การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิด ผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

FEASIBILITY STUDY OF THE YARN PRODUCTION FROM POLYLACTIC ACID MIXED WITH OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH FIBERS

ศิริกุล แซ่ลิ่ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิด
ผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ศิริกุล แซ่ลิ่ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิด ผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน Feasibility Study of the Yarn Production from Polylactic Acid Mixed with Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวศิริกุล แซ่ลิ่ม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาคร ชลสาคร, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์นที ศรีสวัสดิ์, วท.ด.
ปีการศึกษา	2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, Ph.D.)

....กรรมการ
(อาจารย์นที ศรีสวัสดิ์, วท.ด.)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาคร ชลสาคร, PhD.)

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาคร ชลสาคร, Ph.D.)
วันที่ 9 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน
ชื่อ - นามสกุล	นางสาวศิริกุล แซ่ลิ่ม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาคร ชลสาคร, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์นที ศรีสวัสดิ์, วท.ด.
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี (2) ส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย และ (3) ทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี มีการศึกษา 2 ปัจจัย คือ ชนิดสารเคมีประกอบด้วย 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 กรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 50 และปริมาณสารเคมีแปรเป็น 2 ระดับ คือ ร้อยละ 5 และ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร (V/V) วางแผนการทดลองแฟกทอเรียลแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Factorial in CRD) ส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ปัจจัยการศึกษา คือ ปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย แปรเป็น 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.0 0.5 1.0 และ 2.0 และทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ด้วยมาตรฐานการทดสอบของ ASTM และ JIS

ผลการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี เส้นใยหลังปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 69.31 ผลการศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 สามารถเป็นตัวร่วมในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดได้ในปริมาณที่สูงสุด และผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าการหดตัวร้อยละ - 1.30 ความแข็งแรง 54.10 นิวตัน และการยืดตัวก่อนขาดร้อยละ 4.87 ขนาดเส้นด้าย 1,298 เท็กซ์ ความหนา 0.38 มิลลิเมตร และความกว้าง 3.68 มิลลิเมตร มีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันกระจายตัวอยู่ในเส้นด้ายเพิ่มขึ้น และมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่

(T_m) 175.20 องศาเซลเซียส เกิดผลึกที่ (T_{cc}) 100.40 องศาเซลเซียส และมีค่าร้อยละปริมาณผลึกสูงที่สุด (% X_c) คือ 6.69

คำสำคัญ : เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พอลิแลคติกแอซิด ขึ้นรูปแบบหลอมเหลว

Thesis Title	Feasibility Study of the Yarn Production from Polylactic Acid Mixed with Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers
Name – Surname	Miss Sirikul Sae-lim
Program	Home Economics Technology
Thesis Advisor	Assistant Professor Sakorn Chonsakorn, Ph.D.
Thesis Co – advisor	Mr. Natee Srisawat, Ph.D.
Academic Year	2020

ABSTRACT

This research aimed to: (1) study the chemical pretreatment of oil palm empty fruit bunch fibers, (2) identify the ratio of oil palm empty fruit bunch fibers used as poly lactic acid co-agents in the yarn production, and (3) test the physical properties of the polylactic acid yarn mixed with oil palm empty fruit bunch fibers.

For the chemical pretreatment, there were two factors in the study; chemical type and chemical quantity. The former consisted of 50% sodium hydroxide solution and 50% sulfuric acid while the latter composed of 2 levels of chemical content: 5 and 10% by volume-by-volume (V/V). The experimental design was based on completely randomized factorial design (Factorial in CRD). The amount of oil palm empty fruit bunch fibers used as a co-polylactic acid copolymer in the yarn production which was completely randomized (CRD) was the factor in this study tested with the ratio of palm oil varying in 4 levels : 0.0, 0.5, 1.0, and 2.0%. The physical properties of the polylactic acid mixed with oil palm empty fruit bunch fibers were then tested by the ASTM and JIS Standards.

It was found that the fibers after pretreatment with a 10% sodium hydroxide solution had the highest percentage of cellulose content of 69.3. The 1.0% oil palm empty fruit bunch fibers mixture ratio could be a contributor to the highest amount of the yarn production. The physical properties test also revealed that 1.0% of polylactic acid mixed with oil palm empty fruit bunch fibers resulted in the following properties; - 1.30% of shrinkage, 54.10 Newton of strength, 4.87 elongation before tearing; 1,298 tex of thread size, 0.38 mm of thickness, and 3.68 mm of width. Moreover, the amount of

oil palm bunch powder distribution in the yarn increased with the melting temperature at (T_m) 175.20 °C; the crystallization temperature at (T_{cc}) 100.40 °C, and the highest percentage of crystallinity at (% X_c) 6.69%.

Keywords: oil palm empty fruit bunch fibers, polylactic acid, forming molten

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร ชลสาคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร.นที ศรีสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ในการให้คำปรึกษาตั้งแต่หัวข้อวิทยานิพนธ์ ข้อมูลและคำแนะนำต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง โดยเฉพาะการวางเค้าโครง แนวทางการเขียนเนื้อหาและการวิเคราะห์ของงานวิจัย ซึ่งถือเป็นแรงกระตุ้นได้อย่างดียิ่ง อีกทั้งยังได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิทยานิพนธ์ให้เป็นอย่างดี ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งใจและสำนึกในพระคุณขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้กรุณาชี้แนะแนวทางและคำแนะนำ ตลอดจนข้อสังเกตต่าง ๆ ทำให้เกิดการพัฒนาแนวความคิดและไตร่ตรองปัญหา ได้อย่างรอบคอบ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ของเนื้อหาอย่างครบถ้วน

ขอขอบคุณ บริษัท ธาราบิสสิเนส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบลักษณะของเส้นใย สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ห้องปฏิบัติการภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ให้ความอนุเคราะห์ในการหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ ห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์และเส้นใย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเขียนงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการดำเนินการวิจัย

ท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณเจ้าของผลงาน เอกสารและงานวิจัยทุกท่าน ที่ได้ให้ผู้เขียนค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศิริกุล แซ่ลิ้ม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญรูป	(11)
บทที่ 1 บทนำ	16
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	16
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	17
1.3 สมมติฐานการวิจัย	17
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	17
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	18
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.1 ความรู้เกี่ยวกับปาล์มน้ำมัน	20
2.2 การสกัดน้ำมันปาล์ม	31
2.3 พลาสติกย่อยสลายได้	41
2.4 การผลิตเส้นใยสังเคราะห์	49
2.5 การผลิตเส้นด้าย	54
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	63
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	66
3.1 วัตถุดิบ	66
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	67
3.3 การดำเนินการวิจัย	70
3.4 ระยะเวลาในการทดลอง	76
3.5 สถานที่ทำการวิจัย	76
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์	77

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 ผลการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี........................... 77

4.2 ผลการศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิด ในการผลิตเส้นด้าย.. 83

4.3 ผลการทดสอบลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิด ผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน.. 89

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.. 98

5.1 สรุปผลการศึกษากระบวนการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี........ 98

5.2 สรุปผลการศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิ- แลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย.. 99

5.3 สรุปผลการทดสอบลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิด ผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน.. 100

5.4 ข้อเสนอแนะ.. 102

บรรณานุกรม.. 104

ภาคผนวก.. 115

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ก่อนและหลังการปรับสภาพ.. 116

ภาคผนวก ข ลักษณะภาพตามขวางและตามความยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ก่อนและหลังการปรับสภาพ.. 118

ภาคผนวก ค กราฟแสดงผลการทดสอบทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียล สแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) 125

ภาคผนวก ง ผลทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย (Tensile) และ ทดสอบค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย (% Elongation).......... 128

ภาคผนวก จ บทความวิจัยในการกระชุมวิชาการระดับชาติราชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 11 เรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิด ผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน... 135

ประวัติผู้เขียน.. 149

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	พื้นที่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันปี พ.ศ. 2558 - 2561......................................	31
ตารางที่ 2.2	ผลผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2558 - 2561.............................	34
ตารางที่ 3.1	ชนิดสารเคมีและความเข้มข้นในกระบวนการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน	70
ตารางที่ 3.2	ค่าร้อยละส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิด	72
ตารางที่ 4.1	ค่าร้อยละองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับสภาพ..	77
ตารางที่ 4.2	ค่าร้อยละระยะเวลาในการอบเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับสภาพ	82
ตารางที่ 4.3	ค่าร้อยละการหดตัวของเส้นด้ายตามความยาว...	90
ตารางที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงตามความยาวและค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย...	91
ตารางที่ 4.5	เบอร์เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน.........................	92
ตารางที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยความหนาของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน	93
ตารางที่ 4.7	ค่าเฉลี่ยความกว้างของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน	94
ตารางที่ 4.8	การเปรียบเทียบสมบัติความร้อนเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์......................	95

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ต้นปาล์มน้ำมัน.......... 21
รูปที่ 2.2 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์คอมแพ็คกาน่า.......... 25
รูปที่ 2.3 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์คอมแพ็คไนจีเรีย.......... 25
รูปที่ 2.4 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เดลีคอมแพ็ค.......... 26
รูปที่ 2.5 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เดลีกาน่า.......... 26
รูปที่ 2.6 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เดลีไนจีเรียแบล็ค.......... 27
รูปที่ 2.7 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์อเมซอน.......... 27
รูปที่ 2.8 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1.......... 28
รูปที่ 2.9 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 2.......... 29
รูปที่ 2.10 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 3.......... 29
รูปที่ 2.11 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 4.......... 30
รูปที่ 2.12 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 5.......... 30
รูปที่ 2.13 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ.......... 32
รูปที่ 2.14 ผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิและชั้นทุติยภูมิ.......... 37
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของผนังเซลล์พืช.......... 38
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเซลลูโลส.......... 39
รูปที่ 2.17 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส.......... 40
รูปที่ 2.18 โครงสร้างสารโมเลกุลเดี่ยวสามชนิดที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ลิกนิน.......... 41
รูปที่ 2.19 วัฏจักรของพอลิแลคติกแอซิด.......... 43
รูปที่ 2.20 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด.......... 44
รูปที่ 2.21 กระบวนการสังเคราะห์แบบเปิดวงแหวนแลกไทด์.......... 45
รูปที่ 2.22 การย่อยสลายพอลิแลคติกแอซิด.......... 47
รูปที่ 2.23 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นแห้ง.......... 49
รูปที่ 2.24 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นเปียก.......... 50
รูปที่ 2.25 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นหลอม.......... 51
รูปที่ 3.1 เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน.......... 66

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.2	เครื่องบดพลาสติก..	67
รูปที่ 3.3	เครื่องบดสมุนไพร..	68
รูปที่ 3.4	เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว..	68
รูปที่ 3.5	เครื่องอบเม็ดชิพระบบลมร้อน..	69
รูปที่ 3.6	หัวดายแบบซลิท..	69
รูปที่ 3.7	การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน..	71
รูปที่ 3.8	ขั้นตอนการขึ้นรูปเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน........	73
รูปที่ 4.1	ลักษณะภาพตัดขวางของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังกระบวนการปรับสภาพกำลังขยาย 200 เท่า (ก) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพ (ข) การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 (ค) การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ10 (ง) การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5 (จ) การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 10	79
รูปที่ 4.2	ลักษณะภาพตามความยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับสภาพกำลังขยาย 500 เท่า (ก) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพ (ข) การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 (ค) การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 (ง) การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้นข้นร้อยละ 5 (จ) การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้นข้นร้อยละ 10..	81
รูปที่ 4.3	ขั้นการเตรียมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการขึ้นรูปเส้นด้าย (ก) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพ (ข) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการตัดสั้น (ค) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดละเอียด (ง) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 เมซ (จ) ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน	83

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.4	ลักษณะของพอลิแลคติกแอซิดแบบเม็ดและผงก่อนการขึ้นรูปเส้นด้าย................	84
รูปที่ 4.5	ลักษณะของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการร่อนขนาด 400 เมซ (ก) การเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 1,000 เท่า (ข) การเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 5,000 เท่า..	85
รูปที่ 4.6	เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันขณะขึ้นรูป (ก) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 (ข) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 (ค) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 (ง) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 2.0 (จ) รูหน้าแปลน (Die) หัวดายแบบซลิท....................................	86
รูปที่ 4.7	ม้วนเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (ก) เส้นด้ายพอลิ-แลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 (ข) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 (ค) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0..	87
รูปที่ 4.8	ห่วงโซ่ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน........	88
รูปที่ 4.9	ลักษณะการกระจายตัวของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลค-ติกแอซิดกำลังขยาย 10 เท่า (ก) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 (ข) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 (ค) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0	89
รูปที่ 4.10	การเปรียบเทียบระดับอุณภูมิการตกผลึกของเส้นด้าย (T_{cc})................................	95
รูปที่ 4.11	ผ้าทอมือจากเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (ก) จำนวนเส้นด้ายพุ่งของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 (ข) จำนวนเส้นด้ายพุ่งของเส้นด้ายฝ้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน..	97
รูปที่ ก.1	ค่าองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพและหลังการปรับสภาพ...	117
รูปที่ ข.1	ลักษณะตามขวางของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพกำลังขยาย 200 เท่า..	119

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ ข.2	ลักษณะตามขวางของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5กำลังขยาย 200 เท่า	119
รูปที่ ข.3	ลักษณะตามขวางของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 กำลังขยาย 200 เท่า......................	120
รูปที่ ข.4	ลักษณะตามขวางของเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5 กำลังขยาย 200 เท่า......................	120
รูปที่ ข.5	ลักษณะตามขวางของเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 10 กำลังขยาย 200 เท่า......................	121
รูปที่ ข.6	ลักษณะตามยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพกำลังขยาย 500 เท่า......................	121
รูปที่ ข.7	ลักษณะตามยาวของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 กำลังขยาย 500 เท่า......................	122
รูปที่ ข.8	ลักษณะตามยาวของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 กำลังขยาย 500 เท่า......................	122
รูปที่ ข.9	ลักษณะตามยาวของเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5 กำลังขยาย 500 เท่า......................	123
รูปที่ ข.10	ลักษณะตามยาวของเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 10 กำลังขยาย 500 เท่า......................	123
รูปที่ ข.11	ลักษณะการเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 1,000 เท่า................	124
รูปที่ ข.12	ลักษณะการเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 5,000 เท่า................	124
รูปที่ ค.1	ค่าการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0	126
รูปที่ ค.2	ค่าการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5......................	126
รูปที่ ค.3	ค่าการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0......................	127
รูปที่ ง.1	ค่าความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ100.0......................	129

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ ง.2	ค่าความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5.................	130
รูปที่ ง.3	ค่าความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0.................	131
รูปที่ ง.4	ผลการทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกร้อยละ 100.0 จำนวน 20 ซ้ำ...................................	132
รูปที่ ง.5	ผลการทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 จำนวน 20 ซ้ำ	133
รูปที่ ง.6	ผลการทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 จำนวน 20 ซ้ำ	134

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย [1 - 15] ซึ่งพบว่า ส่วนใหญ่มีการเพาะปลูกทางภาคใต้ [1 - 4, 6 - 7, 9 - 12, 16 - 20] หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนให้การสนับสนุนการเพาะปลูกจำนวนมาก [13, 20] ในปี พ.ศ. 2559 ได้มีการปรับราคาปาล์มน้ำมันขึ้นสูงถึงกิโลกรัมละ 6 บาท [21] ส่งผลให้เกษตรกรมีการลงทุนเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น [22] ในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณปาล์มน้ำมัน 13,513,884 ตัน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์คาดการณ์ผลผลิตปาล์มน้ำมันในปี พ.ศ. 2561 จะมีปริมาณผลปาล์มน้ำมัน 14,745,878 ตัน โดยเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 9.12 [23] ซึ่งในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มนั้นจะได้น้ำมันดิบประมาณร้อยละ 25 ของการสกัด ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันดิบคิดเป็น 3,686,469.5 ตัน จากการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันในปี พ.ศ. 2561 ก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการสกัดปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ทะลายร้อยละ 30 คิดเป็น 4,423,763.4 ตัน เส้นใยร้อยละ 13 คิดเป็น 1,916,964.14 ตัน กะลาร้อยละ 6.8 คิดเป็น 1,002,719.7 ตัน น้ำเสียและตะกอนน้ำมันประมาณร้อยละ 16.7 คิดเป็น 2,462,561.63 ตัน [24] ทะลายปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณมากที่สุดจากวัสดุเศษเหลือชนิดอื่น ซึ่งการปล่อยให้ทะลายปาล์มน้ำมันทับถมหรือสะสมกันเป็นจำนวนมากอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากการปนเปื้อนของคราบน้ำมันดิบจากทะลายปาล์มลงสู่แหล่งน้ำได้อีกด้วย [24 - 25]

วอลเลซ ฮูม แคโรเธอส์ (W.H. Carothers) เป็นผู้คิดค้นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้นมาทดแทนที่พลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตเลียม [26] โดยมีพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) เป็นพลาสติกที่ถูกพัฒนามาใช้ในระบบอุตสาหกรรม จัดเป็นพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ [26 - 41] ถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2475 [31] โดยพอลิแลคติกแอซิดจัดเป็นพอลิเมอร์ (Polymers) ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ซึ่งได้จากผลผลิตทางการเกษตร [29] ที่ผ่านกระบวนการหมัก พืชจำพวกแป้ง และข้าวโพด [37] เพื่อเป็นการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานในเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทั้งในด้านวัตถุดิบกระบวนการผลิตและกระบวนการกำจัดของเสีย [33] ซึ่งเป็นทางเลือกให้กับผู้ผลิต และผู้บริโภคที่ต้องการวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์จากพอลิแลคติกแอซิด อาทิเช่น ไหมละลาย ช้อนส้อม แก้ว ถ้วย เสื้อผ้า และรองเท้า เป็นต้น แต่มีข้อเสีย คือราคาสูงจึงส่งผลทำให้มีการเลือกใช้งานน้อย ส่วนในการผลิตเส้นด้ายในปัจจุบันนั้นจะนิยมใช้เส้นใยสังเคราะห์จากเม็ดพลาสติก (Plastics) ที่ผ่านการสังเคราะห์ทางเคมี มีสารตั้งต้นจากอุตสาหกรรมปิโตเคมี [27 - 28] เนื่องจากมีราคาถูก

และมีความคงทนสูง ซึ่งพลาสติกเหล่านี้มีการย่อยสลายได้แต่ใช้ระยะเวลานานหรืออาจจะไม่ย่อยสลาย [26] ซึ่งส่งผลให้เกิดขยะที่ทำลายสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร จึงได้ทำการศึกษาวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน โดยการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี ส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย และทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิ-แลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน เพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของทะลายปาล์มน้ำมันที่เหลือทิ้งให้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและเกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น ช่วยลดปัญหาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากทะลายปาล์มน้ำมันและการใช้พลาสติก ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดปัญหาภาวะโลกร้อน และนอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอให้ได้รับความสนใจ และกระตุ้นเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี

1.2.2 เพื่อศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย

1.2.3 เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่มีอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน มีสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายไม่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน นำมาจากส่วนที่เหลือจากการสกัดน้ำมันดิบแล้ว จาก บริษัท ตรังปาล์มน้ำมัน จำกัด ตำบลนาเมืองเพชร อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

1.4.2 การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน มีการควบคุมอุณหภูมิที่จุดเดือด และระยะเวลาในการต้ม 60 นาที

1.4.3 เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ขึ้นรูปแบบหลอมเหลวด้วยหัวดายแบบซลิท

1.4.4 การทดสอบเส้นใยและเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วย 7 การทดสอบ คือ การทดสอบลักษณะและสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ร้อยละการหดตัวของเส้นด้าย ความแข็งแรงตามความยาวและค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย เบอร์เส้นด้าย ความหนาและความกว้างของเส้นด้าย และสมบัติความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบถึงเทคนิคการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี เพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณน้ำมันหรือไขมันในเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

1.5.2 ได้ทราบถึงอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย เพื่อเป็นแนวทางในการผลิต ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ และเคหะสิ่งทอ

1.5.3 ได้ทราบถึงสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน และเพิ่มทางเลือกใหม่ในการเลือกใช้เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันแทนการใช้เส้นด้ายจากเส้นใยสังเคราะห์

1.5.4 ได้เพิ่มมูลค่าทะลายปาล์มน้ำมัน และลดปริมาณวัสดุเศษเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ก่อให้เกิดมลพิษลงในแหล่งน้ำของชุมชน อีกทั้งช่วยลดการเผาทำลายที่ส่งผลต่อปัญหาสภาวะโลกร้อน

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี ศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย และทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 ความรู้เกี่ยวกับปาล์มน้ำมัน

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของปาล์มน้ำมัน

2.1.2 ลักษณะของปาล์มน้ำมัน

2.1.3 สายพันธุ์ปาล์มน้ำมัน

2.1.4 สายพันธุ์ผสมของปาล์มน้ำมัน

2.1.5 พื้นที่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

2.2 การสกัดน้ำมันปาล์ม

2.2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

2.2.2 ผลผลิตปาล์มน้ำมันของโลก

2.2.3 ผลผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทย

2.2.4 วัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการสกัดปาล์มน้ำมัน

2.2.5 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส

2.3 พลาสติกย่อยสลายได้

2.3.1 ความหมายของพลาสติกย่อยสลายได้

2.3.2 พอลิแลคติกแอซิด

2.3.3 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด

2.3.4 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิด

2.3.5 ผลิตภัณฑ์ของพอลิแลคติกแอซิด

2.4 การผลิตเส้นใยสังเคราะห์

2.4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

2.4.2 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นแห้ง

2.4.3 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นเปียก

2.4.4 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นหลอมเหลว
2.4.5 พอลิเมอร์ผสม
2.5 การผลิตเส้นด้าย
2.5.1 ความรู้เกี่ยวกับเส้นด้าย
2.5.2 สิ่งทอเทคนิค
2.5.3 การทดสอบเส้นด้าย
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับปาล์มน้ำมัน

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm) เป็นพืช ที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกาและบริเวณริมฝั่งทะเลตะวันตก ตั้งแต่ประเทศเซเนกัลจนกระทั่งถึงประเทศแองโกลา [19] ชาวโปรตุเกสได้นำต้นปาล์มน้ำมันเข้ามาในทวีปเอเชียครั้งแรกทภายในประเทศอินโดนีเซียเมื่อปี พ.ศ. 2391 นำเข้ามาปลูกที่สวนพฤกษชาติโบกอร์ เกาะชวา เป็นสายพันธุ์ดูร่า (Dura) จำนวนทั้งหมด 4 ต้น หลังจากนั้นได้คัดเลือกพันธุ์และขยายพันธุ์ดูร่า (Dura) เพื่อนำไปปลูกต่อที่เมืองเดลี (Deli) ทางตอนเหนือของเกาะสุมาตราในช่วงปี พ.ศ. 2396 และเริ่มปลูกต้นปาล์มน้ำมันเป็นการค้าเมื่อปี พ.ศ. 2460 สำหรับประเทศมาเลเซียนั้นได้มีการนำเมล็ดปาล์มน้ำมันจากเมืองเดลี (Deli) เข้ามาปลูกครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2454 - 2455 ซึ่งเป็นปาล์มน้ำมันพันธุ์ดูร่า (Dura) จึงเรียกพันธุ์ปาล์มน้ำมันนี้ว่า เดลีดูร่า (Deli Dura) ต่อมาได้รับความสนใจ และมีการค้นคว้าวิจัยอีกครั้ง เริ่มปลูกเป็นการค้าครั้งแรกในปี พ.ศ. 2460 จนถึงปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2485 พระยาประดิพัทธภูบาล ได้นำเข้าพันธุ์ปาล์มน้ำมันจากประเทศมาเลเซีย หรืออินโดนีเซียเข้ามาปลูกในประเทศไทย เพื่อปลูกเป็นไม้ประดับที่สถานีกสิกรรมพลิ้ว จังหวัดจันทบุรี และสถานีทดลองยางคอหงส์ จังหวัดสงขลา สำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้าในประเทศไทยครั้งแรกเริ่มต้นมาจาก หม่อมเจ้าอมรสสมานลักษณ์ กิติยากร ทรงปลูกที่ตำบลบ้านปริก อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา เป็นพื้นที่ประมาณ 1,000 ไร่ และยังการส่งเสริมให้ปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่นั้นเริ่มเมื่อปี พ.ศ. 2511 มีโครงการปลูกปาล์มน้ำมัน คือ โครงการนิคมสร้างตนเองพัฒนาภาคใต้ จังหวัดสตูล เป็นพื้นที่ประมาณ 20,000 ไร่ มีสมาชิกที่ปลูกปาล์มน้ำมันจำนวนทั้งหมด 1,645 คน โดยแบ่งปลูกเป็นคนละ 16 ไร่ นอกจากนี้ยังมีโครงการบริษัทอุตสาหกรรมน้ำมันและสวนปาล์มจำกัดหรือสวนเจียรวานิช ตำบลปลายพระยา อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ เป็นพื้นที่ประมาณ 20,000 ไร่ หลังจากนั้นจึงขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้น และขยายตัวอย่างรวดเร็ว [3, 42 - 45]

2.1.2 ลักษณะของปาล์มน้ำมัน

2.1.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน [3]

ชื่อวิทยาศาสตร์	*อีเลอีส กีนีเอ็นซิส (Elaeis Guineensis Jacq)*
ชื่อตระกูล	ปาล์ม (Palmae, Arecaceae)
ชื่อสามัญ	ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm), (African Oil Palm)
ชื่ออื่น	มะพร้าวลิง มะพร้าวหัวลิง หมากมัน
ชื่อย่อ	CPO
ถิ่นกำเนิด	แอฟริกา (Africa)

2.1.2.2 ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ลักษณะทั่วไปของต้นปาล์มน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 ต้นปาล์มน้ำมัน

ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมันสามารถแยกออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้ [16]

1) ราก

รากปาล์มน้ำมันเป็นระบบฝอยรากอ่อนจะงอกออกจากเมล็ดเป็นอันดับแรกเมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 2 - 4 เดือน รากอ่อนจะหยุดเจริญเติบโตและหายไป ระบบรากจริงจะงอกจากส่วนฐานของลำต้น ต้นปาล์มที่เจริญเติบโตเต็มที่นั้น ประกอบด้วยรากทั้งหมด 4 ชุด รากชุดแรกที่หยั่งลึกลงผิวดินช่วยยึดลำต้นบ้างเล็กน้อยมีความยาวประมาณ 3 - 4 เมตรจากลำต้น รากชุดที่ 2 3 และ 4 จะแตกแขนงออกมาตามลำดับทอดยาวไปตามแนวนอนและแนวดิ่ง จะเป็นระบบรากสานกัน

อย่างหนาแน่นอยู่บริเวณผิวดินระดับความลึกประมาณ 30 - 50 เซนติเมตร

2) ลำต้น

ลำต้นปาล์มน้ำมันตั้งตรงไม่มีกิ่งแขนง ประกอบด้วยข้อและปล้องที่มีความถี่จำนวนมาก แต่ละข้อจะมีทางใบเกิดวนรอบลำต้น ต้นปาล์มน้ำมันในระยะเวลา 3 ปีแรก มีการเจริญเติบโตทางด้านกว้าง สังเกตเห็นได้จากใบอยู่ติดกับลำต้นมีจำนวนมากกว่า 40 ใบ เมื่อต้นปาล์มน้ำมันมีอายุมากขึ้นจะเริ่มมีการตัดแต่งใบ ลำต้นจะมีการยืดขึ้นจนสังเกตเห็นฐานใบที่เป็นรอยตัดอยู่รอบ ๆ ลำต้น โดยทั่วไปนั้นลำต้นจะมีความสูงเพิ่มขึ้นประมาณ 35 - 60 เซนติเมตรต่อปี ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและพันธุกรรมของปาล์ม ต้นปาล์มน้ำมันมีความสูงได้มากกว่า 30 เมตร และมีอายุยืนนานมากกว่า 100 ปี แต่การปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อการค้านั้นไม่ควรมีความสูงเกิน 15 - 18 เมตร หรือมีอายุประมาณ 25 ปี

3) ใบ

ใบปาล์มน้ำมันเป็นใบรูปขนนก (Pinnate) แต่ละใบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแกนกลางที่มีลักษณะใบย่อยอยู่ 2 ข้าง ของส่วนก้านทางใบ ซึ่งมีขนาดสั้นกว่าส่วนแรกและมีหนามสั้น อยู่ 2 ข้าง แต่ละทางมีใบย่อยมีปริมาณ 100 - 160 คู่ แต่ละใบย่อยมีความยาวประมาณ 100 - 120 เซนติเมตร และมีความกว้างประมาณ 4 - 6 เซนติเมตร

4) ดอก

ดอกของปาล์มน้ำมันจะเริ่มออกดอกเมื่อต้นปาล์มน้ำมันมีอายุประมาณ 3 ปี ปาล์มน้ำมันเป็นพืชผสมข้ามดอกมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอาศัยอยู่บนต้นเดียวกัน ดอกจะเกิดในตำแหน่งของก้านใบที่แตกต่างกัน บางครั้งอาจจะมีดอกกะเทยเกิดขึ้น ดอกกะเทย คือ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อเดียวกัน ช่อดอกที่ออกมาจะถูกหุ้มด้วยกาบหุ้มช่อดอก ซึ่งกาบหุ้มนี้จะเปิดออกในระยะเวลาประมาณ 6 - 8 สัปดาห์ ก่อนดอกบาน

5) ทะลายปาล์มน้ำมัน

ทะลายปาล์มน้ำมันประกอบด้วย ช่อทะลายปาล์มน้ำมันย่อย ก้านทะลายปาล์มน้ำ และผลในแต่ละทะลายปาล์มน้ำมันมีปริมาณผลประมาณร้อยละ 45 - 70 ของทะลายปาล์มน้ำมัน เมื่อสุกแก่เต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 1 - 60 กิโลกรัม แปรไปตามอายุของต้นปาล์มน้ำมันและปัจจัยสิ่งแวดล้อม สำหรับการปลูกเป็นการค้าต้องการทะลายปาล์มน้ำมันที่มีน้ำหนักประมาณ 10 - 25 กิโลกรัม ซึ่งจำนวนทะลายปาล์มน้ำมันต่อต้นก็มีความแตกต่างกัน

6) ผลและเมล็ด

ผลและเมล็ดของปาล์มน้ำมัน จะเกิดขึ้นหลังจากดอกตัวเมียได้รับการผสมเป็นระยะเวลาประมาณ 6 เดือน ผลจะสุกพร้อมกัน แต่การสุกของผลนั้นจะสุกช้า หรือสุกเร็วขึ้นอยู่กับ

ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา ถ้าฝนตกสม่ำเสมอผลปาล์มน้ำมันจะสุกพร้อมกันทั้งทะลายปาล์มน้ำมัน ผลปาล์มมีน้ำหนักประมาณ 3 - 30 กรัม ซึ่งประกอบด้วยผิวเปลือกนอก (Exocarp) ชั้นเปลือกนอก (Mesocarp) เป็นเนื้อเยื่อเส้นใยสีส้มแดง เมื่อสุกและมีน้ำมันอยู่ในชั้นนี้ผลปาล์มน้ำมันจำแนกลักษณะผล (Fruit Type) ได้ 3 แบบ ดังนี้

(1) ดูร่า (Dura) มีกะลาหนาประมาณ 2 - 8 มิลลิเมตร และไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกบางประมาณร้อยละ 35 - 60 ของน้ำหนักผล

(2) เทเนอรา (Tenera) มีกะลาบางมีขนาดตั้งแต่ 0.5 - 4 มิลลิเมตร มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกจำนวนมากประมาณร้อยละ 60 - 90 ของน้ำหนักผล ลักษณะของเทเนอราเกิดจากการผสมข้ามระหว่างลักษณะดูรากับพิสิเฟอรา

(3) พิสิเฟอรา (Pisifera) เป็นยีนควบคุมลักษณะผล แบบนี้จัดเป็นลักษณะยีนด้อย (Recessive, Sh-Sh-) ลักษณะผลไม่มีกะลาหรือมีกะลาบาง มีข้อเสีย คือ ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน (Abortion) ทำให้ผลฝ่อลีบทะลายปาล์มน้ำมันเล็กเนื่องจากผลไม่มีการพัฒนาผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันต่ำมาก

2.1.3 สายพันธุ์ปาล์มน้ำมัน

2.1.3.1 เดลีดูร่า (Deli Dura)

เดลีดูร่า จัดเป็นปาล์มน้ำมันพันธุ์ดูร่า (Dura) ที่ใช้เป็นแม่พันธุ์แพร่หลายมาก แหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์เป็นพันธุ์ที่แหล่งปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมันเกือบทุกแห่งทั่วโลกคัดเลือกเป็นต้นแม่พันธุ์ในการผลิตเมล็ดแหล่งพันธุ์นี้มีความเป็นมาจากชาวโปรตุเกสที่ได้มีการนำเข้าต้นปาล์มน้ำมันมาสู่ประเทศอินโดนีเซียจากนั้นประเทศอินโดนีเซียได้คัดเลือกพันธุ์ และขยายพันธุ์ดูร่านำไปปลูกที่เมืองเดลี ต่อมาทางประเทศมาเลเซีย ซึ่งได้เริ่มนำเมล็ดปาล์มน้ำมันจากเมืองเดลีเข้ามาปลูกภายในประเทศมาเลเซีย เป็นต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์ดูร่า จึงเรียกต้นปาล์มน้ำมันนี้ว่า เดลีดูร่า การปรับปรุงพันธุ์ทุกแห่งที่ใช้ เดลีดูร่า เป็นปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะต้นเตี้ย ลำต้น และทะลายปาล์มน้ำมันใหญ่ การติดผลสูงใช้เป็นแม่พันธุ์ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ในประเทศอินโดนีเซีย [20]

2.1.3.2 แอฟริกัน ดูร่า (African Dura)

แอฟริกัน ดูร่า จัดเป็นปาล์มน้ำมันพันธุ์แม่ดูร่าที่มีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปแอฟริกา ทางศูนย์วิจัยในประเทศแถบแอฟริกานิยมใช้เป็นแม่พันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์ แต่แม่พันธุ์ชนิดนี้ยังมีข้อด้อย คือ ลำต้นสูงเร็ว และขนาดทะลายปาล์มน้ำมันเล็ก [20]

2.1.3.3 แอปรอส (Avros)

แอปรอส จัดเป็นพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นพันธุ์พ่อ โดยสถาบันแอปรอส (Avros) ที่ประเทศอินโดนีเซียได้รับพันธุ์มาจากประเทศแซร์ คัดเลือกได้สายพันธุ์ที่ดีเด่นเรียกว่า เอสพี

ห้าสี่ศูนย์ (SP540) ที่มีลักษณะดี ซึ่งเลือกใช้ไปเป็นพ่อพันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์ และผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเดลีแอปรอส (Deli Avros) ที่มีลักษณะลำต้นสูงเร็ว กะลาบาง ผลเป็นรูปไข่ ผลให้ผลิตน้ำมันสูงและมีลักษณะค่อนข้างสม่ำเสมอ [20]

2.1.3.4 ยังกัมบิ (Yangambi)

ยังกัมบิ จัดเป็นปาล์มน้ำมันพันธุ์พ่อที่มีพันธุกรรมใกล้ชิดกับแอปรอส ที่มีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศแซร์ ทวีปแอฟริกา ลักษณะลูกผสมที่มีพันธุ์พ่อกลุ่ม ยังกัมบิ จะมีลักษณะคล้ายลูกผสมที่มีพันธุ์พ่อจากกลุ่มพันธุ์แอปรอส [20]

2.1.3.5 ลาเม่ (La Me)

ลาเม่ จัดเป็นปาล์มน้ำมันลักษณะของลูกผสมที่มีพ่อพันธุ์ คือ กลุ่มลาเม่ ที่มีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศไอวอรีโคสต์ (Ivory Coast) จะมีต้นเตี้ย ผลเล็ก มีลักษณะเป็นรูปหยดน้ำ ทะลายปาล์มน้ำมันมีขนาดเล็ก กะลาหนากว่าลูกผสมชนิดอื่น ขนาดเมล็ดในเล็กแต่ให้ปริมาณน้ำมันสูง ลักษณะเด่น คือ ก้านทะลายปาล์มน้ำมันยาว ทำให้การเก็บเกี่ยวง่าย สถาบันซีหราดไออาร์เอชโอ (Cirad Irho) [20]

2.1.3.6 อีโคนา (Ekona)

อีโคนา จัดเป็นปาล์มน้ำมันพันธุ์ที่มีการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์ในประเทศแคเมอรูน (Cameroon) ลักษณะต้นเตี้ย แต่ให้น้ำมันสูงกว่าพันธุ์จากกลุ่มชนิดอื่น แต่ผลผลิตน้ำมันด้อยกว่าลูกผสมเดลีแอปรอสเล็กน้อย ในปัจจุบันบริษัทเอเอสดี (ASD) ประเทศคอสตาริก้า (Costa Rica) ผลิตลูกผสมเดลีอีโคนา (Deli Ekona) จำหน่ายส่วนเชื้อพันธุ์อีโคนาที่มีการรวบรวมเชื้อพันธุ์จากเมืองบาเมนดา (Bamenda) ซึ่งเป็นเขตที่สูงอากาศหนาวเย็น ลักษณะของปาล์มน้ำมันพันธุ์นี้จึงมีการปรับตัวกับสภาพอุณหภูมิต่ำได้ [20]

2.1.3.7 คาลาบาร์ (Calabar)

คาลาบาร์ จัดเป็นสายพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่มีถิ่นกำเนิดจากประเทศไนจีเรีย ทวีปแอฟริกา ลูกผสมที่ใช้คาลาบาร์เป็นพันธุ์พ่อ มีการเจริญเติบโตได้ดีในสภาพฝนตก ความชื้นสูง และในสภาพที่แสงแดดน้อยต่ำกว่า 360 แคลอรีต่อเซนติเมตรต่อวัน สีของผลเป็นแบบผลดิบมีสีเขียว จะมีการเปลี่ยนเป็นสีส้มเมื่อผลสุก ในปัจจุบันบริษัทเอเอสดี (ASD) ประเทศคอสตาริก้า (Costa Rica) ได้ผลิตพันธุ์ลูกผสมเดลีคาลาบาร์ (Deli Calabar) จัดจำหน่าย [20]

2.1.3.8 แทนซาเนีย (Tanzania)

แทนซาเนีย จัดเป็นสายพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่มีถิ่นกำเนิดเดิมจากประเทศแทนซาเนีย และเชื้อพันธุ์นี้มีลักษณะเด่นที่ปรากฏ คือ กะลาบาง ในปัจจุบันบริษัทเอเอสดี (ASD) ประเทศคอสตาริก้า (Costa Rica) ได้ผลิตพันธุ์ลูกผสมเดลีแทนซาเนีย (Deli Tanzania) จัดจำหน่าย[20]

2.1.4 สายพันธุ์ผสมของปาล์มน้ำมัน

2.1.4.1 คอมแพ็คกาน่า

คอมแพ็คกาน่า มีอายุ 4 ปี ลำต้นสูงโตช้าเฉลี่ยประมาณ 40 - 45 เซนติเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำมันสูงมากกว่าร้อยละ 30 น้ำหนักของทะลายปาล์มน้ำมันเฉลี่ยประมาณ 18 - 22 กิโลกรัม เมื่อโตเต็มที่สามารถทนแล้งได้ปานกลางถึงสูง ลักษณะของขนาดทางใบยาวประมาณ 6.6 - 6.9 เมตร พื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกได้ประมาณ 22 ต้น และให้ผลผลิตสูงถึงประมาณ 5 ตันต่อไร่ต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์คอมแพ็คกาน่า
ที่มา : [46]

2.1.4.2 คอมแพ็คไนจีเรีย

คอมแพ็คไนจีเรีย มีอายุ 4 ปี ลำต้นสูงโตช้าเฉลี่ยประมาณ 40 - 45 เซนติเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 28 - 30 น้ำหนักของทะลายปาล์มน้ำมันเฉลี่ยประมาณ 22 - 30 กิโลกรัม เมื่อโตเต็มที่สามารถทนแล้งได้ปานกลางถึงสูง ลักษณะของขนาดทางใบยาวประมาณ 6.6 - 6.9 เมตร พื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกได้ประมาณ 22 ต้น ผลผลิตสูง 5 ตันต่อไร่ต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์คอมแพ็คไนจีเรีย
ที่มา : [46]

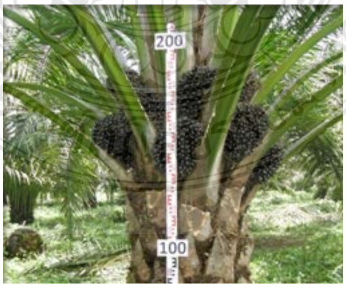
2.1.4.3 เดลีคอมแพ็ค

เดลีคอมแพ็ค มีอายุ 5 ปี ลำต้นสูงโตช้าเฉลี่ยประมาณ 40 - 45 เซนติเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำมันสูงมากกว่าร้อยละ 30 น้ำหนักของทะลายปาล์มน้ำมันเฉลี่ย ประมาณ 22 กิโลกรัม เมื่อโตเต็มที่สามารถทนแล้งได้ปานกลางถึงสูง ลักษณะของขนาดทางใบยาวประมาณ 6.6 - 6.9 เมตร พื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกได้ประมาณ 22 ต้นผลผลิตสูง 5 ตัน ต่อไร่ต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เดลีคอมแพ็ค
ที่มา : [46]

2.1.4.4 เดลีกาน่า

เดลีกาน่า มีอายุ 5 ปี ลำต้นสูงโตช้าเฉลี่ยประมาณ 50 - 55 เซนติเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำมันสูงร้อยละ 28 - 30 น้ำหนักของทะลายปาล์มน้ำมันเฉลี่ยประมาณมากกว่า 22 กิโลกรัม เมื่อโตเต็มที่สามารถทนแล้งได้ปานกลางถึงสูง ลักษณะขนาดทางใบยาวประมาณ 7.0 - 7.3 เมตร พื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกได้ประมาณ 22 ต้น ผลผลิตสูง 4 ตันต่อไร่ต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เดลีกาน่า
ที่มา : [46]

2.1.4.5 เดลีไนจีเรียแบล็ค

เดลีไนจีเรียแบล็ค มีอายุ 5 ปี ลำต้นสูงโตช้าเฉลี่ยประมาณ 50 - 55 เซนติเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำมันสูงร้อยละ 28 - 30 น้ำหนักของทะลายปาล์มน้ำมันเฉลี่ยประมาณมากกว่า 22 กิโลกรัม เมื่อโตเต็มที่สามารถทนแล้งได้สูง ลักษณะขนาดทางใบยาวประมาณ 7.6 - 8.0 เมตร พื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกได้ประมาณ 22 ต้น ผลผลิตสูง 4 ตันต่อไร่ต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เดลีไนจีเรียแบล็ค
ที่มา : [46]

2.1.4.6 อเมซอน

อเมซอน มีอายุ 18 ปี ลำต้นสูงโตช้าเฉลี่ยประมาณ 25 - 30 เซนติเมตรต่อปีมีปริมาณน้ำมันสูง ร้อยละ 20 - 21 น้ำหนักของทะลายปาล์มน้ำมันเฉลี่ยประมาณมากกว่า 22 กิโลกรัม เมื่อโตเต็มที่สามารถทนแล้งได้ปานกลาง ลักษณะขนาดทางใบยาวประมาณ 7.0 - 7.5 เมตร พื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกได้ประมาณ 22 ต้น ผลผลิตสูงถึง 4 ตันต่อไร่ต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์อเมซอน
ที่มา : [46]

2.1.4.7 ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1 (Deli x Calabar)

ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1 ให้ผล ผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดเฉลี่ยประมาณ 3,450 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดสูงสุดประมาณ 4,572 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดต่ำสุดประมาณ 2,014 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีปริมาณน้ำมันต่อทะลายปาล์มน้ำมันประมาณร้อยละ 26 ปริมาณผลผลิตน้ำมันดิบประมาณ 897 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ปริมาณเปลือกนอกต่อผลประมาณร้อยละ 85 ปริมาณกะลาต่อผลประมาณร้อยละ 9 ปริมาณเนื้อในต่อผลประมาณร้อยละ 7 ลักษณะเด่น ร้อยละ 50 ของจำนวนต้นมีผลสุกสีส้มสังเกตได้ง่ายเมื่อเก็บเกี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.8 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1
ที่มา : [47]

2.1.4.8 ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 2 (Deli x La Me)

ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 2 ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดเฉลี่ยประมาณ 3,617 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดสูงสุดประมาณ 5,020 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดต่ำสุดประมาณ 2,681 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีปริมาณน้ำมันต่อทะลายปาล์มน้ำมันประมาณร้อยละ 23 ปริมาณผลผลิตน้ำมันดิบประมาณ 839 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ปริมาณเปลือกนอกสดต่อผลประมาณร้อยละ 76 ปริมาณกะลาต่อผลประมาณร้อยละ 13 ปริมาณเนื้อในต่อผลประมาณร้อยละ 10 ลักษณะเด่นให้ผลผลิตสม่ำเสมอก้านทะลายปาล์มน้ำมันยาวเก็บเกี่ยวง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 2
ที่มา : [47]

2.1.4.9 ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 3 (Deli x DAMI)

ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 3 ให้ปริมาณผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดเฉลี่ยประมาณ 2,939 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดสูงสุดประมาณ 3,683 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดต่ำสุดประมาณ 2,054 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีปริมาณน้ำมันต่อทะลายปาล์มน้ำมันประมาณร้อยละ 27 ปริมาณผลผลิตน้ำมันดิบประมาณ 779 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ปริมาณเปลือกนอกสดต่อผลประมาณร้อยละ 84 ปริมาณเนื้อในต่อผลประมาณร้อยละ 7 ลักษณะเด่น น้ำมันต่อทะลายปาล์มน้ำมันสูงดังแสดงในรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 3
ที่มา : [47]

2.1.4.10 ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 4 (Deli x EKONA)

ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 4 ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดเฉลี่ยประมาณ 3,349 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดสูงสุดประมาณ 4,562 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิต

ทะลายปาล์มน้ำมันสดต่ำสุดประมาณ 2,562 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีปริมาณน้ำมันต่อทะลายปาล์มน้ำมันประมาณร้อยละ 25 ปริมาณผลผลิตน้ำมันดิบประมาณ 831 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ปริมาณเปลือกนอกสดต่อผลประมาณร้อยละ 84 ปริมาณเนื้อในต่อผลประมาณร้อยละ 9 ลักษณะเด่น ให้ผลผลิตค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 4
ที่มา : [47]

2.1.4.11 ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 5 (Deli x Nigeria)

ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 5 ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดเฉลี่ยประมาณ 3,054 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดสูงสุดประมาณ 3,975 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดต่ำสุดประมาณ 2,329 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี มีปริมาณน้ำมันต่อทะลายปาล์มน้ำมันประมาณร้อยละ 26 ปริมาณผลผลิตน้ำมันดิบประมาณ 788 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ปริมาณเปลือกนอกสดต่อผลประมาณร้อยละ 80 ปริมาณกะลาต่อผลประมาณร้อยละ 14 ปริมาณเนื้อในต่อผลประมาณร้อยละ 6 ลักษณะเด่นร้อยละ 50 ของจำนวนต้นมีผลสุกสีส้มสังเกตได้ง่ายเมื่อเก็บเกี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.12 ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลูกผสมสุราษฎร์ธานี 5
ที่มา : [47]

2.1.5 พื้นที่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

พื้นที่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันปี พ.ศ. 2558 - 2561 ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พื้นที่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันปี พ.ศ. 2558 - 2561

ประเทศ/ภาค	เนื้อที่ให้ผลผลิต (ไร่)			
	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561
รวมทั้งประเทศ	4,276,240	4,383,752	4,773,615	4,988,745
ภาคเหนือ	41,761	58,955	67,199	73,502
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	94,556	83,255	96,727	107,238
ภาคกลาง	441,762	430,170	464,061	471,238
ภาคกลาง	441,762	430,170	464,061	471,238
ภาคใต้	3,698,161	3,811,372	4,145,628	4,336,144

ที่มา : [48 - 49]

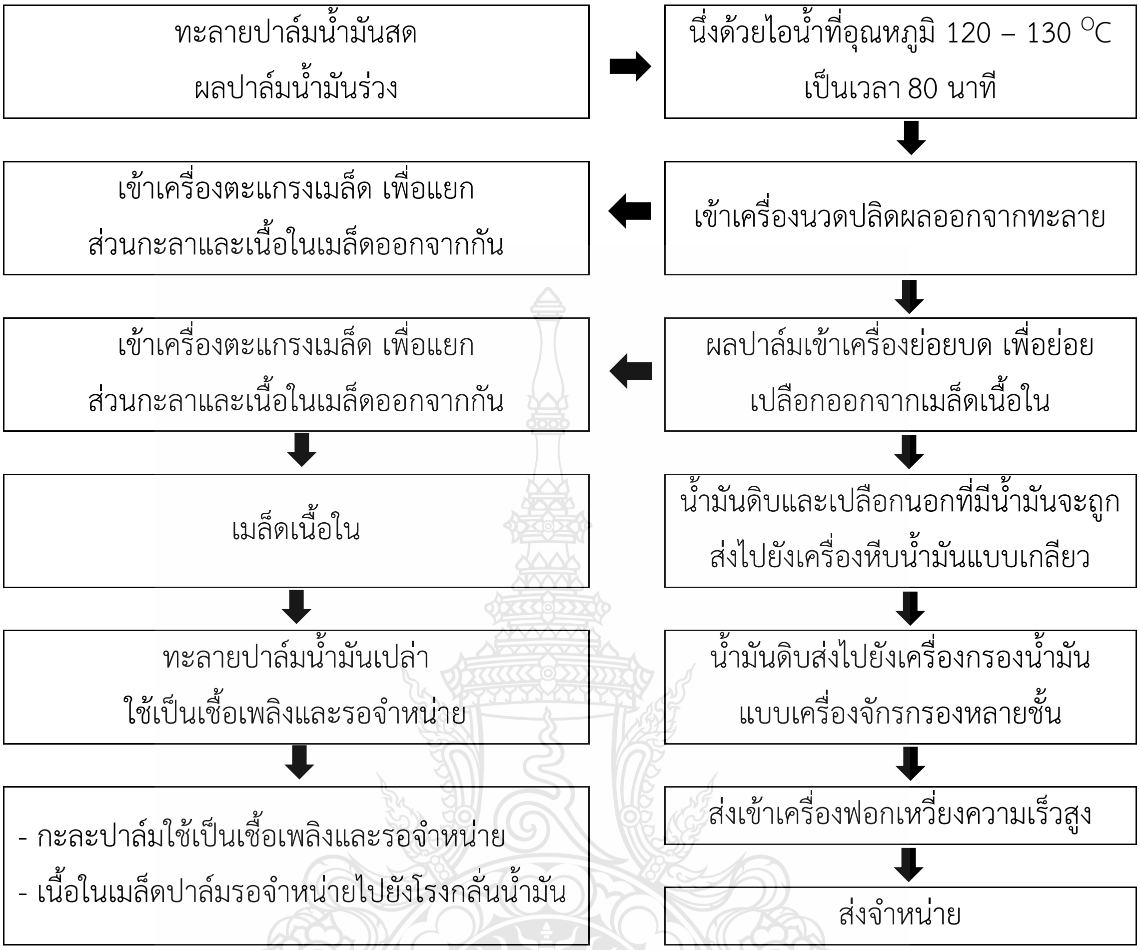
2.2 การสกัดน้ำมันปาล์ม

2.2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

ผลปาล์มน้ำมันมีส่วนที่สามารถให้น้ำมันได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อของผลปาล์มซึ่งอยู่บริเวณระหว่างเปลือกกับกะลา และจากส่วนของเอ็นโดสเปิม ซึ่งอยู่ภายในกะลาหรือภายในเมล็ดของปาล์มน้ำมัน น้ำมันจากแต่ละส่วนมีสมบัติบางอย่างที่แตกต่างกัน การสกัดน้ำมันปาล์มในระบบอุตสาหกรรม ซึ่งมีกระบวนการสกัดทั้งหมด 2 กระบวนการ คือ การผลิตน้ำมันปาล์มดิบและการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

2.2.1.1 การผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการผลิตน้ำมันดิบ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ
ที่มา : ดัดแปลงมาจาก [17]

2.2.1.2 การกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ [17]

การกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีทั้งหมด 2 ระบบ คือ ระบบการทางกายภาพและระบบการทางเคมี

1) ระบบการทางกายภาพ

คือ กระบวนการนำน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดสิ่งเจือปนจำพวกฟอสฟาไทด์ออกโดยใช้กรดฟอสฟอริก สารที่เจือปนอยู่จะรวมตัวกันเป็นก้อน ฟอกสีน้ำมันโดยใช้ดินฟอกสีและผ่านเข้าเครื่องกรอง เพื่อแยกนำดินฟอกสีและตะกอนของสิ่งเจือปนออกจากน้ำมัน หลังจากนั้นนำเข้าไปยังกระบวนการกำจัดกรดและกลิ่น เพื่อแยกเอากรดไขมันอิสระ แอสดีไซด์ และคีโตน ออกโดยใช้วิธีการ

พ่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 230 - 240 องศาเซลเซียส ภายใต้สุญญากาศใช้เวลา 1 - 2 ชั่วโมง จะได้น้ำมันที่เรียกว่า น้ำมันอาร์บีดี

2) ระบบการทางเคมี

คือ กระบวนการที่ใช้สารเคมีเกือบทุกขั้นตอน ดังนั้นต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง เริ่มต้นจากนำน้ำมันปาล์มดิบมาผ่านแยกฟอสฟาไรด์ออกก่อน โดยใช้กรดฟอสฟอริค หลังจากนั้นนำเข้าไปยังกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ขั้นตอนนี้ จะใช้ไขสบู่ที่มีกรดไขมันอิสระไม่เกินประมาณร้อยละ 0.3 จากนั้นนำน้ำมันไปไล่ความชื้นและฟอกสี โดยใช้ดินฟอกสี กรองดินฟอกสีออกผ่านไปยังขบวนการกำจัดกลิ่น โดยใช้ไอน้ำเพื่อนำเอากรดที่เหลืออยู่พร้อมทั้งแอลดีไฮด์ และคีโตน ซึ่งเป็นตัวทำให้น้ำมันหืนออก นอกจากนี้ยังฟอกสีน้ำมันได้ด้วย น้ำมันที่ได้จะบริสุทธิ์ซึ่งเรียกว่า น้ำมันอาร์บีดี

2.2.2 ผลผลิตปาล์มน้ำมันของโลก [50]

2.2.2.1 การผลิตน้ำมันปาล์มปี พ.ศ. 2558 - 2560

ผลผลิตน้ำมันปาล์มของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 1.93 ต่อปี เริ่มต้นตั้งแต่ในปี พ.ศ. 2558 - 2559 มีผลผลิตน้ำมันปาล์มประมาณ 58.83 ล้านตัน หลังสถานการณ์ภัยแล้งเริ่มคลี่คลายลงส่งผลให้ปี พ.ศ. 2559 - 2560 มีผลผลิตน้ำมันปาล์มประมาณ 62.29 ล้านตัน เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 5.88 โดยในปี พ.ศ. 2558 - 2559 ประเทศอินโดนีเซียสามารถผลิตน้ำมันปาล์มทั้งหมดประมาณ 32.00 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2559 - 2560 มีผลผลิตน้ำมันปาล์มประมาณ 34.00 ล้านตัน เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 6.25 ส่วนผลผลิตน้ำมันของประเทศมาเลเซียในปี พ.ศ. 2558 - 2559 สามารถผลิตน้ำมันปาล์มทั้งหมดประมาณ 17.70 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2559 - 2560 มีผลผลิตน้ำมันปาล์มประมาณ 18.96 ล้านตัน เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 7.12 ทั้งสองประเทศมีสัดส่วนการผลิตประมาณร้อยละ 85.02 ของผลผลิตน้ำมันปาล์มโลก ประเทศไทยผลิตน้ำมันปาล์มได้เป็นอันดับที่ 3 ของโลก และสามารถผลิตได้ประมาณ 2.00 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 3.21 ของผลผลิตน้ำมันปาล์มโลก

2.2.2.2 การตลาด

ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ ร้อยละ 1.80 ต่อปี ความต้องการใช้ในปี พ.ศ. 2558 - 2559 ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มของโลกประมาณ 59.32 ล้านตัน โดยปี พ.ศ. 2559 - 2560 มีความต้องการใช้น้ำมันปาล์มประมาณ 59.68 ล้านตัน เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 0.61 เนื่องจากมีการใช้พลังงานทางเลือกมากขึ้น ส่งผลทำให้ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อพลังงานทดแทนค่อนข้างทรงตัวประกอบกับราคาน้ำมันพืชทดแทนมีแนวโน้มลดลง ให้ความต้องการใช้น้ำมันปาล์ม ในตลาดโลกเริ่มทรงตัวในปี พ.ศ. 2559 - 2560 ประเทศที่ใช้น้ำมันปาล์มมากที่สุด คือ ประเทศ

อินเดียประมาณ 9.25 ล้านตัน รองลงมา คือ ประเทศอินโดนีเซียประมาณ 8.57 ล้านตัน ประเทศสหภาพยุโรป 6.40 ล้านตัน และประเทศจีนประมาณ 4.65 ล้านตัน ตามลำดับ

2.2.2.3 การส่งออกปี พ.ศ. 2558 - 2560

ปริมาณส่งออกน้ำมันปาล์มของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.74 ต่อปี โดยในปี พ.ศ. 2558 - 2559 มีปริมาณการส่งออกประมาณ 43.73 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2559 - 2560 มีปริมาณการส่งออกประมาณ 46.75 ล้านตัน เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 6.91 เนื่องจากประเทศอินโดนีเซียมีการส่งออกน้ำมันปาล์ม เพิ่มขึ้นร้อยละ 13.49 เพื่อลดปริมาณน้ำมันปาล์มภายในประเทศอินโดนีเซีย ประเทศผู้ส่งออกน้ำมันปาล์ม ที่สำคัญ ได้แก่ ประเทศอินโดนีเซียประมาณ 26.00 ล้านตัน และประเทศมาเลเซียประมาณ 16.30 ล้านตัน ตามลำดับทั้งสองประเทศรวมกันมีสัดส่วนการส่งออกสูงถึงร้อยละ 90.48 ของการส่งออกโลก

2.2.2.4 การนำเข้าน้ำมันปาล์มปี พ.ศ. 2558 - 2560

การนำเข้าน้ำมันปาล์มของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.04 ต่อปี โดยปี พ.ศ. 2559 - 2560 นำเข้าน้ำมันปาล์มประมาณ 44.02 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 42.61 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2558 - 2559 คิดเป็นร้อยละ 3.31 เนื่องจากประเทศอินเดีย และประเทศปากีสถานมีการนำเข้าน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น ประเทศผู้นำเข้าที่สำคัญ ได้แก่ ประเทศอินเดียประมาณ 9.00 ล้านตัน ประเทศสหภาพยุโรปประมาณ 6.50 ล้านตัน และประเทศจีนประมาณ 4.65 ล้านตัน ตามลำดับ

2.2.3 ผลผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทย

ผลผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทยข้อมูลจากคณะกรรมการพัฒนาคุณภาพข้อมูลด้านการเกษตร ในปี พ.ศ. 2560 ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2558 - 2561

ประเทศ/ภาค	ผลผลิต (ตัน)			
	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561
รวมทั้งประเทศ	11,015,872	11,420,070	13,513,884	14,745,878
ภาคเหนือ	33,864	55,356	62,428	79,449
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	96,141	105,352	122,290	141,196
ภาคกลาง	992,031	939,205	1,071,627	1,137,998
ภาคใต้	9,893,836	10,320,157	12,257,539	13,387,235

ที่มา : [48 - 49]

2.2.4 วัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการสกัดปาล์มน้ำมัน

ในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณปาล์มน้ำมัน 13,513,884 ตัน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์คาดการณ์ผลผลิตปาล์มน้ำมัน ในปี พ.ศ. 2561 จะมีปริมาณผลปาล์มน้ำมัน 14,745,878 ตัน โดยเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 9.12 [23] ซึ่งในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มนั้นจะได้น้ำมันดิบประมาณร้อยละ 25 ของการสกัด ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันดิบคิดเป็น 3,686,469.5 ตัน จากการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมัน ในปี พ.ศ. 2561 ก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการสกัดปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 30 คิดเป็น 4,423,763.4 ตัน เส้นใยร้อยละ 13 คิดเป็น 1,916,964.14 ตัน กะลาร้อยละ 6.8 คิดเป็น 1,002,719.7 ตัน น้ำเสียและตะกอนน้ำมันประมาณร้อยละ 16.7 คิดเป็น 2,462,561.63 ตัน [24] จะเห็นได้ว่ามีปริมาณของเสียจากกระบวนการสกัดสูงคิดเป็นร้อยละ 75 ของผลทะลายปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้

2.2.4.1 วัสดุของเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

วัสดุของเหลือที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด ได้แก่

1) ทะลายปาล์มน้ำมัน

ทะลายปาล์มน้ำมันซึ่งจัดเป็นวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่มีเหลือในจำนวนปริมาณสูงที่สุด ทะลายปาล์มน้ำมันสด 100 กิโลกรัม หลังกระบวนการสกัดน้ำมันแล้วจะได้ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าน้ำหนัก 26 - 59 กิโลกรัม [51 - 54] โดยทะลายปาล์มน้ำมัน มีองค์ประกอบของเซลลูโลสคิดเป็นร้อยละ 22.5 - 23.5 เฮมิเซลลูโลสคิดเป็นร้อยละ 24.5 - 27.8 และลิกนินคิดเป็นร้อยละ 24.0 - 26.6 [55] ในอดีตทะลายปาล์มน้ำมันก่อให้เกิดปัญหามากมายต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นแหล่งของการวางไข่ด้วงแรด คือ แมลงที่กัดกินยอดปาล์ม และมะพร้าว ดังนั้นโรงงานจึงต้องทำการเผาทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งทำได้ยากเนื่องจากทะลายปาล์มน้ำมันมีความชื้นสูง และอาจจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมถ้าหากมีการสะสมเป็นจำนวนมากของทะลายปาล์ม เมื่อฝนตกอาจจะก่อให้เกิดคราบน้ำมันจากทะลายปาล์มน้ำมันไหลลงสู่แหล่งน้ำได้ ในปัจจุบันมีการนำทะลายปาล์มน้ำมัน ไปใช้ประโยชน์หลากหลายด้าน อาทิเช่น

(1) วัสดุในการผลิตปุ๋ยหมัก

(2) วัตถุดิบเพื่อการผลิตเยื่อกระดาษได้

(3) ผลิตภัณฑ์แผ่นไม้อัด

(4) ผลิตก๊าซชีวภาพ

(5) ดูดซับสารไม่มีขั้ว

(6) วัสดุในการผลิตเอทานอล

(7) ผลิตไฮโดรเจน

(8) ผลิตไซโลส

(9) ผลิตแผ่นปาร์ติเกิล

(10) วัตถุดิบเพื่อการเพาะเห็ด

(11) วัตถุดิบเพื่อการผลิตกระดาษลูกฟูก

(12) ผลิตน้ำมันชีวภาพ

(13) ผลิตแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์

2) กากเส้นใยและเปลือกผลปาล์มน้ำมัน

กากเส้นใยเปลือกผลปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนของเปลือกนอกของผลปาล์มน้ำมันที่หีบน้ำมันออกแล้ว ซึ่งประกอบไปด้วยเซลลูโลสร้อยละ 19.00 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 15.20 และลิกนินร้อยละ 30.50 โดยปกติทางโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จะนิยมใช้กากเส้นใยเปลือกผลปาล์มเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อผลิตไอน้ำ (Boiler) เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะลายปาล์มน้ำมัน และผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงาน ในปัจจุบันมีการนำไปใช้ประโยชน์หลากหลายด้าน อาทิเช่น

(1) ผลิตปุ๋ยหมัก

(2) วัตถุดิบเพื่อการผลิตเยื่อกระดาษได้

(3) ผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์

(4) สารตัวเติมในยางธรรมชาติ

3) กะลา

กะลา ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อผลิตไอน้ำ (Boiler) และสามารถแปรรูปกะลาเป็นถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ยังสามารถนำเศษกะลามาเผาร่วมกับกากเส้นใยเปลือกผลปาล์มเป็นเถ้าปาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับผลผลิตอิฐคอนกรีต [58]

4) กากตะกอน

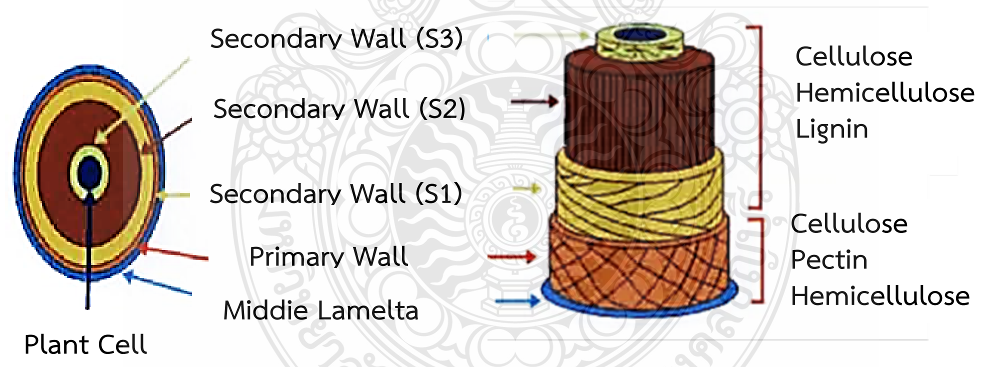
กากตะกอนเป็นวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมัน ซึ่งประกอบด้วยเศษของเปลือกผลปาล์มหรือสิ่งเจือปน ที่ปะปนอยู่ในน้ำมันปาล์ม สิ่งเจือปนเหล่านี้จะถูกแยกออกในขั้นตอนสุดท้ายของการสกัดน้ำมัน กากตะกอนมีโปรตีนคิดเป็นร้อยละ 14.81 และแคลเซียมคิดเป็นร้อยละ 1.08 สามารถใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับวัวนม นอกจากนั้นยังใช้ผสมกับทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าเปลือกผลปาล์ม เพื่อผลิตปุ๋ยหมักได้อีกด้วย [24]

2.2.5 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส

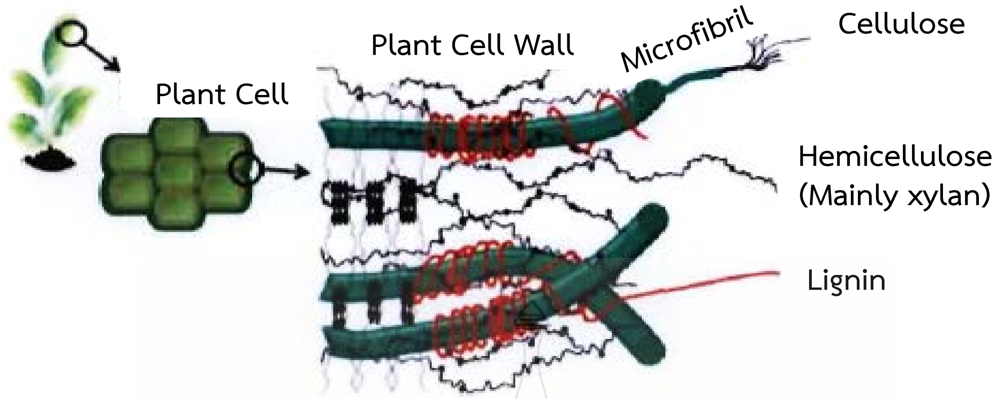
วัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มเกือบทุกชนิดจัดเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช และจัดเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายในน้ำ [22] มีรายละเอียดดังนี้

2.2.5.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 45 ของสารอินทรีย์ทั้งหมดในธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ในพืชชั้นสูงทุกชนิด (ดังแสดงในรูปที่ 2.14) ซึ่งมีส่วนประกอบของเซลลูโลสมากกว่าร้อยละ 97 - 99 จัดว่าเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ ที่ประกอบไปด้วยพอลิเมอร์เส้นตรง (Polymer Chain) เรียงขนานกัน และยึดกันด้วยแรงแผ่กระจาย (Dispersion Force) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) ภายในโมเลกุลเซลลูโลสจะยึดติดกันแน่น ทำให้เซลลูโลสทำปฏิกิริยากับสารได้ช้า เซลลูโลสในผนังเซลล์ชั้นที่ 1 หรือผนังเซลล์ปฐมภูมิ (Primary Cell Wall) ประกอบไปด้วยกลูโคสยาวประมาณ 2,000 โมเลกุล และไม่ต่ำกว่า 14,000 โมเลกุลในผนังเซลล์ชั้นที่ 2 หรือผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary Cell Wall) โดยโมเลกุลของเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ ตามยาวและเรียงขนานกันเป็นกลุ่ม 40 คู่ เรียกว่า ไมโครไฟบริล (Microfibril) เพื่อให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 ผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิและชั้นทุติยภูมิ
ที่มา : [59]



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของผนังเซลล์พืช
ที่มา : [60]

โครงสร้างของเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชชั้นสูง มี 3 แบบ (ดังแสดงในรูปที่ 2.16)

1) ฟริงจ์ไมเซลล์ (Fringe Micelle) ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous)

2) โครงสร้างของเซลลูโลสที่ม้วนหรือพับไปตามแกนของเส้นใยเซลลูโลส

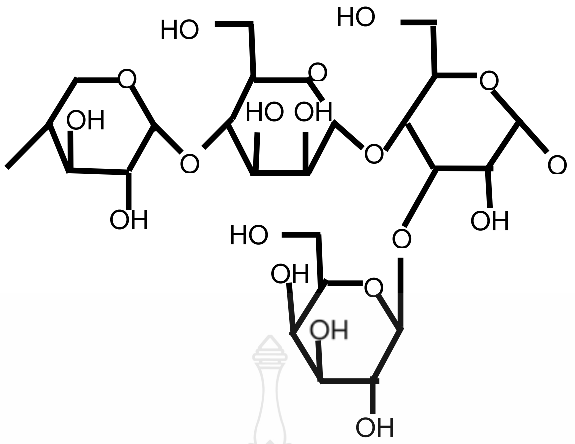
3) โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแบบริบบิ้นและม้วนเป็นเกลียว

โครงสร้างที่แตกต่างกัน 3 แบบ ก่อให้เกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลน้ำตาล ทำให้โมเลกุลไม่ต่อเนื่อง ในธรรมชาติจึงไม่พบเซลลูโลสในรูปอิสระแต่มักรวมเข้ากับลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เพนโตแซน กัม แทนนิน และไขมัน เป็นต้น ในด้านโครงสร้างทางเคมี เซลลูโลสเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบไปด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคส (Glucose) จำนวน 1,000 - 10,000 โมเลกุล การเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสมีลักษณะเป็นเส้นตรงไม่มีแขนงย่อยต่อกันเป็นพอลีเมอร์ (Polymer) เชื่อมกับพันธะเบต้า - 1, 4 - ไกลโคซิดิก (β - 1, 4 - Glycosidic Bond)

รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเซลลูโลส
ที่มา : [61]

2.2.5.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสพบได้ในส่วนของเนื้อเยื่อพืชโดยรวมอยู่กับลิกนิน และเซลลูโลสเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ซังข้าวโพด เป็นต้น เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิ-แซคคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งมีความคล้ายกับเซลลูโลส (ดังแสดงในรูปที่ 2.17) แต่ประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด อาทิเช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโน ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิกและกาแลกทูโรนิก

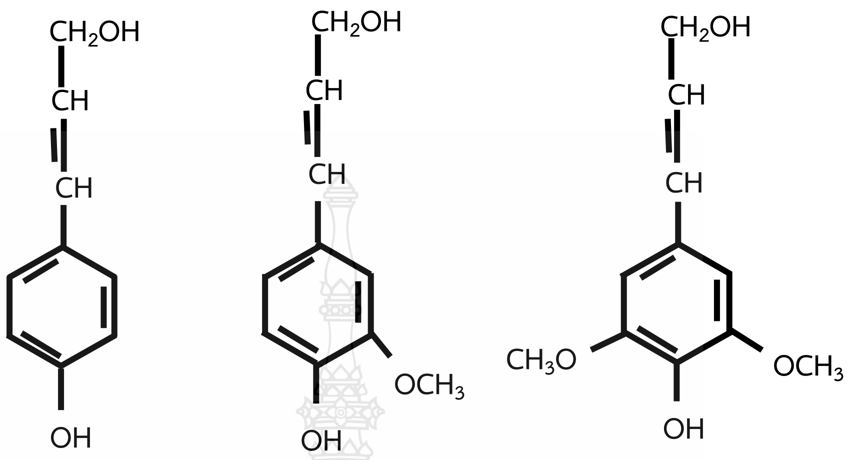


รูปที่ 2.17 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส
ที่มา : [62]

2.2.5.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินพบในพืชชั้นสูงที่มีลิกนินเป็นองค์ประกอบ อาทิเช่น พืชดอก (Angiosperms) พืชเมล็ดเปลือย (Gymnosperms) และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledons) ซึ่งเป็นกลุ่มพืชที่สำคัญ และมีจำนวนมากที่สุดบนพื้นผิวโลก ลำต้นของเนื้อไม้ พืชดอก (Angiosperms) ประกอบไปด้วยลิกนินร้อยละ 18 - 25 ของเนื้อเยื่อแห้ง ส่วนในพืชเมล็ดเปลือย (Gymnosperms) และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledons) ประกอบไปด้วยลิกนินร้อยละ 25 - 35 และร้อยละ 10 - 15 ของเนื้อเยื่อแห้ง ตามลำดับ ดังนั้นลิกนินจึงจัดเป็นองค์ประกอบสำคัญของพืชที่สามารถปรับตัวเพื่อการดำรงอยู่ได้ โครงสร้างของลิกนินมีหลายรูปแบบลิกนินเป็นสารโมเกกุลใหญ่ พบมากเป็นลำดับที่ 2 รองลงมาจากเซลลูโลส จะพบในกลุ่มของพืชที่มีท่อน้ำเลี้ยง ซึ่งทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่พืช ทำให้พืชต้านทานต่อแรงกดดัน และการบุกรุกของจุลินทรีย์ได้ สามารถพบลิกนินได้ทั้งในเฟิร์นและมอส แต่จะไม่พบใน ไบรโอไฟต์ รวมถึงพืชชั้นต่ำ [63] ลิกนินเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่สังเคราะห์ขึ้นจากหน่วยย่อยของสารกลุ่ม ฟีนิลโพรพานอยด์ (Phenylpropanoid) มีหน่วยย่อยทั้งหมด 3 ชนิด มีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช [65] หน่วยย่อยเหล่านี้จะจับตัวกันเป็นโครงสร้างสามมิติ ซึ่งจะเกิดการสร้างพันธะอีเธอร์ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่สี่ของวงแหวนฟีนอล กับคาร์บอนที่ตำแหน่งเบต้าแขนงข้าง (β Side Chain) โดย แขนงข้าง (Side Chain) ของลิกนินจะประกอบไปด้วย ซินนามิลแอลกอฮอล์ (Cinnamyl Alcohol) แอลดีไฮด์ (Aldehyde) และไฮดรอกซิลเตด (Hydroxylated) จะจับกันด้วยพันธะอีเธอร์ และการสร้างเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ทำให้โมเลกุลของลิกนินมีความแข็งแรง และทนต่อการย่อย

สลาย [66] (ดังแสดงในรูปที่ 2.18) สามารถพบลิกนินได้ในชั้นมิดเดิลลาเมลลา (Middle Lamella) ของพืช [63, 67]



รูปที่ 2.18 โครงสร้างสารโมเลกุลเดี่ยวสามชนิดที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ลิกนิน
ที่มา : [64]

2.3 พลาสติกที่ย่อยสลายได้

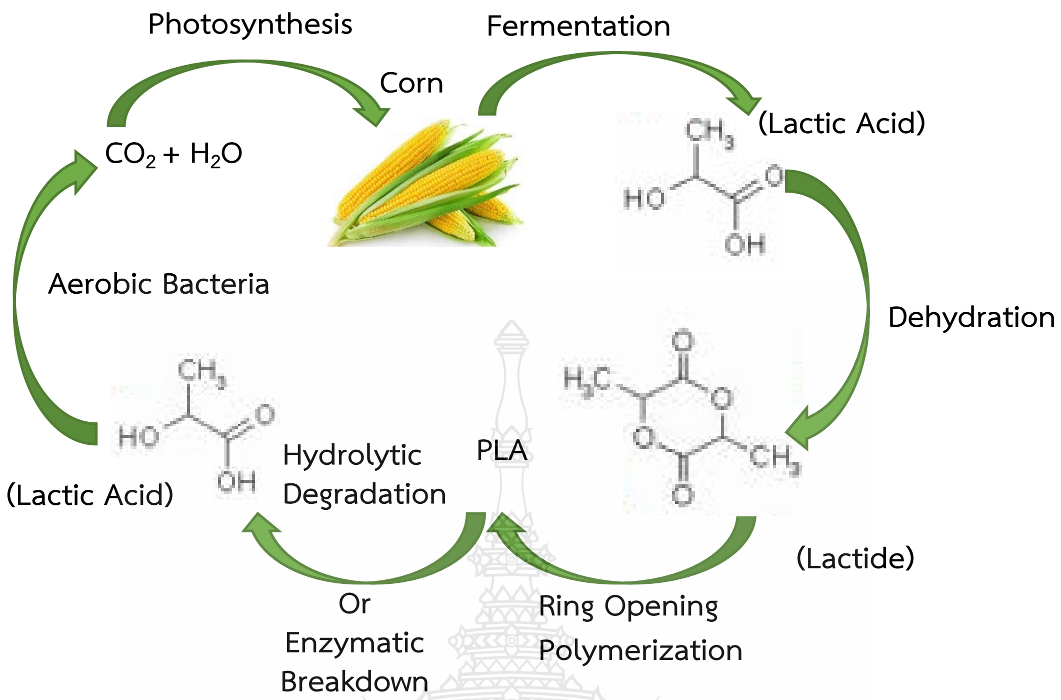
2.3.1 ความหมายของพลาสติกย่อยสลายได้

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นพลาสติกที่ได้มาจากพืช อาทิเช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตจากการเริ่มใช้เอนไซม์ย่อยแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส จากนั้นจึงนำมาผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่น (Polymerization) จนกระทั่งได้เป็นเม็ดพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ หรือที่รู้จักกันอีกชื่อหนึ่งว่า พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) ซึ่งมีสมบัติพิเศษที่สามารถย่อยสลายได้เปลี่ยนพอลิแลคติกแอซิดกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เมื่อนำไปฝังกลบในดินหลังจากมีการใช้งานเสร็จสิ้นแล้ว การย่อยสลายได้โดยใช้แสง (Photodegradation) มักเกิดจากการเพิ่มสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่อแสงลงในพลาสติก หรือสังเคราะห์พอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชัน หรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกง่ายภายใต้รังสียูวี (UV) อาทิเช่น หมู่คีโตน (Ketone Group) อยู่ในโครงสร้างเมื่อสาร หรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวี จะก่อให้เกิดการแตกหักของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ที่ไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่ พอลิเมอร์ ส่งผลให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่

การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะหรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มืด แม้ว่าพลาสติกจะมีการเติมแต่งด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง [33]

2.3.2 พอลิแลคติกแอซิด [24]

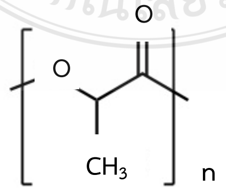
พอลิแลคติกแอซิดจัดเป็นพอลิเมอร์ (Polymer) ชีวภาพชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ตรง (Aliphatic Polyester) สามารถสังเคราะห์ได้จากกรดแลคติก (Lactic Acid) ซึ่งกรดแลคติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก อาทิเช่น มันสำปะหลัง ข้าวสาลี ข้าวโพด และอ้อยเป็นต้น จึงจะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ในกระบวนการผลิตนอกจากนั้นวัตถุดิบตั้งต้นเหล่านี้ยังสามารถหาได้ง่าย และยังไม่ส่งผลทำลายทรัพยากร ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง พอลิแลคติกแอซิดจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermo Plastic) สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้กันหลากหลาย อาทิเช่น การฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) การขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermo Forming) การอัดรีด (Extrusion) การอัดขึ้นรูป (Compression Molding) และการเป่าขึ้นรูป (Blew Molding) เป็นต้น การใช้งานผลิตภัณฑ์จากพอลิแลคติกแอซิด สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเมื่อนำไปฝังกลบในดินโดยใช้ระยะเวลาอันสั้น เมื่อเทียบกับพลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี วัฏจักรของพอลิแลคติกแอซิด แสดงดังในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 วัฏจักรของพอลิแลคติกแอซิด
ที่มา : [68]

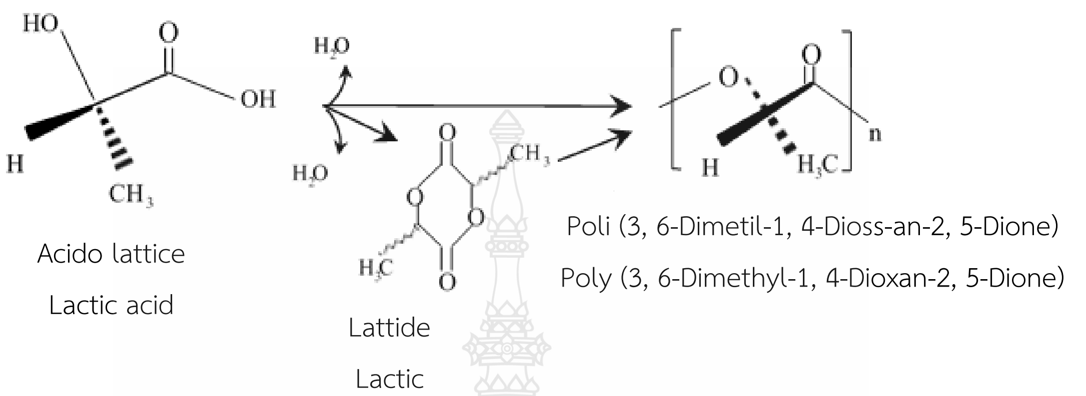
พอลิแลคติกแอซิด กลายเป็นทางเลือกใหม่ที่ใช้มาแทนที่พลาสติกจากปิโตรเลียม พอลิแลคติกแอซิด เป็นแหล่งคาร์บอนที่ได้จากวัตถุดิบที่สร้างขึ้นทดแทนได้ โดยคาร์บอนที่ดูดซับโดยพืชเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการแพร่ของปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนมากขึ้น และนอกจากนี้พอลิแลคติกแอซิดยังไม่ก่อให้เกิดก๊าซพิษเมื่อมีการถูกเผาทำลายเป็นเถ้า กระบวนการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดยนักวิจัยของบริษัท ดูปองท์ (DuPont) ในประเทศสหรัฐอเมริกา คือ วอลเลซ ฮูม แคโรเธอส์ (W.H. Carothers) ในปี พ.ศ. 2475 โดยการให้ความร้อนแก่กรดแลคติกภายใต้สูญญากาศ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิแลคติกแอซิดมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ นอกจากนั้นยังได้การจดสิทธิบัตรขึ้นในปี พ.ศ. 2497 หลังจากนั้นได้มีการศึกษา และพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิด นั้นมีราคาที่สูง ทำให้การนำไปใช้งานจึงมุ่งเน้นไปทางด้านการแพทย์ และทางด้านเภสัชกรรมมากกว่าด้านอื่น บริษัท คาร์กิล (Cargill, Inc.) ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นหนึ่งในบริษัทผู้ผลิตพอลิแลคติกแอซิดในปี พ.ศ. 2530 เริ่มทำการวิจัยในระดับโรงงานต้นแบบ จากนั้นในปี พ.ศ. 2540 ได้ร่วมลงทุนกับ บริษัท ดาวเคมิคอลคอมพานี (Dow Chemical -Company, Inc.) ในประเทศสหรัฐอเมริกาจึงร่วมกันสร้างบริษัท คาร์กิล ดาว แอลแอลซี (Cargill Dow LLC) ขึ้นมา เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์พอลิ-

แลคติกแอซิดเพื่อเป็นการค้าอย่างเต็มรูปแบบ และในปี พ.ศ. 2544 ได้ส่งผลิตภัณฑ์มีชื่อทางการค้าว่า เนเจอเวิร์ค (NatureWorks®) ออกมาสู่ตลาดในปี พ.ศ. 2548 บริษัทดาวเคมิคอล คอมพานี ได้ถอนตัวออก ทำให้เกิดการเปลี่ยนชื่อเป็น บริษัท เนเจอเวิร์ค แทน พอลิแลคติกแอซิด ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของวัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ได้มีแนวทางพัฒนาจนประสบความสำเร็จทำให้ได้พอลิเมอร์ในปริมาณที่เหมาะแก่การลงทุน คือ การใช้ ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือจากข้าวโพด โดยการนำเศษเหลือในข้าวโพดแยกส่วนของแป้ง และน้ำตาลที่สกัดได้ เข้าไปผ่านกระบวนการหมักจนกระทั่งได้ผลผลิต คือ กรดแลคติก จากนั้นจึงนำไปเข้ากระบวนการอื่นต่อไป พอลิ-แลคติกแอซิด มีความปลอดภัยจนกระทั้งถูกจัดให้เป็นจีอาร์เอเอส (Generally Recognized As Safe, GRAS) โดยสำนักงานอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา กระบวนการผลิตพอลิแลคติกแอซิดเริ่มต้นจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบโดยการปลูกข้าวโพดซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำเป็นวัตถุดิบผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชได้ผลผลิตเป็นแป้ง จากนั้นจึงนำเอาแป้งข้าวโพดมาผ่านกระบวนการหมักบ่มโดยใช้จุลินทรีย์เฉพาะเพื่อย่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้ง และน้ำตาลเป็นกรดแลคติก (Lactic, $C_3H_6O_3$) ใช้เป็นมอนอเมอร์ (Monomer) ในขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ (Polymer) โดยสามารถจำแนกได้เป็น 2 กระบวนการที่แตกต่างกัน คือ กระบวนการควบแน่น (Polycondensation) และกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่นแบบเปิดวง (Ring-Opening Polymerization) แม้ว่าพอลิเมอร์ (Polymer) ที่ผลิตได้จากทั้งสองกระบวนการนี้มีโครงสร้าง และสมบัติที่เหมือนกันทุกประการ (ดังแสดงในรูปที่ 2.20) แต่ก็มีรายละเอียดขั้นตอนของกระบวนการสังเคราะห์ที่ต่างกัน จึงเป็นที่มาของการเรียกชื่อพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการแรกมักจะเรียกว่า “พอลิแลคติกแอซิด” ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการนี้เริ่มต้นจากการใช้กรดแลคติกโดยตรงจนได้พอลิเมอร์ในขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการที่สองจะมีเปลี่ยนกรดแลคติกโดยปฏิกิริยาการรวมตัวของกรดแลคติก 2 โมเลกุล และเกิดเป็นสารประกอบแบบวงที่มีชื่อว่า แลคไทด์ (Lactide) ก่อนจากนั้นจึงนำวงแหวนแลคไทด์ (Lactide) นี้มาสังเคราะห์เป็นสายโซ่ยาวพอลิเมอร์ ด้วยเหตุนี้จึงเรียกชื่อผลิตภัณฑ์พอลิ-เมอร์จากกระบวนการนี้ว่า “พอลิแลคไทด์” (Poly Lactide) พอลิเมอร์ที่ได้จาก ทั้งสองกระบวนการก็ คือ สารชนิดเดียวกันซึ่งเมื่อสังเคราะห์ได้แล้วก็สามารถนำมาขึ้นรูปเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 2.20 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด
ที่มา : [69]

กระบวนการสังเคราะห์ที่ใช้ปัจจุบัน คือ กระบวนการสังเคราะห์แบบเปิดวงแหวนแลกไทด์ มีตัวเร่งปฏิกิริยาได้พอลิแลคติกแอซิดที่มีน้ำหนักมากกว่า 100,000 โมเลกุล และมีสมบัติที่ดีสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 กระบวนการสังเคราะห์แบบเปิดวงแหวนแลกไทด์
ที่มา : [70]

2.3.3 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด

2.3.3.1 สมบัติทางกายภาพ และทางกลของพอลิแลคติกแอซิด

พอลิแลคติกแอซิด จัดเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ผ่านการดึงยืด (Unoriented PLA) มีความเปราะมากแต่มีความคงรูป และความแข็งแรงสูงเมื่อผ่านการดึงยืด มีสมบัติที่ใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (Polyethylene Terephthalate, PET) แต่มีสมบัติดีกว่าพอลิสไตรีน ที่ผ่านการดึงยืด มอดูลัสแรงดึงและแรงดัดของพอลิแลคติกแอซิด มีค่าสูงกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) แต่ความทนต่อแรงกระแทก และการยืดที่จุดแตกหักมีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่น [6] พอลิแลคติกแอซิด มีลักษณะใสขึ้นอยู่กับชนิดของสารเติมแต่งพอลิแลคติกแอซิด มีสมบัติจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก มีความสามารถกักกลิ่นและรสชาติได้ดี มีความต้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูงในขณะเดียวกันที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถผ่านได้ดี มีความคงทนต่อการกระแทกต่ำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) ที่ไม่มีสารเติมแต่งความแข็งความทนทานต่อแรงกระแทกและความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (PET) นอกจากนี้พอลิแลคติกแอซิด ยังมีสมบัติใกล้เคียงกันกับพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) สามารถดัดแปลงให้มีสมบัติใกล้เคียงกับ

พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) หรือพอลิโพรพิลีน (PP) ดังนั้นพอลิแลคติกแอซิด (PLA) จึงสามารถปรับปรุงสมบัติพื้นฐานทั้งด้านการขึ้นรูปและการใช้งานได้เช่นเดียวกับพลาสติกโอเลฟินส์ ที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี [71]

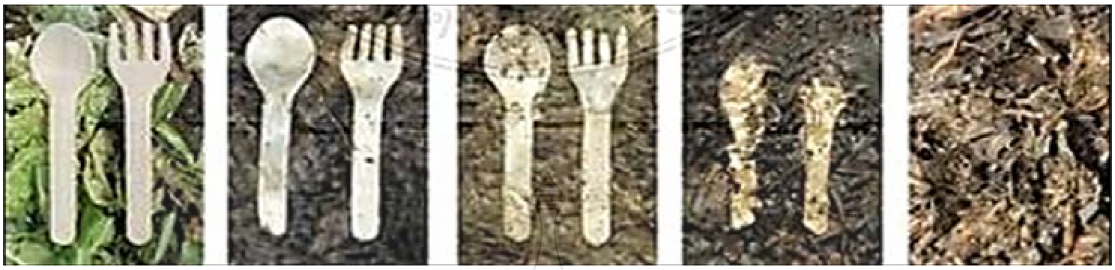
2.3.3.2 สมบัติการละลายของพอลิแลคติกแอซิด

การละลายของพอลิแลคติกแอซิด ขึ้นอยู่กับสัดส่วนขององค์ประกอบภายในสายโซ่พอลิเมอร์และระดับความเป็นผลึก พอลิแลคติกแอซิด ไม่ละลายน้ำ แอลกอฮอล์ และสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่ อาทิเช่น เฮกเซน และเฮปเทน ตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิ-แลคติกแอซิดที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูง พอลิ แอล - แลคติกแอซิด (Poly L - lactic acid, PLLA) คือตัวทำละลายอินทรีย์กลุ่ม คลอริเนเตท และฟลูออริเนเตท ไดออกเซน ไดออกโซเลน และฟูเรน พอลิ-แลคติกแอซิด นอกจากจะละลายได้ในตัวทำละลายสำหรับพอลิแลคติกแอซิด ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูงเท่าที่ได้นำกล่าวมาแล้วนั้น ยังทำละลายได้ในอะซิโตน ไพริดีน เอทิลแลกเตท เอทิลอะซิเตท เตตระไฮโดรฟูแรน ไซลีน ไดเมลทิลซัลฟซด์ เอ็น เอ็นไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และเมทิลเอทิลคีโตน

2.3.4 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิด

การเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอซิด ส่วนใหญ่เกิดจากการขาดตัวกันของสายโซ่หลักหรือสายโซ่ด้านข้างของโมเลกุลภายในธรรมชาติ การเสื่อมสภาพเกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยความร้อน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหรือทางชีวภาพ อาทิเช่น เอนไซม์ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น การแตกสลายด้วยแสง และการแตกสลายด้วยรังสี [73] เนื่องจากการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นจากทั้งกระบวนการทางชีวภาพและทางกายภาพ กลไกของการเสื่อมสภาพจึงมักเกี่ยวเชื่อมโยงไปกับการเสื่อมสภาพจากสิ่งแวดล้อม และการเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอซิดเอง ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น น้ำหนักโมเลกุลระดับความเป็นผลึก ความบริสุทธิ์ อุณหภูมิสภาพความเป็นกรด - ด่าง (PH) ระดับความเข้มข้นของเกลือ การมีอยู่ของออกซิเจน หรือปริมาณอาหารของจุลินทรีย์ ในระบบการทดสอบการเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอซิด จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยดังกล่าว ประกอบไปด้วย การเสื่อมสภาพยังสามารถขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางเคมีและกายภาพ อาทิเช่น อัตราการแพร่ (Diffusivity) ลักษณะความเป็นรูพรุน (Porosity) สัณฐาน (Morphology) และความแข็งแรงทางกล (Mechanical Strength) เป็นต้น พอลิแลคติกแอซิดสลายตัวให้คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำในสภาวะปุ๋ยหมักที่ถูกควบคุมภายใน 90 วัน [74] การเติมพอลิแลคติกแอซิดปริมาณเล็กน้อย คือ น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของเสียจากการทำสวนที่ยังไม่ผ่านการหมัก (Pre - Composted Yard Waste) ทำให้การหมักมีประสิทธิภาพ พอลิแลคติกแอซิดถูกไฮโดรไลซ์ในน้ำเดือดหรือไอน้ำให้กรดแลคติก ซึ่งสามารถจะนำกลับไปใช้เป็นมอนอเมอร์สำหรับการสังเคราะห์พอลิเมอร์ขึ้นใหม่ พอลิแอลแลคติกแอซิดถูกไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 180 - 350 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที ได้กรด-แอลแลคติก การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิแลคติกแอซิด และโคพอลิเมอร์เกิดขึ้นจากเอนไซม์ประเภท เอสเทอเรส โปรติเอส

และไลเปส ที่ถูกขับออกมาจากจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังการแตกสลาย ด้วยน้ำของพอลิแลคติกแอซิดสามารถถูกดูดซึมได้โดยจุลินทรีย์ อาทิเช่น เห็ด รา และแบคทีเรีย [75 – 77] ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การย่อยสลายพอลิแลคติกแอซิด
ที่มา : [33]

2.3.5 ผลิตภัณฑ์ของพอลิแลคติกแอซิด

2.3.5.1 การใช้งานทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ อาทิเช่น ไหมละลาย ยาที่ถูกออกแบบให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้า ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ผิวหนังเทียม และแผ่นดามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกาย ที่มีความสามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องมีทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้สำหรับการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

2.3.5.2 สารเคลือบกระดาษหรือโฟม

ในปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นลักษณะของสารเคลือบกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ห่ออาหาร และแก้วน้ำชนิดที่ใช้แล้วทิ้ง

2.3.5.3 วัสดุสำหรับการเกษตรและฟิล์มคลุมดิน

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรจัดเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด อาทิเช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มสามารถช่วยรักษาความชื้นในดินและป้องกันการเจริญเติบโตของวัชพืช การใช้ฟิล์มที่ได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จะช่วยลดขั้นตอนการเก็บ และการกำจัดภายหลังจากการใช้งานเสร็จสิ้นแล้ว เนื่องจากสามารถกำจัดได้โดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ยังสามารถช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุ และสารอาหารบริเวณหน้าดิน ซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บ และกำจัดฟิล์ม การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ อาทิเช่น ปุ๋ย ตัวยา และสารเคมีสำหรับการเกษตร นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเป็นถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า รวมถึงวัสดุเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย เป็นต้น

2.3.5.4 ถุงสำหรับใส่ของ

พลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ซึ่งได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีขยะอยู่ในปริมาณที่สูง และยังย่อยสลายได้ยาก หรืออาจจะไม่ย่อยสลายได้ ดังนั้นพลาสติกย่อยสลายได้จึงจัดเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มเพื่อเลือกใช้ในบางโอกาส

2.3.5.5 ฟิล์มและถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใช้ใส่ขยะหรือเศษอาหารเหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์กำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ ทำให้เกิดความสะดวกไม่ต้องแยกทิ้ง ในปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมาก อาทิเช่น ในหลายเมืองของประเทศอิตาลีได้มีใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใช้ใส่ขยะเศษอาหารมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 โดยมีบริษัท โนวามองท์ (Novamont) ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรปทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ตันต่อปี ถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลา 8 - 10 สัปดาห์ ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม

2.3.5.6 บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค

การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหาร อาทิเช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูป และอาหารจานด่วน เป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้ ซึ่งปกติการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ส่งผลให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด

2.3.5.7 โฟมเม็ดกันกระแทก

โฟมเม็ดกันกระแทก โดยทั่วไปจะนิยมผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้ามีข้อดี คือ มีความยืดหยุ่น สามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้ดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบา ทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิง แต่ก่อให้เกิดปัญหา คือ พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้จะนำมารีไซเคิลกลับมาใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ในปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่น ที่สามารถละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

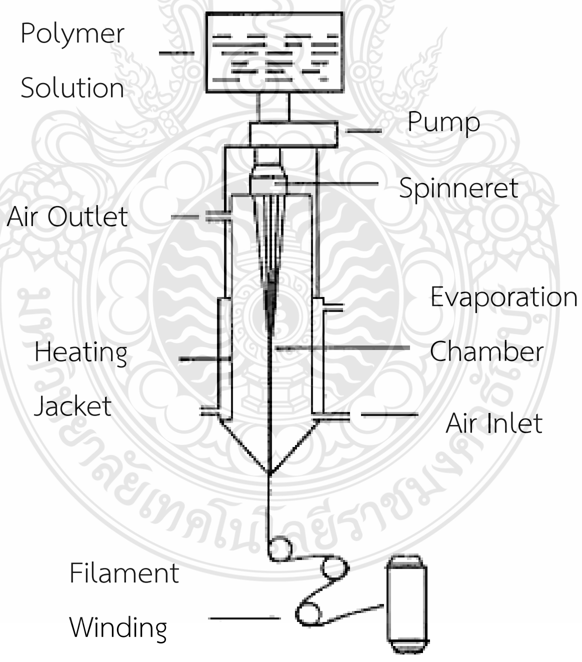
2.4 การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ [33]

2.4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber Forming) เป็นกระบวนการที่มีการพัฒนาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2473 ภายในห้องปฏิบัติการของบริษัท ดูปองด์ (DuPont) จนกระทั่งทำให้มีการผลิตเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสงครามโลก เนื่องจากสมบัติที่เด่นของเส้นใยสังเคราะห์ และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคทดแทนการใช้เส้นใยธรรมชาติ

2.4.2 การขึ้นรูปเส้นใยปั่นแบบแห้ง

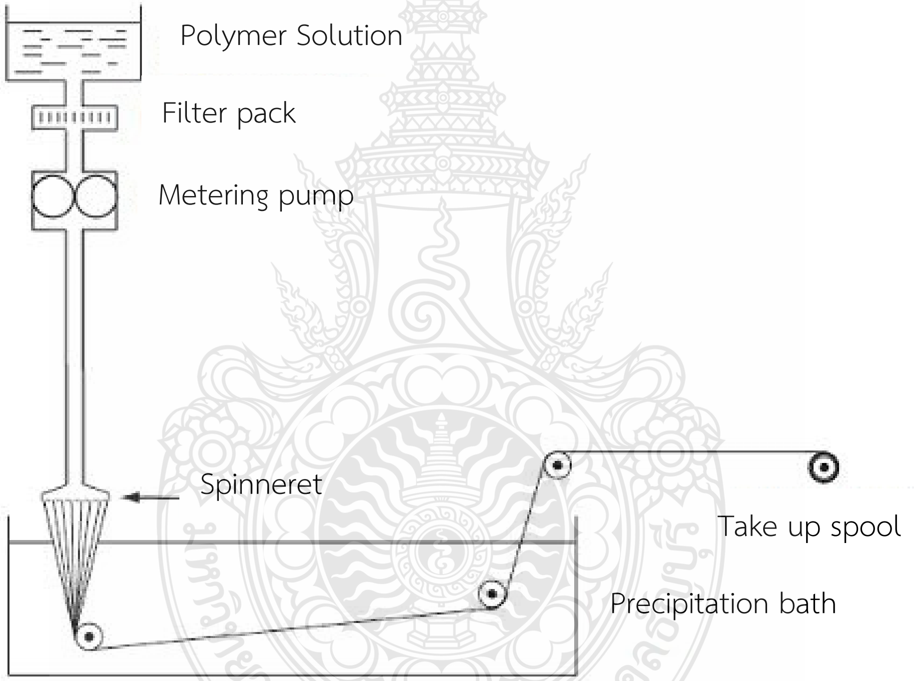
การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นแบบแห้ง เริ่มต้นจากการเตรียมพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปสารละลายแล้วฉีดผ่านหัวฉีด (Spinnerets) ทำการระเหยตัวทำลายส่วนที่เหลือในเส้นใยที่ฉีดออกมาก โดยการใช้ลมร้อน (Hot Air) เป่า จากนั้นทำการดึงยืดเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใย ตัวอย่างเส้นใยที่ขึ้นรูปโดยวิธีนี้ อาทิเช่น โพลิอะซิเทต และโพลีไตรอะซิเทต โดยการนำเอาตัวทำละลายที่เหมาะสมกับชนิดของเส้นใยมาทำละลาย และต้องเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย เมื่อฉีดเส้นใยออกมาผ่านลมร้อนจะทำให้เส้นใยแข็งตัว ตัวทำละลายสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นแห้ง
ที่มา : [33]

2.4.3 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นเปียก

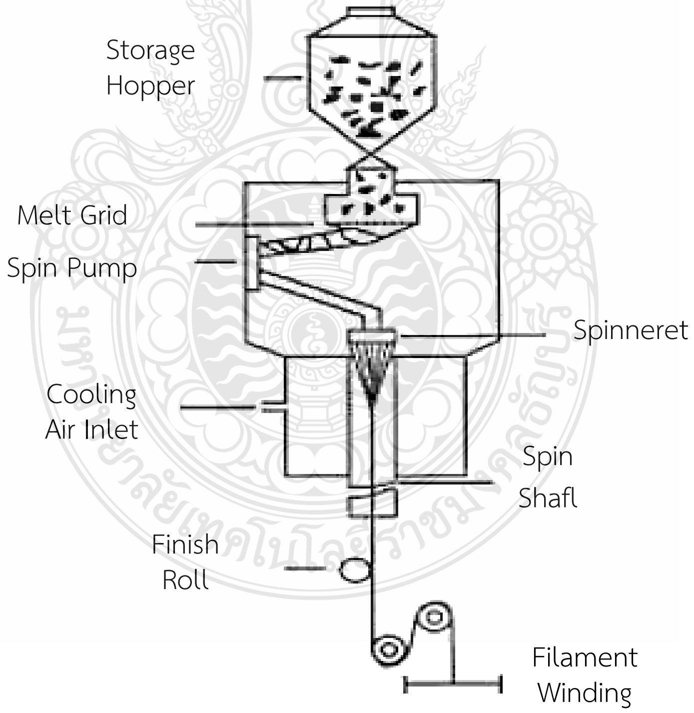
จัดเป็นวิธีการเก่าแก่ที่สุด เริ่มจากการเตรียมสารละลายโพลิเมอร์แล้วฉีดผ่านหัวฉีด (Spinnerets) ที่จุ่มอยู่ในอ่างของสารละลายตกตะกอน (Coagulation Bath) เส้นใยที่ตกตะกอนออกมาจากสารละลาย เมื่อฉีดเส้นใยออกจากแปลนกดเส้นใย และทำให้เย็นลงโดยการผ่านลงในน้ำหรือสารละลายที่เหมาะสม ก่อนนำไปใช้งานจะต้องมีการล้างสารเคมีที่มีอยู่ออกก่อนใช้กับการผลิตเส้นใยเรยอน อะไครลิค และยางยืดเป็นต้น เมื่อสารละลายพอลิเมอร์ไหลผ่านสปินเนอเรทลงไปสู่ของเหลวซึ่งพอลิเมอร์สามารถแข็งตัวได้ หรือตกตะกอนได้ วิธีการนี้จะใช้เมื่อตัวทำละลายพอลิเมอร์นั้นระเหยยาก หรืออาจมีปัญหาในการระเหยตัวทำละลายออก ซึ่งอาจมีปัญหาในการปั่นแบบหลอมเหลวหรือปั่นแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นเปียก
ที่มา : [84]

2.4.4 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นหลอม

กระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดภายในโรงงานผลิตเส้นใยส่วนใหญ่ เพราะไม่ต้องมีการแก้ปัญหาเหมือนกับการใช้ตัวทำละลาย ดังนั้นจึงเป็นวิธีที่นิยมมากกว่ากระบวนการขึ้นรูปแบบอื่น ๆ เริ่มต้นจากการหลอมพอลิเมอร์ในเครื่องปั่นหลอม (Melt Extruder) แล้วทำการฉีดผ่านหัวฉีด (Spinnerets) เส้นใยที่ออกมาจะเริ่มแข็งตัวจะถูกดึงยืด เพื่อเพิ่มความแข็งแรงเส้นใยสังเคราะห์ส่วนใหญ่ผลิตโดยวิธีนี้ อาทิเช่น ไนลอน โพลีเอสเทอร์ และโพลิเอทิลีน เป็นต้น การขึ้นรูปสามารถใช้ความร้อนในการหลอมพอลิเมอร์ได้โดยตรง สำหรับการปั่นแบบหลอมเหลวเม็ดพอลิเมอร์ หรือเม็ดชิฟจากวัตถุดิบตั้งต้นผ่านการอบแห้ง หลังจากนั้นจะถูกหลอมในการอัดผ่านเกลียว (Extruder) จนเป็นเนื้อเดียวกัน และถูกกรองจากนั้นไหลผ่านรูหน้าแปลนไปยังส่วนของการหล่อเย็น ซึ่งพอลิเมอร์เหลวจะเกิดการแข็งตัวและถูกรวบเป็นมัดของฟิลาเมนต์ มัดฟิลาเมนต์ก็จะผ่านช่วงถูกเคลือบน้ำมันที่ผิว (Spin Finish) ก่อนเข้าสู่ลูกกลิ้งเพื่อม้วนเก็บ เป็นกระบวนการขนาดใหญ่และใช้ผลิตเส้นใยที่ความต่อเนื่อง และยูนิคของกระบวนการสังเคราะห์สามารถส่งผ่านมายังส่วนหลอมเหลวได้ โดยตรงในกรณีของพอลิพรอพิลีนตั้งแต่กระบวนการสังเคราะห์จนถึงผลิตภัณฑ์ของแข็งจะแยกจากกระบวนการปั่น ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.25 การขึ้นรูปเส้นใยแบบปั่นหลอม

ที่มา : [33]

2.4.5 พอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมเป็นการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล อาทิเช่น เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้อยู่รวมจนเป็นเนื้อเดียวกันได้ เป็นพอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) ซึ่งนำสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้ากนจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิ-เมอร์ต่างชนิดกันโดยตามธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นสารละลายของแข็งที่แท้จริง และพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็งพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายตัวอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (Continuous Matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ไม่เช่นนั้นจะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (Defects) ของผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่มีความต่างกัน จึงส่งผลให้ไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างอิสระเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางพลังงานที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันไม่ได้ คือ พลังงานที่ใช้ในการผสมผสานโมเลกุลหรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ อาทิเช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่มีความแตกต่างกัน

2.4.5.1 กลไกสภาพเข้ากันได้

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จะให้สมบัติที่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะสมบัติทางกลเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสที่ต่ำและความเค้นสะสม (Stress Concentration) จากดิสเพอร์ส (Disperse) ภายในเมทริกซ์ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสมนิยมใช้สารช่วยผสมหรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม เพื่อปรับปรุงแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสม เพื่อให้ได้โครงสร้างสัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม

2.4.5.2 วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้

เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ และทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติตามต้องการนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้นการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตเป็นหลัก โดยจะเริ่มพิจารณาจากต้นทุนเป็นเรื่องสำคัญเทคนิคเหล่านี้ อาทิเช่น การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ การเติมพอลิเมอร์ที่หมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา และการทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอไรเซชัน

1) การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์

จัดเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการเลือกผสม เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์ (Block Copolymers) ได้รับความนิยมมากว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์

(Graft Copolymers) โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบไปด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกันโดยโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีลักษณะโครงสร้างทางเคมี และน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะไปอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิด โครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์ส่งผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสมจากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสม (Compatibilizer)

2) การเติมพอลิเมอร์ที่หมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมบ่อยครั้งเป็นการนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปลงให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันนั้นต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล อาทิเช่น พันธะไอออนิก (Ionic Bond) กับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้กระบวนการดัดแปลงพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชัน สามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์ หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด อาทิเช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโอเลฟินส์ โดยหมู่คาร์บอกซิลิกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่อะมิโน (Amino Group) ของพอลิเอไมด์ (Polyamide) ได้นอกจากนี้พอลิโอเลฟินส์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จัดเป็นสารช่วยผสมที่ได้รับความนิยมในทางการค้าและมีราคาไม่สูงมาก

3) การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอไรเซชัน

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอไรเซชันในระหว่างการผสม (In-Situ Grafting Polymerization) จัดเป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้มีความเข้ากันได้โดยต่างจากวิธีอื่น ๆ คือ องค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปลงเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มสารช่วยผสม อาทิเช่น การผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) กับพอลิเอสเทอร์ (Polyester) แม้ว่าบางครั้งการผสมแบบไม่ต่อเนื่องสามารถนำมาใช้กับการผสมแบบพอลิเมอร์เบรนด์ (Reactive Blending) ได้แต่การใช้กระบวนการผสมแบบต่อเนื่อง อาทิเช่น การอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder) และการอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twins-Screw Extruder) ได้รับความนิยมเช่นกัน เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิและสิ่งที่ไม่ต้องการจากการดำเนินไปของปฏิกิริยาได้ดีว่ากลไกในการเกิดปฏิกิริยาในการผสม

2.4.5.3 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมและเส้นใยผสม

เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) เกลียวหนอนของเครื่องรีดจะถูกยึดอยู่ในกระบอกซึ่งเกลียวหนอนมักจะแบ่งหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ออกเป็น 3 ส่วน คือ นับจากด้านท้ายของเครื่องที่ติดกับกรวยเติม ประกอบไปด้วย สกรูป้อน สกรูอัด และสกรูที่ทำให้สุก

(Feed Compression Metering) ซึ่งสกรูป้อน (Feed Section) มีหน้าที่หลักในการดึงเม็ดหรือพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกลงในกระบอก เริ่มให้ความร้อนพลาสติก และทำให้เกิดการผสมของพลาสติกกับวัสดุหลากหลายชนิด นอกจากนี้ส่วนป้อนยังคงทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไปของสกรูส่วนใน (Compression Zone) ความลึกของร่องเกลียวหนอนจะค่อยลดลงเพื่อให้เกิดแรงดันของพอลิเมอร์หลอมเหลว และทำให้ความหนาของชั้นพลาสติกที่ห่อหุ้มสกรูอยู่มีขนาดลดลง จึงเกิดการส่งผ่านความร้อนจากกระบอกได้ดีขึ้น ความร้อนและแรงเสียดทานเนื่องจากการหมุนของสกรูในช่วงนี้จะสูงมาก ส่งผลทำให้พลาสติกหลอมผสมกันเป็นเนื้อเดียวส่วนสุดท้ายของสกรู คือ สกรูที่ทำให้สุก (Metering) จะมีความลึกของร่องเกลียวคงที่แต่มีความลึกน้อยกว่าในส่วนป้อนพลาสติกหลอมในส่วนนี้มีความดันเพิ่มขึ้น และส่งผลให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน

2.5 การผลิตเส้นด้าย

2.5.1 ความรู้เกี่ยวกับเส้นด้าย

เส้นด้ายประกอบขึ้นจากเส้นใยหลากหลายชนิด ที่อาจจะนำมาตีเกลียวหรือไม่ก็ได้ มีลักษณะเป็นเส้นยาวที่ประกอบไปด้วยเส้นใยหลายเส้นรวมกัน ชนิดของเส้นด้ายสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เส้นด้ายจากเส้นใยสั้น (Spun Yarn) และเส้นด้ายจากเส้นใยยาว (Filament Yarn) [80 - 81]

2.5.1.1 เส้นด้ายจากเส้นใยสั้น

เส้นด้ายจากเส้นใยสั้น คือ เส้นด้ายที่ประกอบไปด้วยเส้นใยสั้นซึ่งจะมีความยาวประมาณ 0.5 - 2.5 นิ้ว นำมาเข้าเกลียวรวมกันเป็นเส้นด้าย ด้ายจากเส้นใยสั้นจะมีลักษณะผิวสัมผัสไม่เรียบ เมื่อนำไปทอเป็นผ้าจะได้ผ้าที่มีลักษณะเนื้อไม่เรียบ

2.5.1.2 เส้นด้ายจากเส้นใยยาว

เส้นด้ายจากเส้นใยยาว คือ เส้นด้ายที่ประกอบไปด้วยเส้นใยยาวมาจัดเรียงรวมกัน อาจเข้าเกลียวเล็กน้อยเนื่องจากเส้นใยยาวจะมีลักษณะผิวสัมผัสเรียบและตรง เส้นใยแต่ละเส้นจะเรียงขนาดกันตลอดเส้น เมื่อนำไปทอผ้าจะได้ผ้าที่มีลักษณะเนื้อเรียบ

2.5.1.3 ข้อดีและข้อเสียของเส้นด้ายจากเส้นใยสั้น

1) ไม่ค่อยเหนียว

2) เห็นปลายของเส้นใยปรากฏออกมารอบเส้นด้ายและตลอดแนวของเส้นด้าย

3) ดูหยาบด้าน

4) เมื่อใช้จะเป็นเม็ดเป็นขุยบนผิวผ้า

5) จับสิ่งสกปรกง่าย

6) ให้ความรู้สึกอบอุ่น

7) นุ่มและฟูมากน้อยตามจำนวนและขนาดของเกลียว

8) การดูดซึมน้ำและความชื้นสูง สวมใส่เย็นสบาย

9) ไม่เกิดไฟฟ้าสถิต

2.5.1.4 ข้อดีและข้อเสียของเส้นด้ายจากเส้นใยยาว

1) เหนียวทนทาน

2) เส้นด้ายเรียบ เหนียว ไม่มีเศษหรือปลายของเส้นใยโผล่ออกมา

3) มีความเรียบ เป็นมัน

4) ไม่ปรากฏเม็ดหรือขุยบนผิวผ้า

5) เปื้อนยาก

6) ให้ความรู้สึกเย็นสบาย

7) ฟูเล็กน้อย

8) ไม่ค่อยดูดซึมน้ำ หรือขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย

9) ผ้าใยสังเคราะห์จากสารเคมีเกิดไฟฟ้าสถิตได้ง่าย

2.5.1.5 การจำแนกประเภทของเส้นด้าย [80]

เส้นด้ายในการทอผ้าอาจจะจำแนกได้เป็นหลายชนิด นิยมแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เส้นด้ายธรรมดา และเส้นด้ายด้ายพิเศษ

1) เส้นด้ายธรรมดา

เส้นด้ายธรรมดา คือ เส้นด้ายที่มีขนาดเท่ากัน และมีจำนวนเกลียวสม่ำเสมอกันตลอดทั้งเส้น เส้นด้ายธรรมดาสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้ดั้งนี้

(1) เส้นด้ายด้ายเดี่ยว

เส้นด้ายด้ายเดี่ยว คือ เส้นด้ายที่มีเส้นเดียว เข้าเกลียวแน่นหรือหลวมก็ได้ มีหลายขนาด

(2) เส้นด้ายรวม

เส้นด้ายรวม คือ เส้นด้ายที่มีการรวมกันตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป เข้าเกลียวรวมกัน ถ้ามีเส้นด้ายเดี่ยว 2 เส้นรวมกัน เรียกว่า ด้าย 2 พลาย (2 Ply Yarn) เส้นด้ายเดี่ยว 3 เส้นรวมกัน เรียกว่า ด้าย 3 พลาย (3 Ply Yarn)

(3) เส้นด้ายเชือก

เส้นด้ายเชือก คือ การนำเส้นด้ายรวมมาเข้าเกลียวรวมกันที่ละคู่ เป็นด้ายเชือก (Cord) เส้นด้ายจะมีความเหนียวมากและแข็งแรง

2) เส้นด้ายพิเศษ

เส้นด้ายพิเศษ คือ เส้นด้ายที่มีลักษณะไม่เรียบ มีขนาดไม่เท่ากันตลอดเส้น บางช่วงเข้าเกลียวแน่น บางช่วงเข้าเกลียวหลวม หรือมีลักษณะเป็นห่วงเป็นปุ่มปม และเส้นใยอาจต่างสีกัน เส้นด้ายชนิดนี้ผลิตขึ้นมาเพื่อให้ได้ผ้าที่มีผิวสัมผัสต่างกันเนื้อผ้าต่างกัน เกิดความแปลก สวยงาม ทนทาน และมีประโยชน์ใช้สอยกว้างขวางออกไป

(1) เส้นด้ายสลับ คือ เส้นด้ายเดี่ยวหรือเส้นด้ายรวม 2 พลาย เป็นด้ายเดี่ยวเกิดจากการเข้าเกลียว เส้นด้ายไม่สม่ำเสมอกัน บางตอนเข้าเกลียวแน่น บางตอนเข้าเกลียวหลวม ซึ่งตอนที่หลวมใยจะโป่งพองออกมาเป็นใยนุ่มและฟู ด้ายสลับมักพบในผ้า ชานตุง เรยอน และลินินบางชนิด

(2) เส้นด้ายฟลอค หรือเส้นด้ายเฟลค คือ เส้นด้ายที่มีปอยหรือปุยของเส้นด้ายชนิดอื่นผสมอยู่ จะมีลักษณะปุยของเส้นด้ายผสมกันอยู่ตลอดเส้น บางครั้งอาจเป็นเส้นด้ายคนละสีกัน

(3) เส้นด้ายบูเคล คือ เส้นด้ายที่ประกอบด้วยเส้นด้าย 3 เส้น คือ ด้ายแกนหรือเส้นด้ายหลัก เส้นด้ายพิเศษ และเส้นด้ายพัน เส้นด้ายพิเศษจะมีลักษณะเป็นปม เป็นห่วงเล็ก ๆ เข้าเกลียวหลวม แล้วพันเส้นด้ายจะพับเพื่อยึดเส้นด้ายทั้ง 2 เส้น ให้ติดกันแน่นขึ้นอีกครั้งหนึ่ง

(4) เส้นด้ายห่วง คือ เส้นด้ายที่ประกอบด้วยเส้นด้ายอย่างน้อย 3 พลาย เส้นด้ายแกนค่อนข้างแข็งแรงและมีขนาดใหญ่ เส้นด้ายที่ 2 เป็นเส้นที่ทำให้เกิดห่วงซึ่งอาจเป็นเส้นด้ายเดี่ยวหรือเส้นด้ายรวมก็ได้ เส้นด้ายพันมักเป็นเส้นด้ายชนิดดี เพื่อยึดเส้นด้ายห่วงให้ติดกับเส้นด้ายแกน

(5) เส้นด้ายฟู คือ เส้นด้ายที่ทำมาจากเส้นใยฟู เส้นใยประดิษฐ์ที่เป็นโพรงข้างในบางส่วนหรือตลอดแนว ความยาวของเส้นใยหรือเส้นด้ายที่ทำมาจากเส้นใยที่ไม่สามารถจัดให้เข้ารูปเดียวกันได้ เนื่องมาจากความแตกต่างกันของรูปร่างด้านหน้าตัด แนวเส้นใย ความกระด้าง ความคืนตัว และความหยิกงอโดยธรรมชาติ เป็นต้น เส้นด้ายฟูนิยมนำไปทอเป็นผ้าตัดชุดชั้นใน ถุงเท้า ชุดกีฬา ผ้านิด ผ้ายืด และผ้าที่ใช้ตกแต่งบ้าน

(6) เส้นด้ายยืด คือ เส้นด้ายจะยืดได้ร้อยละ 360 - 500 และคืนตัวได้อย่างรวดเร็ด มักนิยมใช้เป็นเส้นด้ายไนลอน เส้นด้ายยืดนิยมนำไปทอเป็นผ้าตัดชุดชั้นใน ถุงเท้า ชุดกีฬา กางเกงยืด ชุดว่ายน้ำ หรือใช้ผลิตเสื้อผ้าชนิดฟรีไซส์

2.5.2 สิ่งทอเทคนิค [81]

ผลิตภัณฑ์ของสิ่งทอเทคนิคแยกตามลักษณะของงานที่ใช้ออกได้เป็น 12 ประเภท ดังนี้

2.5.2.1 สิ่งทอทางเกษตร (Agrotech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ทางด้านเกษตรกรรมและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

1) สิ่งทอสำหรับการทำพืชไร่และพืชสวน (Textiles for Agriculture and horticulture)

2) ผ้าหรือตาข่ายป้องกัน (Protective Fabrics/Nets)

3) ผ้าคลุมดิน (Ground Cover Fabrics)

4) ผ้ากันแดดและประหยัดพลังงานสำหรับเรือนกระจก (Shade and Energy Saving Fabricfor Greenhouses)

5) ผ้าสำหรับบรรจุพืชลงหัว (Fabric for Root Ball Packing)

6) ผ้าตาข่ายยืดหยุ่นสำหรับบรรจุพืชลงหัว (Elastic Netting for Root Ball Packing) และเทปใช้มัดสำหรับผลไม้ (Binding Ribbon and Tape for Fruit Crops)7) ผ้าขึงสำหรับเก็บเห็ด (Draw Cloth for Mush Room Cultivation)

7) ตาข่ายระบายอากาศสำหรับรั้ว คอกสัตว์ และคอกม้า (Ventilation Netting for Stiles, Stalls and Stables)

8) ตาข่ายสำหรับรั้ว เช่น การปลูกหญ้า (Netting for Enclosures eg. Grazing)

9) การระบายน้ำด้วยสิ่งทอหรือระบบชลประทาน (Textile Draining or Irrigation Systems)

2.5.2.2 สิ่งทอทางการก่อสร้าง (Buildtech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ทางด้านเกี่ยวกับอาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ

1) สิ่งทอสำหรับอาคาร (Textiles for Building)

2) ผ้าฉนวนสำหรับอาคาร (Insulation Fabric for Building)

3) ฉนวนเสียงสำหรับอาคาร (Sound Insulation for Building)

4) ผ้าสำหรับระบายน้ำสำหรับอาคาร (Draining Fabric for Building)

5) ผ้าคลุมหลังคา (Roofing Textiles)

2.5.2.3 สิ่งทอทางธรณี (Geotech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ทางด้านธรณีและวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา

1) สิ่งทอสำหรับการทำให้เสถียรและการป้องกัน (Textiles for Stabilization and Protection)

2) ผ้าสำหรับงานน้ำ ถนนและโครงสร้างดิน (Fabrics for Water, Road and Soil Construction Work)

3) ผ้าสำหรับเสริมแรงดิน (Fabrics for Soil Reinforcement)

4) ผ้าผิวสำหรับพื้นสนามกีฬา (Surface Fabrics for Sports Grounds)

2.5.2.4 สิ่งทออุตสาหกรรม (Indutech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

1) ผ้ากรองแบบทอ แบบไม่ทอ แบบถัก (Filter Cloth Woven, Nonwoven, Knitted)

2) ไส้กรอกตามรูปแบบที่ต้องการ (Customized Filter Media)

3) การใช้งานกรองแบบเปียก (Wet Filtration Application)

4) การใช้งานกรองแบบแห้ง (Dry Filtration Application)

5) สิ่งทอเทคนิคสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษ (Technical Textiles for Papermaking Industry)

2.5.2.5 สิ่งทอทางการแพทย์ (Medtech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในทางการแพทย์และสุกภาพ

1) ผ้าสำหรับการดูแลทางการแพทย์ (Textiles for Medical Cares)

2) ผ้าสำลีในการผ่าตัด (Surgical Cotton Wool)

3) สายคล้องสำหรับแขนหัก/ผ้าพยุงคอ (Slings for Fractured Arms/Neck Supports)

4) วัสดุสำหรับรักษาแผลไฟไหม้ (Materials for Burns Care)

5) ผ้าพันแผลแบบทอ (Woven Bandage)

6) ผ้าพันแผลแบบยืด (Elastic Bandage)

7) ผ้ากันเปื้อนสำหรับห้องผ่าตัด (Barrier Fabric for The Operation Theatre)

2.5.2.6 สิ่งทอในยานยนต์ (Mobiltech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้กับยานยนต์รวมถึงยานอวกาศ

1) พรมรถยนต์ (Car Mats)

2) เทปปิดริมสำหรับพรมรถยนต์ (Trimming Tapes for Car Mats)

3) ผ้าเสริมแรงสำหรับเก้าอี้รถยนต์ (Reinforcing Fabrics for Car Seats)

4) ผ้าเบาะสำหรับที่นั่ง (Upholstery Fabrics for Car Seats)

5) ผ้าคลุมเก้าอี้ในรถยนต์ (Seat Cover for Cars)

2.5.2.7 สิ่งทอในบรรจุภัณฑ์ (Packtech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในบรรจุภัณฑ์

1) ถุงไปรษณีย์/ถุงผ้าลินิน/ถุงเงิน (Mailbags/Bags for linen/Money Bags)

2) วัสดุบรรจุสำหรับงานทางทหาร (Packing Materials for Defense Applications)

3) ผ้าพอลิโอลิฟินสำหรับบรรจุภัณฑ์ (Polyolefin Fabrics for Packing)

4) หนังเทียมสำหรับกระเป๋าเดินทาง (Imitation Leather for Suitcases)

5) ผ้าซับในกระเป๋าเดินทาง (Suitcase Lining Fabrics)

2.5.2.8 สิ่งทอเพื่อการป้องกัน (Protech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการป้องกันเกี่ยวกับบุคคล และทรัพย์สิน

1) ผ้าห่มใช้ดับไฟ (Extinguishing Dlankets)

2) ท่อดับเพลิง (Firehoses)

3) ผ้าทอกันไฟ (Fire Resisting Wovens)

4) เชือกทนไฟ (Fire Resisting Cordage)

5) ชุดสวมใส่และผ้าสำหรับงานดับเพลิง (Firefighting Suits and Fabrics)

2.5.2.9 สิ่งทอทางกีฬาและนันทนาการ (Sporttech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในทางกีฬา และนันทนาการ

1) กีฬา (Sport)

(1) ผ้าพื้นผิวสำหรับพื้นสนามกีฬา (Surface Fabrics for Sports Grounds)

(2) ผ้าป้องกันสำหรับขอบสระ (Protective Fabrics for Foils)

(3) หญ้าเทียม (Artificial Grass)

(4) ผ้าสำหรับรองเท้า (Fabrics for Shoes)

(5) ผ้าสำหรับรองเท้ากีฬา (Fabrics for Sports Shoes)

2) งานอดิเรก (Hobby)

(1) ผ้าใบสำหรับจิตรกร (Artists' Canvas)

(2) ขนสัตว์เทียมสำหรับงานทางเทคนิค (Artificial Furs for Technical Applications)

(3) ผ้าใบสำหรับเย็บปกหนังสือ (Bookbinders Canvas)

(4) ที่คั่นหนังสือ (Bookmarker)

2.5.2.10 สิ่งทอประกอบทางเทคนิคสำหรับเครื่องเรือน (Hometech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องเรือน

1) ผ้าใช้ในครัว (Kitchen Linen)

2) ผ้าปูโต๊ะ (Table Linen)

3) ผ้าเย็บที่นอน (Mattress Ticking)

4) ผ้าเช็ดตัว (Terry Toweling Articles)

5) ผ้าทำขอบ (Trimmings)

6) ผ้าปิดผนัง (Wallcoverings)

2.5.2.11 สิ่งทอเพื่อการรักษาสิ่งแวดล้อม (Oekotech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้รักษาสิ่งแวดล้อมและการป้องกัน

1) สิ่งทอที่ใช้ในการกรองของเหลวและก๊าซ

2) สิ่งทอที่ใช้ในการดูดซับสารที่ไม่พึงประสงค์

3) สิ่งทอที่เป็นตัวกั้น ช่วยลดมลพิษในดิน

4) สิ่งทอที่สามารถนำกลับมาใช้ได้

5) สิ่งทอที่สามารถย่อยสลายตัวเองได้

6) สิ่งทอที่ช่วยประหยัดพลังงาน

7) สิ่งทอที่ทำโดยวิธีการที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

2.5.2.12 สิ่งทอประกอบทางเทคนิคของเครื่องนุ่งห่ม (Clothtech) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้กับเครื่องนุ่งห่มเพื่อให้มีความสมบูรณ์และสวยงาม

1) ส่วนประกอบของรองเท้า อาทิเช่น พื้นในรองเท้า

2) ผ้ารองพื้น ผ้าบุภายในเสื้อ (Interlining)

3) ผ้าสำลีรองพื้น (Wadding)

4) ด้ายเย็บ (Sewing thread)

5) ซิป (Zipper)

6) ป้ายฉลาก (Labels)

7) บาร์โค๊ด (Barcode)

8) ป้ายกันขโมย

9) ป้ายป้องกันการปลอมแปลง

2.5.3 การทดสอบเส้นด้าย

เส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ที่แตกต่างกันมีคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาสมบัติทางกายของเส้นด้ายจะทำให้สามารถประยุกต์ใช้เส้นด้ายตามความต้องการของสมบัติเส้นด้ายที่ดีได้ และการทดสอบเส้นด้ายยังเป็นตัวกำหนดมาตรฐานในการผลิตเส้นด้ายและสารเคมีแต่ละชนิด ซึ่งสมบัติของเส้นด้ายผสมสามารถทดสอบดังนี้

2.5.3.1 ทดสอบสมบัติการหดตัวของเส้นด้ายตวามความยาว (Boiling Shrinkage)

โดยใช้มาตรฐาน (ASTM D 5104 - 02) นำเส้นด้ายมาตัดและผูกให้เป็นปมหัวท้ายให้มีระยะห่างระหว่างปม 10 เซนติเมตร นำลงใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำตัวอย่างละ 3 ชิ้น นำลงไปในหม้อต้ม เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นำเส้นด้ายออกจากหม้อต้ม ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาวัดความยาวอีกครั้งและนำมาคำนวณหาร้อยละของการหดตัว (% Shrinkage) ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$\text{ร้อยละของการหดตัว} = \frac{L0 - L1}{L0} \times 100 \qquad (2.1)$$

หมายเหตุ

L_0 = ความยาวของเส้นด้ายก่อนต้ม

L_1 = ความยาวของเส้นด้ายหลังต้ม

ที่มา : [30]

2.5.3.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีกำลังขยายสูง กำลังขยายภาพตั้งแต่ X15 เท่า จนกระทั่งถึง X200,000 เท่า สามารถวิเคราะห์ดูโครงสร้างลักษณะทางกายภาพและขนาดอนุภาคของวัสดุนั้น ๆ

2.5.3.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM)

เพื่อส่องดูภาพการกระจายตัดของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันในเส้นด้าย [83]

2.5.3.4 ทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย (Tensile) และทดสอบค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย (% Elongation)

โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 3822 - 01 โดยอัตราความเร็วในการทดสอบ 300 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะการทดสอบ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ความชื้นสัมพัทธ์ 65 อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส

2.5.3.5 ทดสอบเบอร์ด้าย [83]

โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 1059 - 01 นำเส้นด้ายผสม มากรอด้วยเครื่องกรดด้ายให้มีความยาวเท่ากับ 18 เมตรต่อตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ จากนั้นนำเส้นด้ายไปชั่งน้ำหนักให้หน่วยเป็นกรัม (g) นำมาคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\text{ขนาดเท็กซ์} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)} \times 1000}{\text{ความยาว (เมตร)}} \tag{2.2}$$

หมายเหตุ

เท็กซ์ (Tex) เป็นหน่วยการวัดขนาดของเส้นใย โดยเป็นน้ำหนักในหน่วยกรัมของเส้นใยที่มีความยาว 1,000 เมตร เส้นใยที่มีค่าเท็กซ์ต่ำ จึงมีความละเอียดมากกว่าเส้นใยที่มีค่าเท็กซ์สูง เนื่องจากมีน้ำหนักน้อยกว่าในความยาวที่เท่ากัน

2.5.3.6 ทดสอบความหนาและความกว้างของเส้นด้าย

โดยใช้มาตรฐาน JIS B 7507 เครื่องเวอร์เนียหรือเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำที่สามารถใช้ในการวัดระยะทั้งความหนาและความกว้างอย่างถูกต้อง การใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิตอลที่มีจอแสดงผลดิจิตอลที่อ่านจะปรากฏขึ้นรุ่นที่ใช้มี 3 ขนาด คือ อิมพีเรียล นิ้ว และเมตริกมิลลิเมตร

2.5.3.7 ทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเทตนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

โดยใช้เครื่อง (NETZSCH DSC 200 F3) เครื่องมือทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเทตนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC) ได้มีการออกแบบมาเพื่อช่วยวิเคราะห์อธิบายการเปลี่ยนแปลงของขบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี การดูดหรือคายความร้อน โดยมีการวัดปริมาณความร้อนที่แตกต่างกันของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุอ้างอิงที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยที่โปรแกรมเครื่องทำการวาดไปตามช่วงอุณหภูมิช่วงหนึ่งเพื่อให้เห็นถึงข้อมูลที่ละเอียดจนกระทั่งสามารถเปรียบเทียบกันได้ นอกจากนี้ ยังสามารถใช้วัดปริมาณความร้อนการแพร่กระจายความร้อน ความบริสุทธิ์ของตัวอย่างให้ข้อมูลทางด้านจุลศาสตร์ ซึ่งเป้าหมายก็เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล [85]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ได้ทบทวนวรรณกรรมในงานวิจัยและตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.6.1 ปิยะนุช เปียคง [8] ศึกษาและวิจัย เรื่องการศึกษาการผลิตไซโลสจากทะลายปาล์มน้ำมันปาล์มเปล่าได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ก่อนการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน มีผลองค์ประกอบของเอมิเซลลูโลสเป็นร้อยละ 20.71 เซลลูโลสร้อยละ 49.95 และลิกนินร้อยละ 9.33 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการปรับสภาพเพื่อให้ได้น้ำตาลไซโลสที่มากที่สุด การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาณ โดยใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที มีผลองค์ประกอบของเอมิเซลลูโลสมากที่สุดเป็นร้อยละ 33.85 เซลลูโลสร้อยละ 52.43 และลิกนินร้อยละ 4.82 การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาณ โดยใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที มีผลองค์ประกอบของเอมิเซลลูโลสเป็นร้อยละ 30.25 เซลลูโลสร้อยละ 55.55 และลิกนินร้อยละ 5.97 การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวลต่อปริมาณ โดยใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที มีผลองค์ประกอบของเอมิเซลลูโลสเป็นร้อยละ 27.19 เซลลูโลสร้อยละ 59.98 และลิกนินร้อยละ 6.54

2.6.2 โชติญา ดีแสน [45] ศึกษาและวิจัย เรื่องการผลิตไฮโดรเจนจากเศษเหลือทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการย่อยโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่คัดเลือก ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน สภาวะที่ 1 การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตรต่อปริมาตร โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีค่าน้ำตาลไซโลสเป็น 27.86 กรัมต่อลิตร กลูโคสเป็น 0.90 กรัมต่อลิตร แอซิติกเป็น 3.57 กรัมต่อลิตร สภาวะที่ 2 การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 6 ปริมาตรต่อปริมาตร โดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที มีค่าน้ำตาลไซโลสเป็น 23.14 กรัมต่อลิตร กลูโคสเป็น 0.87 กรัมต่อลิตร แอซิติกเป็น 3.48 กรัมต่อลิตร จากการทดลองกล่าวได้ว่าสภาวะที่ได้ผลผลิตน้ำตาลไซโลส กลูโคส และกรดแอซีติก คือ สภาวะที่ 1 และ 2 โดยสภาวะที่เหมาะสมมากที่สุดต่อการผลิตแหล่งคาร์บอน คือ สภาวะที่ 2 เนื่องจากความเข้มข้นของกรดที่มากกว่ามีผลต่อการปลดปล่อยน้ำตาลออกจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสได้สูงกว่าเมื่ออุณหภูมิและความดันเท่ากัน

2.6.3 ราชบาท ไชยวรรณ์ [14] ศึกษาและวิจัย เรื่องการผลิตวัสดุพอลิเมอร์ผสมเส้นใยปาล์มได้ทำศึกษาการปรับสภาพผิวเส้นใยปาล์มน้ำมัน การเตรียมเส้นใยเบื้องต้นก่อนการปรับสภาพ นำทะลายปาล์มน้ำมันปาล์มจากโรงงาน ล้างน้ำทำความสะอาดจากนั้นนำเส้นใยไปตากแดดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเส้นใยที่ผ่านการเตรียมแล้วมาทำการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก แช่เส้นใยที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีผลการวิเคราะห์สภาพผิวของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตอนแบบส่องกราด พบว่า ลักษณะสภาพผิวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน มีการเพิ่มหน้าสัมผัสบริเวณผิวของเส้นใยทำให้กลไกการยึดเกาะระหว่างผิวทำได้ดีขึ้น การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันด้วยสารละลายอะมิโนไซเลนเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก การหยดสารอะมิโนไซเลนลงในน้ำที่ผ่านกระบวนการดีไอออไนเซชั่น กวนสารสะลายด้วยแท่งกวานแบบแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที มีผลการวิเคราะห์สภาพผิวของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตอนแบบส่องกราด พบว่า ลักษณะสภาพผิวของเส้นใยถูกเคลือบด้วยสารละลายอะมิโนไซแลน ซึ่งไซเลนมีความสามารถในการยึดเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิล ของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

2.6.4 ลลิตา จอมแปง [33] ศึกษาและวิจัย เรื่องการเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยเทคนิคการปั่นหลอมเหลว ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) กับปริมาณพอลิบิวทิลีนซักซิเนต (PBS) ที่เติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิแลคติกแอซิด (PLA) /พอลิบิวทิลีนซักซิเนต (PBS) พบว่า การเติมพอลิบิวทิลีนซักซิเนต (PBS) ปริมาณเพิ่มขึ้นในพอลิเมอร์ผสมช่วยลดปัญหา สมบัติที่แข็งแต่เปราะของพอลิแลคติกแอซิด (PLA) แต่การเติมพอลิบิวทิลีนซักซิเนต (PBS) ในปริมาณที่มากกว่า 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก พอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิแลคติกแอซิด (PLA) พอลิบิวทิลีนซักซิเนต (PBS) มีลักษณะการผสมแบบไม่เข้ากัน (Immiscible Blend) ซึ่งเป็นการผสมที่ มีแรง ยึดเหนี่ยวระหว่าง พอลิเมอร์ค่อนข้างต่ำและค่าการทนต่อแรงดึงลดลงเมื่อเติมพอลิบิวทิลีนซักซิเนต (PBS) ในปริมาณเพิ่มขึ้นทั้งนี้แม้ว่าพอลิบิวทิลีนซักซิเนต (PBS) จะช่วยเพิ่มปริมาณความเป็นอิลาสติกของพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ในพอลิเมอร์ผสม แต่การเติมปริมาณมากมีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการแยกเฟสมากกว่า เนื่องจากข้อจำกัดในแง่ของความเข้ากันได้ (Compatible) ระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิบิวทิลีนซักซิเนต (PBS)

2.6.5 นที ศรีสวัสดิ์ และคณะ [83] ศึกษาและวิจัย เรื่องการผลิตเส้นใยพอลิพรอพิลีนผสมผงถ่านจากซังข้าวโพด ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมของเส้นใยพอลิพรอพิลีนผสมผงถ่านจากซังข้าวโพด ปริมาณผงถ่านจากซังข้าวโพด มีทั้งหมด 4 สูตร คือ ร้อยละ 0.5 1.0 2.0 และ 3.0 พบว่า เส้นใยที่มีปริมาณผงถ่านร้อยละ 0.5 และ 1.0 มีการแทรกตัวไปอยู่ภายในเส้นใยสม่ำเสมอ ทำให้มีผิวขรุขระ

ไม่เรียบ และเส้นใยที่มีปริมาณผงถ่านร้อยละ 2.0 และ 3.0 มีการแทรกตัวในปริมาณที่มากขึ้นทำให้เส้นใยมีความทึบมากขึ้น และมีขนาดเส้นใยที่ไม่สม่ำเสมอกัน

2.6.6 ยุทธศักดิ์ สุบการี [86] ศึกษาและวิจัย เรื่องสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล จากเส้นใยปาล์มโดยใช้วิธีการกลั่นพร้อมสกัด (Simultaneous) ได้ทำการศึกษาการเตรียมเส้นใยปาล์มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 5 10 และ15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำไปต้มจับเวลาเมื่อสารละลายเริ่มเดือด เป็นเวลา 15 30 60 และ 90 นาที พบว่า การเตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่เวลา 60 นาที สามารถกำจัดปริมาณลิกนินได้สูงสุดคิดเป็นร้อยละ 59.64 โดยน้ำหนัก

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี ศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย และทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน มีขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน นำมาจากส่วนที่เหลือจากการสกัดน้ำมันดิบแล้วจากบริษัท ตรังปาล์มน้ำมัน จำกัด ตำบลนาเมืองเพชร อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

3.1.2 เม็ดชิฟพอลิแลคติกแอซิดเกรด Ingeo Biopolymer 6100D บริษัท เนเจอร์เวิร์ค จำกัด (NatureWorks ® LLC)

3.1.3 ผงพอลิแลคติกแอซิดเกรด Ingeo Biopolymer Polymer 2002D Powder บริษัท เนเจอร์เวิร์ค จำกัด (NatureWorks ® LLC)

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย สามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 การศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี

3.2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) เครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BSA3202S

2) ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert ห้างหุ้นส่วนจำกัด สุเมธ แล็บเทสต์

3) เครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)

4) ถุงมือยางสีส้ม ขนาด 12 นิ้ว บริษัท วินเกรท จำกัด

5) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800LV

3.1.1.2 สารเคมี

1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 บริษัท ไซเทรดเดอร์ จำกัด

2) กรดซัลฟูริกความเข้นข้นร้อยละ 50 บริษัท ไซเทรดเดอร์ จำกัด

3.2.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย

3.2.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

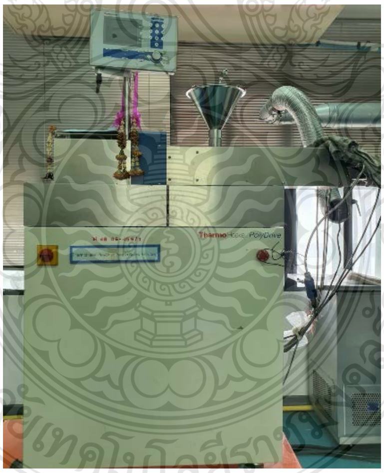
1) เครื่องบดพลาสติก ยี่ห้อ Bosco ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 เครื่องบดพลาสติก

2) เครื่องบดสมุนไพร ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 เครื่องบดสมุนไพร

3) เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder : ThermoHaake ® Poly Drive) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

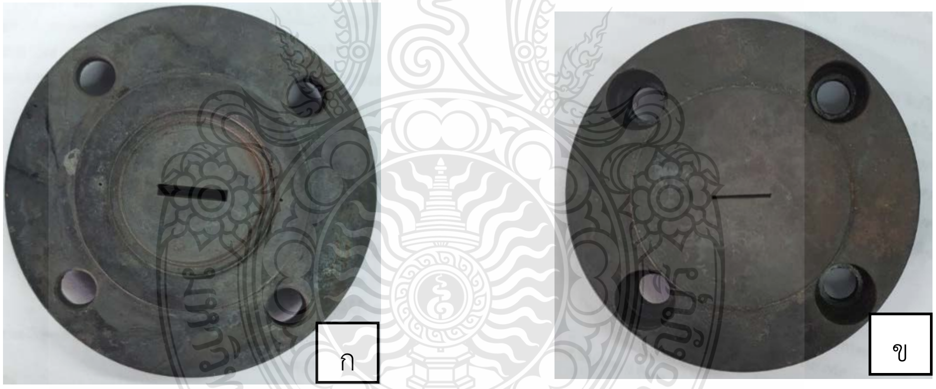


รูปที่ 3.4 เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว

4) เครื่องอบเม็ดชิพระบบลมร้อน (Hot Air Through Dryer) ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 เครื่องอบเม็ดชิพระบบลมร้อน

5) หัวดายแบบซลิท (Slit Die) ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 หัวดายแบบซลิท

(ก) หัวดายแบบซลิทด้านหลัง ขนาดกว้าง 1.83 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตร

(ข) หัวดายแบบซลิทด้านหน้า ขนาดกว้าง 0.65 มิลลิเมตร ยาว 11 มิลลิเมตร

6) เครื่องม้วนเก็บเส้นใย (Winder) ยี่ห้อ Leesona Model 967 Serial 2383 USA

7) ตะแกรงร่อนขนาด 400 เมช

3.2.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

3.2.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) แผ่นสำหรับตัดเส้นใย (Cutting Fiber Holder)

2) เวอร์เนีย หรือ เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper)

3) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM)

4) เครื่องทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นใย (Tensile) และทดสอบค่าการยืดตัวของเส้นใย (% Elongation) รุ่น Instron 5566 โดยมาตรฐาน ASTM D 2256:2002

5) เครื่องทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเทตนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น 200 F3

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี

การศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี ปัจจัย ที่ทำการศึกษามี 2 ปัจจัย คือ ชนิดของสารเคมี โดยแปรเป็น 2 ระดับ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 กรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 50 และปริมาณสารเคมีที่ใช้แปรเป็น 2 ระดับ คือ ร้อยละ 5 และ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร (V/V) วางแผนการทดลองแฟกทอเรียลแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Factorial in CRD) จะได้สิ่งทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชนิดสารเคมีและความเข้มข้นในกระบวนการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

สิ่งทดลอง	ชนิดของสารเคมี	ร้อยละปริมาณของสารเคมี (V/V)
1	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50	5
2	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50	10
3	กรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 50	5
4	กรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 50	10

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก [8, 14, 45, 85]

โดยในการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.7

เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันจากโรงงาน

↓

ล้างทำความสะอาด ผึ่งลมให้แห้งและอบไล่ความชื้น

↓

ทำการปรับสภาพโดยใช้สารเคมีและปริมาณดังแสดงในตารางที่ 3.1

↓

ต้มเส้นใยที่จุดเดือด เป็นเวลา 60 นาที

↓

นำเส้นใยที่ปรับสภาพแล้วล้างทำความสะอาด

รูปที่ 3.7 การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

หลังจากนั้นนำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้ทั้ง 4 สูตร มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี

3.3.1.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย (Detergent Analysis) ประกอบด้วย ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสของเส้นใยปาล์มน้ำมัน ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น นำมาทำการเลือกเส้นใยทะลายปาล์มที่ดีที่สุด โดยเลือกจากเส้นใยที่มีปริมาณเซลลูโลสที่มีปริมาณมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยก่อนการปรับสภาพ [8, 14, 42]

3.3.1.2 การศึกษาลักษณะของเส้นใย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ,SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800LV ตามภาพตัดขวางและภาพตามความยาวของเส้นใย

3.3.1.3 การศึกษาระยะเวลาในการอบเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

1) นำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพแล้วดีที่สุดจากข้อที่ 3.3.1 มาทำการอบไล่ความชื้น เพื่อหาความชื้นสุดท้ายของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ทำการเริ่มอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 22 24 26 28 30 32 และ 34 ชั่วโมง

3.3.2 การศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย

3.3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

1) นำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพแล้วดีที่สุดจากข้อที่ 3.3.1 มาตัดด้วยเครื่องบดพลาสติก (ดังแสดงในรูปที่ 3.3) เพื่อให้เส้นใยมีขนาดสั้นลงพร้อมที่จะนำไปบดต่อด้วยเครื่องบดสมุนไพร ที่ใช้มาตรฐาน ISO 9001 ความเร็วรอบในการบด 25,000 รอบต่อนาที บดเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเป็นระยะเวลา 80 นาที แล้วนำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่บดเป็นผงมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 เมซ มีขนาด 37 ไมครอน และนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนความชื้นคงที่เพื่อเตรียมผสมกับพอลิแลคติกแอซิด [26, 28 - 34]

2) นำพอลิแลคติกแอซิดแบบเม็ดและแบบผงมาอบไล่ความชื้นด้วยเครื่องอบเม็ดชิฟระบบลมร้อน (Hot Air Through Dryer) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เพื่อเตรียมผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการร่อนมาแล้ว [30, 32 - 33]

3.2.2.2 การศึกษาผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย

การศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย ปัจจัยที่ทำการศึกษามี 1 ปัจจัย คือ ปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย โดยแปรเป็น 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.0 0.5 1.0 และ 2.0 ของปริมาณพอลิแลคติกแอซิดแบบเม็ด วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จะได้สิ่งทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าร้อยละส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิด

สูตรที่	ปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (ร้อยละ)	ปริมาณพอลิแลคติกแอซิดแบบเม็ด (ร้อยละ)	ปริมาณพอลิแลคติกแอซิดแบบผง (ร้อยละ)
1	0.00	90.00	10.00
2	0.50	89.55	10.00
3	1.00	89.10	10.00
4	2.00	88.20	10.00

3.2.2.3 การขึ้นรูปเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

นำอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้ายทั้งหมด 4 สูตรเข้าเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder : ThermoHaake ® Poly Drive) ที่อุณหภูมิ 180 190 200 องศาเซลเซียส/สกรู (Screw) และ 200 องศาเซลเซียส/รูหน้าแปลน (Die) ความเร็วรอบในการฉีด 60 รอบต่อนาที ผ่านหัวดายแบบซลิท (Slit Die) และเข้าเครื่องม้วนเก็บเส้นใย (Winder : Leesona) ที่ความเร็ว 50 เมตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 5 นาที โดยสามารถสรุปขั้นตอนการขึ้นรูปเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 3.8 [83]

นำเส้นใยที่ดีที่สุดจากข้อที่ 3.3.1 มาบดด้วยเครื่องบดพลาสติกและบดต่อด้วยเครื่องบดสมุนไพร เป็นระยะเวลา 80 นาที แล้วนำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่บดเป็นผงมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 เมซ ผงเส้นใยมีขนาด 37 ไมครอน

↓

นำผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พอลิแลคติกแอซิดแบบเม็ดและแบบผงมาอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

↓

ส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย ร้อยละ 0.0 0.5 1.0 และ 2.0

↓

นำส่วนผสมเข้าปั่นหลอมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว ที่อุณหภูมิ 180 190 200 องศาเซลเซียส/สกรู (Screw) 200 องศาเซลเซียส/รูหน้าแปลน (Die) ความเร็วรอบในการฉีด 60 รอบต่อนาทีผ่านหัวดายแบบซลิท

↓

นำเส้นใยเข้าเครื่องม้วนเก็บเส้นด้าย ที่ความเร็ว 50 เมตรต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

↓

ทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการขึ้นรูปเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

3.3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน นำเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน จากข้อที่ 3.3.2 มาทำการทดสอบดังต่อไปนี้

3.3.3.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) [83]

เพื่อส่องดูภาพการกระจายตัดของผงทะลายปาล์มน้ำมันภายในเส้นด้าย

3.3.3.2 การทดสอบสมบัติการหดตัวของเส้นด้ายตามความยาว (Boiling Shrinkage)

นำเส้นด้ายมาตัดและผูกให้เป็นปมหัวท้าย มีระยะห่างระหว่างปมประมาณ 10 เซนติเมตร นำลงใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำ ตัวอย่างละ 3 ชิ้น นำลงไปในหม้อต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที นำเส้นด้ายออกจากหม้อต้ม ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาวัดความยาวอีกครั้งและนำมาคำนวณหาร้อยละของการหดตัว (% Shrinkage) ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$\text{ร้อยละของการหดตัว} = \frac{L0 - L1}{L0} \times 100 \quad (3.1)$$

หมายเหตุ

L_0 = ความยาวของเส้นด้ายก่อนต้ม

L_1 = ความยาวของเส้นด้ายหลังต้ม

\- = การหดตัว (Shrinkage)

\+ = การขยายตัว (Growth)

ที่มา : [30]

3.3.3.3 การทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย (Tensile) และค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้น (% Elongation)

โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 2256:2002 นำเส้นด้ายมาทดสอบ โดยอัตราความเร็วในการทดสอบ 300 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะการทดสอบ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ความชื้นสัมพัทธ์ 65 อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส

3.3.3.4 การทดสอบเบอร์เส้นด้าย

โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 1059 - 01 นำเส้นด้ายผสม มากรอด้วยเครื่องกรอด้ายให้มีความยาวเท่ากับ 9 เมตรต่อตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างทำทั้งหมด 3 ซ้ำ หลังจากนั้นนำเส้นด้ายไปชั่งน้ำหนักให้มีหน่วยเป็นกรัม (g) นำมาคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$\text{ขนาดเท็กซ์} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)} \times 1000}{\text{ความยาว (เมตร)}} \quad (3.2)$$

หมายเหตุ

เท็กซ์ (Tex) เป็นหน่วยการวัดขนาดของเส้นด้าย โดยเป็นน้ำหนักในหน่วยกรัมของเส้นด้ายที่มีความยาว 1,000 เมตร เส้นด้ายที่มีค่าเท็กซ์ต่ำ จึงมีความละเอียดมากกว่าเส้นด้ายที่มีค่าเท็กซ์สูง เนื่องจากมีปริมาณน้ำหนักน้อยกว่าในขณะที่ความยาวเท่ากัน

3.3.3.5 การทดสอบความหนาและความกว้างของเส้นด้าย

โดยใช้มาตรฐาน JIS B 7507 เวอร์เนียหรือเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำที่สามารถใช้ในการวัดระยะความหนาและความกว้างอย่างถูกต้อง การใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิตอลที่มีจอแสดงผลดิจิตอลที่อ่านจะปรากฏขึ้นรุ่นที่ใช้มีหน่วยเป็นเมตริกมิลลิเมตร

3.3.3.6 การทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

โดยใช้เครื่อง NETZSCH DSC 200 F3 นำเส้นด้ายน้ำหนัก 4 - 5 มิลลิกรัม มาทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึง 250 องศาเซลเซียส โดยอัตราการเพิ่มความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และรักษาอุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 นาที ถึงเริ่มลดความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส นำค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (Melting Temperature, T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature, T_c), พลังงานเอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมเหลว (Melting enthalpy heat of fusion, ΔH_f) PLAΔH_m° = 93 จูลต่อกรัม (j/g) [33] โดยนำมาคำนวณหาค่าร้อยละปริมาณผลึก (Degree of Crystallinity, % X_c) ดังแสดงในสมการที่ 3.3

$$\text{ร้อยละปริมาณผลึก} = \left[\frac{\Delta H_m \times (1-Xi)}{\Delta H_m^{\circ}}\right] \times 100 \quad (3.3)$$

หมายเหตุ

Xi = สัดส่วนหรือปริมาณของตัวเติม

ΔH_m = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ (Heat of fusion of polymer)

ΔH_m° = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกร้อยละ100 (ผลึกที่สมบูรณ์) (Heat of fusion of 100% polymer crystallization)

ที่มา : [87]

3.3.3.7 การขึ้นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ

นำเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 การทอสลับลายขัดดัดแปลงกับเส้นด้ายฝ้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

3.4 ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มตั้งแต่ เดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562

3.5 สถานที่ทำการวิจัย

3.5.1 ห้องปฏิบัติการทดสอบสิ่งทอ สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะเทคโนโลยี-คหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย

3.5.2 ห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์และเส้นใย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย

3.5.3 ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี -ราชมงคลธัญบุรี ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย

3.5.4 บริษัท ธาราบิสสิเนส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบลักษณะของเส้นใย

3.5.5 ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ให้ความอนุเคราะห์ในการหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย

3.5.6 สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี ศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย และทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน มีผลการทดลอง และการวิจารณ์ผล ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี

4.1.1 ผลการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี นำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) มาทำการทดสอบมีผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าร้อยละองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับสภาพ

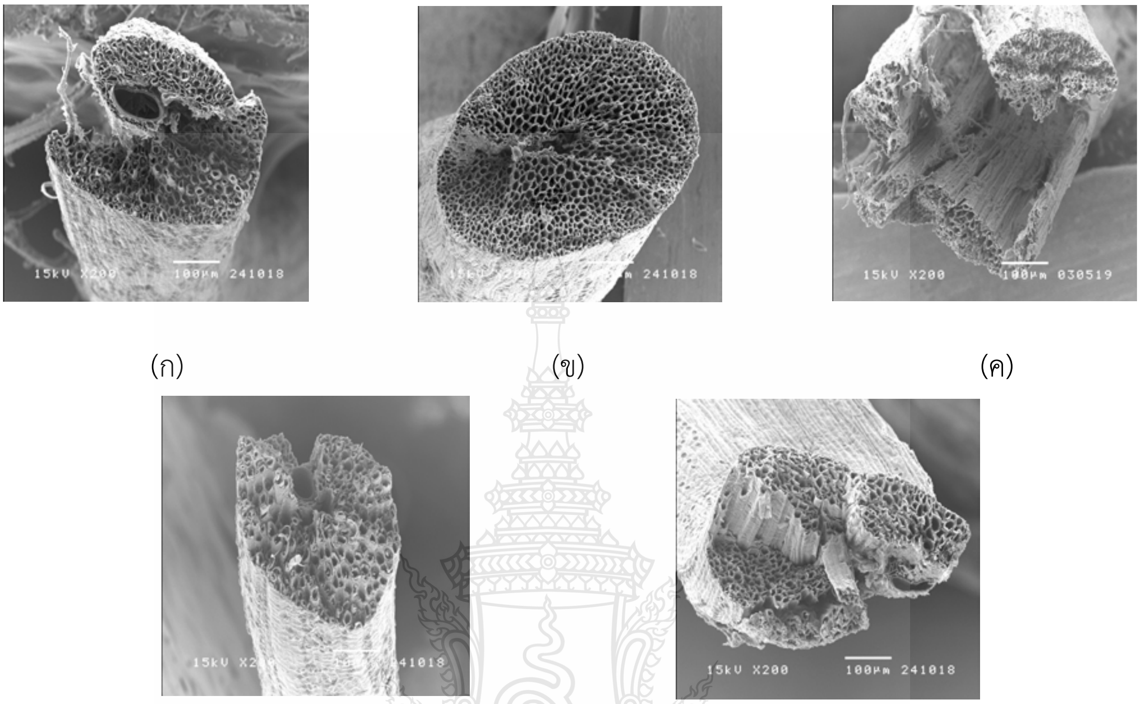
ชนิดเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน	เซลล์ลูโลส (ร้อยละ)	เฮมิเซลล์ลูโลส (ร้อยละ)	ลิกนิน (ร้อยละ)
เส้นใยก่อนปรับสภาพ	50.70^{d}	29.19^{a}	16.25^{b}
เส้นใยหลังปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5	66.44^{b}	14.49^{b}	14.27^{c}
เส้นใยหลังปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10	69.31^{a}	11.14^{c}	15.09^{bc}
เส้นใยหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5	61.44^{c}	15.43^{b}	15.22^{bc}
เส้นใยหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 10	61.53^{c}	0.68^{d}	24.16^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพและหลังการปรับสภาพ พบว่า เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนปรับสภาพ มีค่าเฉลี่ยของเซลลูโลส

คิดเป็นร้อยละ 50.70 เฮมิเซลล์ลูโลสคิดเป็นร้อยละ 29.19 ลิกนินคิดเป็นร้อยละ 16.25 และเส้นใยหลังการปรับสภาพ พบว่า เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 69.31 เฮมิเซลล์ลูโลส คิดเป็นร้อยละ 11.14 ลิกนินคิดเป็นร้อยละ 15.09 รองลงมาเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณเซลลูโลสคิดเป็นร้อยละ 66.44 เฮมิเซลล์ลูโลสคิดเป็นร้อยละ 14.49 ลิกนินคิดเป็นร้อยละ 14.27 กรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณเซลลูโลสคิดเป็นร้อยละ 61.53 เฮมิเซลล์ลูโลสคิดเป็นร้อยละ 0.68 ลิกนินคิดเป็นร้อยละ 24.16 และกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณเซลลูโลสต่ำสุดคิดเป็นร้อยละ 61.44 เฮมิเซลล์ลูโลสคิดเป็นร้อยละ 15.43 ลิกนินคิดเป็นร้อยละ 15.22 พบว่า เส้นใยที่เหมาะสมในการเลือกใช้เป็นตัวร่วมพอลิ-แลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย คือ เส้นใยหลังปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 69.31 ในขณะที่เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนปรับสภาพ มีค่าเฉลี่ยของเซลลูโลสคิดเป็นร้อยละ 50.70 เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมีหมู่ฟังก์ชันประกอบไปด้วย ไฮดรอกซิล อีเทอร์ เอสเตอร์ และคาร์บอกซิล เมื่อมีการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะเข้าไปทำปฏิกิริยาตรงกับพันธะหมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันให้หลุดออก ซึ่งสอดคล้องกับ อรวรรณ รัตนวงษ์ [12] กล่าวว่าการปรับสภาพทางเคมีจะไปกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยให้หลุดออกไป จากการศึกษาของ Bei Wang [89] พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อนทำปฏิกิริยาซิลิเลชัน คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากทำการปรับสภาพจะเห็นได้ว่าหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลบนเส้นใยถูกกำจัดออก การปรับสภาพจะทำให้เส้นใยมีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ปิยะนุช เปียคง [8] กล่าวว่า เมื่อมีการปรับปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอก-ไซด์ จะมีผลทำให้ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสบางส่วนละลายน้ำออกมาทำให้น้ำหนักของทะลายปาล์มหลังจากการปรับสภาพด้วยเบสจะหายไป มากกว่าการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก ซึ่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถละลายองค์ประกอบของเส้นใยปาล์ม โดยส่วนที่สามารถละลายไปนั้นจะเป็นส่วนของเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่บริเวณรอบนอกเส้นใย [86] เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณเฮมิ-เซลลูโลส และลิกนินลดลง [90]

4.1.2 ลักษณะภาพตามขวางและตามความยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน โดยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 - 4.2



(ก) (ข) (ค)

(ง) (จ)

รูปที่ 4.1 ลักษณะภาพตัดขวางของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังกระบวนการปรับสภาพ กำลังขยาย 200 เท่า

(ก) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพ

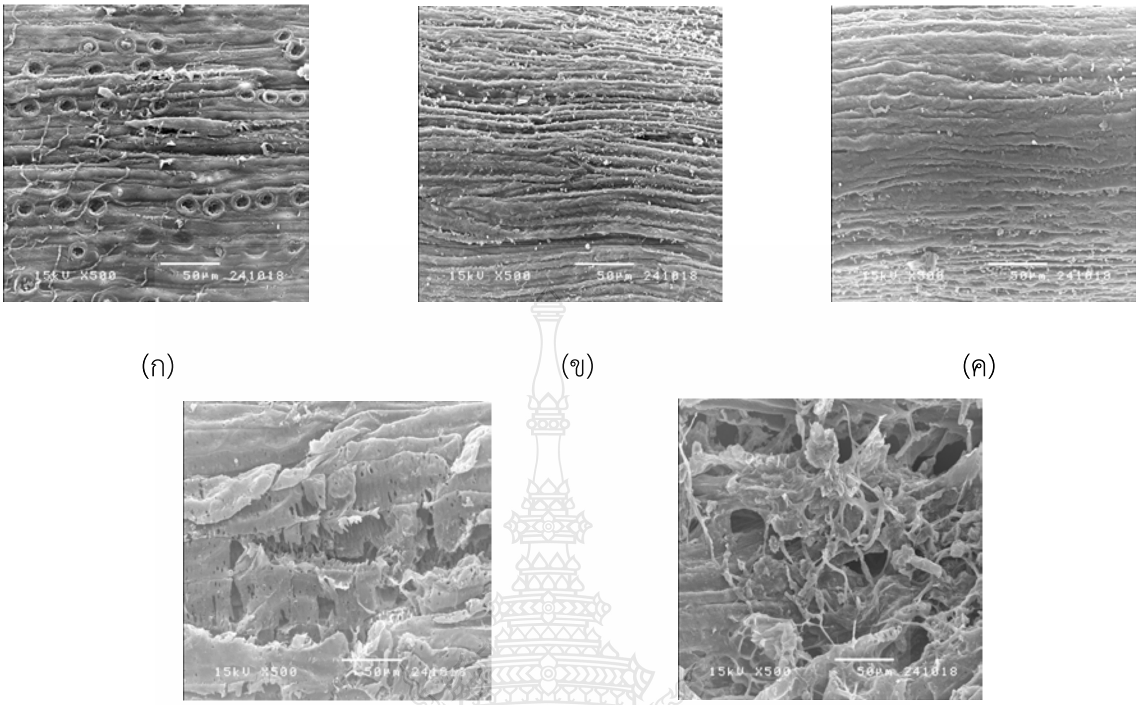
(ข) การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5

(ค) การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10

(ง) การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5

(จ) การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 10

จากรูปที่ 4.1 ลักษณะของภาพตามขวางของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน โดยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพ พบว่า เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพ (ก) ลักษณะด้านหน้าตัดก่อนการปรับสภาพซึ่งลายล้อมด้วยเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เส้นใยมีลักษณะเป็นกลุ่มหรือมัดส่งผลมีช่องว่างที่เข้าถึงส่วนของเซลลูโลสได้น้อย ซึ่งการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 (ข) มีเฮมิเซลลูโลส และลิกนินลดลงแต่ไม่มีการแยกตัวของเส้นใยกลุ่มหรือมัดส่งผลให้การเกิดช่องว่างน้อย ซึ่งการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 (ค) เกิดปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เฮมิเซลลูโลสและลิกนินลงลด มีการแยกตัวของเส้นใยหลุดออกจากกลุ่มหรือมัดของเส้นใย ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับพอลิ-แลคติกแอซิดจะทำให้ผสานได้ดีขึ้นเนื่องจากแยกตัวของเส้นใยทำให้เซลลูโลสมีช่องว่างมากขึ้นส่งผลให้การยึดเกาะดีขึ้น ซึ่งในขณะที่การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5 (ง) และการปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 10 (จ) เส้นใยไม่มีการแยกตัวออกจากกลุ่มหรือมัดของเส้นใยส่งผลให้การเกิดช่องว่างน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ ยุทธศักดิ์ สุบการี [86] กล่าวว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์จะสลายลิกนินโดยการทำลายพันธะเอสเทอร์ระหว่างไซเลน กับลิกนิน ทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนที่เข้าถึงส่วนของเซลลูโลส



รูปที่ 4.2 ลักษณะภาพตามความยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังกระบวนการปรับสภาพ กำลังขยาย 500 เท่า

(ก) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพ

(ข) การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5

(ค) การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10

(ง) การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้นข้นร้อยละ 5

(จ) การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้นข้นร้อยละ 10

จากรูปที่ 4.2 ลักษณะของภาพตามความยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน โดยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพ พบว่า เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพ (ก) ลักษณะผิวก่อนการปรับสภาพมีก้อนไขมันหรือแว๊กซ์และสิ่งสกปรกอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 (ข) ลักษณะผิวหลังการปรับสภาพมีผิวเรียบขึ้น ก้อนไขมันหรือแว๊กซ์และสิ่งสกปรกหลุดออกเป็นบางส่วน ซึ่งการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 (ค) มีสภาพผิวของเส้นใยทะลาย

ปาล์มน้ำมันที่เรียบที่สุด คือ มีลักษณะของก้อนไขมันหรือแว๊กซ์และสิ่งสกปรกบนผิวเส้นใยหลุดออกไปจำนวนมากส่งผลทำให้ผิวเส้นใยเรียบสม่ำเสมอ ซึ่งในขณะที่การปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5 (ง) และการปรับสภาพเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 10 (จ) ผิวของเส้นใยมีลักษณะขรุขระไม่เรียบและไม่มีการจัดเรียงตัวกันตลอดทั้งเส้น ซึ่งสอดคล้องกับ ราชบาท ไชยวรรณ์ [14] กล่าวว่า สภาพบริเวณผิวช่องเส้นใยปาล์มมีลักษณะเป็นผิวที่ไม่เรียบสม่ำเสมอ ที่บริเวณผิวของเส้นใยปาล์มยังคงมีลิกนิน และไขมันเกาะอยู่รอบ ๆ เส้นใยทะลายปาล์ม การปรับสภาพทำให้ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยสะอาดกว่าไม่ผ่านการปรับสภาพ [91] สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อน และส่วนประกอบอื่น ๆ บนผิวของเส้นใย อาทิเช่น แว๊กซ์ ไขมัน และไทโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ [92 – 94]

4.1.3 ผลการศึกษาระยะเวลาในการอบเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าร้อยละระยะเวลาในการอบเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับสภาพ

ระยะเวลาในการอบเส้นใย (ชั่วโมง)	ค่าความชื้น (ร้อยละ)
ก่อนอบ	9.65^{a}
22	3.43^{b}
24	2.62^{bc}
26	2.41^{bc}
28	1.30^{cd}
30	1.21^{cd}
32	0.45^{d}
34	0.34^{d}

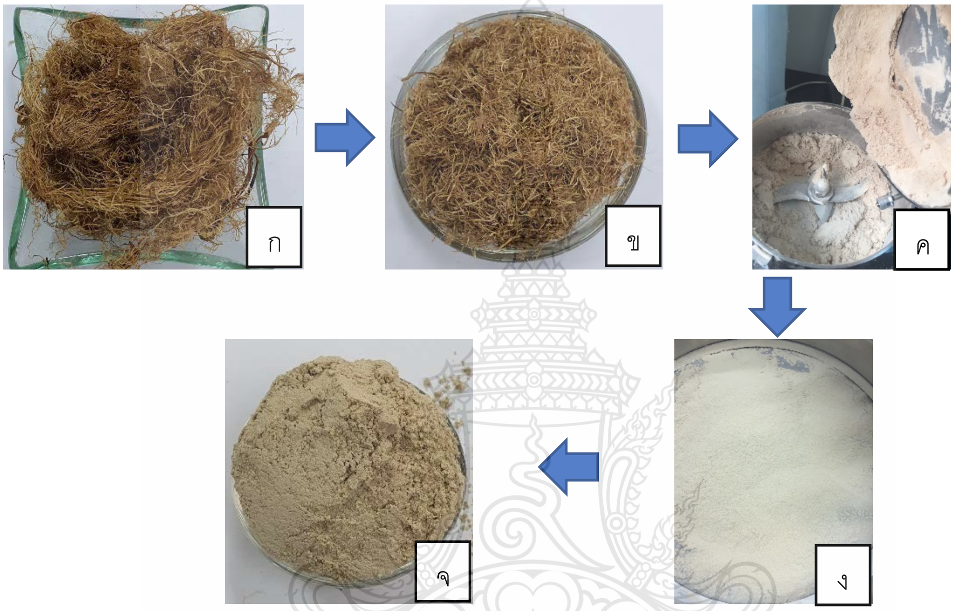
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการอบเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่าค่าความชื้นลดลงมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ 34 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 0.34 เนื่องจากความชื้นมีความสำคัญในการขึ้นรูปเส้นด้ายโดยทั่วไปก่อนการขึ้นรูปจำเป็นต้องให้เส้นใยมีความชื้นต่ำที่สุด ในระยะเวลาการอบไล่ความชื้นที่ 28 30 32 และ 34 เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2 ผลการศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย

4.2.1 ผลการเตรียมวัตถุดิบ

4.2.1.1 ผลการเตรียมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการขึ้นรูปเส้นด้ายพอลิแลคติก-แอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ขั้นการเตรียมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการขึ้นรูปเส้นด้าย

(ก) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพ

(ข) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการตัดสั้น

(ค) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดละเอียด

(ง) เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 เมซ

(จ) ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

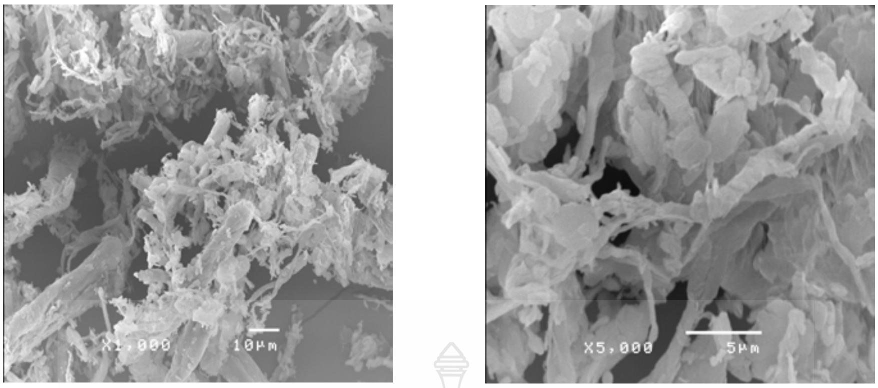
จากรูปที่ 4.3 ผลการเตรียมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่า เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพ (ก) มาตัดด้วยเครื่องบดพลาสติก จะได้เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการตัดสั้น (ข) เมื่อนำไปบดต่อจะได้เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดละเอียด (ค) หลังจากนั้นนำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 เมซ (ง) และเมื่อร่อนเสร็จจะได้ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (จ)

4.2.1.2 ลักษณะพอลิแลคติกแอซิดก่อนการขึ้นรูปเส้นด้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 ลักษณะของพอลิแลคติกแอซิดแบบเม็ดและผงก่อนการขึ้นรูปเส้นด้าย

จากรูปที่ 4.4 ลักษณะพอลิแลคติกแอซิดก่อนการขึ้นรูปเส้นด้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่า พอลิแลคติกแอซิดแบบเม็ดและผงก่อนการขึ้นรูปเส้นด้าย จำเป็นจะต้องผ่านการอบไล่ความชื้น เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการหลอมขึ้นรูปของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

4.2.1.3 ลักษณะของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ที่นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนความชื้นคงที่ โดยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



(ก) (ข)

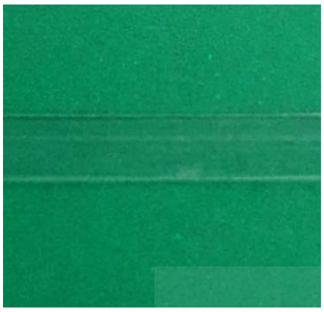
รูปที่ 4.5 ลักษณะของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการร่อนขนาด 400 เมซ

(ก) การเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 1,000 เท่า

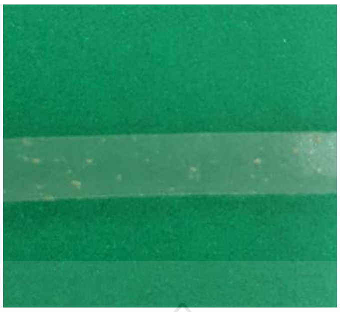
(ข) การเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 5,000 เท่า

จากรูปที่ 4.5 ลักษณะของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่า การเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 1,000 เท่า (ก) มีการเกาะตัวกันอยู่อิสระแบบไร้ทิศทาง เนื่องจากเกิดการแยกตัวของเส้นใยออกจากกลุ่มหรือมัดที่ผ่านการปรับสภาพใน และเมื่อขยายกำลังขึ้นการเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) ผงทะลายปาล์มน้ำมันยังมีลักษณะโครงสร้างของเส้นใยที่เกาะกันอยู่ และส่งผลทำให้ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเมื่อขึ้นรูปแล้วบางส่วนมีการเกาะกลุ่มเป็นก้อนขนาดใหญ่และบางส่วนหลุดออกเป็นขนาดเล็ก

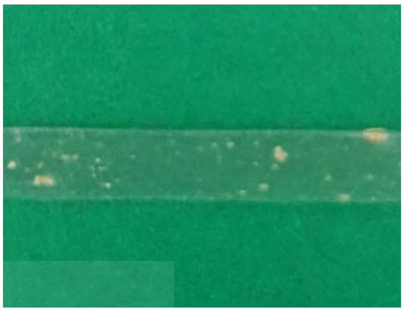
4.2.2 ผลการขึ้นรูปเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.0 0.5 1.0 และ 2.0 สามารถขึ้นรูปได้ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



(ก)



(ข)



(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 4.6 เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันขณะขึ้นรูป

(ก) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0

(ข) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5

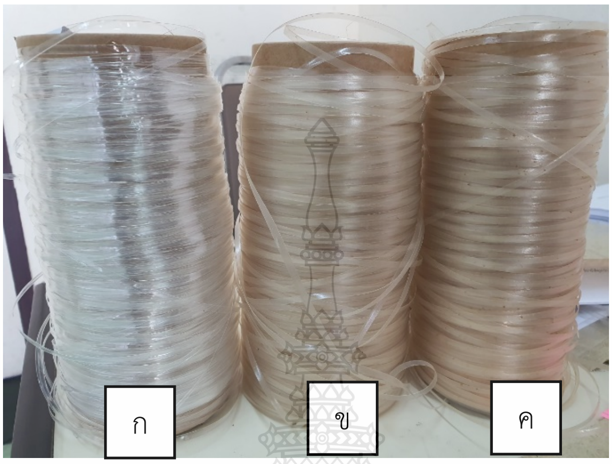
(ค) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0

(ง) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 2.0

(จ) รูหน้าแปลน (Die) หัวดายแบบซลิท

จากรูปที่ 4.6 ผลการขึ้นรูปเส้นด้ายศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้ายในอัตราส่วนที่ต่างกัน เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 (ก) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 (ข) และเส้นด้ายพอลิแลคติก-แอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 (ค) สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นด้ายได้ในปริมาณที่สูงสุด เนื่องจากการไหลของส่วนผสมมีความต่างกันเมื่อใส่ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันปริมาณที่มากขึ้นทำให้มี

การยึดเกาะกันติดบริเวณรูหน้าแปลน จึงส่งผลทำให้รูหน้าแปลนตันไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นด้ายได้ ส่วนเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 2 (ง) ไม่สามารถขึ้นรูปผลิตเป็นเส้นด้ายได้ เนื่องจากผงทะลายปาล์มน้ำมันมีการเกาะตัวกันเป็นจำนวน ดังรูปรูหน้าแปลน (Die) หัวดายแบบซลิท (จ)



รูปที่ 4.7 ม้วนเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

(ก) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0

(ข) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5

(ค) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0

จากรูปที่ 4.7 ลักษณะของเส้นด้ายศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้ายในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 (ก) มีสีขาวใสเนื่องจากไม่มีประมาณผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเข้าไปผสม ส่งผลทำให้สีของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดยังคงความใสไว้ได้ เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 (ข) มีสีออกโทนเหลืองอ่อนถึงน้ำตาลอ่อนเนื่องจากมีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันอยู่ในเส้นด้าย และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 (ค) มีสีเหลืองเข้มถึงน้ำตาลเข้มเนื่องจากมีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันอยู่ในเส้นด้ายเพิ่มมากขึ้น และมีสีเข้มขึ้นตามปริมาณของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ห่วงโซ่ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8

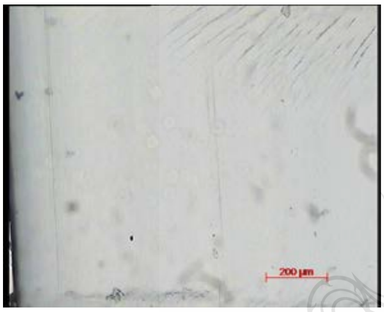
รูปที่ 4.8 ห่วงโซ่ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน
ที่มา : [95 – 98]

จากรูปที่ 4.8 ห่วงโซ่ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันส่งผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันเข้าสู่โรงงานการสกัดน้ำมันปาล์ม โรงงานการสกัดน้ำมันปาล์มส่งเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านกระบวกการหีบน้ำมันออกแล้วเข้าสู่โรงงานบดผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน โรงงานบดผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันส่งผงเข้าสู่โรงงานการผลิตเส้นด้าย โรงงานผลิตเส้นด้ายส่งเส้นด้ายเข้าสู่กลุ่มแม่บ้านทอผ้า เมื่อในห่วงโซ่มีรายได้มากขึ้นจะส่งผลกลับไปหาเกษตรกรอีกครั้งทำให้ราคาทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น

4.3 ผลการทดสอบลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ผลการทดสอบลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน นำเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน จากข้อที่ 4.2.2 มาทำการทดสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ร้อยละการหดตัวของเส้นด้าย ความแข็งแรงตามความยาวและค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย เบอร์เส้นด้าย ความหนาและความกว้างของเส้นด้าย และสมบัติความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการทดสอบลักษณะและทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) เพื่อส่องดูภาพการกระจายตัดของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันในเส้นด้าย ดังแสดงในรูปที่ 4.9



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.9 ลักษณะการกระจายตัวของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิด กำลังขยาย 10 เท่า
(ก) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0
(ข) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5
(ค) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0

จากรูปที่ 4.9 ผลการทดสอบการกระจายตัวของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิด พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 (ก) มีสีขาวใสไม่มีปริมาณผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 (ข) มีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันกระจายตัวอยู่ในเส้นด้าย การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอกัน และเส้นด้ายพอลิแลคติก-แอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 (ค) มีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันกระจายตัวอยู่ใน

เส้นด้ายมากขึ้น การกระจายตัวทั่วทั้งเส้นไม่สม่ำเสมอกัน มีผิวขรุขระ และมีสีออกโทนเหลืองเข้มถึงน้ำตาลเข้มตามปริมาณของผงทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งสอดคล้องกับ นที ศรีสวัสดิ์ และคณะ [83] กล่าวว่า ผงถ่านจากซังข้าวโพดมีการแทรกตัวเข้าไปอยู่ในเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผิวขรุขระไม่เรียบถ้ามีการแทรกตัวในปริมาณที่มากขึ้นทำให้เส้นใยนั้นมีความทึบมากขึ้นและมีการกระจุกของผงถ่านซังข้าวโพดทำให้เส้นใยมีขนาดไม่สม่ำเสมอ จากการศึกษาของจินตนา สุขสวัสดิ์ [54] พบว่า การกระจายตัวของเส้นใยเปลือกผลปาล์มมีการกระจายทั่วชิ้นงานลักษณะสัณฐานของเส้นใยมีผิวขรุขระ

4.3.2 ผลการทดสอบสมบัติการหดตัวของเส้นด้ายตามความยาว (Boiling Shrinkage) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าร้อยละการหดตัวของเส้นด้ายตามความยาว

ชนิดเส้นด้าย	ความยาวก่อนต้ม (เซนติเมตร)	ความยาวเส้นใยหลังต้ม (เซนติเมตร))				ร้อยละการหดตัวตามความยาว^{ns}
		เส้นที่ 1	เส้นที่ 2	เส้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
พอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0	10	9.70	9.70	9.60	9.67	- 3.30
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5	10	9.80	9.70	9.90	9.80	- 2.00
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0	10	9.90	9.90	9.80	9.87	- 1.30

หมายเหตุ : ^{ns} ตัวอักษรในแนวดิ่ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสมบัติการหดตัวของเส้นด้าย (Boiling Shrinkage) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 มีค่าร้อยละการหดตัวลดลงมากที่สุด คือ ร้อยละ - 3.30 รองลงมาเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 มีค่าร้อยละการหดตัว คือ ร้อยละ - 2.00 และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าร้อยละการหดตัวน้อย

ที่สุด คือ ร้อยละ - 1.30 พบว่า ร้อยละการหดตัวของเส้นด้ายมีแนวโน้มลดลงจากเส้นด้ายพอลิแลคติก-แอซิร้อยละ 100.0 เนื่องจากการผสมผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเข้าไปให้เกิดการเรียงตัวของสายโซ่ดีขึ้นส่งผลให้เกิดการหดตัวน้อยลง และเส้นด้ายทั้ง 3 ชนิดมีค่าร้อยละการหดตัวตามความยาวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับ นที ศรีสวัสดิ์ และคณะ [83] กล่าวว่า เส้นใยพอลิพรอพิลีนผสมผงถ่านจากซังข้าวโพดที่ชั้นเดียวกันแต่อัตราส่วนต่างกันนั้นมีร้อยละการหดตัวของเส้นใยมีแนวโน้มลดลงเป็นอย่างมากจากเส้นใยพอลิพรอพิลีนร้อยละ 100.0

4.3.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย (Tensile) และค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย (% Elongation) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 2256 : 2002 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงตามความยาวและค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย

ชนิดเส้นด้าย	ความแข็งแรง (นิวตัน) (MAX load) ^{ns}	การยืดตัวก่อนขาด (ร้อยละ) ^{ns}	ความเหนียว Tenacity (N/Tex)
พอลิแลคติกแอซิด ร้อยละ 100.0	52.13	5.49	0.047
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5	52.34	5.66	0.045
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0	54.10	4.87	0.041

หมายเหตุ : ^{ns} ตัวอักษรในแนวดิ่ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 ผลทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย (Tensile) และทดสอบค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นใย (% Elongation) ของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 พบว่า มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด คือ 54.10 นิวตัน และค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเท่ากับ 4.87 รองลงมา คือ เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 มีค่าความแข็งแรง คือ 52.34 นิวตัน และค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเท่ากับ 5.66 และเส้นด้ายพอลิแลคติก-แอซิดร้อยละ 100.0 มีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด คือ 52.13 นิวตัน และค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายเท่ากับ 5.49 พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่า

ความแข็งแรงสูงที่สุด และค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนขาดน้อยที่สุด เนื่องจากมีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันผสมอยู่มากที่สุดทำให้การยึดเกาะกันดีขึ้นและมีการร่วมกันกับพอลิแลคติกแอซิด ส่วนค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนขาดน้อยที่สุด เนื่องจากมีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันผสมอยู่มากที่สุดทำให้การยึดเกาะกันดีขึ้นและมีช่องว่างของการร่วมกันกับพอลิแลคติกแอซิดน้อยลง ส่งผลทำให้การยืดตัวก่อนขาดมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเหมาะกับการทำไปใช้ในงานสิ่งทอที่ต้องการความแข็งแรงมากและไม่ต้องการความยืดหยุ่น อาทิเช่น กระเป๋า เป็นต้น ค่าความแข็งแรงและค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หากมีการผสมผงเส้นใยทะลายปาล์มเพิ่มมากขึ้นอาจส่งผลต่อความแข็งแรงให้มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ ลลิตา จอมแปง [33] กล่าวว่า การเติมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตปริมาณเพิ่มขึ้นในพอลิเมอร์ผสมช่วยลดปัญหาสมบัติที่แข็งแต่เปราะของพอลิแลคติกแอซิด แต่เมื่อเติมในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักจะมีลักษณะการผสมแบบไม่เข้ากัน มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ค่อนข้างต่ำส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดึงลดลง จากการศึกษาของ สุวิทย์ รักกสิกรณ์ [85] กล่าวว่า การเติมแกลบบด ข้าวบด และแป้งข้าวเจ้า มีความต้านทานแรงดึงลดลง

4.3.4 ผลทดสอบเบอร์เส้นด้าย โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 1059 - 01 ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เบอร์เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ชนิดเส้นด้าย	น้ำหนักที่ชั่งได้ (กรัม)				เบอร์เส้นด้าย (เท็กซ์)
	เส้นที่ 1	เส้นที่ 2	เส้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
พอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0	9.17	10.37	10.31	9.95	1,106[c]
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5	10.47	9.96	10.35	10.26	1,140[b]
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0	11.80	11.34	11.90	11.68	1,298[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเบอร์เส้นด้าย เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ 1,298 เท็กซ์ รองลงมา คือ เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 มีขนาดเล็กลง คือ 1,140 เท็กซ์ และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิด

ร้อยละ 100.0 มีขนาดเล็กที่สุด คือ 1,106 เท็กซ์ พบว่า เส้นด้ายที่มีอัตราส่วนผสมผงทะลายปาล์มน้ำมันต่างกันนั้นมีแนวโน้มให้เส้นด้ายมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากเมื่อใส่อัตราส่วนผงทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้น้ำหนักของเส้นใยที่ความยาวเท่ากันจึงส่งผลทำให้เส้นด้ายมีขนาดใหญ่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ นที ศรีสวัสดิ์ และคณะ [83] กล่าวว่า เบอร์เส้นด้ายของเส้นใยพอลิพรอพิลีนผสมผงถ่านจากซังข้าวโพดที่ชั้นเดียวกันแต่อัตราส่วนต่างกันนั้นมีของเส้นใยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ส่วนเส้นใยพอลิพรอพิลีนผสมผงถ่านจากซังข้าวโพดที่อัตราส่วนเดียวกันแต่ขนาดผงถ่านต่างกันเบอร์เส้นด้ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างใกล้เคียงดังข้อมูลที่แสดงข้างต้นเนื่องจากขนาดผงและอัตราซังข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนักของเส้นใยที่ความยาวเท่ากันจึงส่งผลให้เส้นด้ายมีขนาดใหญ่ขึ้น

4.3.5 ผลการทดสอบความหนาและความกว้างของเส้นด้าย โดยใช้มาตรฐาน JIS B 7507 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 – 4.7

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความหนาของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ชนิดเส้นด้าย	ขนาดที่วัดได้ (มิลลิเมตร)				ความหนา (มิลลิเมตร)
	เส้นที่ 1	เส้นที่ 2	เส้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
พอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35^{c}
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36^{b}
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความหนาของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าความหนาที่สุด คือ 0.38 มิลลิเมตร รองลงมา คือ เส้นด้ายพอลิแลคติก-แอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 มีค่าความหนา 0.36 มิลลิเมตร และเส้นด้ายพอลิแลค-ติกแอซิดร้อยละ 100.0 มีค่าความหนาน้อยที่สุด คือ 0.35 มิลลิเมตร พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าความหนาที่สุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันส่งผลทำให้เส้นด้ายมีการขยายตัวขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่มีแนวโน้มความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมผงทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยความกว้างของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

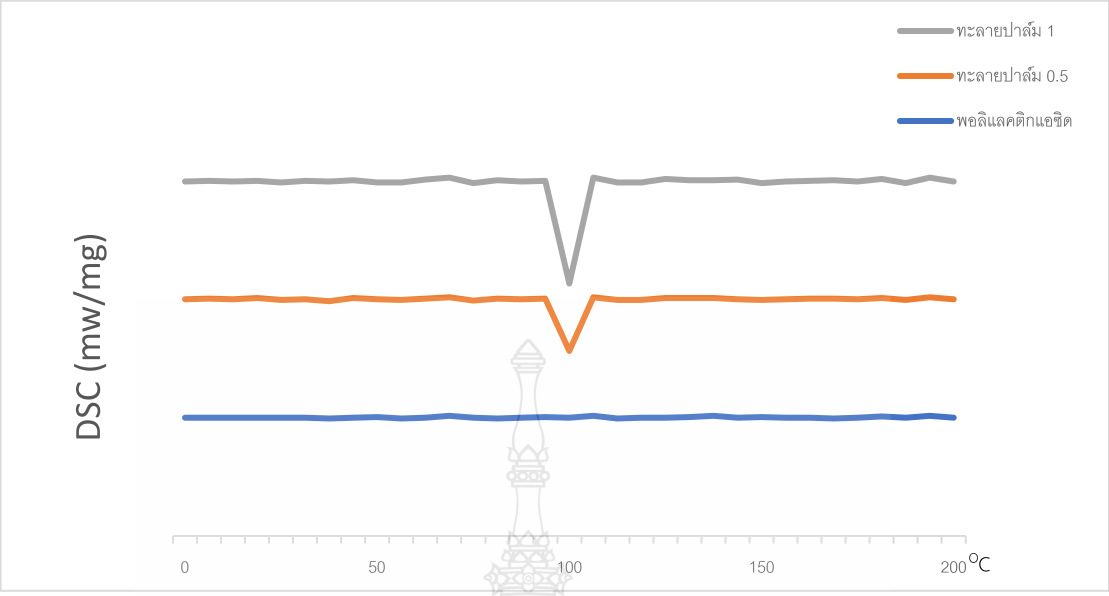
ชนิดเส้นด้าย	ขนาดที่วัดได้ (มิลลิเมตร)				ความกว้าง (มิลลิเมตร)
	เส้นที่ 1	เส้นที่ 2	เส้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
พอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0	3.37	3.37	3.30	3.35	3.35[c]
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5	3.41	3.40	3.39	3.40	3.40[b]
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0	3.67	3.67	3.69	3.68	3.68[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความกว้างของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าความกว้างมากที่สุด คือ 3.68 มิลลิเมตร รองลงมา คือ เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 มีค่าความกว้าง 3.40 มิลลิเมตร และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 มีค่าความกว้างน้อยที่สุด คือ 3.35 มิลลิเมตร พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าความกว้างมากที่สุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเข้าไปในเส้นด้าย ส่งผลทำให้เส้นด้ายมีลักษณะการขยายตัวมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่มีแนวโน้มความกว้างเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น

ผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัย เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่มีอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน มีสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไม่แตกต่างกัน นั้นพบว่า ไม่สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ ผลการทดสอบสมบัติการหดตัวของเส้นด้าย ความหนาและความกว้างของเส้นด้าย มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ยกเว้นผลการทดสอบเบอร์เส้นด้าย และการทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3.6 ผลทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) โดยใช้เครื่อง NETZSCH DSC 200 F3 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และดังแสดงในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบระดับอุณภูมิการตกผลึกของเส้นด้าย (T_{cc})

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบสมบัติความร้อนเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

ชนิดเส้นด้าย	T_m (°C)	T_{cc} (°C)	ΔHm (J/g)	% X_c
พอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0	175.90	-	5.51	5.92
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5	176.50	99.60	5.91	6.03
พอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0	175.20	100.40	6.91	6.69

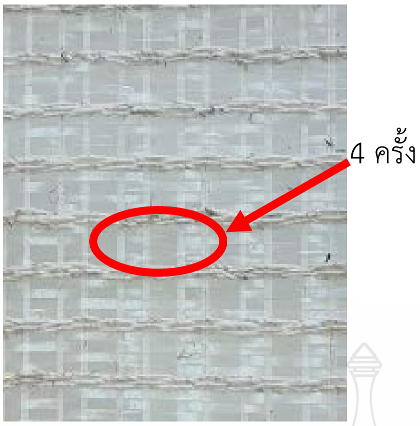
จากรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย (Differential Scanning Carlorimetry, DSC) มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) พบว่า อุณหภูมิการหลอมเหลวของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 175.90 องศาเซลเซียส เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 176.50 องศาเซลเซียส และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีอุณหภูมิ

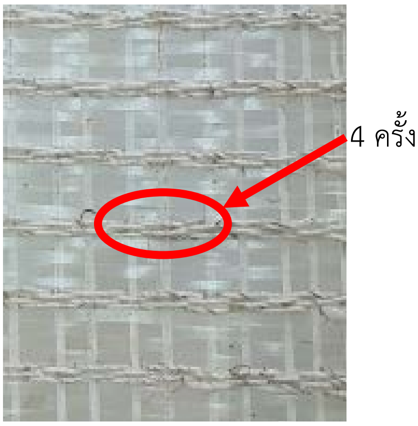
หลอมเหลวที่ 175.2 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อการเติมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันลงไปจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) มีค่าไม่แตกต่างไปจากค่าเดิมมาก ซึ่งสอดคล้องกับ นที ศรีสวัสดิ์ และคณะ [83] กล่าวว่า อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของพอลิพรอพิลีนร้อยละ 100.0 เมื่อเป็นเส้นใยที่ผสมผงถ่านจากซังข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 0.5 1.0 2.0 และ 3.0 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวจะไม่แตกต่างกัน

ผลสมบัติทางความร้อนที่มีต่ออุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) พบว่า อุณหภูมิการเกิดผลึกของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 ไม่มีปรากฏบนเส้นกราฟ เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0 5 มีอุณหภูมิการเกิดผลึกที่ 99.60 องศาเซลเซียส และเส้นด้ายพอลิ-แลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีอุณหภูมิการเกิดผลึกที่ 100.40 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าการผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 ในพอลิแลคติกแอซิดมีอุณหภูมิการเกิดผลึกที่ 100.40 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้การกลับมาเป็นผลึกได้เร็วมากขึ้นและใช้เวลาน้อยลงในการกลับมาเป็นผลึก ซึ่งสอดคล้องกับ สุวิทย์ รักกสิกรณ์ [85] กล่าวว่า อุณหภูมิการเกิดผลึกช่วง 100-105 องศาเซลเซียส ช่วยเร่งอัตราการเกิดผลึกได้ดีที่สุด

ผลสมบัติทางความร้อนที่มีต่อร้อยละปริมาณผลึก (Degree of Crystallinity, % X_c) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าร้อยละปริมาณผลึกสูงที่สุด คือ 6.69 รองลงมา คือเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0 5 มีค่าร้อยละปริมาณผลึก คือ 6.03 และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 มีค่าร้อยละปริมาณผลึก คือ 5.92 พบว่าเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าร้อยละปริมาณผลึกสูงที่สุด คือ 6.69 เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันในพอลิแลคติกแอซิดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าร้อยละปริมาณผลึกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมีลักษณะพื้นผิวขรุขระส่งผลให้มีพื้นที่เกิดผลึกบนพื้นผิวได้มากกว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0 ซึ่งสอดคล้องกับ สุวิทย์ รัก-กสิกรณ์ [85] กล่าวว่า แกลบบด ช่วยเร่งอัตราการเกิดผลึกได้ดีกว่าข้าวบด และแป้งข้าวเจ้า เนื่องจากแกลบมีลักษณะเป็นเหลี่ยมแหลม ยาวและมีพื้นผิวที่ขรุขระจึงทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับเกิดผลึกมากกว่าลักษณะทรงกลมของแป้งข้าว

4.3.7 การขึ้นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ นำเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 การทอสลับลายขัดดัดแปลงกับเส้นด้ายฝ้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11





(ก) (ข)

รูปที่ 4.11 ผ้าทอมือจากเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

(ก) จำนวนเส้นด้ายพุ่งของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0

(ข) จำนวนเส้นด้ายพุ่งของเส้นด้ายฝ้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

จากรูปที่ 4.11 พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 สามารถทอเป็นผืนผ้าได้ โดยมีโครงสร้างผ้าลายขัดดัดแปลง ประกอบด้วยเส้นด้ายยืนจากเส้นด้ายฝ้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน เส้นด้ายพุ่ง 2 ชนิด คือ เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 ทอลายสองขึ้น 2 ลง 2 จำนวน 4 ครั้ง (ดังแสดงในรูป (ก)) และการทอสลับกับเส้นด้ายฝ้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทอลายขัดขึ้น 1 ลง 1 จำนวน 4 ครั้ง รวมเป็น ขั้นของลวดลายขัดดัดแปลง (ดังแสดงในรูป (ข)) เกิดผืนผ้าที่มีการผสมผสานมีความสวยงาม แปลกใหม่ มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอ อาทิเช่น ผ้ารองจาน รองแก้ว เป็นต้น มีคุณสมบัติในการดูแลและทำความสะอาดได้ง่าย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายจากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี ศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย และทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน สามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษากระบวนการปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทางเคมี

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพ และหลังการปรับสภาพ พบว่า เส้นใยที่เหมาะสมในการเลือกใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย คือ เส้นใยหลังปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10.00 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 69.31 ในขณะที่เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนปรับสภาพ มีค่าเฉลี่ยของเซลลูโลสคิดเป็นร้อยละ 50.70 เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมีหมู่ฟังก์ชันประกอบไปด้วย ไฮดรอกซิล อีเทอร์ เอสเตอร์ และคาร์บอกซิล เมื่อมีการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะเข้าไปทำปฏิกิริยาตรงกับพันธะหมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันให้หลุดออก

ลักษณะภาพตามขวางและตามความยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน โดยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ลักษณะภาพตัดขวางของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับสภาพ พบว่า เส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10.00 เกิดปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เฮมิเซลลูโลส และลิกนินลงลด มีการแยกตัวของเส้นใยหลุดออกจากกลุ่มหรือมัดของเส้นใย ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับพอลิแลคติกแอซิดจะทำให้ผสานได้ดีขึ้นเนื่องจากแยกตัวของเส้นใยทำให้เซลลูโลสมีช่องว่างมากขึ้นส่งผลให้การยึดเกาะดีขึ้น การทดสอบลักษณะภาพตามความยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับสภาพ พบว่า เส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10.00 มีสภาพผิวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่เรียบที่สุด คือ มีลักษณะของก้อนไขมันหรือแว๊กซ์และสิ่งสกปรกบนผิวเส้นใยหลุดออกไปจำนวนมากส่งผลทำให้ผิวเส้นใยเรียบสม่ำเสมอ

การศึกษาระยะเวลาในการอบเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันผ่านการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10.00 พบว่า ค่าความชื้นลดลงมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ 34 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 0.34 เนื่องจากความชื้นมี

ความสำคัญในการขึ้นรูปเส้นด้ายโดยทั่วไปก่อนการขึ้นรูปจำเป็นต้องให้เส้นใยมีความชื้นต่ำที่สุด ในระยะเวลาการอบไล่ความชื้นที่ 28 30 32 และ 34 เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.2 สรุปผลการศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย

การเตรียมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่า เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพมาตัดด้วยเครื่องบดพลาสติก จะได้เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการตัดสั้น เมื่อนำไปบดต่อจะได้เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดละเอียด หลังจากนั้นนำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 และเมื่อร่อนเสร็จจะได้ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ลักษณะพอลิแลคติกแอซิดก่อนการขึ้นรูปเส้นด้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่า พอลิแลคติกแอซิดแบบเม็ดและผงก่อนการขึ้นรูปเส้นด้าย จำเป็นจะต้องผ่านการอบไล่ความชื้นเนื่องจากความชื้นมีผลต่อการหลอมขึ้นรูปของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ลักษณะของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่า การเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 1,000 เท่า มีการเกาะตัวกันอยู่อิสระแบบไร้ทิศทาง เนื่องจากเกิดการแยกตัวของเส้นใยออกจากกลุ่มหรือมัดที่ผ่านการปรับสภาพใน และเมื่อขยายกำลังขึ้นการเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 5,000 เท่า ผงทะลายปาล์มน้ำมันยังมีลักษณะโครงสร้างของเส้นใยที่เกาะกันอยู่ และส่งผลทำให้ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเมื่อขึ้นรูปแล้วบางส่วนมีการเกาะกลุ่มเป็นก้อนขนาดใหญ่และบางส่วนหลุดออกเป็นขนาดเล็ก

การขึ้นรูปเส้นด้ายศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้ายในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นด้ายได้ในปริมาณที่สูงสุด เนื่องจากการไหลของส่วนผสมมีความต่างกันเมื่อใส่ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันปริมาณที่มากขึ้นทำให้มีการยึดเกาะกันติดบริเวณรูหน้าแปลน จึงส่งผลทำให้รูหน้าแปลนตันไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นด้ายได้

ลักษณะของเส้นด้ายศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้ายในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีสีเหลืองเข้มถึงน้ำตาลเข้มเนื่องจากมีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันอยู่ในเส้นด้ายเพิ่มมากขึ้น และมีสีเข้มขึ้นตามปริมาณของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ห่วงโซ่ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันส่งผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันเข้าสู่โรงงานการสกัดน้ำมันปาล์ม โรงงานการสกัดน้ำมัน

ปาล์มส่งเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านกระบวกการหีบน้ำมันออกแล้วเข้าสู่โรงงานบดผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน โรงงานบดผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันส่งผงเข้าสู่โรงงานการผลิตเส้นด้าย โรงงานผลิตเส้นด้ายส่งเส้นด้ายเข้าสู่กลุ่มแม่บ้านทอผ้า เมื่อในห่วงโซ่มีรายได้มากขึ้นจะส่งผลกลับไปหาเกษตรกรอีกครั้งทำให้ราคาทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น

5.3 สรุปผลการทดสอบลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) พบว่า เส้นด้ายพอลิ-แลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันกระจายตัวอยู่ในเส้นด้ายมากขึ้น การกระจายตัวทั่วทั้งเส้นไม่สม่ำเสมอกัน มีผิวขรุขระ และมีสีออกโทนเหลืองเข้มถึงน้ำตาลเข้มตามปริมาณของผงทะลายปาล์มน้ำมัน

สมบัติการหดตัวของเส้นด้าย (Boiling Shrinkage) พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าร้อยละการหดตัวน้อยที่สุด คือ ร้อยละ -1.3 พบว่า ร้อยละการหดตัวของเส้นด้ายมีแนวโน้มลดลงจากเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิร้อยละ 100.0 เนื่องจากการผสมผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเข้าไปให้เกิดการเรียงตัวของสายโซ่ดีขึ้นส่งผลให้เกิดการหดตัวน้อยลง และเส้นด้ายทั้ง 3 ชนิดมีค่าร้อยละการหดตัวตามความยาวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สมบัติทางกายภาพของความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย (Tensile) และค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นใย (% Elongation) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด คือ 54.10 นิวตัน และค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนขาด เท่ากับ 4.87 พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด และค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนขาดน้อยที่สุด เนื่องจากมีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันผสมอยู่มากที่สุดทำให้การยึดเกาะกันดีขึ้นและมีการร่วมกันกับพอลิแลคติกแอซิด ส่วนค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนขาดน้อยที่สุด เนื่องจากมีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันผสมอยู่มากที่สุดทำให้การยึดเกาะกันดีขึ้นและมีช่องว่างของการร่วมกันกับพอลิแลคติกแอซิดน้อยลง ส่งผลทำให้การยืดตัวก่อนขาดมีค่าน้อยที่สุดซึ่งเหมาะกับการทำไปใช้ในงานสิ่งทอที่ต้องการความแข็งแรงมากและไม่ต้องการความยืดหยุ่น อาทิเช่นกระเป๋า เป็นต้น ค่าความแข็งแรงและค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หากมีการผสมผงเส้นใยทะลายปาล์มเพิ่มมากขึ้นอาจส่งผลต่อความแข็งแรงให้มีแนวโน้มลดลง

การทดสอบเบอร์เส้นด้าย เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีขนาดของเบอร์เส้นด้ายใหญ่ที่สุด คือ 1,298 เท็กซ์ พบว่า เส้นด้ายที่มีอัตราส่วนผสมผงทะลายปาล์มน้ำมันต่างกันนั้นมีแนวโน้มให้เส้นด้ายมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากเมื่อใส่อัตราส่วนผงทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้น้ำหนักของเส้นใยที่ความยาวเท่ากันจึงส่งผลทำให้เส้นด้ายมีขนาดใหญ่มากขึ้น

การทดสอบความหนาของเส้นด้าย พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าความหนาที่สุด คือ 0.38 มิลลิเมตร เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเข้าไปในเส้นด้ายทำให้เส้นด้ายมีลักษณะการขยายตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่มีแนวโน้มความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมผงทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น

การทดสอบความกว้างของเส้นด้าย พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าความกว้างที่สุด คือ 3.68 มิลลิเมตร เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเข้าไปในเส้นด้าย ส่งผลทำให้เส้นด้ายมีลักษณะการขยายตัวมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่มีแนวโน้มความกว้างเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่มีอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน มีสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไม่แตกต่างกัน นั้นพบว่า ไม่สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ ผลการทดสอบสมบัติการหดตัวของเส้นด้าย ความหนาและความกว้างของเส้นด้าย มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ยกเว้นผลการทดสอบเบอร์เส้นด้าย การทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) พบว่า เส้นด้ายพอลิ-แลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 175.20 องศาเซลเซียส เมื่อการเติมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันลงไปจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) มีค่าไม่แตกต่างไปจากค่าเดิมมาก มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดผลึก (T_{cc}) พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ร้อยละ 1.0 มีอุณหภูมิการเกิดผลึกที่ 100.40 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าการผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 ในพอลิแลคติกแอซิดมีอุณหภูมิการเกิดผลึกที่ 100.4 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้การกลับมาเป็นผลึกได้เร็วมากขึ้นและให้เวลาน้อยลงในการกลับมาเป็นผลึก มีผลต่อร้อยละปริมาณผลึก (Degree of Crystallinity, % X_c) พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 มีค่าร้อยละปริมาณผลึกสูงที่สุด คือ 6.69 เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันในพอลิแลคติกแอซิดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าร้อยละปริมาณผลึก

เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมีลักษณะพื้นผิวขรุขระส่งผลให้มีพื้นที่เกิดผลึกบนพื้นผิวได้มากกว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0

ผลการขึ้นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0สามารถทอเป็นผืนผ้าได้ โดยมีโครงสร้างผ้าลายขัดดัดแปลง ประกอบด้วยเส้นด้ายยืนจากเส้นด้ายฝ้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน เส้นด้ายพุ่ง 2 ชนิด คือ เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 ทอลายสองขึ้น 2 ลง 2 จำนวน 4 ครั้ง และการทอสลับกับเส้นด้ายฝ้ายผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันทอลายขัดขึ้น 1 ลง 1 จำนวน 4 ครั้ง รวมเป็น ขั้นของลวดลายขัดดัดแปลง เกิดผืนผ้าที่มีการผสมผสานมีความสวยงาม แปลกใหม่ มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอ อาทิเช่น ผ้ารองจาน รองแก้ว เป็นต้น มีคุณสมบัติในการดูแลและทำความสะอาดได้ง่าย

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ข้อเสนอแนะในทำวิจัยครั้งนี้

5.4.1.1 การบดเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ควรบดให้มีความละเอียดมากกว่า 37 ไมครอน เนื่องจากผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันยังมีการเกาะตัวกันอยู่และผสมได้ในอัตราส่วนผสมที่น้อย

5.4.1.2 ในการบดเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันควรมีการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากผฝุ่นละอองของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่จะเข้าไปทำอันตรายต่อร่างกาย อาทิเช่น ผ้าปิดจมูกและถุงมือยาง

5.4.2 ข้อเสนอแนะในทำวิจัยครั้งต่อไป

5.4.2.1 การปรับสภาพเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันควรมีการปรับสภาพด้วยน้ำหมักชีวภาพ หรือเอนไซม์เพื่อลดปัญหาการใช้สารเคมีและยังลดการกำจัดน้ำเสียหลังจากการปรับสภาพอีกด้วย

5.4.2.2 เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพสามารถนำไปพัฒนาในด้านต่าง ๆ อาทิเช่น ปั่นเป็นเส้นด้าย ทอผ้า ผสมกับวัสดุคอมโพสิต เป็นต้น

5.4.2.3 ในการผสมวัสดุพอลิเมอร์ที่มีผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมควรทำการไล่ความชื้นออกจากพอลิเมอร์ก่อนเข้ากระบวนการ

5.4.2.4 ควรมีการผสมด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดเกลียวคู่ (Twin Screw extruder) เพื่อทำให้พอลิแลคติกแอซิดผสมกับผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนแล้วนำไปตัดเป็นเม็ดชิป ก่อนนำมาทำการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) เพื่อที่จะใส่อัตราส่วนผสมผงทะลายปาล์มน้ำมันได้ในปริมาณที่มากขึ้น และทำให้การขึ้นรูปดีขึ้น

5.4.2.5 การขึ้นรูปเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันควรมีการผสมสาร หรือเม็ดพลาสติกที่ช่วยเรื่องความเหนียวเพิ่มเติมเพื่อลดความเปราะของพอลิแลคติกแอซิด

5.4.2.6 การขึ้นรูปเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันควรมีการศึกษาส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ร้อยละ 1.5 เพิ่มเติม

5.4.2.7 การขึ้นรูปสามารถเปลี่ยนรูหน้าแปลน ให้มีลักษณะเส้นใยหรือเส้นด้ายในลักษณะต่าง ๆ เพิ่มเติม อาทิเช่น เส้นกลมหัว 24 รู เส้นกลมหัว 1 รู เส้น 3 เหลี่ยม เป็นต้น

5.4.2.8 ทำการทดสอบสมบัติทางด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม อาทิเช่น การย่อยสลาย การป้องกันแบคทีเรีย และสมบัติทางไฟฟ้า เป็นต้น

5.4.2.9 ทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบ อาทิเช่น กระเป๋า และเคหะสิ่งทอ เป็นต้น

บรรณานุกรม

[1] วรรณรัก นพเจริญกุล, “การผลิตถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มโดยการกระตุ้นด้วยโปแตสเซียมไฮ-ดรอกไซด์และไอน้ำ,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีชีวภาพ อุตสาหกรรมเกษร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2548.

[2] จตุพร ใจบุญ, “การดัดแปรกากปาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมยางธรรมชาติ,”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีพอลิเมอร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2551.

[3] รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์, *ปาล์มน้ำมัน พืชเศรษฐกิจ กู้วิกฤต เพิ่มรายได้*, กรุงเทพมหานคร : บริษัท โรงพิมพ์ประสานมิตร, 2548.

[4] กฤษฎา พวงสุวรรณ, มิตรชัย จงเชี่ยวชำนาญ, และชาคริต ทองอุไร, “แบบจำลองไดอิเลคตริกหลายชั้นของผลปาล์มสำหรับการอบแห้งด้วยวิธีคลื่นไมโครเวฟ,” ใน.*ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์* ครั้งที่ 50, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555, หน้า 68 - 75.

[5] ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, *ปาล์มน้ำมันพืชพลังงานที่ยั่งยืนแห่งอนาคต*, กรุงเทพมหานคร : บริษัท สำนักพิมพ์ เพชรกะรัต จำกัด, 2537.

[6] ทัศนีย์ ทองก้นเหลือง, “การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นปาร์ติเกิลจากทะลายปาล์มน้ำมัน,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี, สุราษฎร์ธานี, 2548.

[7] อัจฉรา พิสิฐวิญญู, “การผลิตเอทานนอลจากรีเจนเนอเรตเซลลูโลสของเส้นใยทะลายปาล์ม,”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เคมีอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, 2557.

[8] ปิยะนุช เปียคง, “การศึกษาการผลิตไซโลสจากทะลายปาล์มเปล่า,”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2557.

[9] ชาคริต ทองอุไร, สัณห์ชัย กลิ่นพิกุล, จรัญ บุญกาญจน์, และ พิมพรรณ เกียรติซิมกุล, “การผลิตไบโอดีเซลจากผลิตผลปาล์มน้ำมัน,” *วารสารสงขลานครินทร์*, ปีที่ 23 ฉบับพิเศษ, หน้า 831 - 841, 2544.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[10] ทิพากร สุวรรณรัตน์, “การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากน้ำนึ่งผลปาล์มน้ำมัน,”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, 2555.

[11] รัตตินันท์ ปิตินันท์พงศ์, “การผลิตแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์จากทะลายปาล์มเปล่าและซีเมนต์,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีพลังงาน พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2552.

[12] อรวรรณ รัตนวงษ์, “การปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยจากทะลายปาล์มเปล่าเพื่อเพิ่มการดูดซับสารไม่มีขั้ว,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2549.

[13] กัมพล จันทรสนธิ, “การใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุปลูกพืชแนวตั้ง,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, นวัตกรรมอาคาร สถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2552.

[14] ราชบาท ไชยวรรณ์, “การผลิตวัสดุพอลิเมอร์ผสมเส้นใยปาล์ม,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2558.

[15] O. Chavalparit, W.H. Rulkens, A. P. J. Mol and S. Khaodhair, “Options for environmental sustainability of the ccrude palm oil industry in Thailand through enhancement of industrial ecosystems,” *Environment, in Development and Sustainability,* Vol. 8, No.2, pp. 271 - 287, 2006.

[16] สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, *ปาล์มน้ำมัน: การปรับปรุงขยายพันธ์ การปลูกและการจัดสวน โครงการชุดความรู้ ม.อ เล่มที่2,* สงขลา : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮาส์ จำกัด, 2553.

[17] เอกชัย พฤกษ์อำไพ, *คู่มือปาล์มน้ำมัน,* กรุงเทพมหานคร : เทพพิทักษ์, 2548

[18] สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, *ส่วนของปาล์มน้ำมันล้วนนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น หนังสือชุดความรู้ปาล์มน้ำมัน ม.อ เล่มที่4,* สงขลา : โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮาส์ จำกัด, 2556.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[19] บุษบา ล้อประเสริฐ, *ปาล์มน้ำมัน*, กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตร, 2548.

[20] อัมพา คำวงษา, *เทคโนโลยีการปลูกปาล์มน้ำมันให้ได้ผลผลิตสูง*, กรุงเทพมหานคร : บริษัท นาคา อินเตอร์มีเดีย จำกัด, 2554.

[21] *ไทยรัฐออนไลน์, ปาล์มขยับ กก.ละ 6 บาท ชี้ราคาดี มีเสถียรภาพ พัทลุงเพิ่มพื้นที่ปลูก* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : https://www.thairath.co.th/content/758746, (19 ตุลาคม 2559).

[22] *ไทยรัฐออนไลน์, นายทุนกว้านซื้อที่ดิน จากชาวนาภาคใต้กว่าแสนไร่ ลงทุนปลูปปาล์มน้ำมัน* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : https://www.thairath.co.th/content/708014, (31 สิงหาคม 2559).

[23] *สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ผลพยากรณ์การผลิตพืชไร่ และไม้ยืนต้นที่สำคัญ ปี 2561* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://www.oae.go.th/download/forecastdata/situation/8-22122560.pdf, (5 มกราคม 2561).

[24] ณัฐพล เลี้ยงเพ็ชร, “กระบวนการหมักปุ๋ยซังทะลายปาล์มน้ำมันแบบราย่อยสลายเนื้อไม้,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุลชีววิทยาประยุกต์ วิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2558.

[25] ไซนะ มูเล็ง, และ สุวิทย์ สุวรรณโณ, “การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทะลายปาล์มเปล่าและทางใบปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตชีวมวลเห็ดแครง,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, ปีที่ 14, ฉบับที่ 4, หน้า 53 - 60, 2555.

[26] สุปราณี แก้วภิรมย์, และศิริเดช บุญแสง, “โครงการ คอมโพสิตรักษ์สิ่งแวดล้อมจากพอลิแลคติก-แอซิดและเส้นใยสับปะรด,” (รายงานการวิจัย), ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557.

[27] อรปรียา เวียงอินทร์, “การวิเคราะห์ผลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนต เมื่อเติมสารช่วยยืดสายโซ่โมเลกุล,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 2560.

[28] อัจฉราภรณ์ บุญมา, “อิทธิพลของพลาสมาจากก๊าซต่อการดัดแปรคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิ-แลคติกแอซิด,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2556.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[29] เบญจวรรณ บุญธิมา, "วัสดุคอมโพสิทชีวภาพจากกากถั่วเหลืองร่วมกับพอลิแลคติกแอซิด และเสริมแรงด้วยเส้นใยพืช," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีอุตสาหกรรมชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, 2552.

[30] ศิรดา ภาดี, "การศึกษาพอลิเมอร์ผสมและการเตรียมเส้นใยระหว่างพอลิไตรเมทิลีนเทเรฟทาเลท และพอลิแลคติกแอซิด," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมวัสดุ วิศกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2556.

[31] นรรจพร เรืองไพศาล, "ผลกระทบของสภาวะการปั่นแบบหลอมเหลวที่มีต่อรูปร่างหน้าตัดสมบัติทาง กลและการสะท้อนแสงของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมวัสดุ วิศกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2556.

[32] เกวลี นิลกำแหง, "การศึกษาพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดและเชลแลค," วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, วิศวกรรมวัสดุ วิศกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2558.

[33] ลลิตา จอมแปง, "การเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วย เทคนิคการปั่นหลอมเหลว," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมวัสดุ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2556.

[34] กฤตพล ศรีวงษา, "การศึกษาผลกระทบของรังสีแกมมาและอิเล็กตรอนบีมต่อสมบัติของพอลิ- แลคติกแอซิด," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, 2555.

[35] *สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, นวัตกรรม PLA* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2017/05/thti3105201703, (30 กันยายน 2560)

[36] อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล, "พอลิแลกติกแอซิด : พอลิเอสเทอร์จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้," *วารสารวิศวกรรมสาร ม.ก.*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 24 ฉบับที่ 77, หน้า 99 - 110, 2554.

[37] อรรคกร สัญญารักษ์, "การเพิ่มสมบัติทางความเหนียวของพอลิแลคติกแอซิดที่ปรับปรุงโดยพอลิเอ- ไมด์ 4 และพอลิเอไมด์ 11," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิทยาการและวิศวกรรมพอลิ- เมอร์ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2557.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[38] นลิน พลอยเพชรา, “ฟิล์มต้านจุลินทรีย์จากพอลิโพรพิลีน/พอลิแลคติกแอซิดฐานนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สำหรับต้นแบบถุงระบายปัสสาวะ,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ อุตสาหกรรมเกษร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2557.

[39] ปราณี ชุมสำโรง, นิธินาถ ศุภกาญจน์, และจันทิมา ดีประเสริฐกุล, “การศึกษาเบื้องต้นการเตรียมพอลิแลคติกแอซิดจากกรดแลคติก,” รายงานการวิจัย, นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2554.

[40] S. Schmidt. and N. Padukone, “Production of lactic acid from wastepaper as a cellulosic feedstock,” *Industrial Microbiology & Biotechnology*, Vol. 18, No.1, pp. 10 - 14, 1997.

[41] *NSTDA, พลาสติกย่อยสลายได้นวัตกรรมเพื่อโลก* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/39.pdf, (30 กันยายน 2560)

[42] ปุณิภา เย็นสุขใจ, “ผลของการบำบัดเบื้องต้นต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากทะลายปาล์มเปล่า,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2558.

[43] กิตติชัย จุกจันทร์, “การศึกษาและทดลองการแปลงกลูโคสจากลิกโนเซลลูโลส (กากปาล์มน้ำมัน),” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมพลังงาน วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 2555.

[44] วิภาภรณ์ ณ ถลาง, กุลวดี ตรองพาณิชย์, และศรุดา โลหะนะ, “คุณค่าทางโภชนาการและความเป็นพิษระดับเซลล์ของเส้นใยปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการสกัดน้ำมันปาล์ม,” ใน *ประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48,* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553, หน้า 203 - 210.

[45] โชติญา ดีแสน, “การผลิตไฮโดรเจนจากเศษเหลือทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการย่อยโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่คัดเลือก,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีชีวภาพ วิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, นครศรีธรรมราช, 2553.

[46] อาร์ดี เกษตรพัฒนา, *ปาล์มน้ำมันลูกผสม* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://www.rdkaset.com/variety/, (19 ธันวาคม 2559).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[47] *ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, ปาล์มน้ำมันลูกผสม* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://www.doa.go.th/palmsurat/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=63 /, (19 ธันวาคม 2559)

[48] *สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ผลพยากรณ์การผลิตพืชไร่ และไม้ยืนต้นที่สำคัญ ปี 2561* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://www.oae.go.th/download/forecastdata/region/8-22122560.pdf, (5 มกราคม 2561).

[49] *สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ เป็นรายภาค และรายจังหวัด ปี 2556-2558* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://www.oae.go.th/download/download_journal/2559/yearbook58.pdf, (5 มกราคม 2561).

[50] *สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2561* (ออนไลน์), 2561, สืบค้นได้จาก : http://www.oae.go.th/download/document_tendency/agri_situation2561.pdf, (5 มกราคม 2561).

[51] ธีระพงศ์ จันทรนิยม, "กระบวนการไร้ของเสียในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม," *วารสารหาดใหญ่วิชาการ*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, หน้า 159 - 164, 2551.

[52] นิพนธ์ พิสุทธิไพศาล, "การศึกษากระบวนการปรับสภาพกากปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มผลผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากกระบวนการหมัก," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรและการจัดการ อุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร-เหนือ, กรุงเทพมหานคร, 2550.

[53] อุทัย ทิพย์โพธิเมือง, "การศึกษาการดูดซับสีย้อมด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากผลปาล์มฟอกซ์เทล," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เคมีศึกษา วิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี, 2555.

[54] จินตนา สุขสวัสดิ์, "ไม้พลาสติกคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยปาล์มน้ำมัน: เส้นใยทะลายปาล์มเปล่า, เส้นใยทางใบ และเส้นใยเปลือกผลปาล์ม," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีพอลิเมอร์ วิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2557.

[55] โกสินทร์ แสงโวงค์, "การเพาะเห็ดฟางในโรงเรือนโดยใช้เปลือกถั่วเขียว, ขี้ฝ้าย, ไส้นุ่นและทะลายปาล์มน้ำมัน," วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, เทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันราชภัฏวไลย-อลงกรณ์ ในพระราชูปถัมภ์, ปทุมธานี, 2546.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[56] สุวพิชญ์ ไพจิตรวโรดม, “การศึกษาคุณสมบัติกระดาษลูกฟูกจากเยื่อทะลายปาล์มน้ำมันผสมเยื่อกระดาษเวียนทำใหม่,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2553.

[57] พีรพล เรืองวิไลรัตน์, “การผลิตน้ำมันชีวภาพจากทะลายปาล์มเปล่าโดยไพโรไลซิสในบรรยากาศไนโตรเจนและไอน้ำ,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,เคมีเทคนิค วิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2554.

[58] ไชยวรรณ วัฒนจันทร์, “การใช้ทางใบปาล์มน้ำมันหมักที่ใช้กากน้ำตาลเป็นสารเสริมการหมักเพื่อเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคพื้นเมืองไทย,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สัตวศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2556.

[59] *Primary and secondary cell wall* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://bioenergy.ccrc.uga.edu/Background/background.htm, (19 มกราคม 2560).

[60] *โครงสร้างของผนังเซลล์พืช* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Composicion-y-estructura-de-la-biomasa-lignocelulosica-Figura-adaptada-Tomme_fig3_303234696, (19 มกราคม 2560).

[61] *โครงสร้างของเซลลูโลส* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : https://www.researchgate.net/figure/FE-SEM-photographs-of-a-PP-PE-PP-separator-b-CNP-separator-IPA-water-14-60-40_fig2_258885464, (19 มกราคม 2560).

[62] *โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : https://en.wikipedia.org/wiki/Hemicellulose, (19 มกราคม 2560).

[63] E.B Cowling. and T.K. Kirk, “Properties of cellulose and lignocellulosic materials as substrates for erzymatic conversion processes.” *Biotechnology and Bioengineening*, Vol. 6, pp. 95 - 123, 1976.

[64] R. L. Crawford, *Lignin Biodegradation and Transformation*. New York John Wiley, and Sons, New York, 1981.

[65] V. S. Bisaria, and T. Chose, “Biodegradation of cellulose materials : Substrates, microorganisms, enzyme and products”. *Enzyme and Microbial Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 90 - 103, 1981.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[66] C. Evans, “Lignin degradation.” *Process Biochemistry*, Vol. 22, No. 4, pp. 102 - 104, 1987.

[67] B. Norkrans, "Cellulose and cellulolysis.” *Adances in Applied Microbiology*., Vol. 9, pp. 91 - 215, 1967.

[68] *พอลิแลคติกแอซิด* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://library.dip.go.th/Industrial%20Innovation/www/innonew0-01.html, (19 มกราคม 2560)

[69] *โครงสร้างทางเคมีของ PLA* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : https://enchemcom1po.files.wordpress.com/2012/09/pla_kanong.jpg, (19 มกราคม 2560).

[70] ธนาวดี ลี้จากภัย, *พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำหนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ*, กรุงเทพมหานคร : บริษัท ไทยเอฟ-เฟคทสตูดิโอ จำกัด, 2549.

[71] *สมบัติของ PLA* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://www.nia.or.th/download/document/chapter3.pdf, (19 มกราคม 2560)

[72] S. Anders, and S. Mikael, “Pro - perties of lactic acid based polymers and their correlation with composition.” *Progress in Polymer Science*., Vol. 27, pp. 1123 - 1163, 2002.

[73] R. Muller, “Biodegradability of polymers : Regulations and methods of testing. In : A. SteinbUchel editor Biopolymers.” *General Aspects and Special Applications*., Vol. 10, pp. 366 - 388, 2008.

[74] V. M. Ghorpade, A. Gennadios, and M .A. Hanna, “Laboratory composting of extruded poly (lactic acid) sheets.” *Blends of aliphatic Tecnology*, Vol. 76, pp. 57 - 61, 2001.

[75] H. Tsuji, A. Mizuno, and Y. Ikada, “Blends of aliphatic polyesters III Biodegradation of solution - cast blends from poly (L - lactide) and poly (arolactone).” *Applied Polymer Science*, Vol. 70 , pp. 2259 - 2268, 1998.

[76] S. Li, M. Tenon, C. Braud, and M. Vert, “Enzymatic degra - dation of stereocopolymers derived from L - , DL - , and meso - lactides”. *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 67, pp. 85 - 90, 2000.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[77] A. Hoshino, M. Tsuji, M. Ito, M. Mo - mochi, A. Mizutani, and K. Takakuwa, "Biodegradable polymers and plastics." In : E. Chiellini : Solaro, R., editor. *Study of the Aerobic Biode - gradability of Plastics Materrials Usder Controlled Compost*, Vol. 47, Plenum Press, Chapter 3, 2003.

[78] จรูญ คล้ายจ้อย, *วัสดุผลิตภัณฑ์สิ่งทอ (Textile Product Materials)*, กรุงเทพมหานคร : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2558.

[79] นวลแข ปาลิวนิช, *ความรู้เรื่อผ้าและเส้นใย (ฉบับปรับปรุงใหม่)* , กรุงเทพมหานคร : :ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2542.

[80] วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน, *เทคโนโลยีสิ่งทอเบื้องต้น,* กรุงเทพมหานคร : บริษัท คราฟแมนเพรส จำกัด, 2550.

[81] เข็มชัย เหมะจันทร, *สิ่งทอเทคนิค (Technical Textiles),* กรุงเทพมหานคร : บริษัท ออฟเซ็ท-ครีเอชั่น จำกัด, 2549.

[82] *สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, เส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2016/10/cellulose1, (19 มกราคม 2560).

[83] นที ศรีสวัสดิ์, ธีรพงษ์ ไชยเฉลิมวงษ์ และสรพงษ์ ภวสุปรีย์, "การผลิเส้นใยพอลิพรอพิลีนผสมผงถ่านจากซังข้าวโพด," (รายงานการวิจัย), วิศวกรรมศาสตร์, ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-ราชมงคลธัญบุรี, 2556.

[84] *Wet Spinning การปั่นแบบเปียก* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : http://www.tikp.co.uk/knowledge/technology/fibre-and-filament-production/dry-jet-wet-spinning/, (19 มกราคม 2560).

[85] สุวิทย์ รักกสิกรณ์, "การปรับปรุงพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิดด้วยแกลบและแป้งข้าว," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมศษสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2559.

[86] ยุทธศักดิ์ สุบการี, "สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากเส้นใยปาล์มโดยใช้วิธี Simultaneous," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีชีวภาพ อุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2551.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[87] ปราณี ชุมสำโรง, และยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์, “การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่มีความเสถียรทางความร้อนและความทนแรงกระแทกดี,” รายงานการวิจัย, นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2561.

[88] ศิริวัฒน์ ประจงแต่ง, “ความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปขวดด้วยกระบวนการฉีดแล้วเป่าจากวัสดุผสมพอลิแลคติกแอซิดกับแป้งมันสำปะหลัง,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิศวกรรมกระบวรการขึ้นรูปพอลิเมอร์ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2555.

[89] B. Wang, "Pre-treatment of flax fibers for use in rotationally molded biocomposites." report presented to Saskatchewan University, at Saskatoon, Saskatchewan., in partial, 2004.

[90] นันทิกา คลายชม, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และอนุสิษฐ์ ธนะพิมพ์เมธา, “การผลิตนำตาลรีดิวส์จากชางขาวฟางหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด”. *วิศวกรรมสาร มก.,* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 24 ฉบับที่ 75 หน้า 91 – 102, 2554.

[91] สุมลรัตน์ ใจสุทธิ, “การเตรียมไมโครไฟบริลจากเส้นใยมะพร้าวและการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหารและสิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, 2555.

[92] A.I.S. Brigida, et al. “Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber”. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 79, pp. 832 - 838, 2010.

[93] P. Muensri, et al. “Effect of lignin removal on the properties of coconut coir fiber/wheat glutenbiocomposite.” *Composite : Part A*. Vol. 42, pp. 173 – 179, 2011.

[94] M.F. Rosa, et al. “Effect of fiber treatments on tensile and thermal properties of starch/ Ethylene vinyl alcohol copolymers/coir biocomposites”. *Bioresource Technology*. Vol. 100, pp. 5196 - 5202, 2009.

[95] *ไทยพับลิกา, เกษตรกรปาล์มน้ำมัน* (ออนไลน์), 2560, สืบค้นได้จาก : https://thaipublica.org/2017/06/bcp-plam -21-6-2560/#imgrc=kc0o85X2YUpMgM , (12 , มกราคม 2563).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[96] *ไทยรัฐออนไลน์, โรงสกัดปาล์มสุกเมืองตรัง ให้ราคานำตลาด 50 สต. 2559* (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก : https://www.thairath.co.th/content/749096, (12 , มกราคม 2563).

[97] *มาร์เก็ตติ้ง อุปส์, หัวใจของผู้นำอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยสังเคราะห์ ที่ชื่อว่า "เทยิน"* (ออนไลน์), 2560, สืบค้นได้จาก : https://www.marketingoops.com/news/biz-news/teijin/, (12 , มกราคม 2563).

[98] *ทอร์คนิวส์ออนไลน์, พิษณุโลก ฝีมือจักสานกลุ่มจักสานบ้านท่าโรงตะวันตกสร้างรายได้เสริมจากทำนา* (ออนไลน์), 2561, สืบค้นได้จาก : https://www.talknewsonline.com/108733/, (12, มกราคม 2563).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน
ก่อนและหลังการปรับสภาพ

หนังสือรับรองผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Animal Nutrition Laboratory

Department of Animal Science, Faculty of Agriculture,

KHON KAEN UNIVERSITY

ชื่อบริษัท/ผู้ส่งตัวอย่าง: ศิริกุล แซ่ลิ่ม

ที่อยู่: พีโน่อพาร์ทเม้นต์ ตึก A เลขที่ 83 ห้อง A101 ซ.คลองหกตะวันออก 4 ถ.เลียบคลองหก คลองหก คลองหลวง ปทุมธานี

โทรศัพท์: 086-8017100 โทรสาร:

รายการวิเคราะห์*	ชื่อตัวอย่างวิเคราะห์				
	เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน	เส้นใยที่ปรับสภาพด้วย NaOH 5%	เส้นใยที่ปรับสภาพด้วย NaOH 10%	เส้นใยที่ปรับสภาพด้วย H_2SO_4 5%	เส้นใยที่ปรับสภาพด้วย H_2SO_4 10%
Cellulose, %	50.70	66.44	69.31	61.44	61.53
Hemicellulose, %	29.19	14.49	11.14	15.43	0.68
lignin, %	16.25	14.27	15.08	15.22	24.16

*** ค่าวิเคราะห์ที่แสดงไม่ได้ปรับเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง (on dry matter basis)**

*** ผลการวิเคราะห์นี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เท่านั้น**

ขอรับรองว่าข้อความที่ระบุนี้เป็นจริงทุกประการ

(น.ส.ศรีนวล คณานิตย์)
รักษาการหัวหน้าห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์
วันที่ 7 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2561

(รศ.ดร.ฉลอง วชิราภากร)
หัวหน้าสาขาวิชาสัตวศาสตร์
วันที่ 7 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2561

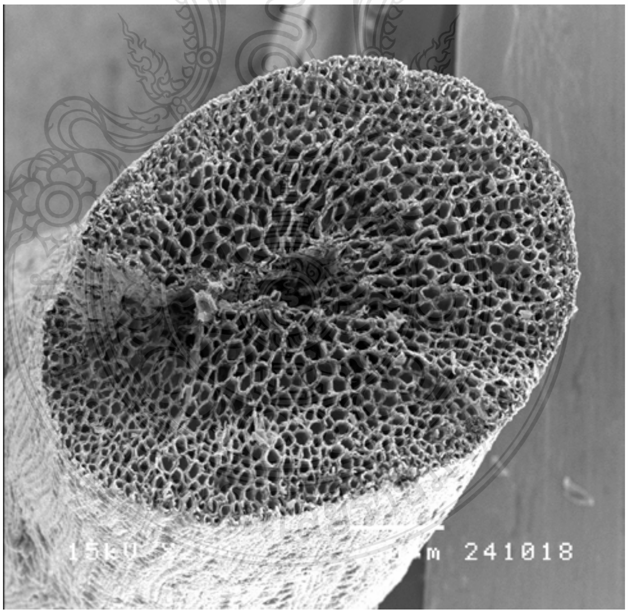
ใบรับวิเคราะห์เลขที่ 84 /2561

รูปที่ ก.1 ค่าองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพและหลังการปรับสภาพ

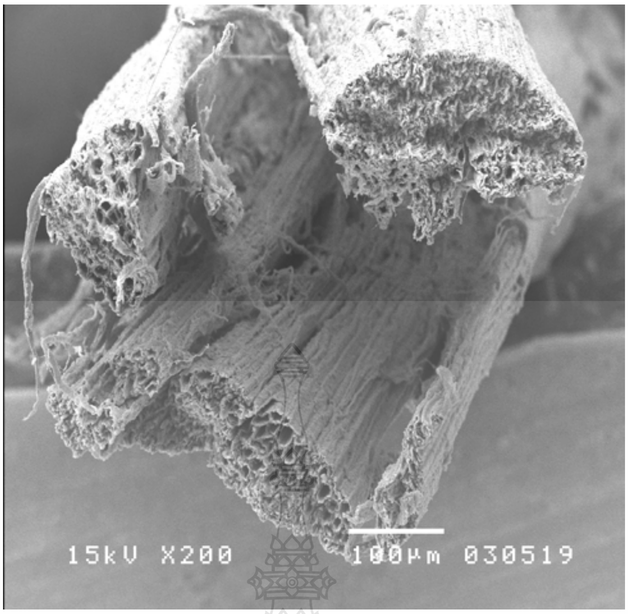
ภาคผนวก ข
ลักษณะภาพตามขวางและตามความยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน
ก่อนและหลังการปรับสภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รูปที่ ข.1 ลักษณะตามขวางของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพกำลังขยาย 200 เท่า

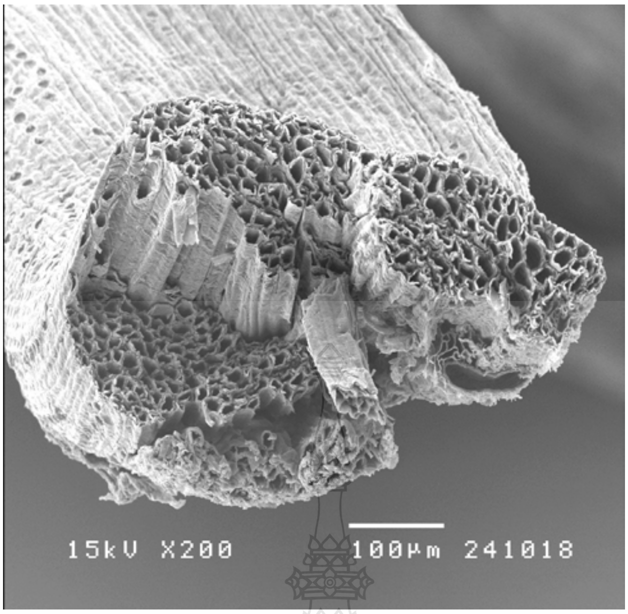


รูปที่ ข.2 ลักษณะตามขวางของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 กำลังขยาย 200 เท่า

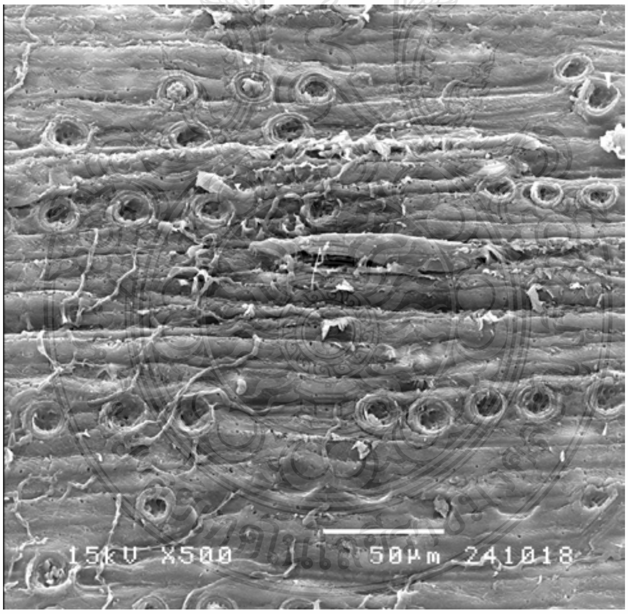


รูปที่ ข.3 ลักษณะตามขวางของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 กำลังขยาย 200 เท่า

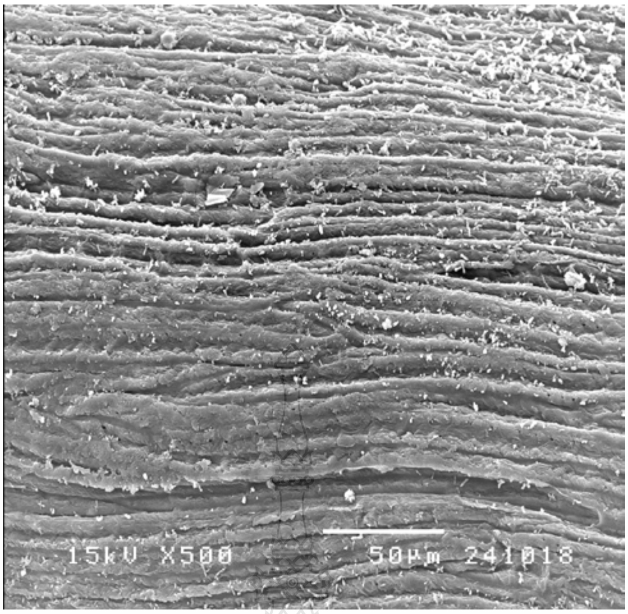
รูปที่ ข.4 ลักษณะตามขวางของเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5 กำลังขยาย 200 เท่า



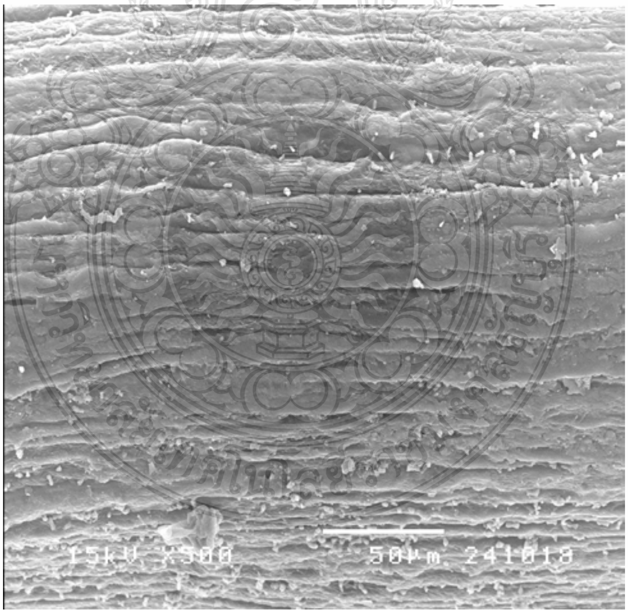
รูปที่ ข.5 ลักษณะตามขวางของเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 10 กำลังขยาย 200 เท่า



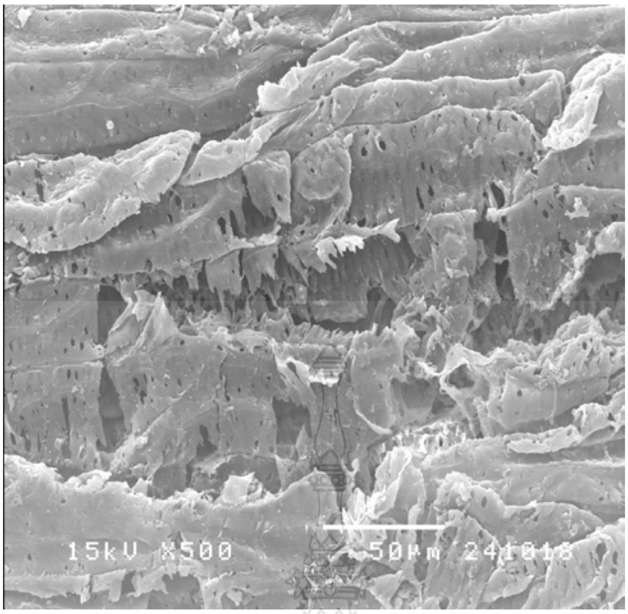
รูปที่ ข.6 ลักษณะตามยาวของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการปรับสภาพกำลังขยาย 500 เท่า



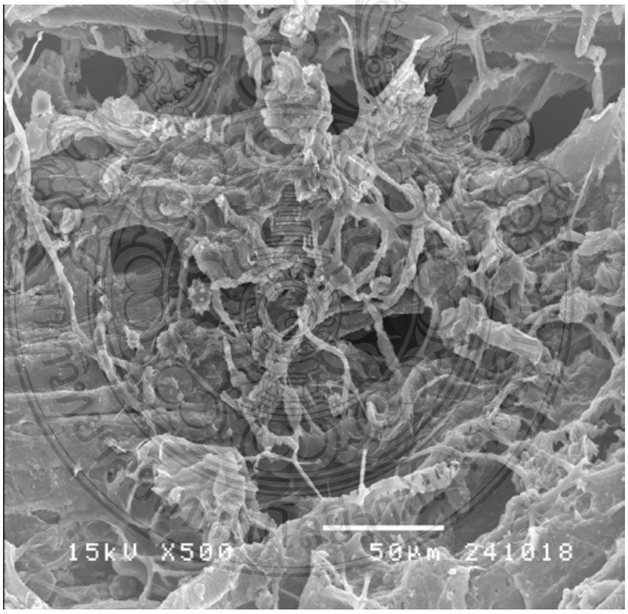
รูปที่ ข.7 ลักษณะตามยาวของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 กำลังขยาย 500 เท่า



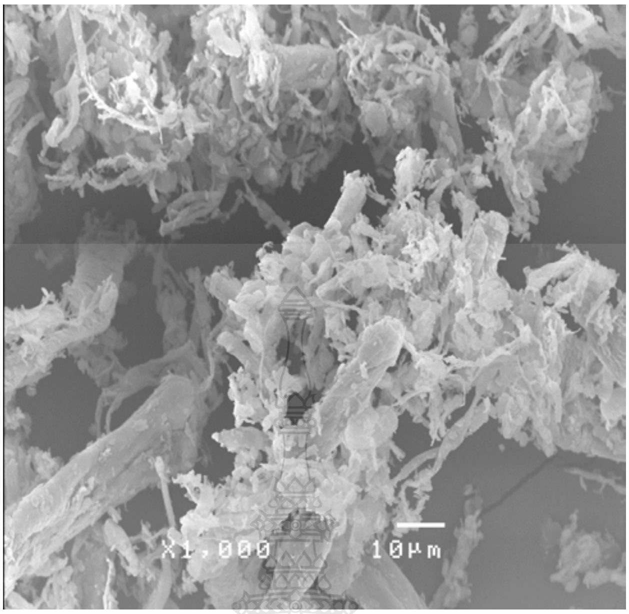
รูปที่ ข.8 ลักษณะตามยาวของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 กำลังขยาย 500 เท่า



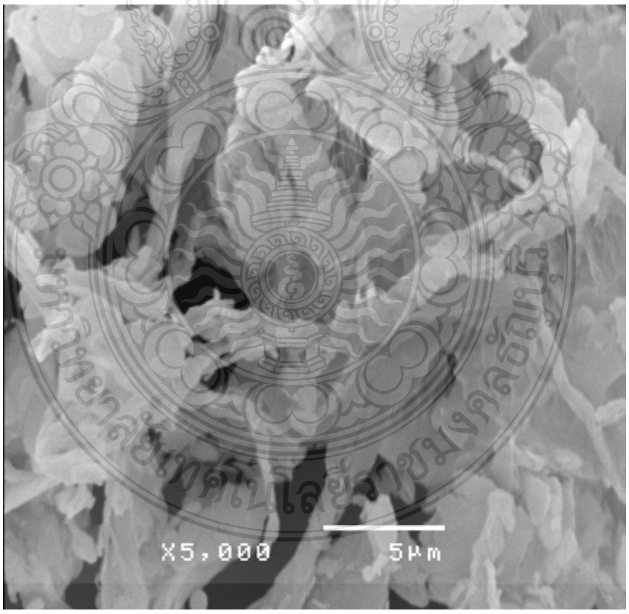
รูปที่ ข.9 ลักษณะตามยาวของเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้นข้นร้อยละ 5 กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ข.10 ลักษณะตามยาวของเส้นใยด้วยกรดซัลฟูริกความเข้นข้นร้อยละ 10 กำลังขยาย 500 เท่า



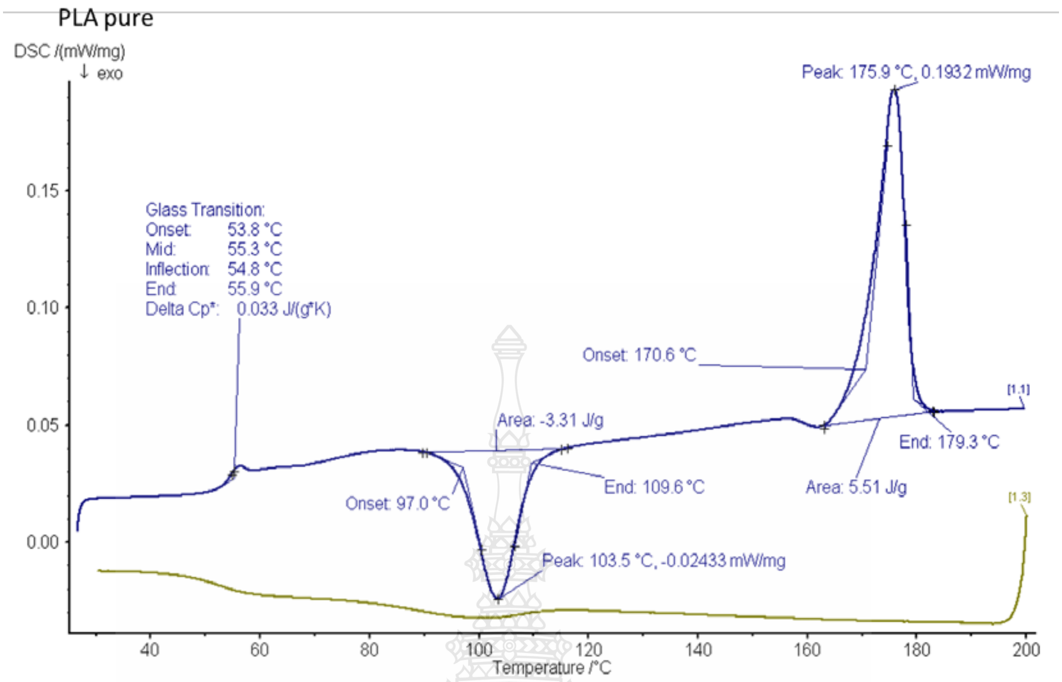
รูปที่ ข.11 ลักษณะการเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 1,000 เท่า



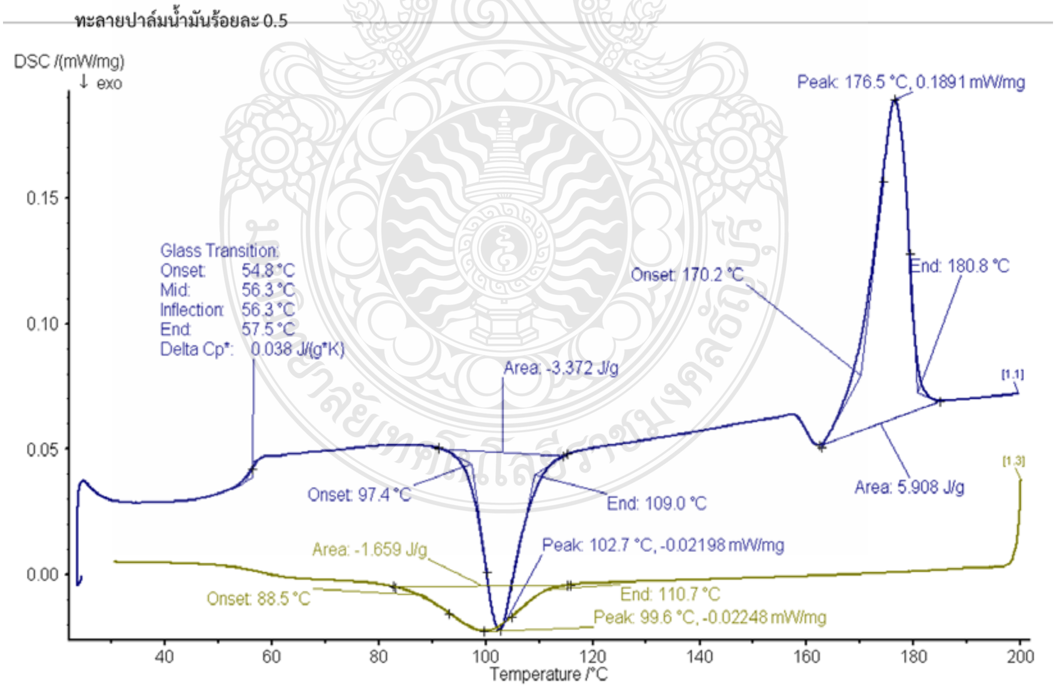
รูปที่ ข.12 ลักษณะการเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันกำลังขยาย 5,000 เท่า

ภาคผนวก ค

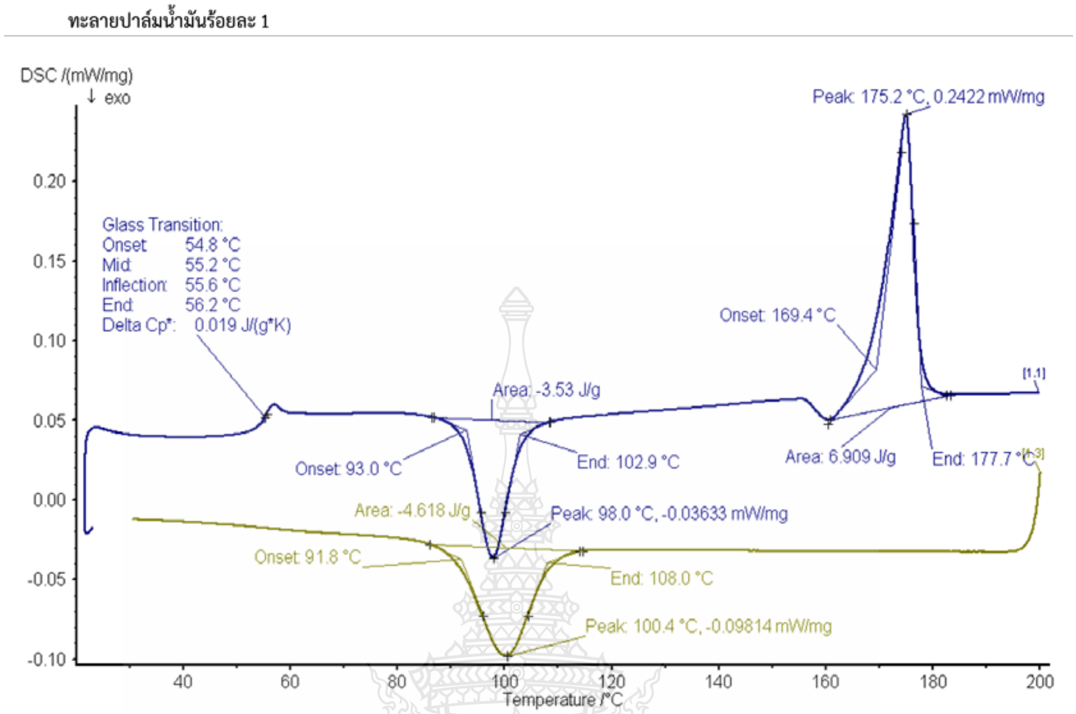
กราฟแสดงผลการทดสอบทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)



รูปที่ ค.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100.0



รูปที่ ค.2 ค่าการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5



รูปที่ ค.3 ค่าการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก ง

ผลทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย (Tensile) และทดสอบค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย (% Elongation)

F-017T Rev.17, 1 เม.ย. 57, 1/1

THTI
THAILAND TEXTILE INSTITUTE
สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Foundation for Industrial Development
Thailand Textile Institute / Textile Testing Center
Soi Trimit, Rama 4 Road, Phrakanong, Klong-toey, Bangkok 10110, THAILAND.
Tel: (66) 2713 5492-9 Fax: (66) 2712 4527 www.thaitextile.org

รายงานผลการทดสอบ

ผู้ขอรับบริการ:	นางสาวศิริกุล แซ่ลิ่ม	หมายเลขรายงานผล:	RM 0004/63
	849 ม.4 ต.กำแพง อ.ละงู จ.สตูล 91110	หมายเลขใบคำขอทดสอบ:	
		วันที่ออกรายงาน:	27/12/62
วันที่รับตัวอย่าง:	23/12/62	หน้า:	1/1
วันที่ทดสอบ:	23/12/62-27/12/62		

หมายเลขตัวอย่าง	ชื่อ/รายละเอียดตัวอย่าง (ตามที่ผู้ขอรับบริการระบุ)
RM 0004-1/63	เส้นด้าย PLA 100%

	RM 0004-1/63
ความแข็งแรง: ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2256: 2002	
แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)	52.13
การยืดตัวขณะขาด (ร้อยละ)	5.49

หมายเหตุ:
- เครื่องทดสอบ : TENSILE TESTING MACHINE (INSTRON MODEL 5566)
- อัตราเร็วในการทดสอบ : 300 มิลลิเมตรต่อนาที
- ระยะทดสอบ : 250 มิลลิเมตร
- TESTING CONFIGULATION : CONFIGULATION A, STRAIGHT SPECIMEN
- สภาวะชิ้นของทดสอบ : อุณหภูมิ 21±1°C, ความชื้นสัมพัทธ์ 65±2%

****

ผู้อนุมัติ

พรพิมล เงาแสงธรรม

(นางสาวพรพิมล เงาแสงธรรม)
(นักวิทยาศาสตร์)

183539

"การปลอมรายงานผลการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นการปลอมทั้งฉบับหรือแต่ส่วนหนึ่งส่วนใด หรือใช้รายงานผลการทดสอบปลอม เป็นความผิดตามประมวลกฎหมายอาญา"

This test report refers to the submitted sample(s) for testing/examining/analyzing only. It is not certified for the advertisement or reference of the products/goods. The total or the part of this report may not be reproduced without the written approval from Textile Testing Center, Thailand Textile Institute.

รูปที่ ง.1 ค่าความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ100.0

F-017T Rev.17, 1 เม.ย. 57, 1/1

THTI
THAILAND TEXTILE INSTITUTE
สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Foundation for Industrial Development
Thailand Textile Institute / Textile Testing Center
Soi Trimit, Rama 4 Road, Phrakanong, Klong-toey, Bangkok 10110, THAILAND.
Tel: (66) 2713 5492-9 Fax: (66) 2712 4527 www.thaitextile.org

รายงานผลการทดสอบ

ผู้ขอรับบริการ:	นางสาวศิริกุล แซ่ลิ่ม	หมายเลขรายงานผล:	RM 0005/63
	849 ม.4 ต.กำแพง อ.ละงู จ.สตูล 91110	หมายเลขใบคำขอทดสอบ:	
		วันที่ออกรายงาน:	27/12/62
วันที่รับตัวอย่าง:	23/12/62	หน้า:	1/1
วันที่ทดสอบ:	23/12/62-27/12/62		

หมายเลขตัวอย่าง	ชื่อ/รายละเอียดตัวอย่าง (ตามที่ผู้ขอรับบริการระบุ)
RM 0005-1/63	เส้นด้าย PLA ผสมทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5

	RM 0005-1/63
ความแข็งแรง: ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2256: 2002	
แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)	51.50
การยืดตัวขณะขาด (ร้อยละ)	5.58

หมายเหตุ:
- เครื่องทดสอบ : TENSILE TESTING MACHINE (INSTRON MODEL 5566)
- อัตราเร็วในการทดสอบ : 300 มิลลิเมตรต่อนาที
- ระยะทดสอบ : 250 มิลลิเมตร
- TESTING CONFIGULATION : CONFIGULATION A, STRAIGHT SPECIMEN
- สภาวะชิ้นของทดสอบ : อุณหภูมิ 21±1°C, ความชื้นสัมพัทธ์ 65±2%

****

ผู้อนุมัติ

พรพิมล เงาแสงธรรม

(นางสาวพรพิมล เงาแสงธรรม)
(นักวิทยาศาสตร์)

183538

"การปลอมรายงานผลการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นการปลอมทั้งฉบับหรือแต่ส่วนหนึ่งส่วนใด หรือใช้รายงานผลการทดสอบปลอม เป็นความผิดตามประมวลกฎหมายอาญา"

This test report refers to the submitted sample(s) for testing/examining/analyzing only. It is not certified for the advertisement or reference of the products/goods. The total or the part of this report may not be reproduced without the written approval from Textile Testing Center, Thailand Textile Institute.

รูปที่ ง.2 ค่าความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5

F-017T Rev.17, 1 เม.ย. 57, 1/1

THTI
THAILAND TEXTILE INSTITUTE
สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Foundation for Industrial Development
Thailand Textile Institute / Textile Testing Center
Soi Trimit, Rama 4 Road, Phrakanong, Klong-toey, Bangkok 10110, THAILAND.
Tel: (66) 2713 5492-9 Fax: (66) 2712 4527 www.thaitextile.org

รายงานผลการทดสอบ

ผู้ขอรับบริการ:	นางสาวศิริกุล แซ่ลิ่ม	หมายเลขรายงานผล:	RM 0006/63
	849 ม.4 ต.กำแพง อ.ละงู จ.สตูล 91110	หมายเลขใบคำขอทดสอบ:	
		วันที่ออกรายงาน:	27/12/62
วันที่รับตัวอย่าง:	23/12/62	หน้า:	1/1
วันที่ทดสอบ:	23/12/62-27/12/62		

หมายเลขตัวอย่าง	ชื่อ/รายละเอียดตัวอย่าง (ตามที่ผู้ขอรับบริการระบุ)
RM 0006-1/63	เส้นด้าย PLA ผสมทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1

	RM 0006-1/63
ความแข็งแรง: ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2256: 2002	
แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)	54.10
การยืดตัวขณะขาด (ร้อยละ)	4.87

หมายเหตุ:
- เครื่องทดสอบ : TENSILE TESTING MACHINE (INSTRON MODEL 5566)
- อัตราเร็วในการทดสอบ : 300 มิลลิเมตรต่อนาที
- ระยะทดสอบ : 250 มิลลิเมตร
- TESTING CONFIGULATION : CONFIGULATION A, STRAIGHT SPECIMEN
- สภาวะชิ้นของทดสอบ : อุณหภูมิ 21±1°C, ความชื้นสัมพัทธ์ 65±2%

****

ผู้อนุมัติ

พรพิมล เงาแสงธรรม

(นางสาวพรพิมล เงาแสงธรรม)
(นักวิทยาศาสตร์)

183540

"การปลอมรายงานผลการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นการปลอมทั้งฉบับหรือแต่ส่วนหนึ่งส่วนใด หรือใช้รายงานผลการทดสอบปลอม เป็นความผิดตามประมวลกฎหมายอาญา"

This test report refers to the submitted sample(s) for testing/examining/analyzing only. It is not certified for the advertisement or reference of the products/goods. The total or the part of this report may not be reproduced without the written approval from Textile Testing Center, Thailand Textile Institute.

รูปที่ ง.3 ค่าความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0

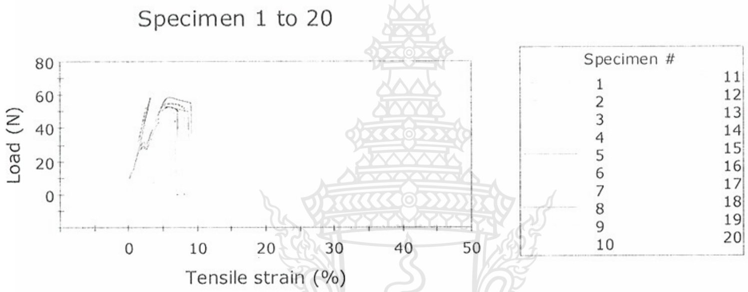
Friday, December 27, 2019

Thailand Textile Institute
Textile Physical Testing Laboratory

Sample No	RM-0004-yarn
Test type	Tension
Sample Identification	RM0004-1/63 Yarn strength
Interface Type	5566
Sample rate(pts/secs)	
Speed	300mm/min
Full scale load range	100 N
INSTRON Bluehill2 software	
Humidity	65
Temperature	20
Linear density	949.50 tex

ASTM D 2256-2002 : Yarn strength (speed 300mm/min)
Test Length 250 mm
Speed 300 mm/min

Graph 1



	Max Load (N)	Strain @ Max Load (%)	Length (mm)
1	54.99	6.22	250.0
2	52.90	5.84	250.0
3	54.96	6.00	250.0
4	42.14	4.12	250.0
5	52.92	5.56	250.0
6	55.35	5.58	250.0
7	60.69	5.94	250.0
8	58.58	5.90	250.0
9	53.19	5.56	250.0
10	51.58	5.66	250.0
11	52.62	5.32	250.0
12	53.37	5.74	250.0
13	53.23	5.00	250.0
14	51.15	5.46	250.0
15	45.15	5.30	250.0
16	50.72	5.58	250.0
17	42.76	4.70	250.0
18	51.51	5.18	250.0
19	54.12	5.82	250.0
20	50.70	5.34	250.0
Mean	52.13	5.49	250.0
Standard Deviation	4.55	0.48	0.00
Coefficient of Variation	8.72	8.80	0.00
Mean + 2 SD	61.22	6.46	250.0

รูปที่ ง.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกร้อยละ 100.0 จำนวน 20 ซ้ำ

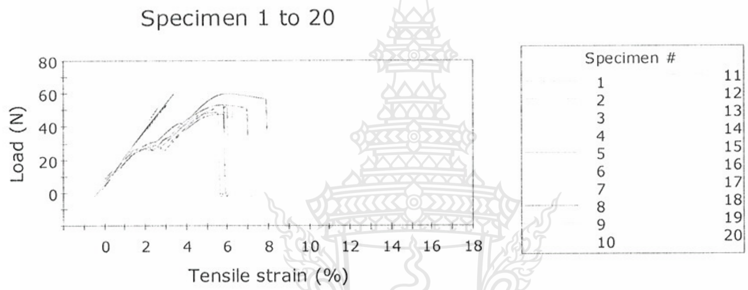
Friday, December 27, 2019

Thailand Textile Institute
Textile Physical Testing Laboratory

Sample No	RM-0005-yarn
Test type	Tension
Sample Identification	RM0005-1/63 Yarn strength
Interface Type	5566
Sample rate(pts/secs)	
Speed	300mm/min
Full scale load range	100 N
INSTRON Bluehill2 software	
Humidity	65
Temperature	20
Linear density	1164.79 tex

ASTM D 2256-2002 : Yarn strength (speed 300mm/min)
Test Length 250 mm
Speed 300 mm/min

Graph 1



	Max Load (N)	Strain @ Max Load (%)	Length (mm)
1	52.00	5.90	250.0
2	47.72	5.60	250.0
3	46.41	4.58	250.0
4	62.71	6.36	250.0
5	59.98	5.98	250.0
6	52.79	5.56	250.0
7	51.79	5.62	250.0
8	53.40	5.72	250.0
9	53.24	5.80	250.0
10	49.64	5.76	250.0
11	48.73	5.34	250.0
12	52.76	5.72	250.0
13	49.06	5.24	250.0
14	50.36	5.62	250.0
15	48.66	5.64	250.0
16	51.52	5.50	250.0
17	47.76	5.08	250.0
18	52.37	5.82	250.0
19	48.00	5.34	250.0
20	51.20	5.32	250.0
Mean	51.50	5.58	250.0
Standard Deviation	3.98	0.37	0.00
Coefficient of Variation	7.73	6.65	0.00
Mean + 2 SD	59.47	6.32	250.0

รูปที่ ง.5 ผลการทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 จำนวน 20 ซ้ำ

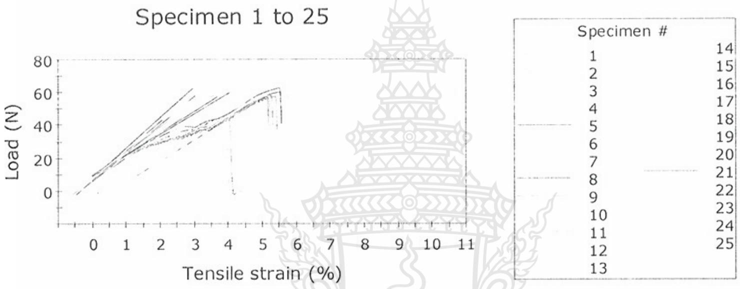
Friday, December 27, 2019

Thailand Textile Institute
Textile Physical Testing Laboratory

Sample No	RM-0006-yarn
Test type	Tension
Sample Identification	RM0006-1/63 Yarn strength
Interface Type	5566
Sample rate(pts/secs)	
Speed	300mm/min
Full scale load range	100 N
INSTRON Bluehill2 software	
Humidity	65
Temperature	20
Linear density	1360.20 tex

ASTM D 2256-2002 : Yarn strength (speed 300mm/min)
Test Length 250 mm
Speed 300 mm/min

Graph 1



	Max Load (N)	Strain @ Max Load (%)	Length (mm)
1	43.35	4.02	250.0
2	57.33	5.36	250.0
3	57.88	5.62	250.0
4	56.93	5.18	250.0
5	57.43	5.12	250.0
6	43.27	3.92	250.0
7	57.15	3.28	250.0
8	60.10	5.50	250.0
9	57.91	5.26	250.0
10	50.19	4.54	250.0
11	55.92	5.16	250.0
12	44.70	3.88	250.0
13	54.26	4.84	250.0
14	59.20	5.56	250.0
15	58.06	5.78	250.0
16	52.71	4.80	250.0
17	33.48	3.30	250.0
18	42.52	3.64	250.0
19	63.14	6.26	250.0
20	64.36	6.08	250.0
21	62.52	5.50	250.0
22	44.44	3.80	250.0
23	54.88	4.70	250.0
24	64.25	5.86	250.0
25	56.62	4.84	250.0
Mean	54.10	4.87	250.0

รูปที่ ง.6 ผลการทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย และร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้ายพอลิแลคติกผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1.0 จำนวน 20 ซ้ำ

ภาคผนวก จ

บทความวิจัยในการกระชุมวิชาการระดับชาติราชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 11

เรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสม

เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

RSNC 2020

The 11th Rajamangala Surin National Conference

Conference Proceedings

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ

การประชุมวิชาการระดับชาติราชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 11

"วิจัยและนวัตกรรมวิถีใหม่"

ระหว่างวันที่ 17-18 กันยายน 2563

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการฝ่ายเลขานุการ การจัดประชุมวิชาการ
(Secretariat Committee)

คณะที่ปรึกษา

รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย วิทยาเขตสุรินทร์
คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
คณบดีคณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
คณบดีคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
คณบดีคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
คณบดีคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้อำนวยการวิทยาลัยอาชีวะศึกษาสุรินทร์
ผู้อำนวยการวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี สุรินทร์
ประธานสภาวิชาชีพบัญชี ในพระบรมราชูปถัมภ์ สำนักงานสาขาสุรินทร์
นายกสมาคมนักวิจัยแห่งประเทศไทย
ผู้อำนวยการสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ประธานกรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สำเนาว์ เสาวกูล	รองอธิการบดีประจำวิทยาเขตสุรินทร์

รองประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์	คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ ดร.ศิวธิดา ภูมิวรมุนี	คณบดีคณะเทคโนโลยีการจัดการ
นางสาวสำราญ ผาสุข	ผู้อำนวยการสำนักงานวิทยาเขตสุรินทร์

เลขานุการ

นายสืบสิทธิ์ ผาสุข	หัวหน้างานบริการการศึกษา
นายจักรินทร์ สนุกแสน	หัวหน้าแผนกวิจัยและพัฒนา

๑.๑๓	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนจิรา	รัตนประเสริฐ	กรรมการ
๑.๑๔	อาจารย์ ดร.ศักดิ์ชาญ	เหลืองมณีโรจน์	กรรมการ
๑.๑๕	อาจารย์ ดร.ทิวากร	อำพาพล	กรรมการ
๑.๑๖	อาจารย์ ดร.วิภาสิทธิ์	หิรัญรัตน์	กรรมการ
๑.๑๗	อาจารย์ ดร.อรรถพล	สีดำ	กรรมการ
๑.๑๘	อาจารย์ ดร.ปวีณา	สาลีทอง	กรรมการ
๑.๑๙	อาจารย์ ดร.ภรณี	หลาวทอง	กรรมการ
๑.๒๐	อาจารย์ ดร.ชุติกร	ปรุงเกียรติ	กรรมการ
๑.๒๑	อาจารย์ ดร.สุรเกียรติ	ปริชาตินนท์	กรรมการ
๑.๒๒	อาจารย์ ดร.ศุภรัตน์	วัลกานนท์	กรรมการ
๑.๒๓	อาจารย์ ดร.สุภาวดี	ชอบเสร็จ	กรรมการ
๑.๒๔	อาจารย์ ดร.โชติกา	ฉิมงามเสริฐ	กรรมการ
๑.๒๕	อาจารย์อัญวีณ์	ไชยวชิระกัมพล	กรรมการ
๑.๒๖	อาจารย์ปรัชญา	บำรุงกุล	กรรมการ
๑.๒๗	อาจารย์สหเทพ	คำสุริยา	กรรมการ
๑.๒๘	อาจารย์ปฏิวัติ	ยะสะกะ	กรรมการ
๑.๒๙	อาจารย์นวัฒกร	โพธิสาร	กรรมการ
๑.๓๐	อาจารย์นวพร	สายสิงห์	กรรมการ
๑.๓๑	นายสืบสิทธิ์	ผาสุข	กรรมการและเลขานุการ
๑.๓๒	นายจักรินทร์	สนุกแสน	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

มีหน้าที่ กำหนดรูปแบบวิธีการรับลงทะเบียน จัดทำหลักเกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกผลงานวิจัยภาคบรรยายและภาคโปสเตอร์ พร้อมทั้งติดตามผลงานวิจัยที่นำเสนอให้มีการแก้ไข ทั้งนี้ได้จัดกลุ่มคณะกรรมการพิจารณาผลงานวิจัยและจัดการนำเสนอผลงานวิจัย ดังนี้

๒. คณะกรรมการกลุ่มเกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์สุขภาพ

๒.๑	รองศาสตราจารย์ ดร.กฤติมา	เสาวกูล	ประธานกรรมการ
๒.๒	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิภาวรรณ์	จิตโสภากุล	รองประธานกรรมการ
๒.๓	อาจารย์ ดร.ปวีณา	สาลีทอง	รองประธานกรรมการ
๒.๔	อาจารย์ สพ.ญ.ดวงสุดา	ทองจันทร์	กรรมการ
๒.๕	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนจิรา	รัตนประเสริฐ	กรรมการ
๒.๖	อาจารย์ ดร.สุทธิชานันท์	นิลฤทธิ์	กรรมการ
๒.๗	อาจารย์ ดร.สุภัทรา	ขบวนฉลาด	กรรมการและเลขานุการ
๒.๘	นางสาวภัทรศรี	ผจงดี	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
๒.๙	นางสาวศศิชา	คงราศรี	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

/๓. คณะกรรมการกลุ่มวิศวกรรม...

172APR1	การหมักโคลนเส้นไหมย้อมสีธรรมชาติ *เกียรติภูมิ ดวงศรี ชูแสง แพงวังทอง สุริยา ทองคุณ และเสาวลักษณ์ ศรีหงษ์ทอง*	F-177
182BPR1	การสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์งานศิลปะบนผิวน้ำ *ธิดา พ่อค้า การุณี วิบูลชัย รุ่งทิพย์ จีนะกาญจน์ กาญจนภา มานิตย์ และไพจันทร์ ปากดีสี*	F-183
184CPR1	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน *ศิริกุล แซ่ลิ่ม สาคร ชลสาคร และนที ศรีสวัสดิ์*	F-195
187BPR1	การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืพวนน้อยด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช *ประภัสสร บัวนาค เพ็ญนภา พานทอง วรรณกานต์ แหวนเงิน และชาลินี ศรีสุข*	F-204
205APR1	แคปซูลโปรตีนจากดักแด้ไหม *วิภาวดี พันธ์หนองหว้า นฤทธิ์ วาดเขียน อรลัดา เจือจันทร์ วรรณพร เสมอดี และอัจรียา แก้วหอม*	F-214
217APR1	การต้านยาปฏิชีวนะเชื้อ *Escherichia coli* ที่คัดแยกได้จากน้ำเสียของฟาร์มสุกร *นวรัตน์ ดรกันยา อรัญวา ใจตรงมา ชุมญาติ สังข์โกมล และสุทธิดล ปิยะเดชสุนทร*	F-226
225APR1	การศึกษาพฤกษเคมีเบื้องต้น และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดของต้นบอระเพ็ด ใบสะเดา และใบมะขาม *รัตนา จันทะวัน สุพรรณิการ์ ทุมแก้ว พงศธร ทองกระสี และพิชาพัชร์ ฐิติธนอภิพงษ์*	F-237
230APR1	การใช้ใบไมยราบยักษ์เป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาตะเพียนในกระชัง *วรพรภัฏ ปัดภัย และทศพล แก้วทำมา*	F-245
233BPR1	การศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดแมลงของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดสระบุรี *วันปิติ ธรรมศรี เพ็ญประภา ศรีรอด สุทธิดา เจนรอบ และออมสิน คำปาน*	F-254
236APR1	ผลของวิตามินอีต่อคุณภาพน้ำเชื้อพ่อพันธุ์ปลาดุกอุย *เถลิงเกียรติ สมนึก ณัฏฐวรรณ สมนึก*	F-263
240APR1	การสกัดสารสำคัญและการศึกษาพฤกษเคมีเบื้องต้นจาก เนื้อ เปลือก และเมล็ดของผลตะคร้อสุกเพื่อหาคุณสมบัติในการให้อิเล็กตรอน *เนตรนภา พระอิสาน วิลาวัลย์ ดวงแสนจันทร์ พงศธร ทองกะสี กันธิมา เผือกเจริญ และพิชาพัชร์ ฐิติธนอภิพงษ์*	F-272
243APR1	ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการทำนา *ทนนท์ รัตนรวมการ ลักขณา พิทักษ์ นิรัติศักดิ์ คงทน เรวัฒน์ เติมกล้า เมธาสิทธิ์ มิฆเนตร หฤษฎ์ ชมเมิน และพนาวัน อำมินทร์*	F-282

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

Feasibility Study of the Production Yarn of Poly Lactic Acid with Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers

ศิริกุล แซ่ลิ้ม [1] สาคร ชลสาคร [2*] และนที ศรีสวัสดิ์ [3]
สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี [1, 2]*
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี [3]
*ผู้เขียนประสานงาน (Corresponding Author) : Sakorn_c@rmutt.ac.th**

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อการศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย ปัจจัยการศึกษา คือ ปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน โดยแปรผันเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 0.5 1 2 และ 3 วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ขึ้นรูปแบบหลอมเหลว จากนั้นทดสอบลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) และทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย (Tensile) ทดสอบค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้าย (% Elongation) ผลการศึกษา พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1 เป็นอัตราส่วนผสมสูงที่สุด มีความเป็นไปได้ในการผลิต และมีการกระจายตัวของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมากที่สุด มีค่าแรงดึงขาดสูงที่สุด คือ 54.10 นิวตัน และมีค่าการยืดตัวก่อนขาดร้อยละ 4.87 และไม่มีความแตกต่างกับเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100

คำสำคัญ: เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน พอลิแลคติกแอซิด เส้นด้าย ขึ้นรูปแบบหลอมเหลว

Abstract

This research was aimed to study the ratio of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers to be used together with Polylactic acid in the yarn production. The only one factor included in this study was the amount of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers used as polylactic acid co-fibers in the yarn production. The 5 levels of the amount included in the study were: 0, 0.5, 1, 2 and 3 %. Completely Randomized Design (CRD) was employed in forming molten. Appearance testing was then carried out by means of an optical microscope (OM) whereas the strength of the yarn length (Tensile) and the percentage of the elongation of the yarn (% Elongation) were also tested. It was found that the best mixture ratio was 1% of the Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers, resulting in the best distribution of powder, the best tensile strength (MAX load) of 54.10 newtons, 4.87% of the elongation, and 100% without any differences from Poly lactic acid yarns

Keywords: Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers Polylactic acid Yarn Injection molding

บทนำ

ปัจจุบันปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย พบว่ามีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมากทางภาคใต้ [1]-[4] ภาครัฐ เอกชนได้ให้การสนับสนุนการเพาะปลูก [5]-[6] กรมการค้าภายในเผยแพร่ข้อมูลปริมาณการผลิต การใช้และสต็อกน้ำมันปาล์มคงเหลือประมวลจากการแจ้งของผู้ประกอบการผลผลิตปาล์มน้ำมันปี พ.ศ.2562 จะมีปริมาณผลปาล์มน้ำมัน 16,661,863 ตัน [7] ซึ่งในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มนั้นจะ ก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมการสกัดปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ทะลายร้อยละ 30 คิดเป็น 4,998,558.90 ตัน เส้นใยร้อยละ 13 คิดเป็น 2,166,042.19 ตัน กะลาร้อยละ 6.8 คิดเป็น 1,133,006.68 ตัน น้ำเสียและตะกอนน้ำมันประมาณร้อยละ 16.7 คิดเป็น 2,782,531.12 ตัน [8] ทะลายปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมมากที่สุดซึ่งการปล่อยให้ทะลายปาล์มน้ำมันทับถมอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนของคราบน้ำมันดิบจากทะลายปาล์มลงสู่แหล่งน้ำได้อีกด้วย [9]-[10]

พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) เป็นพลาสติกที่ถูกพัฒนามาใช้ในอุตสาหกรรม เป็นพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ [11]-[17] ถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2475 [15] โดยพอลิแลคติกแอซิดจัดเป็นพอลิเมอร์ (Polymers) ชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ซึ่งได้จากผลผลิตทางการเกษตร [14] ที่ผ่านกระบวนการหมัก พืชจำพวกแป้ง และข้าวโพด [17] เป็นการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทั้งในด้านวัตถุดิบกระบวนการผลิตและกระบวนการกำจัดของเสีย [18] ซึ่งเป็นทางเลือกให้กับผู้ผลิตและผู้บริโภคที่ต้องการวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์จากพอลิแลคติกแอซิด ได้แก่ ไหมละลาย ถ้วย แก้ว ช้อนส้อม เสื้อผ้า รองเท้า เป็นต้น แต่มีข้อเสีย คือ ราคาสูงจึงส่งผลทำให้มีการใช้งานน้อย ส่วนในการผลิตเส้นด้ายในปัจจุบันนั้นจะนิยมใช้เส้นใยสังเคราะห์จากเม็ดพลาสติก (Plastics) ที่ผ่านการสังเคราะห์ทางเคมี มีสารตั้งต้นจากอุตสาหกรรมปิโตเคมี [12]-[13] เนื่องจากมีราคาถูก และมีความคงทนสูง ซึ่งพลาสติกเหล่านี้มีการย่อยสลายได้แต่ใช้ระยะเวลานานหรืออาจจะไม่ย่อยสลาย [11] ซึ่งส่งผลให้เกิดขยะที่ทำลายสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก

ดังนั้นผู้วิจัยได้เห็นถึงปัญหาที่เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่เหลือทิ้งจำนวนมากในอุตสาหกรรมจึงได้สนใจทำการศึกษาวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันโดยการศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวเติมพอลิแลคติกแอซิดในการขึ้นรูปแบบหลอมเหลว และศึกษาลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของทะลายปาล์มน้ำมันที่เหลือทิ้งให้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและเกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น ช่วยลดปัญหาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากทะลายปาล์มน้ำมันและการใช้พลาสติก ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดปัญหาภาวะโลกร้อนและนอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอให้ได้รับความสนใจ และกระตุ้นเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุ

เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน นำมาจากส่วนที่เหลือจากการสกัดน้ำมันดิบแล้ว ได้จากบริษัท ตรังปาล์มน้ำมัน จำกัด ตำบลนาเมืองเพชร อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง เม็ดชิพพอลิแลคติกแอซิดเกรด Ingeo Biopolymer 6100D ได้จากบริษัท เนเจอร์เวิร์ค จำกัด (NatureWorks ® LLC) และผงพอลิแลคติกแอซิดเกรด Ingeo Biopolymer Polymer 2002D Powder wfh0kd บริษัท เนเจอร์เวิร์ค จำกัด (NatureWorks ® LLC)

อุปกรณ์

เครื่องบดพลาสติก ยี่ห้อ Bosco เครื่องบดสมุนไพร ยี่ห้อ Thaigrinder มาตรฐาน ISO 9001 เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder : ThermoHaake ® Poly Drive) เครื่องอบเม็ดชิพระบบลมร้อน (Hot Air Through Dryer)

ดายแบบซลิท (Slit Die) เครื่องม้วนเก็บเส้นใย (Winder) ยี่ห้อ Leesona Model 967 Serial 2383 USA ตะแกรงร่อนขนาด 400 เมซ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800LV กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) และเครื่องทดสอบความแข็งแรงตามความยาวของเส้นใย (Tensile) และค่าการยืดตัวของเส้นใย (% Elongation)

วิธีการ

การเตรียมวัตถุดิบ

นำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 แล้ว มาบดด้วยเครื่องบดพลาสติก เพื่อให้เส้นใยมีขนาดสั้นลงพร้อมที่จะนำไปบดต่อด้วยเครื่องบดสมุนไพร ที่ใช้มาตรฐาน ISO 9001 ความเร็วรอบ 25,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 80 นาที แล้วนำเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่บดเป็นผงมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 เมซ และนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 34 ชั่วโมง เพื่อเตรียมผสมกับพอลิแลคติกแอซิด [8], [10]-[15] และนำพอลิแลคติกแอซิดแบบเม็ดและแบบผงมาอบไล่ความชื้นด้วยเครื่องอบเม็ดชิพระบบลมร้อน (Hot Air Through Dryer) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เพื่อเตรียมผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ผ่านการร่อนมาแล้ว [12], [14]

การขึ้นรูปเส้นด้ายแบบหลอมเหลว

การศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย ได้ทำการผสมแบบเขย่าด้วยมือ ปัจจัยที่ทำการศึกษามี 1 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวเติมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย โดยแปรเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 0.5 1 2 และ 3 วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จะได้สิ่งทดลองทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง แสดงในตารางที่ [1]

ตารางที่ [1] : [อัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวเติมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย]

สูตรที่	ปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (ร้อยละ)
1	0.0
2	0.5
3	1.0
4	2.0
5	3.0

หลังจากนั้นนำอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้ายทั้งหมด 5 สูตร ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder : ThermoHaake ® Poly Drive) ที่อุณหภูมิ 180 190 200 สกรู (Screw) 200 รูหน้าแปลน (Die) องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการฉีด 60 รอบต่อนาที ผ่านดายแบบซลิท (Slit Die) และเข้าเครื่องม้วนเก็บเส้นใย ที่ความเร็ว 37 เมตรต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที [18]

การศึกษาลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน [15]-[16], [18]

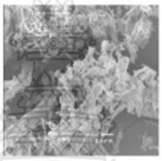
ทดสอบลักษณะเส้นด้ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) โดยใช้มาตรฐาน ASTM E 112 เพื่อส่องดูภาพการกระจายตัดของผงทะลายปาล์มน้ำมันในเส้นด้าย และทดสอบสมบัติทางกายภาพคือความแข็งแรงตามความ

ยาวของเส้นด้าย (Tensile) และค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย (% Elongation) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 2256 : 2002 นำเส้นด้ายที่มีความยาว 2.54 เซนติเมตร มาทำการทดสอบโดยอัตราความเร็วในการทดสอบ 300 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะทดสอบ 250 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 21 ± 1 องศาเซลเซียส ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2

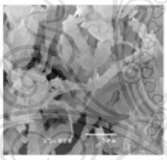
ผลและการอภิปรายผล

การเตรียมวัตถุดิบ

เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่บดเป็นผงมาร่อนผ่าน ตะแกรงขนาด 400 เมช และนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 34 ชั่วโมง เมื่อทดสอบลักษณะผงทะลายปาล์มน้ำมันด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลแสดงดังรูปที่ [1] และ [2]



รูปที่ [1] : [การเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันขนาด 37 ไมครอน กำลังขยาย 1,000 X]



รูปที่ [2] : [ลักษณะการเรียงตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันขนาด 37 ไมครอน กำลังขยาย 5,000 X]

จากรูปที่ [1] และ [2] พบว่า ผงทะลายปาล์มน้ำมันยังมีลักษณะโครงสร้างของผงเส้นใยที่เกาะกันอยู่ ส่งผลทำให้ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเมื่อขึ้นรูปแล้วบางส่วนมีการเกาะกลุ่มเป็นก้อนขนาดใหญ่และบางส่วนหลุดออกเป็นขนาดเล็ก

การขึ้นรูปเส้นด้ายด้วยอัตราส่วนผสมแตกต่างกันของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวเติมพอลิแลคติกแอซิด

เมื่อนำอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่เป็นตัวร่วมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้ายทั้งหมด 5 สูตรเข้าเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว เพื่อขึ้นรูปเป็นเส้นด้าย ได้ผลแสดงดังรูปที่ [3]

(ก) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100

(ข) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5

(ค) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1

(ง) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 2 (จ) รูหน้าแปลน (Die) ดายแบบชลิท

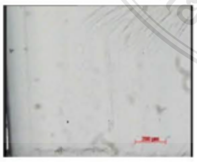
รูปที่ [3] : [เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน]

พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100 (ก) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 (ข) และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1 (ค) สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นด้ายได้ ส่วนเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 2 (ง) และร้อยละ3 ไม่สามารถขึ้นรูปผลิตเป็นเส้นด้ายได้เนื่องจากผงทะลายปาล์มน้ำมันมีการเกาะตัวกันเป็นจำนวนมาก ดังรูปรูหน้าแปลน (Die) ดายแบบชลิท (จ) โดย เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1 (ค) สามารถผลิตเป็นเส้นด้ายได้ในปริมาณที่สูงสุด เนื่องจากการไหลของส่วนผสมมีความต่างกันเมื่อใส่ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันปริมาณที่มากขึ้นทำให้มีการยึดเกาะกันติดบริเวณรูหน้าแปลน จึงส่งผลทำให้รูหน้าแปลนตันไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับศิริวัฒน์ [19] กล่าวว่า วัสดุผสมไม่สามารถไหลได้ภายใต้สภาวะการทดสอบเดียวกัน เนื่องมาจากอิทธิของแป้งที่เมื่อโดนความร้อนแป้งมีการเกาะตัวกันมาก

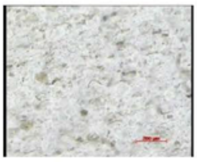
ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน

ลักษณะของเส้นด้าย

นำเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน 3 สตูร คือ เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100 เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1 เมื่อนำมาทดสอบลักษณะเส้นด้ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) เพื่อส่องดูภาพการกระจายตัวของผงทะลายปาล์มน้ำมันในเส้นด้าย ได้ผลแสดงดังรูปที่ [4]



(ก) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100 (ข) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5



(ค) เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1

รูปที่ [4] : [การกระจายตัวของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวเติมพอลิแลคติกแอซิด]

จากรูปที่ [4] เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100 (ก) มีลักษณะใสเพราะไม่มีผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ส่วนเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 (ข) มีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันกระจายตัวอยู่ในเส้นด้าย การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอกันบางช่วงมีผงขนาดใหญ่ และผงขนาดเล็กไม่เรียงตัวในทิศทางเดียวกันมีสีทึบขึ้น และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1 (ค) มีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันกระจายตัวอยู่ในเส้นด้ายเพิ่มมากขึ้น การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอกันบางช่วงมีผงชิ้นใหญ่และผงชิ้นเล็กเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน และมีสีทึบขึ้นตามปริมาณของผงทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งสอดคล้องกับ นที [18] กล่าวว่า ผงถ่านจากซังข้าวโพดมีการแทรกตัวเข้าไปอยู่ในเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผิวขรุขระไม่เรียบถ้ามีการแทรกตัวในปริมาณที่มากขึ้นทำให้เส้นใยนั้นมีความทึบมากขึ้นและมีการกระจุกของผงถ่านซังข้าวโพดทำให้เส้นใยมีขนาดไม่สม่ำเสมอ

สมบัติทางกายภาพของเส้นด้าย

สมบัติทางกายภาพได้แก่ ความแข็งแรงตามความยาวของเส้นด้าย (Tensile) และค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย (% Elongation) แสดงในตารางที่ [2]

ตารางที่ [2] : [ความแข็งแรง และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน]

ชนิดเส้นด้าย	ความแข็งแรง (นิวตัน) (MAX load) ^{ns}	การยืดตัวก่อนขาด (ร้อยละ) ^{ns}
เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100	52.13	5.49
เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5	52.34	5.66
เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1	54.10	4.87

หมายเหตุ : ^{ns} ตัวอักษรในแนวดิ่ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ [2] เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1 มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด คือ 54.10 นิวตัน และค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาด เท่ากับ 4.87 รองลงมา คือ เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.5 มีค่าความแข็งแรง คือ 52.34 นิวตัน และค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาด เท่ากับ 5.66 และเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100 มีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด คือ 52.13 นิวตัน และค่าร้อยละของการยืดตัวของเส้นด้าย เท่ากับ 5.49 พบว่า เส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1 มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด คือ 54.10 นิวตัน และค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนขาด เท่ากับ 4.87 กรณีเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันร้อยละ 1 มีความแข็งแรงสูงที่สุดอาจเพราะการมีปริมาณผงทะลายปาล์มน้ำมันมากขึ้นทำให้การยึดเกาะกันดีขึ้นและมีการรวมกันกับพอลิแลคติกแอซิด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100 หากมีการผสมผงเส้นใยทะลายปาล์มเพิ่มมากขึ้นอีกอาจส่งผลต่อความแข็งแรงให้มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ ลลิตา [16] กล่าวว่า การเติมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตปริมาณเพิ่มขึ้นในพอลิเมอร์

ผสมช่วยลดปัญหาสมบัติที่แข็งแต่เปราะของพอลิแลคติกแอซิด แต่เมื่อเติมในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนักจะมีลักษณะการผสมแบบไม่เข้ากัน มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ค่อนข้างต่ำส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดึงลดลง

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นตัวเติมพอลิแลคติกแอซิดในการผลิตเส้นด้าย ยังมีการใช้เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันในปริมาณที่น้อยอยู่ ควรจะทำให้เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมีขนาดเล็กลงกว่า 400 เมช เพื่อที่จะได้ผสมอัตราส่วนได้ในปริมาณที่มากขึ้น หรือมีการเติมสารเพื่อช่วยให้ผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมีการกระจายตัวได้ดีขึ้นในขณะหลอมเหลว หรืออาจจะขึ้นรูปเป็นลักษณะ Masterbatch ก่อนฉีดขึ้นรูป และเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเป็นเส้นใยที่มีอยู่จำนวนมากในประเทศไทย แต่ยังไม่มีการนำมาแปรรูปให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจอย่างเป็นรูปธรรม ปัจจุบันพบว่าการศึกษายังอยู่ในลักษณะของงานวิชาการ การวิจัย ดังนั้น นักวิจัยจึงคำนึงถึงการนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมเป็นต้น เพื่อผลักดันให้เกิดการใช้เส้นใยธรรมชาติลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการสร้างรายได้เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจต่อไป

บทสรุป

มีความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน โดยสามารถผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ในอัตราส่วนผสมที่สูงที่สุด คือ ร้อยละ 1 เส้นด้ายที่ผลิตได้มีการกระจายตัวของผงเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมากที่สุด มีค่าแรงดึงขาดสูงที่สุด คือ 54.10 นิวตัน และมีค่าการยืดตัวก่อนขาดร้อยละ 4.87 และไม่มีความแตกต่างกับเส้นด้ายเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดร้อยละ 100 เส้นด้ายมีสมบัติที่เหมาะสมนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จึงนับว่ามีความเป็นไปได้ในการการผลิตเส้นด้ายพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน ให้เหมาะสำหรับการนำมาพัฒนาเป็นงานจักรสานและสิ่งทอ เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และสามารถช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกที่ไม่ย่อยสลาย พร้อมทั้งเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ส่งเสริมการบริโภคสินค้าภายในประเทศ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับตลาดโลกได้อย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก บริษัท ธาราบิสสิเนส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบลักษณะของเส้นใย และสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] วรรณรัก นพเจริญกุล. (2548). การผลิตถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มโดยการกระตุ้นด้วยโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] จตุพร ใจบุญ. (2551). การดัดแปรกากปาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[3] รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์. (2548). ปาล์มน้ำมัน พืชเศรษฐกิจ กู้วิกฤต เพิ่มรายได้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัทโรงพิมพ์ประสานมิตร.

[4] กฤษฎา พวงสุวรรณ, มิตรชัย จงเชี่ยวชำนาญ, และชาคริต ทองอุไร. (2555). แบบจำลองไดอิเลคตริกหลายชั้นของผลปาล์มสำหรับการอบแห้งด้วยวิธีคลื่นไมโครเวฟ. ในประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 50, หน้า 68 - 75. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[5] กัมพล จันทรสนธิ. (2552). การใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุปลูกพืชแนวตั้ง. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต นวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[6] อัมพา คำวงษา. (2554). เทคโนโลยีการปลูกปาล์มน้ำมันให้ได้ผลผลิตสูง. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : บริษัท นาคา อินเตอร์มีเดียจำกัด

[7] กรมการค้าภายใน. (2562). ปริมาณการผลิต การใช้และสต็อกน้ำมันปาล์มคงเหลือ ประมวลจากการแจ้งของผู้ประกอบการ ปี 2562. เข้าถึงเมื่อ (15 กุมภาพันธ์ 2563). เข้าถึงได้จาก (https://agri.dit.go.th/file/micro/42e%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%9B%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B9%8C%E0%B8%A1%E0%B8%98.%E0%B8%84.62-.pdf)

[8] ณัฐพล เลี้ยงเพ็ชร. (2558). กระบวนการหมักปุ๋ยซังทะลายปาล์มน้ำมันแบบราย่อยสลายเนื้อไม้. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุลชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[9] ไชนะ มูเล็ง, และ สุวิทย์ สุวรรณโณ. (2555). การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทะลายปาล์มเปล่าและทางใบปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตชีวมวลเห็ดแครง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 14. ฉบับที่ 4. หน้า 53 - 60. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[10] สาคร ชลสาคร. (2560). เทคโนโลยี และ นวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเส้นใยธรรมชาติจากพืช เล่มที่ 1 การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ฟรี - วัน

[11] สุปราณี แก้วภิรมย์, และศิริเดช บุญแสง. (2557). โครงการ คอมโพสิตรักษ์สิ่งแวดล้อมจากพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยสับปะรด. รายงานฉบับสมบูรณ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[12] อรปรียา เวียงอินทร์. (2560). การวิเคราะห์ผลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวธิลีนซัคซิเนต เมื่อเติมสารช่วยยืดสายโซ่โมเลกุล. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[13] อัจฉราภรณ์ บุญมา. (2556). อิทธิพลของพลาสมาจากก๊าซต่อการดัดแปรคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[14] เบญจวรรณ บุญธิมา. (2552). วัสดุคอมโพสิทชีวภาพจากกากถั่วเหลืองร่วมกับพอลิแลคติกแอซิด และเสริมแรงด้วยเส้นใยพืช. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีอุตสาหกรรมชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[15] นรรจพร เรืองไพศาล. (2556). ผลกระทบของสภาวะการปั่นแบบหลอมเหลวที่มีต่อรูปร่างหน้าตัดสมบัติทางกลและการสะท้อนแสงของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[16] ลลิตา จอมแปง. (2556). การเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยเทคนิคการปั่นหลอมเหลว. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[17] อรรคกร สัญญารักษ์. (2557). การเพิ่มสมบัติทางความเหนียวของพอลิแลคติกแอซิดที่ปรับปรุงโดย พอลิเอไมด์ 4 และพอลิเอไมด์ 11. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

[18] **นที ศรีสวัสดิ์, ธีรพงษ์ ไชยเฉลิมวงษ์ และสรพงษ์ ภวสุปรีย์.** (2556). การผลิตเส้นใยพอลิพรอพิลีนผสมผงถ่านจากซัง-ข้าวโพด. รายงานฉบับสมบูรณ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[19] **ศิริวัฒน์ ประจงแต่ง.** (2555). ความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปขวดด้วยกระบวนการฉีดแล้วเป่าจากวัสดุผสมพอลิแลคติก-แอซิดกับแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวศิริกุล แซ่ลิ่ม
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2536
ที่อยู่	849 หมู่ 4 ตำบล กำแพง อำเภอ ละงู จังหวัด สตูล ไปรษณีย์ 91110
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรคหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาออกแบบแฟชั่นและการจัดการสินค้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในปีการศึกษา 2558
ประสบการณ์การทำงาน	ปี พ.ศ. 2559 บริษัท พี.เคอเร็นท์ จำกัด ตำแหน่ง Merchandiser ปี พ.ศ. 2561 ปฏิบัติหน้าที่เป็นวิทยากร โครงการชุมชุนท่องเที่ยว OTOP นวัตวิถี จังหวัดปทุมธานี การพัฒนาผลิตภัณฑ์ OTOP นวัตวิถี กลุ่มประเภทผ้า และเครื่องแต่งกาย ของใช้ของตกแต่ง ของที่ระลึก และสมุนไพรที่ไม่ใช่อาหาร ปี พ.ศ. 2561 ปฏิบัติหน้าที่เป็น ผู้ช่วยนักวิจัย โครงการการพัฒนาเส้นใยกล้วยในงานแฟชั่น เครื่องแต่งกาย และเคหะสิ่งทอ ซึ่งอยู่ภายใต้โครงการวิจัยท้าท้ายไทย กลุ่มเรื่องนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาพื้นที่ประจำปี 2561 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ. 2562 ปฏิบัติหน้าที่เป็นวิทยากร โครงการยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ OTOP กลุ่มปรับตัวสู่การพัฒนา (กลุ่ม D) ภายใต้โครงการชุมชนท่องเที่ยว OTOP นวัตวิถี กิจกรรมย่อยที่ 2 ยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ OTOP กลุ่มผ้าและเครื่องแต่งกาย ปี พ.ศ. 2562 ปฏิบัติหน้าที่เป็นวิทยากรอบรมพัฒนาผู้เรียนโครงงานการทำกระดาษสาจากกาบกล้วย ให้กับนักศึกษา กศน.ขาณุวรลักษณบุรี จังหวัดกำแพงเพชร
เบอร์โทรศัพท์	086-8017100
อีเมล์	sirikul_s@mail.rmutt.ac.th, sirikul_taoy@hotmail.com