

การวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเสริมแรงด้วย
คริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่

STRUCTURAL AND PROPERTIES ANALYSIS OF THERMOPLASTIC
STARCH REINFORCED WITH CRYSTAL CELLULOSE FROM BAMBOO
FIBER

วิภาวดี รักบำรุง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตา์ชเสริมแรงด้วย
คริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่

วิภาวดี รักบำรุง

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเสริมแรงด้วย
คริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่

Structural and Properties Analysis of Thermoplastic Starch
Reinforced with Crystalline Cellulose from Bamboo Fiber

ชื่อ - นามสกุล

นางสาววิภาวดี รักบำรุง

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุ

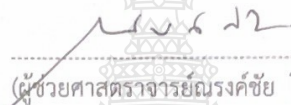
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.

ปีการศึกษา

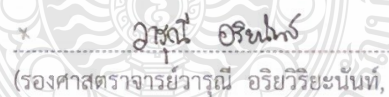
2566

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.)


กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ธีรารัฐ พงศ์ประยูร, ปร.ด.)


กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)


กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)
วันที่ 17 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2567

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This thesis consists of research materials conducted at the Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi and hence the copyright owner. I hereby certify that the thesis does not contain any forms of plagiarism.

.....
(นางสาววิภาวดี รักบำรุง)

COPYRIGHT ©

ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2566

FACULTY OF ENGINEERING

คณะวิศวกรรมศาสตร์

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาarchเสริมแรงด้วย คริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่
ชื่อ – นามสกุล	นางสาววิภาวดี รักบำรุง
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch (Thermoplastic starch, TPS) ให้มีคุณภาพสูง และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานด้านความทนทานต่อการช้ำน้ำและย่อยสลายหลังใช้งาน จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านวัสดุไบโอโนคอมโพสิต (Bionanocomposite) ปัจจุบันการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาarchที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติได้รับความสนใจมากขึ้น แต่ยังมีคุณสมบัติบางอย่างที่ต้องปรับปรุง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างและสมบัติของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ และเทอร์โมพลาสติกสตาarchที่เสริมแรงด้วยคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ เพื่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์รักษ์โลกจากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้

ในงานวิจัยนี้เตรียมเซลลูโลสนาโนคริสตัล (CNC) จากเส้นใยไผ่ โดยใช้กระบวนการการเตรียมเส้นใยไผ่ทำ 3 ขั้นตอน คือ การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วย NaOH 2M การฟอกขาวด้วย 50% และการสกัดไฮโดรไลซิสด้วย 50% H_2SO_4 จากนั้นนำไปวิเคราะห์โครงสร้างและลักษณะสัณฐานวิทยาของ CNC และนำมาเตรียม Bionanocomposite ด้วยการเพิ่ม CNC ที่มีปริมาณ 0, 2, 4, และ 8 wt.% ลงใน TPS เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพของ TPS ที่เสริมแรงด้วย CNC

จากการวิเคราะห์ CNC ด้วยเทคนิค XRD พบว่า CNC ที่ได้มีดัชนีคริสตัลลินิตีสูงถึง 75.72% การวิเคราะห์ FTIR ยืนยันการมีอยู่ของเซลลูโลสและการกำจัด lignin และ Hemicellulose และสเปกตรัม CP/MAS ^{13}C NMR ของ CNC พบว่าเป็นแบบ Cellulose type I ผลลัพธ์ที่ได้ยืนยันว่า CNC ที่เตรียมได้นั้นไม่ได้เปลี่ยนเป็นโครงสร้างเซลลูโลสอื่นๆ หลังจากกระบวนการไฮโดรไลซิส นอกจากนี้การทดสอบ TPS ที่เสริมแรงด้วย CNC 8wt.% พบว่าสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของ TPS/CNC มีค่าสูงที่สุด ทั้งสมบัติความแข็งแรงและการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น 1.8 เท่า และ 3.4 เท่าตามลำดับ ในขณะที่การยืดตัวที่จุดขาด การดูดซึมน้ำ และการบวมตัวของ TPS/CNC ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การเพิ่มของ CNC ส่งผลต่อสมบัติการย่อยสลายไม่ต่างกันมากนัก เมื่อครบ 45 วัน TPS/CNC จะเกิดการย่อยสลายหมด แสดงให้เห็นว่า CNC ยึดเกาะกับ TPS ได้ดี และเกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลน้อย เนื่องจาก CNC มีพื้นที่ผิวเยอะการกระจายตัวได้ดีใน TPS จึงทำให้มีสมบัติทางกลและทางกายภาพที่ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อาหารแห้งที่ย่อยสลายตามธรรมชาติได้

คำสำคัญ: เทอร์โมพลาสติกสตาarch เซลลูโลสนาโนคริสตัล ไบโอโนคอมโพสิต เส้นใยไผ่

Thesis Title	Structural and Properties Analysis of Thermoplastic Starch Reinforced with Crystalline Cellulose from Bamboo Fiber
Name – Surname	Miss Viphawadee Rakbumrung
Program	Materials Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Warunee Ariyawiriyanan, Dr.Eng.
Academic Year	2023

ABSTRACT

The improvement of the production process of thermoplastic starch (TPS) to achieve high quality and meet the demands for water resistance and biodegradability is essential. Therefore, the development of bio-nanocomposite material technology is necessary. Currently, there is a growing interest in environmentally friendly TPS production that can naturally degrade. However, there are still some properties that need improvement. This research aims to study the structure and properties of crystalline cellulose from bamboo fibers and TPS reinforced with crystalline cellulose from bamboo fibers to create environmentally friendly products that are capable of natural degradation.

In this research, cellulose nanocrystals (CNC) were prepared from bamboo fibers using a three-step process: surface modification of the fibers with NaOH 2M, bleaching with 50% H₂O₂, and hydrolysis with 50% H₂SO₄. The obtained CNC was then analyzed for its structural and morphological characteristics. Subsequently, bionanocomposites were prepared by incorporating CNC at concentrations of 0, 2, 4 and 8 wt.% into thermoplastic starch (TPS) to investigate the mechanical and physical properties of TPS reinforced with CNC.

The analysis of CNC using the XRD technique revealed a high crystallinity index of up to 75.72%. FTIR analysis confirmed the presence of cellulose and the removal of lignin and hemicellulose. Additionally, CP/MAS ¹³C NMR spectroscopy identified the CNC as Cellulose type I, indicating no structural change post-hydrolysis. Furthermore, the testing TPS reinforced with 8wt.% CNC exhibited the highest mechanical and physical properties, with a respective increase of 1.8 and 3.4 times in stiffness and tensile strength. Meanwhile, elongation at break, water absorption, and swelling of TPS/CNC significantly decreased. Moreover, biodegradation testing revealed complete degradation of TPS/CNC within 45 days, indicating strong adhesion between CNC and TPS, facilitated by the abundant surface area of CNC molecules, leading to favorable mechanical and physical properties suitable for biodegradable dry food packaging applications.

Keywords: thermoplastic starch, cellulose nanocrystals, bionanocomposite, bamboo fiber

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นตามความหวังของผู้จัดทำได้ เนื่องมาจากความเมตตากรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์ ที่ได้กรุณารับเป็นที่ปรึกษาและเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับแนวคิด ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ และประสบการณ์ที่เป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเป็นประโยชน์ในการทำ วิจัยในการทำกรวิจัยครั้งต่อไป

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือในการทดสอบ รวมทั้งอาจารย์เจ้าหน้าที่ บุคลากรของภาควิชา วิศวกรรมวัสดุและโลหการ ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวก ให้ความรู้ คำแนะนำในการใช้เครื่องมือภายใน ภาควิชา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุน ในการศึกษาเล่าเรียนจนสำเร็จลุล่วง

วิภาวดี รักบำรุง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(4)
ABSTRAC.....	(5)
กิตติกรรมประกาศ.....	(6)
สารบัญ.....	(7)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(14)
บทที่ 1 บทนำ.....	15
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	15
1.2 วัตถุประสงค์.....	16
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	16
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	17
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.1 เทอร์โมพลาสติกสตาบิล.....	18
2.2 เส้นใยไผ่.....	26
2.3 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย.....	32
2.4 การฟอกขาว.....	40
2.5 เซลลูโลส.....	44
2.6 นาโนเซลลูโลส.....	48
2.7 แป้ง.....	54
2.8 กลีเซอรอล.....	62
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	64
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	68
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	68
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี.....	68
3.3 การเตรียมเส้นใย.....	74
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	76
3.5 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	77
3.6 การทดสอบสมบัติ.....	77

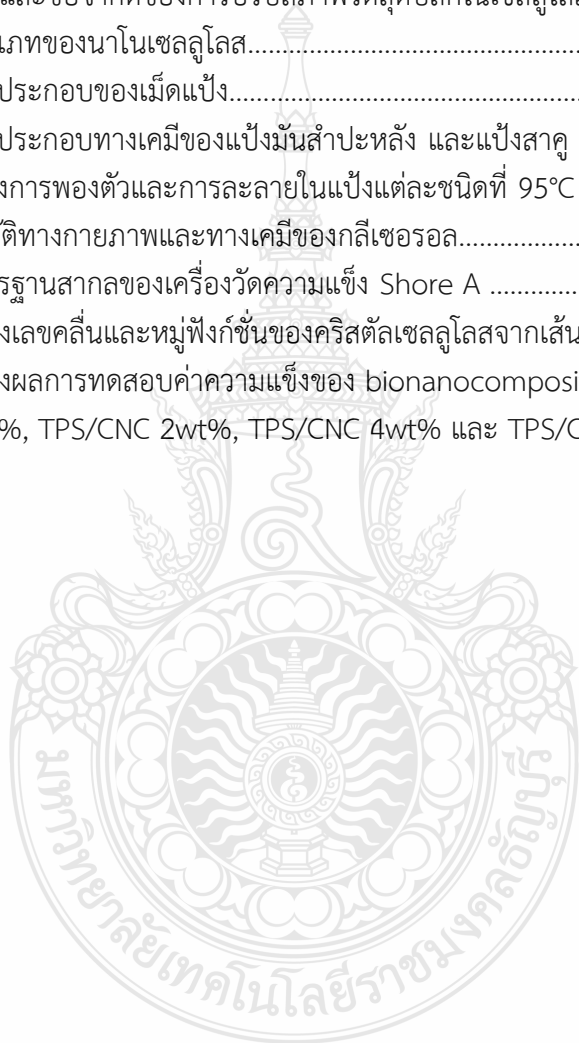
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินการและการวิเคราะห์.....	83
4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเส้นใยไฟ.....	83
4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างและลักษณะสัณฐานวิทยาคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไฟ..	84
4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของ bionanocomposites TPS/CNC.....	86
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	91
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	92
บรรณานุกรม.....	93
ภาคผนวก.....	98
ประวัติผู้เขียน.....	150



สารบัญตาราง

			หน้า
ตารางที่ 2.1	สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....		21
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบของเส้นใยต่างๆ		31
ตารางที่ 2.3	สมบัติทางกลของเส้นใยต่างๆ		32
ตารางที่ 2.4	ข้อดีและข้อจำกัดของการปรับสภาพวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธีการต่างๆ..		39
ตารางที่ 2.5	ประเภทของนาโนเซลลูโลส.....		50
ตารางที่ 2.6	องค์ประกอบของเม็ดแป้ง.....		56
ตารางที่ 2.7	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาคุ		61
ตารางที่ 2.8	กำลังการพองตัวและการละลายในแป้งแต่ละชนิดที่ 95°C		62
ตารางที่ 2.9	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล.....		63
ตารางที่ 3.1	มาตรฐานสากลของเครื่องวัดความแข็ง Shore A		78
ตารางที่ 4.1	แสดงเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไฟ.....		83
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของ bionanocomposites TPS/CNC..... 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%.....		88



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช..... 18
รูปที่ 2.2	ผลของความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ต่อคุณสมบัติทางกล [กราฟความเค้น- ความเครียด] ของโพลิเมอร์แป้งเทอร์โมพลาสติก..... 22
รูปที่ 2.3	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ผลิตจาก TPS..... 25
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจาก TPS..... 26
รูปที่ 2.5	แสดงการจำแนกประเภทของเส้นใยชนิดต่างๆ 26
รูปที่ 2.6	โครงสร้างลำต้นไผ่..... 29
รูปที่ 2.7	การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมระหว่างลูกแก้วกับพอลิเอไมด์ (Polyamide) เมื่อ (ก) ไม่ได้ปรับสภาพผิวด้วยไซเลน (ข) ปรับสภาพผิวเฟสดีส เพอซด้วยไซเลน..... 34
รูปที่ 2.8	ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยอากาศแก้ว (a) ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพผิว (b) ผ่านการ ปรับสภาพผิว ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์..... 35
รูปที่ 2.9	สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่ใช้เส้นใยอะบาคาเป็นเส้นใยเสริมแรง..... 36
รูปที่ 2.10	การเปรียบเทียบเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการ(ก) ทางกล(ข)... 37
รูปที่ 2.11	แบบจำลองลิกโนเซลลูโลสและการปรับสภาพ (pretreatment) เพื่อทำลาย โครงสร้างที่แข็งแรงของลิกโนเซลลูโลส..... 37
รูปที่ 2.12	โครงสร้างของเซลลูโลส..... 44
รูปที่ 2.13	การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสในโครงสร้างส่วนนอก (S1) ส่วนกลาง (S2) และส่วนใน (S3) ในผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary cell wall) ของชานอ้อย โดยประกอบด้วย เซลลูโลสประมาณ 40% เฮมิเซลลูโลสประมาณ 24% และ ลิกนินประมาณ 25%..... 45
รูปที่ 2.14	ภาพจากวิธีการ AFM (ภาพซ้าย) เพื่อยืนยันว่าเส้นใยเซลลูโลสประกอบด้วย สองส่วนคือ ส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน..... 46
รูปที่ 2.15	เซลล์โพน..... 48
รูปที่ 2.16	ภาพถ่ายนาโนเซลลูโลสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM); (a) Microfibrillated cellulose (MFC), (b) Nanocrystalline cellulose (NCC) และ (c) Bacterial cellulose (BC)..... 51

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.17 โครงสร้างเซลลูโลสในพืชและชนิดของนาโนเซลลูโลส ; (ด้านบน) ลักษณะโครงสร้าง ของเซลลูโลส; (ด้านล่าง) ภาพถ่ายนาโนเซลลูโลสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของ cellulose microcrystals, cellulose microfibrils และ cellulose nanofibrils และภาพถ่ายนาโนเซลลูโลสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของ cellulose nanocrystals และ cellulose nanofibrils.....	51
รูปที่ 2.18 แผนผังการตัดแยก CNF และ CNC โดยวิธีทางกลและวิธีทางเคมีตามลำดับ ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของ CNC จากแหล่งต่างๆ; (a) ไม้เนื้ออ่อน, (b) ไม้เนื้อแข็ง, (c) เปลือกมะเขือเทศ, (d) Calotropis procera, (e) ปาล์มน้ำมัน , (f) สาหร่ายสีแดง, (g) พืชทะเล, (h) เพรียงหัวหอม และ (i) bacterial cellulose.....	52
รูปที่ 2.19 รูปที่ 2.19 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของ CNC จากแหล่งต่างๆ; (a) ไม้เนื้ออ่อน, (b) ไม้เนื้อแข็ง, (c) เปลือกมะเขือเทศ, (d) Calotropis procera, (e) ปาล์มน้ำมัน , (f) สาหร่ายสีแดง, (g) พืชทะเล, (h) เพรียงหัวหอม และ (i) Bacterial cellulose.....	52
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของ CNC หลังจากการย่อยด้วยกรด.....	53
รูปที่ 2.21 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy;SEM) ของ (a) แอลจีเนต (alginate film) (b) แอลจีเนต/นาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลสนาโนคอมโพสิตที่ประกอบด้วยนาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลสร้อยละ 5 (c) แอลจีเนต/นาโนคริสตัลไลน์ เซลลูโลสนาโนคอมโพสิตที่ประกอบด้วยนาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลสร้อยละ 8	54
รูปที่ 2.22 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า ของแกรนูลสตาร์ชจากพืชสปีชีส์ต่างๆ (A) มันฝรั่ง (B) ข้าว (C) ข้าวสาลี (D) ถั่วเขียว (E) ข้าวโพด (f) ข้าวโพดข้าวเหนียว (G) มันสำปะหลัง (H) โขติ (I) แป้งในใบพืช	55
รูปที่ 2.23 โครงสร้างทางเคมีของ (A) แอมิโลส และ (B) แอมิโลแพคติน	56
รูปที่ 2.24 โครงสร้างผลึกแบบ A และ B	57
รูปที่ 2.25 แสดงระดับโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง	58
รูปที่ 2.26 ภาพการจำลองการบวมตัวและการละลายของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อน ...	58
รูปที่ 2.27 การคืนตัวของแป้งสุก	60
รูปที่ 2.28 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน.....	61

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 2.29	โครงสร้างของกลีเซอรอล.....	62
รูปที่ 3.1	เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า.....	69
รูปที่ 3.2	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด.....	69
รูปที่ 3.3	เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifugation)	70
รูปที่ 3.4	ตู้อบ.....	70
รูปที่ 3.5	เครื่องบดละเอียด.....	71
รูปที่ 3.6	เครื่อง Fourier-Transform Infrared Spectroscopy	71
รูปที่ 3.7	เครื่อง Durometer.....	72
รูปที่ 3.8	เครื่อง Universal testing machine.....	72
รูปที่ 3.9	เครื่องวิเคราะห์โดยนิวเคลียสแมกเนติกเรโซแนนซ์.....	73
รูปที่ 3.10	เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....	73
รูปที่ 3.11	แสดงขั้นตอนการเตรียมการปรับปรุงเส้นใย.....	75
รูปที่ 3.12	แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	76
รูปที่ 3.13	ตัวอย่างการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง	49
รูปที่ 4.1	ลักษณะของเส้นใยไฟไหม้ผ่านการปรับปรุงผิว(ก) , เส้นใยไฟที่ผ่านการปรับปรุง พื้นผิวด้วย NaOH(ข) และ เส้นใยไฟที่ผ่านการฟอกขาวด้วย H ₂ O ₂ (ค).....	82
รูปที่ 4.2	การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยไฟไหม้ผ่านการปรับปรุงผิว(a) , เส้นใย ไฟที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH(b) และเส้นใยไฟที่ผ่านการฟอกขาว ด้วย H ₂ O ₂ (c)	83
รูปที่ 4.3	วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค NMR ของเส้นใยไฟไหม้ผ่านการ ปรับปรุงผิว(a), เส้นใยไฟที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH (b), เส้นใยไฟที่ ผ่านการฟอกขาวด้วย H ₂ O ₂ (c) และเส้นใยไฟที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วย H ₂ SO ₄ (d)	84
รูปที่ 4.4	วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยไฟไหม้ผ่านการปรับปรุงผิว (a), เส้นใยไฟที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH (b), เส้นใยไฟที่ผ่านการ ฟอกขาวด้วย H ₂ O ₂ (c) และเส้นใยไฟที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วย H ₂ SO ₄ (d)....	85
รูปที่ 4.5	ผลการทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength) ของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%.....	86

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 แสดงค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%.....	87
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%.....	88
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการบวมตัวของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%.....	89
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%.....	90



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

°C

CNC

TPS

NaOH

H₂O₂

H₂SO₄

wt%

ASTM

องศาเซลเซียส

เซตอุปกรณ์นาโนคริสตัลไลน์

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

โซเดียมไฮดรอกไซด์

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

กรดซัลฟิวริก

เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด

American Society of Testing and
Materials



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมนุษย์มีการใช้พลาสติกอย่างแพร่หลายทั้งในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาขยะมากมาย โดยขยะส่วนใหญ่ใช้ระยะเวลานานในการย่อยสลายตามธรรมชาติ อีกทั้งยังก่อให้เกิดผลเสียและมลพิษทางสิ่งแวดล้อม และเนื่องด้วยประเทศไทยมีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรและมีวัตถุดิบทางการเกษตรที่หลากหลาย เช่น ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ไม้ ยางพารา ฯลฯ ซึ่งวัตถุดิบทางการเกษตรเหล่านี้สามารถนำมาพัฒนาและสร้างประโยชน์ได้อย่างมากมาย ไม้ไผ่เป็นพืชยืนต้นชนิดหนึ่งที่มีปริมาณเซลลูโลสสูง ไม้ไผ่มีความได้เปรียบทางนิเวศวิทยาสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชเซลลูโลสชนิดอื่นๆ [1] โดยไม้ไผ่เป็นพืชเศรษฐกิจ ในประเทศไทยมีการนำไม้ไผ่มาประกอบอาชีพจำนวนมาก แต่การประกอบอาชีพเหล่านี้ก็สามารถก่อให้เกิดปัญหา เช่น เศษไม้เหลือทิ้ง และขี้เลื่อยไม้ รวมทั้งเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ โรงงานตะเกียบ และงานหัตถกรรมในชุมชนต่างๆ เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดขยะในสิ่งแวดล้อม ไม้ไผ่เป็นทรัพยากรชีวภาพธรรมชาติที่หมุนเวียนได้มีอยู่มากมายในหลายส่วนของโลก มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ภาวะในสภาพแวดล้อมขนาดเล็ก การเติบโตอย่างรวดเร็ว การหมุนเวียนใหม่ ความแข็งแรงสูงและความยืดหยุ่นที่ดี เส้นใยไม้ไผ่มีบทบาทสำคัญในการสร้างโครงสร้างอินทรีย์และคอมโพสิตในอนาคต และได้รับการยอมรับว่าเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในกลุ่มเส้นใยธรรมชาติที่เสริมความแข็งแรง ในการผลิตคอมโพสิตชีวภาพต้องใช้วัสดุอื่นที่มีอะไมโลเพคตินในปริมาณสูง [2] ทรัพยากรธรรมชาติที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงคือแป้งมันสำปะหลังซึ่งประกอบด้วยอะไมโลเพคตินประมาณ 83% โดยแป้งหรือสตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ สารสตาร์ชนี้มีความสำคัญเนื่องจากมีคุณสมบัติที่น่าสนใจสำหรับการใช้ในการผลิตพลาสติกชีวภาพหลายชนิด เช่น เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และพอลิแลคติกแอซิด เนื่องจากสามารถเป็นวัตถุดิบหลักและสารเติมแต่งในการผลิตพลาสติก ซึ่งช่วยเพิ่มเนื้อและลดต้นทุน และพัฒนาสมบัติการแตกสลายได้ทางชีวภาพของพลาสติกชีวฐานบางชนิดด้วย [3]

เซลลูโลสที่พบในธรรมชาติมักประกอบด้วยสารประกอบลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) โดยประกอบด้วยลิกนิน (Lignin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ซึ่งรวมกันเป็นผนังเซลล์ของพืช เป็นส่วนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของพืช การกำจัดสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกจากเซลลูโลสเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ กระบวนการสกัดเซลลูโลสจึงต้องผ่านขั้นตอนหลายขั้นตอนโดยวิธีที่ใช้ก็รวมถึงวิธีทางเคมี การสร้างเซลลูโลสที่มีคุณภาพดีต้องการกระบวนการสกัดที่ซับซ้อน เพื่อกำจัดส่วนประกอบอื่นๆ ซึ่งมักใช้วิธีทางเคมีเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้โดยง่าย วิธีเคมีเหล่านี้มักถูกนำมาประยุกต์ใช้จริงในอุตสาหกรรมและมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบที่ไม่ต้องการออกจากเซลลูโลสได้ดี[4]

เซลลูโลสนาโนคริสตัลที่สังเคราะห์จากเซลลูโลสธรรมชาติได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีลักษณะเฉพาะและน่าดึงดูดใจ (เช่น ความคุ้มค่า อัตราส่วนภาพสูง และน้ำหนักเบา) อย่างไรก็ตาม

คุณสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลสนาโนคริสตัลต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมาก ความแตกต่างเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดจากโครงสร้าง ขนาด และรูปร่างที่แตกต่างกันในโครงสร้างผลึกในระหว่างการสกัดไฟเบอร์ การบำบัดด้วยสารเคมีพื้นผิวเพื่อกำจัดสารที่ไม่ใช่เซลลูโลส และสารประกอบเซลลูโลสที่เสื่อมสภาพขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของการบำบัด เป็นการยากที่จะได้ผลึกนาโนเซลลูโลสที่กระจายตัวสม่ำเสมอจากเส้นใยพืชธรรมชาติ เนื่องจากเฟสนาโนมีแนวโน้มที่จะสร้างโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นผ่านการรวมตัวกันและการเกาะเป็นก้อน โครงสร้างสัณฐานวิทยา และความเป็นผลึกของผลึกแตกต่างกันอย่างมากขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของผลึก การปรับสภาพ อุณหภูมิ ตัวทำละลาย สารแขวนลอยหรือสถานะแห้ง และเงื่อนไขอื่นๆ [2]

ในการวิจัยครั้งนี้จึงสนใจศึกษากระบวนการผลิตสารเสริมแรงด้วยเซลลูโลสนาโนคริสตัล โดยการเตรียมและวิเคราะห์โครงสร้างของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไฟเบอร์ด้วยการใช้กระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด และนำมาเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์รักษ์โลกจากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ อย่างไรก็ตามการทำเป็นผลิตภัณฑ์เป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชยังพบข้อบกพร่องเรื่องความแข็งแรง การคงทนต่อความชื้น และการยึดติดของสตาร์ชและเส้นใย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาสมบัติตามการใช้งานในอุตสาหกรรมควบคู่ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างและลักษณะสัณฐานวิทยาของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไฟเบอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษากลไกการขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชก่อนและหลังเติมคริสตัลเซลลูโลส
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี สมบัติทางกลและสมบัติตามการใช้งานของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยคริสตัลเซลลูโลส

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ เส้นใยไฟเบอร์เหลือทิ้งจากงานหัตถกรรมในชุมชนขนาด 2.3 มิลลิเมตร กลีเซอรอล และแป้งมันสำปะหลัง
- 1.3.2 สารที่ใช้ในการเตรียมคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไฟเบอร์ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)
- 1.3.3 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไฟเบอร์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) และเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR)
- 1.3.4 วิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างผลึกของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไฟเบอร์ ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffractometer, XRD)
- 1.3.5 ทดสอบสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไฟเบอร์

- 1.3.5.1 ทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ
- 1.3.5.2 สอบทดสอบสมบัติการย่อยสลาย
- 1.3.5.3 ทดสอบสมบัติทางกล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ได้
- 1.4.2 ได้ทราบถึงวิธีการเตรียม และวิเคราะห์โครงสร้างและลักษณะสัณฐานวิทยาของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่
- 1.4.3 ได้ทราบถึงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่
- 1.4.4 ได้ปรับปรุงและพัฒนาสมบัติของของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่

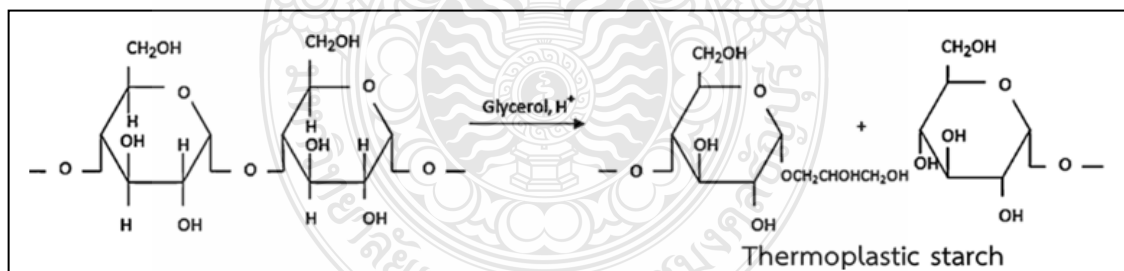


บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

พลาสติกที่ผลิตจากแป้งเป็นเทอร์โมพลาสติก มักมีปริมาณแป้งผสมอยู่สูงกว่า 70% แต่ส่วนใหญ่ในท้องตลาดพบว่าแป้งเป็นส่วนผสมถึง 90% และมักเกิดผ่านกระบวนการทำให้แป้งเป็นเจล (Gelatinized) ร่วมกับการเติมสารที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสม จนได้แป้งที่มีสมบัติที่สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปเช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไป เช่น การฉีด (injection) การอัดรีด (extrusion) [5] วัสดุเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (TPS) ถือเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและคงทนต่ออุณหภูมิได้ดี โดยมีการประกอบด้วยแป้งที่ผสมกับพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของแป้งและโมเลกุลของพลาสติก การเติมพลาสติกไซเซอร์ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งกับโมเลกุลของพลาสติก ทำให้เมื่อแป้งได้รับความร้อน เกิดการละลายของโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกของเม็ดแป้ง ทำให้เวลาที่จำเป็นในการหลอมเหลวน้อยกว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของแป้ง ซึ่งทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ สารประกอบที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ใน TPS สามารถเป็นได้หลายชนิด เช่น กลีเซอรอล น้ำ หรือสารประเภท Polyol เช่น 1,4-Butanediol (BDO), Propylene glycol (PG), Ethylene glycol (EG), Polyethylene glycol (PEG) และสารประกอบของไนโตรเจน เช่น Urea, Ammonium derivatives, Amines เป็นต้น โดยทั้งหมดเหล่านี้มีบทบาทในการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งและโมเลกุลของพลาสติก ซึ่งช่วยเสริมความยืดหยุ่นและคงทนของวัสดุ TPS ให้มีคุณสมบัติที่ต้องการได้ [6]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช [7]

พลาสติกชีวฐานหรือพลาสติกฐานชีวภาพ (Bioplastic) เป็นวัสดุที่ถูกผลิตขึ้นจากวัตถุดิบที่มีกำเนิดมาจากธรรมชาติ เช่น พืช และสัตว์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่คล้ายกับพลาสติกสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี วัสดุพลาสติกฐานชีวภาพ วัสดุพลาสติกชีวฐานสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ทำให้ลดปัญหาของขยะพลาสติกที่ค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมหลังจากการใช้งาน อย่างไรก็ตาม พลาสติกชีวฐานนั้นยังเป็นวัสดุที่มาจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

ประเทศไทยมีความเหมาะสมสูงในการใช้วัตถุดิบเกษตรกรรมในการผลิตพลาสติกชีวฐาน เช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง และถั่วต่างๆ เทคโนโลยีในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากสารตั้งต้นของ TPS เป็นแป้งสตาซ์ที่สามารถหาได้จากพืช เมื่อผสมกับ พลาสติกไฮเซอรและประมวลผ่านกระบวนการทำร้อน จะได้วัสดุเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ที่มีคุณสมบัติ ทนต่อความชื้นและความอ่อนตัวต่อความร้อนต่ำ ทำให้เป็นวัสดุที่มีความหลากหลายและเหมาะสมสำหรับ การใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ การใช้วัตถุดิบที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ และมีอุปการะที่เหมาะสม จะ ช่วยลดการใช้วัสดุที่มีกำหนดเวลาในการย่อยสลายและลดปริมาณของขยะที่สร้างขึ้น นอกจากนี้ การใช้ วัตถุดิบท้องถิ่นยังส่งเสริมเศรษฐกิจในประเทศอีกด้วย โดยสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและอุตสาหกรรม ประมงท้องถิ่น ช่วยสร้างงานและส่งเสริมการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

การปรับปรุงคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาซ์มีหลากหลายวิธี การเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางเคมีเป็นหนึ่งในวิธีที่สำคัญ โดยการเชื่อมโมเลกุลของสตาซ์กับโมเลกุลของวัตถุดิบอื่น ๆ เพื่อ ปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์เป็นต้น การผสมกับพอลิเมอร์อื่นเช่น PLA หรือ PHA เพื่อสร้างวัสดุที่มี คุณสมบัติที่ต้องการก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ การผลิตฟิล์มหรือเส้นใยที่มีความแข็งแรง ความ ยืดหยุ่น หรือความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันก็เป็นผลลัพธ์ที่มีประโยชน์จากการใช้เทคนิคนี้ นอกจากนี้ การผลิตคอมโพสิตด้วยการใช้เทอร์โมพลาสติกสตาซ์เป็นเมทริกซ์ร่วมกับพอลิเมอร์อื่น ๆ ยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ต้องการอีกด้วย ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นการใช้ เทคโนโลยีเคมีและวัสดุใหม่ๆ เพื่อพัฒนาวัสดุที่มีประสิทธิภาพและความคงทนสูงขึ้นในการใช้งานแต่ละ ประเภท ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ตามความต้องการของผู้ใช้และสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน

การพัฒนาคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาซ์โดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติเป็นวิธี ที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการใช้เส้นใยธรรมชาติเช่น ป่าน ปอ และเซลลูโลส เพื่อเสริมความแข็งแรง และความทนทานของวัสดุ เส้นใยธรรมชาติมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถใช้แทนเส้นใยแก้วได้ และมีน้ำหนักที่เบากว่าเส้นใยแก้ว นอกจากนี้ เส้นใยธรรมชาติยังมีความสามารถในการยึดเกาะกับเมทริกซ์ได้ดี ซึ่งมีผลต่อการพัฒนาสมบัติทางกลของวัสดุ การเสริมแรงด้วยเส้นใยยังช่วยลดอัตราการ ดูดซับความชื้นและการหดตัวขณะการผลิต เช่น การผลิตฟิล์มหรือเส้นใยที่มีความแข็งแรง ความยืดหยุ่น หรือความต้านทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน ทำให้วัสดุที่ผลิตขึ้นมีคุณสมบัติที่ต้องการในการใช้งาน แต่ละประเภท และยังสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทำให้การใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวิธีที่ยังคง ไว้วางใจในการพัฒนาสมบัติของวัสดุพลาสติกในอุตสาหกรรมต่าง ๆ [8]

เทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้ง (Thermoplastic starch : TPS)

โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบของแป้งพบว่า แป้งอาจจะมีสมบัติเป็นพอลิ เมอร์แบบเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic polymer) อย่างไรก็ตามเนื่องจากในแต่ละหน่วยซ้ำ (Repeating unit) ของโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกตินประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ที่มีถึง 3 หมู่ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิล สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลใกล้เคียงได้ ทำให้แรง ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีค่าสูงมาก การขึ้นรูปแปะ การเติมสารพลาสติกไฮเซอรจึงสำคัญ [9]

2.1.1 สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์

ตารางที่ 2.1 สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ [10]

สมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ (ASTM)	ค่าการทดสอบ	หน่วย
ค่าดัชนีการไหลของการหลอม	D-1238	2	g/10min(150 C/5kg)
ความหนาแน่น	D-792	1.2	g/cm ³
ช่วงอุณหภูมิการหลอมละลาย	D-3418	90-130	deg. C
ปริมาณความชื้น	Internal	0.45	%
ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก	D-882	>20	MPa
ความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด	D-882	>15	MPa
ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด	D-882	>500	% at low stain rate
การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก	D-1709	0.25	Kg
การแพร่กระจายของการฉีกขาด	D-1922	2.9	Newton
อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน	F-1927	1175	(cc/m ² /day)
อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ	F-1927	550	(g/m ² /day)

2.1.1.1 คุณสมบัติทางกล

เทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ เป็นวัสดุชีวภาพที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน คุณสมบัติทางกลของ TPS โดยเฉพาะคุณสมบัติแรงดึง เป็นสิ่งสำคัญต่อการใช้งานทางวิศวกรรมชีวภาพ ปัจจัยหลากหลายประการซึ่งอิทธิพลต่อคุณสมบัติแรงดึงของ TPS ได้แก่ แหล่งที่มาของแป้ง สารเติมแต่ง อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ความเป็นผลึก และอัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกติน โดยมุ่งเน้นไปที่การอธิบายปัจจัยเหล่านี้ กลไกเบื้องต้น และผลกระทบต่อคุณสมบัติแรงดึงของ TPS

ปัจจัยที่มีอิทธิพล:

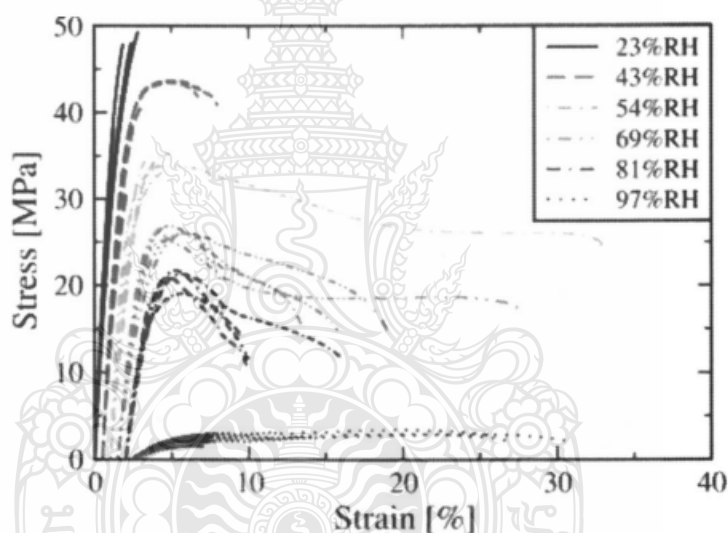
1) แหล่งที่มาของแป้ง แป้งจากแหล่งต่างๆ มีองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติของ TPS แป้งที่มีอะมิโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพด จะให้ฟิล์ม TPS ที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูงกว่าแป้งที่มีอะมิโลสต่ำ เช่น แป้งข้าวเจ้า

2) สารเติมแต่ง สามารถใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของ TPS ตัวอย่างเช่น การเติม Plasticizer จะเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม Filler จะเพิ่มความแข็งแรง Compatibilizer จะช่วยเพิ่มการผสมผสานระหว่างองค์ประกอบต่างๆ

3) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) คืออุณหภูมิที่โมเลกุลของพอลิเมอร์เริ่มเคลื่อนที่ T_g ที่สูงขึ้นบ่งบอกถึงความแข็งแรงของฟิล์มที่สูงขึ้น

4) ความเป็นผลึก ฟิล์มที่มีโครงสร้างผลึกสูงจะแข็งแรงกว่าฟิล์มที่ไม่มีโครงสร้างออสัญฐาน

5) อัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกติน อะมิโลสเป็นโมเลกุลเชิงเส้นที่ยาว ส่วนอะมิโลเพกตินเป็นโมเลกุลที่แตกกิ่งก้าน อัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม TPS ฟิล์มที่มีอะมิโลสสูงจะมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูงกว่าฟิล์มที่มีอะมิโลเพกตินสูง [11]



รูปที่ 2.2 ผลของความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ต่อคุณสมบัติทางกล[กราฟความเค้น-ความเครียด] ของพอลิเมอร์แป้งเทอร์โมพลาสติก [12]

2.1.2 กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

เทคโนโลยีการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกแป้ง (TPS) แตกต่างจากเทคนิคในการขึ้นรูปพลาสติกทั่วไป โดยจะมีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะของแป้ง ซึ่งทำให้การควบคุมกระบวนการเป็นไปอย่างยากลำบาก

การปรับปรุงและการพัฒนากระบวนการขึ้นรูป TPS เพื่อปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพของการผลิตมีหลายแนวทาง เช่น การเติมพลาสติกไซเซอร์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง การเติมสารหล่อลื่น เพื่อลดการแตกร้าว การใช้สตาบิลิซเซอร์ที่ผ่านการดัดแปร และการผสมสตาร์ชกับเคลย์นาโนเพื่อ

เพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเชิงประกอบนาโนสตาร์ช ทั้งนี้เพื่อลดการระเหยของน้ำและการเกิดริ้วรอยร้าวที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างกระบวนการผลิต

2.1.2.1 การอัดรีด (Extrusion) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้มากที่สุดใน การขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกแป้ง (TPS) เนื่องจากข้อดีหลายประการ ดังนี้ ความสามารถในการทำงานกับพอลิเมอร์ที่มีความหนืดสูง TPS มีความหนืดสูง การอัดรีดสามารถขึ้นรูปวัสดุเหล่านี้ได้โดยไม่ต้องใช้ตัวทำละลาย, ความยืดหยุ่นของสภาวะการขึ้นรูป สภาวะการอัดรีดสามารถปรับเปลี่ยนได้ในช่วงกว้าง ช่วยให้สามารถควบคุมคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์, การควบคุมเวลาและระดับการผสม สามารถควบคุมเวลาและระดับการผสมของวัสดุในกระบวนการนี้ได้, การฉีดเข้าวัสดุสามารถฉีดเข้าได้หลายครั้ง การอัดรีดเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสำหรับการขึ้นรูป TPS เทคนิคนี้มีความยืดหยุ่น ควบคุมได้ และใช้ร่วมกับเทคนิคอื่นๆ

2.1.2.2 การฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสำหรับการขึ้นรูป Thermoplastic Starch (TPS) เนื่องจากสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนได้ โดยสามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ตัวอย่างของพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ ความดันในการฉีด (Injection pressure) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรู (Screw speed) อุณหภูมิของบาร์เรล ระยะเวลาและความดันในการรักษาช่วงเวลา (Holding pressure) รูปแบบระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold cooling line layout) อุณหภูมิแม่พิมพ์ เวลาในการทำให้เย็นตัว (Cooling time) และโครงสร้างของแม่พิมพ์ (รูปแบบทางวิ่งของพลาสติก (Runner layout)) อย่างไรก็ตาม การปรับพารามิเตอร์ในการฉีดเข้าแม่พิมพ์อาจมีความซับซ้อน ซึ่งจำเป็นต้องปรับตามลักษณะของผลิตภัณฑ์และการใช้งาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและเป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการ ในการขึ้นรูป TPS ที่มีความชื้นน้อยหรือมาก อาจส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความผิดปกติ เช่น งอและจมตัว หรือสูญเสีย น้ำ ดังนั้น การควบคุมและปรับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์จึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ TPS ที่มีคุณภาพและเป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการ

2.1.2.3 กระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) เป็นกระบวนการผลิตฟอรั่มพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกต่าง ๆ เช่นขวดพลาสติก ถ้วยพลาสติก หรือฟิล์มพลาสติก เป่าฟิล์ม (Film blowing) เป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกที่มีความหนาเป็นพื้นผิวแบบแผ่นๆ โดยปกติจะใช้วัสดุพลาสติกที่มีความหนืดสูงเพื่อให้สามารถเป่าขึ้นรูปได้ดี การปรับปรุงกระบวนการเป่าฟิล์มเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงต้องพิจารณาและปรับค่าต่าง ๆ อย่างรอบคอบ ดังนี้

- 1) ควบคุมอุณหภูมิในเครื่องอัดรีดและหอคอยเป่าฟิล์ม การควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้วัสดุพลาสติกที่ถูกนำมาเป่าฟิล์มมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการการเป่า โดยอุณหภูมิที่ต่างกันอาจมีผลต่อคุณภาพของฟิล์มที่ผลิตออกมา

- 2) ปรับความเร็วของลูกกลิ้งม้วนเก็บ การปรับความเร็วของลูกกลิ้งม้วนเก็บมีผลต่อการเป่าฟิล์มโดยตรง เนื่องจากมันสามารถควบคุมความหนาของฟิล์มและการทำให้ฟิล์มมีความเรียบเนียนได้

- 3) ปรับความดันในฟิล์มการเป่า การปรับความดันในฟิล์มการเป่ามีผลต่อการควบคุมความหนาของฟิล์มและการป้องกันไม่ให้ฟิล์มหดหรือย่นตัวเมื่อมันถูกเป่าขึ้นรูป

4) อัตราส่วนการเป่าขยาย (Blow-up ratio) การปรับอัตราส่วนการเป่าขยาย มีผลต่อความหนาของฟิล์ม ควรเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีคุณภาพและความแข็งแรงที่ต้องการ

5) การเติมสารเสริม (Additives) การเติมสารเสริมเช่นโคโตนาน เพิ่มความต้านทานแรงดึงและความสมบูรณ์ของวัสดุเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มเทอร์โมพลาสติก

6) การจัดเรียงตัวใน 2 ทิศทาง (Biaxial orientation) การจัดเรียงตัวใน 2 ทิศทางขณะการเป่าฟิล์มทำให้ได้ฟิล์มที่มีความเรียบเนียนและความแข็งแรง

7) การใช้วัสดุเชิงประกอบ (Nanocomposites) การใช้วัสดุเชิงประกอบนาโนสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของฟิล์มพลาสติก

8) การเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูป เพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการขึ้นรูปอาจช่วยลดความหนืดของวัสดุพลาสติกและทำให้กระบวนการเป่าฟิล์มเป็นไปอย่างสมบูรณ์

2.1.2.4 กระบวนการผลิตชีทและฟิล์มด้วยเทคนิคอัดรีดชีท/ฟิล์ม (Sheet/Film extrusion) เป็นกระบวนการที่มีความยืดหยุ่นและเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก เนื่องจากง่ายต่อการใช้งานและมีประสิทธิภาพ การขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การอัดรีดแบบสกรูคู่: เป็นกระบวนการที่ใช้สกรูคู่สองอันมาบีบหรืออัดวัสดุผสมเข้าด้วยกันในเครื่องอัดรีด เพื่อสร้างเส้นพลาสติกที่มีความแข็งแรงและแห้ง วัสดุผสมที่มักจะถูกใช้ในกระบวนการนี้คือสตาร์ช (Starch) ซึ่งเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีสมบัติของวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic)

2) การบิดและการรีดเป็นผืน: เส้นพลาสติกที่ผ่านการอัดรีดจะถูกบิดให้เป็นรูปและนำมาประกอบเป็นผืน

3) การรีดเป็นชีท/ฟิล์ม ในกระบวนการผลิตฟิล์มหรือชีทที่มีความแข็งแรงและความเสถียรสูง เรื่องการควบคุมคุณภาพของวัสดุพอลิเมอร์มีความสำคัญอย่างมาก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ การอัดรีดโพรเป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญในการผลิตฟิล์มหรือชีทที่มีคุณภาพสูง ซึ่งวิธีการนี้มีความคล้ายคลึงกับการผลิตขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ โดยการอัดรีดโพรสามารถทำได้โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวหรือสกรูคู่ โดยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่มีความสะดวกและมีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมการป้อนวัตถุดิบและอุณหภูมิได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการคงอยู่ในเครื่องก็มากกว่าและการเกิดแรงเฉือนก็มากขึ้น

2.1.2.5 กระบวนการกดอัดด้วยความร้อน (Compression molding) เป็นเทคนิคที่มีความนิยมในการผลิตผลิตภัณฑ์ TPS (Thermoplastic Starch) เนื่องจากสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและเหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทโพรได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะเมื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทโพร กระบวนการนี้มักจะใช้สารช่วยการเกิดเจลาคินไนซ์เซชันเพื่อเพิ่มความเหนียวและความยืดหยุ่นของวัตถุดิบ และสารช่วยปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เช่น แมกนีเซียมสเตียเรต หรือสเตียริกแอซิด เพื่อป้องกันการติดกับแม่พิมพ์ของสตาร์ช

2.1.2.6 กระบวนการอัดรีดแบบรีเอกซ์ (REX) เป็นวิธีที่มีความแตกต่างออกไปจากเทคนิคอื่น ๆ ในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ โดยการทำปฏิกิริยาและการขึ้นรูปพลาสติกพร้อมกัน โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหาร การพัฒนาเทคโนโลยีนี้เริ่มต้นในช่วงทศวรรษ 1980 เพื่อผลิต

พอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องการสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หนึ่งในข้อดีของ REX คือ การปรับปรุงสมบัติเคมีของพอลิเมอร์ เนื่องจากการนี้ช่วยให้สามารถผลิตพอลิเมอร์ที่มีสมบัติดีขึ้นสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมได้ โดยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่เป็นเครื่องที่ได้รับความนิยมในการใช้งาน REX อย่างไรก็ตาม มีข้อเสียหนึ่งของ REX คือสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาอาจตกค้างในพลาสติกหลอม ซึ่งอาจทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นในกระบวนการผลิต [10]

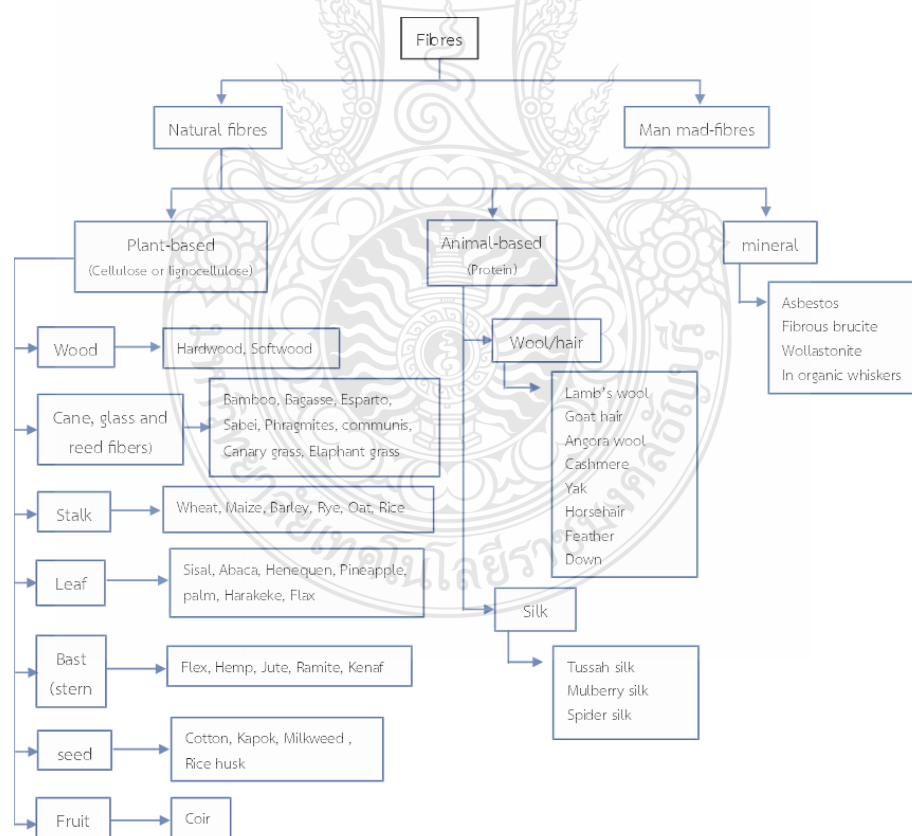
2.2 เส้นใยไฟ

2.2.1 เส้นใย (fiber)

เป็นสารที่มีลักษณะเป็นเส้นๆ และเป็นส่วนของโครงสร้างของวัสดุ โดยมักจะเกิดจากธรรมชาติและสามารถถูกสร้างขึ้นโดยมนุษย์ได้ด้วย เส้นใยส่วนใหญ่มักประกอบด้วยสารพอลิเมอร์ ที่ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนโดยส่วนใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาสูงมาก (High ratio of length to thickness)

ประเภทของเส้นใย

แบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใย จะแบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ คือ เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้น ดังแสดงใน รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการจำแนกประเภทของเส้นใยชนิดต่างๆ [14]

2.2.1.1 เส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้น (Manmade fibers) คือเส้นใยที่ผลิตโดยการสังเคราะห์จากสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์โดยมนุษย์ เพื่อใช้เป็นทางเลือกแทนเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้นมักมีคุณภาพที่สม่ำเสมอกว่าเส้นใยธรรมชาติโดยทั่วไป และมีสมบัติบางอย่างที่ดีกว่า เช่น เส้นใยไม่เสื่อม ตัวอย่างเส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้นได้แก่ เส้นใยไนลอน (Nylon) เส้นใยเรยอน (Rayon) เส้นใยอะรามิด (Aramids) เส้นใยแก้ว เป็นต้น

2.2.1.2 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สำคัญสามารถพบทั่วไปตามธรรมชาติ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้ตามแหล่งกำเนิดของเส้นใย ได้แก่

1) เส้นใยที่มาจากพืช (Plant-based fibers) เป็นเส้นใยพื้นฐานที่พบได้ทั่วไปในการใช้งาน ซึ่งรวมถึงเส้นใยปอแก้ว (Kenaf) เส้นใยฝ้าย (Cotton) เส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal) เส้นใยลินิน (Flax) และเส้นใยกล้วย (Abaca) เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้มักประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นสารที่พบมากในโครงสร้างของพืช ทำให้เส้นใยพืชมักมีคุณสมบัติที่ทนทานและความแข็งแรงต่อการใช้งานได้ดี

2) เส้นใยที่ได้จากสัตว์ (Animal-based fibers) มักมีส่วนประกอบหลักที่เป็นกรดอะมิโนชนิดต่างๆ อย่างเช่น ไฮโดรพรีพไทด์ (Hydroxyproline) และไฮโดรกลูไทด์ (Hydroxyglutamate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่พบได้ในโครงสร้างของโปรตีนที่มีอยู่ในขนหรือไหมของสัตว์ ส่วนใหญ่แล้วเส้นใยจากสัตว์มักมีคุณสมบัติที่อุดมสมบูรณ์และความแข็งแรงทนทาน ดังนั้นพวกเส้นใยเหล่านี้มักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและแฟชั่น

3) เส้นใยที่ได้จากแร่ธาตุ (Mineral fibers) ในปัจจุบันไม่ได้รับความนิยมในการใช้งานมาก เนื่องจากมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งมักถูกใช้ในงานที่ต้องการความทนทานต่อไฟและความร้อน เช่น ในอุตสาหกรรมอาคาร อุตสาหกรรมเรือ และอุตสาหกรรมเครื่องจักร เส้นใยที่ได้จากแร่ธาตุได้แก่ Wollastonite และ เส้นใยหิน (Asbestos) เป็นต้น การใช้งานเส้นใยที่ได้จากแร่ธาตุนี้ควรมีการระมัดระวังและปฏิบัติตามมาตรฐานความปลอดภัย เนื่องจากการสัมผัสหรือหายใจเส้นใยเหล่านี้อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงได้

2.2.2 โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) โดยทั่วไปจะประกอบด้วยเซลลูโลส รวมถึงเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ซึ่งพบได้ในทุกส่วนของพืช เช่น เมล็ด ลำต้น ใบ และผล เส้นใยธรรมชาติจะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แหล่งที่มา และกระบวนการผลิต เช่น ส่วนใหญ่ของเส้นใยจากพืชมักประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ และมีเฮมิเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนผสมเสริมที่มีปริมาณต่างกันไปตามพืชและสภาพแวดล้อมที่เจริญเติบโต การควบคุมสัดส่วนของสารเหล่านี้จะมีผลต่อคุณสมบัติของเส้นใยธรรมชาติที่ได้และการนำมาใช้งานในงานต่างๆ ดังนั้น การปรับสมดุลของสารเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการผลิตเส้นใยธรรมชาติโดยประสิทธิภาพ

2.2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นน้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{10}O_5$) โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ คาร์บอน (Carbon) 44.4%, ไฮโดรเจน (Hydrogen) 6.2%, และออกซิเจน (Oxygen) 49.4% โครงสร้างของเซลลูโลสมักประกอบด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ

เบต้า (1,4-beta-D-glycosidic linkages) ที่เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวๆ โดยพันธะนี้ทำให้โมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวตรงกันเป็นสายโซ่ยาวเรียงระเบียบ ทำให้เซลลูโลสมีความแข็งแรงสูง และมีระดับของการเกิดพอลิเมอร์ (DP) สูงมาก ทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง สามารถดูดซึมน้ำ และความชื้นได้ โดยผลของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ และความชื้น นอกจากนี้ เซลลูโลสยังมีความสามารถต้านทานการละลายของเบส แต่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ในบริเวณพันธะไกลโคซิดิก (C-O-C) ทำให้สายโซ่โมเลกุลขาดลงและกลายเป็นน้ำตาลได้ในที่สุด

2.2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นส่วนสำคัญของเซลลูโลสหนึ่งที่มีความหลากหลายในโครงสร้างและสมบัติ เป็นเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นเฮเทอโรพอลิแซคไครด์ ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยย่อยจากน้ำตาลต่างๆ เช่น กลูโคส กาแลคโทส ไซโลส และอะราโบส โดยมักมีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลที่ไม่เป็นระเบียบ และมักมีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ทำให้มีความเป็นอสัณฐานสูง ทำให้เฮมิเซลลูโลสสามารถดูดความชื้นได้และละลายในตัวทำละลายเบสอัลคาไลน์ได้ง่าย นอกจากนี้ เฮมิเซลลูโลสยังเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้ง่ายกับสารละลายกรด ทำให้มีคุณสมบัติที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้ในหลายสาขาอุตสาหกรรม เช่น ในอาหาร อุตสาหกรรมเคมี และวัสดุทำละลาย การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเฮมิเซลลูโลสนี้อาจช่วยให้เข้าใจถึงคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ของมันได้อย่างละเอียดและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

2.2.2.3 ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างลักษณะเป็นกิ่งก้านซับซ้อนที่พบในเซลลูโลสของพืชที่มีเซลลูโลสสูง เช่น พืชในวงศ์ Angiosperms และ Gymnosperms ซึ่งมีหน้าที่ในการสนับสนุนโครงสร้างของพืช และช่วยให้ลำต้นแข็งแรง ซึ่งโครงสร้างของลิกนินประกอบด้วยหน่วยย่อยของอะโรมาติกแอลกอฮอล์ (Aromatic alcohol) ที่สำคัญได้แก่คูมาริล (Coumaryl alcohol) โคนิเฟอร์ิล (Coniferyl alcohol) และไซนาปิล (Sinapyl alcohol) ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโนฟีนิลอะลานิน (Phenylalanine) โดยผ่านการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ฟีนิลอะลานินแอมโมเนียไลเอส (Phenylalanine ammonia lyase) ทำให้เกิดกรดซินามิก (Cinnamic acid) และต่อมาจึงเกิดการสร้างลิกนิน โดยลิกนินนั้นมีความเป็นอสัณฐานสูง ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ และสามารถละลายในตัวทำละลายเบสอัลคาไลน์ได้ เมื่อตัวละลายนี้ออกซิไดซ์ ลิกนินมักจะเปลี่ยนเป็นสารที่มีลักษณะเรียกว่า "ลิกนิน" (Lignin) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคที่มีโครงสร้างอันซับซ้อน และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้ยาก นั่นคือเป็นสารที่มีความคงทนทานต่อการย่อยด้วยน้ำในสภาวะปกติ นอกจากนี้ ลิกนินมีบทบาทสำคัญในโครงสร้างของพืช และมีความสำคัญในการป้องกันการทำลายของเซลล์จากการเผาไหม้และการทำลายของเชื้อรา นอกจากนี้ ลิกนินยังมีบทบาทในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับพืช และช่วยให้พืชสามารถยืนต้นและเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ [14]

2.2.3 ไม้

ไม้เป็นพืชที่มีความหลากหลายและมีประโยชน์มากมายในหลายด้าน และการใช้ประโยชน์จากไม้ยังมีศักยภาพในการเพิ่มรายได้และสร้างงานทำใหม่ในชุมชนท้องถิ่น ซึ่งหากมีการบริหารจัดการทรัพยากรไม้อย่างระมัดระวังและยั่งยืน จะช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากไม้ให้มากขึ้น ในอุตสาหกรรมต่างๆ และเพิ่มโอกาสในการพัฒนาและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติในอนาคตได้อย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [15]

ไฟเบอร์เป็นไม้ที่มีความหลากหลายและแพร่หลายทั่วโลก โดยมีการกระจายอยู่ในบริเวณเขตร้อนและเขตอบอุ่นของโลก ซึ่งมีจำนวนชนิดประมาณ 1,500 ชนิดทั่วโลก อย่างไรก็ตาม มีการพบไฟเบอร์น้อยลงในทวีปยุโรป และบริเวณขั้วโลกเหนือและใต้ ในประเทศไทยนั้น คาดว่ามีไฟเบอร์ประมาณ 80-100 ชนิดที่เจริญอยู่ตามธรรมชาติ โดยพบได้ตามทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ [18]

ไฟเบอร์เป็นวัสดุหมุนเวียนที่มีอยู่ในธรรมชาติ และได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน การนำไฟเบอร์มาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุก่อสร้างมีประโยชน์มาก เนื่องจากไฟเบอร์เป็นพืชที่โตเร็วและราคาไม่แพง นอกจากนี้ในงานหัตถกรรมไฟเบอร์ยังสามารถนำมาใช้ทำเฟอร์นิเจอร์และสินค้าอื่นๆ ซึ่งมีความทันสมัยและมีความต้องการสูง การใช้ไฟเบอร์เป็นวัสดุก่อสร้างถือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดเนื่องจากมีความแข็งแรงสูงและมีลักษณะทางกลที่ดี นอกจากนี้ลักษณะที่เป็นวงรอบของไฟเบอร์ยังแสดงถึงคุณสมบัติทางกลที่ดี ซึ่งจะเพิ่มประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยช่วยลดความต้องการการใช้เหล็กกล้าได้ เนื่องจากไฟเบอร์มีความยืดหยุ่นสูงกว่าเหล็ก สามารถรับน้ำหนักได้ดี นั่นหมายความว่า การใช้ไฟเบอร์ในการก่อสร้างไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติและเงินทุน แต่ยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเสียเหล็กกล้าที่เป็นวัสดุที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวด้วย และช่วยสร้างสิ่งก่อสร้างที่มีความทนทานและยืดหยุ่นในการใช้งานตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้เช่นกัน ดังนั้น การใช้ไฟเบอร์ในอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนและมีประโยชน์ทั้งสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ [20]

โครงสร้างของลำต้นไฟเบอร์ประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ข้อ (Node) และปล้อง (Inter-node) ซึ่งปรากฏในรูปที่ 2.6 ในบริเวณข้อซึ่งเป็นจุดต่อระหว่างปล้อง จะมีแผ่นบางปิดกั้นอยู่ ซึ่งทำให้ช่องโพรงภายในแต่ละปล้องแยกจากกัน เป็นจุดสำคัญที่ช่วยให้ไฟเบอร์สามารถจัดการกับการเติบโตและการสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื้อไม้ไฟเบอร์ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสที่เรียงตัวตามแนวยาวของลำต้น โดยมีเนื้อเยื่อลิกนินเป็นตัวแทรกผสานระหว่างเส้นใย เส้นใยเซลลูโลสมีการกระจายตัวที่หนาแน่นมากในบริเวณใกล้ผิวของผนังลำต้น และมีความเบาบางลงในบริเวณใกล้ผิวใน สมบัติทางกลของไฟเบอร์ที่โดดเด่นมากมีประสิทธิภาพในการใช้งาน ไฟเบอร์มีความแข็งแรงสูง ช่วยเสริมความทนทานของวัสดุในการก่อสร้างและวัสดุช่าง อีกทั้งยังช่วยลดการใช้เหล็กกล้าได้ และสามารถรับน้ำหนักได้ดี เป็นเหตุผลที่ทำให้ไฟเบอร์เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการนำมาใช้แทนไม้ก่อสร้างและวัสดุอื่นๆ ในงานวิศวกรรมและก่อสร้าง [21]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างลำต้นไฟ [21]

2.2.4 คุณสมบัติของไม้

2.2.4.1. คุณสมบัติทางกายภาพ

1) ความชื้นของไม้ไม้มีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อมและสภาพอากาศต่างๆ โดยทั่วไปแล้วความชื้นของไม้ไม้ที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 50-99 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไม้ไม้ที่ยังเป็นอ่อนจะมีความชื้นเฉลี่ยระหว่าง 80-95 เปอร์เซ็นต์ และไม้ไม้ที่แห้งเต็มที่จะมีความชื้นประมาณ 12-18 เปอร์เซ็นต์

2) ความหนาแน่นของเนื้อไม้ จะมีความแตกต่างไปตามสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และการดูแลรักษาของมันด้วย เช่น ต้นไม้ไม้ที่เจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น ในป่าดิบชื้น และได้รับการดูแลอย่างเหมาะสม มักจะมีเนื้อไม้ที่มีความหนาแน่นสูง โดยทั่วไปแล้ว เนื้อไม้ที่มีความหนาแน่นสูงจะมีความแข็งแรงและคงทนมากกว่า เนื้อไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพและการใช้ประโยชน์ของไม้ไม้ในการใช้งานต่างๆ

3) ปริมาณน้ำในผนังเซลล์ของเซลล์เส้นใยหรือไฟเบอร์ (Fiber) ขึ้นกับชนิดของเนื้อไม้

4) การหดตัวของเนื้อไม้ หลังจากการเก็บเกี่ยวไม้ไม้ที่มีสีเขียวมีแนวโน้มที่จะเกิดการสูญเสียน้ำและการหดตัวของเซลล์ ซึ่งจะมีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลำไม้ไม้หดลงได้ด้วยการหดตัวของเนื้อไม้เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำในเซลล์ของไม้ และเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการแห้งหรือการบริโภคต่อไปของไม้ไม้หลังจากการเก็บเกี่ยว การหดตัวของไม้ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไม้ไม้

2.2.4.2. คุณสมบัติทางกล ไม้ไม้จะเนื้อไม้ที่แข็งแรงและยืดหยุ่นได้เช่นเดียวกับเนื้อไม้ของพืชอื่น ๆ คือ

1) การโค้งงอ คุณสมบัติขึ้นกับชนิดของไม้ไม้ และขนาดของลำไม้ หรือเนื้อไม้ที่ถูกผ่าแบ่งให้มีความหนาและบางแตกต่างกันไป

2) การยืดหยุ่น ขึ้นกับคุณสมบัติในการโค้งงอ และการทนต่อแรงกดบนเนื้อไม้

3) การทนทานต่อแรงกด แรงบีบ และแรงอัดต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อการรับน้ำหนักของวัตถุ

2.2.4.3. คุณสมบัติทางเคมี

1) องค์ประกอบหลักของเนื้อไม้ ประกอบไปด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารที่สำคัญที่สุดในเส้นใยไม้ มีโครงสร้างเป็นลำดับของก้อนน้ำตาลที่ยาว เรียงต่อกันเป็นเส้นใย, เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นสารที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์เซลลูโลส มีโครงสร้างที่ซับซ้อนและหลากหลาย, ลิกนิน (Lignin) เป็นสารที่ทำให้เนื้อไม้มีความแข็งแรงและทนทาน เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้ไม้มีโครงสร้างที่เหนียวแน่น

2) องค์ประกอบรอง ประกอบไปด้วย สารจำพวกเรซิน (Resins), เกลืออนินทรีย์ (Inorganic salts), แวกซ์ (Waxes) และแทนนิน (Tannins) [22]

2.2.5 องค์ประกอบของเส้นใย

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเส้นใยต่างๆ [23]

เส้นใย	เซลลูโลส (wt%)	เฮมิเซลลูโลส (wt%)	ลิกนิน (wt%)	ไข (wt%)
อ้อย	55.2	16.8	25.3	—
ไผ่	26-43	30	21-31	—
ปอ	71	18.6-20.6	2.2	1.5
ปอแก้ว	72	20.3	9	—
ปอกระเจา	61-71	14-20	12-13	0.5
กัญชง	68	15	10	0.8
ป่าน	68.6-76.2	13-16	0.6-0.7	0.3
ใยอะบก้า	56-63	20-25	7-9	3
ป่านศรนารายณ์	65	12	9.9	2
มะพร้าว	32-43	0.15-0.25	40-45	—
ปาล์มน้ำมัน	65	—	29	—
สับปะรด	81	—	12.7	—
สับปะรดเล็ก	73.6	9.9	7.5	—
ฟางข้าวสาลี	38-45	15-31	12-20	—
เกลบ	35-45	19-25	20	—
ฟางข้าว	41-57	33	8-19	8-38

2.2.6 สมบัติทางกลของเส้นใย

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกลของเส้นใยต่างๆ [24]

Material	Density (g/cm ³)	Tensile strength (MPa)	Young modulus (GPa)	Failure strain (%)
Flax	1.45	500-900	50-70	1.5-4.0
Hemp	1.48	350-800	30-60	1.6-4.0
Jute	1.3	300-700	20-50	1.2-3.0
Bamboo	1.4	500-740	30-50	2
Sisal	1.5	300-500	10-30	2-5
Coir	1.2	150-180	4-6	20-40

2.3 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย

การใช้วัสดุผสมที่ผลิตจากเส้นใยเสริมแรงเป็นวัสดุในอุตสาหกรรมมีความสำคัญมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อดีที่ทำให้เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจหลายประการ เช่น ความแข็งแรงและทนทานเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ โดยเฉพาะโลหะ แต่น้ำหนักเบากว่า เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องบินพาณิชย์ เนื่องจากสามารถลดน้ำหนักของยานพาหนะลงได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

เนื่องจากเส้นใยสังเคราะห์เหล่านี้มีสมบัติความแข็งตึง (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) สูง การนำเอาเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุผสมเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น ราคาถูก สมบูรณ์ทางธรรมชาติ มีมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีความแข็งแรงและความทนทานต่อแรงกระแทกอีกด้วย อย่างไรก็ตาม เส้นใยธรรมชาติก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่น การยึดเกาะที่ไม่ดีกับเมทริกซ์พอลิเมอร์ เนื่องจากสมบัติชอบน้ำและความเป็นขี้ของเส้นใยธรรมชาติที่ทำให้มันไม่สามารถเชื่อมต่อกับเฟสเมทริกซ์ได้โดยตรง เพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติการยึดเกาะของเส้นใยธรรมชาติกับเฟสเมทริกซ์พอลิเมอร์ จึงต้องมีการดัดแปรพื้นผิวของเส้นใยก่อนนำมาใช้งาน [25]

2.3.1 กระบวนการทางเชิงกล (Mechanical refining)

เป็นกระบวนการที่ใช้แรงหรือกลไกทางกายภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยพืช โดยเฉพาะการลดขนาดของกลุ่มเซลล์ลูโลสในเส้นใยพืชเหล่านั้น วิธีการทางเชิงกลที่ใช้ในกระบวนการนี้มีหลายวิธี ดังต่อไปนี้

2.3.1.1 การใช้แรงทางกล (Mechanical treatment)

การใช้แรงทางกลเพื่อให้เส้นใยมีขนาดเล็กลงมีความหลากหลายมาก และในกระบวนการทำนี้มักจะใช้เทคนิคหลายวิธี เช่น การบด การม่ การทุบ และการเขยั่วตัดดูดิบ เพื่อลดขนาดของเส้นใยโดยทำให้เซลล์ลูโลสภายในเส้นใยเป็นผง นอกจากนี้ เส้นใยยังสามารถผ่านกระบวนการเรียกวิธีการเคลือบที่เรียกว่าเอมัลชัน (Emulsification) หรือการใช้สารเคมีที่มีความเป็นกรดเพื่อให้เส้นใยเป็นละออยตกลงได้ เทคนิคนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการปรับปรุงคุณภาพและการใช้งานของเส้นใยในหลายๆ อุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างเช่น อุตสาหกรรมเปลือกสัตว์ อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง

2.3.1.2 การย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงเพื่อทำให้เกิดการย่อยสลายของเส้นใยพืช โดยไม่มีการสัมผัสกับอากาศ เมื่อเส้นใยได้รับความร้อนแล้ว มันจะเปลี่ยนสภาพเป็นไอหรือของแข็งโดยที่กระบวนการระเหยจะเกิดขึ้นช้าและความเร็วของการย่อยสลายจะลดลง ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป จะไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีได้ จึงจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีที่สุดของเส้นใย การใช้ความร้อน (Heat treatment) เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนเพื่อปรับสภาพเส้นใยพืชโดยการทำลายเนื้อเยื่อของเซลล์ลูโลส เป็นวิธีที่มักใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 150-180 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความคงทนของเส้นใย

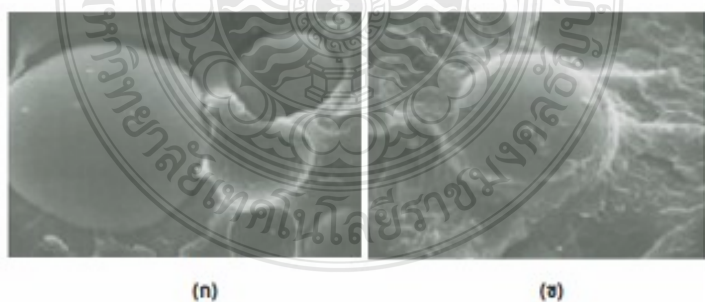
2.3.2 กระบวนการเคมี (Chemical refining)

เป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีเพื่อปรับปรุงเส้นใยพืช โดยทำให้เกิดการสลายตัวของ ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในเส้นใยพืช กระบวนการนี้มีจุดเด่นในการขจัดลิกนินออกจากเส้นใยและเพิ่ม พื้นที่ผิวให้กับเส้นใย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้กระบวนการย่อยสลายเส้นใยเกิดขึ้นได้ดีขึ้น การใช้เคมี ในกระบวนการนี้มักเป็นไปอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพสูง โดยมักใช้สารเคมีอย่าง กรดซัลฟูริก (Sulphuric acid) หรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) เพื่อช่วยในการย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีการใช้แก๊สที่สามารถเข้าสู่กระบวนการได้ หลังจากการปรับสภาพด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) สารเคมีนี้จะช่วยให้โครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้สามารถแยกตัวออกจากกันได้มากขึ้น และส่งผลให้เฮมิเซลลูโลสและลิกนินหลุดออกมาได้มากขึ้น

การปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธีการทางเคมีสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน คือ

2.3.2.1. การปรับสภาพผิวด้วยไซเลน (Silane treatment)

เป็นกระบวนการที่ใช้ไซเลน (Silane) เป็นสารคู่ควบ (Coupling agent) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการยึดเกาะของเส้นใยกับเมทริกซ์ โดยการปรับสภาพความชอบน้ำ การใช้ไซเลน ช่วยปรับสภาพความชอบน้ำของพื้นผิวที่รอยต่อระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์นี้ช่วยให้เกิดการเกาะติดที่ดี ขึ้นระหว่างสองพื้นผิว และการเพิ่มกลุ่มฟังก์ชันอะมิโน การปรับปรุงด้วยไซเลนช่วยเพิ่มกลุ่มฟังก์ชันเอมีน (Amine) ภายในเส้นใยและเมทริกซ์ ซึ่งเป็นกลุ่มฟังก์ชันที่ช่วยเสริมการยึดเกาะ โดยทำให้เกิดการ ปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน (Condensation) ระหว่างกลุ่มอัลคอกซีไซเลน (Alkoxysilane) และไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ของเส้นใย ผ่านกระบวนการนี้ เส้นใยจะมีการยึดเกาะกับเมทริกซ์อย่างแข็งแรงขึ้น ทำให้เพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปรับปรุงด้วยไซเลนช่วย เพิ่มคุณสมบัติการยึดเกาะของเส้นใยกับเมทริกซ์อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้วัสดุ ผสมมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [25]



รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมระหว่างลูกแก้วกับพอลิเอไมด์ (Polyamide) เมื่อ (ก) ไม่ได้ปรับสภาพผิวด้วยไซเลน (ข) ปรับสภาพผิวเฟสดีสเพอส์ด้วยไซเลน [25]

2.3.2.2. การปรับสภาพผิวด้วยอัลคาไลน์ (Alkaline treatment)

เป็นวิธีการดัดแปรเส้นใยทางเคมีที่ได้รับความนิยม เมื่อใช้สารอัลคาไลน์ในการทรีทเส้นใย สารเคมีนี้จะทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างเครือข่าย เส้นใยจึงจะมีความหยابมากขึ้นบนพื้นผิว การปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยอัลคาไลน์ เป็นกระบวนการที่ใช้สารละลายอัลคาไลน์ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยเซลลูโลส กระบวนการนี้มีผลในการกำจัดสิ่งสกปรกและสารประกอบที่ไม่ต้องการบนผิวเส้นใย เช่น ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และไขมัน ทำให้เส้นใยมีความบริสุทธิ์และคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เห็นได้จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เช่น ภาพ (ก) เป็นเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิว และภาพ (ข) เป็นเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ สังเกตได้ว่า หลังจากเส้นใยถูกปรับสภาพพื้นผิว พื้นผิวมีของเส้นใยจะมีความหยابเพิ่มขึ้นมากกว่าเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิว การทรีทเส้นใยด้วยสารอัลคาไลน์ ทำให้เกิดความแข็งแรงในวัสดุผสมมากขึ้น ความพรุนน้อยลง และความหนาแน่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การปรับสภาพผิวเส้นใยยังไปทำให้แรงดึงผิวและความหยابของพื้นผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้การยึดเกาะดีขึ้น [25]



รูปที่ 2.6 แสดงภาพถ่าย SEM ของเส้นใยอากาศ (ก) ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพผิว (ข) ผ่านการปรับสภาพผิว ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ [25]

2.3.2.3. การปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการอะซิเลชัน (Acetylation)

เป็นวิธีการที่ใช้ในการดัดแปรผิวของเส้นใยธรรมชาติเพื่อเพิ่มความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โดยการเติมกลุ่มฟังก์ชันอะซิทิล (Acetyl) ลงในสารประกอบอินทรีย์ การดัดแปรผิวด้วยวิธีนี้เน้นการเคลือบกลุ่มไฮดรอกซิล (OH group) ในเส้นใย ซึ่งเปลี่ยนแปลงลักษณะความชอบน้ำของเส้นใยธรรมชาติ โดยทำให้เกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมดีขึ้นอีกด้วย

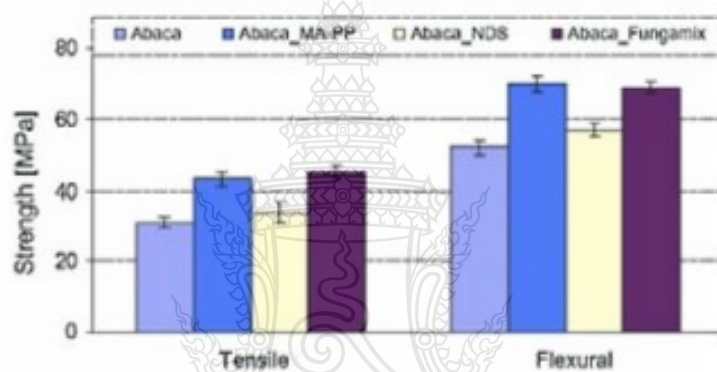
2.3.2.4. การปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ความมาเลอเทด (Maleated coupling)

เป็นวิธีที่เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เส้นใยธรรมชาติ จึงได้รับความนิยมในปัจจุบัน วิธีนี้ต่างจากวิธีอื่นๆ โดยมาเลอิกแอนไฮไดรด์จะเข้าไปทำปฏิกิริยาทั้งที่ผิวเส้นใยและผิวเมทริกซ์พอลิเมอร์ ซึ่งเป็นการเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม การเข้ามาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิพรอพิริน (MAPP) เป็นสารคู่

ควบสำหรับการดัดแปรพื้นผิวของเส้นใย และวัสดุผสมที่ได้รับการปรับปรุงสภาพด้วยกระบวนการนี้จะมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

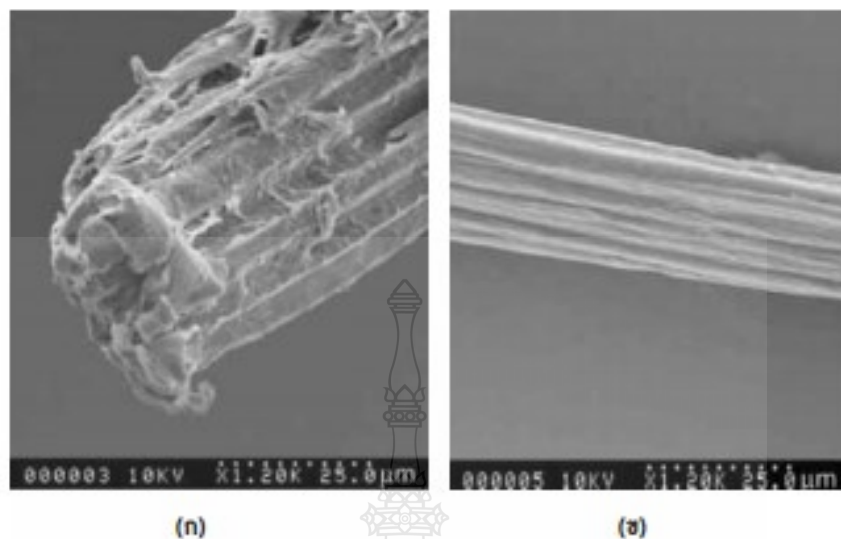
2.3.2.5. การปรับปรุงสภาพผิวด้วยเอนไซม์ (Enzyme treatment)

เป็นการปรับปรุงสภาพผิวนี้เป็นที่สนใจและนิยมใช้เพิ่มมากขึ้นในการดัดแปรพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ และเป็นมิตรกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เมื่อเทียบกับวิธีการเคมีที่ใช้สารเคมีที่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เอนไซม์ทำให้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติในการเสริมแรงวัสดุผสมต่างๆ งานวิจัยและการศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ต่อเส้นใยอะบาคา พบว่า การปรับปรุงสภาพผิวด้วยเอนไซม์มีผลต่อสมบัติความต้านแรงดึงของวัสดุผสมที่เป็นเส้นใยเสริมแรง โดยสมบัตินี้มีการเพิ่มขึ้นประมาณ 5-45 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทำการปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ [25]

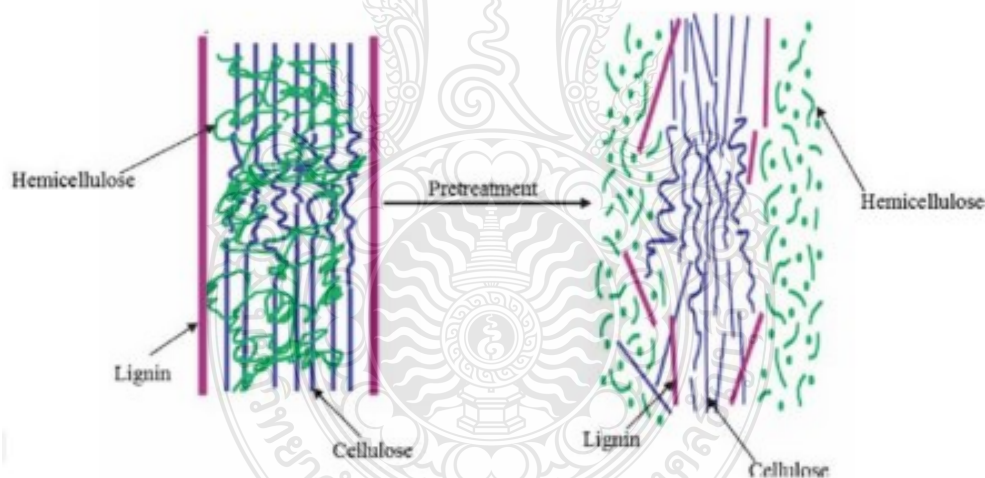


รูปที่ 2.7 แสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่ใช้เส้นใยอะบาคาเป็นเส้นใยเสริมแรง [25]

เส้นใยธรรมชาติเป็นทรัพยากรที่มีคุณสมบัติที่น่าสนใจในการผลิตวัสดุ เนื่องจากมีความแข็งแรงและเป็นมิตรในเชิงการวัสดุ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการพัฒนาต่อไป เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่และย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ทำให้มีผลต่อการลดปริมาณขยะพลาสติกและวัสดุอื่นๆ ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ การนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุผสม เช่น ในอุตสาหกรรมยานยนต์และสิ่งก่อสร้าง มีความสำคัญในการพัฒนาวัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งแรงและทนทานเพียงพอต่อการใช้งาน และสามารถแทนที่วัสดุผสมจากเส้นใยสังเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตาม ความท้าทายในการผลิตวัสดุผสมจากเส้นใยธรรมชาติคือการแก้ไขปัญหาในการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์พอลิเมอร์ ที่มีความแตกต่างกันเกี่ยวกับสมบัติการชอบน้ำ ซึ่งอาจทำให้วัสดุผสมมีคุณสมบัติที่ไม่ดีเท่าที่ควร ด้วยเหตุผลนี้ การทำการดัดแปรพื้นผิวของเส้นใยก่อนนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุผสมเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากมันสามารถมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุที่สร้างขึ้นจากเส้นใยนั้นๆ การดัดแปรผิวเส้นใยสามารถทำได้โดยใช้วิธีการทางกลหรือทางเคมี โดยมีจุดมุ่งหมายหลักคือการปรับเปลี่ยนสมบัติของพื้นผิวเพื่อเพิ่มความเหมาะสมในการยึดเกาะกับเมทริกซ์พอลิเมอร์ในวัสดุผสม ส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุผสมชีวภาพดีขึ้นไปด้วย [24]



รูปที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการ (ก) ทางกล (ข) [25]



รูปที่ 2.9 แบบจำลองลิกโนเซลลูโลสและการปรับปรุงสภาพ (Pretreatment) เพื่อทำลายโครงสร้างที่แข็งแรงของลิกโนเซลลูโลส [26]

2.3.3 กระบวนการชีวภาพ (Biological refining)

เป็นวิธีการพัฒนาคุณภาพของเส้นใยพืชโดยใช้จุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งมีประโยชน์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกสกัดเส้นใย การปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีทางชีวภาพมักจะเน้นการย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลส โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ เช่น เชื้อราสีน้ำตาล และเชื้อราอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารลิกโนเซลลูโลส เชื้อราขาวเป็นหนึ่งในจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงใน

กระบวนการนี้ การพัฒนาคุณภาพเส้นใยด้วยวิธีทางชีวภาพช่วยลดความหนืดของเส้นใยพืช และเพิ่มความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และคุณภาพทั้งการยืดเกาะและการทอทานของวัสดุผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจากเส้นใยนั้นๆ โดยการเลือกใช้เชื้อราที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงเป็นสำคัญ นอกจากนี้กระบวนการนี้ยังมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากใช้จุลินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลักในการพัฒนาคุณภาพของเส้นใยด้วยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งประโยชน์ของการปรับปรุงเส้นใยด้วยกระบวนการชีวภาพ ได้แก่ กระบวนการชีวภาพใช้เอนไซม์และจุลินทรีย์ที่สามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่อ่อนโยน ทำให้ลดการใช้พลังงานและสารเคมีที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เอนไซม์ช่วยในการเปิดโครงสร้างเส้นใย ทำให้เส้นใยมีพื้นผิวที่เปิดมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้การยืดเกาะและความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เอนไซม์และจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการชีวภาพมีความปลอดภัยและสามารถย่อยสลายได้ ทำให้กระบวนการนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการชีวภาพสามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของเส้นใย เช่น ความนุ่มนวล ความยืดหยุ่น และความแข็งแรง และยังลดการใช้พลังงานและสารเคมีสามารถลดต้นทุนการผลิตในระยะยาวได้

2.3.4 กระบวนการเชิงกลเคมี (Chemical mechanical refining)

เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยพืชโดยผสมระหว่างการใช่วิธีทางกลและทางเคมีร่วมกัน กระบวนการนี้มุ่งเน้นไปที่การละลายน้ำของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินภายใต้การแปรรูปโครงสร้างเพื่อเพิ่มการแตกตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนไฮโดรไลซิส เมื่อเซลลูโลสต่างๆ ได้รับการละลายเป็นอย่างดี จะเกิดการเพิ่มคุณสมบัติในผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มด้วยการใช้เอนไซม์ต่างๆ โดยประสิทธิภาพของกระบวนการนี้สามารถถูกเพิ่มขึ้นได้ด้วยการผสมระหว่างวิธีการฟิสิกส์เคมีคอนฟิรส์เมนต์และวิธีการย่อยเปียก (Wet Oxidation Pretreatment) หรือการย่อยด้วยน้ำร้อน (Liquid hot water; LHW) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีผลดีต่อการละลายของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในเส้นใยพืช โดยสามารถปรับความดันและอุณหภูมิในการทำงานได้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการและการเติมต่างหรือโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการนี้อีกด้วย ผลลัพธ์ที่ได้จากการเชิงกลเคมีนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มได้โดยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยทำให้เส้นใยพืชมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานต่อไปในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมการผลิตและการใช้งานต่างๆ อีกด้วย [27]

ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อจำกัดของการปรับสภาพวัตถุบิลิกโนเซลลูโลสด้วยวิธีการต่างๆ[4]

วิธีการปรับสภาพ	ข้อดี	ข้อจำกัด
1. ทางกายภาพ	เป็นการปรับสภาพเบื้องต้น โดยการลดขนาดวัตถุบิลิก	ต้องมีการใช้ร่วมกับกระบวนการปรับสภาพอื่นๆ เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ใช้สูง
2. ทางกายภาพร่วมกับเคมี		
2.1 การระเบิดด้วยไอน้ำ	ทำให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างลิกนิน ใช้พลังงานต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัดด้วยเครื่องจักรอย่างเดียว มีความคุ้มค่า	มีประสิทธิผลน้อยเมื่อใช้กับไม้เนื้ออ่อน ทำลายสารประกอบเชิงซ้อนลิกนิน-คาร์โบไฮเดรตไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดการขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์
2.2 การระเบิดด้วยแอมโมเนีย	สามารถกำจัดลิกนินและเฮมิ เซลลูโลส และเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุบิลิก	มีประสิทธิผลน้อย หากใช้ในการปรับสภาพชีวมวลที่มีลิกนินสูง
3. ทางเคมี		
3.1 การปรับสภาพด้วยกรด	ย่อยเฮมิเซลลูโลสจนกลายเป็นน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลชนิดอื่นๆ และเปลี่ยนแปลงโครงสร้างลิกนิน	ค่าใช้จ่ายสูงกว่าการปรับสภาพทางกายภาพร่วมกับเคมี และหลังจากปรับสภาพ ต้องปรับ pH ให้เป็นกลาง และกรดกัดกร่อนอุปกรณ์
3.2 การปรับสภาพด้วยด่าง	กำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุบิลิก กระบวนการทำได้ง่ายและไม่ต้องใช้พลังงานมาก	การปรับสภาพใช้เวลานาน และเกิดเกลือเกาะกับวัตถุบิลิก ซึ่งจำเป็นต้องทำการปรับ pH ให้เป็นกลางหลังจากทำการปรับสภาพ
3.3 การปรับสภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	มีประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนิน	ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณมากในกระบวนการปรับสภาพ
3.4 การปรับสภาพด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Organosolv)	ย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลส	ต้องการการระเหย การควบแน่น และกระบวนการนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่และการกำจัดตัวทำละลายออกจากถังทำปฏิกิริยา ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง
4. ทางชีวภาพ	ย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ใช้พลังงานน้อย ไม่ใช้สารเคมีในกระบวนการปรับสภาพ ทำให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	อัตราการย่อยสลายที่เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำ ทำให้ต้องใช้เวลานานในการย่อยสลาย และต้องการการควบคุมสภาวะการย่อยสลายที่เหมาะสม

2.4 การฟอกขาว (Bleaching)

กระบวนการฟอกขาว ในเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุ โดยกระบวนการนี้เน้นไปที่การกำจัด Chromophoric group ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้วัสดุมีสีเข้ม และเป็นต้นเหตุที่ทำให้วัสดุมีสีน้ำตาลหรือเข้ม การฟอกขาวเป็นกระบวนการที่เพิ่มความขาวให้วัสดุเซลลูโลส โดยการกำจัดลิกนินออกไป โดยการใช้สารเคมีช่วยการฟอกขาวมีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการเตรียมเซลลูโลสบริสุทธิ์ โดยเฉพาะในกรณีของเซลลูโลสที่มีสีเข้มและไม่เป็นสีขาว สารฟอกขาวที่ใช้มีด้วยกันหลายประเภท สารฟอกขาวประเภทออกซิเดทีฟที่สำคัญ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite) โซเดียมคลอไรต์ (Sodium chlorite) ส่วนสารฟอกขาวประเภทรีดักทีฟที่สำคัญ ได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (Sodium hydrosulphite) และเปอร์ออกไซด์

การฟอกขาว คือ ขบวนการทำลายสีหรือทำให้ขาวขึ้น สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสารละลายหรือที่ผิวหน้าวัตถุ โดยทำให้สี (Color bodies) ละลายได้ดีขึ้นและถูกกำจัดออกไปได้ง่าย

สารฟอกขาว (Bleaching agents) แบ่งออกเป็นสองชนิดคือ

2.4.1 สารฟอกขาวออกซิไดซิง (Oxidizing agents) ได้แก่

2.4.1.1 ก๊าซคลอรีน (Chlorine gas, Cl_2) ถูกค้นพบโดย Scheele ในปี ค.ศ. 1774 ต่อมา Bartholet ได้นำไปใช้ฟอกขาวในเส้นใยสิ่งทอในปี ค.ศ. 1790 โดยให้คลอรีนทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้สารผสมของกรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid, HOCl) และไอออนของไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite, OCl^-)

ส่วนใหญ่จะใช้ฟอกขาวพวกเยื่อไม้เพื่อทำกระดาษมากกว่าสิ่งทอ แต่มีข้อเสียด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเกิดสารอินทรีย์คลอรีน (Chlorinated organic compounds) ที่เป็นพิษ

2.4.1.2 ไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite, OCl^-) เป็นชื่อของอนุภาคที่ประกอบด้วยไฮโปคลอรัสและไอออนไฮโปคลอไรต์ เมื่อไฮโปคลอไรต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดสารผสมของกรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid, HOCl) และไอออนไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite ion, OCl^-) ซึ่งสารประกอบนี้เป็นส่วนหนึ่งของสารละลายที่มีคุณสมบัติของการฟอกขาว สารฟอกขาวที่เกิดจากไฮโปคลอไรต์มีความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 20.5 และมักเตรียมในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite) ในรูปของสารละลาย ซึ่งจะไม่เป็นเกลือแข็งเนื่องจากไม่เสถียร สารละลายที่เข้มข้นมักมีอะเลคโตรไลท์ร้อยละ 15 และนำไปใช้ในอุตสาหกรรมฟอกขาวและใช้ทำความสะอาด เช่น ในการฆ่าเชื้อโรคและการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2.4.1.3 คลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide, ClO_2) เป็นสารที่แน่นที่อุณหภูมิ 11 °C และมีความเสี่ยงที่จะระเบิดเมื่อเข้มข้นมากขึ้น จึงไม่ควรใช้ในการขนส่งปริมาณมาก ๆ (bulk) การเก็บและการขนส่งจึงต้องใช้เทคนิคการแช่เย็นจัดจนกระทั่งเป็นของแข็งในรูปแปดน้ำผลึก (Octahydrate) เทคนิคที่ใช้ในการเตรียมคลอรีนไดออกไซด์ ได้แก่ การผ่านก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ลงในน้ำเย็นจัดจนกระทั่งตกผลึกแยกตัวออกจากน้ำ หรือผ่านการทำปฏิกิริยารีดักชันของคลอเรต (Chlorate, OCl_3) ด้วยกรดเกลือ (HCl) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และเมทานอล (CH_3OH) ClO_2 มีคุณสมบัติในการฟอกขาวสูงสุดและเหมาะสำหรับการใช้ในการฟอกขาวลิกนินในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ

2.4.1.4 คลอไรต์ (Chlorite, ClO_2) เป็นสารที่เสถียรและมักใช้เป็นสารเริ่มต้นในการผลิตคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide, ClO_2) โดยการนำโซเดียมคลอไรต์ (Sodium chlorite, NaClO_2) ลงในน้ำแล้วทำให้เกิดความเป็นกรด (Acidity) หรือผ่านการทำปฏิกิริยากับแก๊สคลอรีน (chlorine gas) ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะในการฟอกขาวเส้นใยสิ่งทอเป็นส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเนื่องจากมีความเสถียรและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้เส้นใยสิ่งทอเสื่อมสภาพได้

2.4.1.5 สารประกอบไนโตรเจนและคลอรีน (N-chlorocompounds) เช่น Chloramine, Chloramide, Chlorimine, Chlorimide, Chlorosulfonamide และ Chlorohydatoin มักถูกใช้เป็นตัวทำความสะอาดและล้างภาชนะถ้วยชาม และในทางกลับกัน สารประกอบ N-chloro ที่ใช้ในการฟอกขาว ได้แก่ คลอรีเนตเตดไอโซไซยานูเรต (Chlorinated isocyanurate) ซึ่งเตรียมได้จากการผ่านก๊าซคลอรีนลงในกรดไซยานูริก (Cyanuric acid) หรือไตรคลอโรไอโซไซยานูริกแอซิด (Di or Trichloro isocyanuric acid) และเกลืออัลคาไลไอโซไซยานูเรต สารประกอบเหล่านี้มักจะเป็นผงสีขาว โดยไตรคลอโรไอโซไซยานูริกแอซิดประกอบด้วยอะเวลเบิ้ลคลอรีนร้อยละ 90 ส่วนโซเดียมและโพแทสเซียมไตรคลอโรไอโซไซยานูเรตประกอบด้วย อะเวลเบิ้ลคลอรีนร้อยละ 63 และ 59 ตามลำดับ สารเหล่านี้นำมาใช้เป็นสารฟอกขาวและฆ่าเชื้อโรค เนื่องจากเมื่อละลายน้ำแล้วจะได้กรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid) ซึ่งมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคได้ดี

2.4.1.6 สารประกอบเพอร์ออกซิเจน (Peroxygen compounds) หรือสารประกอบแอคทีฟออกซิเจน (Active oxygen compounds) จะประกอบด้วย Peroxide linkage ($-\text{O}-\text{O}-$) ซึ่งจะให้ออกซิเจน 1 อะตอม ได้แก่

1) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นสารฟอกขาวที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เยื่อกระดาษ และในการซักล้างในบ้าน เนื่องจากมีราคาถูกและสะดวกในการใช้งาน ส่วนประกอบของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์บริสุทธิ์ประกอบด้วยแอคทีฟออกซิเจนร้อยละ 47 ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนเมื่อละลายน้ำ อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานจริงต้องใช้ในสภาวะต่าง โดยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นเพอร์ไฮดรอกซีแอนไอออน ข้อดีของสารฟอกขาวไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์คือไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากหลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วจะได้ก๊าซออกซิเจนและน้ำ

2) โซเดียมเพอร์โบเรต ($\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{NaBO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารละลายบอแรกซ์กับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และโซดาไฟ เป็นสารเพอร์ออกซิเจนที่เสถียรเมื่ออยู่ในสภาวะของแข็งสามารถให้ปริมาณแอคทีฟออกซิเจน (Active oxygen) ร้อยละ 10.46 และ 15.5 ตามลำดับ

3) โซเดียมคาร์บอเนตเพอร์ออกซีไฮเดรต (Sodium carbonate peroxyhydrate, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) สามารถให้ปริมาณแอคทีฟออกซิเจนร้อยละ 14 ทั้งโซเดียมเพอร์โบเรต และโซเดียมคาร์บอเนตเพอร์ออกซีไฮเดรตมีการใช้ประโยชน์ในสารทำความสะอาดชนิดต่าง ๆ โดยใช้เป็นส่วนผสมในผงซักฟอก สารทำความสะอาดฟีนอลอม ยาสีฟัน และสารทำความสะอาดชนิดพิเศษอื่น ๆ ที่ใช้ในการดูแลสุขภาพและความสะอาดของร่างกายและสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เป็นอันตราย

4) โอโซน (Ozone, O_3) เป็นสารฟอกขาวและฆ่าเชื้อโรคชนิดหนึ่งแต่ยังไม่เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเยื่อกระดาษเพราะราคาแพงและยุ่งยากในการควบคุมขณะใช้งาน

2.4.2. สารฟอกขาวรีดิวซิง (Reducing agents) ได้แก่

2.4.2.1 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur dioxide, SO_2) เป็นสารฟอกขาวรีดิวซิงตัวแรกที่ถูกนำมาใช้ตั้งแต่สมัยโรมัน ได้รับการเผาไหม้กำมะถันในอากาศ อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน มันไม่ได้เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเยื่อกระดาษ เนื่องจากการใช้งานต้องใช้ความระมัดระวังสูงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วของก๊าซ ที่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อผิวหนังทางเดินหายใจและเนื้อเยื่ออื่น ๆ อย่างไรก็ตาม มันถูกนำมาใช้ในการถนอมอาหารสำเร็จรูปโดยใช้เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทำให้มีอาหารสามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้นโดยไม่ต้องกังวลเรื่องการเสื่อมสภาพของอาหารที่เก็บรักษาไว้

2.4.2.2 ซัลไฟท์ (Sulphite, SO_3), ไฮโดรเจนซัลไฟท์ หรือไบซัลไฟท์ (Hydrogen sulphite or Bisulphite, HSO_3) สามารถได้มาจากการกระบวนการผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงในน้ำ ซึ่งจะได้กรดซัลฟิวรัส (Sulphurous acid, H_2SO_3) ซึ่งมีความไม่เสถียร แต่สามารถเตรียมเกลือโลหะของซัลไฟท์ที่มีความเสถียรได้ เช่น โซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) และโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟท์ ($NaHSO_3$) โดยการผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงในโซดาไฟ ($NaOH$) และโดยการทำปฏิกิริยาของอัลคาไลคาร์บอเนต อัลคาไลไฮโดรเจนซัลไฟท์ ซัลไฟท์และไฮโดรเจนซัลไฟท์ได้รับการนำไปใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น เป็นสารย้อมเยื่อไม้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ กำจัดคลอรีนตกค้าง (Antichlor) ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมเส้นใยผ้า ใช้เตรียมสีสั้ผ้า (Vat dye) ใช้ในกระบวนการฟอกเพื่อย้อมสี การบำบัดน้ำเสีย การล้างฟิล์มถ่ายรูป และใช้เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในอาหารสำเร็จรูป

2.4.2.3 ไทโอซัลเฟตหรือซัลไฟท์หรือไฮโป (Thiosulphite, Subsulphite, $Hypo$, $S_2O_3^{2-}$) ได้จากการต้มกำมะถันในสารละลายโซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) มีการนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน รวมถึง การฟอกย้อมหนังสัตว์, เป็นสารกำจัดคลอรีนตกค้าง (antichlor) ในการฟอกขาว, การผลิตกระดาษ, การใช้ในการทำน้ำประปา, การสกัดโลหะเงิน (Ag) ออกจากแร่เงิน, การล้างฟิล์มถ่ายรูป และการถนอมอาหาร อย่างไรก็ตาม ควรระมัดระวังในการใช้งาน เนื่องจากหากใช้มากเกินไป อาจทำให้มีผลเสียต่อคุณค่าของอาหาร โดยส่งผลให้วิตามินในอาหารถูกทำลายและอาจทำให้ผู้บริโภคมีอาการหน้ามืดเวียนศีรษะและอาเจียนได้ จึงควรห้ามใช้เกินร้อยละ 0.1

2.4.2.4 ไฮโดรซัลไฟท์หรือไดไทโอไนต์ หรือไฮโปซัลไฟท์ หรือซัลฟอกซีเลทไฮโดรซัลไฟท์ (Hydrosulphite, Dithionite, Hyposulphite, Sulfoxylate hydrosulphite, $S_2O_4^{2-}$) ได้มาจากการกระบวนการผ่านก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงในน้ำที่มีผงสังกะสี (Zn) โดยเติมโซดาไฟหรือโซดาแอชจะได้สารละลายโซเดียมไดไฮไดรไธท์ ($Na_2S_2O_4$) และตะกอนสังกะสีไฮดรอกไซด์ [$Zn(OH)_2$] หลังจากนั้น การกรองแยกสารละลายจะได้ไดไทโอไนท์สุทธิ โดยการเติมแอลกอฮอล์ลงไปจะสร้างผลึกของโซเดียมไดไฮไดรไธท์ ($Na_2S_2O_4 \cdot 2H_2O$) และนำผลึกไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ $60^\circ C$ เพื่อไล่น้ำผลึก (Dehydrate) หรืออาจจะเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมฟอร์มเมท ($HCOONa$) กับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือแอมโมเนียมฟอร์มเมท ($HCOONH_4$) กับโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ($Na_2S_2O_5$) โซเดียมไดไทโอไนต์ต้องเก็บในภาชนะที่แห้งและเย็นเพราะสารนี้สามารถทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมไดไทโอไนต์มีการใช้งานหลากหลายในด้านอุตสาหกรรมและการผลิต

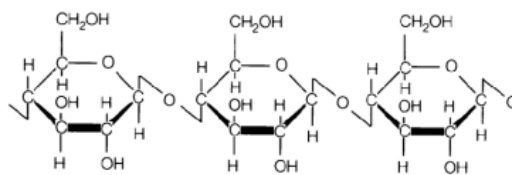
2.4.2.5 ซัลฟอกซีเลทหรือฟอร์มาลดีไฮด์ซัลฟอกซีเลท (Sulfoxylate, Formaldehyde sulfoxylates) เป็นสารประกอบที่มีความเสถียรมากกว่าโซเดียมไดไทโอไนต์ สามารถเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาของสารละลาย สังกะสีไดไทโอไนท์ (ZnS_2O_4) กับอัลดีไฮด์ ($H.CHO$) และเติมผงสังกะสีลงในสารละลายนำไปต้มให้เดือดจะได้ Basic zinc formaldehyde sulfoxylate ซึ่งไม่ละลายน้ำ หลังจากนั้น สารนี้จะถูกกรองแยกออกจากสารละลายและทำให้แห้ง จากนั้นจะทำปฏิกิริยาต่อกับโซดาไฟ เพื่อให้ได้โซเดียมฟอร์มาลดีไฮด์ซัลฟอกซีเลท โซเดียมไดไทโอไนต์และโซเดียมฟอร์มาลดีไฮด์ซัลฟอกซีเลทมักนำไปใช้เป็นสารฟอกขาวเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอ นอกจากนี้ยังใช้ในการฟอกเพื่อการย้อมสีเพื่อสร้างลวดลายต่างๆ บนผ้าด้วย

2.4.2.6 โซเดียมฟอร์มาลดีไฮด์ไบซัลไฟท์ (Sodium formaldehyde bisulphite, $HOCH_2SO_3Na$) เป็นสารที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของโซเดียมไบซัลไฟท์ฟอร์มาลดีไฮด์ (Sodium bisulfite formaldehyde) กับน้ำ สารนี้มักถูกใช้เป็นสารฟอกย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอเนื่องจากคุณสมบัติในการย้อมสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เป็นสารที่เป็นอันตรายต่อระบบหายใจ [28]

2.5 เซลลูโลส (Cellulose)

เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโครงสร้างเชิงเส้นตรง มีองค์ประกอบเป็นหน่วยกลูโคสที่เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวๆ โดยสูตรโมเลกุลทั่วไปของเซลลูโลสคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ โดยทั่วไปแล้วมีประมาณ 50,000 โมเลกุลของกลูโคสรวมกันในโมเลกุลหนึ่ง เซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นใยหรือเป็นโครงสร้างเรียงขนาน เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของกลูโคสซึ่งทำให้มีความแข็งแรง อุณหภูมิที่จำเป็นในการหลอมเซลลูโลสมักจะสูงและมีลักษณะที่เกิดการสลายตัวก่อนถึงจุดหลอม นอกจากนี้ เซลลูโลสยังมีความสามารถในการละลายต่ำ โมเลกุลของเซลลูโลสมักจะมีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมักจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะควบคุมให้มีลักษณะที่เหมาะสมตามการใช้งานแต่ละประเภทในอุตสาหกรรมและการใช้งานแต่ละรูปแบบ

ใยเซลลูโลสธรรมชาติเป็นส่วนสำคัญของพืชที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่สำคัญในการรองรับโครงสร้างของพืชและการเสริมความแข็งแรงของพืช เซลลูโลสประกอบไปด้วยโมเลกุลของ D-กลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4' ไกลโคซิดิก (β -1,4' Glycosidic bond) โดยโมเลกุลเซลลูโลสมักจะเรียงตัวเป็นโครงสร้างยาวๆ ซึ่งเมื่อมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่เซลลูโลส จะเกิดเส้นใยที่เรียกว่าไมโครไฟบริล (Microfibril) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของผนังเซลล์ในพืช โครงสร้างหลักของเซลลูโลสมักจะเรียงกันเป็นมัดๆ เรียกว่าไฟบริน (Fibrin) ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีความหนาแน่นและคงทน การปรับปรุงโครงสร้างและฟังก์ชันของเซลลูโลสสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของเซลลูโลส โดยเซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีโครงสร้างหลวมๆ ที่เกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้มาก โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับเรซินประเภทสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันไป ดังนั้น เซลลูโลสมีความสำคัญและมีประสิทธิภาพสูงในการรองรับโครงสร้างและการเสริมความแข็งแรงของพืชอย่างมาก [29]

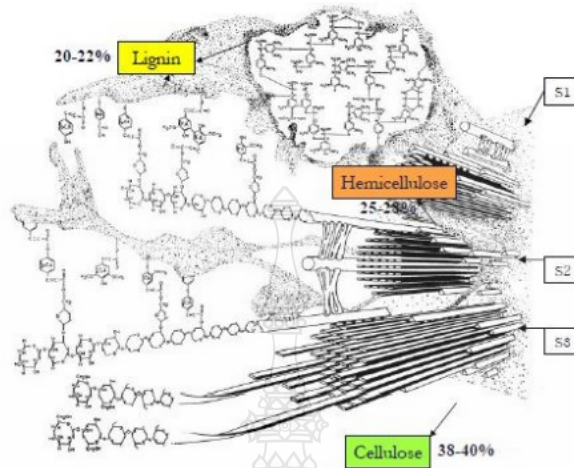


รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเซลลูโลส [30]

เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กไคไรด์ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือค่อนข้างขาว มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 243,000 g/mol และมักจะมีลักษณะของเส้นใยหรือเป็น Fibrous particle รวมกันเป็นกลุ่มหรือมัดเรียกว่า Fibrous bundle ประกอบด้วยส่วนที่เป็นอสัณฐาน และส่วนที่เป็นผลึก ซึ่งเซลลูโลสสามารถแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ แอลฟาเซลลูโลส (Alpha cellulose) จะเป็นส่วนที่มีความแข็งแรงและคงทน แอลฟาเซลลูโลสไม่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 17.5% ที่อุณหภูมิ 20 °C ได้ แอลฟาเซลลูโลสมักถูกใช้ในการผลิตเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เนื่องจากมีความคงทนและคุณภาพสูง, เบต้าเซลลูโลส (Beta cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 17.5% ที่อุณหภูมิ 20 °C ได้ มักนำมาใช้ในการผลิตเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมที่ต้องการความยืดหยุ่นมากขึ้น และแกมมาเซลลูโลส (Gamma cellulose) จะละลายเมื่อทำการสะเทินสารละลายต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แกมมาเซลลูโลสมักนำมาใช้ในงานที่ต้องการความเป็นนิวเคลียร์ หรือการผลิตเป็นวัตถุดิบที่ต้องการความเสถียรภาพที่มากขึ้น การแยกแอลฟาเซลลูโลสออกมาจากเซลลูโลสโดยใช้กระบวนการสกัดหรือกระบวนการอื่น ๆ เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากแอลฟาเซลลูโลสมีคุณภาพสูงและมีความหลากหลายในการประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมและการผลิตต่าง ๆ ดังนั้น การทำให้สามารถแยกแอลฟาเซลลูโลสออกมาจากเซลลูโลสเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพสูงและมีความหลากหลายในการใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ [30]

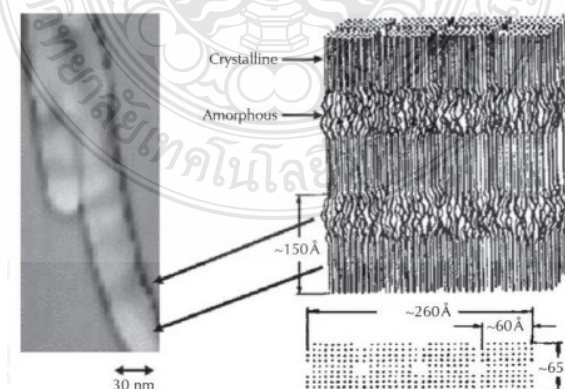
ในธรรมชาติโดยทั่วไป ส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืชคือ เซลลูโลส (Cellulose) โดยโครงข่ายของผนังเซลล์พืชประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose), และลิกนิน (lignin) ซึ่งรวมกันเรียกว่า ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) โดยมีสารประเภทอื่นที่สามารถประกอบเข้าไปด้วย เช่น ไคติน (Chitin) และ แมนแนน (Mannan) ปริมาณของสารประเภทนี้อาจมีหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และองค์ประกอบของผนังเซลล์ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างผนังเซลล์ทั้งผนังเซลล์ปฐมภูมิ (Primary cell wall) และผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary cell wall) องค์ประกอบหลักของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสในชั้นโครงสร้างผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary cell wall) ของขานอ้อย ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 40 ลิกนินประมาณร้อยละ 25 และเฮมิเซลลูโลส ประมาณร้อยละ 24 โดยผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนนอก (S1) ส่วนกลาง (S2) และส่วนใน (S3) ซึ่งโมเลกุลของเซลลูโลสในเนื้อเยื่อชั้น S1 และ S3 มีส่วนที่มีความเป็นระเบียบน้อยกว่า เรียกว่าส่วน ออสัณฐาน (Amorphous cellulose) และมีเฮมิ

เซลลูโลสในปริมาณมาก ส่วนชั้นเนื้อเยื่อ S2 โมเลกุลของเซลลูโลสจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่า ส่วนโครงสร้างผลึก (Crystalline cellulose)



รูปที่ 2.11 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสในโครงสร้างส่วนนอก (S1) ส่วนกลาง (S2) และส่วนใน (S3) ในผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary cell wall) ของชานอ้อยโดยประกอบด้วย เซลลูโลสประมาณ 40% เฮมิเซลลูโลสประมาณ 24% และลิกนินประมาณ 25% [4]

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีความยาวและความแข็งแรงสูง โดยมีค่าอันดับการพอลิเมอร์ไรเซชัน (DP) ประมาณ 10,000-15,000 หน่วย การเรียงตัวของเซลลูโลสจะประกอบด้วย Fibrils หรือเส้นใยที่รวมกันเป็นกลุ่มหรือมัดที่เรียกว่า Fibrous bundle ซึ่งประกอบด้วยส่วนผลึก (Crystalline regions) และส่วนอสัณฐาน (Amorphous regions) โดยส่วนอสัณฐานมีความเป็นระเบียบน้อยกว่าส่วนผลึก และสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าส่วนผลึก เนื่องจากมีโครงสร้างที่เปิดกว้างกว่า [31]



รูปที่ 2.12 แสดงภาพจากวิธีการ AFM (ภาพซ้าย) เพื่อยืนยันว่าเส้นใยเซลลูโลสประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน [4]

2.5.1 สมบัติของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นสารใยที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber, IDF) และไม่มีการตอบสนองต่อสารอื่น ๆ โดยเฉพาะ ไม่ละลายในสารต่าง โมเลกุลของเซลลูโลสมักจะเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ และเป็นส่วนใหญ่เป็นเส้นใยหยาบที่ทำให้มีโครงสร้างหนาแน่น และแข็งแรง ทำให้ไม่เปราะง่าย บางส่วนของเซลลูโลสอาจมีโมเลกุลที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ จึงทำให้เกิดการพองตัวเมื่อนำไปละลายในสารละลาย อย่างไรก็ตาม ส่วนนี้เองที่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้จึงเกิดการพองตัวทำให้มีโมเลกุลที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ โดยเส้นใยที่มีโมเลกุลที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบจะมีการจับกันไม่แน่น ซึ่งทำให้เกิดการพองตัวได้ในส่วนนั้น และเมื่อเส้นใยมีโมเลกุลที่เรียงตัวในทิศทางที่แน่นหนาแน่น ก็จะมีโครงสร้างที่แข็งแรง และไม่เปราะง่ายซึ่งความสามารถในการพองตัวทั้งในน้ำและสารละลายจะแตกต่างกันไป โดยเมื่อเรียงลำดับตามความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสในสารละลาย โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ < เกลือ < กรด < ต่าง

2.5.1.1 การละลายของเซลลูโลส

การละลายของเซลลูโลสเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เนื่องจากมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสารละลายที่ใช้ โดยทั่วไปเซลลูโลสจะไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในกรดและด่างที่เป็นต่างแกว่ากัน เราสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดหรือด่างได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้:

- 1) แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose): เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%
- 2) เบต้าเซลลูโลส (β -cellulose): เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%
- 3) แกมมาเซลลูโลส (γ -cellulose): เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5% และสารละลายกรดเจือจาง

การแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดหรือด่างเป็นข้อมูลที่สำคัญเพื่อให้เราเข้าใจและใช้ประโยชน์ในการใช้งานเซลลูโลสในแต่ละวงการได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องตามความต้องการของแต่ละงานและการใช้งาน

2.5.1.2 ความเหนียวของเซลลูโลส

ความเหนียวของเซลลูโลสเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งในการกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ การเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสจะทำให้ความเหนียวเพิ่มขึ้น เมื่อความเหนียวสูงขึ้น วัสดุก็จะมี ความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงกระทำได้ดีขึ้น นั่นหมายความว่าวัสดุจะมีความสามารถในการรับแรงและต้านทานต่อการทำลายดีขึ้น การควบคุมความเหนียวของเซลลูโลสเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตวัสดุที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมสำหรับการใช้งานต่าง ๆ

2.5.1.3 การดูดซับความชื้นของเซลลูโลส

การดูดซับความชื้นของเซลลูโลสเป็นสมบัติที่สำคัญ เนื่องจากมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ เมื่อเซลลูโลสดูดซับความชื้นจากบรรยากาศ ค่าความชื้นของเซลลูโลสจะเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจทำให้คุณสมบัติเช่นความแข็งแรงและค่า Tensile strength เพิ่มขึ้นด้วย

2.5.1.4 ความหนาแน่นของเซลลูโลส

เซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะมีค่าความหนาแน่นที่ไม่แน่นอน ค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามที่มาหรืออาจเปลี่ยนไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี [32]

2.5.2 การประยุกต์ใช้เซลลูโลส

การประยุกต์ใช้เซลลูโลสในอุตสาหกรรม เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อไม้ นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืชได้ด้วย โดยสามารถนำเซลลูโลสมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ วัสดุก่อสร้าง พลังงาน และกระดาษ แสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้

อุตสาหกรรมสิ่งทอ

การนำเส้นใยประดิษฐ์ที่ได้จากเซลลูโลสธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นนวัตกรรมที่ได้รับความนิยมมากมาย ไม่เพียงแต่ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเท่านั้น แต่ยังมีในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ด้วย ตัวอย่างเช่น เรยอน เป็นเส้นใยประดิษฐ์ชนิดแรกที่ประกอบด้วยเซลลูโลสที่นำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อให้ได้คุณสมบัติอ่อนนุ่ม เป็นมันวาวคล้ายไหม และสบายตัวเมื่อสวมใส่

อุตสาหกรรมพลาสติก

การนำเซลลูโลสไปใช้ในการเสริมแรงของเทอร์โมพลาสติกสตาเรช (TPS) และการนำไปใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมได้เพิ่มขึ้นเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากมันเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Bio-compostable materials) โดยส่วนใหญ่เป็นการผลิตบรรจุภัณฑ์ (Packaging) เช่น แผ่นฟิล์ม แผ่นซีท ฯลฯ เทอร์โมพลาสติกสตาเรชเหมาะสำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ลักษณะแข็ง รวมถึงการผลิตเป็นโฟมเพื่อลดแรงกระแทกและป้องกันไม่ให้เกิดการแตกหักของผลิตภัณฑ์ภายใน [33]

อุตสาหกรรมยา

สำหรับอุตสาหกรรมยาสามารถนำเซลลูโลสมาทำเป็นแผงบรรจุยาหรือที่เรียกว่า เซลโลเฟน (Cellophane) หรือ ผ้าพันแผลได้ เนื่องจากเซลลูโลสมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกระดาษ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเคลือบด้วยเทอร์โมพลาสติกก่อนนำไปใช้งาน เนื่องจากเซลโลเฟนมีคุณสมบัติป้องกันก๊าซออกซิเจน และกลิ่นได้ดี แต่ยังคงมีความไวต่อความชื้น ทำให้เกิดการหดและขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น และจะเปราะเมื่ออากาศแห้งหรือเย็น ทำให้มีข้อจำกัดทางการใช้งาน



รูปที่ 2.13 เซลโลเฟน [11]

2.6 นาโนเซลลูโลส

การทดลองสกัดและเตรียมนาโนเซลลูโลสในปี ค.ศ. 1983 โดย Turbak และคณะเป็นเหตุการณ์สำคัญที่เริ่มต้นการศึกษาและพัฒนานาโนเซลลูโลสในระดับทางวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา งานวิจัยในด้านนี้ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นในการพัฒนากระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีการสร้างนวัตกรรมเพื่อให้กระบวนการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น นาโนเซลลูโลสเป็นวัสดุที่สำคัญในรูปแบบนาโนที่ได้มาจากเซลลูโลส ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่พบได้ในพืช มีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลากหลายที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในหลายๆ อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ บางคุณสมบัติที่โดดเด่นได้แก่ความแข็งแรงทางกลสูง ความโปร่งแสง น้ำหนักเบา และมีมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ นาโนเซลลูโลสมีความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้มีศักยภาพในการพัฒนาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมต่างๆ ในอนาคตได้รับการสนับสนุนและสร้างความสนใจอย่างต่อเนื่องจากสภาพการณ์ที่มีความสำคัญในวงการวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

2.6.1 การแบ่งนาโนเซลลูโลส

2.6.1.1 แบ่งตามกระบวนการเตรียม

โดยทั่วไป กระบวนการเตรียมนาโนเซลลูโลส แบ่งได้ 2 วิธี คือ

- 1) วิธีแบบบนลงล่าง (Top-down method) วิธีนี้เริ่มต้นโดยการใช้เอนไซม์หรือสารเคมีในการสกัดแยกสารอื่นที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไป จากนั้นนำเซลลูโลสที่ได้มาแยกเส้นใยโดยใช้แรงกล เช่น การใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) หรือเครื่องบด เป็นต้น
- 2) วิธีแบบล่างขึ้นบน (Bottom-up method) วิธีนี้เริ่มต้นโดยการผลิตเซลลูโลสโดยตรงจากกลูโคสโดยใช้แบคทีเรียที่มีความสามารถในการสร้างเซลลูโลส

2.6.1.2 แบ่งตามวิธีการสกัดและลักษณะทางสัณฐานวิทยา

สามารถแบ่งนาโนเซลลูโลสเป็น 2 ชนิด ได้แก่

- 1) เซลลูโลสนาโนคริสตัล หรือ ผลึกนาโนเซลลูโลส (Cellulose nanocrystals, CNCs)/ Nanocrystalline cellulose (NCC)/ Cellulose nanowiskers (CNWs) ถือเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่น่าสนใจมากในงานวิจัยและอุตสาหกรรม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการกระบวนการสกัดเซลลูโลสออกมาจากวัตถุดิบธรรมชาติเช่น ไม้หรือพืชอื่นๆ โดยใช้สารเคมีเข้มข้นเพื่อละลายส่วนผลึกของเซลลูโลส ซึ่งสามารถแบ่งเซลลูโลสออกเป็นเซลลูโลสนาโนคริสตัลได้ การใช้กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการสกัดเซลลูโลส เนื่องจากกรดซัลฟูริกสามารถทำปฏิกิริยาได้ตรงกับส่วนอสัณฐานของเซลลูโลส ทำให้ส่วนผลึกของเซลลูโลสคงความไม่เปลี่ยนแปลง จึงสร้างเซลลูโลสนาโนคริสตัลที่มีลักษณะดีที่สุด โดยทั่วไปแล้ว ผลิตภัณฑ์จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงขนาด 4-25 nm และมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 100-1000 nm ซึ่งขนาดและความยาวขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาเป็นวัตถุดิบ ผลึกที่ได้จะมีลักษณะเป็นเข็ม (needle shape) และมีประจุลบ ทำให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic repulsion) ซึ่งช่วยในการป้องกันการรวมตัวกันของผลึก ทำให้ระบบมีความเสถียรและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายงานวิจัยและอุตสาหกรรมได้โดยมีประสิทธิภาพสูง

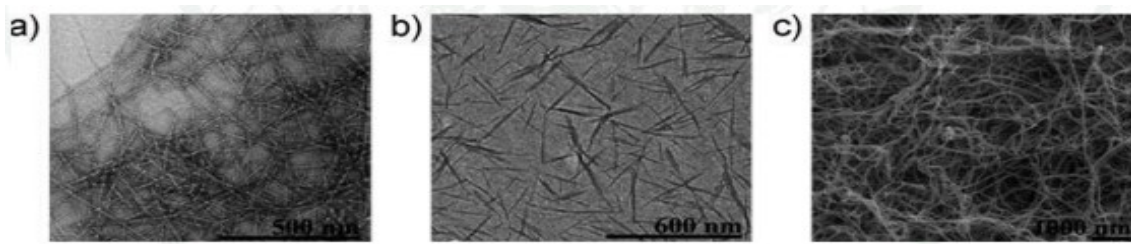
2) เซลลูโลสนาโนไฟบริล (Cellulose nanofibril, CNFs) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการสกัดเซลลูโลสโดยใช้สารเคมีประเภทต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) แล้วนำมาแยกเส้นใยออกจากกันโดยใช้แรงกล กระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดแรงเฉือนภายใต้ความดันสูง ซึ่งสามารถแยกเส้นใยของเซลลูโลสออกจากกันได้ โดยทำให้เกิดการสร้างโครงร่างแหสามมิติ (3D-Network structure) จากเส้นใยที่แยกตัวแล้ว โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงและมีอัตราส่วนลักษณะ (Spect ratio) สูง เซลลูโลสนาโนไฟบริลมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน มีขนาดความยาวในระดับไมโครเมตร ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยระหว่าง 10-100 นาโนเมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาเป็นวัตถุดิบ คุณสมบัติที่เด่นของ CNFs ได้แก่ ความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ [34]

2.6.2 ประเภทของนาโนเซลลูโลส

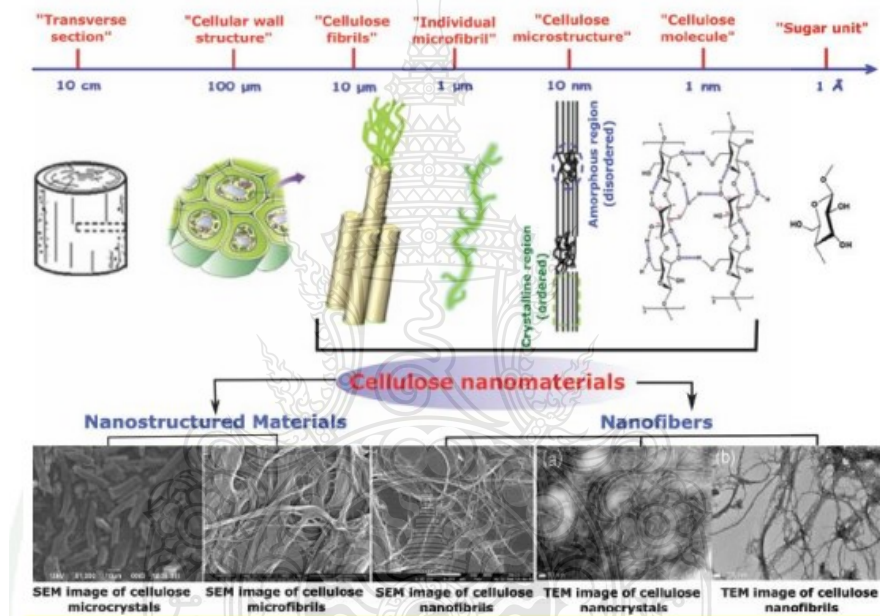
นาโนเซลลูโลสหมายถึงเส้นใยเซลลูโลสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงนาโนเมตร โดยมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามแหล่งของเซลลูโลสที่ใช้เตรียม และวิธีที่ใช้ในการคัดแยกนาโนเซลลูโลสได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 2.5 [4]

ตารางที่ 2.5 ประเภทของนาโนเซลลูโลส [4]

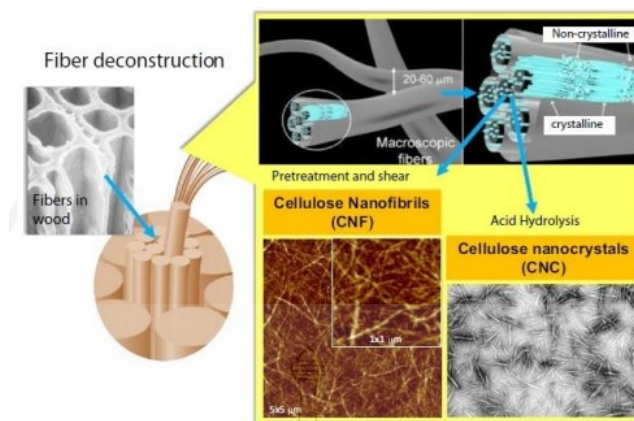
ประเภทของนาโนเซลลูโลส	ชื่อเรียกอื่นๆ	ขนาด
Cellulose nanocrystals (CNC)	Nanocrystalline cellulose (NCC), Whiskers, Rod like cellulose, Microcrystals	เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-70 นาโนเมตร ความยาว 100-250 นาโนเมตร (พืช); 100 นาโนเมตรไปจนถึง ไมโครเมตร (สาหร่ายแบคทีเรีย)
Cellulose nanofibrils (CNF)	Nanofibrils, Microfibrils, Nanofibrillated cellulose (NFC), Microfibrillated cellulose (MFC)	เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-60 นาโนเมตร ความยาวระดับไมโครเมตร
bacterial cellulose (BC)	Microbial cellulose, Bacterial nanocellulose (BNC)	เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-70 นาโนเมตร



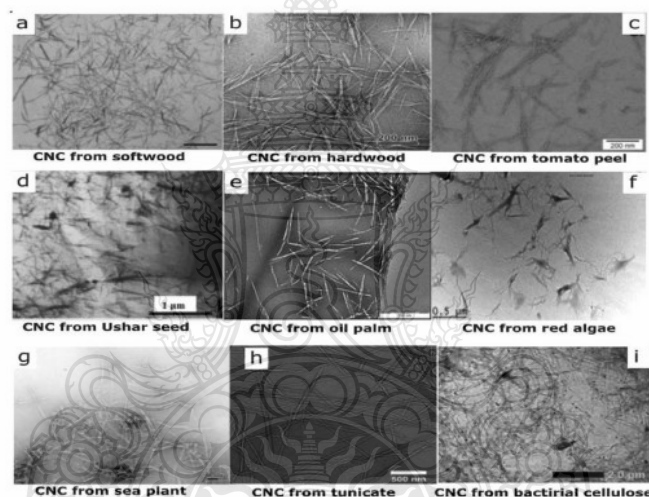
รูปที่ 2.14 ภาพถ่ายนาโนเซลลูโลสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM); (a) Microfibrillated cellulose (MFC), (b) Nanocrystalline cellulose (NCC) และ (c) Bacterial cellulose (BC) [4]



รูปที่ 2.15 โครงสร้างเซลลูโลสในพืชและชนิดของนาโนเซลลูโลส ; (ด้านบน) ลักษณะโครงสร้าง ของเซลลูโลส; (ด้านล่าง) ภาพถ่ายนาโนเซลลูโลสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของ Cellulose microcrystals, Cellulose microfibrils และ Cellulose nanofibrils และภาพถ่ายนาโนเซลลูโลสจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของ Cellulose nanocrystals และ Cellulose nanofibrils [4]



รูปที่ 2.16 แผนผังการคัดแยก CNF และ CNC โดยวิธีทางกลและวิธีทางเคมีตามลำดับ [4]



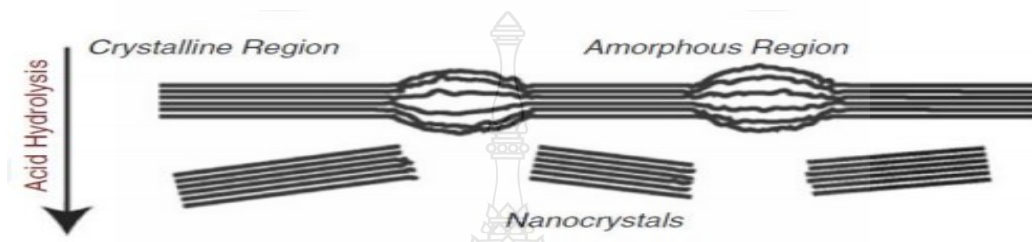
รูปที่ 2.17 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของ CNC จากแหล่งต่างๆ; (a) ไม้เนื้ออ่อน, (b) ไม้เนื้อแข็ง, (c) เปลือกมะเขือเทศ, (d) Calotropis procera, (e) ปาล์มน้ำมัน, (f) สาหร่ายสีแดง, (g) พืชทะเล, (h) เพรียงหัวหอม และ (i) Bacterial cellulose [4]

2.6.3 การคัดแยกนาโนเซลลูโลส (Nanocellulose Isolation)

2.6.3.1 การคัดแยกนาโนเซลลูโลสโดยวิธีทางเคมี

การคัดแยกนาโนเซลลูโลสโดยวิธีทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพและสามารถควบคุมลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดี วิธีการใช้สารเคมีโดยเฉพาะสารจำพวกกรดเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการคัดแยกนาโนเซลลูโลส โดยกรดที่นิยมใช้ได้แก่กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) โดยกรดจะทำลายพันธะของเซลลูโลสในส่วนของอสัณฐาน (amorphous region) ทำให้เหลือเพียงส่วนบริเวณที่เป็นผลึกของเซลลูโลส (Crystalline

region) เนื่องจากเส้นใยในส่วนผลึกมีความเข้าเรียงกันอย่างเรียงต่อเรียง ทำให้กรดสามารถย่อยส่วนอสัญฐานได้โดยง่าย ซึ่งนำไปสู่การได้รับ CNC ที่มีลักษณะเหมือนเข็ม (Needle-shaped) โดยมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 นาโนเมตร และมีโครงสร้างผลึกสูง นอกจากนี้ คุณสมบัติและลักษณะสัญญาณวิทยาของนาโนเซลลูโลสที่ได้ขึ้นอยู่กับแหล่งของเซลลูโลสเริ่มต้นที่ใช้ในการคัดแยกนาโนเซลลูโลส ชนิดของกรด ความเข้มข้นของกรด อัตราส่วนระหว่างกรดต่อเซลลูโลส รวมไปถึงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการย่อย



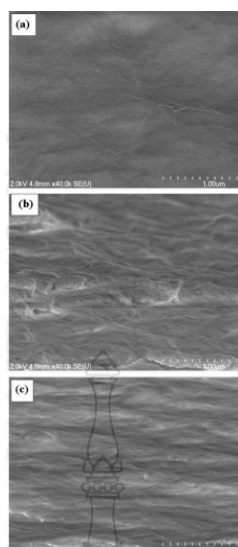
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของ CNC หลังการย่อยด้วยกรด [4]

2.6.3.2 การคัดแยกนาโนเซลลูโลสโดยวิธีทางกล

การคัดแยกนาโนเซลลูโลสโดยวิธีทางกลได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น ไม่ต้องการสารเคมีในกระบวนการ และเป็นกระบวนการที่ง่ายและปลอดภัย โดยแหล่งวัตถุดิบเซลลูโลสที่ใช้ในการคัดแยกนาโนเซลลูโลสต้องผ่านการปรับสภาพทางเคมีเพื่อกำจัดส่วนประกอบอื่นๆ และให้ได้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์ วิธีการคัดแยกนาโนเซลลูโลสโดยวิธีทางกลที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ กระบวนการโฮโมจีไนเซชัน แรงดันสูง (High pressure homogenization) ไมโครฟลูอิดิเคชัน (Microfluidization) การบดละเอียด (Grinding) และกระบวนการอัลตราโซนิคความเข้มสูง (High intensity ultrasonication) เป็นต้น [4]

2.6.4. การประยุกต์ใช้นาโนเซลลูโลส (Applications of nanocellulose)

ในปัจจุบันมีการพยายามในการพัฒนาสมบัติของพอลิเมอร์ในด้านต่างๆ อย่างสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิภาพของวัสดุ หนึ่งในวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือการใช้วัสดุนาโนคอมโพสิต (Nanocomposites) ซึ่งเป็นการเติมอนุภาคขนาดเล็กในระดับนาโนลงไปกระจายในเนื้อสารที่ต้องการ นาโนเซลลูโลสเป็นหนึ่งในวัสดุที่ถูกนำมาใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ต่างๆ เช่น การผลิตกระดาษ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ด้วย

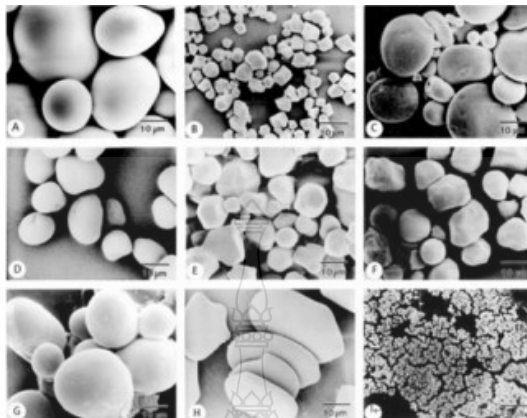


รูปที่ 2.19 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของ (a) แอลจิเนต (Alginate film) (b) แอลจิเนต/นาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลสนาโนคอมโพสิตที่ประกอบด้วยนาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลสร้อยละ 5 (c) แอลจิเนต/นาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลสนาโนคอมโพสิตที่ประกอบด้วยนาโนคริสตัลไลน์เซลลูโลสร้อยละ 8 [4]

2.7 แป้ง (Starch)

สตาร์ช (Starch) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีความสำคัญและน่าสนใจ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีความหลากหลายในการนำไปใช้งาน การใช้สตาร์ชเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตพลาสติกชีวภาพมีความสำคัญมาก เช่น การผลิตพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid: PLA) และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Starch thermoplastic) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีลักษณะการย่อยสลายทางชีวภาพ การใช้สตาร์ชในพลาสติกชีวภาพช่วยลดการใช้พลาสติกที่มาจากวัตถุดิบที่ไม่นิยมน เช่น พลาสติกจากน้ำมัน และช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การใช้สตาร์ชเป็นสารเติมแต่งยังช่วยเพิ่มเนื้อและลดต้นทุนในการผลิตพลาสติก และพัฒนาคุณสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกได้ ทำให้สามารถมีประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น สตาร์ชมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ โดยพบได้ในธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด และข้าวสาลี พืชหัว เช่น มันฝรั่ง และพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเขียว ถั่วลันเตา และถั่วแดง สตาร์ชที่พบในธรรมชาติมักจะมีรูปแบบเป็นแกรนูล โดยจะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสปีชีส์ของพืช โดยมักอยู่ในช่วงขนาด 1-100 ไมโครเมตร การศึกษาและการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ เป็นสิ่งสำคัญในการทำความเข้าใจโครงสร้างและคุณสมบัติของแกรนูลสตาร์ช เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการผลิตพลาสติกชีวภาพและสารเคมีอื่นๆ อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด วิธีการศึกษาที่ใช้ก็รวมถึงการใช้เทคนิคและเครื่องมือต่างๆ เช่น เอ็กซเรย์ (X-ray) กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscopy: AFM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy: TEM) และกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy: SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างของแกรนูลสตาร์ชอย่างละเอียด [10]



รูปที่ 2.20 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า ของแกรนูลสตาร์ชจากพืชปีชีส์ต่างๆ (A) มันฝรั่ง (B) ข้าว (C) ข้าวสาลี (D) ถั่วเขียว (E) ข้าวโพด (F) ข้าวโพดข้าวเหนียว (G) มันสำปะหลัง (H) โขติ (I) แป้งในใบพืช [10]

2.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

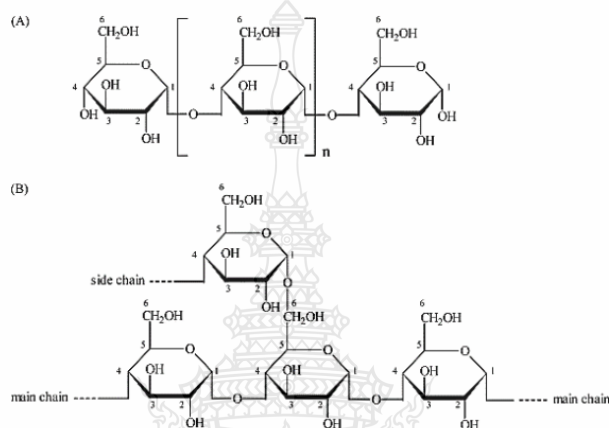
แป้งมีสูตรเคมีทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ ซึ่งหมายถึงว่ามีธาตุคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), และออกซิเจน (O) ประกอบกันในโมเลกุลของแป้ง โดยที่ n หมายถึงจำนวนของยูนิตของโมเลกุลที่ซ้ำซ้อนกันในโครงสร้างของแป้ง องค์ประกอบที่สำคัญของแป้งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ได้แก่ อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพกติน (Amylopectin)

2.7.1.1 อะไมโลส (Amylose) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรง ประกอบด้วยหน่วยย่อยกลูโคสที่เชื่อมกันด้วยการเชื่อมแบบอัลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก (α -1,4-Glycosidic linkage) โดยมีวงแหวนกลูโคสเชื่อมต่อกันที่ตำแหน่งคาร์บอน 1 และ 4 ความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ของอะไมโลสอยู่ในช่วงประมาณ 500-2,000 หน่วยย่อยกลูโคส และมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 150,000-600,000 ดาลตัน (Da) การเชื่อมแบบอัลฟา 1,4 ไกลโคซิดิกในอะไมโลสทำให้โครงสร้างของมันเป็นสายโซ่ตรง อะไมโลสจึงมีความสามารถในการจัดเรียงตัวอย่างแน่นหนาและมีความสามารถในการสร้างเจลสูง

2.7.1.2 อะไมโลเพกติน (Amylopectin) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่กิ่ง ประกอบด้วยหน่วยย่อยกลูโคสที่เชื่อมกันด้วยการเชื่อมแบบอัลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก (α -1,4-Glycosidic linkage) และการเชื่อมแบบอัลฟา 1,6 ไกลโคซิดิก (α -1,6-Glycosidic linkage) โดยมีวงแหวนกลูโคสเชื่อมต่อกันที่ตำแหน่งคาร์บอน 1 และ 4 และที่ตำแหน่งคาร์บอน 1 และ 6 ทำให้เกิดการแยกแขนงในโครงสร้างของอะไมโลเพกติน โครงสร้างของอะไมโลเพกตินทำให้มันมีลักษณะที่แตกต่างจากอะไมโลส โดยมีหน่วยย่อยกลูโคสที่เชื่อมโยงด้วยการเชื่อม 1,4 และ 1,6 ไกลโคซิดิก ซึ่งทำให้มีโครงสร้างเป็นสาย

โซ่กิ่ง และสามารถสร้างเจลได้ดีกว่าอะไมโลส อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 1,000,000-6,000,000 ดาลตัน (Da) และมีโครงสร้างที่หนาแน่นและซับซ้อน ซึ่งมีคุณสมบัติที่ทำให้มันเหมาะสำหรับการใช้ในหลากหลายแอปพลิเคชัน รวมถึงการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ส่วนอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในแป้งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไป โดยทั่วไปแล้วแป้งจะมีอัตราส่วนอะไมโลสประมาณ 10-20% และอะไมโลเพกตินประมาณ 80-90% [9]



รูปที่ 2.21 โครงสร้างทางเคมีของ (A) อะไมโลส และ (B) อะไมโลเพกติน [10]

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของเม็ดแป้ง [35]

ชนิดแป้ง	อะไมโลส (%)	อะไมโลเพกติน (%)	ความชื้น (ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65% และอุณหภูมิ 20°C)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เถ้า (%)	ฟอสฟอรัส (%)
แป้งมันฝรั่ง	21	79	19	0.05	0.06	0.4	0.08
แป้งข้าวโพด	28	72	13	0.7	0.35	0.1	0.02
แป้งสาลี	28	72	13	0.8	0.4	0.2	0.06
แป้งมัน	17	83	13	0.1	0.1	0.2	0.01
สำปะหลัง							
แป้งข้าวโพดเหนียว	0	100	13	0.15	0.25	0.1	0.01
แป้งข้าวเจ้า	17	83	ไม่มีรายงาน	0.8	0.45	0.5	0.1

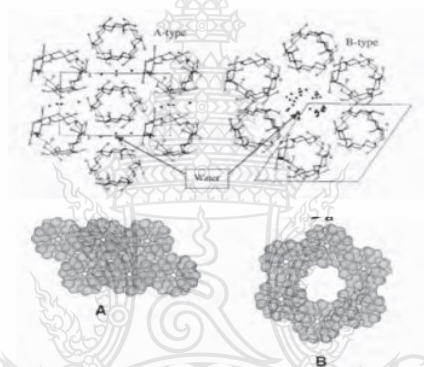
2.7.2 โครงสร้างเม็ดแป้ง

ผลึกของเม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบตามลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่และปริมาณน้ำ

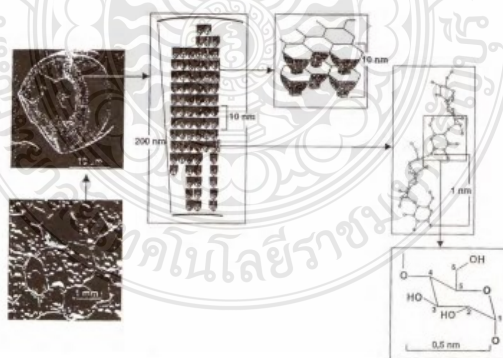
2.7.2.1 ผลึกแบบ A : เม็ดแป้งมีการเรียงตัวหนาแน่นมาก และมีปริมาณน้ำต่ำ เกลียวคู่มีการจัดเรียงตัวอย่างเข้มงวด มักพบในแป้งที่มาจากธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวสาลีหรือข้าวโพด

2.7.2.2 ผลึกแบบ B : เม็ดแป้งมีการจัดเรียงตัวกันแบบหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูง เกลียวคู่มีการจัดเรียงตัวแบบไม่เข้มงวด เป็นลักษณะที่พบได้ในแป้งที่มาจากพืชหัว เช่น มันฝรั่ง

2.7.2.3 ผลึกแบบ C : เม็ดแป้งมีการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกัน เกลียวคู่มีการจัดเรียงตัวอย่างเข้มงวดและไม่เข้มงวดร่วมกัน พบได้ในแป้งที่มาจากพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเขียวหรือถั่วแดง [9]



รูปที่ 2.22 โครงสร้างผลึกแบบ A และ B [9]

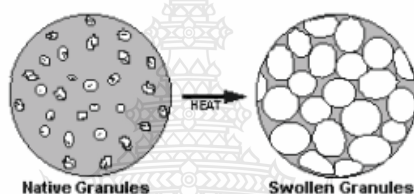


รูปที่ 2.23 แสดงระดับโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง [9]

2.7.3 สมบัติของแป้ง

2.7.3.1. การดูดซึมน้ำ และการละลาย (Water absorption and Dissolution)

แป้งเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นเม็ด มีรูพรุนภายในเม็ด ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จำนวนมาก ทำให้น้ำสามารถแพร่เข้าไปในเม็ดแป้งได้อย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิต่ำลง โมเลกุลแป้งจะมีแรงติดกันอย่างแน่นหนา และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่โมเลกุล ซึ่งทำให้แป้งไม่ละลายน้ำ แต่จะมีความสามารถในการละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนช่วยลดแรงติดกันของพันธะไฮโดรเจนลง โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาติดกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ ทำให้เม็ดแป้งเกิดการบวมตัวและละลาย ซึ่งจะทำให้มีความใสเพิ่มขึ้น และการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) หายไป ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำ ได้แก่ ชนิดและโครงสร้างภายในแป้ง สารเจือปนภายในเม็ดแป้ง อุณหภูมิ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแป้ง [9]



รูปที่ 2.24 ภาพการจำลองการบวมตัวและการละลายของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อน [9]

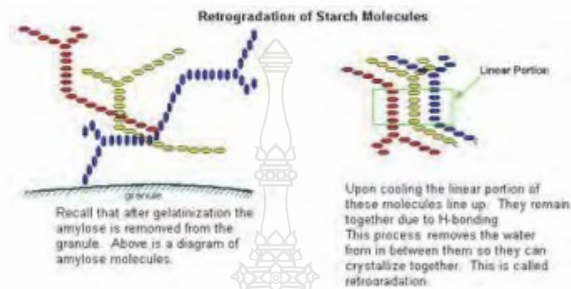
2.7.3.2. การเกิดเจลาตินเซชัน (Gelatinization)

เป็นกระบวนการทางเคมีและกายภาพที่เกิดขึ้นเมื่อแป้งถูกความร้อนและความชื้น กระบวนการนี้มีความสำคัญในหลายๆ ด้าน เช่น การปรุงอาหารและอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะในการผลิตขนมปัง เค้ก และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ใช้แป้งเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อแป้งถูกน้ำและความร้อน เม็ดแป้งจะเริ่มดูดซับน้ำเข้าไปในโครงสร้าง เมื่อเม็ดแป้งดูดซับน้ำ เม็ดแป้งจะขยายตัว และโครงสร้างผลึกของแป้งจะเริ่มแตก ในขณะที่ความร้อนเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยโมเลกุลแป้ง (เช่น อะไมโลสและอะไมโลเพคติน) จะหลุดออกจากเม็ดแป้งและกระจายตัวในน้ำ เมื่อโมเลกุลแป้งกระจายตัวในน้ำ มันจะสร้างโครงข่ายที่จับกับน้ำ ทำให้เกิดการเพิ่มความหนืดและเกิดเป็นเจล กระบวนการนี้เรียกว่า เจลาตินเซชัน (Gelatinization) โดยมีปัจจัย คือ ประเภทของแป้ง อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ และสารเติมแต่ง

2.7.3.3. การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารต่างๆ ในโครงสร้างของแป้งสุกเริ่มจัดเรียงตัวใหม่หลังจากที่ผ่านไปเวลา กระบวนการนี้มักเกิดขึ้นหลังจากการทำความเย็นและการเก็บรักษาอาหารที่มีแป้ง เช่น ข้าว ปลายสุตร โดยขั้นตอนของการคืนตัวของแป้งสุก เมื่อแป้งถูกต้มหรือปรุงร้อน มันจะเกิดเจลาตินเซชันและเกิดการควบคุมแปรของ ความหนืด หลังจากนั้น แป้งสุกจะถูกทำให้เย็นลง การเจลาตินเซชันที่เกิดขึ้นในแป้งสุกจะถูกควบคุมโดยปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส

และปริมาณน้ำ เมื่อผ่านไปเวลา โครงสร้างของแป้งสูกจะเริ่มเปลี่ยนแปลงอีกครั้ง โมเลกุลของแป้งจะเริ่มเข้าสู่การเรียงตัวใหม่ เรียกว่า "การคืนตัว" ทำให้เกิดการแข็งตัวและแข็งเป็นลักษณะของแป้ง ซึ่งการคืนตัวของแป้งสูกอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในความเป็นกรด-เบสของอาหาร ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในรสชาติและความเค็มหวาน ในบางกรณี การคืนตัวของแป้งสูกอาจทำให้เกิดการแตกและเปื่อยของโครงสร้าง [9]

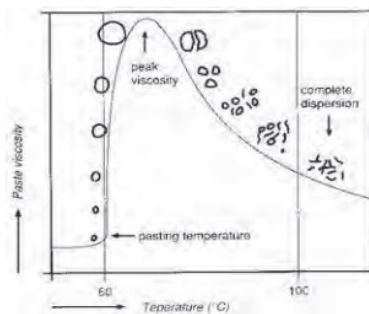


รูปที่ 2.25 การคืนตัวของแป้งสูก [9]

2.7.3.4. ความหนืด (Viscosity)

เป็นคุณสมบัติที่วัดระดับความหนืดหรือความเหนียวของแป้งเมื่อมีการผสมกับน้ำหรือสารเหลวอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อความเหนียวและการทำงานของแป้งในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม ความหนืดของแป้งส่งผลต่อการช่วยเก็บรักษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ รวมถึงคุณสมบัติเช่น ความนุ่มนวลและความอืดตัวของผลิตภัณฑ์ที่สร้างจากแป้ง โดยปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแป้งได้แก่ ประเภทของแป้ง ยกตัวอย่างเช่น แป้งสาลีจะมีความหนืดมากกว่าแป้งข้าวหรือแป้งมันฝรั่ง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมแป้งมีผลต่อความหนืด ปริมาณน้ำมากขึ้นจะทำให้แป้งมีความหนืดมากขึ้น อุณหภูมิในขณะที่แป้งถูกผสมและดองน้ำมีผลต่อความหนืด อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจทำให้แป้งมีความหนืดมากขึ้น และเวลาที่แป้งผสมกับน้ำมากขึ้นอาจทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดเจลาติไนเซชันและการคืนตัวของแป้ง

ดังนั้น ความหนืดของน้ำแป้งสูกเกิดจากการบวมตัวของเม็ดแป้งและความแตกต่างของเม็ดแป้งรวมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้งในน้ำแป้งในช่วง peak viscosity โดยทั่วไป เมื่อเม็ดแป้งบวมมากขึ้นและการแตกต่างในเม็ดแป้งและการละลายของอะไมโลสเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลง ทั้งนี้ ความหนืดของน้ำแป้งสูกมีผลจากปริมาณและคุณภาพของแป้งและสมบัติการตั้งแป้งของสารอื่น ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแป้งด้วย [8]



รูปที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน[9]

2.7.4 แป้งมันสำปะหลัง

เป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Manihot Cassava*, *Yuca esculenta* Crantz มันสำปะหลังมีกำเนิดมาจากแถบที่ลุ่มเขตร้อน (Lowland tropics) มีบันทึกการปลูกมันสำปะหลังในโคลัมเบียและเวเนซุเอลามานานกว่า 3,000 - 7,000 ปีแล้ว ในทวีปเอเชียมีการนำมันสำปะหลังมาปลูกครั้งแรกที่ประเทศฟิลิปปินส์ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 โดยชาวสเปนได้นำมันสำปะหลังมาจากเม็กซิโก ในภายหลัง มันสำปะหลังได้ถูกนำมาปลูกในอินโดนีเซียเช่นกัน ในประเทศไทย ยังไม่มีหลักฐานที่แน่นอนเกี่ยวกับการปลูกมันสำปะหลังว่าเข้ามาเมื่อใด แต่คาดว่ามันสำปะหลังอาจถูกนำเข้ามาในระยะเวลาเดียวกันกับศรีลังกาและฟิลิปปินส์ ซึ่งประมาณอยู่ระหว่าง พ.ศ. 2329-2383 [8]

แป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดมันสำปะหลัง มีลักษณะเด่นคือมีสีขาวอมเทา และเนื้อนุ่มเนียน มีความเหนียวเรียบที่สุด และมีลักษณะเส้นเนียนที่เป็นมัน เมื่อนำมาทำให้สุกโดยกวนกับน้ำใช้ไฟอ่อนถึงปานกลาง จะทำให้แป้งจะละลายและสุกง่าย และทำให้มีความหนืดข้นขึ้นเรื่อยๆ โดยไม่มีการจับตัวกันเป็นก้อน นอกจากนี้ เมื่อแป้งเย็นลงแล้วจะเหนียวติดกันเป็นก้อน สามารถใช้ทำลอดช่องสิงคโปร์ ครองแครงแก้ว และมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ [36]

2.7.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาคุ [37]

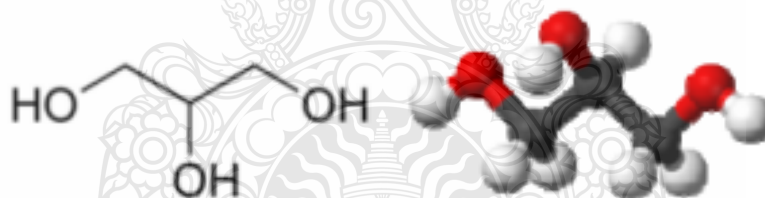
Composititions (% w/w, dry basis)	Cassava starch	Sago starch
Moisture content	11.45±0.04	10.95±0.18
Protein	0.05±0.001	0.06±0.001
Lipid	0.14±0.02	0.20±0.03
Ash	0.16±0.002	0.27±0.01

ตารางที่ 2.8 กำลังการพองตัวและการละลายในแป้งแต่ละชนิด ที่ 95 °C [35]

ชนิดแป้ง	กำลังการพองตัว (เท่า)	การละลาย (%)
แป้งมันฝรั่ง	> 1,000	82
แป้งมันสำปะหลัง	71	48
แป้งท้าวยายม่อม (Arrowroot)	54	28
แป้งมันเทศ	46	18
แป้งข้าวโพด	24	25
แป้งข้าวสาลี	21	41
แป้งข้าวเจ้า	19	18

2.8 กลีเซอรอล

กลีเซอรอล (Glycerol) มีความหมายว่าความหวาน มีลักษณะเป็นของเหลวใส หนืด ไม่มีกลิ่น และไม่มีสี กลีเซอรอลเป็นสารจำพวกโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ที่มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_3H_8O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 92.09 g/mol และมีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-โพรเพนไตรออล ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ โดยที่ 2 หมู่เป็นของไฮดรอกซิลปฐมภูมิและ 1 หมู่เป็นของไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (Secondary hydroxyl) [38]



รูปที่ 2.27 โครงสร้างของกลีเซอรอล [36]

2.8.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล

ตาราง 2.9 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล [38]

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	ข้อมูล
สูตรทางเคมี	$\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$ หรือ $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
น้ำหนักโมเลกุล	92.09 g/mol
สถานะและสี	ของเหลว ไม่มีสี
ความถ่วงจำเพาะ	1.2605
ค่าดัชนีหักเหแสง	1.4746
จุดหลอมเหลว	17.9 °C
จุดเดือด	290 °C
สมบัติการละลายใน 100 ส่วน	
น้ำ	ละลายดีมาก
แอลกอฮอล์	ละลายดีมาก
อีเทอร์	ไม่ละลาย
ความร้อนของการหลอมเหลวที่ 18.07 °C	47.49 cal/g
ความหนืดของกลีเซอรอลที่	
ความบริสุทธิ์ 100%	10 cP
ความบริสุทธิ์ 50%	25 cP
การแพร่กระจายใน	
i-Amyl alcohol	$0.12 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$
เอทานอล	$0.56 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$
น้ำ	$0.94 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$

กลีเซอรอลสามารถละลายได้ดีในหลายสารประกอบ แต่จะไม่ละลายในสารทำละลายบางชนิด เช่น คลอโรฟอร์ม เนื่องจากความสามารถในการละลายนี้ ทำให้กลีเซอรอลได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมยา และเครื่องสำอาง โดยในการใช้กลีเซอรอลในหน้าที่ต่างๆ จะต้องพิจารณาคุณสมบัติและเป้าหมายของการใช้งานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการอย่างเหมาะสม

กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไฮเซอ์ที่ได้รับความนิยมสูงในวงการวัสดุพอลิเมอร์ฐานชีวภาพ เพราะมีคุณลักษณะเด่นมากมาย ได้แก่ ค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) ที่ต่ำ, จุดวาบไฟสูง, น้ำหนักโมเลกุลต่ำ, และความสามารถในการละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้ เมื่อผสมกับน้ำ กลีเซอรอลยังช่วยลดความเปราะของพลาสติกที่อุณหภูมิจุดเดือด ทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่นและไม่แตกหัก (Brittle) โดยเฉพาะเมื่อใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไฮเซอ์ ดังนั้น กลีเซอรอลเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในงานวิจัยวัสดุและอุตสาหกรรมพลาสติกชนิดต่างๆ อย่างยิ่งในบริบทของวัสดุชีวภาพที่มีความยืดหยุ่น

และความคงทนทานที่จำเป็น [37] การเพิ่มกลีเซอรอลในฟิล์มทำให้เกิดความชื้นเพิ่มขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากหมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลที่สามารถเชื่อมต่อกับโมเลกุลของน้ำได้ดี เมื่อกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นสารอุ้มน้ำในเมทริกซ์ของวัสดุ ค่าความแข็งแรงทางด้านแรงดึงลดลงเนื่องจากการลดแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ แต่ก็ทำให้ค่าร้อยละการยืดตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาตรอิสระและเพิ่มการเคลื่อนตัวของสายโซ่ของพอลิเมอร์ในวัสดุ ซึ่งผลลัพธ์ทั้งหมดนี้ทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปแบบได้ดียิ่งขึ้น [40]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dagang Liu และคณะ ใช้วิธีการผสม $\text{HNO}_3\text{-KClO}_3$ และไฮโดรไลซิสของกรดซัลฟิวริกคริสตัลเซลลูโลสจากไม้ไผ่ (BCCs) ถูกเตรียมและใช้เพื่อเสริมแบ่งให้เป็นพลาสติกของกลีเซอรอลโครงสร้างและสัณฐานวิทยาของ BCC ถูกศึกษาโดยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและ ^{13}C NMR ของสถานะของแข็ง ผลการวิจัยพบว่า BCC มีโครงสร้างทั่วไปของเซลลูโลส 1 และสัณฐานวิทยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารแขวนลอย BCC 50-100 นาโนเมตรถูกประกอบเป็นเส้นที่ความเข้มข้นต่ำ (เช่น 0.1% โดยน้ำหนักของของแข็ง) แต่รวมตัวกันเป็นรูปทรง "ดอกไม้" ขนาดจิ๋วที่ความเข้มข้นสูง (เช่น 10.0 % โดยน้ำหนักของของแข็ง) ความแข็งแรงดึงและโมดูลัสยังเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มผลึกซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของ BCC และการดูดซึมน้ำลดลง เพิ่มประสิทธิภาพของพลาสติกแบ่ง Plasticized โดย BCC ที่เหมาะสมคือ 8 เปอร์เซ็นต์ [2]

Milene M. E. Costa และคณะ ได้มีการประเมินคุณสมบัติทางกลบางอย่างของเส้นใยไม้ไผ่ธรรมชาติและเส้นใยไม้ไผ่ที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุผสมพอลิเมอร์สี่เหลี่ยม การบำบัดทางกายภาพและทางเคมีช่วยปรับปรุงค่าความแข็งแรงเฉื่อยและค่าความต้านทานแรงดึงเฉื่อยได้เล็กน้อย แต่ยังเพิ่มส่วนต่างเฉื่อยด้วย อย่างไรก็ตาม การทำลายความเครียดแสดงพฤติกรรมผกผัน การสังเกตโดย SEM เผยให้เห็นการดัดแปลงโครงสร้างจุลภาคของเซลล์พื้นฐานของพวกมันที่พื้นผิวของเส้นใย ทำให้มีการยึดเกาะที่ดีขึ้นระหว่างไฟเบอร์และเมทริกซ์พอลิเมอร์ [41]

S. Silviana และ H. Hadiyanto เตรียมไม้ไผ่เซลลูโลสไมโครไฟบริลเลตเสริมด้วยแป้งสาคุ ซึ่งได้รับการบำบัดด้วยกลไก ไมโครไฟบริลเลตเซลลูโลสของไม้ไผ่เตรียมโดยการแยกเซลลูโลสด้วยสารเคมี การเตรียมไม้ไผ่ไมโครไฟบริลเลตเซลลูโลสดำเนินการโดยไฮโมจิโนเซอร์เพื่อกระจายเซลลูโลสไม้ไผ่ เช่น ไฮโมจิโนเซอร์แรงดันสูงและไฮโมจิโนเซอร์ล้ำเสียง การทดลองทำอย่างละเอียดในหลายตัวแปร เช่น ความเข้มข้นของไมโครไฟบริลเลตเซลลูโลสจากไม้ไผ่ที่กระจายตัวในน้ำ (1-3 %w) และปริมาณของไมโครไฟบริลเลตเซลลูโลส (37.5- 75%v) สารละลายแป้งสาคุ 4 %w ผสมกับเซลลูโลสไมโครไฟบริลเลตจากไม้ไผ่ และกลีเซอรอลกับ พลาสติกไซเซอร์และกรดซิตริกเป็นตัวเชื่อมขวาง การวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึงและ SEM สำหรับคุณสมบัติทางกลและสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตชีวภาพ ผลการวิจัยพบว่าการเตรียมเซลลูโลสไมโครไฟบริลเลตที่ทำจากไม้ไผ่เสริมด้วยแป้งสาคุโดยใช้อัลตราโซนิกไฮโมจิโนเซอร์ให้ความต้านทานแรงดึงสูงสุดและกระจายตัวได้ดีในคอมโพสิตชีวภาพ [1]

Fauziah Md Yusofa และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์และปรับปรุงสมบัติเชิงกลและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของคอมโพสิตสี่เหลี่ยมโดยใช้การบำบัดทางเคมีบนเส้นใยไม้ไผ่ที่

ทำหน้าที่ยึดเสริมกำลังของแข็งสำหรับหลังเพื่อให้เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพนี้เพื่อแข่งขันกับพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเลียมเคมีบำบัดชนิดต่าง ๆ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มแรงดึงและความต้านทานแรงดึงของคอมโพสิต วัสดุคอมโพสิตที่เสริมด้วยแข็ง / เส้นใยไม้ไผ่ที่ผ่านการบำบัดด้วยต่างได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความปลอดภัยในกลุ่มตัวอย่าง [42]

Abdul Khalil H. P. S. และคณะ ได้นำไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส (MCC) ที่แยกได้จากไม้ไผ่ ศักดิ์สิทธิ์บาทลี (*Schizostachyum brachycladum*) ราคาถูก เติบโตเร็ว และเข้าถึงได้มาก มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในฟิล์มคอมโพสิตจากสาหร่าย การแยก MCC ทำได้โดยใช้กระบวนการแยกเยื่อ การฟอกขาว และกรดไฮโดรไลซิสร่วมกัน การศึกษานี้เน้นความเป็นไปได้ของการผลิต MCC จากไม้ไผ่บาทลี ศักดิ์สิทธิ์ โดยศึกษาคุณสมบัติของมันโดยใช้การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), พูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของร่างกายด้วยความร้อน (TGA) ในเชิงพาณิชย์-MCC (CMCC) ถูกใช้เป็นเอกสารอ้างอิง ผลการศึกษาพบว่า ผลผลิต ปริมาณความชื้น (MC) และความยาวของเส้นใยไม้ไผ่-MCC (BMCC) เท่ากับ $83.37 \pm 1.48\%$, $4.50 \pm 0.5\%$ และ 0.47 ± 0.02 มม. ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางเคมีโดย FTIR ทั้งลักษณะและเคมีเซลลูโลสถูกกำจัดออกจาก BMCC โดยสมบูรณ์ ดังนั้นจึงปรับปรุงความเป็นผลึก (78 %) และความเสถียรทางความร้อน ($\approx 325^\circ\text{C}$) ของ BMCC การศึกษานี้ยังเปิดเผยว่า MCC ที่ผลิตจากไม้ไผ่ ศักดิ์สิทธิ์บาทลีแสดงให้เห็นถึงการเสริมแรงเชิงกลอย่างแข็งแกร่งในแผ่นฟิล์มจากสาหร่าย ดังนั้น ไม้ไผ่ ศักดิ์สิทธิ์บาทลี-MCC จึงสามารถใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิเมอร์ได้ [43]

Mario Guimarães Jr. และคณะ ศึกษาผลของการเพิ่มความเข้มข้นที่แตกต่างกันของเส้นใยไม้ไผ่นาโนต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และโครงสร้างของนาโนคอมโพสิตจากแข็งสำหรับหลังพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) นาโนคอมโพสิตถูกเตรียมด้วยส่วนผสมของแข็ง/PVA และนาโนไฟบริลของแข็งจากการเตรียมสารเคมีและการช็อกไฟฟ้าเชิงกลถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้นาโนไฟบริลส์ โดยเลือกส่วนผสมที่ประกอบด้วยแข็ง 3% และ PVA 4% ในสัดส่วน 20/80 (แข็ง/PVA) หลังจากการทดสอบเบื้องต้น กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนจากไม้ไผ่ โครงสร้างจุลภาคของนาโนคอมโพสิตได้รับการประเมินโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟร็กโทเมทรี (XRD) นอกจากนี้ยังมีการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ผลการศึกษาพบว่า การบำบัดเคมีเพิ่มปริมาณอัลฟาเซลลูโลสในเยื่อกระดาษฟอกขาวประมาณ 112% เมื่อเทียบกับเส้นใยพื้นเมือง การเพิ่มจำนวนทางเดินผ่านเครื่องช็อกไฟฟ้าเชิงกลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยนาโนไม้ไผ่ลดลง (จาก 82 ± 29 นาโนเมตร เป็น 10 ± 6 นาโนเมตร) การเติมเส้นใยนาโน 6.5% ช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวที่แตกของนาโนคอมโพสิตได้ 24 และ 51% ตามลำดับ แต่ลดโมดูลัสแรงดึงลง 40% เมื่อเทียบกับส่วนผสมควบคุม (ที่ไม่ได้เสริมแรง) นาโนไฟเบอร์ลดความโปร่งใสของฟิล์มนาโนคอมโพสิต ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและความสามารถในการละลายน้ำของนาโนคอมโพสิตที่มีปริมาณนาโนไฟบริลสูงลดลงถึง 20% และ 30% ตามลำดับเมื่อเทียบกับส่วนผสมควบคุม [44]

Pruttipong Pantamanatsopa และคณะ ได้ศึกษาผลกระทบของวิธีการรักษาด้วยกรดที่แตกต่างกันต่อลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของนาโนเซลลูโลสจากเศษไม้ไผ่ ด้วยเทคนิคการรักษาด้วยกรดที่ใช้ในการทดลองมีการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลเฟอร์ริกสำหรับ BBF-NCC และการละลายด้วยกรดซัลเฟอร์ริกสำหรับ BBF-AC ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพที่ทดลองประกอบด้วยโครงสร้างผลึก รูปร่างและความเสถียรโคโลอยด์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า BBF-NCC มีดัชนีความผลึกที่สูงกว่า (89.5%) เมื่อเปรียบเทียบกับ BBF-AC (35.4%) ความแตกต่างนี้ที่สำคัญในดัชนีความผลึกถูกกำหนดโดยการกำจัดส่วนที่เป็นอสัณฐานด้วยกรดไฮโดรไลซิสใน BBF-NCC ในขณะที่ดัชนีความผลึกต่ำใน BBF-AC เกิดจากการทำลายของส่วนที่มีลักษณะผลึกด้วยการการละลาย การวิเคราะห์ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (TEM) แสดงให้เห็นว่า BBF-NCC มีโครงสร้างเป็นรูปร่างของแท่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 10 นาโนเมตรและความยาวระหว่าง 50-100 นาโนเมตรในขณะที่ BBF-AC รวมเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มขนาดต่าง ๆ อีกทั้ง BBF-NCC แสดงความเสถียรโคโลอยด์ที่ดีกว่า BBF-AC เป็นชัดเจนในลักษณะของโพเทนเชียล ด้วยค่าโพเทนเชียลซึ่งเป็นเซตาโพเทนเชียลของ -30.93 mV สำหรับ BBF-NCC และ -19.73 mV สำหรับ BBF-AC ในทางเศรษฐกิจแล้วการรักษาด้วยกรดได้ส่งผลให้ค่าโพเทนเชียลของทั้ง BBF-NCC และ BBF-AC ปรับปรุงขึ้นโดยพื้นฐาน BBF-NCC และ BBF-AC อาจมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นตัวเสริมในไบโอคอมโพสิตหรือเป็นตัวถ่วงในการประยุกต์ใช้ในหลายๆ แขนง ความสำคัญอย่างยิ่งคือการวิจัยนี้เป็นการแปลงเศษไม้ เป็นเส้นใยนาโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นทางเลือกทางเศรษฐกิจที่ดีในการแก้ไขปัญหาของการจัดการขยะจากอุตสาหกรรมการผลิตเกี่ยวกับไม้ไผ่ [45]

Melissa B Agustin และคณะ ได้ศึกษาโดยเตรียมไบโอพลาสติคที่ใช้แบ่งเป็นเมทริกซ์และเซลลูโลสจาก CNC ของฝักข้าวเป็นวัสดุเสริม กระบวนการแยก CNC เป็นขั้นตอนดังนี้: การกำจัดลิกนิน, การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก, และการแยกด้วยการสั่นสะเทือนของคลื่นอัลตราโซนิก กระบวนการนี้ได้สร้าง CNCs รูปทรงที่สั้นและเกลียวบิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 10 ถึง 12 นาโนเมตร และดัชนีความเป็นผลึกอยู่ที่ 76.1% การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าแสงอินฟราเรดของเซลลูโลสนาโน ยืนยันรูปแบบการดูดซึมที่เป็นพิเศษของเซลลูโลสและการกำจัดซิลิกา ไบโอพลาสติคที่มีอัตราส่วนแบ่งต่อ CNC ที่แตกต่างกันได้รับการเตรียมโดยวิธีการหล่อและการระเหย การวิเคราะห์เทคนิค SEM ของฟิล์มแสดงการกระจายที่สม่ำเสมอของ CNC ในเมทริกซ์แบ่ง การทดสอบเชิงกลแสดงว่าทั้งความแข็งแรงและโมดูลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่ม CNC ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดน้อยลง การดูดซึมความชื้นของฟิล์มที่เสริมด้วย CNC ยังลดลง เป็นสัญญาณของการปรับปรุงความต้านทานต่อน้ำ อย่างไรก็ตาม ความเสถียรทางความร้อนของฟิล์มลดลงด้วยการเพิ่ม CNC ลงไป [46]

Mengjiao Yu และคณะ ได้ศึกษาเซลลูโลสนาโนคริสตัล (NCC) ในงานวิจัยนี้ NCC ถูกเตรียมจากเซลลูโลสที่มาจากเยื่อเซลลูโลสของไม้ โดยเซลลูโลสเมื่อผ่านการจัดเตรียมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และจากนั้นถูกกระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริก ประสิทธิภาพของการเตรียม NCC จากการสังเคราะห์กรดซัลฟิวริก และศึกษาเวลาการกระตุ้นโดยผลลัพธ์พบว่า ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกมีผลกระทบมากกว่าเวลาการกระตุ้นต่อปริมาณผลผลิตของ NCC ในเงื่อนไขที่อุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเป็น 48% น้ำหนักต่อน้ำหนัก และเวลาตอบสนองคือ 30 นาที ได้รับ NCC ที่มี

คุณภาพสูง ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ ความยาวของเซลลูโลสนาโนคริสตัลอยู่ในช่วง 200 ถึง 500 นาโนเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 20 นาโนเมตร อัตราผลิตคือ 15.67% และความเป็นผลึกเป็น 71.98% ซึ่งไม่เพียงแต่มีค่าสูงกว่าเซลลูโลสนาโนคริสตัลที่เตรียมจากวัสดุที่ไม่ใช่ไม้ แต่ยังมีค่าสูงกว่าเซลลูโลสนาโนคริสตัลของไม้ที่เตรียมโดยวิธีอื่น ๆ [47]

Bele'n Montero และคณะ ได้สนใจที่จะใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทนพอลิเมอร์ที่มีต้นทุนมาจากน้ำมัน ในที่นี่เป็นการใช้แป้งข้าวสาลีที่มีกลีเซอริน และเสริมด้วยเซลลูโลส นาโนคริสตัล (CNCs) เพื่อสร้างฟิล์มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อกระบวนการเสร็จสมบูรณ์ พบว่าการเพิ่ม CNCs ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (เพิ่มประมาณ 1000% ในโมดูลัส) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการมีปฏิกิริยาที่ดีระหว่างเซลลูโลส นาโนคริสตัล (CNCs) และเมทริกซ์ และการสร้างโครงสร้างแบบตาข่ายหรือร่างแหของเซลลูโลส สิ่งนี้ช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อความชื้นและคุณสมบัติการกันสารออกซิเจนและน้ำในฟิล์มไบโอนาโนคอมโพสิต เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นตาข่ายทำให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุล ซึ่งป้องกันการแพร่กระจายของก๊าซ นอกจากนี้ ความสามารถในการรับน้ำของฟิล์มจะไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มเซลลูโลส นาโนคริสตัล (CNCs) การปรับปรุงเหล่านี้ทำให้ฟิล์มเหล่านี้เหมาะสมที่จะใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อาหารในระยะเวลายาว [48]



บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

3.1 แผนการดำเนินงาน

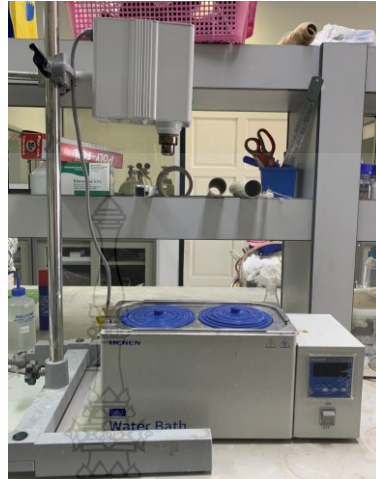
- 3.1.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 วางแผนการดำเนินงาน
- 3.1.3 จัดหาวัสดุและเครื่องมือในการทดลอง
- 3.1.4 เตรียมเส้นใย
- 3.1.5 วิเคราะห์เส้นใยไฟเบอร์ก่อนการทรีตเมนต์ หลังทรีตเมนต์ และเซลลูโลสจากเส้นใยไฟเบอร์
- 3.1.6 เตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาซเสริมแรงด้วยเซลลูโลสของเส้นใยไฟเบอร์
- 3.1.7 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล
- 3.1.8 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง
- 3.1.9 สรุปผลและจัดรูปเล่มรายงาน

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

- 3.2.1 วัสดุดิบและสารเคมี
 - 3.2.1.1 แป้งมันสำปะหลัง
 - 3.2.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
 - 3.2.1.3 ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2)
 - 3.2.1.4 เส้นใยไฟเบอร์ (Bamboo fiber)
 - 3.2.1.5 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)
 - 3.2.1.6 น้ำกลั่น (H_2O)
 - 3.2.1.7 กลีเซอรอล หรือกลีเซอริน (Glycerol or Glycerine)

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงาน

3.2.2.1 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

3.2.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

3.2.2.3 เครื่องปั่นเหวี่ยง



รูปที่ 3.3 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifugation)

3.2.2.4 ตู้อบ



รูปที่ 3.4 ตู้อบ

3.2.2.5 เครื่องบดละเอียด



รูปที่ 3.5 เครื่องบดละเอียด

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.3.1 เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy , FTIR)



รูปที่ 3.6 เครื่อง Fourier-Transform Infrared Spectroscopy

3.2.3.2 เครื่อง Durometer



รูปที่ 3.7 เครื่อง Durometer

3.2.3.3 เครื่อง Universal testing machine ทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM

D882



รูปที่ 3.8 เครื่อง Universal testing machine

3.2.3.4 เครื่องวิเคราะห์โดยนิวเคลียสแมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR)



รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์โดยนิวเคลียสแมกเนติกเรโซแนนซ์

3.2.3.5 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)



รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

3.3 การเตรียมเส้นใย

เส้นใยไผ่ที่นำมาใช้ในการทดลองจะต้องมีการนำมาต้มลงในสารละลายต่าง ๆ เพื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย เนื่องจากการใช้เส้นใยไผ่เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จะต้องมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเพื่อให้สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมันได้ดีขึ้น โดยจะมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 เตรียมเส้นใยให้ได้ปริมาณตามสูตร

3.3.2 ตัดเส้นใยให้มีขนาดเล็ก

3.3.3 นำเส้นใยไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 90 °C

3.3.4 นำเส้นใยที่ได้ไปต้มในโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2M ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำเปล่า

3.3.5 นำเส้นใยไปต้มในไฮโดรเจนออกไซด์ที่ความเข้มข้น 50% ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำเปล่า

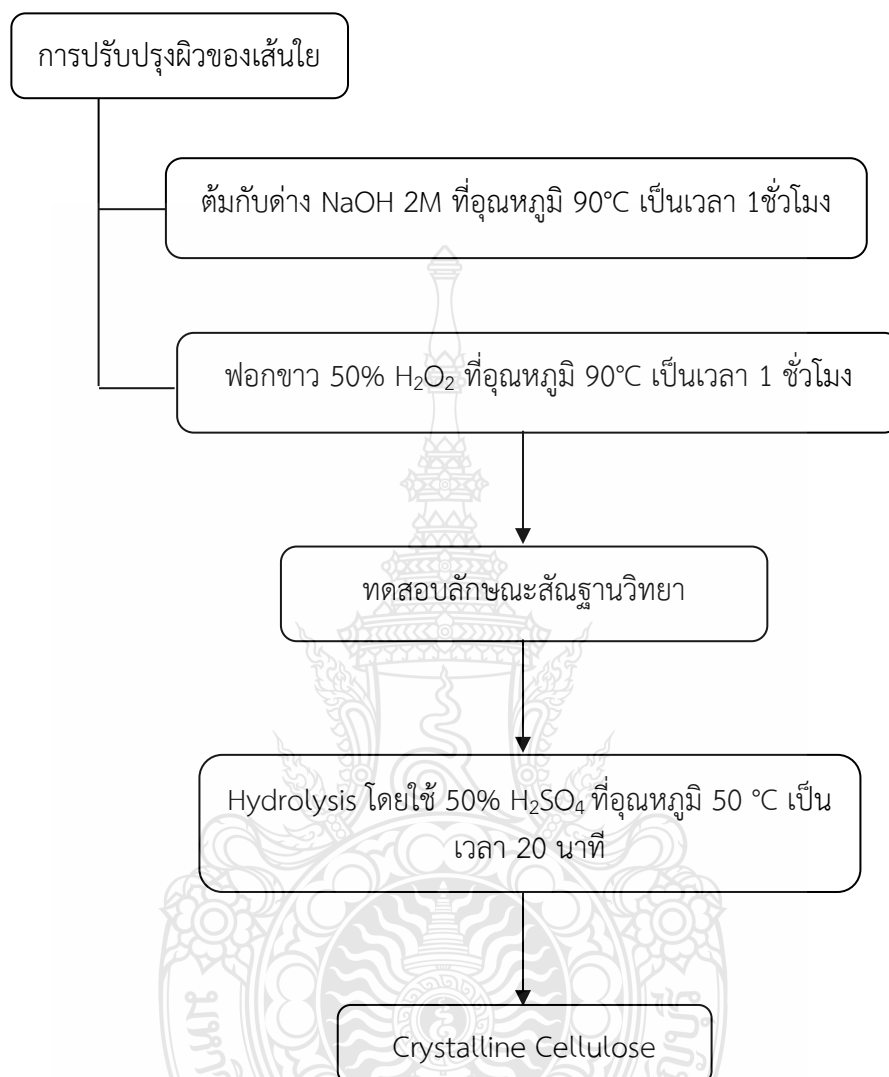
3.3.6 นำเส้นใยที่นำไปทดสอบแล้วมาทำกระบวนการ Hydrolysis โดยใช้ 50% H_2SO_4 ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 20 นาที

3.3.7 เมื่อได้สารละลายจากกระบวนการ Hydrolysis แล้วนำสารละลายที่ได้ ใส่ในหลอด 65 g และนำไป Centrifuge โดยตั้งอุณหภูมิ 10°C ความเร็วรอบ 9000 รอบ/นาที

3.3.8 เมื่อ Centrifuge เสร็จให้นำน้ำในหลอดใส่ขวดไปส่องแสงเครื่องวัดขนาดของอนุภาค ระดับนาโนจะได้ลักษณะเป็นริ้วคลื่น

3.3.9 จะได้สารละลายที่มีอนุภาคระดับนาโน จากนั้นนำไป Centrifuge ที่ 7 นาที จนกว่าตะกอนตกที่ก้นหลอดน้อยลง จะได้น้ำนาโนที่มีสีเข้มและทำการ Centrifuge ที่ 60 นาที จะได้นาโนที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

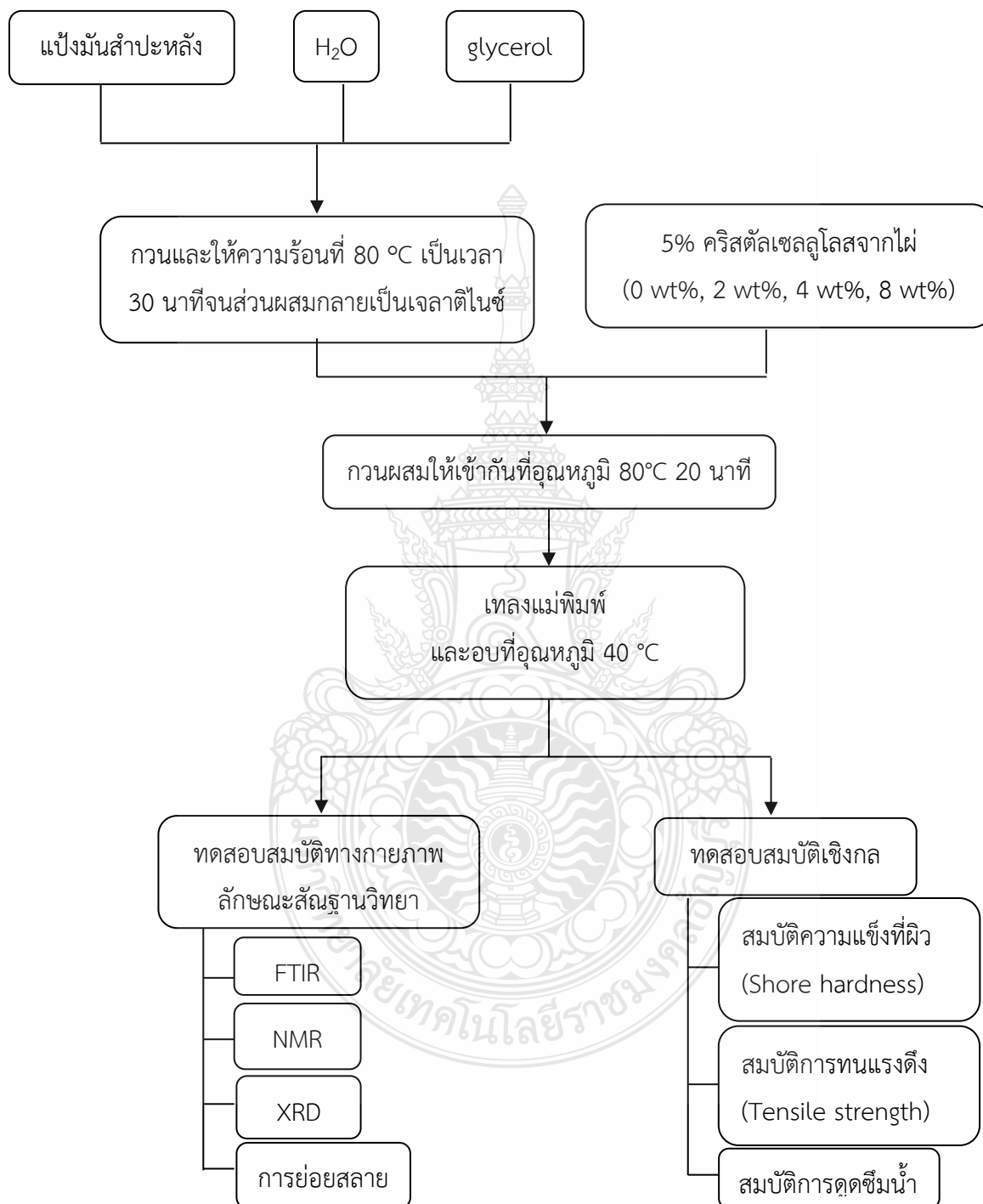
3.3.1 การเตรียมการปรับปรุงเส้นใย



รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการเตรียมการปรับปรุงเส้นใย

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.12 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.5 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เตรียมชิ้นงานในการวิเคราะห์สมบัติ ต่าง ๆ ต่อไป ด้วยการเตรียมแผ่นฟิล์มที่มีความหนาประมาณ 1 mm สามารถทำได้โดยเทใส่จานเพาะเชื้อ อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 48 hr

3.6 การทดสอบสมบัติ

3.6.1 การวิเคราะห์หมู่โครงสร้าง ด้วยเครื่อง FTIR

การทดสอบหาฟังก์ชันนอลกรุป ด้วยเครื่อง Perkin Elmer Frontier FTIR ด้วยการดูดกลืนแสงที่มีความถี่ 4000-650 cm^{-1} จำนวนสแกน 16 สแกน เป็นการทดสอบโดยอาศัยสมบัติการดูดซับความเข้ม ของแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ของหมู่ฟังก์ชันนอลกรุป (functional group) โดยจะแสดงผลระหว่างความเข้มของแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆกัน เทียบกับเวลา โดยวัดการดูดกลืนแสงที่มีความถี่ต่างๆ และอ่านค่ามาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ซึ่งสามารถเตรียมชิ้นงานแผ่นฟิล์มบางๆ ความหนาประมาณ 1 mm จากนั้นนำมาทดสอบด้วยเครื่อง FTIR

3.6.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

ความแข็ง Shore A และ Shore D เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวัดความแข็งของวัสดุอย่าง ยาง อีลาสโตเมอร์ และพลาสติกอ่อน ค่าความแข็ง Shore A นั้นใช้สำหรับวัสดุที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น เช่น ยางอ่อน ในขณะที่ค่าความแข็ง Shore D นั้นใช้สำหรับวัสดุที่มีความแข็งมากกว่า Shore A นั่นคือ ยางหรือพลาสติกที่แข็งกว่า การวัดความแข็ง Shore A หรือ Shore D สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Shore durometer โดยการวัดค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความยืดหยุ่นของวัสดุอาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา การวัดค่าความแข็งอาจจะถูกบันทึกพร้อมกับเวลาที่ดำเนินการการทดสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและแม่นยำในการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ

ตามมาตรฐาน ASTM D2240 การวัดความแข็งของพลาสติกชนิดเอ (Type A) ใช้ เครื่อง Durometer ซึ่งจะทำการวัดค่าความแข็งของวัตถุโดยใช้การกดเครื่องที่อุณหภูมิ (25 ±2) องศาเซลเซียสลงบนพื้นผิวของวัตถุ การวัดนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวัดความแข็งของยางและวัตถุอื่น ๆ ที่มีความยืดหยุ่น ค่าความแข็งทางด้านยางจะถูกบอกด้วยหน่วย Shore A ตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยมีการกำหนดค่าความแข็งของวัตถุในรูปแบบของค่าที่ได้จากการวัดด้วย Durometer การวัดความแข็งของวัตถุที่ใช้วัดด้วย Durometer ซึ่งใช้สเกล Shore A จะให้ค่าที่มีความเชื่อถือได้ในการประเมินความแข็งของวัตถุนั้น ๆ โดยค่าที่มากขึ้นจะแสดงถึงความแข็งของวัตถุที่มากขึ้นด้วยและค่าที่น้อยลงจะแสดงถึงความแข็งของวัตถุที่น้อยลงไป ซึ่งในข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานสากลของเครื่องวัดความแข็ง ชนิด Shore A แสดงดังตาราง

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานสากลของเครื่องวัดความแข็ง ชนิด Shore A

ชนิด	การใช้วัสดุ	มาตรฐาน	แรงสปริง นิวตัน (กรัม) ความแข็ง 0-100	ขนาดของหัวกด (ม.ม.) ขนาด/ ความสูง
A	สำหรับยาง ทั่วไป/วัสดุที่มี ความยืดหยุ่น	ASTM D 2240	0.550 – 8.050 N	ทรงรูปกรวยปลายตัดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 0.79 มม. ทำมุม 35 องศา/2.50 ± 0.04 มม.

(1) วิธีการทดสอบ

- เตรียมชิ้นงานทดสอบที่มีความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร
- กดหัวกดลงบนชิ้นทดสอบและต้องออกแรงกดให้มากพอที่จะทำให้ฐานของหัวกด แนบสนิทกับชิ้นทดสอบ
- เมื่อฐานของหัวกดแนบสนิทกับชิ้นทดสอบรอ 10 วินาที จึงอ่านค่าความแข็ง
- ทำการวัดความแข็งอย่างน้อย 10 จุดบนชิ้นทดสอบและคำนวณค่าเฉลี่ยที่วัดได้ จากการทดลอง

3.6.3 การทดสอบความต้านทานแรงดึง(Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยใช้เครื่อง universal testing machine

เป็นเครื่องทดสอบที่ทำงานโดยหลักการ Electromechanical ใช้สำหรับการตรวจวัดสมบัติทางกลของวัสดุทดสอบแรงดึง, แรงกด, แรงดัด,แรงเฉือน,การทดสอบแรงดึง-กดเป็นลำดับขั้น (Step test) การทดสอบแรงดึง-กดเป็นรอบ (Cycle test) งานโลหะเหล็ก, คอนกรีต, ผ้า, พลาสติก, ไม้ ฯลฯ ให้ค่าความแม่นยำซึ่งทำให้มีผลทางเศรษฐกิจมากขึ้น ซึ่งสามารถทดสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป กึ่งสำเร็จรูป และวัตถุดิบ NRI-TS501-300 เป็นเครื่องทดสอบอเนกประสงค์แบบตั้งพื้นใช้งานง่ายสะดวก ขนาดกะทัดรัด แข็งแกร่ง ใช้งานผู้ใช้สามารถโปรแกรมและควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ การทำงานและการเคลื่อนไหวยังมีประสิทธิภาพการควบคุมการทำงานและการหยุดด้วยสัญญาณไฟฟ้าและมีการเชื่อมสัญญาณข้อมูลการทดสอบสู่คอมพิวเตอร์จะวิเคราะห์และประมวลผลด้วยโปรแกรม NRI ที่พัฒนาขึ้นใช้เฉพาะกับเครื่อง NRI Universal Testing Machine และยังสามารถติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ เช่นเซ็นเซอร์, Extensometer ปากจับชิ้นทดสอบชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของชิ้นทดสอบ โปรแกรมทดสอบและประมวลผลสามารถติดตั้งตัววัดแรง (Load cell) ได้ไม่น้อยกว่า 4 ทดสอบและประมวลผลด้วยโปรแกรมผ่านทางระบบคอมพิวเตอร์สามารถแสดงค่าแรง ระยะดึง-กด และกราฟชนิด Real time ได้

ทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยตัดฟิล์มเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งกำหนดให้ ชิ้นงานมีความยาว 140 mm. และกว้าง 20 mm. จำนวน

10 ขึ้น วัดความหนาของแต่ละชิ้นงาน จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเบรคประสงค์โดยมีสถานะที่ทดสอบ ดังนี้

น้ำหนักสูงสุดในการรับแรง (Load cell) 100 นิวตัน

ระยะห่างของตัวจับชิ้นงาน (Gauge length) 25 มิลลิเมตร

ความเร็วในการดึง (Cross head speed) 100 mm/min

โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at brake) โดยสามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้ตามสมการที่ 1, 2 และ 3

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength : } \sigma) = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\text{ค่ามอดุลัส (Modulus : E)} = \text{ความเค้น (}\sigma\text{)}/\text{ความเครียด (}\epsilon\text{)} \quad (2)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด} = \left[\frac{L-L_0}{L_0} \right] \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

L คือ ระยะระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (mm.)

L_0 คือ ระยะระหว่างจุดสองจุดก่อนทำการดึงยึดชิ้นงาน (mm.)



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

3.6.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ตามมาตรฐาน ASTM D570-88

การทดสอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (Water absorption) เปอร์เซ็นต์การพองตัว (Thickness swelling) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D570-88 ชิ้นงานทดสอบ มีขนาด 10 mm x 20 mm x 6 mm ก่อนทดสอบนำชิ้นงานตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลที่มีความละเอียด 0.001 g และวัดขนาดความหนาด้วยเวอร์เนียดิจิตอลที่มีความละเอียด 0.01 mm หลังจากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 25°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้นำชิ้นงานตัวอย่างชั่งน้ำหนักและวัดขนาดความหนาอีกครั้งเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและ เปอร์เซ็นต์การพองตัว ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$\text{การดูดซับน้ำ (\%)} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักก่อนการแช่น้ำ (g)

W_2 คือ น้ำหนักหลังการแช่น้ำ (g)

$$\text{การพองตัว (\%)} = (t_2 - t_1) / t_1 \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ t_1 คือ ความหนาก่อนการแช่น้ำ (mm)

t_2 คือ ความหนาหลังการแช่น้ำ (mm)

3.6.5 การวิเคราะห์โดยนิวเคลียสมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสาร โดยการวัดระดับพลังงานที่แตกต่างกันของนิวเคลียสที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก วิธีการนี้มักใช้ในการศึกษาโครงสร้างของสารเคมี โดยมองเส้นสัมพันธ์ระหว่างความถี่หรือพลังงานของรังสีที่ถูกดัดกับความยาวคลื่นของนิวเคลียสที่มีการหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก นิวเคลียสที่มีการหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็กจะมีโมเมนต์แม่เหล็กของตัวเอง โดยอาศัยหลักที่ว่า เราสามารถสร้างภาพสองหรือสามมิติของวัตถุโดยการปรับเปลี่ยนสนามแม่เหล็ก NMR ที่ระดับความลึกต่างๆ กันของวัตถุ เหตุผลหนึ่งที่ทำให้เทคนิค MRI นิยมใช้อย่างกว้างขวางในวงการแพทย์ก็เพราะว่าเทคนิคนี้ใช้รังสีที่มีความถี่หรือพลังงานต่ำ นิวเคลียสของธาตุบางชนิดมีสมบัติของแม่เหล็ก เช่น ^1H , ^{13}C , ^{31}P , ^{195}Pt และ ^{103}Rh เนื่องจากมีประจุ และมีการหมุนอยู่ตลอดเวลา นิวเคลียสเหล่านี้จะมีโมเมนต์แม่เหล็กของตัวเอง (Nuclear magnetic moment) ซึ่งถ้านำไปวางในสนามแม่เหล็กจะเกิดการจัดตัวอย่างเป็นระเบียบในแนวเส้นแรง การจัดตัวของนิวเคลียสจะขึ้นอยู่กับพลังงาน นิวเคลียสที่มีพลังงานต่ำจะจัดตัวในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก และนิวเคลียสที่มีพลังงานสูงจะจัดตัวในทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็ก วิธีการนี้มีความสำคัญเนื่องจากสามารถสร้างภาพสองหรือสามมิติของวัตถุ

จำนวนของนิวเคลียสที่มีระดับพลังงานต่ำจะมากกว่านิวเคลียสที่มีระดับพลังงานสูงเล็กน้อยตามรูปแบบของการกระจายของ Boltzmann Distribution ดังนั้น ค่าโมเมนต์แม่เหล็กสุทธิจะมีทิศทางไปตามทิศของระดับพลังงานต่ำ ซึ่งก็คือทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก

3.6.6 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)

เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอ็กซ์ (X-ray) มาวิเคราะห์และระบุชนิดสารประกอบ โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative)

เทคนิคการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์นั้นใช้หลักการเกี่ยวกับการใช้รังสีเอ็กซ์เพื่อกระตุ้นชิ้นงานเพื่อเกิดการเลี้ยวเบน การสะท้อนที่เกิดขึ้นที่มุมต่าง ๆ ถูกวัดด้วยหัววัดสัญญาณเป็นตัวรับข้อมูล เมื่อรังสีเอ็กซ์ทำปฏิกิริยากับชิ้นงาน โครงสร้างและองค์ประกอบของสารจะเปลี่ยนแปลงตามองศาของการเลี้ยวเบน ที่มุมที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้าง รูปร่าง และลักษณะของสารนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จึงช่วยให้สามารถระบุชนิดของสารประกอบในตัวอย่างได้ และใช้ในการศึกษาโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้น ๆ นอกจากนี้ยังช่วยในการวิเคราะห์ปริมาณความเป็นผลึก ขนาด ความสมบูรณ์ และความเค้นของสารประกอบในตัวอย่าง และเมื่อผสมกับอุปกรณ์เสริม เช่น อุปกรณ์ที่ควบคุมอุณหภูมิ จะช่วยในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกในขณะทดสอบเปลี่ยนแปลงไป

3.6.7 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดิน (Soil Burial Test) ของฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพเตรียมชิ้นงานขนาด 30 x 50 ตารางมิลลิเมตร ความหนา 0.500 ± 0.015 มิลลิเมตร นำชิ้นงานไปบดความชื้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ การเตรียมดินจะผสมระหว่างดินสำหรับเพาะปลูกและดินปลูกในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำฟิล์มตัวอย่างลงในถุงตาข่ายที่ดิน และฝังชิ้นงานให้ลึกจากผิวดินประมาณ 25-30 เซนติเมตร กลบด้วยดินตัวอย่าง และรดน้ำผิวดินให้ชุ่มวันละ 1 ครั้ง และรักษาสภาพอุณหภูมิของดินบริเวณให้อยู่ในระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการติดตามการย่อยสลายทางชีวภาพตามระยะเวลา 3, 6, 9, 15, 30 และ 45 วัน นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบมาทำความสะอาดและอบไล่ความชื้นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

บทที่ 4

ผลการดำเนินการและการวิเคราะห์

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเส้นใยไผ่

4.1.1 ลักษณะของเส้นใยไผ่

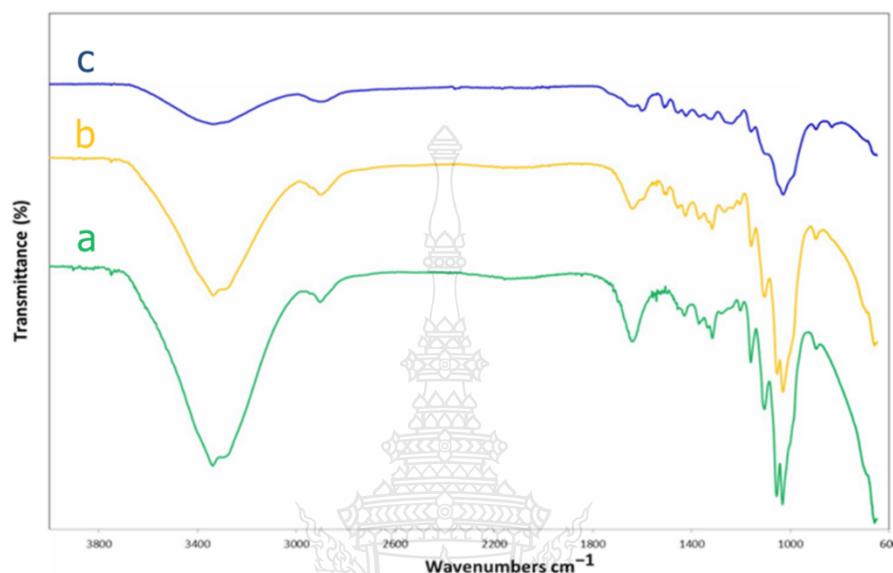


รูปที่ 4.1 ลักษณะของเส้นใยไผ่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว (a) , เส้นใยไผ่ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (b) และ เส้นใยไผ่ที่ผ่านการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (c)

จากรูปที่ 4.1 แสดงเส้นใยไผ่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว (a), เส้นใยไผ่ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (b) และเส้นใยไผ่ที่ผ่านการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (c) ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รูปที่ 4.1(a) เส้นใยไผ่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว จะมีลักษณะหยาบ ขรุขระ สีนํ้าตามเข้มน และมีความหนาที่มากกว่าเส้นใยตัวอื่น แต่เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยไผ่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังรูปที่ 4.1 (b) พบว่า พื้นผิวเส้นใยไผ่มีลักษณะเรียบขึ้น ขนาดลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงสีจากนํ้าตาลเข้มนเป็นสีนํ้าตาลที่อ่อนลง และเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.1 (c) ที่ทำการฟอกขาวเส้นใยไผ่ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สังเกตได้ว่าเส้นใยไผ่มีลักษณะขาวขึ้น และขนาดเล็กอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการนำเส้นใยไผ่มาปรับปรุงพื้นผิวด้วยต่างและทำการฟอกขาว สามารถกำจัดสิ่งสกปรกเจือปน ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสออกไปได้

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างและลักษณะสัณฐานวิทยาคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่

4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy , FTIR)



รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของเส้นใยไผ่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว (a), เส้นใยไผ่ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (b) และเส้นใยไผ่ที่ผ่านการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) (c)

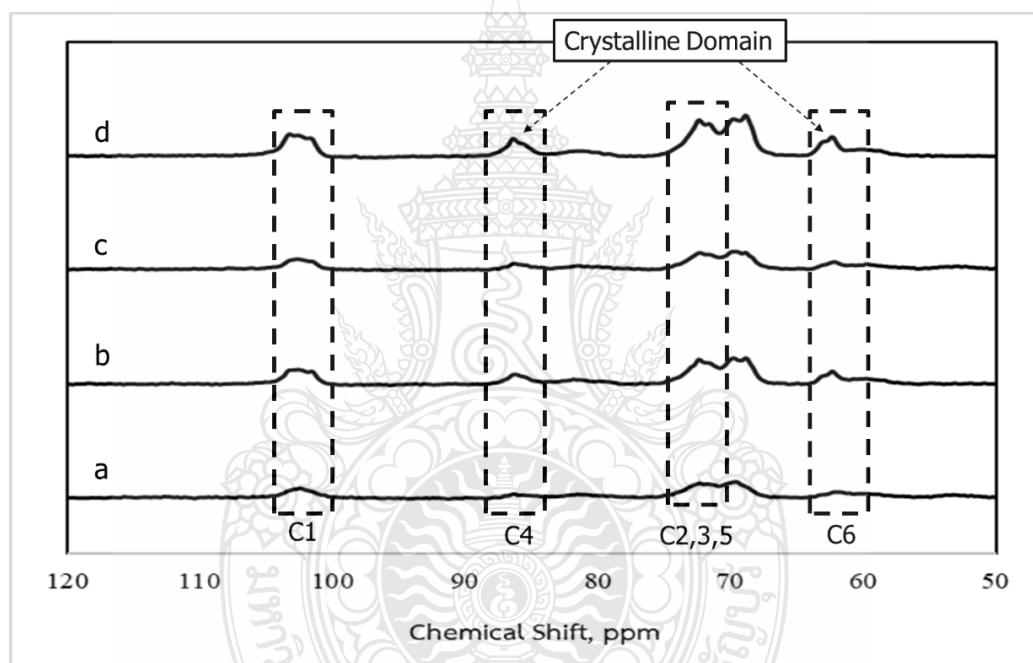
ตารางที่ 4.1 แสดงเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่

เลขคลื่น (cm ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน	
3400-3300	O-H	เซลลูโลส
2900	C-H	เซลลูโลส
1650-1550	C=C	เฮมิเซลลูโลส
1200-1300	C-O	ลิกนิน

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ด้วยเทคนิค FTIR ดังรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า เส้นใยไผ่ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว (a) จะพบการสั่นของพันธะ O-H ที่สัญญาณเลขคลื่น 3,431 cm⁻¹ และสัญญาณที่เลขคลื่น 2,925 cm⁻¹ ระบุ C-H ของกลุ่มเมทิลและเมทิลีนในเซลลูโลส นอกจากนี้ยังพบสัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ 1,254 cm⁻¹ สอดคล้องกับการสั่นของพันธะ C-O ซึ่งแสดง

ถึงการมีอยู่ของลิกนิน และสัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $1,641\text{ cm}^{-1}$ สอดคล้องกับการสั่นของพันธะ C=O ใน Acetyl groups ของเฮมิเซลลูโลส ในทำนองเดียวกันหลังจากทำการปรับปรุงเส้นใยไผ่ด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กลับไม่พบสัญญาณที่เลขคลื่น $1,254\text{ cm}^{-1}$ และ $1,641\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยไผ่สามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้อย่างมีนัยสำคัญ[43] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pruttipong Pantamanatsopa[45] และ Melissa B Agustin[46] นอกจากนี้การปรับปรุงเส้นใยด้วยไผ่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กำจัดสิ่งเจือปนอื่นๆ (รวมถึงเพคติน) และยังสามารถยืนยันการมีอยู่ของ เซลลูโลส ที่สัญญาณเลขคลื่น $3,431\text{ cm}^{-1}$ และสัญญาณที่เลขคลื่น $2,925\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 4.2 (C)

4.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของคริสตัลเซลลูโลสด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy: NMR)

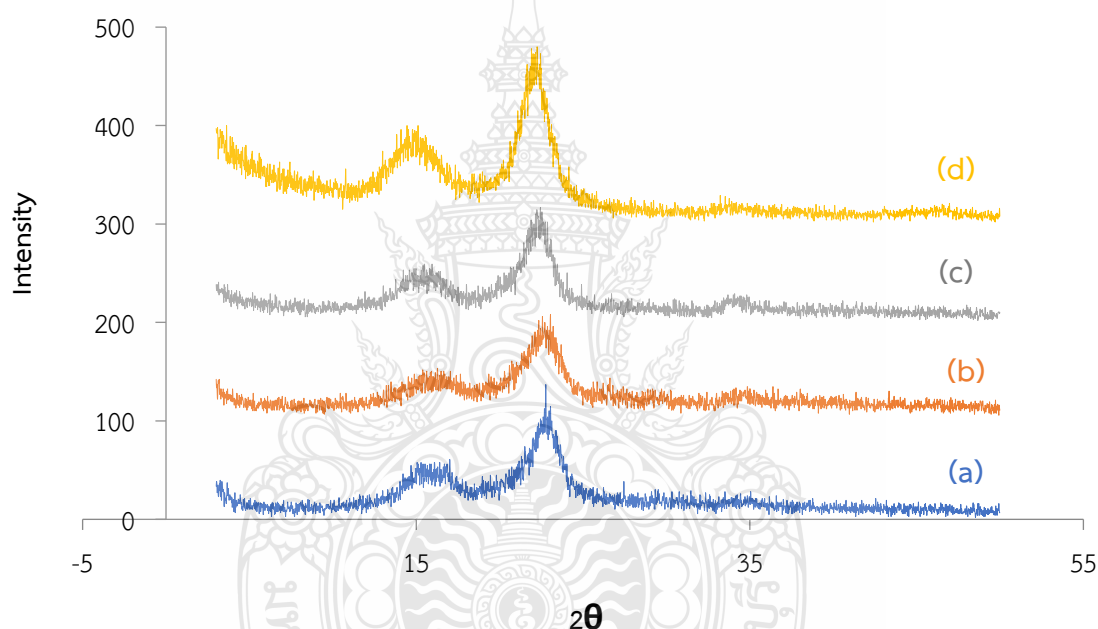


รูปที่ 4.3 วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค NMR ของเส้นใยไผ่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว(a), เส้นใยไผ่ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (b), เส้นใยไผ่ที่ผ่านการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (c) และเส้นใยไผ่ที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) (d)

จากการนำเส้นใยไผ่มาผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก จนได้เป็น CNC แล้วนำมาวิเคราะห์สเปกตรัม CP/MAS ^{13}C NMR ในรูปแบบ Solid State ของ CNC ดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่า CNC แสดงจุดสูงสุดหลักที่ 105 และ 85 ppm เป็นลักษณะของ C1 และ C4 จุดสูงสุดที่ 73.9 ppm เป็น

ลักษณะของ C2,3,5 และจุดสูงสุดที่ 63 ppm เป็นลักษณะของ C6 ซึ่งทั้งหมดมาจากเซลลูโลส I_b ผลการวิจัยชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเซลลูโลส CNC ไม่ได้เปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึกเซลลูโลสอื่นหลังจากการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dagang Liu [2] และหลังจากการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) ในรูปที่ 4.3(d) จะเห็นได้ว่าที่ C4 และ C6 มีพีคที่สูงขึ้นกว่าในรูปที่ 4.3 (a,b และ c) ซึ่งพีคดังกล่าวแสดงถึง Crystalline domain จึงกล่าวได้ว่าหลังการไฮโดรไลซิสด้วยกรด ส่งผลให้ CNC ที่ได้มีความเป็นผลึกเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Pruttipong Pantamanatsopa[45]

4.2.3 การวิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างผลึกของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffractometer, XRD)



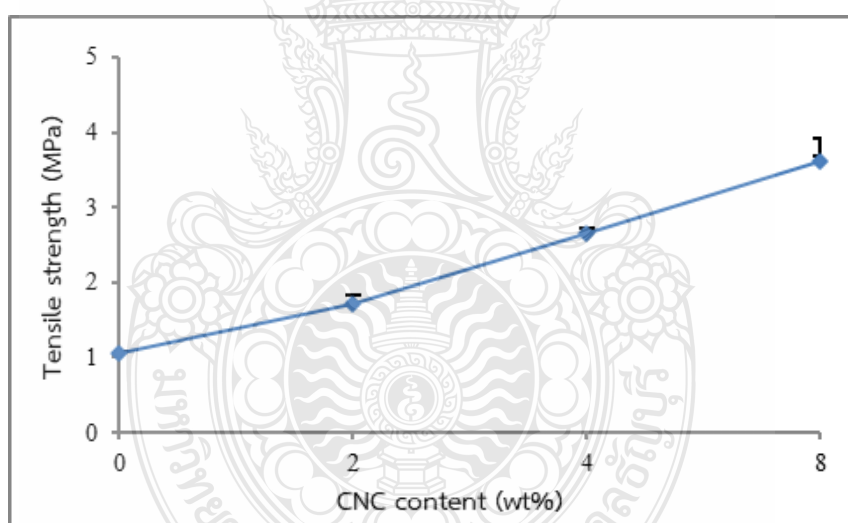
รูปที่ 4.4 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยไผ่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว(a), เส้นใยไผ่ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (b), เส้นใยไผ่ที่ผ่านการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) (c) และเส้นใยไผ่ที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) (d)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเส้นใยไผ่ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก โดยวิเคราะห์ผ่านเครื่อง XRD ซึ่งอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบตัวอย่าง และเกิดการหักเหของรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของตัวอย่างเท่ากับมุมของรังสีตกกระทบ ดังในรูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบ XRD ของเส้นใยไผ่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย

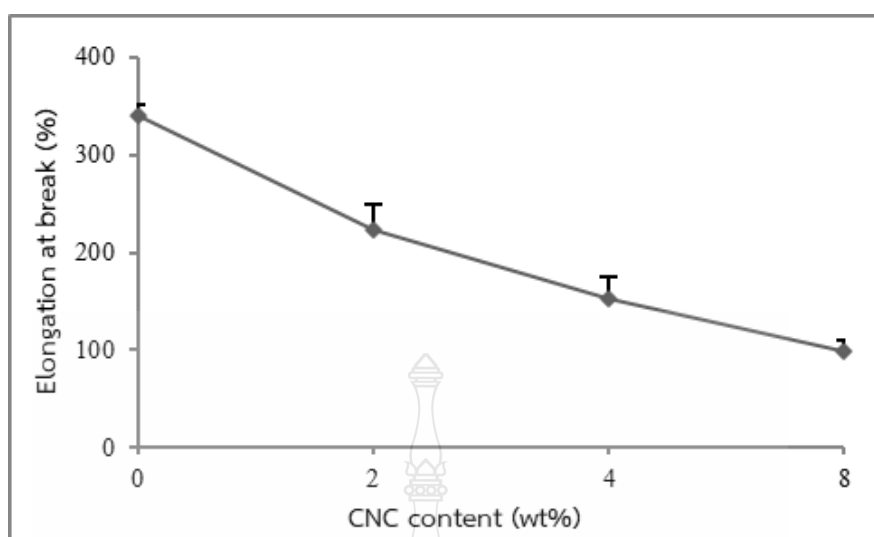
โซเดียมไฮดรอกไซด์ เส้นใยไฟเบอร์ผ่านการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเส้นใยไฟเบอร์ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก ค่าดัชนีความเป็นผลึกของตัวอย่างทั้งหมดถูกกำหนดโดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ค่าดัชนีผลึกเซลลูโลส (CrI) คำนวณจากรูปแบบ XRD และ Eq.1 โดยที่ CrI หมายถึงระดับสัมพัทธ์ของความเป็นผลึก I_{200} คือความเข้มสูงสุดของการเลี้ยวเบน 200 ตามที่ $2\theta = 22.01^\circ\text{C}$ และ I_{am} คือความเข้มของการเลี้ยวเบนที่ $2\theta = 18.03^\circ\text{C}$ I_{200} แสดงถึงทั้งบริเวณที่เป็นผลึกและอสัณฐาน ในขณะที่ I_{am} แสดงถึงเฉพาะส่วนอสัณฐานเท่านั้น ดัชนีความเป็นผลึกของเส้นใยไม้ไผ่ที่ไม่ผ่านการบำบัด เส้นใยไฟเบอร์ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เส้นใยไฟเบอร์ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเส้นใยไฟเบอร์ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 56.35, 67.15, 67.85 และ 75.72% ตามลำดับ[41] ซึ่งสรุปได้ว่าการไฮโดรไลซิสช่วยให้ค่าความเป็นผลึกสูงขึ้นกว่า 1.3 เท่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Melissa B Agustin[46] และ Mengjiao Yu [47]

4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของ bionanocomposites TPS/CNC

4.3.1 สมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break)



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength) ของ Bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%



รูปที่ 4.6 แสดงค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมด้วยแรงด้วย CNC ในปริมาณที่แตกต่างกัน แสดงค่าการทนแรงดึง (Tensile strength) และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break) ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มขึ้นของ CNC ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของ TPS เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเมื่อปริมาณ CNC เพิ่มขึ้นเป็น 8wt% ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 1.056 MPa เป็น 3.608 MPa โดยเพิ่มขึ้นเป็น 3.4 เท่าจากเดิม เนื่องจากตัว CNC มีจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงส่งผลให้มีความเป็นผลึกสูง และเมื่อนำไปเสริมแรงใน TPS ทำให้สามารถยืดเกาะและเกิดกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์ ส่งผลให้ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้น

แต่ในทางกลับกันเมื่อมีการเพิ่มปริมาณ CNC กลับส่งผลให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง โดยเมื่อปริมาณ CNC เพิ่มขึ้นเป็น 8wt% ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงอย่างมาก เนื่องจากความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้น และการยืดเกาะที่ต่ำระหว่าง CNC กับเมทริกซ์ โดย CNC ที่ถูกเติมเข้าไปจำกัดการเคลื่อนที่ของ TPS ขณะทำการทดสอบ ทำให้ความสามารถในการยืดตัวลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dagang Liu [2] และ Fauziah Md Yusofa [42]

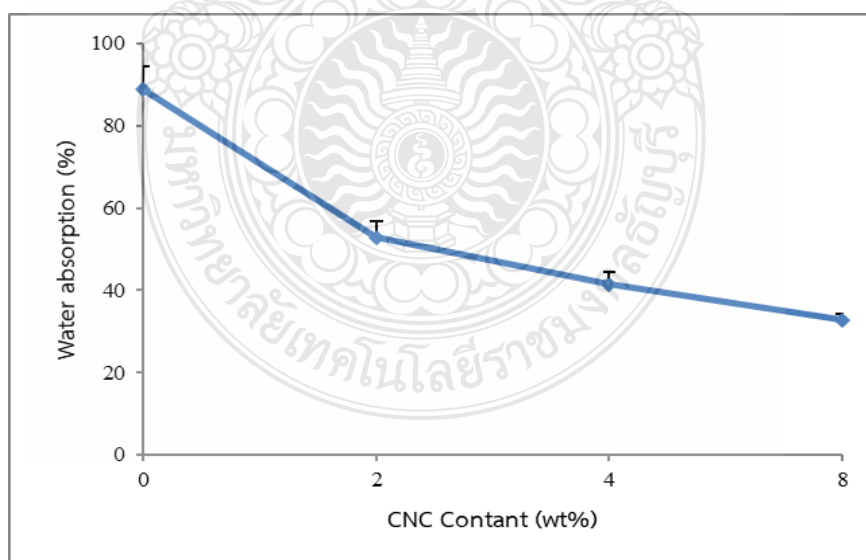
4.3.3 การทดสอบค่าความแข็ง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%

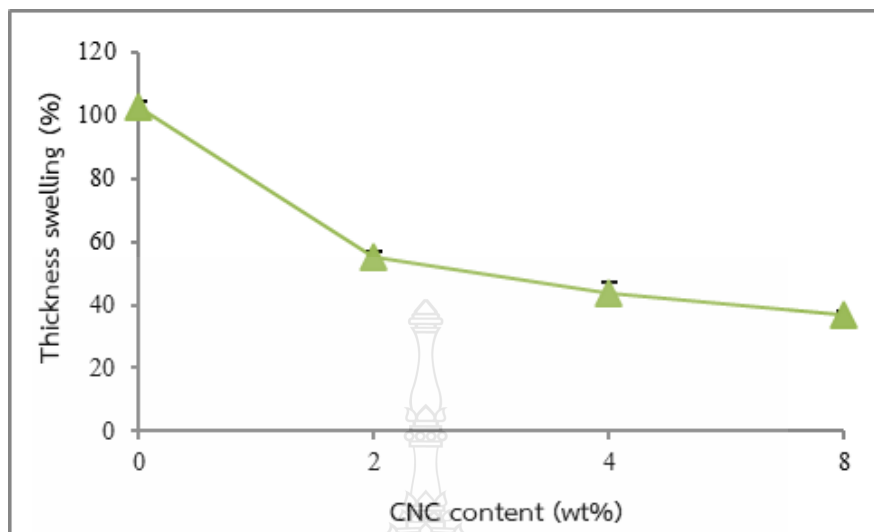
Sample	Hardness
TPS/CNC 0wt%	15.70
TPS/CNC 2wt%	21.67
TPS/CNC 4wt%	25.33
TPS/CNC 8wt%	28.67

จากการทดสอบค่าความแข็งโดยใช้เครื่อง Durometer สะท้อนให้เห็นดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าการเสริมแรงของ CNC ส่งผลต่อค่าความแข็งของ TPS โดยค่าความแข็งของ TPS/CNC bionanocomposite เพิ่มขึ้นจาก 15.70 เป็น 28.67 เมื่อมีการเพิ่ม CNC 8 wt% ซึ่งมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจาก TPS ที่ไม่ได้เติม CNC สูงถึง 1.8 เท่า เนื่องจาก CNC มีความเป็นผลึกสูง และกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์ เมื่อมีแรงมากระทำจึงกระจายตัวไปทั่วส่วนต่างๆ ของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานรองรับแรงที่กดลงมาได้ดี จึงส่งผลให้ค่าความแข็งของ TPS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

4.3.4 การสมบัติการดูดซึมน้ำ (Water absorption) และการบวมตัว (Thickness swelling)



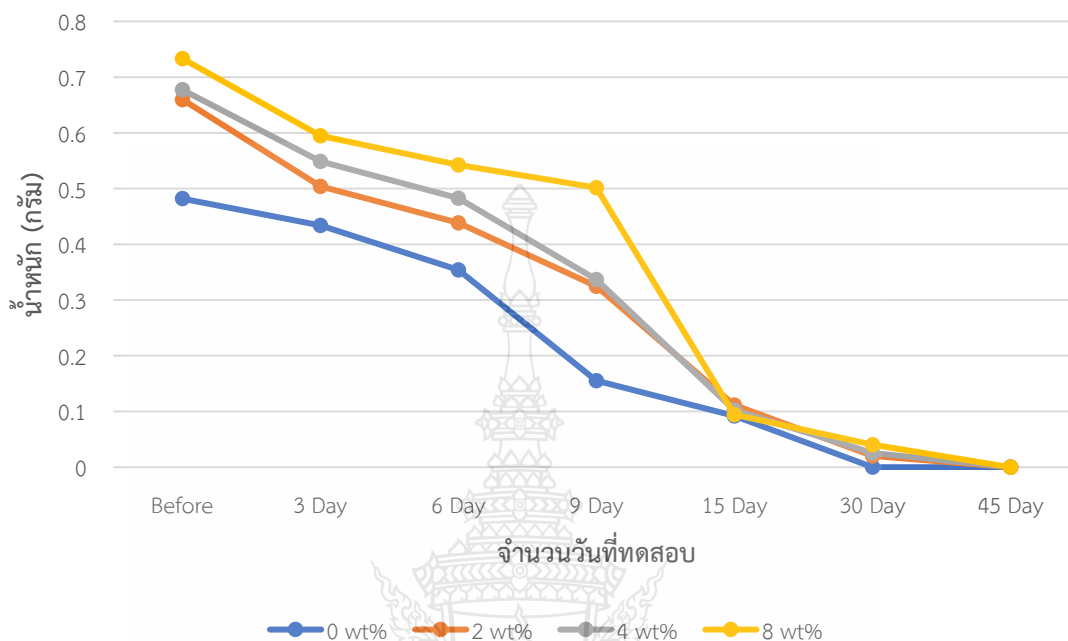
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%



รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการบวมตัวของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%

จากการนำ TPS/CNC bionanocomposites มาทดสอบการดูดซึมน้ำ แสดงผลดังรูปที่ 4.8 โดยสถานะสมดุลของตัวอย่างทั้งหมดอยู่ที่ 95% RH พบว่าเมื่อมีการเติม CNC เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้การดูดซึมน้ำของ TPS / CNC ลดลง และเมื่อเติมปริมาณ CNC อยู่ที่ 8wt% พบว่าการดูดซึมน้ำลดลงอย่างมาก อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกันกับการบวมตัวของ TPS/CNC bionanocomposites จะมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณของ CNC ในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเพิ่มขึ้น Bele'n Montero [48] กล่าวว่า การเพิ่มของ CNC ส่งผลให้เกิดความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำ เนื่องจากสาเหตุหลายประการ : ลักษณะที่มีความไฮโดรโฟบิกสูงขึ้น และความเป็นผลมาจาก CNC ที่เมื่อถูกเติมจะเข้าไปเป็นอุปสรรคและขัดขวางเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่ถูกสร้างขึ้นจากการแพร่ระหว่างโมเลกุลน้ำซึมซับภายในเมทริกซ์ รวมทั้งการบวมของแป้งถูกขัดขวางสำหรับการเปลี่ยนโครงสร้าง และการเพิ่มของ CNC ยังส่งผลให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลลดลง การแทรกตัวของน้ำในเมทริกซ์จึงเกิดขึ้นได้ยาก ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการบวมตัวของ TPS ลดลง เมื่อมีการเพิ่มของปริมาณ CNC ดังแสดงในรูปที่ 4.8

4.3.5 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังในดินศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดิน (Soil Burial Test)



รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%

จากการนำ TPS/CNC bionanocomposites มาทดสอบการย่อยสลาย ด้วยวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดิน (Soil Burial Test) ที่สภาวะอุณหภูมิ 25-30 °C ดังภาพที่ พบว่า การย่อยสลายของทั้ง 4 ตัวอย่างมีความใกล้เคียงกันมาก เมื่อทำการเติม CNC ส่งผลให้สมบัติการย่อยสลายของ TPS/CNC bionanocomposites ลดลงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อการทดสอบผ่านไป 30 วัน TPS/CNC 0wt%, 2wt%, 4wt% และ 8wt% จะสูญเสียน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 100%, 96.9%, 96.2% และ 94.5% ตามลำดับ และเมื่อการทดสอบผ่านไปครบ 45 วันพบว่า TPS/CNC bionanocomposites เกิดการย่อยสลายหมด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คล้ายกับรายงานของ Fauziah Md Yusofa [42] แสดงผลดังภาพที่ 4.9

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างและสมบัติของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ เพื่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์รักษ์โลกจากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ โดยการนำเส้นใยไผ่มาผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และนำมาพอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) แล้วนำมาทำการไฮโดรไลซิสโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) จากนั้นนำไป Centrifuge โดยตั้งอุณหภูมิ $10^{\circ}C$ ความเร็วรอบ 9000 รอบ/นาที 7 นาที จนกว่า ตะกอนตกที่ก้นหลอดน้อยลง จะได้น้ำนาโนที่มีสีเข้มและทำการ Centrifuge ที่ 60 นาที จะได้คริสตัลเซลลูโลสระดับนาโน (CNC) ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และนำ CNC ที่ได้ไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา พบว่า การนำเส้นใยไผ่มาปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และพอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แล้วนำไปไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกสามารถกำจัดโมเลกุลของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกไปได้ รวมไปถึงสิ่งเจือปนอื่นๆ (เพคติน) และจากการวิเคราะห์ผ่านเทคนิค FTIR, NMR และ XRD ยืนยันว่า คริสตัลเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณเซลลูโลส และความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความเป็นผลึกสูงขึ้นจากเดิมถึง 1.3 เท่า

โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการนำคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ไปผสมกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชโดยใช้แป้งมันสำปะหลัง และมีกลีเซอรอลเป็นตัวพลาสติกไซเซอร์ โดยทำการเตรียมขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่ความหนาประมาณ 1 mm สามารถทำได้โดยเทใส่จานเพาะเชื้อ อบให้แห้งที่อุณหภูมิ $40^{\circ}C$ เป็นเวลา 48 hr จากนั้นนำมาทดสอบทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ พบว่าปริมาณของคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่ มีผลต่อสมบัติเชิงกลและทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช กล่าวคือเมื่อปริมาณคริสตัลเซลลูโลสจากเส้นใยไผ่เพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงและความแข็งของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยคริสตัลเซลลูโลส จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันการยึดตัวที่จุดขาด เนื่องจากความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้น และการยึดเกาะที่ดีระหว่าง CNC กับเมทริกซ์ โดย CNC ที่ถูกเติมเข้าไปขัดขวางเคลื่อนที่ของโมเลกุล ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ยังส่งผลให้สมบัติการดูดซึมน้ำ สมบัติการบวมตัวมีค่าลดลงอีกด้วย และสมบัติการย่อยสลายมีค่าลดลงไม่ต่างกันมากนัก เมื่อครบ 45 วัน TPS/CNC จะเกิดการย่อยสลายหมด ด้วยคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพที่ดี แสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อาหารแห้งที่ย่อยสลายตามธรรมชาติได้ และยังสามารถต่อยอด และพัฒนาภาคอุตสาหกรรมต่อไปได้ นอกจากนี้ยังเป็นเพิ่มมูลค่าให้เศษไผ่เหลือทิ้งได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการเคลือบผิว ประเภท food grade เพื่อนำมาต่อยอดในการวิจัย

5.2.2 ศึกษาการทดสอบการบิดรูป การรักษารูปร่าง การคงรูปที่อุณหภูมิสูง เพื่อสามารถต่อยอด และพัฒนาภาคอุตสาหกรรมต่อไปได้

5.2.3 ควรมีการทดสอบความทนทานต่อการฉีกขาด คุณสมบัติทางความร้อน และความคงทนในการใช้



บรรณานุกรม

- [1] S. Silviana and H. Hadiyanto. (2017). "Preparation of Sago Starch-Based Biocomposite Reinforced Microfibrillated Cellulose of Bamboo Assisted by Mechanical Treatment." AIP Conf. Proc. 1855 : 030024-1–030024-5.
- [2] Dagang Liu, Tuhua Zhong, Peter R. Chang, Kaifu Li , Qinglin Wu. (2010). "Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals." Bioresource Technology 101 : 2529–2536.
- [3] รังรอง ยก้าน. (2557). "พลาสติกชีวฐาน : โครงสร้าง สมบัติ การแปรรูป และการใช้ประโยชน์." กรุงเทพมหานคร: บริษัท Asia Digital การพิมพ์ จำกัด.
- [4] รัฐพงษ์ มีทรัพย์ทอง. (2563). ผลของการใช้เอนไซม์ไซลาลเนสร่วมในการปรับสภาพต่อการผลิตนาโนเซลลูโลสจากอ้อยพลังงาน. (บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- [5] ธนาวดี ลีจากภัย และโยชิตา ฤตกิจ. (2549). "บรรจุภัณฑ์จากแป้งย่อยสลายได้," ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- [6] สุรภิตตี ก่ำแพงแก้ว. (2558). พฤติกรรมการคืบของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีปริมาณพลาสติกไฮเซอรและเส้นใยเซลลูโลสระดับนาโน (CNF) ที่แตกต่างกัน. (บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปกร).
- [7] Dang, Khanh Minh, and Rangrong Yoksan. (2015). "Development of thermoplastic starch blown film by incorporating plasticized chitosan." Carbohydrate polymers 115 : 575-581.
- [8] รังรอง ยก้าน, น้ำฝน ลำดับวงศ์, อำพร เสน่ห์ และชนิษฐา วัชรภรณ์. (ม.ป.ป.). พลาสติกฐานชีวภาพ, (ออนไลน์). เข้าถึงจาก : http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/52/03-foods/rungrong/food_00.html. (20 กันยายน 2564).
- [9] ไพโรจน์ ใบตาเฮ. (2555). การปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการดูดซับของเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้งโดยใช้อนุพันธ์ของเอไมด์. (บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปกร).
- [10] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (ม.ป.ป.). เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช, (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20180624234022u.pdf. (20 กันยายน 2564).
- [11] Djalal Trache, M. Hazwan Hussin, Caryn Tan Hui Chuin, Sumiyyah Sabar, M.R. Nurul Fazita, Owolabi F.A. Taiwo, T.M. Hassan, and M.K. Mohamad Haafiz. (2016). "Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application—A review." International Journal of Biological Macromolecules 93 : 789–804.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] Peter J. Halley, Rowan W. Truss, Martin G. Markotsis, Celine Chaleat, Melissa Russo, Anna Lisa Sargent, Ihwa Tan, and Peter A. Sopade. (2007). "A Review of Biodegradable Thermoplastic Starch Polymers." ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC.
- [13] พิมพ์นิภา กันหาตง, ชัยยศ จันทรแก้ว และฉัตรชัยชญาณ์ โชติชญาณ์พงษ์. (2563). "ฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพแป้งมันสำปะหลังเทอร์โมพลาสติก/ผักตบชวาที่เพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน," วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , ปีที่ 30, ฉบับที่ 1, หน้า 104–117.
- [14] อธิภัทร สุภานิล. (2555). การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิแลคติกแอซิด ที่มีผ้าทอจากใยเส้นธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรง. (บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปกร).
- [15] ไฟ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : file:///C:/Users/UserPc/Downloads/frc,%7B\$userGroup%7D,%E0%B8%9A%E0%B8%9714+(176-184)+%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%89%E0%B9%84%E0%B8%82.pdf. (10 ตุลาคม 2564).
- [16] พงาม บุปผาไชย, ชิลิกา วรณจันทร และพิสิฐ บัญไชย. (2558). "ผ้าใยไม้และผ้าฝ้าย : การวิจัยปฏิบัติการเปรียบเทียบความคงทน ของกระบวนการพอกย้อมสีครามธรรมชาติเชิงเศรษฐกิจ สร้างสรรค์ของชุมชน," รมยสาร, ปีที่ 13, ฉบับที่ 1.
- [17] เบญจวรรณ ชิวปรีชา, ชัยมงคล คงภักดี และเกศราภรณ์ จันทรประเสริฐ. (2558). ความหลากหลาย จุลลักษณะ และคุณสมบัติบางประการของไม้ไผ่ในจังหวัดสระแก้วและจังหวัดปราจีนบุรี. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [18] พรรณนิภา เขาวน และกิตติศักดิ์ จินดาวงศ์. (2566). ความผันแปรของสมบัติของลำไผ่สามชนิด ซึ่งปลูกในพื้นที่มูลนิธิโครงการหลวง. มูลนิธิโครงการหลวง.
- [19] เส้นใยไฟ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://m.th.mdcompostable.com/news/what-is-bamboo-fiber-20565502.html>. (10 ตุลาคม 2564).
- [20] เส้นใยไฟ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : file:///C:/Users/UserPc/Downloads/thana_2013,%7B\$userGroup%7D,+6+251859-edited.pdf. (10 ตุลาคม 2564).
- [21] เส้นใยไฟ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://j.cit.kmutnb.ac.th/storage/attachments/019/2-9.pdf>. (10 ตุลาคม 2564).
- [22] บ้านจอมยุทธ. (ม.ป.ป.). คุณสมบัติของไฟ, (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : https://www.baanjom-yut.com/library_2/extension-2/bamboo/02.html. (10 ตุลาคม 2564).
- [23] O. Faruk, A. K. Bledzki, H.-P. Fink, and M. Sain. (2012). "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010," Progress in Polymer Science, vol. 37, no. 11 : 1552–1596.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [24] Abilash N. and Sivapragash M. (2013). "Environmental benefits of eco-friendly natural fiber reinforced polymeric composite materials," International Journal of application or innovation in Engineering and management (IJAEM), ISSN 2319-4847, Vol.2 (1) : 53-59.
- [25] วันดี ธรรมจาร. (2013). "การดัดแปรพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ," ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, February-March 2013, Vol.39 No.227.
- [26] อำนาจ อิมเจริญ, พิชัย อัมมมงคล และสินชัย ชินวรรัตน์. (2559). "การทบทวนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดชีวมวลโดยการปรับสภาพจากการเปิดด้วยไอน้ำ," วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1.
- [27] กษิตัส รัตนภรณ์. (2562). "การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อการผลิตเส้นด้าย," คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [28] สมจิตต์ บวรวัฒนาโสภณ และวรรณภา ตันยั้งยงค์. (2544). "สารฟอกขาว (Bleaching)," วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, ปีที่ 49, ฉบับที่ 157.
- [29] เซลลูโลส. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.cmruir.cmru.ac.th/bitstream/123456789/662/5/Chapter-2.pdf>. (10 ตุลาคม 2564).
- [30] ศุภวิ สุริยพรรณพงศ์, ศุภิมิน ตันวิเชียร, จิตติมา มานะกิจ และดวงรัตน์ ชูวิสิฐกุล. ม.ป.ป. "การสกัดและประเมินคุณลักษณะของเซลลูโลสจากขาน้อย ผักตบชวา และรูปฤๅษี," คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [31] ธัญญ์ณลิน วิญญูประสิทธิ์, ยุราพร สหัสกุล และน้ำผึ้ง รุ่งเรือง. (2560). "นาโนเซลลูโลส : การประยุกต์ใช้ในอาหารและความปลอดภัยอาหาร," วารสารพิษวิทยาไทย 2560 ; 32(1) : 67-79.
- [32] สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร. (2557). "การสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากกากมะพร้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถลายเทมมวลสารระหว่างการทอด." มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [33] เซลลูโลส. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : https://bioinnovationlinkage.oie.go.th/a_AttachSupplyChain/SC1_5_20220727_120814_1.pdf. (10 ตุลาคม 2564).
- [34] นาโนเซลลูโลส. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : [file:///C:/Users/UserPc/Downloads/thaijtox,+67-80-rv%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/UserPc/Downloads/thaijtox,+67-80-rv%20(1).pdf). (10 ตุลาคม 2564).
- [35] สุทธิณี สีสั่งข์. (2563). "คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ," กลุ่มวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง.
- [36] แป้งมันสำปะหลัง. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/>. (10 ตุลาคม 2564).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [37] องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/7717/8/Chapter4.pdf>. (10 ตุลาคม 2564).
- [38] ภิเชก รุ่งโรจน์ชยพร. (2557). “กลีเซอรอล : การใช้ประโยชน์ เพื่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจน,” วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ; (23)2.
- [39] Klanwan, Y. (2014). “Effect of plasticizer and kraft lignin addition on defatted rice bran-based bioplastic.” Master’s thesis, Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [40] ศศิประภา ปิติภัทรวรโชติ และ บัณฑิต พวงศิลป์. ม.ม.ป. “อิทธิพลของกลีเซอรอลต่อสมบัติทางกายภาพและความร้อนของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง.” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55 ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [41] Milene M. E. Costa, Santino L. S. Melo, João Victor M. Santos, Eduardo A. Araújo, George P. Cunha, Enio P. Deus and Nicolas Schmitt. (2017). “Influence of physical and chemical treatments on the mechanical properties of bamboo fibers.” *Procedia Engineering* 200 : 457–464.
- [42] Fauziah Md Yusof, Nor ‘Aini Wahab, Noor Leha Abdul Rahman, Anizah Kalam , Aidah Jumahat and Che Faridah Mat Taib. (2019). “Properties of treated bamboo fiber reinforced tapioca starch biodegradable composite.” *Materials Today: Proceedings* 16 : 2367–2373.
- [43] Abdul Khalil H. P. S, Tze Kiat Lai, Ying Ying Tye, M. T. Paridah, M. R. Nurul Fazita, A. Azniwati, Rudi Dungani, and Samsul Riza. (2018). “Preparation and Characterization of Microcrystalline Cellulose from Sacred Bali Bamboo as Reinforcing Filler in Seaweed-based Composite Film.” *Fibers and Polymers* 2018, Vol.19, No.2 : 423-434.
- [44] Mario Guimarães Jr, Vagner Roberto Botaro, Kátia Monteiro Novack, Fábio Gomes Teixeira and Gustavo Henrique Denzin Tonoli. (2015). “Starch/PVA-based nanocomposites reinforced with bamboo nanofibrils.” *Industrial Crops and Products* 70 : 72–83.
- [45] Pruttipong Pantamanatsopa, Warunee Ariyawiriyanan, Kullawadee Sungsanit and Sanong Ekgasit. (2023). “Physicochemical Characterization of Acid-Treated Nanocrystal Cellulose and Amorphous Cellulose from Bamboo Sawdust.” *JOURNAL OF NATURAL FIBERS*, Vol. 20, No. 2, 2286323.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [46] Melissa B Agustin, Bashir Ahmmad, Shanna Marie M Alonzo and Famille M Patriana. (2014). “Bioplastic based on starch and cellulose nanocrystals from rice straw.” *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 1–9.
- [47] Mengjiao Yu, Rendang Yang, Lianghai Huang, Xiaodong Cao, Fei Yang and Detao Liu. (2012). “PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF BAMBOO NANOCRYSTALLINE CELLULOSE.” *BioResources*, Vol.7, No.2 : 1802-1812.
- [48] Belén Montero, Maite Rico, Luis Barral, Rebeca Bouza, Joaquín Lo´pez, Anja Schmidt and Birgit Bittmann-Hennes. (2021). “Preparation and characterization of bionanocomposite films based on wheat starch and reinforced with cellulose nanocrystals.” *Springer*, Vol.28 : 7781–7793.

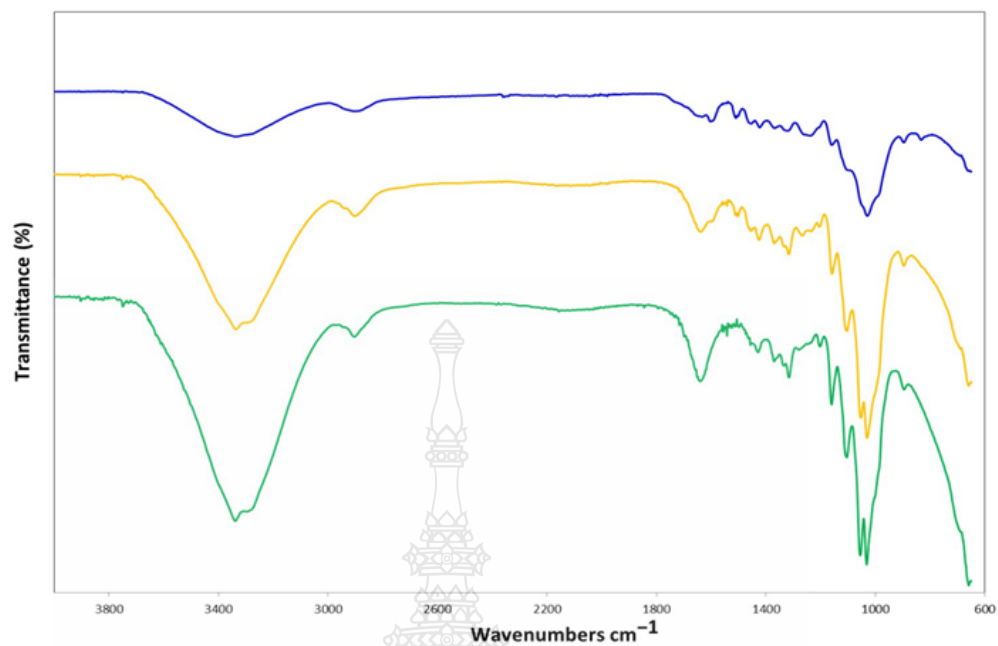


ภาคผนวก

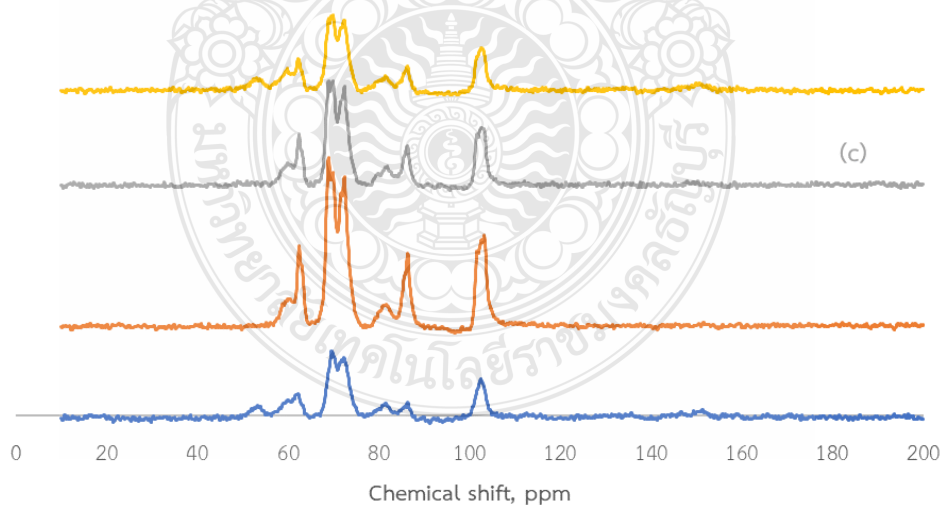


ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดสอบสมบัติทางกายภาพลักษณะฐานวิทยา
และสมบัติเชิงกล

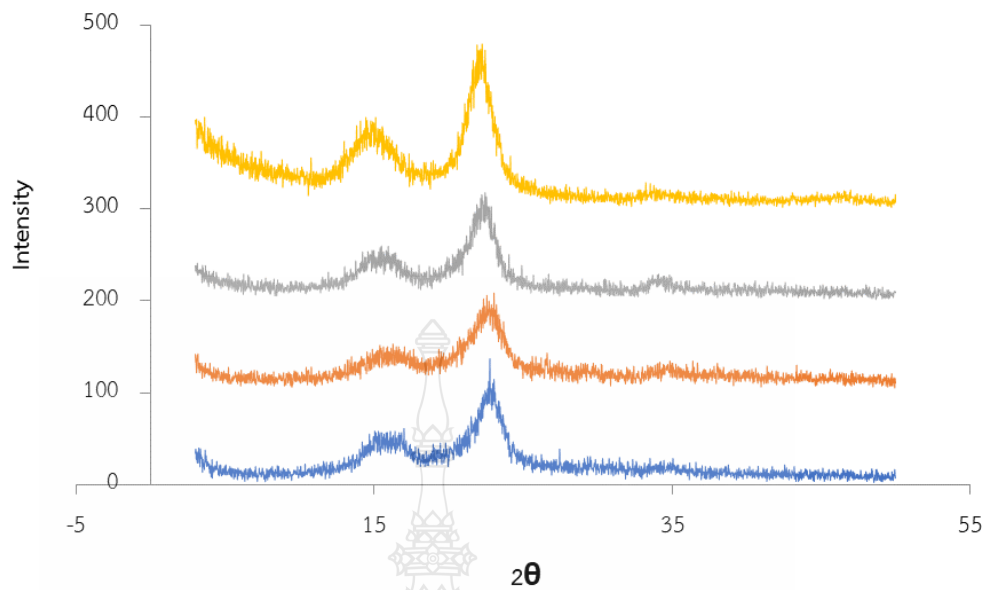




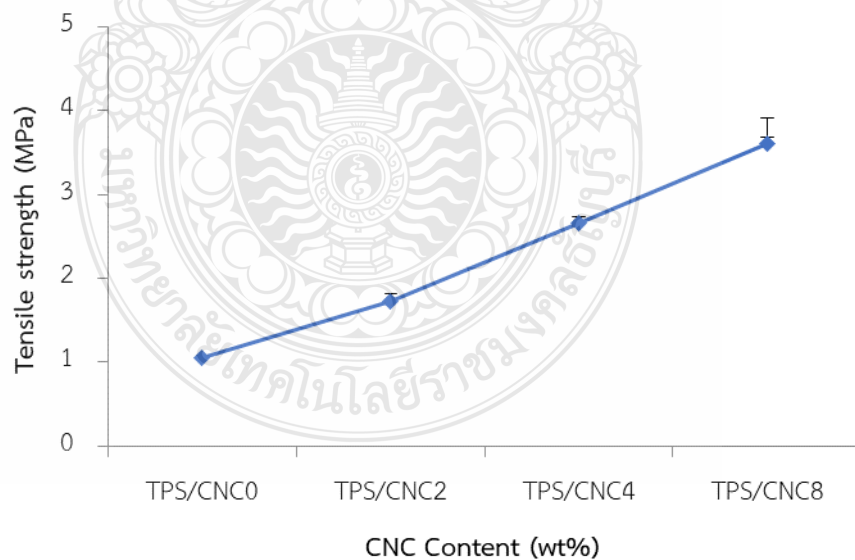
รูปที่ ก.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยไหมไม่ผ่านการปรับปรุงผิว(a) , เส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH(b) และเส้นใยไหมที่ผ่านการฟอกขาวด้วย H_2O_2 (c)



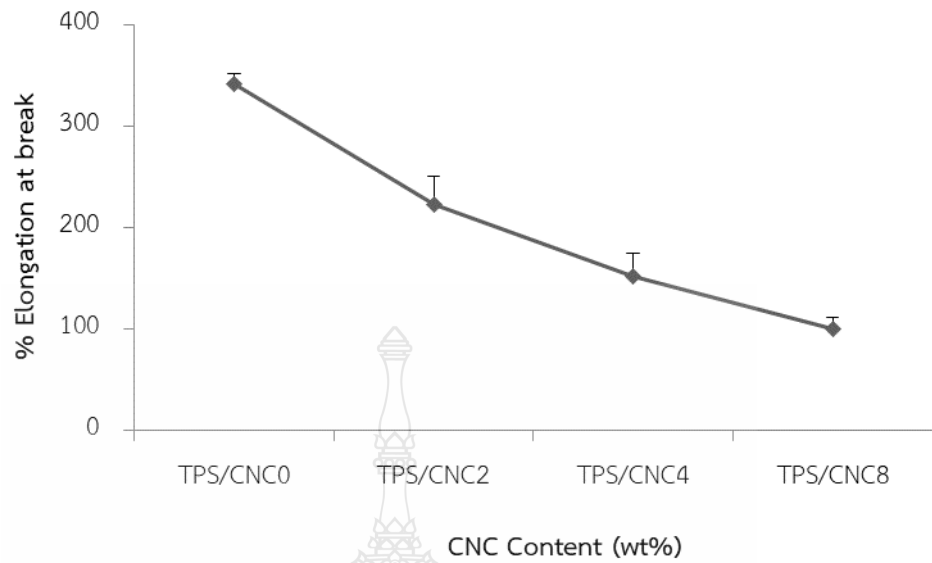
รูปที่ ก.2 วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค NMR ของเส้นใยไหมไม่ผ่านการปรับปรุงผิว(a), เส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH (b), เส้นใยไหมที่ผ่านการฟอกขาวด้วย H_2O_2 (c) และเส้นใยไหมที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วย H_2SO_4 (d)



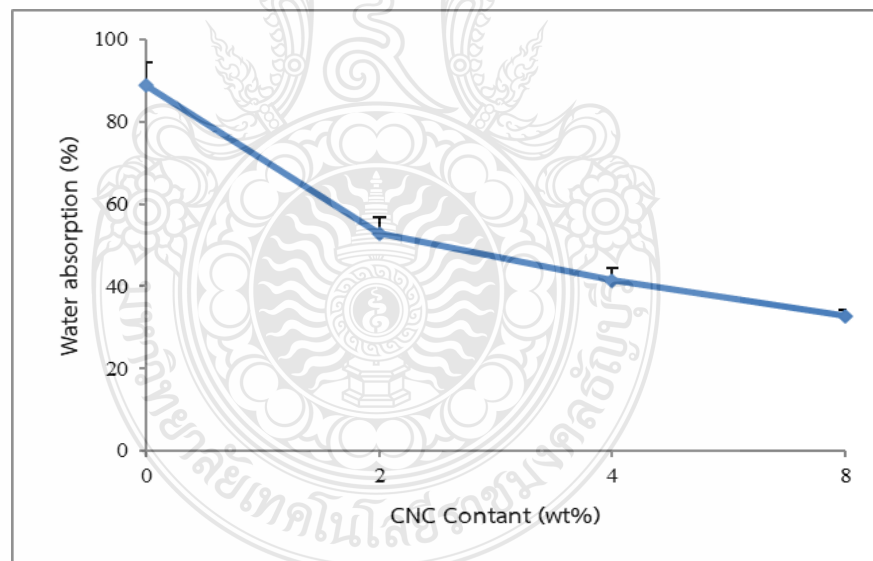
รูปที่ ก.3 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยไผ่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว(a), เส้นใยไผ่ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH (b), เส้นใยไผ่ที่ผ่านการฟอกขาวด้วย H_2O_2 (c) และเส้นใยไผ่ที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วย H_2SO_4 (d)



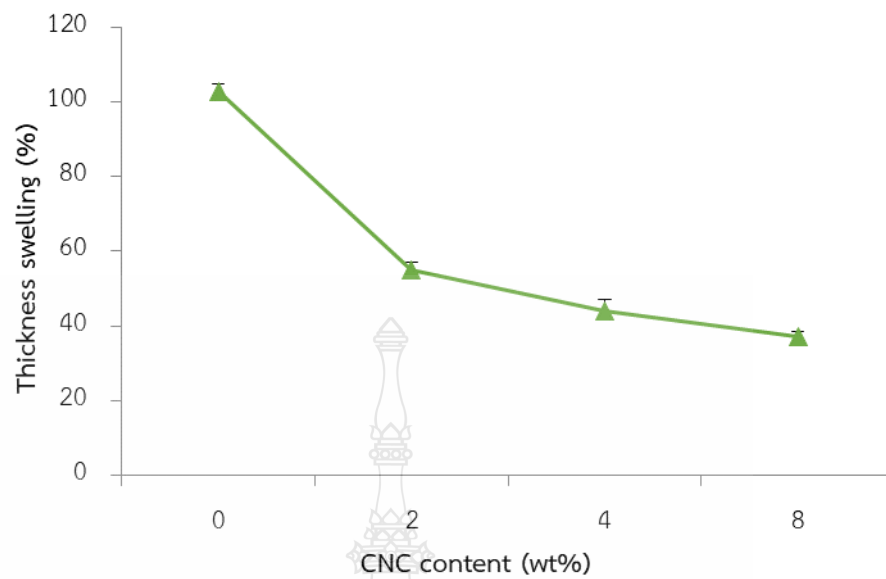
รูปที่ ก.4 ผลการทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength) ของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%



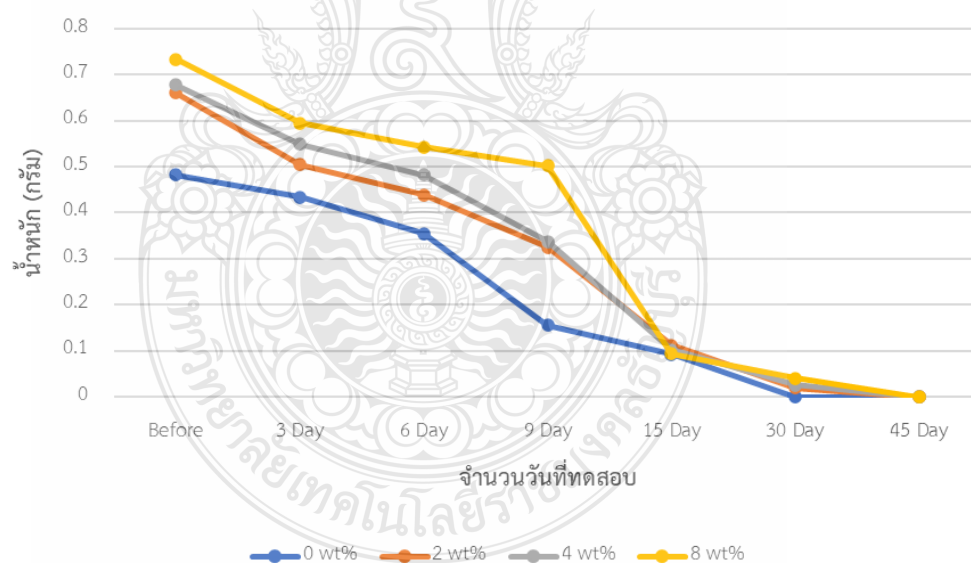
รูปที่ ก.5 แสดงค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%



รูปที่ ก.6 แสดงผลการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%



รูปที่ ก.7 แสดงผลการทดสอบการบวมตัวของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%



รูปที่ ก.8 แสดงผลการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของ bionanocomposites TPS/CNC 0wt%, TPS/CNC 2wt%, TPS/CNC 4wt% และ TPS/CNC 8wt%

ภาคผนวก ข
ข้อมูลขั้นตอนการวิจัย





รูปที่ ข.1 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยไฟด้วย NaOH



รูปที่ ข.2 การฟอกขาวด้วย H_2O_2



รูปที่ ข.3 การไฮโดรไลซิสด้วย H_2SO_4



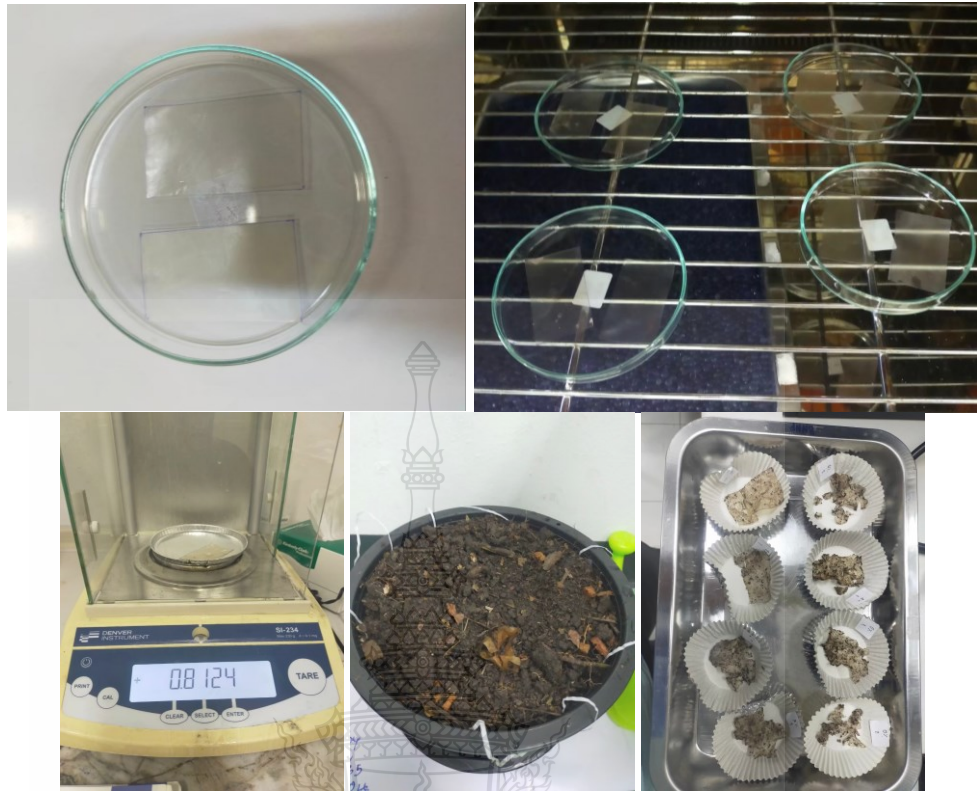
รูปที่ ข.4 การเตรียม TPS/CNC



รูปที่ ข.5 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ และการบวมตัว



รูปที่ ข.6 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง



รูปที่ ข.7 การทดสอบสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ



-[PCT-12]-

THE INTERNATIONAL POLYMER CONFERENCE OF THAILAND

AUGUST 4 - 5, 2022

PROCEEDINGS BOOK

POLYMER INNOVATION IN THE CHANGING WORLD



ORGANIZED BY
POLYMER SOCIETY OF THAILAND (PST)



PROCEEDINGS

-[PC^T-12]_n

The International Polymer Conference of Thailand

Annual Polymer Conference

August 4th – 5th, 2022

Organized by



The Polymer Society of Thailand (PST)

Message from the President

PCT-12: Roles of Thai Polymer Society in Finding Suitable Solutions in a Time of Change and Crisis

Assoc. Prof. Dr. Taweethai Amornsakchai
President of the Polymer Society of Thailand
PCT-12 Chair



This is the 12th International Polymer Conference of Thailand (PCT-12) that is organized by the Polymer Society of Thailand (PST). PST has a longer history than that. In 1999, a group of Thai polymer scientists and academia foresaw the importance of higher education in polymer science and technology, got together and founded what would go on to be PST today. PST has two main missions. The first mission is to be the center that coordinates with polymer scientists from universities, governmental and industrial sectors, provides information and news related to polymers and also coordinates with other organizations in and outside the country. The second mission is to support the development of the country capability in polymer science, technology and engineering to an international level. PCT is one of activities that PST carries out annually to accomplish these missions. It draws polymer scientists from different universities, and industrial sectors across the country and worldwide to share their knowledge and innovations for the benefit of our society. It is intended to be a platform where we can learn from our peers or friends or experts in the field from the other side of the globe. We encourage young generations who may be graduate students or young staff to join and exchange their ideas while learning achievements of others.

The past two PCTs were held online because of Covid-19. Once again, this year we were not certain about the situation and had to decide to have the event online so that we stay in touch. On the good side, this allows us to invite speakers from faraway places who have busy schedule to spare sometime to share their knowledge. I believe that PCT is still the event that polymer scientists and those who work in polymer-related fields are waiting for.

For this PCT, the theme is "Polymer Innovation in the Changing World". This is a reflection that polymers are always important part of our daily life and society. With so many problems and situations that occur and affect our daily life these days, polymers are either in the spotlight or involved in some ways, whether it is climate change, carbon dioxide, emission, net zero, plastic waste, Covid-19, food security or environment. Polymer innovation is therefore required to solve the problems or make life better.

Last year along with PCT-11, we launched a special event about Polymers Innovative Ideas Challenge which we had a video contest on "Polymer products for sustainable development" and a polymer contest on "Polymer Invention in Bio-Circular and Green Economy (BCG)". We had 12 and 10 applications for these respective contests. This year we would like to make the video contest as a useful educative tool for the public and we are in the process of adjusting the guideline. We will announce the contest later, so please stay connected and be well informed.

This year, our PCT-12 receives its honour to have two plenary speakers Prof. Andrew Whittaker, from The University of Queensland, Australia and Associate Professor Winita Punyodom, from Chiang Mai University, Thailand. Like last year, we maintain five scientific sessions which are Advanced and Functional Polymers, Polymers for BCG Economy, Biomedical polymers, Rubbers/Elastomers, and Polymer Blends and Composites. For these sessions, PCT-12 is privileged to have 7 keynote and 2 invited speakers from abroad; Prof. José Bonilla-Cruz from The Center for Research in Advanced Materials, Mexico; Prof. Per B. Zetterlund from The University

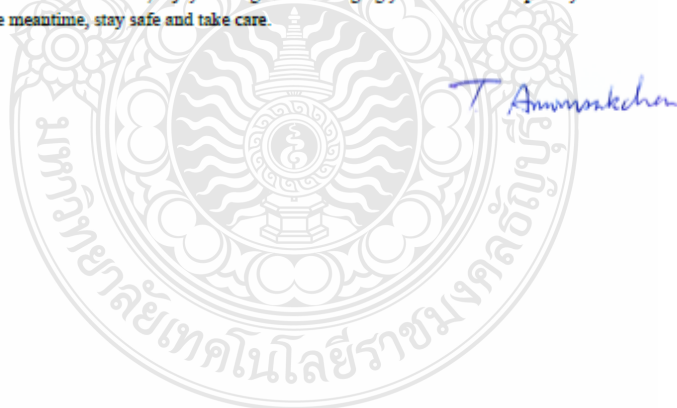
of New South Wales, Australia; Prof. Li Pei from The Hong Kong Polytechnic, Hong Kong; Assoc. Prof. Pooria Pasbakhsh from Monash University, Malaysia; Assoc. Prof. Dr. Darshil U. Shah from The University of Cambridge, United Kingdom; Assoc. Prof. Shinji Kanehashi from Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan; Prof. Dr. Kinsuk Naskar from Indian Institute of Technology Kharagpur, India; Asst. Prof. Yukiya Kitayama from Osaka Prefecture University, Japan and Asst. Prof. Dr. Wisut Kaewsakul from University of Twente, The Netherlands and 2 keynote and 5 invited speakers from Thailand; Prof. Jarupa Viyoch from Naresuan University; Prof. Anongnat Somwangthanaroj from Chulalongkorn University; Dr. Benjaporn Narupai from Chulalongkorn University; Asst. Prof. Prasit Pattanauwat from Chulalongkorn University; Dr. Daranee Aussawasathien from National Metal and Materials Technology Center; Dr. Wuttichai Reainthippayasakul from Chulalongkorn University and Assoc. Prof. Dr. Kittisak Jantanasakulwong from Chiang Mai University. In addition, we have 19 oral presentations and 20 poster presentations. Although we don't have a chance to meet in person, we expect that further collaboration between university researchers and the industry's R & D people especially young generation will be established and fulfill our need to keep the balance between economy, environment and community for sustainable developments that benefit us all.

In addition to organizing the conference, the Polymer Society of Thailand has a recognition program, "PST Rising Stars", for young polymer scientists both in academia and industry on their efforts and accomplishments. This year 3 PST Rising Stars are nominated by the search committee, Assoc. Prof. Ekwipoo Kalkornsura-pranee from Prince of Songkla University, Dr. Yeampon Nakaramontri from King Mongkut's University of Technology Thonburi and Mr. Dalip Abdulraman, Richtech Paint Co. Ltd.

On behalf of the Polymer Society of Thailand, I would like to express my sincere thanks to all the committee who have put tremendous efforts to successfully organize this high quality PCT-12 conference. In addition, I would like to express special thanks to valuable and fidelity supports for the Platinum sponsor from the PPT Global Chemical Public Company Limited, the Gold sponsor from the SCG Chemicals, the Bronze sponsor from Puditec Co. Ltd. and SCS Instruments Co. Ltd.

My deepest gratitude goes to all speakers, poster presenters and audiences who participate in this conference. Without their support, it would not be possible to have a successful event.

Finally, I wish the PCT conference a fruitful success, and hope that you have a happy participation, can make new friends and collaborators, enjoy sharing and exchanging your ideas and hopefully we can meet in person next year. In the meantime, stay safe and take care.



Board of Polymer Society of Thailand

Advisory Board



Prof. Dr. Pattarapan Prasassarakich
Department of Chemical Technology,
Chulalongkorn University

Prof. Dr. Suda Kiatkamjornwong
Academy of Science, Royal Society of Thailand



Prof. Dr. Supawan Tantayanon
Department of Chemistry, Chulalongkorn University

Prof. Dr. Suwabun Chirachanchai
The Petroleum and Petrochemical College,
Chulalongkorn University



Assoc. Prof. Dr. Pranee Phinyocheep
Department of Chemistry, Mahidol University

Asst. Prof. Dr. Krisda Suchiva
Rubber Technology Research Centre,
Mahidol University



Dr. Chaya Chandavas
PTT Global Chemical Public Company Limited

Committee Board



President
Assoc. Prof. Dr. Taweechai Amornsakchai
Department of Chemistry, Mahidol University



Vice President
Asst. Prof. Dr. Varawut Tangpasuthadol
Department of Chemistry, Chulalongkorn University

Vice President

Dr. Anucha Euapermkiati
PTT Global Chemical Public Company Limited



Board of Polymer Society of Thailand

Committee Board (Continue)



Registrar

Assoc. Prof. Dr. Pakorn Opaprakasit
Sirindhorn International Institute of Technology,
Thammasat University

Public Relations

Asst. Prof. Dr. Sararat Mahasaranon
Department of Chemistry, Naresuan University



Treasurer

Asst. Prof. Dr. Amornrat Lertworasirikul
Department of Materials Engineering, Kasetsart University

Secretariat

Asst. Prof. Dr. Sunanta Chuayprakong
Department of Industrial Chemistry,
King Mongkut University of Technology North Bangkok



Academic Committee

Assoc. Prof. Dr. Winita Punyodom
Department of Chemistry, Chiang Mai University

Academic Committee

Assoc. Prof. Dr. Kannika Sahakaro
Department of Rubber Technology and Polymer,
Prince of Songkla University



Academic Committee

Assoc. Prof. Dr. Amorn Chaiyasat
Department of Chemistry,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Academic Committee

Assoc. Prof. Dr. Nattakarn Hongsrirphan
Department of Materials Science and Engineering,
Silpakorn University



Committee

Assoc. Prof. Dr. Ittipol Jangchud
Department of Chemistry,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Board of Polymer Society of Thailand

Committee Board (Continue)



Committee

Mr. Thongchai Oranrigsupak
Benjamit Packaging Company Limited
Plastic Industry Club, The Federation of Thai Industries



Committee

Mr. Kongsak Dokbua
Plastics Institute of Thailand, Ministry of Industry



Committee

Assoc. Prof. Dr. Panya Sunintaboon
Department of Chemistry, Mahidol University



Committee

Dr. Natthaporn Suchao-In
SCG Chemicals Company Limited



Committee

Dr. Pasaree Laokijcharoen
National Metal and Materials Technology Center (MTEC)



Conference Committee

Chair

Assoc.Prof.Dr. Taweetchai Amornsakchai

Mahidol University
(President of the Polymer Society of Thailand)

Advisory Committee

- | | | |
|-----|---|--|
| 1. | Dr. Robert Molloy | Chiang Mai University, Thailand |
| 2. | Prof.Dr. Changwoon Nah | Chonbuk National University, Korea |
| 3. | Prof.Dr. Suwabun Chirachanchai | Chulalongkorn University, Thailand |
| 4. | Prof.Dr. Voravee Hoven | Chulalongkorn University, Thailand |
| 5. | Prof.Dr. Bhuvanesh Gupta | Indian Institute of Technology, India |
| 6. | Prof.Dr. Kinsuk Naskar | Indian Institute of Technology Kharagpur, India |
| 7. | Prof.Dr. Laurent Fontaine | Le Mans Universite, France |
| 8. | Prof.Dr. Philippe Daniel | Le Mans Universite, France |
| 9. | Prof.Dr. Kheng Lim Goh | Newcastle University, Singapore |
| 10. | Assoc.Prof.Dr. Ekwipoo Karnkornsirapranee | Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Thailand |
| 11. | Prof.Dr. Anke Blume | University of Twente, the Netherlands |
| 12. | Assoc.Prof.Dr. Nadras Othman | Universiti Sains Malaysia, Malaysia |

Scientific Committee

- | | | |
|-----|--|---|
| 1. | Assoc.Prof.Dr. Winita Punyodom | Chiang Mai University |
| 2. | Dr. Robert Molloy | Chiang Mai University |
| 3. | Prof.Dr. Vudhichai Parasuk | Chulalongkorn University |
| 4. | Assoc.Prof.Dr. Kanoktip Boonkerd | Chulalongkorn University |
| 5. | Assoc.Prof.Dr. Nuanphun Chantarasiri | Chulalongkorn University |
| 6. | Assoc.Prof.Dr. Sirilux Poompradub | Chulalongkorn University |
| 7. | Assoc.Prof.Dr. Wanpen Tachaboonyakiat | Chulalongkorn University |
| 8. | Asst.Prof.Dr. Varawut Tangpasuthadol | Chulalongkorn University |
| 9. | Dr. Benjapon Narupai | Chulalongkorn University |
| 10. | Assoc.Prof.Dr. Apirat Laobuthee | Kasetsart University |
| 11. | Assoc.Prof.Dr. Rangrong Yoksan | Kasetsart University |
| 12. | Assoc.Prof.Dr. Wanvimol Pasanphan | Kasetsart University |
| 13. | Asst.Prof.Dr. Amornrat Lertworasirikul | Kasetsart University |
| 14. | Asst.Prof.Dr. Chantiga Choochottiros | Kasetsart University |
| 15. | Dr. Piyawatee Jariyasakoolroj | Kasetsart University |
| 16. | Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 17. | Asst.Prof.Dr. Chonlada Ritvirulh | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 18. | Asst.Prof.Dr. Suparat Rukchonlatee | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| 19. | Asst.Prof.Dr. Sunanta Chuayprakong | King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| 20. | Asst.Prof.Dr. Suttinun Phongtamrug | King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| 21. | Dr. Nonsee Nimitsiriwat | King Mongkut's University of Technology Thonburi |
| 22. | Asst.Prof.Dr. Tithinun Rattanaplome | Maejo University |

Conference Committee (Continue)

Scientific Committee (Continue)

23.	Assoc.Prof.Dr. Sunan Saikrasun	Maharakham University
24.	Assoc.Prof.Dr. Panya Sunintaboon	Mahidol University
25.	Assoc.Prof.Dr. Pranee Phinyocheep	Mahidol University
26.	Assoc.Prof.Dr. Sombat Thanawan	Mahidol University
27.	Assoc.Prof.Dr. Taweechai Amornskchai	Mahidol University
28.	Asst.Prof.Dr. Anyarat Watthanaphanit	Mahidol University
29.	Assoc.Prof.Dr. Metha Rutmakornpink	Naresuan University
30.	Asst.Prof.Dr. Supatra Pratumsat	Naresuan University
31.	Dr. Gareth Michael Ross	Naresuan University
32.	Dr. Pasaree Laokijcharoen	National Metal and Materials Technology Center
33.	Dr. Warayuth Sajomsang	National Nanotechnology Center
34.	Assoc.Prof.Dr. Kannika Sahakaro	Prince of Songkla University, Pattani Campus
35.	Asst.Prof.Dr. Nabil Hayemasae	Prince of Songkla University, Pattani Campus
36.	Asst.Prof.Dr. Subhan Salae	Prince of Songkla University, Pattani Campus
37.	Asst.Prof.Dr. Sunisa Suchat	Prince of Songkla University, Surat Thani Campus
38.	Dr. Nanthaya kengkhetkit	Rajamangala University of Technology Lanna
39.	Assoc.Prof.Dr. Amorn Chaiyasat	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
40.	Assoc.Prof.Dr. Sommai Pivsa-Art	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
41.	Asst.Prof.Dr. Chatchai Veranitisakul	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
42.	Asst.Prof.Dr. Polphat Ruamcharoen	Songkhla Rajabhat University
43.	Asst. Prof.Dr. Tatiya Trongsatitkul	Suranaree University of Technology
44.	Assoc.Prof.Dr. Pakorn Opaprakasit	Thammasat University
45.	Assoc.Prof.Dr. Sayant Saengsuwan	Ubon Ratchathani University
46.	Assoc.Prof.Dr. Nadras Othman	Universiti Sains Malaysia

Organizing Committee

1.	Assoc.Prof.Dr. Taweechai Amornskchai	Mahidol University
2.	Prof.Dr. Pattarapan Prasassarakich	Chulalongkorn University
3.	Prof.Dr. Suda Kiatkamjornwong	Chulalongkorn University
4.	Prof.Dr. Supawan Tantayanon	Chulalongkorn University
5.	Prof.Dr. Suwabun Chirachanchai	Chulalongkorn University
6.	Assoc.Prof.Dr. Pranee Phinyocheep	Mahidol University
7.	Asst.Prof.Dr. Krisda Suchiva	Mahidol University
8.	Dr. Chaya Chandavas	PTT Global Chemical Pub Co., Ltd.
9.	Assoc.Prof.Dr. Amorn Chaiyasat	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
10.	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
11.	Assoc.Prof.Dr. Kannika Sahakaro	Prince of Songkla University
12.	Assoc.Prof.Dr. Nattakarn Honsriphan	Silpakorn University
13.	Assoc.Prof.Dr. Pakorn Opaprakasit	Thammasat University
14.	Assoc.Prof.Dr. Panya Sunintaboon	Mahidol University
15.	Assoc.Prof.Dr. Winita Punyodom	Chiang Mai University

Conference Committee (Continue)

Organizing Committee (Continue)

16.	Asst.Prof. Amornrat Lertworasirikul	Kasetsart University
17.	Asst.Prof. Sararat Mahasaronon	Naresuan University
18.	Asst.Prof.Dr. Sunanta Chuayprakong	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
19.	Asst.Prof.Dr. Varawut Tangpasuthadol	Chulalongkorn University
20.	Dr. Anucha Euapermkiati	PTT Global Chemical Public Company Limited
21.	Dr. Natthaporn Suchao-In	SCG Chemicals Company Limited
22.	Dr. Pasaree Laokijcharoen	National Metal and Materials Technology Center
23.	Mr. Kongsak Dokbua	Plastics Institute of Thailand, Ministry of Industry
24.	Mr. Thongchai Oranrigsupak	Plastic Industry Club, The Federation of Thai Industries

Regional Organizing Committee

1.	Asst.Prof.Dr. Piyaporn Na Nongkhai	Burapha University
2.	Dr. Robert Molloy	Chiang Mai University
3.	Dr. Nonsee Nimitsiriwat	King Mongkut's University of Technology Thonburi
4.	Asst.Prof.Dr. Patchara Punyamoongwongsa	Mae Fah Luang University
5.	Asst.Prof.Dr. Siwarote Boonrasri	Maejo University
6.	Assoc.Prof.Dr. Yodthong Baimark	Maharakham University
7.	Assoc.Prof.Dr. Sirinya Chantarak	Prince of Songkla University, Hat Yai
8.	Asst.Prof.Dr. Sunisa Suchat	Prince of Songkla University, Surat Thani Campus
9.	Asst.Prof.Dr. Polphat Ruamcharoen	Songkhla Rajabhat University
10.	Assoc.Prof.Dr. Chaiwat Ruksakulpiwat	Suranaree University of Technology
11.	Assoc.Prof.Dr. Suwadee Kongparakul	Thammasat University
12.	Asst.Prof.Dr. Sarawut Prasertsri	Ubon Ratchathani University
13.	Dr. Boontharika Thapsukhon	University of Phayao
14.	Asst.Prof.Dr. Uthen Thubsuang	Walailak University

Content

Session/Code		Page
Plenary Lectures		
PLENARY-I	Bioplastic Innovation for BCG Model: from Lab to Niche Premium Market Winita Punyodom	1
PLENARY-II	Functional Polymers for Remediation of Environmental Pollution Andrew Whittaker	2
Keynote and Invited Lectures		
ADFP-KN1	Superhydrophobic and Parahydrophobic Surfaces by 3D Printing José Bonilla-Cruz	3
ADFP-KN2	Synthesis of Multiblock Copolymer Structures Using RAFT Emulsion Polymerization Per B. Zetterlund	4
ADFP-KN3	Polyethyleneimine-Based Particles Containing Multiple Carbon Dots For Biological Application Li Pei	5
ADFP-IV1	Particulate Interfacial Photocrosslinking: New Fabrication Route of Functional Polymer Particles Yukiya Kitayama	6
ADFP-IV2	4D Printing of Multi-Stimuli Responsive Protein-Based Hydrogels for Autonomous Shape Transformations Benjaporn Narupai	7
ADFP-IV3	Conducting Polymers: Challenges in Supercapacitors and Zinc-Ion Batteries Prasit Pattanauwat	8
BMED-KN1	Safety & Healing Potential of the Natural Fibroin-Based Film in DFU Patients Jarupa Viyoch	9
COMP-KN1	Polymer Nanocomposites for their Smart Applications Pooria Pasbakhsh	10
COMP-KN2	Lessons from Ancient Flax Fibre Technology Darshil U. Shah	11

Session/Code		Page
COMP-IV1	Dispersion and Synergetic Effects of Modified Nanocarbon Hybrid in Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites Darunee Aussawasathien	12
COMP-IV2	Ceramic-polymer Composites for Dielectric Applications Wuttichai Reainthippayasakul	13
PBCG-KN1	My Experience as Polymer Engineer, from Polymer Packaging, Adhesives to Battery Anongnat Somwangthanaroj	14
PBCG-KN2	Development of Environmental Functional Materials for BCG: CO ₂ Capture Membranes and Bio-based Polymers Shinji Kanehashi	15
PBCG-IV1	Development of Biodegradable Polymers by Reactive Blending Kittisak Jantanasakulwong	16
RUBB-KN1	Thermoplastic Elastomers (TPEs) and Thermoplastic Vulcanizates (TPVs): Process, Properties and Recent Application Kinsuk Naskar	17
RUBB-IV	Advancement in silica-rubber coupling technology towards better tire performance Wisut Kaewsakul	18
PST Rising Star Talk1	New Challenges in Natural Rubber Research - A new value approach of natural rubber for future applications and utilizations Ekwipoo Kalkornsutapranee	19
PST Rising Star Talk2	Possibility for Using Conductive Natural Rubber Composites as the Flexible Sensor for Disinfectant Prosthetic Devices Yeampon Nakaramontri	20
PST Rising Star Talk3	Polyurethane Flooring Technology and Innovation Dalip Abdulraman	21

Session/Code		Page
Advanced and Functional Polymer		
ADFP-P2	Fabrication of Nano-Based Film by Sparking Process for Use in Ethylene Absorption Siriphan Photphroet, Pornchai Rachtanapum, Kittisak Jantanasakulwong, Jutamas Kongsuk, Montira Sriyai, Pisith Singjai, Robert Molloy and Winita Punyodom	22
Biomedical Polymers		
BMED-O4	Effects of Type and Concentration of Crosslinking Agent on Swelling Ratio, Pore Structure and Thermal Properties of Carboxymethyl Cellulose/Poly(vinyl alcohol) Hydrogels Kanticha Pratinthong, Pornchai Rachtanapum, Kittisak Jantanasakulwong, Robert Molloy, Pensak Jantrawut, Montira Sriyai and Winita Punyodom	28
BMED-P2	The preparation of bovine serum albumin - poly(L-lactide-co-glycolide) microparticles by multiple emulsion method Arphaphat Yenying, Krissana Tangamatakul, Chayarop Supanchart, Thannaphat Jeuvoraphot, Winita Punyodom and Donraporn Daranarong	34
Polymer Blend and Composites		
COMP-O2	Effects of Graphene Nanoplatelets on Properties of Recycled Poly (ethylene terephthalate) Arisara Pomkay and Jaruphorn Wootthikanokkhan	38
COMP-O3	Facile preparation of hydrophobic mesh for oil/water separation Aunchalee Deachophon and Sirilux Poompradub	43
COMP-O4	Preparation of polyethersulfone/silica composite membrane for saline water separation Pimpika Rattana-arporn and Sirilux Poompradub	49
COMP-O8	Phase morphology, Mechanical and Rheological Properties of PVDF/ENR Blends Compatibilized with Amino Acid Modified Fluorocarbon Elastomer Puntira Kao-ian and Subhan Salaeh	55
COMP-O9	Synthesis and Characterization of Nanochitosan from α -Chitosan with Different Methacrylic Acid Concentrations Sasina Hinmo, Pornchai Rachtanapum, Kittisak Jantanasakulwong, Donraporn Daranarong, Sumontha Ramangkoon, Tanyaluck Mekpothi, Wanwanut Chueasupcharoen, Robert Molloy and Winita Punyodom	61

Session/Code		Page
COMP-P1	Curing characteristics and mechanical properties of nanocomposites based on acrylonitrile-butadiene rubber/natural rubber blends: Effect of cellulose nanocrystal loading Punyarat Jantachum, Bualan Khumpaitool and Songkot Utara	66
COMP-P3	Influence of silane treatment on mechanical properties of glass fiber reinforced composites from recycled polyethylene terephthalate and polyamide 6 Nattakarn Hongsriphan, Kamonwan Hansapalangkool, and Pajaera Patanathabutr	71
COMP-P4	Nipa Palm Leaf or Sweet Bamboo Leaf as Potential Laminar Reinforcement for Crosslinked Tapioca Starch Composite Foams Manisara Phiriyawirut, Tungrat Ariyapornpong, Kanokwan Simaksuk, Jinnaphat Sertpannuk and Nattarat Kengkla	78
COMP-P5	Structural Analysis and Properties of Thermoplastic Starch Reinforced with Cellulose Nanocrystals Vipawadee Rakkunrungs and Warunee Ariyawiriyanan	84
COMP-P6	Preparation of Stretchable Conductive Rubber Composite from Silver Coated Pineapple Leaf Fiber and Natural Rubber Jiraphat Chuchat and Taweechai Amornsakchai	91
COMP-P8	A comparative evaluation of water sorption and solubility, tensile bond strength, and viscoelastic behavior of two denture relining materials Jitpimon Siripanth, Bharat Mirchandani and Panjaporn Wongwithayakool	97
COMP-P9	Properties of Low Density Polyethylene/Poly(butylene adipate-co-terephthalate)/ Titanium dioxide Films Sudsiri Hemsri, Chanchai Thongpin and Aksarapak Rattana	101
COMP-P10	Characterization and Mechanical Properties of Pre-vulcanized Deproteinized Natural Rubber (P-DPNR) / Nanocrystalline Cellulose (NCC) Composites Marisa Janwongsa, Warunee Ariyawiriyanan and Seiichi Kawahara	108
Polymer for BCG Economy		
PBCG-O1	Physico-chemical Properties of Indigenous Rice Starch and Esterified Rice Starch Hanee Kaetong, Jareerat Ruamcharoen and Saowapa Chotsuwan	114
PBCG-O2	Fabrication of Conductive Elastomer of MXene/Natural Rubber Composite Film by a Latex Blending Method Andi Wijaya, Palboon Sreearunothai, Duangporn Polpanich, Pakorn Opaprakasit, and Chariya Kaewsaneha	119
PBCG-P3	Mangosteen Peel Extract Derived Carbon Dots as Sensor for Mercury Detection Jiramet Mekarun and Anyarat Wattanasaphanit	126

Rubber/Elastomer		
RUBB-O2	Optimization for shrinkage of unvulcanized rubber sheets during the calender process using the three-factors Central Composite Design Ekarok Phumnok, Dolrohem Panwang and Adul Hendeen	134
RUBB-P1	The effect of lipase treatment on storage hardening and mechanical properties of natural rubber Kattareen Boonchuay, Chakrit Sirisinha, Preeyanuch Junkong and Adun Nimpaiboon	140



Structural Analysis and Properties of Thermoplastic Starch Reinforced with Cellulose Nanocrystals

Vipawadee Rakkumrung and Warunee Ariyawiriyanan*

Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110
Phone +66 2549 4688, Fax +66 2549 4680, *E-Mail: warunee.a@en.rmutt.ac.th

Abstract

In this work, bionanocomposites were prepared from thermoplastic starch (TPS) reinforced with cellulose nanocrystals (CNC). The isolation of crystalline cellulose from the bamboo fiber was performed in 3 steps; alkalized, bleached with hydrogen peroxide, and then extracted by acid hydrolysis. The synthesized CNC were characterized using X-ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy and solid-state ¹³C NMR. The CNC exhibited a crystallinity index of 75.72 %. Fourier transform infrared analysis also confirmed absorption patterns typical of cellulose and the removal of lignin. The CP/MAS ¹³C NMR spectra of the CNC are attributed to cellulose I. The results strongly indicate that the prepared CNC did not transform into another cellulose crystalline structure after H₂SO₄ hydrolysis. Then, the effect of adding the CNC at 2wt.%, 4wt.% and 8wt.% into the starch was also investigated. Mechanical properties of TPS/CNC bionanocomposites showed that both tensile strength and hardness significantly increased with increasing CNC content while elongation at break decreased. The water absorption of the TPS reinforced with the CNC decreased an indication of improvement in water resistance. Moreover, the thickness swelling of the bionanocomposites also decreased with the increasing of CNC loading. This demonstrated that bionanocomposites prepared from TPS reinforced with CNC may meet a particular application.

Keywords: Thermoplastic Starch, Bamboo Fiber, Cellulose nanocrystal, Bionanocomposites

1. Introduction

Starch is thermoplastic derivate (TPS) has been found to be a good replacement for synthetic polymers that have been used for packaging in the past. Starch is a semicrystalline biopolymer that is stored in its natural state as granules. It is made up of two glycosidic macromolecules, amylose and amylopectin, that are held together by water. It contains 83 percent amylopectin [1-2]. Tapioca starch is a naturally occurring resource with a high amylopectin content. It can be utilized as the primary raw material in the creation of numerous biobased polymers, including polylactic acid and thermoplastic starches. Additionally, starch is added to plastics as a texture-enhancing agent, enhancing the biodegradable

qualities of some bioplastics, or lowering the cost of producing plastic [3].

Cellulose is found in nature as lignocellulose molecules. (Lignocellulose), a material made of lignin and hemicellulose. The strength of (Hemicellulose), which is used to create the plant cell wall, is connected. As a result, cellulose needs a multi-step extraction procedure to achieve pure cellulose and removing the non-cellulose component. The chemical process was discovered to be an efficient and simple method to synthesize cellulose in the past, as well as in industrial use [4]. Bamboo has a rather high cellulose content for grass species compared to other cellulosic crops [5]. Bamboo is a plentiful natural bioresource that is renewable, has a low environmental impact, has a fast growth, comparatively high strength, and

exceptional flexibility. Bamboo fiber is seen as an appealing prospect as a reinforcing natural fiber and may play a significant part in the formation of future organic structures and composites [6].

Due to their distinctive and appealing qualities, natural cellulose crystals have attracted a lot of attention such as cost-effectiveness, high aspect ratio, and lightweight. However, the physical characteristics of distinct cellulose crystals vary greatly. These variations are mostly caused by the various morphologies, sizes, and structures of the crystalline formations. Depending on the type and degree of treatment, chemical processing removes surface wax, non-cellulosic materials, and degraded cellulosic compound(s) during the fiber extraction process. The nano-phase has a high propensity to aggregate and agglomerate to create bigger structures, making it challenging to acquire uniformly dispersed cellulose nanocrystals [6].

It is known that pure thermoplastic starch cannot meet the different properties needed for a particular application. It has to be combined with other materials often a filler to modify its properties. Bionanocomposite is a typical term assigned to those nanocomposites including a naturally occurring polymer (biopolymer) in mix with an inorganic moiety, and appearing no less than one measurement on the nanometer scale [7]. Generally, reinforcement with filler enhances the mechanical properties of starch and reduces hydrophilicity. In the present work, our group reports the isolation and characterization of crystal cellulose from natural fiber and its application as a reinforcing filler in the matrix. Therefore, in this study, we focus on the structure and properties of nanocellulose crystals prepared from bamboo fiber as a reinforcing agent in thermoplastic starch.

2. Experimental methods

2.1 Materials

Bamboo fiber, Tapioca starch (TRADE MARK, Chonburi, Thailand), Glycerol (Food Grade, KRUNGTHPECHEMI CO., LTD., Thailand), Sodium hydroxide, NaOH (CAUSTIC SODA FLAKE, China), Hydrogen peroxide, H_2O_2 (TECHNICAL GRADE, INTEROX®TS 50, Thailand), Sulfuric Acid, H_2SO_4 (AR Grade, ANAPURE)

2.2 Preparation of bamboo fiber and cellulose nanocrystals

A 2M NaOH aqueous solution was used to treat bamboo fiber to remove lignin, hemicellulose, and some other impurities at 90 °C for 1 hr. The thread then bleached 50% H_2O_2 at 90 °C for 1 hr. hydrolysis by 50% sulfuric acid at 50 °C for 20 minutes. The solution was then placed in 65 g tubes and taken to centrifuge at 10 °C at a speed of 9000 rpm.

2.3 Preparation of thermoplastic starch/ cellulose nanocrystals bionanocomposite

Bionanocomposite can be prepared by mixing starch, water, glycerol and nanocrystal cellulose as shown in Table 1. The compounding was then stirred at 80 °C for 30 minutes [6]. The CNC was added into the mixture and continued stirring for 20 minutes, then poured into the mold and bake at 40 °C for 48 hr.

Table 1. Sample composition of TPS/CNC bionanocomposites

Sample	Component			
	Water (wt%)	Glycerol (wt%)	Tapioca starch (wt%)	CNC (wt%)
TPS/CNC0	91.6	2.4	6	0
TPS/CNC2	91.6	2.4	6	2
TPS/CNC4	91.6	2.4	6	4
TPS/CNC8	91.6	2.4	6	8

2.4 Characterization

2.4.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

The functional groups of samples were analyzed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) with attenuated total reflectance (ATR) mode. The

frequency range was 4000-650 cm^{-1} . All spectra were recorded at a resolution of 4 cm^{-1} with a total of 16 scans for each sample absorbance [8].

2.4.2 X-Ray Diffractometer (XRD)

XRD was used to determine the crystallinity of CNC. The sample data was gathered at 2θ between 5 and 45° . The degree of crystallinity index was determined using (1), where I_{200} was the counter reading at peak intensity of 2θ close to 22° represents the crystalline area of the cellulose, and I_{am} was the counter reading at peak intensity of 2θ close to 18° [9].

$$\text{Crystallinity Index (\%)} = \frac{I_{200} - I_{am}}{I_{200}} \times 100 \quad (1)$$

2.4.3 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR

The CP/MAS ^{13}C NMR measurements were performed with a JEOL JNM-ECAII 500 spectrometer. At room temperature, cross polarization/magic angle spinning (CP/MAS) unit-equipped Infinity Plus-500 spectrometers were used to record solid-state ^{13}C NMR spectra (^{13}C frequency = 100.12 MHz; magnetic field = 9.4 T) [6].

2.5 Mechanical Properties

2.5.1 Tensile Strength

Tensile strength properties are tested according to ASTM D882 (Load cell 100 N, Gauge length 25 mm, and Cross head speed 100 mm/min) using a universal and programmed test machine through a computer system [9].

2.5.2 Hardness

ASTM D2240 hardness test using a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ durometer Type A hardness tester. The indenting foot is made of a hardened steel rod with a diameter of 1.1 mm to 1.4 mm, a conical tip with a 35° angle and a diameter of 0.79 mm, and a load of 882 g.

2.6 Water Absorption and thickness swelling

Water absorption and thickness swelling test are in accordance with ASTM D570-88. Samples were dried in an oven at 50°C for 24 hr. The water immersion tests were conducted at $23 \pm 1^\circ\text{C}$ for 24 hr. Then samples were removed and weighed with an analytical balance. The water absorption was calculated from equation 2, where, w_2 and w_1 are the oven-dry weight and weight after time, respectively. While, thickness swelling was measured the average thickness of each specimen during the immersion tests (t_2) and after oven drying (t_1), and then calculated using the equation 3:

$$\text{Water absorption (\%)} = \frac{(w_2 - w_1)}{w_1} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Thickness swelling (\%)} = \frac{(t_2 - t_1)}{t_1} \times 100 \quad (3)$$

3. Results and discussion

3.1 Structure of Cellulose

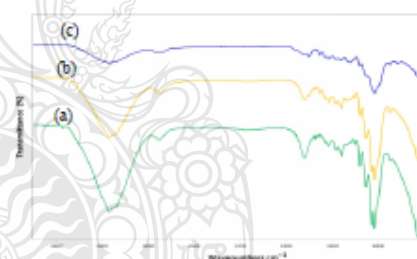


Figure 1. FTIR spectra of raw and treated fiber

- (a) Untreated bamboo fiber
- (b) Alkali-treated fiber
- (c) Bleached fiber

Figure 1 shows the FTIR of untreated fiber contained an O-H stretching band at 3431 cm^{-1} . The peak at 2925 cm^{-1} indicated the C-H of methyl and methylene groups in the cellulose. Similarly, the peak at 1741 cm^{-1} indicated the presence of C=O stretching in acetyl groups of hemicelluloses. The peak at 1254 cm^{-1} was C-O stretching in hemicelluloses. After alkali and beaching of

bamboo fiber, there was no peak at 1741 cm^{-1} , which indicated the removal of hemicelluloses, as previously paper [10]. Similarly, the peak at 1254 cm^{-1} was not visible, confirming the lack of C-O stretching from hemicelluloses. The band at 1037 cm^{-1} was gradually reduced with alkali treatment and bleaching of fiber, which indicated the reduction of lignin content [11].

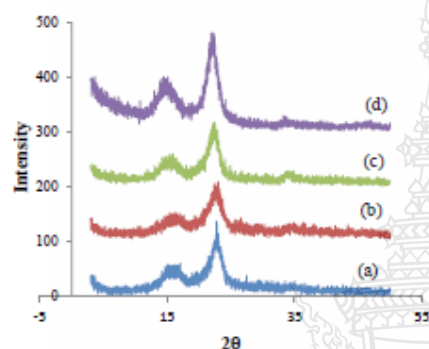


Figure 2. XRD spectra of raw and treated fiber

- (a) Untreated bamboo fiber
- (b) Alkali-treated fiber
- (c) Bleached fiber
- (d) Hydrolysis fiber

Figure 2 shows the XRD patterns of untreated bamboo fiber, alkaline-treated fiber, bleach fiber, and hydrolysis fiber. The crystallinity index of all samples were determined by using X-ray diffraction. The cellulose crystallinity index (CrI) was calculated based on the XRD patterns and Eq.1, where, CrI denotes the relative degree of crystallinity, I_{200} is the maximum intensities of the 200-lattice diffraction at $2\theta = 22.01^\circ$, and I_{am} is the intensity of diffraction at $2\theta = 18.03^\circ$. I_{200} represents both crystalline and amorphous regions, while I_{am} represents only the amorphous portion. The obtained crystallinity index of untreated bamboo fiber, alkaline-treated fiber, bleach fiber, and hydrolysis fiber were 56.35, 67.15, 67.85 and 75.72% respectively.

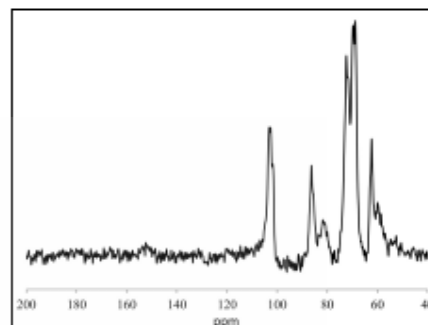


Figure 3. ^{13}C -NMR spectra of CNC from Bamboo fiber

CP/MAS ^{13}C NMR spectra of CNC are shown in Fig 3. The CNC exhibited main peaks at 105, 85, 73.9 ppm, as well as peak at 63 ppm, which were all attributed to cellulose I. The results strongly indicate that the CNC cellulose did not transform into another cellulose crystalline structure after H_2SO_4 hydrolysis. In addition, there are no peak at 20 and 148 ppm, which were part of the aromatic structure and the methoxy group. It is confirmed the removal of lignin, including hemicellulose from bamboo fiber after acid hydrolysis.

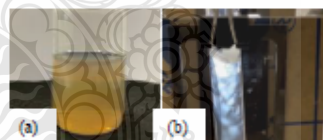


Figure 4. The CNC aqueous suspension: (A) under normal light, (B) under cross-polarized light setup

Furthermore, the flow birefringence was carried out under a cross-polarized light setup to determine the cellulose nanocrystals in the CNC aqueous suspension. Figure 4 illustrate the CNC aqueous suspension, given in this hydrolysis condition, under cross-polarized light setup. It is confirmed the synthesized CNC is a nanocrystal cellulose.

COMP-P5

3.2 Mechanical properties of TPS/CNC bionanocomposites

The reinforcement of CNC is reflected as shore-D hardness of the bionanocomposites. As shown in Table 2, the hardness of TPS/CNC bionanocomposite increase from 15.70 to 28.67 with adding CNC upto 8 wt%. It is similar to the previous report [12-13].

Table 2. The hardness of thermoplastic starch materials.

Sample	Hardness
TPS/CNC0	15.70
TPS/CNC2	21.67
TPS/CNC4	25.33
TPS/CNC8	28.67

The mechanical properties of bionanocomposites reinforced with different contents of CNC were measured by universal testing. The tensile strength and elongation at break was shown in Figure 5-6. The addition of CNC resulted in a significant improvement of the mechanical properties of the TPS. When the CNC content increased to 8wt%, tensile strength both increased sharply from 1.056 to 3.608 MPa. The elongation at break increased when CNC decreased content.

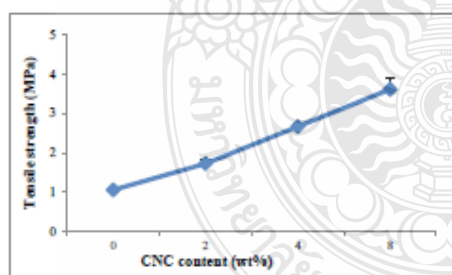


Figure 5. Tensile strength of TPS/CNC bionanocomposites.

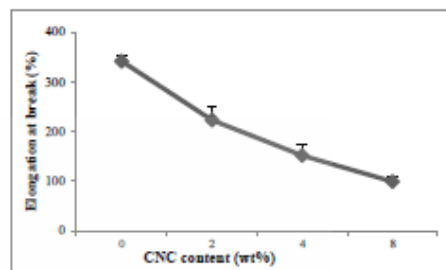


Figure 6. Elongation at break of TPS/CNC bionanocomposites

Water absorption of the TPS/CNC bionanocomposites was shown in Fig.7. The equilibrium condition of all sample is at 75% RH. With the addition of CNC, The water absorption of the TPS/CNC decreased with the CNC loading. When the CNC content was 8%, water absorption decreased very slowly. As well as, The thickness swelling of the thermoplastic starch diminishes as the amount of CNCs in the cellulose rises, as shown in Figure 8.

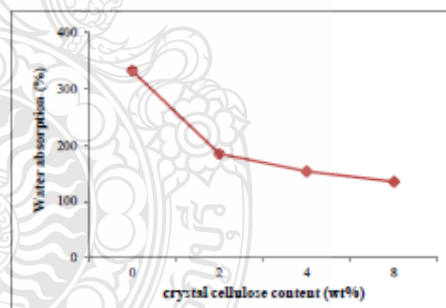


Figure 7. Water absorption of TPS/CNC bionanocomposites.

COMP-P5

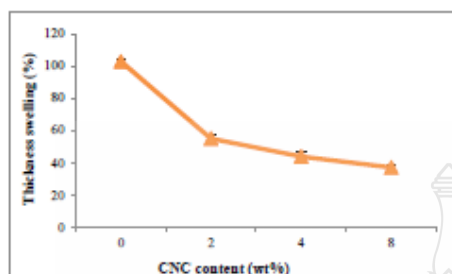


Figure 8. Thickness swelling of TPS/CNC bionanocomposites.

4. Conclusion

This work clearly shows that cellulose nanocrystals can be effectively used as reinforcing thermoplastic starch matrices. The results showed that TPS reinforced with CNC can improve the mechanical properties of composite. It was found that tensile strength increases 3.4 times after addition with 8wt% CNC.

5. Acknowledgment

This work is supported by Program Management Unit on Area Based Development Program (PMU A), The Office of National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council (NXPO). Research granted no LERMUTT63A03.

6. References

- Carvalho, A.; J. F. Starch: Major sources, properties and applications as thermoplastic materials. In M. N. Belgacem & A. Gandini (Eds.), *Monom. Polym. Compo. Renew. Resour.* **2008**, 321-342.
- Le Corre, D.; Bras, J.; & Dufresne, A. Starch nanoparticles: A review. *Biomacromolecules*. **2010**, *11*, 1139-1153.
- Yoksan, R. Bio-based plastics structure, properties, processing and applications. Bangkok: *Pack. Mater. Tech.* **2014**.
- Meesupthong, R.; Sukyai, P. The Effect of Xylanase Assisted Pretreatment on Nanocellulose Production. *Energy Cane. Master of Science (Biotechnology) (M.S. (Biotechnology))*, Kasetsart University. **2020**.
- Silviana, S.; Hadiyanto, H. Preparation of Sago Starch-Based Biocomposite Reinforced Microfibrillated Cellulose of Bamboo Assisted by Mechanical Treatment. *AIP Conf. Proc.* **2017**, *1855*, 030024-1–030024-5.
- Liu, D.; Zhong, T.; Chang, P.R.; Li, K.; Wu, Q. Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals. *Bioresour. Tech.* **2010**, *101*, 2529–2536.
- Darder, M.; Aranda, P.; Hitzky, E. Bionanocomposites: A New Concept of Ecological, Bioinspired, and Functional Hybrid Material. *Adv. Mater.* **2007**, *19*, 1309-1319.
- Abdul Khalil H. P. S.; Tze Kiat Lai.; Ying Ying Tye, M. T.; Paridah, M. R.; Nurul Fazita, A. A.; Azmiwati, Rudi D.; Samsul, R. Preparation and Characterization of Microcrystalline Cellulose from Sacred Bali Bamboo as Reinforcing Filler in Seaweed-based Composite Film. *Fiber. Polym.* **2018**, *19* (2), 423-434.
- Hasan, M.; Tze Kiat Lai, D. A.; Gopakumar, M.; Jawaid, F. A. T.; Owolabi, E. M.; Mistar, T. A.; Noriman, N.Z.; Haafiz, M.K.M.; Abdul, H.P.S. Micro Crystalline Bamboo Cellulose Based Seaweed Biodegradable Composite Films for Sustainable Packaging Material. *J. Polym. Envi.* **2019**, *27*, 1602–1612.
- Boopathi, L.; Sampath, P. S.; Mylsamy, K. Investigation of physical, chemical, and mechanical properties of raw and alkali treated Borassus fruit fiber. *Compos. Part B-Eng.* **2012**, *43* (8), 3044-3052.
- Reddy, K. O.; Maheswari, C. U.; Shukla, M.; Song, J. I.; Rajulu, A. V. Tensile and structural characterization of alkali treated Borassus fruit fine fibers. *Compos. Part B-Eng.* **2013**, *44* (1), 433-438.
- Kwa'sniewska, A.; Chocyk, D.; Gadyszewski, G.; Borc, J.; Swietlicki, M.; Gadyszewska, B. The

Influence of Kaolin Clay on the Mechanical Properties and Structure of Thermoplastic Starch Films. *Polym.* 2020, 12, 73.

13. Gray, N.; Hamzeh, Y.; Kabooranib, Abdulkhania, A.; Influence of cellulose nanocrystal on strength and properties of low density polyethylene and thermoplastic starch composites. *Indust. Crops. Prods.* 2018, 115, 298-305.





-[PCT-12]-_n

COMP-P5

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

This is to certify that

VIPAWADEE RAKBUMRUNG

Has presented the paper (Poster) titled

**Structural Analysis and Properties of Thermoplastic Starch
Reinforced with Cellulose Nanocrystals**

The International Polymer Conference of Thailand (PCT-12)

(Virtual Conference)

August 4 – 5, 2022

T. Amornsakchai

Assoc.Prof.Dr. Taweechai Amornsakchai

Chairperson



วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่ Area Based Development Research Journal

วารสารราย 3 เดือน
ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม 2566



รูปแบบการจัดการของเหลือทิ้งจากไม้เพื่อสร้างความเข้มแข็ง
ชุมชนบ้านโพธิ์งาม จังหวัดปราจีนบุรี

วัดกุประสงค์

วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาสิ่งที่เป็นวารสารทางวิชาการซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกระแสสื่อโทรทัศน์ทางการเมือง มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาผลงานวิจัยที่มีเป้าหมายเพื่อการพัฒนาพื้นที่ในระดับจังหวัด กลุ่มจังหวัด ตำบล หมู่บ้าน หรือชุมชน เผยแพร่แก่ปวงชน และบุคคลทั่วไป มุ่งส่งเสริมให้นักวิชาการในหน่วยงานราชการ หรืออาจารย์ในมหาวิทยาลัยได้เสนอผลงานทางวิชาการสู่สาธารณะ

เจ้าของ หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

คณะที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ปัทมาวดี โพชนุกูล ดร.สีลาภรณ์ บัวสาย
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.ปิยะวิทย์ บุญทอง ดร.เกศติ สัจจาวังษา

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตณรงค์ ศิริวิสุทธิ์กุล

รองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา มิ่งฉาย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพ.อุดมศักดิ์ แก้วใจ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมนึก เข็ญจิระพงษ์พันธ์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ยศ สันตสมบัติ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ วีโชค มุกตมานัน	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ศาสตราจารย์ ดร.ลัญชัย จตุรสิทธิ์ธา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.อาวี ธิบุลย์พงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทร์พรหมมา	มหาวิทยาลัยหาดใหญ่
รองศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ สิมารักษ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิระ ประเสริฐสุรพร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.เสมอ ถาโมทัย	มหาวิทยาลัยพะเยา
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวกรณ์ โทภาสพัฒนกิจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
คณบดีจมาต ติระมาศวนิช	นักวิชาการอิสระ

บรรณาธิการจัดการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เหวอเรศ นีริสสิทธิ์กุล

คณะจัดทำวารสาร

ดร.ธนิดา เจริญสุข ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรัตน์ หวานจิตต์

วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ตำบลไทรย่น อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

E-mail: abctrjournal@gmail.com

ทั้งคณะและข้อคิดเห็นของบทความในวารสารฉบับนี้เป็นของผู้เขียนแต่ละท่านไม่ถือเป็นทั้งคณะและความรับผิดชอบของมหาวิทยาลัยและ
จัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สถาบันวิจัยและนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และกองบรรณาธิการ

บทบรรณาธิการ

การขึ้นปีที่ 15 ของวารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่ ชีวชนให้มองย้อนกลับไปถึงจุดเริ่มต้นของวารสาร ภายใต้ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ด้วยวิสัยทัศน์ของผู้บริหารและผู้ทรงคุณวุฒิ ที่เล็งเห็นถึงความสำคัญในการเปิดเวทีสำหรับงานวิจัยที่เน้นการมีส่วนร่วมของชุมชนในการสร้างการเปลี่ยนแปลง พัฒนาพื้นที่ วารสารจึงแตกต่างจากวารสารส่วนใหญ่ที่เน้นการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ มีฐานอนุช อาภาภิรม เป็นบรรณาธิการคนแรก

ในระดับสากล แนวทางนี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ทำให้วารสารสำหรับงานวิจัยแบบมีส่วนร่วมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน รวมทั้ง พันธกิจสัมพันธ์มหาวิทยาลัยกับสังคม ในฐานะข้อมูล Scopus เพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อย ๆ การประยุกต์ใช้องค์ความรู้แบบสหสาขาวิชา เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของพื้นที่ ตามบริบทที่เปลี่ยนแปลง ทำให้บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารเหล่านี้ มีข้อค้นพบใหม่มากมายเช่นกัน เรเริ่มกับประโยชน์ที่เห็นเป็นรูปธรรม ยืนยันถึงคุณค่าของงานวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ ได้เป็นอย่างดี

รองศาสตราจารย์ ดร. ชิตณรงค์ ศิริเลิศวรกุล
บรรณาธิการ



สารบัญ

รูปแบบการจัดการของเหลือทิ้งจากไม้เพื่อสร้างความเข้มแข็งชุมชนบ้านโพธิ์งาม จังหวัดปราจีนบุรี	1-14
วิภาวดี รักบำรุง พงศพิงค์ พันธมัสโสภา ศิริชล บัวบุญ กุลวดี สังข์สนิท และ วารุณี อวยวิริยะนันท์	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสาหร่ายชื่อเพื่อการแข่งขันทางการตลาด เกาะพะลวย จังหวัดสุราษฎร์ธานี	15-32
วรรณพิชญ์ จุลกลัป กนกรัตน์ พลศิลป์ และ รัชกร สุ่มกุล	
การพัฒนาแบบผลิตภัณฑ์แม่ตุ้มเงินข้าพริกเพื่อส่งเสริมรายได้ในชุมชนโหล จังหวัดพะเยา	33-42
พิชญ์สินี เสถียรธราดล เฉลิมพันธ์ แก้วกันทะ และ คมกฤษ คำชม	
การพัฒนาสื่อเพื่อสร้างการรับรู้และสร้างมูลค่าเพิ่มผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบงาหลักร้อย จังหวัดนครราชสีมา	43-55
พีรวิทย์ คำเจริญ เนตรชนก บัวมาศ รุ่งกานต์ มุสโกภาส จารุวรรณ พงษ์จະลวีสดี และ อิศรชัย ลาวรรณ	
เส้นทางการท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมเชิงสร้างสรรค์เพื่อสุขภาพโดยชุมชน อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง	56-71
ไพฑูรย์ ยืนดีชื่น ณัฏฐกรณ์ ประเทืองบริบูรณ์ วินโชย คำแสน จารุวรรณ สิมป์โพนธ์ สรรค์สุข บุญวุฒิ สนธิญา สุวรรณราช ปัญจพร ศรีนาพันธ์ เกศณี สัตตรัตน์จร อวิชชัย ท่าทอง ฐานุร ศิริยอด กมลวรรณ ทาวิน ชุติณัฐ ปานคำ กรรณิการ์ สายเทพ และ กนกพร ศรีวิชัย	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลิปสติกน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิ้นเย็นของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนสมุนไพร ตำบลเกาะเต่า จังหวัดพัทลุง	72-88
วิภาวดี ร่องสาริการ พิมพามา สุกทว และ อมรรัตน์ ถนอมแก้ว	



รูปแบบการจัดการของเหลือทิ้งจากไม้เพื่อสร้างความ เข้มแข็งชุมชนบ้านโพธิ์งาม จังหวัดปราจีนบุรี



บทควมวิจัย

วันที่รับบทความ:

19 สิงหาคม 2565

วันแก้ไขบทความ:

10 กุมภาพันธ์ 2566

วันตอบรับบทความ:

15 กุมภาพันธ์ 2566

วิภาวดี รักบำรุง พงศิพงศ์ พันธมนัสโสภา ศิริชล บัวบุญ กุลวดี สังข์สนิท และ
วารุณี อริยวิริยะนันท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี

จังหวัดปทุมธานี 12110

*ผู้เขียนหลัก อีเมล: warunee.a@en.mutt.ac.th



คำสำคัญ:

จังหวัดปราจีนบุรี

เศษไม้

การจัดการของเหลือทิ้ง

ภาชนะบรรจุอาหารรีไซเคิล

เทอร์โมพลาสติกสแตร์ช

บทคัดย่อ

ชุมชนบ้านโพธิ์งาม อำเภอบ้านจั่นจันทคาม จังหวัดปราจีนบุรี มีอาชีพเพาะปลูกไม้และ
มีปราชญ์ชุมชนที่มีความรู้ความสามารถด้านการผลิตงานหัตถกรรมจากภูมิปัญญาท้องถิ่น
การผลิตผลิตภัณฑ์จากไม้ของชุมชนทำให้มีของเหลือทิ้ง เช่น เศษไม้ ฝอยไม้ เศษเส้นดอก
ที่ไม่ได้คุณภาพจำนวนมาก ซึ่งชุมชนกำลังจัดการของเหลือทิ้งจากไม้โดยการเผา ทำให้เกิดมลภาวะ
และส่งผลต่อสุขภาพในระยะยาวของคนในชุมชน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา
รูปแบบการจัดการของเหลือทิ้งจากไม้ในชุมชนหัตถกรรม เพื่อสร้างความเข้มแข็งของชุมชน
บ้านโพธิ์งาม ด้วยกระบวนการทำงานแบบมีส่วนร่วม ดังนี้ 1) การสำรวจ วิเคราะห์อัตลักษณ์
พื้นที่และปัญหา 2) การออกแบบการบริหารจัดการของเหลือทิ้งจากไม้ 3) การคัดแยกชนิด
และขนาดของเศษไม้ 4) การผสมผงไม้เหลือทิ้งกับวัสดุต่าง ๆ และทดลองขึ้นรูปชิ้นงาน
และผลิตภัณฑ์ และ 5) การเชื่อมโยงภาคอุตสาหกรรมและชุมชน ส่งผลให้ชุมชนสามารถ
จัดการของเหลือทิ้งจากไม้ โดยการแยกชนิดและขนาดผงไม้ และจำหน่ายผงไม้ขนาด 0.5
และ 1.0 มม. ให้กับโรงงานเอกชน ทำให้ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการจำหน่ายผงไม้ 10
บาทต่อ กิโลกรัม และโรงงานเอกชนลดต้นทุนการผลิตได้ 3,000 บาทต่อเดือน และชุมชน
มีผลิตภัณฑ์ภาชนะบรรจุอาหารรีไซเคิลจากผงไม้ที่ปลอดภัยได้เพื่อใช้งานภายในชุมชน
หรือจำหน่าย ผลิตภัณฑ์ภาชนะบรรจุอาหารเป็นเทอร์โมพลาสติกสแตร์ชที่มีกระบวนการ
ขึ้นรูปไม่ซับซ้อน มีค่าความแข็งที่ 25.3-28.7 Shore D และค่าการทนแรงกระแทกที่
4.0-4.5 J/m ดังนั้นรูปแบบการจัดการของเหลือทิ้งจากเศษไม้ทำให้เกิดห่วงโซ่คุณค่าใหม่
แก่ชุมชน คือ 1) สร้างอาชีพการคัดแยกผงไม้เพื่อจำหน่ายให้โรงงานเอกชน และ 2) มีภาชนะ
บรรจุอาหารรีไซเคิลจากกระบวนการแปลงขยะเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ก่อให้เกิดการ
เปลี่ยนแปลงด้านความคิดของคนในชุมชน สร้างรายได้จากอาชีพเสริมและลดปริมาณของ
เหลือทิ้งจากไม้ในพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม และสามารถนำรูปแบบการจัดการของเหลือทิ้ง
ไปใช้งานในพื้นที่อื่น ๆ



Bamboo Waste Management Model to Strengthen the Ban Pho Ngam Community, Prachinburi Province



Research Article

Received:

19 August 2022

Received in revised form:

10 February 2023

Accepted:

15 February 2023

Vipawadee Rakkumrung, Pruttipong Pantamanatsopa, Sirichon Buaboon, Kullawadee Sungsanit and Warunee Ariyawiriyanan*

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi District, Pathumthani Province 12110, Thailand

*Corresponding author's E-mail: warunee.a@en.rmutt.ac.th



Keywords:

Prachinburi province
Bamboo fiber
Waste management
Biodegradable food containers
Thermoplastics starch

Abstract

Ban Pho Ngam Community in Prachantakham district, Prachinburi province grows bamboo and has acquired local wisdom in producing bamboo handicrafts. Throughout the manufacturing process, the community handicrafts generate much bamboo waste such as bamboo scraps, bamboo stumps, and poor-quality bamboo stick scraps. In the past, the community used a variety of techniques to dispose of bamboo waste, including crushing and mixing with soil for fertilizer, but most of the waste will be eradicated through the burning method. This had a pollution effect and would impact community health in the long run. This research aims to find a model for bamboo waste management to enhance the Ban Pho Ngam community through participatory engagement procedures. There are 1) visiting and investigating local concerns, concepts, and identities; 2) designing a management model for bamboo waste; 3) educating the classification of the types and sizes of waste bamboo powder; 4) mixing the bamboo waste with thermoplastic starch to generate a product; and 5) establishing industry-community links. The result showed that the community can minimize bamboo waste by classifying the shape and size of bamboo fragments and then transferring them to a private manufacturer to make products. While bamboo is processed into biodegradable food containers based on easy-to-form thermoplastic starch, the Ban Pho Ngam community's goal for the eco-product from bamboo waste is realized. The product accommodates both local use and sales. Apart from the container, bamboo waste fragments for sale are made available in two sizes — 0.5 and 1.0 mm. The sales of this type of waste generate an income of 10 Baht/kg whereas the factory can reduce costs in ordering bamboo waste by about 3,000 Baht/month. The community has income from the bamboo waste while also reducing the quantity of bamboo waste in the area. The product has a hardness of 25.3–28.7 Shore D, and an impact strength of 4.0–4.5 J/m. Therefore, Ban Pho Ngam is encouraged to establish a new value chain for bamboo waste in two aspects: 1) emerging communities for new jobs in bamboo waste sorting and sale to the commercial sector; 2) communities creating environmentally friendly food containers for local consumption and sale. In both cases, the process of transforming waste into new products has the effect of changing people's mindsets. It provides an extra source of income while also reducing the quantity of bamboo waste in the area. In conclusion, the waste management model may be applicable in other communities.

บทนำ

ไผ่เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ เนื่องจากสามารถกระจายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและเติบโตเร็ว สามารถปลูกหมุนเวียนและทดแทนได้รวดเร็ว จึงเป็นพืชที่มีศักยภาพการทดแทนสูงและยั่งยืน สำหรับประเทศไทยมีไผ่ 69 ชนิด กระจายอยู่ทั่วประเทศ และทั่วโลกมีไผ่ประมาณ 1,500 ชนิด (Thailand Environment Institute Foundation, 2017) ต้นไผ่ประกอบด้วยเซลล์ลอสเกือบทุกส่วน สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนได้ดี และให้มวลชีวภาพต่อไร่สูงกว่าพืชชนิดอื่นในระยะเวลาและพื้นที่เท่ากัน จึงช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบรรเทาภาวะโลกร้อนได้สูงกว่าต้นไม้ทั่วไป รากไผ่ช่วยยึดหน้าดินและป้องกันการพังทลายของดินได้ดี จึงมักปลูกไว้เป็นแนวริมน้ำเพื่อป้องกันดินพัง ไผ่เป็นไม้เอนกประสงค์สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ตั้งแต่เหง้า กอ หน่อ ใบ กาบ เมล็ด กิ่ง แขนง และลำต้น

ไผ่ที่สำรวจพบในประเทศไทยเป็นไผ่พื้นเมืองกว่า 50 ชนิด กระจายในภาคเหนือมากที่สุด ไผ่ที่พบมาก ได้แก่ ไผ่รวก ไผ่ขาง นวล และไผ่ไร่ ด้วยลักษณะภูมิประเทศและสภาพอากาศของประเทศไทย เชื้อต่อการเจริญเติบโตของไผ่หลายชนิด จึงเป็นข้อได้เปรียบในการพัฒนาให้เป็นแหล่งไผ่เศรษฐกิจ พื้นที่ปลูกไผ่เพื่อการค้าทั้งหมดประมาณ 9.2 หมื่นไร่ (Prachinburi Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 2020) โดยปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออก ประมาณ 4 หมื่นไร่ รองลงมาคือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้

คนไทยมีความใกล้ชิดกับไผ่ตั้งแต่เกิด และนิยมนำมาใช้ประกอบอาหาร ผลิตภัณฑ์อยู่อาศัย ซึ่งเกี่ยวข้องกับภูมิปัญญาและวัฒนธรรมของไทยมายาวนาน เดิมชาวบ้านจะใช้

หน่อไผ่ย่อนสำหรับเป็นอาหาร และใช้ไผ่แฝ สำหรับจักสาน สร้างบ้านเรือน หรือทำอุปกรณ์ในการประกอบอาชีพ เพื่อสร้างรายได้เสริม เพิ่มรายได้หลักให้กับครอบครัว ปัจจุบันไผ่มีบทบาทสำคัญทางการค้ามากขึ้น เนื่องด้วยเนื้อไผ่ไม่มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา แต่ยืดหยุ่นสามารถดัดโค้งงอได้ดี จึงนิยมนำใช้ในงานก่อสร้าง และเฟอร์นิเจอร์ราคาสูง นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติที่ใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้และใช้ในอุตสาหกรรมเชื้อกระดาษ รวมถึงการผลิตถ่านคุณภาพเพื่อนำไปใช้ในยา เวชสำอาง อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Thailand Environment Institute Foundation, 2017)

จังหวัดปราจีนบุรี มีพื้นที่ปลูกไผ่เพื่อการค้ามากที่สุดในภาคตะวันออก ดังภาพที่ 1 (Figure 1) และมีผลผลิตมากที่สุดในประเทศไทย (Prachinburi Agricultural Extension Office, 2019) โดยมีเนื้อที่ปลูก 21,998 ไร่ จากผู้ปลูกไผ่จำนวน 2,678 ครัวเรือน ผลผลิตเฉลี่ย 1,197 กก./ไร่ การผลิตไผ่เพื่อการจำหน่ายมีดังนี้ ส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตที่ปลูกเพื่อการจำหน่ายเองร้อยละ 94.44 และร้อยละ 5.56 ซื้อไผ่มาจากแหล่งอื่น เป็นการปลูกไผ่เพื่อการจำหน่ายหน่อมากที่สุด ร้อยละ 54.83 รองลงมา ได้แก่ การปลูกไผ่เพื่อการจำหน่ายลำ ร้อยละ 30.65 สามารถผลิตลำไผ่ขายรวมทั้งสิ้นเฉลี่ย 43,636 ลำต่อปี (Chaipong, 2020) การปลูกไผ่เพื่อการจำหน่ายต้นพันธุ์ ร้อยละ 11.29 และการปลูกไผ่เพื่อการจำหน่ายใบ ร้อยละ 3.23 ความหลากหลายของไผ่ในจังหวัดปราจีนบุรี พบ 6 สกุล 18 ชนิด โดยพบในอำเภอเมือง 12 ชนิด อำเภอประจันตคาม (ตำบลจาง) 9 ชนิด อำเภอบ้านสร้าง (ตำบลบางพลวง) 6 ชนิด อำเภอศรีมโหสถ (ตำบลโคกปีบ) 6 ชนิด และอำเภอบ้านนา 6 ชนิด

ชุมชนในจังหวัดปราจีนบุรี รวมตัวกันผลิตงานหัตถกรรมที่ใช้ไผ่เป็นวัตถุดิบหลักนำมาจำหน่ายให้ผู้ที่เดินทาง ทั้งเครื่องเรือนเฟอร์นิเจอร์ สำหรับตกแต่งบ้านเรือน เช่น ชุดรับแขก เตียงนอน ชุมนเรือนไทยมุงหญ้าคา ชุมนเรือนไม้เก่าเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น



Figure 1 Bamboo forest at Prachinburi province

ตะแกรง ผ้าชีวนหลายต่าง ๆ อุปกรณ์สำหรับจัดสวน เช่น รั้วไม้ กระถางปลูกกล้วยไม้ เป็นต้น (Prachinburi Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 2020) แต่ละครัวเรือนสามารถผลิตได้ ครัวเรือนละ 1-2 ชนิด และใช้ไฟเป็นวัตถุดิบมากกว่า 1 สายพันธุ์ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้สั่งซื้อ โดยผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากไม้ มีทั้งสิ้น 13 ชนิด เป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภค 1 ชนิด คือ หน่อไม้สดและต้ม ร้อยละ 4.55 และการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่ออุปโภค 12 ชนิด ดังนี้ คือ แคร่ไม้ไผ่ ร้อยละ 18.18 บันได ร้อยละ 13.64 ไม้กวาดดอกหญ้า ร้อยละ 9.09 ไม้กวาดทางมะพร้าว ร้อยละ 9.09 สุ่มไก่ ร้อยละ 9.09 หมวกสาน ร้อยละ 9.09 พัดสาน ร้อยละ 5.56 ร่ม ร้อยละ 5.56 ตะกร้าสาน ร้อยละ 5.56 ไม้ตะขุด ร้อยละ 5.56 ช้อนไม้ไผ่ ร้อยละ 5.56 และแผงกั้นยึดแผง ร้อยละ 4.55 (Pattanaibool, 1998; Chaipong, 2020)

สถานการณ์ที่เป็นอยู่เดิม

หมู่บ้านโพธิ์งาม อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี มีประชากรทั้งสิ้น 10,539 คน จำนวน 19 หมู่บ้าน/ชุมชน 154 ครัวเรือน (Pho Ngam Sub District, 2021) มีอาชีพประกอบกิจการ

แปรรูปไม้ทุกครัวเรือน มีปราชญ์ชุมชนที่เป็นช่างฝีมือผลิตงานหัตถกรรมจากภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยมีผลิตภัณฑ์ชุมชนดังนี้ หมวกสาน แคร่ไม้ไผ่ ชุดโต๊ะกินข้าว ตูมไม้กวาด บันได เก้าอี้พับได้ เต๊องไม้ไผ่ สุ่มไก่ อังกะลุง (เครื่องดนตรี) เป็นต้น ดังภาพที่ 2 (Figure 2) การซื้อขายจะมีผู้มารับสินค้า การสั่งซื้อสินค้าล่วงหน้าจากพ่อค้าคนกลาง รวมทั้งมีศูนย์เรียนรู้ผลิตภัณฑ์ชุมชน รายได้เฉลี่ยของคนในชุมชนอยู่ที่คนละ 6,000-9,000 บาทต่อเดือน ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตและวัตถุดิบ และลูกค้า เช่น กลุ่มนักท่องเที่ยว กลุ่มครอบครัว กลุ่มผู้สูงอายุ กลุ่มวัยทำงาน กลุ่ม MICE/ศึกษาดูงาน กลุ่มวิสาหกิจชุมชน/วิสาหกิจ

จากการวิเคราะห์บริบทของพื้นที่พบว่า ขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์หัตถกรรมจากไม้ไม่ทำให้มีเศษวัสดุหรือวัตถุดิบเหลือทิ้ง ดังนั้น ขั้นตอนการจักเส้นดอกจะมีเศษเปลือกไม้ ปล้องและท้องไม้ ขั้นตอนการสานจะเหลือเส้นดอกส่วนเกิน และขั้นตอนการอัดเป็นแผ่นเหลือเศษชิ้นส่วนจากการตัดขอบเพื่อให้ได้ขนาดที่ลูกค้าต้องการ คิดเป็นปริมาณร้อยละ 20-30 ของแต่ละขั้นตอน ซึ่งนับว่ามีเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก อุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ที่ใช้ลำไม้เศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากสูงถึงร้อยละ 60-70 ซึ่งอยู่ในรูปของเศษไม้ไผ่ ดังภาพที่ 3 (Figure 3) ในพื้นที่ปลูกไม้เพื่อขายลำไม้หรือลำไม้ไปใช้ประโยชน์ มีเศษวัสดุเหลือทิ้งคือ ใบไม้



Figure 2 Handicraft products from the Wisdom of Pho Ngam Village; (a) Hat, (b) Bamboo litter and (c) Dining table



Figure 3 Bamboo waste from community enterprises; (a) Bamboo stalks, (b) Bamboo powder and (c) Bamboo leaves

ซึ่งการกำจัดและการจัดการของเหลือทิ้ง เศษไม้ และผงไม้เหลือทิ้ง ที่มีในชุมชน ยังใช้การเผาทำลาย ซึ่งส่งผลให้มีมลพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่น PM 2.5 ที่ยังเป็นปัญหามลภาวะทางอากาศของประเทศไทย

จากข้อมูลการสำรวจและวิเคราะห์ความต้องการของชุมชนพบว่า ชุมชนต้องการยกระดับสินค้าและผลิตภัณฑ์ชุมชน รวมถึงการจัดการเศษไม้เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงนำแนวความคิดการพัฒนารูปแบบการจัดการของเหลือทิ้งจากไม้ที่เกิดจากงานหัตถกรรมในชุมชน เพื่อช่วยแก้ปัญหาของเหลือทิ้งจากไม้ และยังเพิ่มรายได้และสร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชน

กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลง และการยอมรับของชุมชนเป้าหมาย

1. การสำรวจ วิเคราะห์อัตลักษณ์พื้นที่และสภาพปัญหา

กลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้อง (Stakeholder) ที่ดำเนินการครั้งนี้ ระบุในตารางที่ 1 (Table 1)

ภาคชุมชน ความต้องการของชาวบ้านในชุมชน และผู้ให้ข้อมูล มีดังนี้ 1) ต้องการลดปริมาณขยะจากเศษไม้เหลือทิ้ง และลดการเผาทำลาย โดยต้องการแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบผงหรือชิ้นเสี้ยว และ 2) ต้องการผลิตภัณฑ์ใหม่จากเศษไม้เหลือทิ้งที่สามารถนำไปใช้งานได้ทั่วไป รักษาสิ่งแวดล้อม และสามารถจำหน่ายให้กับนักท่องเที่ยว

ภาคเอกชน ความต้องการของโรงงานเอกชนที่ผลิตผลิตภัณฑ์จาก ชาม และกลอง จากการผสมแป้งมันสำปะหลังกับเศษผงไม้ซึ่งเป็นเศษผงไม้เหลือทิ้งจากโรงงานเคียบ จังหวัดลำปาง และต้องการแปรรูปเศษผงไม้เหลือทิ้งเพื่อให้ได้ขนาดเล็กลงที่ต้องการก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิต ดังนั้นความต้องการ

จึงมีดังนี้ 1) ต้องการเศษผงไม้ที่มีขนาดที่เหมาะสมสำหรับขึ้นรูป 2) ต้องการเศษผงไม้ที่มีราคาต่ำจากเดิม เนื่องจากต้นทุนการซื้อผงไม้แปรรูปเพื่อทำให้อนุภาคเล็กลงที่ต้องการ 0.5 – 2.3 มิลลิเมตร ด้วยวิธีการปั่นด้วยความเร็วสูง อยู่ที่ 20 บาท/กก. และวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ อยู่ที่ 30 บาท/กก. 3) ต้องการทราบขนาดและปริมาณของเศษผงไม้ที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงานเอกชน และ 4) ต้องการเศษผงไม้ในราคา 10-15 บาท/กก. ซึ่งหากวัตถุดิบมีราคาถูกและคุณภาพดีจะทำให้ราคาจำหน่ายของผลิตภัณฑ์ลดลงได้

2. การออกแบบการบริหารจัดการของเหลือทิ้งจากไม้

จากการสำรวจและวิเคราะห์อัตลักษณ์พื้นที่และสภาพปัญหา ทำให้ชุมชนเรียนรู้วิธีการจัดการเศษเหลือทิ้งจากไม้ โดยนำมาแยกประเภทและขนาดเศษไม้ แล้วนำส่งโรงงานเอกชนที่รับซื้อเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถสร้างรายได้อย่างน้อยร้อยละ 10 และเพิ่มมูลค่าให้กับเศษไม้เหลือทิ้ง ดังภาพที่ 4 (Figure 4)

กระบวนการบริหารจัดการของเหลือทิ้งจากไม้ มีดังนี้ 1) ชุมชนต้องแยกเศษไม้เหลือทิ้งตามขนาดที่บริษัทต้องการและร่วมคิดวิธีของการปะปนของเศษดินทรายกับเศษไม้ และต้องเผื่อกำหนดเศษไม้ให้แห้งสนิทเพื่อความสะดวกในการใช้งาน และ 2) ชุมชนต้องแยกเศษไม้เหลือทิ้งจากกลุ่มผู้ประกอบการด้านการแปรรูปลำไยแต่ละประเภทออกจากกัน เนื่องจากเศษไม้แต่ละประเภทมีขนาดที่แตกต่างกัน เช่น ข้อต่อจากงานเฟอร์นิเจอร์ เศษไม้และผงไม้จากการทำเส้นตอก

3. การคัดแยกชนิดและขนาดผงไม้เหลือทิ้ง

การคัดแยกขนาดผงไม้ให้พอเหมาะสำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และขนาดและปริมาณของเศษไม้ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มีขนาดตามที่โรงงานเอกชนต้องการ โดยการ

Table 1 Collaboration of relevant stakeholder groups

Community/Enterprise/Company	Address	Joint operation	In-kind
The Ban Pho Ngam Community	Prachanlakhom district, Prachinburi province	to be integrated in the participatory research process with the research team and the community	- Materials and raw materials for research such as bamboo, bamboo, leftover bamboo powder, bamboo leaves. - Research area - Accommodation for researchers when visiting the area, etc.
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Pathum Thani province	Design and trial molding of products	- Forming tools - Analysis tools

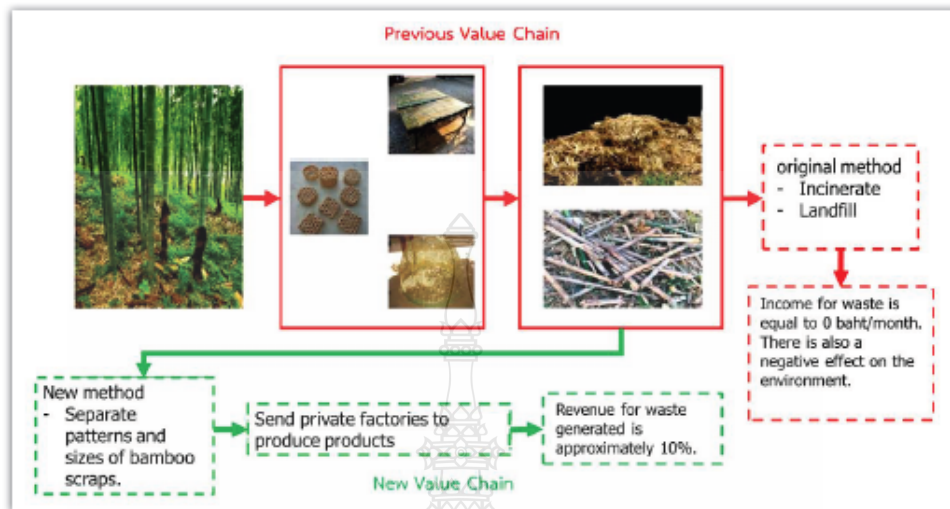


Figure 4 Value chain of bamboo waste management

ร่อนคัดแยกเศษผงไม้เหลือทิ้งเป็นวิธีที่ง่าย เหมาะสม ประหยัด ค่าใช้จ่าย และเป็นที่ยอมรับของชาวบ้าน จึงเลือกวิธีการร่อนคัดแยก ขนาดเพื่อส่งต่อไปกับโรงงานเอกชน ดังภาพที่ 5 (Figure 5)

การแยกขนาดผงไม้ด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงดัง ภาพที่ 6 (Figure 6) เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า ผงไม้ขนาด 2.3 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นแผ่น เส้นยาว และเศษขนาดใหญ่จำนวนมาก เมื่อเทียบกับผงไม้ขนาด 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งผงไม้ขนาด 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร มีเศษขนาดใหญ่ลดน้อยลง มีขนาดอนุภาคที่ลดลงตามลำดับ โดยขนาดที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ คือ ผงไม้ขนาด 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร

การศึกษาสมบัติทางเคมีของผงไม้จากกระบวนการร่อน ก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นเทอร์โมพลาสติกสไตร์ เพื่อศึกษาความแตกต่างของผงไม้จากแหล่งวัตถุดิบ ด้วยเครื่อง FTIR ดังภาพที่ 7 (Figure 7) พบว่า ผงไม้จากชุมชน ผงไม้จากโรงงานตะเกียบ และ ผงไม้จากการกระเปิดไอน้ำ มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน เพราะไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี ส่วนผงไม้จากโรงงานไม้ขัด ผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อป้องกันปลวก มีค่าแหล่งพีคที่ 1735 cm^{-1} และ 1240 cm^{-1} หายไป ซึ่งเป็นโครงสร้างของลิกนินและ เฮมิเซลลูโลส ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผงไม้จากชุมชนบ้านโพธิ์งามจาก งานหัตถกรรมสามารถนำไปใช้ในโรงงานเอกชนได้

โครงสร้างเส้นใยไม้ที่ผ่านกระบวนการดัดด้วยด่าง (Alkalization) และฟอกขาว (Bleaching) ดังภาพที่ 8 (Figure 8) แสดงเส้นใยไม้ที่ได้ปรับปรุงพื้นผิว และเส้นใยไม้ที่ปรับปรุงพื้นผิว

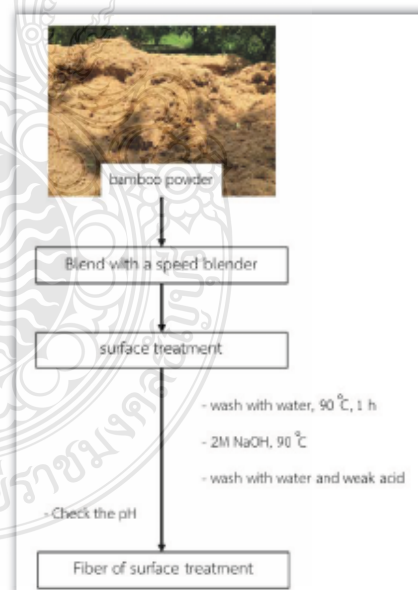


Figure 5 Preparation of bamboo waste fiber

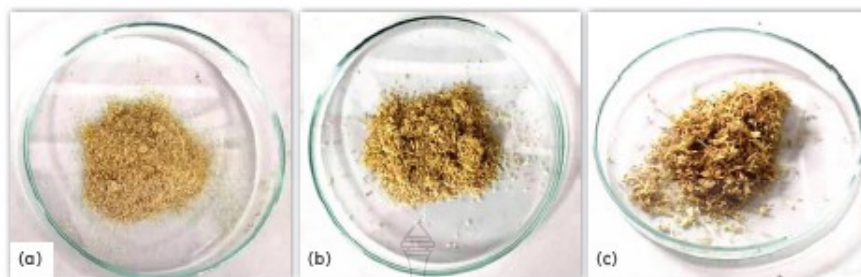


Figure 6 Size of bamboo powder; (a) 0.5 mm, (b) 1.0 mm and (c) 2.3 mm

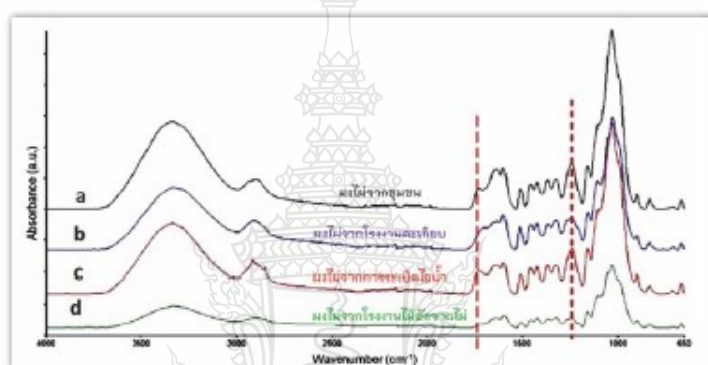


Figure 7 FTIR spectrum of bamboo source; (a) Community enterprise, (b) Chopstick factory, (c) Steam explosion and (d) Plywood Factory

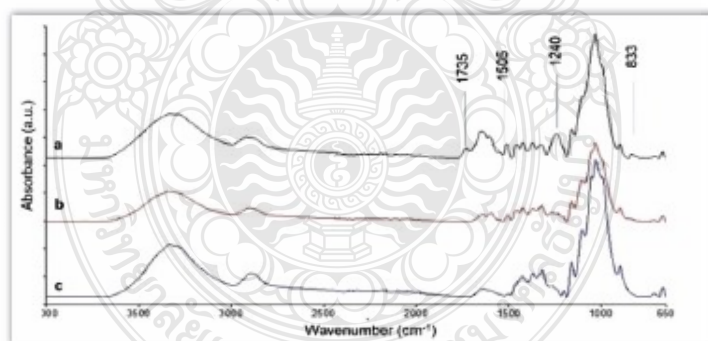


Figure 8 FTIR spectrum of bamboo waste treatment; (a) Untreated, (b) Alkaline treatment and (c) bleaching

แสดงการสั่นของพันธะ C=O stretch ซึ่งแสดงถึงเส้นใยที่มีโครงสร้างแบบเฮมิเซลลูโลส และปรากฏที่ 1240 cm^{-1} แสดงการสั่นของพันธะ C-O stretch ซึ่งแสดงถึงเส้นใยไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีลิกนินและเฮมิเซลลูโลส และเมื่อเทียบกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเลขคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสงที่ทำการปรับปรุงเส้นใยแล้ว ไม่พบการสั่นของพันธะในช่วง 1735 cm^{-1} และ

1240 cm^{-1} ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการปรับปรุงเส้นใยด้วย NaOH และ H_2O_2 สามารถกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้

ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่มีขนาดผงไฟต่างกันจากกล้อง Optical microscope ดังภาพที่ 9 (Figure 9) จากการทดสอบลักษณะพื้นผิวชิ้นงาน Thermoplastic Starch (TPS) ผสมผงไฟขนาด 0.5 มิลลิเมตร, 1.0 มิลลิเมตร และ 2.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่า พื้นผิวชิ้นงาน TPS ผสมผงไฟขนาด 0.5 มิลลิเมตร และพื้นผิวชิ้นงาน TPS ผสมผงไฟขนาด 1.0 มิลลิเมตร มีลักษณะเรียบกว่า พื้นผิวชิ้นงาน TPS ผสมผงไฟขนาด 2.3 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าขนาดของผงไฟส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน โดยผงไฟที่มีขนาดเล็กจะมีลักษณะพื้นผิวชิ้นงานละเอียด เนื่องจากผงไฟที่มีขนาดเล็กจำนวนมากทำให้เกิดการแทรกตัวในเนื้อพลาสติกมากขึ้น

การขึ้นรูปเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยนำผงไฟแต่ละขนาดที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรง (Curvelo et al., 2001; Rodriguez-Gonzalez et al., 2004; Ma et al., 2005; Martins et al., 2009) แสดงดังภาพที่ 10 (Figure 10) และการทดสอบผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติเชิงกล ดังตารางที่ 2 (Table 2) ผลการขึ้นรูปเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ผสมผงไฟขนาด 0.5 มิลลิเมตร, 1.0 มิลลิเมตร และ 2.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่า สามารถขึ้นรูปชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้ ขนาดของผงไฟขนาด 0.5 มิลลิเมตร และ 0.1 มิลลิเมตร ไม่ส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน เนื่องจากผงไฟมีขนาดเล็กสามารถกระจายตัวได้ดีในเนื้อพลาสติก

จากตารางที่ 2 (Table 2) วัสดุเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ผสมผงไฟขนาด 2.3 มิลลิเมตร มีค่าการทนต่อแรงกระแทกสูงสุด

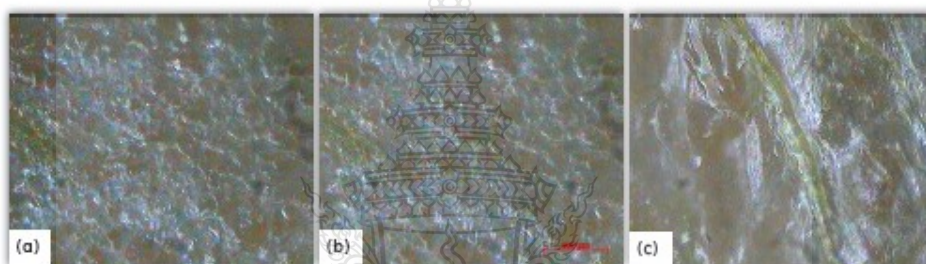


Figure 9 Optical microscope of various size of bamboo powder; (a) 0.5 mm, (b) 1.0 mm and (c) 2.3 mm



Figure 10 Thermoplastic product prepared from various size of bamboo waste powder; (a) 0.5 mm, (b) 1.0 mm and (c) 2.3 mm

Table 2 Impact strength and Hardness shore D of neat thermoplastic starch thermoplastic starch mixed with various size of bamboo waste fiber

Thermoplastic starch	Impact strength (J/m)	Shore D
Non-fiber	-	15.70
Bamboo size 0.5 มิลลิเมตร	4.03	28.67
Bamboo size 1.0 มิลลิเมตร	4.54	25.33
Bamboo size 2.3 มิลลิเมตร	5.04	21.67

อยู่ที่ 5.04 จูล/เมตร รองลงมาคือ วัสดุเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ผสมผงไผ่ขนาด 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าการทนต่อแรงกระแทก 4.54 จูล/เมตร และวัสดุเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ผสมผงไผ่ขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีค่าการทนต่อแรงกระแทกต่ำสุดอยู่ที่ 4.03 จูล/เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนาดของผงไผ่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงกระแทก โดยผงไผ่ที่มีขนาดยาวกว่าจะสามารถต้านทานแรงกระแทกได้ดีกว่า

การทดสอบความแข็ง (Hardness shore D) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ของชิ้นทดสอบเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ ผสมผงไผ่ขนาด 0.5 มิลลิเมตร, 1.0 มิลลิเมตร และ 2.3 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าชิ้นทดสอบเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ ผสมผงไผ่ขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถทนต่อแรงกดของการทดสอบความแข็ง ได้สูงสุดที่ 28.06 โดยชิ้นทดสอบเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ ผสมผงไผ่ขนาด 1.0 มิลลิเมตร และ 2.3 มิลลิเมตร มีค่าความแข็ง อยู่ที่ 25.33 และ 21.67 ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับชิ้นทดสอบที่ไม่ได้เติมผงไผ่พบว่ามีความแข็งต่ำกว่าชิ้นทดสอบที่เติมผงไผ่ขนาดต่าง ๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าขนาดของผงไผ่มีผลต่อการรับแรงกด โดยผงไผ่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะสามารถทนต่อแรงกดได้สูงกว่า เนื่องจากผงไผ่ที่มีขนาดเล็กสามารถกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์

ภาพที่ 11 (Figure 11) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และเวลาในการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ ผสมผงไผ่ในขนาดที่แตกต่างกัน ชิ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 °C ผลการทดลองพบว่า ชิ้นทดสอบเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ ผสมผงไผ่ขนาด 2.3 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากกว่า และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำลดลงเมื่อขนาดของผงไผ่

เล็กลง เนื่องจากเส้นใยขนาดเล็กสามารถกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์เทอร์โมพลาสติกสตาซ์ ทำให้ในเมทริกซ์เกิดช่องว่างได้น้อย การดูดซึมน้ำจึงลดลง จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยของขนาดผงไผ่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ สรุปได้ว่าขนาดผงไผ่ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่สุด คือ ผงไผ่ขนาด 0.5 มิลลิเมตร และรองลงมา คือ ผงไผ่ขนาด 1.0 มิลลิเมตร และผงไผ่ขนาด 2.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ

4. การผสมผงไผ่เหลือทิ้งกับวัสดุต่าง ๆ และทดลองขึ้นรูปชิ้นงานและผลิตภัณฑ์

การผสมผงไผ่เหลือทิ้งกับวัสดุต่าง ๆ ตามสูตร ดังตารางที่ 3 (Table 3) และทดลองขึ้นรูปชิ้นงานและผลิตภัณฑ์ตามภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากเศษไผ่เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง ผงไผ่ และน้ำมันปาล์ม โดยมีกระบวนการขึ้นรูป ดังนี้

1) การเตรียมเส้นใย นำเส้นใยที่เป็นของเหลือทิ้งซึ่งรวบรวมมาจากผู้ประกอบการแปรรูปลำไย และงานหัตถกรรมชาวบ้านในชุมชนโพธิ์งาม นำมาบดด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงเพื่อลดขนาดเป็น 2.3 มิลลิเมตร 1.0 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

2) การเตรียมวัสดุเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ผสมผงไผ่ (TPS/B) การอบผงไผ่ที่ลดขนาดโดยเลือกขนาด 0.5 มิลลิเมตร ในการขึ้นรูป เนื่องจากได้ผิวที่เรียบและมีสมบัติทางกลที่ดี นำมาอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งมันสำปะหลัง มาผสมกับน้ำมันปาล์มและเส้นใยลงในถุงโพลีแบค ตามสูตรใน

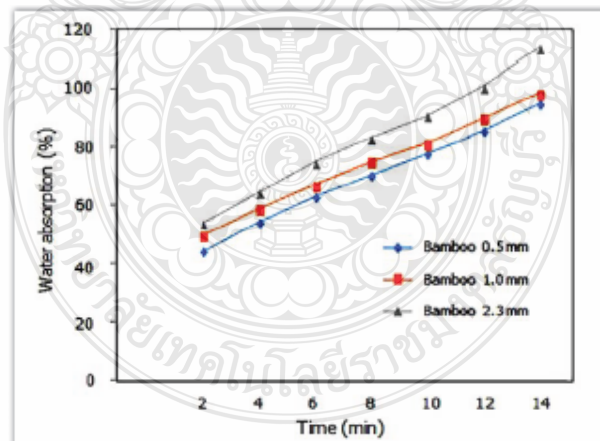
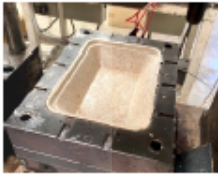


Figure 11 The relationship between water absorption and water absorption time of thermoplastic starch mixed with various size of bamboo waste fiber

Table 3 Formulation of thermoplastic starches (TPS/bamboo) prepared from tapioca starch and bamboo fibers of various content of bamboo waste fiber

Samples	Ratio of TPS/bamboo: Tapioca starch : bamboo waste fiber : Palm oil (wt%)	Processing temperature (degree Celsius)	Forming at different quantities of bamboo waste fibers
TPS/B10	65 : 10 : 25	160	
TPS/B20	55 : 20 : 25	160	
TPS/B30	45 : 30 : 25	160	
TPS/B50	25 : 50 : 25	160	

ตารางที่ 3 เปรียบส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเทส่วนผสมลงในถังกวน เติมน้ำ แล้วกวนส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที จะได้สารผสมสีลักษณะเป็นก้อนที่มีความเหนียวคล้ายขี้ผึ้ง การขึ้นรูปขึ้นงานด้วยเครื่องอัดรีด (Compression molding) ที่ 160 °C เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งพบว่าปริมาณเศษผงไฟปริมาณเกินร้อยละ 10 จะไม่สามารถขึ้นรูปได้ ดังนั้นจึงเลือกสูตรการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาarch สูตร TPS/B10 สำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ

จากการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ทำให้ได้สูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้กับชุมชน คือ ผลิตภัณฑ์ภาชนะบรรจุอาหาร ซึ่งตรงกับความต้องการของชุมชนบ้านโพธิ์งามซึ่งมีแนวคิดการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นของใช้รักษ์โลกจากเศษผงไฟ เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ด้วยการเพิ่มคุณค่าและมูลค่าของผงไฟเหลือทิ้ง โดยการเรียนรู้ ศึกษา ค้นคว้า ทดลอง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์

ต้นแบบและนำไปต่อยอดสร้างรายได้ให้ชุมชนต่อไป และได้รับการตอบรับที่ดีในผลิตภัณฑ์และการสนับสนุนการผลิตผลิตภัณฑ์ให้สามารถวางขายในชุมชนได้ ดังภาพที่ 12 (Figure 12)

5. การเชื่อมโยงภาคอุตสาหกรรมและชุมชน

การจัดการเศษไฟเหลือทิ้งจากงานหัตถกรรมของหมู่บ้านโพธิ์งาม อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี ด้วยการคัดขนาดเศษไฟ ทำเศษผงไฟสำหรับผลิตภัณฑ์จากกระบวนการขึ้นรูปด้วยเทอร์โมพลาสติกสตาarch เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกของภาคอุตสาหกรรม ปัจจุบันโรงงานเอกชนมีปริมาณการใช้ผงไฟ 200 กก./เดือน ดังนั้นชุมชนจะมีรายได้ 1,400 บาท/เดือน/ผลิตภัณฑ์จากเศษไฟที่ต้องเผาทิ้ง นอกจากนี้หากมีการสนับสนุนให้ชุมชนหรือผู้ซึ่งมีส่วนร่วมในการขายผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกสตาarchที่ใช้



Figure 12 Example of thermoplastic starch products from bamboo waste can be made using semi-compression process

เศษผงไฟ ความต้องการในการใช้ผงไฟจะเพิ่มขึ้น ชุมชนก็จะมีความต้องการในการใช้ผงไฟจะเพิ่มขึ้น ชุมชนก็จะมีความต้องการในการใช้ผงไฟจะเพิ่มขึ้น ชุมชนก็จะมีความต้องการในการใช้ผงไฟจะเพิ่มขึ้น

ความรู้หรือความเชี่ยวชาญที่ใช้

การมีส่วนร่วมของชุมชน (Community participation) ชุมชนมีส่วนร่วมในการคิด การแก้ปัญหา และการร่วมลงมือทำ ซึ่งเป็นแนวคิดหนึ่งของการพัฒนาชุมชน ส่งผลให้คนในชุมชนมีความสามัคคี ซึ่งครอบคลุม 3 ประเด็นดังนี้ 1) ผลผลิต (Productivity) 2) การดำรงชีวิตอยู่อย่างอิสระของคนในชุมชน และ 3) การมีส่วนร่วมทางสังคม (Social participation) ทั้ง 3 ประเด็นนำไปสู่การพัฒนาชุมชนอย่างยั่งยืน (Boonmasongsung et al., 2019; Kersey et al., 2020; Sangkakool et al., 2022) การสร้างการมีส่วนร่วมในชุมชนที่ดีนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การมีความรับผิดชอบ การสนับสนุนให้ข้อมูลข่าวสาร การประชุมปรึกษาหารือในชุมชนและการเข้าไปมีส่วนร่วมในชุมชน ดังนั้นการมีส่วนร่วมทุกประเภทควรได้รับการพิจารณาร่วมกัน เนื่องจากแต่ละประเภทต่างมีบทบาทที่สำคัญ ช่วยสนับสนุนและส่งเสริมกันและกันที่สำคัญชุมชนต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตเป็นหลัก มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีเอกลักษณ์ด้วยวัสดุในท้องถิ่น ด้วยวิธีการผลิตแบบท้องถิ่นที่นำมาประยุกต์ร่วมกับแนวทางงานหัตถอุตสาหกรรม ทำให้ผลจากการมีส่วนร่วมของชุมชนนำมาซึ่งการมีรายได้ ทั้งจากการจำหน่ายสินค้าและการให้บริการสนับสนุนของภาครัฐ (Jenjai, 2020) โดยสร้างการมีส่วนร่วมในชุมชน การให้ผู้นำชุมชนและชาวบ้านสอบถามข้อมูลความต้องการจากชาวบ้านในชุมชนและผู้นำหมู่บ้าน และคิดหาแนวทางการลดขยะในรูปแบบผง ชี้อยู่

แนวคิดเกี่ยวกับธุรกิจเพื่อชุมชน (Community entrepreneur)

กระบวนการผลิตและการตลาดที่เน้นคุณธรรมและความยั่งยืน กระบวนการแบ่งปันมูลค่าส่วนเกินให้ความสำคัญในกำไรและคุณค่า เช่น ลดการเบียดเบียนตนเอง ผู้ขึ้น และสิ่งแวดล้อม ชุมชนเข้มแข็งขึ้น จัดการตนเองได้ และเป็นผู้นำในการสร้างการพัฒนาที่ยั่งยืน เป็นต้น ดังนั้น การจัดการธุรกิจเป็นแบบสร้างเครือข่ายความร่วมมือ ผ่านกระบวนการร่วมคิด ร่วมทำ ร่วมเรียนรู้ ร่วมแบ่งปัน ร่วมดูแลตรวจสอบ บังคับทางการผลิตที่เชื่อถือแนวทางนี้ คือ ธรรมชาติ ทุน และความร่วมมือที่สร้างความได้เปรียบทางการผลิตสินค้าและบริการให้กับชุมชน (Homgren et al., 2015; Marchoo et al., 2022) สามารถพึ่งพาตนเองบนฐานต้นทุนของชุมชนได้ และสะท้อนถึงความต้องการที่แท้จริงของชุมชน เป็นที่ตั้งในการพัฒนาร่วมกับภาคีเครือข่ายโดยชุมชนต้องมีส่วนร่วมในการพัฒนาเชิงพื้นที่ร่วมกับภาคีเครือข่ายแบบพหุภาคีและการสร้างความเข้าใจร่วมกัน (The Stock Exchange of Thailand, 2015; Khamkerd et al., 2020) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวคิดในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ด้วยรูปแบบวิธีการจัดการใหม่ การคัดแยกขนาด ก่อนการส่งขายให้กับบริษัทที่รับซื้อเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นกิจกรรมนำไปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้า ซึ่งเป็นพื้นฐานต่อความอยู่รอดของผู้ประกอบการ

โดยผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คือ การสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ การเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์เดิม หรือสร้างความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ให้เหนือกว่าคู่แข่ง (Cazón et al., 2017) โดยกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นการนำกระบวนการคิดค้น ค้นคว้า ออกแบบ แก้ไข และปรับปรุง โดยการพัฒนาด้านผลิตภัณฑ์ใหม่ด้วยการเพิ่มคุณค่าและมูลค่าของผงไฟโพลีเอทิลีน โดยการศึกษาค้นคว้า ทดลอง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบนำไปต่อยอดสร้างรายได้ให้ชุมชนต่อไป

แนวคิดการจัดสรรทรัพยากรให้ครบวงจรเป็น Zero waste

แนวคิด Zero waste หรือขยะเหลือศูนย์ (Pollution Control Department, 2016; Department of Environmental Quality Promotion (DEQP), 2017) เป็นปรัชญาที่ส่งเสริมการหมุนเวียนทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด โดยใช้หลักการของ 3Rs (Reduce, Reuse, Recycle) รวมทั้งการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เกือบทั้งหมด เพื่อเป็นการลดปริมาณของเสียที่ส่งไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ และ/หรือ เผาทำลาย ให้มีปริมาณน้อยที่สุด

การจัดการ “ของเสีย” ตามหลัก 3Rs พิจารณาสองศักยภาพ การใช้ประโยชน์ของของเสียแต่ละประเภทและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เหลือของเสียที่จะต้องบำบัดหรือกำจัดในปริมาณน้อยที่สุด โดยเลือกวิธีการกำจัดของเสียเป็นวิธีสุดท้าย

1) Reduce ลดการใช้ ปฏิเสธหรือหลีกเลี่ยงสิ่งของหรือบรรจุภัณฑ์ที่จะสร้างปัญหาขยะ (Refuse) หรือ เลือกใช้สินค้าที่สามารถส่งคืนบรรจุภัณฑ์ให้ผู้ผลิตได้ (Return)

2) Reuse ใช้ซ้ำ เป็นหนึ่งในแนวทางการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างรู้คุณค่า การใช้ซ้ำเป็นการนำสิ่งต่าง ๆ ที่ใช้งานไปแล้ว และยังสามารถใช้งานได้ กลับมาใช้ซ้ำ เป็นการลดการใช้ทรัพยากรใหม่ รวมทั้งเป็นการลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้น

3) Recycle นำกลับมาใช้ใหม่ รีไซเคิล เป็นการนำวัสดุต่าง ๆ มาแปรรูปโดยกรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดปริมาณขยะมูลฝอยแล้ว ยังเป็นการลดการใช้พลังงานและลดมลพิษที่เกิดขึ้นสิ่งแวดล้อม (Pollution Control Department, 2016) โดยนำแนวคิดนี้มาปรับใช้ในการนำผงไฟโพลีเอทิลีนมาประยุกต์ใช้ให้เกิดมูลค่า แทนการเผาทำลาย เพื่อสร้างรายได้ และเพื่อสร้างความเข้มแข็งของชุมชน

การจัดการของเสียอุตสาหกรรมโดยแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ของเสียไม่อันตราย และของเสียอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 มีระบบการคัดแยกของเสียแต่ละประเภทออกจากกันอย่างชัดเจน เน้นการกำจัดของเสียโดยวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต หรือส่งให้บริษัทภายนอกมารับดำเนินการ นอกจากนี้ยังนำเทคโนโลยีสะอาด (Cleaner technology) มาประยุกต์ใช้ใน

กระบวนการผลิต พยายามลดของเสียจากแหล่งกำเนิดมากที่สุด ส่งผลให้เกิดของเสียอุตสาหกรรมที่จะต้องกำจัดโดยวิธีการนำไปฝังกลบหรือทำลายจำนวนไม่มาก และทำให้ลดการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อระบบนิเวศ

สถานการณ์ใหม่ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ชาวบ้านในชุมชนมีความสนใจในแนวทางการจัดการเศษไฟโพลีเอทิลีนจากชุมชน โดยการนำมาแยกรูปแบบและขนาดผงไฟโพลีเอทิลีนและเริ่มการคัดแยกรูปแบบและขนาดผงไฟโพลีเอทิลีนจากชุมชน เพื่อนำส่งโรงงานเอกชนผลิตสินค้าและสร้างรายได้ในชุมชน ทำให้ลดการเกิดขยะและของเสียจากผงไฟโพลีเอทิลีนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตงานหัตถกรรมของชุมชนบ้านโพธิ์งาม อำเภอบางบาล จังหวัดปทุมธานี

ชุมชนมีการจัดการผงไฟโพลีเอทิลีนใหม่ คือ การร่อนเพื่อแยกขนาดซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ต้นทุนน้อย และสร้างรายได้ให้กับชาวบ้านในชุมชน นอกจากนี้ยังได้เรียนรู้นวัตกรรมใหม่ในชุมชน คือ วิธีการผลิตผลิตภัณฑ์จากผงไฟโพลีเอทิลีนของชุมชน โดยใช้เครื่องอัดรีดที่ 160 °C เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและเหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ของชุมชน

เดิมชุมชนไม่มีรายได้จากเศษไฟโพลีเอทิลีน ปัจจุบันมีบริษัทมารับซื้อผงไฟโพลีเอทิลีนไปใช้ประโยชน์ ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้นประมาณ 2,000 บาท/ผงไฟ 200 กิโลกรัม ต่อครัวเรือน และหากสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายที่โรงงานในพื้นที่หรือจำหน่ายมากขึ้น จะยังสามารถขยายฐานลูกค้าและชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการจำหน่ายสินค้าดังกล่าว

โรงงานเอกชนมีปริมาณการใช้งานเศษไฟประมาณ 200 กก./เดือน/ผลิตภัณฑ์ เดิมมีราคาต้นทุน 20-30 บาท/กก. โดยคิดเป็นต้นทุนเดิม 4,000-6,000 บาท/เดือน ซึ่งหากซื้อเศษไฟจากชุมชนบ้านโพธิ์งามในราคา 10-15 บาท/กก. จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ประมาณ 2,000-3,000 บาท/เดือน ดังตารางที่ 4 (Table 4) ทำให้สามารถขายสินค้าในราคาที่ถูกลงให้กับผู้บริโภค

ผลกระทบและความยั่งยืน ของการเปลี่ยนแปลง

1. ผลกระทบเชิงเศรษฐกิจ

ผงไฟสามารถใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงให้กับผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังได้ และสามารถนำ

Table 4 Estimation of Cost per unit of using bamboo waste from different sources

Source of bamboo waste fiber	Cost price (Baht/kg)	Cost price/month (Baht/month)
The original source of chopstick factory from northern part of Thailand	20-30	4,000-6,000
Bamboo waste from the Ban Pho Ngam Community	10-15	2,000-2,500

มาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกสตาฟฟ์ได้ดี จากการศึกษาความต้องการของโรงงานเอกชน พบว่าหากใช้ปริมาณผงไฟ 200 กก. ต่อการขึ้นรูปหนึ่งผลิตภัณฑ์ภาชนะจำนวน 1,000-1,500 ชิ้น ทางชุมชนจะมีรายได้เกิดขึ้น 2,000-2,500 บาท/ครั้ง หากมีการสนับสนุนให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการพัฒนาสินค้าใช้เองหรือจำหน่ายในพื้นที่ ความต้องการผงไฟก็จะเพิ่มขึ้น อีกทั้งชุมชนก็จะสามารถได้กำไรจากการขายสินค้าได้อีกทางหนึ่ง

2. ผลกระทบเชิงสิ่งแวดล้อม

การนำผงไฟเหลือทิ้งจากชุมชนมาใช้ประโยชน์นอกจากจะช่วยเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนแล้ว ยังลดการกำจัดผงไฟเหลือทิ้งที่ใช้ระบบการเผาทำลาย ซึ่งส่งผลเสียต่อการเกิดมลพิษโดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางอากาศ เช่นฝุ่น PM 2.5 ที่ยังเป็นปัญหามลภาวะทางอากาศของประเทศไทย หลังจากมีการกำจัดผงไฟเหลือทิ้งด้วยวิธีการใหม่จะช่วยลดปัญหาการจัดการขยะเหลือทิ้งจากไฟผ่านการนำมาแยกขนาดเศษไฟ สามารถช่วยลดปัญหามลพิษทางอากาศและเป็นการช่วยให้สภาพแวดล้อมดีขึ้นและช่วยลดภาวะโลกร้อนได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยงานบริหารจัดการทุนด้านการพัฒนา ระดับพื้นที่ (บพท.) สำนักงานสถานนโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สัญญาทุนเลขที่ LERMUTT63A03 ที่ให้ทุนสนับสนุนและมีส่วนร่วมจนงานสำเร็จลุล่วง

References

- Boonmasongsung, D. T., Rodpon, P., Vasupen, K., Wongsorn, D., Doosanitha, N., Montee, A., & Pianpumepong, P. (2019). Community participation in adding value to Rajamangala Isan village's rice paddy seeds: Ban Sala, Nakhon Ratchasima province. *Area Based Development Research Journal*, 11(4), 305-317. (in Thai).
- Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, José A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68(1), 136-148.
- Chaipong, S. (2020). Quantity bamboo production on demand of bamboo production' OTOP in Prachinburi province. *Life Sciences and Environment Journal*, 21(1), 245-254. (in Thai).
- Curvelo, A. A. S., Carvalho, A. J. F. De., & Agnelli, J. A. M. (2001). Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: preliminary results. *Carbohydrate Polymers*, 45(2), 183-188.
- Department of Environmental Quality Promotion (DEQP). (2017). Zero waste. Retrieved June 22, 2022, from: <http://www.mnre.go.th/attachment/1u/download.php?WP=nK14nKNmoGA3ZxkCaMDahKGtnJg4WaN2oGA3ZRj1oH9axUF5nrO4MNo7o3Qo7o3Q>. (in Thai).
- Horngren, C., Datar, S., & Rajan, M. (2015). *Cost accounting: A managerial emphasis*. (15th edition). Essex, UK: Pearson Education.
- Jenjai, N. (2020). Upgrading Kai-weaved textiles for cultural products of the Mae Loi Luang community, Chiang Rai province. *Area Based Development Research Journal*, 12(2), 144-155. (in Thai).
- Kersey, J., McCue, M., & Skidmore, E. (2020). Domains and dimensions of community participation following traumatic brain injury. *Brain Injury*, 34(6), 708-712.

- Khamkerd, T., Chaiyo, P., Sangiemsilp, P., Therawat, J., Rueangrit, U., & Chuayphen, P. (2020). Development of community agricultural tourism by multilateral organization in Wang Yang community, Suphan Buri province. *Area Based Development Research Journal*, 12(6), 432–450. (in Thai).
- Ma, X., Yu, J., & Ma, Y. (2005). Urea and formamide as a mixed plasticizer for thermoplastic wheat flour. *Carbohydrate Polymers*, 60(1), 111–116.
- Marchao, W., Jaikrajang, B., & Thitithanakul, S. (2022). Development of agritourism program of Pattana Maipon Permpoonsap community enterprise, Surat Thani province. *Area Based Development Research Journal*, 14(2), 159–172. (in Thai).
- Martins, I. M., Magina, S. P., Oliveira, L., Freire, C. S. R., Silvestre, A. J. D., Neto, C. P., & Gandini A. (2009). New biocomposites based on thermoplastic starch and bacterial cellulose. *Composites Science and Technology*, 69(13), 2163–2168.
- Pattana Vibool, R. (1998). Bamboo research and development in Thailand, bamboo-conservation, diversity, ecogeography, germplasm, proceedings of training course cum workshop. Retrieved June 22, 2022, from: <https://shorturl.asia/o3rkl>. (in Thai).
- Pho Ngam Sub District. (2021). General information of the agency. Retrieved January 20, 2021, from: <https://www.phongam.go.th/index/?page=article1932>. (in Thai).
- Pollution Control Department. (2016). 3Rs. Retrieved January 20, 2021, from: <http://www.kwaecom.go.th/site/images/stories/file/Garbage/3rs.pdf>. (in Thai).
- Prachinburi Agricultural Extension Office. (2019). Statistical report on bamboo cultivation in Prachinburi province, 2018–2019. Retrieved June 22, 2022, from: <http://www.prachinburi.doae.go.th/main1>. (in Thai).
- Prachinburi Provincial Agriculture and Cooperatives office. (2020). Bamboo products from Prachinburi province. Retrieved June 22, 2022, from: https://www.opsmoac.go.th/prachinburi-local_wisdom-preview-421591791881. (in Thai).
- Rodriguez-Gonzalez, F., Ramsay, B., & Favis, B. (2004). Rheological and thermal properties of thermoplastic starch with high glycerol content. *Carbohydrate Polymers*, 58(2), 139–147.
- Sangkakool, T., Intaraksa, R., Chusilp, N., & Boonradsamee, B. (2022). *Nypa fruticans* waste for construction of an eco-friendly pavilion: A learning resource and identity enhancement of green community in Wangwon sub-district, Trang province. *Area Based Development Research Journal*, 14(2), 134–147.
- Thailand Environment Institute Foundation. (2017). Preparation of the national bamboo and rattan resource management master plan. Retrieved June 22, 2022, from: https://www.tei.or.th/area_project_detail.php?area_id=6&project_id=30. (in Thai).
- The Stock Exchange of Thailand. (2015). Economic analysis. Retrieved January 20, 2021, from: https://www.set.or.th/education/th/begin/stock_content04.pdf. (in Thai).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาววิภาวดี รักบำรุง
วัน เดือน ปีเกิด	22 กันยายน 2540
ที่อยู่	15/3 หมู่ 4 ตำบลปากฉลุย อำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84150
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	0828003856
E-mail	vipawadee_r@mail.rmutt.ac.th

