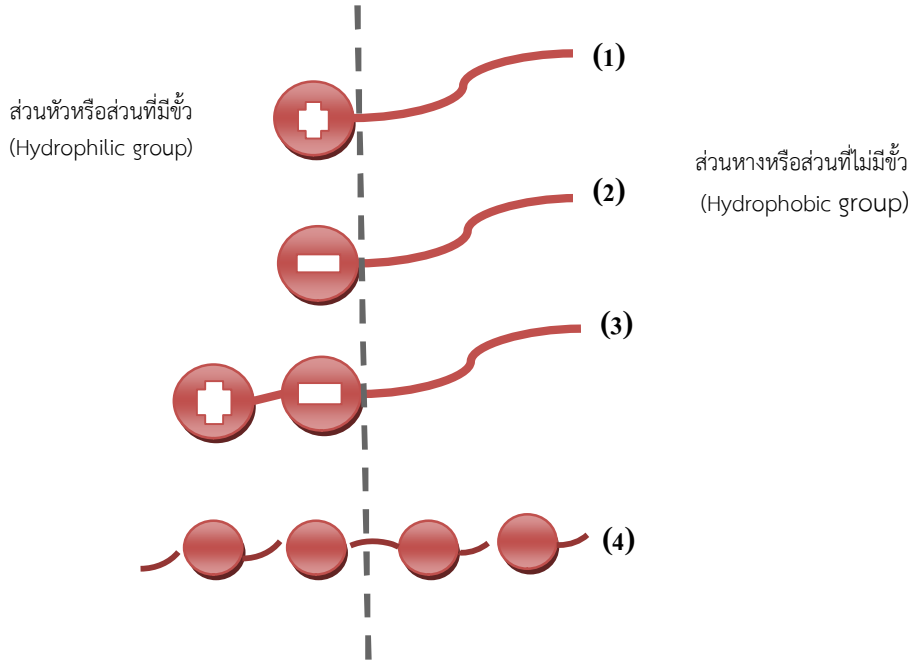
- หมู่คาร์บอกซิเลต : $R_1\text{-}COO^{-}\ Na^{+}$
- หมู่ซัลเฟต : $R_2\text{-}SO_3^{-}\ Na^{+}$
- หมู่ซัลโฟเนต : $R_3\text{-}SO_3^{-}\ Na^{+}$
- หมู่ฟอสเฟต : $R_4\text{–}PO_4^{2-}2Na^{+}$

สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบนี้มีสมบัติในการกำจัดคราบสิ่งสกปรกดี เกิดฟองมาก และละลายน้ำดีจึงนิยมนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่างๆ เช่น น้ำยาล้างจาน ผงซักฟอก แชมพู และครีมอาบน้ำ เป็นต้น

2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactants) คือ สารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุเป็นบวกในส่วนที่มีขั้ว ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปแบบของเกลือเอมีนและทำงานได้ดีในภาวะที่เป็นด่าง (pH~11) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกไม่มีสมบัติในการทำความสะอาด ไม่มีฟอง แต่สามารถเกาะเส้นผมหรือพื้นผิวได้ดี อุตสาหกรรมสิ่งทอจึงนิยมใช้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกมาใช้งานเป็นสารปรับผ้านุ่มและสารเพิ่มความลื่นให้ผ้า ข้อเสียของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก คือ ย่อยสลายยากและมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

3. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกและประจุลบ (Amphoteric surfactant) คือ สารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุบวกหรือประจุลบขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย กล่าวคือ ถ้าสารละลายมีภาวะเป็นด่าง (pH>7) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะแสดงประจุเป็นลบ แต่ในสารละลายที่มีภาวะเป็นกรด (pH<7) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะแสดงประจุเป็นบวก สมบัติเด่นของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้ คือ สามารถใช้งานในน้ำกระด้างได้ ไม่ก่อให้เกิดการแพ้หรือระคายเคืองและมีสมบัติการป้องกันปัญหาไฟฟ้าสถิตดี แต่ไม่คงทนต่อการซักและมีราคาแพง

4. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่พบในกลุ่มโครงสร้างของสารพอลิเอทิลีนออกไซด์ $[\ (-CH_2-CH_2O-)_n]_m$ สารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้โมเลกุลจะมีหมู่อีเทอร์ (-O-) ซึ่งแสดงส่วนที่มีขั้ว (สภาพความเป็นประจุลบ) และพอลิเอทีลีน $(-CH_2-CH_2-)_n$ ซึ่งแสดงส่วนที่ไม่มีขั้ว เมื่อละลายน้ำจะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) ทำให้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสมบัติการละลายน้ำจะลดลง สารละลายของสารลดแรงตึงผิวที่อุณหภูมิสูงจึงมีลักษณะขุ่นและตกตะกอนเรียกอุณหภูมิของการตกตะกอนนั้นว่า จุดขุ่น (Cloud Point) ดังนั้นการใช้งานของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุจึงไม่ควรเกินอุณหภูมิของจุดขุ่น



ภาพที่ 6 ลักษณะโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว
(1) ชนิดประจุบวก (2) ชนิดประลบ (3) ชนิดที่มีประจุบวกและประจุลบ และ (4) ชนิดไม่มีประจุ

ซาโปนิน (Saponins)

ซาโปนินเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ (Glycoside compounds) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่ตามส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบชา รากของต้นชะเอมเทศและต้นกุลสตรี (Soapwort) ซึ่งเป็นพืชในสกุล *Saponaria* ผลประคำดีควายและเมล็ดถั่วต่างๆ ตารางที่ 1 แสดงปริมาณซาโปนินที่พบในพืชแต่ละชนิด ซาโปนินเป็นสารธรรมชาติที่มีสมบัติในการเกิดฟองง่าย โดยมีรากศัพท์มาจากคำว่า soap หรือ sapo ที่หมายถึง สบู่ มีการนำมาใช้เป็นสมุนไพรและเป็นส่วนประกอบในการผลิตยาแผนโบราณบางชนิด นอกจากนี้ยังสามารถพบซาโปนินได้ในสัตว์ทะเลบางจำพวก อาทิ ปลิงทะเลหรือแตงกวาทะเล และปลาดาวทะเล เป็นต้น

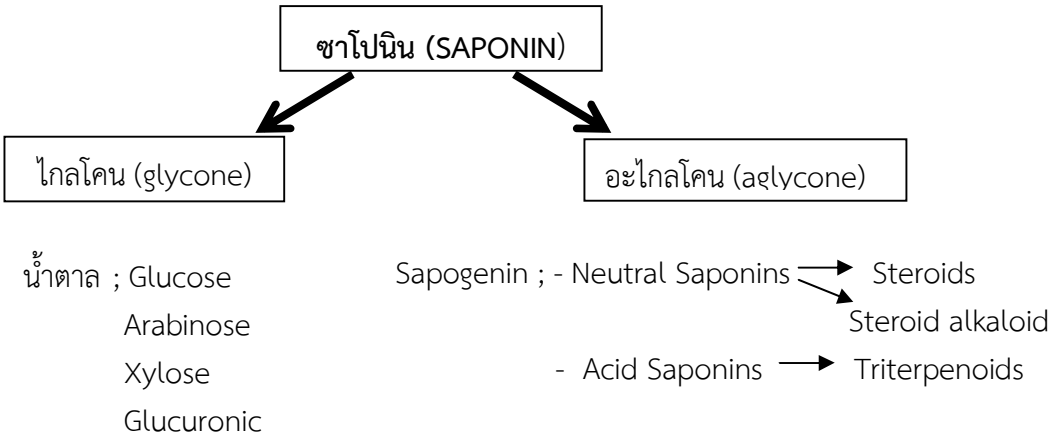
โครงสร้างของซาโปนิน

ซาโปนินเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ที่ประกอบด้วยส่วนของไกลโคน (Glycone) เชื่อมต่ออยู่กับส่วนของอะไกลโคน (Aglycone) ดังภาพที่ 7 ไกลโคน (Glycone) คือ การเชื่อมต่อกันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส (D-glucose), น้ำตาลกาแลกโทส (D-galactose), น้ำตาลไซโลส (D-xylose), น้ำตาลอะราบิโนส (L-arabinose) และน้ำตาลฟรุกโตส (D-fructose)

ตารางที่ 1 ปริมาณซาโปนินที่พบในพืชแต่ละชนิด

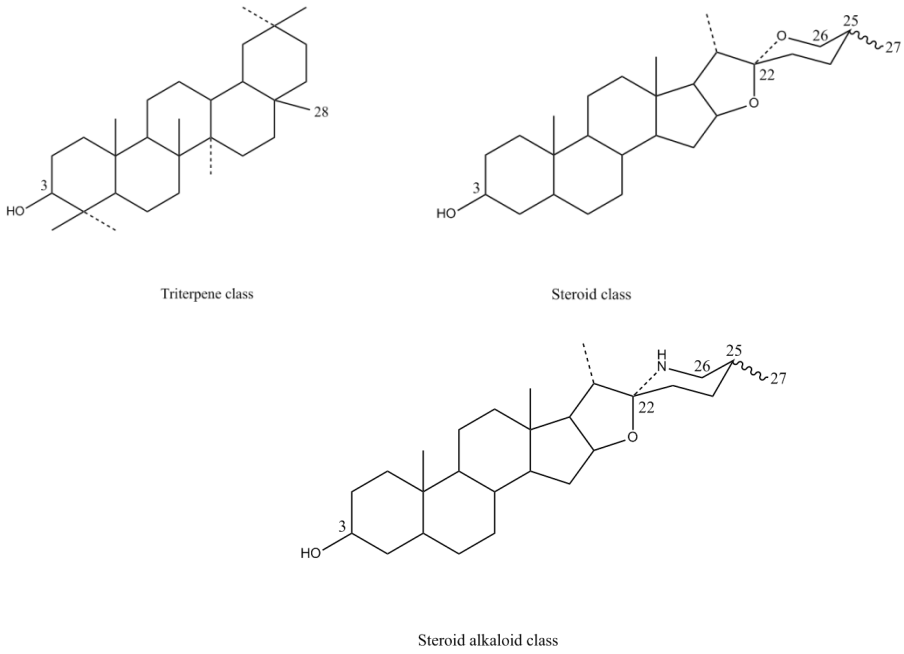
แหล่งที่มา	ปริมาณซาโปนิน (%)
ผนังผลประคำดีควาย*	30.62
รากชะเอมเทศ	22.2 - 32.2
แมคโนเลีย (Yucca)	10
เปลือกของต้นสบู่ (Quillaja bark)	9 – 10
เกาลัด (Horse chestnut)	3 - 6
ใบ sugar beet	0.14 – 2.3
โสมอเมริกา (*Pinax quinquefololium* L.)	
ใบอ่อน	1.42 – 2.64
ใบแก่	4.14 – 5.58
ราก (4 ปี)	2.44 – 3.88
ถั่วหัวช้าง	0.23
ข้าวโอ๊ต	0.1-0.13

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์แลเทคโนโลยีประมวลผล (2553) , Sarin and Beri. (1939)*



ภาพที่ 7 ส่วนประกอบของซาโปนิน

ที่มา: กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมวลผล (2553)



ภาพที่ 8 โครงสร้างของอะไกลโคน

ที่มา : Hostettmanin and Maraton. (1995)

อะไกลโคน (Aglycone) หรือ จินิน (Ginin) หรือ ซาโปจินิน (Sapogenin) คือส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาลในโมเลกุลของซาโปนิน อะไกลโคนที่ประกอบอยู่ในซาโปนิน จะมี 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- ไตรเทอร์ปีนส์ไกลโคไซด์ (Triterpene glycosides) หรือไตรเทอร์ปีส์นอยด์ซาโปนิน กลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะพบในพืชใบเลี้ยงคู่
- สเตียรอยส์ไกลโคไซด์ (Steroid glycosides)
- สเตียรอยส์อัลคาลอยด์ไกลโคไซด์ (Steroid alkaloid glycosides)

อะไกลโคนกลุ่มไตรเทอร์ปีนส์ไกลโคไซด์จะพบมากในพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น พืชตระกูลถั่ว ต้นสบู่ (*Quillaja saponaria*) ผลประคำดีควาย (*Sapindus rarak*) และรากชะเอมเทศ (*Glycyrrhiza* spp.) ในขณะที่อะไกลโคนกลุ่มสเตียรอยส์ไกลโคไซด์จะพบมากในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ต้นแมคโนเลีย (*Yucca saponin*) เป็นต้น นอกจากนี้ในพืชชนิดเดียวกันอาจประกอบด้วยซาโปนินหลายชนิดผสมกัน เนื่องจากการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลน้ำตาลเข้ากับส่วนของอะไกลโคนด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic linkage) ด้วยจำนวนของโมเลกุลน้ำตาลที่แตกต่างกันทำให้โครงสร้างซาโปนินมีความหลากหลาย

Monodesmosidic saponins คือซาโปนินที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของน้ำตาล 1 โมเลกุล เข้ากับส่วนของอะไกลโคนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (C-3) (ภาพที่ 8) ด้วยพันธะอีเทอร์ ส่วน Bidesmosidic saponins คือ ซาโปนินที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของน้ำตาล 2 โมเลกุลเข้ากับส่วนของอะไกลโคน 2 ตำแหน่ง ด้วยพันธะอีเทอร์ ที่คาร์บอนตำแหน่ง 3 (C-3) และตำแหน่งที่ 28 (C-28) หรือ ตำแหน่งที่ 26 (C-26) และ Tridesmosidic saponins คือ ซาโปนินที่เชื่อมต่อกันของน้ำตาล 3 โมเลกุลซึ่งแทบจะไม่ค่อยเจอซาโปนินชนิดนี้ ซาโปนินที่พบส่วนใหญ่ (กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมวลผล, 2553) จะเป็นโมเลกุลสายสั้นซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อกันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจำนวน 2-5 โมเลกุล

สมบัติของซาโปนิน

ซาโปนินมีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุตามธรรมชาติ เนื่องจากส่วนไกลโคนในโมเลกุลซาโปนินสามารถละลายน้ำได้เพราะมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาล และส่วนอะไกลโคนในโมเลกุลซาโปนินละลายได้ในน้ำมัน ซาโปนินจึงสามารถสร้างไมเซลล์ (Micelle) ได้ ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดซาโปนินจากวัสดุธรรมชาติ คือ น้ำ แอลกอฮอล์และน้ำผสมแอลกอฮอล์ สมบัติของซาโปนินขึ้นอยู่กับชนิดของซาโปนินในพืช ความสามารถในการสร้างไมเซลล์ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่างและสภาพของสารละลาย ตารางที่ 2 แสดงสมบัติซาโปนินบางชนิด

สมบัติการละลายของซาโปนินจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของซาโปนิน กระบวนการสกัด การเก็บรักษาและการนำไปใช้งาน เช่น Monodesmosidic saponins ที่บริสุทธิ์จะละลายน้ำได้น้อยมาก และซาโปนินบางชนิดสามารถเกิดการปฏิกิริยาไฮโดรลิซีส (Hydrolysis) เมื่อถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดด่าง เอนไซม์หรือความร้อน ทำให้โมเลกุลส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนอะไกลโคนเกิดการสลายตัวสมบัติการละลายของซาโปนินจึงเปลี่ยนไป โดยจะละลายน้ำได้น้อยลงแต่จะละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วหรือน้ำมันได้มากขึ้น

ตารางที่ 2 สมบัติทางฟิสิกส์ของซาโปนิน

ชนิดซาโปนิน	สูตรทางเคมี	การละลาย	แหล่งที่มา	น้ำหนักโมเลกุล	จุดหลอมเหลว (°C)
Glycyrrhiizic acid	$C_{42}H_{62}O_{16}$	ละลายได้ดีในน้ำร้อน แอลกอฮอล์ ไม่ละลายในอีเทอร์	รากชะเอมเทศ (Licorice)	823	-
Escin (α – escin)	-	ละลายได้ดีมากในน้ำ และเมทานอล ละลายได้เล็กน้อยในอะซิโตน ไม่ละลายในอีเทอร์ และไฮโดรคาร์บอน	เกาลัด (Horse chestnut)	-	225-227
Escin (β – escin)	-	ละลายได้ดีในเมทานอล ละลายได้เล็กน้อยในอะซิโตน ละลายได้น้อยมากในน้ำ ไม่ละลายในอีเทอร์และไฮโดรคาร์บอน			
Gypsophia saponin	$C_{35}H_{61}O_{24}$	ละลายในน้ำ (0.5147 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 25° C)	Gypsophia	863	221-227

ซาโปนินมีสมบัติทางชีวภาพที่ดี คือ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ลดการดูดซึมของไขมัน ต้านจุลินทรีย์และมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดเย็น เช่น ปลา หอย กบ ซาโปนินทำให้เกิดอัมพาต (Paralysis) ที่เหงือกจึงนำมาใช้เป็นยาเบื่อสัตว์น้ำ เช่น การนำซาโปนินจากผลประคำดีควายมากำจัดหอยเชอรี่ในนาข้าว นอกจากนี้ซาโปนินยังเป็นพิษต่อสัตว์ประเภท หนอน หอยทากและแมลงบางชนิด เช่น มีการนำซาโปนินจากผลประคำดีควายมาทำยากันทากเวลาเดินป่า (Chanda *et al*., 2011) ซาโปนินที่มีใช้ทางการค้าส่วนใหญ่จะเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ มาใช้งานเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ สารทำให้เกิดฟอง และสารซักฟอก ในอาหารคนและสัตว์ เครื่องสำอาง และเภสัชกรรม ซาโปนินที่ใช้ทางการค้า คือ ซาโปนินที่สกัดจากแมคโนเลีย (*Yucca schidigera*) และต้นสบู่ (*Quillaja saponaria*)

การใช้ประโยชน์ของซาโปนิน

- ด้านอาหาร (Food applications)

ซาโปนินเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์และสารทำให้เกิดฟองได้ดีมากจึงมีบทบาทในกระบวนการผลิตอาหาร เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นำซาโปนินที่สกัดจากแมคโนเลีย (*Yucca schidigera*) และต้นสบู่ (*Quillaja saponaria*) เป็นสารเติมแต่งอาหาร (Food additive) โดยใช้เป็นสารเติมฟองในเครื่องดื่ม องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา **(**The United States Food and Drug Administration**;** FDA) กำหนดให้ได้ในปริมาณไม่เกิน 500 มิลลิกรัมแห้งต่อกิโลกรัมของเครื่องดื่ม ซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศนิยมนำมาใช้เป็นสารแต่งกลิ่นและรสชาติในอาหารประเภทปิ้ง ย่าง หมากฝรั่ง และขนมหวาน เป็นต้น

- ด้านเครื่องสำอาง (Cosmetic applications)

ซาโปนินเป็นสารซักฟอกโดยธรรมชาติจึงมีการนำซาโปนินที่สกัดได้จากเกาลัด (Horse chestnut) และโสมอเมริกา (*Pinax quinquefololium* L.) เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทำความสะอาด เช่น สบู่เหลว เจลอาบน้ำ แชมพู โลชั่น น้ำยาบวนปาก ยาสีฟัน และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับเด็กอ่อน

- ด้านเภสัชและสุขภาพ (Pharmaceutical and health applications)

สเตียรอยด์ซาโปนินจากพืชเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตฮอร์โมนและยาประเภทสเตียรอยด์ เช่น ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ฮอร์โมนเพศหญิงหรือโปรเจสเตอร์โรนฮอร์โมน (Progesterone hormone) และผลิตยาคุมกำเนิด นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้ซาโปนินจากพืชหลายชนิดมาผลิตเป็นวัคซีนต้านโรคมะเร็ง และยาสำหรับโรคเอดส์ ลิขสิทธิ์ยาที่มีการนำซาโปนินที่สกัดจากพืชมาใช้ อาทิ ยารักษาภาวะการอักเสบและการติดเชื้อ ยารักษาโรคสุราเรื้อรัง ยารักษาอาการวัยทอง และยารักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือดเลี้ยงสมองและหัวใจ

ประคำดีควาย

ประคำดีควายมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Sapindus rarak A. DC.* จัดอยู่วงศ์ SAPINDACEAE มีชื่อสามัญ Soap Nut Tree, Soapberry Tree พบได้ในภูมิภาคอินโดจีน เช่น ไทย พม่า ไต้หวัน มาเลเซีย อินโดนีเซีย ประคำดีควายเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง มักขึ้นอยู่ตามป่าเบญจพรรณชื้นหรือป่าดงดิบที่มีลักษณะดินร่วนปนทรายที่ระดับความสูงจากน้ำทะเล 150-1,600 เมตร ลำต้นมีความสูงประมาณ 10-30 เมตร เปลือกลำต้นมีรอยแตกเป็นร่องลึกตามยาวลำต้น สีน้ำตาลอ่อน ผิวเปลือกค่อนข้างเรียบ ใบออกเป็นช่อ ลักษณะของใบคล้ายขนนก ปลายมน มีขนาด 5-7 เซนติเมตร ดอกออกเป็นช่อขนาดใหญ่ที่ปลายกิ่ง เป็นดอกเล็กๆ สีขาว หรือสีเหลืองอ่อนๆ ผลประคำดีควายมีลักษณะเป็นผลทรงกลม ขนาด 1.5-2 เซนติเมตร เมื่อผลแก่จะมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ เมล็ดมีรูปทรงกลมสีดำ ผิวไม่เรียบแต่เงามัน ประคำดีควายจะออกผลช่วงเดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายน

ผลประคำดีควายแก่มีสรรพคุณทางยา สามารถรักษาโรคผิวหนัง และป้องกันผมร่วง ช่วยกำจัดตัวเหาได้ สารประกอบในผลประคำดีควายที่พบ ได้แก่ β-Sitosterol, Emarginatoside, Quercetin, Quercetin-3-a-A-arabofuranoside, O-Methyl-Saponin, Sapinduse-Saponin

ภาพที่ 9 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของประคำดีควาย

ที่มา : สำนักงานโครงการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชอันเนื่องจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพฯ : www.rspg.or.th/plants_data/herbs

รากชะเอมเทศ

ชะเอมเทศ หรือกำเช่า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Glycyrrhiza glabra L.* จัดอยู่ในวงศ์ FABACEAE มีชื่อสามัญ licorice, sweet root ชะเอมเทศเป็นไม้พุ่ม สูงประมาณ 1-2 เมตร ใบมีลักษณะคล้ายรูปขนนก สีเขียวอมเหลือง ดอกออกเป็นช่อ กลีบดอกมีสีม่วงอ่อน ผลออกเป็นฝัก นิยมปลูกมากในประเทศ จีน อินเดีย อิหร่าน รัสเซีย และสเปน รากชะเอมเทศสามารถเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูใบไม้ร่วง องค์ประกอบหลักในรากชะเอมเทศคือ Glycyrrhizin มีปริมาณร้อยละ 5-24 โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นยังประกอบไปด้วย Glycyrrhetinic acid, Flavonoids, asparagines, Iso-favonoids, Chalcones ซึ่ง Glycyrrhizin เป็นซาโปนินในกลุ่มไตรเตอร์ปีส์นอยด์ (Fenwick *et al.*, 1990)

รากชะเอมเทศมีสรรพคุณทางยา ตำรายาของไทยได้บรรยายสรรพคุณไว้ว่า รากชะเอมเทศมีรสหวานชุ่มคอ แก้ไอ ขับเสมหะ ส่วนตำรายาของจีนนิยมใช้รากชะเอมเทศสามารถขับพิษ ระบายความร้อน ป้องกันและรักษาแผลในกระเพาะอาหาร ช่วยย่อยอาหาร และนอกจากนี้ยังนำรากชะเอมเทศมาใช้แต่งกลิ่นเพิ่มรสชาติในอาหารและยาให้มีรสหวานเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของรากชะเอมเทศ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
Glycyrrhizin	5-24
น้ำตาล	3-16
แป้ง	30
ขี้เถ้า	6

ที่มา: Duke. (1985)

ภาพที่ 10 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชะเอมเทศ

ไหม (silk)

เส้นไหมเป็นเส้นใยโปรตีน ที่ประกอบด้วย ไฟโบรอิน (Fibroin) หรือส่วนที่เป็นเส้นใย และส่วนเคลือบเส้นไหม 2 เส้นให้เชื่อมติดกันในขณะฉีดเส้นใยออกจากตัวไหม เรียกว่า เซริซิน (Sericin) หรือกาวไหม ตามภาพที่ 11 นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น น้ำ ไขมัน น้ำมัน แร่ธาตุ และสีตามธรรมชาติ ดังตารางที่ 4 กรดอะมิโนหลักที่พบทั้งในไฟโบรอินและเซริซิน คือ ไกลซีน (Glycine) เซรีน (Serine) และอะลานีน (Alanine) ดังตารางที่ 5 แต่มีอัตราส่วนและการจัดลำดับเพื่อเรียงตัวเป็นโปรตีนที่ต่างกันจึงทำให้สมบัติของไฟโบอินและเซริซินต่างกัน ไฟโบอินของไหมหม่อน (*B. mori*) ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนชนิดไกลซีน และอะลานีนเป็นส่วนประกอบหลัก ส่วนไหมป่าอีรี่ (*P.C. ricini)* จะมีปริมาณกรดอะมิโนชนิดอะลานีนสูงกว่าไหมหม่อน

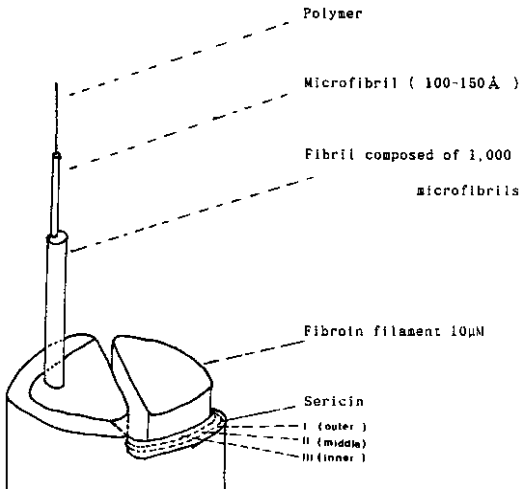
กระบวนการสาวไหม

กระบวนการสาวไหมด้วยมือ สามารถแบ่งเกรดของเส้นไหมได้ 3 ชนิด

1. ไหมหนึ่ง หรือเส้นไหมน้อย คือเส้นไหมที่ได้จากการสาวไหมชั้นในของรังไหม เส้นไหมที่ได้จะมีลักษณะเส้นเล็ก ละเอียด นุ่ม และเรียบ

2. ไหมสอง หรือเส้นไหมสาวเลย คือเส้นไหมที่ได้จากการสาวไหมจากรังไหมชั้นนอกร่วมกับรังไหมชั้นใน ทำให้เส้นไหมที่ได้มีลักษณะเส้นใหญ่และหยาบกว่าไหมหนึ่ง

3. เส้นไหมสาม หรือเส้นไหมลืบ คือเส้นไหมที่ได้จากการสาวเส้นไหมจากรังไหมชั้นนอก เส้นไหมที่ได้จะมีลักษณะใหญ่กว่าและหยาบกว่าไหมสอง



ภาพที่ 11 โครงสร้างเส้นไหม

ที่มา: Yong-woo. (1999)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของเส้นใยไหมดิบ

องค์ประกอบ	ร้อยละ(น้ำหนักแห้ง)
ไฟโบรอิน	70-80
เซริซิน	20-30
ไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง	0.4-0.8
อื่นๆ	1.2-1.6

ที่มา: Cao *et al.* (2013)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบของกรดอะมิโนที่พบในไฟโบรอินและเซริซิน

กรดอะมิโน	ไฟโบรอิน	เซริซิน
Glycine	42.8	8.8
Alanine	32.4	4.0
Leucine	0.7	0.9
Isoleucine	0.9	0.6
Valine	3.0	3.1
Arginine	0.9	4.2
Histidine	0.3	1.4
Lysine	0.5	5.5
Aspartic acid	1.9	16.8
Glutamic acid	1.7	10.1
Serine	14.7	30.1
Threonine	1.2	8.5
Phenylalanine	1.2	0.6
Tyrosine	11.8	4.9
Proline	0.6	0.5
Methionine	0.2	0.1
Tryptophan	0.5	0.5
Cystine	0.1	0.3

ที่มา : Yong-woo. (1999)

เนื่องจากเส้นไหมถูกเคลือบด้วยเซริซิน ไขมัน และน้ำมันทำให้เส้นไหมแข็ง กระด้าง และไม่ดูดซึมน้ำจึงจำเป็นต้องลอกกาวไหมก่อนนำเส้นใยไหมไปทำการย้อมหรือนำไปใช้งาน ไฟโบรอินเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ สามารถละลายได้ในด่างแก่ ส่วนเซริซินละลายได้ในน้ำร้อนและด่างอ่อน การลอกกาวไหมที่นิยม คือการใช้ด่างอ่อนหรือโซเดียมคาร์บอเนตร่วมกับสบู่ เพื่อทำให้พันธะเพปไทด์ในโมเลกุลของเซริซินย่อยสลายกลายเป็นสารโมเลกุลเล็กๆ ที่ละลายน้ำ

วิธีการลอกกาวไหม (Degumming)

- ลอกกาวไหมด้วยการต้มน้ำร้อน (Boiling-off)

การลอกกาวไหมด้วยวิธีนี้จะทำการลอกกาวไหมด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำซ้ำ 3-4 รอบต่อการลอกกาวไหม 1 ครั้ง วิธีนี้ไม่ทำให้เส้นไหมเกิดความเสียหายแต่มีต้นทุนสูงและใช้เวลานานจึงไม่นิยม

- การลอกกาวด้วยการต้มน้ำสบู่ (Soap degumming)

การลอกกาวด้วยน้ำสบู่เป็นวิธีการลอกกาวแบบดั้งเดิม วิธีการนี้ใช้สารละลายสบู่ร่วมกับด่างขี้เถ้าที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5-2 ชั่วโมง โดยใช้สบู่ร้อยละ 20-30 ของน้ำหนักไหม ด่างขี้เถ้าจะย่อยสลายโมเลกุลโปรตีนของเซริซินให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำ เส้นไหมที่ลอกกาวด้วยวิธีการนี้จะมีความเงามันและนุ่ม จึงเป็นวิธีการลอกกาวที่ยังคงได้รับความนิยมในชุมชน

- การลอกกาวในสารละลายด่าง (Alkali degumming)

การลอกกาวด้วยวิธีการนี้คล้ายกับการลอกกาวด้วยการต้มน้ำสบู่ คือ วิธีการนี้จะใช้โซเดียมคาร์บอเนตแทนด่างขี้เถ้า และใช้สารลดแรงตึงผิวแทนสบู่ ทำการลอกกาวที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-60 นาที โดยควบคุม pH ของสารละลายที่ใช้ในการลอกกาวให้อยู่ระหว่าง 9.5-10.5 เพื่อไม่ให้โซเดียมคาร์บอเนตเข้าไปทำลายเส้นไหม

- การลอกกาวไหมด้วยสารละลายกรด (Acidic degumming)

กรดที่ใช้ในการลอกกาว คือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ทำการลอกกาวร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

- การลอกกาวไหมด้วยเอนไซม์ (Enzymatic degumming)

การลอกกาวไหมด้วยเอนไซม์เป็นวิธีการลอกกาวที่เริ่มได้รับความสนใจทดแทนการลอกกาวด้วยสารเคมีเนื่องจากความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เอนไซม์ที่ใช้ในการลอกกาวคือ เอนไซม์โปรติเอส (Protease) ประสิทธิภาพในการลอกกาวด้วยเอนไซม์ขึ้นอยู่กับ pH และอุณหภูมิเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วอย่างสมบูรณ์แล้วจะมีความเงามันและแข็งแรง

ฝ้าย

ฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้มาจากเมล็ดของพืชตระกูล *Mavaceae* สายพันธุ์ *Gossypium* ฝ้ายเป็นเส้นใยที่นิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน สามารถปลูกได้ในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อินเดีย ปากีสถาน แอฟริกา จีน เป็นต้น คุณภาพของเส้นใยฝ้ายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูก เส้นใยฝ้ายประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักถึงประมาณร้อยละ 94 โดยน้ำหนัก นอกเหนือจากนั้น คือ โปรตีน ไขมัน น้ำมันขี้ผึ้ง เพกติน แร่ธาตุต่างๆ สีตามธรรมชาติ และอื่นๆ ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 องค์ประกอบเส้นใยฝ้าย

องค์ประกอบ	ร้อยละ(น้ำหนักแห้ง)
เซลลูโลส (Cellulose)	94.0
โปรตีน (Protein)	1.3
เพกติน (Pectic)	0.9
ขี้ผึ้ง (Wax)	1.2
เถ้า (Ash)	0.6
อื่นๆ	2.0

ที่มา: Peters. (1967)

การกำจัดสิ่งสกปรก (Scouring Processes)

การกำจัดสิ่งสกปรกเป็นขั้นตอนของการเตรียมสิ่งทอ (Preparation for textile coloration and finishing) ที่จำเป็นสำหรับการเตรียมวัสดุสิ่งทอทุกประเภท เนื่องจากวัสดุสิ่งทอทุกชนิดมักมีสิ่งสกปรกเจือปนมาด้วย ทั้งสิ่งสกปรกตามธรรมชาติ หรือสิ่งสกปรกจากขั้นตอนการผลิต โดยเฉพาะเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกตามธรรมชาติปริมาณมากกว่าสิ่งสกปรกในเส้นใยสังเคราะห์ สิ่งสกปรกเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ จึงจำเป็นต้องกำจัดออกเพื่อให้เส้นใยมีการดูดซึมน้ำ สีย้อมและสารเคมีได้สม่ำเสมอ

สิ่งสกปรกจากธรรมชาติบนเส้นใยฝ้ายพบประมาณร้อยละ 6 ของน้ำหนักเส้นใย เป็นสิ่งสกปรกประเภท ไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง โปรตีนและเศษเมล็ดฝ้าย ปริมาณสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำ (น้ำมัน ไขมันและขี้ผึ้ง) ร้อยละ 20 ของปริมาณสิ่งสกปรกทั้งหมด จำเป็นต้องกำจัดออกก่อนนำผ้าฝ้ายไปย้อมสี เพื่อให้ผ้าฝ้ายสามารถดูดซึมน้ำและสีย้อมได้อย่างสม่ำเสมอ วิธีที่นิยมใช้ทำความสะอาดผ้าฝ้ายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ คือ การต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักผ้าร่วมกับสารช่วยเปียก ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สิ่งสกปรกประเภทน้ำมันและไขมันจะถูกกำจัดออกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาสะพอนนิฟิเคชัน (Saponification) ให้กลายเป็นกลีเซอรีนและสบู่ ส่วนขี้ผึ้งจะถูกกำจัดออกด้วยสารช่วยเปียกจากปฏิกิริยาอิมัลซิฟิเคชัน (Emulsification) ให้กระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ อยู่ในสารละลาย

เส้นใยพอลิเอสเตอร์ (polyester)

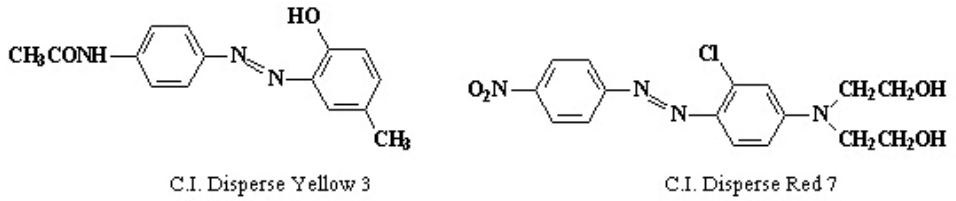
เส้นใยพอลิเอสเตอร์ เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่นิยมใช้งานมากที่สุดในกลุ่มของเส้นใยสังเคราะห์ ชื่อทางการค้าขึ้นอยู่กับประเทศและบริษัทที่ผลิต เช่น Terylene คือเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา Tetoron คือเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ผลิตในประเทศอังกฤษและ Toray คือเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ผลิตในประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น วัตถุดิบที่ผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์ คือ กรดเทเรฟทลิก (Terephthalic acid) และ เอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) เส้นใยพอลิเอสเตอร์เป็นเส้นใยที่ทนต่อสารเคมีจำพวกกรดและผงซักฟอกทั่วไป สมบัติที่ดีของผ้าพอลิเอสเตอร์ คือ ความแข็งแรงและไม่ยับง่าย

สีดิสเพิร์ส

สีดิสเพิร์สเป็นสีชนิดไม่มีประจุ โมเลกุลขนาดเล็ก ละลายน้ำได้เล็กน้อยที่อุณหภูมิสูง และไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง ในการย้อมสีดิสเพิร์สจึงจำเป็นต้องเติมสารช่วยกระจายตัว (Dispersing Agent) เพื่อให้ผงสีแขวนลอยในน้ำย้อม และช่วยให้การติดสีย้อมบนผ้าเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ สีดิสเพิร์สเป็นสีย้อมที่นิยมใช้ย้อมเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยพอลิเอสเตอร์หรือเส้นใยไนลอน ชนิดของสีดิสเพิร์สแบ่งตามโครโมฟอร์ (Chromphore) ได้ 2 กลุ่ม คือ

1. มอนออะโซ (Monoazo) สีดิสเพิร์สที่อยู่ในกลุ่มนี้พบได้ร้อยละ 50 ของสีดิสเพิร์สที่มีการใช้งานทั้งหมด (Koh., 2011) การสังเคราะห์ทำได้ง่ายด้วยปฏิกิริยาไดอะโซไทเซชัน

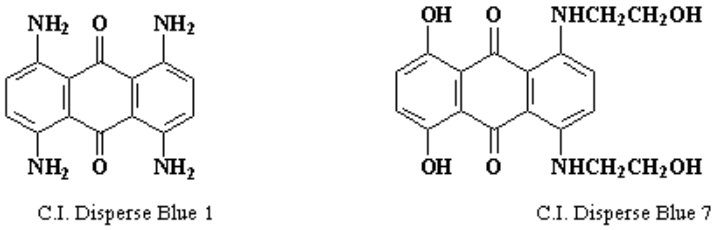
(Diazotization) และปฏิกิริยาคลัปปลิ้ง (Coupling) มีเฉดสีที่หลากหลาย ตั้งแต่เหลือง ส้ม น้ำตาล ม่วง แดง ตลอดถึงสีฟ้า ความคงทนของสีต่อการซักปานกลางถึงดี



ภาพที่ 12 ตัวอย่างโครงสร้างสีดิสเพิร์สชนิดโมโนอะโซ

ที่มา: Koh. (2011)

2. แอนทราควิโนน (Anthraquinone) สีดิสเพิร์สกลุ่มนี้จะพบอยู่ร้อยละ 25 ของสีดิสเพิร์สที่มีการใช้งานทั้งหมด (Koh., 2011) เฉดสีที่ย้อมได้จะค่อนข้างสดและมีความเสถียรต่อแสง เช่น สีม่วง ฟ้า แดงและชมพู แต่ความเข้มของสีส่วนใหญ่จะต่ำกว่าสีมอนออะโซและมีค่าความคงทนต่อการซักต่ำ



ภาพที่ 13 โครงสร้างสีดิสเพิร์สชนิดแอนทราควิโนน

ที่มา: Koh. (2011)

การย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์

การย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์แบบจุ่มแช่ (Exhaust dyeing) ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมี 2 วิธี คือ

1. การย้อมที่จุดเดือดของน้ำโดยใช้สารแคริเออร์ (Dyeing at the boil using carrier) วิธีนี้ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้สารแคริเออร์ (Carrier) เป็นตัวช่วยให้สีดิสเพิร์สสามารถย้อมติดบนเส้นใยพอลิเอสเตอร์ได้ สารแคริเออร์จะเข้าไปทำให้โครงสร้างพอลิเอสเตอร์หลวมและพองขึ้นสีจึงสามารถเข้าไปในเส้นใยได้ สารแคริเออร์ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยวงอะโรมาติก ผ้าภายหลังการย้อมแล้วต้องกำจัดสารแคริเออร์ออกด้วยการอบที่อุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียส ซึ่งหากเหลือสารแคริเออร์ตกค้างบนผ้าจะส่งผลทำให้ความคงทนของสีดิสเพิร์สต่อแสงต่ำลง

2. การย้อมอุณหภูมิสูง (High temperature dyeing) เป็นวิธีที่อุตสาหกรรมนิยมใช้ในการย้อมเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสภายใต้ความดันโดยใช้สารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) เป็นสารช่วยย้อม (Burkinshaw., 1995) วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สารแคริเออร์จึงประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย สีดิสเพิร์สที่ใช้ย้อมด้วยวิธีการนี้ได้ต้องทนอุณหภูมิสูง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mamata *et al*. (2012) ทำการศึกษาการใช้ซาโปนินจากผนังผลประคำดีควาย (*Sapindus mukurossi*) มาลอกกาวไหมมูกก้าซึ่งเป็นไหมป่า โดยสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควาย ด้วยการแช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 1 คืน จากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (ค่า CMC) ของซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย คือ 0.017 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร วัดค่าแรงตึงผิวได้ 38.6 มิลลินิวตันต่อเมตร เมื่อทำการลอกกาวไหมมูก้าที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 36 ชั่วโมงด้วยซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควายปริมาณ 0.017 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรจะสามารถลอกกาวไหมมูก้าได้ร้อยละ 18.28 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักไหมเริ่มต้น

Vivechana Dixit *et al*. (2010) ทำการสกัดซาโปนินจากดอกของพืช Quillaja saponaria ซึ่งเป็นต้นไม้ท้องถิ่นของประเทศชิลีมาใช้เป็นสารตกแต่งต้านเชื้อราบนเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทด้วยเทคนิคอิเลคโตรสปินนิ่ง (Electrospinning) จากการวิจัยพบว่าเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตท ที่ผสมซาโปนินที่ได้จากดอกของพืช Quillaja saponaria สามารถต้านเชื้อราประเภท *P.roguefortii* และ *A.ochraceus* ซึ่งเป็นเชื้อราที่พบมากในครัวเรือน ซาโปนินที่ใช้ไม่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตท

Yu-Fen *et al*. (2010) ทำการสกัดซาโปนินจากกากเมล็ดชาน้ำมัน (Camellia oleifera) โดยศึกษาความสามารถในการเกิดฟองและการทำความสะอาด โดยนำกากเมล็ดชาที่สกัดน้ำมันออกแล้วมาสกัดซาโปนิน จากการวิจัยพบว่าซาโปนินจากกากเมล็ดชาน้ำมัน (Camellia oleifera) สามารถใช้เป็นสารทำความสะอาดได้ เกิดฟองปานกลาง และสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ซักล้างและเครื่องสำอางได้

Kurniawan *et al*. (2010) ทำการศึกษาการนำซาโปนิน (Rarasaponin) ที่สกัดจากผลประคำดีควายด้วยน้ำมาดัดแปรโมเลกุลของซาโปนินบนโครงสร้าง bentonite clay ด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 90 นาที เรียกสารที่ผ่านการดัดแปรว่า organo-bentonite จากนั้นจึงนำ organo-bentonite มาใช้ดูดซับสีเมทิลีนบูล (Methylene blue) ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สาร organo-bentonite สามารถดูดซับสีเมทิลีนบูลได้ 256 มิลลิกรัม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่สูงกว่าการใช้ bentonite clay ที่ไม่ผ่านการดัดแปร (ดูดซับสีเมทิลีนบูล 194 มิลลิลิกรัม)

Yang and David. (2013) ได้ทำการศึกษาซาโปนินชนิด Q-Naturale® ที่สกัดจากเปลือกของต้นไม้ Molina เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอิมัลชันในอาหารด้วยการใช้ Q-Naturale® เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ โดยทดลองนำซาโปนินชนิด Q-Naturale® ไปเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวของวิตามินอีในน้ำเพราะวิตามินอีไม่สามารถละลายน้ำได้ จากการทดลองพบว่าซาโปนินชนิด Q-Naturale® ที่สกัดจากเปลือกของต้นไม้ Molina สามารถใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายตัววิตามินอีในน้ำได้

Yang *et al.* (2013) ทำการศึกษาสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายเออร์และสารเพิ่มเสถียรภาพ (stabilizer) ของอาหารและเครื่องดื่มที่เป็นอิมัลชันจากซาโปนินที่สกัดจากเปลือกต้นไม้ Molina คือ Quillaja saponin ซึ่งมีขายทางการค้า (Q-Naturale®) จากผลทดลองพบว่า Q-Naturale® สามารถใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์และสารเพิ่มเสถียรภาพให้กับอาหารได้ โดยมีความเสถียรในการรวมกันของหยดของเหลวอยู่ในช่วง pH 3-8 ภายใต้ภาวะของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 300 มิลลิโมล อุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส และยังสามารถเก็บไว้ได้นานถึง 1 เดือนที่อุณหภูมิ 37 และ 55 องศาเซลเซียส

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

วัสดุและสารเคมี

1. ผลประคำดีควาย

ผลประคำดีควายแก่ มีลักษณะทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร สีดำ จากตลาดปากคลองตลาด กรุงเทพมหานคร

ภาพที่ 14 ผลประคำดีควาย

2. รากชะเอมเทศ

รากชะเอมเทศแห้ง ถูกไสให้มีลักษณะแผ่นบาง ยาวประมาณ 5-7 เซนติเมตรจากตลาดปากคลองตลาด กรุงเทพมหานคร

ภาพที่ 15 รากชะเอมเทศ

3. เส้นด้ายไหม

เส้นด้ายไหมที่ใช้ในงานวิจัย แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เส้นด้ายไหมที่ใช้ในงานวิจัย

ไหม	ลักษณะของเส้นด้ายไหม	สายพันธุ์	แหล่งที่มา	เบอร์ด้าย
ไหมจุล		จุล	บริษัท จุลไหมไทย จำกัด	25D/2
ไหมหนึ่ง		เหลือง ไพโรจน์	กลุ่มชาวบ้าน จังหวัด ชัยภูมิ	23T
ไหมสอง		เหลือง ไพโรจน์	กลุ่มชาวบ้าน จังหวัด ชัยภูมิ	27T

4. ผ้าถัก

- ผ้าฝ้ายดิบถักลายปีเก้ น้ำหนัก 229 กรัมต่อตารางเมตร
- ผ้าพอลิเอสเตอร์ถัก (PET) ลายปีเก้ น้ำหนัก 213 กรัมต่อตารางเมตร

5. สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	บริษัท
- กรดอะซิติก (CH_3COOH)	EMSURE
- คอปเปอร์ซัลเฟต($CuSO_4$)	FISHER SCIENTIFIC
- คลอโรเบนซีน (C_6H_5Cl)	BRENNTAG
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	Carlo Erba
- โซเดียมไดไทโอไนต์ ($Na_2S_2O_4$)	Ajax
- โซเดียมเปอร์บอเรต ($NaBO_3$)	LABCHEM
- โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต ($NaKC_4H_4O_6$)	UNIVAR
- โซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa)	CARLO ERBA
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)	UNIVAR
- โปรตีนมาตรฐาน (Bovine serum albumin)	SIGMA-ALDRICH
- ผงซักฟอกมาตรฐาน (ECE detergent)	JAMES H. HEAL
- ฟอลีนฟีนอล (Folin & Ciocalteu's Phenol Reagent)	LOBA CHEMIE
- สารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) Sera Sperse M-15 lig 03	DYSTAR
- สารช่วยเปียก (Wetting agent); Dypidol 101B®	BRENNTAG
- สี Direct Red 80; Sirius Red F3B®	DYSTAR
- สีดิสเพิร์ส Dianix Navy S-G	DYSTAR
- เอทานอล (C_2H_5OH)	EMSURE

6. เครื่องมือและอุปกรณ์

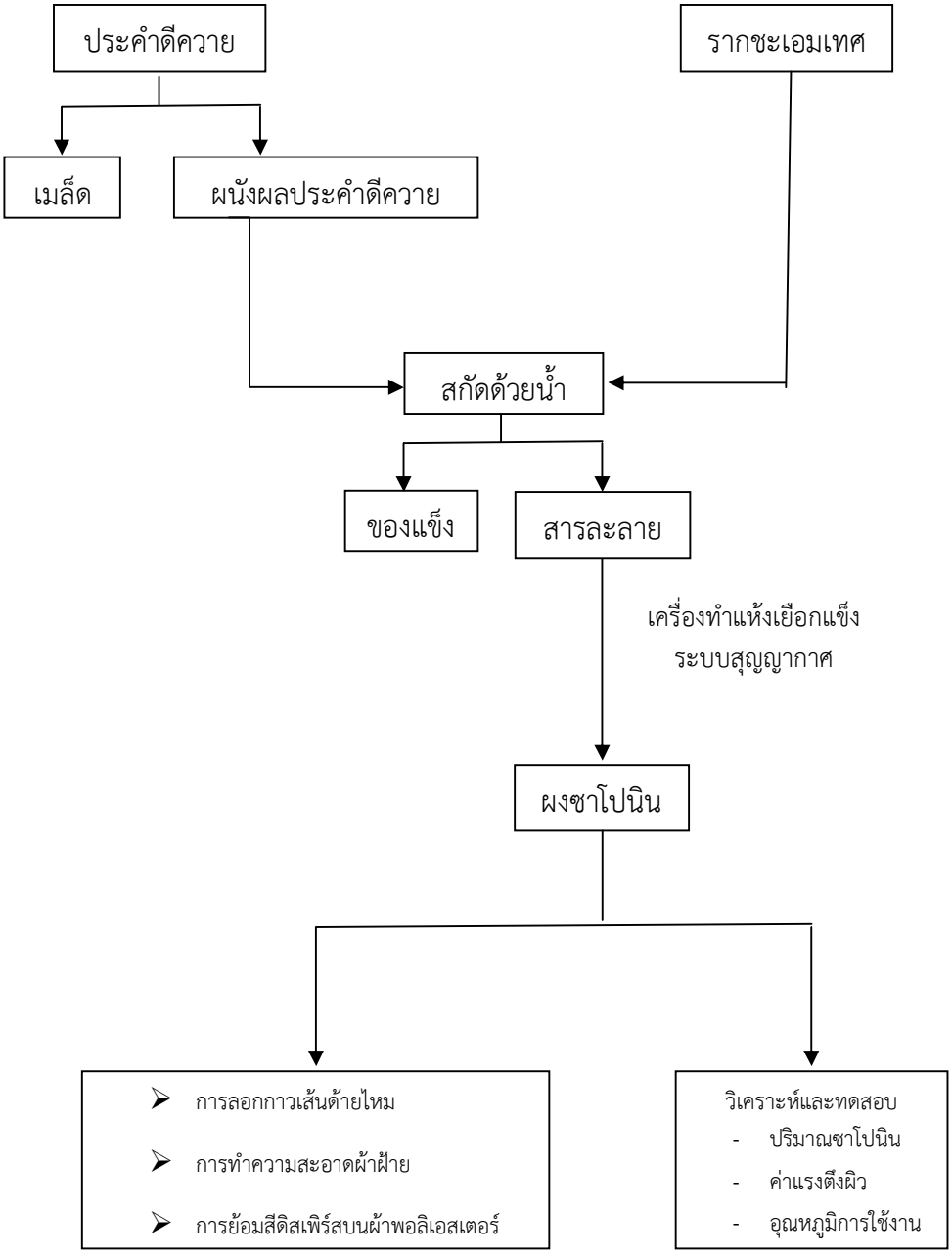
- กระดาษกรอง เบอร์ 42 ยี่ห้อ Whatman
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scaning Electron Microscope: SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6480LV
- เครื่องกวน ยี่ห้อ Daelim Starlet รุ่น DL-2003
- เครื่องเขย่า ยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB 22
- เครื่องชั่งระบบอินฟาเรด (Infared Moisture balance) ยี่ห้อ A&D รุ่น MX-50
- เครื่องทดสอบความแข็งแรงของเส้นด้าย (Instron Universal Machine) ยี่ห้อ Calibration Lab รุ่น T609-105
- เครื่องทำแห้งเยือกแข็งระบบสุญญากาศ ยี่ห้อ Lyophilization Systema รุ่น Lyolab LT3S คณะทันตแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เครื่องปั่นและบดสับยี่ห้อ Moulinex รุ่น AY46
- เครื่องย้อมระบบอินฟาเรด (Infared dyeing Machine) ยี่ห้อ Stralet รุ่น DL 6000
- เครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ยี่ห้อ analytikjena รุ่น Specord 250
- เครื่องวัดค่าแรงตึงผิว (DuNouy RingTensiometer) ยี่ห้อ Kruss
- เครื่องวัดสียี่ห้อ Macbeth spectrophotometer รุ่น Color Eye 7000
- ชุดสกัด (Soxhlet Extraction) และหลอดกระดาษกรองสำหรับการสกัด (Thimbles) ขนาด 250 × 100 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman
- ตู้ไฟมาตรฐาน ยี่ห้อ Rurora
- หลอดทดลอง ขนาด 80มิลลิลิตร ยี่ห้อ PYREX
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ยี่ห้อ menmert รุ่น WNB22
- เดซิเคเตอร์
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น Pioneer

วิธีการ

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการสกัดซาโปนินจากผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศเพื่อใช้ประโยชน์ทางสิ่งทอ โดยศึกษาการใช้งานเป็นสารช่วยเปียก (Wetting agent) ในกระบวนการลอกกาวไหม (Degumming process) และกระบวนการทำความสะอาดผ้าฝ้าย (Scouring process) นอกจากนี้ยังศึกษาความเป็นไปได้ในการนำซาโปนินไปใช้งานเป็นสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) ในการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์ งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. การสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ
2. ศึกษาการใช้ซาโปนินเป็นสารช่วยเปียกในกระบวนการลอกกาวไหม
3. ศึกษาการใช้ซาโปนินเป็นสารช่วยเปียกในกระบวนการทำความสะอาดผ้าฝ้าย
4. ศึกษาการใช้ซาโปนินเป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์ส
5. การวิเคราะห์และทดสอบ



ภาพที่ 16 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

ตอนที่ 1 การสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ

- การสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควาย

นำผลประคำดีควายแก่มาล้างด้วยน้ำให้สะอาดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แยกเอาเฉพาะผนังผลประคำดีควายมาปั่นให้ละเอียดกับน้ำด้วยเครื่องปั่น โดยใช้ผนังผลประคำดีควาย 50 กรัมต่อน้ำ 1.5 ลิตร เทของผสมที่ปั่นได้ใส่บีกเกอร์เพื่อกวนของผสมต่อเป็นเวลาอีก 2 ชั่วโมง กรองแยกสารละลายออกจากของแข็ง นำสารละลายมากรองละเอียดอีกครั้งด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 จะได้สารละลายใส สีน้ำตาลเข้ม นำสารละลายที่ได้ทำให้เป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งเยือกแข็งระบบสุญญากาศ ซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควายจะมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ดังภาพที่ 17 งานวิจัยนี้ขอใช้สัญลักษณ์ “SN” แทนซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย

ภาพที่ 17 ลักษณะซาโปนินจากผนังผลประคำดีควาย

- การสกัดซาโปนินจากรากชะเอมเทศ

นำรากชะเอมเทศมาล้างด้วยน้ำให้สะอาดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปั่นให้เป็นผงด้วยเครื่องบดสับ นำผงรากชะเอมเทศ 50 กรัม เติมน้ำ 1.5 ลิตร กวนของผสมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองแยกสารละลายออกจากของแข็ง นำสารละลายมากรองละเอียดอีกครั้งด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 จะได้สารละลายใส สีน้ำตาล นำสารละลายที่ได้ทำให้เป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งเยือก

แข็งระบบสุญญากาศ ซาโปนินที่สกัดได้จากรากชะเอมเทศจะมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ดังภาพที่ 18 งานวิจัยนี้ขอใช้สัญลักษณ์ “SL” แทนซาโปนินที่สกัดได้จากรากชะเอมเทศ

ภาพที่ 18 ลักษณะซาโปนินจากรากชะเอมเทศ

ตอนที่ 2 ศึกษาการใช้ซาโปนินเป็นสารช่วยเปียกในกระบวนการลอกกาวไหม

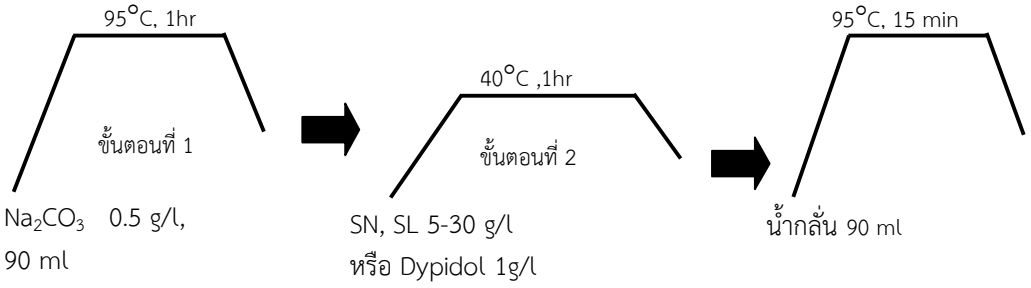
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศมาใช้แทนสบู่หรือสารช่วยเปียกสำหรับลอกกาวเส้นไหมดิบ 3 ชนิด ดังนี้ เส้นไหมจุลหรือเส้นไหมดิบจากบริษัทจุลไหมไทย ไหมหนึ่งและไหมสองซึ่งเป็นเส้นไหมดิบพันธุ์เหลืองไพโรจน์ ของกลุ่มชาวบ้านจังหวัดชัยภูมิ การลอกกาวไหมแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ทำการลอกกาวไหมด้วยสารละลายด่าง (Na_2CO_3) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นขั้นตอนแรก หลังจากนั้นจึงนำเส้นไหมมาทำการลอกกาวต่อด้วยซาโปนินที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายมีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ขั้นตอนการลอกกาวทำได้ดังนี้

นำเส้นไหมดิบ 3 กรัม มาลอกกาวด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.5 กรัมต่อลิตร ปริมาณ 90 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำเส้นไหมขึ้นจากสารละลายมาล้างน้ำสะอาดก่อนทำการลอกกาวต่อด้วยซาโปนิน 2 ชนิด คือซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควาย (SN) และรากชะเอมเทศ (SL) ที่ความเข้มข้น 5 20 และ 30 กรัมต่อลิตร ปริมาณ 90 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ล้างเส้นไหมด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 90 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำไปตากให้แห้ง ขั้นตอนการลอกกาวไหมแสดงดังภาพที่ 19 และภาวะในการลอกกาวแสดงในตารางที่ 9

เปรียบเทียบการลอกกาวไหมทั้ง 3 ชนิดด้วยซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ กับสารช่วยเปียกสังเคราะห์ (Dypidol) ที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตรปริมาณ 90 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการลอกกาวไหมวิเคราะห์จากลักษณะพื้นผิวของเส้นไหม ค่าการดูดซึมน้ำ ปริมาณสารที่ถูกกำจัดจากการลอกกาวไหม ปริมาณเซริซินบนไหม ความแข็งแรงและร้อยละการยืดตัวของไหมดิบและไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้ว ตามวิธีวิเคราะห์และทดสอบในตอนที่ 5.2

ตารางที่ 9 ภาวะที่ใช้ในการลอกกาวไหม

ขั้นตอนที่ 1				ขั้นตอนที่ 2			
ด่าง	ปริมาณ (g/l)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ซาโปนิน	ปริมาณ (g/l)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
				Dypidol	1		
Na_2CO_3	0.5	95	60	SN	5, 20, 30	40	60
				SL	5, 20, 30		



ภาพที่ 19 ขั้นตอนการลอกกาวไหม

ตอนที่ 3 ศึกษาการใช้ซาโปนินเป็นสารช่วยเปียกในกระบวนการทำความสะอาดผ้าฝ้าย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศมาใช้แทนสบู่หรือสารช่วยเปียกสำหรับการทำความสะอาดผ้าฝ้ายถัก แบ่งขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าฝ้ายถักออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการทำความสะอาดผ้าฝ้ายด้วยสารละลาย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ขั้นตอนที่สองเป็นการทำความสะอาดผ้าฝ้ายด้วยซาโปนินที่อุณหภูมิห้องและ 40 องศาเซลเซียส วิธีการทำความสะอาดผ้าฝ้ายถักทำได้ดังนี้

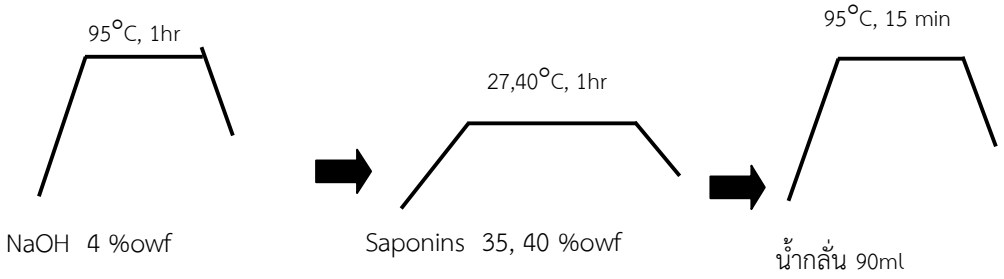
ต้มผ้าฝ้ายถักในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้อัตราส่วนผ้าฝ้ายต่อน้ำเท่ากับ 1:30 หลังจากนั้นนำผ้ามาล้างน้ำสะอาดและตากให้แห้ง เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่สามารถละลายน้ำได้ ขอเรียกผ้าฝ้ายที่ผ่านขั้นตอนนี้ว่า “ผ้า Pre-washed”

นำผ้า Pre-washed 3 กรัม มาทำความสะอาดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 4 ของน้ำหนักผ้า (1.3 กรัมต่อลิตร) ปริมาณ 90 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ล้างผ้าฝ้ายด้วยน้ำสะอาด และเข้าสู่การทำความสะอาดในขั้นตอนที่สองด้วยซาโปนิน 2 ชนิด คือซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควาย (SN) และรากชะเอมเทศ (SL) ความเข้มข้นร้อยละ 35 และร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (11.6 และ 13.3 กรัมต่อลิตรตามลำดับ) ปริมาณ 90 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 27 องศาเซลเซียส) และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำผ้าฝ้ายไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ล้างผ้าให้สะอาดและตากให้แห้ง ภาวะในการทำความสะอาดผ้าฝ้ายแสดงในตารางที่ 10 และขั้นตอนการทำความสะอาดฝ้ายแสดงดังภาพที่ 20

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความสะอาดผ้าฝ้ายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพียงอย่างเดียวกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร่วมกับซาโปนินทั้ง 2 ชนิด ประสิทธิภาพการทำความสะอาดผ้าฝ้ายวิเคราะห์จากค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความขาวและความเหลืองของผ้าตามวิธีวิเคราะห์และทดสอบในตอนที่ 5.3

ตารางที่ 10 ภาวะที่ใช้ในการทำความสะอาดผ้าฝ้าย

ขั้นตอนที่ 1				ขั้นตอนที่ 2			
ด่าง	ปริมาณ (%owf)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ซาโปนิน	ปริมาณ (%owf)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
NaOH	4	90	60	SN	35, 40	27, 40	60
				SL	35, 40		



ภาพที่ 20 ขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าฝ้าย

ตอนที่ 4 ศึกษาการใช้ซาโปนินเป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์ส

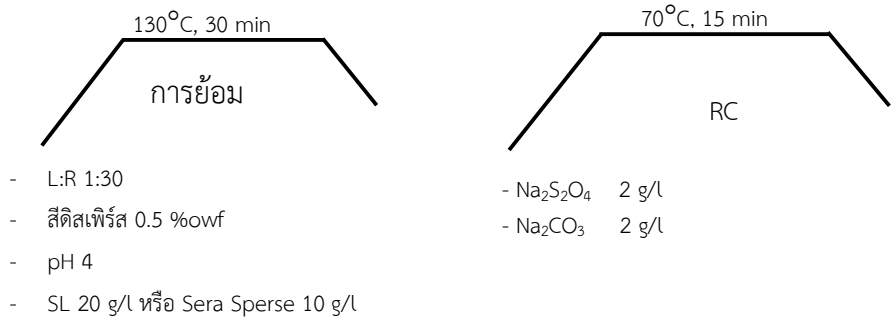
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำซาโปนินจากรากชะเอมเทศมาใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว (dispersing agent) สำหรับการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์

ขั้นตอนการย้อมสีดิสเพิร์ส (DB และ DB_N) โดยใช้ซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศเป็นสารช่วยกระจายตัวทำได้ดังนี้ นำผ้าถักพอลิเอสเตอร์ 50 กรัมมาทำความสะอาดด้วยใช้สารช่วยเปียก (Dypidol) 2 กรัมในสารละลาย 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างน้ำสะอาดและตากให้แห้ง

สีดิสเพิร์สที่ทำการศึกษามี 2 ชนิด คือ สี Dianix Navy S-G ขอเรียกว่า “DB” และสี Dianix Navy S-G ที่ผ่านการสกัดสารช่วยกระจายตัวออกจากผงสี ขอเรียกว่า “DB_N” สี DB_N เตรียมโดยการนำสีดิสเพิร์ส Dianix Navy S-G ปริมาณ 10 กรัม มาทำการสกัดสารช่วยกระจายตัวออกด้วยคลอโรเบนซีนปริมาณ 350 มิลิลิตรภายใต้ชุดสกัด (Soxhlet Extraction) ทำการสกัดเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งสีของสารละลายในชุดสกัดเป็นสีน้ำเงินใส (Tsatsaroni and Eleftheriadis., 2004)

นำผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว 2 กรัม มาทำการย้อมสีดิสเพิร์ส 2 ชนิด คือ สี DB และสี DB_N โดยใช้ความเข้มข้นของสีร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักผ้า ร่วมกับสารช่วยกระจายตัวคือ ซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศ 20 กรัมต่อลิตรหรือสารช่วยกระจายตัวทางการค้า (Sera Sperse) ปริมาณ 10 กรัมต่อลิตร อัตราส่วนผ้าต่อน้ำย้อมเท่ากับ 1:30 ปรับค่า pH ของสารละลาย

ก่อนย้อมให้เท่ากับ 4 ทำการย้อมผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยสีดิสเพิร์สที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีจากนั้นนำผ้ามาล้างด้วยน้ำสะอาด และทำการกำจัดสีดิสเพิร์สที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยาออก Reduction clear (RC) ด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมไดไธโอไนต์ ($Na_2S_2O_4$) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) อย่างละ 2 กรัมต่อลิตร ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ล้างผ้าให้สะอาดและตากให้แห้ง ประสิทธิภาพการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์วิเคราะห์จากความสม่ำเสมอของการติดสีดิสเพิร์สบนผ้า ความเข้มสี (K/S) และเฉดสีบนผ้า และความคงทนของสีต่อการซักเปรียบเทียบกับการย้อมสีดิสเพิร์สโดยไม่ใช้สารช่วยกระจายตัวในการย้อมตามวิธีการทดสอบในตอนที่ 5.4 รูปแบบการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์แสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 รูปแบบการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์

1. การวิเคราะห์และการทดสอบ

1.1 การหาปริมาณและสมบัติของซาโปนิน

1.1.1 องค์ประกอบของผนังผลประคำดีควาย

นำผลประคำดีควายแก่มาล้างสะอาดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง หลังจากนั้นทำการแยกเอาเฉพาะผนังผลประคำดีควายออกจากเมล็ด ชั่งน้ำหนักเมล็ดด้วยเครื่องชั่ง 4

ตำแหน่ง ร้อยละองค์ประกอบของผนังผลประคำดีควายคำนวณตามสมการ 1 ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ผนังผลประคำดีควาย}(\text{ร้อยละ}) = \frac{\mathbf{W_1 - W_2}}{\mathbf{W_1}} \times 100 \qquad \text{สมการ 1}$$

เมื่อ $\mathbf{W_1}$ = น้ำหนักแห้งผลประคำดีควาย (กรัม)

$\mathbf{W_2}$ = น้ำหนักแห้งเมล็ด (กรัม)

1.1.2 ปริมาณของซาโปนิน

งานวิจัยนี้จะทำการหาปริมาณซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ น้ำและเอทานอล วิธีการหาปริมาณซาโปนินทำได้ดังนี้

- ผนังผลประคำดีควาย

นำผนังผลประคำดีควาย 10 กรัม นำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นกับน้ำหรือเอทานอล ปริมาณ 300 มิลลิลิตร เทของผสมใส่บีกเกอร์เพื่อทำการกวนของผสมต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองแยกเอาเฉพาะสารละลาย นำสารละลายมากรองละเอียดอีกครั้งด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ก่อนนำสารที่ได้มาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ปริมาณซาโปนินที่สกัดด้วยน้ำหรือเอทานอลจากผนังผลประคำดีควายคำนวณได้ตามสมการที่ 2 ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ปริมาณซาโปนิน}(\text{ร้อยละ}) = \frac{\mathbf{W_4}}{\mathbf{W_3}} \times \mathbf{100} \qquad \text{สมการ 2}$$

เมื่อ W_3 = น้ำหนักแห้งผนังผลประคำดีควาย (กรัม)

W_4 = น้ำหนักแห้งสารที่สกัดได้ (กรัม)

- รากชะเอมเทศ

นำผงรากชะเอมเทศ 10 กรัม นำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทิ้งไว้ในเดซิเคเตอร์ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำมากวนในน้ำหรือเอทานอลปริมาณ 300 มิลลิลิตรเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองแยกเอาเฉพาะสารละลายออกจากของแข็ง นำสารละลายมากรองละเอียดอีกครั้งด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ก่อนนำสารละลายที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำสารที่ได้มาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ปริมาณซาโปนินที่สกัดด้วยน้ำหรือเอทานอลจากผงรากชะเอมเทศคำนวณได้ตามสมการที่ 2 ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

5.1.3 การหาค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (CMC)

นำผงตัวอย่างซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศมาละลายน้ำให้มีความเข้มข้นตั้งแต่ ร้อยละ 0.05-2.5 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาทำการวัดค่าแรงตึงผิวด้วยเครื่องวัดค่าแรงตึงผิว (DuNouy Ring Tensiometer) ดังรูปที่ 22 นำค่าแรงตึงผิวมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิว (มิลลินิวตันต่อเมตร) และความเข้มข้นของซาโปนิน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เพื่อหาค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (CMC) ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

ทำการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (CMC) ด้วยโปรแกรมทางสถิติ (SPSS version 17; One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 22 เครื่องวัดค่าแรงตึงผิว

5.1.4 การหาจุดขุ่น (Could point)

เตรียมสารละลายซาโปนินทั้ง 2 ชนิด (SN และ SL) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ใส่หลอดทดลองขนาดกลางจำนวน 4 หลอด หลอดละ 40 มิลลิลิตร จากนั้นนำหลอดทดลอง 3 หลอดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) เป็นเวลา 30 นาที นำหลอดทดลองขึ้นจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะของสารละลายเปรียบเทียบกับหลอดทดลองอ้างอิง* ตั้งหลอดทดลองทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะของสารละลายเปรียบเทียบกับหลอดทดลองอ้างอิง* อีกครั้งหนึ่ง ทำการหาจุดขุ่นของสารละลายซาโปนินทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 95 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ *หลอดทดลองอ้างอิง คือ หลอดทดลองหลอดที่ 4 ที่ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

5.2 การทดสอบประสิทธิภาพการลอกกาวไหม

การทดสอบประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมทำการทดสอบกับเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยภาวะดังต่อไปนี้ เส้นด้ายไหมดิบ 3 กรัม ถูกลอกกาวด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

(Na_2CO_3) 0.5 กรัมต่อลิตร ปริมาณ 90 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำเส้นไหมขึ้นจากสารละลายมาล้างน้ำสะอาด ทำการลอกกาวต่อด้วยซาโปนิน 2 ชนิด คือ ซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควาย (SN) และรากชะเอมเทศ (SL) ที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตรหรือสารช่วยเปียกสังเคราะห์ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ปริมาณ 90 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ล้างเส้นไหมด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 90 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำเส้นไหมไปตากให้แห้ง แล้วนำมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิว ทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกด้วยกระบวนการลอกกาว การติดสีย้อมของเซริซินบนเส้นไหม ปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ผ่านการลอกกาว ความแข็งแรงและการยืดตัว

5.2.1 ลักษณะพื้นผิว

วิเคราะห์เส้นไหมดิบและเส้นไหมที่ต้องการทดสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scaning Electron Microscope : SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6480LV ทำการทดสอบที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2 ค่าการดูดซึมน้ำ

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของเส้นไหม ทำได้ดังนี้ กระจายกลุ่มเส้นไหมตัวอย่าง 3 กรัม ให้มีความสม่ำเสมอและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ตามภาพที่ 23 วางหยดน้ำกลั่นลงบนกลุ่มเส้นไหมที่ต้องการทดสอบ เริ่มจับเวลาตั้งแต่หยดน้ำกลั่นสัมผัสที่ผิวของกลุ่มเส้นไหม จนกระทั่งหยดน้ำกลั่นซึมลงในกลุ่มเส้นไหม จดระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของกลุ่มเส้นไหมตัวอย่าง

ตัวอย่างเส้นไหม 1 กลุ่ม จะทำวัดค่าการดูดซึมน้ำอย่างน้อย 5 จุดกระจายทั่วทั้งกลุ่มเส้นไหม นำระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ หนึ่งภาวะในการลอกกาวไหมจะทำการทดสอบตัวอย่างเส้นไหมจำนวน 3 กลุ่มเพื่อหาเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ

ภาพที่ 23 การวัดค่าการดูดซึมน้ำ

5.2.3 ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกจากกระบวนการลอกกาวไหม

การวิเคราะห์ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกจากลอกกาวไหม วิเคราะห์จากค่าน้ำหนักของเส้นไหมที่หายไปในระหว่างกระบวนการลอกกาวไหม ทำได้ดังนี้ นำเส้นไหมดิบ 3 กรัมมาชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared Moisture balance) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปทำการลอกกาวไหมด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและสารช่วยเปียกตามวิธีการลอกกาวไหมในข้อ 5.2 หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักแห้งของเส้นไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวไหมแล้ว ด้วยเครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared Moisture balance) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกจากกระบวนการลอกกาวไหมคำนวณตามสมการที่ 3 หนึ่งภาวะในการลอกกาวทำซ้ำ 3 ครั้งเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ปริมาณสารที่ถูกกำจัด}(\text{ร้อยละ}) = \frac{w_5 - w_6}{w_5} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ w_5 = น้ำหนักของเส้นด้ายไหมก่อนการลอกกาวไหม (กรัม) ที่อุณหภูมิ 105 ℃

w_6 = น้ำหนักของเส้นด้ายไหมหลังการลอกกาวไหม (กรัม) ที่อุณหภูมิ 105 ℃

5.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเซริซินบนเส้นไหม

การวิเคราะห์ปริมาณเซริซินบนเส้นไหมในงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิคการติดสีย้อมของเซริซินบนเส้นไหมและการหาปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ผ่านการลอกกาว ขั้นตอนการทดสอบทำได้ดังนี้

5.2.4.1 การติดสีย้อมของเซริซินบนเส้นไหม (Teli and Rane.,2011)

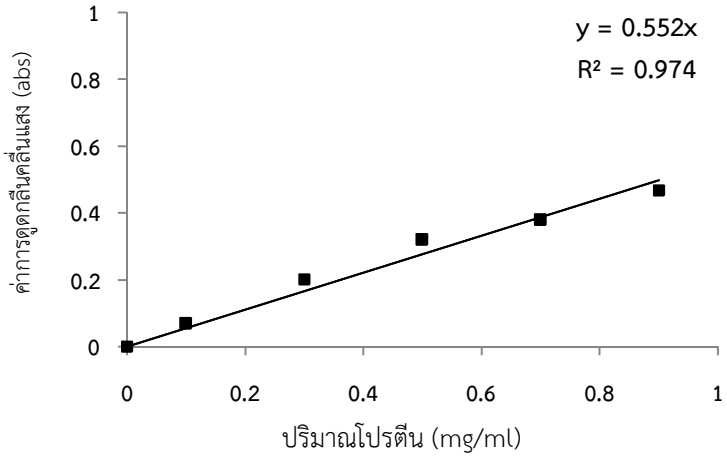
นำเส้นไหมดิบและเส้นไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวแล้ว น้ำหนัก 3 กรัม มาย้อมสี Direct Red 80 (Sirius Red F3B®) ความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักเส้นไหม โดยใช้อัตราส่วนเส้นไหมต่อน้ำย้อมเท่ากับ 1:40 ทำการย้อมเส้นไหมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นนำเส้นไหมมาล้างน้ำสะอาด และตากให้แห้งนำเส้นไหมที่ผ่านการย้อมแล้วนำมาวัดค่าความเข้มสี (K/S) และเฉดสี (L* a* b*) บนเส้นไหมด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

5.2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ผ่านการลอกกาวด้วยวิธีของ Lowry

เซริซินหรือกาวไหมเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งซึ่งถูกกำจัดออกจากเส้นไหมดิบในกระบวนการลอกกาวไหม เซริซินจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ผ่านการลอกกาว งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในสารละลายตามวิธีของ Lowry โดยใช้ BSA (Bovine serum albumin) เป็นโปรตีนมาตรฐาน วิธีการวิเคราะห์ทำได้ดังนี้

เตรียมสารละลาย Lowry (Jakob.,2002) โดยการนำโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ผสมกับ 1 มิลลิลิตรของคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และ 1 มิลลิลิตรของโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต ($NaKC_4H_4O_6$) ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ไม่ควรผสมสารละลาย Lowry ทิ้งไว้นานเกิน 30 นาที

กราฟมาตรฐานทำได้โดยการนำโปรตีนมาตรฐาน (Bovine serum albmin; BAS) ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1-0.9 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ผสมกับ 2 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2 นอร์มัล นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) เป็นเวลา 10 นาที ตั้งให้สารละลายเย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมสารละลาย Lowry ที่เตรียมไว้ปริมาณ 20 มิลลิลิตรลงไป เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จึงเติม 2 มิลลิลิตรของฟอลีนฟีนอล (Folin phenol) ความเข้มข้น 1 นอร์มัลลงในสารละลาย เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 30 นาที จากนั้นจึงนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (abs) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงและปริมาณโปรตีนในสารละลาย แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนคลื่นแสงต่อความเข้มข้นของโปรตีนมาตรฐาน

การทดสอบหาปริมาณของโปรตีนในสารละลายที่ผ่านกระบวนการลอกกาวไหม ทำได้โดยการนำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการลอกกาวไหม ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ผสมกับ 2 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2 นอร์มัล นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) เป็นเวลา 10 นาที ตั้งสารละลายให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมสารละลาย Lowry ที่เตรียมไว้ปริมาณ 20 มิลลิลิตรลงไป เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จึงเติม 2 มิลลิลิตรของฟอลีนฟีนอล (Folinphenol) ความเข้มข้น 1 นอร์มัลลง

ในสารละลาย เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 30 นาที จากนั้นจึงนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (abs) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร คำนวณปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ผ่านการลอกกาวด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงและปริมาณโปรตีนในสารละลายตามภาพที่ 24 ทำการวัดปริมาณโปรตีนในสารละลายจำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

5.2.5 ความแข็งแรงของเส้นด้ายตามมาตรฐาน ISO 105 C06

ทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงและร้อยละการยืดตัวของเส้นด้ายไหมตัวอย่างตามมาตรฐาน ISO 105 C06 โดยตั้งระยะทดสอบ (Gauge length) 250 มิลลิเมตร แรงดึงเริ่มต้น (per-tension) เท่ากับ 0.5 เซนตินิวตันต่อเท็กซ์ (cN/tex) ทำการดึงเส้นด้ายไหมตัวอย่างจนขาดด้วยอัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งแรงของเส้นไหม (Tenacity) คำนวณได้ตามสมการที่ 4 และค่าร้อยละการยืดตัว (% Elongation) คำนวณได้ตามสมการที่ 5 ทำการทดสอบอย่างน้อย 15 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ค่าความแข็งแรง } (N/tex) = \frac{\text{load}_{max}}{\text{LD}} \qquad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ load $_{max}$ = แรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงเส้นด้ายจนขาด (นิวตัน)
LD ไหมจุล = 3 (เท็กซ์)
LD ไหมหนึ่ง = 23 (เท็กซ์)
LD ไหมสอง = 27 (เท็กซ์)

$$\text{ร้อยละการยืดตัว } = \frac{\text{L}-\text{L}_\text{o}}{\text{L}_\text{o}} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ L = ความสามารถในการยืดตัวของเส้นด้ายก่อนขาด (มิลลิเมตร)
L_0 = 250 มิลลิเมตร

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพของการทำความสะอาดผ้าฝ้าย

ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดผ้าฝ้ายในงานวิจัยนี้วิเคราะห์จากค่าการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายร่วมกับค่าความขาวและความเหลืองของผ้าที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว วิธีการวิเคราะห์ทดสอบทำได้ดังนี้

5.3.1 ค่าการดูดซึมน้ำ (มาตรฐาน AATCC test method 79-2000)

วางหยดน้ำกลั่นลงบนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ต้องการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ เริ่มจับเวลาตั้งแต่หยดน้ำกลั่นสัมผัสผิวผ้าฝ้ายจนกระทั่งหยดน้ำกลั่นซึมลงผ้าฝ้าย จดระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้าย ผ้าฝ้าย 1 ผืนจะทำการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ 5 จุดกระจายทั่วทั้งผืนผ้า นำระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ หนึ่งภาวะในการทำความสะอาดจะผ้าฝ้ายทำการทดสอบการดูดซึมน้ำบนผ้า 3 ผืนเพื่อหาค่าเฉลี่ย

5.3.2 วัดค่าความขาว (Whiteness Index-ASTM) และวัดค่าความเหลือง (Yellowness Index-ASTM E313-00)

นำผ้าฝ้ายก่อนและหลังผ่านกระบวนการทำความสะอาดมาวัดค่าความขาวและค่าความเหลืองด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Macbeth spectrophotometer รุ่น Color Eye® 7000 โดยผ้าตัวอย่าง 1 ชิ้นจะทำการวัดค่าความขาวและความเหลืองของผ้า 4 จุดกระจายทั่วผืนผ้า เพื่อหาค่าเฉลี่ย หนึ่งภาวะในการทำความสะอาดผ้าฝ้ายจะถูกนำมาทดสอบค่าความขาวและความเหลืองบนผ้าฝ้าย 3 ผืนเพื่อหาค่าเฉลี่ย

5.4 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้ซาโปนินเป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์

5.4.1 ค่าความเข้มสี (K/S) และเฉดสี (L* a* b*)

ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการย้อมสีดิสเพิร์ส (DB และ DB_N) ถูกนำมาวัดค่าความเข้มสี (K/S) และเฉดสี (L* a* และ b*) ด้วยเครื่องวัดสี ยี่ห้อ Macbeth spectrophotometer รุ่น Color Eye® 7000 โดยผ้า 1 ชิ้นจะทำการวัดค่าความเข้มสีและเฉดสีของผ้า 4 จุดกระจายทั่วทั้งผืน เพื่อหาค่าเฉลี่ยความเข้มและเฉดสี หนึ่งภาวะในการย้อมสีดิสเพิร์สจะถูกนำมาทดสอบค่าความเข้มสีและเฉดสีของผ้า 3 ผืนพื่อหาค่าเฉลี่ย

5.4.2 ความสม่ำเสมอของสีย้อม

ผ้าตัวอย่างที่ผ่านการย้อมสีดิสเพิร์สจะถูกนำมาตรวจความสม่ำเสมอของการติดสีย้อมบนผ้าภายในตู้ไฟมาตรฐานด้วยแสงไฟ D65

5.4.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก (ISO 105-C06)

ตัดผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการย้อมด้วยสีดิสเพิร์ส (DB และ DB_N) ให้มีขนาด 4×10 ตารางเซนติเมตร นำไปเย็บติดกับผ้ามัลติไฟเบอร์ที่มีขนาดเดียวกัน ทำการซักด้วยสารละลายผงซักฟอกมาตรฐาน (ECE detergent) ปริมาณ 4 กรัมต่อลิตร และโซเดียมเปอร์บอเรต ($NaBO_3$) 1 กรัมต่อลิตรปริมาณ 150 มิลลิลิตร ร่วมกับลูกเหล็กจำนวน 25 ลูก ทำการซักที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ด้วยเครื่องย้อมระบบอินฟาเรด (Infared dyeing Machine) นำผ้าไปล้างและตากให้แห้ง ประเมินผลการติดดิสเพิร์สบนผ้ามัลติไฟเบอร์ด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color staining) และประเมินการเปลี่ยนแปลงสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color change) ภายใต้ตู้ไฟมาตรฐานด้วยแสงไฟ D65 ทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักจำนวน 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ผลและวิจารณ์

1. ผลการสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ

ประคำดีควายเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง นิยมนำผลมาใช้งานด้านสมุนไพร ผลประคำดีควายมีลักษณะเป็นผลทรงกลม ผิวเรียบ สีเขียวอมเหลือง เมื่อเป็นผลแก่จะมีผิวไม่เรียบ และกลายเป็นสีดำ (Wina *et al.,* 2005) ซึ่งสามารถแยกผนังผลประคำดีควายหรือเปลือกหุ้มเมล็ดออกจากเมล็ด หนึ่งผลประคำดีควายจะประกอบด้วยส่วนของผนังผลประคำดีควายร้อยละ 60.01 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อทำการสกัดสารจากผนังผลประคำดีควาย (SN) ด้วยน้ำและเอทานอล พบว่าการใช้น้ำในการสกัดจะให้ปริมาณสารที่สกัดได้สูงกว่าการใช้เอทานอลในการสกัด สารที่สกัดด้วยน้ำมีปริมาณร้อยละ 55.08 และสารที่สกัดได้ด้วยเอทานอลมีปริมาณ 19.37 โดยน้ำหนักแห้งของผนังผลประคำดีควาย

Sarin and Beri (1939) ได้ทำการสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควาย (*Sapindus mukorossi*) พบว่าซาโปนินที่สกัดได้สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์และน้ำ แสดงว่าสารที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควายด้วยน้ำและเอทานอลมีซาโปนินเป็นองค์ประกอบร่วมด้วย ซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย (*Sapindus rarak)* เป็นซาโปนินประเภทไตรเทอร์ปีนส์นอยด์ (Triterpenoind) (Wina *et al.,* 1992) แต่ลักษณะและสมบัติของสารที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอลมีความแตกต่างกันดังตารางที่ 11 สารที่สกัดจากน้ำมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลเข้มเมื่อวางทิ้งไว้จะจับตัวกันก้อนแข็ง ละลายน้ำได้ดีและมีฟองมาก สารที่สกัดจากเอทานอลจะจับตัวกันเป็นก้อนของแข็งเหนียว หนืดและละลายน้ำได้น้อย

ชะเอมเทศเป็นไม้พุ่มที่นิยมนำรากมาไสให้เป็นแผ่นบางซึ่งมีสรรพคุณทางยา (Kitagawa., 2002) ในการสกัดซาโปนินจากรากชะเอมเทศ (SL) ด้วยน้ำและเอทานอลพบว่าปริมาณสารที่สกัดได้จากการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายมีปริมาณร้อยละ 20.09 โดยน้ำหนักแห้งของผงรากชะเอมเทศและมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลคล้ายผงของสารที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควายเมื่อวางทิ้งไว้จะจับตัวกันก้อนแข็ง ละลายน้ำได้ดีและมีฟองเล็กน้อย (ตารางที่ 11) สารที่สกัดจากเอทานอลมีปริมาณร้อยละ 4.42 โดยน้ำหนักแห้งของผงรากชะเอมเทศ มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลละลายน้ำได้เล็กน้อย Kitagawa (2002) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของรากชะเอมเทศจีน พบว่าประกอบด้วยสารประกอบฟีนอล

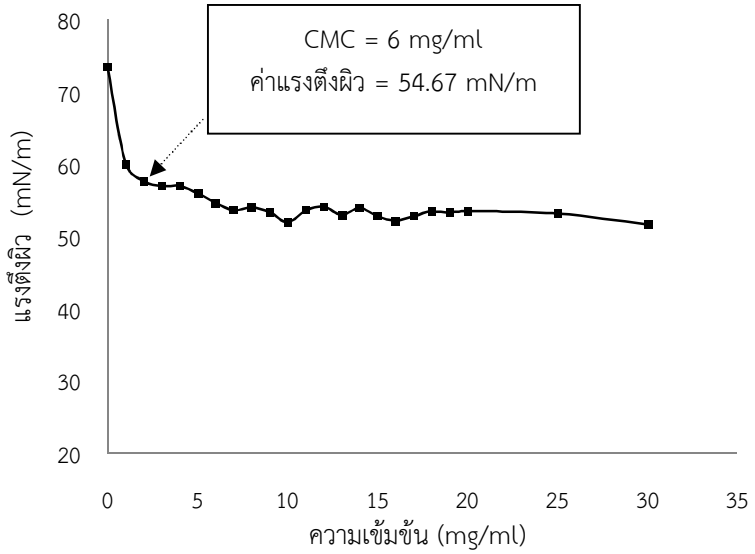
ซึ่งรวมถึงซาโปนินประมาณ 49 ชนิด ซึ่งซาโปนินที่วิเคราะห์ได้เป็นซาโปนินประเภทไตรเทอร์ปีนส์นอยด์ (Triterpenoind) (Fenwick *et al.*, 1990)

ตารางที่ 11 ลักษณะปริมาณซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศ

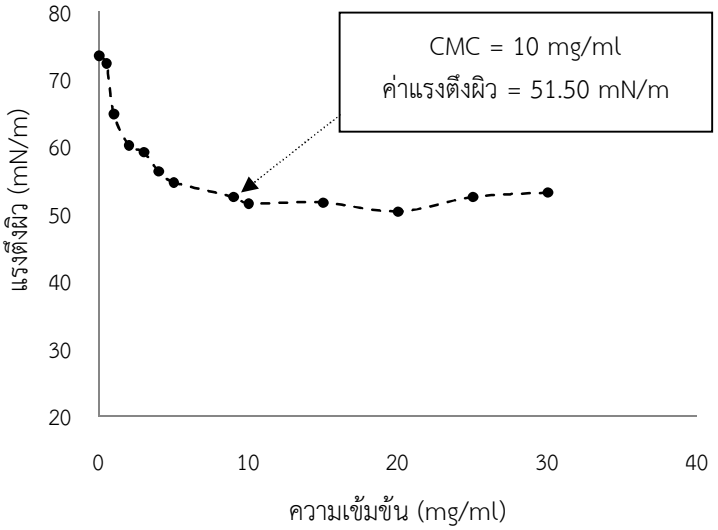
ชนิด	สารละลาย	ร้อยละ	ลักษณะผงที่ได้	การละลาย
ผนังประคำดีควาย (SN)	น้ำ	55.08		ละลายน้ำได้ดี มีฟองเยอะ
	เอทานอล	19.34		ละลายน้ำได้น้อย
รากชะเอมเทศ (SL)	น้ำ	20.09		ละลายน้ำได้ดี มีฟองน้อย
	เอทานอล	4.42		ละลายน้ำได้น้อย

สารที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะให้ปริมาณสารสกัดที่สูงกว่าการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายและมีสมบัติการละลายน้ำที่ดีกว่า ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำสารที่สกัดได้ไปใช้งานเป็นสารช่วยเปียกในกระบวนการลอกกาวไหม (Degumming Process) การทำความสะอาดผ้าฝ้าย (Cotton Scouring) และเป็นสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) ของสีดิสเพิร์สในการย้อมผ้าพอลิเอสเตอร์ กระบวนการเหล่านี้ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลัก ดังนั้นสารที่สกัดด้วยน้ำจึงมีสมบัติเหมาะที่จะนำมาศึกษาต่อไป งานวิจัยนี้ขอเรียกผงของสารที่สกัดด้วยน้ำจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศว่า ซาโปนิน

ซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร จะให้สารละลายใส สีน้ำตาลอ่อนมีความเป็นกรดเล็กน้อยวัด pH ได้ 4.25 ค่าแรงตึงผิวในสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ ถูกวัดด้วยเครื่องวัดค่าแรงตึงผิว (DuNouy Ring Tensiometer) แสดงในภาพที่ 25 ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถเกิดไมเซลล์ (ค่า CMC) ของซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายหรือความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถนำซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายไปใช้งานเท่ากับ 6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีค่าแรงตึงผิวเท่ากับ 54.67 มิลลินิวตันต่อเมตร เนื่องจากไม่พบความแตกต่างของค่าแรงตึงผิวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\rho < 0.05$) เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น



ภาพที่ 25 ค่า CMC ของประคำดีควาย



ภาพที่ 26 ค่า CMC ของรากชะเอมเทศ

การละลายซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร จะให้สารละลายใส สีน้ำตาล มีความเป็นกรดที่น้อยกว่าสารละลายของซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควาย วัด pH ได้ 5.17 ค่าแรงตึงผิวในสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ ของซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศแสดงในภาพที่ 26 ค่า CMC ของซาโปนินที่สกัดได้จากรากชะเอมเทศเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่าแรงตึงผิวเท่ากับ 51.50 มิลลินิวตันต่อเมตร เนื่องจากไม่พบความแตกต่างของค่าแรงตึงผิวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\rho < 0.05$)

ผลการศึกษาอุณหภูมิการใช้งานของซาโปนินทั้ง 2 ชนิด โดยการนำสารละลายซาโปนินทั้ง 2 ชนิดที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30-95 องศาเซลเซียสพบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายจะเริ่มขุ่นและพบตะกอนสีขาวในสารละลาย ส่วนซาโปนินที่สกัดได้จากรากชะเอมเทศเมื่อทำการให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสยังไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในสารละลาย ดังนั้นอุณหภูมิการใช้งานของซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควายหรือจุดขุ่น (Cloud point) (Fujmoto., 1985) คือไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ซึ่งหากนำซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควายไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควายหมดสภาพการเป็นสารลดแรงตึงผิว ซึ่ง

Balakrishnan *et al.* ได้ทำการศึกษาชนิดของซาโปนินของผนังผลประคำดีควายพบว่ามีโครงสร้างเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactants) (Balakrishnan *et al*., 2006)

2. ผลการศึกษาการใช้ซาโปนินในการลอกกาวไหม

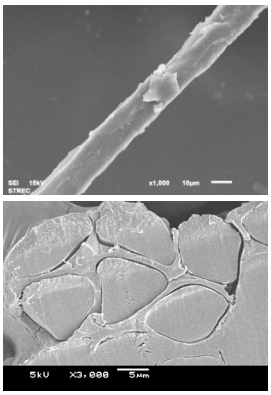
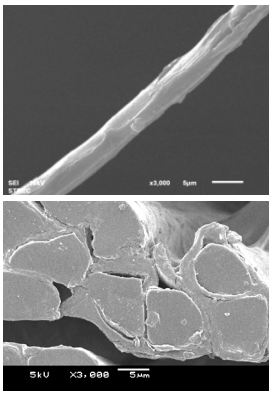
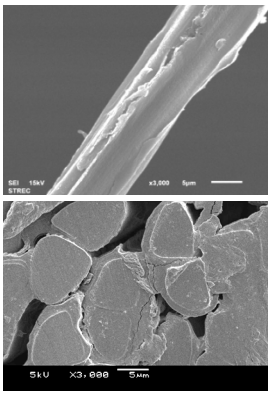
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการลอกกาวไหมดิบ 3 ชนิด คือ เส้นไหมที่ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์จากบริษัทจุลไหมไทยซึ่งเป็นเส้นไหมควบสีขาว เป็นเส้นขนาดเล็ก ค่อนข้างสะอาด มีเบอร์ด้ายเดี่ยวประมาณ 13 เดนเนียร์ (denier; D) หรือประมาณ 1.5 เท็กซ์ (tex; T) ต่อไปขอเรียกว่า “ไหมจุล” ส่วนเส้นไหมอีก 2 ชนิด คือ ไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ซึ่งเป็นไหมพันธุ์ไทยลูกผสม (เดลินิวส์, 2555) ชนิดไหมหนึ่งและไหมสองซึ่งมีสีเหลือง โดยไหมหนึ่งจะมีขนาดเล็กกว่าไหมสอง ไหมหนึ่งมีขนาด 23 เท็กซ์และไหมสองมีขนาด 27 เท็กซ์ ไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ทั้ง 2 ชนิดจะมีขนาดเส้นไหมที่ใหญ่และกระด้างมากกว่าไหมจุล (ตารางที่ 7) ต่อไปขอเรียกไหมหนึ่งพันธุ์เหลืองไพโรจน์ว่า “ไหมหนึ่ง” และเรียกไหมสองพันธุ์เหลืองไพโรจน์ว่า “ไหมสอง”

ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและสมบัติทั่วไปของเส้นไหมดิบทั้ง 3 ชนิดแสดงในตารางที่ 12 เมื่อทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 1,000 เท่าและ 3,000 เท่า พบว่าเส้นไหมทั้ง 3 ชนิดจะมีสารเคลือบเส้นไหมอยู่ทำให้เส้นไหมไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ (ค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า 60 วินาที) สารเคลือบเส้นไหมจะพบปริมาณร้อยละ 20-30 ของน้ำหนักเส้นไหมดิบ (Cao *et al*., 2013) และจำเป็นต้องกำจัดสารเคลือบไหมเหล่านี้ออกก่อนนำเส้นไหมไปทำการย้อมสี (Mangesh and Viaishali., 2001) องค์ประกอบของสารเคลือบเส้นไหมประกอบด้วยเซริซินหรือกาวไหมเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังพบไขมัน ขี้ผึ้ง คาร์โบไฮเดรต สีและแร่ธาตุต่างๆ (Kalantzi *et al.*, 2013) กระบวนการลอกกาวไหม คือ กระบวนการกำจัดสารเคลือบเส้นไหมออกแล้วทำให้เส้นไหมสามารถรับน้ำและสีย้อมต่างๆ ได้ ซึ่งนิยมทำการลอกกาวไหมในสารละลายด่างที่ร้อนร่วมกับน้ำสบู่ (Freddi *et al*., 2003) ผลการกำจัดกาวไหมด้วยสารละลายด่างร้อน (โซเดียมคาร์บอเนต; Na_2CO_3) พบว่าเส้นไหมทั้ง 3 ชนิดจะมีปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกที่แตกต่างกัน โดยไหมจุลจะมีสารที่ถูกกำจัดออกด้วยสารละลายด่างร้อนน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 22 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ไหมหนึ่งมีสารที่ถูกกำจัดออกด้วยสารละลายด่างร้อนน้อยกว่าไหมสอง (ไหมหนึ่งประมาณร้อยละ 23 และไหมสองประมาณร้อยละ 26 โดยน้ำหนัก) เนื่องจาก

ไหมหนึ่งเป็นไหมที่สาวจากรังไหมชั้นในจึงมีความสะอาดและมีสิ่งสกปรกน้อยกว่าไหมสองซึ่งเป็นไหมที่สาวจากรังไหมชั้นนอกร่วมกับรังไหมชั้นใน

การลอกกาวไหมในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ไม่สามารถทำให้เส้นไหมดูดซึมน้ำภายใน 1 นาที ดังแสดงในตารางที่ 13 เนื่องจากหนอนไหมจะฉีดเซริซินจำนวน 3 ชั้นในการเคลือบเส้นไหม 2 เส้นให้ติดกัน ซึ่งองค์ประกอบชั้นแรกและชั้นที่สองของเซริซินประกอบด้วยสารจำพวกโปรตีน ไขมัน และน้ำมัน ส่วนชั้นในสุดท้ายของเซริซินที่ยึดติดกับเส้นใยไหมเป็นสารจำพวกขี้ผึ้ง (Yong-woo., 1999) สารละลายด่างร้อนจะสามารถกำจัดโปรตีน ไขมัน และน้ำมันได้แต่ไม่สามารถกำจัดขี้ผึ้งออกจากเส้นไหมได้ (Cao *et al.,* 2103) เส้นไหมจึงยังไม่สามารถดูดซึมน้ำ วิธีการลอกกาวไหมโดยทั่วไปจะนำเส้นไหมไปต้มในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตร่วมกับน้ำสบู่หรือสารช่วยเปียกสังเคราะห์ (Freddi *et al.,* 2003) ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศมาเป็นสารช่วยเปียกแทนสารช่วยเปียกสังเคราะห์ แต่เนื่องจากซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายมีอุณหภูมิการใช้งานไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส งานวิจัยนี้จึงทำการลอกกาวไหม 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะทำการลอกกาวไหมในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร เพียงชนิดเดียว ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำมาทำการลอกกาวขั้นตอนที่ 2 ด้วยสารช่วยเปียกจากซาโปนินที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสอีก 1 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซึมน้ำของเส้นไหมทั้ง 3 ชนิดเมื่อผ่านภาวะในการลอกกาวด้วยซาโปนินทั้ง 2 ชนิดและสารช่วยเปียกสังเคราะห์แสดงตารางที่ 13

ตารางที่ 12 ลักษณะพื้นผิวและสมบัติทั่วไปของเส้นไหมดิบ

ลักษณะ / สมบัติ	เส้นไหมดิบ		
	ไหมจุล	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง
เส้นไหม			
พื้นผิว (x3,000 เท่า)			
การดูดซึมน้ำ	> 1 นาที	> 1 นาที	> 1 นาที
ปริมาณสารที่หลุดออก*	21.77 %	22.79 %	25.79 %

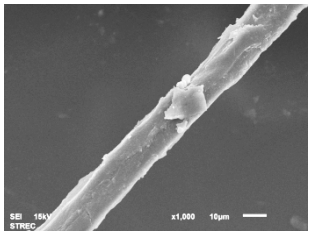
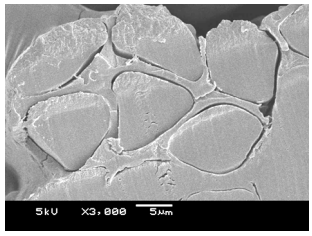
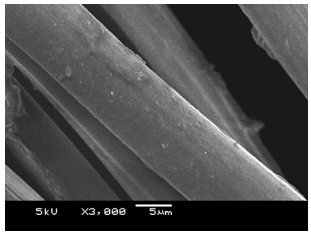
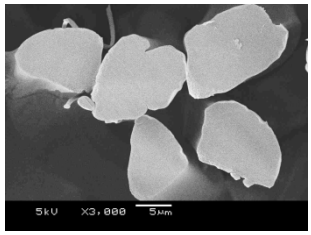
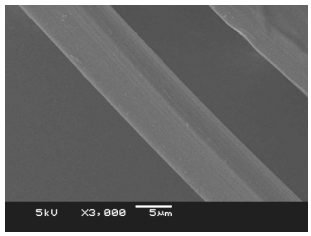
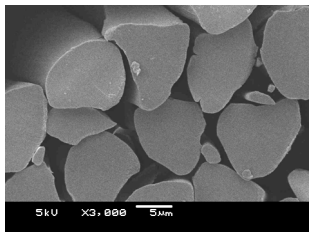
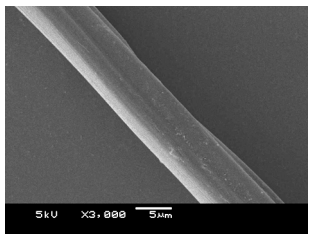
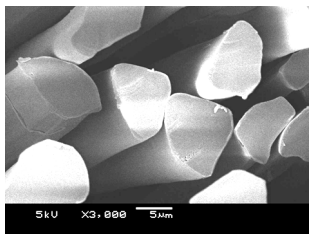
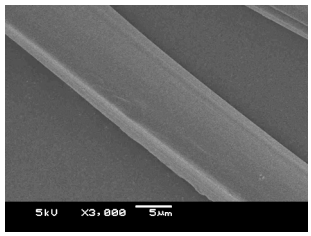
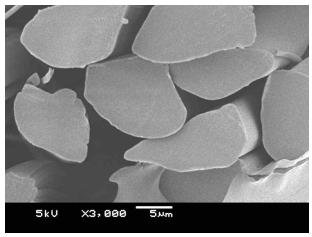
หมายเหตุ *ปริมาณสารที่หลุดออก คือ ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกภายใต้ภาวะการใช้ด่าง 0.5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

ตารางที่ 13 ค่าการดูดซึมน้ำของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว

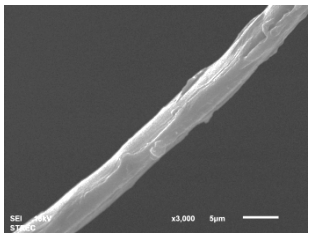
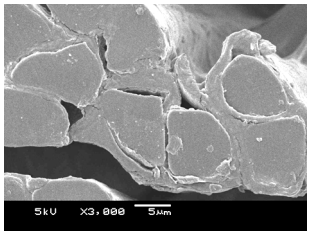
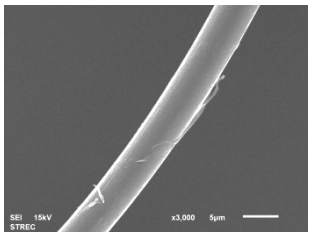
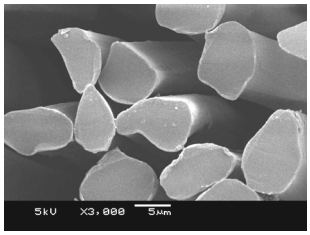
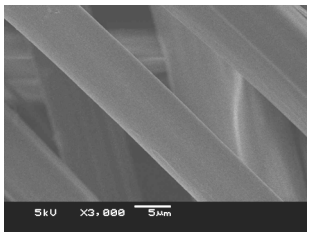
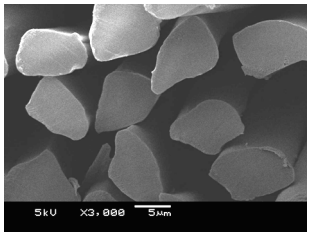
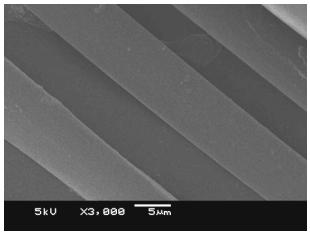
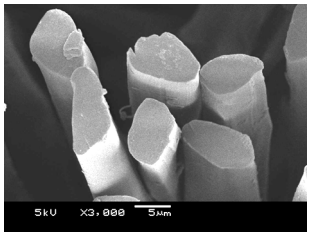
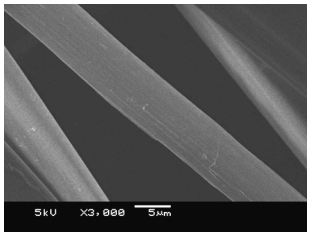
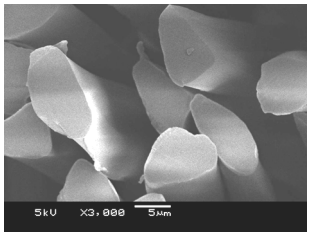
ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ความเข้มข้น (g/l)	การดูดซึมน้ำ (วินาที)		
			ไหมจุล	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง
เส้นไหมดิบ		-	> 60	> 60	> 60
Na_2CO_3 0.5g/l	น้ำ	-	> 60	> 60	> 60
	dypidol	1	ทันที	ทันที	ทันที
	SN	5	> 60	> 60	> 60
		20	3.16	7.84	11.89
		30	3.22	8.12	11.81
	SL	5	>6 0	> 60	> 60
		20	3.25	5.69	7.33
		30	3.37	6.38	9.25

จากตาราง 13 เห็นได้ว่าเมื่อนำซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย (SN) และรากชะเอมเทศ (SL) หรือสารช่วยเปียกสังเคราะห์เข้าร่วมในการลอกกาวจะทำให้เส้นไหมทั้ง 3 ชนิดมีค่าการดูดซึมน้ำดีขึ้น สารช่วยเปียกสังเคราะห์ (dypidol) ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตรสามารถทำให้เส้นไหมทั้ง 3 ชนิดดูดซึมน้ำได้ทันที ในขณะที่การใช้ซาโปนินทั้ง 2 ชนิดที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตรช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมน้ำให้กับเส้นไหมทั้ง 3 ชนิด ไหมจุลจะมีค่าการดูดซึมน้ำ (ประมาณ 3 วินาที) ที่ดีกว่าไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ทั้ง 2 ชนิด เนื่องจากไหมจุลเป็นเส้นไหมที่มีขนาดเล็ก และสะอาดมากกว่า ไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ทั้ง 2 ชนิด ไหมสองเป็นเส้นไหมขนาดใหญ่และมีสิ่งเจือปนมากจึงมีค่าการดูดซึมน้ำเมื่อผ่านการลอกกาวแล้วที่สูงที่สุด คือ ประมาณ 7-12 วินาที การลอกกาวไหมด้วยซาโปนินที่สกัดได้จากรากชะเอมเทศ (SL) ทำให้เส้นไหมดูดซึมน้ำได้ดีกว่าการใช้ซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย (SN) แต่เมื่อทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 1,000 เท่าและ 3,000 เท่า พบว่าพื้นผิวของเส้นไหมทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการลอกกาวในขั้นที่หนึ่งด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตมีปริมาณสารเคลือบเส้นไหมลดลง แต่ยังพบกาวไหมเคลือบติดบนเส้นไหมเล็กน้อย เมื่อนำเส้นไหมมาลอกกาวต่อด้วยซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย (SN) และรากชะเอมเทศ (SL) หรือสารช่วยเปียกสังเคราะห์ (dypiol) เส้นไหมทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการลอกกาวจะมีพื้นผิวที่สะอาดและไม่พบกาวไหมเคลือบติดบนเส้นไหมอีกดังตารางที่ 14 – ตารางที่ 16

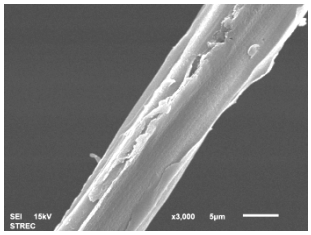
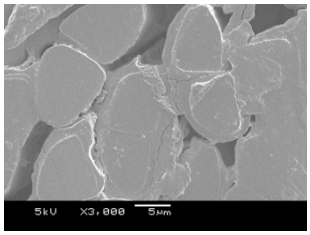
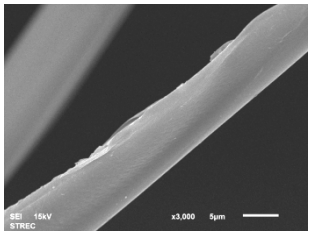
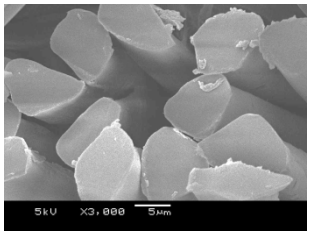
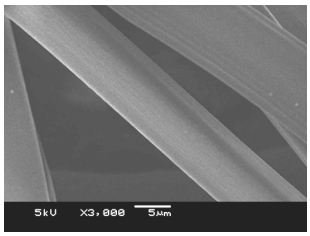
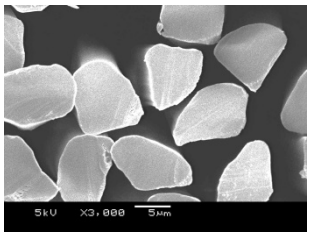
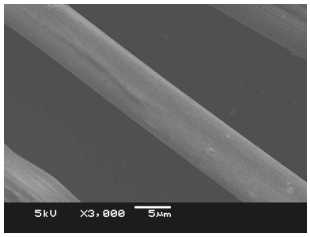
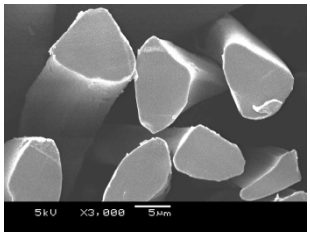
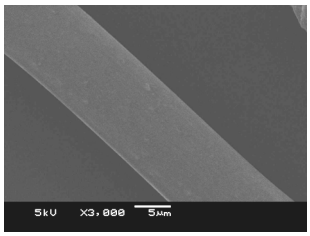
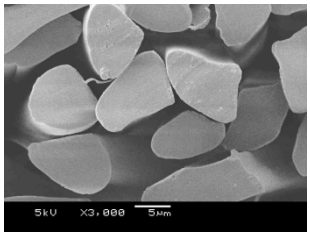
ตารางที่ 14 ลักษณะพื้นผิวของไหมจุลภายหลังการลอกกาว

ภาวะการลอกกาว	ภาพภายใต้กล้อง SEM	
	ตามยาว (กำลังขยาย 3000เท่า)	ภาคตัดขวาง (กำลังขยาย 3000เท่า)
ไหมจุลดิบ		
Na_2CO_3 0.5 g/l		
Na_2CO_3 0.5 g/l + dypidol 1 g/l		
Na_2CO_3 0.5 g/l + SN 20 g/l		
Na_2CO_3 0.5 g/l + SL 20 g/l		

ตารางที่ 15 ลักษณะพื้นผิวของไหมหนึ่งภายหลังการลอกกาว

ภาวะการลอกกาว	ภาพภายใต้กล้อง SEM	
	ตามยาว (กำลังขยาย 3000เท่า)	ภาคตัดขวาง (กำลังขยาย 3000เท่า)
ไหมหนึ่งดิบ		
Na_2CO_3 0.5 g/l		
Na_2CO_3 0.5 g/l + dypidol 1 g/l		
Na_2CO_3 0.5 g/l + SN 20 g/l		
Na_2CO_3 0.5 g/l + SL 20 g/l		

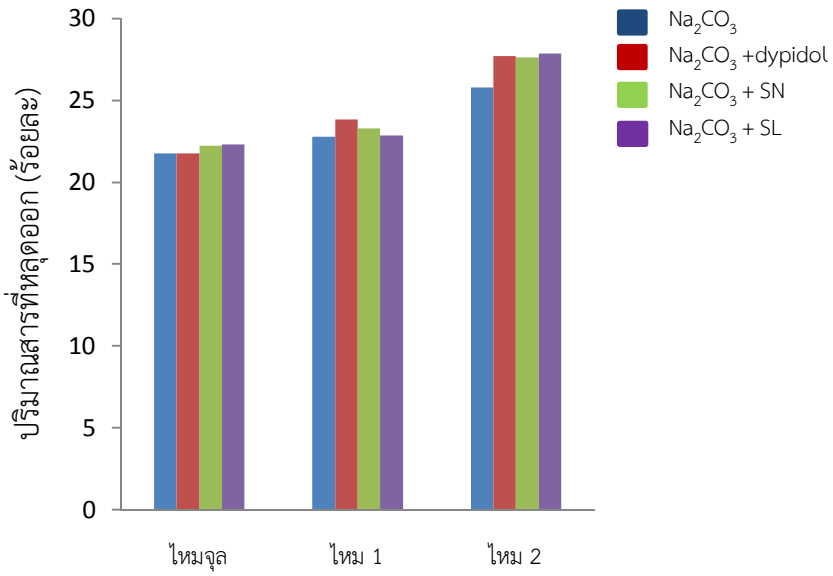
ตารางที่ 16 ลักษณะพื้นผิวของไหมสองภายหลังการลอกกาว

ภาวะการลอกกาว	ภาพภายใต้กล้อง SEM	
	ตามยาว (กำลังขยาย 3000เท่า)	ภาคตัดขวาง (กำลังขยาย 3000เท่า)
ไหมสองดิบ		
Na_2CO_3 0.5 g/l		
Na_2CO_3 0.5 g/l + dypidol 1 g/l		
Na_2CO_3 0.5 g/l + SN 20 g/l		
Na_2CO_3 0.5 g/l + SL 20 g/l		

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกในการลอกกาวไหมแสดงในตารางที่ 17 และภาพที่ 27 เห็นได้ว่าสิ่งสกปรกส่วนใหญ่ถูกกำจัดออกในการลอกกาวขั้นตอนที่ 1 ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) การใช้สารช่วยเปียกในการลอกกาวขั้นที่ 2 สามารถกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นไหมได้มากขึ้น โดยไหมสองมีปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกจากเส้นไหมสูงกว่าไหมชนิดอื่น เนื่องจากไหมสองเป็นการสาวไหมจากรังไหมชั้นนอกร่วมกับรังไหมชั้นใน ซึ่งรังไหมชั้นนอกจะมีสิ่งสกปรกกว่ากว่ารังไหมชั้นใน ทำให้ไหมสองมีสิ่งสกปรก จำพวกโปรตีน ไขมัน น้ำมัน แร่ธาตุ สีตามธรรมชาติ มากกว่าเส้นไหมชนิดอื่น เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการลอกกาวไหมแล้ว ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกบนเส้นไหมด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและสารช่วยเปียกทั้ง 3 ชนิด (SN SL และdypidol) จะมีปริมาณสิ่งสกปรกไม่แตกต่างกัน ดังนี้ เส้นไหมของบริษัทจุลไหมไทยจะมีปริมาณสิ่งสกปรกบนเส้นไหมที่ถูกกำจัดออกประมาณร้อยละ 22 โดยน้ำหนัก ในขณะที่เส้นไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์จะมีปริมาณสิ่งสกปรกบนไหมหนึ่งประมาณร้อยละ 23 และไหมสองประมาณร้อยละ 28 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 17 ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกในระหว่างการลอกกาวไหม

สารเคมี		ความเข้มข้น (g/l)	ปริมาณสารที่ถูกกำจัด (ร้อยละ)		
			ไหมจุล	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง
สารช่วยเปียก	Na_2CO_3	0.5	21.74	22.79	25.79
	dypidol	1	0.03	1.02	1.92
	SN	20	0.48	0.49	1.84
	SL	20	0.57	0.08	2.06



ภาพที่ 27 ปริมาณสารที่ถูกกำจัดออกในการลอกกาวไหม

การทดสอบประสิทธิภาพการลอกกาวไหมสามารถวิเคราะห์ได้จากการย้อมสี Direct Red 80 ซึ่งเป็นสีที่ติดบนเซริซิน (Mangesh and Vaishali., 2001) และวิเคราะห์จากการวัดปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ผ่านการลอกกาว (Sothormvit *et al*., 2010) ซึ่งโปรตีนที่ถูกกำจัดออกในการลอกกาวไหม คือ เซริซิน ผลการย้อมติดสีเซริซินบนเส้นไหมแสดงในตารางที่ 18 และผลการวัดปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ผ่านการลอกกาวแสดงในตารางที่ 19 และตารางที่ 20

ตารางที่ 18 การติดสีของเซริซินบนเส้นไหม

ไหม	สารเคมี	L*	a*	b*	K/S	ความยาวคลื่น (nm)
ไหมจุล	ไหมดิบ	50.34	42.51	6.20	2.83	480
	Na_2CO_3+ น้ำ	84.83	10.18	5.13	0.13	480
	Na_2CO_3+ Dypidol	86.17	9.86	4.79	0.11	480
	Na_2CO_3+SN*	82.72	11.25	6.95	0.19	480
	Na_2CO_3+ SL*	81.66	8.33	12.88	0.22	480
ไหมหนึ่ง	ไหมดิบ	36.56	43.95	21.70	13.30	520
	Na_2CO_3+ น้ำ	81.96	12.62	19.02	0.25	520
	Na_2CO_3+ Dypidol	82.21	11.06	19.79	0.23	520
	Na_2CO_3+SN*	78.58	12.63	19.65	0.34	520
	Na_2CO_3+ SL*	77.05	12.33	21.80	0.39	520
ไหมสอง	ไหมดิบ	32.39	39.82	19.07	15.52	520
	Na_2CO_3+ น้ำ	79.90	12.99	20.40	0.31	520
	Na_2CO_3+ Dypidol	79.23	13.16	18.07	0.32	520
	Na_2CO_3+SN*	77.58	12.54	19.99	0.36	520
	Na_2CO_3+ SL*	75.96	11.31	22.24	0.41	520

หมายเหตุ *ความเข้มข้น SN และ SL เท่ากับ 20 g/l

การย้อมเส้นไหมดิบทั้ง 3 ชนิดด้วยสี Direct Red 80 ซึ่งจะติดสีแดงบนเซริซิน พบว่าไหมจุลและไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ (ไหมหนึ่งและไหมสอง) จะมีความเข้มและเฉดสีต่างกัน โดยไหมจุลจะติดสีชมพูเข้ม แต่ไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์จะติดสีแดงเข้ม เนื่องจากเป็นไหมคนละสายพันธุ์และไหมดิบจุลมีสีขาว แต่ไหมดิบพันธุ์เหลืองไพโรจน์มีสีเหลือง ในการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีของเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสี Direct Red 80 บนไหมหนึ่งและไหมสองจากแหล่งและสายพันธุ์เดียวกันในจังหวัดชัยภูมิ พบว่าไหมสอง (K/S=15.52) จะมีความเข้มสีที่สูงกว่าไหมหนึ่ง (K/S=13.31) แสดงว่าไหมสองมีปริมาณเซริซินบนเส้นไหมสูงกว่าไหมหนึ่ง

การลอกกาวไหมด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ร่วมกับสารช่วยเปียกจะทำให้การติดสี Direct Red 80 บนเส้นไหมทั้ง 3 ชนิดลดลง แสดงว่ากระบวนการที่ใช้ในการลอกกาวสามารถช่วยกำจัดเซริซินบนเส้นไหมทั้ง 3 ชนิดได้ แต่การใช้ซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย (SN) และรากชะเอมเทศ (SL) ในการลอกกาวจะให้ค่าความเข้มสีบนเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสูงกว่าการใช้สารช่วยเปียกสังเคราะห์ในการลอกกาว เนื่องจากสารละลายซาโปนินทั้ง 2 ชนิดจะมีสีเหลือง โดยเฉพาะสารละลายซาโปนินที่สกัดได้จากรากชะเอมเทศจะมีสีของสารละลายที่เข้มกว่าซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย ในขณะที่สารละลายของสารช่วยเปียกสังเคราะห์เป็นสารละลายใสไม่มีสี จึงทำให้ค่าความเข้มและเฉดสีบนเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยซาโปนินจากรากชะเอมเทศมีค่าความเหลือง (b^*) สูงกว่าการลอกกาวด้วยซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย (SN) และการลอกกาวด้วยสารช่วยเปียกสังเคราะห์เล็กน้อย

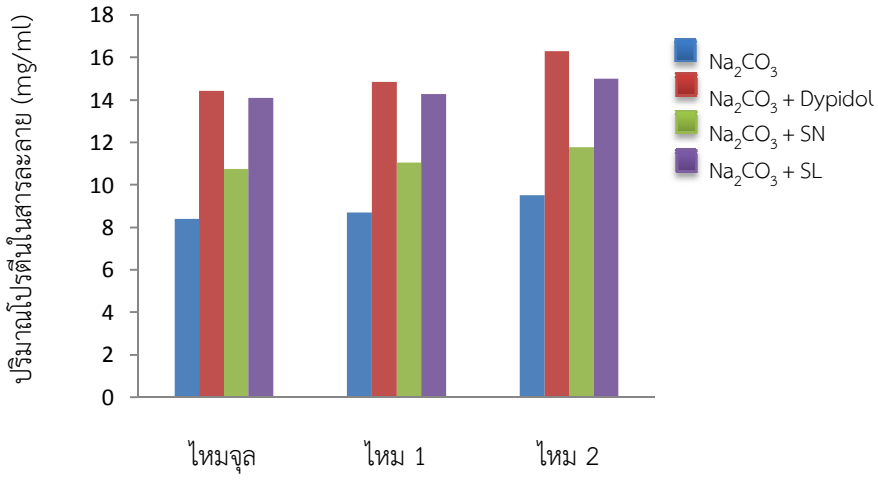
ตารางที่ 19 แสดงผลการวัดปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ผ่านการลอกกาวขั้นแรกด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งปริมาณโปรตีนที่พบในไหมจุลและไหมหนึ่งมีความใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 8.5 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิลิตรของสารละลาย ในขณะที่ไหมสองจะพบปริมาณโปรตีนที่สูงกว่า คือ ประมาณ 9.5 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิลิตรของสารละลาย เมื่อทำการลอกกาวต่อด้วยสารช่วยเปียกทั้ง 3 ชนิด (SN SL และ Dypidol) ในขั้นตอนที่สอง ซึ่งจะพบโปรตีนในสารละลายที่ผ่านการลอกกาวด้วยสารช่วยเปียกทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 20 แสดงว่าการลอกกาวในขั้นที่สองด้วยสารช่วยเปียกสามารถช่วยกำจัดเซริซินบนเส้นไหมได้เพิ่มขึ้น ภาพที่ 28 แสดงปริมาณโปรตีนบนเส้นไหมซึ่งถูกกำจัดออกในการลอกกาว จะเห็นว่าไหมสองมีปริมาณโปรตีนในเส้นไหมสูงกว่าไหมหนึ่งและไหมจุล แสดงว่าไหมสองมีปริมาณเซริซินบนเส้นไหมดิบสูงกว่าไหมหนึ่งและไหมจุล และการใช้ซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศจะสามารถกำจัดเซริซินบนกาวไหมได้ดีใกล้เคียงกับสารช่วยเปียกสังเคราะห์

ตารางที่ 19 ปริมาณโปรตีนในสารละลายจากการลอกกาวไหมขั้นตอนที่หนึ่ง (Na_2CO_3)

ภาวะ	ปริมาณโปรตีน (mg/ml)		
	ไหมจุล	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง
Na_2CO_3 0.5 g/l 95°C, 1 hr.	8.41	8.72	9.54

ตารางที่ 20 ปริมาณโปรตีนในสารละลายจากการลอกกาวขั้นตอนที่สอง (สารช่วยเปียก)

ภาวะ	ปริมาณโปรตีน (mg/ml)		
	ไหมจุล	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง
Dypidol 1 g/l 95°C, 1 hr.	6.03	6.15	6.78
SN 20 g/l 40°C, 1 hr.	2.13	2.11	2.01
SL 20 g/l 40°C, 1 hr.	5.03	4.89	4.80

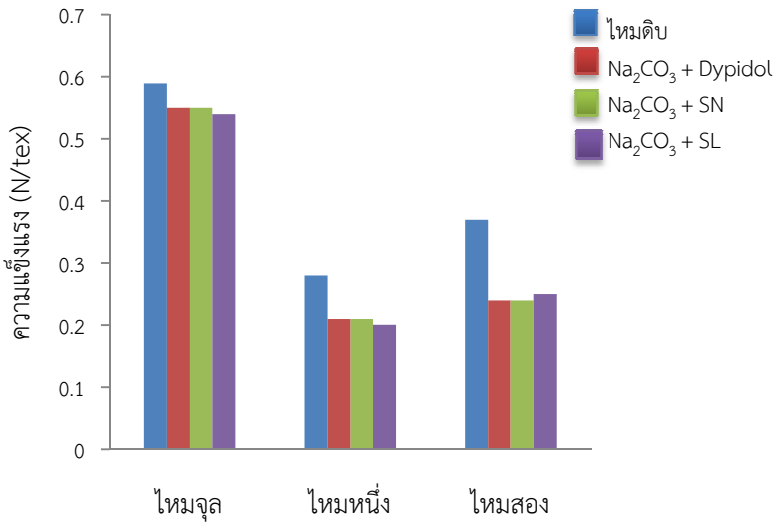


ภาพที่ 28 ปริมาณโปรตีนในสารละลายที่ถูกกำจัดออกในการลอกกาวไหม

ผลการทดสอบความแข็งแรงและค่าการยืดตัวของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวแสดงในตารางที่ 21 และภาพที่ 29 พบว่าเส้นไหมจากบริษัทจุลไหมไทยเป็นเส้นไหมที่มีความแข็งแรงสูงแต่มีค่าการยืดตัวที่ต่ำกว่าเส้นไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ และการลอกกาวไหมทั้ง 3 ชนิดด้วยซาโปนินในงานวิจัยนี้ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นไหม

ตารางที่ 21 ค่าความแข็งแรงและร้อยละการยืดตัวของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว

ภาวะการลอกกาว	สมบัติของเส้นไหม					
	ความแข็งแรง (N/tex)			ร้อยละการยืดตัว		
	ไหมจุล	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง	ไหมจุล	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง
ไหมดิบ	0.59±0.04	0.28±0.02	0.37±0.02	21.57±3.37	33.31±2.15	32.94±3.23
Na_2CO_3+ Dypidol	0.55±0.03	0.21±0.03	0.24±0.03	19.42±2.84	21.76±2.50	19.28±2.26
Na_2CO_3 +SN	0.55±0.03	0.21±0.03	0.24±0.03	20.46±1.82	20.77±2.05	20.54±2.13
Na_2CO_3 +SL	0.54±0.03	0.20±0.02	0.25±0.03	18.80±2.84	19.94±2.64	19.18±3.07



ภาพที่ 29 ค่าความแข็งแรงของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว

3. **การทดสอบประสิทธิภาพของการทำความสะอาดผ้าฝ้าย**

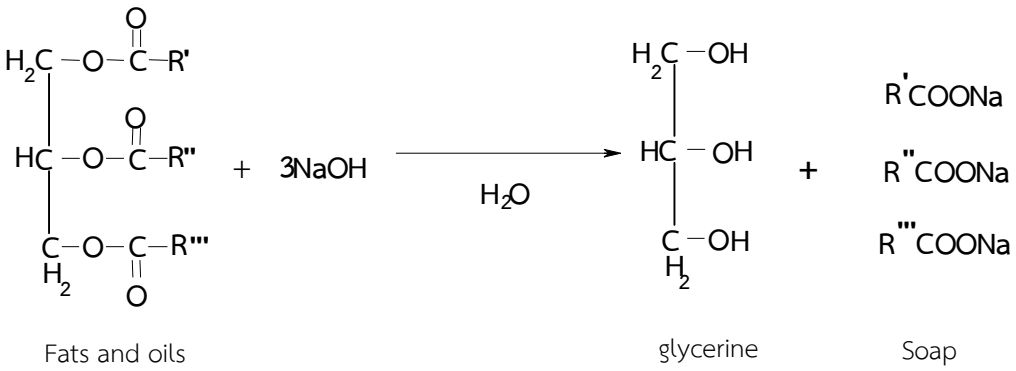
เส้นใยฝ้ายประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 94 ของน้ำหนักเส้นใย และองค์ประกอบอื่นๆ อีกร้อยละ 6 ของเส้นใยฝ้าย ซึ่งประกอบด้วยเพกติน ไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง โปรตีน และสีตามธรรมชาติของเส้นใย ไขมัน น้ำมันและขี้ผึ้งที่มีอยู่ร้อยละ 1.2 ของเส้นใยฝ้าย (Peters., 1967) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องกำจัดออกให้หมดในกระบวนการทำความสะอาดผ้าก่อนที่จะนำเส้นใยฝ้ายหรือผ้าฝ้ายไปย้อมสี การทำความสะอาดผ้าฝ้ายในอุตสาหกรรมนิยมใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารช่วยเปียกสังเคราะห์ในการกำจัดไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้งโดยปฏิกิริยาจะเกิดที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส (El Shafie *et al.,* 2009) งานวิจัยนี้จะนำซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย (SN) และรากชะเอมเทศ (SL) มาใช้แทนสารช่วยเปียกสังเคราะห์ในกระบวนการทำความสะอาดผ้าฝ้าย แต่ข้อจำกัดด้านอุณหภูมิการใช้งานของซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควาย ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าฝ้ายโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับซาโปนินออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกทำการกำจัดไขมันและน้ำมันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงนำผ้าฝ้ายมากำจัดขี้ผึ้งด้วยซาโปนินที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดผ้าฝ้าย

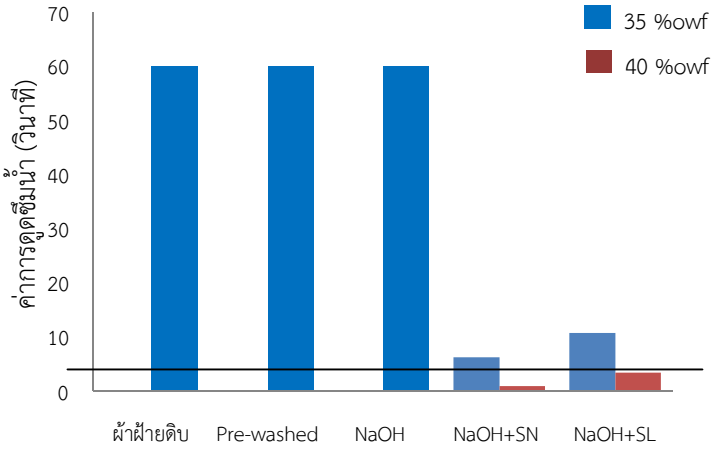
ผ้า		ภาวะ		ผลการทดสอบ		
1^{st} Step	2^{nd} Step	ปริมาณ (%owf)	อุณหภูมิ ($^{\circ}$C)	การดูดซึมน้ำ (วินาที)	ความขาว	ความเหลือง
ผ้าฝ้ายดิบ				> 60	6.89	29.50
Pre-washed		-	100	> 60	9.94	23.87
NaOH			95	> 60	30.46	18.81
	น้ำ	-	40	44.97	28.69	19.43
	SN	40	27	5.32	32.51	17.79
		35	40	6.32	22.59	21.67
NaOH		40	40	ทันที	32.43	17.80
4 %owf	SL	40	27	5.85	21.76	21.97
		35	40	10.76	26.30	20.33
		40	40	3.47	25.62	20.47

การต้มผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที (ผ้า Pre-washed) ไม่สามารถทำให้ผ้าฝ้ายดูดซึมน้ำได้ เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวจะกำจัดสารประกอบที่ละลายน้ำ อาทิ โปรตีน เพกติน และสีธรรมชาติบางส่วนออกจากเส้นใยฝ้าย แต่ไม่สามารถกำจัดไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้งออกจากเส้นใยฝ้ายได้ (Sae-be *et al*., 2006)

การนำผ้า Pre-washed มาทำความสะอาดด้วยสารละลายด่างร้อน (NaOH 4 %owf) จะสามารถกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมันและน้ำมันที่เคลือบอยู่ที่ผิวด้านนอกของเส้นใยฝ้าย (Cuticle) น้ำมันและไขมันถูกทำให้กลายเป็นกลีเซอรีน (Glycerin) และสบู่ที่สามารถละลายและหลุดออกมากับน้ำหลังกระบวนการทำความสะอาดได้ด้วยปฏิกิริยาสะพอนนิฟิเคชัน (Saponification) ดังภาพที่ 30 แต่ไม่สามารถกำจัดขี้ผึ้งบนผิวของเส้นใยได้ ผ้าฝ้ายจึงยังไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ตามภาพที่ 31



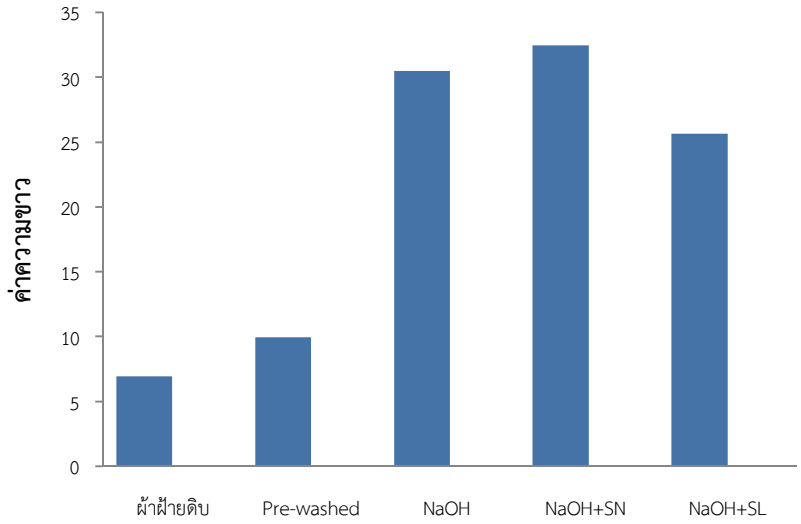
ภาพที่ 30 ปฏิกิริยาสะพอนนิฟิเคชัน



ภาพที่ 31 ผลการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาด

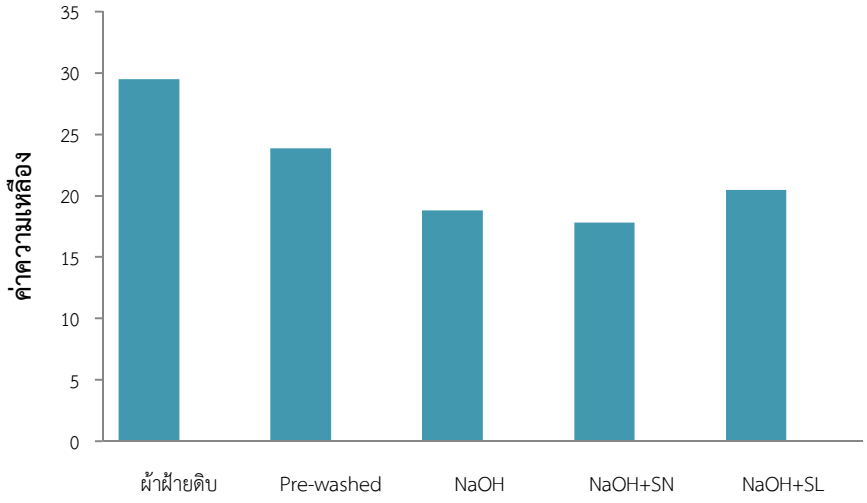
การกำจัดขี้ผึ้งบนผิวของเส้นใยฝ้ายจำเป็นต้องใช้สารช่วยเปียกเพื่อทำให้ขี้ผึ้งกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ แขวนลอยในน้ำด้วยปฏิกิริยาอิมัลซิฟิเคชัน (Emulsification) (Doshi and Shelke., 2001) งานวิจัยนี้ใช้ซาโปนินที่สกัดได้จากผลประคำดีควาย (SN) และรากชะเอมเทศ (SL) เป็นสารช่วยเปียกในการกำจัดขี้ผึ้ง จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อปริมาณการใช้ซาโปนินเพิ่มสูงขึ้น ผ้าฝ้ายจะสามารถดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น โดยภาวะในการทำความสะอาดผ้าฝ้ายที่ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (น้อยกว่า 5 วินาที) คือ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 ของ

น้ำหนักผ้า (1.3 กรัมต่อลิตร) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีแล้วต่อด้วยการใช้ซาโปนินที่สกัดจากผลประคำดีควาย (SN) หรือรากชะเอมเทศ (SL) ร้อยละ 40 ของน้ำหนักผ้า (13.3 กรัมต่อลิตร) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที



ภาพที่ 32 ค่าความขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาด

ผลการวัดค่าความขาวและความเหลืองของผ้าแสดงดังภาพที่ 32 และภาพที่ 33 จะเห็นได้ว่าความขาวของผ้าฝ้าย Pre-washed และผ้าฝ้ายที่ทำความสะอาดด้วยสารละลายด่าง (NaOH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นและความเหลืองของผ้าทั้ง 2 ชนิดจะมีค่าลดลง เนื่องจากสีธรรมชาติบางส่วนได้ถูกกำจัดออก แต่เมื่อผ่านกระบวนการทำความสะอาดผ้าขั้นตอนที่ 2 ด้วยสารซาโปนินทั้ง 2 ชนิด พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยซาโปนินจากรากชะเอมเทศ (SL) จะมีความขาวลดลงและมีความเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าที่ผ่านการทำความสะอาดขั้นตอนแรกด้วยสารละลายด่าง (NaOH) แต่เมื่อใช้ซาโปนินจากผนังผลประคำดีควาย (SN) ในการทำความสะอาดไม่ส่งผลต่อค่าความขาวและความเหลืองของผ้าที่ผ่านการทำความสะอาด เนื่องจากซาโปนินจากรากชะเอมเทศเมื่อละลายน้ำจะให้สารละลายสีน้ำตาลและมีความหนืดเล็กน้อย เนื่องจากมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ (Duke., 1985) ซึ่งสีบางส่วนในสารละลายสามารถติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดได้



ภาพที่ 33 ค่าความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาด

4. ผลการศึกษาการใช้ซาโปนินเป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์

การย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม คือ การย้อมสีดิสเพิร์สร่วมกับสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส (Siriphet *et al.,* 2013) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำซาโปนินจากรากชะเอมเทศมาใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวสำหรับการย้อมสีดิสเพิร์ส ซึ่งซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายไม่สามารถเป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านอุณหภูมิการใช้งานไม่ควรใช้งานเกิน 70 องศาเซลเซียส สีดิสเพิร์สทางการค้าในปัจจุบันนิยมผสมสารช่วยกระจายตัวร่วมกับผงสีเพื่อให้การย้อมทำได้ง่ายขึ้น (Sadeghi-Kiakhani and Gharajig., 2015) สีดิสเพิร์สที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ Dianix Navy S-G (DB) ซึ่งมีเฉดสีน้ำเงิน เมื่อทำการสกัดสารช่วยกระจายตัวด้วยคลอโรเบนซีน (Tsatsaroni and Eleftheriadis., 2014) พบว่าสี Dianix Navy S-G จะมีส่วนของผงสีอยู่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

ผลการย้อมผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยสีดิสเพิร์สชนิด DB และ DB_N (ชนิดที่สกัดสารช่วยกระจายตัว) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แสดงในตารางที่ 23 ผลการสังเกตความสม่ำเสมอของการติดสีดิสเพิร์สชนิด DB พบว่าผ้าพอลิเอสเตอร์มีการติดสีย้อมอย่างสม่ำเสมอภายใต้แสงไฟ D65 เมื่อทำการย้อมทั้งในภาวะที่มี และไม่มีสารช่วยกระจายตัว (Sera sperse)

ตารางที่ 23 ผลการย้อมผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยสีดิสเพิร์ส

สี	ชนิดสารช่วยกระจาย	L*	a*	b*	K/S	
DB	-	42.65	-5.54	-24.78	6.06	
	Sera Sperse	44.68	-5.66	-24.48	5.18	
DB_N	-	43.42	-5.20	-24.94	5.66	
	Sera Sperse	51.29	-5.74	-23.40	3.17	
	SL	47.11	-6.56	-19.15	3.96	

ผลการย้อมสี DB_N บนผ้าพอลิเอสเตอร์พบว่าในการย้อมสี DB_N โดยไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัวร่วมในการย้อมผ้าพอลิเอสเตอร์จะมีการติดสีที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งผืนผ้า แต่เมื่อทำการเติมสารช่วยกระจายตัวร่วมในการย้อมจะช่วยทำให้ความสม่ำเสมอบนผ้าพอลิเอสเตอร์ดีขึ้น โดยการใช้สารช่วยกระจายตัวทางการค้า (Sera Sperse) ปริมาณ 10 กรัมต่อลิตร จะให้ความสม่ำเสมอบนผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ดีกว่าการใช้ซาโปนินจากรากชะเอมเทศ (SL) ปริมาณ 20 กรัมต่อลิตร เล็กน้อย เฉดสีบนผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ผ่านการย้อมด้วยสี DB_N ร่วมกับสารช่วยกระจายตัวทั้ง 2 ชนิดจะมีความแตกต่างกัน โดยผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ย้อมด้วยสี DB_N ร่วมกับสารช่วยกระจายตัวทางการค้าจะให้เฉดสีน้ำเงินที่สว่างและสดใส ในขณะที่ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ย้อมด้วยสี DB_N ร่วมกับซาโปนินจากรากชะเอมเทศจะให้สีน้ำเงินที่มีความทึม (Dull) ไม่สดใสใกล้เคียงกับผ้าเฉดสีธรรมชาติ

ผลการศึกษาความคงทนของสีต่อการซักบนผ้าพอลิเอสเตอร์แสดงในตารางที่ 24 การย้อมสีดิสเพิร์ส (DB_N) โดยไม่มีสารช่วยกระจายตัวเลยจะมีความคงทนของสีต่อการซักต่ำ ซึ่งการเติมสาร

ช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์สจะช่วยเพิ่มความคงทนของสีบนผ้าพอลิเอสเตอร์ให้สูงขึ้นได้ (Sadeghi-Kiakhani and Gharajig., 2015) จากผลการวิจัยพบว่าการเติมสารช่วยกระจายตัวทั้งชนิดทางการค้า (Sera Sperse) และซาโปนินที่สกัดได้จากรากชะเอมเทศ (SL) สามารถเพิ่มความคงทนของสีต่อการซักบนผ้าพอลิเอสเตอร์ให้สูงขึ้นได้

ตารางที่ 24 ค่าความคงทนของสีบนผ้าต่อการซัก

สี	สารช่วยกระจาย	Color change	ระดับการเปื้อนติด				
			wool	acrylic	PET	Nylon	ฝ้าย
DB	-	5	5	5	5	5	5
	Sera Sperse	5	5	5	5	5	5
DB_N	-	3	5	5	5	5	5
	Sera Sperse	5	5	5	5	5	5
	SL	4/5	5	5	5	5	5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. สามารถสกัดซาโปนินจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศด้วยน้ำได้ โดยผนังผลประคำดีควายประกอบด้วยซาโปนินร้อยละ 55.08 โดยน้ำหนักและรากชะเอมเทศประกอบด้วยซาโปนินร้อยละ 20.09 โดยน้ำหนัก

2. ซาโปนินที่สกัดทั้ง 2 ชนิดมีสมบัติดังนี้

- ผงซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควาย (SN) มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ละลายน้ำดี มีฟองมาก ค่าแรงตึงผิวเท่ากับ 54.67 มิลลินิวตันต่อเมตร และค่า CMC เท่ากับ 6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้งานได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส

- ผงซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศ (SL) มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ละลายน้ำดี มีฟองน้อย ค่าแรงตึงผิวเท่ากับ 51.50 มิลลินิวตันต่อเมตร และค่า CMC เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้งานได้อุณหภูมิสูง 95 องศาเซลเซียส

3. ซาโปนินทั้ง 2 ชนิด (SN และ SL) สามารถทำการลอกกาวไหม 3 ชนิด (ไหมจุลและไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ทั้ง 2 ชนิด) ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนตด้วยวิธีการดังนี้ ทำการลอกกาวไหมขั้นตอนแรกด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นทำการลอกกาวไหมต่อด้วยซาโปนินที่สกัดจากประคำดีควายและรากชะเอมเทศ ที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

4. ไหมจากบริษัทจุลไหมไทยจะมีประมาณเซริซินหรือกาวไหมต่ำกว่าไหมหนึ่งและไหมสองพันธุ์เหลืองไพโรจน์ ตามลำดับ

5. ซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควายและรากชะเอมเทศช่วยทำให้เส้นไหมที่ได้จากการลอกกาวดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรงและการยืดตัวของเส้นไหม

6. ซาโปนินทั้ง 2 ชนิด (SN และ SL) สามารถทำความสะอาดผ้าฝ้ายถักร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนตด้วยวิธีการดังนี้ ทำการต้มผ้าฝ้ายในน้ำเดือนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำมาทำความสะอาดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 ของน้ำหนักผ้า (1.3 กรัมต่อลิตร) ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และทำความสะอาดในขั้นตอนสุดท้ายด้วยซาโปนินที่สกัดได้จากประคำดีควายและรากชะเอมเทศร้อยละ 40 ของน้ำหนักผ้า (13.3 กรัมต่อลิตร) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจะมีค่าการดูดซึมน้ำผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

7. ซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศสามารถนำมาใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์ซึ่งจะช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อการซักให้กับผ้าพอลิเอสเตอร์ได้ และทำให้ผ้าพอลิเอสเตอร์มีเฉดสีในโทนของสีธรรมชาติมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาซาโปนินสามารถสกัดได้จากพืชหลายชนิด พืชแต่ละชนิดมีปริมาณและชนิดของซาโปนินที่ต่างกัน จึงควรนำซาโปนินจากกากถั่วเหลืองมาใช้งานในกระบวนการสิ่งทอ เนื่องจากซาโปนินที่สกัดได้จากกากถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นสารละลายสีขาว จึงไม่น่าส่งผลต่อเฉดสีบนผ้า และยังเพิ่มมูลค่าให้กับกากถั่วเหลืองทีเหลือทิ้งในอุตสาหกรรม

2. ทำการศึกษาซาโปนินที่สกัดได้จากผนังผลประคำดีควายและรากชเอมเทศเป็นสารช่วยกระจายตัวในการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์ เนื่องจากในงานวิจัยได้ทำการทดลอดย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์ในเฉดสีน้ำเงินเพียงอย่างเดียว เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของซาโปนินในการเป็นสารช่วยกระจายตัวจึงควรจะศึกษาการย้อมสีดิสเพิร์สบนผ้าพอลิเอสเตอร์ในเฉดสีอื่นๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประมวล. 2553. **สารสนเทศพร้อมใช้ซาโปนิน (Saponins).** แหล่งที่มา: สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 23 กรกฎาคม 2556

เดลินิวส์. 2555. **ไหมพันธุ์ไทยลูกผสม.** (แหล่งที่มา): http://m.dailynews.co.th 9 พฤษภาคม 2555.

ธีระพงศ์ ไชยเฉลิมวงศ์. **เทคโนโลยีสิ่งทอ (Textile Technology).** ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. กรุงเทพฯ

มีคณา.2557. **สมุนไพรไม้เป็นยา : ชะเอมเทศ สุดยอดสมุนไพรขจัดพิษ ต้านอักเสบ.** แหล่งที่มา: http://www.manager.co.th, 2 กรกฎาคม 2557

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม. 2542**. หนังสือพจนานุกรมสมุนไพรไทย**, พิมพ์ครั้งที่ 5. โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ: 445-446

วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน. 2550. **เทคโนโลยีสิ่งทอเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทคราฟแมนเพรส จำกัด. กรุงเทพฯ

สำนักงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. 2557. **ประคำดีควาย.** แหล่งที่มา: www.rspg.or.th. 18 เมษายน 2557

สุนทรี สิงหบุตรา. 2536. **สรรพคุณสมุนไพร 200 ชนิด**. พิมพ์ครั้งที่ 1 โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์. กรุงเทพฯ

Balakrishnan, S. , S. Varughese and A. P. Deshpande 2006. Micellar characterisation of saponin from Sapindus mukorossi. **Tenside Surfactants Detergents**. 43(5): 262-268.

Biolinscientific. 2014. Contact Angle Measurement**.** Available Source: http://www.biolinscientific.com

Burkinshaw, S.M. 1995. **Chemical Principles of synthetic fiber dyeing**. Blachie Academic and professional. Glasgoe.UK

Cao T. T., Y. J. Wang and Y. Q. Zhang 2013. Effect of strongly alkaline electrolyzed water on silk degumming and the physical properties of the fibroin fiber. **PloS one**. 8 (6)

Chanda Vongsombatha, Hugo J. de Boera and Katinka Plssona, 2011 Keeping leeches at bay: Field evaluation of plant-derived extracts against terrestrial blood-sucking leeches (Haemadipsidae) in Lao PDR. **Acta Tropica Acta Tropica**. 119: 178– 182

Doshi, R. and V. Shelke. 2001. Enzymes in textile industry-An environment-friendly approach. **INDIAN JOURNAL OF FIBRE AND TEXTILE RESEARCH**.26(1): 202-20

Duke J. A. 1981. **Handbook of Legumes of World Economic Importance**. Plenum Press, New York.

El Shafie, A., M. M. Fouda and M. Hashem. 2009. One-step process for bio-scouring and peracetic acid bleaching of cotton fabric. **Carbohydrate Polymers**.78(2): 302-308.

Fenwick G.R. 1990. **Liquorice, *Glycyrrhiza glabra* L.-Composition, Uses and Analysis**. Elsevier Science Publishers Ltd, England. 119-143

Freddi, G., R. Mossottiand and R. Innocenti. 2003. Degumming of silk fabric with several proteases. **Journal of biotechnology**. 106(1): 101-112.

Fujimoto.T. 1985. **New Intreduction to Surface Activer Agents**. SANYO Chemical Industries, LTD., Japan.

Gulrajani, M.L. 1993. **Chemical Processing of Silk**. New York: Indian Institute of Technology.

Hostettmanin K. and A. Maraton 1995. **Saponin**. Chemistry and pharmacology of natural products Cambridge University Press.

Jakob H. Waterborg. 2002. **The Protein protocols Handbook** , 2nd Edition, Hardcover Press Inc., Totowa, NJ

Kalantzi, S., D. Kekos and D. Mamma. 2013. Physichochemical and low stress mechanical properties of silk fabrics degummed by Enzymes. **INTECH Open Access Publisher.**

Kitagawa, I. 2002. Licorice root. A natural sweetener and an important ingredient in Chinese medicine. **Pure and applied chemistry.** 74(7): 1189-1198.

Koh, J. 2011. **Dyeing with disperse dyes.** INTECH Open Access Publisher. South Korea.

Kurniawan Alfin, Hogiartha Sutiono, Yi-Hsu Ju, Felycia Edy Soetaredjo, Aning Ayucitra, Aditya Yudha, Suryadi Ismadji. 2010. Utilization of rarasaponin natural surfactant for organobentonite preparation: Application for methylene blue removal from aqueous effluent. **Micrporous and Mesoporous Materials.** 142, 184-193

Li Y. and I.R. Hardin. 1977. Enzymatic Scouring of Cotton: Effect on Structure and Properties. **Textile Chemist and Colorist**. 29: 71-76

Mamata B Sarma, Subrata Borgohain Gogoi, Depali Devi and B Goswami. 2012. Degumming of muga silk fabric by biosurfactant. **Journal of scientific& industrial research.** 270-272

Mangesh D. Teli, and Vaishali M. Rane. 2011. Comparative Study of the Degumming of Mulberry, Muga, Tasar and Ericream **Silk FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**. 19 (2): 10-14

Ozalem guclu – ustuadag and Gluseppe mazza. 2007. Saponins: Properties, Application and Processing. **Critical Reviewa in Food Science and Nuturtion** 47: 231-258

Peter R.H 1967. **Textile Chemistry Volume II**. Elsevier publishing company

Sadeghi-Kiakhani, M., and K. Gharanjig. 2015. Study of the Influence of Gemini Cationic Surfactants on the Dyeing and Fastness Properties of Polyester Fabrics Using Naphthalimide Dyes. **Journal of Surfactants and Detergents**.18(1): 47-54.

Sae-be, P.U., Sangwatanaroj and H. Punnapayak. 2007. Analysis of the products from enzymatic scouring of cotton. **Biotechnology journal.** 2(3): 316-325.

Sarin,J.L. and M.L. Beri. 1939. Extraction of Saponon from Soap Nut. **Industrial and Engineering Chemistry.** 31

Schramm, L. L., E. N. Stasiuk and D. G. Marangoni. 2003. 2 Surfactants and their applications. **Annual Reports Section" C"(Physical Chemistry)**. 99: 3-48.

Siriphet, B., J. Suesat and P. Suwanruji. 2013. Effect of Dye Dispersion Preparation on Disperse Dyeing Performance on Polyester Fabric. **In Advanced Materials Research.** 610: 534-537

Sothornvit, R., R., Chollakup and P. Suwanruji. 2010. Extracted sericin from silk waste for film formation. **Sonklanakarin Journal of Science and Technology**. 32(1): 17

Teli M. D. and V. M. Rane. 2011. Comparative study of the degumming of Mulberry, Muga, Tasar and Ericream silk. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**.19(2): 85

Tsatsaroni, E. G. and I. C. Eleftheriadis. 2004. UV-absorbers in the dyeing of polyester with disperse dyes. **Dyes and Pigments**. 61(2): 141-147.

Ting-Ting Cao,Yuan-Jing Wang and Yu-Qing Zhang. 2013. **Effect of Strongly Alkaline Electrolyzed Water on SilkDegumming and the Physical Properties of the Fibroin Fiber**. Online: www.plosone.org.

Vargaftik N.B., B.N. Volkov and L.D. Voijak. 1983. Internation Tables of the Surface Tension of Water**. Physics and the American Chemical Society.** 12 (3)

Vivechana Dixit , Jagdish Tewari and S. Kay Obendorf. 2010. **Fungal Growth Inhibition of Regenerated Cellulose Arch Environ Contam Toxicol**. 59:417–423

Waterborg, Jakob H. 2009. The Lowry method for protein quantitation. **The protein protocols handbook**. Humana Press. 7-10

Wina, E., S. Muetzel, E. Hoffmann, H. P. S. Makkar and K. Becker. 2005. Saponins containing methanol extract of Sapindus rarak affect microbial fermentation, microbial activity and microbial community structure in vitro. **Animal Feed Science and Technology**. 121(1): 159-174.

Yamada, H., H. Nakao, Y. Takasu and K. Tsubouchi. 2001. Preparation of undegraded native molecular fibroin solution from silkworm cocoons. **Materials Science and Engineering**: 14(1): 41-46

Yang Ying and David Julian McClements. 2013. Encapsulation of vitamin E in edible emulsions fabricated using a natural surfactant. 30(2): 712-720

Yang Ying, Martin E. Leser, Alexander A. Sher and David Julian Mc Clements. 2013. Formation and stability of emulsions using a natural small molecule surfactant: Quillaja saponin (Q-Naturale®). **Food Hydrocolloids.** 30: 589-596

Yong-woo Lee. 1999**.** Silk reeling and testing manual**. National Sericulture and Entomology Institute.** Seoul, Korea

Yu-Fen Chen, Chao-Hsun Yang, Ming-Shiang Chang, Yong-Ping Ciou and Yu-Chun Huang. 2010**.** Foam Properties and Detergent Abilities of the Saponins from *Camellia oleifera*. **International Journal of Molecular Sciences**

.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าแรงตึงผิวซาโปนินที่สกัดจากผนังผลประคำดีควาย

(I) ค่าความเข้มข้น (%)	(J) ค่าความเข้มข้น (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	.10	12.0000(*)	.38832	.000	11.1671	12.8329
	.20	14.3333(*)	.38832	.000	13.5005	15.1662
	.30	15.0000(*)	.38832	.000	14.1671	15.8329
	.60	17.3333(*)	.38832	.000	16.5005	18.1662
	.80	17.1667(*)	.38832	.000	16.3338	17.9995
	.90	18.6667(*)	.38832	.000	17.8338	19.4995
.10	.00	-12.0000(*)	.38832	.000	-12.8329	-11.1671
	.20	2.3333(*)	.38832	.000	1.5005	3.1662
	.30	3.0000(*)	.38832	.000	2.1671	3.8329
	.60	5.3333(*)	.38832	.000	4.5005	6.1662
	.80	5.1667(*)	.38832	.000	4.3338	5.9995
	.90	6.6667(*)	.38832	.000	5.8338	7.4995
.20	.00	-14.3333(*)	.38832	.000	-15.1662	-13.5005
	.10	-2.3333(*)	.38832	.000	-3.1662	-1.5005
	.30	.6667	.38832	.108	-.1662	1.4995
	.60	3.0000(*)	.38832	.000	2.1671	3.8329
	.80	2.8333(*)	.38832	.000	2.0005	3.6662
	.90	4.3333(*)	.38832	.000	3.5005	5.1662
.30	.00	-15.0000(*)	.38832	.000	-15.8329	-14.1671
	.10	-3.0000(*)	.38832	.000	-3.8329	-2.1671
	.20	-.6667	.38832	.108	-1.4995	.1662
	.60	2.3333(*)	.38832	.000	1.5005	3.1662
	.80	2.1667(*)	.38832	.000	1.3338	2.9995
	.90	3.6667(*)	.38832	.000	2.8338	4.4995

ตารางที่ 1 (ต่อ)

(I) ค่าความเข้มข้น (%)	(J) ค่าความเข้มข้น (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.60	.00	-17.3333(*)	.38832	.000	-18.1662	-16.5005
	.10	-5.3333(*)	.38832	.000	-6.1662	-4.5005
	.20	-3.0000(*)	.38832	.000	-3.8329	-2.1671
	.30	-2.3333(*)	.38832	.000	-3.1662	-1.5005
	.80	-.1667	.38832	.674	-.9995	.6662
	.60	.1667	.38832	.674	-.6662	.9995
	.90	1.5000(*)	.38832	.002	.6671	2.3329
.90	.00	-18.6667(*)	.38832	.000	-19.4995	-17.8338
	.10	-6.6667(*)	.38832	.000	-7.4995	-5.8338
	.20	-4.3333(*)	.38832	.000	-5.1662	-3.5005
	.30	-3.6667(*)	.38832	.000	-4.4995	-2.8338
	.60	-1.3333(*)	.38832	.004	-2.1662	-.5005
	.80	-1.5000(*)	.38832	.002	-2.3329	-.6671

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าแรงตึงผิวซาโปนินที่สกัดจากรากชะเอมเทศ

(I) ค่าความเข้มข้น (%)	(J) ค่าความเข้มข้น (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.05	.10	7.5000(*)	.45013	.000	6.5503	8.4497
	.20	12.1667(*)	.45013	.000	11.2170	13.1164
	.30	13.1667(*)	.45013	.000	12.2170	14.1164
	.40	16.0000(*)	.45013	.000	15.0503	16.9497
	.50	17.6667(*)	.45013	.000	16.7170	18.6164
	.90	19.3333(*)	.50326	.000	18.2716	20.3951
	1.00	20.8333(*)	.45013	.000	19.8836	21.7830
	1.50	20.6667(*)	.45013	.000	19.7170	21.6164
.10	.05	-7.5000(*)	.45013	.000	-8.4497	-6.5503
	.20	4.6667(*)	.45013	.000	3.7170	5.6164
	.30	5.6667(*)	.45013	.000	4.7170	6.6164
	.40	8.5000(*)	.45013	.000	7.5503	9.4497
	.50	10.1667(*)	.45013	.000	9.2170	11.1164
	.90	11.8333(*)	.50326	.000	10.7716	12.8951
	1.00	13.3333(*)	.45013	.000	12.3836	14.2830
	1.50	13.1667(*)	.45013	.000	12.2170	14.1164
.20	.05	-12.1667(*)	.45013	.000	-13.1164	-11.2170
	.10	-4.6667(*)	.45013	.000	-5.6164	-3.7170
	.30	1.0000(*)	.45013	.040	.0503	1.9497
	.40	3.8333(*)	.45013	.000	2.8836	4.7830
	.50	5.5000(*)	.45013	.000	4.5503	6.4497
	.90	7.1667(*)	.50326	.000	6.1049	8.2284
	1.00	8.6667(*)	.45013	.000	7.7170	9.6164
	1.50	8.5000(*)	.45013	.000	7.5503	9.4497
.30	.05	-13.1667(*)	.45013	.000	-14.1164	-12.2170
	.10	-5.6667(*)	.45013	.000	-6.6164	-4.7170
	.20	-1.0000(*)	.45013	.040	-1.9497	-.0503
	.40	2.8333(*)	.45013	.000	1.8836	3.7830

ตารางที่ 2 (ต่อ)

(I) ค่าความเข้มข้น (%)	(J) ค่าความเข้มข้น (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
	.50	4.5000(*)	.45013	.000	3.5503	5.4497
	.90	6.1667(*)	.50326	.000	5.1049	7.2284
.30	1.00	7.6667(*)	.45013	.000	6.7170	8.6164
	1.50	7.5000(*)	.45013	.000	6.5503	8.4497
.40	.05	-16.0000(*)	.45013	.000	-16.9497	-15.0503
	.10	-8.5000(*)	.45013	.000	-9.4497	-7.5503
	.20	-3.8333(*)	.45013	.000	-4.7830	-2.8836
	.30	-2.8333(*)	.45013	.000	-3.7830	-1.8836
	.50	1.6667(*)	.45013	.002	.7170	2.6164
	.90	3.3333(*)	.50326	.000	2.2716	4.3951
	1.00	4.8333(*)	.45013	.000	3.8836	5.7830
	1.50	4.6667(*)	.45013	.000	3.7170	5.6164
.50	.05	-17.6667(*)	.45013	.000	-18.6164	-16.7170
	.10	-10.1667(*)	.45013	.000	-11.1164	-9.2170
	.20	-5.5000(*)	.45013	.000	-6.4497	-4.5503
	.30	-4.5000(*)	.45013	.000	-5.4497	-3.5503
	.40	-1.6667(*)	.45013	.002	-2.6164	-.7170
	.90	1.6667(*)	.50326	.004	.6049	2.7284
	1.00	3.1667(*)	.45013	.000	2.2170	4.1164
	1.50	3.0000(*)	.45013	.000	2.0503	3.9497
.90	.05	-19.3333(*)	.50326	.000	-20.3951	-18.2716
	.10	-11.8333(*)	.50326	.000	-12.8951	-10.7716
	.20	-7.1667(*)	.50326	.000	-8.2284	-6.1049
	.30	-6.1667(*)	.50326	.000	-7.2284	-5.1049
	.40	-3.3333(*)	.50326	.000	-4.3951	-2.2716
	.50	-1.6667(*)	.50326	.004	-2.7284	-.6049
	1.00	1.5000(*)	.50326	.008	.4382	2.5618
	1.50	1.3333(*)	.50326	.017	.2716	2.3951

ตารางที่ 2 (ต่อ)

(I) ค่าความเข้มข้น (%)	(J) ค่าความเข้มข้น (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	.05	-20.8333(*)	.45013	.000	-21.7830	-19.8836
	.10	-13.3333(*)	.45013	.000	-14.2830	-12.3836
	.20	-8.6667(*)	.45013	.000	-9.6164	-7.7170
	.30	-7.6667(*)	.45013	.000	-8.6164	-6.7170
	.40	-4.8333(*)	.45013	.000	-5.7830	-3.8836
	.50	-3.1667(*)	.45013	.000	-4.1164	-2.2170
	.90	-1.5000(*)	.50326	.008	-2.5618	-.4382
	1.50	-.1667	.45013	.716	-1.1164	.7830
1.50	.05	-20.6667(*)	.45013	.000	-21.6164	-19.7170
	.10	-13.1667(*)	.45013	.000	-14.1164	-12.2170
	.20	-8.5000(*)	.45013	.000	-9.4497	-7.5503
	.30	-7.5000(*)	.45013	.000	-8.4497	-6.5503
	.40	-4.6667(*)	.45013	.000	-5.6164	-3.7170
	.50	-3.0000(*)	.45013	.000	-3.9497	-2.0503
	.90	-1.3333(*)	.50326	.017	-2.3951	-.2716
	1.00	.1667	.45013	.716	-.7830	1.1164

* The mean difference is significant at the .05 level.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางสาวอันธิกา หนูช่วย
เกิดวันที่	23 กรกฎาคม 2530
สถานที่เกิด	พัทลุง
ประวัติการศึกษา	วท. บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ) ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/รางวัลทางวิชาการ	รางวัล BEST PAPER จากการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ในงาน 2nd International and Environment Engineering (ICEEE) งานวิจัยชื่อ Scouring Cotton Fabric by Water-Extracted Substance from Soap Nut Fruit and Licorice
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนงานวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2557 สำนักงานวิจัยแห่งชาติ