



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การเตรียมฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัล
ลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด

Preparation of Corn Husk Microcrystalline Cellulose Reinforced Cassava Starch
Biocomposite Films

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2560
จำนวน 200,000 บาท

หัวหน้าโครงการ
ผู้ร่วมโครงการ

นางสาวอุษารัตน์ รัตนคำนวน
นายพรเทพ ไชยวุฒิ

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

...../...../.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การเตรียมฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (Preparation of Corn Husk Microcrystalline Cellulose Reinforced Cassava Starch Biocomposite Films) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2560 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอและสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่ และอุปกรณ์บางอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	17
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	25
สรุปผลการวิจัย	43
เอกสารอ้างอิง	45

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
17	
ตารางที่ 2	น้ำหนักเปลือกข้าวโพดแห้ง น้ำหนักไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส ที่เตรียมได้และร้อยละปริมาณของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่มี อยู่ในเปลือกข้าวโพด
26	
ตารางที่ 3	ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือก ข้าวโพด และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วย ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด
28	
ตารางที่ 4	ช่วงอุณหภูมิการสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่ปริมาณร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนักของแป้ง
30	

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการย่อยสลายโดยเอนไซม์
ภาพที่ 2	โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส
ภาพที่ 3	โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกติน
ภาพที่ 4	โครงสร้างของแป้ง
ภาพที่ 5	โมเลกุลของกลูโคสซึ่งเป็นหน่วยที่ซ้ำกันในเซลลูโลส
ภาพที่ 6	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส
ภาพที่ 7	พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลส
ภาพที่ 8	การกำจัดลิกนินของเปลือกข้าวโพด
ภาพที่ 9	การฟอกขาวเปลือกข้าวโพด
ภาพที่ 10	การไฮโดรไลซิสด้วยกรดและการไดอะไลซิสของเซลลูโลส
ภาพที่ 11	การย่อยเยื่อเปลือกข้าวโพดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
ภาพที่ 12	การกวนแป้งมันสำปะหลังในน้ำ
ภาพที่ 13	สารละลายแป้งที่เติมเส้นใยเซลลูโลส
ภาพที่ 14	ฟิล์มแป้งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส
ภาพที่ 15	ขั้นตอนการทดลอง
ภาพที่ 16	อินฟราเรดสเปกตรัมของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (MCC) เปรียบเทียบกับฟิล์มแป้ง (SBF) และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (SBF-MCC)
ภาพที่ 17	ลักษณะผงไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่สกัดได้จากฟางข้าวเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า
ภาพที่ 18	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผงไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่เตรียมได้จากเปลือกข้าวโพดโดยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (Scanning Electron Microscopy) (ก) ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสกำลังขยาย 500 เท่า (ข) ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสกำลังขยาย 100 เท่า

ภาพที่ 19	ลักษณะของฟิล์มที่เตรียมได้ (ก) ฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดที่ (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 (ฉ) ร้อยละ 50 และ (ช) ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง	31
ภาพที่ 20	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวของฟิล์มแป้ง (ก) และฟิล์มไบโอคอมพอสิตของแป้งเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่ (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 (ฉ) ร้อยละ 50 และ (ช) ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง โดยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (Scanning Electron Microscopy) ที่กำลังขยาย 100 เท่า	31
ภาพที่ 21	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของฟิล์มแป้ง (ก) และฟิล์มไบโอคอมพอสิตของแป้งเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 (ฉ) ร้อยละ 50 และ (ช) ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง โดยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (Scanning Electron Microscopy) ที่กำลังขยาย 500 เท่า	33
ภาพที่ 22	เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด	34
ภาพที่ 23	เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง	35
ภาพที่ 24	เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแป้ง	37
ภาพที่ 25	เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของแป้ง	37
ภาพที่ 26	เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของแป้ง	38

ภาพที่ 27	เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้ง มันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของแป้ง	38
ภาพที่ 28	เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้ง มันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของแป้ง	39
ภาพที่ 29	เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้ง มันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง	39
ภาพที่ 30	เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้ง มันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสปริมาณต่าง ๆ	40
ภาพที่ 31	DSC เทอร์โมแกรมของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (MCC) ฟิล์มแป้ง (SBF) และ ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัล ลีนเซลลูโลสร้อยละ 10 20 และ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง	43

การเตรียมฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโคร

คริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด

Preparation of Corn Husk Microcrystalline Cellulose Reinforced

Cassava Starch Biocomposite Films

อุษารัตน์ รัตนคำนวน

Usarat Ratanakamnuan

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมฟิล์มแป้งมันสำปะหลังโดยมีกลีเซอรอลเป็นสารเสริมสภาพพลาสติก เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ทำการสกัดไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดด้วยกระบวนการปรับสภาพรวมทั้งการฟอกขาวและการทำไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกตามลำดับ หลังจากนั้นทำการเติม ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ร้อยละ 0-60 โดยน้ำหนักของแป้ง เป็นสารเสริมแรงลงในฟิล์มแป้ง ทำการศึกษาผลของการเติมไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่มีต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกลของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เตรียมได้ ผลการศึกษาพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดมีลักษณะเป็นเส้นใยยาว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-20 μm และมีความยาวเฉลี่ยมากกว่า 1000 μm สำหรับฟิล์มแป้งที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสมีความใสน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ถูกเสริมแรงและมีลักษณะขุ่นมากขึ้นตามปริมาณไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น การเติมไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสในฟิล์มแป้งช่วยปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อน ค่าความทนแรงดึง และค่ามอดูลัสของยัง ให้ดีขึ้น การเติมไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของแป้งส่งผลให้ฟิล์มมีค่าความทนแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังสูงสุด คือ 3.48 เมกะปาสคาล และ 16.91 เมกะปาสคาล ตามลำดับ

คำสำคัญ : ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส เปลือกข้าวโพด ฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพ

Abstract

Starch-based films plasticized by glycerol reinforced with cellulose were prepared. Microcrystalline cellulose (MCC) from corn husk was extracted by pretreatment process, including delignification, bleaching and acid hydrolysis using sulfuric acid. The MCC was mixed by varying weight ratio of MCC from 0 to 60 wt%. The effects of MCC content on morphological, thermal and mechanical properties were characterized. Microcrystalline cellulose from corn husk show fibrous morphology with diameter of 10-2- μm and average length of $>10,000 \mu\text{m}$. The biocomposite films containing MCC were less transparent than the films without MCC. The haze of biocomposite films readily increased with the increasing amount of MCC. The incorporation of MCC improved the thermal stability, tensile strength and Young's modulus of plasticized starch. Presence of 20 wt% of MCC in biocomposite film resulted in maximum tensile strength and Young's modulus. The maximum tensile strength and young's modulus of starch-based film reinforced with 20 wt% MCC were as high as 3.48 MPa and 16.91 MPa, respectively.

Keyword: microcrystalline cellulose, corn husk, cassava starch films, biocomposite films

คำนำ

พลาสติกได้เข้ามามีบทบาทและเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์เราเนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติกที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้งาน เช่น มีน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรง อีกทั้งพลาสติกยังมีราคาถูก ทำให้พลาสติกเป็นที่นิยมมากทั้งในงานที่ต้องการความทนทาน งานบรรจุภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ในทางตรงกันข้ามก็ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันและรวมถึงอนาคต เนื่องจากพลาสติกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่ย่อยสลายได้ยากหรือแทบจะย่อยสลายไม่ได้เลยตามธรรมชาติจึงก่อให้เกิดปัญหาการสะสมของขยะพลาสติกตามมา นอกจากนี้การผลิตพลาสติกส่วนใหญ่จะใช้แหล่งวัตถุดิบจากปิโตรเลียมเป็นหลัก ซึ่งปิโตรเลียมเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์เป็นเวลานาน ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง ปิโตรเลียมนับเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถเกิดขึ้นทดแทนได้ หรือถ้าจะเกิดมาทดแทนได้ก็ต้องใช้ระยะเวลาอย่างมาก ในปัจจุบันพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) จึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการเป็นวัตถุดิบหลักตั้งต้นของการพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Plastic) เป็นอย่างมาก เนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพจัดเป็นวัตถุดิบที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ จึงสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และเป็นทรัพยากรที่สามารถเกิดทดแทนขึ้นใหม่ได้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาฟิล์มพลาสติกคอมพอสิตจากพอลิเมอร์ที่มีในธรรมชาติ เช่น แป้ง (Starch) เสริมแรงด้วยพอลิเมอร์ธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งซึ่งก็คือเซลลูโลส (Cellulose) เพื่อทดแทนการใช้พลาสติกสังเคราะห์จากปิโตรเลียม โดยทำการสกัดเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรคือเปลือกข้าวโพด แล้วนำไปเป็นตัวเติมเพื่อเสริมแรงในฟิล์มแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการขึ้นรูปด้วยการหล่อฟิล์ม พร้อมทั้งทำการทดสอบสมบัติต่างๆของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดที่เตรียมได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ เช่น วิธีการ ขั้นตอน และภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มคอมพอสิตที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด
2. ศึกษาผลของปริมาณไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดที่มีต่อลักษณะทางสัณฐานทางวิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และความสามารถในการสลายตัวทางชีวภาพของฟิล์มที่เตรียมได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพระหว่างแป้งมันสำปะหลังและไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดที่มีสมบัติเชิงกล และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดี
2. ลดปัญหาการจัดการกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และเป็นการใช้ของเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. สามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมทางวิชาการ หรือตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการที่เป็นที่ยอมรับทางวิชาการเมื่อเสร็จสิ้นโครงการ

การตรวจเอกสาร

ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลาสติกกันมากไม่ว่าจะเป็นทางด้านการเกษตร ทาง การแพทย์ และใช้ในชีวิตประจำวันต่าง เนื่องจากมีพลาสติกมีคุณสมบัติเด่นในหลาย ๆ ด้าน เช่น พลาสติกสามารถขึ้นรูปง่าย มีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงสูง ทนต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมได้ดี ราคา ถูก และไม่เกิดสนิมเป็นต้น จึงทำให้มีแนวโน้มในการใช้พลาสติกมากขึ้น พลาสติกที่เราใช้เกือบทุก ชนิดได้มาจากการกลั่นปิโตรเลียมซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถเกิดขึ้น ทดแทนใหม่ได้ และยังผลกระทบต่อสภาวะสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้เมื่อมีการใช้พลาสติกมากขึ้นจะ ทำให้มีขยะจากพลาสติกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งขยะจากพลาสติกจะเป็นขยะประเภทที่ย่อยสลายหรือ ทำลายได้ยาก วิธีการกำจัดขยะพลาสติกทำได้โดยการใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่และการนำมาแปร รูปแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ แต่เป็นวิธีที่ไม่นิยมเนื่องจากพลาสติกที่ได้มีคุณสมบัติในการใช้งานลดลง จึงนิยมแก้ปัญหาด้วยการฝังกลบขยะพลาสติกซึ่งจะใช้เวลานานในการย่อยสลาย พลาสติกจะใช้ เวลาในการย่อยสลายนาน และการเผาซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกแต่ก็ก่อให้เกิดมลพิษและเป็นผลเสียต่อ สิ่งแวดล้อม แนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากขยะพลาสติกคือการคิดค้นพัฒนาพลาสติกที่ สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพทดแทนการใช้พลาสติกที่ได้จากการกลั่น ปิโตรเลียม โดยเน้นการนำวัตถุดิบที่เป็นพอลิเมอร์ทางชีวภาพเช่น แป้ง เซลลูโลส และโคโคซาน ซึ่งจัดเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่ใช้แล้วไม่หมดไปและยังเกิดใหม่ได้ นำไปทดแทนผลิตภัณฑ์ พลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเลียมได้และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่น่าสนใจและมีมากในธรรมชาติ ในพืชชนิดต่าง ๆ เช่น มันสำปะหลัง ฟางข้าว ช้างข้าวโพด เปลือกข้าวโพด อ้อย เป็นต้น เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของ ผงแป้งเซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรต ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ประเภทโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ ที่มี น้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ที่ตำแหน่งเบต้า-1,4 เป็นสายยาวมากกว่า 2,000 โมเลกุล โครงสร้างเซลลูโลสมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ โมเลกุล และระหว่างโมเลกุลมาก จึงทำให้มีความเป็นผลึกสูง มีความแข็งแรงมาก ทำให้มีจุด หลอมเหลวสูง และทำให้เซลลูโลสไม่สามารถละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอื่น ๆ ได้ การนำ เซลลูโลสไปใช้งานต้องมีการปรับสภาพหรือดัดแปร โครงสร้างของเซลลูโลสก่อน เพื่อให้ เซลลูโลสอยู่ในสภาพที่เป็นเส้นใยไมโครเซลลูโลสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวมากกว่า 100 เท่า ซึ่งเส้นใยไมโครเซลลูโลสมีคุณสมบัติที่มีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงสูง ยืดหยุ่นได้ดี โปร่งแสง และดูดซับความชื้นได้ดี

ข้าวโพดเป็นพืชสำคัญอย่างหนึ่งของโลก รองจากข้าวเจ้าและข้าวสาลี นับเป็นพืชอาหารหลักที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดกันมาก และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดไปแล้วจะเกิดขยะจากข้าวโพดคือเปลือกข้าวโพดที่เหลือทิ้งไว้จำนวนมาก ชาวบ้านมักจะทำลายเปลือกข้าวโพดโดยการนำไปเป็นอาหารสัตว์ หรือเผาทิ้งส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งในเปลือกข้าวโพดมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบทางเคมีสูงถึง 38-40% (Reddy and Yang, 2005) สามารถนำมาเป็นวัสดุในการผลิตพลาสติกทดแทนปิโตรเลียมได้

กล่าวโดยสรุปงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมและศึกษาสมบัติของเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกข้าวโพดซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เส้นใยเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดได้ถูกสกัดออกมาโดยกระบวนการปรับสภาพ จากนั้นนำเส้นใยเซลลูโลสที่สกัดได้ไปเตรียมเส้นใยไมโครเซลลูโลสโดยวิธียอด้วยกรด ศึกษาผลของวิธีการยอเซลลูโลส และศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เส้นใยไมโครเซลลูโลสเป็นตัวเสริมแรงฟิล์มแป้งมันสำปะหลังเพื่อให้ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเดิม

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Plastic)

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable plastic) มักเรียกว่าพลาสติกชีวภาพเป็นพลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะ จึงทำให้สมบัติต่างๆ ของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่ง โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น พลาสติกจะแตกสลายได้อันเนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย รา และสาหร่าย ในสภาวะและช่วงเวลาที่เหมาะสม เช่น การมีน้ำ และบางครั้งอาจต้องมีออกซิเจนร่วมด้วย (aerobic)

ปัจจุบันมีหลายองค์กรทั่วโลกได้ดำเนินการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable Plastics) ขึ้น และให้คำจำกัดความของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ดังนี้ (ชนาวดี, 2549)

ASTM D6400-99 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้อันเนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย รา และสาหร่าย

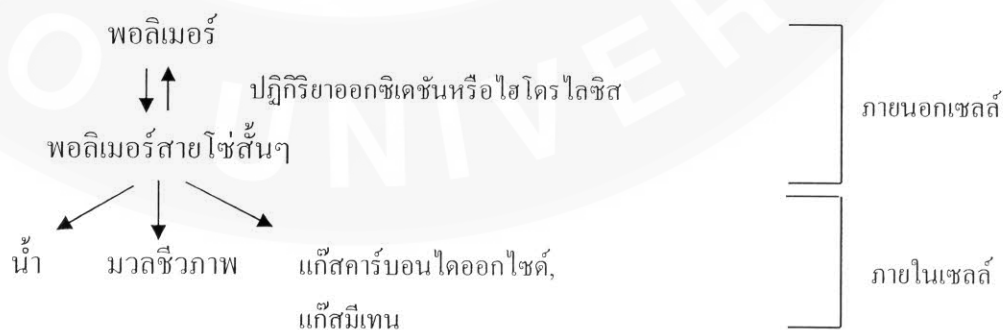
ISO 472: 1988 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ พลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะ เป็นสาเหตุทำให้

สมบัติต่างๆของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติกและการใช้งาน ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น

DIN FNK103.2 (1993) วัสดุพลาสติกจะได้อ้างว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ก็ต่อเมื่อสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม และมีอัตราการย่อยสลายอยู่ภายใต้ข้อกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน

สำหรับคำว่า Biodegradation (หรือการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ) ย่อมาจาก biotic degradation ในมาตรฐานต่างๆ มีคำจำกัดความที่ใช้พื้นฐานแนวความคิดเดียวกัน คือเป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีต่อชิ้นวัสดุ เป็นผลให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สมีเทน และน้ำ

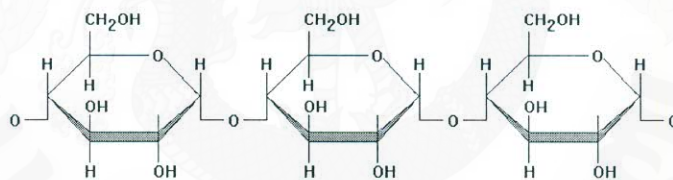
การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปมีกระบวนการสองขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1 เนื่องจากขนาดของสายโซ่พอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ endo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่สอง ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (biomass)



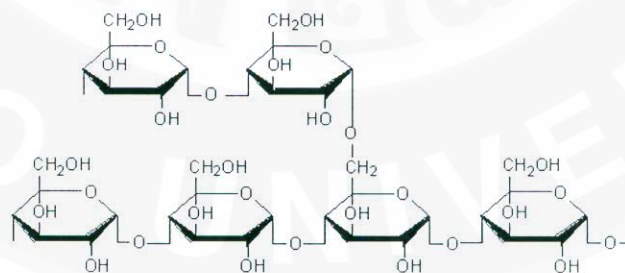
ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการย่อยสลายโดยเอนไซม์

โครงสร้างและสมบัติโดยทั่วไปของแป้ง

แป้ง (starch) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส เรียกว่าเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่เกิดจากมอนอเมอร์ที่เรียกว่า แอนไฮโดรกลูโคไพแรนโนส (anhydrogluco pyranose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 ไกลโคซิดิก (glucosidic linkage) แป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากการกักเก็บอาหารของพืช (storage polymer) แป้งประกอบด้วยโมเลกุลหลักสองชนิด คืออะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) โดยที่อะไมโลสคือส่วนของกลูโคสที่ต่อกันเป็นสายยาวไม่มีกิ่งก้านสาขา ด้วยพันธะ α -1,4 ไกลโคซิดิก จัดเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น อะไมโลเพกตินคือส่วนของกลูโคสที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวและมีกิ่งก้านสาขาแตกแขนงออกไป โดยมีสายโซ่หลักเป็นอะไมโลส หรือหน่วยของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 ไกลโคซิดิก จัดเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง รูปร่างทางเคมีของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ แป้งจากแหล่งที่แตกต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550)



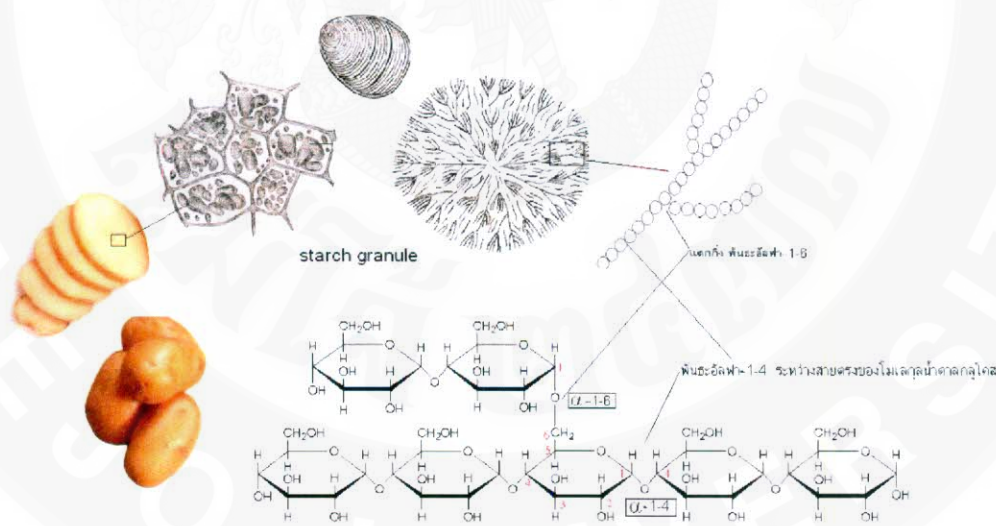
ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกติน

อย่างไรก็ตามยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจัดเรียงตัวกันอย่างไร แต่ทั้งสองโมเลกุลมีการเรียงตัวกันที่สม่ำเสมอ โดยโมเลกุลของอะไมโลเพกตินมีรูปร่างโมเลกุลแบบกึ่งไม่เป็นระเบียบทรงกลม ส่วนอะไมโลสจะเรียงตัวอยู่ที่ปลายส่วนที่เป็นที่เป็นเส้นตรงของอะไมโลเพกติน จากโครงสร้างดังกล่าวทำให้แป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยเกิดเป็นสองส่วนคือส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region) และส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อสายพอลิเมอร์ของกลูโคสมาเรียงขนานกัน จะเกิดพันธะไฮโดรเจนเชื่อมระหว่างสองสาย หรือเกิดการรวมตัวกับน้ำ (hydrate bridge) เกิดเป็นพื้นที่ส่วนที่เรียกว่าผลึก หรือไมเซลล์ (micelles) เชื่อมกันเป็นร่างแหสามมิติด้วยพันธะไฮโดรเจน ความแข็งแรงของร่างแหขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลที่มาเชื่อมต่อกันและการจัดเรียงโมเลกุลของเม็ดแป้ง อาจกล่าวได้ว่าผลึกเกิดจากการจัดเรียงตัวของเกลียวอะไมโลเพกตินที่วางขนานกัน

สำหรับแป้งมันสำปะหลัง (cassava starch) นั้น แหล่งของแป้งมาจากส่วนราก ขนาดของแป้งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-35 μm ลักษณะรูปร่างเม็ดแป้งเป็นลักษณะกลม คล้ายไข่ที่มีรอยตัด มีความเป็นผลึก (%crystallinity) ประมาณ 38% และมีปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินประมาณร้อยละ 17 และร้อยละ 83 ตามลำดับ (กลั่นรงค์และเกื้อกูล, 2550)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของแป้ง

สมบัติเจลาติไนเซชันของแป้งและการดัดแปรแป้ง

สมบัติที่สำคัญอีกประการของแป้งก็คือการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) หรือการเกิดความหนืดและการบวมตัวเมื่อแป้งรวมกับน้ำ เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่

ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เป็นจำนวนมาก ชิดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และมีคุณสมบัติชอบน้ำ แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห micelles ดังนั้นการเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก เมื่อแป้งอยู่ในน้ำที่เย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้งที่อุณหภูมิประมาณ $60-70^{\circ}\text{C}$ พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง แล้วเม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัวได้ โดยที่น้ำจะเข้าไปแทรกภายในโมเลกุลของแป้งในส่วนที่มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ โมเลกุลของแป้งในส่วนที่เป็นระเบียบคลายตัวลง ทำให้น้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปและสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งและน้ำได้ จึงทำให้แป้งมีความหนืดมากขึ้น มีลักษณะคล้ายเจลและเกิดการบวมตัวเพียงบางส่วน ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน และอุณหภูมิที่แป้งเกิดปรากฏการณ์นี้จะเรียกว่า อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature) ซึ่งจุดเด่นของฟิล์มที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังจะมีความใสมาก และมีอุณหภูมิในการเกิดเจลที่ต่ำเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีส่วนประกอบของอะไมโลเพกตินหรือส่วนที่เป็นอสัณฐานที่สูงถึงร้อยละ 83 ทำให้มีอุณหภูมิในการเจลของแป้งมันสำปะหลังประมาณ $62-79^{\circ}\text{C}$ (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2550)

อย่างไรก็ตามในการที่จะนำแป้งมันสำปะหลังไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มนั้น จะต้องทำการตัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งก่อนเนื่องจากแป้งมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว ดังนั้นเมื่อทำการขึ้นรูปแป้งด้วยความร้อน จะทำให้แป้งเกิดการสลายตัวก่อนที่จะเกิดการหลอมเหลว

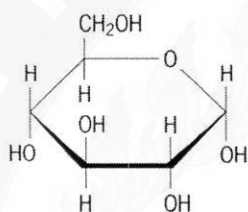
การตัดแปรแป้งมีจุดประสงค์ก็เนื่องมาจากแป้งมีสมบัติที่เฉพาะตัว ซึ่งบางครั้งไม่เป็นที่ต้องการต่อการใช้งานด้วยสภาวะบางอย่าง จึงต้องมีการนำแป้งมาปรับเปลี่ยนคุณสมบัติ แป้งที่ตัดแปรแล้วจะถูกเรียกว่า แป้งดัดแปร (modified starch) ซึ่งหมายถึงความถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งมาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางกายภาพด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ หรือสารเคมีชนิดต่างๆเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน วิธีการดัดแปรแป้งวิธีหนึ่งที่นิยมก็คือการดัดแปรทางกายภาพโดยการเติมสารเสริมสภาพพลาสติก เช่น น้ำ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล เพื่อลดค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ของแป้งจึงทำให้แป้งสามารถขึ้นรูปได้

โครงสร้างและสมบัติโดยทั่วไปของเซลลูโลส

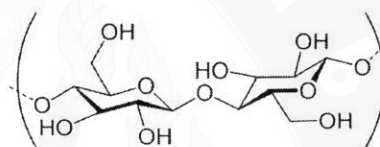
งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เซลลูโลส ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาเสริมแรงให้กับฟิล์มแป้งมันสำปะหลังเพื่อพัฒนาเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากเซลลูโลสจัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากที่สุดในโลก สามารถพบเซลลูโลสได้ในโครงสร้างของ

พืชทุกชนิด เซลลูโลสสามารถย่อยสลายได้ มีราคาถูก และสามารถเกิดอันตรกิริยากับแป้งได้ดี เนื่องจากแป้งและเซลลูโลสสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนต่อกันได้ (Choi and Simonsen, 2005)

เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง โดยโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วย โมเลกุลของกลูโคส (D-glucose) ตั้งแต่ 15-40,000 หน่วย ต่อกันเป็นเส้นตรง (linear homopolymer) ด้วยพันธะเบต้า-ไกลโคซิดิก ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 1 และ 4 มีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ มีชื่อทางเคมีว่า β -1,4-glucan มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 300,000-500,000 ดาลตัน โมเลกุลของกลูโคสซึ่งเป็นหน่วยที่ซ้ำกันในเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 5 และโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 6



ภาพที่ 5 โมเลกุลของกลูโคสซึ่งเป็นหน่วยที่ซ้ำกันในเซลลูโลส

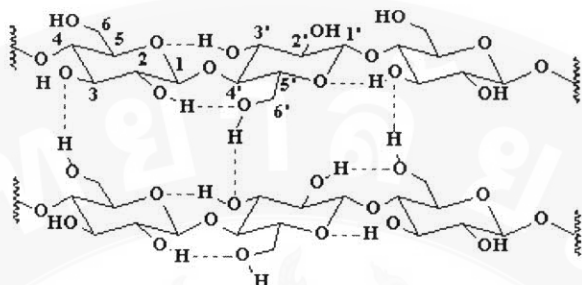


ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากที่สุดประมาณ 45% ของสารอินทรีย์ทั้งหมดในธรรมชาติ ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในผนังเซลล์ในพืชชั้นสูงทุกชนิด ซึ่งมีส่วนประกอบของเซลลูโลสมากกว่า 97-99% จัดว่าเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ และภายในโมเลกุลเซลลูโลสจึงยึดติดกันแน่น ทำให้เซลลูโลสทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ได้ช้า เซลลูโลสในผนังเซลล์ชั้นแรก ประกอบด้วยกลูโคสยาวประมาณ 2,000 โมเลกุล และ ไม่น้อยกว่า 14,000 โมเลกุล ในผนังเซลล์ชั้นที่สอง โดยโมเลกุลของเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ตามยาวและเรียงขนานกันเป็นกลุ่ม 40 คู่ เรียกว่า ไมโครไฟบริล (microfibril) เพื่อให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช

โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยปลายสองข้างที่มีลักษณะแตกต่างกัน หมู่ปลายด้านหนึ่งคือ reducing end หมายถึงปลายโมเลกุลข้างที่มี free α - หรือ β -hydroxyl group เป็น reducing group และ non reducing end หมายถึง ปลายอีกข้างหนึ่งของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่มี reducing end group จากโครงสร้างดังกล่าวจะเห็นว่าเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) อยู่เป็นจำนวนมาก และเนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลที่มีเป็นจำนวนมากนี้เอง ทำให้เซลลูโลสสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุล ((intra-and intermolecular hydrogen bonding)

ดังรูปที่ 7 ประกอบกับโครงสร้างของเซลลูโลสสามารถเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก (60-80%)



ภาพที่ 7 พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลส

โครงสร้างของเซลลูโลสเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไปแต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันเป็นสายโซ่ยาวทำให้เซลลูโลสไม่ละลายน้ำเหมือนกับน้ำตาล ลักษณะการเรียงตัวเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวในโมเลกุลของเซลลูโลสมีความแข็งแรงสูง เนื่องจากเกิดผลึกได้ดีเพราะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของหมู่ไฮดรอกซิล นอกจากนี้ในโครงสร้างบริเวณที่เป็นการต่อกันของพันธะ C-O-C (β -1,4 ไกลโคซิดิก) จะเป็นบริเวณที่ถูกทำลายได้ง่ายจากการเกิดออกซิเดชันหรือจากการถูกทำลายด้วยสภาพภูมิอากาศ ทำให้โมเลกุลยาวกลายเป็นกลูโคสหน่วยเล็กๆ สลายเป็นอาหารของพืชและสัตว์ต่อไป ดังนั้นเซลลูโลสจึงจัดเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั่นเอง

เมื่อพิจารณาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าเซลลูโลสจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่โมเลกุลเรียงตัวเป็นระเบียบสามารถเกิดผลึกได้ (crystalline phase) และส่วนที่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบ (amorphous phase) และโดยทั่วไปเซลลูโลสจะถูกล้อมรอบด้วยเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ดังนั้นในการเตรียมคริสตัลลินเซลลูโลสจึงต้องมีการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกจากเส้นใยเสียก่อนด้วยค่า และทำการย่อยสลายส่วนที่เป็นอสัณฐานออกจากเส้นใยเซลลูโลส ให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นคริสตัลลิน โดยมีวิธีการเตรียมหลักๆอยู่ 2 วิธีคือ การไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ และการไฮโดรไลซ์ด้วยสารเคมี ซึ่งวิธีการแรกจะใช้สภาวะที่ไม่รุนแรงและเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงในการเข้าทำปฏิกิริยาโดยไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นที่ไม่ใช่เซลลูโลส แต่การใช้เอนไซม์ต้องใช้ต้นทุนสูงจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมเท่าไรนัก ส่วนการไฮโดรไลซ์ด้วยสารเคมีนั้นนิยมใช้กรดเพื่อกำจัดส่วนที่เป็นอสัณฐาน ถึงแม้วิธีนี้จะเป็วิธีที่รุนแรงกว่าการใช้เอนไซม์ แต่ก็เป็วิธีที่สามารถเตรียมคริสตัลลินได้อย่างรวดเร็วและมีราคาที่ถูกกว่า สำหรับกลไกการไฮโดรไลซิสนั้นจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสตรงบริเวณโมเลกุลที่จัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ โดยเกิดการแตกหักของ

พันธะที่สามารถเกิดการออกซิไดส์ได้ง่าย นั่นคือพันธะ β -1,4 ไกลโคซิดิกก่อน และเมื่อเกิดการไฮโดรไลซิสที่บริเวณอสมมาตรอย่างสมบูรณ์แล้ว จะได้คริสตัลลินที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้นๆ ซึ่งคริสตัลลินที่เตรียมได้จะขึ้นกับความแรงของกรดแต่ละชนิด เวลา และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีงานวิจัยหลายงานด้วยกันที่ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมฟิล์มจากแป้งชนิดต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น

ปี ค.ศ. 2006 Sirikhajornnam and Danwanichakul (2006) ได้ศึกษาการหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปฟิล์มจากแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมฟิล์มคือที่อุณหภูมิ $80-85^{\circ}\text{C}$ จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ฟิล์มที่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถนำไปใช้งานได้ต่อไป การศึกษาผลของกลีเซอรอลซึ่งใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มทำโดยการขึ้นรูปฟิล์มจากแป้งผสมกลีเซอรอลในอัตราส่วนของแป้งต่อกลีเซอรอลต่างๆ กันคือ 60:40 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ฟิล์มทนแรงดึงยืดและมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำน้อยลง แต่ฟิล์มมีความยืดหยุ่นและดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบชนิดของแป้งที่อัตราส่วนของกลีเซอรอลเท่ากัน พบว่าฟิล์มจากแป้งข้าวโพดมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำและมีการทนต่อการดึงยืดสูงกว่า ในขณะที่ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังมีความสามารถในการดูดซึมน้ำและมีความยืดหยุ่นสูงกว่าด้วย คณะนักวิจัยพบว่าฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอล ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความทนแรงดึงและค่ามอดูลัสสูงที่สุด คือ 35 เมกะปาสคาล และ 605.5 เมกะปาสคาล ตามลำดับ

ในปีเดียวกัน Maria *et al.* (2006) ได้พัฒนาฟิล์มที่เตรียมได้จากแป้งมันฝรั่งโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และใช้ Tween20 Span80 และ เลซิตินจากถั่วเหลืองเป็นสารลดแรงตึงผิว คณะวิจัยได้ทำการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่เตรียมได้ ผลการวิจัยพบว่าการใช้สารเสริมสภาพพลาสติกช่วยให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้นและมีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำสูง การใช้ Tween20 เป็นสารลดแรงตึงผิวด้วยปริมาณน้อยๆ จะช่วยลดแรงตึงผิวได้ดีที่สุดในทางตรงข้ามเลซิตินทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวได้ดีที่สุดถ้าใช้ในปริมาณความเข้มข้นสูงๆ ฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกด้วยปริมาณสูงสุดจะส่งผลให้ฟิล์มมีค่าความทนแรงดึงลดต่ำลง แต่มีความยืดหยุ่นและความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ได้มีงานวิจัยที่มีการปรับปรุงสมบัติต่างๆของฟิล์มแข็งให้ดีขึ้นโดยการเสริมแรงด้วยคริสตัลลินเซลลูโลส ยกตัวอย่างเช่น

ในปี ค.ศ. 2005 Orts *et al.* (2005) ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มคอมพอสิตของแป้งมันฝรั่งเสริมแรงด้วยไมโครไฟบริลเซลลูโลสที่ได้จากฝ้ายของกระดาษกรอง (Whatman filter paper#4) โดยการทำให้ไฮโดรไลซ์กระดาษกรองด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 64 และขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการหล่อแบบ พบว่าที่ปริมาณไมโครไฟบริลร้อยละ 10.3 จะทำให้ฟิล์มคอมพอสิตมีค่า Young's modulus และการยืดตัวออก (Elongation at maximum load) มีค่าสูงสุดคือ 12.45 GPa และ 8.8% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบฟิล์มแป้งมันฝรั่งเสริมแรงด้วยไมโครไฟบริลของไม้เนื้ออ่อนและแบคทีเรียเซลลูโลส พบว่าฟิล์มคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยฝ้ายมีสมบัติเชิงกลและค่าดังกล่าวต่ำกว่าฟิล์มคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยไมโครไฟบริลของไม้เนื้ออ่อนแต่มีค่ามากกว่าฟิล์มคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยแบคทีเรียเซลลูโลส

ในปี ค.ศ. 2006 Lu *et al.* (2006) ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มนาโนคอมพอสิตของแป้งข้าวสาลีเสริมแรงด้วยนาโนคริสตัลลินเซลลูโลสที่ได้จากเส้นใยป่าน ผลการศึกษาพบว่าไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 64 ได้นาโนคริสตัลลินที่มีลักษณะคล้ายเข็ม โดยมีความยาวเฉลี่ย (L) ประมาณ 538.5 ± 125.3 นาโนเมตร ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ประมาณ 85.4 ± 25.3 นาโนเมตร และค่า aspect ratio (L/D) มีค่าประมาณ 6 และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของนาโนคริสตัลลินเซลลูโลสลงในฟิล์มแป้ง พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงและค่า Young's modulus ยังมีค่าสูงกว่าฟิล์มแป้งที่เติมกลีเซอรอลเพียงอย่างเดียว และพบว่าแม้ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เสริมแรงด้วยนาโนคริสตัลลินที่ปริมาณสูงที่สุดคือร้อยละ 40 โดยน้ำหนักจะมีค่า Young's modulus สูงสุดแต่ก็มีลักษณะแข็งเปราะ

สองปีต่อมา ในปี ค.ศ. 2008 Cao *et al.* (2008) ได้เตรียมคริสตัลลินเซลลูโลสด้วยวิธีไฮโดรไลซิสเส้นใยป่านด้วยกรด คริสตัลลินเซลลูโลสที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นแท่งสั้นๆ มีลักษณะผอมเรียว และมีความยาวอยู่ในช่วง 100-500 nm และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-30 nm หลังจากนั้นทีมวิจัยได้ทำการเตรียมฟิล์มนาโนคอมพอสิตโดยการผสมคริสตัลลินเซลลูโลสที่เตรียมได้เข้ากับแป้งที่ทำการพลาสติกไซส์แล้วด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูป ทีมวิจัยได้ทำการศึกษาผลของปริมาณนาโนคริสตัลลินเซลลูโลสที่มีต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล และความสามารถในการต้านทานความชื้นของฟิล์มคอมพอสิตที่เตรียมได้ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของหน้าตัดฟิล์มแสดงให้เห็นว่านาโนคริสตัลลินเซลลูโลสกระจายตัวได้ดีในฟิล์มแป้ง และมีแรงยึดที่ระหว่างเฟสทั้งสอง ซึ่งส่งผลให้ค่า Tg ของฟิล์มแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ฟิล์มคอมพอสิตฟิล์มยังมีค่าความทนแรงดึงและค่า Young's modulus เพิ่มขึ้น จาก 3.9 ถึง 11.9 MPa และ 31.9-498.2 Ma ตามลำดับ เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของนาโนคริสตัลลินเซลลูโลส

จากร้อยละ 0 ไปเป็นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ปริมาณนาโนคริสตัลลีนที่เข้าไปเสริมแรงนั้นจะช่วยเพิ่มการต้านทานการดูดซึมน้ำของฟิล์มด้วย ทีมวิจัยจึงสรุปว่านาโนคริสตัลลีนเซลลูโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลและความต้านทานน้ำให้กับฟิล์มเบ่งนี้

ปี ค.ศ. 2010 Dagang *et al.* (2010) ได้เตรียมคริสตัลลีนเซลลูโลสจากไม้ไผ่ (BCCs) โดยวิธีการใช้กรดซัลฟริกในการไฮโดรไลซิสโดยมี HNO_3 - KClO_3 ร่วมด้วย เพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงฟิล์มเบ่งโดยมีกลีเซอรอลเป็นสารเสริมสภาพพลาสติก คณะวิจัยได้ทำการศึกษาโครงสร้างและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มโดยใช้เทคนิคเอกเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) และใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) และนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy) ผลการศึกษาพบว่า BCCs มีโครงสร้างเป็นเซลลูโลสแบบชนิดโครงสร้าง I (cellulose I structure) นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ BCCs ขึ้นกับปริมาณที่เติมลงไปในฟิล์มเบ่ง ผลการศึกษาพบว่า BCCs ขนาด 50-100 nm จะอยู่รวมตัวกันมีลักษณะเป็นเส้นใยไม้ที่ปริมาณต่ำๆ (เช่นที่ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก) แต่จะมาอยู่รวมกันในขนาดที่ใหญ่ขึ้นในระดับไมโครอนและมีลักษณะคล้ายรูปดอกไม้วัดความเข้มข้นสูงๆ (เช่นที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มพบว่าค่าความทนแรงดึง (tensile strength) และค่ามอดุลัสของยังของแผ่นฟิล์มคอมพอสิตระหว่างเบ่งและ BCCs มีค่าเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากฟิล์มมีค่าความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นและปริมาณการดูดซึมน้ำของฟิล์มลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นหรือปริมาตรของ BCCs ที่ดีที่สุดที่ใช้เติมในฟิล์มเบ่งแล้วช่วยเสริมแรงได้ดีที่สุดคือที่ปริมาณ BCCs ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

ต่อมาปี ค.ศ. 2011 Jefferie *et al.* (2011) ได้ศึกษาสัณฐานภาพของแป้งมันสำปะหลังและเซลลูโลสจากชานอ้อยเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุคอมพอสิตรักษาสิ่งแวดล้อม โดยใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ใช้แล้วทิ้ง คณะวิจัยเริ่มศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยจากชานอ้อย และศึกษาถึงปริมาณของเส้นใย และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งต่อเส้นใยที่ใช้ และทำการหาผลของปริมาณเส้นใยเซลลูโลสที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมพอสิต ผลการศึกษาพบว่าสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมพอสิตมีค่าดีขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่ใช้ โดยเฉพาะสมบัติด้านความทนต่อการโค้งงอและความทนแรงกระแทก แต่กลับส่งผลให้ค่าความทนแรงดึงมีค่าลดลง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเส้นใยเซลลูโลสจากชานอ้อยและแป้งมันสำปะหลังเข้ากันได้ไม่ตึง และพบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดของคอมพอสิตนี้คือการใช้แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 41 โดยน้ำหนัก และใช้เส้นใยเซลลูโลสจากชานอ้อย และกลีเซอรอล ร้อยละ 12 และ 47 โดยน้ำหนัก

ปี ค.ศ. 2013 Melissa *et al.* (2013) ได้เตรียมคอมพอสิตทางชีวภาพฟิล์มเบ่งเสริมแรงด้วยนาโนคริสตัลลีนเซลลูโลสจากลำต้นของกระเทียม คณะวิจัยได้ทำการสกัดนาโนคริสตัลลีน

เซลล์โลสจากต้นกระเทียมด้วยกระบวนการกำจัดลิกนินด้วยสารละลายด่าง แล้วไฮโดรไลซิสด้วยกรด และการด้วยการใช้คลื่นเสียง (sonication) ผลการทดลองพบว่านาโนคริสตัลลีนที่สกัดได้มีรูปทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 35 nm และมีความเป็นผลึกร้อยละ 62 ขึ้นชั้นโครงสร้างทางเคมีของเซลล์โลสที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี หลังจากนั้นจึงได้ทำการเตรียมฟิล์มคอมพอสิตด้วยเทคนิคการหล่อขึ้นรูป โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของนาโนคริสตัลลีนเซลล์โลสที่เป็นตัวเติม ผลของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่านาโนคริสตัลลีนเซลล์โลสกระจายตัวได้ดีในแป้งที่เป็นเมทริกซ์ การปรับปรุงค่าความทนแรงดึงและค่ามอดูลัสของฟิล์มมีค่าสูงที่สุดที่อัตราส่วนของแป้งต่อนาโนคริสตัลลีนเซลล์โลสเป็น 100:5 อย่างไรก็ตามสมบัติด้านความร้อนของฟิล์มกลับมีผลที่ลดลงเมื่อมีปริมาณตัวเติมมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการเตรียมฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพระหว่างแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยคริสตัลลีนเซลล์โลสที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพด ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรภายในประเทศ ด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด และทำการศึกษาวิธีการ ขึ้นตอน และภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มคอมพอสิต นอกจากนี้ยังศึกษาผลของปริมาณคริสตัลลีนเซลล์โลสที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เตรียมได้

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง เปลือกข้าวโพดหนัก 60 กรัม

สารเคมี สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ความบริสุทธิ์	บริษัทผู้ผลิต
Glycerol	$C_3H_8O_3$	99.5%	Ajax Finechem
Hydrogen peroxide	H_2O_2	35.0%	QRc TM
Sodium hydroxide	NaOH	98.0%	RCL Labscan limited
Sulfuric acid	H_2SO_4	98.0%	RCL Labscan limited
น้ำมันสำหรับล้าง			

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

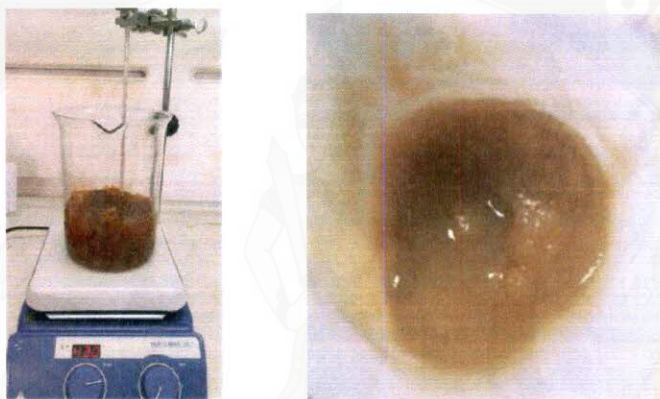
1. ปีกเกอร์ขนาด 50 100 250 500 2000 และ 5000 มิลลิลิตร
2. เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hot plate)
3. แท่งแก้วคนสาร
4. เทอร์โมมิเตอร์ 100°C
5. กระบอกเพาะเชื้อขนาด เซนติเมตร
6. ผ้าขาวบาง
7. กระบอกตวง 50 100 และ 250 มิลลิลิตร
8. แท่งกวนแม่เหล็กขนาดความยาว 2 เซนติเมตร
9. ตู้อบ memmert UFB 400

ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมผงไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด

การกำจัดลิกนิน (Delignification)

นำเปลือกข้าวโพดมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วชั่งน้ำหนักเปลือกข้าวโพด 60 กรัม นำมาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 M ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อกำจัดลิกนิน จากนั้นกรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น



ภาพที่ 8 การกำจัดลิกนินของเปลือกข้าวโพด

การฟอกขาว (Bleaching)

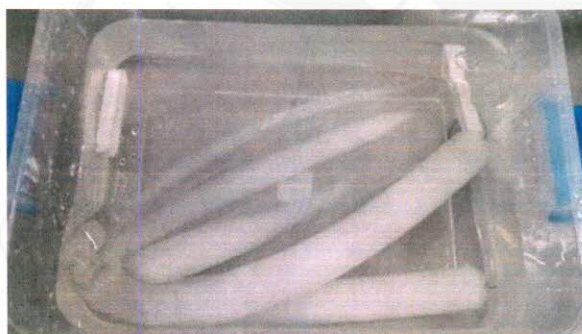
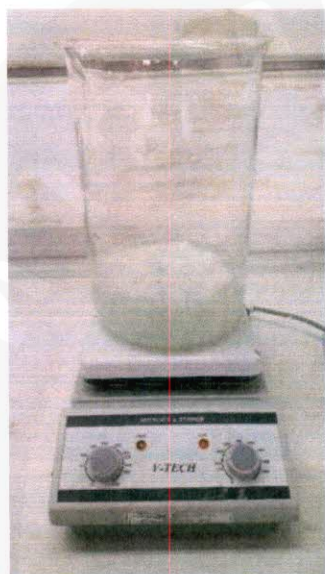
นำเปลือกข้าวโพดที่กำจัดลิกนินแล้วก็นำไปฟอกขาวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความเข้มข้น 5 %v/v ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 M ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นกรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น จะได้เปลือกข้าวโพดที่มีลักษณะขาวสะอาดขึ้น



ภาพที่ 9 การฟอกขาวเปลือกข้าวโพด

การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ทำการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 55 %v/v ที่อุณหภูมิ $55^{\circ}C$ เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงทำให้เป็นกลางโดยใช้วิธีไดอะไลซิส (Dialysis) ทดสอบความเป็นกรดด้วยกระดาษลิตมัสจนมีค่าเป็นกลาง



ภาพที่ 10 การไฮโดรไลซิสด้วยกรดและการไดอะไลซิสของเซลล์ูโลส

การทำแห้ง (Drying)

นำเส้นใยเปลือกข้าวโพดไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry)



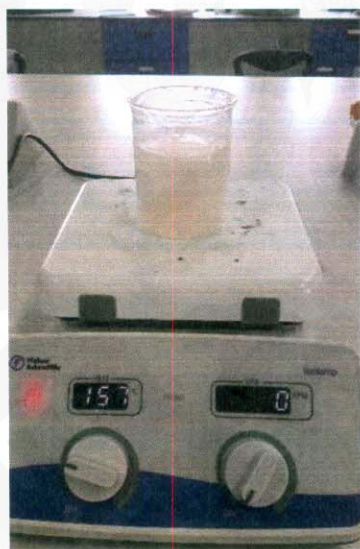
ภาพที่ 11 การย่อยเยื่อเปลือกข้าวโพดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

จากนั้นทำการหาปริมาณเซลลูโลสที่มีอยู่ในเปลือกข้าวโพด (% conversion) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 1 ดังนี้คือ

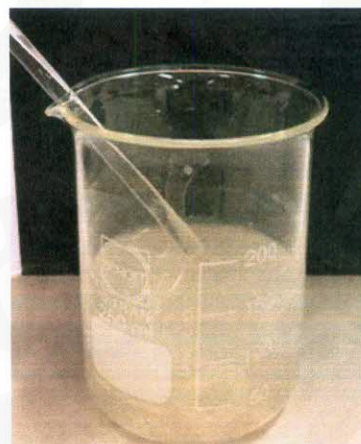
$$\% \text{ conversion} = \frac{\text{น้ำหนักผงเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดที่สกัดได้ (g)}}{\text{น้ำหนักเปลือกข้าวโพดก่อนการสกัด (g)}} \times 100 \quad (1)$$

ขั้นตอนที่ 2 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เติมเส้นใยเปลือกข้าวโพด

- นำแป้งมันสำปะหลัง 7 กรัม มาละลายในน้ำ 100 มิลลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที คนตลอดเวลา สังเกตจะเห็นแป้งมีลักษณะเป็นเจลใส หลังจากนั้นยกออกมาตั้งที่อุณหภูมิห้อง เติมหีสเตอร์อล 3 กรัม และเติมเส้นใยเซลลูโลสที่ปริมาณต่างๆลงไป (ปริมาณเส้นใยเซลลูโลส 0, 2, 4, 6, 8, 10 %w/v) คนต่ออีก 20 นาที ภาพที่ 12 และ 13 แสดงการกวนแป้งมันสำปะหลังในน้ำและสารละลายแป้งที่เติมเส้นใยเซลลูโลสตามลำดับ



ภาพที่ 12 การกวนแป้งมันสำปะหลังในน้ำ



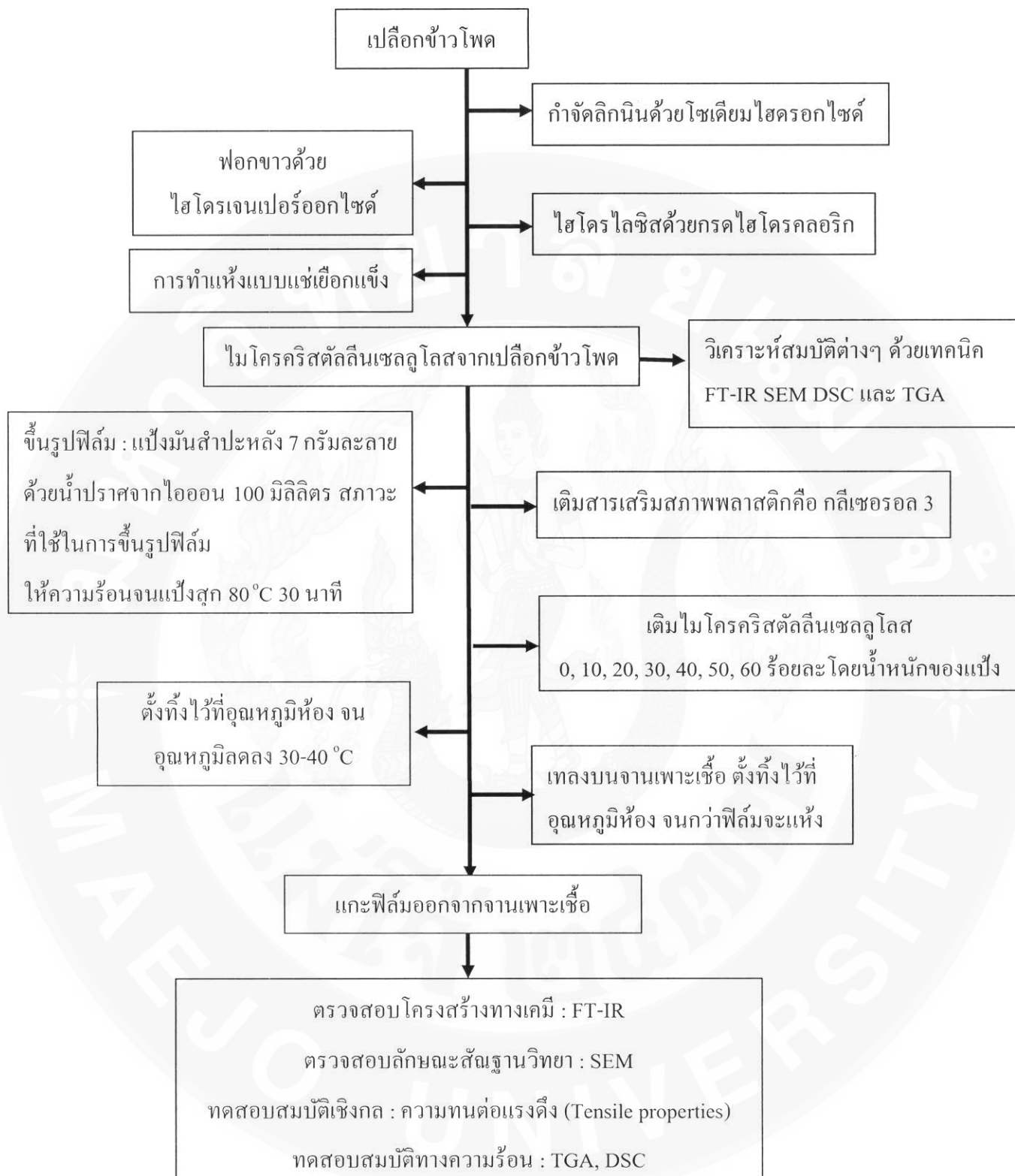
ภาพที่ 13 สารละลายแป้งที่เติมเส้นใยเซลลูโลส

- ตั้งสารละลายแป้งที่ผสมเส้นใยเซลลูโลสทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิลดลง เทลงบนแม่พิมพ์ที่เป็นกระบอกเพาะเชื้อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าฟิล์มจะแห้ง (2 วัน) แล้วทำการแกะฟิล์มออกจากกระบอกเพาะเชื้อ ภาพที่ 14 แสดงฟิล์มแป้งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่เตรียมได้หลังจากแกะออกจากแม่พิมพ์



ภาพที่ 14 फिल्मแบงที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส

ขั้นตอนการทดลองโดยรวมของการสกัดเซลลูโลสและการเตรียมฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดในงานวิจัยนี้แสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ขั้นตอนการทดลอง

การวิเคราะห์ ทดสอบสมบัติของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส ฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และฟิล์มแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR)

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดทำได้โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) ยี่ห้อ Perkin Elmer, England รุ่น Spectrum RX ทดสอบที่สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยนำไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสมาบดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ในอัตราส่วน 1:10 ใช้โกรงบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงนำไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ความดันประมาณ 1500-2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทิ้งไว้ประมาณ 1-2 นาที ให้กลายเป็นแผ่นฟิล์มบาง (KBr pellet) และนำฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด มาวางลงบนภาชนะใส่ตัวอย่าง แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ ในช่วงเลขคลื่น $4,000-400\text{ cm}^{-1}$

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดทำได้โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น SEM : JSM 54910 LV ทำการทดสอบที่ศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศนศาสตร์ อิเล็กตรอน ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยนำไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดไปอบเพื่อไล่ความชื้นออกที่อุณหภูมิ 60°C หลังจากนั้นนำฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อดูพื้นผิวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพ และดูภาคตัดขวางของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพ โดยการนำฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพมาตัดเป็นชิ้นขนาด 2 เซนติเมตร แฉในไนโตรเจนเหลวให้แข็งและหักฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพ หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปติดบน stub นำไปเคลือบด้วยทองที่ความหนา 15 นาโนเมตร และทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ ปรับกำลังขยายและความคมชัดของภาพที่แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ บันทึกภาพที่ได้

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์อุณหภูมิการสลายตัว (Td)

การวิเคราะห์และตรวจสอบอุณหภูมิการสลายตัว (Td) ของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis : TGA) รุ่น Themorplus TG8120 ทำการทดสอบที่ทดสอบที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยการนำสารตัวอย่างที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทำการให้ความร้อนด้วยอัตราเร็ว 10°C ต่อนาที โดยให้อุณหภูมิจาก 25°C ไปจนถึง 500°C ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน และทำการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนและช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสโดย และแป้งมันสำปะหลังดูจากน้ำหนักที่หายไปของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และแป้งมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) และอุณหภูมิการหลอมผลึก (Tm)

วิเคราะห์และตรวจสอบอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) และอุณหภูมิการหลอมผลึก (Tm) ของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Star DSC-1 ทำการทดสอบที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น PYRIS Diamond DSC ทำการทดสอบที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยใช้ตัวอย่างปริมาณ 3-7 มิลลิกรัม มาบรรจุในถาดอะลูมิเนียม (Aluminum Pan) จากนั้นจึงทำการให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 25°C ถึง 250°C อัตราในการให้ความร้อน 10°C ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพระหว่างแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยคริสตัลลินเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพด ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรภายในประเทศ ด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด และทำการศึกษาวิธีการ ขึ้นตอน และภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มคอมพอสิต นอกจากนี้ยังศึกษาผลของชนิด ขนาด รูปร่างและปริมาณคริสตัลลินเซลลูโลสที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เตรียมได้

โดยผลการวิจัยและผลการวิจัยสำหรับปีงบประมาณ 2560 ได้ทำการรายงานผลการทดลอง แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้เป็นคือ การหาปริมาณไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยา และการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดและฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพ สำหรับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เตรียมได้นั้น จะได้รายงานในปีงบประมาณถัดไป

1. การหาปริมาณไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (% Microcrystalline Cellulose content)

การทดลองนี้ทำการเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด โดยใช้สารละลายไฮเดรียมไฮดรอกไซด์ ในการกำจัดลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และใช้การไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกในการย่อยส่วนที่เป็นอสัณฐาน และย่อยเซลลูโลสให้มีขนาดเล็กลง ในการทดลองใช้เปลือกข้าวโพดแห้งในการเตรียมเซลลูโลส 60 กรัมต่อครั้ง จากนั้นทำการหาปริมาณไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่มีอยู่ในเปลือกข้าวโพด (% Microcrystalline Cellulose content) จากสมการ (1) น้ำหนักเปลือกข้าวโพดแห้ง น้ำหนักไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่เตรียมได้ และร้อยละปริมาณของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่มีอยู่ในเปลือกข้าวโพด แสดงดังตารางที่ 2

จากการทดลองสามารถเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดทั้งหมดได้ 13.76 กรัม เมื่อนำไปคำนวณหาปริมาณไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสดังสมการ (1) คิดเป็นร้อยละ 22.93

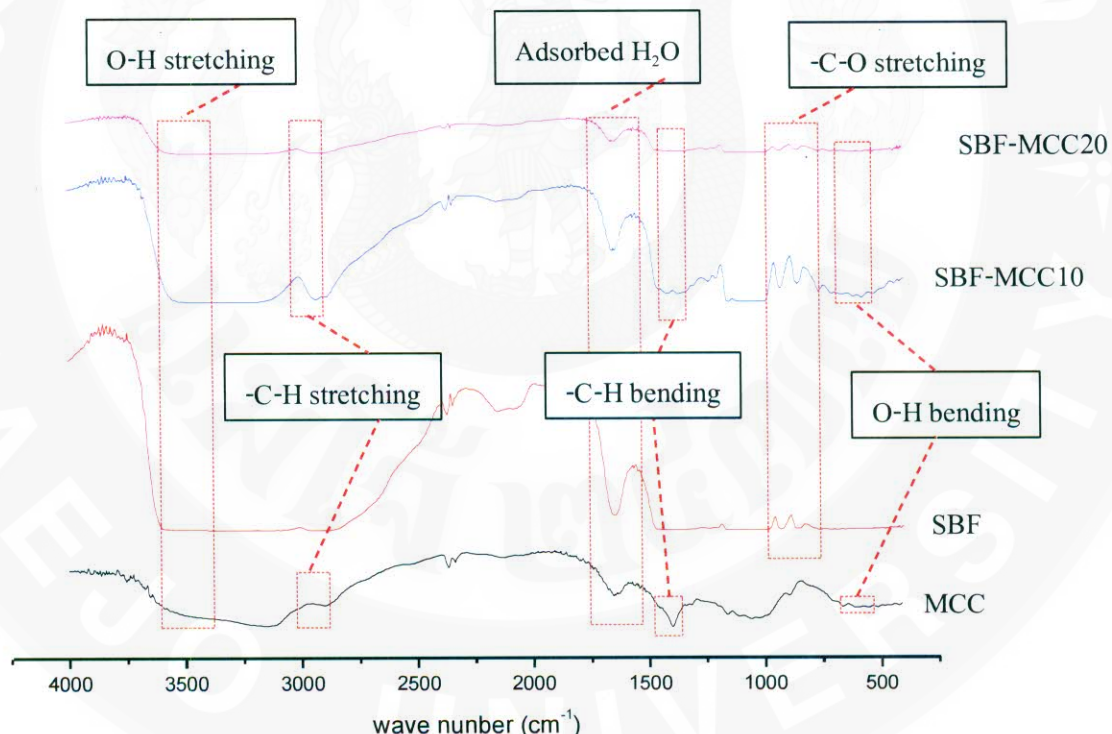
ตารางที่ 2 น้ำหนักเปลือกข้าวโพดแห้ง น้ำหนักไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่เตรียมได้ และร้อยละ ปริมาณของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสที่มีอยู่ในเปลือกข้าวโพด

การเตรียม ครั้งที่	น้ำหนักเปลือก ข้าวโพดแห้ง (กรัม)	น้ำหนักไมโครคริสตัล ลีนเซลลูโลสที่เตรียมได้ (กรัม)	ร้อยละปริมาณไมโครคริสตัล ลีนเซลลูโลสที่อยู่ในเปลือก ข้าวโพด
1	60	13.31	22.18
2	60	14.25	23.75
3	60	13.56	22.60
4	60	14.44	24.07
5	60	13.70	22.83
6	60	13.29	23.15
เฉลี่ย	60	13.76	22.93
SD	0	0.48	0.81

2. การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)

การวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด และฟิล์มแข็งที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดทำได้โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่างโดยใช้หลักการที่ว่าหมู่ฟังก์ชันของสารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะและน้ำหนักของอะตอมของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลนั้นๆ ซึ่งค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (Microcrystalline Cellulose; MCC) ฟิล์มแข็งมันสำปะหลัง (starch-based films; SBF) และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (SBF-MCC) แสดงดังตาราง 3 และอินฟราเรดสเปกตรัมภาพที่ 16

จากภาพที่ 16 อินฟราเรดสเปกตรัมของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด แสดงพีคที่เด่น ๆ ดังนี้ พีค O-H stretching ที่ตำแหน่ง 3496 cm^{-1} พีค C-H stretching ของ CH_2 ที่ตำแหน่ง 2902 cm^{-1} พีค -C-O-C- stretching ที่ตำแหน่ง $1164\text{--}1320\text{ cm}^{-1}$ และพีค O-H bending ที่ตำแหน่ง 668 cm^{-1} และอินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังมีพีค C-O stretching ในโมเลกุลแป้ง ที่ตำแหน่ง $851\text{--}925\text{ cm}^{-1}$ ในขณะที่ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วย ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจะมีพีคที่เด่น ๆ ของโครงสร้างแป้งคือ พีค C-O stretching ที่ตำแหน่ง $855\text{--}928\text{ cm}^{-1}$ และยังมีพีคของเซลลูโลสอยู่คือ พีค C-H stretching ที่ตำแหน่ง 2932 cm^{-1} และพีค C-H bending ที่ตำแหน่ง 1415 cm^{-1} จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดจะสังเกตเห็นทั้งพีคของแป้งมันสำปะหลัง และพีคของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสในอินฟราเรดสเปกตรัม นั้นแสดงว่าในฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส มีไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสอยู่ในฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพจริง



ภาพที่ 16 อินฟราเรดสเปกตรัมของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (MCC) เปรียบเทียบกับฟิล์มแป้ง (SBF) และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (SBF-MCC)

ตารางที่ 3 ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (Lubis *et al.*, 2016, Kampeerappun, 2015, Chunga *et al.*, 2016)

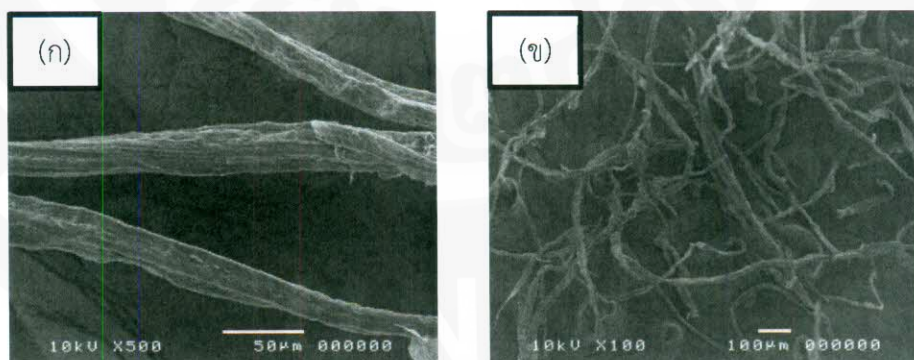
ตัวอย่าง	Wavenumber (cm ⁻¹)	Band Assignments
ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส (MCC)	3496	O-H stretching
	2902	-C-H stretching
	1653	Adsorbed H ₂ O
	1402	-C-H bending
	1164-1320	-C-O-C- stretching
	1061	-C-O stretching
	898	-C-H vibration β -glycosidic linkage
	668	O-H bending
ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลัง (SBF)	3496	O-H stretching
	1645	Adsorbed H ₂ O
	851-925	-C-O stretching
ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (SBF-MCC)	3471	O-H stretching
	2932	-C-H stretching
	1649	Adsorbed H ₂ O
	1415	-C-H bending
	855-928	-C-O stretching
	761	-C-H vibration β -glycosidic linkage

3. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและฐานานวิทยา

ภาพที่ 17 แสดงลักษณะทางกายภาพเมื่อมองด้วยตาเปล่าของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่าง และการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกจะเห็นว่าเมื่อมองด้วยตาเปล่าไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวขนาดเล็ก เมื่อนำผงไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสไปตรวจสอบลักษณะฐานานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลแสดงดังภาพที่ 18 พบว่าลักษณะทางฐานานวิทยาของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดมีลักษณะเป็นเส้นใยยาว มีขนาดความกว้างเฉลี่ย 10-20 μm และมีความยาวเฉลี่ยมากกว่า 1000 μm และเส้นใยที่ได้มีค่าอัตราส่วนยาวต่อกว้าง (aspect ratio) ประมาณ 100



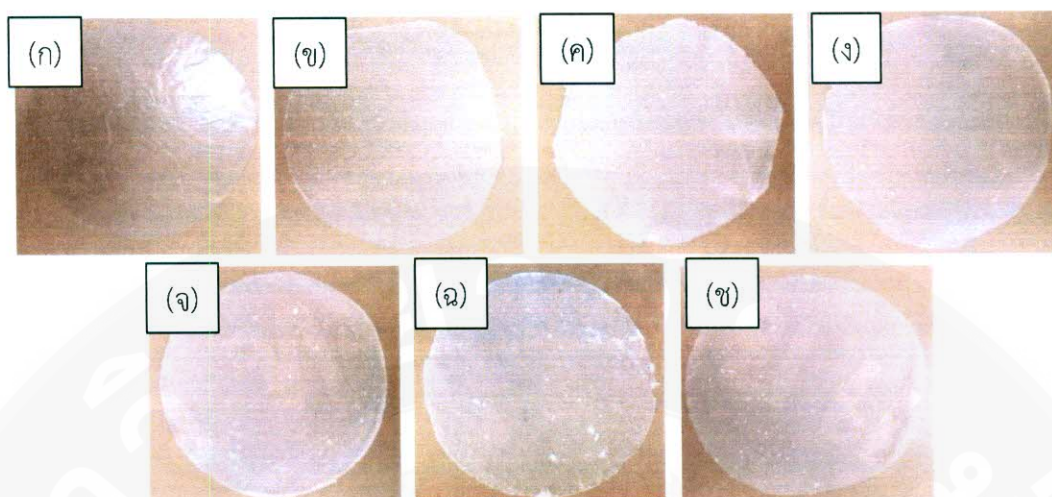
ภาพที่ 17 ลักษณะผงไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่สกัดได้จากฟางข้าวเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า



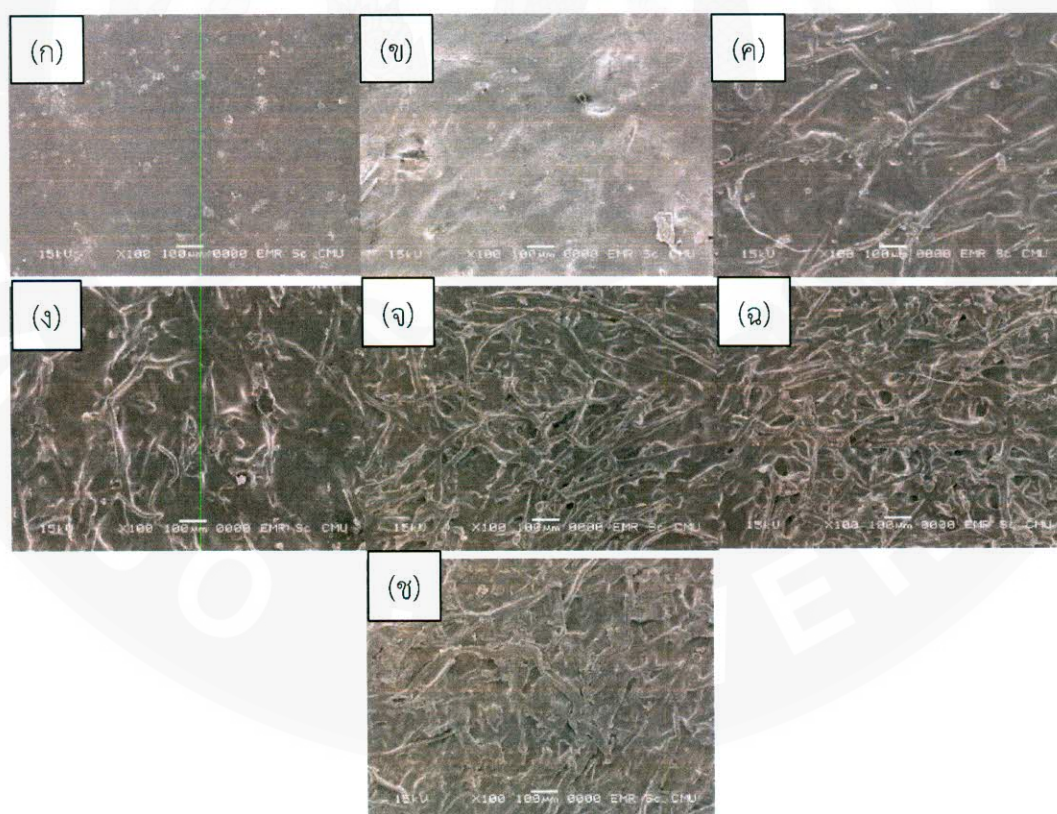
ภาพที่ 18 ลักษณะทางฐานานวิทยาของผงไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสที่เตรียมได้จากเปลือกข้าวโพดโดยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (Scanning Electron Microscopy) (ก) ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส กำลังขยาย 500 เท่า (ข) ไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสกำลังขยาย 100 เท่า

หลังจากเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดได้แล้ว ทำการขึ้นรูปฟิล์มเป้งมันสำปะหลัง โดยมีกลีเซอรอลเป็นสารเสริมสภาพพลาสติก เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดปริมาณต่าง ๆ แล้วขึ้นรูปแผ่นฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของเป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูป

ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเป้ง และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของเป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด แสดงดังภาพที่ 19 จากรูปจะเห็นได้ว่าฟิล์มเป้งจะมีลักษณะใส (ภาพที่ 19 (ก)) เมื่อมีการเติมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงฟิล์มเป้งจะมีลักษณะขุ่น เมื่อปริมาณไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสในฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของเป้งมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้นฟิล์มเป้งก็จะมีลักษณะขุ่นมากขึ้นตามปริมาณของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่เติมเข้าไป เมื่อนำฟิล์มเป้งไปตรวจสอบลักษณะฐานวิทยาของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลแสดงดังภาพที่ 20 พบว่าลักษณะทางฐานวิทยาของฟิล์มเป้งที่ยังไม่เติมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมิลักษณะผิวเรียบ (ภาพที่ 20 (ก)) (Rico *et al.*, 2016) เมื่อเติมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงในฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของเป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของเป้ง ฟิล์มเป้งเริ่มมีลักษณะขรุขระ (ภาพที่ 20 (ข)) ส่วนฟิล์มเป้งที่เติมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงร้อยละ 20 ถึง 50 โดยน้ำหนักของเป้ง พบว่าพื้นผิวฟิล์มเป้งมีลักษณะขรุขระมากขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และเห็นไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสกระจายตัวอยู่ในเนื้อเป้งอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 20 (ค)-(ฉ)) ส่วนฟิล์มเป้งที่เติมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเป้ง (ภาพที่ 20 (ช)) พบว่าไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่ใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงมีการเกาะกลุ่มรวมกันขนาดใหญ่บนพื้นผิวของเมทริกซ์เป้งอย่างเห็นได้ชัด



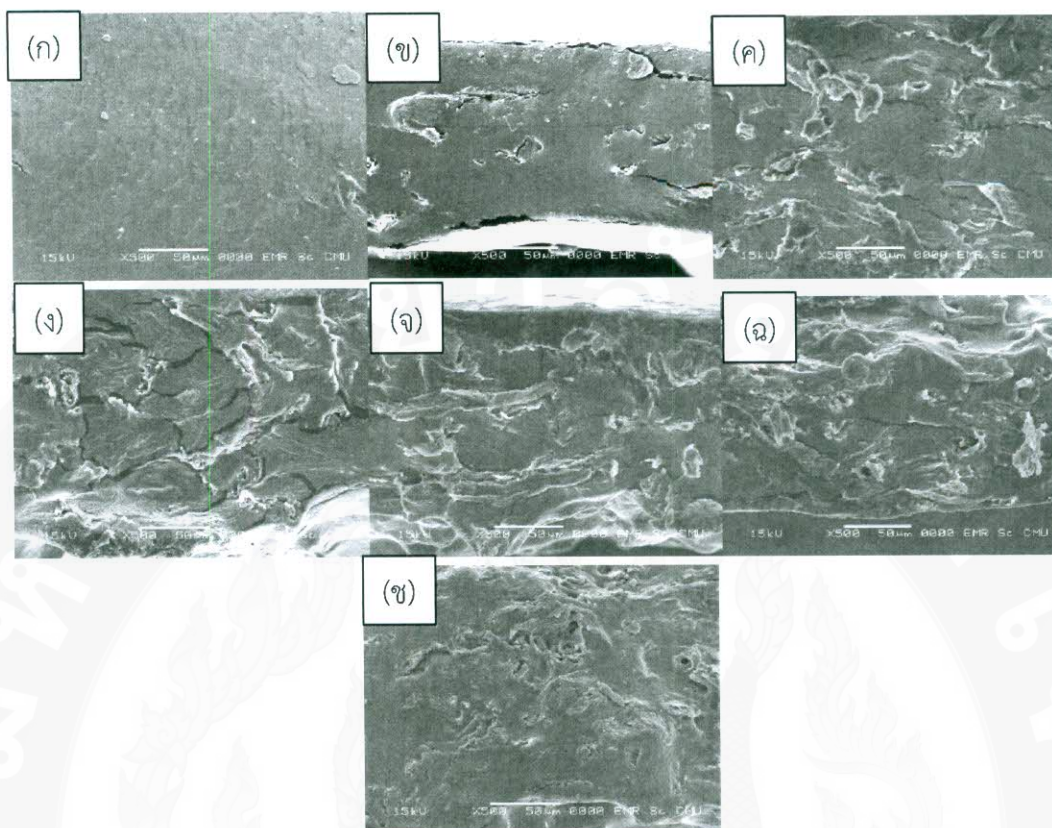
ภาพที่ 19 ลักษณะของฟิล์มที่เตรียมได้ (ก) ฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และฟิล์มคอมพอลิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดที่ (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 (ฉ) ร้อยละ 50 และ (ช) ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง



ภาพที่ 20 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวของฟิล์มแป้ง (ก) และฟิล์มคอมพอลิตทางชีวภาพของแป้งเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่ (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ)

ร้อยละ 40 (จ) ร้อยละ 50 และ (ข) ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง โดยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปี (Scanning Electron Microscopy) ที่กำลังขยาย 100 เท่า

เมื่อนำภาคตัดขวางของฟิล์มแป้งไปตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลแสดงดังภาพที่ 21 พบว่าลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มแป้ง (ภาพที่ 21 (ก)) มีลักษณะเรียบ เมื่อมีการเติมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงลงไปพบว่าลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มแป้งมีลักษณะขรุขระไม่เรียบเพราะมีปริมาณไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสแทรกอยู่ระหว่างเนื้อแป้ง ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมีเส้นใยกระจายตัวอยู่ในเนื้อแป้งมากขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น กลับพบช่องว่างระหว่างเส้นใยและเนื้อแป้งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของฟิล์มซึ่งจะรายงานต่อไปในหัวข้อการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม



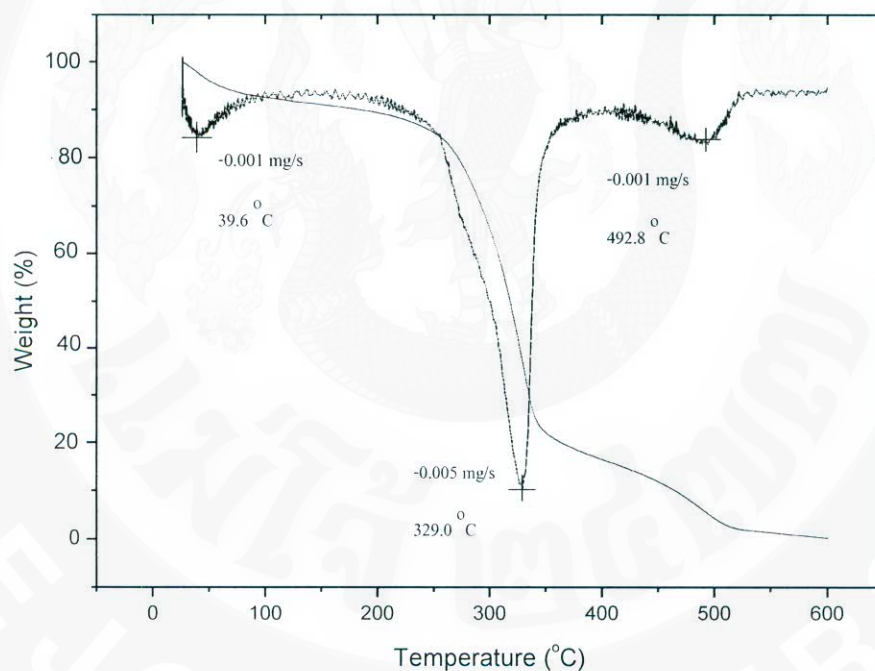
ภาพที่ 21 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของฟิล์มแป้ง (ก) และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 (ฉ) ร้อยละ 50 และ (ช) ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง โดยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (Scanning Electron Microscopy) ที่กำลังขยาย 500 เท่า

4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน

4.1 เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis, TGA)

เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (TGA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้วิเคราะห์หาอุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature; T_d) ของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดและฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด โดยกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ให้อุณหภูมิตั้งแต่ 25-600 °C อัตราการให้ความร้อนที่ 10 °C/นาที ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนที่น้ำหนักของสารตัวอย่างหายไปมากที่สุด (Thermal degradation temperature at maximum % weight loss, T_{dmax})

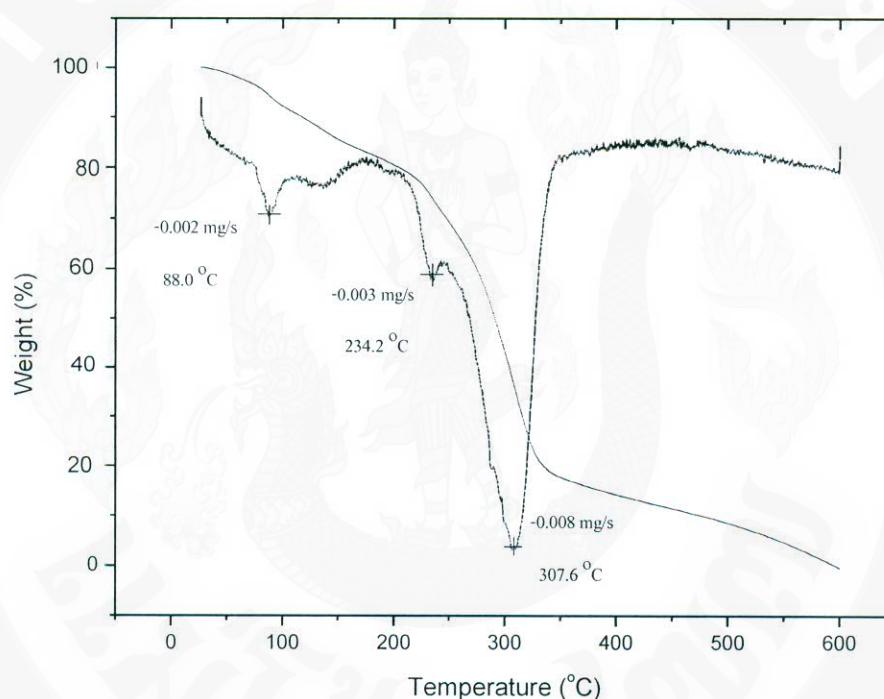
ภาพที่ 22 แสดงเทอร์โมแกรมของผงไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด ผลการทดลองพบว่า ผงไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมีการสูญเสียน้ำหนักสามช่วง คือช่วงแรกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 10 เนื่องจากความชื้นที่มีอยู่ในโครงสร้างของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส หลังจากนั้นจะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักในช่วงที่สองประมาณร้อยละ 70 คือที่อุณหภูมิ 329.0°C ซึ่งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิการสลายตัว (T_d) ของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด และในช่วงสุดท้ายเกิดการสูญเสียน้ำหนักเพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิสูงกว่า 400°C อันเนื่องมาจากการย่อยสลายสารตกค้างของ คาร์บอนเนเชียส (carbonaceous) (Rico *et al.*, 2016)



ภาพที่ 22 เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด

ภาพที่ 23 แสดงเทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กลีเซอรอลเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกที่ยังไม่มีการเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส ผลการทดลองพบว่าพบการสูญเสียน้ำหนักในช่วงแรกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C โดยมีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 5.77 ซึ่งอาจเกิดจากความชื้นที่หลงเหลืออยู่ในโครงสร้างของแป้ง และยังพบว่าฟิล์ม

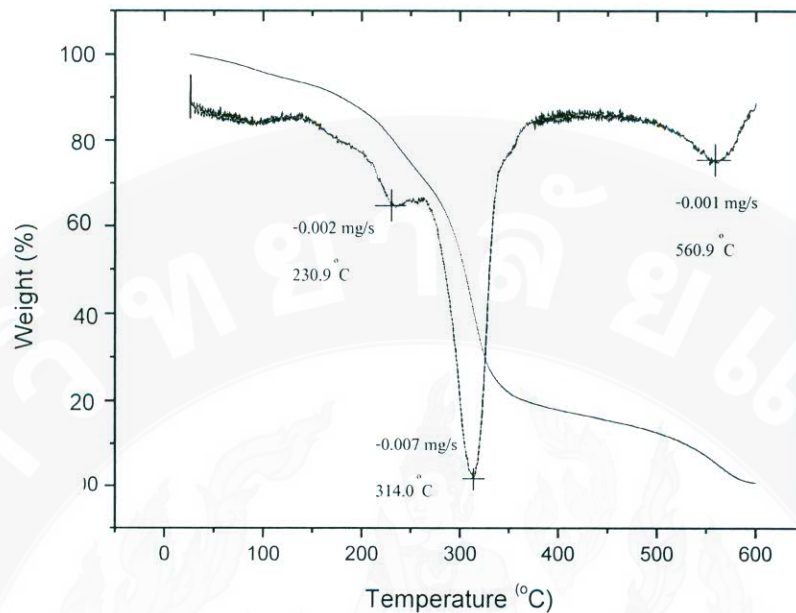
แป้งมันสำปะหลังมีการสูญเสียน้ำหนักในช่วงที่สองประมาณร้อยละ 20.11 ที่อุณหภูมิ 234.2 °C การสลายตัวที่ตำแหน่งนี้เกิดจากการสลายตัวของกลีเซอรอลที่ใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในฟิล์มแป้ง (Cleidiene *et al.*, 2015) และในช่วงที่สามพบอุณหภูมิการสลายตัว (T_d) ของแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นสารหลักในฟิล์มที่เตรียมได้ โดยพบการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 47.34 ที่อุณหภูมิ 307.6 °C (Chang *et al.*, 2010) และช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 °C เป็นการสลายตัวของคาร์บอนเขียส โดยพบการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 36.78



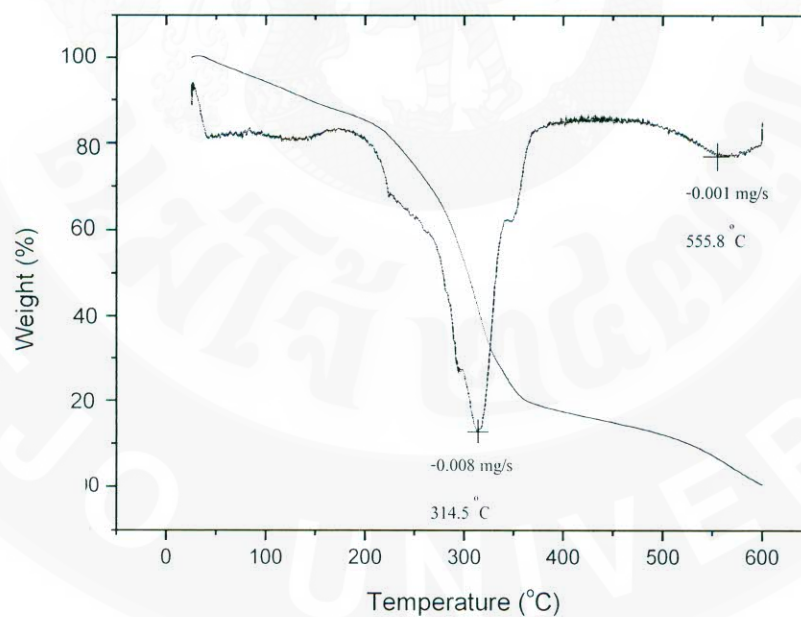
ภาพที่ 23 เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง

ภาพที่ 24-29 แสดงเทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดที่ปริมาณต่าง ๆ ตั้งแต่ร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนักของแป้งตามลำดับ ส่วนภาพที่ 30 แสดง TGA เทอร์โมแกรมเปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ฟิล์มแป้ง และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดที่ปริมาณต่าง ๆ ตั้งแต่ร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนักของแป้งตามลำดับ ผลการตรวจสอบพบว่าฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสมีการ

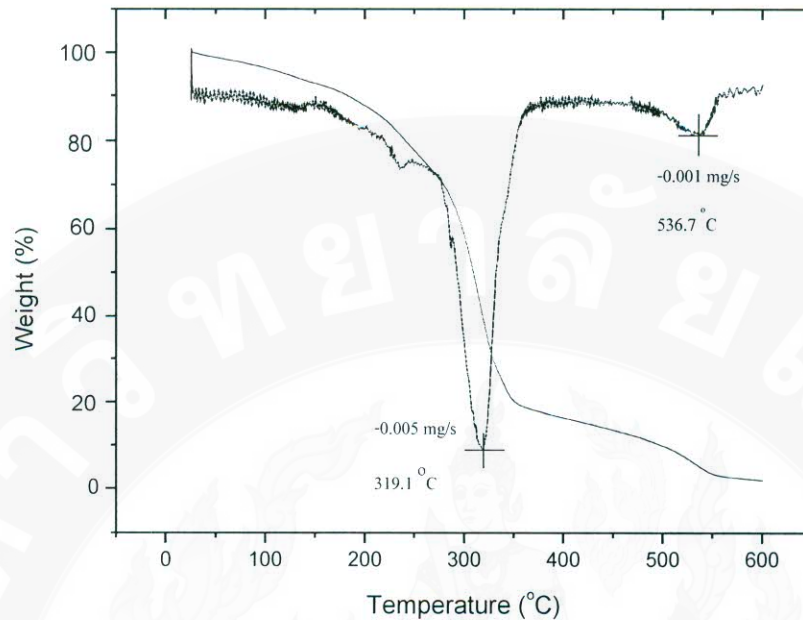
สูญเสียน้ำหนักที่เด่นชัดอยู่สามช่วงด้วยกันดังแสดงในตาราง 4 คือ ช่วงแรกที่ประมาณอุณหภูมิประมาณ 230 °C เกิดจากการสลายตัวของกลีเซอรอลซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลนี้จะพบในฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส ในปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 10 เท่านั้นแต่ไม่พบอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลในฟิล์มแป้งเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสที่ปริมาณมากขึ้น ส่วนการสูญเสียน้ำหนักในช่วงที่สองที่พบในฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนักของแป้ง จะพบที่อุณหภูมิ 314.0 °C 314.5 °C 319.1 °C 316.4 °C 316.1 °C และ 317.2 °C ตามลำดับ ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดกับอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มแป้ง (307 °C) พบว่าฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมีค่าอุณหภูมิการสลายตัวที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงการสูญเสียน้ำหนัก ณ ตำแหน่งนี้ อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพมีค่าเพียงค่าเดียวคืออยู่ระหว่างอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งและเซลลูโลส แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมกันและเข้ากันได้ดีระหว่าง ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสกับแป้งมันสำปะหลังที่มีกลีเซอรอลเป็นสารเสริมสภาพพลาสติก (Chang *et al.*, 2010) นอกจากนี้ ผลการตรวจสอบด้วย TGA ยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเสริมแรงไปถึงร้อยละ 30 ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีที่สุด นั่นคือมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 319.1 °C แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเสริมแรงเป็นร้อยละ 40-60 กลับพบว่าฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพมีเสถียรภาพทางความร้อนลดลงเล็กน้อย ส่วนการสูญเสียน้ำหนักในช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 °C (520-560 °C) เป็นการสลายตัวของคาร์บอนเนเชียส (carbonaceous) (Rico *et. al.*, 2016)



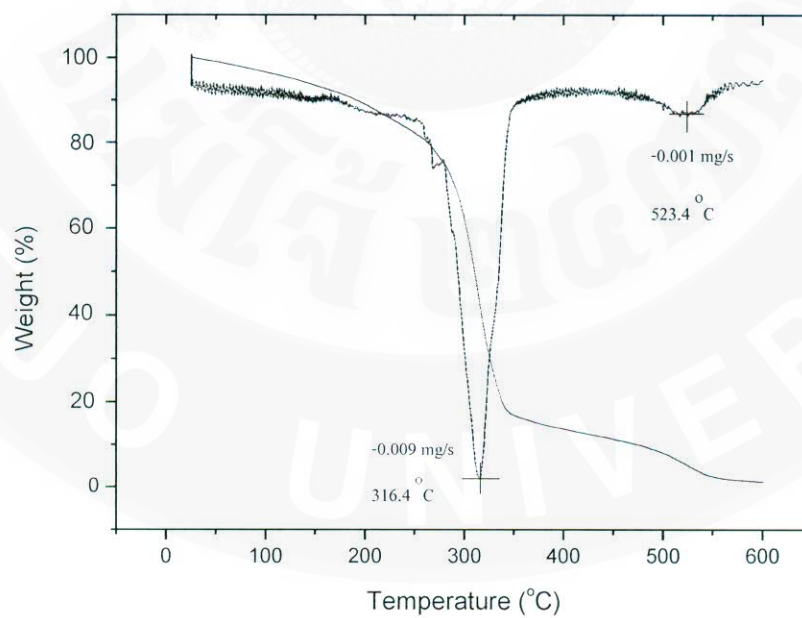
ภาพที่ 24 เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแป้ง



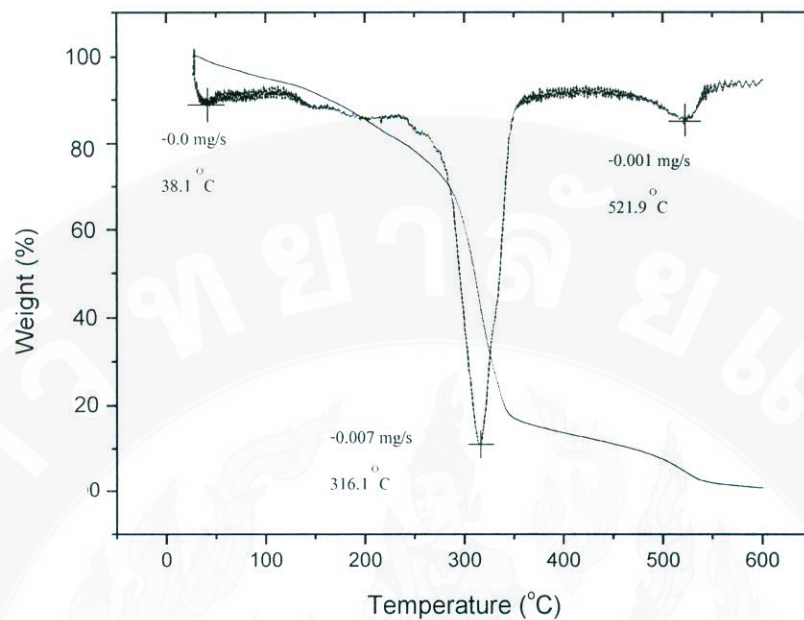
ภาพที่ 25 เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของแป้ง



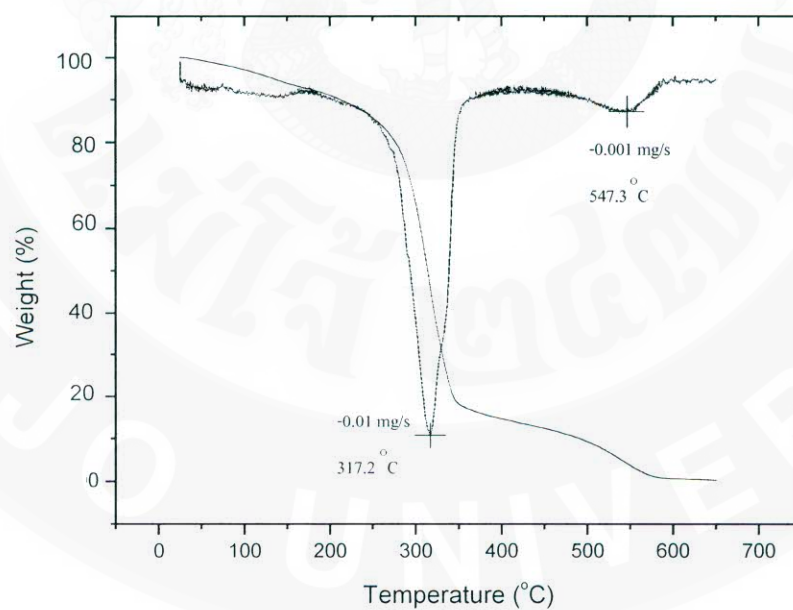
ภาพที่ 26 เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของแป้ง



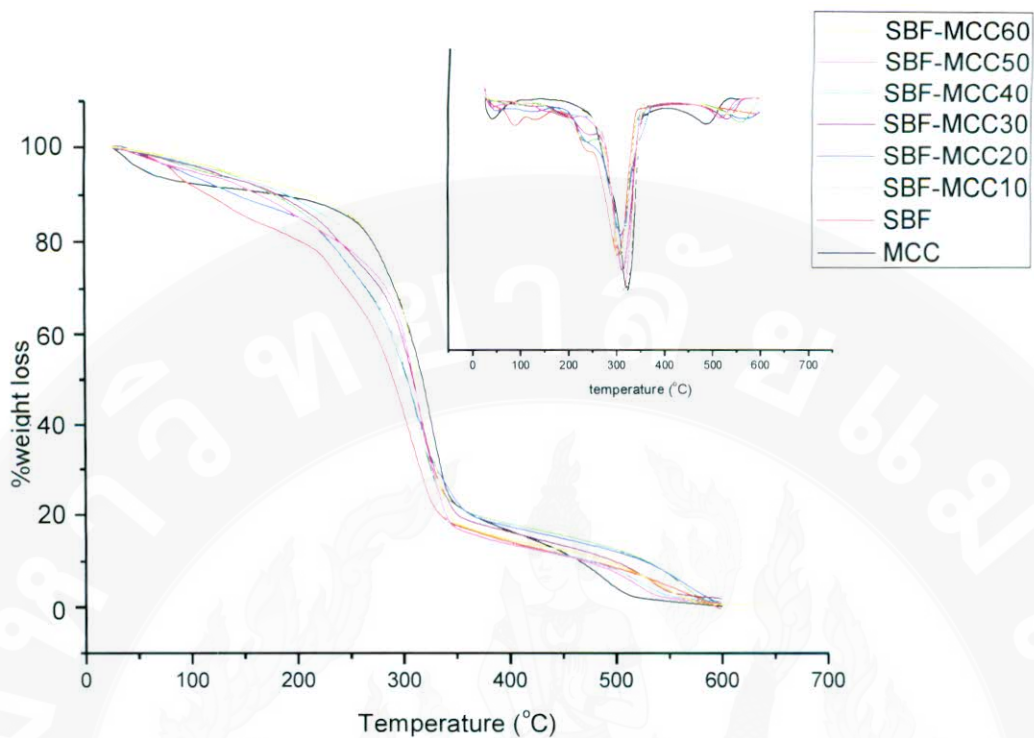
ภาพที่ 27 เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของแป้ง



ภาพที่ 28 เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของแป้ง



ภาพที่ 29 เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง



ภาพที่ 30 เทอร์โมแกรมอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสปริมาณต่าง ๆ

ตารางที่ 4 ช่วงอุณหภูมิการสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่ปริมาณร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนักของแป้ง

ปริมาณไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (%)	Td ₁ (°C)	Weight loss (%)	Td ₂ (°C)	Weight loss (%)	Td ₃ (°C)	Weight loss (%)
10	230.9	19.59	314	40.21	560.9	34.98
20	-	-	314.5	58.30	555.6	37.25
30	-	-	319.1	60.54	536.7	34.34
40	-	-	316.4	58.68	523.4	35.99
50	-	-	316.1	57.90	521.9	37.43
60	-	-	317.2	54.33	547.3	41.64

4.2 เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

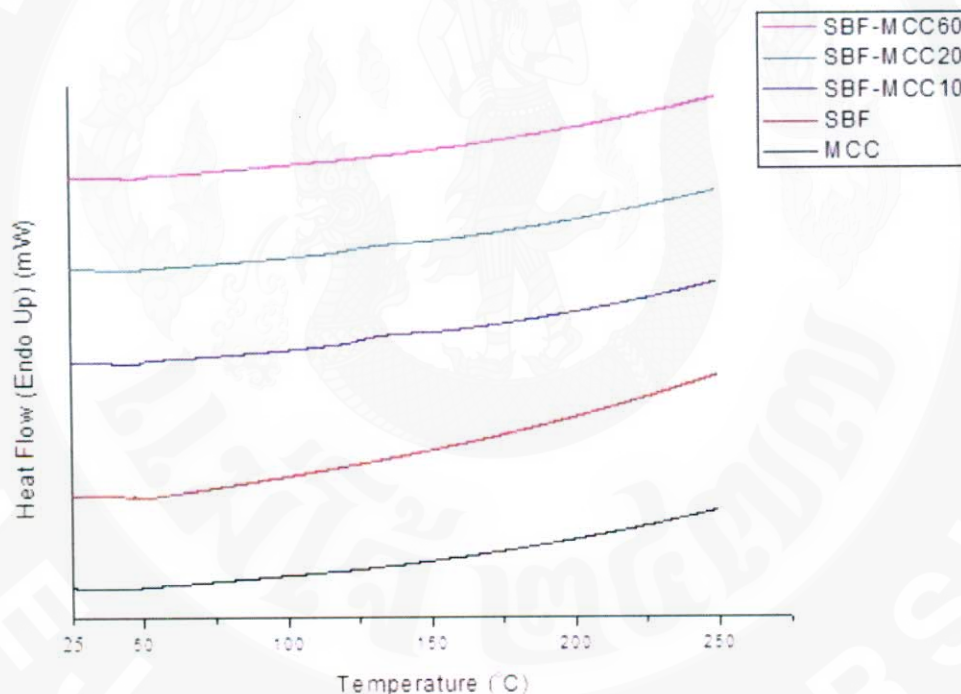
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) ใช้เพื่อหาอุณหภูมิการหลอมเหลว (Melting Temperature, T_m) และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ของผงไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด พิล์มแป้งมันสำปะหลัง และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด โดยกำหนดสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 25-250 °C ให้ความร้อนด้วยอัตรา 10 °C/นาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน

ภาพที่ 31 แสดง DSC เทอร์โมแกรมของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (MCC) พิล์มแป้ง (SBF) และ ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสร้อยละ 10 20 และ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง จากรูปพบว่าไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (MCC) ไม่แสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เนื่องจากโมเลกุลของไมโครคริสตัลลีนจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ (crystalline) จึงไม่พบอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว เพราะการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจะเกิดขึ้นที่บริเวณโมเลกุลจัดเรียงตัวกันแบบไม่เป็นระเบียบ (amorphous) และไม่พบอุณหภูมิการหลอมผลึกในช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ เนื่องมาจากโครงสร้างของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสมีโครงสร้างแบบร่างแหและจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบสูง อุณหภูมิการหลอมผลึกของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสอาจอยู่สูงใกล้เคียงอุณหภูมิการสลายตัว (329.0°C) ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดได้ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ ส่วนฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงและไม่ได้เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (SBF) ก็ไม่พบอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและอุณหภูมิการหลอมผลึกเช่นกัน

จากงานวิจัยของ Lu *et al.*, (2006) พบว่าฟิล์มแป้งสาลิที่มีกลีเซอรอลเป็น สารเสริมสภาพพลาสติกมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อยู่ที่ 26.8°C และพบว่าเมื่อเติมเซลลูโลสจากป่านรามิเป็นสารเสริมแรงร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนัก ฟิล์มแป้งสาลิที่มีกลีเซอรอลเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกที่เติมเซลลูโลสจากป่านรามิเป็นสารเสริมแรงมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเซลลูโลสจากป่านรามิเพิ่มขึ้นจาก 26.8°C เป็น 55.7°C งานวิจัยนี้ได้อภิปรายว่าการที่อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของฟิล์มแป้งที่เติมเซลลูโลสจากป่านรามิเป็นสารเสริมแรงมีค่าเพิ่มขึ้นอาจเกิดมาจากโมเลกุลของแป้งและโมเลกุลของคริสตัลลีนเซลลูโลสที่

เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งและผลึกเซลลูโลส ที่มีลักษณะแข็งตึง (stiff crystallites) ซึ่งแรงดึงดูดนี้เองจะไปลดความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของแป้งทำให้เคลื่อนที่ยากขึ้นจึงส่งผลให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ไม่พบอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังซึ่งควรจะพบที่อุณหภูมิใกล้เคียง 26°C เนื่องจากในการทดลองได้ทำการศึกษาอุณหภูมิตั้งแต่ 25°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของฟิล์มแป้งที่มีกลีเซอรอลเป็นสารเสริมสภาพพลาสติก จึงไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนอุณหภูมิคล้ายแก้วของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้ในการวิจัยนี้ได้



ภาพที่ 31 DSC เทอร์โมแกรมของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส (MCC) ฟิล์มแป้ง (SBF) และ ฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสร้อยละ 10 20 และ 60 โดยน้ำหนักของแป้ง

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศึกษาการเตรียมฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพระหว่างแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยคริสตัลลีนเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพด ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรภายในประเทศ ด้วยการกำจัดลิกนิน การฟอกขาว และไฮโดรไลซิสเชื้อเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดด้วยกรดซัลฟิวริก และทำการศึกษาวิธีการ ขึ้นตอน และภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มคอมพอสิต ทำการศึกษาหาปริมาณไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยา และตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดและฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เตรียมได้ นอกจากนี้ในปีงบประมาณ 2561 ยังได้ทำการศึกษาผลของปริมาณคริสตัลลีนเซลลูโลสที่มีต่อสมบัติเชิงกลและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เตรียมได้ ซึ่งจะได้รายงานให้ทราบในปีงบประมาณถัดไป

ผลการทดลองพบว่าซึ่งจะพบว่าเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกข้าวโพดมีลักษณะเป็นผงสีขาวและมีปริมาณเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกข้าวโพดคิดเป็นร้อยละ 22.93 การวิเคราะห์ลักษณะกายภาพของผงไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะพบว่ามีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว แต่เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะพบว่ามีลักษณะเป็นเส้นใยยาว มีค่าอัตราส่วนยาวต่อกว้าง (aspect ratio) ประมาณ 100

หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปฟิล์มแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดโดยมีกลีเซอรอลเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกแล้วทำการหล่อขึ้นรูปแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิคการหล่อ (casting) ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มแป้งที่ยังไม่ได้เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสมีลักษณะแผ่นฟิล์มที่ใส เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มแป้งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสจะมีลักษณะที่ขุ่นกว่า และจะขุ่นและมีลักษณะขรุขระมากขึ้นเมื่อปริมาณตัวเติมเพิ่มมากขึ้น และเมื่อนำฟิล์มแป้งที่คอมพอสิตทางชีวภาพที่เตรียมได้ไปตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าพื้นผิวของฟิล์มแป้งที่เตรียมได้แสดงการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดได้อย่างชัดเจน โดยจะเห็นว่าเส้นใยมีการจัดเรียงตัวไปในลักษณะเป็นแนวเดียวกัน โดยเฉพาะเมื่อมีการเติมเส้นใยเซลลูโลสลงไปปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นก็จะเห็นการจัดเรียงตัวของเส้นใยได้ชัดเจนขึ้น

เมื่อนำภาคตัดขวางของฟิล์มแป้งไปตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา พบว่าลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่มีการเติมเส้นใยเสริมแรงจากเซลลูโลสมีลักษณะที่

เรียบ ในขณะที่ลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มแข็งที่มีไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดเป็นเส้นใยเสริมแรงมีลักษณะภาคตัดขวางที่ขรุขระ ไม่เรียบและเห็นเส้นใยที่ถูกหักในขณะเตรียมตัวอย่างได้อย่างชัดเจน โดยที่เมื่อปริมาณของเส้นใยที่เติมลงไปในฟิล์มแข็งมีปริมาณเพิ่มขึ้น ก็จะสังเกตเห็นเส้นใยที่แทรกตัวอยู่ในฟิล์มแข็งที่ทำหน้าที่เป็นเมตริกซ์ได้อย่างชัดเจนขึ้น และพบว่าเส้นใยเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนขนาดใหญ่

การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด และฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด จากผลการทดลองพบว่าไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลส มีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 329.0°C ส่วนฟิล์มแข็งมี T_d อยู่ที่ 307.6°C สำหรับฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนักแข็ง นั้นพบว่าเกิดการสลายตัวที่ 314.0°C 314.5°C 319.1°C 316.4°C 316.1°C และ 317.2°C ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสสูงกว่าฟิล์มแข็งที่ไม่ได้เสริมแรง แสดงให้เห็นเสถียรภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้นของฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพ

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเส้นเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดและฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพพอสิตเสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด พบว่าไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดไม่พบการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และไม่พบอุณหภูมิการหลอมผลึก (T_m) ฟิล์มแข็งและฟิล์มคอมพอสิตทางชีวภาพก็ไม่พบการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและอุณหภูมิการหลอมผลึกเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- ธนาวดี ลีจากภัย. 2549. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์: ปทุมธานี.
- กล้านรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- Reddy, N. and Yang, Y. 2005. Biofibers from Agricultural By products for Industrial Applications. **Trends. Biotechnol.** 23: 22-27.
- Choi Y. and Simonsen J. 2005. **Carboxymethyl Cellulose and Composite**. Department of Chemical Engineering and Department of Wood Science & Engineering Oregon State University.
- Sirikhajornnam P. and Danwanichakul P. 2006. A Preliminary Study of Preparing Biodegradable Film from Starch. **32nd Congress on Science and Technology of Thailand (STT 32)**. Bangkok, 10-12 October, 2006: 1-3.
- Maria R., Javier O., Khalid Z., and Juan I. M. 2006. Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films. **Food. Res. Int.** 39: 840-846.
- Ort w. J., Shey J., Imam S. H., Glenn G. M., Guttman M. E. and Revol J. F. 2005. Application of Cellulose Microfibrils in Polymer Nanocomposites. **J. Polym. Environ.** 13(4): 301-306.
- Lu Y., Weng L., and Cao X. 2006. Morphological, Thermal and Mechanical Properties of Ramie Crystallites-Reinforced Plasticized Starch Biocomposites. **Carbohydr. Polym.** 63: 198-204.
- Cao X., Chen Y., Chang P. R., Muir A.D. and Falk G. 2008. Starch-based nanocomposites reinforced with flax cellulose nanocrystals. **Express. Polym Lett.** 2(7): 502-510.
- Dagang L., Tuhua Z., Peter R. C., Kaifu L. and Qinglin W. 2010. Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals. **Bioresource. Technol.** 101(7): 2529-2536.
- Jeefferie A. R., Nurul F. O., Mohd Warikh A. R., Yuhazri M. Y., Haeryip S. and Ramli J. 2011. Preliminary Study on the Physical and Mechanical Properties of Tapioca Starch/ Sugarcane Fiber Composite. **J. Eng. Appl. Sci.** 6: 7-15.
- Melissa B. A., Bashir A., Enna R. P. D., Jerico L. B., Joel R. S. and Fumihiko H. 2013. Starch-based biocomposite films reinforced with cellulose nanocrystals from garlic stalks. **Polym. Composites.** 34(8): 1325-1332.

- Lubis, M., Siagian, M. and Tarigan, P. 2016. Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer. **J. Phys. Conf. Ser.** 710: 1-7.
- Kampeeraappun, P. 2015. Extraction and Characterization of Cellulose Nanocrystals Produced by Acid Hydrolysis from Corn Husk. **J. Met. Mat. Min.** 25(1): 19-26.
- Lubis, M., Harahap, M.B., Muhammad Hendra, S.G., Sartika, M. and Azmi, H. 2016. Effect of Microcrystalline Cellulose (MCC) from Sugar Palm Fibres and Glycerol Addition on Mechanical Properties of Bioplastic from Avocado Seed Starch (*Persea Americana* Mill). **ECBA Conference Full Paper Proceeding**. Phuket, Thailand, Oct 27-28, 2016. 331(3): 1-10.
- Chunga, C., Lee, M. and Choe, E.K. 2004. Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy. **Carbohydr. Polym.** 58(4): 417-420.
- Rico, M., Rodriguez-Llamazares, S., Barral, L., Bouza, R. and Montero, B. 2016. Processing and characterization of polyols plasticized-starch reinforced with microcrystalline cellulose. **Carbohydr. Polym.** 149: 83-93.
- Cleidiene S.M., Marina S.F., Mariana T.M., Wilton J.S., Jamerson C.O., Jania B.A. Silva. and Nadia M. José. 2015. Mechanical, Thermal and Barrier Properties of Starch-Based Films Plasticized with Glycerol and Lignin and Reinforced with Cellulose Nanocrystals. **Mater. Today-Proc.** 2(1): 63-69.
- Chang, P.R., Jian, R., Zheng, P., Yu, Jiugao. and Ma, X. 2010. Preparation and properties of glycerol plasticized-starch (GPS)/cellulose nanoparticle (CN) composites. **Carbohydr. Polym.** 79(2): 301-305.
- Lu, Y., Weng, L. and Cao, X. 2006. Morphological, thermal and mechanical properties of ramie Crystallites reinforced plasticized starch biocomposites. **Carbohydr. Polym.** 63(2): 198-204.