

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคาลาส่วนลำต้น  
ชื่อและนามสกุล นายสุธา ลอยเดือนฉาย  
แขนงวิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช  
อาจารย์ที่ปรึกษา 1. อาจารย์ ดร.แววนุญ แยมแสงสังข์  
2. อาจารย์ ดร.กัลทิมา เชาวัญชัยกุล

วิทยานิพนธ์นี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 4 ตุลาคม 2560

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรินทร์ ทองแสง)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.แววนุญ แยมแสงสังข์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.กัลทิมา เชาวัญชัยกุล)

..... ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา จันทร์คง)

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การพัฒนาเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคาหลาส่วนลำต้น  
**ผู้วิจัย** นายสุธา ลอยเดือนฉาย **รหัสนักศึกษา** 2589600978 **ปริญญา** วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต  
(เทคโนโลยีอุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) อาจารย์ ดร.แววนุญ แยมแสงสังข์  
(2) อาจารย์ ดร.กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล **ปีการศึกษา** 2562

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องปรับปรุงเส้นใยคาหลาส่วนลำต้น ทำการเปรียบเทียบสมบัติเส้นใยคาหลาที่ได้จากเครื่องจักรต้นแบบและเส้นใยคาหลาที่ได้จากวิธีเคมีแบบดั้งเดิม และศึกษาระยะเวลา ต้นทุนการผลิต แรงงานในการผลิต รวมถึงประเมินความพึงพอใจในการใช้เครื่องจักร

วิธีดำเนินการวิจัย มี 3 ขั้นตอน คือ (1) ออกแบบและพัฒนาเครื่องปรับปรุงเส้นใย (2) ทดสอบสมบัติของเส้นใย ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี กล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานรังสีเอ็กซ์ เครื่องทดสอบแรงดึง และวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย (3) ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักรและความพึงพอใจในการใช้เครื่องจักร

ผลการวิจัยพบว่า (1) เครื่องปรับปรุงเส้นใย ประกอบด้วยชุดปรับสภาพเส้นใยและชุดส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 745 วัตต์ (2) การใช้เครื่องปรับปรุงเส้นใย ที่ขนาดแรงกด 4 บาร์ เวลา 10 นาที มีค่าการรับแรงดึงสูงกว่าวิธีเคมี โดยเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรต้นแบบและเส้นใยที่ได้จากวิธีเคมีมีค่าการรับแรงดึงเท่ากับ 147 และ 109 เซ็นตินิวตัน ตามลำดับ ที่สภาวะเดียวกันเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรต้นแบบมีขนาดเล็กกว่าที่ได้จากวิธีเคมี โดยเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรต้นแบบและเส้นใยที่ได้จากวิธีเคมีมีขนาดเท่ากับ 0.006 และ 0.008 มิลลิเมตร ตามลำดับ เส้นใยคาหลาที่ได้จากเครื่องจักรต้นแบบและวิธีเคมี มีลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยในรูปแบบเดียวกัน (3) เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเส้นใยด้วยเครื่องจักรต้นแบบกับวิธีเคมี ต่อการผลิตเส้นใย 1 ยูนิท พบว่าการผลิตด้วยเครื่องจักร ใช้เวลา แรงงานและต้นทุนน้อยกว่าการผลิตด้วยวิธีเคมี โดยมีจุดคุ้มทุนที่ 210.5 กิโลกรัมเส้นใย และความพึงพอใจในการใช้เครื่องจักรอยู่ในระดับมากที่สุด

**คำสำคัญ** เครื่องปรับปรุงเส้นใย คาหลา สิ่งทอ

**Thesis title:** Development of Machine of Improving Fineness of Dala Fiber from Stalk

**Researcher:** Mr. Sutha Loidueanchai; **ID:** 2589600978;

**Degree:** Master of Science (Industrial Technology);

**Thesis advisors:** (1) Dr. Weawboon Yamsaengsung; (2) Dr. Kantima Chaochanchaikul; **Academic year:** 2019

### Abstract

The objectives of this research are the development of a prototype machine to improve fineness of Dala (*Etilingera elatior*) fiber from stalk and compare the fiber properties from the machine and the traditional chemical method. Production time, cost of production, labor and satisfaction of the user are also studied.

Research methods composed of three steps were (1) designing and developing the fiber fineness-improving machine; (2) testing the fibers properties by using tensile testing machine, chemical compositions of fibers, microscope, Scanning Electron Microscopy, and Energy dispersive X-ray analysis, and (3) evaluate the efficiency of the machine and user satisfaction.

The results showed that (1) the fiber fineness-improving machine composed of the fiber fineness-improving unit and a 745 watt electric driver motor unit (2) operating at a pressure of 4 bars for 10 minutes operation time produced higher tensile strength than the chemical method. The tensile strength of fibers from the machine and chemical method were 145 and 109 centinewton respectively. Under the same condition, the fiber produced from the machine had smaller size than chemical method. The size of fibers from the machine and chemical method were 0.006 millimeter and 0.008 millimeter respectively. Fiber distribution pattern were same for both techniques. (3) When compared between machine and chemical method for one unit of production, the machine method lowered the production time, the number of human labor and the production cost. Breakeven point of the fiber fineness-improving machine was 210.5 kilogram of fiber. The user satisfaction of the fiber fineness improving machine was very high.

**Keywords:** fiber machine, Dala, textile

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคลากรแขนงต่างๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนทั้งด้านข้อมูลวิชาการ เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ทางผู้จัดทำงานวิจัย จึงขอขอบพระคุณคณาจารย์ และหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.แววนุญ แยมแสงสังข์ และ อาจารย์ ดร.กัลทิมา เชาวน์ชาญกุล ที่ได้กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความทุ่มเททั้งการปรึกษาแนะนำ และกำลังใจ ในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ศิรินทร ทองแสง ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำที่ผู้วิจัยจะได้ไปปฏิบัติให้เกิดประโยชน์ต่อไป

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ สายวิชาเทคโนโลยี วัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์เส้นใย และทีมงานห้องวิจัยทุกๆท่าน

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรณราย รักษ์งาร ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อาจารย์สาลินี ศรีวงษ์ชัย คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว ที่ให้คำแนะนำความรู้และความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ทดสอบเส้นใย

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยที่เป็นแรงบันดาลใจและกำลังใจ ให้ผู้วิจัยมีความมุ่งมั่นในการศึกษาปริญญาโทครั้งนี้ ผู้วิจัยจะนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ให้เกิดประโยชน์ หากมีความผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

สุธา ลอยเดือนฉาย

ตุลาคม 2560

# การพัฒนาเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคาล่าส่วนลำต้น

นายสุธา ลอยเดือนฉาย

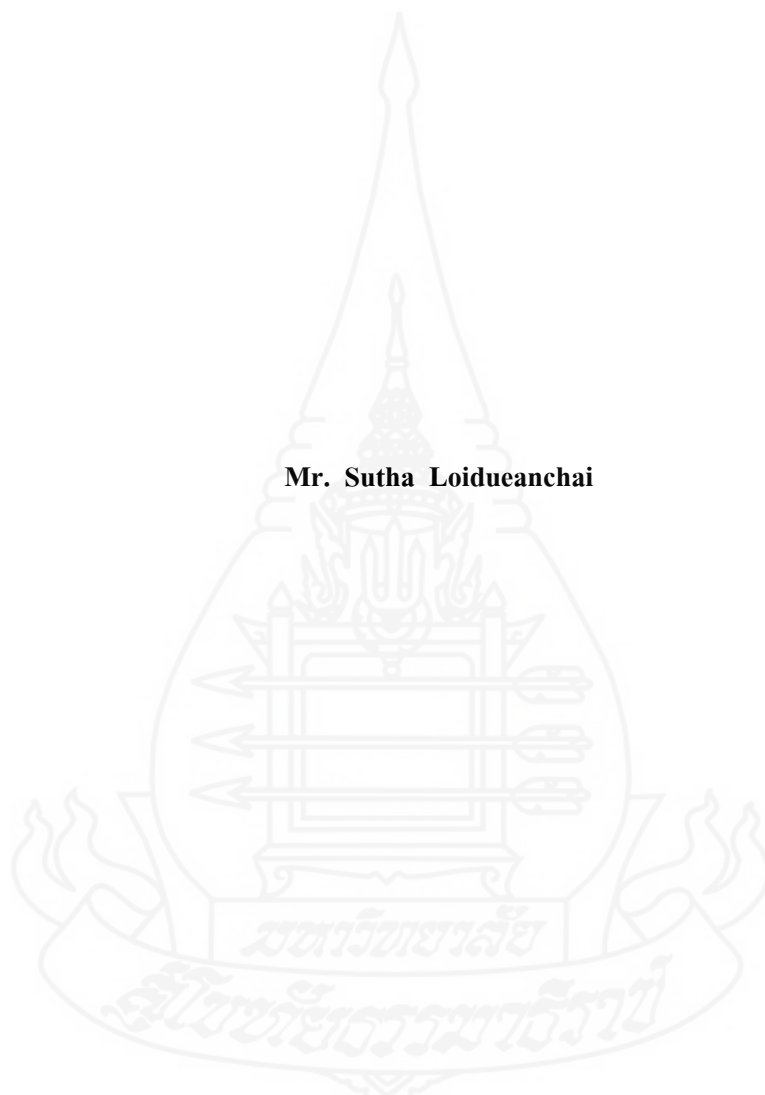


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
แขนงวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

พ.ศ. 2562

# **Development of Machine of Improving Fineness of Dala Fiber from Stalk**

**Mr. Sutha Loidueanchai**



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for  
the Degree of Master of Science in Industrial Technology

School of Science and Technology

Sukhothai Thammathirat Open University

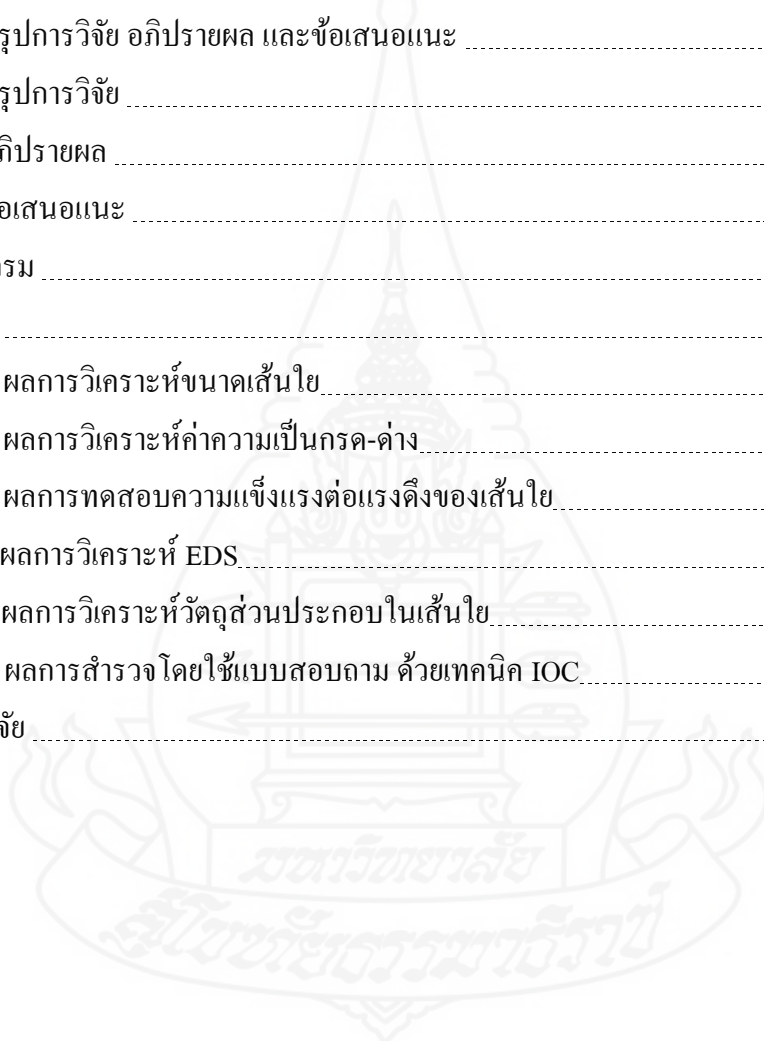
2019

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย .....	2
ขอบเขตของการวิจัย .....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	5
ข้อมูลพื้นฐานของดาหลา .....	5
เส้นใยธรรมชาติ .....	7
เส้นใยสิ่งทอ .....	13
สมบัติของเส้นใยสิ่งทอสำหรับงานทั่วไป .....	15
การปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติจากพืช .....	22
การทดสอบสมบัติของเส้นใยธรรมชาติ .....	23
การทดสอบสมบัติของเส้นใยธรรมชาติ .....	30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	36
วัสดุที่ใช้ในการวิจัย .....	36
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	36
วิธีการทดลอง .....	44
การทดสอบปรับปรุงเส้นใยดาหลาด้วยเครื่องจักร .....	55
การเก็บรวบรวมข้อมูล .....	56
การวิเคราะห์ข้อมูล .....	56

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	57
การศึกษาสมบัติของเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย .....	57
การศึกษาสมบัติของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด .....	62
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	79
สรุปการวิจัย .....	79
อภิปรายผล .....	80
ข้อเสนอแนะ .....	82
บรรณานุกรม .....	84
ภาคผนวก .....	88
ก ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นใย .....	89
ข ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง .....	101
ค ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นใย .....	103
ง ผลการวิเคราะห์ EDS .....	114
จ ผลการวิเคราะห์วัตถุส่วนประกอบในเส้นใย .....	147
ฉ ผลการสำรวจโดยใช้แบบสอบถาม ด้วยเทคนิค IOC .....	149
ประวัติผู้วิจัย .....	157





สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบที่สำคัญของเส้นใยฝ้าย ..... 8
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสภายในพืช ..... 12
ตารางที่ 2.3	อัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยสิ่งทอ ..... 13
ตารางที่ 2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นใยกับขนาดของเส้นด้าย ..... 16
ตารางที่ 2.5	ค่าความคงทนต่อการขัดถูของเส้นใยชนิดต่างๆ ..... 17
ตารางที่ 2.6	ค่าความละเอียดของเส้นใยเป็นไมโครแแนร์ ..... 31
ตารางที่ 4.1	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตระหว่างการใช้เครื่องจักรกับวิธีเคมี ..... 59
ตารางที่ 4.2	สรุปการสำรวจความคิดเห็นในการใช้งานเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด ของเส้นใย ..... 61
ตารางที่ 4.3	ลักษณะที่ปรากฏขณะทำการปรับปรุงความละเอียดเส้นใยด้ายด้วย เครื่องจักร ..... 64
ตารางที่ 4.4	ค่าความละเอียดของเส้นใยด้ายที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมี ..... 65
ตารางที่ 4.5	ธาตุที่พบในเส้นใยด้ายโดยเทคนิค SEM-EDS ..... 74



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ดาหลา.....	6
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเส้นใยฝ้าย .....	8
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างเส้นใยขนสัตว์ .....	9
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างเส้นใยไหม.....	10
ภาพที่ 2.5 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส.....	11
ภาพที่ 2.6 ฐานฐานวิทยาของโพลีเมอร์.....	15
ภาพที่ 2.7 ลักษณะภาคตัดขวางและผิวของเส้นใยชนิดต่างๆ .....	18
ภาพที่ 2.8 แผนภาพการออกแบบที่มีวงป้อนกลับ.....	23
ภาพที่ 2.9 การใช้โปรแกรม CAD ช่วยในการออกแบบ.....	25
ภาพที่ 2.10 การส่งถ่ายกำลังของเฟือง.....	26
ภาพที่ 2.11 การส่งกำลังด้วยโซ่.....	27
ภาพที่ 2.12 การส่งกำลังด้วยสายพาน.....	27
ภาพที่ 2.13 การส่งกำลังด้วยคัปปลิ่ง.....	28
ภาพที่ 2.14 การส่งกำลังด้วยเพลลา.....	29
ภาพที่ 2.15 การส่งกำลังด้วยลูกเบี้ยว.....	29
ภาพที่ 2.8 เครื่องทดสอบความละเอียดของเส้นใยฝ้าย .....	30
ภาพที่ 3.1 เครื่องตีเส้นใย.....	37
ภาพที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์แบบเชื่อมต่อแสดงภาพในคอมพิวเตอร์ .....	38
ภาพที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแบบฟิลด์อิมิชชัน .....	39
ภาพที่ 3.4 การเตรียมตัวอย่างเส้นใยสำหรับทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใย .....	39
ภาพที่ 3.5 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	40
ภาพที่ 3.6 เครื่องทดสอบความละเอียดของเส้นใย .....	41
ภาพที่ 3.7 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทดลอง .....	44
ภาพที่ 3.8 แบบร่างขนาดและตำแหน่งอุปกรณ์ของเครื่องจักรต้นแบบ.....	48
ภาพที่ 3.9 แบบร่างลักษณะของเครื่องจักรต้นแบบ.....	48
ภาพที่ 3.10 มอเตอร์กระแสสลับ ขนาด 1 แรงม้า.....	49
ภาพที่ 3.11 แสดงชุดเกียร์บ็อกสำหรับทนมอเตอร์ .....	49

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.12 ชุดลูกกลิ้ง.....	50
ภาพที่ 3.13 ชุดกระบอกลม.....	50
ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์ชุดเฟืองและลูกปืน.....	50
ภาพที่ 3.15 โครงหลักของเครื่องจักร.....	51
ภาพที่ 3.16 การประกอบชุดลูกกลิ้งกดเส้นใย.....	52
ภาพที่ 3.17 การประกอบชุดลูกกลิ้งพาเส้นใย.....	52
ภาพที่ 3.18 การประกอบชุดลูกกลิ้งปรับแรงดึง.....	53
ภาพที่ 3.19 การประกอบชุดมอเตอร์สำหรับส่งกำลัง.....	53
ภาพที่ 3.20 การติดตั้งระบบควบคุม.....	54
ภาพที่ 3.21 การปรับปรุงความละเอียดเส้นใยด้วยเครื่องจักรต้นแบบ.....	55
ภาพที่ 4.1 แบบร่างเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย.....	58
ภาพที่ 4.2 เครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย.....	58
ภาพที่ 4.3 ขนาดเส้นใยดาหลาอบแห้งที่ปรับปรุงความละเอียดด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมี.....	63
ภาพที่ 4.4 เส้นใยดาหลาที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร.....	64
ภาพที่ 4.5 ค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดและวิธีเคมี.....	66
ภาพที่ 4.6 การหักและพับของเส้นใยเส้นใยดาหลาที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร.....	67
ภาพที่ 4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัวของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดและวิธีเคมี.....	68
ภาพที่ 4.8 ลักษณะรอยหัก พับ ของเส้นใยดาหลาที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร.....	69
ภาพที่ 4.9 ชาติที่พบในเส้นใยที่ไม่ปรับปรุงความละเอียดโดยเทคนิค SEM-EDS.....	70
ภาพที่ 4.10 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยวิธีเคมีโดยเทคนิค SEM-EDS.....	70
ภาพที่ 4.11 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 3 บาร์ ระยะเวลา 5 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS.....	70
ภาพที่ 4.12 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 3 บาร์ ระยะเวลา 10 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS.....	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.13 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 3 บาร์ ระยะเวลา 15 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS.....	71
ภาพที่ 4.14 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 4 บาร์ ระยะเวลา 5 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS.....	71
ภาพที่ 4.15 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 4 บาร์ ระยะเวลา 10 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS.....	72
ภาพที่ 4.16 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 4 บาร์ ระยะเวลา 15 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS.....	72
ภาพที่ 4.17 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 5 บาร์ ระยะเวลา 5 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS.....	72
ภาพที่ 4.18 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 5 บาร์ ระยะเวลา 10 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS.....	73
ภาพที่ 4.19 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 5 บาร์ ระยะเวลา 15 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS.....	73
ภาพที่ 4.20 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยคาหลาบแห้งและเส้นใยที่ ปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมี.....	75
ภาพที่ 4.21 ค่า pH ของเส้นใยคาหลาบที่ปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย ด้วยเครื่องจักรและ วิธีเคมี.....	76
ภาพที่ 4.22 เส้นใยคาหลาบที่ปรับปรุงด้วยวิธีเคมีที่ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า.....	77
ภาพที่ 4.23 เส้นใยคาหลาบที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักรที่ปรับเปลี่ยนเวลาที่ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า.....	77
ภาพที่ 4.24 เส้นใยคาหลาบที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักรที่ปรับเปลี่ยนแรงกดที่ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า.....	78

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การตื่นตัวของสังคมด้านสิ่งแวดล้อมที่ขยายมากขึ้น ทำให้ธุรกิจและองค์กรต่างๆ ตระหนักและให้ความสนใจมากขึ้น รวมถึงภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งจำเป็นต้องค้นคว้าวิจัย เพื่อสร้างนวัตกรรมและเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตสิ่งทอให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตอบสนองความต้องการของสังคมและผู้บริโภคที่มีความสนใจต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้องค์กรภาครัฐและองค์กรทางธุรกิจเริ่มต้นศึกษา และพัฒนาเส้นใยธรรมชาติจากพืชต่างๆ เช่น ผักตบชวา ต้น ใผ่ ใบ สับปะรด ต้นคาหลา เป็นต้น

วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเส้นใยคาหลาบ้านนาโอน เกิดจากการรวมกลุ่มของเกษตรกรสตรี ในหมู่ที่ 8 บ้านนาโอน ตำบลเรือเสาะ อำเภอรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส เพื่อผลิตเส้นใยจากต้นคาหลา (*Etilingera elatior* (Jack) R.M. Smith) ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการตัดดอกคาหลาจำหน่ายแล้ว โดยปัจจุบันการผลิตเส้นใยจากลำต้นคาหลาได้รับการส่งเสริมทางวิชาการจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร อำเภอรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส โดยใช้กระบวนการตีแยกเส้นใยคาหลาสดด้วยเครื่องแยกเส้นใยสำหรับพืช แล้วจึงปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคาหลาด้วยวิธีทางเคมี โดยแช่ในสารสกัดเส้นใยเป็นเวลา 6-7 วัน จากนั้นนำเส้นใยคาหลาที่ผ่านการแช่แล้วมาล้างทำความสะอาด และแช่ในสารปรับสภาพให้เส้นใยนุ่มอัตรา 160 มิลลิลิตรต่อน้ำเปล่า 20 ลิตร ระยะเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้เส้นใยนุ่มเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบหรือผสมกับเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ ในการผลิตเป็นเส้นด้ายสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ หลังจากนั้นนำเส้นใยไปตากแดดให้แห้ง แล้วบรรจุถุงรอจำหน่าย ทั้งนี้การปรับสภาพเส้นใยหรือการปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยวิธีเคมี ต้องใช้เวลานาน ใช้แรงงานจำนวนมาก และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งจากเคมีตกค้างในเส้นใยคาหลา และเคมีเหลือทิ้งจากกระบวนการแช่หมัก

จากสภาพปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยจึงได้เสนอโครงการ การปรับสภาพเส้นใยหรือการปรับปรุงความละเอียดเส้นใยคาทาลาโดยใช้เครื่องจักร ซึ่งจะดำเนินการออกแบบพัฒนาและสร้างเครื่องจักรต้นแบบ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาด้านระยะเวลาในการผลิต จำนวนแรงงาน และลดปัญหามลภาวะจากเคมีปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมให้กับกระบวนการผลิตเส้นใยคาทาลาสำหรับ อุตสาหกรรมสิ่งทอต้นน้ำ อีกทั้งยังเป็นการช่วยส่งเสริมอาชีพในชุมชนต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องปรับปรุงเส้นใยคาทาลาส่วนลำต้น
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเส้นใยคาทาลาจากการปรับปรุงด้วยการใช้เครื่องจักรกับวิธีเคมีแบบดั้งเดิม
- 2.3 เพื่อศึกษาด้านระยะเวลา แรงงาน และต้นทุนการผลิต รวมถึงประเมินความพึงพอใจในการใช้เครื่องจักรแทนการใช้สารเคมี

## 3. ขอบเขตของการวิจัย

- 3.1 พัฒนาเครื่องจักรต้นแบบ โดยในการวิจัยนี้ จะออกแบบให้มีการใช้แรงกลเพื่อปรับปรุงเส้นใยคาทาลา ด้วยการใช้ระบบลูกกลิ้ง
- 3.2 การเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างเส้นใยคาทาลา พิจารณาใช้เส้นใยคาทาลาที่ผ่านการตีแยกเส้นใยคาทาลาสดด้วยเครื่องแยกเส้นใยสำหรับพืชจากกระบวนการผลิตขั้นต้นของกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเส้นใยคาทาลาบ้านนาโอน มาเข้ากระบวนการอบไล่ความชื้น และเก็บเป็นตัวอย่างในการทดลอง
- 3.3 การทดสอบสมบัติเส้นใย ประกอบด้วย สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดเส้นใย ความละเอียดของเส้นใย สมบัติทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์ธาตุ องค์ประกอบทางเคมี และความเปราะต่าง สมบัติเชิงกล ค่าการรับแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัว และสมบัติทางสัณฐานวิทยา

#### 4. นิยามศัพท์เฉพาะ

4.1 เส้นใย หมายถึง วัสดุหรือสารใดๆทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้ และต้องเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้า ไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก

4.2 ลีงทอ หมายถึง เส้นใย เส้นด้าย ผ้า หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก เส้นใย เส้นด้าย หรือจากผ้า

4.3 ความละเอียดของเส้นใย หมายถึง ความละเอียด (Fineness) ของเส้นใยเป็นค่าที่ใช้แทน “เส้นผ่านศูนย์กลางหรือขนาดของเส้นใย” ทั้งนี้เพราะเส้นใยผ้าโดยมาก มักจะมีภาคตัดขวางไม่เป็นวงกลม เส้นใยละเอียดที่ใช้สำหรับเสื้อผ้ามีขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 7 ดิเนียร์

4.4 เส้นใยหยาบ หมายถึง เส้นใยสำหรับทำพรมมีขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 15 ถึง 24 ดิเนียร์

4.5 ดิเนียร์ (Denier) หมายถึง เป็นหน่วยการวัดขนาดของเส้นใย โดยเป็นน้ำหนักในหน่วยกรัมของเส้นใยที่มีความยาว 9,000 เมตร เส้นใยที่มีค่าดิเนียร์ต่ำจึงมีความละเอียดมากกว่า เส้นใยที่มีค่าดิเนียร์สูงเนื่องจากมีน้ำหนักน้อยกว่าในความยาวที่เท่ากัน

4.6 เส้นใยธรรมชาติ หมายถึง เส้นใยที่เกิดขึ้นเองโดย ธรรมชาติ เช่น เส้นใยขนสัตว์ เส้นใยจากพืช หรือเส้นใยจากแร่ธาตุต่างๆ

4.7 ความเหนียวของเส้นใย (Fiber Strength) หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความเหมาะสมของเส้นใยที่จะนำไปถักหรือทอ มีหน่วยเป็นกรัม (แรง) ต่อเดเนียลของเส้นใย ถ้าค่าความเหนียวต่ำ เส้นใยจะขาดง่ายจะนำไปทอไม่ได้ เส้นใยที่แข็งแรง ประมาณ 6 – 7 กรัม/เดเนียล จึงจะเหมาะสมกับเครื่องทอที่มีความเร็วสูง

4.8 IOC หมายถึง ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item – Objective Congruence : IOC) เป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามเป็นรายข้อ โดยปกติแล้วการหาค่า IOC จะใช้ดุลยพินิจของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ในการให้คะแนน จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการให้คะแนนแต่ละข้อโดยจะต้องสอดคล้องกับคำตอบของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ แล้วจึงบวกกับคะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนในแต่ละข้อให้แล้วหารด้วยจำนวนผู้เชี่ยวชาญ จึงจะได้ค่า IOC ของคำถามในข้อนั้น ๆ และค่า คะแนนที่ได้ต้องได้คะแนนมากกว่า 0.5 ถึงจะสรุปได้ว่าแบบสอบถามนั้นมีความเที่ยงตรง

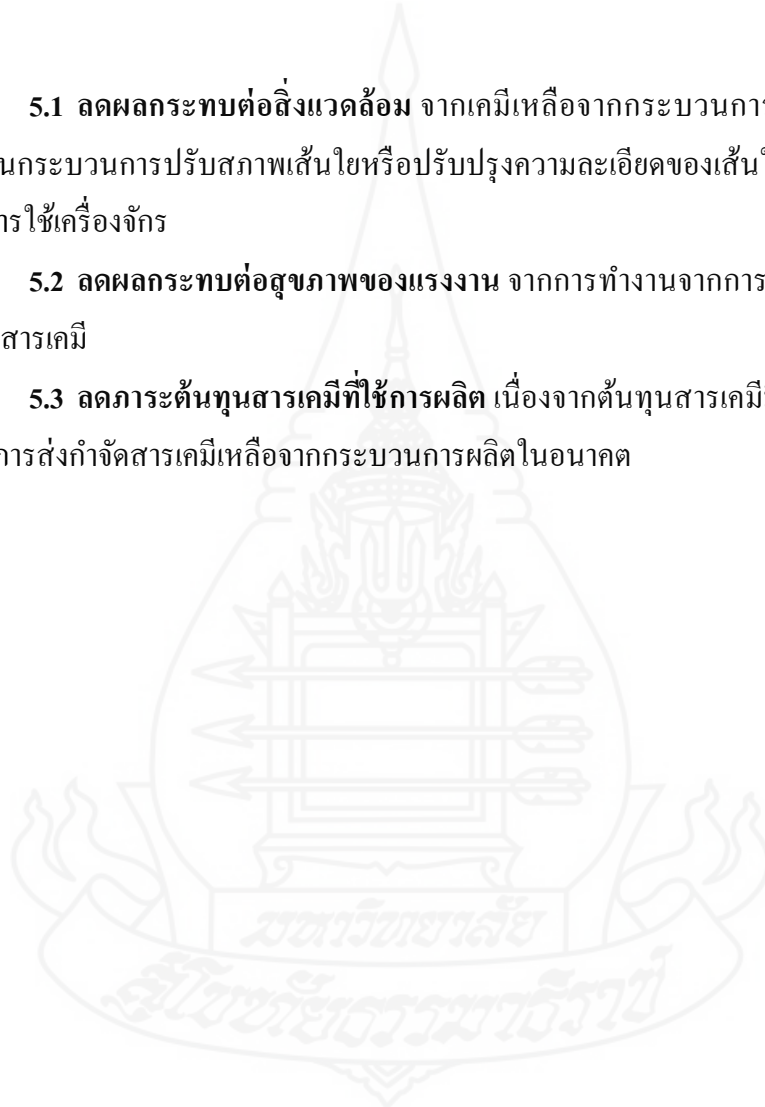
**4.9 ผู้เชี่ยวชาญ** หมายถึง อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยของรัฐ ที่มีประสบการณ์สอนไม่น้อยกว่า ห้าปี และมีวุฒิการศึกษาในระดับปริญญาเอกไม่น้อยกว่าสองท่าน ผู้ชำนาญการกรมวิชาการเกษตร และชาวบ้านผู้ใช้งานเครื่องจักร รวมห้าท่าน

## 5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

**5.1 ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** จากเคมีเหลือจากกระบวนการผลิต เนื่องจากการปรับเปลี่ยนกระบวนการปรับสภาพเส้นใยหรือปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยหลากหลายวิธีทางเคมี เป็นการใช้เครื่องจักร

**5.2 ลดผลกระทบต่อสุขภาพของแรงงาน** จากการทำงานจากการสัมผัสและได้รับไอระเหยจากสารเคมี

**5.3 ลดภาระต้นทุนสารเคมีที่ใช้การผลิต** เนื่องจากต้นทุนสารเคมีมีราคาสูง และอาจมีต้นทุนในการส่งกำจัดสารเคมีเหลือจากกระบวนการผลิตในอนาคต





## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ข้อมูลพื้นฐานของดาหลา

ในส่วนนี้จะ เป็นข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งแสดงถึงการจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ และลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของดาหลา ดังนี้

##### 1.1 การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์

อาณาจักร : Plantae

หมวด : Magnoliophyta

ชั้น : Liliopsida

อันดับ : Zingiberales

วงศ์ : Zingiberaceae

สกุล : *Etilingera*

สปีชีส์ : *E. eliator*

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Etilingera elatior* (Jack) R.M.Sm.

ชื่อพ้อง : *Nicolaia elatior* (Jack) R.M.Sm.

ชื่อสามัญ : Torch ginger

ชื่ออื่นๆ : กาหลา, ดาหลา (กรุงเทพฯ); กะลา (นครศรีธรรมราช)

ถิ่นที่อยู่ : เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

##### 1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ดอก ดาหลาเป็นดอกช่อมีลักษณะดอกแบบ head ประกอบด้วย กลีบประดับ (Bracts) มี 2 ขนาด ส่วนโคนประกอบด้วยกลีบประดับขนาดใหญ่ มีความกว้าง 2 - 3 ซม. จะมีสีแดง ขลิบขาวเรียงซ้อนกันอยู่ และจะบานออก ประมาณ 25 - 30 กลีบ และมีกลีบประดับขนาดเล็กอยู่ ส่วนบนของช่อดอก ความกว้างกลีบประดับประมาณ 1 ซม. ซึ่งมีสีเดียวกับกลีบประดับขนาดใหญ่ กลีบประดับเล็กนี้จะหุบเข้าเรียงเป็นระดับมีประมาณ 300 - 330 กลีบ ภายในกลีบประดับขนาดใหญ่ที่บานออกจะมีดอกขนาดเล็กกลีบดอกสีแดง ซึ่งเป็นดอกสมบูรณ์เพศอยู่จำนวนมาก ดอกบานเต็มที่ จะมีขนาดความกว้างดอกประมาณ 14 - 16 ซม. ความยาวช่อ 10 - 15 ซม. มีก้านดอกยาว 30 - 150 ซม. ลักษณะก้านช่อดอกแข็งตรงดอก (ฉันทนา รุ่งพิทักษ์ไชย, 2557)

**ใบ** มีรูปร่างยาวรี กลางใบกว้างและค่อยๆ เรียวไปหาปลายใบและฐานใบ ใบไม่มีก้านใบผิวเกลี้ยง ทั้งด้านบนและด้านล่าง ใบยาว 30 - 80 ซม. กว้าง 10 – 15 ซม. ปลายใบแหลม ฐานใบเรียว ลาดเข้าหาก้านใบ เส้นกลางใบปรากฏชัดทางด้านล่างของใบ

**ลำต้น** ดาหลาเป็นพืชที่มีลักษณะคล้ายข่า มีลำต้นใต้ดินเรียกว่า เหง้า (Rhizome) เหง้านี้จะ เป็นบริเวณที่เกิดของหน่อดอกและหน่อต้น ดาหลา 1 ต้น สามารถให้หน่อใหม่ได้ประมาณ 7 หน่อในเวลา 1 ปี ส่วนลำต้นเหนือดินเป็นกาบใบที่โอบซ้อนกันแน่นเช่นเดียวกับพวกกล้วย ส่วนนี้คือลำต้นเทียม (Pseudostem) ลำต้นเหนือดินสูง 2 - 3 เมตร มีสีเขียวเข้ม

**พันธุ์** ปัจจุบันพันธุ์ดาหลาที่นิยมปลูกตัดดอกมีอยู่ 2 พันธุ์ด้วยกัน คือ พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีแดง



(ก) ดอกดาหลา



(ข) ลำต้นดาหลา

ภาพที่ 2.1 ดาหลา

การศึกษาทางด้านสารเคมีของดาหลาพบสารสำคัญในกลุ่มฟีนอลิก (phenolics) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ทั้งในส่วนของใบ ดอก และเหง้า ซึ่งล้วนแต่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่โดดเด่น โดยมีลำดับความแรงดังนี้ สารสกัดจากส่วนใบ > สารสกัดจากส่วนดอก > สารสกัดจากส่วนเหง้า นอกจากนี้ยังพบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียจากน้ำมันหอมระเหยและใบ ฤทธิ์ต้านความเป็นพิษต่อตับจากช่อดอก ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) จากใบ และฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งจากเหง้า แต่ทั้งหมดยังเป็นเพียงการศึกษาในระดับเซลล์ หลอดทดลอง และสัตว์ทดลองเท่านั้น สำหรับการศึกษาคือความเป็นพิษ ยังไม่มีการรายงานความเป็นพิษของพืชชนิดนี้ อีกทั้งการรับประทานในรูปแบบของอาหารก็มีความปลอดภัยสูง แต่สำหรับผู้ที่มีประวัติการแพ้ ขิง ข่า ใพล

หรือพืชในวงศ์จิง (ZINGIBERACEAE) ควรเพิ่มความระมัดระวังในการรับประทานคาหลา เนื่องจากเป็นพืชวงศ์เดียวกัน อาจทำให้เกิดอาการแพ้ได้ (ฉันทนา รุ่งพิทักษ์ไชย, 2557)

## 2. เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) เป็นเส้นใยที่ได้จากธรรมชาติทั้งจากพืช สัตว์ และอื่นๆ ซึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมในรูปแบบของสิ่งทออย่างกว้างขวาง โดยมีเส้นใยกลุ่มต่างๆ ที่น่าสนใจ (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2542) ดังนี้

### 2.1 ประเภทของเส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติ สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้แก่

- เส้นใยเซลลูโลส ซึ่งเป็นเส้นใยที่ได้จากส่วนต่างๆ ของพืช
- เส้นใยโปรตีน เป็นเส้นใยที่ได้จากสัตว์
- เส้นใยแร่ เป็นเส้นใยที่แยกจากหินแร่
- เส้นใยยางธรรมชาติ เป็น เส้นใยที่มาจากยางธรรมชาติ

โดยมีเส้นใยที่สำคัญๆ ที่ใช้ประโยชน์ ดังนี้

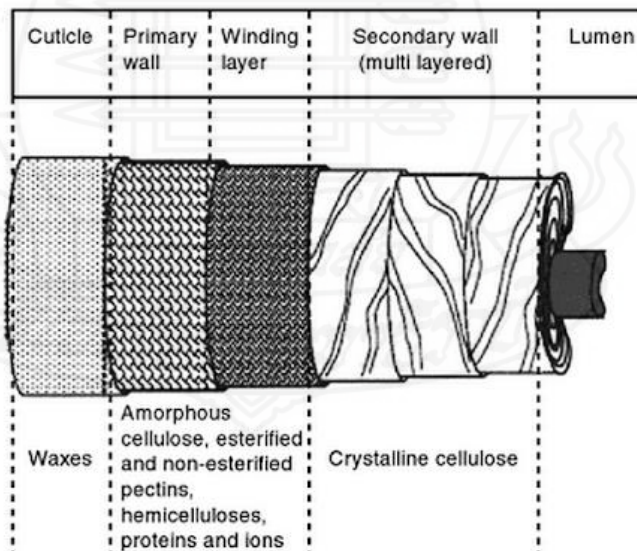
#### 2.1.1 เส้นใยฝ้าย (Cotton)

เส้นใยฝ้ายจัดเป็นใยที่ได้จากพืช เซลลูโลส (Cellulose) อยู่ในตระกูล Mallow โดยลำต้นจะมีความสูงตั้งแต่ 25 ซม. ถึง 2 เมตร ขึ้นอยู่กับชนิดหรือพันธุ์ฝ้าย สภาพแวดล้อม และภูมิอากาศที่เพาะปลูก

เส้นใยฝ้ายจะประกอบด้วยเซลลูโลสสูงถึง 94% นอกนั้นจะเป็นสารอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยในแต่ละชั้นของเซลลูโลสจะถูกฟอร์มด้วยกลุ่มเส้นใยที่เรียกว่า ไฟบริลลาร์ (Fibrillar) และในแต่ละกลุ่มเส้นใยยังประกอบไปด้วยเส้นใยเดี่ยวๆ บางๆ เรียกว่า ไฟบริล (Fibril) ดังแสดงในภาพที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบที่สำคัญของเส้นใยฝ้าย

Constituent	Proportion of dry weight (%)	
Cellulose	94.0	
Protein	1.3	
Pectin	1.2	
Wax	0.6	
Ash	1.2	
Other substances	1.7	
Element composition	Carbon	44.4%
	Hydrogen	6.2%
	Oxygen	49.4%
Chemical structure	$(C_6H_{10}O_5)$	
Crystallinity	10000 - 15000	
Molecular weight	2000000	



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเส้นใยฝ้าย

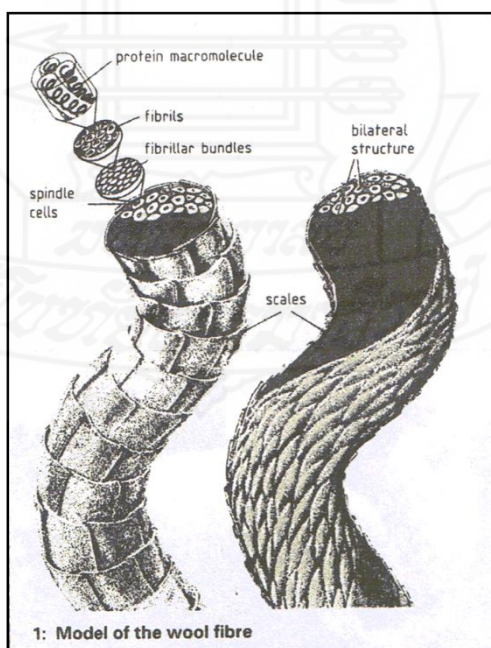
ที่มา: <http://www.asiantextilestudies.com/cotton.html>

### 2.1.2 เส้นใยแฟลกซ์หรือลินิน (*Flax or Linen*)

เส้นใยแฟลกซ์เป็นใยที่ได้จากธรรมชาติมีส่วนประกอบหลักคือ เซลลูโลส เส้นใยผลิตมาจากลำต้นของต้นแฟลกซ์ มีลักษณะละเอียด ยาวประมาณ 2” – 36” (5.08-91.4 ซม.) มีน้ำหนักหรือความหนาแน่นปานกลางถึงหนักมาก สีธรรมชาติของแฟลกซ์มีหลายสีแตกต่างกันมีตั้งแต่สีงาช้างอ่อนจนถึงสีน้ำตาลปนแดงเข้มหรือสีเทา และเป็นเส้นใยที่ดูดความชื้นได้ดี

### 2.1.3 เส้นใยขนสัตว์ (*Wool*)

เส้นใยขนสัตว์เป็นเส้นใยธรรมชาติจากสัตว์ ส่วนประกอบหลักเป็นโปรตีน ได้มาจากขนแกะหรือขนสัตว์ชนิดอื่นๆ โดยการตัดเส้นใยให้ยาวประมาณ 1 ถึง 18 นิ้ว (2.54-45.7 ซม.) ขนสัตว์จะมีน้ำหนักเบาจนถึงหนักปานกลาง สีจากธรรมชาติจะเป็นสีครีม , น้ำตาล , เทา หรือ สีดำและสีอื่นๆ เส้นใยจากขนสัตว์จะมีประมาณ 200 ชนิด ที่ต่างกันตามระดับชั้นเส้นใย เส้นใยขนสัตว์จะประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นโปรตีนเรียกว่าเคราติน (Keratin) ซึ่งมีลักษณะคล้ายเส้นผมของคน ห่วงโซ่ของโมเลกุลโปรตีนจะยาวและฟอร์มตัวกันเป็นเส้นใยขนาดเล็กเรียกว่าไฟบริล (Fibril) ซึ่งจะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม (Fibrillar bundles) โครงสร้างดังกล่าวมีผลทำให้ขนสัตว์มีการยืดหยุ่นตัวดี ความ蓬松ของขนสัตว์จะเกิดจากส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน 2 ส่วนและมีการบิดตัวเป็นเกลียว โครงสร้างประเภทนี้เรียกว่า Bilateral Structure ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมความชื้นและการติดสี ลักษณะเส้นใยขนสัตว์ดังแสดงในภาพที่ 2.3

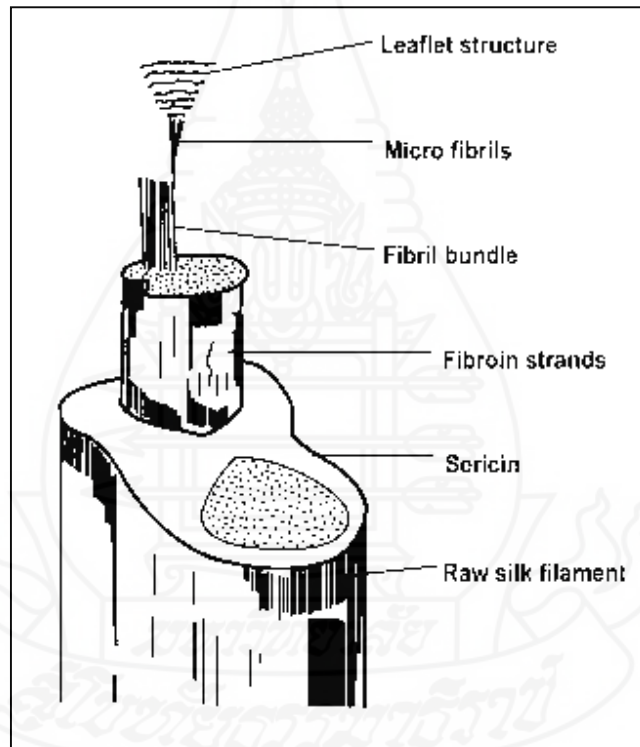


ภาพที่ 2.3 โครงสร้างเส้นใยขนสัตว์

ที่มา: <https://slideplayer.com/slide/13084022/>

### 2.1.4 เส้นใยไหม (Silk)

เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติ โดยมีส่วนประกอบหลักเป็น โปรตีนซึ่งได้มาจากรังของตัวหนอนใยไหมที่จัดอยู่ในประเภทเส้นใยธรรมชาติชนิดใยยาว ประมาณ 300-1600 หลา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของไหมเส้นใย เส้นใยไหมจะประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นโปรตีนและมีห่วงโซ่โมเลกุลยาวเรียกว่าไฟโบรอิน (Fibroin) มีลักษณะคล้ายขนสัตว์ 1 ใน 2 ของไฟโบรอินเดี่ยวๆ ที่เป็นเส้นใยบางๆ จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มไฟบริลลาร์ (Fibrillar bundles) ซึ่งทั้งหมดนั้นจะมาจากไมโครไฟบริล (Microfibrils) ที่สร้างมาจากห่วงโซ่โปรตีน และมีผลต่อผืนผ้าคือทำให้สวมใส่สบาย ความเหนียวสูงและความยืดหยุ่นตัวดี ใยไหมจะยึดติดกันได้ด้วยกาวที่เคลือบอยู่เส้นใยเราเรียกว่าเซริซิน (Sericin) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



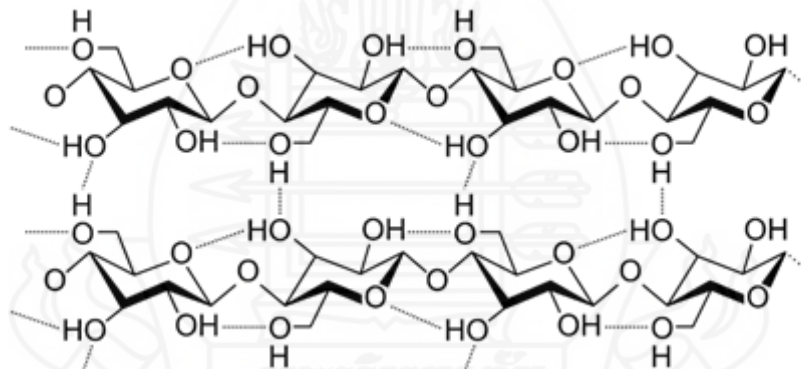
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างเส้นใยไหม

ที่มา: <https://owlcation.com/social-sciences/Silk-Silkworm-Life-Cycle-and-How-to-Care-for-Silk-Fabrics>

## 2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติที่มาจากพืช

**2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose)** มีสูตรโมเลกุลคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เซลลูโลสเป็น พอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ชนิดโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

โครงสร้างของเซลลูโลส ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เป็นหมู่หลักมาเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งบีต้า-1,4 ( $\beta(1-4)$  glycosidic bond) ได้เป็นสายยาวที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสกว่า 1,000 - 10,000 โมเลกุล ที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบแสดงดังภาพที่ 2.4 โดยเซลลูโลสจะมีหน่วยซ้ำที่เรียกว่า เซลโลไบโอส (Cellobiose) และทุกๆ หน่วยที่สองของกลูโคสที่ต่อกันในโมเลกุลของเซลลูโลสจะสามารถหมุนได้ 180 องศา เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลกลูโคส ทำให้เซลลูโลสมีความแข็งแรง มีอุณหภูมิการหลอมตัวสูงและไม่สามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ทั่วไป



ภาพที่ 2.5 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส

ที่มา: <https://th.wikipedia.org>

วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสที่พบในพืช โดยมากพบในส่วนของผนังเซลล์ของพืช อยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ปริมาณที่พบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืช เช่น เนื้อไม้พบประมาณร้อยละ 40-50 และเส้นใยฝ้ายพบประมาณร้อยละ 98

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสภายในพืช

พืชเส้นใยและวัสดุเหลือทิ้งทาง การเกษตร	องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสภายในพืช (%)		
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
ฟางข้าว	30	50	15
หญ้าสวิตซ์	45	31.4	12.0
ป่าน	68	15	10
ซังข้าวโพด	45.0	35.0	15.0
ปอกระเจา	64.4	12	11.8
ฝ้าย	82.7	5.7	-

ที่มา: คัดแปลงจาก พุดติพงษ์, 2557 และการปรับปรุงคุณภาพเส้นใย, 2560

**2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)** เป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นเฮทเทอร์โโรโพลิเมอร์ของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส แมนโนส ไซโลส และอะราบิโนส ซึ่งพบอยู่ในรูปโพลิเมอร์ไซแลน แมนแนน กาแลกแตน และอะราบิแนน มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย โดยในพอลิเมอร์ไซแลน ดี-ไซโลสมีปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 85-93 ส่วนองค์ประกอบอื่น เช่น กลูโคส กรดกลูควิโรนิก กรดกาแลกตุโรนิก จะพบปริมาณน้อย โดยไซโลสที่พบจะเชื่อมด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิก

**2.2.3 ลิกนิน (Lignin)** เป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช พบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืช ในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ลิกนินเป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ ไม่ตกผลึกประกอบด้วย สารประกอบอะโรมาติก 3 ชนิด ประกอบด้วย trans-p-coumaryl alcohol, trans-coniferyl alcohol และ trans-p-sinapyl alcohol นอกจากนี้ โมเลกุลของลิกนินยังเชื่อมต่อกับสารประกอบอะโรมาติกอื่นๆอีก เช่น vanillin และ syringaldehyde



### 3. เส้นใยสิ่งทอ

เส้นใย (Fibers) เป็น โครงสร้างหน่วยที่เล็กที่สุดของสิ่งทอ ซึ่งมีความสำคัญต่อ โครงสร้างและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทางสิ่งอื่น ๆ ลักษณะเฉพาะ คือ เป็นเส้นยาวเรียวยาวหรือเป็น เส้นละเอียด มีความยาวเพียงพอ มีความโค้งงอได้ และมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อ เส้นผ่าศูนย์กลางที่ต่างกันมาก และแข็งแรง สำหรับที่จะนำมาปั่นเป็นเส้นด้าย และนำไปทอเป็นผืน ผ้าได้ ดังตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยสิ่งทอ แต่ละชนิดซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของเส้นใย และมีอัตราส่วนที่สูงมาก ตั้งแต่ 170 – 3000 เท่า (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2542)

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยสิ่งทอ

เส้นใย	ความยาว	เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความยาว/ เส้นผ่าศูนย์กลาง
ฝ้าย	25 มิลลิเมตร	17 ไมครอน	1,500
ขนแกะ	75 มิลลิเมตร	25 ไมครอน	3,000
แฟลกซ์	25 มิลลิเมตร	20 ไมครอน	1,250
ปอกระเจาะ	2.5 มิลลิเมตร	15 ไมครอน	170
รามี่	150 มิลลิเมตร	50 ไมครอน	3,000

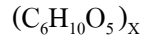
#### 3.1 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใย

โครงสร้างทางกายภาพ คือ โครงสร้างที่เราสามารถมองเห็นและสัมผัสกับความ รู้สึกได้ เช่น ความอ่อนนุ่ม หรือผิวที่หยาบกระด้าง แต่ถ้าเราต้องการตรวจให้ละเอียดก็ใช้กล้องจุลทรรศน์ จะเห็นเซลล์ภายในของเส้นใยเช่น ฝ้าย เซลล์ภายในจะเห็นเป็นลักษณะแบนบิดเป็นเกลียวคล้ายริบบิ้น หรือขนสัตว์จะเห็นเป็นเกล็ดของผิวเซลล์

#### 3.2 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใย

โครงสร้างทางเคมี คือ โครงสร้างที่พิจารณาลงไปภายในโมเลกุล ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเส้นใย เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน เส้นใยจะประกอบไปด้วย

โมเลกุลเป็นล้านๆห่วงโซ่ (Chain) ความยาวของห่วงโซ่จะแปรเปลี่ยนไปตามความยาวของเส้นใย ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นลูกโซ่ ซึ่งเราเรียกว่า Polymer โดยมีสูตรเคมีคือ

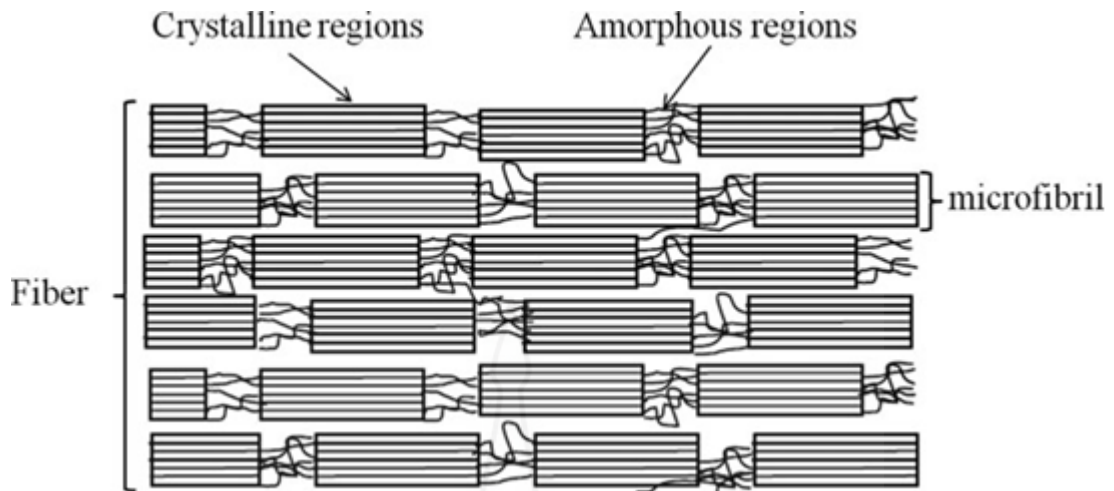


x หมายถึง จำนวนไม่จำกัดของกลูโคสที่รวมกันในหนึ่งโมเลกุล ถ้าใช้รังสีเอกซ์ถ่ายภาพเซลล์ูโลส จะเห็นผลึกของกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นยาว

ห่วงโซ่ที่ยาวมากแสดงว่ามีระดับพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) สูงและมีความแข็งแรงสูง ห่วงโซ่โมเลกุลเหล่านี้ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าจะต้องใช้กล้องไมโครสโคป ห่วงโซ่ของโมเลกุลบางครั้งอาจจะอธิบายในรูปของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight; MW) น้ำหนักของโมเลกุลจะมีผลต่อคุณสมบัติของเส้นใย เช่น ความแข็งแรงหรือความเหนียวและการยืดตัว เส้นใยที่มีห่วงโซ่ยาวจะมีความเหนียวมากกว่าเส้นใยที่มีห่วงโซ่สั้นเมื่อมีน้ำหนักที่เท่ากัน แต่การยืดตัวหรือดึงยึดได้ยากกว่าเส้นใยที่มีห่วงโซ่สั้น โมเลกุลของธาตุเหล่านี้จะต่างกัน在线ใยแต่ละชนิด ทำให้คุณสมบัติในด้านความเหนียว ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำและสีของเส้นใยแตกต่างกันไป

### 3.3 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลในเส้นใย

การจัดเรียงตัวของโมเลกุลในเส้นใยมีความสำคัญต่อเส้นใยสิ่งทอ เพราะเส้นใยจะมีทั้งส่วนที่เรียงตัวกันอย่างมีระเบียบ (Orient and Crystalline) และไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) ส่วนที่เรียงตัวมีระเบียบนั้นจะเรียงตัวขนานกันตามความยาวของเส้นใย ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อความเหนียว ส่วนที่ไม่เป็นระเบียบจะมีอิทธิพลต่อการยืดตัวและคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความสามารถในการดูดความชื้น ความหนาแน่น จุดหลอมเหลวเหล่านี้สืบเนื่องมาจากการเรียงตัวของเส้นใยทั้งสิ้น ในกระบวนการดึงยึด (stretching or drawing) หลังการฉีดออกจากหัวฉีดเส้นใย (spinneret) จะเป็นการทำให้เส้นใยเหยียดตรงมากขึ้น (orient) หรือเป็นการเพิ่ม crystalline และในขณะเดียวกันจะเป็นการลดขนาดให้เล็กลง



ภาพที่ 2.6 แสดงสัณฐานวิทยาของโพลิเมอร์

ที่มา: [https://www.researchgate.net/publication/278699161\\_NanocelluloseBased\\_Composites](https://www.researchgate.net/publication/278699161_NanocelluloseBased_Composites)

ภาพที่ 2.6 แสดงสัณฐานวิทยาของโพลิเมอร์ ลักษณะของการเรียงตัวที่เป็นระเบียบ (Crystalline) และลักษณะการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ (Amorphous)

#### 4. สมบัติของเส้นใยสิ่งทอสำหรับงานทั่วไป

การพิจารณาว่าเส้นใยมีสมบัติที่เหมาะสมกับการจะนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นเส้นใยสิ่งทอประเภทใดนั้น มีสมบัติสำคัญที่ควรพิจารณา ดังนี้ (วิทยาศาสตร์เส้นใย, 2542)

##### 4.1 ความยาวของเส้นใย

ความยาวของเส้นใยที่เหมาะสม (Suitable Length) ควรมีความยาวพอที่จะนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายได้ ในการซื้อขายเส้นใยสั้น เช่น ฝ้าย จะซื้อขายกันจากความยาวของเส้นใย ยิ่งยาวสามารถปั่นเป็นเส้นด้ายที่มีขนาดเล็กความยาวของเส้นใยธรรมชาติจะถูกกำหนดในสภาพภูมิอากาศพื้นที่ในการเพาะปลูก พันธุ์ที่ใช้ปลูก ฯลฯ

ความยาวของเส้นใย (Staple fibers) แบ่งได้เป็น 3 ขนาด คือ เส้นใยสั้น จะมีความยาวระหว่าง  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{7}{8}$  นิ้ว เส้นใยปานกลาง จะมีความยาวระหว่าง  $\frac{7}{8}$  - 1.5 นิ้ว และเส้นใยยาว จะมีความยาวระหว่าง 1.5 - 2.5 นิ้ว

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นใยกับขนาดของเส้นด้าย

ความยาวของเส้นใย (นิ้ว)	เบอร์ด้าย
7/8	20 ลงมา
1	30 ลงมา
1 – 1 1/8	30 - 36
1 1/8 – 1 1/4	36 - 50
1 1/4 – 1 3/4	50 - 70

ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นใยกับขนาดของเส้นด้าย ความยาวของเส้นใยสั้นจะได้ขนาดเบอร์ด้ายที่น้อยกว่าเส้นใยยาว

อิทธิพลของความยาวเส้นใยมีผลต่อการปั่นด้าย ในปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ข้อจำกัดในการปั่นด้าย (spinning limit) เช่น เบอร์ด้าย (yarn count) เป็นต้น ความเหนียวของเส้นด้าย (yarn strength) ความสม่ำเสมอ (yarn evenness) การเป็นขน (yarn hairiness) ผิวสัมผัสของเส้นด้าย ผลผลิต (Productivity) เช่น อัตราการขาดของเส้นด้าย, ปริมาณการสูญเสียเส้นใย จำนวนเกลียวที่มีผลต่อความเหนียว ความกระด้างและผิวสัมผัสของเส้นด้าย เป็นต้น

#### 4.2 ขนาดของเส้นใย

ขนาดของเส้นใย (diameter, size or denier) จะมีความสัมพันธ์กับความโค้งงอของใยและฝืนผ้าจะทำให้สวมใส่สบาย เส้นใยที่มีขนาดใหญ่จะมีคุณสมบัติหยาบแข็งและกระด้าง (stiffness) ส่วนเส้นใยที่มีขนาดเล็กจะมีความอ่อนนุ่มและผ้าที่ทำจากเส้นใยที่มีขนาดเล็กจะมีความอ่อนตัวและการทิ้งตัวที่ดี (drape) เช่น ผ้าชีฟอง

ขนาดของเส้นใยธรรมชาติจะมีความไม่สม่ำเสมอสูง เนื่องจากสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน สำหรับขนาดของเส้นใยธรรมชาติบางครั้งเราใช้คำว่า ความละเอียด (fineness) ซึ่งความละเอียดจะเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพของเส้นด้าย เพราะฉะนั้นเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสั้นที่มีความละเอียดมากจะเป็นเส้นใยที่มีคุณภาพดีในการวัดค่าความละเอียดของเส้นใยฝ้าย เราจะใช้เครื่องมือและหน่วยวัดที่เรียกว่า ไมโครแนร์ (micronaire)

### 4.3 ความเหนียวของเส้นใย (Fiber Strength)

เส้นใยต้องมีความเหนียวพอ เพื่อให้สามารถผ่านเครื่องจักรต่างๆ ได้ในแต่ละขั้นตอนของการปั่นด้ายหรือการผลิต ตลอดจนช่วยให้มีความคงทนต่อการนำไปใช้งาน ถ้าเส้นใยมีความเหนียวสูงจะให้ประสิทธิภาพในการปั่นสูง เส้นใยที่มีความเหนียวต่ำจะขาดง่าย ทำให้เส้นใยขาดและสั้นในขณะที่ผ่านมาขั้นตอนการผลิตจะมีการสูญเสียเส้นใยมากทำให้ประสิทธิภาพการปั่นด้ายต่ำ

### 4.4 ความคงทนต่อการขัดถูดี

เสื้อผ้าที่ทำมาจากเส้นใยที่ทนต่อการขัดถูดี (good abrasion resistance) เนื้อผ้าจะมีความคงทนต่อการขัดถูหรือการเสียดสีได้ดีเช่นเดียวกัน การทนทานต่อการขัดถูจะไม่สัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งแรงของเส้นใย แม้ว่าทั้งสองสิ่งนี้อาจเกี่ยวข้องกันก็ตาม

ตารางที่ 2.5 ค่าความคงทนต่อการขัดถูของเส้นใยชนิดต่างๆ

Fiber	Rating
Nylon	Excellent
Olefin	↓ To ↓
Polyester	
Spandex	
Flax	
Acrylics	
Cotton	
Silk	
Wool*	
Rayon	
Acetate	
Glass	Poor

\*Varies with coarseness of fiber

#### 4.5 ความยืดหยุ่นของเส้นใย

ความยืดหยุ่นของเส้นใย (elongation) หมายถึง คุณสมบัติของเส้นใยที่เมื่อให้ยืดออกแล้วหดกลับเท่าเดิมได้ จะยืดหดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้ดึง ถ้าใช้แรงน้อยยืดได้มาก หมายความว่ายืดหยุ่นได้มาก

เมื่อเส้นใยยืดหยุ่นได้ ค่ายจะยืดหยุ่นดี ทำให้ผ้ามีความกินตัว ทนยับได้ตามปริมาณที่เส้นใยยืดหยุ่นได้ ความยืดหยุ่นนี้ทำให้เส้นใยไม่ขาดง่าย ทำให้ค้ายและผ้าเหนียวขึ้น

ความยืดหยุ่นมีความสัมพันธ์กับความโยนตัว ความอ่อนตัว ความคงตัว และการจัดรูปใหม่ได้ง่าย ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เกิดจากความยืดหยุ่นได้ของเส้นใยเหมือนกันทั้งสิ้น คุณสมบัติเหล่านี้มักจะอยู่ร่วมกันในเส้นใยชนิดเดียวกัน

#### 4.6 ผิวของเส้นใย

ผิวของเส้นใย (surface contour) หมายถึง ผิวของเส้นใยที่สามารถสัมผัสได้ตลอดความยาวของเส้นใย ถ้าพิจารณาภาพที่ 2.7 จะเห็นว่า ภาคตัดขวางของเส้นใยมีลักษณะแตกต่างกัน บ้างเรียบ บ้างเหลี่ยม บ้างเหมือนฟันเลื่อย บ้างขรุขระ บ้างมีผิวซ้อนกัน ลักษณะผิวเช่นนี้มีส่วนสำคัญทำให้เนื้อสัมผัสและผิวสัมผัสของผ้าเปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 2.7 ลักษณะภาคตัดขวางและผิวของเส้นใยชนิดต่างๆ

ที่มา: [www.hemptraders.com/Hemp-Textile-Properties-s/1881.htm](http://www.hemptraders.com/Hemp-Textile-Properties-s/1881.htm)

#### 4.7 ภาควัดขวางของเส้นใย

ภาควัดขวางของเส้นใย หมายถึง รูปร่างทางภาควัดขวางของเส้นใยเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ในเส้นใยธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยนั้นๆ รูปร่างต่างกันรูปลักษณะของเส้นใยก็จะดูต่างกัน ความนิ่มต่างกัน และความมันก็จะต่างกัน เนื่องจากความสามารถในการสะท้อนแสงจะต่างกัน รูปร่างของภาควัดขวางของเส้นใยจะมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของเส้นใยในด้านความเงามัน, ความฟองฟู, รูปร่าง และผิวสัมผัสของผ้า

#### 4.8 รอยหยิกของเส้นใย

รอยหยิกของเส้นใย (crimp) หมายถึง ลักษณะหยิกงอหรือเป็นลูกคลื่นของเส้นใย ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จาก 3 กรณีหลักๆ ได้แก่

**4.8.1 เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ** โดยการยึดเหนี่ยวของโมเลกุลที่ต่างกัน เรียกว่า Natural หรือ Molecule crimp เช่น เส้นใยขนสัตว์

**4.8.2 เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาของสารเคมีที่มีคุณสมบัติต่างกัน** เรียกว่า Latent crimp

**4.8.3 เกิดจากการกระทำโดยเชิงกลแบบต่างๆ** เรียกว่า Mechanical crimp

รอยหยิกทำให้เส้นใยเกาะและยึดตัวกันดี ปั่นเป็นเส้นด้ายได้ง่าย คงรูป ยืดได้ให้ความอบอุ่นดี ทำให้มีเนื้อมาก และดูน่าได้ดีขึ้น แต่จะทำให้ความมันลดน้อยลง

#### 4.9 ความมันของเส้นใย

ความมันของเส้นใย คือ ลักษณะการสะท้อนของแสงเป็นเงาแวบของเส้นใยจากการมองด้วยตา โดยระดับความมันในเส้นใยสังเคราะห์นั้นผู้ผลิตจะกำหนดได้จากปริมาณของสารไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide ;  $TiO_2$ ) ซึ่งเป็นสารที่ใส่ในโพลีเมอร์ระหว่างการผลิต เพื่อปรับความมันของเส้นใย ถ้าไม่ใส่เลยก็จะมันมาก ใส่เล็กน้อยความมันจะลดน้อยลงไปเล็กน้อย ถ้าใส่มากก็จะไม่มันเลย ระดับความมันก็แล้วแต่ว่าเส้นใยนั้นจะเอาไปใช้ทำอะไร ในประโยชน์ใช้สอยนั้นๆ ความมันเป็นที่นิยมหรือเปล่านั้น ระดับความมันมีตั้งแต่

มันมากที่สุด เรียกว่า เดดไบรท์ (dead bright or super bright)

มันมาก เรียกว่า ไบรท์ (bright)

ค่อนข้างมัน เรียกว่า เซมิเดด (semi – dull)

ค่อนข้างขุ่น เรียกว่า มิดเดด (mid-dull)

ขุ่นมาก เรียกว่า ดัล (dull or full dull)

ส่วนใหญ่เส้นใยสำหรับเสื้อผ้ามักใช้ค่าความมันอยู่ในระดับ เซมิเดด หรือ ไบรท์ เพราะต้องการสีสดใสแต่ในอุตสาหกรรมพรม จะนิยมใช้มิดเดด หรือดัล เพราะว่าเส้นใยดัลซึ่งหลังจากย้อมแล้วจะออกสีขุ่น ทำให้รักษาง่ายเนื่องจากเข้ากับสีของฝุ่นได้ดี ดูไม่ค่อยสกปรก

#### 4.10 ความโยนตัวของเส้นใย

ความโยนตัวของเส้นใย หมายถึง คุณสมบัติที่เส้นใยสามารถติดตัว หรือโยนตัว กลับเข้าที่เดิมได้อย่างรวดเร็วหลังจากที่ถูกดึงหรือกด ความโยนตัวทำให้ผ้าทนยับได้บ้างเล็กน้อย เส้นใยที่มีความโยนตัวน้อยหรือไม่มีเลย สามารถทำให้มีขึ้นได้โดยตัดเป็นเส้นใยสั้น ด้ายใยสั้นทำให้ผ้าไม่เหนียวเท่าเดิม แต่มีเนื้อนุ่มมากขึ้น คืนรอยยับได้ดีขึ้น

#### 4.11 ความอ่อนตัวของเส้นใย

ความอ่อนตัวของเส้นใย จะทำให้ผ้าจัดเป็นรูปแบบใดๆ ได้ดี ผ้าที่จัดเป็นรูปแบบได้ง่าย (draping) ต้องผลิตมาจากเส้นใยที่มีความอ่อนตัว ซึ่งเป็นการตรงข้ามกับความแข็งกระด้างของเส้นใยที่ทำให้ผ้ามีเนื้อและน้ำหนักมาก ความอ่อนตัวทำให้ผ้านุ่มดูบางเบา สวมใส่ จับจีบได้ดี ความอ่อนตัวและความแข็งกระด้างของเส้นใย สามารถตกแต่งให้มีขึ้นได้โดยใช้สารเคมีช่วยหรือโดยกรรมวิธีการผลิตอื่นๆ

#### 4.12 ความคงตัวของเส้นใย

ความคงตัวของเส้นใย เกิดมาจากเส้นใยที่มีความโยนตัวดี หรือจากเส้นใยที่ไม่ยืด ทำให้ผ้าคงรูป รักษาขนาดได้ดี ลักษณะภายนอกและรูปทรงไม่เปลี่ยนแปลง แม้จะได้รับ ความชื้น ความร้อน และการดึงในอัตราจำกัด

#### 4.13 การนำความร้อนของเส้นใย

การนำความร้อนของเส้นใย มีความสำคัญในวงการผ้ามาก ผ้าจะเหมาะกับการสวมใส่ ในอากาศเช่นไรขึ้นอยู่กับการนำความร้อนของเส้นใย เส้นใยที่นำความร้อนดีและเร็วเหมาะสำหรับสวมใส่ การทอและตกแต่งยังทำให้คุณสมบัตินี้ลดหรือเพิ่มขึ้นได้ ผ้าที่ทอห่างๆ มีช่องว่างระหว่างเส้นด้าย อากาศผ่านไปมาได้ ผ้าที่แน่นใส่แล้วจะไม่ร้อน ผ้าที่ตกแต่งให้มีขนฟู นุ่ม ความร้อนถ่ายเทได้ยาก ผ้าชนิดนี้ให้ความอบอุ่นดี

#### 4.14 การดูดความชื้นของเส้นใย

การดูดความชื้นของเส้นใย หมายถึง ความสามารถของใยที่สามารถดูดความชื้น จากอากาศเข้าไปภายในเส้นใย ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น ระบุเป็นอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักเส้นใย การดูดความชื้นและระเหยออกอย่างรวดเร็วสำคัญต่อสุขภาพและความสะดวกสบายของผู้สวมใส่ ตลอดถึงการทำความสะอาดด้วย ใยดูดความชื้นได้ไม่เท่ากัน แต่สามารถทำให้มีมากขึ้นได้ โดยวิธีการผลิตหรือการตกแต่ง ผ้าที่ทอหลวมๆ หรือทำขนฟูดูดความชื้นได้กว่าผ้าเนื้อเรียบ การชุบมันทำให้ใยดูดความชื้นได้มากขึ้น การเพิ่มหมู่อะซิติก (acetylation) ทำให้ใยดูดความชื้นได้น้อยลง ดังนั้นใยที่ดูดความชื้นเพิ่มขึ้นได้มาก จะสามารถดูดซับความชื้นจากบรรยากาศได้มากทำให้รู้สึก



สลายมากขึ้น เมื่อสวมเสื้อผ้าที่ทำด้วยใยที่ดูดความชื้นได้มาก ฝ้ายชนิดนี้เหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นชุดชั้นใน และผ้าเช็ดตัว

ในด้านอุตสาหกรรม การดูดความชื้นมีความสำคัญมาก เพราะมีความสัมพันธ์กับการย้อมสี การทำให้หด และการตกแต่ง บางครั้งตั้งตกแต่งให้ใยดูดความชื้นได้ดีเสียก่อน จึงจะตกแต่งวิธีอื่นได้ ใยที่มีความชื้นมาก บางครั้งก็เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการผลิต

#### 4.15 ความสามารถในการนำไฟฟ้าได้สูงของเส้นใย

ความสามารถในการนำไฟฟ้าได้สูงของเส้นใย (high electrical conductivity) เส้นใยสิ่งทอเกือบทุกชนิดนำไฟฟ้าได้ต่ำในสภาวะปกติและเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี อย่างไรก็ตามในบางกรณีเส้นใยก็มีความสมบัติการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เช่น ในระหว่างกระบวนการผลิต เส้นใยที่นำไฟฟ้าได้ต่ำจะมีการสะสมไฟฟ้าสถิตย์ไว้ในเส้นใยและทำให้เกิดปัญหาหนักยิ่งขึ้น เช่น เส้นใยพันลูกกลิ้งเครื่องจักรหยุด ในกรณีเช่นนี้จะเป็นการดีกว่าถ้าใช้เส้นใยที่นำไฟฟ้าได้สูง

#### 4.16 การต้านโรคและแมลงของเส้นใย

การต้านโรคและแมลงของเส้นใย (resistance to micro-organisms and insects) สามารถส่งผลต่อความคงทนของเส้นใยหรือผ้า โดยเส้นใยที่ต้านจุลินทรีย์และแมลงได้ดี จะมีอายุการใช้งานนานกว่าและเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเส้นใยหรือฝ้าน้อยกว่าเส้นใยที่ไม่ทนต่อจุลินทรีย์และแมลง

#### 4.17 การต้านทานสารซักฟอก สารเคมี และสารละลายของเส้นใย

การต้านทานสารซักฟอก สารเคมี และสารละลายของเส้นใย (resistances to detergent chemicals and solvents) เนื่องจากโดยทั่วไป กรดและด่างเข้มข้นมักทำให้เส้นใยเสียหาย อย่างไรก็ตามในบางครั้งก็มีความจำเป็นต้องใช้เส้นใยที่มีความต้านทานต่อสารเคมีบางตัว เช่น กรดอ่อน ด่างอ่อน หรือกรด และด่างที่มีความเข้มข้นต่ำ สำหรับใยที่มีความต้องการและจำเป็นต้องซักบ่อยจำเป็นต้องมีความต้านทานต่อผงซักฟอกและสารซักแห้งได้ด้วย

#### 4.18 การต้านน้ำของเส้นใย

การต้านน้ำของเส้นใย (resistance to water) เมื่อเส้นใยสัมผัสกับน้ำ เส้นใยจะดูดน้ำและทำให้สมบัติบางประการ เช่น ความแข็งแรง การยืดตัวขนาดและอื่นๆจะเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าเส้นใยที่ดูดซับน้ำมากอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการที่เปลี่ยนไปจะมีผลรุนแรง ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับเส้นใยที่จะนำไปทำเป็นวัสดุที่ต้องชกน้ำบ่อยๆ สำหรับเส้นใยที่มีความต้านน้ำได้ดี ควรนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ในสภาวะที่เปียกหรือมีความชื้น

#### 4.19 ความต้านทานแสงแดดของเส้นใย

ความต้านทานแสงแดดของเส้นใย (resistance to sunlight) เส้นใยแทบทุกชนิด ถ้าถูกแสงแดดเป็นเวลานานจะเสื่อมคุณภาพ เช่น อาจเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาล เส้นใยเปราะ ความแข็งแรงลดลง และอื่นๆ บ่อยมากทีเดียวที่ใยส่วนมากถูกนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกแดด ไม่ว่าจะโดยตรงหรือทางอ้อมก็ตาม

#### 4.20 ความสามารถในการดูดสีย้อมของเส้นใย

ความสามารถในการดูดสีย้อมของเส้นใย (dyeability) เป็นสมบัติของเส้นใยที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือความสามารถในการดูดสีย้อม เช่นความสามารถทำให้มีสีได้โดยการย้อมหรือการพิมพ์ เพราะความสามารถในการดูดสีย้อมของใยจะทำให้เกิดสีสรรสวยงามและทำให้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอนั้นอยู่ในสมัยนิยม

#### 4.21 การทำความสะอาดและการซักได้ของเส้นใย

ผู้บริโภคมักจะสนใจว่า เสื้อผ้าชนิดไหนถูกสุขลักษณะ ชนิดไหนทำความสะอาดง่ายยากเพียงไร หรือว่าต้องซักเป็นพิเศษแตกต่างไปจากผ้าธรรมดาอย่างไร ใยที่มีผิวหน้าราบเรียบ เช่น ฝ้าย ลินิน และเรยอน ทำความสะอาดง่ายกว่าใยชนิดอื่น ใยที่มีผิวหน้าราบเรียบ เช่น ฝ้าย ลินิน และเรยอน ทำความสะอาดง่ายกว่าใยชนิดอื่น แต่ถ้าตกแต่งให้ขนฟูต้องระวังเป็นพิเศษ

### 5. การปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติจากพืช

การปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติจากพืช คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงเส้นใยจากพืชด้วยวิธีการต่างๆ เช่น เคมี เชิงกล หรือเอนไซม์ เป็นต้น เพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่ต้องการ กระบวนการปรับปรุงเส้นใยที่สำคัญมีดังนี้ (สาคร:2559)

**5.1 กระบวนการทางเคมี** เป็นวิธีการใช้เคมี ในการกำจัดสารที่ทำหน้าที่ยึดจับเส้นใย ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ให้หลุดออกจากเซลลูโลส ทำให้เส้นใยแยกออกจากกัน เส้นใยที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีปริมาณเซลลูโลสสูง มีลิกนินและสารอินทรีย์อื่น ๆ ปนอยู่น้อยมาก มีความเหนียวสูง และเส้นใยที่ได้มีความสะอาด ละเอียดย่นุ่มและฟอกให้ขาวได้ง่าย กระบวนการทางเคมี เช่น การใช้ความเป็นด่างจากโซเดียมไฮดรอกไซด์

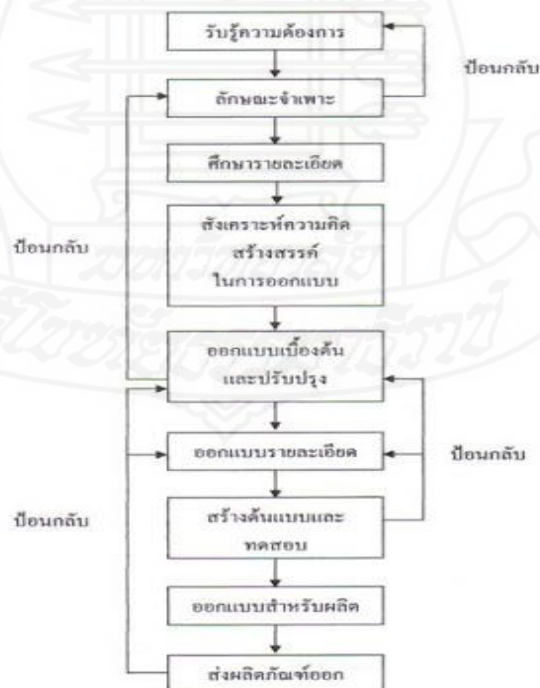
**5.2 กระบวนการเชิงกล** เป็นวิธีแยกเส้นใยที่ใช้แรงทางกลเพื่อทำให้พันธะที่ยึดเกาะเส้นใยเซลลูโลสไว้แตกออกจากกัน ซึ่งมีทั้งกระบวนการที่ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ จนถึงการใช้เครื่องจักร

5.3 กระบวนการทางเชิงกลเคมี เป็นวิธีทางเชิงกลร่วมกับทางเคมี มีส่วนสำคัญในการละลายน้ำของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่ถูกแปลงโครงสร้างแล้วเป็นผลทำให้การแตกตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนไฮโดรไลซิสเพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้กระบวนการฟิสิกเคมีคอล ฟิตรีสเม้นท์ ร่วมกับกระบวนการเทอร์-โมเคมีคอล ทรีสเม้นท์ เช่น วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ การระเบิดด้วยแอมโมเนีย การใช้ความร้อนขึ้น เป็นต้น

## 6. การออกแบบเครื่องจักรกล

### 6.1 ขั้นตอนการออกแบบ

การออกแบบเป็นกระบวนการที่ไม่มีรูปแบบขั้นตอนที่ชัดเจน เป็นการผ่านความคิดเห็นต่างๆที่ไล่ลงไป ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมและการตัดสินใจต่างๆ จนอาจสิ้นสุดในแบบต่างๆ ที่อาจเป็นไปได้ตามที่ผู้ออกแบบกำหนด หรืออาจแตกต่างจากความคิดเริ่มต้นที่ผู้ออกแบบวางแนวทางไว้ โดยทั่วไปขั้นตอนการออกแบบอาจเขียนได้ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งงานบางประเภทอาจไม่เป็นไปตามขั้นตอนดังกล่าวนี้ก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และกรรมวิธีการผลิต (การออกแบบเครื่องจักรกล, 2556)



ภาพที่ 2.8 แผนภาพการออกแบบที่มีวงป้อนกลับ

**6.1.1 รับรู้ความต้องการ** การออกแบบอาจเริ่มต้นจากการรับรู้ความต้องการ หรือ ข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งในด้านการใช้งาน คุณภาพ การแข่งขันทางธุรกิจหรืออุตสาหกรรม ทำให้เกิดความต้องการในการออกแบบอุปกรณ์ กระบวนการ และเครื่องจักรใหม่ๆ สิ่งที่สำคัญคือ ต้องใช้ ประสบการณ์พื้นฐานที่มีอยู่ทำความเข้าใจความต้องการนั้นอย่างถ่องแท้

**6.1.2 ลักษณะจำเพาะ** รวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้ได้มากที่สุด ซึ่งอาจประกอบไปด้วย คุณลักษณะ ขนาด ราคา อายุการใช้งาน อุณหภูมิใช้งาน และสิ่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลง

**6.1.3 ศึกษารายละเอียด** เมื่อได้ลักษณะจำเพาะต่างๆ ขึ้นต่อไปเป็นการศึกษารายละเอียดเพื่อแยกแยะสิ่งที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายหรือความล้มเหลว ทั้งทางด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์

**6.1.4 สังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ** การสังเคราะห์ คือ การวิเคราะห์และทำให้อำนวยประโยชน์ได้สูงสุด เป็นขั้นตอนที่น่าสนใจที่สุดในการออกแบบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถของผู้ออกแบบ

**6.1.5 ออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุง** การออกแบบที่เหมาะสมกับลักษณะจำเพาะและความต้องการอาจมีหลายวิธี จำเป็นต้องตัดสินใจเลือกเอาวิธีใดวิธีหนึ่งเป็นแบบเบื้องต้นและปรับปรุงต่อไป

**6.1.6 การออกแบบรายละเอียด** เกี่ยวข้องกับขนาดจริงและและขนาดของส่วนประกอบอื่นๆ ทั้งหมดที่จะประกอบเข้าด้วยกัน จึงต้องมีรายละเอียดของชิ้นส่วนทุกชิ้น แสดงรูปด้านต่างๆ เท่าที่จำเป็น โดยกำหนดทั้งขนาด พิกัดความเผื่อ วัสดุที่ใช้ จำนวนชิ้นส่วน ชื่อชิ้นส่วน และบางครั้งอาจจะต้องใช้แบบประกอบของชิ้นงานสำเร็จด้วย

**6.1.7 สร้างต้นแบบและทดสอบ** หลังจากมีรายละเอียดต่างๆ สมบูรณ์แล้ว จึงดำเนินการเพื่อสร้างต้นแบบ และประเมินผลและทดสอบ ผลการทดสอบอาจทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงการออกแบบเบื้องต้น หรือรายละเอียดบางประการ และดำเนินการทดสอบซ้ำ ซึ่งอาจต้องทำใหม่อีกหลายครั้ง จนกว่าจะพึงพอใจ

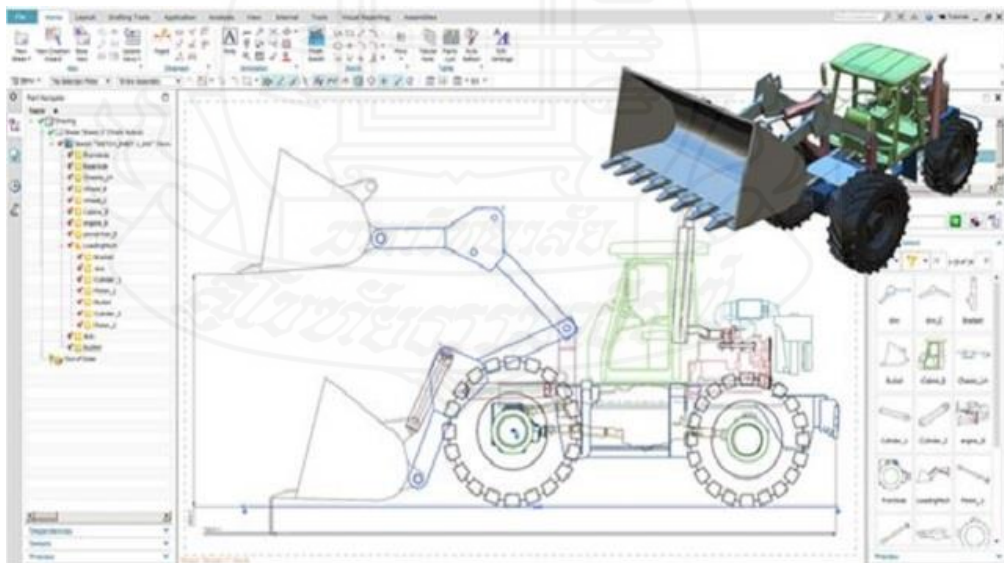
**6.1.8 ออกแบบสำหรับการผลิต** ในขั้นนี้จะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงเพื่อความเหมาะสมของวิธีการผลิตที่ดีที่สุด เนื่องจากการผลิตจำนวนน้อยกับการผลิตจำนวนมากอาจใช้วิธีการผลิตที่แตกต่างกัน จึงต้องหาวิธีการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

**6.1.9 ส่งผลิตภัณฑ์ออก** การส่งผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ออกสู่ตลาด หรือส่งมอบต่อผู้ใช้งาน

## 6.2 การใช้โปรแกรม CAD ในการออกแบบ

การใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการออกแบบและผลิต เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีความแม่นยำ ทำงานที่ซับซ้อน งานที่ซ้ำต่อเนื่องอย่างถูกต้อง เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการออกแบบ ผลิต และแม่นยำกว่าการใช้คนดำเนินการเอง ซึ่งเรียกโปรแกรมในการออกแบบว่า CAD เป็นคำย่อของ Computer Aided Design หมายถึง การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (drawing) เป็นวิธีการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมเขียนแบบที่อ้างอิงกับรูปเลขาคณิตพื้นฐาน เพื่อประกอบกันขึ้นเป็นแบบจำลองและผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบเส้นต่าง ๆ (curve) และพื้นผิว (surface) ในรูปแบบ 2 มิติหรือ 3 มิติ โดยสามารถปรับแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ให้เสมือนจริง โดยการกำหนดสี ลักษณะพื้นผิว (texture) สามารถคำนวณหาพื้นที่ ปริมาตร หรือน้ำหนัก ได้ สามารถใช้ทดสอบการวางตำแหน่ง การประกอบ แดมจำลองการเคลื่อนไหว และการรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณ เพื่อกำหนดขั้นตอนหรือวางแผนการผลิตล่วงหน้า และแบบจำลองสามารถแสดงเป็นไฟล์ข้อมูลในรูปแบบ dwg, dxf, dwt ดังแสดงในภาพที่ 2.9

โปรแกรม CAD ใช้ประโยชน์ในการสร้างแบบจำลอง (Model) ขึ้นเพื่อทำการออกแบบ วิเคราะห์ ประเมินผลและแก้ไขข้อมูล CAD ของชิ้นงานที่ทำการออกแบบไว้ เพื่อให้ตรงกับความต้องการผลิตจริง และใช้เป็นข้อมูลในการผลิตสำหรับใช้ในขั้นตอน CAM (ชาฮู ถนัดงาน และวิทธิ อังภากรณ์, 2556)



ภาพที่ 2.9 การใช้โปรแกรม CAD ช่วยในการออกแบบ

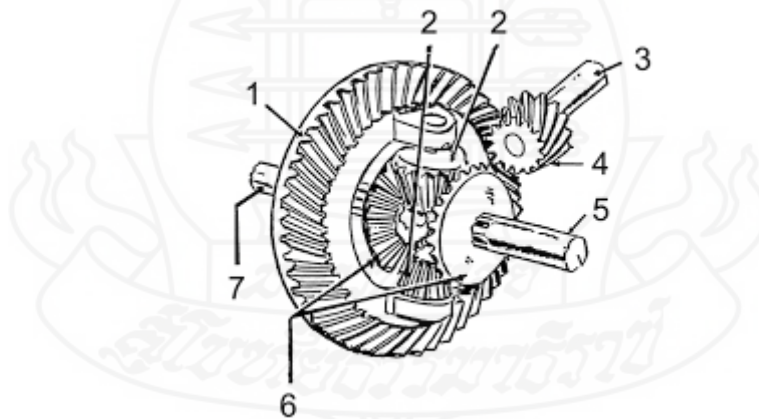
ที่มา: <https://www.cheezebite.com/nx-cad-cam>

### 6.3 การออกแบบระบบส่งกำลังของเครื่องจักรกล

ระบบการส่งกำลังของเครื่องจักรกล โดยทั่วไปมีหลายอย่างแล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละประเภทเครื่องจักร ซึ่งหลักการส่งกำลังของเครื่องจักรกล คือ การ ส่งกำลังจากต้นกำลัง หรือสามารถเรียกได้อีกชื่อว่า เพลาขับ ส่งกำลัง ไปยังจุดที่ต้องการ เพื่อจะใช้กำลังงานไปใช้งาน เรียกว่า เพลาตาม หรือ เพลางาน ระบบการส่งกำลังของเครื่องจักรกลได้แก่ การส่งกำลังด้วยเฟือง โซ่ สายพาน คัปปลิ่ง (Coupling) เพลา และลูกเบี้ยว เป็นต้น (ชาญ อดิวงาน และวริทธิ์ อึ้งภากรณ์, 2556)

#### 6.3.1 การส่งกำลังด้วยเฟือง

เฟือง (Gear) เป็นชิ้นส่วนเครื่องกลที่มีรูปร่างเป็นจานแบนรูปวงกลม ตรงขอบมีลักษณะเป็นแฉก (เรียกว่าฟันเฟือง) ซึ่งสามารถนำไปประกบกับเฟืองอีกตัวหนึ่ง เกิดเป็นระบบส่งกำลังขึ้น สามารถปรับให้เกิดเป็นความได้เปรียบเชิงกลได้ จึงถือเป็นเครื่องกลอย่างง่ายชนิดหนึ่ง ด้วยคุณลักษณะนี้ เฟือง สามารถนำมาใช้ส่งผ่านแรงหมุน ปรับความเร็ว, แรงหมุน และทิศทางการหมุนในเครื่องจักรได้ โดยระบบเฟืองหรือระบบส่งกำลังนี้ มีความสามารถคล้ายคลึงกับระบบสายพาน แต่จะดีกว่าตรงที่ระบบเฟืองจะไม่สูญเสียพลังงานไปกับการยืดหดและการลื่นไถลของสายพาน

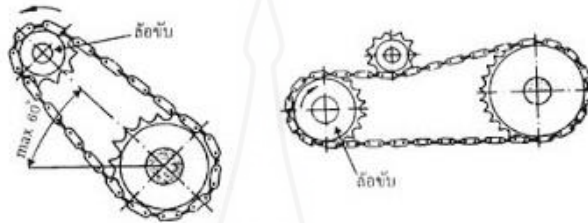


ภาพที่ 2.10 การส่งถ่ายกำลังของเฟือง

ที่มา: [http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/03/blog-post\\_09.html](http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/03/blog-post_09.html)

### 6.3.2 การส่งกำลังด้วยโซ่

โซ่ มีลักษณะการส่งกำลังคล้ายกับสายพาน โดยโซ่จะคล้องอยู่กับจานโซ่ ที่ติดอยู่บนเพลาขับ และเพลาลูกตาม การส่งกำลังด้วยโซ่นี้ จะไม่เกิดการลื่นไถลขณะส่งถ่ายกำลัง เหมาะสำหรับงานที่รับภาระแรงดึงมากๆ

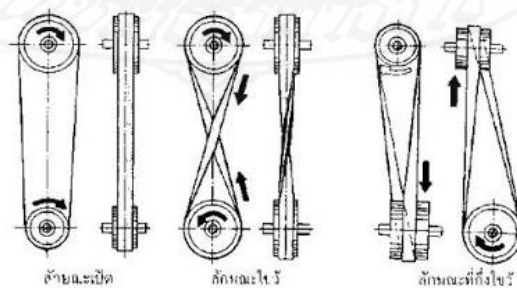


ภาพที่ 2.11 การส่งกำลังด้วยโซ่

ที่มา: [http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/03/blog-post\\_09.html](http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/03/blog-post_09.html)

### 6.3.3 การส่งกำลังด้วยสายพาน

การส่งกำลังด้วยสายพานเป็นการส่งกำลังชนิดแบบอ่อนตัวได้ ซึ่งมีข้อดีข้อเสียหลายอย่าง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการส่งกำลังแบบเฟืองและการส่งกำลังแบบโซ่ ข้อดีคือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ ข้อเสียของการขับด้วยสายพาน คือ อัตราการทดที่ไม่แน่นอนมักเนื่องจากการลื่นไถล (slip) และการครีฟ (creep) ของสายพานและต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลาหรือปรับแรงดึงในสายพานระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ยังไม่อาจใช้งานที่มีอัตราทดสูงมากได้



ภาพที่ 2.12 การส่งกำลังด้วยสายพาน

ที่มา: [http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/03/blog-post\\_09.html](http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/03/blog-post_09.html)

#### 6.3.4 การส่งกำลังด้วยคัปปลิง

คัปปลิง เป็นอุปกรณ์ส่งกำลังใช้สำหรับการจับยึดเพลลาให้เข้าไปในทิศทางเดียวกัน โดยทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านแรงบิดจากเพลลาสู่เครื่องจักร คัปปลิงผลิตจากวัสดุทั้งโลหะ ยาง และอลูมิเนียม บริเวณส่วนหัว ส่วนท้าย และด้านข้างจะมีรูไว้สำหรับใส่สกรูขันยึดคัปปลิง ซึ่งจะมีหลายขนาดให้เลือกตามขนาดเพลลาที่ต้องการประกอบใช้งาน สามารถประกอบติดตั้งง่ายมีความแข็งแรง ทนต่อแรงสั่นสะเทือนได้ดี เหมาะสำหรับนำมาใช้งานมอเตอร์และเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ



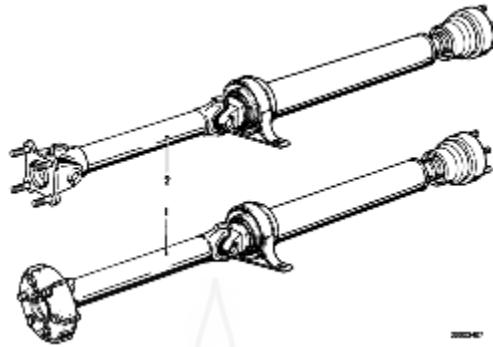
ภาพที่ 2.13 การส่งกำลังด้วยคัปปลิง

ที่มา: <http://www.ssprubber.com/index.php/vcs-blog/coupling.html>

#### 6.3.5 การส่งกำลังด้วยเพลลา

เพลลา เป็นอุปกรณ์ชิ้นส่วนที่ใช้ส่งกำลังหรือขับเคลื่อนให้เกิดการหมุนของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ประกอบกันอยู่ภายในเครื่อง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องจักรกลการเกษตร ระบบขนส่งทางอากาศ ระบบจัดการน้ำ เครื่องใช้ไฟฟ้า รวมถึงเครื่องมือเครื่องจักรภายในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยทั่วไปเพลลาจะมีหน้าตัดเป็นวงกลม มีผิวแข็งแรง ผลิตจากวัสดุเหล็กอ่อน แต่หากต้องการเพลลาที่มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการสึกหรอและการเสียดสีได้ดีจะใช้เหล็กกล้าผสมนิกเกิล นิกเกิลโครเมียม หรือเหล็กโครเมียมวานาเดียม ทำให้การส่งกำลังการหมุนมีความเร็วสูง ด้านทานแรงไม่ให้เพลลาคดหรือโค้งงอได้ ทั้งนี้เพลลาจะมีให้เลือกใช้งานอยู่หลายชนิด มีรูปร่าง ความยาวและคุณสมบัติในการทำงานที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ประเภทของเพลลาให้เหมาะสมกับงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงาน และช่วยยืดอายุการทำงานให้ยาวนานขึ้นอีกด้วย



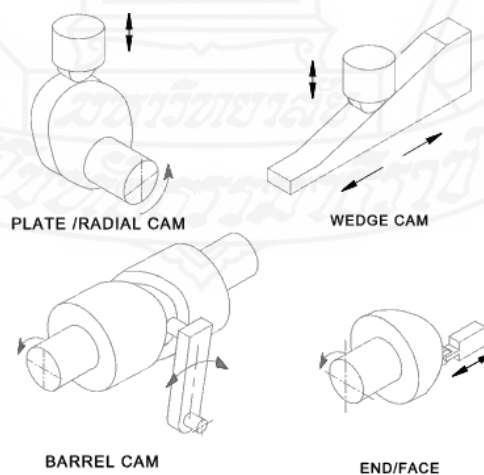


ภาพที่ 2.14 การส่งกำลังด้วยเพลา

ที่มา: <https://www.realoem.com/bmw/th/partgrp?id=HJ62-EUR---E34-BMW-525i&mg=26>

### 6.3.6 การส่งกำลังด้วยลูกเบี้ยว

ลูกเบี้ยว (cam floolwer) เป็นชิ้นส่วนประกอบที่มีความสำคัญต่อระบบส่งกำลังของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ เครื่องยนต์ อุปกรณ์นำเจาะ เครื่องใช้ไฟฟ้า และอื่นๆ อีกมากมาย โดยส่วนประกอบหลักของลูกเบี้ยวจะประกอบด้วยเพลา (shaft), ลูกเบี้ยว (cams) และตัวตาม (follower) ที่มีหลักการทำงานจากการหมุนแนวเส้นรอบวงแบบเคลื่อนกลับไปกลับมา และอาศัยผิวของตัวลูกเบี้ยวส่งกำลังผ่านตัวตามทำให้ชิ้นส่วนที่รับกำลังเกิดความคล่องตัวในการหมุนหรือเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง ทั้งนี้ลูกเบี้ยวที่นิยมใช้งานจะมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ซึ่งอาจจะแบ่งตามรูปร่างของลูกเบี้ยว การเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของตัวตามที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ลูกเบี้ยวให้ตรงกับลักษณะการใช้งานเพื่อให้การทำงานเกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.15 การส่งกำลังด้วยลูกเบี้ยว

ที่มา: <http://c2md2.dome.eng.cmu.ac.th/cam.php>

## 7. การทดสอบสมบัติของเส้นใยธรรมชาติ

### 7.1 การวิเคราะห์ลักษณะวิทยาของเส้นใย

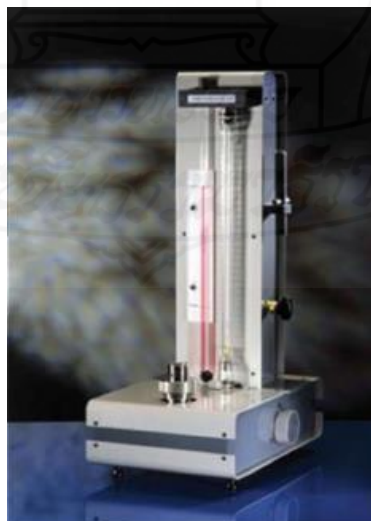
วิธีการนี้เป็นการดูลักษณะของเส้นใยตามภาคตัดขวาง (Cross section) และภาพตามแนวยาว (long section) โดยเส้นใยแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะตัวเมื่อถูกมองภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งสมบัติดังกล่าวนี้ ทำให้เราสามารถจำแนกชนิดของเส้นใยได้จากลักษณะเฉพาะที่แสดงในภาคตัดขวาง (Cross section) และภาพตามยาว (Long section) ของเส้นใยชนิดต่างๆ

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายอีกวิธีหนึ่ง เพราะก่อนที่เราจะกำหนดการหาชนิดของเส้นใยด้วย วิธีทำลายด้วยสารเคมีนั้น เราจะต้องนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์ก่อนว่าเป็นเส้นใยอะไร จะได้เลือกใช้สารเคมีที่ทำละลายได้ถูกต้อง (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2542)

### 7.2 การทดสอบความละเอียดของเส้นใย

ความละเอียดของเส้นใย สามารถหาได้ โดยการวัดความหนาแน่นของเส้นใยต่อหน่วยความยาว การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาคตัดขวางเส้นใยและการวัดการไหลผ่านของอากาศในกลุ่มเส้นใย (Micronaire) (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2542)

การวัดความละเอียดของเส้นใยฝ้าย จะใช้เครื่องทดสอบความละเอียดของเส้นใยฝ้าย (Cotton fineness meter) ค่าความละเอียดของเส้นใยฝ้ายที่วัดได้จากเครื่องนี้ เรียกว่า “ค่าไมโครแนร์ (Micronaire)” ซึ่งในประเทศอังกฤษค่าไมโครแนร์จะมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อเซนติเมตร และในประเทศสหรัฐอเมริกา ค่าไมโครแนร์มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อนิ้ว



ภาพที่ 2.16 เครื่องทดสอบความละเอียดของเส้นใยฝ้าย

การทดสอบความละเอียดด้วยเครื่องทดสอบความละเอียดของเส้นใยฝ้าย ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 3.24 กรัม ใส่ตัวอย่างทดสอบลงในกระบอกบรรจุเส้นใยใส่ตัวลอคเส้นใยลงในกระบอกบรรจุเส้นใย กดแล้วลอคให้แน่น เส้นใยจะถูกกดเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ความยาว 1 นิ้ว จากนั้นเปิดวาล์วให้อากาศไหลผ่าน ทำการอ่านค่าอัตราการไหลผ่านของอากาศในหน่วยไมโครกรัมต่อนิว หรือไมโครกรัมต่อเซนติเมตรบนสเกล นำผลการทดสอบ ที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าความละเอียดของเส้นใยใน ตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความละเอียดของเส้นใยเป็นไมโครแนร์

ค่าไมโครแนร์	ความหมาย
ต่ำกว่า 3.0	มีความละเอียดสูง
3.0 – 3.9	ละเอียด
4.0 – 4.9	ปานกลาง
5.0 – 5.9	หยาบ
มากกว่า 6.0	มีความหยาบสูง

## 8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดารีกา ดาวจินอัด และคณะ (2558) ได้ทำการวิจัยการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับดาหลาในเชิงพาณิชย์ด้วยการสกัดเส้นใยจากลำต้นดาหลาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการทอผ้าในจังหวัดนราธิวาส โดยศึกษาวิธีการแปรรูปด้วยการสกัดเส้นใยจากส่วนลำต้นของดาหลา พบว่า การใช้ น้ำเปล่าแช่สกัดเส้นใยจากต้นดาหลา เป็นระยะเวลา 8 วัน ไม่สามารถนำมาสกัดเป็นเส้นใยได้ เนื่องจากลำต้นยังคงอยู่ในสภาพเดิมไม่ย่อย วิธีการแช่ในสารสกัดเส้นใยเป็นเวลา 6 วัน ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยมากที่สุด 566.37 กรัม รองลงมา คือ วิธีการแช่ในสารสกัดเส้นใยเป็นเวลา 7, 5, 4 และ 8 วัน ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ย 533.38, 472.75, 467.38 และ 446.13 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้การแช่สารสกัดเส้นใยน้อยกว่า 6 วัน ลำต้นดาหลายังไม่เปื่อยนุ่มพอที่จะสามารถทำการสกัดให้ได้เส้นใยที่ดีได้ ส่วนการแช่สารสกัด เส้นใยมากกว่า 6 วัน อาจจะทำให้ต้นดาหลาเปื่อยยุ่ยมากเกินไป เมื่อนำมาสกัดเส้นใยจึงเกิดการขาดของเส้นใยจำนวนมาก โดยวิธีการแช่ในสารสกัดเส้นใยเป็นเวลา 4 วัน ให้ค่าความแข็งแรงเส้นใยเฉลี่ยสูงสุด 1.64 กรัม/ความหนาแน่น และค่าการยืดตัวขณะขาดเฉลี่ยสูงสุด 6.61

เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่วิธีการแช่ในสารสกัดเส้นใยเป็นเวลา 8 วัน ให้ค่าความแข็งแรงเส้นใยเฉลี่ยต่ำสุด 1.44 กรัม/ความหนาแน่น และวิธีการแช่ในสารสกัดเส้นใยเป็นเวลา 6 วัน ให้ค่าการยืดตัวขณะขาดเฉลี่ย 5.96 เปอร์เซ็นต์

เสาวณีย์ อารีจงเจริญ และคณะ (2556) ได้ทำการวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากเส้นใยตะไคร้ โดยนำใบตะไคร้มาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อผลิตเป็นเส้นใยตะไคร้ นำเส้นใยตะไคร้ไปปั่นเป็นเส้นด้ายใยตะไคร้ 100 เปอร์เซ็นต์ จะได้เส้นด้ายซึ่งมีขนาดใหญ่ ผิวสัมผัสไม่ค่อยเรียบ สามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภท กระเป๋า หมวก รองเท้า และได้ทำการพัฒนาเส้นด้ายใยตะไคร้เป็นเส้นด้ายสำหรับทอเป็นผืนผ้าเพื่อการนุ่งห่ม โดยการนำเส้นใยตะไคร้ผสมเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 60:40 มาผลิตเป็นผ้าทอมือจะได้ผ้าที่มีลักษณะลายผ้าที่สวยงาม แต่ผิวสัมผัสค่อนข้างกระด้าง การนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอประเภทเสื้อผ้า จึงต้องมีการตกแต่งผิวสัมผัสเพื่อการใช้งานที่ดี ผ้าผืนใยตะไคร้ เมื่อทอผ้าใหม่ ๆ จะคงยังมีกลิ่นของตะไคร้อยู่ ต่อเมื่อทิ้งผ้าไว้เป็นเวลานานประมาณ 1 เดือนกลิ่นก็จะจางหายไป

บุญศรี คู่สุขธรรม และมนูญ จิตต์ใจนำ (2556) ทำศึกษาการผลิตเส้นด้ายจากเส้นใยปอสา โดยสกัดเส้นใยออกมาจากเปลือกของต้นปอสา ในขั้นแรกนำเปลือกปอสามาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง และฟอกขาวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 60-90°C เป็นเวลา 10-120 นาที จากนั้นเส้นใยที่ได้จะนำไปปั่นให้เป็นเส้นด้าย ผลจากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเส้นใยปอสา คือ การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และฟอกขาวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 60 นาที โดยเส้นใยที่ได้จากการเตรียมมีเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 84.41 (โดยน้ำหนัก) การปั่นเส้นใยปอสาผสมกับเส้นใยฝ้ายให้เป็นเส้นด้ายมีความเป็นไปได้ รวมทั้งสมบัติเชิงกลของเส้นด้ายเหมาะสมกับการใช้งานทางสิ่งทอ

จรรยาบรรณ จรรยาธรรม และ ประทับใจ ลิกขา (2555) ได้ศึกษาการพัฒนาเส้นใยของต้นจากเพื่อใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ พบว่าส่วนของต้นจากที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ส่วนของใบ ก้านใบ โคนก้านใบ ก้านช่อดอก ก้านช่อผล ดอก และ ผล ส่วนของโคนก้านใบต้นจากมีเส้นใยที่สามารถนำมาแปรรูปด้วยการปั่นเป็นเส้นเชือกและนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุในงานหัตถกรรมถัก ทอ และสานได้ ในการพัฒนาคุณภาพของเส้นใยจาก ได้ทดลองนำเส้นใยจากไปผสมเส้นใยพืชอื่น ได้แก่ ป่านศรนารายณ์ ผักตบชวา กก และกล้วย ในอัตราส่วนที่ต่างกันแล้วนำไปทดสอบค่าการรับแรงดึงสูงสุด พบว่า เส้นใยจากผสมกับเส้นใยป่านศรนารายณ์อัตราส่วน 50:50 มี

ค่าการรับแรงดึงสูงสุด เส้นใยจากผสมเส้นใยกล้วยอัตราส่วน 75:25 และเส้นใยจากผสมเส้นใยกก อัตราส่วน 75:25 มีค่าการรับแรงดึงสูงรองลงมาตามลำดับ ซึ่งเหมาะสมนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่รับน้ำหนักมากได้ การนำเส้นใยมาพัฒนาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทำได้ 3 วิธี คือ การขึ้นรูปทรงอิสระ การทอเป็นแผ่น และการขึ้นรูปทรงด้วยแบบพิมพ์หรือโครง การประเมินความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์จากเส้นใยจากใน 6 ด้าน ได้แก่ ด้านประโยชน์และความเหมาะสมในการใช้งาน ขนาดของผลิตภัณฑ์เหมาะต่อการใช้งาน ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม มีความเป็นไปได้ออกในการผลิต มีความพึงพอใจกับผลิตภัณฑ์จากเส้นใยจาก และมีความสอดคล้องกับความต้องการของตลาด โดยประเมินจากผลิตภัณฑ์เส้นใยจาก 12 ชนิด พบว่าผลิตภัณฑ์จากเส้นใยจากทั้ง 12 ชนิด มีความเหมาะสมในระดับมากในทุกด้าน

อ้อยทิพย์ ผู้พัฒนา และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาวิธีการแยกเส้นใยจากก้านใบบัวหลวง สายพันธุ์พระราชินีและความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยมาผลิตเป็นเส้นด้าย โดยทำการศึกษาวิธีการแยกเส้นใย 3 วิธี ดังนี้ วิธีที่หนึ่ง แยกเส้นใยจากก้านใบบัวหลวงสายพันธุ์พระราชินี โดยการหมักในน้ำจืดเป็นเวลา 17 วัน วิธีที่สอง แยกเส้นใยจากก้านใบบัวหลวงสายพันธุ์พระราชินี โดยการต้มในน้ำจืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และวิธีที่สาม แยกเส้นใยจากก้านใบบัวหลวงสายพันธุ์พระราชินี โดยการต้มในสารละลายโซดาไฟเป็นเวลา 20 นาที ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2, 3, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า เส้นใยจากก้านใบบัวหลวงสายพันธุ์พระราชินี ที่แยกเส้นใยโดยการต้มในสารละลายโซดาไฟเป็นเวลา 20 นาที ที่ระดับความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ มีผิวสัมผัสอ่อนนุ่มมีสีเหลืองอ่อน และได้ปริมาณเส้นใย 2.34 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยมีความยาวเฉลี่ย เท่ากับ 17.34 นิ้ว หรือประมาณ 78.8 เปอร์เซ็นต์ ต่อความยาวของก้านใบบัวหลวงที่มีความยาวโดยประมาณ 22 นิ้ว ส่วนผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดึง 143.218 เซนติวัตตัน และค่าเฉลี่ยการยืดตัวของเส้นใยเท่ากับ 1.674 มิลลิเมตร เมื่อนำเส้นใยจากก้านใบบัวหลวงสายพันธุ์พระราชินีที่ได้จากวิธีการแยกเส้นใยดังกล่าว ช่างด้นไปปั่นเป็นเส้นด้าย พบว่า มีความสามารถในการปั่นเป็นเส้นด้ายได้ และสมบัติทางโครงสร้างของเส้นด้ายที่ได้จากการปั่น มีค่าแรงดึงขาด เท่ากับ 13.93 นิวตัน และมีการยืดตัวขณะขาดเท่ากับ 2.85 เปอร์เซ็นต์

พิรพงษ์ จันทร (2554) ได้ทำการศึกษาการนำเส้นใยเขาคอนมาเป็นวัตถุดิบในการปั่นด้าย พบว่าการนำเส้นใยจากฝักเขาคอนแก่จัดและแห้งจากป่าตั้งรังตามธรรมชาติบนเทือกเขาภูพาน น้อยถ้ำสิงห์ ตำบลขอนแก่น อำเภอกุดจับ จังหวัดอุดรธานี โดยทดลองผสมเส้นใยเขาคอนกับเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วนผสม 50:50, 40:60 และ 30:70 (โดยน้ำหนัก) และใช้กระบวนการปั่นเส้นด้ายแบบวงแหวน ( Ring Spinning) ผลจากการทดลองสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้

พรรณี รัตนชัยสิทธิ์ และกฤษฎา บุญนิล (2538) ได้ทำการวิจัย การผลิตผ้าจากเส้นใยต้น  
 ฐูปญาณี โดยทดลองสกัดเส้นใย 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 ล้างน้ำและทับให้แห้ง แล้วนำมาแยกเส้นใยด้วยมือ  
 ผลที่ได้ เส้นใยมีสีเหลืองอ่อน เหนียวเป็นมันนุ่มมือ มีสิ่งสกปรกติดน้อย วิธีที่ 2 การสกัดเส้นใยด้วย  
 การต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 2% นาน 2 ชั่วโมงแล้วจึงนำมาแยก  
 เส้นใย ผลที่ได้เส้นใยมีสีเหลืองแก่ เปราะขาดง่าย แข็งกระด้าง สิ่งสกปรกน้อยมาก เส้นใยที่ได้เป็น  
 เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวปานกลาง ความเหนียวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปียก มีความละเอียดของเส้นใย  
 เท่ากับ 6.768 เดเนียร์ (Denier)

ชัยยุทธ ช่างสาร (2536) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับต้นฐูปญาณี เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทาง  
 อุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยได้ทำการทดลองแยกเส้นใยทั้งทางด้านเชิงกลและเชิงเคมี พบว่าการแยกใย  
 ออกจากใบในเชิงเคมีได้ผลดีที่สุด โดยใช้กรรมวิธีการละลายด้วยโซดาไฟ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2  
 สามารถแยกใยออกจากใบสดได้ในปริมาณร้อยละ 11.2 เส้นใยที่ได้นำมาเตรียมเส้นใย ด้วยการทำให้  
 ความสะอาด (scouring) ฟอกขาว (bleaching) และทำให้นุ่ม (softening) เพื่อลดความกระด้างของ  
 เส้นใยและแรงเสียดทานให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตเส้นด้าย ด้วยเครื่องปั่นด้ายระบบ  
 ปลายเปิด (open-end spinning) โดยการตัดเส้นใยให้มีขนาดความยาว 38 มิลลิเมตร ทำให้แยกเส้นใย  
 ละเอียดได้ปริมาณเพิ่มขึ้นกว่าเดิมถึง 3 เท่า ผ่านกรรมวิธีการสาวใยด้วยเครื่องสาวใยโดยใช้กรรมวิธี  
 เช่นเดียวกับการสาวใยฝ้ายทำให้เป็นเส้นสไลเวอร์ (Sliver) แล้วนำเส้นสไลเวอร์ ที่ได้ไปผ่านชุดลด  
 ขนาดเส้นใยเพื่อให้เส้นใยเรียงตัวกันดีขึ้น มาปั่นเป็นเส้นด้ายที่ผสมเส้นใยและลดขนาดสไลเวอร์  
 ให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับการปั่นด้าย โดยปั่นด้ายได้ที่ขนาดหรือเบอร์ 10 (ระบบฝ้าย) สามารถ  
 นำไปผสมปั่นกับใยฝ้ายได้ในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 80 มีสมบัติทางเคมี และทางกายภาพใช้  
 งานทางด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ซึ่งสามารถย้อมติดได้ด้วยสีไครเร็กซ์ สิริแอคทิฟ และทีเบสิก

ศราวุธ โตสวัสดิ์ (2554) การศึกษาการแยกเส้นใยไผ่สีสุกเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบทางสิ่ง  
 ทอ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาไผ่สีสุก โดยการแยกใยแบบเยื่อกระดาษและได้นำเส้นใยไป  
 ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการทางเคมี โดยการต้ม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 3  
 ชั่วโมง นำเส้นใยที่ออกมาทำการสลัดตากแห้งและเอาเข้าเครื่องสาวใยขนาดเล็ก และนำเส้นใยไป  
 ทดสอบสมบัติต่างๆทางกายภาพ

ทศพร อินไซ (2550) ได้ทำการศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องรีดและตัด  
 ผักตบชวา ตากแห้งเพื่อใช้ในงานหัตถกรรมจักสาน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดเวลาในการรีดและตัด  
 ผักตบชวา และช่วยให้การรีดและตัดผักตบชวาได้ปริมาณมากขึ้น ซึ่งการทำงานแบบเดิมเป็น  
 อุปกรณ์ 2 ชั้นทำงานทีละขั้นตอน คือ ทำการรีดผักตบชวาให้เรียบก่อนแล้วจึงนำไปสู่ขั้นตอนที่สอง  
 คือแบ่งเส้นตามขนาดที่กำหนด โดยใช้เวลาในการทำงานรวม 26.665 วินาที/ต้น การพัฒนา

เครื่องจักร ได้รวมขั้นตอนสองขั้นตอนไว้ในเครื่องเดียวกัน คือทั้งรีดและตัดผักตบชวาได้ในเครื่องเดียวกัน และลดเวลาการทำงานลงเหลือ 22.6 วินาที ซึ่งน้อยกว่าวิธีเดิม 15.25 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำได้ครั้งละ 9 ต้น โดยเครื่องมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 35 x 60 x 65 เซนติเมตร ประกอบด้วย โครงเครื่อง ชุดถ่ายทอดกำลัง ระบบรีด และระบบตัด มีความเร็วรอบลูกรีด 16.5 รอบต่อนาที



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องจักรต้นแบบเพื่อปรับปรุงความละเอียดเส้นใยคาหลาจากส่วนลำต้น และเปรียบเทียบสมบัติเส้นใยคาหลาที่ปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยวิธีเคมีเทียบกับการใช้เครื่องจักร โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาเครื่องจักรให้สามารถปรับปรุงสมบัติของเส้นใยให้สามารถนำมาใช้เป็นเส้นใยสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อลดปัญหาการจัดการสารเคมีเหลือทิ้งจากกระบวนการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมีแบบเดิม

#### 1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

เส้นใยคาหลาที่ได้จากต้นคาหลา ที่ปลูกในพื้นที่ อ.รือเสาะ จังหวัดนราธิวาส ตัดสูงจากพื้นดินประมาณ 5 เซนติเมตร

#### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

##### 2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุงความละเอียดเส้นใยด้วยวิธีเคมี

จากการศึกษาการทำงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเส้นใยคาหลา บ้านนาโอน อำเภอ รือเสาะ จังหวัดนราธิวาส มีการใช้เครื่องมือในการปรับปรุงความละเอียดเส้นใยด้วยวิธีเคมี ประกอบด้วย

- มีดที่ใช้ในการผ่าลำต้นคาหลา
- เครื่องตีแยกเส้นใย สำหรับการตีแยกเส้นใยจากชิ้นส่วนของลำต้นที่ทำการผ่าแยกไว้
- ถังสำหรับแช่สารเคมี โดยใช้ถังขนาด 100 ลิตร สำหรับบรรจุสารเคมีจำนวน 60 ลิตร และเส้นใยสดจำนวน 10 กิโลกรัม
- ถังสำหรับล้างสารเคมีออกจากเส้นใย



## 2.2 เครื่องตีแยกเส้นใย

เครื่องจักรตีแยกเส้นใย แสดงในภาพที่ 3.1 เป็นเครื่องจักรในการตีแยกเส้นใยสด จากส่วนของลำต้นของพืช ทำงานโดยการหมุนตีหรือขูดให้เส้นใยแยกออกจากกัน จะได้ผลิตภัณฑ์ เป็นเส้นใยและเศษเส้นใยและเศษเนื้อเยื่อของพืช โดยนำเฉพาะเส้นใยไปใช้งานในการปรับปรุง ความละเอียด



ภาพที่ 3.1 เครื่องตีแยกเส้นใย

## 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเส้นใย

เครื่องมือและวิธีการทดสอบเพื่อให้ทราบสมบัติของเส้นใย ว่ามีความเหมาะสมกับการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอประเภทใดบ้าง โดยมีการวิเคราะห์และทดสอบที่สำคัญ ดังนี้

### 2.3.1 การวิเคราะห์เส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Micro Scope)

วิธีการนี้เป็นการดูลักษณะของเส้นใย และวัดขนาดของเส้นใยด้วยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ รุ่น Jiusion 1000x ดังภาพที่ 3.2 โดยใช้กำลังขยายที่ 40-1000 เท่า บันทึกเป็นไฟล์ภาพและตรวจสอบขนาดโดยใช้โปรแกรม ImageJ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถคำนวณสัดส่วนพื้นที่ ขนาดพื้นที่ในการวัด เช่น ตารางมิลลิเมตร หรือ ค่าในหน่วย pixel ของรูปนั้น วัดระยะความยาวของเซลล์ วัดความหนาแน่นของรูปภาพและแสดงค่าต่างๆในรูปสถิติได้ โดยการวัดขนาดเส้นใยจะใช้ความยาวของเส้นที่ลากตั้งฉากจากด้านหนึ่งของเส้นใยไปยังด้านตรงข้าม ผลที่ได้จะได้เป็นจำนวน pixel และหน่วยความยาวตามที่กำหนด เช่น มิลลิเมตร เป็นต้น



ภาพที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์แบบเชื่อมต่อแสดงภาพในคอมพิวเตอร์

### 2.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแบบฟิลด์อิมิชชัน และการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานรังสีเอ็กซ์

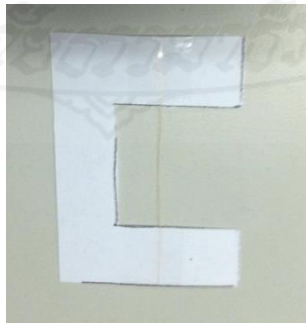
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแบบฟิลด์อิมิชชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope; FESEM) รุ่น NovaTM NanoSEM 450 ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ซึ่งเป็นกล้องที่มีกำลังขยายสูงได้ถึง 2,000,000 เท่า และใช้การถ่ายภาพที่ความดันสุญญากาศต่ำที่ 500 Pa เพื่อตรวจวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว ขนาด รูปร่างของอนุภาค และลักษณะการกระจายของเฟสในโครงสร้างจุลภาค โดยการวิจัยนี้ ใช้ศักย์ไฟฟ้า 15 kV กำลังขยาย 100, 200 และ 500 เท่า เนื่องจากขนาดตัวอย่างใหญ่กว่า 0.05 mm และต้องการส่องดูพื้นผิวเส้นใยเป็นสำคัญ และเนื่องจากการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดใช้หลักการถ่ายภาพด้วยคลื่นอิเล็กตรอน จึงต้องนำตัวอย่างเส้นใยไปเคลือบทองก่อนเข้าวิเคราะห์ เพื่อให้ภาพที่คมชัดกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเคลือบทอง การเริ่มต้นทำงานของเครื่องด้วยการนำตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบทองแล้วใส่ในเครื่องปิดฝาเครื่อง เปิดระบบ Vacuum เมื่อเครื่องพร้อมทำงาน จึงสแกนผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่อง FESEM มีการเชื่อมต่อกับระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: EDS) เพื่อทำการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่าง โดยมีช่วงธาตุที่วิเคราะห์ได้ตั้งแต่ธาตุเบริลเลียม (Beryllium, Be) ถึงธาตุแคลิฟอร์เนียม (Californium, Cf)



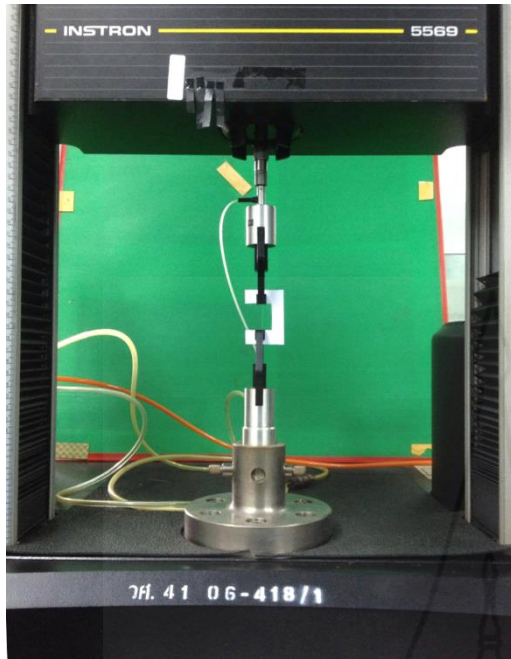
ภาพที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแบบฟิลด์อิมชัน

### 2.3.3 การทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใย และวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการยืดตัว ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Strength Tester)

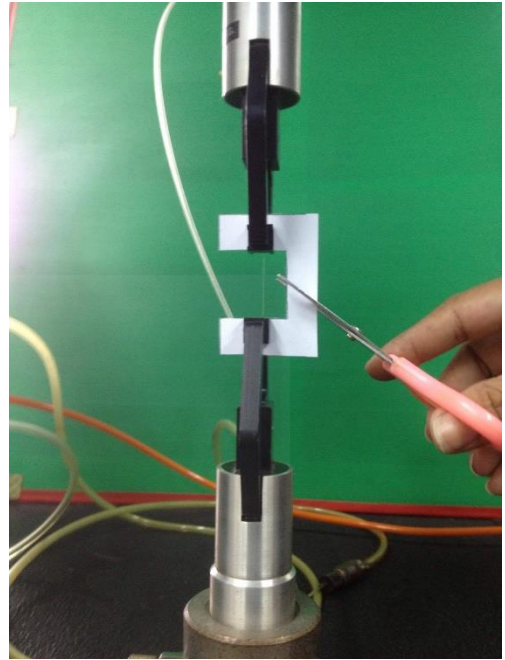
วิธีการทดสอบ โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Strength Tester) รุ่น INSTRON 5569 ดังแสดงในภาพที่ 3.5 ตามมาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers เพื่อวิเคราะห์ค่าการรับแรงดึงของเส้นใย มีหน่วยเป็น เซนตินิวตัน (cN) และวิเคราะห์ค่าความสามารถในการยืดตัว มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยนำตัวอย่างเส้นใยความยาวประมาณ 50 มิลลิเมตร มาติดบนกระดาษแข็งรูปตัวซี ดังแสดงในภาพที่ 3.4 โดยมีระยะช่องว่างภายในยาว 25 มิลลิเมตร นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบแรงดึงโดยใช้อุปกรณ์จับยึดที่ปลายทั้งสองข้างของเส้นใย ตัดกระดาษให้ขาดออกจากกัน ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบ



ภาพที่ 3.4 การเตรียมตัวอย่างเส้นใยสำหรับทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใย



(ก) เครื่องทดสอบแรงดึง



(ข) การเตรียมการทดสอบแรงดึง

ภาพที่ 3.5 เครื่องทดสอบแรงดึง

การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัว สามารถพิจารณาได้จากสูตรสมการที่ 1.1 ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัว} = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \quad (1.1)$$

เมื่อ  $L_f$  = ความยาวของเส้นใยหลังจากดึงจนขาด

$L_0$  = ความยาวของเส้นใยเริ่มต้น

### 2.3.4 การทดสอบความละเอียดของเส้นใย ด้วยเครื่อง *WIRA Cotton Fineness*

#### *Meter*

เป็นการทดสอบโดยการวัดการไหลผ่านของอากาศในกลุ่มเส้นใย ซึ่งแสดงค่าเป็นไมโครแนร์ (Micronaire) โดยสุ่มตัวอย่างเส้นใยจำนวน 5 กลุ่มๆ 5 กรัม นำมาใส่ในเครื่อง *WIRA Cotton Fineness Meter* ทีละกลุ่ม โดยปรับตั้งแรงดันลมของเครื่องให้เท่ากับ 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เปิดสลักปล่อยลมผ่านชุดใส่เส้นใย และอ่านค่าจากสเกลที่หลอดแก้ว โดยค่าที่แสดงในหลอดแก้วเกิดจากเครื่องปั๊มลมที่ปล่อยแรงดันลมผ่านเส้นใยมาที่หลอดแก้ว



ภาพที่ 3.6 เครื่องทดสอบความละเอียดของเส้นใย

### 2.3.5 เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition)

การวิเคราะห์หาปริมาณ ไฮโดรเซลลูโลส ด้วยวิธี acid chlorite ตามวิธีของ Browing (1963) หาปริมาณเซลลูโลสตามวิธี TAPPI (1999) หาปริมาณลิกนินตามวิธี TAPPI (2002) และการคำนวณหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส สาลินี (2559) ได้ให้วิธีวิเคราะห์ไว้ดังนี้

1) การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเซลลูโลส ด้วยวิธี acid chlorite ตามวิธีของ Browing (1963)

ดำเนินการโดยเตรียมตัวอย่างเส้นใย ประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 160 มิลลิลิตร กรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์  $1.5 \pm 0.1$  กรัม ตามลำดับ แล้วนำขวดก้นกลมไปวางลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิประมาณ 70 - 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากครบชั่วโมงที่ 1, 2 และ 3 เติมกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์  $1.5 \pm 0.1$  กรัม ลงในสารละลายที่ยังร้อนอยู่แล้วเขย่าอย่างสม่ำเสมอในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เมื่อครบ ชั่วโมงที่ 4 นำขวดก้นกลมมาวางในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งสารละลายในขวดมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และนำสารละลายมากรองล้างตะกอนด้วยน้ำเย็นและอะซิโตน หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วนำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณไฮโดรเซลลูโลสจากสมการที่ 1.2

$$\% \text{ โสโลเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของโสโลเซลลูโลส หลังการอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเส้นใย (กรัม)}} \quad (1.2)$$

### 2) วิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสตามวิธี TAPPI (1999)

เตรียมตัวอย่างจากการวิเคราะห์หาโสโลเซลลูโลส น้ำหนัก  $1.5 \pm 0.1$  กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 40 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ลงไปโดยให้อุณหภูมิของสารละลายอยู่ที่  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส พร้อมคนสารละลายจนกระทั่งเยื่อกระจายสมบูรณ์ หลังจากนั้นเติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ ลงไปโดยให้ปริมาตรรวมของสารละลายเท่ากับ 100 มิลลิลิตร คนสารละลายต่อเป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วคนสารละลายต่อเป็นเวลา 30 นาที กรองสารละลายแล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นและตามด้วยสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และนำไปอบที่ 80 องศาเซลเซียส แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเซลลูโลสจากสมการที่ 1.3

$$\% \text{ เซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของเซลลูโลสหลังการอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเส้นใย (กรัม)}} \quad (1.3)$$

### 3) วิเคราะห์หาปริมาณลิกนินตามวิธี TAPPI (2002)

เตรียมตัวอย่างเส้นใยน้ำหนัก  $1.0 \pm 0.1$  กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และนำไปวางลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส แล้วค่อยๆ เติมน้ำละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 72 เปอร์เซ็นต์ ที่แช่เย็นอุณหภูมิ 10 – 15 องศาเซลเซียส ลงไป 15 มิลลิลิตร พร้อมคนอย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 15 นาที เพื่อให้ผสมกันดีขึ้น ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา แล้วนำออกจากอ่างน้ำแข็งมาตั้งทิ้งไว้ที่อ่างควบคุมอุณหภูมิ  $20 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พร้อมคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอ เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตรลงในขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วเทสารละลายในบีกเกอร์ลงในขวดก้นกลม พร้อมทั้งเติมน้ำกลั่นลงไป จนถึงปริมาตร 575 มิลลิลิตร ทำการสกัดแบบไหลย้อนกลับ (reflux) สารละลายเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นเทสารละลายทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้ 1 คืน แล้วนำไปกรองและล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วนำออกมาทำให้เย็นลงในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักพร้อมคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ลิกนิน ตามสมการที่ 1.4

$$\% \text{ ลิกนิน} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของตะกอนหลังการอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเส้นใย (กรัม)}} \quad (1.4)$$

#### 4) การคำนวณหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส

จากการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและเซลลูโลส ดังข้างต้น สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณเฮมิเซลลูโลสได้จากสมการที่ 1.5

$$\text{เฮมิเซลลูโลส} = \text{ไฮโดรเซลลูโลส} - \text{เซลลูโลส} \quad (1.5)$$

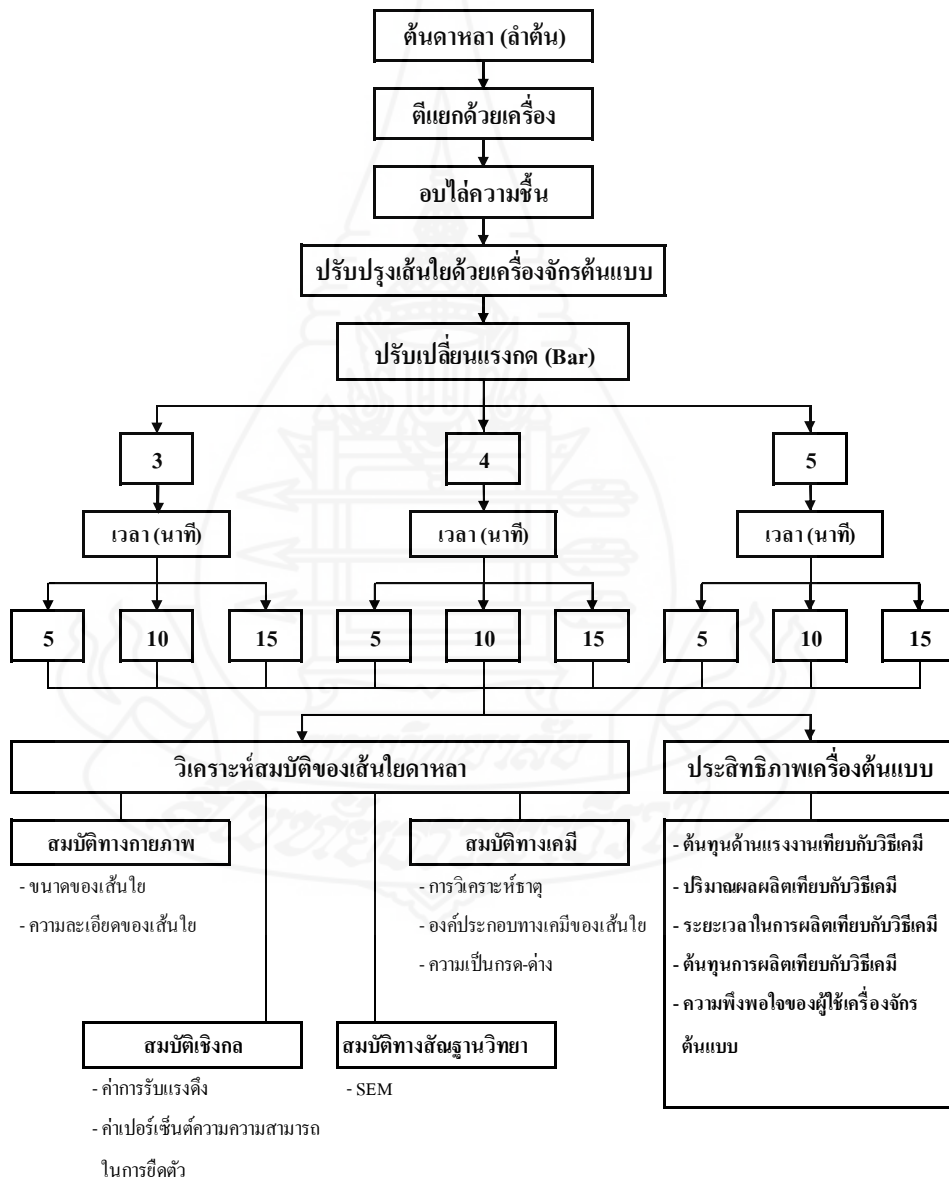
### 2.3.6 เครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบความพึงพอใจในการทำงานของเครื่องจักร

#### ต้นแบบ

ใช้แบบสอบถาม โดยใช้เทคนิค (Index of Item – Objective Congruence : IOC) เทคนิค IOC เป็นเทคนิคในการแสดงความสอดคล้องระหว่างข้อความกับวัตถุประสงค์ เป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามเป็นรายข้อ การหาค่า IOC จะใช้ดุลยพินิจของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 คน ในการให้คะแนนจากนั้นผู้วิจัยจึงทำการให้คะแนนแต่ละข้อโดยจะต้องสอดคล้องกับคำตอบของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ แล้วจึงบวกกับคะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนในแต่ละข้อให้แล้วหารด้วยจำนวนผู้เชี่ยวชาญ จึงจะได้ค่า IOC ของคำถามในข้อนั้น ๆ และค่าคะแนนที่ได้ต้องได้คะแนนมากกว่า 0.5 ถึงจะสรุปได้ว่าแบบสอบถามนั้นมีความเที่ยงตรง การนำเทคนิค IOC มาใช้กับแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้เครื่องจักรต้นแบบ จะช่วยให้ทราบได้ว่าเครื่องจักรต้นแบบมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และความต้องการของผู้ใช้งานมากน้อยเพียงใด

### 3. วิธีการทดลอง

ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักร เพื่อปรับสภาพเส้นใยหรือปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคาทลา ต้องออกแบบเครื่องจักรให้สามารถแยกเอาสารเจือปนในเส้นใยคาทลาให้หลุดออกมามาจนได้เส้นใยละเอียด โดยใช้หลักการปรับแรงกดของลูกกลิ้งกดอัด และปรับระยะเวลาในการกดอัด ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทดลอง



### 3.1 การแยกเส้นใยด้วยเครื่องจักร

จากการเข้าศึกษาถึงวิธีการทำการผลิตของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเส้นใยคาหลาบ่านนาโอน อำเภอรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส พบว่า วิสาหกิจชุมชนฯ มีขั้นตอนในการดำเนินการผลิตในขั้นตอนของการเตรียมเส้นใยโดยใช้เครื่องตีแยกเส้นใยซึ่งเป็นวิธีเชิงกล ดังนี้

#### 3.1.1 การเหลาลำต้นคาหลา

ในขั้นตอนนี้วิสาหกิจชุมชนฯ จะตัดต้นคาหลา และนำมาตัดแยกใบออกจากลำต้น เนื่องจากใบไม่สามารถเข้าสู่เครื่องตีแยกใยได้ เพราะใบจะแตกเป็นชิ้นเศษและทำให้เส้นใยจากใบเสียหาย

#### 3.1.2 การผ่าแยกลำต้นคาหลา

ในขั้นตอนนี้วิสาหกิจชุมชนฯ จะทำการทุบ และผ่าลำต้นคาหลาออกเป็น ส่วนๆ ตามแนวยาว เนื่องจากขนาดของลำต้นไม่สามารถใส่เข้าเครื่องตีแยกใยได้โดยตรง จำเป็นต้องทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือความโตของลำต้นคาหลาลดลงเสียก่อน การนำใส่ โดยไม่ผ่าลำต้นเครื่องจะไม่ตีออกมาเป็นเส้นใยแต่จะเป็นลักษณะขูดตัดซึ่งจะเป็นเศษละเอียดไม่สามารถใช้งานในลักษณะเส้นใยสิ่งทอได้

#### 3.1.3 การแยกเส้นใยด้วยเครื่อง

ในขั้นตอนนี้วิสาหกิจชุมชนฯ จะนำลำต้นที่ผ่านการทุบและผ่าลำต้นแล้ว ใส่เข้าเครื่องตีแยกเส้นใย โดยจะต้องใช้มือในการประครอง หรือช่วยดันเข้าเครื่อง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ จะได้เส้นใยสดที่มีความยาว ปะปนกับเศษเนื้อเยื่อและเศษเส้นใยที่ขาดระหว่างการตี ซึ่งจะต้องมีการสกัดเพื่อให้เศษเนื้อเยื่อที่ไม่ได้ใช้บางส่วนหลุดออกไป

#### 3.1.4 การตากเส้นใยสด

ในขั้นตอนนี้วิสาหกิจชุมชนฯ จะนำเส้นใยสดที่ได้มามัดเป็นวง และนำไปแขวนตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้ระยะเวลาตากเฉลี่ยประมาณ 2 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณแสงอาทิตย์ เพื่อให้เส้นใยมีการคงรูป หากไม่ผ่านการตากแต่นำไปแช่สารเคมีเลยเส้นใยจะเปื่อยยุ่ยใช้งานไม่ได้

### 3.2 การปรับปรุงเส้นใยดาหลาด้วยวิธีเคมี

จากการเข้าศึกษาถึงวิธีการทำการผลิตของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเส้นใยดาหลาบ้านนาโอน อำเภอรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส ซึ่งเป็นการผลิตเส้นใยดาหลาที่ปรับปรุงเส้นใยด้วยการแช่หมักสารเคมี พบว่า วิสาหกิจชุมชนฯ มีขั้นตอนในการดำเนินการปรับปรุงด้วยสารเคมี สกัด ดังนี้

#### 3.2.1 การหมักแช่สารเคมี

ในขั้นตอนนี้วิสาหกิจชุมชนฯ จะนำเส้นใยที่ผ่านการตากแดดจนแห้งแล้ว มาเขย่า หรือฟาดเพื่อให้เศษเนื้อเยื่อต่างๆ ที่เกาะตามผนังของเส้นใยซึ่งแห้งแล้วหลุดออก เพื่อลดระยะเวลาในการแช่สารเคมี แล้วจึงนำเส้นใยใส่ในถังหมักขนาด 100 ลิตร ซึ่งบรรจุสารเคมีสูตรเฉพาะของทางวิสาหกิจชุมชนฯ ที่ได้มีการซื้อจากบริษัทเอกชนนำเข้ามาใช้งาน จำนวน 60 ลิตร โดยใช้สารเคมีดังกล่าว 100% ไม่มีการผสมให้เจือจางอีก ปริมาณเส้นใยใส่ให้ต่ำกว่าระดับสารเคมีเล็กน้อย และมีระยะเวลาในการหมักแช่ตามลำดับของการใช้ซ้ำของสารเคมี ดังนี้

การใช้สารเคมีในการแช่หมักครั้งที่ 1 ใช้ระยะเวลาในการแช่หมัก 7 วัน

การใช้สารเคมีเดิมในการแช่หมักครั้งที่ 2 จะใช้ระยะเวลาในการแช่หมักเพิ่มขึ้นเป็น 15 วัน

การใช้สารเคมีเดิมในการแช่หมักครั้งที่ 3 จะใช้ระยะเวลาในการแช่หมักเพิ่มขึ้นเป็น 30 วัน หรือเปลี่ยนเป็นการแช่หมักใบของดาหลาแทนเส้นใยจากส่วนของลำต้นในระยะเวลาที่เท่ากัน

ทั้งนี้เพราะ ทางวิสาหกิจชุมชนฯ ไม่ทราบสูตรการใช้สารเคมี ทำให้ไม่สามารถปรับความเข้มข้นของสารเคมีได้อย่างเหมาะสมเท่ากับการใช้งานสารเคมีครั้งแรก จึงทำให้ระยะเวลาในการแช่หมักสกัดเส้นใยใช้เวลายาวนานขึ้น

#### 3.2.2 การทำความสะอาดเส้นใย

ในขั้นตอนนี้วิสาหกิจชุมชนฯ จะนำเส้นใยที่ผ่านการแช่สารเคมีครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วมาล้างทำความสะอาด โดยวางบนพื้นดินน้ำใส่เพื่อชะล้างสารเคมีออกไป ในขั้นตอนนี้ น้ำที่ล้างสารเคมีจะถูกล่อยให้ไหลไปตามทางระบายน้ำ

#### 3.2.3 การยี่และแยกเส้นใยด้วยมือ

ในขั้นตอนนี้วิสาหกิจชุมชนฯ จะนำเส้นใยที่ผ่านการชะล้างสารเคมีออกแล้ว มายี่เพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกัน โดยใช้มือยี่และจับแยกทีละเส้น เนื่องจากเส้นใยบางส่วนยังไม่แยกออกจากกัน จึงต้องใช้แรงจากมือในการจิกแยกเส้นใย

### 3.2.4 การตากเส้นใยที่ผ่านการล้างทำความสะอาดแล้ว

ในขั้นตอนนี้วิสาหกิจชุมชนฯ จะนำเส้นใยที่ผ่านการแยกด้วยมือไปทำความสะอาดด้วยน้ำยาซักผ้าให้สะอาด แล้วจึงนำไปตากให้แห้ง เพื่อบรรจุถุงรอการส่งจำหน่ายให้กับโรงงาน

## 3.3 การออกแบบและสร้างเครื่องจักรในการปรับปรุงเส้นใยด้าย

### 3.3.1 การออกแบบเครื่องจักร

แนวคิดในการออกแบบเครื่องจักร เบื้องต้น กำหนดให้สามารถบีบอัดเส้นใยได้ด้วยแรงกดจากกระบอกลมที่มีแรงกดต่างๆ กัน และสามารถปรับตั้งระยะเวลาในการทำงานของเครื่องจักรได้ จึงกำหนดชุดอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้

1) **ขนาดเครื่องจักรต้นแบบ** กำหนดขนาดโดยประมาณ ความกว้าง 55 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตรและความสูง 180 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.8 ผลิตจากวัสดุเหล็กรูปพรรณ และเหล็กแผ่น และมีระยะความสูงของชุดลูกกลิ้ง 150 เซนติเมตรจากฐานเครื่อง เพื่อให้เหมาะสมกับคนทำงานซึ่งทั้งหมดเป็นกลุ่มสตรีในชุมชน โดยสามารถนำเส้นใยเข้าและออกเครื่องได้ง่าย ไม่ต้องก้มหรือยียดตัวมาก

2) **ชุดปรับสภาพเส้นใย** ซึ่งเป็นชุดลูกกลิ้งที่สัมผัสกับเส้นใย ทำหน้าที่ในการปรับสภาพเส้นใยจากแรงกดประกอบด้วย

(1) **อุปกรณ์ลูกกลิ้งสำหรับพาเส้นใย** ชนิดสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 เซนติเมตร ยาวประมาณ 26 เซนติเมตร จำนวน 2 ลูก

(2) **อุปกรณ์ลูกกลิ้งกดอัดเส้นใย** ชนิดสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร ยาวประมาณ 20 เซนติเมตรจำนวน 1 ลูก

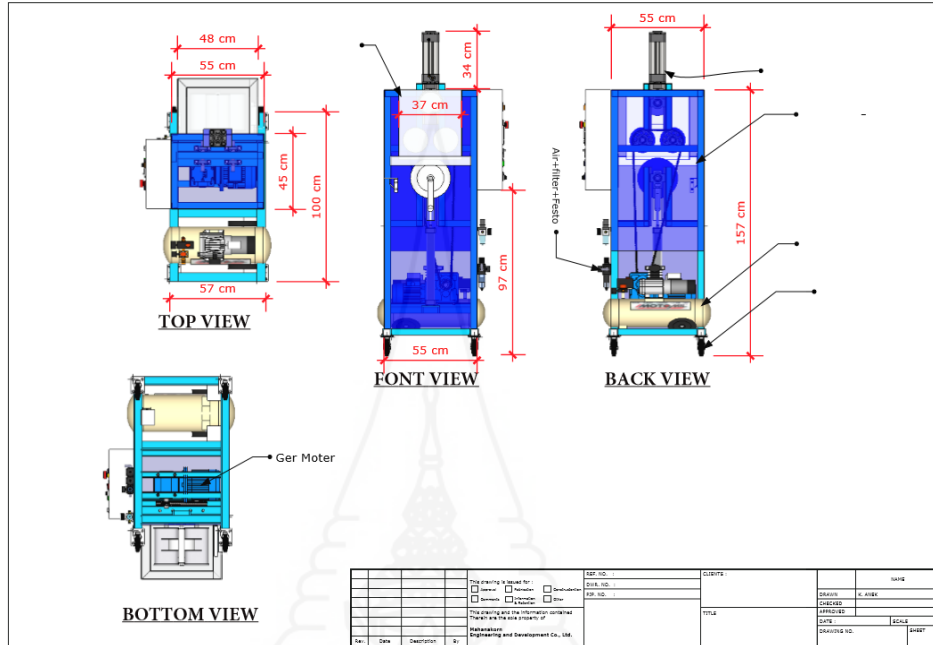
3) **ชุดส่งกำลัง** ซึ่งทำหน้าที่ส่งกำลังให้กับชุดปรับสภาพเส้นใยประกอบด้วย

(1) **ชุดส่งกำลังกดอัด** ใช้อุปกรณ์กระบอกลมขนาดพื้นที่ 125 ตารางเซนติเมตร ระยะเคลื่อนออกของแกนประมาณ 7 เซนติเมตร สำหรับส่งกำลังให้ลูกกลิ้งกดอัดเส้นใย โดยใช้แรงดันลมจากเครื่องปั๊มลม ผ่านชุดปรับแรงดันลม

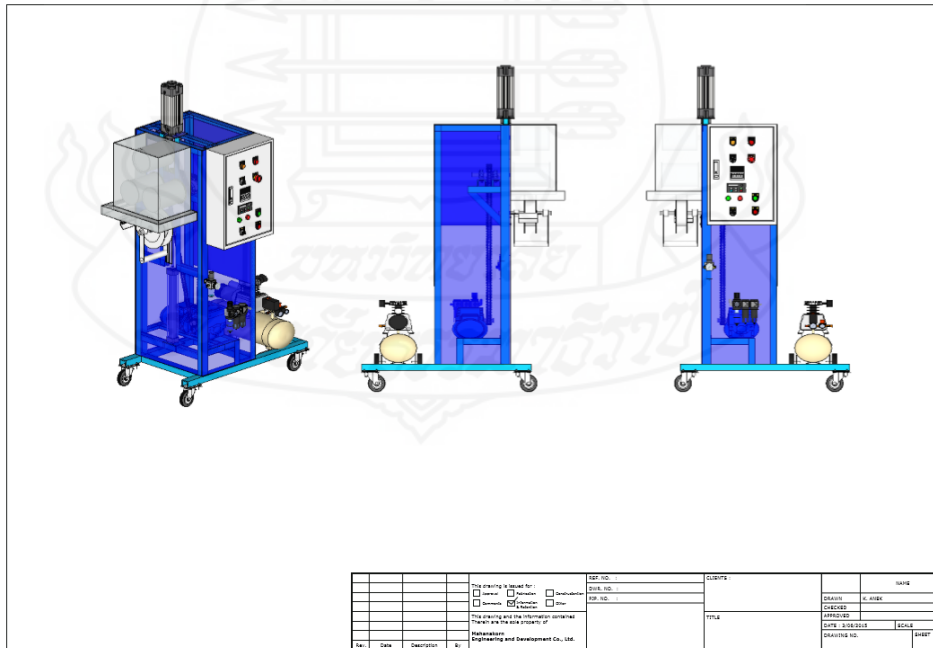
(2) **ชุดปรับแรงดันลม** สำหรับปรับแรงดันกระบอกลม โดยติดตั้งตัวกรองลมดักน้ำและปรับแรงดันลม (Regulator) ซึ่งสามารถปรับแรงดันตั้งแต่ 0 - 5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

(3) **ชุดส่งกำลังขับ** สำหรับอุปกรณ์ลูกกลิ้งพาเส้นใย โดยใช้มอเตอร์กระแสสลับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ มีกำลังไฟฟ้า 745 วัตต์ ส่งกำลังผ่านชุดเกียร์อัตราทด 1:60 และ

โซ่ขับเคลื่อนเฟืองของลูกกลิ้งพาเส้นใย ผลจากการออกแบบเครื่องจักรดังแสดงในภาพที่ 3.8 และภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.8 แบบร่างขนาดและตำแหน่งอุปกรณ์ของเครื่องจักรต้นแบบ



ภาพที่ 3.9 แบบร่างลักษณะของเครื่องจักรต้นแบบ

### 3.3.2 การเตรียมอุปกรณ์ประกอบเครื่องจักรต้นแบบ

อุปกรณ์ส่วนประกอบหลักๆของเครื่องจักรต้นแบบประกอบด้วย

- 1) มอเตอร์กระแสสลับ ขนาด 1 แรงม้า รุ่น MH802-4-B5 Suntech 0.75 kw 1400 rpm สำหรับขับเคลื่อนของลูกกลิ้งสำหรับกดเส้นใย ดังแสดงในภาพที่ 3.10



(ก) มอเตอร์ ขนาด 1 แรงม้า



(ข) ป้ายแสดงข้อมูลของมอเตอร์

ภาพที่ 3.10 มอเตอร์กระแสสลับ ขนาด 1 แรงม้า

- 2) ชุดเกียร์บ็อกสำหรับทดมอเตอร์ ยี่ห้อ HAITEC-GR Model NMRV063 อัตราทด1:60 ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 แสดงชุดเกียร์บ็อกสำหรับทดมอเตอร์

- 3) ชุดลูกกลิ้งและกระบอกอัด สำหรับอัดเพื่อบีบขนาดเส้นใย ประกอบด้วยชุดลูกกลิ้งสำหรับรับแรงกด จำนวน 2 ตัว ลูกกลิ้งกด จำนวน 1 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 3.12 กระบอก

อัด สำหรับประกอบกับลูกกลิ้งกด 1 ตัว และกระบอกปรับแรงตึง สำหรับปรับความตึงของม้วนเส้นใย จำนวน 1 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 3.13



(ก) ลูกกลิ้งสำหรับพาเส้นใย



(ข) ลูกกลิ้งกดอัดเส้นใย

ภาพที่ 3.12 ชุดลูกกลิ้ง



(ก) กระบอกลมสำหรับลูกกลิ้งอัด



(ข) กระบอกลมสำหรับลูกกลิ้งปรับแรงตึง

ภาพที่ 3.13 ชุดกระบอกลม

4) อุปกรณ์ชุดเฟืองและลูกปืน สำหรับเป็นส่วนส่งถ่ายกำลังและประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องจักร ดังแสดงในภาพที่ 3.14



(ก) ชุดเฟือง



(ข) ชุดลูกปืน

ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์ชุดเฟืองและลูกปืน

### 3.3.3 การสร้างและประกอบเครื่องจักร

การสร้างและประกอบเครื่องจักร เป็นการสร้างโครงสร้างของเครื่องจักร และติดตั้งอุปกรณ์ส่วนประกอบในการทำงานให้กับเครื่องจักร โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการ ออกเป็น 6 ขั้นตอน หลักๆ ดังนี้

1) การสร้างโครงหลักของเครื่องจักร ในขั้นตอนนี้เป็นการประกอบ โครงสร้างเครื่องจักรหลักโดยใช้เหล็กรูปพรรณขนาดต่างๆ ตามแบบ สำหรับรองรับอุปกรณ์ใน การทำงานต่างๆ



ภาพที่ 3.15 โครงหลักของเครื่องจักร

2) การประกอบชุดลูกกลิ้งกดเส้นใย ในขั้นตอนนี้เป็นการประกอบอุปกรณ์ลูกกลิ้งกดเส้นใย และกระบอกกดลูกกลิ้ง เข้ากับโครงสร้างหลักของเครื่องจักรต้นแบบ



ภาพที่ 3.16 การประกอบชุดลูกกลิ้งกดเส้นใย

3) การประกอบชุดลูกกลิ้งพาเส้นใย ในขั้นตอนนี้เป็นการประกอบอุปกรณ์ลูกกลิ้งพาเส้นใย เข้ากับโครงสร้างหลักของเครื่องจักรต้นแบบ ซึ่งชุดลูกกลิ้งนี้ทำหน้าที่ทั้งการพาเส้นใยให้หมุนวนและรับแรงกดจากลูกกลิ้งกดเส้นใยที่อยู่ด้านบน



(ก) ชุดลูกกลิ้งพาเส้นใยด้านนอก



(ข) ชุดลูกกลิ้งพาเส้นใยด้านใน

ภาพที่ 3.17 การประกอบชุดลูกกลิ้งพาเส้นใย



4) การประกอบชุดลูกกลิ้งปรับแรงตึง ในขั้นตอนนี้เป็นารประกอบอุปกรณ์ลูกกลิ้งและกระบอกลมปรับแรงตึง เข้ากับโครงสร้างหลักของเครื่องจักรต้นแบบ ซึ่งชุดลูกกลิ้งนี้ทำหน้าที่ในการรั้งเส้นใยให้ตึง เพื่อป้องกันการม้วนติดลูกกลิ้งของเส้นใยขณะทำงาน และช่วยให้การกดเส้นใยได้สม่ำเสมอมากขึ้น



(ก) ชุดลูกกลิ้งปรับแรงตึงด้านนอก



(ข) ชุดลูกกลิ้งปรับแรงตึงด้านใน

ภาพที่ 3.18 การประกอบชุดลูกกลิ้งปรับแรงตึง

5) การประกอบชุดมอเตอร์ ในขั้นตอนนี้เป็นารติดตั้งมอเตอร์และชุดเกียร์ทดมอเตอร์เข้ากับอุปกรณ์ลูกกลิ้งพาเส้นใย โดยส่งถ่ายกำลังด้วยโซ่ ทำหน้าที่ในการหมุนลูกกลิ้งพาเส้นใย

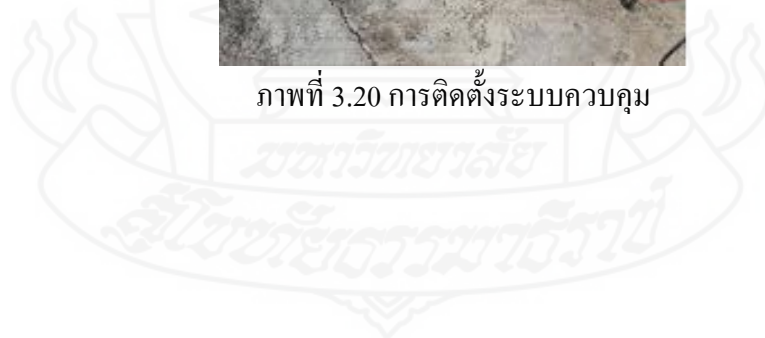


ภาพที่ 3.19 การประกอบชุดมอเตอร์สำหรับส่งกำลัง

6) การประกอบชุดควบคุม ระบบไฟฟ้า และระบบลม ในขั้นตอนนี้เป็น การติดตั้งระบบสายไฟฟ้า สายควบคุมของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เข้ากับกล่องควบคุมการทำงานของ เครื่อง และติดตั้งสายลมและชุดควบคุมแรงดันลมเข้ากับปั้มลม ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการติดตั้ง อุปกรณ์ต่างๆ ทั้งหมด และทดสอบความพร้อมในการทำงานของเครื่องเบื้องต้น



ภาพที่ 3.20 การติดตั้งระบบควบคุม



#### 4. การทดสอบการปรับปรุงความละเอียดเส้นใยคาหลาด้วยเครื่องจักร

##### 4.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เส้นใยคาหลาได้รับการสนับสนุนจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเส้นใยคาหลาบ้านนาโอน อำเภอรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส โดยทางวิสาหกิจได้ดำเนินการนำต้นคาหลามาตีแยกเส้นใยด้วยเครื่องตีแยกเส้นใย และตากเส้นใยให้แห้งด้วยแสงอาทิตย์ส่งมาให้ทำการวิจัย

##### 4.2 การเตรียมเส้นใยคาหลา

ดำเนินการเตรียมเส้นใยคาหลาที่ได้รับจากวิสาหกิจชุมชนฯ โดยนำเข้าอบไล่ความชื้นด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วางไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง และจัดเก็บในถุงที่ใส่ตัวดูดความชื้น เพื่อป้องกันเส้นใยดูดความชื้น

##### 4.3 การปรับปรุงความละเอียดเส้นใยคาหลาด้วยเครื่องจักร

นำเส้นใยที่เตรียมไว้เข้าทดลองบิบบด้วยเครื่องด้นแบบที่สร้างขึ้น โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างทดลองแบ่งเป็น 9 กลุ่มตัวอย่าง การกำหนดแรงกดบิบบเส้นใย โดยปรับตั้งแรงดันกระบอกลมที่ 3, 4, 5 บาร์ โดยในแต่ละแรงดันมีระยะเวลาในการบิบบ 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ



(ก) การทดลองปรับปรุงเส้นใย



(ข) การทำงานของชุดลูกกลิ้ง

ภาพที่ 3.21 การปรับปรุงความละเอียดเส้นใยด้วยเครื่องจักร

## 5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

### 5.1 เก็บข้อมูลผลจากการทดลอง

โดยการนำเส้นใยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงความละเอียดด้วยวิธีเคมีของ วิสาหกิจชุมชนนาโอน โดยการแช่สารสกัดเส้นใย และเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงความละเอียดด้วย เครื่องจักร ที่แรงกด 3, 4 และ 5 บาร์ ที่ระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ นำไปวิเคราะห์ ทดสอบทางห้องปฏิบัติการ

### 5.2 สถานที่ทำการทดสอบและวิเคราะห์

5.2.1 ห้องปฏิบัติการ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) คณะ พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน

5.2.2 ห้องปฏิบัติการ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตทุ่งครุ

5.2.3 ห้องปฏิบัติการ คณะวิศวกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

5.3 เก็บข้อมูลความคิดเห็นจากผลการทดลองใช้งานเครื่องจักร โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ใช้งาน และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเข้ามามีส่วนร่วมในการทดลองใช้งานเครื่องจักร และเก็บข้อมูล ผลการทดลองจากผู้ใช้งานด้วยแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องจักร ปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

## 6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย 2 หัวข้อหลัก ได้แก่ การศึกษาสมบัติของเครื่องจักร ปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย และการศึกษาสมบัติของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความ ละเอียด ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูลพิจารณาจากผลการทดสอบสมบัติของเส้นใย จากวิธีการปรับปรุง เส้นใยของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเส้นใยคาหลาบ่านนาโอน ที่ดำเนินการผลิตเส้นใย โดยวิธีการหมักด้วยสารเคมี เปรียบเทียบกับเส้นใยที่ทำการปรับปรุงความละเอียดโดยเครื่องจักร โดยอิงค่ามาตรฐานเส้นใยสิ่งทอสำหรับเครื่องนุ่งห่ม

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย 2 หัวข้อหลัก ได้แก่ ตอนที่ 1 การศึกษาสมบัติของเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย ตอนที่ 2 การศึกษาสมบัติของเส้นใยที่ได้จากเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

#### 1. การศึกษาสมบัติของเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

การศึกษาสมบัติของเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย ประกอบด้วย 3 หัวข้อย่อย ได้แก่ ลักษณะของเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตระหว่างการใช้เครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยกับวิธีเคมี และการสำรวจความคิดเห็นในการใช้เครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย ตามลำดับดังนี้

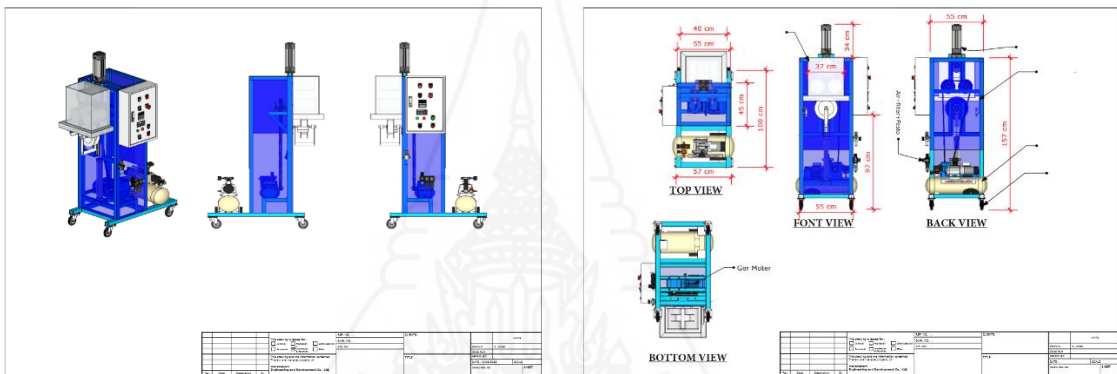
##### 1.1 ลักษณะของเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

แนวคิดในการออกแบบเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย กำหนดให้เครื่องจักรสามารถบีบอัดเส้นใยได้ด้วยแรงกดจากกระบอกลมที่มีแรงกดขนาดต่างๆ กัน และสามารถปรับตั้งระยะเวลาในการทำงานของเครื่องจักรได้ มีความเหมาะสมกับสรีระของผู้ใช้งานที่เป็นสุภาพสตรี โดยเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยต้นแบบที่ได้จัดสร้างขึ้นตามแบบร่างของเครื่องจักรต้นแบบดังแสดงในภาพที่ 4.1 โดยมีลักษณะดังต่อไปนี้

**1.1.1 ขนาดเครื่องจักรต้นแบบ** มีความกว้าง 55 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตรและความสูง 180 เซนติเมตร โครงสร้างผลิตจากวัสดุเหล็กรูปพรรณ และเหล็กแผ่น และมีระยะความสูงของชุดลูกกลิ้ง 150 เซนติเมตรจากฐานเครื่องจักร เพื่อให้เหมาะสมกับความสูงของผู้ใช้งานที่เป็นสุภาพ สุภาพสตรี

**1.1.2 ชุดปรับปรุงเส้นใย** เป็นชุดลูกกลิ้งชนิดสแตนเลสซึ่งต้องสัมผัสกับเส้นใย ทำหน้าที่ในการปรับปรุงเส้นใยจากแรงกดประกอบด้วย (1) อุปกรณ์ลูกกลิ้ง สำหรับพาเส้นใย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 เซนติเมตร ยาวประมาณ 26 เซนติเมตร จำนวน 2 ลูก (2) อุปกรณ์ลูกกลิ้งกดอัดเส้นใย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร จำนวน 1 ลูก

**1.1.3 ชุดส่งกำลัง** ทำหน้าที่ส่งกำลังให้กับชุดปรับปรุงเส้นใย ประกอบด้วย (1) ชุดส่งกำลังทดอัด ใช้อุปกรณ์กระบอกกลมขนาดพื้นที่ 125 ตารางเซนติเมตร ระยะเคลื่อนออกของแกนประมาณ 7 เซนติเมตร สำหรับส่งกำลังให้ลูกกลิ้งกดอัดเส้นใย โดยใช้แรงดันลมจากเครื่องปั๊มลมผ่านชุดปรับแรงดันลม (2) ชุดปรับแรงดันลม สำหรับปรับแรงดันกระบอกลม โดยติดตั้งตัวกรองลม คัดน้ำและปรับแรงดันลม (Regulator) ซึ่งสามารถปรับแรงดันตั้งแต่ 0 - 5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (3) ชุดส่งกำลังขับ สำหรับอุปกรณ์ลูกกลิ้งพาเส้นใย โดยใช้มอเตอร์กระแสสลับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ มีกำลังไฟฟ้า 745 วัตต์ ส่งกำลังผ่านชุดเกียร์อัตราทด 1:60 และโซ่ขับผ่านเฟืองของลูกกลิ้งพาเส้นใย



ภาพที่ 4.1 แบบร่างเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย



ภาพที่ 4.2 เครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

## 1.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตระหว่างการใช้เครื่องจักรกับวิธีเคมี

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตระหว่างเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยและวิธีเคมี โดยศึกษาจาก การวิเคราะห์ระยะเวลาในการผลิต การวิเคราะห์ต้นทุนด้านแรงงาน และการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต โดยผลการศึกษาแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตระหว่างการใช้เครื่องจักรกับวิธีเคมี

รายการเปรียบเทียบ	วิธีเคมี	เครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย	ผลต่าง
1. ระยะเวลาในการผลิตเส้นใย ต่อผลผลิตเส้นใยคาหลา 2 กิโลกรัม	408 ชั่วโมง หรือ 17 วัน (ระยะเวลาแซ่สารเคมีเฉลี่ย)	2 ชั่วโมง (300 – 350 กรัมเส้นใย ต่อระยะเวลา 20 นาที)	406 ชั่วโมง
2. แรงงานที่ใช้ในการผลิตเส้นใย (คน-วัน)			
2.1 นำเส้นใยแซ่สารเคมี	1	-	
2.2 ล้างเส้นใย	1	-	
2.3 แยกเส้นใยด้วยมือ	5	-	
2.4 ตากเส้นใย	1	-	
2.5 นวดเส้นใยด้วยเครื่อง	-	1	
รวมแรงงานที่ใช้คน-วัน	8	1	7
3. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต ผลผลิตเส้นใยคาหลา 2 กิโลกรัม	ต้นทุนสารเคมี 20 ลิตรๆ ละ 200 บาท เป็นเงิน 4,000 บาท	ต้นทุนในการผลิต 200 บาท	3,800 บาท
4. มูลค่าการลงทุนเริ่มต้น	ค่าสารเคมี 4,000 บาท	ค่าเครื่องจักร 400,000 บาท	396,000 บาท
5. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	ต้นทุนต่ำกว่าเมื่อปริมาณผลผลิตโดยรวมน้อยกว่า 210.5 กิโลกรัมเส้นใย	ต้นทุนต่ำกว่าเมื่อปริมาณผลผลิตโดยรวมมากกว่า 210.5 กิโลกรัมเส้นใย	

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีทางเคมี ที่วิสาหกิจชุมชนนาโอนฯ ใช้อยู่เดิม ทั้งในด้านระยะเวลาในการผลิต ต้นทุนด้านแรงงาน กรณีระยะเวลาในการผลิตเส้นใย ต่อผลผลิตเส้นใยคาหลา 1 หน่วย (น้ำหนัก 2 กิโลกรัมเส้นใย) การใช้วิธีทางเคมีต้องใช้เส้นใยตากแห้งแช่สารเคมีรวม 3 ครั้ง คิดเป็นจำนวนชั่วโมงโดยเฉลี่ย 408 ชั่วโมง หรือ 17 วัน ในขณะที่การใช้เครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยใช้เส้นใยตากแห้งปริมาณ 300 – 350 กรัมเส้นใย ต่อรอบระยะเวลา 20 นาที จึงใช้เวลาเพียง 2 ชั่วโมง กรณีแรงงานในการผลิตต่อวัน การใช้วิธีทางเคมีแรงงานคน จำนวน 8 คนต่อวัน ในขณะที่การใช้เครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยแรงงานคน เพียง 1 คน กรณีต้นทุนในการผลิต เส้นใยคาหลา 1 หน่วย การใช้วิธีทางเคมี มีต้นทุนในการซื้อสารเคมี 4,000 บาท ในขณะที่การใช้เครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย มีต้นทุนการผลิตต่อ 2 ชั่วโมงการทำงานเครื่องจักร โดยคำนวณจากค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรเป็นเงิน 80 บาท ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรโดยประมาณ 100 บาท และค่าไฟฟ้าโดยประมาณ 5 หน่วยคิดเป็นต้นทุน 20 บาท รวม 200 บาท การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนระหว่างวิธีเคมีและการใช้เครื่องจักร คำนวณจากส่วนต่างต้นทุนการผลิตที่ 3,800 บาทต่อ 1 หน่วย หรือ 1,900 บาทต่อกิโลกรัมเส้นใย ในการใช้เครื่องจักรจึงมีจุดคุ้มทุนที่ 210.5 กิโลกรัมเส้นใย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากปริมาณการผลิตโดยรวมน้อยกว่า 210.5 กิโลกรัมเส้นใย วิธีเคมีจะมีต้นทุนรวมต่ำกว่าวิธีใช้เครื่องจักร แต่หากปริมาณการผลิตโดยรวมมากกว่า 210.5 กิโลกรัมเส้นใย วิธีการใช้เครื่องจักรจะมีต้นทุนต่ำกว่าวิธีเคมี

หมายเหตุ ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร คำนวณจาก ต้นทุนการผลิตเครื่องจักร 400,000 บาท มีอายุการใช้งาน 5 ปี ชั่วโมงการใช้งานเครื่องจักรปีละ 50 สัปดาห์ ใช้งานสัปดาห์ละ 5 วัน ใช้งานวันละ 8 ชั่วโมง รวมจำนวนชั่วโมงการใช้งาน 10000 ชั่วโมงตลอดอายุเครื่องจักร คิดเป็นต้นทุนค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร 40 บาทต่อชั่วโมงการทำงาน

### 1.3 การสำรวจความคิดเห็นในการใช้เครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

ได้ดำเนินการสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อเครื่องจักรต้นแบบที่พัฒนาในประเด็นต่างๆ โดยใช้เทคนิค IOC ในการประเมิน โดยคณะผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ชำนาญด้านการผลิต การพัฒนาเครื่องจักร จำนวน 2 ท่าน นักวิชาการและวิศวกร ผู้แทนจากสำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตร พื้นที่ 8 กรมวิชาการเกษตร จำนวน 3 ท่าน และผู้แทนจากวิสาหกิจชุมชน จำนวน 2 ท่าน รวมจำนวน 7 ท่าน โดยได้ผลการสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ แสดงในตารางต่อไปนี้



ตาราง 4.2 สรุปการสำรวจความคิดเห็นในการใช้งานเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

รายการขอความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม	ไม่แน่ใจ	ไม่เหมาะสม	
	1	0	-1	
<b>ด้านการออกแบบ</b>				
1. มอเตอร์มีกำลังพอต่อการใช้งาน	7			
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุ	7			
3. ขนาดของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน	7			
4. ความยืดหยุ่นสำหรับวัตถุดิบ หลายขนาด	7			
ความยาว				
<b>ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย</b>				
1. ผู้ใช้เครื่องไม่ต้องมีความชำนาญมาก	6	1		
2. ขั้นตอนในการใช้งานง่าย	7			
3. เครื่องมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	7			
<b>ด้านผลผลิต</b>				
1. ความนุ่มของเส้นใยที่ปรับปรุงแล้ว	7			
2. อัตราการผลิตเทียบกับวิธีเคมี	7			
3. ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเทียบกับวิธีเคมี	6	1		
คะแนนรวม	68			
คิดเป็นร้อยละ	97.14			

ตาราง 4.2 แสดงผลการสำรวจความคิดเห็นในการใช้งานเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย ในด้านการออกแบบ ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย และด้านผลผลิต จากผลการสำรวจความคิดเห็นในการใช้งานพบว่า เครื่องจักรต้นแบบสำหรับปรับปรุงเส้นใยมีความเหมาะสมโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 97.14 เพราะในด้านการออกแบบ กำลังมอเตอร์เหมาะสมต่อการใช้งาน วัสดุที่ใช้เหมาะสมในการสร้างเครื่องจักรโดยมีการใช้สแตนเลสในจุดที่สัมผัสกับเส้นใย ขนาดของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน น้ำหนักไม่มาก และมีความสูงในระดับที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้สะดวก เครื่องจักรมีความยืดหยุ่นสำหรับวัตถุดิบหลายขนาดความยาว สามารถปรับได้เหมาะสมกับเส้นใยหลากหลายซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความไม่แน่นอนยาวแตกต่างกันในแต่ละครั้ง

ของการผลิต ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย ขั้นตอนในการใช้งานง่าย การปรับตั้งค่าเครื่องจักรในการทำงานไม่ซับซ้อน ผู้ปฏิบัติงานสามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย และเครื่องจักรมีระบบการป้องกันอันตรายสำหรับจุดหนีบ จุดหมุนต่างๆ อย่างเหมาะสม และด้านผลผลิต เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงลักษณะของเส้นใยที่ได้ใกล้เคียงวิธีเคมี แต่อัตราการผลิตเทียบกับวิธีเคมี ใช้ระยะเวลาน้อยกว่ามาก และต้นทุนในการผลิตต่อหน่วยต่ำกว่าวิธีเคมีมาก โดยวิธีเคมี มีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 2,000 บาทต่อกิโลกรัมเส้นใย ในขณะที่การใช้เครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย มีต้นทุนการผลิตจากการใช้กระแสไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา และค่าเสื่อมราคาโดยประมาณ 100 บาทต่อกิโลกรัมเส้นใย และมีต้นทุนค่าเครื่องจักร 400,000 บาท

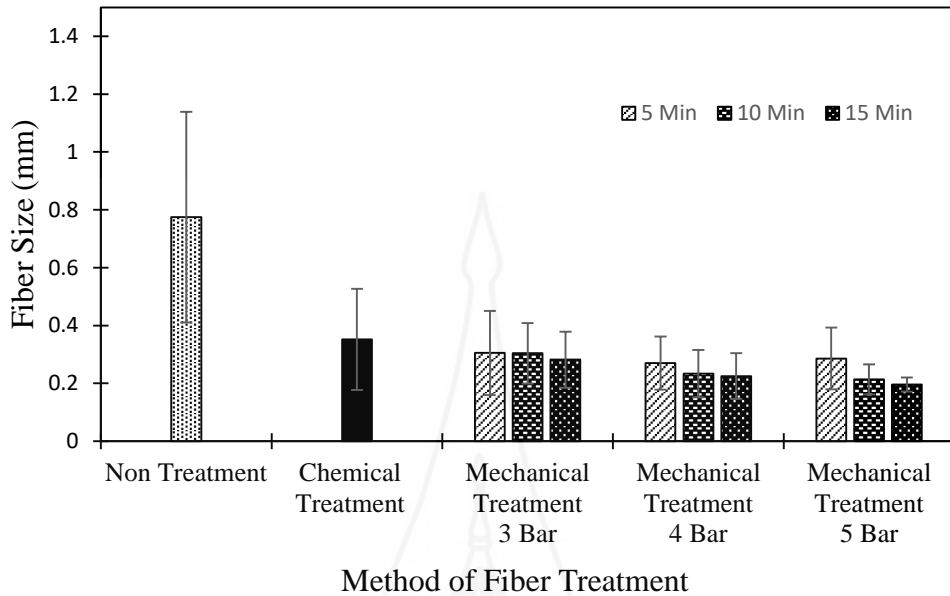
## 2. การศึกษาสมบัติของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด

การศึกษาสมบัติของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด ประกอบด้วย 4 หัวข้อย่อย ได้แก่ สมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด สมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด สมบัติทางเคมีของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด และสมบัติทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด ตามลำดับ

### 2.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด

สมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดได้ทำการศึกษา 2 ประเด็น ได้แก่ ขนาดเส้นใยและความละเอียดของเส้นใย โดยมีผลการทดลองดังนี้

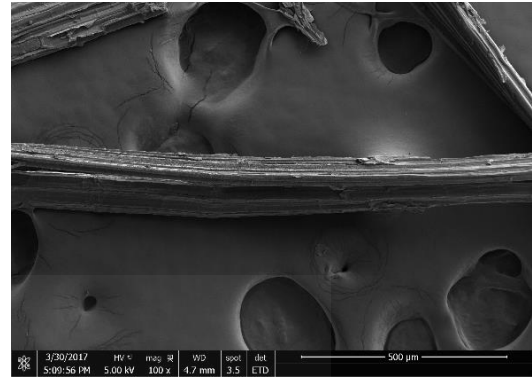
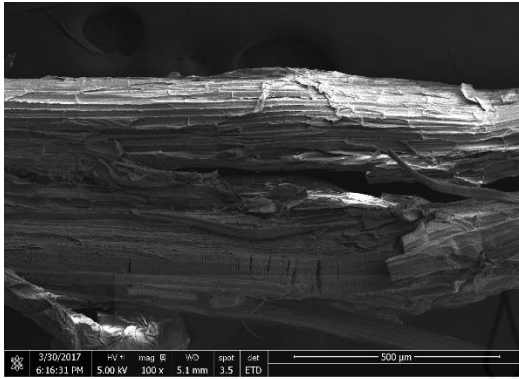
### 2.1.1 ผลการทดสอบขนาดเส้นใย



ภาพที่ 4.3 ขนาดเส้นใยคาหลาอบแห้งที่ปรับปรุงความละเอียดด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมี

ภาพที่ 4.3 แสดงขนาดเส้นใยคาหลาอบแห้งที่ปรับปรุงความละเอียดด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมี กรณีการปรับปรุงเส้นใยด้วยเครื่องจักร พบว่าเมื่อเวลาในการการบีบอัดเพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง และยังพบว่าเมื่อเพิ่มความดันในการบีบอัดจะทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง โดยขนาดเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยวิธีเชิงกลแล้วทำให้ได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุดคือที่แรงกด 5 บาร์ ระยะเวลา 15 นาที เมื่อเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงเส้นใยพบว่า การปรับปรุงเส้นใยด้วยเครื่องจักร ได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กกว่าการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเคมี

การเพิ่มความดันและระยะเวลาในการบีบอัดทำให้เส้นใยคาหลามีขนาดเล็กลง เพราะแรงจากการบีบอัดของลูกกลิ้งของเครื่องจักรต้นแบบจะไปแยกเส้นใยให้แตกออกจากกัน ทำให้ขนาดของเส้นใยมีขนาดเล็กลง ยืนยันได้จากภาพถ่าย SEM ในภาพที่ 4.4



(ก) เส้นใยคากลาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

(ข) เส้นใยคากลาที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร ที่ขนาดความดัน 4 บาร์ 15 นาที

ภาพที่ 4.4 เส้นใยคากลาที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร

ตารางที่ 4.3 ลักษณะที่ปรากฏขณะทำการปรับปรุงความละเอียดเส้นใยคากลาด้วยเครื่องจักร

ลักษณะที่ปรากฏ	เวลา (นาที)		
	5	10	15
การเคลื่อนที่ของเส้นใยผ่านเครื่องจักร	เส้นใยผ่านการบีบอัดของลูกกลิ้งได้อย่างต่อเนื่อง	เส้นใยผ่านการบีบอัดของลูกกลิ้งได้อย่างต่อเนื่อง	เส้นใยผ่านการบีบอัดของลูกกลิ้งได้อย่างต่อเนื่อง
ลักษณะของเส้นใยที่ได้	เส้นใยไม่ขาด	เส้นใยเปลี่ยนรูปและเริ่มขาด	เส้นใยขาดจำนวนมาก
เศษเส้นใยที่ได้จากกระบวนการบีบอัด	มีเศษผงร่วงจากการบีบอัดและเส้นใยขาดเป็นเส้นสั้นๆจำนวนมากเล็กน้อย	มีเศษผงร่วงลดลงและเส้นใยขาดเป็นเส้นสั้นๆ หลุดออกมาจากการบีบอัดของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย	มีเส้นใยขาดเป็นเส้นสั้นๆ หลุดออกมาจากการบีบอัดของลูกกลิ้งเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะที่ปรากฏขณะทำการปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคากลาด้วยเครื่องจักร จากผลการทดลองพบว่า การใช้เวลาที่มากขึ้นในการบีบอัดเส้นใย ทำ

ให้เส้นใยที่เคลื่อนผ่านลูกกลิ้งมีการขาดจำนวนมากและมีเศษเส้นใยที่เกิดจากกระบวนการบีบอัดเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับการบีบอัดเส้นใยที่เวลาน้อย และในกรณีการเพิ่มความดันในการบีบอัดก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน

ดังนั้นจึงได้เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการบีบอัดเส้นใยจำนวน 1 สภาวะเพื่อนำไปทำการทดลองในขั้นต่อไป โดยได้เลือกการบีบอัดเส้นใยที่แรงกด 4 บาร์ ระยะเวลา 10 นาที เนื่องจากสภาวะดังกล่าว ให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กและเส้นใยสามารถเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งได้อย่างต่อเนื่อง และมีเศษเส้นใยขาดหลุดร่วงน้อยเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น

### 2.1.2 ผลการทดสอบความละเอียดของเส้นใย

ในส่วนนี้ได้ทดสอบความละเอียดของเส้นใยโดยเปรียบเทียบระหว่าง เส้นใยที่ได้จาก เครื่องจักรและวิธีเคมี โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุดจากการใช้เครื่องจักร คือที่ขนาดแรงดัน 4 บาร์ เวลา 10 นาที นำมาทำการทดสอบ จำนวนวิธีละ 5 กลุ่มตัวอย่าง ทำการทดสอบด้วยเครื่อง WIRA Cotton Fineness Meter ได้ค่าดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าความละเอียดของเส้นใยดาหลาที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักรที่ขนาดแรงดัน 4 Bar เวลา 10 นาที และวิธีเคมี

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าความละเอียดของเส้นใยดาหลา (ไมโครเนร์)	
	วิธีเคมี	วิธีกล
1	> 8	> 8
2	> 8	> 8
3	> 8	> 8
4	> 8	> 8
5	> 8	> 8
ค่าเฉลี่ย	> 8	> 8

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความละเอียดของเส้นใยดาหลาที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมี จากผลการทดลองพบว่า ค่าความละเอียดของเส้นใยดาหลา มีค่าความละเอียดมากกว่า 8 ไมโครเนร์ แสดงว่าเส้นใยในการทดลองนี้ มีความละเอียดอยู่ในระดับความ

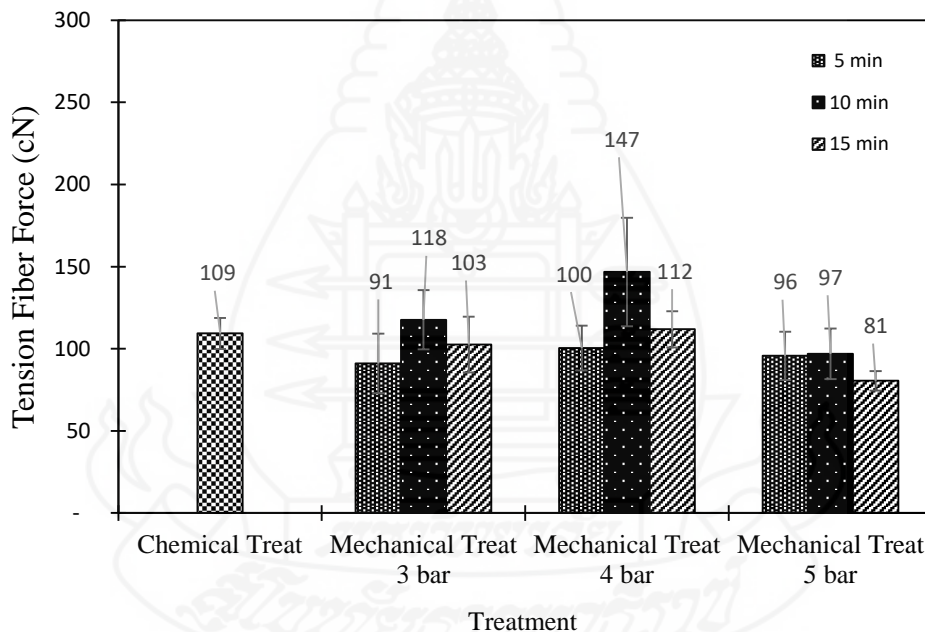
หยาบสูง ตามลักษณะเฉพาะตัวของเส้นใยคาทาลา ซึ่งจะมีลักษณะใกล้เคียงกับพืชที่นำเส้นใยจาก ส่วนของเปลือกหรือลำต้นมาใช้งาน เช่น ต้นป่าน ต้นปอ เป็นต้น

## 2.2 สมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด

สมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด พิจารณา 2 ประเด็นได้แก่ ค่าการรับแรงดึงของเส้นใย และค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัวของเส้นใย โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.2.1 ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใย

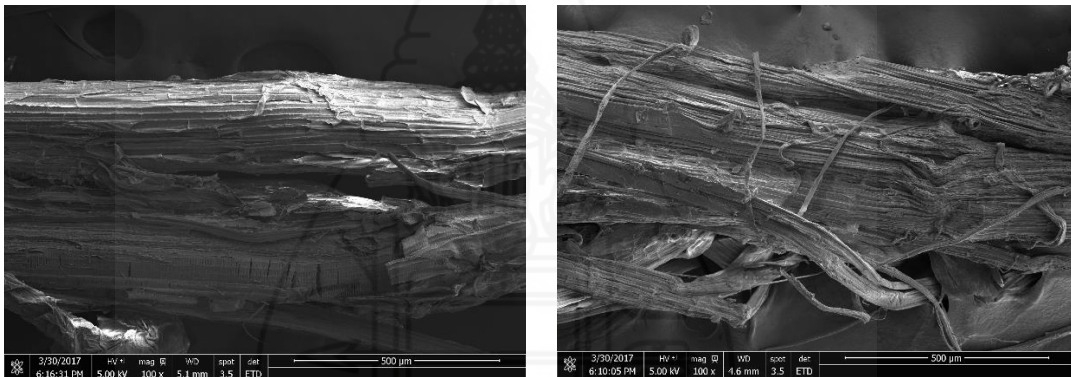
ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใย โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง รุ่น INSTRON 5569 ตามมาตรฐาน ASTM D3822 - 01 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ทดสอบเส้นใยเชิงเดี่ยว สามารถทดสอบได้ทั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบจำนวน 50 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบ ดังแสดงต่อไปนี้



ภาพที่ 4.5 ค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดและวิธีเคมี

ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยของเส้นใยคาทาลาที่ปรับปรุงด้วยวิธีเคมี และวิธีเชิงกลด้วยเครื่องจักรต้นแบบที่แรงดัน 3, 4 และ 5 บาร์ เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงด้วยวิธีเชิงกลที่แรงดัน 4 บาร์ เป็นเวลา 10 นาที มีค่าการรับแรงดึงของเส้นใยมากที่สุด 147 เซนตินิวตัน วิธีเชิงกลที่แรงดัน 3 บาร์ เป็นเวลา 10 นาที มีค่าการรับแรงดึงของเส้นใยรองลงมาที่ 118 เซนตินิวตัน วิธีเชิงกลที่แรงดัน 4 บาร์

เป็นเวลา 15 นาที มีค่า 112 เซนติวัตต์ และวิธีเคมี 109 เซนติวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบระหว่างแรงกดและระยะเวลา โดยที่มีแรงกดที่กระทำต่อเส้นใยจาก 5 นาที เป็น 10 นาที เส้นใยมีค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยในทิศทางที่เพิ่มขึ้น และค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยจะลดลงหลังจากใช้แรงกดนานกว่า 10 นาที ที่เป็นเช่นนั้น เพราะเมื่อมีแรงกระทำต่อเส้นใยในส่วนที่เป็นอสัญฐาน (amorphous) ที่แรงยึดตัวน้อยกว่าส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) จะถูกกำจัดออกไป จึงเหลือส่วนที่เป็นผลึกซึ่งมีการเรียงตัวแบบมีระเบียบ และมีความแข็งแรง ทำให้ค่าการรับแรงดึงสูงขึ้น แต่เมื่อใช้ระยะเวลาเวลานานขึ้นเส้นใยถูกแรงกดกระทำต่อเนื่องมากขึ้น ทำให้ส่วนที่เป็นผลึกได้รับความเสียหายเกิดการหักพับของเส้นใยจึงทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง ค่าการรับแรงดึงจึงลดลง โดยเส้นใยที่ผ่านการบีบอัดด้วยความดันทำให้เกิดการหักและพับของเส้นใยแสดงในภาพ 4.6

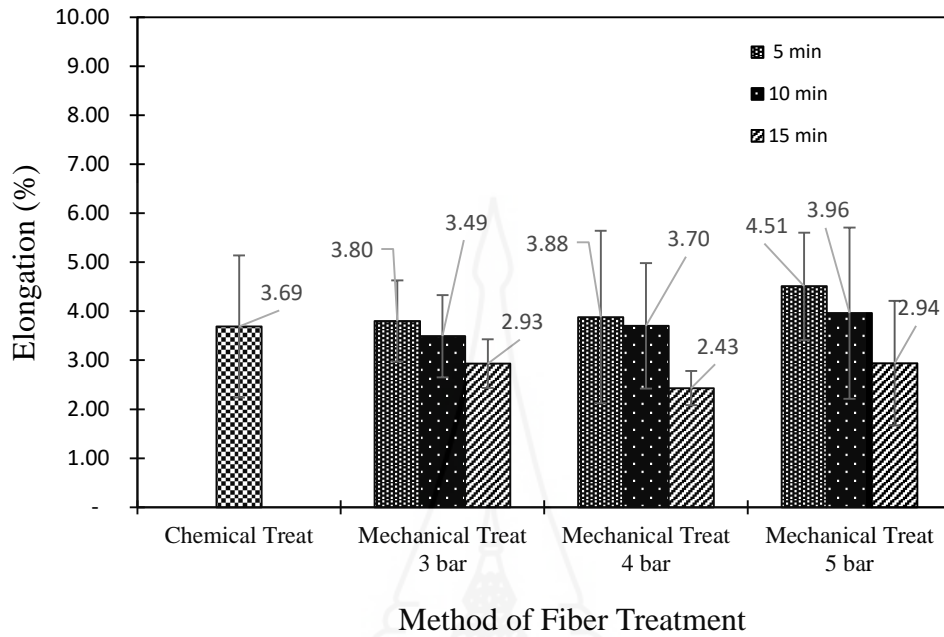


(ก) เส้นใยคานาผลาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

(ข) เส้นใยคานาผลาที่ผ่านการปรับปรุงด้วย  
เครื่องจักรที่แรงดัน 5 บาร์ เวลา 5 นาที

ภาพที่ 4.6 การหักและพับของเส้นใยเส้นใยคานาผลาที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร

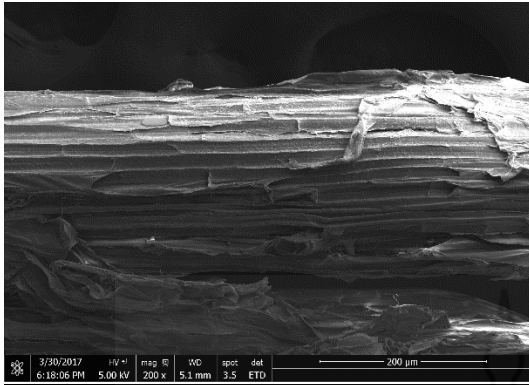
## 2.2.2 ผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัวของเส้นใย



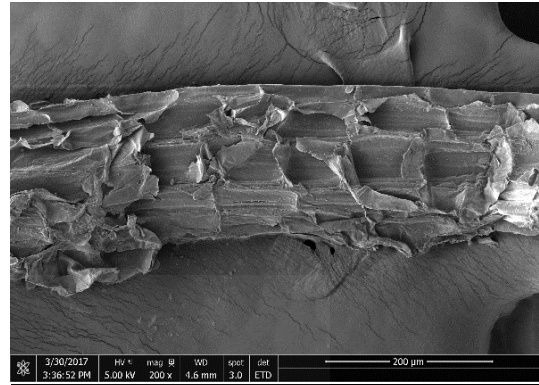
ภาพที่ 4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัวของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับรูปร่างละเอียดและวิธีเคมี

ภาพที่ 4.7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัวของเส้นใยได้จากเครื่องจักรปรับรูปร่างละเอียดและวิธีเคมี กรณีเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักร ที่แรงดัน 3, 4 และ 5 บาร์ เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าการปรับรูปร่างด้วยวิธีเชิงกลที่ขนาดแรงดัน 5 บาร์ เป็นเวลา 5 นาที มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัวของเส้นใยสูงที่สุดที่ 4.51 เปอร์เซ็นต์ วิธีเชิงกลที่แรงดัน 5 บาร์ เป็นเวลา 10 นาที มีค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของเส้นใยรองลงมาที่ 3.96 เปอร์เซ็นต์ วิธีเชิงกลที่แรงดัน 4 บาร์ เป็นเวลา 5 นาที มีค่า 3.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และวิธีเคมีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัวเท่ากับ 3.69 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความสามารถในการยืดตัวมีแนวโน้มที่จะลดลง ที่เป็นเช่นนั้น เพราะแรงบีบอัดจากวิธีเชิงกลจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งเส้นใยทำให้ส่วนที่เป็นอัญฐานและส่วนที่เป็นผลึกเกิดการเสียหาย หัก พับ เมื่อมีแรงดึงจึงเกิดการฉีกขาดได้จากจุดที่เสียหาย รอยหัก รอยพับ หรือรอยแตกที่เกิดขึ้น ค่าที่ได้จึงน้อยกว่าวิธีเคมี โดยเส้นใยที่ผ่านการบีบอัดที่เวลามากขึ้นทำให้เกิดการหักและพับของเส้นใยแสดงในภาพที่ 4.8





(ก) เส้นใยคาร์บอนที่ไม่ผ่านการปรับปรุง



(ข) เส้นใยคาร์บอนที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่องจักรต้นแบบที่แรงดัน 3 บาร์ เวลา 5 นาที

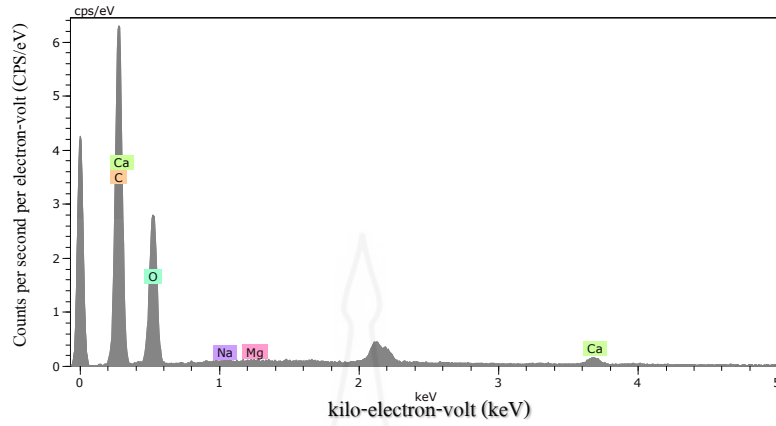
ภาพที่ 4.8 ลักษณะรอยหัก พับ ของเส้นใยคาร์บอนที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร

### 2.3 สมบัติทางเคมีของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด

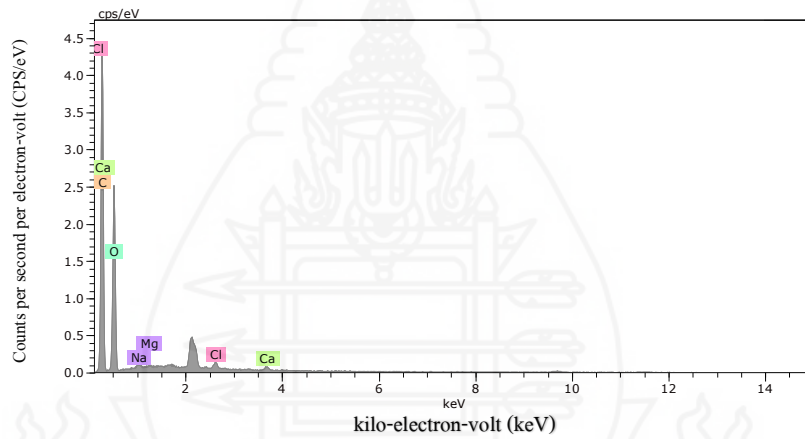
สมบัติทางเคมีของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด ทำการศึกษาใน 3 ประเด็น ได้แก่ การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใย การวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใย และการวิเคราะห์ค่า pH ของเส้นใย ตามลำดับ

#### 2.3.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุที่พบในเส้นใย

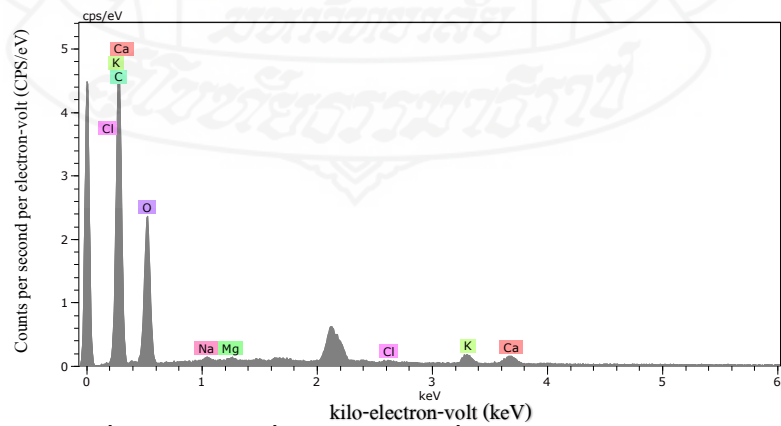
เส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด นำมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแบบฟิลด์อิมิชชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope; FESEM) เชื่อมต่อกับระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: EDS) ทำการวิเคราะห์ธาตุในเส้นใยคาร์บอน โดยมีช่วงธาตุที่วิเคราะห์ได้ตั้งแต่ธาตุเบริลเลียม (Beryllium; Be) ถึงธาตุแคลิฟอร์เนียม (Californium; Cf)



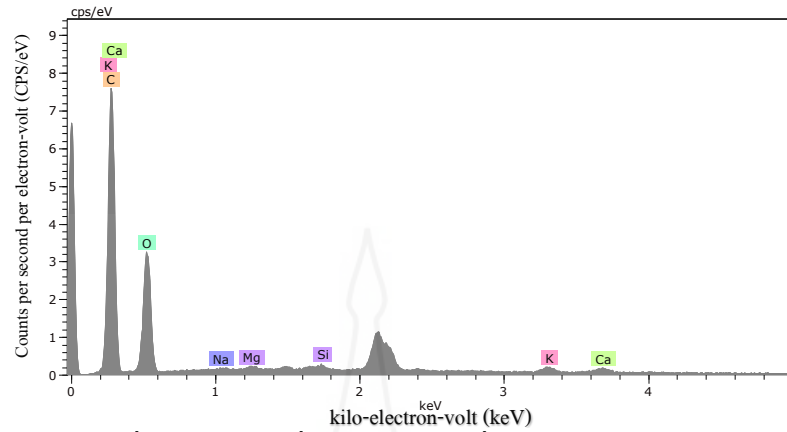
ภาพที่ 4.9 ธาตุที่พบในเส้นใยที่ไม่ปรับปรุงความละเอียดโดยเทคนิค SEM-EDS



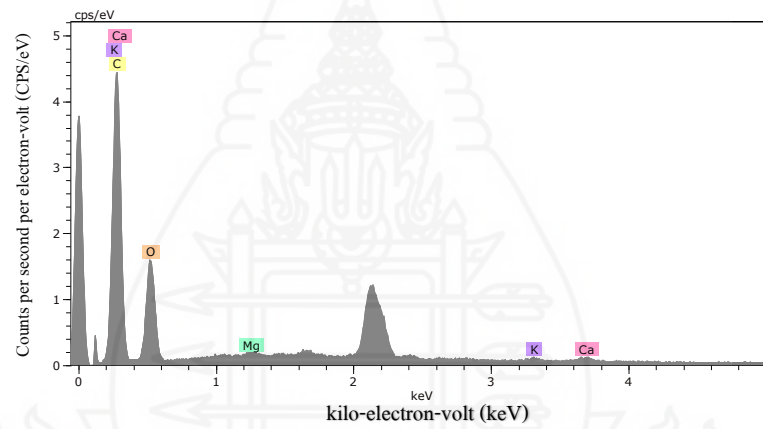
ภาพที่ 4.10 ธาตุที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยวิธีเคมีโดยเทคนิค SEM-EDS



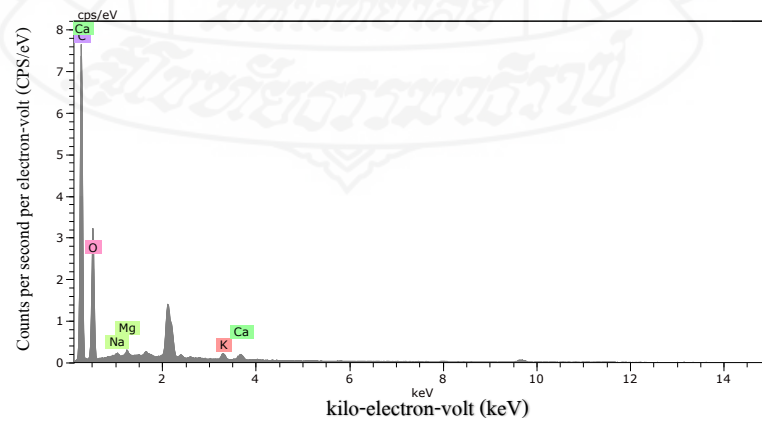
ภาพที่ 4.11 ธาตุที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 3 บาร์ ระยะเวลา 5 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS



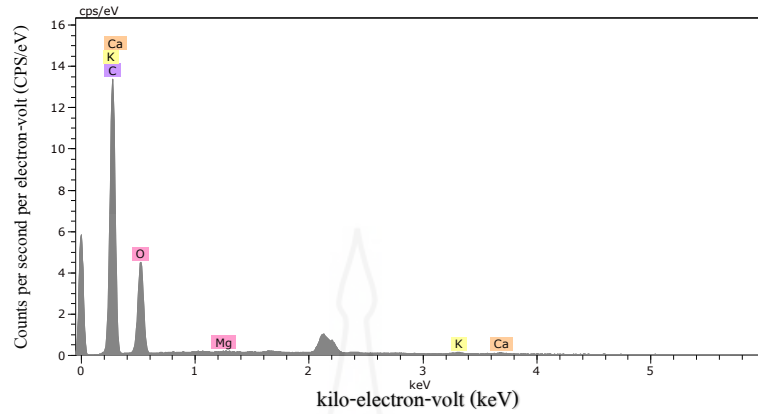
ภาพที่ 4.12 ธาตุที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 3 บาร์ เวลา 10 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS



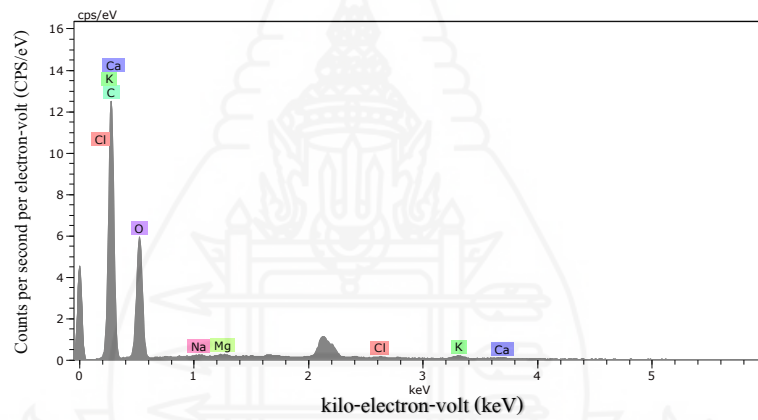
ภาพที่ 4.13 ธาตุที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 3 บาร์ เวลา 15 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS



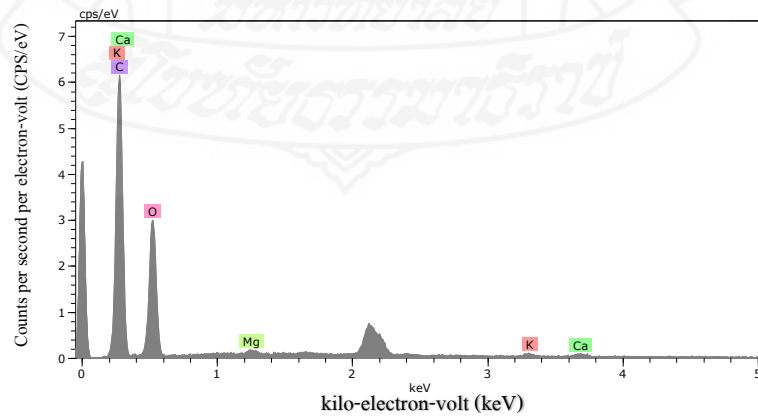
ภาพที่ 4.14 ธาตุที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 4 บาร์ เวลา 5 นาที โดยเทคนิค SEM-EDS



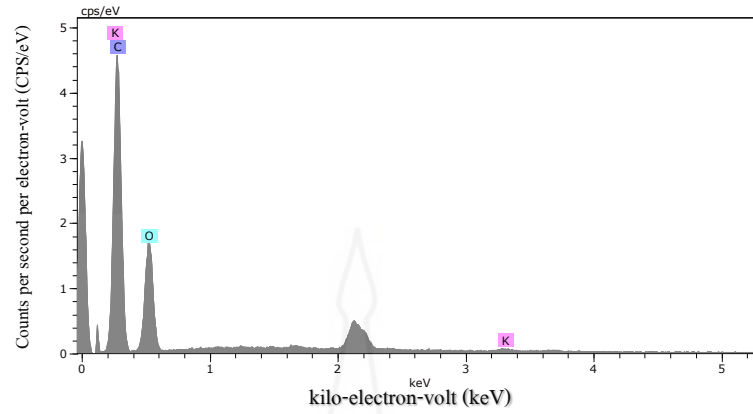
ภาพที่ 4.15 ธาตุที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 4 บาร์ เวลา 10 นาที  
โดยเทคนิค SEM-EDS



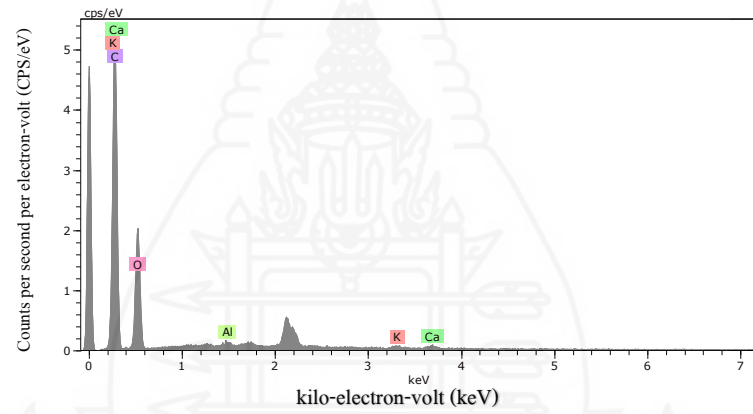
ภาพที่ 4.16 ธาตุที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 4 บาร์ เวลา 15 นาที  
โดยเทคนิค SEM-EDS



ภาพที่ 4.17 ธาตุที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 5 บาร์ เวลา 5 นาที  
โดยเทคนิค SEM-EDS



ภาพที่ 4.18 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 5 บาร์ ระยะเวลา 10 นาที  
โดยเทคนิค SEM-EDS



ภาพที่ 4.19 ชาติที่พบในเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แรงดัน 5 บาร์ เวลา 15 นาที  
โดยเทคนิค SEM-EDS

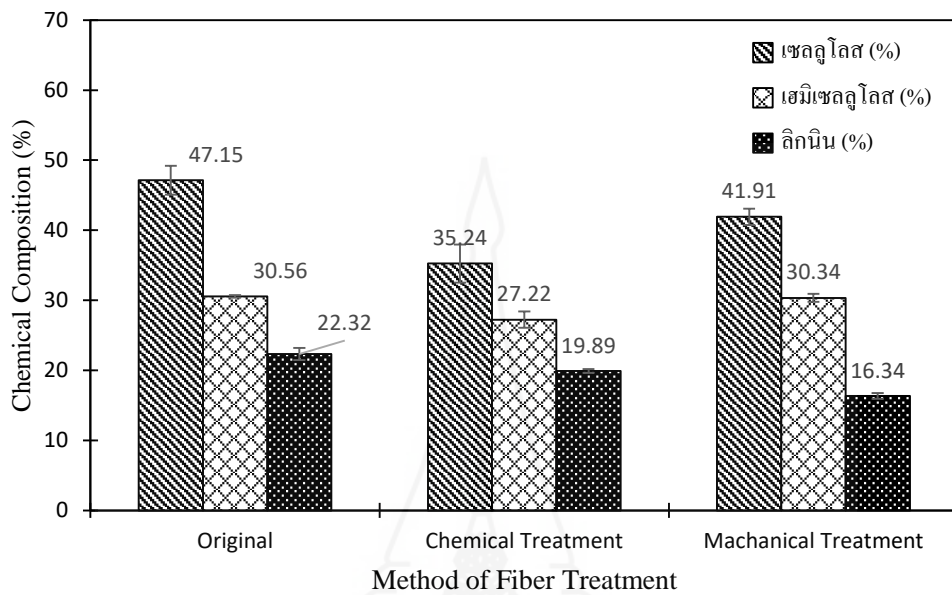
ตารางที่ 4.5 ธาตุที่พบในเส้นใยคาหลาโดยเทคนิค SEM-EDS

Method of Fiber Treatment		Mass (%)									
		C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	
Non Treatment		53.69	44.72	0.20	0.16	-	-	-	-	1.42	
Chemical Treatment		50.55	47.53	0.56	0.10	-	-	0.76	-	0.55	
Mechanical Treatment	3 Bar	5 Min	52.36	44.79	0.32	0.13	-	-	0.14	1.21	1.20
		10 Min	53.06	44.83	0.09	0.18	-	0.26	-	0.81	0.95
		15 Min	57.73	40.91	-	0.23	-	-	-	0.39	0.74
	4 Bar	5 Min	55.50	41.41	0.27	0.37	-	-	-	1.09	1.35
		10 Min	56.70	42.79	-	0.10	-	-	-	0.31	0.30
		15 Min	54.55	41.04	0.15	0.36	-	-	0.44	2.44	1.08
	5 Bar	5 Min	53.96	44.88	-	0.26	-	-	-	0.42	0.47
		10 Min	57.48	42.16	-	-	-	-	-	0.36	-
		15 Min	59.29	39.70	-	-	0.48	-	-	0.40	0.74

ภาพที่ 4.9 - 4.19 และตารางที่ 4.5 แสดงธาตุที่พบในเส้นใยคาหลาโดยเทคนิค SEM-EDS โดยศึกษาเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเคมี และเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร ที่แรงดัน 3, 4 และ 5 บาร์ เป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ธาตุที่พบในเส้นใย ได้แก่ ธาตุคาร์บอน และธาตุออกซิเจน ธาตุโพแทสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุคลอรีน ธาตุแคลเซียม โดยธาตุธาตุที่พบในเส้นใย มีความสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจะประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืช สำหรับธาตุชนิดอื่นๆ คือ โพแทสเซียม แมกนีเซียม คลอรีน แคลเซียม จัดอยู่ในกลุ่มธาตุอาหารรองที่พืชดูดซึมมาใช้ในการเติบโตนั่นเอง

จากการตรวจสอบพบว่าเมื่อปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเคมีจะมีปริมาณธาตุโซเดียมที่มากกว่าการปรับปรุงเส้นใยด้วยเครื่องจักร โดยปริมาณธาตุโซเดียมมีค่า 0.56 % และ 0.32% ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่ามีสารเคมีประเภท โซเดียมตกค้างบนเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยวิธีเคมีมากกว่าการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร

### 2.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใย

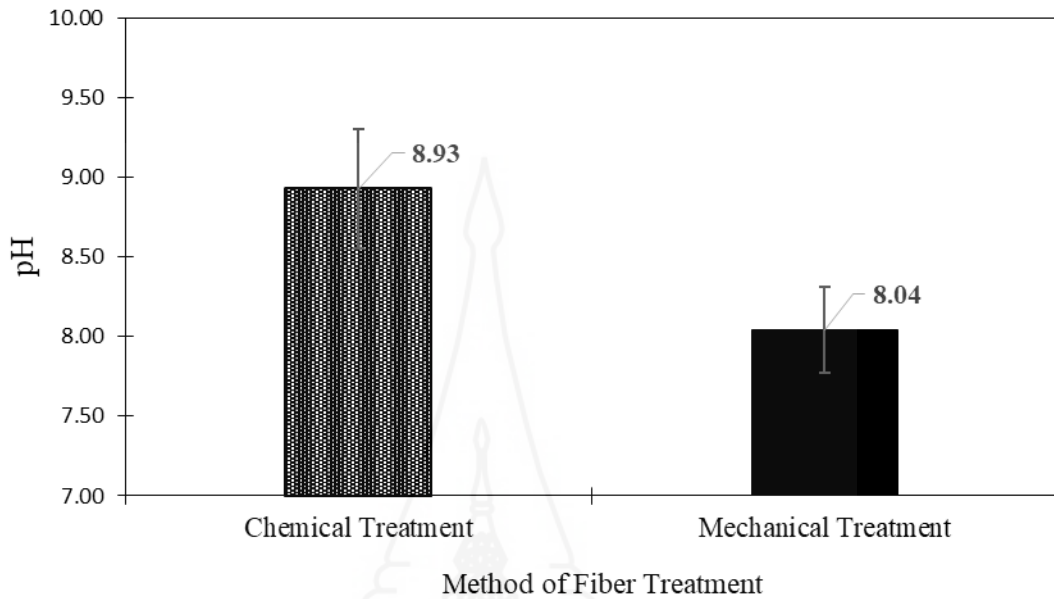


ภาพที่ 4.20 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยคาลาอบแห้ง และเส้นใยที่ปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมี

ภาพที่ 4.20 แสดงปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยคาลาอบแห้ง และเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมีตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าการปรับปรุงด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมีทำให้ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินลดลง โดยวิธีเคมีสามารถจัดเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสได้มากกว่าวิธีเชิงกล ที่เป็นเช่นนั้นเพราะการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเคมี สารละลายที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใย สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยได้อย่างทั่ว ถึงตลอดทั้งเส้นใย แต่กรณีการปรับปรุงเส้นใยด้วยเครื่องจักร ใช้แรงกดจากเครื่องจักรในการปรับปรุงเส้นใย ซึ่งแรงกดดังกล่าว จะไม่สามารถกระทำได้ตลอดทั่วถึงทั้งเส้นใย โดยเส้นใยที่อยู่ใกล้กับลูกกลิ้งจะได้รับแรงกระทำมากที่สุด และเส้นใยที่อยู่ห่างออกจากลูกกลิ้งจะได้รับแรงกระทำน้อยลงตามลำดับ

การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเชิงกลลดปริมาณลิกนินในเส้นใยได้ดีกว่าวิธีทางเคมี เนื่องจากลิกนินเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำดังนั้น การปรับปรุงด้วยวิธีเคมีซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลาย ซึมผ่านเข้าลิกนินได้น้อย ทำให้ขจัดลิกนินได้น้อย

### 2.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของเส้นใย



ภาพที่ 4.21 ค่า pH ของเส้นใยคาลาที่ปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมี

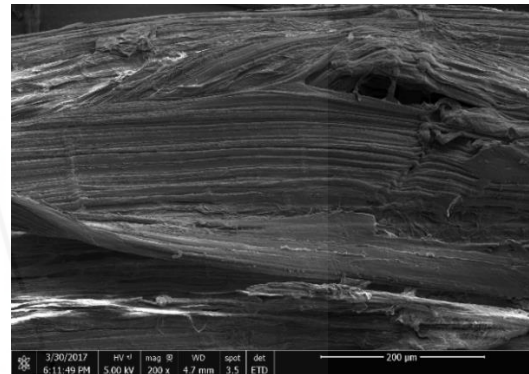
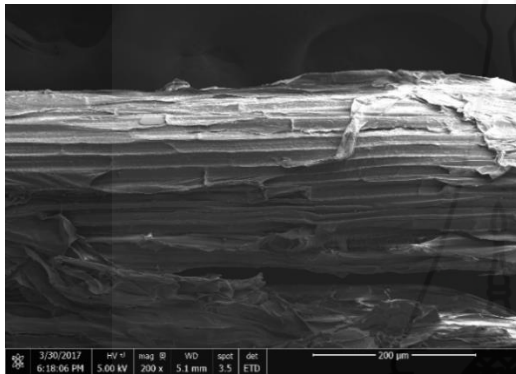
ภาพที่ 4.21 แสดงค่า pH ของเส้นใยคาลาที่ปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยเครื่องจักรและวิธีเคมี โดยการปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยโดยใช้เครื่องจักรต้นที่แรงกด 4 บาร์ ระยะเวลา 10 นาที จากผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเคมี มีค่าความเป็นด่างสูงกว่าการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร โดยการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเคมี มีค่า pH เท่ากับ 8.93 ในขณะที่การปรับปรุงด้วยเครื่องจักร มีค่า pH เท่ากับ 8.04 ซึ่งการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเคมี มีค่าความเป็นด่างสูงกว่าการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร เนื่องจากการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเคมี มีการใช้สารเคมีซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างในการปรับปรุงเส้นใย ส่งผลให้มีสารเคมีบางส่วนตกค้างในเส้นใย ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเส้นใย ด้วยเทคนิค SEM-EDS ที่พบธาตุโซเดียมในเส้นใยที่ปรับปรุงความละเอียดด้วยวิธีเคมี ยืนยันว่าการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเคมีทำให้เกิดสารตกค้างในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจทำให้เกิดการระคายเคืองแก่ผู้ปฏิบัติงาน ผู้นำเส้นใยไปผลิตเป็นสิ่งทอ และอาจเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านมลพิษทางน้ำและมลพิษทางดินได้



## 2.4 สมบัติทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด

### 2.4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) กับกลุ่มตัวอย่างเส้นใยคาหลาที่ปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยเครื่องจักร และวิธีเคมี ได้ผลการทดลองดังนี้

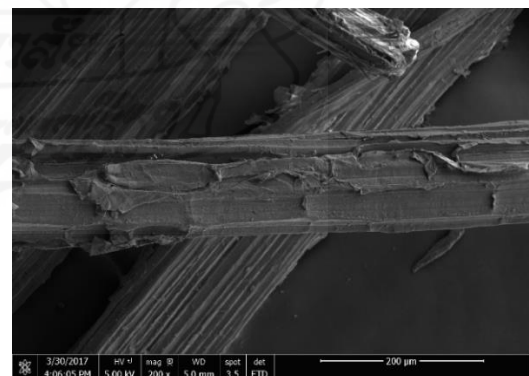
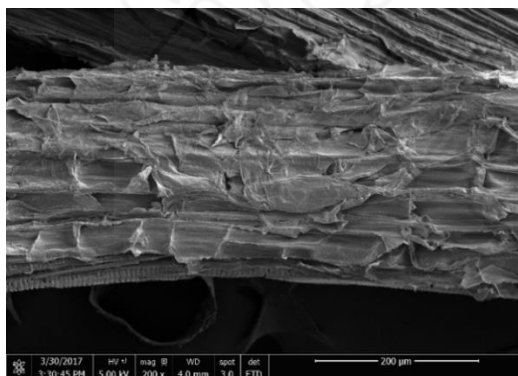


(ก) เส้นใยคาหลาที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง

(ข) เส้นใยคาหลาปรับปรุงด้วยวิธีเคมี

ภาพที่ 4.22 เส้นใยคาหลาที่ปรับปรุงด้วยวิธีเคมีที่ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า

ภาพที่ 4.22 แสดงเส้นใยคาหลาที่ปรับปรุงด้วยวิธีเคมีที่ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า พบว่าสารเคมีทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง เพราะ สารละลายต่างจะกำจัดลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ไซ และกรดไขมัน ของเส้นใยออกบางส่วน (A El Oudiani, 2012) ทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลงนั่นเอง



(ก) เส้นใยคาหลาปรับปรุงด้วยเครื่องจักร

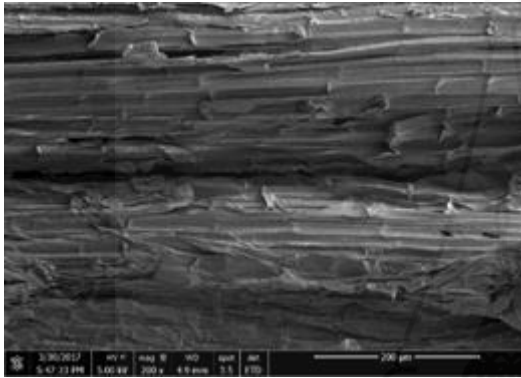
(ข) เส้นใยคาหลาปรับปรุงด้วยเครื่องจักร

ขนาดแรงกด 3 บาร์ 5 นาที

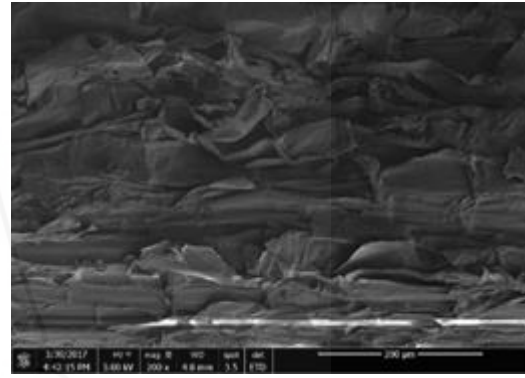
ขนาดแรงกด 3 บาร์ 10 นาที

ภาพที่ 4.23 เส้นใยคาหลาที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักรที่ปรับเปลี่ยนเวลาที่ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า

ภาพที่ 4.23 แสดงเส้นใยคาหลาที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักรปรับเปลี่ยนเวลา ที่ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า ผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงด้วยเครื่องจักร ทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง ที่เป็นเช่นนี้ เพราะระยะเวลาในการกด ส่งผลให้โครงสร้างของเส้นใยมีการแยกตัวมากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง



(ก) เส้นใยคาหลาปรับปรุงด้วยเครื่องจักร ที่แรงกด 3 บาร์ เป็นเวลา 5 นาที



(ข) เส้นใยคาหลาปรับปรุงด้วยเครื่องจักร ที่แรงกด 4 บาร์ เป็นเวลา 5 นาที

ภาพที่ 4.24 เส้นใยคาหลาที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักรที่ปรับเปลี่ยนแรงกด ที่ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า

ภาพที่ 4.24 แสดงเส้นใยคาหลาที่ปรับปรุงด้วยเครื่องจักรที่ปรับเปลี่ยนแรงกด ที่ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า จากผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงเส้นใยด้วยเครื่องจักร ทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง ที่เป็นเช่นนี้ เพราะความดันที่ใช้ในการกด ส่งผลให้โครงสร้างของเส้นใยมีการแยกและหักพับที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

## บทที่ 5

### สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 1. สรุปการวิจัย

##### 1.1 สรุปผลการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคาลาส่วนลำต้น

การพัฒนาเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคาลาส่วนลำต้น ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องจักรต้นแบบเสร็จสิ้น โดยมีการทดลองใช้งานจากผู้เกี่ยวข้อง และสมาชิกของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเส้นใยคาลาบ้านนาโอน ตำบลหรือเสาะ อำเภอรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส และนำไปใช้งานอย่างต่อเนื่อง ยังไม่พบปัญหาจากการใช้งานเครื่องจักรต้นแบบ

##### 1.2 สรุปผลการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบสมบัติเส้นใยคาลาจากการปรับปรุงด้วยการใช้เครื่องจักรกับวิธีเคมีแบบดั้งเดิม

**1.2.1 การแยกของเส้นใย** ผลการวิเคราะห์และทดสอบ พบว่า เส้นใยคาลาที่ปรับปรุงความละเอียดด้วยเครื่องจักรต้นแบบปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคาลากับวิธีเคมีแบบดั้งเดิม มีการแยกของเส้นใยให้มีขนาดเล็กกลงได้ โดยการปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยเครื่องจักรต้นแบบจะได้ขนาดของเส้นใยที่เล็กกว่าเส้นใยที่ได้จากวิธีเคมีแบบดั้งเดิม

**1.2.2 การปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยเครื่องจักรต้นแบบ** ให้ค่าการรับแรงดึงของเส้นใยดีที่สุด ที่ระยะเวลา 10 นาที โดยมีค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยที่ขนาดแรงกด 3, 4 บาร์ เท่ากับ 118 และ 147 เซ็นตินิวตัน ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าวิธีเคมีที่ใช้อยู่ที่มีค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยที่ 109 เซ็นตินิวตัน และให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัว ที่ขนาดแรงกด 4 บาร์ 10 นาที ดีกว่าวิธีเคมี ดังนั้นสรุปได้ว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้เส้นใยที่มีค่าความละเอียดที่สุด โดยการปรับปรุงเส้นใยด้วยเครื่องจักร คือที่แรงกด 4 บาร์ 10 นาที

**1.2.3 การปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยด้วยเครื่องจักรต้นแบบ** ได้ผลดีกว่าการใช้วิธีเคมีทั้งในด้านระยะเวลาในการผลิต และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการไม่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการปรับปรุงเส้นใย

### 1.2.4 สรุปผลการวิจัยเพื่อศึกษาด้านระยะเวลา แรงงาน และต้นทุนการผลิต รวมถึงประเมินความพึงพอใจในการใช้เครื่องจักรแทนการใช้สารเคมี

ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักรต้นแบบเทียบกับการใช้สารเคมีที่ 1 หน่วยการผลิตหรือคิดเป็นน้ำหนัก 2 กิโลกรัมเส้นใย สามารถสรุปได้ว่า การใช้เครื่องจักรในการปรับปรุงความละเอียดเส้นใย มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารเคมี ในด้านการใช้ระยะเวลาในการผลิตที่สั้นกว่า ต้นทุนด้านแรงงานที่น้อยกว่า และต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่น้อยกว่า ผลการสอบถามความคิดเห็นจากผู้เกี่ยวข้องในประเมินความพึงพอใจในการใช้เครื่องจักรแทนการใช้สารเคมีได้ผลแสดงถึงความเหมาะสมในการใช้เครื่องจักรต้นแบบ คิดเป็นร้อยละ 97.14 ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของเครื่องจักรต้นแบบในการนำไปใช้งานจริง

## 2. อภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย 2 หัวข้อหลัก ได้แก่ ตอนที่ 1 การศึกษาสมบัติของเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย ตอนที่ 2 การศึกษาสมบัติของเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรปรับปรุงความละเอียด

### 2.1 การศึกษาสมบัติของเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

#### 2.1.1 ลักษณะของเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

เครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย ประกอบด้วย องค์ประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ชุดปรับปรุงเส้นใย และ ชุดส่งกำลัง โดยชุดปรับปรุงเส้นใย เป็นชุดลูกกลิ้งชนิดสแตนเลส ทำหน้าที่ในการปรับปรุงเส้นใยจากแรงกด ชุดส่งกำลัง ทำหน้าที่ส่งกำลังให้กับชุดปรับปรุงเส้นใย โดยใช้มอเตอร์กระแสสลับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ มีกำลังไฟฟ้า 745 วัตต์ ส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ อัตราทด 1:60 และ โซ่ขับผ่านเฟืองของลูกกลิ้งพาเส้นใย เครื่องทำงานได้อย่างดี ไม่ติดขัด

#### 2.1.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตระหว่างการใช้เครื่องจักรกับวิธีเคมี

จากผลประเมินประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักรต้นแบบเทียบกับการใช้สารเคมีที่ 1 หน่วยการผลิตหรือคิดเป็นน้ำหนักเส้นใย 2 กิโลกรัม ด้านระยะเวลาการผลิตเครื่องจักรใช้เวลาน้อยกว่า 406 ชั่วโมง ด้านแรงงาน เครื่องจักรใช้แรงงานน้อยกว่า 7 คน และต้นทุนการผลิตเครื่องจักรมีต้นทุนน้อยกว่า 3,800 บาทต่อหน่วยการผลิต โดยเครื่องจักรจะมีจุดคุ้มทุนที่ 210.5 กิโลกรัมเส้นใย แสดงให้เห็นว่า การใช้เครื่องจักรในการปรับปรุงความละเอียดเส้นใย มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารเคมี ในด้านการใช้ระยะเวลาในการผลิตที่สั้นกว่า ต้นทุนด้านแรงงาน

ที่น้อยกว่า และต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่น้อยกว่า แต่เครื่องจักรมีมูลค่าการลงทุนจากการสร้างเครื่องที่แพงกว่า

### 2.1.3 การสำรวจความคิดเห็นในการใช้เครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

จากการทดสอบโดยใช้เทคนิค IOC ผลการสำรวจสามารถสรุปได้ว่า การใช้เครื่องจักรในการปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยมีความเหมาะสมโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 97.14 ทั้งในด้านการออกแบบ ด้านการใช้งาน ด้านความปลอดภัย และด้านผลผลิต

## 2.2 การศึกษาสมบัติของเส้นใยที่ได้จากเครื่องปรับปรุงความละเอียดของเส้นใย

### 2.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

สรุปได้ว่าเมื่อเวลาในการการบีบอัดเพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง และยังพบว่าเมื่อเพิ่มความดันในการบีบอัดทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง โดยเส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุดจากผลการทดลองได้จากการปรับปรุงเส้นใยด้วยเครื่องจักรต้นแบบ ที่แรงกด 5 บาร์ ระยะเวลา 15 นาที ค่าความละเอียดของเส้นใยดาหลา มีค่าความละเอียดมากกว่า 8 ไมโครเมตร พบว่าเส้นใยมีความละเอียดอยู่ในระดับความหยาบสูง ตามลักษณะเฉพาะตัวของเส้นใยดาหลา

### 2.2.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

สรุปได้ว่า ค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยของเส้นใยของเส้นใยที่ปรับปรุงความละเอียดด้วยเครื่องจักร ขึ้นอยู่กับแรงกดและระยะเวลา โดยที่แรงกดที่กระทำต่อเส้นใยจาก 5 นาที เป็น 10 นาที เส้นใยจะมีค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยในทิศทางที่เพิ่มขึ้น จากนั้นค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยจะลดลงหลังจากใช้แรงกดนานกว่า 10 นาที

ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัวของเส้นใยที่ปรับปรุงความละเอียดด้วยเครื่องจักร มีแนวโน้มที่จะลดลง เพราะแรงบีบอัดจากวิธีเชิงกลจะทำให้เส้นใยเกิดการหัก พับ เมื่อมีแรงดึงจึงเกิดการฉีกขาดได้จากรอยหัก รอยพับ หรือรอยแตกที่เกิดขึ้น ค่าที่ได้จึงน้อยกว่าวิธีเคมี ดังนั้น ผลจากการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใย และผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัวของเส้นใย แสดงให้เห็นว่า วิธีเชิงกลด้วยเครื่องจักรต้นแบบ ควรปรับตั้งการทำงานของเครื่องจักรที่แรงดัน 4 บาร์ 10 นาที จะให้ผลการทดสอบที่เหมาะสมและดีกว่าวิธีเคมีที่วิสาหกิจชุมชนใช้งานอยู่

### 2.2.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

สรุปได้ว่า ธาตุองค์ประกอบทางเคมีที่ตรวจพบในเส้นใยปรับปรุงความละเอียดด้วยเครื่องจักร คือ คาร์บอน และออกซิเจน โพลีเอทิลีนซึ่งเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

หลักของพืชปรับปรุงความละเอียดด้วยวิธีเคมีพบปริมาณธาตุโซเดียมที่มากกว่าการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร แสดงถึงการปรับปรุงด้วยวิธีเคมีจะมีสารเคมีที่ตกค้างในเส้นใย

การปรับปรุงเส้นใยด้วยเครื่องจักรต้นแบบและวิธีเคมี ทำให้ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินลดลง โดยวิธีเคมีขจัดเฮมิเซลลูโลสได้มากกว่าวิธีเชิงกล เพราะวิธีเคมีสารละลายที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใยคาหลา สามารถกระทำต่อเส้นใยได้ทั่วถึงตลอดเส้นใย แต่การใช้วิธีเชิงกลด้วยแรงกดจากเครื่องจักรจะไม่สามารถกระทำได้ตลอดเส้นใย จึงทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าวิธีเคมี อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องจักรในการปรับปรุงเส้นใย ยังเป็นวิธีที่น่าสนใจใน เพราะข้อดีหลายประการ เช่น ระยะเวลาในการปรับปรุงเส้นใยน้อยกว่ามาก ไม่มีสารเคมีตกค้างในเส้นใย และไม่ต้องกำจัดสารเคมีที่เหลือจากกระบวนการปรับปรุงเส้นใยแบบวิธีเคมี

ค่า pH ของเส้นใยที่ปรับปรุงความละเอียดด้วยวิธีเคมี มีความเป็นด่างสูงกว่าการปรับปรุงด้วยเครื่องจักร คาดว่าน่าจะมีการใช้สารเคมีซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างในการปรับปรุงเส้นใย ส่งผลให้มีสารเคมีบางส่วนตกค้างในเส้นใยซึ่งสามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองแก่พนักงานได้

#### 2.2.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติสัณฐานวิทยา

สรุปได้ว่า การปรับปรุงเส้นใยคาหลาด้วยเครื่องจักรต้นแบบ ทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลงตามระยะเวลาที่แรงกดกระทำต่อเส้นใย เพราะระยะเวลาในการกด ส่งผลให้โครงสร้างของเส้นใยมีการแยกตัวมากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และความดันที่ใช้ในการกด ส่งผลให้โครงสร้างของเส้นใยมีการแยกและหักพับที่เพิ่มขึ้น กรณีการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเคมี ทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง เพราะสารละลายต่างจะกำจัดลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ใย และกรดไขมัน ของเส้นใยออกบางส่วนทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง

### 3. ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบในการปรับปรุงความละเอียดของเส้นใยคาหลาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ สามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อสร้างโอกาสจากสมรรถนะของเครื่องจักร วิธีการปรับปรุงเส้นใย และสมบัติของเส้นใย ดังเช่น

3.1 การนำเครื่องจักรต้นแบบไปใช้ ในการนำเครื่องจักรต้นแบบไปใช้ในการผลิตเส้นใยจากพืชชนิดอื่นๆ ในระดับอุตสาหกรรมชุมชน ซึ่งควรศึกษาการปรับตั้งเครื่องจักรให้เหมาะสมกับเส้นใยแต่ละชนิดตามพื้นที่ เนื่องจากอาจมีปัจจัยด้านพืชในแต่ละท้องถิ่นที่แตกต่างกัน

3.2 การศึกษาวิธีการปรับปรุงเส้นใยอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อลดขนาดของเส้นใย และมีสมบัติของเส้นใยที่ดีขึ้น

3.3 การใช้ร่วมกับเส้นใยจากธรรมชาติอื่นๆ เพื่อให้มีสมบัติในการใช้งานสิ่งทอ และมีการผสมผสานเพื่อสร้างความเป็นเอกลักษณ์ให้กับเส้นใยเพิ่มเติม เช่น การผสมกับเส้นใยจากข้าว ปลูกที่เป็นกลุ่มพืชตระกูลเดียวกัน เป็นต้น

3.4 การศึกษาการใช้ร่วมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อให้มีสมบัติในการใช้งานนอกกลุ่มสิ่งทอ เช่น การเป็นวัสดุประกอบในแผ่นรับแรง แผ่นกันกระแทก ผ้าสำหรับอุตสาหกรรม เป็นต้น





ภาคผนวก





ภาคผนวก ก  
ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นใย

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

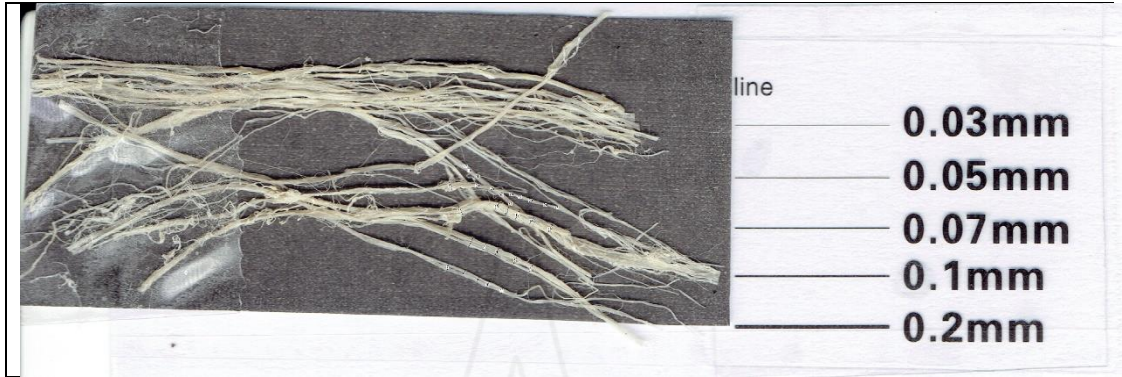
กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาอบแห้ง (Original before Treatment)



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.005	84.351	28.222	182	-90	0.2
2	0.025	140.101	8.70E-11	255	-106.091	1.158
3	0.023	188.723	62.111	226.702	-106.26	1.068
4	0.023	177.435	58.619	217.947	-100.62	1.048
5	0.023	181.457	46.667	227.778	-106.928	1.04
6	0.021	172.281	85.556	214.737	-104.036	0.97
7	0.028	137.749	47.761	185.797	-119.055	1.304
8	0.03	145.63	81.919	186.354	-121.264	1.396
9	0.027	140.756	64.201	191.776	-115.677	1.239
10	0.031	152.634	55.339	213.095	-121.551	1.436
11	0.028	135.145	39.444	181.457	-117.848	1.291
12	0.011	196.544	92.444	224.569	-79.695	0.465
13	0.01	205.11	149.778	225.689	-92.862	0.43
14	0.01	201.837	128.889	216.742	-95.44	0.461
15	0.011	180.071	64.185	217.915	-90	0.486
16	0.008	209.41	180.182	222.739	-83.29	0.373
17	0.013	158.003	92.333	220.175	-107.745	0.569
18	0.016	150.787	64.181	206.16	-116.565	0.703
19	0.015	144.081	50.172	214.705	-110.136	0.669
20	0.012	180.254	109.556	219.82	-114.624	0.563
21	0.013	165.176	60.667	219.284	-107.103	0.569
22	0.012	185.619	13.524	226.323	-77.005	0.561
23	0.011	199.907	105.111	223.519	-80.538	0.521
24	0.011	198.942	92.444	219.667	-90	0.514
25	0.013	181.369	123.967	222.163	-83.418	0.574
26	0.012	195.749	98.36	217.489	-90	0.543
Mean	0.017	169.582	76.755	214.6	-101.067	0.775
SD	0.008	29.299	40.981	16.78	14.146	0.364
Min	0.005	84.351	8.70E-11	181.457	-121.551	0.2
Max	0.031	209.41	180.182	255	-77.005	1.436

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีเคมี



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.005	75.607	23.407	191.333	-83.66	0.2
2	0.013	169.9	98	189.393	-117.553	0.573
3	0.011	175.057	113.667	224.837	-117.759	0.474
4	0.011	174.302	120.333	191.551	-119.055	0.455
5	0.012	173.391	43	221.408	-117.646	0.524
6	0.011	175.506	77.689	206.034	-114.228	0.484
7	0.008	164.581	123.276	184.703	-104.931	0.343
8	0.008	163.841	142.667	178.458	-113.199	0.336
9	0.006	173.586	139.995	187.963	-114.444	0.267
10	0.007	180.072	150.667	209.857	-111.038	0.308
11	0.008	151.877	12.333	197.333	-104.931	0.343
12	0.013	191.276	127.686	221.63	-111.371	0.545
13	0.015	182.42	96.375	217.202	-114.775	0.632
14	0.014	189.831	158.771	219	-124.287	0.588
15	0.011	200.919	122.333	231.912	-122.276	0.496
16	0.012	183.47	62	228.333	-119.745	0.534
17	0.006	163.302	97.311	196	-127.875	0.252
18	0.005	166.686	131	184.867	-119.055	0.227
19	0.006	160.568	131.333	184.614	-138.814	0.235
20	0.007	150.975	48	186.476	-171.87	0.312
21	0.006	133.656	38.667	160.5	-138.366	0.266
22	0.005	134.451	56.333	193.938	-110.556	0.189
23	0.003	174.127	117	199.556	-99.462	0.134
24	0.002	165.5	135.333	182.667	-90	0.088
25	0.004	174.911	156.422	194.609	-113.199	0.168
26	0.002	158.167	118.333	184.167	-104.036	0.091
27	0.002	186.25	178.333	191.667	-90	0.088
28	0.016	169.534	97.203	212.188	-61.821	0.702
29	0.011	201.829	176.81	232.476	-70.71	0.468
30	0.006	155.01	110.667	189.061	-100.305	0.247
Mean	0.008	167.353	106.831	199.791	-111.565	0.352
SD	0.004	23.656	44.235	18.096	20.538	0.175
Min	0.002	75.607	12.333	160.5	-171.87	0.088
Max	0.016	201.829	178.333	232.476	-61.821	0.702

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

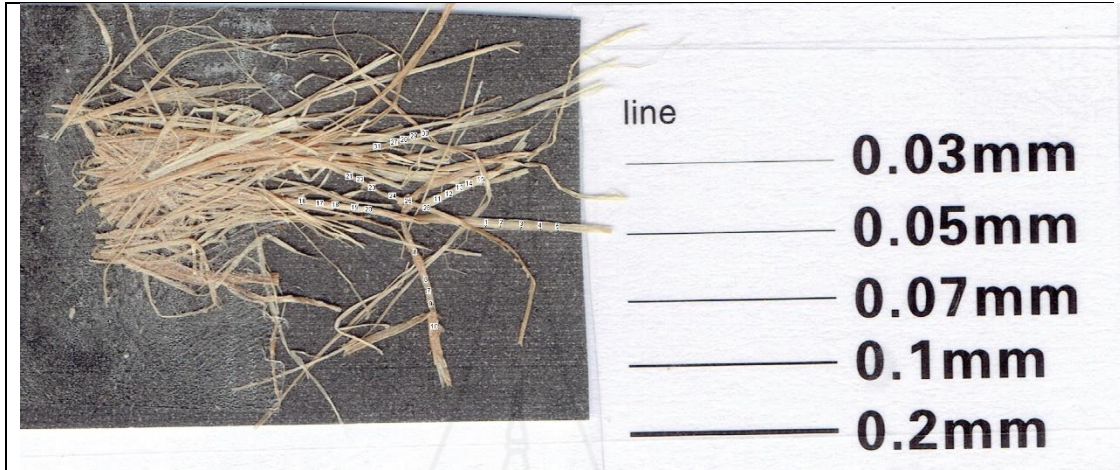
กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีกล 3 บาร์ 5 นาที



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.004	92.354	24.707	243.074	-90	0.2
2	0.01	148.958	6.556	189	-90	0.525
3	0.01	167.232	13.289	212.459	-94.399	0.501
4	0.01	178.223	77	208.667	-92.045	0.526
5	0.008	175.947	111.889	211.011	-98.13	0.403
6	0.006	202.24	185.222	218.583	-97.125	0.301
7	0.004	145.072	91.074	179.669	-150.945	0.202
8	0.004	153.079	102.667	170.865	-169.695	0.206
9	0.004	158.4	98.37	170.858	-142.125	0.215
10	0.005	159.592	125.444	195.111	-146.31	0.27
11	0.004	163.956	34	201.264	-135	0.212
12	0.006	180.927	156.889	199.867	-90	0.275
13	0.007	162.59	21.444	196.361	-83.991	0.354
14	0.006	164.684	29.259	207.444	-90	0.3
15	0.007	178.78	96.963	217.889	-90	0.375
16	0.006	182.674	157.54	211.915	-93.366	0.326
17	0.003	155.012	137.824	178.63	-123.69	0.146
18	0.002	179.178	137.778	202.222	-104.036	0.079
19	0.005	158.442	39.148	205.809	-123.69	0.27
20	0.004	183.365	170.149	194.85	-100.305	0.202
21	0.004	175.2	158.03	201.667	-90	0.2
22	0.008	172.4	63.815	223.919	-111.801	0.404
23	0.009	175.445	61.556	208.476	-130.365	0.496
24	0.01	172.136	108.222	205.658	-123.111	0.506
25	0.012	147.688	2.222	206.546	-147.265	0.617
26	0.009	147.11	39.123	193.358	-123.024	0.451
27	0.004	179.984	136.333	203.815	-123.69	0.202
28	0.003	184.023	173.963	201.444	-98.13	0.127
29	0.002	169.807	148.222	186.222	-101.31	0.103
30	0.003	175.562	80.222	210.667	-97.125	0.152
Mean	0.006	166.335	92.964	201.911	-111.689	0.305
SD	0.003	19.372	56.223	15.357	23.177	0.146
Min	0.002	92.354	2.222	170.858	-169.695	0.079
Max	0.012	202.24	185.222	243.074	-83.991	0.617

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

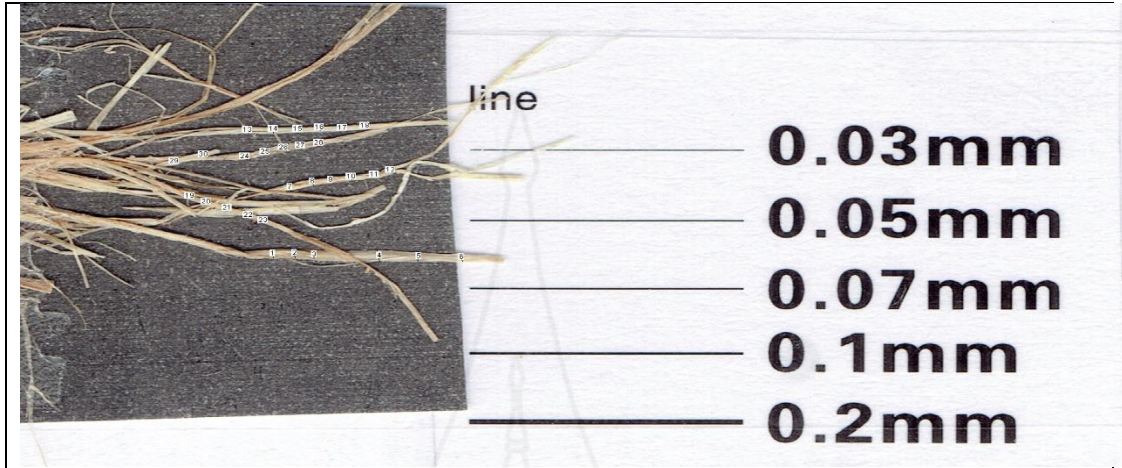
กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีกล 3 บาร์ 10 นาที



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.011	177.046	124.667	215.444	-100.62	0.406
2	0.011	175.098	87.556	220.556	-90	0.4
3	0.013	161.39	34.444	199.148	-98.531	0.504
4	0.013	160.802	49.556	195.733	-81.469	0.504
5	0.011	175.863	120.667	218.667	-79.38	0.406
6	0.008	168.334	88.778	188.277	21.801	0.285
7	0.006	175.445	164	183.235	0	0.233
8	0.007	159.495	133.778	171.766	18.435	0.243
9	0.008	153.85	116.111	170.778	15.255	0.275
10	0.011	157.5	146.789	177.37	25.017	0.403
11	0.009	181.56	102.111	208.437	-59.744	0.343
12	0.01	169.586	109.778	196.185	-63.435	0.373
13	0.009	182.243	157.111	195.37	-63.435	0.343
14	0.011	170.946	111.556	198.259	-50.194	0.401
15	0.014	187.194	166.284	198.746	-58.57	0.537
16	0.008	186.178	152.37	213.475	-116.565	0.269
17	0.006	191.611	178.277	215.392	-95.711	0.236
18	0.008	181.897	84.444	219.727	-105.255	0.275
19	0.006	196.968	112.556	218.741	-90	0.233
20	0.006	199.104	177.222	212.041	-139.399	0.236
21	0.006	146.979	76.815	173.889	-116.565	0.224
22	0.005	151.787	59.778	186.628	-123.69	0.167
23	0.004	172.611	166.938	179.774	-108.435	0.149
24	0.004	160.788	110.593	186.519	-135	0.141
25	0.008	162.605	93.926	194.731	-116.565	0.269
26	0.005	177.469	117.444	196.704	-105.945	0.17
27	0.008	162.958	111.704	197.568	-41.634	0.307
28	0.006	178.147	146	207.062	-63.435	0.224
29	0.008	167.973	122.963	195.296	-52.125	0.287
30	0.006	178.221	140.935	214.667	-45	0.236
31	0.011	112.249	10.296	158.37	-75.964	0.412
32	0.007	170.83	166.667	174.148	-77.471	0.243
Mean	0.008	170.46	116.941	196.334	-71.051	0.304
SD	0.003	16.494	41.666	16.83	46.1	0.105
Min	0.004	112.249	10.296	158.37	-139.399	0.141
Max	0.014	199.104	178.277	220.556	25.017	0.537

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

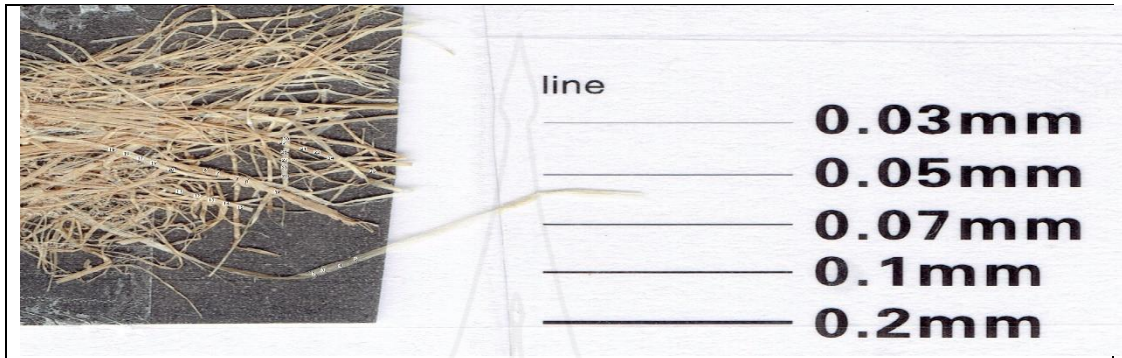
กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีกล 3 บาร์ 15 นาที



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.01	163.452	86.519	199.778	-79.38	0.385
2	0.011	142.448	16.296	184.333	-81.027	0.447
3	0.01	154.776	103.593	193.306	-93.576	0.381
4	0.013	166.213	63.333	212.716	-79.695	0.515
5	0.012	148.767	13.667	193.889	-90	0.474
6	0.01	201.386	155	225.667	-79.38	0.385
7	0.007	185.336	133.741	201.251	-68.199	0.27
8	0.008	155.053	2.333	199.322	-72.897	0.33
9	0.005	179.739	134.704	214.741	-82.875	0.192
10	0.007	159.062	4.333	215.926	-84.289	0.255
11	0.006	174.17	102.274	215.837	-48.814	0.247
12	0.007	156.172	86.111	203.254	-70.017	0.27
13	0.006	185.327	143.609	215.501	-78.69	0.224
14	0.008	145.179	13.778	190.556	-90	0.316
15	0.006	187.793	152.868	215.547	-77.471	0.23
16	0.007	150.87	9.314	220.727	-84.806	0.255
17	0.006	186.434	112.63	214.444	-90	0.221
18	0.003	193.652	180.333	199.111	-90	0.126
19	0.005	135.306	91.667	178	-150.255	0.184
20	0.003	176.844	171.702	192	-153.435	0.114
21	0.005	146.977	58.37	185.389	-97.125	0.192
22	0.005	178.829	146.889	190.222	-97.125	0.192
23	0.007	138.094	42.778	186.104	-119.055	0.255
24	0.008	164.519	73.444	199.72	-67.38	0.311
25	0.008	155.726	35.074	183.344	-56.31	0.342
26	0.008	174.321	136.789	202.823	-55.008	0.298
27	0.007	163.516	127.697	190.889	-68.199	0.27
28	0.006	154.499	46.222	199.209	-71.565	0.23
29	0.006	194.006	186.786	200.409	-50.194	0.202
30	0.009	157.686	21.963	199.046	-45	0.358
Mean	0.007	165.872	88.461	200.769	-82.392	0.282
SD	0.002	17.962	58.487	12.45	24.805	0.097
Min	0.003	135.306	2.333	178	-153.435	0.114
Max	0.013	201.386	186.786	225.667	-45	0.515

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

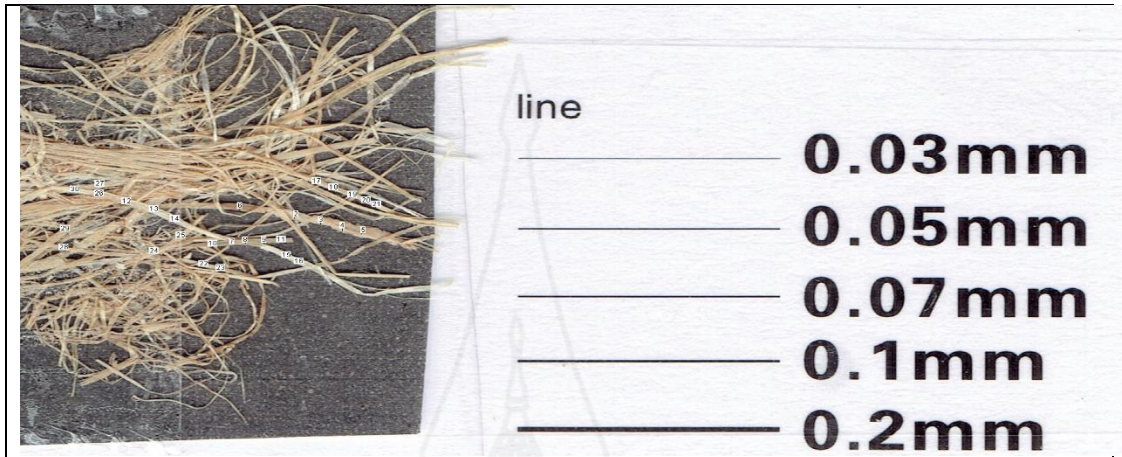
กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีกล 4 บาร์ 5 นาที



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.004	76.221	11.4	243	-84.289	0.2
2	0.007	150.771	126.333	173.977	-45	0.338
3	0.008	145.146	71.667	171.932	-47.121	0.38
4	0.007	137.873	90	159.839	-52.431	0.326
5	0.007	135.432	71	173.508	-52.431	0.326
6	0.006	163.784	134	191	-120.256	0.276
7	0.008	154.046	77.333	193.317	-112.38	0.366
8	0.007	158.651	4.667	207.72	-108.435	0.315
9	0.007	195.532	142.667	214.055	-110.556	0.34
10	0.005	182.45	134.667	211.759	-109.983	0.233
11	0.005	165.421	156.583	181.056	-120.964	0.232
12	0.004	176.306	110.667	202	-104.036	0.164
13	0.005	194.662	141.667	211.992	-116.565	0.222
14	0.004	197.33	170	220.667	-96.34	0.18
15	0.004	188.824	125	213	-104.036	0.164
16	0.005	199.178	179.73	214.667	-127.875	0.227
17	0.006	201.917	177	214.028	-128.66	0.255
18	0.005	189.655	147.333	206.576	-123.69	0.215
19	0.005	185.113	140.333	214.056	-120.964	0.232
20	0.004	199.479	136	218	-113.199	0.152
21	0.004	164.054	119.012	207.333	-130.601	0.183
22	0.005	162.247	123.788	195	-100.305	0.222
23	0.004	183.422	168.906	199.333	-129.806	0.155
24	0.004	183.774	152.667	196.045	-122.005	0.188
25	0.003	165.937	154.333	181.444	-108.435	0.126
26	0.005	156.634	6	200.545	-5.194	0.22
27	0.003	187.476	169	212.444	-18.435	0.126
28	0.003	197.175	184.667	214.111	-18.435	0.126
29	0.004	184.933	166.667	196.333	0	0.199
30	0.002	176.694	170.556	183.333	18.435	0.063
Mean	0.005	172.005	125.455	200.736	-87.133	0.225
SD	0.002	26.401	50.598	17.906	44.993	0.079
Min	0.002	76.221	4.667	159.839	-130.601	0.063
Max	0.008	201.917	184.667	243	18.435	0.38

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีกล 4 บาร์ 10 นาที

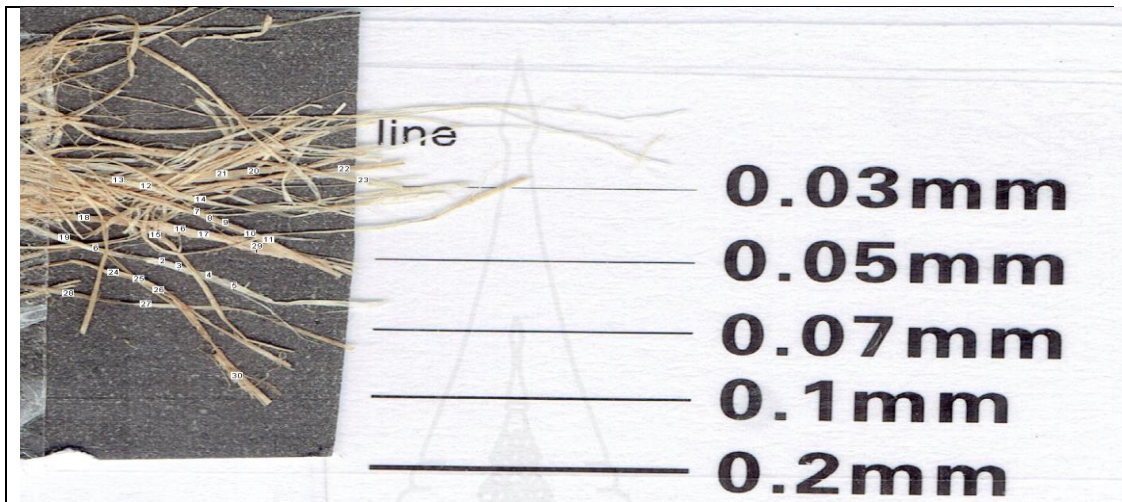


Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.005	59.163	36.593	133.111	-82.875	0.2
2	0.009	169.034	103.889	189.889	-111.038	0.354
3	0.01	178.002	88	205.119	-93.814	0.363
4	0.011	171.164	138.634	204.124	-90	0.427
5	0.009	158.455	142	200.926	-114.775	0.354
6	0.009	133.453	109.111	164.068	-90	0.329
7	0.005	158.374	141.821	174	-66.801	0.177
8	0.006	146.932	73.444	172.556	-83.66	0.232
9	0.007	137.722	22.778	168.495	-90	0.263
10	0.006	145.204	94.593	173.07	-90	0.23
11	0.005	156.458	125.333	173.333	-90	0.197
12	0.009	185.574	130.333	214.526	-118.61	0.31
13	0.008	192.699	135.687	220.086	-120.964	0.294
14	0.007	189.832	149.216	207.689	-113.962	0.25
15	0.005	209.501	172.407	221.889	-98.13	0.168
16	0.006	194.528	169.665	215.246	-130.601	0.232
17	0.005	191.691	169.778	216	-135	0.186
18	0.005	182.385	135.778	202.741	-116.565	0.177
19	0.004	192.87	186.741	200.03	-90	0.132
20	0.004	191.361	188.458	194.111	-143.13	0.119
21	0.007	170.168	55.333	209.307	-113.962	0.25
22	0.003	189.689	179.852	193.889	-75.964	0.104
23	0.005	170.292	131.889	191.556	-90	0.164
24	0.004	178.431	162.375	193	-78.69	0.136
25	0.008	176.835	118.778	194.333	-14.036	0.303
26	0.007	197.71	177.56	211.354	-126.87	0.237
27	0.005	189.096	176.889	208.667	-60.255	0.192
28	0.004	174.682	165.293	188.733	-111.801	0.136
29	0.007	182.041	155.519	192.571	-33.69	0.283
30	0.005	200.984	159.889	219.889	-110.556	0.208
Mean	0.006	172.478	133.255	195.144	-96.192	0.234
SD	0.002	28.663	43.996	20.175	28.255	0.082
Min	0.003	59.163	22.778	133.111	-143.13	0.104
Max	0.011	209.501	188.458	221.889	-14.036	0.427



การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

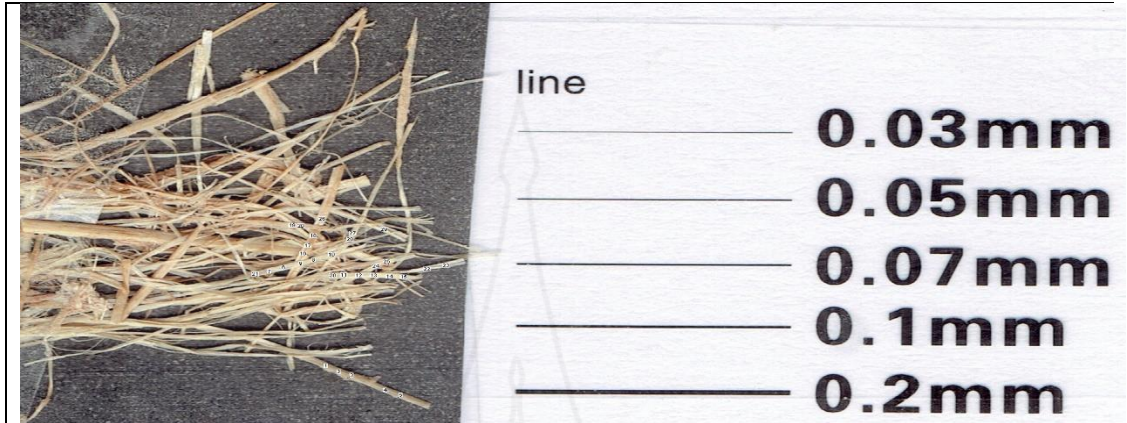
กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีกล 4 บาร์ 15 นาที



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.007	59.286	15.889	84.556	-81.87	0.2
2	0.008	202.128	158.963	219.889	-119.745	0.229
3	0.009	179.918	41.667	219.325	-95.711	0.277
4	0.008	163.025	76	192.667	-110.556	0.248
5	0.01	194.511	146.963	211.84	-108.435	0.286
6	0.006	194.926	173.111	227.111	-135	0.166
7	0.009	176.433	143.889	205.587	-140.194	0.251
8	0.01	172.386	145.741	200.141	-138.814	0.306
9	0.008	150.897	49.333	187.333	-135	0.222
10	0.01	161.216	44.111	198.604	-111.801	0.299
11	0.009	149.124	33.548	195.481	-135	0.277
12	0.007	208.616	200.333	216.213	-128.66	0.196
13	0.007	191.929	160.889	211.853	-116.565	0.211
14	0.008	166.905	41.815	213.37	-110.556	0.248
15	0.008	164.119	124.667	183.778	-129.806	0.222
16	0.013	185.573	113	196.88	-107.103	0.41
17	0.01	193.487	149.111	208.539	-108.435	0.286
18	0.011	154.722	106.778	180.333	-94.764	0.355
19	0.007	138.07	7.815	200.667	-98.13	0.2
20	0.011	155.063	4	194.593	-80.538	0.355
21	0.008	172.675	168.815	177.852	-90	0.235
22	0.004	180.956	158	195.667	-75.964	0.124
23	0.01	206.499	194.778	218.407	-126.87	0.283
24	0.01	177.554	123.519	194.319	-131.186	0.306
25	0.009	163.17	150.774	183.064	-144.462	0.251
26	0.01	131.043	59.141	192.667	-138.814	0.306
27	0.004	196	180.556	207.889	-90	0.118
28	0.007	156.606	141.444	163.583	-105.945	0.211
29	0.017	176.811	131	207.111	-96.009	0.551
30	0.015	164.777	145.576	186.194	-154.983	0.474
Mean	0.009	169.614	113.041	195.85	-114.697	0.27
SD	0.003	28.693	59.405	25.541	21.199	0.092
Min	0.004	59.286	4	84.556	-154.983	0.118
Max	0.017	208.616	200.333	227.111	-75.964	0.551

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

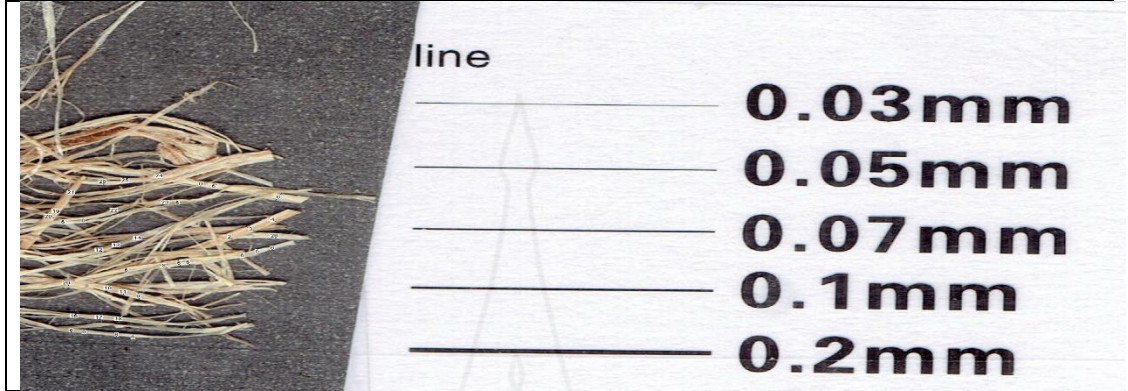
กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีกล 5 บาร์ 5 นาที



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.005	149.176	117	173.667	-135	0.22
2	0.006	149.94	124	176.066	-123.69	0.24
3	0.008	131.495	30.667	191.333	-137.49	0.362
4	0.007	139.104	70.333	173.14	-118.61	0.278
5	0.007	138.603	22.333	189.306	-128.66	0.285
6	0.006	201.774	137.667	223.446	-68.199	0.239
7	0.005	177.038	98.667	200.745	-63.435	0.199
8	0.004	200.359	189.667	213.435	-56.31	0.16
9	0.004	204.146	194.667	213.167	-60.255	0.179
10	0.004	203.845	192.571	213.476	-74.055	0.162
11	0.004	197.481	150.667	217.667	-90	0.2
12	0.005	214.967	181.333	241	-90	0.222
13	0.005	210.533	165.667	230.533	-101.31	0.227
14	0.004	216.815	190.333	223.667	-90	0.2
15	0.004	204.028	189.667	216.307	-113.199	0.169
16	0.007	183.581	153	212.804	-21.038	0.31
17	0.004	166.649	153.729	186.333	-23.199	0.169
18	0.007	159.617	146.006	179.765	-22.62	0.289
19	0.004	197.25	177.667	211.667	-90	0.178
20	0.004	183.167	170.667	197.667	-90	0.178
21	0.005	161.381	137.111	194.667	-77.471	0.205
22	0.005	195.802	153.333	219.519	-63.435	0.199
23	0.006	184.468	129.667	228.667	-41.186	0.236
24	0.005	202.622	158.333	216.494	-49.399	0.205
25	0.005	199.461	167	214.827	-66.038	0.219
26	0.006	192.074	88	225.333	-19.983	0.26
27	0.003	203.722	190	213.667	0	0.133
28	0.004	195.113	141.667	214.667	-26.565	0.149
29	0.004	189.645	150.583	219.333	-140.194	0.174
30	0.004	191.875	177.667	206.333	-90	0.178
Mean	0.005	184.858	144.989	207.957	-75.711	0.214
SD	0.001	24.154	45.087	17.809	39.171	0.052
Min	0.003	131.495	22.333	173.14	-140.194	0.133
Max	0.008	216.815	194.667	241	0	0.362

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

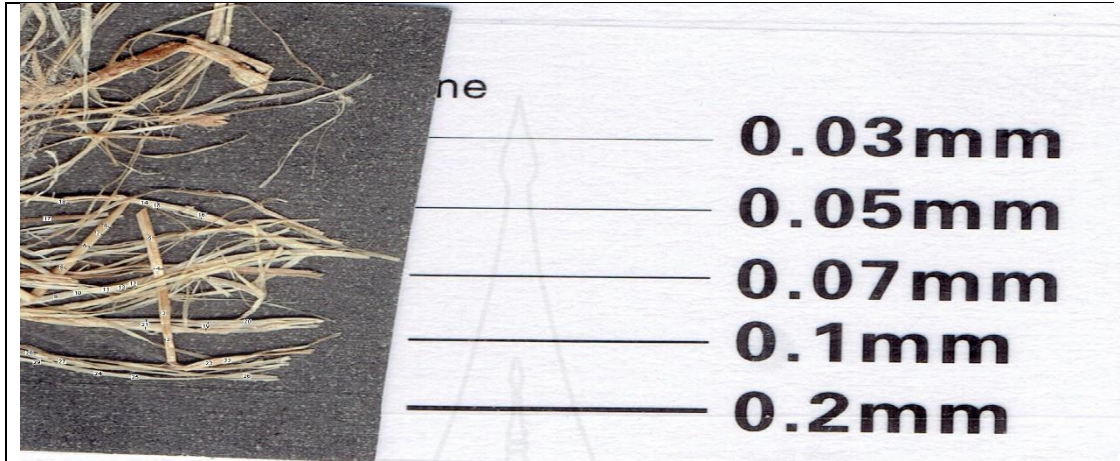
กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีกล 5 บาร์ 10 นาที



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.004	80.061	23.333	219.333	-90	0.2
2	0.005	191.872	181.667	209.282	-53.973	0.247
3	0.006	171.003	9	224.364	-40.236	0.31
4	0.004	195.572	171.303	217.35	-45	0.206
5	0.002	207.437	195.861	226	-59.036	0.106
6	0.003	191.011	161.667	219.444	-71.565	0.172
7	0.004	143.727	0	255	-106.699	0.19
8	0.005	187.253	132.274	217.314	-57.529	0.237
9	0.005	185.186	143.667	198.69	-85.914	0.255
10	0.005	187.445	135	214.249	-118.61	0.228
11	0.004	182.727	145.667	211.333	-90	0.2
12	0.003	161.225	96.667	195.272	-49.399	0.168
13	0.002	156.527	139.667	176.56	-53.13	0.091
14	0.003	159.032	118.667	186.583	-45	0.154
15	0.005	178.993	147.333	199.048	-17.103	0.247
16	0.002	176.5	159.222	188.444	-99.462	0.111
17	0.004	167.985	103	195.2	-84.289	0.183
18	0.005	132.514	8.428	208.874	-108.435	0.23
19	0.005	170.498	82.667	194.225	-18.435	0.23
20	0.004	179.866	138	216.667	-24.444	0.22
21	0.004	156.192	27.667	184.78	-21.801	0.196
22	0.003	158.362	139	178.333	-54.462	0.156
23	0.003	170.022	46.667	217.667	-83.66	0.165
24	0.004	196.322	161	217.419	-52.125	0.207
25	0.003	180.314	145.667	213.667	-69.444	0.155
26	0.004	195.339	118	214.267	-84.289	0.183
27	0.003	206.667	195	220.333	-90	0.164
28	0.004	177	131	212	-90	0.2
29	0.004	190.806	115	216.606	-74.745	0.207
30	0.005	132.754	28	205.571	-85.914	0.255
Mean	0.004	172.34	113.336	208.463	-67.49	0.196
SD	9.00E-04	25.981	58.36	16.388	27.784	0.048
Min	0.002	80.061	0	176.56	-118.61	0.091
Max	0.006	207.437	195.861	255	-17.103	0.31

การทดสอบเส้นใยคานาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

กลุ่มตัวอย่าง เส้นใยคานาปรับปรุงด้วยวิธีกล 5 บาร์ 15 นาที



Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.009	176.797	149.667	189	5.711	0.287
2	0.009	197.455	175.333	216	0	0.314
3	0.011	208.308	185.333	224.667	0	0.371
4	0.009	180.574	168.667	193.867	29.055	0.294
5	0.011	179.219	152.333	194	-19.983	0.334
6	0.011	171.268	116.667	193.698	-32.471	0.373
7	0.011	164.249	99	190.333	-22.62	0.371
8	0.01	184.845	134.333	214.73	-68.199	0.308
9	0.01	193.872	121.333	219.782	-52.125	0.326
10	0.01	198.833	105	225.061	-84.806	0.316
11	0.009	170.512	136	187.827	-53.13	0.286
12	0.009	189.667	146.333	221.667	-90	0.314
13	0.009	178.994	40	215.867	-95.711	0.287
14	0.01	199.361	172.667	216.667	-90	0.343
15	0.011	172.117	2	214.359	-102.995	0.381
16	0.006	108.714	64.667	145.333	-90	0.2
17	0.006	186.73	115	213.222	-71.565	0.181
18	0.013	167.763	139.733	186	-101.31	0.437
19	0.005	120.889	3.333	194.667	-90	0.171
20	0.016	181.137	109.093	219	-93.18	0.515
21	0.011	190.6	100.333	217.333	-59.036	0.333
22	0.013	172.062	74.333	206.667	-90	0.457
23	0.007	187.383	98.333	212.313	-116.565	0.192
24	0.007	176.115	137.333	203.415	-116.565	0.192
25	0.007	154.407	30	200	-90	0.257
26	0.004	180.983	168.667	185.833	-75.964	0.118
27	0.008	143.267	24.556	175.111	-108.435	0.271
28	0.006	192.27	162.667	216.037	-135	0.162
29	0.007	164.5	90.333	198.333	-98.13	0.202
Mean	0.009	175.99	107.435	204.86	-67.101	0.286
SD	0.003	21.664	55.382	19.858	43.003	0.107
Min	0.004	108.714	0	145.333	-135	0
Max	1078.411	208.308	185.333	255	29.055	0.515

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง



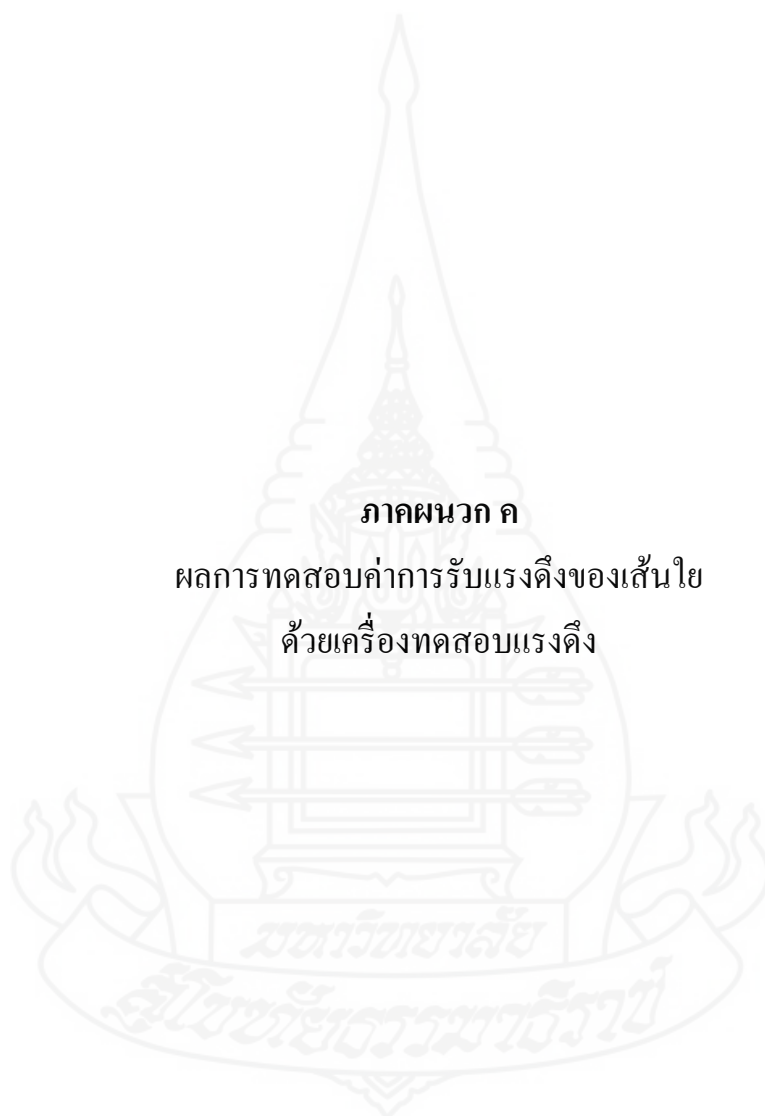
## ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง

## ตัวอย่างเส้นใยคาหลา วิธีเคมี

ตัวอย่าง	ระยะเวลาแช่			ค่า pH สูงสุด
	1 ชม.	2 ชม.	3 ชม.	
1	8.6	8.5	8.5	8.6
2	9.6	9.6	9.6	9.6
3	9.1	9.3	9.2	9.3
4	8.7	8.8	8.8	8.8
5	8.6	8.8	8.6	8.8
6	8.7	8.8	8.7	8.8
7	8.5	8.6	8.5	8.6
			<b>Average</b>	<b>8.9</b>
			<b>S.D.</b>	<b>0.4</b>

## ตัวอย่างเส้นใยคาหลา วิธีเชิงกล

ตัวอย่าง	ระยะเวลาแช่			ค่า pH สูงสุด
	1 ชม.	2 ชม.	3 ชม.	
1	8.6	8.5	8.5	8.1
2	9.6	9.6	9.6	7.9
3	9.1	9.3	9.2	7.8
4	8.7	8.8	8.8	8.2
5	8.6	8.8	8.6	7.7
6	8.7	8.8	8.7	8.5
7	8.5	8.6	8.5	8.1
			<b>Average</b>	<b>8.0</b>
			<b>S.D.</b>	<b>0.3</b>



ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใย

ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคากลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคากลา วิธีเชิงกล 3 บาร์ 5 นาที

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	67.35	1.41	5.65
2	62.81	2.28	9.11
3	4.79	2.00	8.00
4	81.54	0.65	2.60
5	51.58	1.26	5.02
6	260.44	7.25	29.00
7	107.79	0.60	2.40
8	166.27	0.65	2.60
9	136.27	0.45	1.80
10	206.35	0.75	3.00
11	29.17	1.09	4.36
12	80.05	1.50	6.00
13	27.74	5.63	22.53
14	307.78	1.20	4.80
15	138.88	0.65	2.60
16	44.85	1.10	4.39
17	72.81	1.30	5.21
18	128.52	0.70	2.80
19	286.73	1.20	4.80
20	189.64	0.65	2.60
21	62.93	1.34	5.36
22	147.80	1.20	4.80
23	98.76	1.00	4.00
24	89.49	0.55	2.20
25	115.48	0.55	2.20
26	44.71	0.86	3.44
27	37.78	0.85	3.41
28	55.63	0.96	3.84
29	120.57	0.90	3.60
30	77.93	0.75	3.00
31	174.23	0.60	2.40
32	63.55	1.48	5.93
33	77.30	0.40	1.60
34	266.01	0.65	2.60
35	139.65	1.00	4.00
36	490.13	1.20	4.80
37	59.35	1.35	5.40
38	291.95	0.80	3.20
39	201.77	0.90	3.60
40	57.00	1.02	4.09
41	162.37	0.50	2.00
42	50.41	0.77	3.10
43	44.56	1.34	5.38
44	28.89	0.69	2.75
45	85.19	0.50	2.00
46	55.51	0.80	3.20
47	39.10	0.80	3.20
48	23.10	1.10	4.40
49	71.73	0.87	3.48
50	31.04	1.03	4.12
Average	98.97	1.18	4.73
s.d	55.46	1.16	4.64

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N



## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคาหลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคาหลา วิธีเชิงกล 3 บาร์ 10 นาที

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	43.56	1.15	4.60
2	213.73	0.85	3.40
3	113.75	0.55	2.20
4	79.64	0.65	2.60
5	48.37	0.95	3.80
6	122.84	0.75	3.00
7	151.33	0.85	3.40
8	97.14	0.65	2.60
9	101.83	0.80	3.20
10	190.66	0.80	3.20
11	190.60	0.75	3.00
12	233.80	0.80	3.20
13	138.66	0.90	3.60
14	147.11	1.35	5.40
15	151.51	0.80	3.20
16	131.51	0.60	2.40
17	67.82	1.30	5.20
18	58.12	2.65	10.60
19	60.64	0.93	3.72
20	51.97	0.91	3.66
21	111.04	0.65	2.60
22	46.01	0.80	3.18
23	111.10	0.90	3.60
24	170.63	0.60	2.40
25	30.94	1.85	7.40
26	131.36	1.55	6.20
27	127.72	0.80	3.20
28	154.95	1.00	4.00
29	57.08	0.95	3.80
30	73.78	0.50	2.00
31	212.27	0.60	2.40
32	420.35	2.55	10.20
33	157.64	0.70	2.80
34	108.30	0.65	2.60
35	144.62	0.80	3.20
36	62.59	1.17	4.70
37	30.28	0.80	3.20
38	91.13	0.50	2.00
39	39.29	1.13	4.54
40	167.11	0.90	3.60
41	116.37	0.75	3.00
42	75.74	0.55	2.20
43	113.27	0.60	2.40
44	209.10	0.95	3.80
45	306.19	0.90	3.60
46	35.68	3.25	13.02
47	245.91	1.30	5.20
48	227.31	0.35	1.40
49	238.70	1.00	4.00
50	37.26	1.20	4.80
Average	120.75	0.98	3.94
s.d	51.72	0.55	2.20

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N

## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคาหลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคาหลา วิธีเชิงกล 3 บาร์ 15 นาที

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	36.75	2.60	10.40
2	366.02	0.55	2.20
3	136.48	0.40	1.60
4	210.29	0.40	1.60
5	315.09	0.70	2.80
6	339.88	0.90	3.60
7	286.91	1.65	6.60
8	557.01	1.20	4.80
9	85.93	0.55	2.20
10	66.41	1.15	4.58
11	193.25	0.80	3.20
12	65.11	1.30	5.20
13	37.43	1.10	4.39
14	29.37	0.85	3.40
15	44.09	0.95	3.82
16	46.54	0.95	3.80
17	55.81	2.02	8.08
18	175.69	0.55	2.20
19	64.38	1.00	4.00
20	54.96	0.85	3.40
21	335.30	0.75	3.00
22	37.91	1.09	4.36
23	185.27	1.10	4.40
24	129.36	0.85	3.40
25	54.07	2.75	11.00
26	90.84	0.95	3.80
27	89.86	0.70	2.80
28	74.93	0.97	3.90
29	84.52	0.55	2.20
30	64.49	0.90	3.60
31	134.53	0.30	1.20
32	98.90	0.50	2.00
33	183.27	0.65	2.60
34	142.48	0.50	2.00
35	199.89	0.85	3.40
36	82.81	0.60	2.40
37	96.04	0.60	2.40
38	67.28	1.05	4.22
39	139.61	0.70	2.80
40	96.25	1.20	4.80
41	83.34	0.55	2.20
42	107.98	0.60	2.40
43	62.43	1.00	4.00
44	88.82	0.65	2.60
45	94.49	0.60	2.40
46	42.72	2.11	8.45
47	74.35	0.60	2.40
48	111.87	0.70	2.80
49	157.75	0.60	2.40
50	125.45	0.70	2.80
Average	110.17	0.92	3.69
s.d	54.21	0.51	2.05

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N

## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคากลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคากลา วิธีเชิงกล 4 บาร์ 5 นาที

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	262.96	0.40	1.60
2	260.32	0.50	2.00
3	72.28	0.95	3.80
4	69.18	0.94	3.74
5	225.80	0.80	3.20
6	128.17	0.50	2.00
7	200.42	0.65	2.60
8	252.67	0.70	2.80
9	180.41	0.40	1.60
10	54.51	1.10	4.40
11	284.34	0.65	2.60
12	92.58	0.95	3.80
13	103.74	0.70	2.80
14	89.64	0.70	2.80
15	93.36	0.85	3.40
16	65.66	4.60	18.40
17	77.21	0.75	3.00
18	93.82	0.75	3.00
19	74.20	1.35	5.40
20	44.35	0.93	3.73
21	112.46	0.65	2.60
22	91.99	0.95	3.80
23	83.00	0.85	3.40
24	285.27	0.85	3.40
25	201.71	0.70	2.80
26	83.81	0.35	1.40
27	61.67	1.00	4.00
28	117.11	0.75	3.00
29	237.49	0.95	3.80
30	35.57	0.89	3.56
31	99.58	0.45	1.80
32	79.22	0.20	0.80
33	123.83	0.80	3.20
34	76.31	3.53	14.12
35	53.28	0.90	3.60
36	43.48	1.30	5.20
37	179.35	0.95	3.80
38	66.43	0.75	3.00
39	106.12	0.55	2.20
40	146.41	0.85	3.40
41	92.68	0.55	2.20
42	146.01	0.85	3.40
43	106.66	0.60	2.40
44	139.05	0.75	3.00
45	111.02	1.00	4.00
46	91.80	0.65	2.60
47	55.02	1.23	4.92
48	41.78	0.80	3.20
49	50.00	0.78	3.12
50	50.12	1.23	4.94
Average	108.33	0.92	3.67
s.d	48.14	0.70	2.80

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N

## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคานาหลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคานาหลา วิธีเชิงกล 4 บาร์ 10 นาที

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	384.44	0.75	3.00
2	276.63	1.25	5.00
3	40.69	5.50	22.00
4	67.83	0.75	3.00
5	134.74	0.80	3.20
6	38.27	0.94	3.78
7	72.12	3.91	15.63
8	114.79	0.80	3.20
9	30.99	0.95	3.80
10	377.66	0.85	3.40
11	37.35	1.67	6.67
12	117.98	0.75	3.00
13	65.63	0.93	3.70
14	53.82	0.92	3.67
15	155.71	1.10	4.40
16	60.89	0.80	3.20
17	137.58	0.40	1.60
18	19.35	0.75	3.00
19	38.43	0.95	3.80
20	57.82	1.35	5.40
21	68.87	1.55	6.20
22	92.72	0.70	2.80
23	272.38	1.25	5.00
24	453.42	2.80	11.20
25	505.83	9.20	36.80
26	104.04	0.55	2.20
27	44.69	0.83	3.31
28	99.43	0.85	3.40
29	375.34	1.75	7.00
30	385.23	1.15	4.60
31	121.11	0.40	1.60
32	188.34	0.75	3.00
33	104.33	0.50	2.00
34	247.16	0.70	2.80
35	113.12	0.55	2.20
36	245.38	0.80	3.20
37	267.38	0.95	3.80
38	305.28	1.10	4.40
39	130.30	0.35	1.40
40	169.57	0.75	3.00
41	90.20	0.95	3.80
42	66.08	1.18	4.72
43	213.07	1.65	6.61
44	239.66	0.70	2.80
45	210.90	0.80	3.20
46	138.77	0.65	2.60
47	241.72	1.05	4.20
48	109.97	0.65	2.60
49	423.35	2.60	10.40
50	448.24	8.85	35.40
Average	159.45	1.45	5.81
s.d	97.44	1.80	7.19

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N

## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคาหลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคาหลา วิธีเชิงกล 4 บาร์ 15 นาที

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	86.15	0.65	2.60
2	137.50	0.60	2.40
3	75.55	0.45	1.80
4	66.48	0.73	2.93
5	145.16	0.78	3.12
6	122.54	0.50	2.00
7	87.64	0.70	2.80
8	97.77	0.50	2.00
9	137.66	0.75	3.00
10	119.81	0.45	1.80
11	79.55	0.35	1.40
12	103.59	0.35	1.40
13	231.26	0.85	3.40
14	123.11	0.45	1.80
15	27.28	0.66	2.66
16	92.92	0.74	2.95
17	66.29	0.85	3.40
18	90.92	0.50	2.00
19	69.82	1.11	4.45
20	123.14	0.65	2.60
21	72.03	0.90	3.61
22	159.09	0.75	3.00
23	85.78	0.70	2.80
24	88.26	0.45	1.80
25	95.95	0.60	2.40
26	153.67	0.45	1.80
27	296.58	0.70	2.80
28	131.93	0.50	2.00
29	154.49	1.05	4.20
30	64.76	1.03	4.12
31	134.53	0.30	1.20
32	98.90	0.50	2.00
33	183.27	0.65	2.60
34	142.48	0.50	2.00
35	199.89	0.85	3.40
36	82.81	0.60	2.40
37	96.04	0.60	2.40
38	67.28	1.05	4.22
39	139.61	0.70	2.80
40	96.25	1.20	4.80
41	153.67	0.90	3.60
42	149.33	0.70	2.80
43	154.51	0.60	2.40
44	186.28	0.95	3.80
45	111.82	0.60	2.40
46	75.36	1.05	4.20
47	138.97	0.75	3.00
48	105.15	0.85	3.40
49	79.83	0.40	1.60
50	109.21	0.65	2.60
Average	112.56	0.68	2.73
s.d	27.92	0.21	0.86

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N

## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคากลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคากลา วิธีเชิงกล 5 บาร์ 5 นาที

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	43.33	0.91	3.64
2	90.28	0.60	2.40
3	116.09	0.75	3.00
4	41.07	1.10	4.39
5	46.75	1.02	4.08
6	59.70	0.79	3.18
7	69.46	1.00	4.00
8	61.23	3.33	13.30
9	107.39	0.50	2.00
10	107.66	0.85	3.40
11	85.12	0.55	2.20
12	198.11	0.80	3.20
13	117.38	0.70	2.80
14	146.13	0.60	2.40
15	115.90	0.45	1.80
16	89.69	0.65	2.60
17	95.14	0.45	1.80
18	42.09	0.80	3.20
19	63.36	0.90	3.60
20	55.58	0.85	3.40
21	22.96	1.90	7.60
22	177.13	0.50	2.00
23	72.93	0.35	1.40
24	2.94	1.80	7.20
25	120.81	0.45	1.80
26	134.16	0.45	1.80
27	58.28	0.82	3.28
28	156.81	0.60	2.40
29	62.85	0.95	3.80
30	76.95	0.93	3.74
31	171.81	1.20	4.80
32	82.68	0.50	2.00
33	70.24	1.39	5.55
34	68.87	0.70	2.80
35	122.68	0.40	1.60
36	218.46	0.60	2.40
37	164.93	0.35	1.40
38	196.32	0.85	3.40
39	26.38	1.80	7.20
40	49.28	0.75	2.98
41	114.81	0.35	1.40
42	49.00	0.95	3.79
43	190.16	0.60	2.40
44	180.07	0.90	3.60
45	162.81	0.35	1.40
46	116.80	0.40	1.60
47	84.06	0.25	1.00
48	50.97	0.76	3.05
49	146.50	0.50	2.00
50	168.10	0.40	1.60
Average	98.84	0.81	3.23
s.d	40.24	0.52	2.07

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N

## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคาหลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคาหลา วิธีเชิงกล 5 บาร์ 10 นาที

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	456.62	1.25	5.00
2	55.15	1.11	4.43
3	54.86	1.05	4.20
4	75.46	0.70	2.80
5	52.24	0.90	3.60
6	145.98	1.10	4.40
7	88.57	0.40	1.60
8	126.12	0.70	2.80
9	46.29	0.86	3.44
10	31.64	0.98	3.92
11	117.38	1.05	4.20
12	15.47	0.79	3.16
13	104.78	0.70	2.80
14	22.05	0.75	3.00
15	46.29	0.86	3.46
16	76.88	0.80	3.20
17	63.15	0.97	3.90
18	95.88	0.50	2.00
19	214.37	0.85	3.40
20	71.34	0.95	3.80
21	228.35	1.45	5.80
22	130.00	0.50	2.00
23	240.31	1.20	4.80
24	113.22	0.85	3.40
25	92.48	0.85	3.40
26	20.67	0.80	3.20
27	124.36	0.80	3.20
28	41.43	0.80	3.19
29	50.19	1.00	4.00
30	153.38	0.90	3.60
31	95.18	0.60	2.40
32	58.41	2.65	10.60
33	210.40	1.30	5.20
34	154.02	1.60	6.40
35	36.14	1.00	4.00
36	28.18	0.81	3.25
37	196.40	0.70	2.80
38	51.57	0.86	3.45
39	103.87	0.66	2.64
40	107.15	0.55	2.20
41	163.28	0.45	1.80
42	92.25	0.98	3.94
43	136.50	0.45	1.80
44	255.57	1.20	4.80
45	104.05	0.50	2.00
46	79.59	0.40	1.60
47	154.65	0.75	3.00
48	200.65	0.60	2.40
49	64.99	0.94	3.78
50	116.93	0.35	1.40
Average	111.29	0.88	3.50
s.d	79.01	0.37	1.49

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N

## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคาหลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคาหลา วิธีเชิงกล 5 บาร์ 15 นาที

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	94.11	0.90	3.60
2	50.61	1.14	4.58
3	59.75	1.16	4.62
4	53.63	1.41	5.62
5	76.80	0.65	2.60
6	95.73	0.80	3.20
7	107.72	1.05	4.20
8	112.12	1.00	4.00
9	65.44	1.30	5.20
10	96.34	0.85	3.40
11	53.45	1.23	4.93
12	85.34	0.90	3.60
13	59.11	1.19	4.76
14	74.71	0.70	2.80
15	73.09	1.19	4.77
16	74.92	3.20	12.80
17	55.85	1.15	4.61
18	75.44	1.08	4.30
19	90.11	0.90	3.60
20	79.26	0.65	2.60
21	76.63	1.10	4.40
22	61.76	1.25	5.00
23	44.38	1.10	4.40
24	83.01	1.65	6.60
25	68.72	1.35	5.42
26	74.91	0.90	3.60
27	101.11	1.05	4.20
28	67.49	1.43	5.72
29	125.59	1.20	4.80
30	105.34	0.95	3.80
31	63.82	1.30	5.20
32	100.31	1.00	4.00
33	69.07	3.30	13.20
34	39.56	0.95	3.81
35	211.62	1.15	4.60
36	183.89	1.00	4.00
37	82.84	0.90	3.60
38	121.64	0.90	3.60
39	130.77	0.80	3.20
40	55.03	1.05	4.20
41	81.26	0.75	3.00
42	85.22	0.80	3.20
43	54.00	1.13	4.53
44	35.95	0.95	3.80
45	84.11	0.60	2.40
46	102.24	0.85	3.40
47	82.37	0.55	2.20
48	104.76	0.75	3.00
49	89.52	0.75	3.00
50	112.47	0.90	3.60
Average	80.89	1.10	4.39
s.d	16.98	0.50	2.00

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N



## ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของเส้นใยคาหลา

## ตัวอย่าง เส้นใยคาหลา วิธีเคมี

sample	Maximum Load (cN)	Extension at Break (mm)	Elongation (%)
1	94.11	0.90	3.60
2	150.61	1.14	4.58
3	159.75	1.16	4.62
4	153.63	1.41	5.62
5	176.80	0.65	2.60
6	95.73	0.80	3.20
7	107.72	1.05	4.20
8	112.12	1.00	4.00
9	65.44	1.30	5.20
10	96.34	0.85	3.40
11	284.34	0.65	2.60
12	192.58	0.95	3.80
13	103.74	0.70	2.80
14	89.64	0.70	2.80
15	93.36	0.85	3.40
16	95.66	4.60	18.40
17	77.21	0.75	3.00
18	93.82	0.75	3.00
19	74.20	1.35	5.40
20	44.35	0.93	3.73
21	112.46	0.65	2.60
22	91.99	0.95	3.80
23	103.00	0.85	3.40
24	185.27	0.85	3.40
25	101.71	0.70	2.80
26	83.81	0.35	1.40
27	91.67	1.00	4.00
28	117.11	0.75	3.00
29	137.49	0.95	3.80
30	85.57	0.89	3.56
31	99.58	0.45	1.80
32	99.22	0.20	0.80
33	143.83	0.80	3.20
34	76.31	3.53	14.12
35	53.28	0.90	3.60
36	93.48	1.30	5.20
37	179.35	0.95	3.80
38	66.43	0.75	3.00
39	106.12	0.55	2.20
40	146.41	0.85	3.40
41	102.68	0.55	2.20
42	146.01	0.85	3.40
43	116.66	0.60	2.40
44	139.05	0.75	3.00
45	121.02	1.00	4.00
46	191.80	0.65	2.60
47	65.02	1.23	4.92
48	141.78	0.80	3.20
49	175.80	0.78	3.12
50	70.12	1.23	4.94
Average	111.93	0.98	3.93
s.d	28.12	0.69	2.76

มาตรฐาน ASTM D3822 - 01 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers

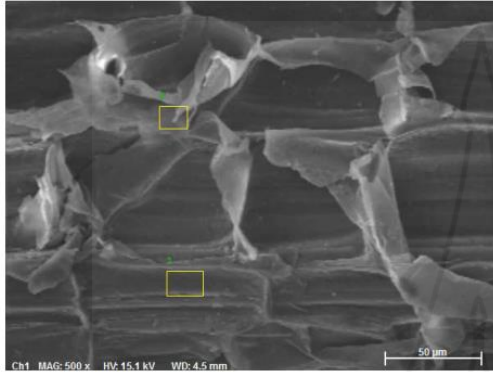
ระยะทดสอบ 25 มิลลิเมตร ความเร็วทดสอบ 30 มิลลิเมตร/นาที ขนาด Load Cell 10 N

ภาคผนวก ง  
ผลการวิเคราะห์ EDS

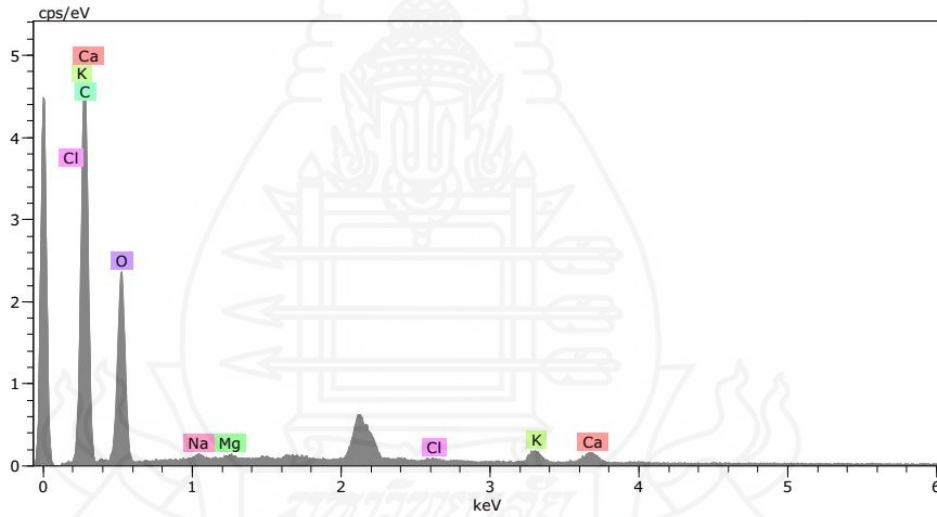


# Application Note

Company / Department



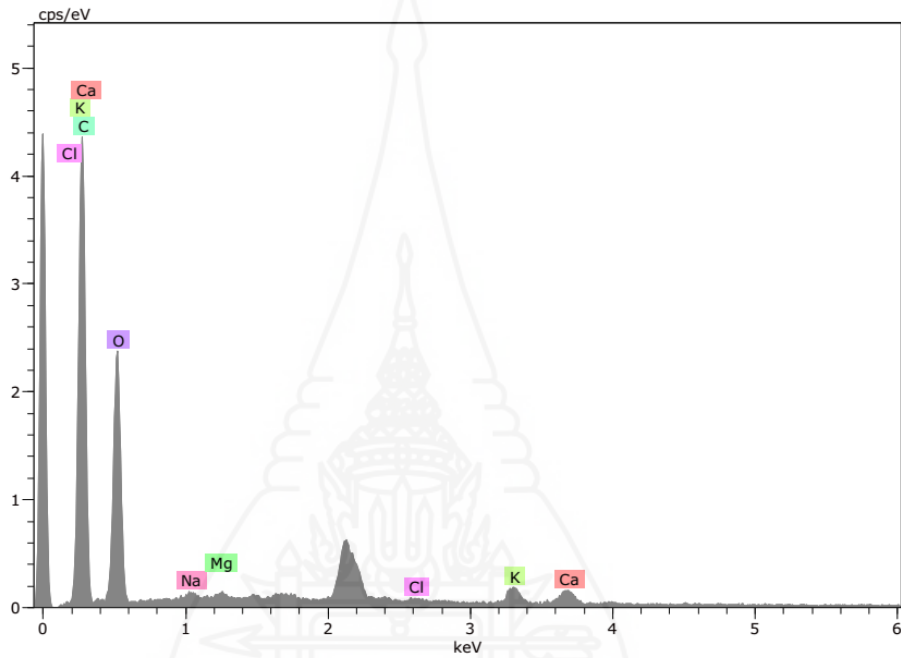
Name:Dala MT 3 Bar 5 Min  
 Date:3/30/2017 3:31:39 PM  
 Image size:318 x 238 Mag:500x HV:15.1kV



1 Date:3/30/2017 3:32:04 PM HV:15.1kV Puls th.:0.98kcps  
 2 Date:3/30/2017 3:34:16 PM HV:15.1kV Puls th.:1.06kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Na	Mg	Cl	K	Ca
1	55.16	43.25	-	0.09	0.16	0.73	0.63
2	49.57	46.34	0.32	0.18	0.12	1.70	1.78
Mean value:	52.36	44.79	0.32	0.13	0.14	1.21	1.20
Sigma:	3.95	2.19	0.00	0.06	0.02	0.69	0.81
Sigma mean:	2.79	1.55	0.00	0.04	0.02	0.49	0.58

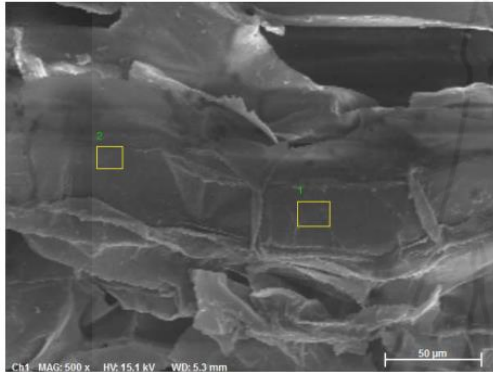


Spectrum: 2

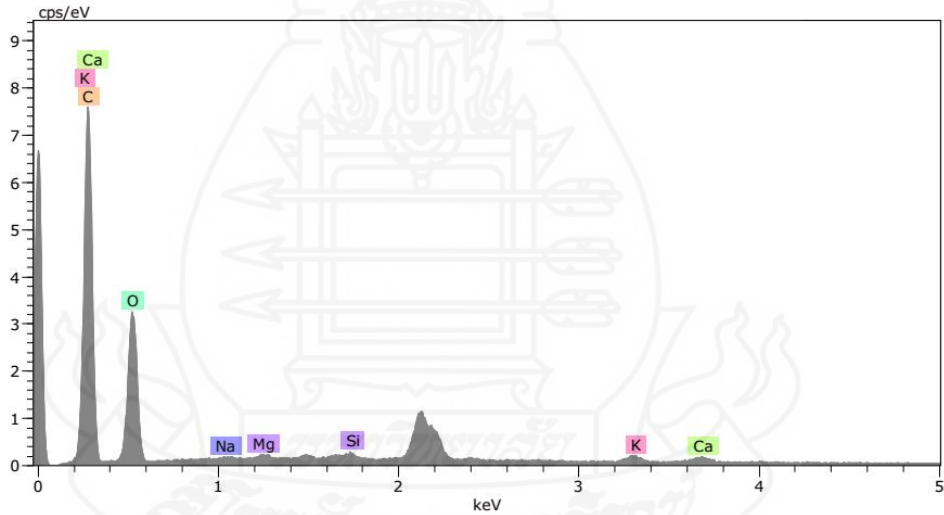
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	49.57	49.57	57.84	6.30
O	8	K-series	46.34	46.34	40.59	6.25
Na	11	K-series	0.32	0.32	0.19	0.06
Mg	12	K-series	0.18	0.18	0.10	0.04
Cl	17	K-series	0.12	0.12	0.05	0.04
K	19	K-series	1.70	1.70	0.61	0.10
Ca	20	K-series	1.78	1.78	0.62	0.10
Total:			100.00	100.00	100.00	

# Application Note

Company / Department



Name: Dala MT 3 Bar 10 Min  
 Date:3/30/2017 4:05:59 PM  
 Image size:318 x 238Mag:500xHV:15.1kV



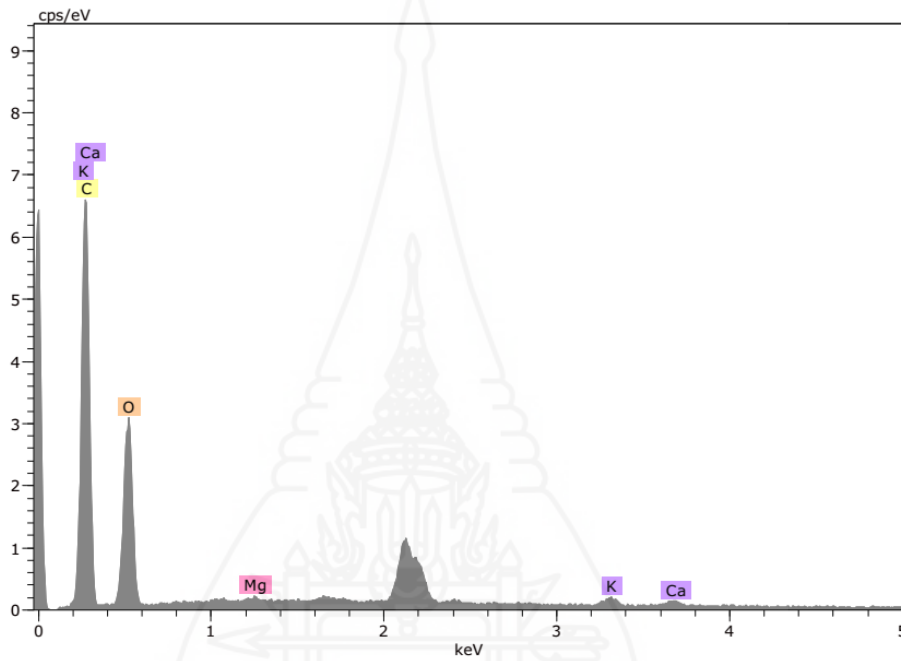
1 Date:3/30/2017 4:06:31 PM HV:15.1kV Puls th.:1.59kcps  
 2 Date:3/30/2017 4:07:59 PM HV:15.1kV Puls th.:1.68kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Na	Mg	Si	K	Ca
1	52.43	45.84	-	0.21	-	0.81	0.71
2	53.68	43.83	0.09	0.15	0.26	0.81	1.18
Mean value:	53.06	44.83	0.09	0.18	0.26	0.81	0.95
Sigma:	0.89	1.42	0.00	0.04	0.00	0.00	0.33
Sigma mean:	0.63	1.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.23

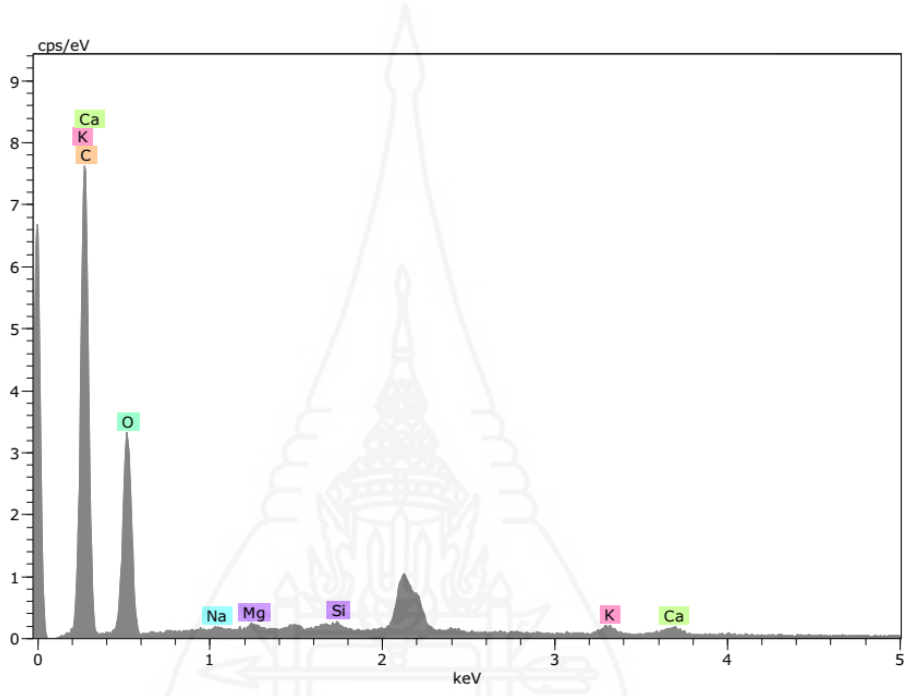
# Application Note

Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	52.43	52.43	59.98	6.56
O	8	K-series	45.84	45.84	39.37	6.14
Mg	12	K-series	0.21	0.21	0.12	0.04
K	19	K-series	0.81	0.81	0.29	0.06
Ca	20	K-series	0.71	0.71	0.24	0.06
Total:			100.00	100.00	100.00	

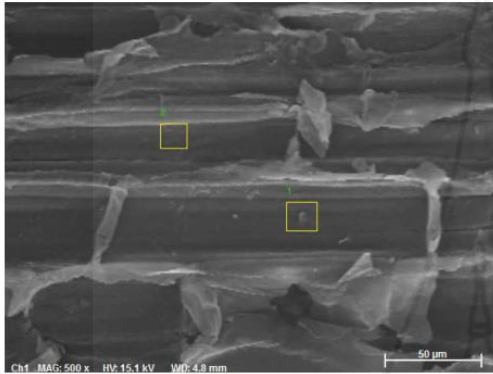


Spectrum: 2

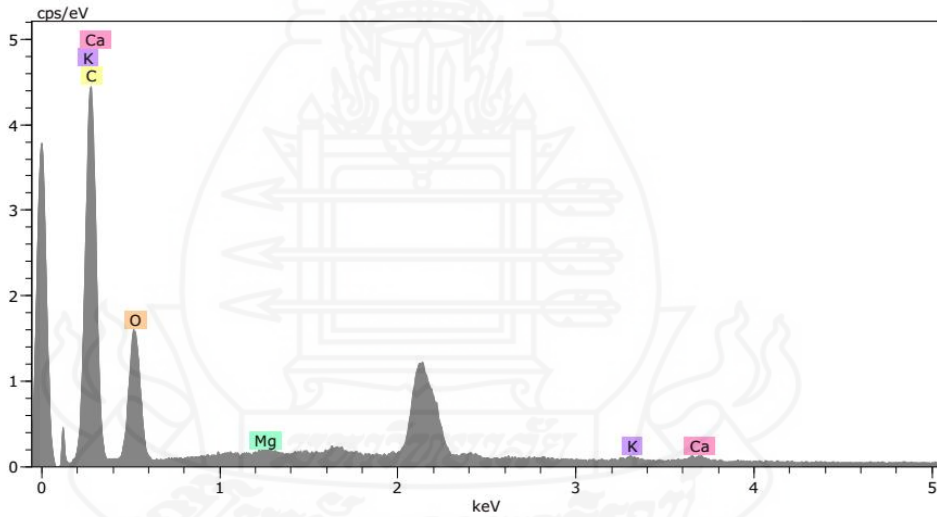
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	53.68	53.68	61.41	6.52
O	8	K-series	43.83	43.83	37.64	5.71
Na	11	K-series	0.09	0.09	0.05	0.04
Mg	12	K-series	0.15	0.15	0.09	0.04
Si	14	K-series	0.26	0.26	0.13	0.04
K	19	K-series	0.81	0.81	0.28	0.06
Ca	20	K-series	1.18	1.18	0.40	0.08
Total:			100.00	100.00	100.00	

# Application Note

Company / Department



Name: Dala MT 3 Bar 15 Min  
 Date: 3/30/2017 4:21:11 PM  
 Image size: 318 x 238 Mag: 500x HV: 15.1kV



1 Date: 3/30/2017 4:21:40 PM HV: 15.1kV Puls th.: 1.46kcps  
 2 Date: 3/30/2017 4:23:44 PM HV: 15.1kV Puls th.: 1.38kcps

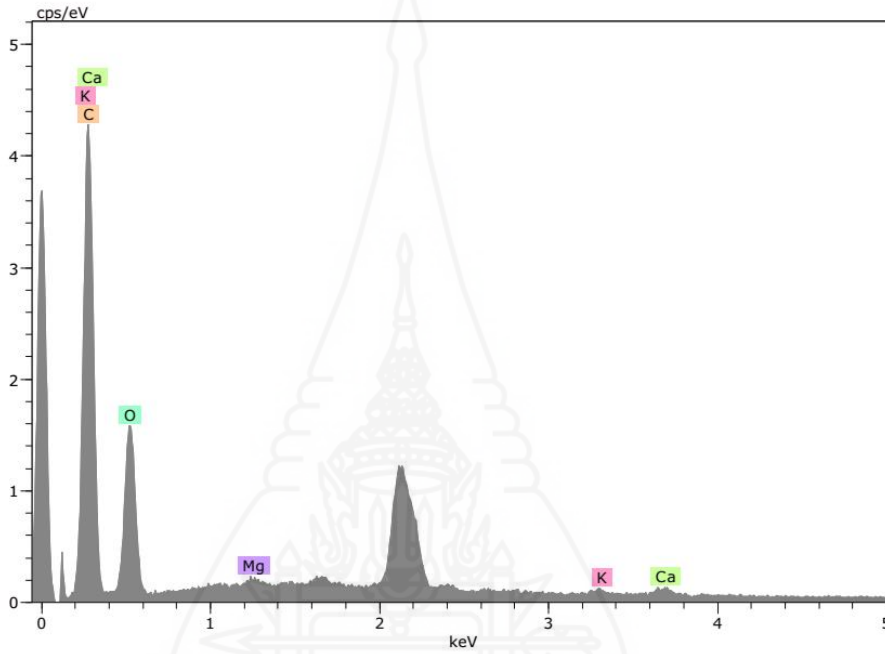
Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	K	Ca
1	56.93	41.49	0.24	0.45	0.89
2	58.52	40.34	0.23	0.33	0.59
Mean value:	57.73	40.91	0.23	0.39	0.74
Sigma:	1.12	0.82	0.01	0.09	0.21
Sigma mean:	0.80	0.58	0.01	0.06	0.15



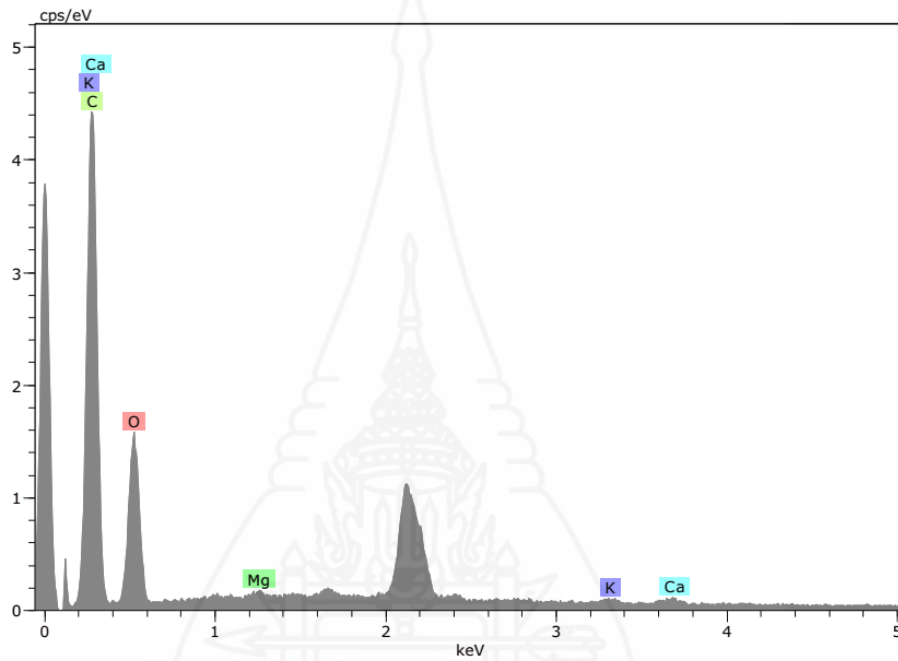
# Application Note

Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	56.93	56.93	64.26	6.98
O	8	K-series	41.49	41.49	35.15	5.60
Mg	12	K-series	0.24	0.24	0.13	0.05
K	19	K-series	0.45	0.45	0.16	0.05
Ca	20	K-series	0.89	0.89	0.30	0.07
Total:			100.00	100.00	100.00	

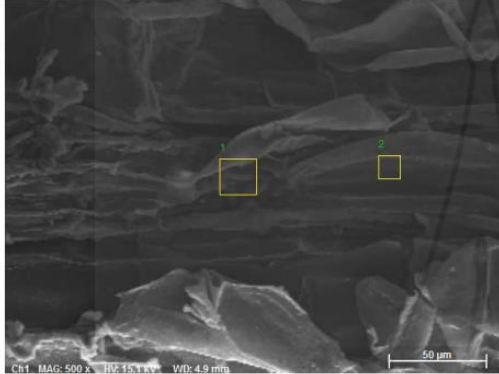


Spectrum: 2

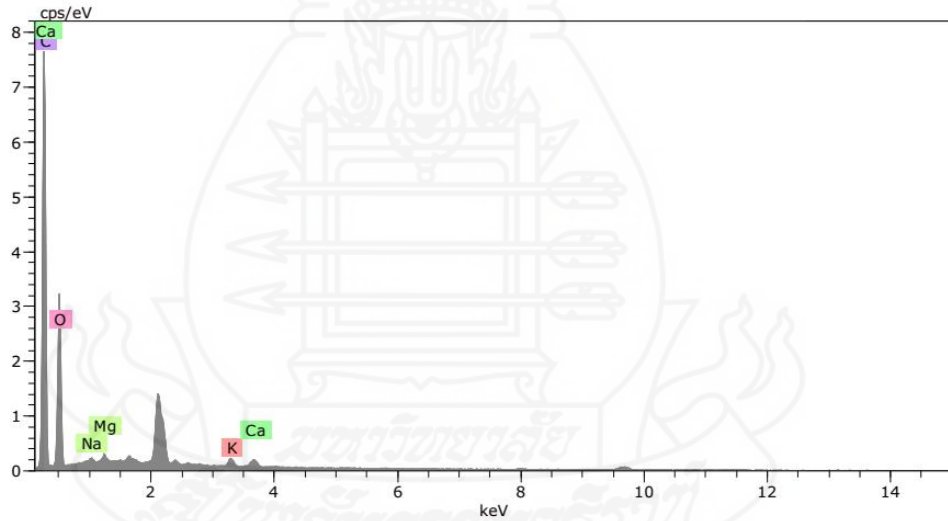
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	58.52	58.52	65.61	7.07
O	8	K-series	40.34	40.34	33.95	5.39
Mg	12	K-series	0.23	0.23	0.13	0.04
K	19	K-series	0.33	0.33	0.11	0.04
Ca	20	K-series	0.59	0.59	0.20	0.06
Total:			100.00	100.00	100.00	

# Application Note

Company / Department



Name: Dala MT 4 Bar 5 Min  
 Date:3/30/2017 4:36:52 PM  
 Image size:318 x 238Mag:500xHV:15.1kV



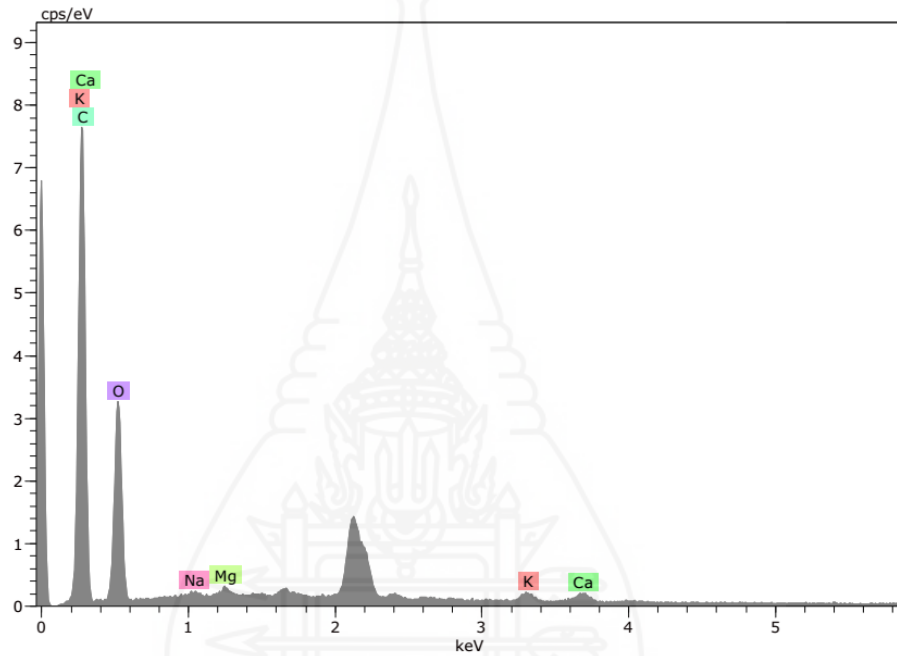
1 Date:3/30/2017 4:37:25 PM HV:15.1kV Puls th.:1.82kcps  
 2 Date:3/30/2017 4:39:21 PM HV:15.1kV Puls th.:1.77kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Na	Mg	K	Ca
1	53.63	43.50	0.30	0.40	0.88	1.29
2	57.37	39.32	0.24	0.35	1.31	1.42
Mean value:	55.50	41.41	0.27	0.37	1.09	1.35
Sigma:	2.64	2.95	0.05	0.03	0.30	0.09
Sigma mean:	1.87	2.09	0.03	0.02	0.21	0.07

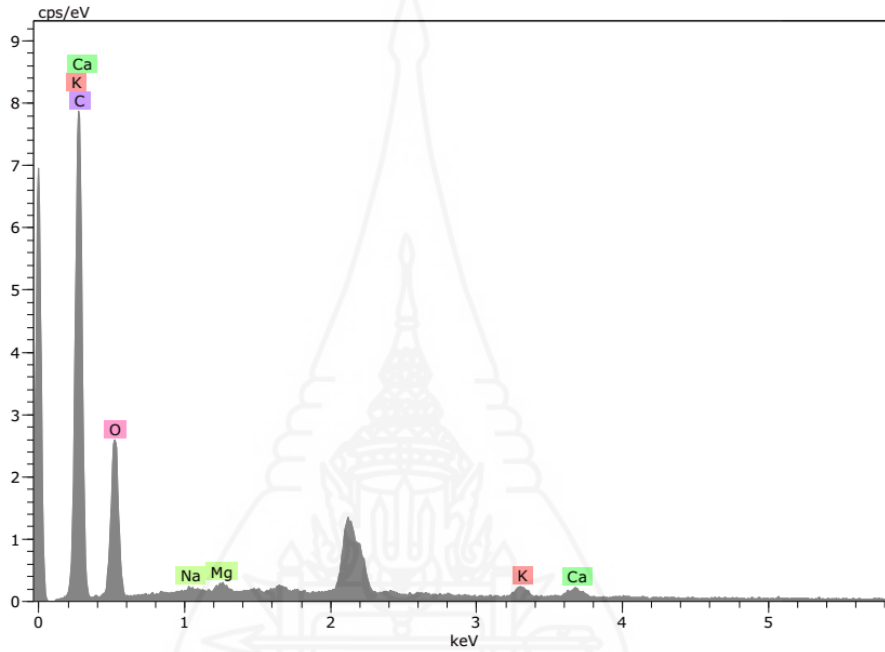
# Application Note

Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	53.63	53.63	61.44	6.45
O	8	K-series	43.50	43.50	37.41	5.61
Na	11	K-series	0.30	0.30	0.18	0.05
Mg	12	K-series	0.40	0.40	0.22	0.05
K	19	K-series	0.88	0.88	0.31	0.06
Ca	20	K-series	1.29	1.29	0.44	0.08
Total:			100.00	100.00	100.00	

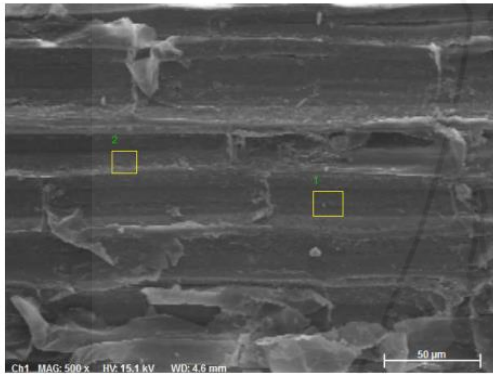


Spectrum: 2

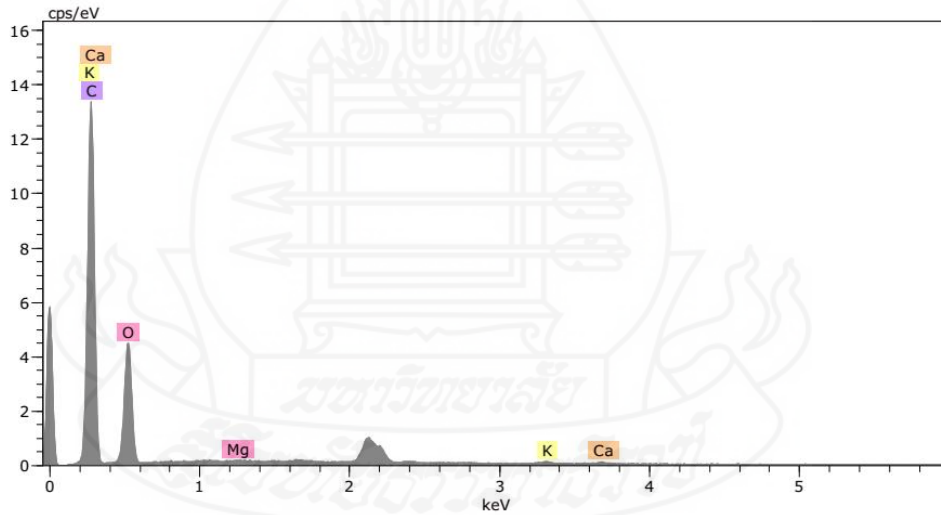
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	57.37	57.37	65.18	6.91
O	8	K-series	39.32	39.32	33.54	5.24
Na	11	K-series	0.24	0.24	0.14	0.05
Mg	12	K-series	0.35	0.35	0.20	0.05
K	19	K-series	1.31	1.31	0.46	0.08
Ca	20	K-series	1.42	1.42	0.48	0.08
Total:			100.00	100.00	100.00	

# Application Note

Company / Department



Name: Dala MT 4 Bar 10 Min  
 Date: 3/30/2017 4:51:42 PM  
 Image size: 318 x 238 Mag: 500x HV: 15.1kV



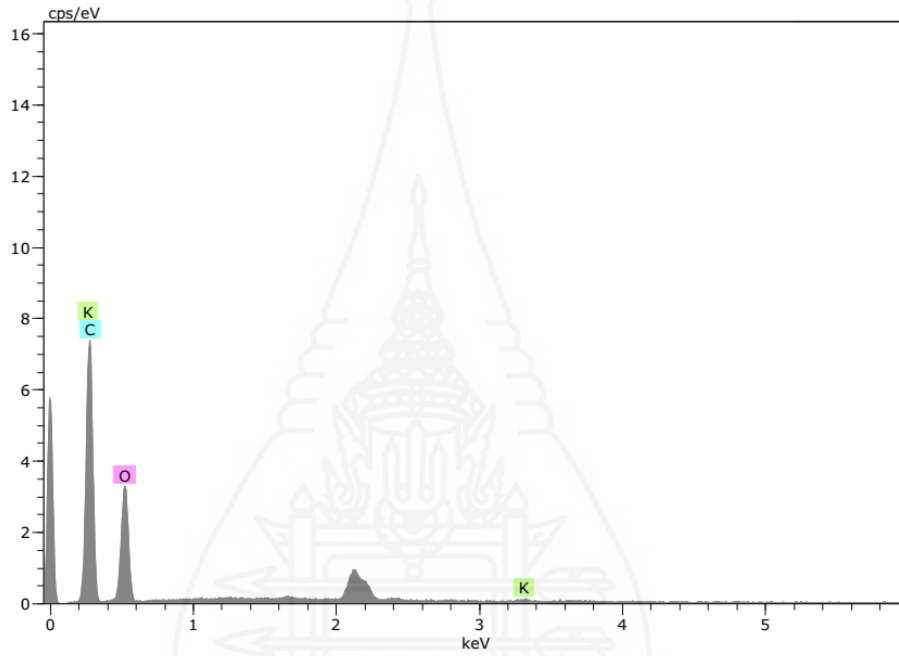
1 Date: 3/30/2017 4:52:21 PM HV: 15.1kV Puls th.: 1.51kcps  
 2 Date: 3/30/2017 4:53:29 PM HV: 15.1kV Puls th.: 1.99kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	K	Ca
1	54.78	44.89	-	0.34	-
2	58.63	40.69	0.10	0.29	0.30
Mean value:	56.70	42.79	0.10	0.31	0.30
Sigma:	2.72	2.97	0.00	0.04	0.00
Sigma mean:	1.93	2.10	0.00	0.03	0.00

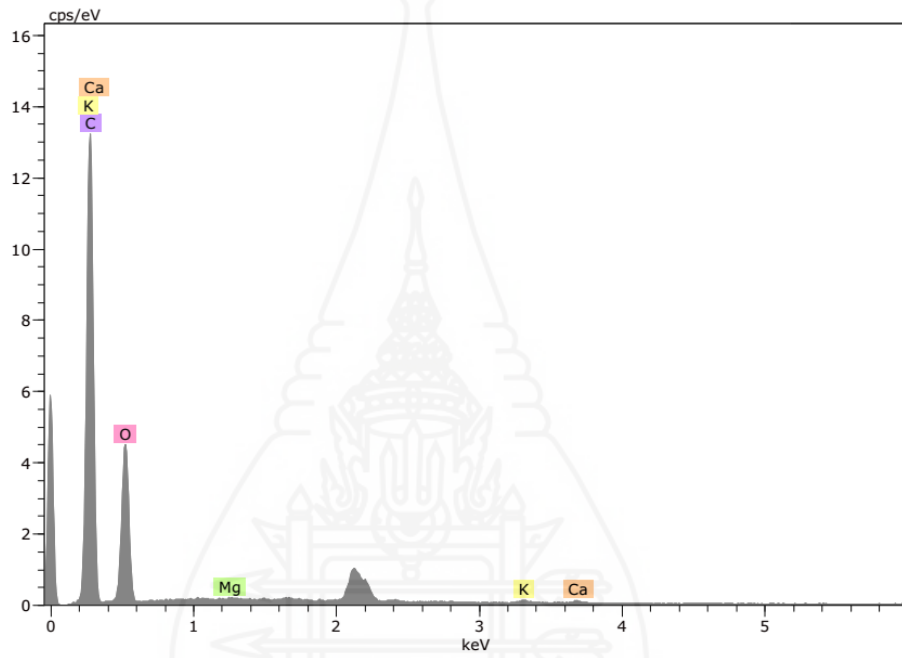
# Application Note

Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	54.78	54.78	61.84	6.92
O	8	K-series	44.89	44.89	38.04	6.17
K	19	K-series	0.34	0.34	0.12	0.05
Total:			100.00	100.00	100.00	



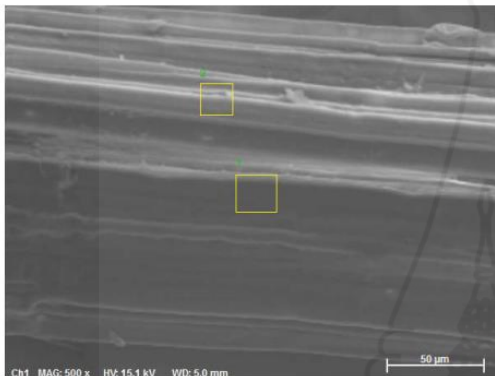
Spectrum: 2

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	58.63	58.63	65.58	6.77
O	8	K-series	40.69	40.69	34.17	5.08
Mg	12	K-series	0.10	0.10	0.05	0.03
K	19	K-series	0.29	0.29	0.10	0.04
Ca	20	K-series	0.30	0.30	0.10	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	

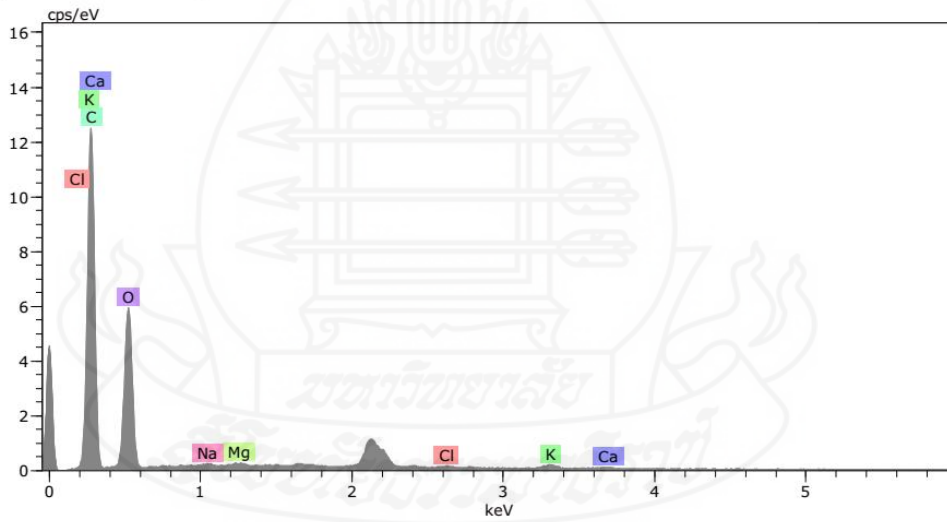


# Application Note

Company / Department



Ch1\_MAG:500x HV:15.1kV WFD:5.0mm  
 Name: Dala MT 4 Bar 15 Min  
 Date:3/30/2017 5:06:05 PM  
 Image size:318 x 238Mag:500xHV:15.1kV



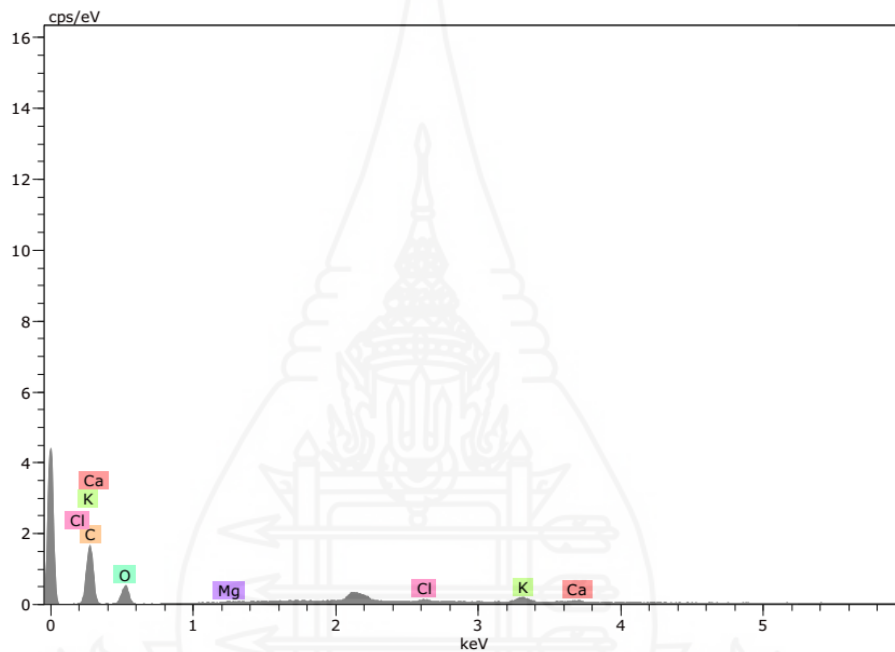
1 Date:3/30/2017 5:06:31 PM HV:15.1kV Puls th.:0.76kcps  
 2 Date:3/30/2017 5:08:15 PM HV:15.1kV Puls th.:2.14kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Na	Mg	Cl	K	Ca
1	55.86	36.65	-	0.57	0.71	4.30	1.91
2	53.25	45.43	0.15	0.16	0.17	0.58	0.26
Mean value:	54.55	41.04	0.15	0.36	0.44	2.44	1.08
Sigma:	1.85	6.21	0.00	0.29	0.38	2.63	1.17
Sigma mean:	1.31	4.39	0.00	0.20	0.27	1.86	0.83

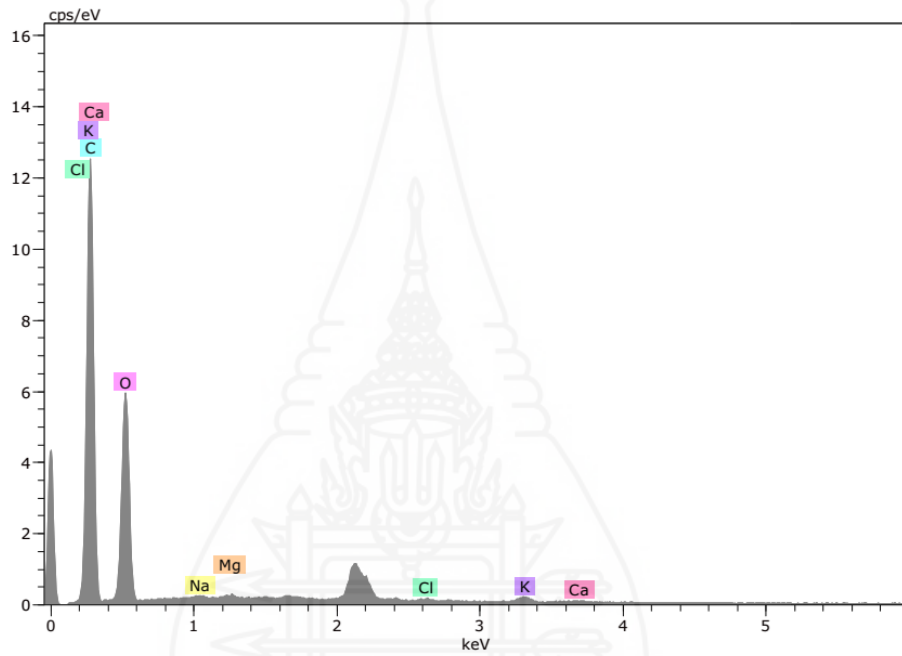
# Application Note

Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	55.86	55.86	65.11	8.02
O	8	K-series	36.65	36.65	32.07	6.35
Mg	12	K-series	0.57	0.57	0.33	0.09
Cl	17	K-series	0.71	0.71	0.28	0.07
K	19	K-series	4.30	4.30	1.54	0.21
Ca	20	K-series	1.91	1.91	0.67	0.13
Total:			100.00	100.00	100.00	

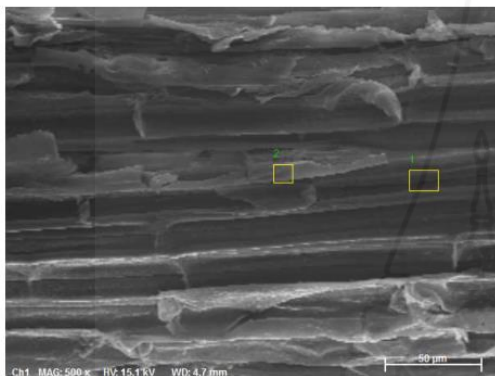


Spectrum: 2

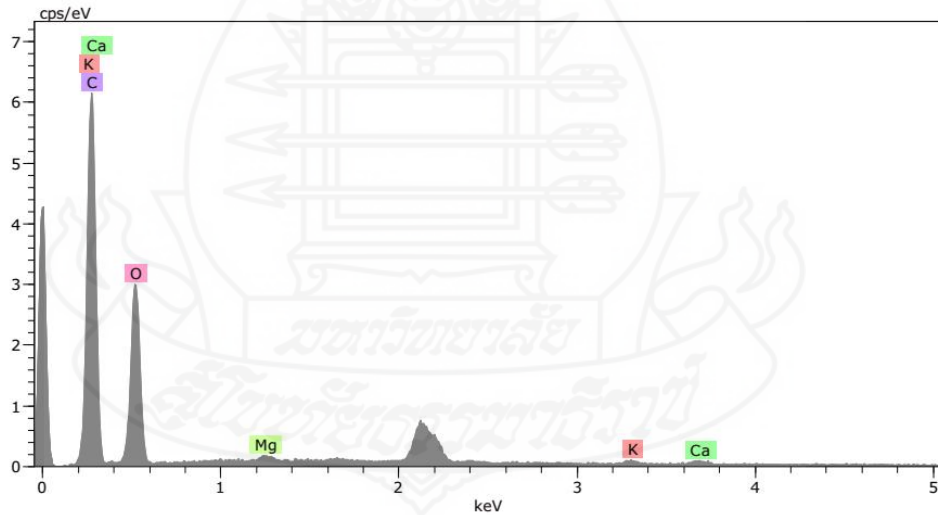
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	53.25	53.25	60.63	6.16
O	8	K-series	45.43	45.43	38.83	5.50
Na	11	K-series	0.15	0.15	0.09	0.04
Mg	12	K-series	0.16	0.16	0.09	0.04
Cl	17	K-series	0.17	0.17	0.07	0.04
K	19	K-series	0.58	0.58	0.20	0.05
Ca	20	K-series	0.26	0.26	0.09	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	

# Application Note

Company / Department



Name: Dala MT 5 Bar 5 Min  
 Date:3/30/2017 5:41:43 PM  
 Image size:318 x 238Mag:500xHV:15.1kV



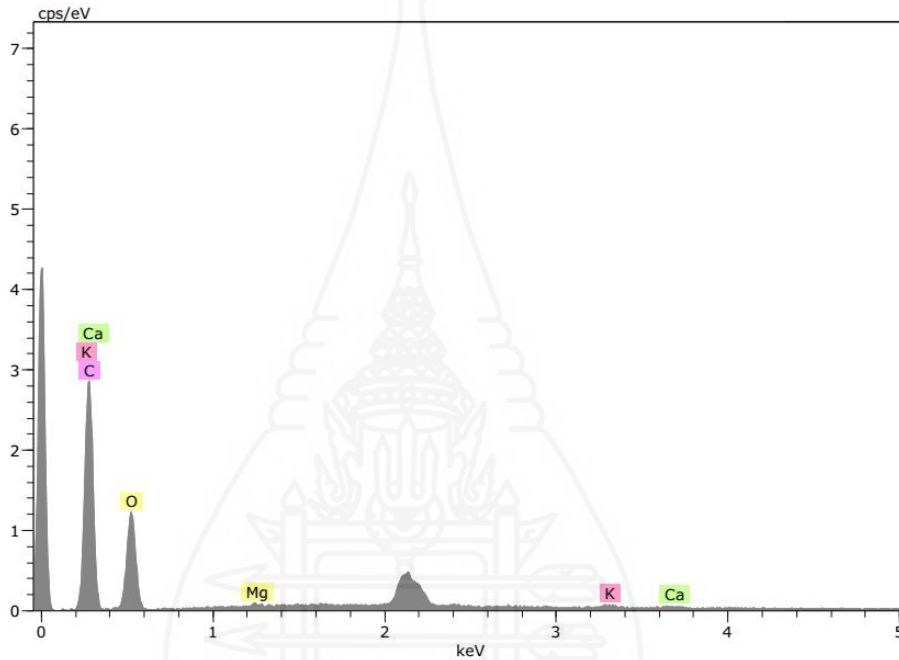
1 Date:3/30/2017 5:42:12 PM HV:15.1kV Puls th.:0.78kcps  
 2 Date:3/30/2017 5:44:20 PM HV:15.1kV Puls th.:1.23kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	K	Ca
1	54.88	43.95	0.27	0.48	0.42
2	53.03	45.81	0.26	0.37	0.53
Mean value:	53.96	44.88	0.26	0.42	0.47
Sigma:	1.31	1.32	0.01	0.08	0.08
Sigma mean:	0.92	0.93	0.01	0.06	0.06

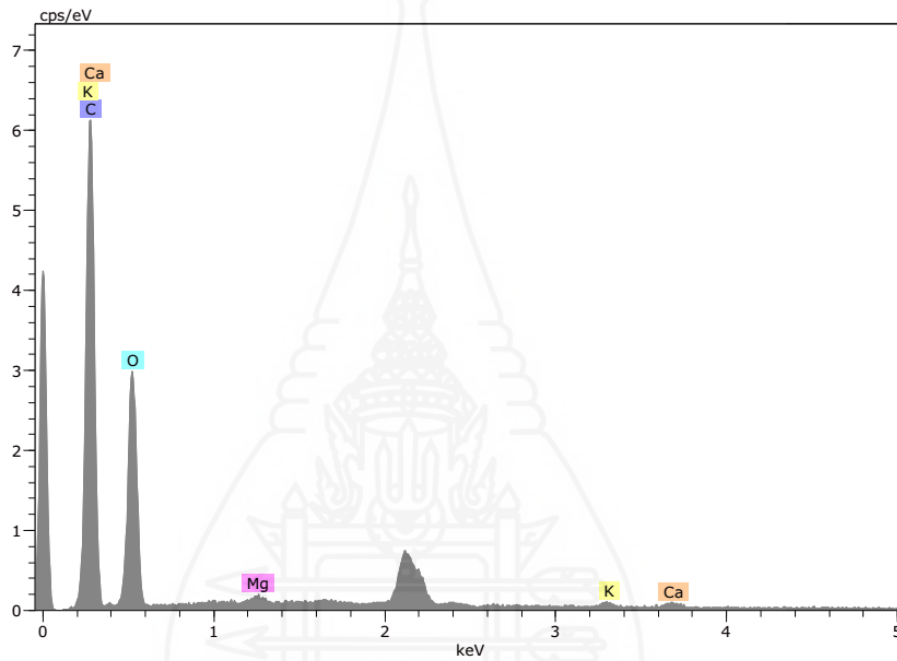
# Application Note

Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	54.88	54.88	62.17	7.11
O	8	K-series	43.95	43.95	37.37	6.28
Mg	12	K-series	0.27	0.27	0.15	0.05
K	19	K-series	0.48	0.48	0.17	0.06
Ca	20	K-series	0.42	0.42	0.14	0.06
Total:			100.00	100.00	100.00	

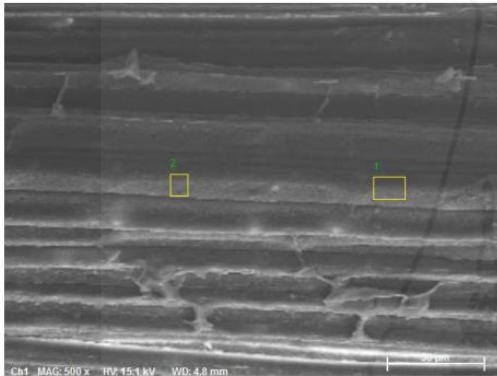


Spectrum: 2

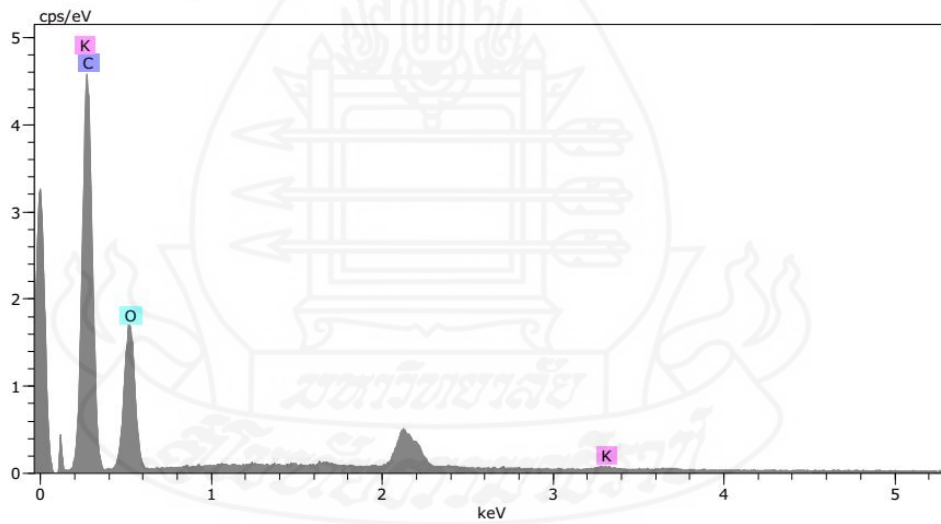
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	53.03	53.03	60.39	6.63
O	8	K-series	45.81	45.81	39.16	6.14
Mg	12	K-series	0.26	0.26	0.14	0.05
K	19	K-series	0.37	0.37	0.13	0.05
Ca	20	K-series	0.53	0.53	0.18	0.06
Total:			100.00	100.00	100.00	

# Application Note

Company / Department



Name: Dala MT 5 Bar 10 Min  
 Date: 3/30/2017 6:47:33 PM  
 Image size: 318 x 238 Mag: 500x HV: 15.1kV



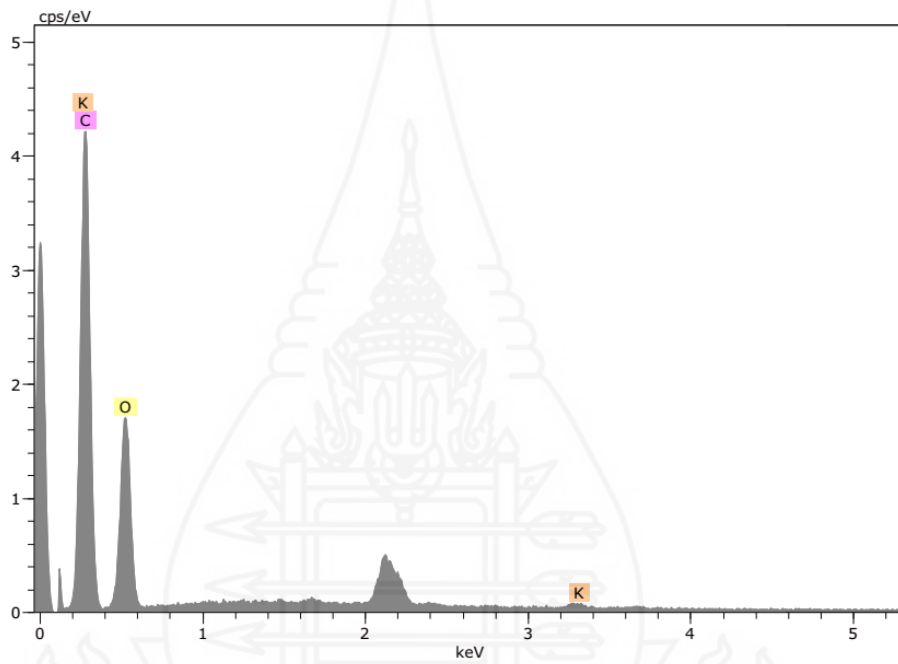
1 Date: 3/30/2017 6:48:06 PM HV: 15.1kV Puls th.: 1.02kcps  
 2 Date: 3/30/2017 6:50:19 PM HV: 15.1kV Puls th.: 1.04kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	K
1	56.78	42.85	0.38
2	58.19	41.47	0.34
Mean value:	57.48	42.16	0.36
Sigma:	1.00	0.97	0.03
Sigma mean:	0.71	0.69	0.02

# Application Note

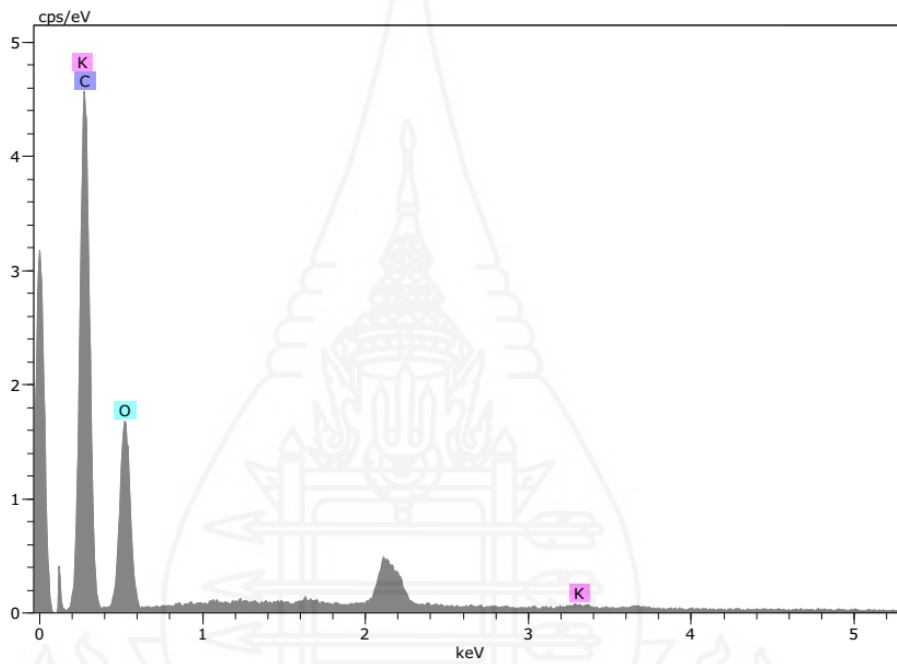
Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	56.78	56.78	63.75	6.90
O	8	K-series	42.85	42.85	36.12	5.68
K	19	K-series	0.38	0.38	0.13	0.05
Total:			100.00	100.00	100.00	



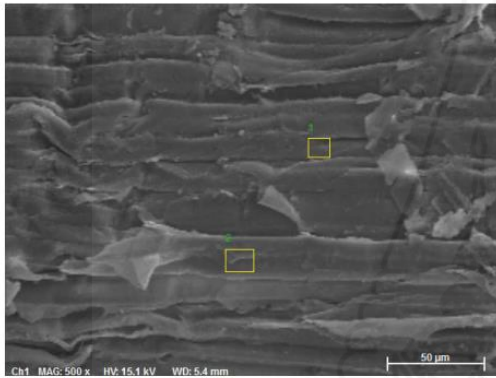


Spectrum: 2

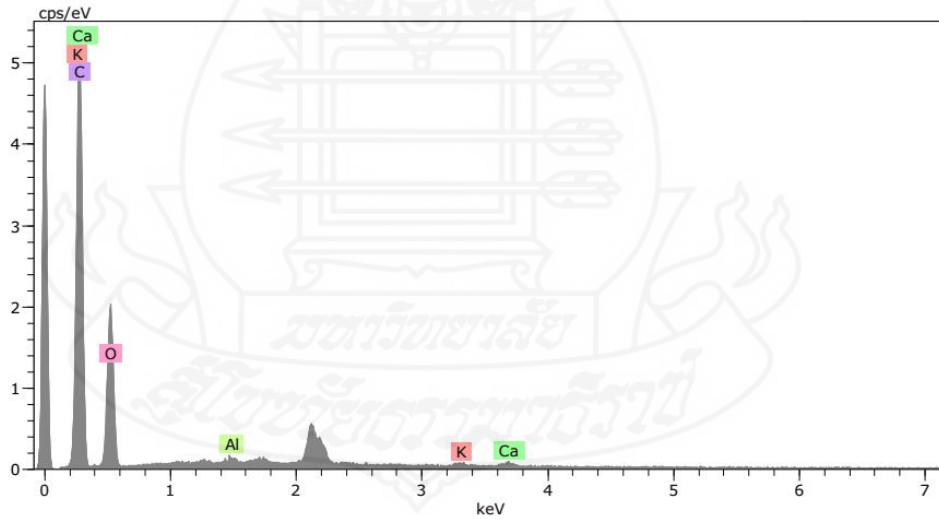
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	58.19	58.19	65.07	7.12
O	8	K-series	41.47	41.47	34.81	5.62
K	19	K-series	0.34	0.34	0.12	0.05
Total:			100.00	100.00	100.00	

# Application Note

Company / Department



Name: Dala MT 5 Bar 15 Min  
 Date: 3/30/2017 7:04:01 PM  
 Image size: 318 x 238 Mag: 500x HV: 15.1kV



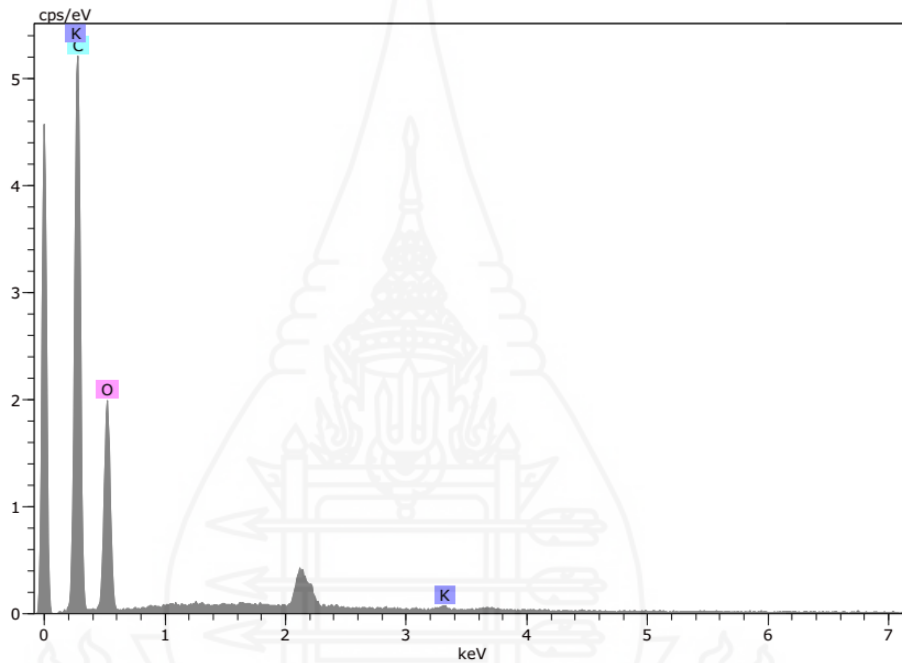
1 Date: 3/30/2017 7:04:34 PM HV: 15.1kV Puls th.: 0.96kcps  
 2 Date: 3/30/2017 7:08:07 PM HV: 15.1kV Puls th.: 0.93kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Al	K	Ca
1	57.54	42.14	-	0.32	-
2	61.05	37.25	0.48	0.49	0.74
Mean value:	59.29	39.70	0.48	0.40	0.74
Sigma:	2.48	3.46	0.00	0.12	0.00
Sigma mean:	1.75	2.44	0.00	0.08	0.00

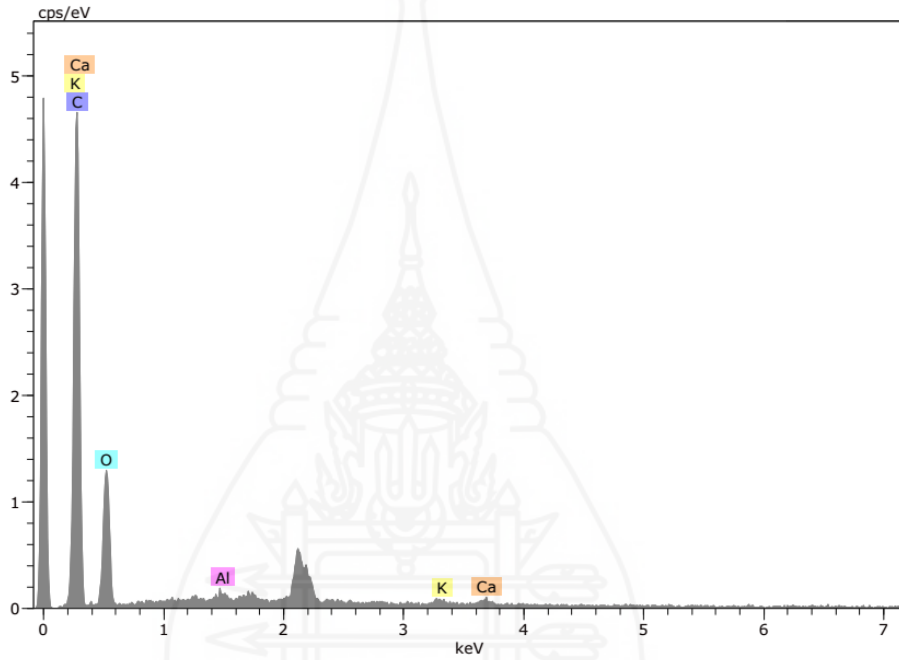
# Application Note

Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	57.54	57.54	64.45	7.25
O	8	K-series	42.14	42.14	35.44	5.91
K	19	K-series	0.32	0.32	0.11	0.05
Total:			100.00	100.00	100.00	

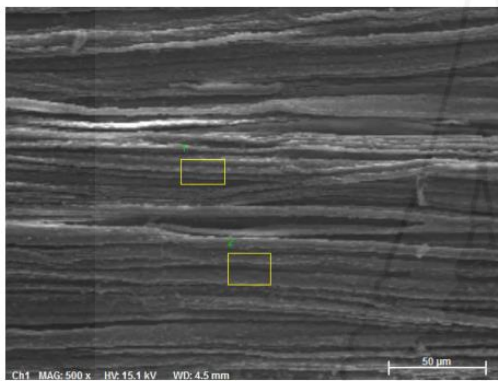


Spectrum: 2

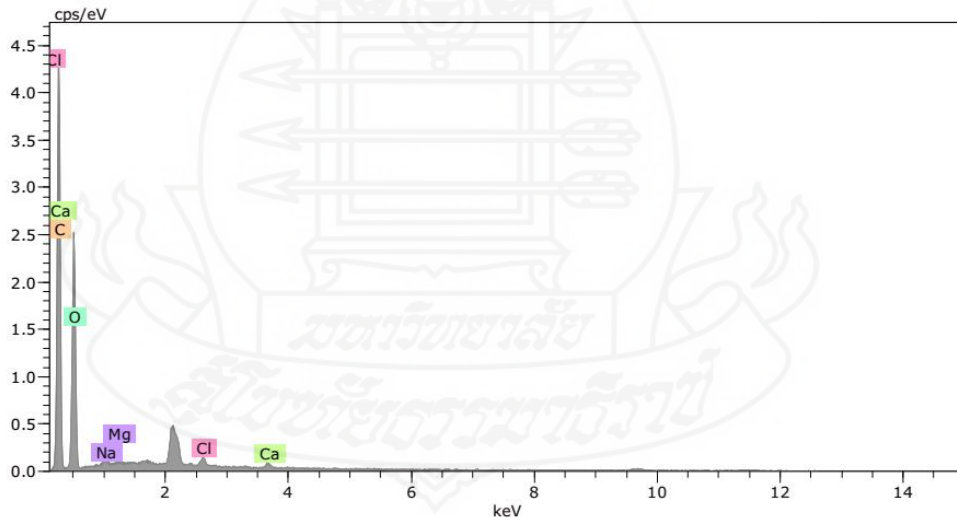
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	61.05	61.05	68.14	8.32
O	8	K-series	37.25	37.25	31.21	6.13
Al	13	K-series	0.48	0.48	0.24	0.07
K	19	K-series	0.49	0.49	0.17	0.06
Ca	20	K-series	0.74	0.74	0.25	0.08
Total:			100.00	100.00	100.00	

# Application Note

Company / Department



Name: Dala Chemical Treatment  
 Date:3/30/2017 6:32:40 PM  
 Image size:318 x 238Mag:500xHV:15.1kV



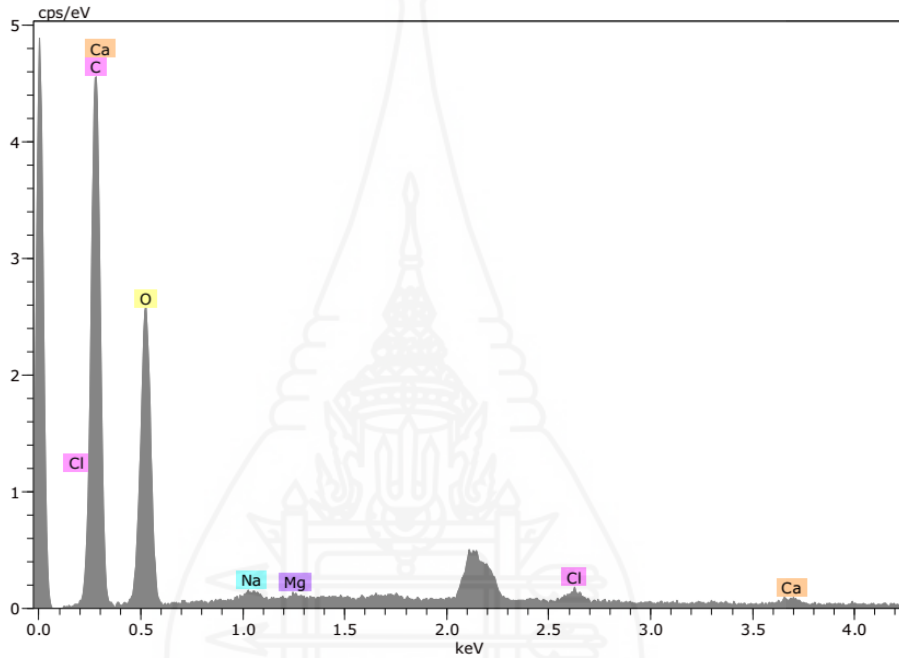
1 Date:3/30/2017 6:33:00 PM HV:15.1kV Puls th.:1.01kcps  
 2 Date:3/30/2017 6:35:04 PM HV:15.1kV Puls th.:0.79kcps

Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Na	Mg	Cl	Ca
1	51.17	47.02	0.52	0.10	0.65	0.55
2	49.93	48.05	0.59	-	0.87	0.56
Mean value:	50.55	47.53	0.56	0.10	0.76	0.55
Sigma:	0.88	0.73	0.05	0.00	0.16	0.01
Sigma mean:	0.62	0.52	0.04	0.00	0.11	0.01

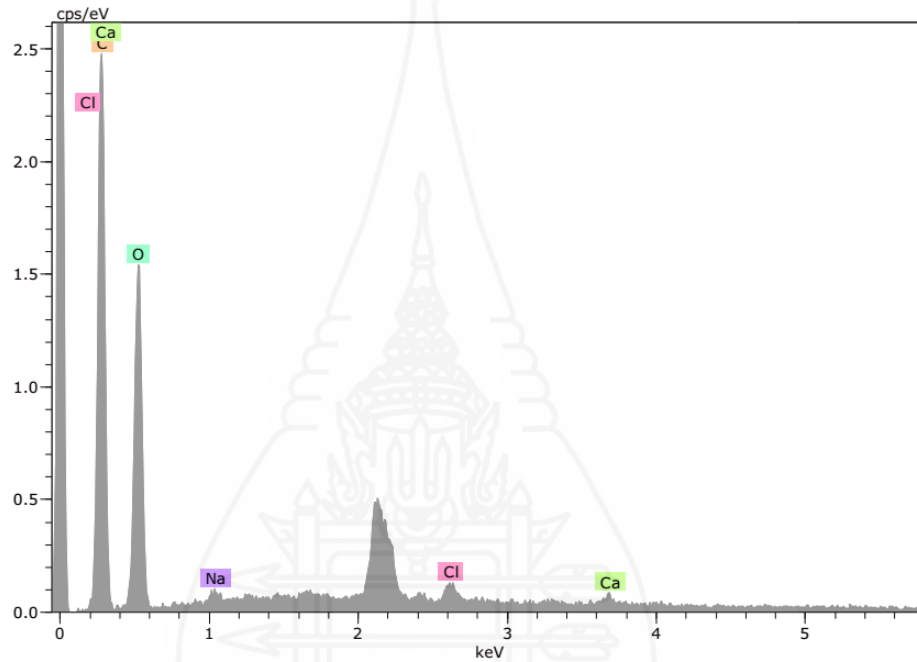
# Application Note

Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	51.17	51.17	58.70	6.39
O	8	K-series	47.02	47.02	40.49	6.17
Na	11	K-series	0.52	0.52	0.31	0.07
Mg	12	K-series	0.10	0.10	0.06	0.04
Cl	17	K-series	0.65	0.65	0.25	0.06
Ca	20	K-series	0.55	0.55	0.19	0.06
Total:			100.00	100.00	100.00	

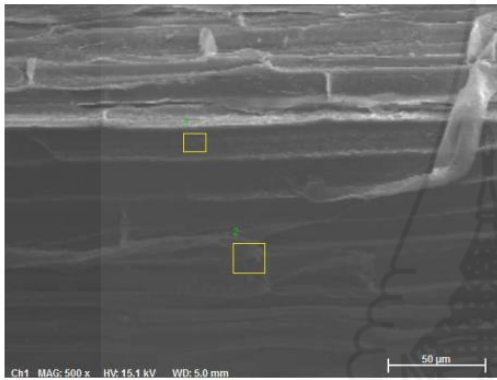


Spectrum: 2

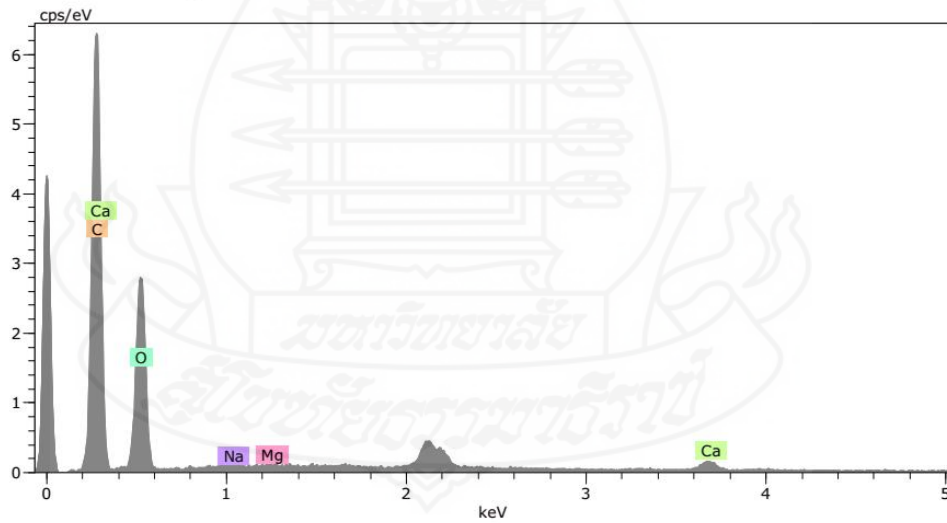
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	49.93	49.93	57.54	6.79
O	8	K-series	48.05	48.05	41.57	6.87
Na	11	K-series	0.59	0.59	0.36	0.09
Cl	17	K-series	0.87	0.87	0.34	0.07
Ca	20	K-series	0.56	0.56	0.19	0.06
Total:			100.00	100.00	100.00	

# Application Note

Company / Department



Name: Dala Original  
 Date: 3/30/2017 6:13:09 PM  
 Image size: 318 x 238 Mag: 500x HV: 15.1kV



1 Date: 3/30/2017 6:13:43 PM HV: 15.1kV Puls th.: 1.14kcps  
 2 Date: 3/30/2017 6:15:04 PM HV: 15.1kV Puls th.: 0.86kcps

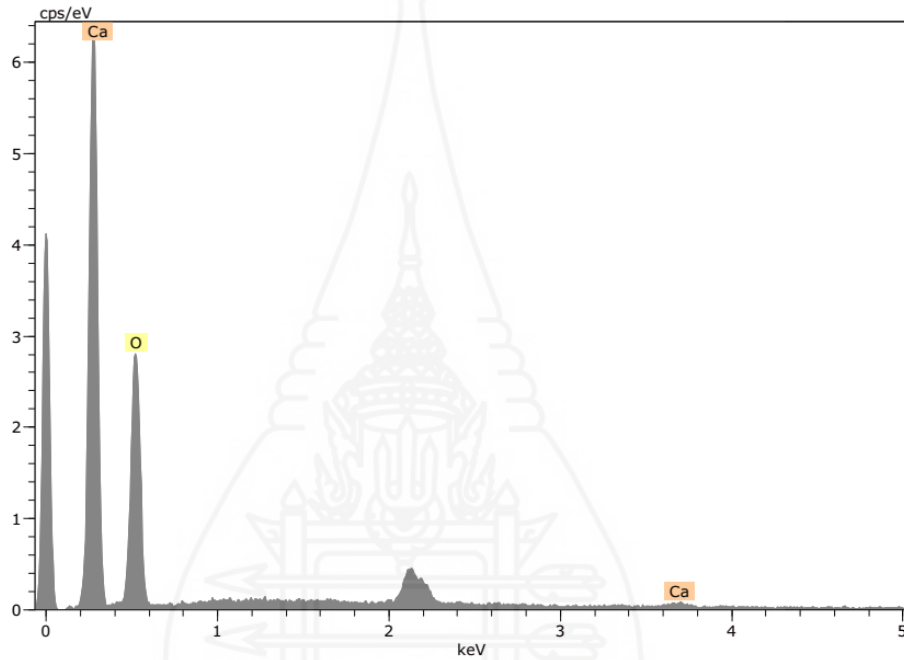
Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Na	Mg	Ca
1	54.55	45.04	-	-	0.42
2	52.82	44.40	0.20	0.16	2.41
Mean value:	53.69	44.72	0.20	0.16	1.42
Sigma:	1.22	0.45	0.00	0.00	1.41
Sigma mean:	0.86	0.32	0.00	0.00	1.00



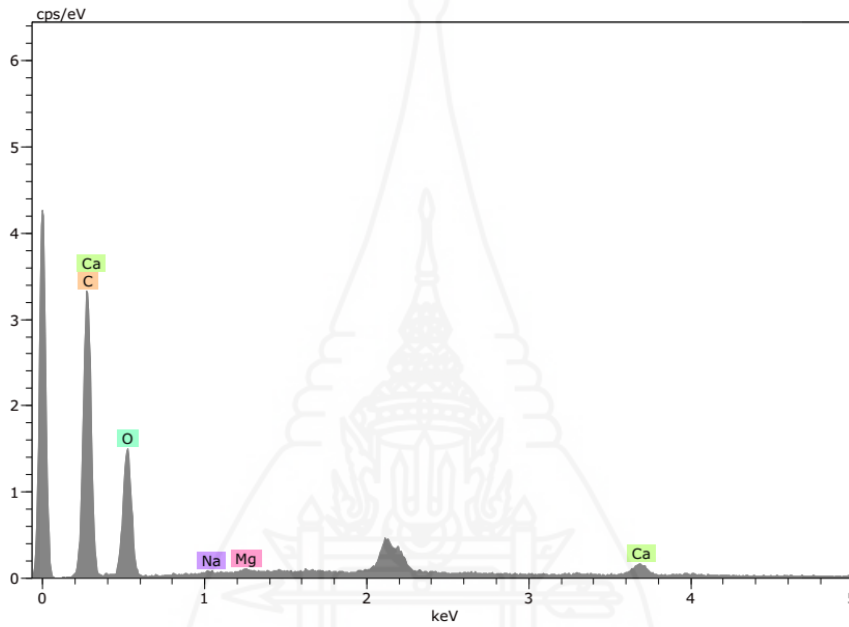
# Application Note

Company / Department



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	54.55	54.55	61.65	6.83
O	8	K-series	45.04	45.04	38.21	6.10
Ca	20	K-series	0.42	0.42	0.14	0.05
Total:			100.00	100.00	100.00	



Spectrum: 2

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	52.82	52.82	60.67	6.73
O	8	K-series	44.40	44.40	38.29	6.16
Na	11	K-series	0.20	0.20	0.12	0.05
Mg	12	K-series	0.16	0.16	0.09	0.04
Ca	20	K-series	2.41	2.41	0.83	0.12
Total:			100.00	100.00	100.00	



ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์วัสดุส่วนประกอบในเส้นใย



รายงานผลการวิเคราะห์ลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

วันที่ส่งตัวอย่าง : 12 มิถุนายน 2560

วันที่รายงานผล : 20 มิถุนายน 2560

ตัวอย่าง*	เซลลูโลส (%)**	เฮมิเซลลูโลส (%)**	ลิกนิน (%)**
ปุด (ปกติ)	46.93±1.10	31.62±0.19	21.45±0.22
ปุด (กล)	30.55±0.97	28.27±1.44	19.19±0.64
ปุด (เคมี)	42.26±3.24	30.11±2.01	19.81±0.93
คากลา (ปกติ)	47.15±2.06	36.45±0.19	22.32±0.86
คากลา (กล)	41.91±1.17	30.34±0.58	16.34±0.41
คากลา (เคมี)	35.24±2.72	27.22±1.16	19.89±0.28

\*แต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 2 ซ้ำ

\*\*วิธีวิเคราะห์ไฮโดรเซลลูโลสใช้วิธี acid chlorite ตามวิธีของ Browning (1963); เซลลูโลสใช้วิธี TAPPI (1999) ในการวิเคราะห์; ลิกนินใช้วิธี TAPPI (2002)

ผู้วิเคราะห์

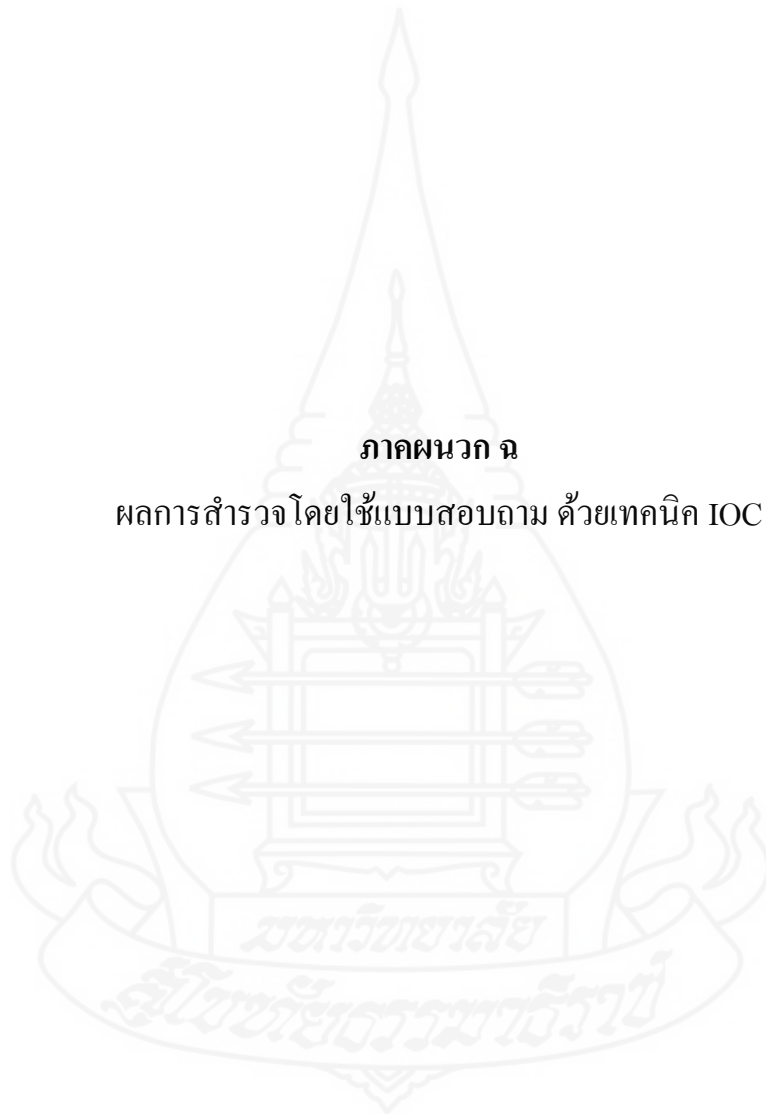
*นางสาว สรีรังษิณี ศรีวงษ์ชัย*

(นางสาว สรีรังษิณี ศรีวงษ์ชัย)

อาจารย์

ภาคผนวก ฉ

ผลการสำรวจโดยใช้แบบสอบถาม ด้วยเทคนิค IOC



แบบประเมินสมรรถนะเครื่องปรับปรุงความละเอียดเส้นใยคาทาลาโดยเครื่องจักรต้นแบบเพื่อหาค่า IOC

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องต้นแบบ  
**คำชี้แจง** ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อเครื่องต้นแบบ  
 โดยใช้เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ใน  
 การนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

รายการขอความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม 1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่ เหมาะสม -1	
<b>1.ด้านการออกแบบ</b>				
1.1 มอเตอร์มีกำลังพอต่อการใช้งาน	✓			
1.2 ความเหมาะสมในการเลือกวัสดุ	✓			
1.3 ขนาดของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน	✓			
1.4 ความยืดหยุ่นสำหรับวัสดุดิบ หลายขนาดความยาว	✓			
<b>2.ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย</b>				
2.1 ผู้ใช้เครื่องไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญมาก	✓			
2.2 ขั้นตอนในการใช้งานง่าย	✓			
2.3 เครื่องมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	✓			
<b>3.ด้านผลผลิต</b>				
3.1 ความนุ่มของเส้นใยที่ปรับปรุงแล้ว	✓			
3.2 อัตราการผลิตเทียบกับวิธีเคมี	✓			
3.3 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเทียบกับวิธีเคมี	✓			

ลงชื่อ.....

(น.ส.อภิชาติ ตงหงษ์)

ตำแหน่ง..... อาจารย์

สถานที่ทำงาน..... มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินสมรรถนะเครื่องปรับปรุงความละเอียดเซ็นโซคาฮาไอคาฮาไอคาฮาเครื่องจักรคันแบบเพื่อการค้า IOC

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องต้นแบบ

คำชี้แจง ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อเครื่องต้นแบบ โดยใส่เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

รายการขอความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม 1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่เหมาะสม -1	
<b>1. ด้านการออกแบบ</b>				
1.1 มอเตอร์มีกำลังสอดคล้องการใช้งาน	✓			
1.2 ความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุ	✓			
1.3 ขนาดของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน	✓			
1.4 ความยืดหยุ่นสำหรับวัสดุดิบ หลากขนาดความยาว	✓			
<b>2. ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย</b>				
2.1 ผู้ใช้เครื่องไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญมาก	✓			
2.2 ขั้นตอนในการใช้งานง่าย	✓			
2.3 เครื่องมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	✓			
<b>3. ด้านผลผลิต</b>				
3.1 ความนุ่มของเส้น ไotyที่ปรับปรุงแล้ว	✓			
3.2 อัตราการผลิตเทียบกับวิธีเคมี	✓			
3.3 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเทียบกับวิธีเคมี	✓			

ลงชื่อ.....

(รศ.ดร.พนมกร ทาทอง)

ตำแหน่ง.....ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (พิเศษ) (วิศวกรรม)

สถานที่ทำงาน.....มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินสมรรถนะเครื่องปรับปรุงความละเอียดเส้นใยคาทาลาโดยเครื่องจักรต้นแบบเพื่อค่า IOC

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องต้นแบบ

คำชี้แจง ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อเครื่องต้นแบบ โดยใส่เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

รายการขอความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม 1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่เหมาะสม -1	
<b>ด้านการออกแบบ</b>				
1. มอเตอร์มีกำลังพอต่อการใช้งาน	✓			
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุ	✓			
3. ขนาดของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน	✓			
4. ความยืดหยุ่นสำหรับวัดจุดดับ หลายขนาดความยาว	✓			
<b>ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย</b>				
1. ผู้ใช้เครื่อง ไม่ต้องมีความชำนาญมาก	✓			
2. ขั้นตอนในการใช้งานง่าย	✓			
3. เครื่องมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	✓			
<b>ด้านผลผลิต</b>				
1. ความนุ่มของเส้นใยที่ปรับปรุงแล้ว	✓			
2. อัตราการผลิตเทียบกับวิธีเคมี	✓			
3. ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเทียบกับวิธีเคมี	✓			

ลงชื่อ

(นางอรุณี อภิวณิช)

ตำแหน่ง: วิศวกร นักเทคนิคการแพทย์

สถานที่ทำงาน: ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบการผลิตเส้นใย

ผู้เชี่ยวชาญ

0.30/สว: จ.หม่อมหลวง



แบบประเมินสมรรถนะเครื่องปรับปรุงความละเอียดเส้นใยคาทาลาโดยเครื่องจักรต้นแบบเพื่อค่า IOC

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องต้นแบบ  
 คำชี้แจง ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อเครื่องต้นแบบ  
 โดยใส่เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ใน  
 การนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

รายการขอความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม 1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่ เหมาะสม -1	
<b>ด้านการออกแบบ</b>				
1. มอเตอร์มีกำลังพอต่อการใช้งาน	✓			
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุ	✓			
3. ขนาดของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน	✓			
4. ความยืดหยุ่นสำหรับวัดจุดดับ หลายขนาดความยาว	✓			
<b>ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย</b>				
1. ผู้ใช้เครื่องไม่ต้องมีความชำนาญมาก	✓			
2. ขั้นตอนในการใช้งานง่าย	✓			
3. เครื่องมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	✓			
<b>ด้านผลผลิต</b>				
1. ความนุ่มของเส้นใยที่ปรับปรุงแล้ว	✓			
2. อัตราการผลิตเทียบกับวิธีเคมี	✓			ดีกว่าเคมี
3. ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเทียบกับวิธีเคมี	✓			ดีกว่าเคมี

ลงชื่อ.....

(*ดร.พ.ศ. วิชาญ วิชาญ*)

ตำแหน่ง.....

สถานที่ทำงาน.....

ผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินสมรรถนะเครื่องปรับปรุงความละเอียดเส้นใยตาหาโดยเครื่องจักรต้นแบบเพื่อหาค่า IOC

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องต้นแบบ  
คำชี้แจง ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อเครื่องต้นแบบ  
โดยใช้เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ใน  
การนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

รายการขอความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม 1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่ เหมาะสม -1	
<b>ด้านการออกแบบ</b>				
1. มอเตอร์มีกำลังพอต่อการใช้งาน	✓			
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุ	✓			
3. ขนาดของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน	✓			
4. ความยืดหยุ่นสำหรับวัดจุดดับ หลายขนาดความยาว	✓			
<b>ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย</b>				
1. ผู้ใช้เครื่อง ไม่ต้องมีควมชำนาญมาก		✓		
2. ขั้นตอนในการใช้งานง่าย	✓			
3. เครื่องมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	✓			
<b>ด้านผลผลิต</b>				
1. ความนุ่มของเส้นใยที่ปรับปรุงแล้ว	✓			
2. อัตราการผลิตเทียบกับวิธีเคมี	✓			
3. ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเทียบกับวิธีเคมี		✓		

ลงชื่อ.....

(นายศิวกร ทัศนะ)

ตำแหน่ง.....

สถานที่ทำงาน.....

ผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินสมรรถนะเครื่องปรับปรุงความละเอียดเส้นใยคาทาลาโดยเครื่องจักรคันแบบเพื่อหาค่า IOC

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องคันแบบ

คำชี้แจง ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อเครื่องคันแบบ

โดยใช้เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

รายการขอความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม 1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่ เหมาะสม -1	
<b>ด้านการออกแบบ</b>				
1. มอเตอร์มีกำลังพอต่อการใช้งาน	✓			
2. ความเหมาะสมในการเลือกวัสดุ	✓			
3. ขนาดของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน	✓			
4. ความยืดหยุ่นสำหรับวัตถุดิบ หลายขนาดความยาว	✓			
<b>ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย</b>				
1. ผู้ใช้เครื่องไม่ต้องมีความชำนาญมาก	✓			
2. ขั้นตอนในการใช้งานง่าย	✓			
3. เครื่องมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	✓			
<b>ด้านผลผลิต</b>				
1. ความนุ่มของเส้นใยที่ปรับปรุงแล้ว	✓			
2. อัตราการผลิตเทียบกับวิธีเคมี	✓			
3. ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเทียบกับวิธีเคมี	✓			

ลงชื่อ.....  
(.....)

ตำแหน่ง.....

สถานที่ทำงาน.....

ผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินสมรรถนะเครื่องปรับปรุงความละเอียดเซ็นเซอร์โดยเครื่องจักรต้นแบบเพื่อหาค่า IOC

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องต้นแบบ

คำชี้แจง ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อเครื่องต้นแบบ โดยใส่เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

รายการขอความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม 1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่เหมาะสม -1	
<b>ด้านการออกแบบ</b>	✓			
1. มอเตอร์มีกำลังพอต่อการใช้งาน	✓			
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุ	✓			
3. ขนาดของเครื่องเหมาะสมกับการใช้งาน	✓			
4. ความยืดหยุ่นสำหรับวัดวัตถุ หลายขนาดความยาว	✓			
<b>ด้านการใช้งานเครื่องและความปลอดภัย</b>				
1. ผู้ใช้เครื่องไม่ต้องมีความชำนาญมาก	✓			
2. ขั้นตอนในการใช้งานง่าย	✓			
3. เครื่องมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	✓			
<b>ด้านผลผลิต</b>				
1. ความนุ่มของเส้นใยที่ปรับปรุงแล้ว	✓			
2. อัตราการผลิตเทียบกับวิธีเคมี	✓			
3. ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเทียบกับวิธีเคมี	✓			

ลงชื่อ.....  
(.....)

ตำแหน่ง.....

สถานที่ทำงาน.....

ผู้เชี่ยวชาญ



**บรรณานุกรม**

## บรรณานุกรม

- โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (2552) *วัลลักรุกขบุปผชาติ ตามรอยพระบาทบรราราชกุมารี*. สงขลา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- จรรยาบรรณ จรรยาธรรม และ ประทับใจ ลึกษา (2555). การพัฒนาเส้นใยของต้นจากเพื่อใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์. *วารสารวิชาการศิลปสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 3(1), 94-104.
- ชัยยุทธ ช่างสาร และคณะ (2536) *เส้นใยจากต้นรูปถั่วฝักยาวเพื่อนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ*. ปทุมธานี:มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ชาญชัย สิริเกษมเลิศ (2554). *เส้นใยข่า วัตถุดิบใหม่ของสิ่งทอ*. สืบค้นจาก [http:// www.ttistextiledigest.com/articles/new-products/item/3214-เส้นใยข่า-วัตถุดิบใหม่ของสิ่งทอ.html](http://www.ttistextiledigest.com/articles/new-products/item/3214-เส้นใยข่า-วัตถุดิบใหม่ของสิ่งทอ.html).
- ดาริกา ดาวจันอัด, อนันต์ อักษรสร และคณะ (2558) การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับดาหลาในเชิงพาณิชย์ ด้วยการสกัดเส้นใยจากลำต้นดาหลาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการทอผ้าในจังหวัดนราธิวาส. *ผลงานวิจัยดีเด่น กรมวิชาการเกษตร ประจำปี 2558*, 4, 123-136.
- ทศพร อินไข, ฤทธิพงษ์ ถึงมี (2550). *การออกแบบและพัฒนาเครื่องรีดและตัดผักตบชวาตากแห้งเพื่อใช้ในงานหัตถกรรมจักสาน*. (ปริญญาณิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- นวลแข ปาลิวนิช (2542) *ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- บุญศรี คู่สุขธรรม, และมณูญ จิตต์ใจนำ (2556). *การผลิตเส้นด้ายจากเส้นใยปอสา*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- พรรณิ รัตนชัยสิทธิ์, กฤษณา บุญนิล (2538). การผลิตผ้าจากเส้นใยต้นรูปถั่วฝักยาว. *วารสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33*, 33, 288-295.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, และนิธิยา รัตนานพนธ์ (2553) *Cellulose / เซลลูโลส*. สืบค้นจาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0612/cellulose-เซลลูโลส>.
- พิรพงษ์ จันทร (2554). *ศึกษาการนำเส้นใยเขาคอนมาเป็นวัตถุดิบในการปั่นด้าย*. (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน (2556) *การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

- วิทธิ อังภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน (2556) การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.  
 วิทยา อินทร์สอน, สุขอังคณา แดลงกันท์, และปัทมาพร ท่อชู, นวัตกรรมอุตสาหกรรมสิ่งทอสีเขียว (Eco-Industrial Innovative Textiles). *Industrial Technology Review*, สืบค้นจาก <http://www.thailandindustry.com/onlinemag/view2.php?id=322&section=37&issues=23>.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา (2542) *วิทยาศาสตร์เส้นใย*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศราวุธ โตสวัสดิ์ (2554). การศึกษาการแยกใยไฟลีสูกเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบทางสิ่งทอ. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- ศศิประภา รัตนดิถก ณ ภูเก็ต, เส้นใยธรรมชาติจากกาบไผ่. *โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก.* สืบค้นจาก <http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=32694>.
- ศูนย์วิจัยความหลากหลายทางชีวภาพ เฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา บรมราชินีนาถ (2557). *พรรณไม้ในเส้นทางศึกษาธรรมชาติหุบเขาลำพญา*. ยะลา:มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- สถาบันพลาสติก. (2560) *เซลลูโลส (CELLULOSE)*. สืบค้นจาก Material selection e-library <http://asp.plastics.or.th:8001/ArticleKnowledgeListDetail.aspx?id=46>.
- สาคร ชลสาคร (2559). *ความสำคัญของการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพีช*. สืบค้นจาก <http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2016/11/refining2.1>.
- สาลีณี ศรีวงษ์ชัย (2559) การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากการปรับสภาพก่อนเชื้อเห็ดแก่ด้วยความร้อนชื้น. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ครั้งที่ 6.
- เสาวณีย์ อารีจงเจริญ, นฤพน ไพศาลตันติวงศ์, รัตนพล มงคลรัตนดิษฐ์ และสาคร ชลสาคร (2556). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากเส้นใยตะไคร้*. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- อนุศักดิ์ ศรีศรกำพล (2538). *สารต้านเชื้อราจากข่า (Languas galanga Linn.) พืชสกุลปุด (Achrasma sp.) และสะค้าน (Piper ribesoides Wall.)*. (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- อ้อยทิพย์ ผู้พัฒนา และคณะ (2553) *การศึกษาวิธีการแยกเส้นใยจากก้านใบบัวหลวงสายพันธุ์พระราชินีและความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยมาผลิตเป็นเส้นด้าย*. ปทุมธานี:มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- อัปสร บุญยัง (2559) *FESEM กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่องานวิจัยและงานภาคอุตสาหกรรม*. สืบค้นจาก <https://www.wu.ac.th/th/news/91382/ผู้ช่วย>

ศาสตราจารย์-ดร.อัปสร--บุญยัง--FESEM–กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด-เพื่องานวิจัยและงานภาคอุตสาหกรรม.

- A. El Oudiani, Yassin Chaabouni, Slah MsahliSlah FaouziSakli. (2012) Morphological and crystalline characterization of NaOH and NaOCl treated Agave americana L.fiberMarch, *Industrial Crops and Products* 36(1).





**ประวัติผู้วิจัย**

<b>ชื่อ</b>	นายสุชา ลอยเดือนฉาย
<b>วัน เดือน ปีเกิด</b>	7 มิถุนายน พ.ศ. 2517
<b>สถานที่เกิด</b>	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
<b>ประวัติการศึกษา</b>	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2539
<b>สถานที่ทำงาน</b>	บริษัท เอส.ที. โปรดักทีฟ จำกัด เลขที่ 101/194 หมู่บ้านสินอนันต์ ซอยเลียบบ วารี55 ถนนเลียบบวารี แขวงโคกแฝด เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
<b>ตำแหน่ง</b>	กรรมการผู้จัดการ

