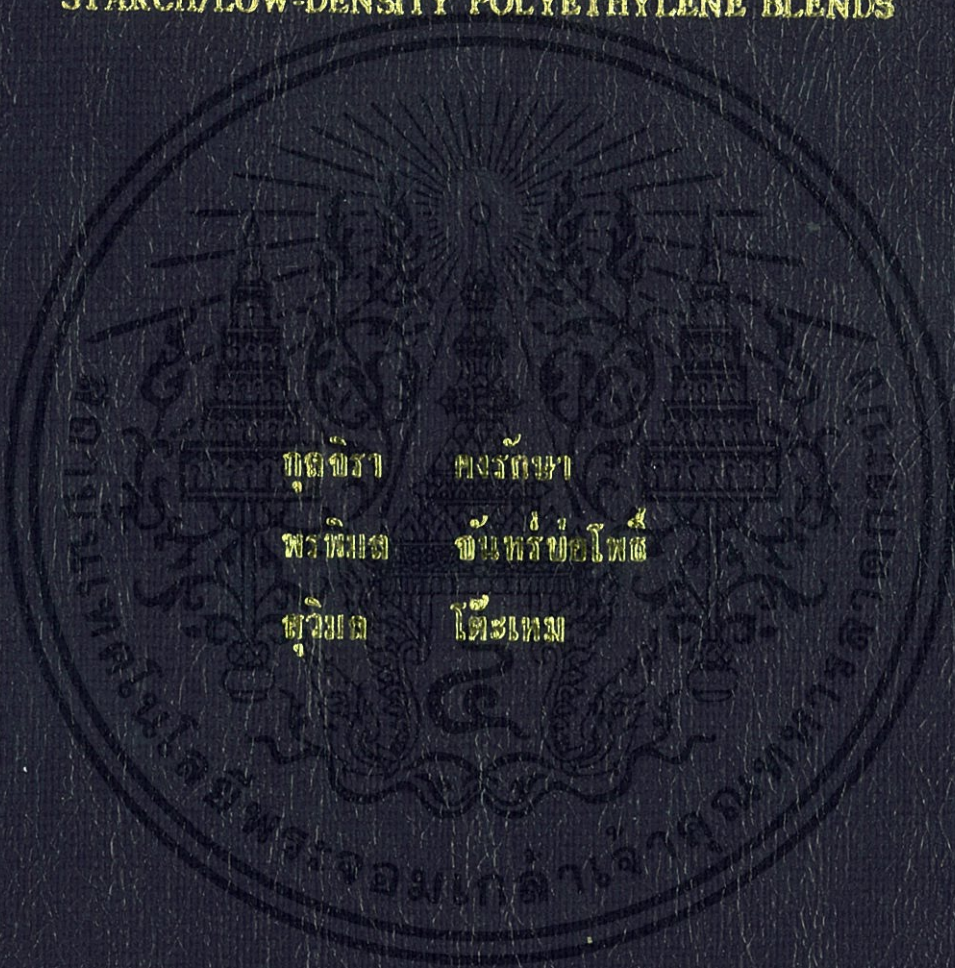


ผลกระทบบของเส้นใยเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติต่างๆ ของพอลิเอทิลีนย่อยสลายได้
จากพอลิเอทิลีนผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกคัสตารูซจากบริษัทพานาเซอเนอ
พลีเคทีคที่มีน้ำหนักความหนาแน่นต่ำ

EFFECT OF CELLULOSIC FIBERS ON PROPERTIES OF
BIODEGRADABLE THERMOPLASTIC WAXY RICE
STARCH/LOW-DENSITY POLYETHYLENE BLENDS



กฤษณ์จิรา

ศุภรัตน์

พรวิมล

จันทร์ช้อยไพฑูริ

สุวิมล

ไฉะเทม

โครงการพิเศษงานเป็นส่วนตัวของ การศึกษาตามหลักสูตร วิชาสาขาวิศวกรรม

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สำนักเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

ผลกระทบของเส้นใยเซลลูโลสที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้
จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวและ
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

**EFFECT OF CELLULOSIC FIBERS ON PROPERTIES OF
BIODEGRADABLE THERMOPLASTIC WAXY RICE
STARCH/LOW-DENSITY POLYETHYLENE BLENDS**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

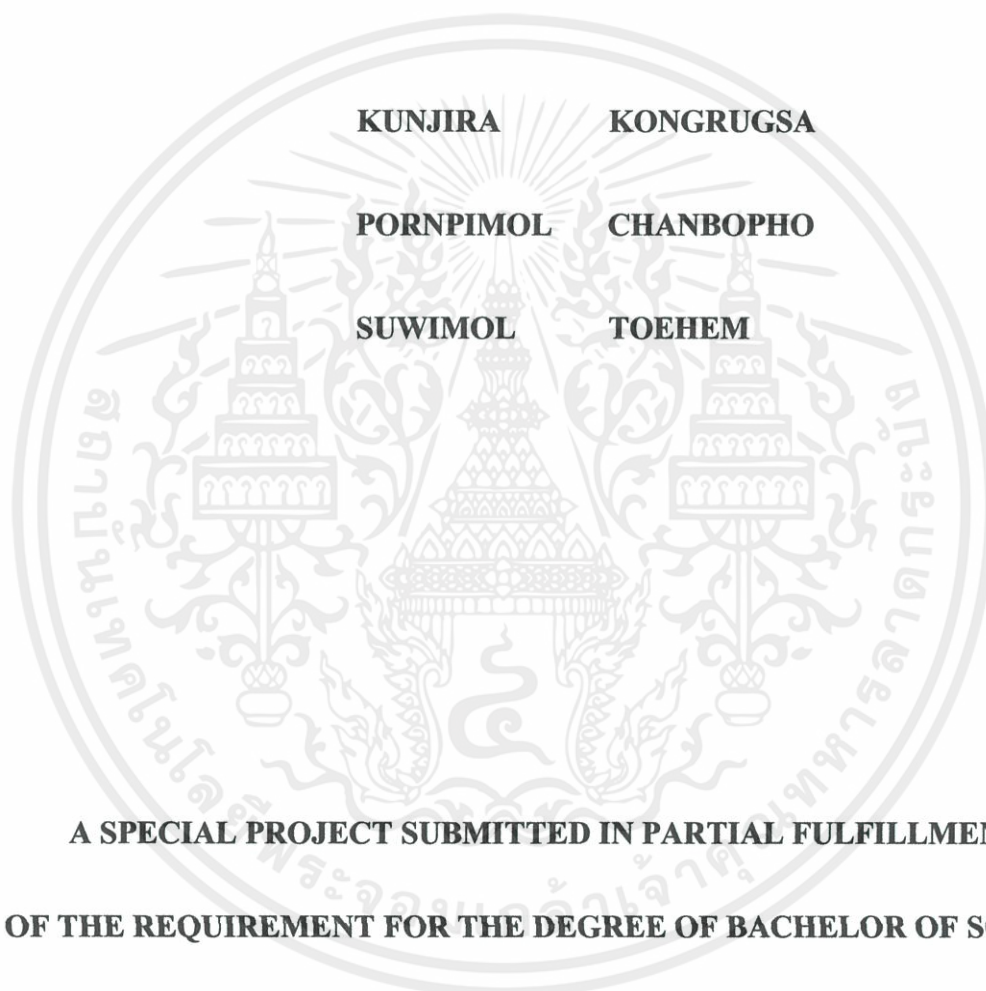
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

**EFFECT OF CELLULOSIC FIBERS ON PROPERTIES OF
BIODEGRADABLE THERMOPLASTIC WAXY RICE
STARCH/LOW-DENSITY POLYETHYLENE BLENDS**



KUNJIRA

KONGRUGSA

PORNPIMOL

CHANBOPHO

SUWIMOL

TOEHM

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2012

โครงการพิเศษ ผลกระทบของเส้นใยเซลลูโลสที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

Effect of cellulosic fibers on properties of biodegradable thermoplastic waxy rice starch /low-density polyethylene blends

นักศึกษา นางสาวกุลจิรา คงรักษา รหัส 52050125
นางสาวพรพิมล จันทร์บ่อโพธิ์ รหัส 52050204
นางสาวสุวิมล โต้ะเหม รหัส 52050256



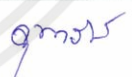
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2555

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ		ลายมือชื่อ
รศ.ดร. มาลินี	ชัยศุภกิจสินธุ์	
ดร. ปานไพลิน	สีหาราช	
รศ.ดร. จุฑารัตน์	ปรัชญาวรากร	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า มีอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	ผลกระทบของเส้นใยเซลลูโลส ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งข้าวเหนียวและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ		
	Effect of cellulosic fibers on properties of biodegradable thermoplastic waxy rice starch / low-density polyethylene blends		
นักศึกษ	นางสาวกุลจิรา	คงรักษา	รหัส 52050125
	นางสาวพรพิมล	จันทร์บ่อโพธิ์	รหัส 52050204
	นางสาวสุวิมล	โตะเหม	รหัส 52050256
ภาควิชา	เคมี		
สาขา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2555		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปและการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งข้าวเหนียว (Thermoplastic waxy rice starch, TPWRS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density polyethylene, LDPE) และใช้สารช่วยผสมชนิดมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft- polyethylene, MAPE) นำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาปรับปรุงสมบัติโดยผสมกับเส้นใยฝ้าย หรือเส้นใยุ่นในปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20 % จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สันฐานวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซึมน้ำ และการย่อยสลาย จากการศึกษาสันฐานวิทยา โดยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) พบว่า TPWRS และ LDPE เข้ากันได้ดีเมื่อใช้ MAPE เป็นสารช่วยผสม เมื่อเติมเส้นใยฝ้ายและเส้นใยุ่นลงไป ในเมทริกซ์ของ TPWRS/LDPE ทำให้พื้นผิวของเส้นใยเกิดการเปียก แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างวัฏภาคของเส้นใยและเมทริกซ์ สำหรับผลการดูดซึมน้ำ พบว่า การเติมเส้นใยฝ้าย หรือ เส้นใยุ่น ลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ทำให้การดูดซึมน้ำลดลง

นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่น 20% มีค่าแรงดึงสูงสุด มอดุลัสและความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด สำหรับสมบัติทางความร้อน พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายหรือเส้นใยนุ่นมีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้น จากการทดสอบการย่อยสลายพบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ทุกสูตรมีการย่อยสลายอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลา 30 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project	Effect of cellulosic fibers on properties of biodegradable thermoplastic waxy rice starch / low-density polyethylene blends		
Name	Miss Kunjira	Kongrugs	ID 52050125
	Miss Pornpimol	Chanboph	ID 52050204
	Miss Suwimol	Toehem	ID 52050256
Degree	Bachelor of science		
Program	Industrial chemistry		
Academic Year	2012		
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Jutarat Prachyawarakorn		

Abstract

This research focused on preparation and properties biodegradable polymer from thermoplastic waxy rice starch (TPWRS) blended with low-density polyethylene (LDPE), compatibilized by maleic anhydride grafted polyethylene (MAPE). The TPWRS/LDPE blend was compounded by internal mixer and molded by injection moulding machine. Then, the TPWRS/LDPE blend was modified by cotton fibers and kapok fibers. Different amounts of cotton fibers and kapok fibers, i.e. 0, 5, 10, 15 and 20% were used. Physical, morphological, mechanical, thermal and degradable properties of different TPWRS/LDPE blends were, then, tested. Morphology from Scanning Electron Microscopy (SEM) revealed that TPWRS and LDPE were compatible by the use of MAPE compatibilizer. The addition of cotton fibers or kapok fibers were into the TPWRS/LDPE matrix caused fiber surface wetting, showing phase compatibility between the fiber and matrix. For water absorption, the results showed that the addition of either cotton fibers or kapok fibers caused the significant decrease of water absorption of the TPWRS/LDPE blend. Mechanical properties of the TPWRS/LDPE blend modified by 20% kapok fibers presented the highest maximum load, Young's modulus and stress at maximum load.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คิดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

For thermal properties, it was found that TPWRS/LDPE modified by cotton fibers or kapok fibers showed the increase in thermal degradation temperature. For the biodegradability all the TPWRS/LDPE blend degraded continuously within 30 days.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาarchจากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยหนูนุ่น (Modification of Thermoplastic Waxy rice starch blended with Cotton and Kapok) ดำเนินงานได้เป็นอย่างดี โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) และได้รับความช่วยเหลือตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่ผู้จัดทำจากบุคลากรและหน่วยงานต่างๆดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญารากร ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานพิเศษนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับ โครงการงานพิเศษนี้ จนสำเร็จลุล่วง ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ และ ดร. ปานไพลิน สีหาราช ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการงานพิเศษ โดยกรุณาช่วยตรวจทานและแก้ไขโครงการงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประคิษฐ์ และคุณสุจิตใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้

นอกจากนี้ยังขอบคุณบุคลากรท่านอื่นๆที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวถึงทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวกุลจิรา คงรักษา

นางสาวพรพิมล จันทร์บ่อโพธิ์

นางสาวสุวิมล โต๊ะเหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

รายการ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูป	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของ โครงการงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 พลาสติกย่อยสลายได้	5
2.1.1 การย่อยสลายได้โดยแสง	5
2.1.2 การย่อยสลายทางกล	5
2.1.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน	5
2.1.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส	6
2.1.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ	6
2.2 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ	7
2.2.1 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	9
2.2.2 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง	9
2.2.3 วิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามการนำออกจำหน่าย การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้อัปโหลดเนื้อหาและตัวอย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
2.3 แป้ง	13
2.3.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง	14
2.3.2 องค์ประกอบภายในแป้ง	15
2.3.3 สมบัติของแป้ง	19
2.3.4 แป้งข้าวเหนียว	22
2.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช	23
2.5 พลาสติกไซเซออร์	25
2.5.1 พลาสติกไซเซออร์และพลาสติกไซเซออร์	25
2.6 เส้นใย	26
2.6.1 เส้นใยฝ้าย	26
2.6.2 เส้นใยนุ่น	28
2.7 พอลิเอทิลีน	30
2.8 มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน	31
2.8.1 ประโยชน์ของมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน	31
2.9 การฉีดขึ้นรูปพลาสติก	32
2.9.1 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก	32
2.9.2 กระบวนการฉีดพลาสติก	32
2.9.3 ปัจจัยที่สำคัญในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก	33
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ 3.1 สารเคมี 41
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 44

สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
3.3 การทดลอง	47
3.4 การทดสอบ	50
3.4.1 การหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน โดย FTIR	50
3.4.2 การดูดซับน้ำ	50
3.4.3 สันฐานวิทยา	50
3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	51
3.4.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	52
3.4.6 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน	52
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	53
4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	54
4.2 การทดสอบสันฐานวิทยา	56
4.3 การดูดซับน้ำ	58
4.4 สมบัติเชิงกล	60
4.5 สมบัติทางความร้อน	63
4.6 การย่อยสลายโดยการฝังดิน	66
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	71
5.1 สรุปผลงานวิจัย	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73

ภาคผนวก ก 77
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาคผนวก ข 80
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
ภาคผนวก ค	83
ภาคผนวก ง	86
ภาคผนวก จ	95
ภาคผนวก ฉ	97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	16
ตารางที่ 2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ	17
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของแป้งข้าวเหนียว ตราเหรียญทองก้าวหน้า จากบริษัท อุตสาหกรรม แป้งเหรียญทอง จำกัด	41
ตารางที่ 3.2 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เกรดชนิด (DNDV-0405 R) จากบริษัท ดาวเคมีคอล จำกัด	42
ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของเส้นใยฝ้าย	42
ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบของเส้นใยนุ่น	43
ตารางที่ 3.5 สมบัติของมาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน เกรดการค้า MB 100D จาก บริษัท Dupont Packaging & Industrial Polymer	43
ตารางที่ 3.6 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างTPS จากแป้งข้าวเหนียวและ LDPE	47
ตารางที่ 3.7 สภาพที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	49
ตารางที่ 3.8 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้	51
ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	53
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยนุ่น	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
รูปที่ 2.1	การย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ	7
รูปที่ 2.2	วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	9
รูปที่ 2.3	การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปแบบเจลาทีน	11
รูปที่ 2.4	โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง ชนิด A และ B ของอะไมโลส	15
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของอะไมโลส	16
รูปที่ 2.6	โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	18
รูปที่ 2.7	การเกิดเจลาทีนเซชันของเม็ดแป้ง	21
รูปที่ 2.8	การเกิดรีโทรเกรเดชัน	22
รูปที่ 2.9	สายโมเลกุลเซลลูโลสของเส้นใยฝ้าย	28
รูปที่ 2.10	โครงสร้าง MAPE	32
รูปที่ 2.11	ลำดับกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าเบ้า	33
รูปที่ 3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย	45
รูปที่ 3.2	แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย	46
รูปที่ 4.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายในปริมาณ	54
รูปที่ 4.2	อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยขนุนในปริมาณ	55
รูปที่ 4.3	ภาพตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวผสม พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยขนุน	57
รูปที่ 4.4	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ที่ปรับปรุง สมบัติโดยเส้นใยฝ้ายในปริมาณ 10% และ 20%	58
รูปที่ 4.5	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ที่ปรับปรุง สมบัติโดยเส้นใยขนุนในปริมาณ 10% และ 20%	59
รูปที่ 4.6	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย หรือเส้นใยขนุน	61

สารบัญรูปรภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใย นุ่นที่ปริมาณต่างๆ	62
รูปที่ 4.8 TGA และ DTG ของพอลิเมอร์ผสม TPWRS /LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย	64
รูปที่ 4.9 TGA และ DTG ของพอลิเมอร์ผสม TPWRS /LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยนุ่น	65
รูปที่ 4.10 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE	67
รูปที่ 4.11 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้าย 10%	67
รูปที่ 4.12 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้าย 20%	68
รูปที่ 4.13 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่น 10%	68
รูปที่ 4.14 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่น 20%	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันมีการใช้วัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก ใช้ระยะเวลาในการสลายตัวและยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะพอลิเมอร์พลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมีภัณฑ์ ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในรูปของบรรจุภัณฑ์ พลาสติกมีปริมาณการใช้เพิ่มสูงขึ้นกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุชนิดอื่น เช่น กระดาษ โลหะและแก้ว เนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นของพลาสติก คือ มีความทนทาน ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย กันน้ำได้ดีและมีน้ำหนักเบา จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก ส่งผลให้ปริมาณขยะที่เกิดจากพลาสติกเพิ่มสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด การจัดการและโยกย้ายไปถึงมลภาวะของโลก อันเนื่องมาจากอัตราการใช้พลาสติกที่สูงขึ้น แต่ตัวพลาสติกเองมีการสลายตัวได้ช้ามาก บางส่วนถูกนำกลับมาใช้ใหม่ ในขณะที่บางส่วนถูกปล่อยทิ้งไว้ตามพื้นดินหรือแหล่งน้ำ การแก้ปัญหาดังกล่าว อาจทำได้โดยการควบคุมการใช้ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพลาสติก ไม่ให้มีมากจนเกินความจำเป็นและถ้ามุ่งที่ปลายเหตุ คือ หาวิธีกำจัดพลาสติกใช้แล้วเหล่านั้นเสียหรือหาวิธีผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เอง

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหา คือ การสังเคราะห์พอลิเมอร์ชีวภาพ ที่สามารถย่อยสลายได้เองในสถานะของสิ่งแวดล้อมที่เป็นธรรมชาติ หรือกระบวนการที่เกิดขึ้นทางชีวภาพในระยะเวลาอันสั้นและไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยการเติมสารที่สามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ได้ เช่น แป้ง เนื่องจากแป้ง มีส่วนสำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งเป็นกลไกการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เมื่อนำมาผสมลงในพลาสติกในปริมาณที่เหมาะสมจะยังคงทำให้พลาสติกมีความเหนียวและความแข็งแรงต่อการใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นแล้ว ถ้าผ่านกระบวนการออกซิเดชัน โดยใช้แสงตามด้วยการย่อยสลายของจุลินทรีย์จะทำให้พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำพลาสติกฝังลงดินจะทำให้เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น เนื่องจากในดินมีทั้งความชื้น แร่ธาตุและจุลินทรีย์หลายๆ ชนิด [1]

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) [2] เป็นวัสดุที่สามารถเตรียมได้จากแป้งผสมกับพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งสามารถไหลและขึ้นรูปได้เมื่อผ่านความร้อน ความดัน และแรงเฉือนที่สูง เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจัดเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ปัจจุบันได้มี

งานวิจัยและพัฒนาพอลิเมอร์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ได้มีผู้วิจัยอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยสามารถใช้แป้งได้หลายชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) แป้งข้าวโพด (Corn starch) แป้งข้าวเจ้า (Rice starch) แป้งสาลี (Wheat starch) เป็นต้น โดยพอลิเมอร์ที่ได้จะมีสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่นำมาสังเคราะห์

ข้าวเหนียว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* var. *glutinosa* ลักษณะของต้นข้าวเหนียว คือ ต้นสูงประมาณ 160 เซนติเมตร ทรงกอแผ่ ปล้องสีเหลืองอ่อน ใบสีเขียวจาง มีขนเล็กน้อย ปลุกมากทางภาคอีสานของประเทศไทย และประเทศลาว ข้าวเหนียวเป็นที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวางในประเทศ และเป็นอาหารหลักของประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ นอกจากการบริโภคโดยตรงแล้วยังมีการนำข้าวเหนียวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสุราพื้นเมือง ผลิตแป้งข้าวเหนียว เพื่ออุตสาหกรรมอาหารและขนมขบเคี้ยว [3]

เนื่องจากในข้าวเหนียว มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก และง่ายต่อการย่อยสลายในธรรมชาติ ดังนั้นในการใช้ จึงปลอดภัยกับมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อมและยังสามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ค่อนข้างหลากหลาย

นอกจากนี้แล้ว ฝ้าย (Cotton) ยังเป็นเส้นใยธรรมชาติ ที่หาได้ง่าย ราคาถูกน้ำหนักเบาและง่ายต่อการย่อยสลายในธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้ว เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติเหมาะสมในการเสริมแรง เนื่องจากมีความแข็งแรงสูงและมีความหนาแน่นต่ำ [4]

นุ่น (Kapok) เป็นเส้นใยธรรมชาติ มีน้ำหนักเบา อ่อนนุ่ม มีรูปยาวรี รูปทรงกระบอกกลวงผนังบาง เรียบและเปราะ เส้นใยไม่มีลักษณะหยิกหรือหยักที่จะช่วยให้กลุ่มเส้นใยจับตัวกันได้ดี เมื่อบั่นเป็นเส้นด้ายมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 14 เท่าของน้ำ มีความยาวของเส้นประมาณ 8-30 มิลลิเมตร ใช้ในอุตสาหกรรมทำเบาะ ที่นอน วัสดุกันกระแทก เป็นฉนวนกันความร้อน นุ่นไม่ดูดซับน้ำแต่ดูดซับน้ำมัน จึงใช้เป็นส่วนประกอบของชนวนระเบิดใช้บุผนังเรือบรรทุกน้ำมัน ถังน้ำมัน เครื่องบิน เสื้อชูชีพ [5]

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น รายงานที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเหนียว (Waxy rice starch) ยังมีไม่มากนัก และลักษณะทางกายภาพของแป้งมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ สีขาวเป็นเงา เวลาใช้ต้องบดให้ละเอียดเป็นผง เมื่อทำให้สุกจะขึ้นเหนียวเหนียวและใส เมื่อทำให้เย็นจะเหนียว ดังนั้น จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ทำบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ได้ จากงานวิจัยของนิสานาด หลิมศิริวงษ์ และคณะ [6] พบว่า เส้นใยฝ้ายสามารถปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเหนียวที่ขึ้นรูปโดยการกดอัดได้ แต่สมบัติเชิงกลที่ได้ยังต่ำกว่า

และมีการดูดซับน้ำที่สูงกว่าเทอร์โมพลาสติกที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปและการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) ที่เตรียมได้จากแป้งข้าวเหนียว (Waxy rice starch) โดยมีกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซอร์ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density polyethylene, LDPE) โดยใช้สารช่วยผสมชนิดมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE) และใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) แต่พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้นั้นมีสมบัติที่ไม่ดี จึงต้องนำมาทำการปรับปรุงสมบัติ โดยการผสมกับเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ คือ เส้นใยฝ้าย และเส้นใยงุ่น จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน การดูดซับน้ำ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและสมบัติการย่อยสลาย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเหนียว (Thermoplastic waxy rice starch) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

1.2.2 เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเหนียวที่ปรับปรุงโดยใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยงุ่น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเหนียวและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

1.3.2 ศึกษาสภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม โดยการฉีดขึ้นรูป

1.3.3 ศึกษาหาปริมาณของเส้นใยฝ้าย และเส้นใยงุ่นที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมโดยรวมดีที่สุด

1.3.4 ทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน การดูดซับน้ำ

เอกสารนี้เป็น การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและสมบัติการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ที่เตรียมได้ ซึ่งด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติโดยเส้นใยฝ้ายหรือเส้นใยนุ่นให้มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ที่ใช้งานกันทั่วไป
- 1.4.2 ช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบันและอนาคตที่เกิดจากการย่อยสลายได้ยากของพอลิเมอร์ที่มีการใช้งานในปัจจุบันได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ [7]

พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastic) หมายถึง พลาสติกที่มีการเปลี่ยน โครงสร้างเคมี เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมเนื่องจากมีสมบัติที่เปลี่ยนไป

American Society for Testing and Material (ASTM) ได้ให้ความหมายของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ว่า พลาสติกที่มีโครงสร้างเคมี เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเหมาะสม เนื่องจากมีการสูญเสียคุณสมบัติ

2.1.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation plastic)

การย่อยสลายโดยแสง มักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่อแสงลงใน พลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้ รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัส กับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำ ปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาด ของสายโซ่แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะกองคอมโพสท์หรือสภาวะ แวดล้อมอื่นที่มีแดดหรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนาจนกบป็นพื้นผิว เนื่องจาก พลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2.1.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation plastic)

โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติก ทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็น วิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ

2.1.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation plastic)

การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติกเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงใน โมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความ ร้อน แสงยูวีหรือแรงทางกล เป็นปัจจัยสำคัญเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์

(Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน ทำให้พอลิโอเลฟิน เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานซิชันซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.1.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation plastic)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไธครายด์ พอลิคาร์บอเนตและพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาเกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เอง ในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และGlycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอสคาไลต์ (Alkaline metal) เบส(Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมีสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล(Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

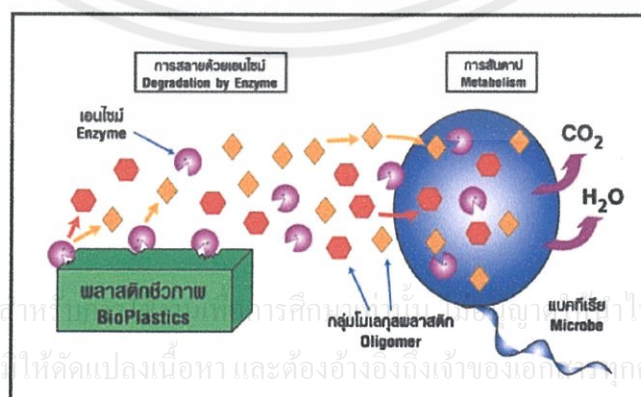
ไม่ว่ากรณีใด **2.1.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอนเนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการ

ย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบและแบบ Exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ กลีโกล แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (มวลชีวภาพ หมายถึง มวลรวมของสสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในการดำรงชีวิตและเติบโตของสิ่งมีชีวิต พืช และสัตว์)

2.2 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) [8]

พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นกระบวนการย่อยสลายที่เกิดจากกระบวนการของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา ยีสต์ เป็นต้น ดังนั้นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ จึงนำไปสู่การหมุนเวียนคาร์บอนและหากมีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ จะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพ โดยกระบวนการย่อยสลาย เริ่มจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์และปัจจัยภายนอกที่ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพแตกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย เรียกว่า “Biodeterioration” หลังจากนั้น จุลินทรีย์จะปลดปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ เพื่อย่อยสลายสายโซ่พอลิเมอร์ของพลาสติกชีวภาพ เรียกว่า “Depolymerization” กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งโมเลกุลที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายเหล่านี้จะถูกซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์และส่งเข้ากระบวนการสันดาปเพื่อนำไปใช้ในการสร้างพลังงานและมวลชีวภาพ เรียกว่า “Assimilation”



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ [8]

การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ [9]

1. การใช้งานทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวนั่งเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยด้วยยาอย่างช้าๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรู และแผ่นดามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

2. สารเคลือบกระดาษ หรือ โฟม

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับห่อแอมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง

3. फिल्मคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืชและรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังจากเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า

4. ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping bag)

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไป เพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส

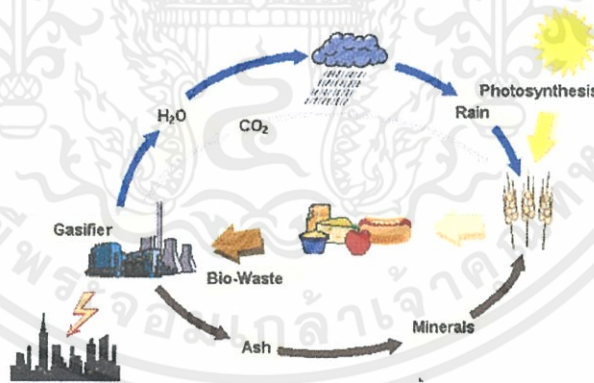
5. โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill)

โฟม เม็ดกันกระแทก (loose fill) โดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่น สามารถป้องกันสินค้า จากแรงกระแทก ระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบา ทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้ง่าย สะดวกและประหยัดเชื้อเพลิง แต่ปัญหาคือ พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก

แม้ว่าจะนำมา รีไซเคิลใช้ใหม่ได้ แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิต โฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้นทำ ให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

2.2.1 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [10]

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะมีสมบัติต่างๆ ในการใช้งาน เช่นเดียวกับพลาสติก โดยทั่วไป แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่เมื่อทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ไปเป็นขยะซึ่ง จะอยู่ในสถานะที่เหมาะสม คือ มีแบคทีเรียและเอนไซม์ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ก็จะเกิด การย่อยสลายได้หรือถูกหมักเป็นปุ๋ยในสถานะที่เหมาะสม การพัฒนาของระบบในธรรมชาตินั้นเริ่ม จากมวลชีวภาพหลายพันล้านตันถูกผลิตขึ้น โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งมวล ชีวภาพนี้จะถูกย่อยสลายได้กลับสู่ธรรมชาติกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ รวมทั้งชีวภาพ และแร่ธาตุ การเกิดขึ้นในวัฏจักรนี้ผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ซึ่งวัฏจักร ของธรรมชาตินี้มีเกิดขึ้นและย่อยสลายได้ครบวงจร โดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดขยะ ซึ่ง ทำให้เกิดปัญหาด้านมลพิษและไม่เสียดำค่าใช้จ่ายสูง หลังจากผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทาง ชีวภาพถูกนำไปกำจัดโดยตรงย่อยเป็นปุ๋ยเพื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ ซึ่ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมานั้น จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของ พืชเป็นวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.2 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [10]

2.2.2 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง [11]

พลาสติกย่อยสลายได้มีการพัฒนาเป็นเวลานานแล้ว โดยเริ่มตั้งแต่การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติรากถั่ว คือ แป้งผสมในการฉีดยา และการพัฒนาจากนักวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่อง จนขณะนี้ นอกจากการนำแป้งมาใช้เพื่อการพัฒนาพลาสติกแล้ว ยังมีการนำแป้งไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีกด้วย ไม่ว่าจะเป็นการนำแป้งไปใช้ทำอาหาร หรือใช้ทำขนมปัง และแป้งยังถูกนำมาใช้ทำกระดาษอีกด้วย อย่างไรก็ตาม แป้งยังถือเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งสามารถแบ่งเทคโนโลยีการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ออกเป็นกลุ่ม ดังนี้

2.2.2.1 การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก

กลุ่มนี้จะใช้แป้งทั้งหมดหรือมากกว่า 90% ผลิตภัณฑ์ที่รู้จักจะอยู่ในรูปที่เรียกว่า Gelatinized starch puff หรือ Plate expanded by extrusion หรือ Baking white water หมายถึง การให้แป้งเกิดการพองตัวขึ้นเนื่องจากแรงดันของน้ำภายในตัวแป้งเมื่อถูกความร้อนสูงจะกลายเป็นไอ ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นการทดแทนโฟมที่ทำจาก Polystyrene เรียกว่า โฟมแป้งใช้ในการรองรับภาชนะกันกระแทกในกล่องโฟม

2.2.2.2. แป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ [12]

พลาสติกที่ผลิตได้จากกลุ่มนี้จะประกอบด้วย ส่วนประกอบ 2 ส่วนที่ต่างกัน คือ ส่วนที่เป็นแป้งสามารถย่อยสลายได้และส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมี แป้งที่ใช้ในกระบวนการนี้สามารถใช้ได้ 2 รูป คือ เม็ดแป้งและแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์ อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ได้จากวิธีนี้ จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ 100 % โดยจุลินทรีย์จะย่อยแป้งที่กระจายอยู่ทั่วพลาสติกเกิดรูปพรุน ส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมีจะถูกทำลายต่อไปด้วยแรงกลหรือปฏิกิริยาเคมี

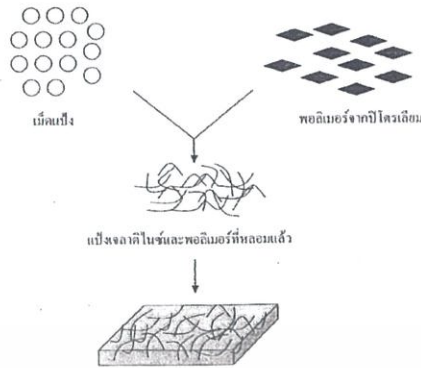
1. เม็ดแป้ง

แป้งผสมพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมี นำไปขึ้นรูปโดยไม่ต้องทำให้เม็ดแป้งแตกออก ปริมาณแป้งที่ใช้ในวิธีนี้ถูกจำกัดไม่ให้เกิน 10% และต้องมีความชื้นน้อยกว่า 1% เพื่อป้องกันการเกิดไอน้ำระหว่างกระบวนการอัดรีด อาจจะมีการใส่สารเติมแต่งอื่น เช่น น้ำมันข้าวโพดที่เป็น Auto-Oxidant เข้าไปในกระบวนการผลิต เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับเกลือโลหะในดินหรือสิ่งแวดล้อม เกิดเป็นอนุมูลอิสระชนิดเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะไปย่อยพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมีให้เป็นโอลิโกเมอร์ที่เสถียรเพื่อให้ง่ายต่อการย่อยสลายต่อไป

2. แป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์

วิธีนี้เม็ดแป้งจะแตกตัวทั้งหมดผสมรวมกับอนุพันธ์ของปิโตรเคมีที่หลอมละลาย กระบวนการผลิตแสดงดังรูป 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้เป็ิงในรูปแบบเจลลิตีในชั้น [13]

2.2.3 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย [13]

2.2.3.1 การวิเคราะห์สมมูลของคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (Soluble) ในรูปจุลินทรีย์ (Microbial) และในสถานะก๊าซ ซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ถูกย่อยสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสถานะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ในการคำนวณหาหน้าหนักแห้ง สมมูลของคาร์บอนที่ถูกย่อยสลายสามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_d = C_g + C_s + C_m$$

เมื่อ C_g คือ คาร์บอนในสถานะก๊าซ

C_s คือ คาร์บอนที่ละลายได้

C_m คือ คาร์บอนในรูปจุลินทรีย์

ดังนั้นร้อยละการย่อยสลายได้ของพอลิเมอร์ (%f) สามารถคำนวณได้จาก

$$\%f = \frac{C_d}{C_i} \times 100$$

เมื่อ C_i คือ คาร์บอนเริ่มต้นในพอลิเมอร์ก่อนการย่อยสลาย

2.2.3.2 การวิเคราะห์หน้าหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียมวลหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ (Mineralization) ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงหน้าหนักของพอลิเมอร์ที่หายไปจะทำให้เราทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้น ๆ โดยพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิเอทิลีนกับเป็ิงในปริมาณสูงจะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่า

พอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแป้งในปริมาณที่ต่ำ แต่เนื่องจากพอลิเอทิลีนมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงสามารถที่จะถูกย่อยในสถานะที่มีออกซิเจนได้

2.2.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์

1. การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง ฟังคินเป็นเวลา 6 เดือน ก่อนจะล้างและนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์ เมื่อนำมาล้างแล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบรูเล็กในพอลิเมอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งที่อยู่ในพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

2. การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังขยายที่สูงมาก ภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นสามมิติซึ่งจะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้งที่นำไปฝังไว้ในดินมีสีที่เปลี่ยนไปและมีขนาดเล็กลง เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนที่เป็นแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าพอลิเมอร์มีจุดดำและเป็นทางสีขาว ซึ่งแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลายเหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีน นอกจากนี้การใช้ SEM ที่มีกำลังขยายสูง ยังสามารถแสดงถึงการสร้างโคโลนีของจุลินทรีย์บนพอลิเมอร์ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ฝังไว้ในดินไว้ 6 เดือน นำมาตรวจปริมาณไนโตรเจน พบว่าไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 0.06 % เป็น 0.16% มาจากกรดอะมิโนของจุลินทรีย์ที่ตายอยู่บนพอลิเมอร์ นั่นคือจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและสร้างโคโลนีบนพอลิเมอร์และย่อยสลายส่วนที่เป็นแป้งบนพอลิเมอร์ โดยจะย่อยสลายพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยหรือไม่ย่อยสลายเลย

2.2.3.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด

สเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด (Infrared Spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกริยาส่วนแสงอินฟราเรดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์จะทำให้เกิดการดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าวที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมภายในโมเลกุล ความหนาแน่นของการดูดซับและความยาวคลื่น จะทำให้เกิดแถบสเปกตรัมซึ่งมีลักษณะของแถบที่เฉพาะตัว ไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ทางเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรดใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่หายไประหว่างการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้ขณะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายแป้งจะเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ ที่รูเหล่านี้จะมี CO₂ เกิดขึ้น ซึ่งสามารถวัดจากสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด

2.2.3.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน

การวิเคราะห์ด้วยความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึกโดย Differential Thermal Analysis (DTA) หรือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียโดยใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA) การศึกษาโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะอสัณฐาน (Amorphous) ของพอลิเมอร์จะลดลง โดยส่วนที่อสัณฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนผลึก การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้ศึกษาการย่อยสลายแป้งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งก่อนและหลังการย่อยสลาย

2.2.3.6 การทดสอบโดยการฝังดิน

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 30 x 120 มิลลิเมตรหลายๆ ตัวอย่าง ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างออกมา การทดลองใช้เวลาประมาณ 2 เดือน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน ทำการเปรียบเทียบเศษวัสดุที่เหลือเมื่อเวลาต่างๆ

2.3 แป้ง (Starch) [12]

แป้งเป็น Homopolysaccharide ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืชและเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชเก็บสะสมแป้งไว้ตามส่วนต่างๆ เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้น และผล โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดแป้ง (Starch granule) แป้งส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดของธัญพืช เช่น ข้าวเจ้าข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่างและบางส่วนได้มาจากหัวและรากของพืช เช่น มันเทศ มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง แป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีโครงสร้างทางเคมีในโมเลกุลแตกต่างกันและเม็ดแป้งจะมีขนาดรูปร่างและสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น “แป้ง” ในการผลิตนั้นหมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิต

โดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก เรียกว่า ฟลาว (Flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูงจะจัดอยู่ในรูปประเภทฟลาว เรียกว่า Corn flour, Wheat flour เช่นเดียวกับ แป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 7% ถึง 8% เรียกว่า Rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปน ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์ เป็นส่วนใหญ่ จึงเรียกว่า สตาร์ช (Starch) เช่น Corn starch, Wheat starch เป็นต้น ซึ่งแป้งที่พบในธรรมชาตินั้นจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาด 1-100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้นๆ

1. Starch ผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และจากพืชหัวชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งต้องเป็นแบบเปียก (Wet grinding) จะทำให้แยก Starch ออกมาได้
2. Flour ผลิตได้จากการโม่แบบแห้งและยังคงเหลือองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วย จึงทำให้มีสมบัติต่างไปจาก Starch

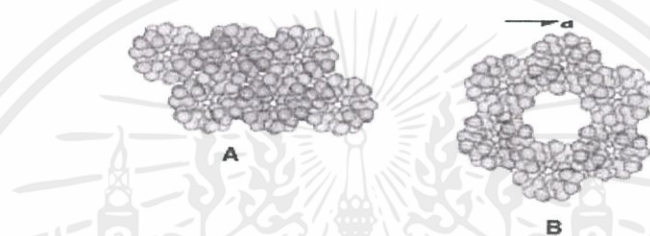
2.3.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งประกอบด้วยวงแหวน เรียกว่า Growth ring ซึ่งสังเกตได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์หรือ Scanning electron microscopy เม็ดแป้งที่เปียกและสดจะสังเกตเห็น Growth ring ได้ง่าย เม็ดแป้งขนาดใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งต้นพุทธรักษาที่ผ่านการแช่น้ำ จะสังเกตเห็น Growth ring ได้ชัดเจน ในแป้งที่แห้งจะไม่พบ Growth ring สำหรับเม็ดแป้งขนาดเล็ก เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์และแป้งข้าวเจ้า จะสังเกตได้ยากจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อนำแป้งผ่านปฏิกิริยาเคมีหรือย่อยด้วยเอนไซม์และศึกษาด้วย SEM โครงสร้างของ Growth ring แสดงถึงลักษณะการเจริญของเม็ดแป้งโดยเนื้อเยื่อชั้นแรกเจริญมาจากศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (Hilum) ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วยส่วน Reducing end ของโมเลกุลแป้ง มีด้าน Non-reducing end ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแผ่กระจายออกไป จุดเชื่อมกิ่ง (Branch point) ของอะไมโลเพคตินอยู่ในส่วนออสซิลูมและสาขอยู่ในส่วนผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ถ้าส่องด้วยกล้องโพลาไรซ์ (Polarized microscope) จะมองเห็นวงแหวนและไฮลัมเป็นก้าน
ไม่ว่ากรณีใด เครื่องหมายกากบาทสีดำชัดเจน (Birefringence หรือ Polarization cross) โดยจุดตัดของกากบาทจะ

เป็นตำแหน่งของไฮลัมและบริเวณอื่นจะเห็นเป็นแสงสว่างวาว ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันถึงลักษณะที่โมเลกุลของแป้งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ

เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ดังรูปที่ 2.4 ถ้ามีการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้วมีรูปแบบผลึกเป็นแบบ V



รูปที่ 2.4 โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง ชนิด A และ B ของอะไมโลส [12]

2.3.2 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้ง เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็น Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี Anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง Reducing end 1 ตำแหน่ง ซึ่งแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (Amylose) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (Amylopectin) วางตัวในแนวรัศมี amylase ประกอบด้วยกลูโคส 250-300 โมเลกุล ซึ่งต่อกันเป็นโซ่ยาว แบบไม่มีกิ่ง แต่โซ่จะมีลักษณะขดเป็นเกลียว (Helix) อะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามากมาย นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสแต่เล็ก

กว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า “Intermediate material” แต่พบในปริมาณไม่มากนัก อะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีสมบัติที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

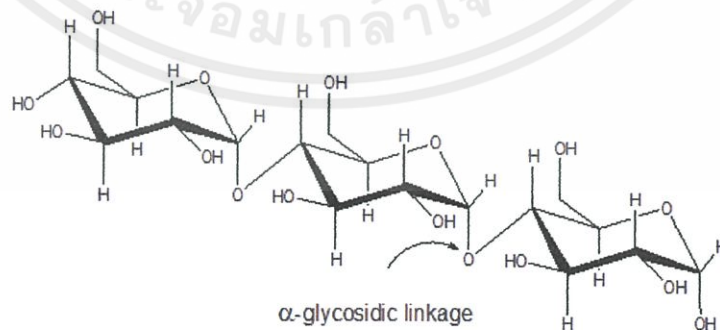
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน [12]

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α -1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะ α -1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

1. อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 –glycosidic linkage และส่วนน้อยเป็น α -1,6- glycosidic bonds อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะไมโลส [14]

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 22-30% ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาธูจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าคือ อยู่ในช่วง 18-24% น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 คาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี Degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี ซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลสยาวมาก จะมีแนวโน้มในการเกิดปรากฏการณ์รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลง ปริมาณและสมบัติของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ [12]

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง)
ข้าวสาลี	28.8
ข้าวโพด	29.4
ข้าวเจ้า	25.0
ข้าวบาร์เลย์	25.5
มันฝรั่ง	36.0
มันสำปะหลัง	23.5
พุทธรักษา	43.2
ถั่วเขียว	37.9

ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพคติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก

(Crystalline) ไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อเติมน้ำลงไป อะไมโลสจะเกาะตัวกันเป็นตะกอนที่ไม่ละลายและ

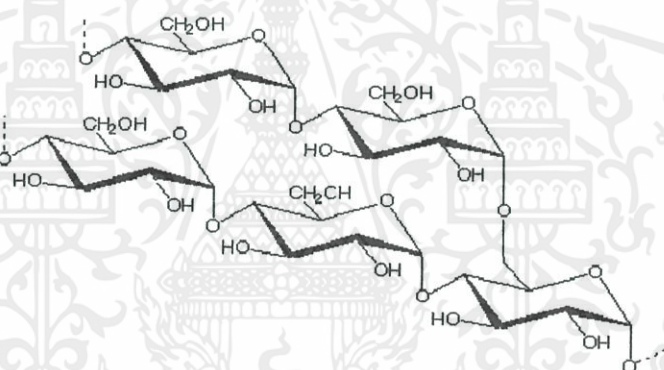
เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสเป็นสายยาว จึงมีโอกาที่จะจับคู่กับอะไมโลสอีกโมเลกุลหนึ่งเป็น

สายยาวคู่ขนานเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนกลายเป็นตาข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ความสามารถ

ในการอุ้มน้ำลดลงและตกตะกอนได้ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า Retrogradation แต่ Waxy rice starch ซึ่งไม่มีอะไมโลสเลยหรือมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบน้อยมากจะไม่เกิด Retrogradation การศึกษาการเกิดเจลาตินในซ์ของแป้งมันฝรั่ง พบอะไมโลสในส่วนรอบนอกของเม็ดแป้งมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนใจกลางเม็ดแป้ง

2. อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสมีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีสายแขนงแยกออกมา ซึ่งแต่ละแขนงจะมีน้ำตาลกลูโคสประมาณ 20-35 หน่วย ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [14]

โดยปกติอะไมโลเพคตินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าอะไมโลสมาก อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน อะไมโลเพคตินมีพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่าอะไมโลส และมีความคงตัวมากกว่า ยังคงสภาพเหลวมีความหนืดยืดหยุ่นสำหรับอะไมโลเพคตินของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลังและมันฝรั่ง สายส่วนใหญ่ประมาณ 80-90 % ประกอบด้วย กลุ่มเดี่ยวๆ และสายที่เหลืออีก 10-20% จะเป็นส่วนเชื่อมต่อของแต่ละกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยสายประมาณ 22-25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกของเม็ดแป้งในการจับกันเป็นกลุ่มของอะไมโลเพคติน ทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (Double helix) การเกิดเกลียวคู่ของอะไมโลเพคตินต้องใช้พันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ในการเชื่อมต่อกัน ไม่ว่าจะมิได้ทางอื่น อีกทงห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ กิ่งอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้งสามารถเกิดเป็นผลึกได้ ทั้งกิ่งที่อยู่ใกล้กันในกลุ่มเดียวกันหรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคติน มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลสคือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 คาลตัน และมีการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

3. สารตัวกลาง (Intermediate material)

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะไมโลเพคติน แต่ใหญ่กว่าอะไมโลสและสารตัวกลางนี้มีโครงสร้างเป็นลักษณะเชิงกิ่งเช่นเดียวกับอะไมโลเพคติน แต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า ปริมาณหรือสัดส่วนของอะไมโลสกับอะไมโลเพคตินและสารตัวกลางในเมล็ดแป้งไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูกและปริมาณน้ำระหว่างเพาะปลูก เป็นต้น

4. ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเมล็ดแป้ง

ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเมล็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1. ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particular material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายและผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง
2. ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเมล็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายแป้ง
3. ส่วนที่ติดอยู่ภายในเมล็ดแป้ง (Internal component) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเมล็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากรั้วพืชและสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง

2.3.3 สมบัติของแป้ง [12]

2.3.3.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงไปแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมล็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศจนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเมล็ดแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10-16% น้ำที่อยู่ในเมล็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูป Bound water และน้ำในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่น ตามลำดับ น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่และผ่านเข้าไปในร่างแหของไมเซลล์ (Micelles) ในเมล็ดแป้งได้อย่างอิสระ เมล็ดแป้งประกอบด้วย

รูพรุนจำนวนมากซึ่งจะทำหน้าที่เป็น Molecular sieve รูพรุนเหล่านี้อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำให้แห้ง ในกระบวนการผลิตแป้งหรืออาจจะมียู่อะลูมิเนียมในแป้งธรรมชาติ แต่มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นเนื่องจากขั้นตอนการทำให้แห้งในกระบวนการผลิตแป้ง

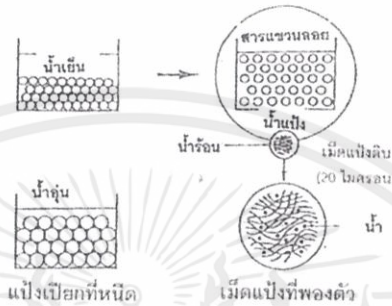
แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิเจลาทีไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆกันหรือ Water bridges แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวทำให้การละลายความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการเกิด Birefringence จะหมด รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวและบางส่วนของแป้งจะเกิดการละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ

2.3.3.2 การเกิดเจลาทีไนเซชัน (Gelatinization)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแหไมเซลล์ ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้ จะทำให้เม็ดแป้งละลายน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้น ในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายเม็ดแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ทำให้เกิดความหนืดปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า “เจลาทีไนเซชัน” (Gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายที่เกิดความหนืด เรียกว่า “อุณหภูมิเริ่มเจลาทีไนซ์”

การเกิดเจลาทีไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยึดหยุ่นได้อย่างจำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ Birefringence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมี หรือเพิ่มอุณหภูมิจากสารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า “การเกิด

เจลาตินในเซชัน” เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้าง Birefringence ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล

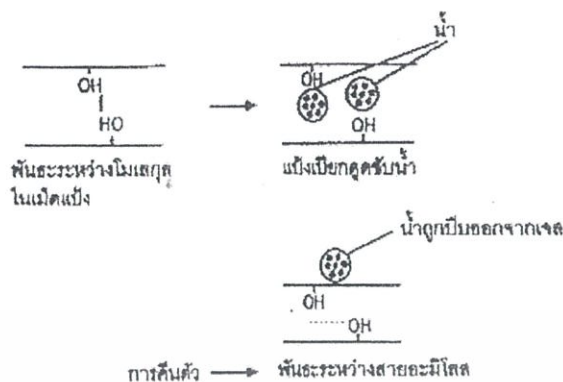


รูปที่ 2.7 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization) ของเม็ดแป้ง [13]

2.3.3.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น จะถึงจุดที่พองตัวเต็มที่แล้วแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออก มาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแห 3 มิติ โครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการคูดน้ำเข้ามาอีกมีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “รีโทรเกรเดชัน” (Retrogradation) หรือการคืนตัวหรือ Setback เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงอีกลักษณะการจัดเรียงของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดมากขึ้น

ปริมาณและขนาดของอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวมากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ นั่นคือ อะไมโลสจะส่งผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพด ข้าวเหนียวจะมีอัตราการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีอะไมโลส สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากในแป้งธัญพืชมีปริมาณอะไมโลสสูง (ประมาณ 28%)



รูปที่ 2.8 การเกิดรีโทรเกรเดชัน [14]

2.3.4 แป้งข้าวเหนียว [15]

ข้าวเป็นพืชล้มลุกใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์สกุขข้าวออไรซา (*Oryza*) เป็นพืชชนิดเดียวที่เติบโตได้ทั้งในบริเวณที่ไม่มีน้ำขัง จนถึงบริเวณที่มีน้ำขังสูงถึง 4 เมตร และทนทานต่อสภาพภูมิประเทศในโลก ปัจจุบันมีข้าวอย่างน้อย 23 ชนิด มีพันธุ์ข้าวปลูกมากกว่า 120,000 สายพันธุ์ทั่วโลก ซึ่งแบ่งเป็นข้าวปลูกและข้าวป่า ซึ่งในประเทศไทยเราพบข้าวป่า 5 ชนิด ที่มีบรรพบุรุษของข้าวปลูกเอเชียรวมอยู่ด้วย

ข้าวเหนียว (*Glutinous rice*) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa var. glutinosa* ข้าวเหนียวเป็นที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวางในประเทศ และเป็นอาหารหลักของประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ นอกจากการบริโภคโดยตรงแล้วยังมีการนำข้าวเหนียวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสุราพื้นเมือง การผลิตแป้งข้าวเหนียวเพื่ออุตสาหกรรมอาหารและขนมขบเคี้ยว ข้าวเหนียวมี 2 สี คือ สีขาวและสีดำ (คนเหนือเรียกว่า "ข้าวดำ") แต่ข้าวเหนียวดำจะมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากกว่าข้าวเหนียวสีขาว สารอาหารที่ว่า คือ "โอพีซี" (OPC) มีสรรพคุณช่วยชะลอการแก่ก่อนวัยและความเสื่อมถอยของร่างกาย โดยสารโอพีซี ที่พบในข้าวเหนียวดำเป็นสารชนิดเดียวกับสารสกัดที่ได้ จากองุ่นดำองุ่นแดง เปลือกสน

แป้งข้าวเหนียว (*Waxy rice starch*) มีปริมาณของอะไมโลเพคตินประมาณ 95% ซึ่งมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบน้อยมาก ทำให้แป้งข้าวเหนียวเป็นแป้งที่ไม่เกิด Retrogradation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มผลิตภัณฑ์แป้งข้าวมี่ 3 กลุ่มด้วยกันคือ

1. แป้งข้าว (Rice flour)

กระบวนการผลิตแป้งข้าวโดยมีวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิต คือ ข้าวหักหรือปลายข้าว กรรมวิธีการผลิตมี 3 วิธี คือ วิธีโม่แห้ง (Dry milling) วิธีโม่ น้ำหรือ โม่เปียก (Wet milling) และวิธีผสม (Wet and dry milling)

แป้งที่ได้จากการ โม่แห้งมีคุณภาพต่ำเพราะผงแป้งค่อนข้างหยาบและมีสิ่งเจือปนสูงอายุการเก็บรักษาสั้นเพราะเกิดกลิ่นหืนและถูกทำลายจากแมลงได้ง่าย สำหรับวิธีการ โม่ น้ำหรือ โม่เปียก เป็นวิธีการผลิตแป้งที่แพร่หลาย ในปัจจุบันแป้งมีคุณภาพดี มีความละเอียดและสิ่งเจือปนน้อย พันธุ์ข้าวไทยดั้งเดิม ส่วนใหญ่มีอะไมโลสสูง ดังนั้นแป้งที่ผลิตจึงเป็นแป้งข้าวมี่อะไมโลสสูง การผลิตแป้งข้าววิธีผสมแป้งชนิดนี้เป็นแป้งคุณภาพสูงและสุกแล้ว

2. แป้งบริสุทธิ์ (Starch)

เป็นแป้งที่ผ่านการแยกส่วนของโปรตีนออกจนมีความบริสุทธิ์ของแป้งสูงมาก การแยกโปรตีนมักใช้แยกด้วยสารละลายของด่าง โซดาไฟหรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์หลาย ๆ ครั้งและล้างล้างออกด้วยน้ำ หลังจากนั้นจึงแยกน้ำออกและอบแห้ง

3. แป้งดัดแปร (Modified starch)

กรรมวิธีการในการผลิตแป้งดัดแปรประเภท Pregelatinized starch ของข้าวเพื่อให้รูปทรงของเมล็ดแป้งมีรูปร่างกลมทำให้แป้งมีคุณสมบัติการไหลดี แป้งประเภทนี้สามารถใช้ในทางเภสัชกรรม เช่น เป็นส่วนประกอบในการผลิตยาเม็ดหรือมีการดัดแปรโดยใช้สารเคมี เช่น Starch phosphate และ Starch acetate สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ทำให้อาหารข้นขึ้น (Food thickening) หรือใช้เป็น Emulsifier

2.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) [11]

แป้งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีกลูโคสเป็นมอนอเมอร์ซึ่งในปัจจุบันได้มีการศึกษาและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากแป้งหลากหลายชนิด เนื่องจากแป้งเป็นวัตถุดิบที่สามารถหาทดแทนได้ง่ายมีอยู่มากในธรรมชาติและมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดพลาสติก ทั้งนี้ในระยะเริ่มต้นมีการใช้แป้งเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Filler) ใน Polyolefins ต่อมาได้มีการปรับปรุงโครงสร้างของแป้งให้สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการอัดรีดกลายเป็นแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับ Low density polyethylene

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) หมายถึง วัสดุที่สามารถหลอมตัวและนำไปขึ้นรูปเป็นแบบต่างๆ ได้ โดยการใช้ความร้อนและความดัน จากสมบัติของแป้งที่กล่าวข้างต้นจะเห็นว่าโดยธรรมชาติแล้ว แป้งไม่มีคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกเลย ซึ่งเราสามารถทำให้แป้งมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกได้ โดยการใช้สารเติมแต่ง (Additive) คือ พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ช่วยทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินเป็นอิสระมากขึ้น ดังนั้นเราจึงนำแป้งมาขึ้นรูปเป็นแผ่น หรือขึ้นรูปเป็นรูปแบบต่างๆ ได้ พลาสติกที่ผลิตได้โดยวิธีนี้จึงเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS)

ในธรรมชาติโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินมีการจัดเรียงตัวกัน โดยมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างผลึกที่ค่อนข้างแข็งแรงอยู่ในรูปของเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งมีอุณหภูมิการหลอมตัวที่สูงมาก โดยปกติอุณหภูมิการหลอมตัวของเม็ดแป้งสูงกว่าอุณหภูมิการสลายตัวทำให้แป้งไม่สามารถหลอมตัวได้ นั่นคือ ถ้าได้รับความร้อนสูง (มากกว่า 265°C) แป้งจะเกิดการเผาไหม้ก่อนการหลอมตัวโดยทั่วไปเราไม่สามารถนำแป้งมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ตามวิธีการขึ้นรูป Thermoplastic ทั่วๆ ไป เพราะแป้งจะไม่เกิดการไหลขึ้นเมื่อเราให้ความร้อน ในกระบวนการขึ้นรูป ดังนั้นการจะนำแป้งมาทำเป็น Thermoplastic starch จำเป็นที่จะต้องเติม Plasticizer เช่น Glycerol, Ethanolamine, ฟอรัมาไมด์ , ยูเรียและซอร์บิทอลลงไป ซึ่งภายใต้อุณหภูมิสูงประมาณ 90-180 องศาเซลเซียส และได้รับแรงเฉือนอย่างเพียงพอจะทำให้แป้งสามารถหลอมและไหลได้สามารถนำมาขึ้นรูปขึ้นงานด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้ เช่น Single screw extrusion , Twin screw extrusion , Injection molding

ในการเติมพลาสติไซเซอร์ลงไปในเตรียม Thermoplastic starch นั้น พลาสติไซเซอร์จะไปช่วยให้ Glass transition temperature (T_g) ลดต่ำลง ช่วยไม่ให้เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนและแรงเฉือน นอกจากนี้พลาสติไซเซอร์ยังช่วยปรับคุณสมบัติของ Thermoplastic starch ที่เตรียมได้อีกด้วย คือ ช่วยลดการเกิด Re-crystallization ลง และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลให้สามารถใช้งานได้จริงอีกด้วย โดยพลาสติไซเซอร์จะเข้าไปเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแป้งโดยจะไปเกิดกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของแป้ง ซึ่งจะช่วยให้แป้งสามารถทำเป็นพลาสติกได้ ซึ่งพลาสติไซเซอร์ที่นิยมใช้กันมาก คือ พวก Polyol plasticizer เช่นกลีเซอรอล เป็นต้น ปัญหาที่พบโดยทั่วไปของ Thermoplastic starch ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ คือ มันมีโอกาสในการเกิด Re-crystallization หลังจากการเก็บรักษาไว้ หรือขณะใช้งานเป็นผลทำให้ Thermoplastic starch แข็งและเปราะ ดังนั้น จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาให้ได้ พลาสติไซเซอร์ที่มี

ความสมบูรณ์แบบมากที่สุด เพื่อให้ Thermoplastic starch มีความยืดหยุ่นที่ดี (Flexibility) และลดการเกิด Re-crystallization หรือ Retrogradation ขณะเก็บรักษาได้

2.5 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) [15]

พลาสติไซเซอร์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลแบบพลาสติก (Plastic flow) ซึ่งการไหลแบบพลาสติก หมายถึง การไหลของวัสดุที่ต้องอาศัยความเค้นหรือแรงน้อยที่สุดขนาดหนึ่งมากระทำต่อวัสดุนั้น ซึ่งความเค้นหรือแรงขนาดน้อยที่สุดที่ทำให้วัสดุเกิดการไหลนี้เรียกว่า Yield value

2.5.1 พลาสติไซเซชันและพลาสติไซเซอร์ (Plasticization and Plasticizer)

พลาสติไซเซชัน หมายถึง กรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติก ซึ่งอาจทำได้โดยการให้ความร้อนหรือการใส่พลาสติไซเซอร์โดยพลาสติไซเซอร์จะไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้นเป็นผลให้พอลิเมอร์อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปได้ง่ายขึ้น ซึ่งกระบวนการผสมพลาสติไซเซอร์เข้าไปในพอลิเมอร์โดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างพลาสติไซเซอร์และพอลิเมอร์เรียกว่า “พลาสติไซเซชันภายนอก” (External plasticization) และเรียกพลาสติไซเซอร์ที่ผสมลงไปว่า “พลาสติไซเซอร์ภายนอก” (External plasticizer) ซึ่งพลาสติไซเซอร์ ชนิดนี้จะช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติกโดยอำนาจการทำลาย

ข้อดีของพลาสติไซเซชันภายนอก คือ สามารถทำให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัวน้อยหรือมากตามความต้องการในการใช้งานได้โดยการปรับชนิด ปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่ใส่ลงไป แต่มีจุดด้อย คือ พลาสติไซเซอร์ที่ใส่อาจถูกสกัดออกจากพอลิเมอร์ได้

โดยทั่วไปแล้วพลาสติไซเซอร์ภายนอกเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดสูง มีความดันไอต่ำ ระเหยยาก ละลายได้ในพอลิเมอร์ และมีอุณหภูมิ T_g ประมาณหรือใกล้เคียง -50°C ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ พลาสติไซเซอร์แท้จริงหรือพลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ (True plasticizer or primary plasticizer) และพลาสติไซเซอร์เสริมหรือพลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary plasticizer) โดยพลาสติไซเซอร์แท้จริง สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิขึ้นรูปได้ดี สามารถใช้เดี่ยวๆ ได้และไม่แยกออกจากพอลิเมอร์ในขณะที่พลาสติไซเซอร์เสริมมีความสามารถในการเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ได้จำกัด จึงไม่สามารถใช้ตามลำพังได้ ต้องใช้ควบคู่กับพลาสติไซเซอร์แท้จริงและช่วยเสริมประสิทธิภาพของพลาสติไซเซอร์แท้จริง นอกจากนี้การใช้พลาสติไซเซอร์เสริมยังช่วยลดต้นทุนการผลิตและปรับปรุงสมบัติอื่นๆของพอลิเมอร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในแบบที่การวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เส้นใย (Fibers) [16]

เส้นใย หมายถึง สิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียวยาว องค์ประกอบของเซลล์ส่วนใหญ่ เป็น เซลลูโลส เกิดจากการรวมตัวของพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ของกลูโคส ซึ่งโมเลกุลของ เซลลูโลสเรียงตัวกันในผนังเซลล์ของพืชเป็นหน่วยเส้นใยขนาดเล็กมาก เกิดการเกาะจับตัวกันเป็น เส้นใยขึ้น โดยปกติจะถูกจำแนกโดยความอ่อนตัว ความละเอียด และอัตราส่วนระหว่างความยาว ต่อความหนา

เส้นใยธรรมชาติ หมายถึง เส้นใยที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เช่น เส้นใยพืช เส้นใยสัตว์ หรือเส้น ใยจาก แร่ธาตุต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็นสามประเภทใหญ่ ตามแหล่งกำเนิด เส้นใยที่ได้มาจากพืช เส้นใยที่มาจากสัตว์ เส้นใยที่ได้มาจากแร่ธาตุ

2.6.1 เส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) [16]

เส้นใยฝ้าย คือ เส้นใยที่มีลักษณะนุ่มที่เกิดขึ้นรอบๆเมล็ดจากต้นฝ้ายซึ่งเป็น ไม้พื้นเมืองชนิดต้น เดี่ยวที่มีอยู่ทั่วโลก ทั้งในประเทศอเมริกา อินเดีย และแอฟริกาเป็นส่วนใหญ่ แต่เส้นใยฝ้ายในตลาด ส่วนใหญ่ทั่วโลกเป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีชื่อว่า กอสลีเปียม ฮิสซูตัม (*Gossipium hirsutum*) และ กอสลีเปียม บาบาคเนสส์ (*Gossipium barbadense*) จากประเทศอเมริกา เส้นใยฝ้ายถูกทอเป็นหลอด และใช้เป็นด้ายที่นุ่มและมีการระบายอากาศที่ดี นิยมใช้แปรรูปเป็นเครื่องนุ่งห่มอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันเส้นใยฝ้ายสามารถผลิตได้โดยการแยกเมล็ด ขี้ผึ้งและโปรตีนออก เป็นรูปของเซลลูโลส บริสุทธิ์ (Cellulose) หรือเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural polymer) ผลิตภัณฑ์จากเส้นใยฝ้ายมี ประสิทธิภาพค่อนข้างสูง มีความแข็งแรงสูง คงทน และดูดซับได้ดี เพราะมีการเสียน้ำหนักน้อย มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างกระบวนการแปรรูปจากวัตถุดิบฝ้าย (Raw cotton balls) เป็นเส้นใย ฝ้ายโดยเส้นใยหนึ่งเส้นเกิดจากเซลลูโลส 20-30 ชั้นเรียงตัวเป็นขดซึ่งยังช่วยให้เส้นใยมีความ ยืดหยุ่นที่ดีขึ้นอีกด้วย เมื่อเมล็ดฝ้าย (Cotton balls) แดกออก เส้นใยแห้งจะถูกทำให้อยู่ในรูปแผ่น แบน เกลียว หรือมีลักษณะคล้ายริบบิ้น (Ribbon-like shapes) และจะขดเข้าด้วยกัน จากนั้นจะผูก ดัดกันไว้เพื่อความสะดวกในกระบวนการปั่น (Spinning) เป็นเส้นด้าย (Yarn) ต่อไป เส้นใยฝ้ายนั้น มีความละเอียดมาก มีความยาวเส้นใยตั้งแต่ 10-56 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเส้นใย เส้นใย ฝ้ายจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11-12 ไมครอน เป็นเส้นใยที่มีความละเอียดมากๆ มีขนาด ค่อนข้างละเอียดเสมอตลอดเส้นใย ซึ่งเส้นใยฝ้ายจะมีสีออกขาวจนถึงเทาอ่อน

2.6.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$)_n เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่เกิดจากกลูโคส จำนวนประมาณ 50,000 โมเลกุล เชื่อมต่อกันเป็นโซ่ยาว และมีลักษณะคล้ายตาข่าย มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ เซลลูโลสจึงมีโครงสร้างเป็นเส้นใย มีในไม้และลำต้นพืช ร้อยละ 50 มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ

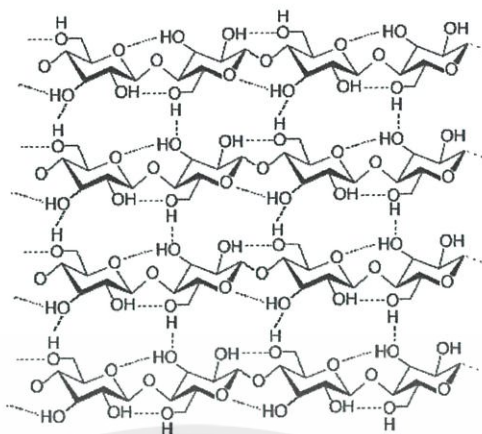
ย่อยสลายยาก กระเพาะอาหารคนเราไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ ยกเว้นในสัตว์ประเภทกินพืช เช่น วัว ควาย ม้า ซึ่งมีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้

คาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของเซลล์ (Structural carbohydrate) ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือ โมเลกุลของกลูโคส (Glucose subunits) 1,000-10,000 โมเลกุล มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) 200,000-2,000,000 หน่วยย่อยพื้นฐาน (Basic subunit) คือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะ β -(1-4) ไกลโคซิดิก โดยที่ไม่มีการแตกแขนง

เซลลูโลสใน Primary cell wall ประกอบด้วยกลูโคสยาวประมาณ 2,000 โมเลกุล และอย่างน้อย 14,000 โมเลกุลใน Secondary cell wall โดยโมเลกุลของเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ตามยาว และเรียงขนานกันเป็นกลุ่ม 40 คู่ เรียกว่า Microfibril ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช ปริมาณของเซลลูโลสอาจพบน้อยมากในส่วนที่สะสมอาหาร เช่น ในอินทผลัมมีเพียง 0.8% ขณะที่ ในส่วนของเส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) มีมากถึง 98% การสังเคราะห์เซลลูโลสยังไม่เป็นที่เข้าใจทั้งหมดแต่น่าจะเป็นการรวมตัวของหน่วยย่อยพื้นฐานคือเซลโลไบโอสเข้าไปในลูกโซ่ของโมเลกุลมากกว่าที่จะเป็นการเติมโมเลกุลเดี่ยวๆ ของกลูโคส UDP-glucose และน้ำตาล Lipid-pyrophosphate มีความจำเป็นในขั้นตอนการสังเคราะห์ ส่วนในผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวการสังเคราะห์เซลลูโลสค่อนข้างจำกัดเว้นแต่จะมีการเจริญเติบโตซึ่งนับว่าน้อยมาก

โมเลกุลของเซลลูโลสมีความเสถียรมาก แต่สามารถถูกทำลายได้ด้วยกรดแก่หรือโดยการย่อยของเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) แต่เอนไซม์เซลลูเลสนี้พบปริมาณน้อยมากในผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวและพบว่าไม่มีความสำคัญในการอ่อนนุ่มของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของเซลลูโลสในผลไม้ที่กำลังสุกมีน้อยมากและระดับของปฏิกิริยาของเอนไซม์ก็ไม่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการอ่อนนุ่มของผลไม้ในระหว่างการสุก เป็นที่ทราบกันว่าเซลลูเลสจะมีการทำงานในขณะที่มีการหลั่งของโบไมท์หรืออวัยวะอื่นจากต้นพ่อแม่ แต่อย่างไรก็ตามปรากฏว่าเป็น Isoenzyme ซึ่งแตกต่างจากเอนไซม์เซลลูเลสทั่วไปที่พบในเซลล์ส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 สายโมเลกุลเซลลูโลส (Conformation) ของเส้นใยฝ้าย, เส้นประแสดงพันธะไฮโดรเจนภายในและระหว่างโมเลกุล [16]

2.6.1.2 สมบัติทางกายภาพ

ความเหนียว (Tenacity)

ความแข็งแรงของฝ้ายเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวที่ดีของพอลิเมอร์ที่ยาว (มีค่าความเป็นผลึกประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์) มีการสร้างตัวของพันธะไฮโดรเจนระหว่างพอลิเมอร์ที่ติดกัน

เส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยที่แข็งแรงกว่าเคมเมื่อเปียกน้ำ เนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่อย่างชั่วคราวในส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ การจัดเรียงตัวที่ดี เมื่อเปียกน้ำมีผลต่อการเพิ่มของพันธะไฮโดรเจน ทำให้ค่าความเหนียว (Tenacity) เพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

2.6.1.3 ธรรมชาติของการยืดหยุ่นและความเป็นพลาสติก

เส้นใยฝ้ายไม่มีความยืดหยุ่นตัว เพราะว่าเป็นเส้นใยที่มีส่วนที่เป็นผลึกสูง เนื่องจากการที่มีส่วนที่เป็นระเบียบมาก ทำให้ไม่สามารถจะพับเพราะจะทำให้พอลิเมอร์ขาดออกจากกัน ทำให้ฝ้ายฉีกขาดง่าย เป็นจุดอ่อนของพอลิเมอร์นี้

2.6.1.4 ธรรมชาติของการดูดซึมความชื้น

ฝ้ายเป็นเส้นใยที่ดูดซึมความชื้นได้ดี เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) มากมายในพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามน้ำจะสามารถซึมได้ที่บริเวณที่ไม่เป็นระเบียบเท่านั้น เพราะช่องว่างภายในของส่วนที่เป็นผลึกมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าของน้ำ การพองตัวในน้ำก็จะเกิดบริเวณที่ไม่เป็นระเบียบเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็น **2.6.2 เส้นใยขนุน (Kapok fibers) [17]** เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขุนุนเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดหนึ่ง ที่ได้จากผลหรือฝัก มีน้ำหนักเบา อ่อนนุ่ม ใช้ในอุตสาหกรรมทำเบาะ ที่นอน วัสดุกันกระแทก เป็นฉนวนกันความร้อน ขุนุนไม่ดูดซับน้ำ แต่ดูดซับ

น้ำมัน จึงนิยมใช้เป็นส่วนประกอบของขบวนการระเบิด ใช้บุผนังเรือบรรทุกน้ำมัน ถังน้ำมันเครื่องบิน เลื่อยซิว น้ำมันในเมล็ดใช้ผสมน้ำมันพืช เพื่อใช้บริโภค ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่น ใช้ทำสบู่ กากที่เหลือจากการสกัดน้ำมัน ใช้เป็นอาหารสัตว์ ไล้ฝุ่น แขนงุ่น และถาดันใช้เพาะเห็ดได้ดี นุ่นมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา

นุ่นมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ceiba pentandra* Gaerth. อยู่ในตระกูล Bombaceae ถาดันมีลักษณะสูงใหญ่ ถาดันกลม ผิวเรียบ แตกกิ่งรอบถาดันมักจะขนานกับพื้นดิน ใบมีลักษณะเป็นแฉก ประมาณ 5 – 8 แฉก รูปหอกหักลึก 6–10 ซม. ใบนุ่นจะร่วงเมื่อนุ่นเริ่มออกดอก ดอกออกเป็นกระจุก มีสีขาวหรือขาวปนเหลืองเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ดอกบานเต็มที่ขนาดกว้างประมาณ 5 ซม. และยาวประมาณ 5 ซม. กลีบดอกมี 5 กลีบ ดอกนุ่นจะบานในตอนเย็นและบานถึงตอนเช้า มีกลิ่นหอม ผลหรือฝัก มีความยาวตั้งแต่ 8 – 50 ซม. หัวท้ายเรียวแหลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 – 10 ซม. ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่เต็มที่ เปลือกมักจะแตกออกเห็นเส้นใยสีขาวหรือขาวอมเหลือง เมล็ดมีลักษณะกลม สีน้ำตาลหรือดำ

2.6.2.1 การจำแนกนุ่น

1. แยกตามลักษณะการแตกกิ่ง

1.1 นุ่นทรงฉัตร แตกกิ่งและเจริญเติบโตในแนวระดับขนานกับพื้นดิน เติบโตเร็ว ถาดันสูง มีการแตกกิ่งเป็นระยะ แต่ละระยะมี 2-3 กิ่ง

1.2 นุ่นทรงพุ่ม แตกกิ่งและกิ่งจะเจริญเป็นมุมแคบกับถาดันหรือเกือบขนานกับถาดัน แตกกิ่งมาก และติดฝักตามกิ่งย่อยทำให้ติดฝักมากและกิ่งหักง่าย

2. แยกตามขนาดและความยาวของฝัก

2.1 นุ่นขนาดเล็ก ความยาวฝักต่ำกว่า 15 ซม. ฝักอ้วนป้อม แขนงใหญ่ มีเปอร์เซ็นต์ปุ๋ยน้อย จัดเป็นนุ่นพื้นเมือง พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น นุ่นจีนก นุ่นกระจิบ หรือนุ่นพวง

2.2 นุ่นขนาดกลาง ความยาวฝัก 15-24 ซม. มีทั้งทรงฉัตร และทรงพุ่มเปลือกบาง เปอร์เซ็นต์ปุ๋ยสูง ปลูกมากในภาคกลาง มีกลุ่มพันธุ์ต่าง ๆ มากที่สุด เช่น นุ่นถาดัน นุ่นพวง เป็นต้น

2.3 นุ่นขนาดใหญ่ ความยาวฝักตั้งแต่ 25 ซม. ขึ้นไป ส่วนใหญ่เป็นนุ่น ทรงพุ่ม จึงมีความยาวฝัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ อธิการบดี

ไม่ว่ากรณีใดๆ

เนื่องจากมีฝักขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก จึงทำให้กิ่งหักง่าย ฝักเสียหายมาก เช่น นุ่นเขมร นุ่นเกษตร์

นุ่นโตโก นุ่นญี่ปุ่น เป็นต้น

เส้นใยุ่น มีรูปยาวรี รูปทรงกระบอกกลวง ผนังบาง เรียบและเปราะ จึงไม่ค่อยใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอพวกปั่นด้ายเหมือนกับฝ้าย เพราะฟูและเบาเกินไป เส้นใยไม่มีลักษณะหยิกหรือหยักที่จะช่วยให้กลุ่มเส้นใยจับตัวกันได้ดีเมื่อปั่นหรือปั่นเป็นเส้นด้าย มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 14 เท่าของน้ำ มีความยาวของเส้นประมาณ 8-30 มิลลิเมตร

2.6.2.2 สมบัติทั่วไป

ุ่นเป็นพืชเส้นใยชนิดหนึ่ง เส้นใยที่ได้จากผลหรือฝักมีน้ำหนักเบา อ่อนนุ่ม ใช้ในอุตสาหกรรมทำเบาะ ที่นอน วัสดุกันกระแทก เป็นฉนวนกันความร้อน ฟูุ่นไม่ดูดซับน้ำ แต่ดูดซับน้ำมันจึงใช้เป็นส่วนประกอบของชนวนระเบิดใช้บุผนังเรือบรรทุกน้ำมัน ถังน้ำมันเครื่องบิน เสื้อชูชีพ น้ำมันในเมล็ดใช้ผสมน้ำมันพืชเพื่อใช้บริโภค ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นใช้ทำสบู่ กากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันใช้เป็นอาหารสัตว์ ใสนุ่น แขนุ่นและถาดุ่นใช้เพาะเห็ดได้ดี

2.7 พอลิเอทิลีน (Polyethylene) [18]

คุณสมบัติของพอลิเอทิลีน คือ ลักษณะโปร่งแสงหรือโปร่งใสจะขึ้นกับความหนาและความหนาแน่น ผิวไม่มีขี้ขี้จึงใช้ติดกับกาวและหมึกพิมพ์ ได้ยาก ยึดตัวได้ยาก ฉีกขาดยาก ด้านทานไขมันได้น้อย ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและกลิ่นได้น้อย พอลิเอทิลีน แบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามค่าความหนาแน่น คือ

1. Low density polyethylene (LDPE) และ Linear low density polyethylene (LLDPE) ความหนาแน่น 0.910 ถึง 0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
2. Medium density polyethylene (MDPE) ความหนาแน่น 0.926 ถึง 0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3. High density polyethylene (HDPE) ความหนาแน่น 0.926 ถึง 0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

Low density polyethylene (LDPE)

- เป็นพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density) ($0.910 - 0.925 \text{ g/cm}^3$)
- ชื่อสามัญเรียกว่าถุงเย็น เพราะไม่ทนความร้อน
- สามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดผนึกได้ดี

- นิ่ม ยืดหยุ่นได้ดี ทนต่อการทิ่มทะลุและการฉีกขาด

- เหนียว ไม่กรอบแตกง่าย แต่ความแข็งและทนทานน้อยกว่า HDPE (High density polyethylene)

- โปร่งใส มีความใสน้อยกว่า เมื่อเทียบกับ PP แต่ใสกว่า HDPE (High density polyethylene) ไม่

ว่องไวต่อสารเคมี ทนต่อการกัด ต่างได้ดี

- ป้องกันการผ่านของความชื้นได้ดี
- ออกซิเจน และอากาศซึมผ่านได้
- ไขมันซึมผ่านได้

การใช้เพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร ถุงเย็น พลาสติกหัดและฟิล์มยืด ขวดน้ำ ผาขวด ใช้เป็นแผ่นฟิล์มเพื่อทำบรรจุภัณฑ์สำหรับ Modified atmosphere packaging ใช้ผลิตแผ่นฟิล์มโดยใช้ร่วมกับวัสดุอื่นเป็นวัสดุประสาน (Laminate) เพื่อปิดผนึกด้วยความร้อนและใช้กับบรรจุภัณฑ์ปลอดเชื้อ (Aseptic packaging)

ข้อจำกัดการใช้งาน

- ไม่เหมาะใช้บรรจุอาหารที่มีไขมันสูง เช่น อาหารทอด ขนมอบกรอบ เพราะป้องกันการซึมผ่านเข้าออกของไขมัน และออกซิเจนไม่ดี ทำให้เกิดกลิ่นหืน (Rancidity) ได้ง่าย เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid oxidation)
- ไม่ทนร้อน ไม่สามารถใช้กับกระบวนการบรรจุร้อน (Hot fill) ได้ ใช้ได้เฉพาะการบรรจุอาหารขณะเย็น เท่านั้น (Cool filled: อุณหภูมิขณะบรรจุไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส)

2.8 มาเลอิกแอนไฮดรไคด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride grafted Polyethylene , MAPE) [19]

มาเลอิกแอนไฮดรไคด์กราฟท์พอลิเอทิลีนเป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้ว ซึ่งจะทำให้สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physical chemical properties) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเอทิลีน ทำให้ความเหนียวเพิ่มขึ้นและความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น พบว่าแอนไฮดรไคด์ เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนและเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่น รวมทั้งสารตัวเติม (Additive) ได้เป็นอย่างดี

2.8.1 ประโยชน์ของมาเลอิกแอนไฮดรไคด์กราฟท์พอลิเอทิลีน

1. เป็นสารหน่วงไฟ

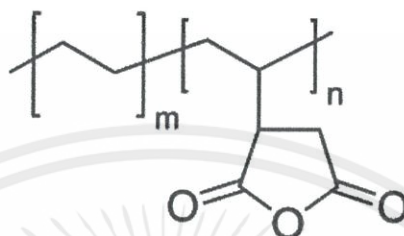
2. เป็นสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณี

3. ใช้ปรับปรุงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานแก่วัสดุของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สามารถป้องกันการสัมผัสเปลวไฟของไฟเบอร์กลาสและเสริมแรงใน PE

- 5.เพิ่มความแข็งแรงและการดูดซับ
- 6.ปรับปรุงการมีขั้วของ PE และปรับปรุงการทำงานร่วมกับวัสดุที่มีขั้ว
- 7.ปรับลักษณะที่ปรากฏและประสิทธิภาพในการผลิต
- 8.เป็น Compatibility agent for alloy plastics



รูปที่ 2.10 โครงสร้าง MAPE [20]

2.9 การฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection Molding) [21]

การฉีดพลาสติกเข้าเบ้า เป็นกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีดพลาสติกในสถานะหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยความดันสูง เป็นกระบวนการหลักในการผลิตชิ้นงานพลาสติกสำเร็จรูปเป็นกระบวนการแปรรูปที่สำคัญที่สุด ถ้านับรวมในบรรดาเครื่องแปรรูปพลาสติกทั้งหมดประมาณ 60 % เป็นเครื่องฉีดเข้าเบ้า โดยทั่วไปการแปรรูปพลาสติกโดยการฉีดผลิตชิ้นงานที่มีน้ำหนักในช่วง 5 กรัมถึง 90 กิโลกรัม

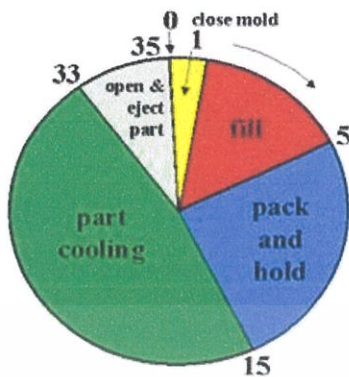
2.9.1 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ

- 1.ชุดหลอมและฉีดพลาสติก (Plasticasting and Injection Unit)
- 2.ชุดปิดและเปิดแม่พิมพ์ (Clamping)
- 3.ระบบไฮดรอลิก ระบบควบคุม และระบบไฟฟ้า (Hydrolics,Control and Electrical System)

2.9.2 กระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process)

ลำดับของกระบวนการฉีดขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 2.11 เป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ลำดับกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าเบ้า [22]

ขั้นตอนที่ 1 ปิดแม่พิมพ์ (close mold) เลื่อนแม่พิมพ์ทั้งสองซีกมาประกบเข้าหากัน เพื่อปิดล็อกให้แม่พิมพ์แน่น และต้องมีแรงปิดมากกว่าแรงที่เกิดจากการฉีดพลาสติก

ขั้นตอนที่ 2 ฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ (fill) เลื่อนหัวฉีดเข้าหาแม่พิมพ์จนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์ ทำการฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์โดยการเคลื่อนที่ของสกรูในแนวนอน

ขั้นตอนที่ 3 ระยะแช่อัดความดัน (Pack and Hold) หัวฉีดยังคงอยู่ที่ตำแหน่งแม่พิมพ์ เพื่อลดการเกิดการหดตัวของชิ้นงาน หัวฉีดถอยหลังกลับสกรูจะหมุนรอบตัวเอง ดึงพลาสติกมาเติมในกระบอกฉีด โดยที่หัวฉีดถูกปิดทำให้เกิดแรงดันสกรูถอยหลังกลับ โดยอัตโนมัติ

ขั้นตอนที่ 4 การหล่อเย็น (Cooling) เริ่มตั้งแต่สกรูถอยหลังกลับ การหล่อเย็นเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 การถอดผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ (Open and Eject) โดยการกระทุ้งออก

2.9.3 ปัจจัยที่สำคัญในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

1. อุณหภูมิของพลาสติกหลอม

อุณหภูมิของพลาสติกหลอมกำหนดโดยการตั้งอุณหภูมิของกระบอกและหัวฉีด โดยทั่วไปจะมีแผ่นให้ความร้อน 5 ตำแหน่ง คือ ส่วนหัวฉีด ส่วนหน้ากระบอก ส่วนกลางกระบอก 2 ตำแหน่ง และส่วนท้ายของกระบอกอุณหภูมิของกระบอกที่ตั้งจะสูงกว่าอุณหภูมิหลอมพลาสติก หากต้องการชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงจะต้องทำการวัดอุณหภูมิของพอลิเมอร์โดยตรงด้วยเทอร์โมคัปเปิล

(Thermocouple)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุณหภูมิของแม่พิมพ์

กรณีที่ทำกรขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก มักมีการใช้น้ำหรือน้ำมันในการควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์และจะทำการควบคุมอุณหภูมิ สำหรับพลาสติกชนิดกึ่งผลึก (Semi-crystalline thermoplastic) สูงกว่าพลาสติกชนิดที่ไม่มีผลึก (Amorphous thermoplastic) เพื่อให้พลาสติกมีเวลามากพอสำหรับการจัดเรียงตัวเป็นผลึก

3. ความดันในการฉีด (Injection pressure)

ความดันที่ทำให้พลาสติกหลอมไหลเข้าสู่ช่องว่างของแม่พิมพ์ ความดันฉีดเกิดจากการเคลื่อนที่ในแนวแกนของสกรู สามารถปรับค่าความดันฉีดได้โดยตรงจากของน้ำมันไฮดรอลิก ค่าความดันฉีดมีอิทธิพลต่อลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน

4. ความดันฉีดแช่อด (Holding pressure)

ค่าความดันฉีดแช่อดจะมีค่าน้อยกว่าความดันที่ใช้ในการฉีดประมาณ 30-70% ความดันฉีดแช่อดได้ มาจากความดันที่เกิดกับพลาสติกหลอมในช่วงด้านหน้าของสกรู ระดับความดันชนิดนี้ขึ้นกับความหนืดของพลาสติกที่ฉีดหากพลาสติกมีค่าความหนืดสูง จำเป็นจะต้องใช้ความดันแช่อดสูงเพื่อป้องกันพลาสติกเข้าไปชดเชยการหดตัว

5. ขนาดของเครื่องฉีดพลาสติก

การเลือกขนาดของเครื่องฉีดต้องคำนึงให้เหมาะสมกับลักษณะและขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิศานาถ หลิมศิริวงษ์ และคณะ [6] ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งข้าวเหนียว โดยใช้แป้งข้าวเหนียวมาเป็นส่วนผสมหลัก ทำการผสมกับผงวุ้นในปริมาณ 10%, 20% และ 30% และผสมกับเส้นใยฝ้ายในปริมาณ 5%, 10% และ 15% และใช้ผงวุ้นผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 10% ในอัตราส่วน 10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8, 0:10 เพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเหนียว โดยเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเตรียมได้จากการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สันฐานวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซึมน้ำ และการย่อยสลาย จากการวัดสีพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเหนียวผสมเส้น

ใยฝ้าย 15% มีความสว่างมากที่สุด และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวผสมผงวุ้น 30% มีสีออกแดงมากที่สุดและมีความสว่างมากที่สุด สมบัติเชิงกลโดยรวมที่สูงที่สุด พบได้ในเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวผสมผงวุ้นและเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วน 4:6 ส่วนการทดสอบการดูดซับน้ำผลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด คือ เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวผสมผงวุ้น 10% และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวผสมเส้นใยฝ้าย 10% ตามลำดับ จากเทอร์โมแกรมพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวที่ปรับปรุงด้วยผงวุ้นและเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วนต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยการฝังดินพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวผสมผงวุ้นและเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วน 10:0 มีการย่อยสลายเร็วที่สุด และจากการศึกษานี้เทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด คือเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวผสมผงวุ้นและเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วน 4:6

นรติษฐ์ จันทรกุล [23] งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและไม่ดัดแปรกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยแป้งข้าวเหนียว ดัดแปรสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาและน้ำเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปร คือ 50 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา คือ 30 นาที แล้วนำแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและแป้งข้าวเหนียวที่ไม่ได้ดัดแปรไปผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง จากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยวิธีการอัดแบบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเป็น 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อปริมาณแป้งสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แผ่นพอลิเมอร์ผสมมีความเปราะ ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบได้ สำหรับที่ปริมาณแป้ง 0-50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติด้านความทนแรงดึง สมบัติด้านความทนการตัดโค้ง และความทนแรงกระแทกลดลง ในขณะที่การดูดซึมน้ำ ความชื้นและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณแป้งเท่ากัน พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวไม่ดัดแปร มีสมบัติเชิงกลดีกว่า แต่มีการดูดซึมน้ำ ความชื้น และความทนแรงดึงต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวดัดแปร

รชพร สมานพงษ์ และคณะ [24] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ แคลเซียมซิงค์เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนและกรดสเตียริกเป็นสารหล่อลื่น โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวโพด เมื่อผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เพื่อใช้ในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม และขั้นตอนที่สองเป็นการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มเป่าเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด โดยการเติมสารช่วยกระจายตัว คือ เจลาตินและแก้วกัม เพื่อให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเป่าที่ได้ดีขึ้น รวมทั้งทำการย่อยสลาย โดยดูจากสมบัติทางเคมีที่ได้ จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดที่เหมาะสมต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผสมกับสารช่วยผสม 10% โดยน้ำหนัก คือ 80:20 ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดและทำการปรับปรุงสูตรผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยทำการใส่สารช่วยผสมเพิ่ม คือ เจลาตินและแก้วกัมในอัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่าเจลาตินช่วยปรับปรุงให้ฟิล์มเป่าที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงดึง ค่าความต้านทานการฉีกขาด และค่าความแข็งแรงกระแทกตกสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับแก้วกัมพบว่าเจลาตินทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า และเมื่อพิจารณาถึงการทดสอบการย่อยสลายพบว่าฟิล์มสามารถย่อยสลายได้โดยดูจากหุ้ฟุ้งกัซันที่หายไป

กิตติวุฒิ ธนรัตนพัฒนกิจ และคณะ [25] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการขึ้นรูปพลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการศึกษาได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว โดยมีกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ น้ำมันพาราฟินและกรดสเตียริกทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นในกระบวนการผลิต การผสมอัตราส่วนวัสดุต่างๆ ใช้เครื่องผสมความเร็วสูงและเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ จากนั้นทำการบดและนำไปขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว โดยใช้ปริมาณกลีเซอรอล 33% เป็นพลาสติกไซเซอร์ ส่วนที่ 2 เป็นการหาสมบัติของชิ้นงานเมื่อใช้กลีเซอรอล 25% และ 20% โดยดูจากสมบัติเชิงกลที่ได้จากส่วนที่ 1 จากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติการย่อยสลาย ผลการทดสอบระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวพบว่า ค่ามอดูลัสมีลักษณะเป็น

รูปตัว U โดยมีจุดสูงสุดที่สูตรแป้งมันสำปะหลัง 70% และแป้งข้าวเหนียว 30% และจุดต่ำสุดเมื่อใช้แป้งมันสำปะหลัง 50% และแป้งข้าวเหนียว 50% การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดึงยืดและความแข็งแรงกระแทกพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวที่ 50:50 ให้ค่าที่สูงที่สุด เมื่อทดสอบความแข็งแรงพบว่ามีความใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วนผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว เมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอล 20% พบว่าไม่สามารถผ่านกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากแป้งมีความหนืดสูงเกินไป ดังนั้นปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 25-33% ปริมาณกลีเซอรอล 25% ส่งผลให้ค่ามอดูลัส ค่าความแข็งแรงกระแทกและความแข็งแรงกดเพิ่มมากขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณกลีเซอรอล 33% การทดสอบดูความชื้นพบว่า ชื้นงานดูความชื้นที่ 7-8% เมื่อใช้กลีเซอรอล 33% และดูความชื้นที่ 4-5% เมื่อลดปริมาณกลีเซอรอลเป็น 25% การทดสอบทางความร้อนพบว่าชิ้นงานเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 190 องศาเซลเซียส และเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเกิน 220 องศาเซลเซียส เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อรา ซึ่งทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยแป้งเป็นน้ำตาล พบว่าชิ้นงานสามารถย่อยสลายได้ พิสูจน์จากปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในงานเพาะเชื้อ

คารินทร์ โพธิ์ศรี และคณะ [26] งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงการเตรียมและสมบัติต่างๆของพลาสติกย่อยสลายที่เตรียมได้จากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) จากแป้งถั่วเขียว (Mung bean starch) โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเขียวในสูตรที่มีการผสมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และความเร็รรอบ 50 รอบต่อนาที มีลักษณะทางกายภาพดีที่สุด จากนั้นเป็นขั้นตอนการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเขียวโดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย และ/หรือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยฝ้ายและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเพิ่มขึ้น และสมบัติเชิงกลมีค่าสูงสุดเมื่อทำการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 2:1 ส่วนสัญญาณวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในแต่ละสูตรเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แสดงให้เห็นว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถเข้ากับ

เมทริกซ์ได้ สำหรับสมบัติทางความร้อนพบว่าการเติมเส้นใยฝ้ายมีผลทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสูงขึ้น และยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่มีการ

ปรับปรุงมีแนวโน้มการย่อยสลายเร็วสุด แต่สูตรที่มีการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 40% โดยน้ำหนัก ใช้เวลาในการย่อยสลายนานสุด

H.A.Pushpadass และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณ LDPE , กลีเซอรอล และสมบัติของคอมพอสิตฟิล์มแข็ง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวโพดต่อ LDPE ที่ 95:5, 90:10 และ 85:15 ทำการขึ้นรูปโดยกระบวนการอัดรีด สรุปได้ว่าการ Compound และปริมาณกลีเซอรอล เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์ม จาก SEM พบว่า พอลิเมอร์ 2 ชนิด ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ โดยการ Compound เป็นการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มเนื่องจากการกระจายตัวที่ดีของ LDPE บนวิภาคของแป้ง ตลอดจนการกระจายบนผิวหน้าระหว่างพอลิเมอร์ที่ผสมเข้ากันได้ ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสสูงสุดได้จากอัตราส่วนของแป้งต่อ LDPE ที่ 90:10 การเพิ่มปริมาณ LDPE มากกว่า 10% ทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง

R. Shi และ คณะ [28] ศึกษาถึงการยืดอายุการใช้งานของเทอร์โมพลาสติกสตาเรทซ์ที่ทำจากแป้งข้าวโพดที่มีน้ำอยู่ 12% โดยน้ำหนัก โดยการหลอมของผสมเข้ากับกลีเซอรอลในปริมาณแตกต่างกันที่ 30 40 50 และ 60% โดยน้ำหนักภายใต้อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ $50 \pm 5\%$ เก็บไว้ 3 เดือนแล้วทดสอบหรือทดสอบไปจนครบ 3 เดือน จากผลการทดสอบ XRD พบว่า เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นช่วยให้โครงสร้างแบบเกลียวเดี่ยว (Single helix structure) เกิดได้มากขึ้นด้วย แต่จำกัดการเกิดโครงสร้างแบบเกลียวคู่ (Double helix structure) และผลการทดสอบทางความร้อน DMTA พบว่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าเหนือสถานะทรานซิชัน (Onset temperature of upper transition) ของเทอร์โมพลาสติกสตาเรทซ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลไม่มากนัก และสมบัติเชิงกลเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลมากกว่า 40% โดยน้ำหนัก ผลจากการวัด FTIR ยังสามารถแสดงถึงพีค Hydroxyl group stretching เคลื่อนที่ได้ช้าลง เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นและยังพบว่าการแยกวิภาคมากขึ้นเรื่อยๆ ในเทอร์โมพลาสติกสตาเรทซ์ และพบว่ามีปริมาณน้ำมากขึ้นพร้อมๆ กับปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเติมกลีเซอรอลในปริมาณมากช่วยยืดอายุการใช้งานของเทอร์โมพลาสติกสตาเรทซ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

C.M.O. Muller และคณะ [29] ได้ศึกษาผลกระทบของเส้นใยเซลลูโลสที่มีผลต่อฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เทคนิคการหล่อ (Casting technique) ซึ่งเส้นใยมีความยาว 1.2 มิลลิเมตรและ

เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร ใช้ปริมาณเส้นใย 0.1, 0.3 และ 0.5 ต่อแป้ง 1 กรัม กลิเซอรอล เป็นพลาสติกไซเซอร์เพื่อยับยั้งการคืนรูปของแป้ง และใส่กำร้กัม เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของเส้นใย ผลการตรวจสอบด้วยกล้องอิเล็กตรอนจุลทรรศน์แบบส่องกราด เส้นใยมีการกระจายตัวดีในแป้ง มันสำปะหลังและผลกระทบ ของเส้นใยฝ้ายที่มีผลต่อสมบัติฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง คือ ช่วง 2-3 นาทีขึ้นไป ความชื้นสัมพัทธ์ 0-33, 33-64 และ 64-90 เปอร์เซ็นต์ ค่าสัมประสิทธิ์การละลายน้ำที่ ความชื้นสัมพัทธ์ 64-90 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวที่ความชื้นสัมพัทธ์ 33-64 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุด ค่าน้ำซึมผ่านของแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมเส้นใยที่ความชื้น สัมพัทธ์ 64-90 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุด และปริมาณเส้นใย 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็งแรงดึงสูง ที่สุด แต่มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดต่ำสุด และมีค่ามอดูลัสสูงสุด

W. Shujun และคณะ [30] ได้ศึกษาการเตรียมและลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์ โมพลาสติกสตาร์ชกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene, LLDPE) ในอัตราส่วน 50:50 ที่ผ่านปฏิกิริยาครั้งเดียวในกระบวนการ Extrusion โดยใช้เครื่อง Single screw extruder ทั้งผสมและไม่ผสมกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ จาก Thermogravimetry (TG) สัณฐานวิทยาจาก Scanning Electron Microscope (SEM) และสมบัติ การไหลของพอลิเมอร์จาก Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) พบว่า เมื่อให้ความ ร้อนกับแป้งและ LLDPE ที่ถูกปรับปรุงแล้ว FT-IR แสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาวะการทดลอง เดียวกันพอลิเมอร์ที่ผสมกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ มีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้ผสม มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ส่วนผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก TG แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์มีเสถียรภาพทาง ความร้อนมากขึ้น จึงสรุปได้ว่ามาเลอิกแอนไฮไดรด์ มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์ โมพลาสติกสตาร์ชกับ LLDPE

R. Nawang และคณะ [31] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มคอมพอสิต ระหว่างแป้งสาอูกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene, LLDPE) ในอัตราส่วน 5:95, 10:90, 15:85, 20:80, 25:75 และ 30:70 โดยนำไปขึ้นรูปด้วย กระบวนการ Compression moulding แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า แผ่นฟิล์มคอมพอสิตนี้ เมื่อปริมาณแป้งสาอูเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่ามอดูลัสและค่า Yield stress มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเม็ดแป้ง สาอูนี้กระจายอยู่ทั่วแผ่นฟิล์มคอมพอสิตและยังมีความแข็งมากกว่า LLDPE และยังพบว่าเมื่อ

ปริมาณของ LLDPE เพิ่มมากขึ้น ทำให้ฟิล์มคอมพอสิตนี้มี Tensile strength และ Elongation at break ลดลง เมื่อนำไปทดสอบสัณฐานวิทยา พบว่า ฟิล์มคอมพอสิตที่ประกอบด้วยแป้งสาธู 15% โดยน้ำหนัก มีรอยแตกร้าวอยู่บนพื้นผิว เนื่องจากเม็ดแป้งและ LLDPE เกิด interaction กันน้อย และนอกจากนี้ยังเกิดการรวมตัวของเม็ดแป้งอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แป้งข้าวเหนียว (Waxy rice starch)

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของแป้งข้าวเหนียว ตราเหรียญทองก้าวหน้า จากบริษัท อุตสาหกรรมแป้งเหรียญทอง จำกัด

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
ความชื้น	11.00-13.00%
ความแห้ง	86-87%
ไขมัน	0.20%
เถ้า	0.20%
โปรตีน	6.50-7.00%
คาร์โบไฮเดรต	77.65-80.00%
ความเป็นกรด-ด่าง	6.0-7.0
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ไม่มี
ขนาด	ไม่เกิน 158 ไมครอน
อะไมโลส	5-7%
อะไมโลเพกติน	95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

ตารางที่ 3.2 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เกรดจีดี (DNDV-0405 R) จากบริษัท คาว เคมีคอล จำกัด

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ผลจาก 2A15120126	ค่าที่ได้		วิธีทดสอบ
			ต่ำสุด	สูงสุด	
ความหนาแน่น (Density)	g/cm ³	0.914	0.913	0.916	JIS K 7112
อัตราการไหล (Melt mass flow rate)	g/cm ³	32	27	37	JIS K 7210

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3. เส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) ความยาว 1-2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของเส้นใยฝ้าย

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
เซลลูโลส	94%
โปรตีน	1.3%
เถ้า	1.2%
เพคติน	1.2%
Wax	0.6%
น้ำตาล	0.3%
พิกเมนต์	เล็กน้อย
อื่นๆ	1.4%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เส้นใยุ่น ความยาว 1-2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบของเส้นใยุ่น

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
เซลลูโลส	63%
เฮมิเซลลูโลส	21.2%
น้ำ	0.5%
Wax	1.4%
อื่นๆ	เล็กน้อย

5. กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab System

6. มาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE)

ตารางที่ 3.5 สมบัติของมาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน เกรดการค้า MB 100D จากบริษัท

Dupont Packaging & Industrial Polymer

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ค่าที่ได้	วิธีการทดสอบ
อัตราการไหล (Melt flow rate)	g/10min	2	ASTM D1238-ISO1133
ความหนาแน่น (Density)	g/cm ³	0.96	ASTM D 1505
จุดหลอมเหลว (Melting point)	°C	134	ASTM D3418-ISO3146

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

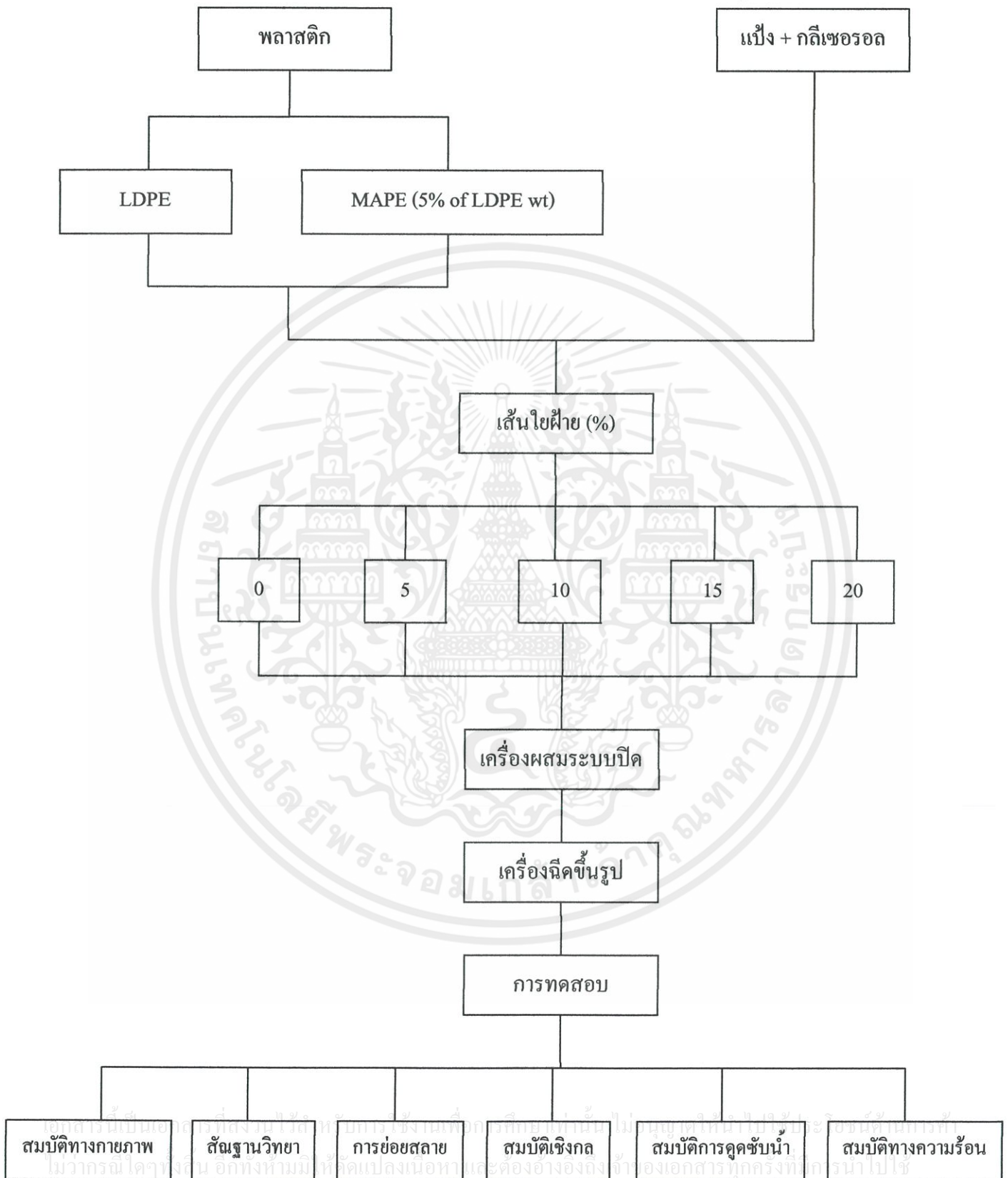
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

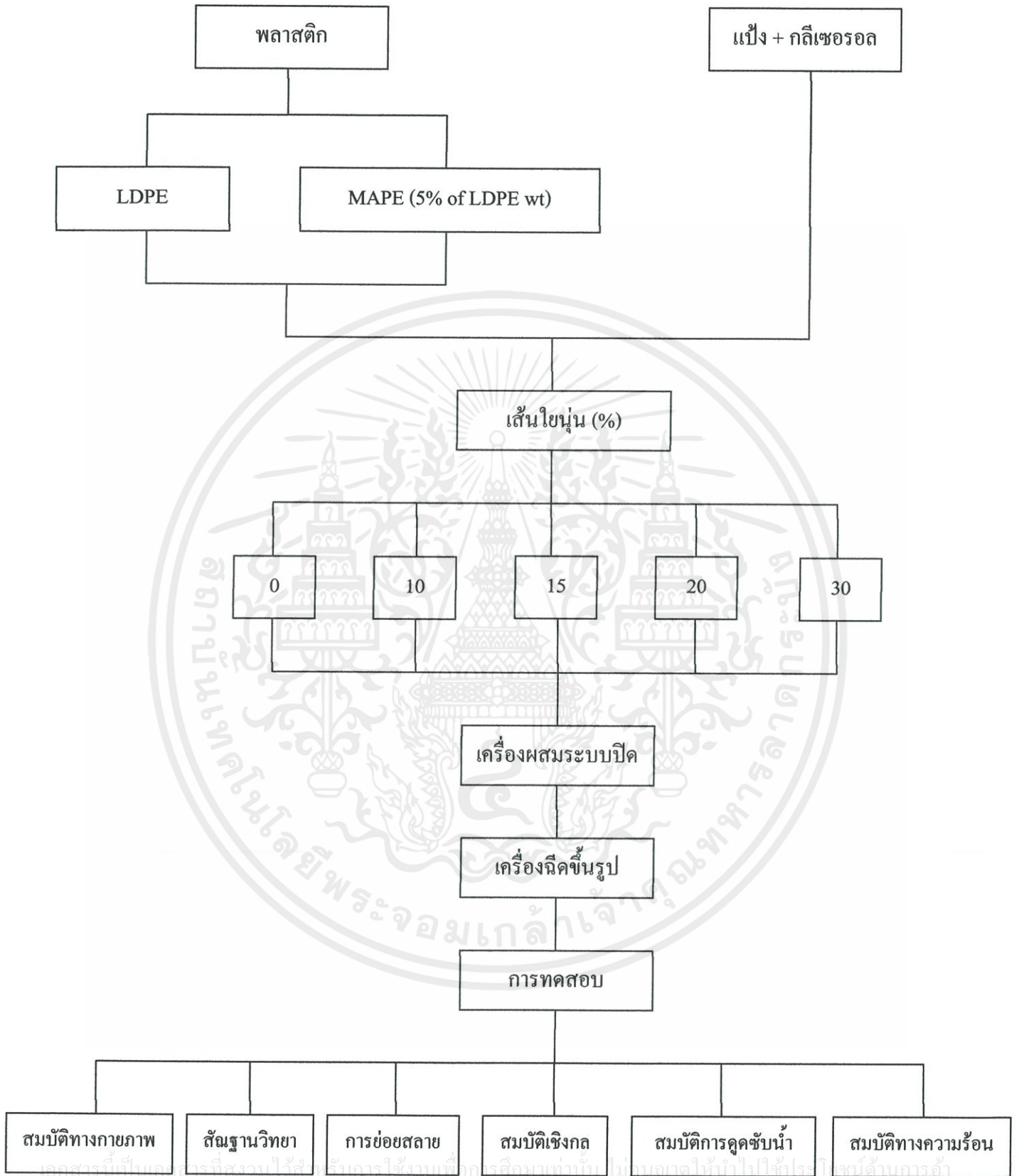
1. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) BRABENDE รุ่น MX500-D75L90, CHAREON TUT
2. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) COSMO รุ่น TTI-220/80 HI TECH, WELLTEC INDUSTRIAL EQUIPMENT
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) LEO รุ่น 1455 VP, LEO
4. เครื่องทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer, TGA) รุ่น PYRIS Diamond, PERKIN ELMER
5. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing machine) Lloyd Instrument รุ่น LR 5k, INTRO ENTERPRISE
6. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (IR Spectrophotometer) รุ่น SPECTRUM GX, PERKIN ELMER
7. เครื่องชั่งแบบละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
8. ถูมือกันความร้อน
9. เกียง
10. ตู้อบ
11. เครื่องบด BOSCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยในโครงการพิเศษนี้ แสดงได้ในรูปที่ 3.1-3.2



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

3.3 การทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

3.3.1.1 นำ LDPE และ MAPE มาผสมกันก่อน โดยใช้ปริมาณ MAPE 5% โดยน้ำหนักของ LDPE

3.3.1.2 นำส่วนผสมที่ได้มาทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer) โดยตั้งอุณหภูมิในการผสมไว้ที่ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

3.3.1.3 นำไปเข้าเครื่องบด

ตอนที่ 2 การหาอัตราส่วนของเทอร์โมพลาสติกสไตร์จากแป้งข้าวเหนียว (TPWRS) ต่อ LDPE

3.3.2.1 นำแป้งข้าวเหนียว มาหมักกับกลีเซอรอลเพื่อให้กลีเซอรอลซึมลงไปในเม็ดแป้ง เป็นเวลา 1 คืน โดยใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 70 และกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.3.2.2 ซังสารตามตารางที่ 3.6

3.3.2.3 นำส่วนผสมที่ซังมาทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) โดยตั้งอุณหภูมิในการผสมไว้ที่ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

3.3.2.4 นำไปเข้าเครื่องบด แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.2.5 เก็บใส่ในถุงซิปล็อค แล้วนำไปเข้าเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

ตารางที่ 3.6 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างTPS จากแป้งข้าวเหนียวและ LDPE

สูตร	TPWRS (กรัม)	LDPE (กรัม)	MAPE (กรัม)
1	100	0	0.0
2	90	9.5	0.5
3	80	19	1.0
4	70	28.5	1.5
5	60	38	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้เส้นใยธรรมชาติ

3.3.3.1 นำแป้งข้าวเหนียวมาหมักกับกลีเซอรอล เพื่อให้กลีเซอรอลซึมลงไปในเม็ดแป้ง เป็นเวลา 1 คืน โดยใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 70 และกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.3.3.2 ผสมกับพลาสติกโดยใช้อัตราส่วน TPWRS ต่อ LDPE ที่เหมาะสมจากตอนที่ 2

3.3.3.3 ผสมเส้นใยฝ้ายลงไป ในปริมาณ 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนักของ TPWRS

3.3.3.4 นำส่วนผสมที่ชั่งมาทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer) โดยตั้งอุณหภูมิในการผสมไว้ที่ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

3.3.3.5 นำไปเข้าเครื่องบด แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.3.6 เก็บใส่ในถุงซิปล็อค แล้วนำไปเข้าเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)

3.3.3.7 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนจากเส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยงุ่น

ตอนที่ 4 การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE โดยการฉีดขึ้นรูป

3.3.4.1 เปิดเครื่อง ตั้งอุณหภูมิฉีดขึ้นรูป โดยใช้อุณหภูมิที่บาร์เรล (Barrel) 130 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle) 150 องศาเซลเซียส

3.3.4.2 เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วเทพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ลงในส่วนป้อนสาร (Hopper) ของเครื่อง

3.3.4.3 ความดันที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป คือ 40-50 หน่วย และใช้เวลาในการหล่อเย็น 200 หน่วย สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปแสดงในตารางที่ 3.7

3.3.4.4 จะได้ชิ้นงานเป็นรูปคัมเบลและรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามแม่พิมพ์ นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติอื่นๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

Description	Unit	Value
PRESSURE		
1 st stage pressure	Bar.	40
2 nd stage pressure	Bar.	45
3 rd stage pressure	Bar.	50
FLOW SPEED		
1 st stage injection speed	rpm	30
2 nd stage injection speed	rpm	30
3 rd stage injection speed	rpm	30
TIME		
1 st stage injection time	Sec.	30
2 nd stage injection time	Sec.	30
3 rd stage injection time	Sec.	30
Melting time	Sec.	500
Cooling time	Sec.	200
TEMPERATURE		
Zone 1	°C	130
Zone 2	°C	140
Zone 3	°C	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 การหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันโดย FTIR

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสารตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างไปให้ความร้อนจนอ่อนตัวกระทั่งเป็นฟิล์มแผ่นบาง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2-0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์และนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน 10^4 kg/cm^2 นาน 5 นาที แล้วนำเม็ดออกจากแม่พิมพ์ และนำไปวิเคราะห์จะได้กราฟสเปกตรัมของสารตัวอย่าง

3.4.2 การดูดซับน้ำ

ทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption) ตามมาตรฐาน ASTM D 570 โดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วัน โดยนำชิ้นงานขึ้นมาบันทึกน้ำหนักทุกๆ 2 วัน แล้วคำนวณหาปริมาณการดูดซับน้ำได้ดังนี้

$$M_t (\%) = (W_w - W_d) / W_d \times 100$$

เมื่อ M_t คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่

W_w คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังแช่

3.4.3 สัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ทำการเตรียมตัวอย่างที่ได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาหักหลังจากแช่ในไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำตัวอย่างเคลือบด้วยทอง และนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป โดยทำการศึกษาถึงพื้นผิวและภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมในสูตรต่างๆ เพื่อดูการกระจายตัวของเส้นใยธรรมชาติในพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 3.8
 ตารางที่ 3.8 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
แรงดึง (Load)	ASTM D 638	N
ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Young' s modulus, E)	ASTM D 638	MPa
การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Elongation at maximum load)	ASTM D 638	mm
ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (%Strain at maximum load)	ASTM D 638	%

3.4.4.1 แรงดึง, ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด, มอดุลัส, การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด, ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล(Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม WINDAP ซินงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ จำนวน 5 ชิ้นงานต่อ 1 สูตร โดยทำการควบคุมสถานะของซินงานที่ใช้ทดสอบที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60% ทดสอบตามสภาวะ ดังนี้

- Test speed : 100 mm./min
- Gauge length : 50 mm.
- Load cell : 5 kN

ค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)= F/A

มอดุลัส (Young's modulus, E) = $(F/A) / [(L-L_0)/L_0]$

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (%Elongation at maximum load) = $[(L-L_0)/L_0] \times 100$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ซินงานดึงยืดซินงานตัวอย่าง (N)

N คือ พื้นที่หน้าตัดของซินงานตัวอย่าง (mm^2)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยืดซินงานตัวอย่าง (mm)

L_0 คือ ระยะที่ซินงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาแนะนำ และดูแลเรื่องถึงถึงเป็นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การศึกษาอุณหภูมิการสลายทางความร้อน (Onset degradation temperature) ของพอลิเมอร์ผสม ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer : TGA) ทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 10-12 มิลลิกรัม และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศไนโตรเจน (N_2) ที่ภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ใช้อุณหภูมิในช่วง 50-600 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่อได้ TGA เทอร์โมแกรมแล้วจึงนำมาทำอนุพันธ์ของเทอร์โมแกรม (Derivative Thermogram) ได้เป็น DTG

3.4.6 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20 x 50 มิลลิเมตร ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 30-40% การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่ลดลงในแต่ละสัปดาห์เป็นระยะเวลา 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งข้าวเหนียว (TPWRS) และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ทำการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลโดยใช้เส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) และเส้นใยหนู่ (Kapok fibers) ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมระบบปิดและขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดขึ้นรูป จากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ การศึกษาหุ้ฟงักชั้น สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา สมบัติการดูดซึมน้ำ และการย่อยสลาย

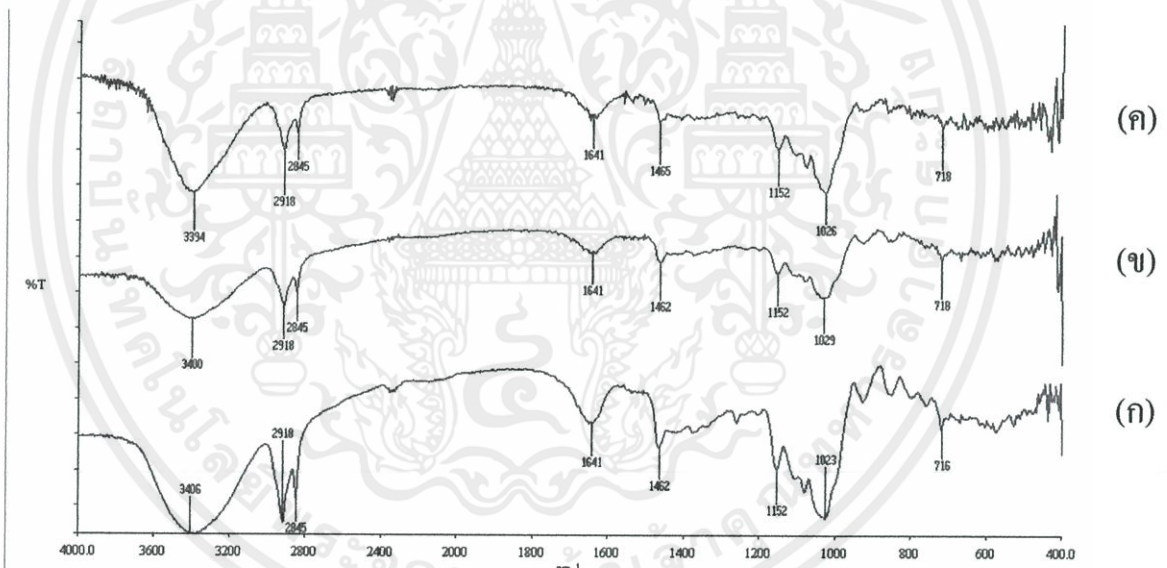
ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

สูตร	TPWRS (กรัม)	LDPE (กรัม)	MAPE (กรัม)	ผลการทดสอบ
1	100	0	0.0	ฉีดออกจากเครื่อง Injection Moulding ไม่ได้เนื่องจากหัวดาวยุดตัน
2	90	9.5	0.5	ฉีดออกจากเครื่อง Injection Moulding ไม่ได้เนื่องจากหัวดาวยุดตัน
3	80	19	1.0	ฉีดออกจากเครื่อง Injection Moulding ไม่ได้เนื่องจากหัวดาวยุดตัน
4	70	28.5	1.5	สามารถฉีดออกจากเครื่อง Injection Moulding ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์
5	60	38	2.0	สามารถฉีดออกจากเครื่อง Injection Moulding ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

จากตารางที่ 4.1 แสดงอัตราส่วนต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE โดยนำมาขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป พบว่า อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ 100:0, 90:10 และ 80:20 ขึ้นรูปได้ยาก ส่วนอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ 70:30 และ 60:40 สามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปได้ และเลือกอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่มีอัตราส่วนของ TPWRS มากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ 70:30

4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

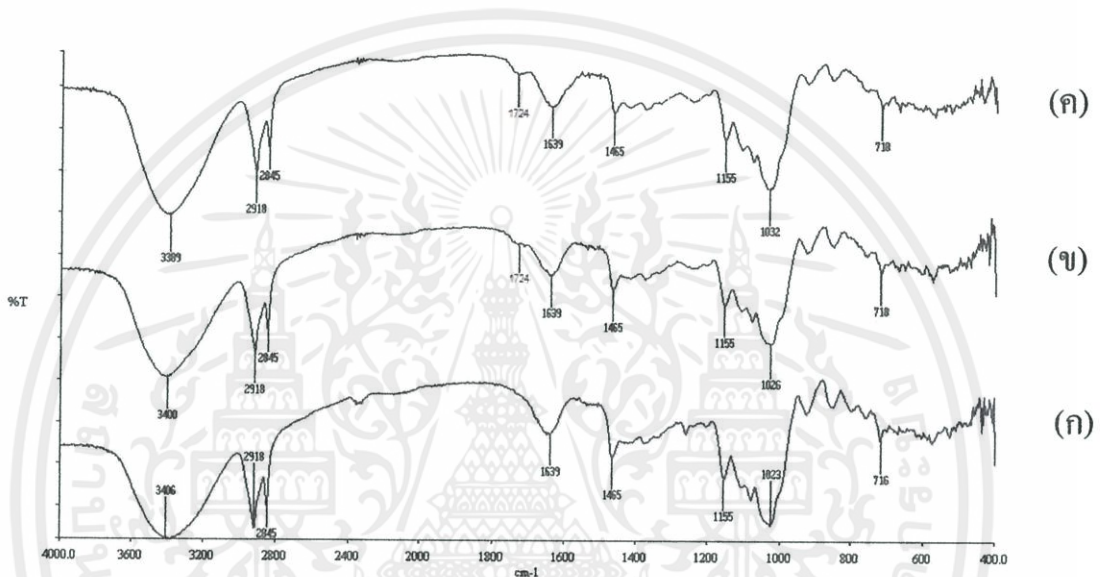
การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทำได้โดยการใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) จากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยนุ่นในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายในปริมาณ (ก) 0% (ข) 10% และ (ค) 20%

จากรูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ พบพีกในช่วง 3400 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นของ O-H stretching พีกที่เลขคลื่น 2918 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นของแบบ C-H stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของ LDPE พีกในช่วง 1641 cm^{-1} เป็นลักษณะ OH ของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในแปงหรืออาจเกิดจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากการใช้ MAPE พีกในช่วง $1460\text{-}1465\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ของแปง พีกที่

เลขคลื่น $1023-1026\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นของ C-O-H bending ของแป้งและฟิสิกที่เลขคลื่น $716-718\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH_2 -rocking [23, 27] เมื่อทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE กับสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 10% และ 20% พบว่าสเปกตรัมช่วงตำแหน่งการสั่นของ O-H stretching (3400 cm^{-1}) มีการเลื่อนตำแหน่ง (Shift) ไปในตำแหน่งที่ลดลงและมีลักษณะแหลมกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE แสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ [33]



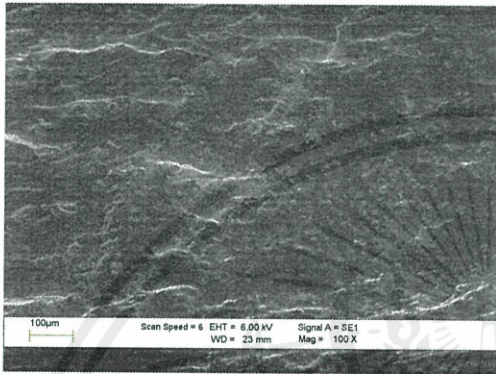
รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายในปริมาณ (ก) 0% (ข) 10% และ (ค) 20%

จากรูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ พบว่ามีฟิสิกที่เกิดจากการสั่นที่มาจากองค์ประกอบของ TPWRS และ LDPE ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อเปรียบเทียบ สเปกตรัมของ TPWRS/LDPE กับสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 10% และ 20% พบว่า สเปกตรัมช่วงตำแหน่งการสั่นของ O-H stretching มีการเลื่อนตำแหน่ง (Shift) ไปในตำแหน่งที่ลดลงและมีลักษณะแหลมกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ TPWRS/LDPE แสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่าง TPWRS กับเส้นใยฝ้าย นอกจากนี้ยังพบว่ามีฟิสิกใหม่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 1724 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของ C=O stretching ของ เอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจาก Wax ในเส้นใยฝ้าย [35]

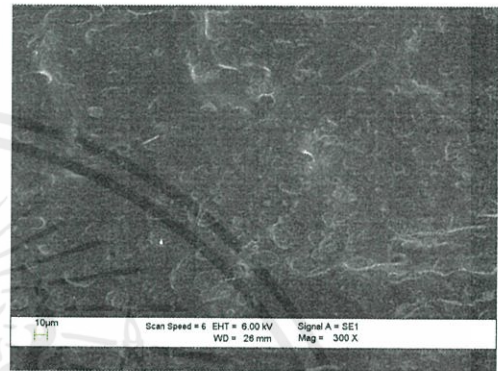
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา

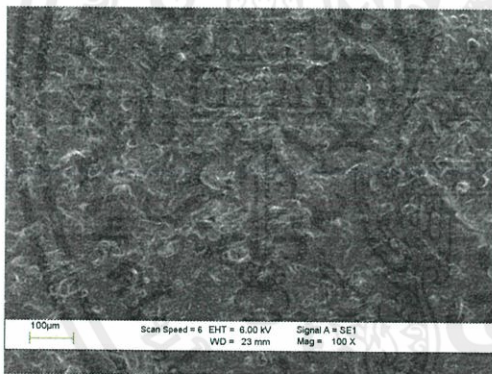
การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ทำได้ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) เพื่อทำการศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



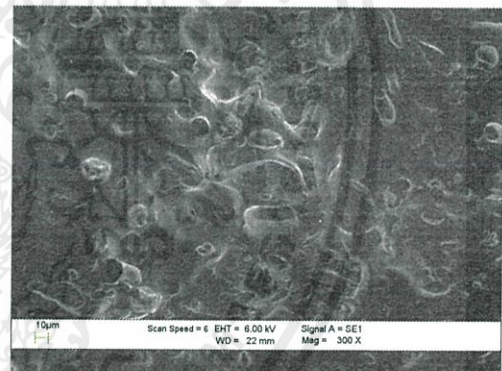
(ก) TPWRS/LDPE, 100X



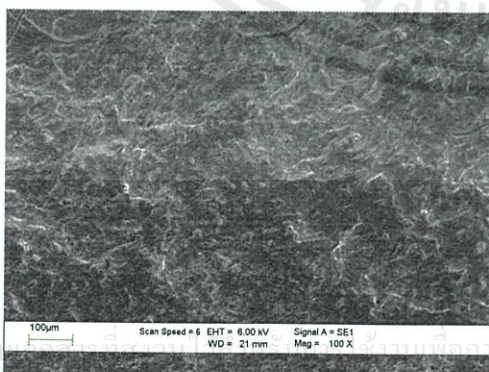
(ข) TPWRS/LDPE, 300X



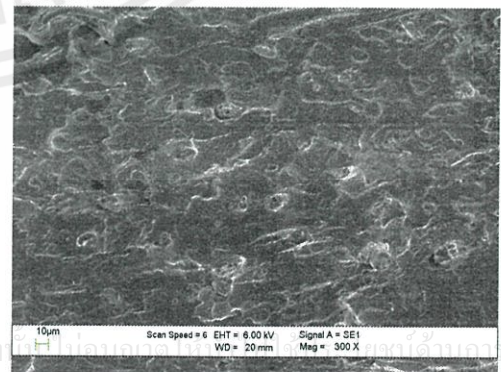
(ค) +10% Cotton fibers, 100X



(ง) +10% Cotton fibers, 300X



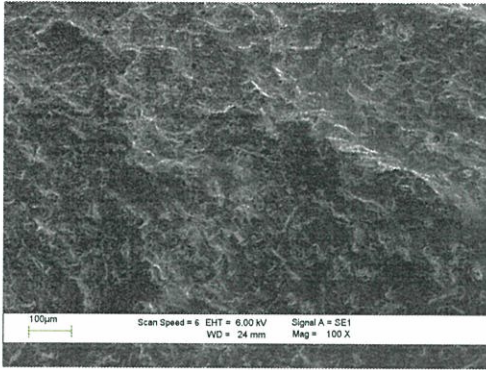
(จ) +20% Cotton fibers, 100X



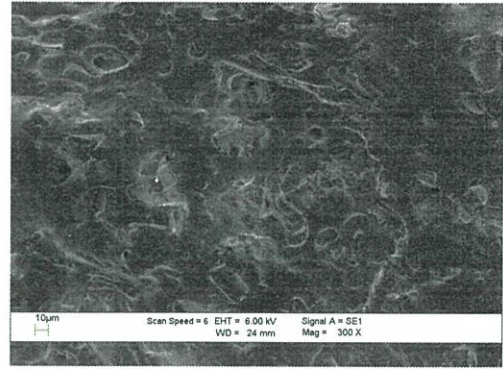
(ฉ) +20% Cotton fibers, 300X

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ลงเว็บไซต์อื่นโดยไม่อนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

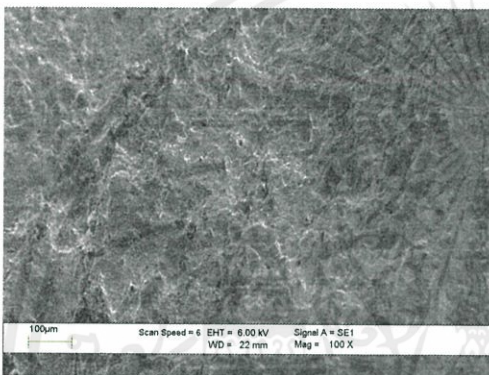
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



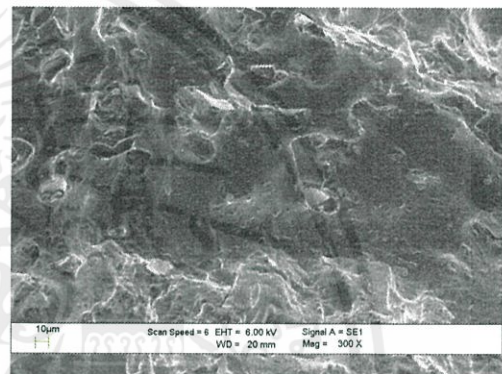
(ช) +10% Kapok fibers, 100X



(ซ) +10% Kapok fibers, 300X



(ฅ) +20% Kapok fibers, 100X



(ณ) +20% Kapok fibers, 300X

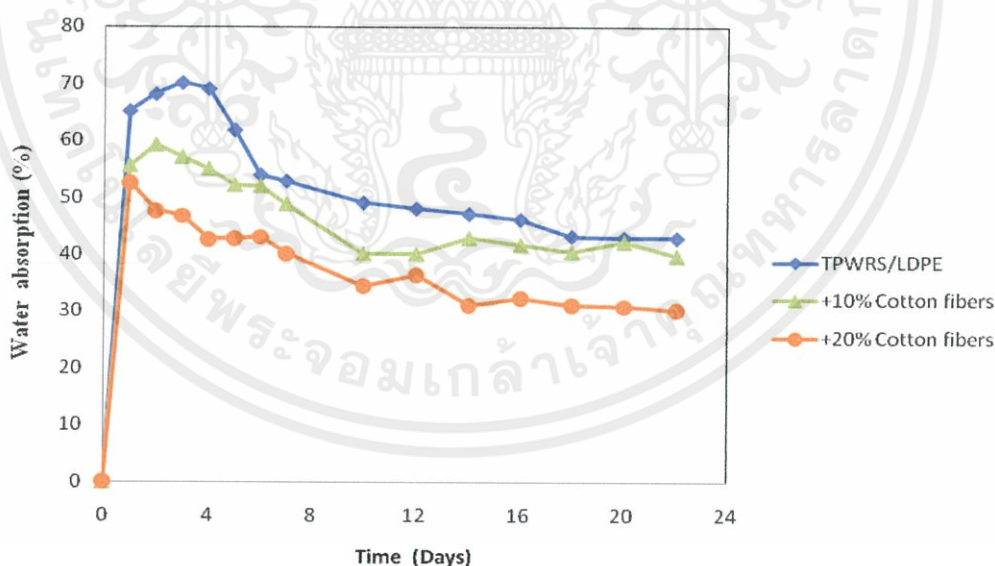
รูปที่ 4.3 ภาพตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งข้าวเหนียวผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยขนุนในปริมาณต่างๆ เมื่อส่องด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า

จากรูปที่ 4.3 (ก)-(ณ) แสดงให้เห็นถึงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติโดยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยขนุนในปริมาณต่างๆ กัน ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า พบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ ไม่มีช่องว่างที่เป็นรอยต่อระหว่างวัฏภาคของ TPWRS และ LDPE เนื่องจากการใช้สารช่วยผสม MAPE ซึ่ง MAPE จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่าง TPWRS กับ LDPE ให้เข้ากันได้ โดยแอนไฮดรอกซิลของ MAPE ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของ TPWRS และด้านพอลิเอทิลีนของ MAPE ทำปฏิกิริยากับ LDPE เมื่อใช้กำลังขยาย 300 เท่า สามารถมองเห็นการแยกวัฏภาคระหว่าง LDPE กับ TPWRS โดยวัฏภาคของ LDPE กระจายตัวอยู่ใน TPWRS (รูปที่ 4.3 (ก) และ (ข)) ในรูปที่ 4.3 (ค)-(ง) พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 10% พบว่าเส้นใยฝ้ายกระจายตัวบนพื้นผิวของเมทริกซ์

TPWRS และ LDPE และบางส่วนยื่นออกมาจากเมทริกซ์ ในรูปที่ 4.3 (จ)-(ค) พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 20% พบว่ามีปริมาณการกระจายตัวของเส้นใยฝ้ายมากขึ้นบนพื้นผิวของเมทริกซ์ นอกจากนี้ยังพบลักษณะของ Surface wetting (รูปที่ 4.3 (ง) และ (ฉ)) ซึ่งสังเกตได้จากการที่พื้นผิวของเส้นใยถูกปกคลุมด้วยเมทริกซ์ของ TPWRS แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยฝ้ายและเมทริกซ์ของ TPWRS รูปที่ 4.3 (ซ)-(ช) แสดงภาพตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยุ่น 10% พบว่ามีลักษณะของเส้นใยุ่นมีลักษณะกระจายตัวบนพื้นผิว มีบางส่วนยื่นออกมาจากเมทริกซ์ของ TPWRS และ LDPE และเส้นใยุ่นมีลักษณะเป็นท่อกวาง รูปที่ 4.3 (ฉ)-(ญ) แสดงถึงพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยุ่น 20% เมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยุ่นพบการกระจายตัวของเส้นใยเพิ่มมากขึ้นที่พื้นผิวนอกจากนี้ยังพบลักษณะของ Surface wetting สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยุ่นในปริมาณ 10% และ 20% เช่นเดียวกับกรณีของเส้นใยฝ้าย

4.3 การดูดซึมน้ำ

การศึกษาการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติโดยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยุ่นในปริมาณต่างๆ โดยการแช่น้ำกลั่น แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติ

โดยเส้นใยฝ้ายในปริมาณ 10% และ 20% ตามลำดับ

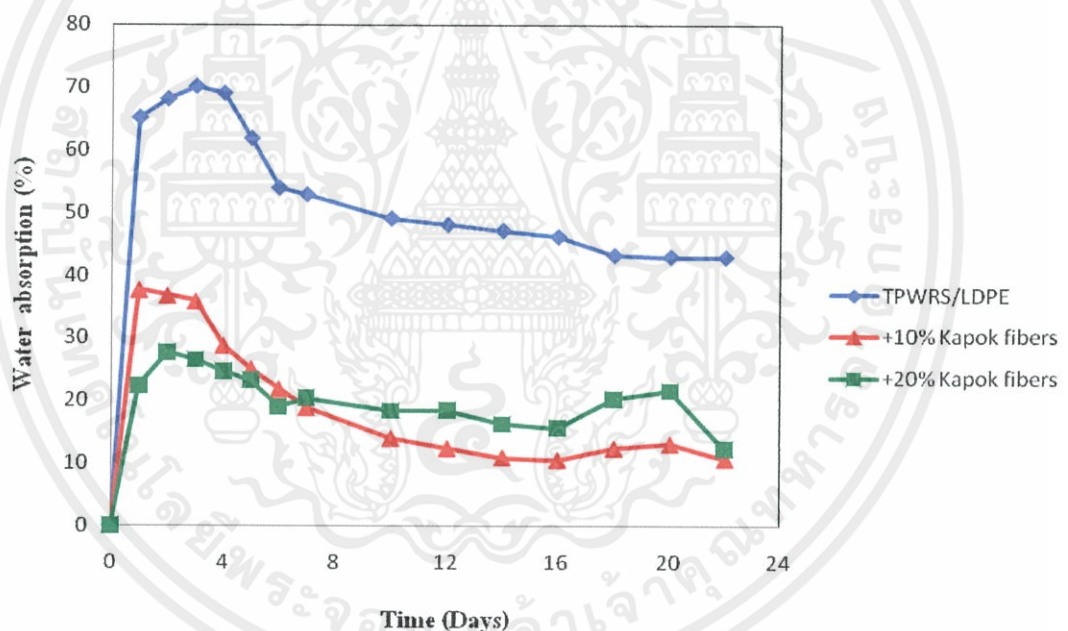
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ (รูปที่ 4.4) พบว่าในช่วง 4 วันแรก พอลิเมอร์ผสมของ TPWRS/LDPE สามารถดูดซึมน้ำได้รวดเร็วที่สุด เนื่องจากในพอลิเมอร์ผสมมีปริมาณแป้งถึง 70%

ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงสามารถดูดซึมน้ำได้มาก หลังจากนั้นพอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ช้าลง และในช่วงหลังจาก 6 วันของการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลงอย่างมาก เนื่องจากส่วนของ TPWRS นั้นเริ่มหลุดออกจากชิ้นงาน โดยสังเกตจากเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้น้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลงและในช่วงหลังจาก 12 วันของการทดสอบ พบว่า การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่

สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 10% และ 20% พบว่า สามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงแต่น้อยกว่าแป้ง [32] จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 10% และ 20% พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 20% มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า



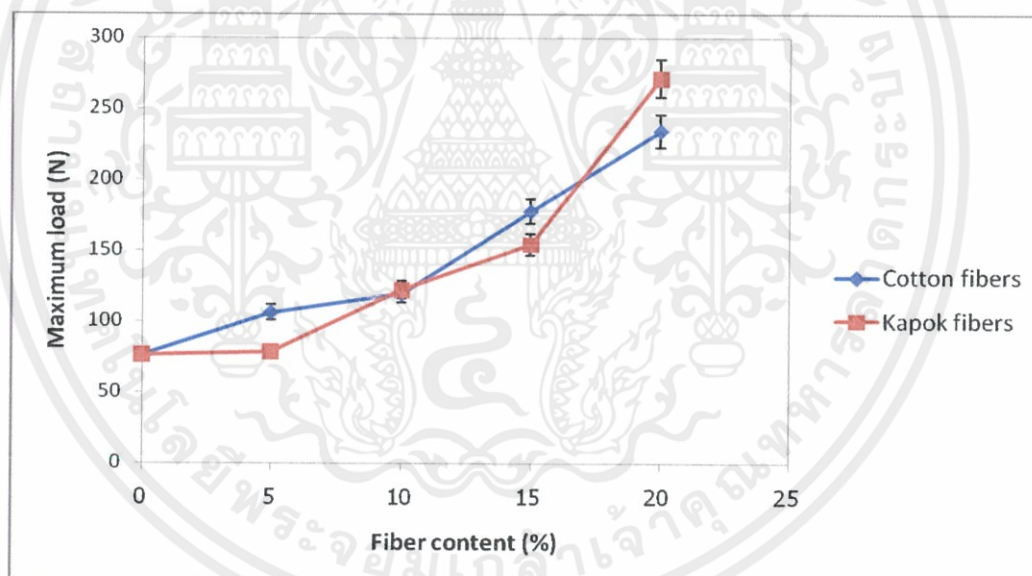
รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติโดยเส้นใยงุ่นในปริมาณ 10% และ 20% ตามลำดับ

สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยงุ่น 10% และ 20% (รูปที่ 4.5) พบว่าดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าพอลิเมอร์ผสมของ TPWRS/LDPE เนื่องจากเส้นใยงุ่นมีปริมาณ Wax มากซึ่งโดยปกติแล้วเส้นใยงุ่นเป็นเส้นใยไม่ดูดซึมน้ำแต่ดูดซึมน้ำมัน [36] เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยงุ่น 10% และ 20% พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยงุ่น 10% มี

ความสามารถในการดูดซึมน้ำน้อยกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยนุ่น 20% เนื่องจากการที่เส้นใยนุ่นมีท่อกลางที่กั้นกลางเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ซ) และรูปที่ 4.3 (ญ) ซึ่งเป็นเส้นทางในการซึมผ่านของน้ำเข้ามายังเส้นใยได้ จึงทำให้การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยนุ่น 20% มีค่ามากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยนุ่น 10% เมื่อเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยนุ่น พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยนุ่น มีแนวโน้มการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าเส้นใยฝ้าย เนื่องจากเส้นใยนุ่นมีปริมาณ Wax มากกว่าเส้นใยฝ้าย ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4

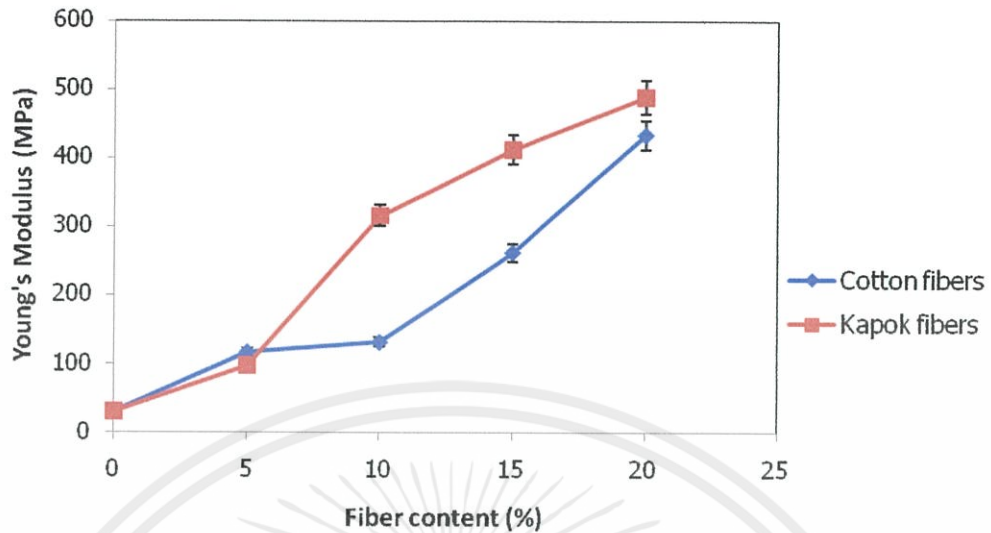
4.4 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาได้แก่ แรงดึง ความแข็งแรงดึง การดึงยืด เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และมอดุลัส ซึ่งให้ผลการทดสอบดังนี้

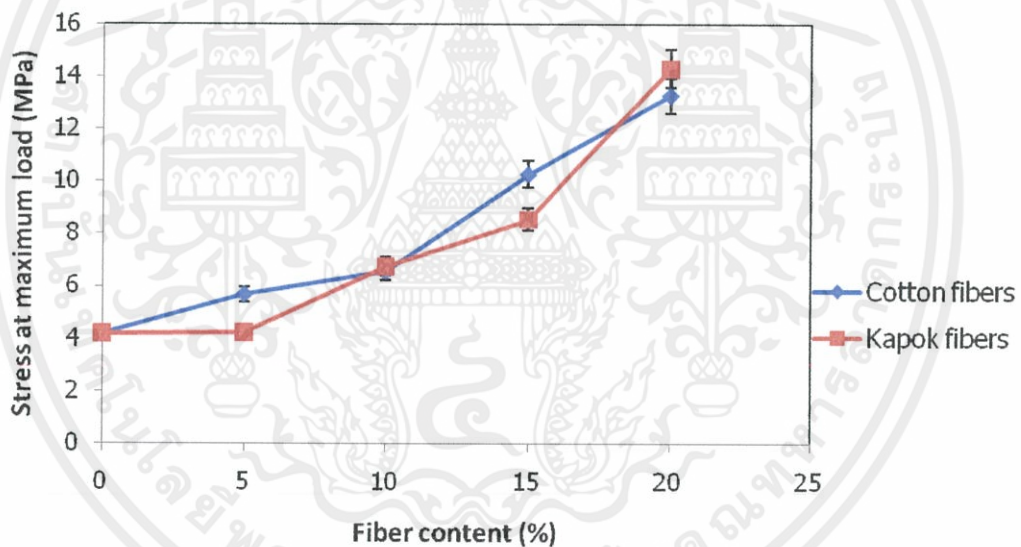


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

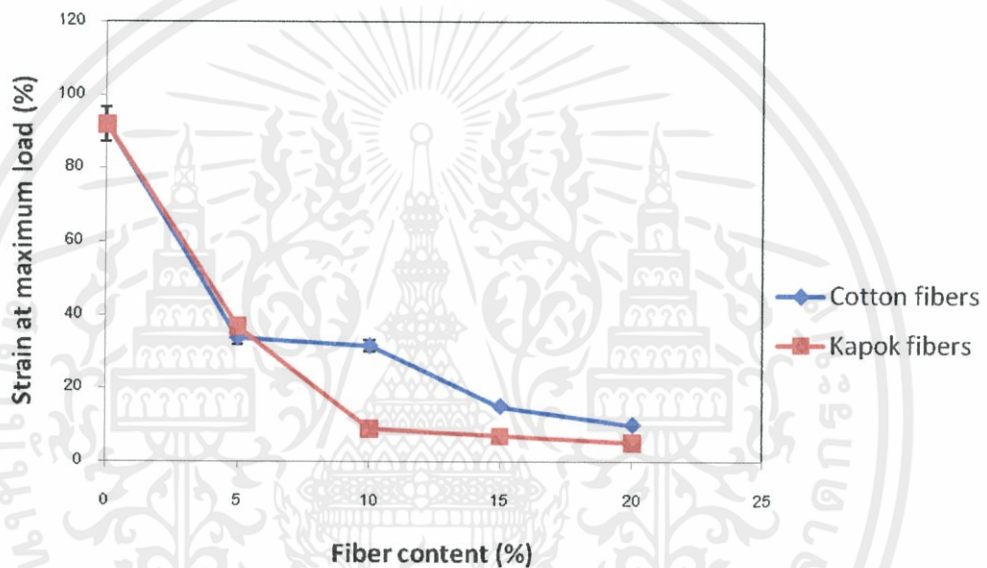


(ค)

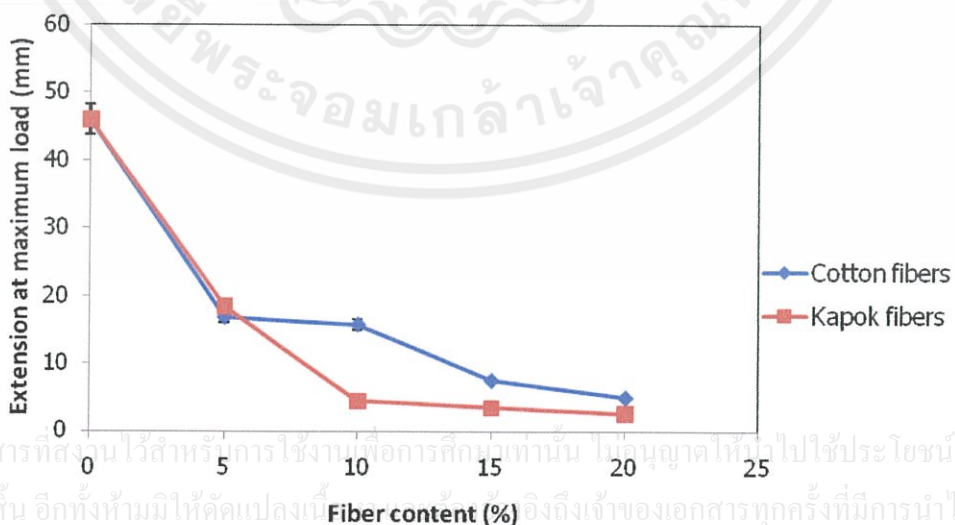
รูปที่ 4.6 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย หรือเส้นใยหนุ่น (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ (ค) ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด

จากรูปที่ 4.6 (ก)-(ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายหรือหนุ่นให้ค่าแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุดมากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ปรับปรุงอย่างชัดเจน นอกจากนี้เมื่อ ปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นทำให้แรงดึงสูงสุด มอดุลัส และความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่ใส่เข้าไปทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งสัมพันธ์

กับผลของการเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่จาก FTIR (หัวข้อ 4.1) และสัณฐานวิทยาจาก SEM (หัวข้อ 4.2) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยฝ้ายและเส้นใยนุ่น พบว่าแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยนุ่น 20% มีค่าสูงสุด เนื่องจากมีเส้นใยนุ่นกระจายตัวในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสมในปริมาณมากกว่าเส้นใยฝ้าย เพราะเส้นใยนุ่นมีความหนาแน่นน้อยกว่าเส้นใยฝ้าย จึงมีปริมาณเส้นใยนุ่นที่มากกว่าที่น้ำหนักเท่ากัน โดยพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยนุ่น 20% ทำให้แรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความเค้น ณ จุดแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น 260%, 1560% และ 240% ตามลำดับ



(ก)



(ข)

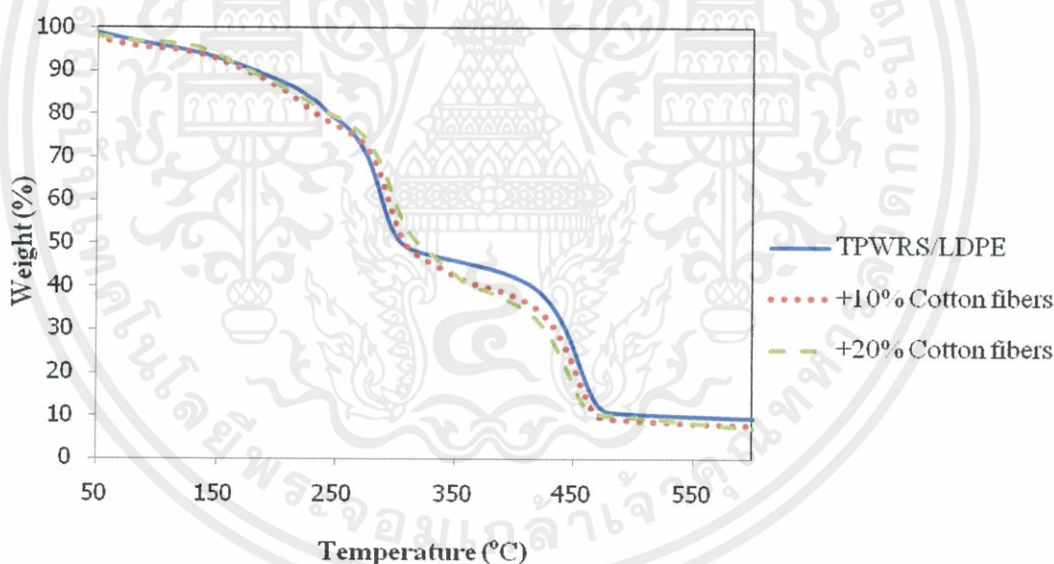
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา รวมถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยุ่นที่ปริมาณต่างๆ (ก) ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุดและ (ข) การดึงยืด

จากรูปที่ 4.7 (ก)-(ข) พบว่า การเติมเส้นใยฝ้ายและุ่นลงในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสมทำให้ค่าความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และค่าการดึงยืด มีค่าลดลงอย่างมาก เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใย มีลักษณะที่แข็งขึ้น จึงทำให้การดึงยืดมีแนวโน้มลดลง

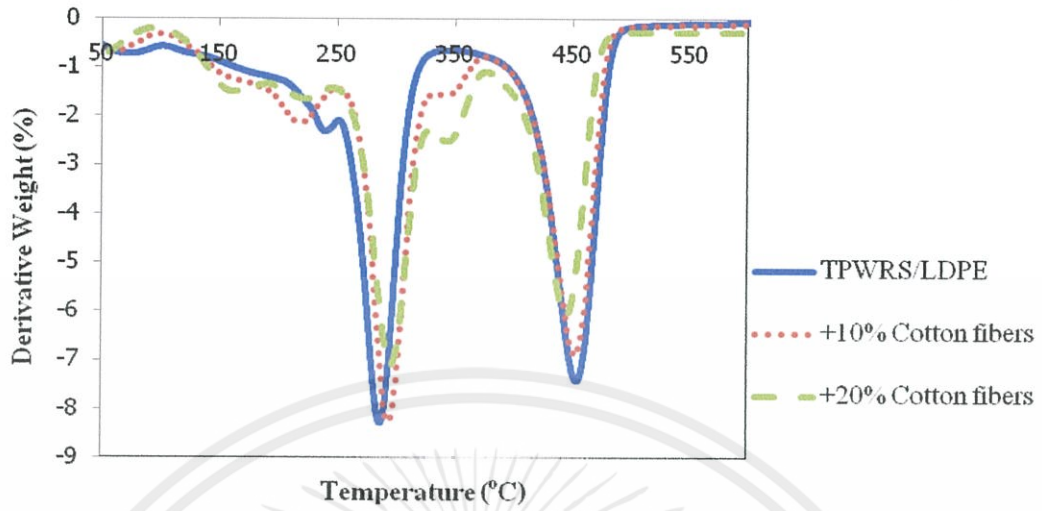
4.5 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา ได้แก่ การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature) ของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer , TGA) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (N_2) และใช้สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 50 – 600 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



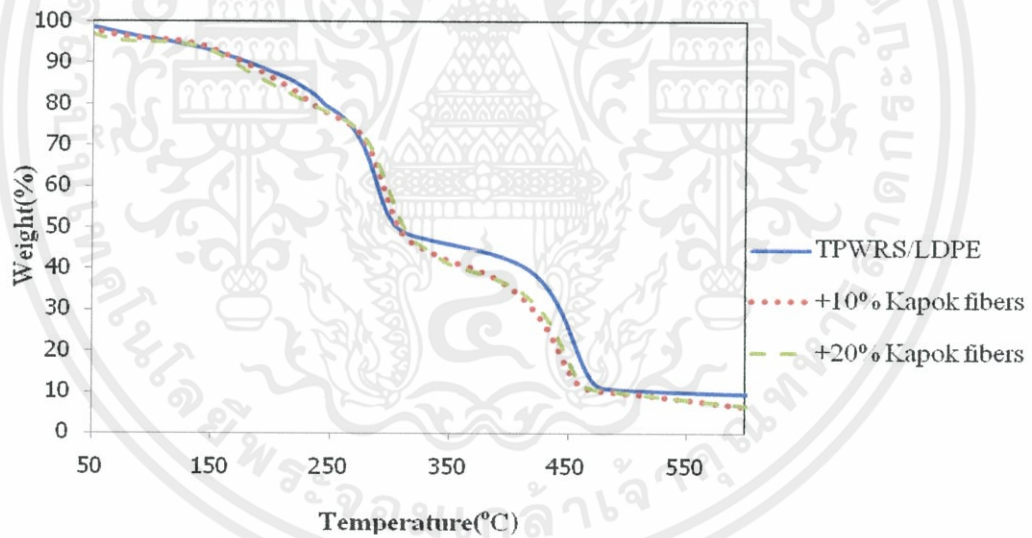
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



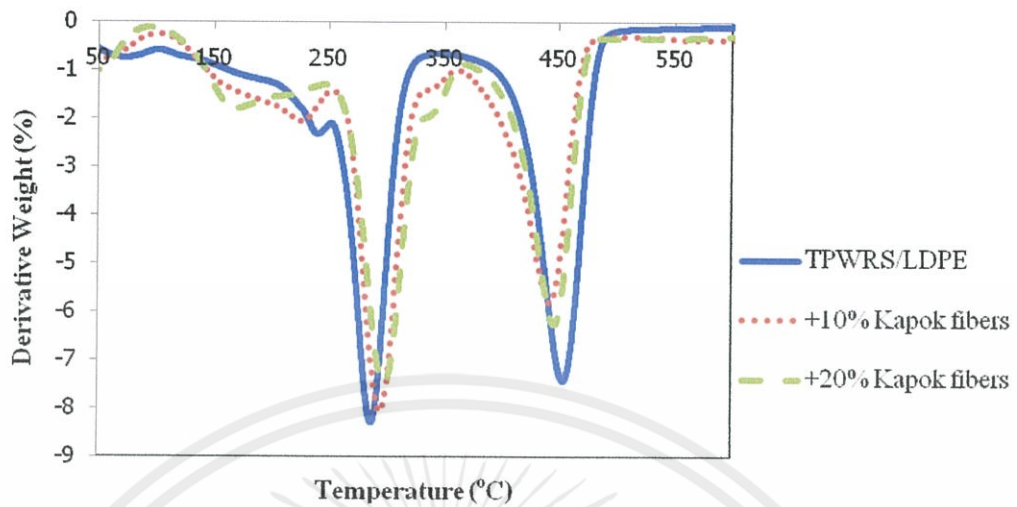
(ข)

รูปที่ 4.8 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสม TPWRS /LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.9 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสม TPWRS /LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยพืชน้ำตาล
 ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
 TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยพืชน้ำตาล

สูตร	T_d (peak) (°c)				% Weight loss (Starch)
	Glycerol	Starch	Fiber	LDPE	
TPWRS/LDPE	239.2	286.6	-	454.4	32.0
+10% cotton fibers	218.1	293.9	345.1	453.1	32.3
+20% cotton fibers	224.1	296.0	342.9	444.9	31.8
+10% kapok fibers	225.4	294.2	339.8	442.3	32.9
+20% kapok fibers	221.3	298.2	339.7	446.8	33.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้

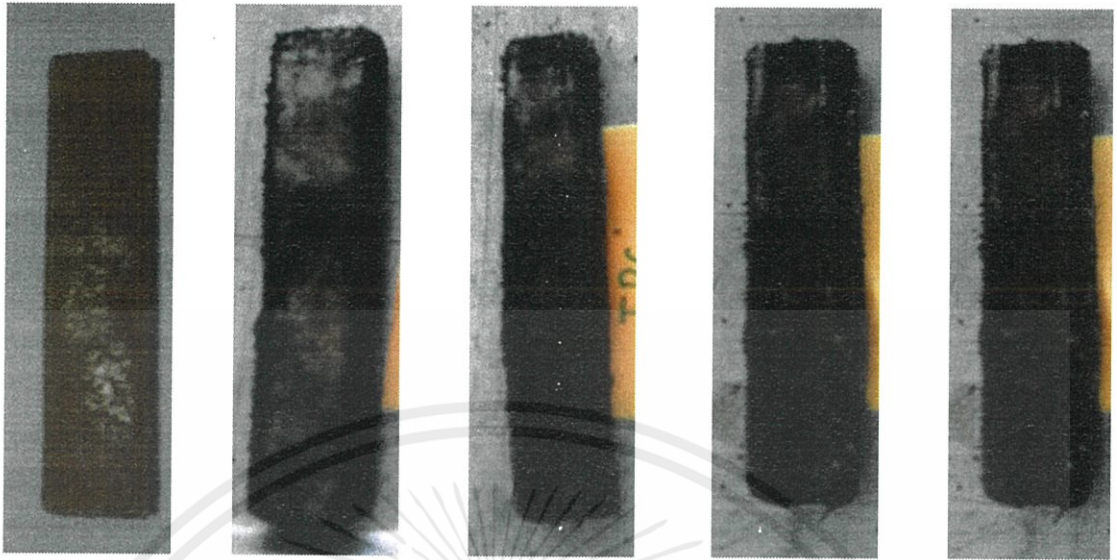
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8 พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของกาลีเซอรอลอยู่ในช่วง 220-240 °C [34] อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งอยู่ในช่วง 280-290 °C [39] อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยฝ้ายอยู่ในช่วง 340-350 °C [37] และอุณหภูมิการสลายตัวของ LDPE อยู่ในช่วง 440-450 °C [38] พบว่าการเติมเส้นใยฝ้ายลงไป ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปในช่วงของแป้งพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมีแนวโน้มที่ไม่เปลี่ยนแปลงจากการเติมเส้นใยฝ้าย แสดงว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ไม่เปลี่ยนแปลง

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.9 พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของกาลีเซอรอลอยู่ในช่วง 220-240 °C [34] อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งอยู่ในช่วง 280-300 °C [39] อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยุ่นมีค่าประมาณ 340 °C [36] และอุณหภูมิการสลายตัวของ LDPE อยู่ในช่วง 440-450 °C [38] จากการเติมเส้นใยุ่นลงไป ในเมทริกซ์ของ TPWRS/LDPE ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับเส้นใยฝ้าย เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปในช่วงของแป้งพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมีแนวโน้มที่ไม่เปลี่ยนแปลงจากการเติมเส้นใยุ่น แสดงว่าเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงจากการเติมเส้นใยุ่น

4.6 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

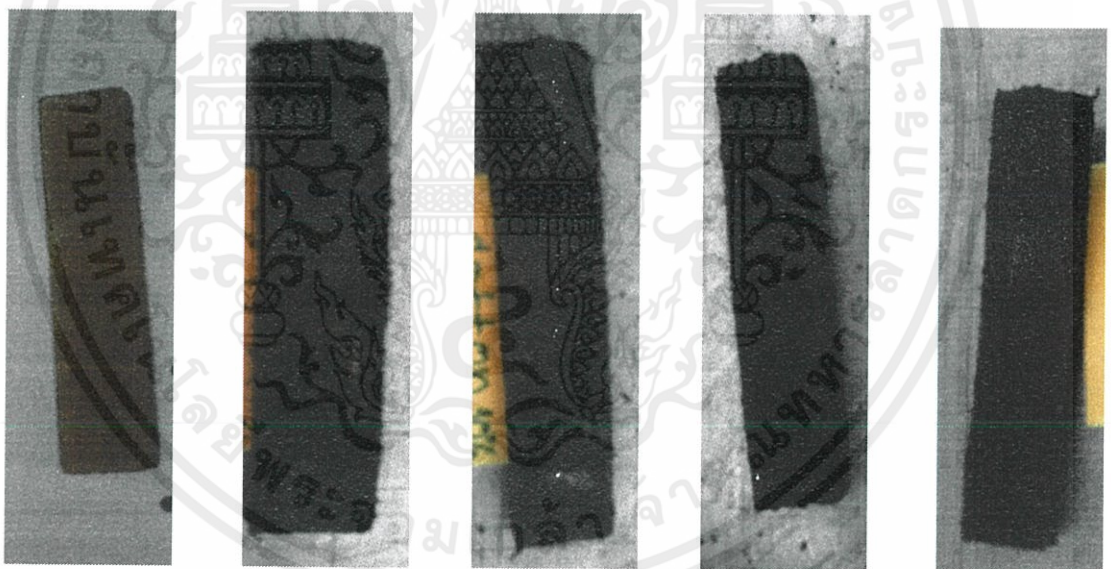
การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน ทำได้โดยนำพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยุ่นในปริมาณที่แตกต่างกัน มาทำการทดสอบโดยฝังดิน ที่มีการควบคุมความชื้นของดินที่ 30-40% เป็นเวลา 30 วัน ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(1) สัปดาห์ที่ 0 (2) สัปดาห์ที่ 1 (3) สัปดาห์ที่ 2 (4) สัปดาห์ที่ 3 (5) สัปดาห์ที่ 4

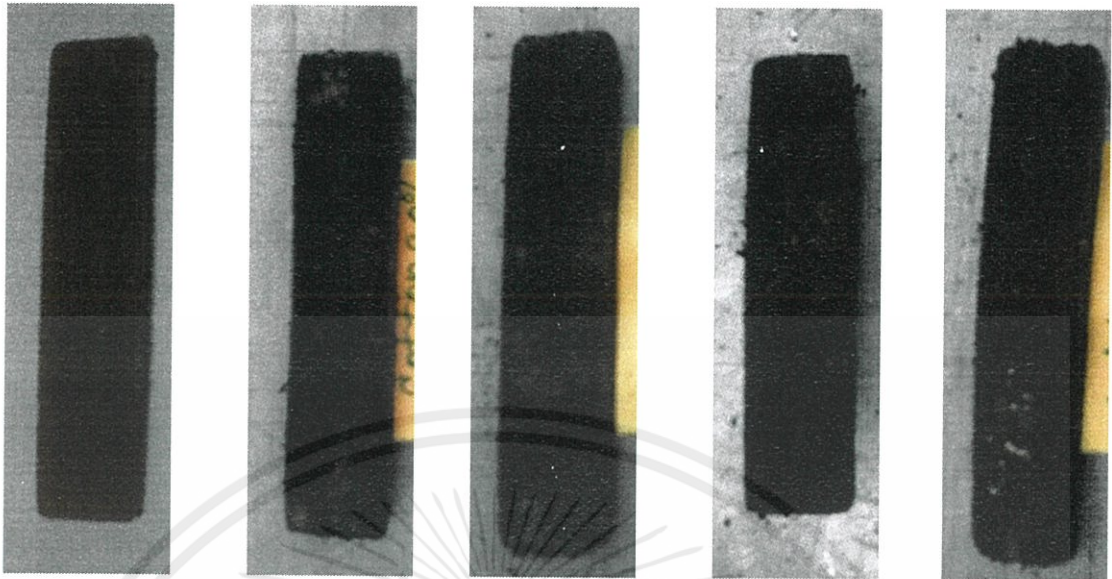
รูปที่ 4.10 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE



(1) สัปดาห์ที่ 0 (2) สัปดาห์ที่ 1 (3) สัปดาห์ที่ 2 (4) สัปดาห์ที่ 3 (5) สัปดาห์ที่ 4

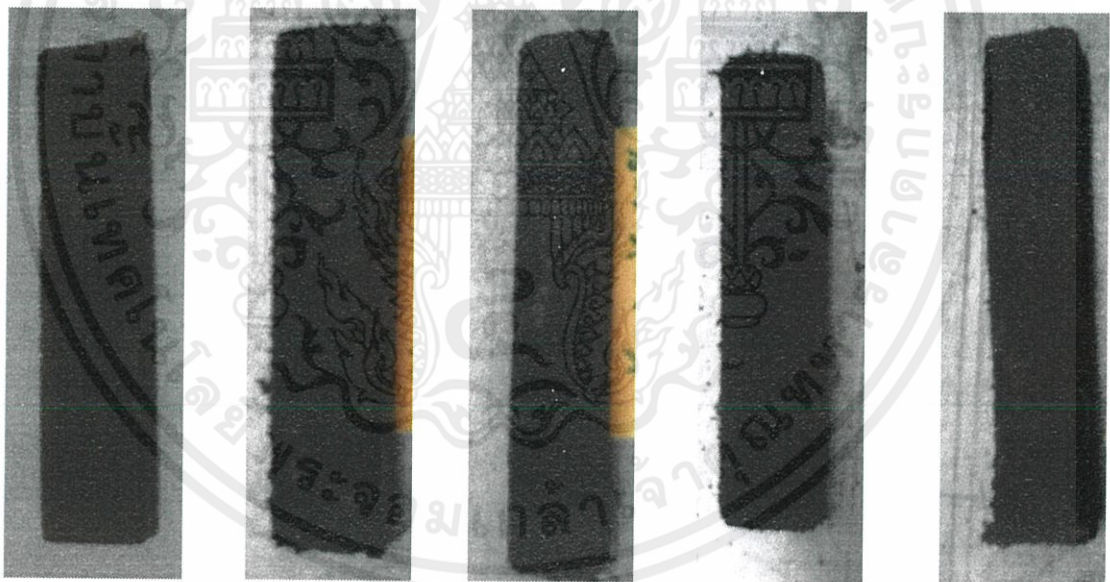
รูปที่ 4.11 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้าย 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(1) สัปดาห์ที่ 0 (2) สัปดาห์ที่ 1 (3) สัปดาห์ที่ 2 (4) สัปดาห์ที่ 3 (5) สัปดาห์ที่ 4

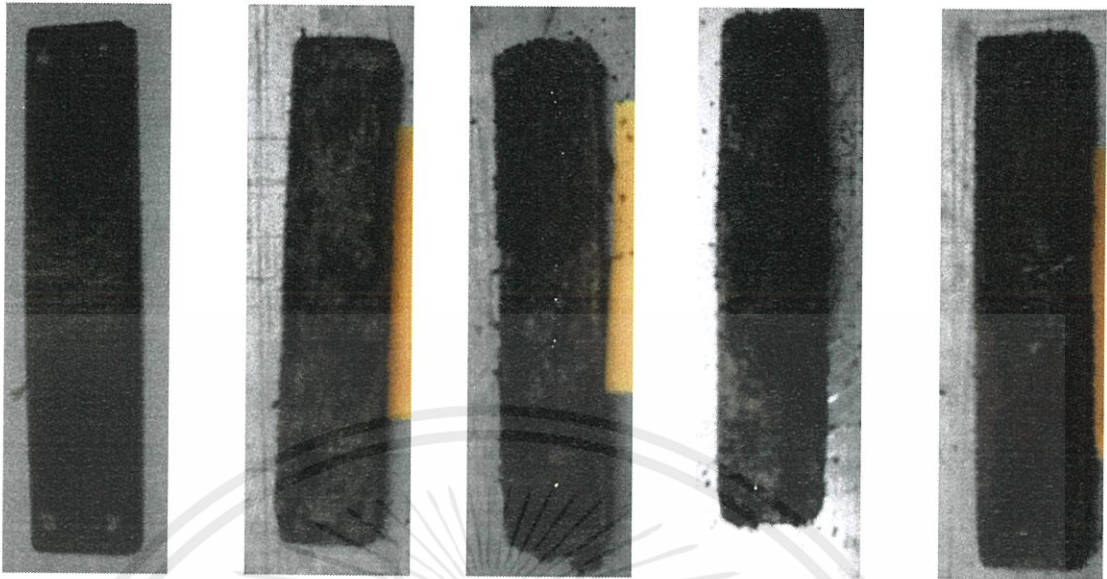
รูปที่ 4.12 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้าย 20%



(1) สัปดาห์ที่ 0 (2) สัปดาห์ที่ 1 (3) สัปดาห์ที่ 2 (4) สัปดาห์ที่ 3 (5) สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.13 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยุ่น 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(1) สัปดาห์ที่ 0 (2) สัปดาห์ที่ 1 (3) สัปดาห์ที่ 2 (4) สัปดาห์ที่ 3 (5) สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.14 การย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยุ่น 20%

จากรูปที่ 4.10 สำหรับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป ชีงงานพอลิเมอร์ผสมเริ่มยุบบริเวณผิวหน้า เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินเข้ามาย่อยแป้งที่มีอยู่บริเวณ ผิวหน้าของชีงงานและในสัปดาห์ที่ 2 มีเชื้อราบนผิวหน้าของชีงงานและมีการพองตัวเกิดขึ้น

จากรูป 4.11 และ 4.12 มีการเติมเส้นใยฝ้ายลงไป พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลง อย่างชัดเจน คือ ที่ผิวหน้าของชีงงานมีการพองตัวขึ้น แต่เพิ่มปริมาณเส้นใยฝ้าย พบว่ามีการพองตัว ลดลงเนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีสภาพขั้วน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียว แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยฝ้าย ความสามารถในการย่อยสลายมีแนวโน้มลดลง

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 มีการเติมเส้นใยุ่นลงไป พบว่า ตลอดทั้งการทดสอบการย่อย สลาย ที่ผิวของชีงงานมีการพองตัวเล็กน้อยเนื่องจากุ่นมีปริมาณ Wax มาก ไม่ดูดซับน้ำแต่ดูดซับ น้ำมัน [35] จึงมีการพองตัวน้อยกว่าการเติมเส้นใยฝ้าย และในสัปดาห์ที่ 2 พบเชื้อราบนผิวหน้าของ ชีงงาน แต่เพิ่มปริมาณเส้นใยุ่นพบว่า มีการพองตัวลดลง จากการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยฝ้าย และุ่นพบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย มีการย่อยสลายที่เร็วกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ ปรับปรุงด้วยเส้นใยุ่น เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมากกว่าเส้นใยุ่น จึง เป็นแหล่งที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และนอกจากนี้พอลิเมอร์ผสมยังสามารถดูดซึมน้ำ ได้ดีกว่า ซึ่งสัมพันธ์กับผลของการดูดซึมน้ำ (หัวข้อ 4.3)

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินสามารถสรุปได้ว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE มีแนวโน้มการย่อยสลายเร็วที่สุดและพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่น 20% มีแนวโน้มการย่อยสลายช้าที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ย่อยสลายได้จากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาปรับปรุงสมบัติโดยผสมกับเส้นใยฝ้ายหรือเส้นใยถั่วในปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20 % จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FTIR พบว่าการเติมเส้นใยฝ้ายและเส้นใยถั่วลงในพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE นั้น ทำให้แถบการสั่นของ OH-stretching มีการเลื่อนตำแหน่ง (Shift) ไปในตำแหน่งที่ลดลง แสดงว่ามีการเกิดพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นใหม่

2. การศึกษาการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยถั่วในปริมาณต่างๆ พบว่าการเติมเส้นใยฝ้ายและเส้นใยถั่วลงในพอลิเมอร์ผสมของ TPWRS/LDPE ทำให้การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมลดลงและการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยถั่วมีค่าน้อยกว่าเส้นใยฝ้าย

3. จากลักษณะของภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมของ TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติโดยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยถั่วในปริมาณต่างๆ กัน พบว่าพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ โดยที่พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยถั่ว พบว่ามีลักษณะของเส้นใยกระจายตัวบนพื้นผิวและพบลักษณะของ Surface wetting บนพื้นผิวของเส้นใย

4. จากสมบัติเชิงกลสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยถั่ว 20% มีสมบัติเชิงกลสูงที่สุด เนื่องจากมีค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดูลัส และแรงดึงสูงที่สุด ส่วนพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE ที่ไม่ได้ปรับปรุงมีค่าความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุดและค่าการดึงยืดสูงสุด

5. จากการทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่า เส้นใยฝ้ายหรือเส้นใยถั่วช่วยปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นอุทกกรรมการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS และ LDPE ได้ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากการศึกษาการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE มีอัตราเร็วในการย่อยสลายเร็วที่สุดและพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยนุ่น 20% มีอัตราในการย่อยสลายช้าที่สุด

7. จากการศึกษา พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWRS/LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่น 20% มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด โดยพิจารณาจากสมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซึมน้ำและสมบัติการย่อยสลาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้มีสีค่อนข้างเข้ม จึงอาจศึกษาการเติมผงสี (Pigment) เช่น TiO_2 เพื่อให้ชิ้นงานมีสีที่ดียิ่งขึ้น
2. ศึกษาการเติมส่วนเสริมแรง เช่น เส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมให้ดีขึ้น
3. ศึกษาสมบัติเชิงกลของชิ้นงานหลังจากฝังดิน เพื่อศึกษาการย่อยสลายเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.thaigoodview.com/node/17034> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [2] http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/03-foods/rungrong/food_00.html (สืบค้นข้อมูลวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [3] http://www.biogang.net/biodiversity_view.php?menu=biodiversity&uid=4225&id=127099 (สืบค้นข้อมูลวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [4] <http://jimmiehom.blogspot.com/2010/04/blog-post.html> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [5] <http://202.28.48.140/isaninfo/?p=164> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [6] นิสานาถ หลิมศิริวงษ์, รัชชนา คงจินตคามุณี, สุภาวรัตน์ สุระกิจ. “การปรับปรุงสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้ผงวุ้นและเส้นใยฝ้าย.”โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .2553.
- [7] http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.html (สืบค้นข้อมูลวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [8] http://www.tbia.or.th/th/post.php?post_id=26 (สืบค้นข้อมูลวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [9] http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/usage_de_plas.html (สืบค้นข้อมูลวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [10] <http://www.european-bioplastics.org> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [11] http://www.thaitapiocastarch.org/article26_th.asp (สืบค้นข้อมูลวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [12] <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2555)

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ ศิริรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, “เทคโนโลยีของแป้ง.” พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาติดต่อผู้พิมพ์. กรุงเทพฯ. 2543. เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/starch.htm (สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [15] อรุษา สรวารี. “สารเติมแต่งพอลิเมอร์เล่ม1.” ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.
- [16] มณฑา จันทร์เกิดเล็ก. “วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น.” ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร. 2541.
- [17] http://guru.sanook.com/encyclopedia/%E0%B8%99%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99_%28kapok%29/ (สืบค้นข้อมูลวันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [18] www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1586/ldpe-low-density-polyethylene (สืบค้นข้อมูลวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [19] Liqun Yang, Farao Zhang, Takashi Endo, Takahiro Hirotsu, “Structural characterization of maleic anhydride grafted polyethylene by ^{13}C NMR spectroscopy.” *Polymer*. 43(2002) 2591–2594.
- [20] <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/456624?lang=en®ion=TH> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [21] http://www.eng.su.ac.th/che/old53/faculty_and_staff/sirirat/slide_polymer_processing53.pdf/PP_8.pdf (สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [22] <http://www.pmolds.com/news/4/57/The-injection-molding-process/> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [23] นรศิษฎ์ จันทร์ภู. “การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.
- [24] ธชพร สมานพงษ์, นพคุณ รุ่งรักษา, อัจฉาพรรณ ไทรทอง. “ฟิล์มเป่าเทอร์โมพลาสติกสตาเรช จาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานวิจัยฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดได้
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[25] กิตติวุฒิ ธรรัตน์พัฒนกิจ, พชร เทียมธรรมา, ราชวัลลภ แจ่มมงคล. “การศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้เพื่อใช้ในการฉีดขึ้นรูป.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.

[26] คารินทร์ โพธิ์ศรี, ลักษณ์า หอมมณี, ปาริชาติ จิรภัคเสถียร “การเตรียมและการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งถั่วเขียวด้วยเส้นใยฝ้ายและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.

[27] H. A. Pushpadass, P. Bhandari and M. A. Hanna. ”Effect of LDPE and glycerol contents and compounding on the microstructure and properties corn starch composite films.” Carbohydrate polymers. 82 (2010) 1082-1089.

[28] R. Shi . Q .Liu, T . Ding,Y. Ha, L. Zhang, D.Chan and W.Tian. “Ageing of soft Thermoplastic Starch with High Glycerol Content.”, Journal of Applied Polymer Science. 103 (2007) 574-586.

[29] C. M.O. Müller, J. B. Laurindo and F. Yamashita. “Effect of cellulose fobers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films.” Food Hydrocolloids. 23 (2009) 1328–1333.

[30] W. Shujun, Y. Jiugao and Y. Jinglin. “Preparation and Characterization of Compatible Thermoplastic starch/Polyethylene Blends.” Polymer Degradation and Stability. 87 (2005) 395–401.

[31] R. Nawang, I.D. Danjaji, U.S. Ishiaku and Z.A. Mohd Ishak. “Mechanical properties of sago starch-filled linear low density polyethylene (LLDPE) composites.” Material Properties. 20 (2011) 167-172.

[32] L. Dobricau, P.A. Sreekumer, R. Satah, N. Leblanc, C. Terrie, R. Gattin and J.M. Saiter.

เอกสารนี้เป็น “Wheat flour thermoplastic matrix reinforced by waste cotton fibre : Agro-green composites.” ถ้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม การนำเอกสารฉบับนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์จะถือว่าผิดกฎหมาย

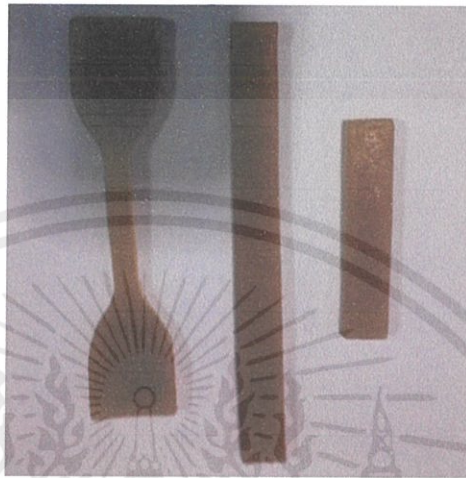
Composites Part A : Applied Science and Manufacturing, 40 (2009) 329-334.

- [33] M. Mucha and P. Pawlak, "Thermal analysis of chitosan and its blend." *Thermochimica Acta*, 427 (2005) 69-76.
- [34] A.A.S. Curvelo, A.J.F. Carvalho and J.A.M. Agnelli. "Thermoplastic starch cellulosic fibers composites preliminary results." *Carbohydrate Polymers*, 45 (2001) 183-188
- [35] R.S. Rengasamy, D. Das and C.P. Karan. "Study of oil sorption behavior of filled and structured fiber assemblies made from polypropylene, kapok and milkweed fibers." *Hazardous Materials*, 186 (2011) 526-532.
- [36] K. Hori, M.E. Flavier, S. Kuga, T.T. Lam and K. Iiyama. "Excellent oil absorbent kapok [Ceiba pentandra (L.) Gaertn]. fiber : fiber structure, chemical characteristics, and application." *The Japan Wood Research Society*. 46 (2000) 401-404.
- [37] N. Abidi, E. Hegnet and D. Ethridge. 2007. "Thermo gravimetric Analysis of Cotton Fibers : Relationships with Maturity and Fineness". *Journal of Applied Polymer Science*, 103 : 3476-3482
- [38] S.K. Singh, S.P. Tambe, A.B. Samui, V.S. Raja and Dharendra Kumar. "Maleic acid grafted low density polyethylene for thermally sprayable anticorrosive coatings." *Progress in Organic Coatings*, 55 (2006) 20-26
- [39] L. Dobircau, P.A. Sreekumar, R. Satah, N. Leblanc, C. Terrie, R. Gattin and J.M.Saiter. "Wheat flour thermoplastic matrix reinforced by waste cotton fibre : Agro-green composites." *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, 40 (2009) 329-334.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ลักษณะชิ้นงาน



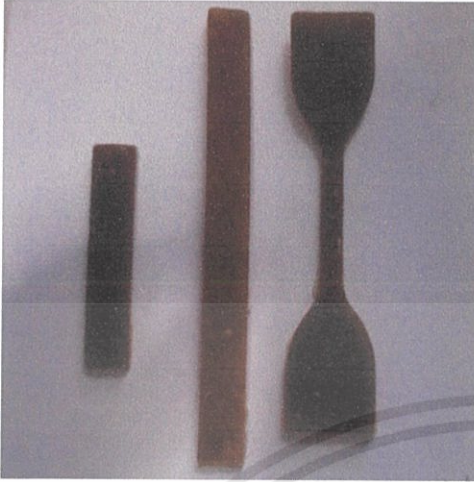
รูปที่ ก.1 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE



รูปที่ ก.2 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 5%

รูปที่ ก.3 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป
พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 15%



รูปที่ 4.5 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป
พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้าย 20%



รูปที่ 4.6 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป
พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยถ่าน 5%



รูปที่ 4.6 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป
พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยถ่าน 10%

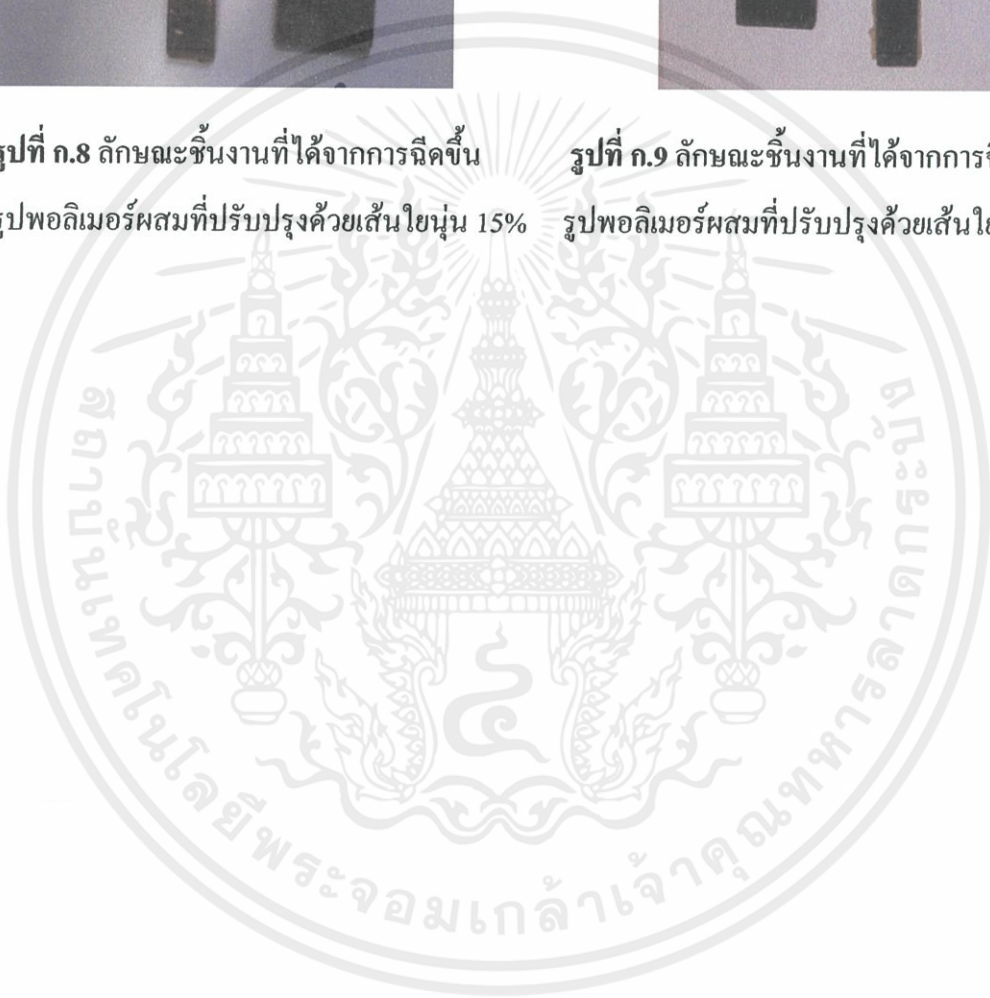
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.8 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยคาร์บอน 15%



รูปที่ ก.9 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยเส้นใยคาร์บอน 20%

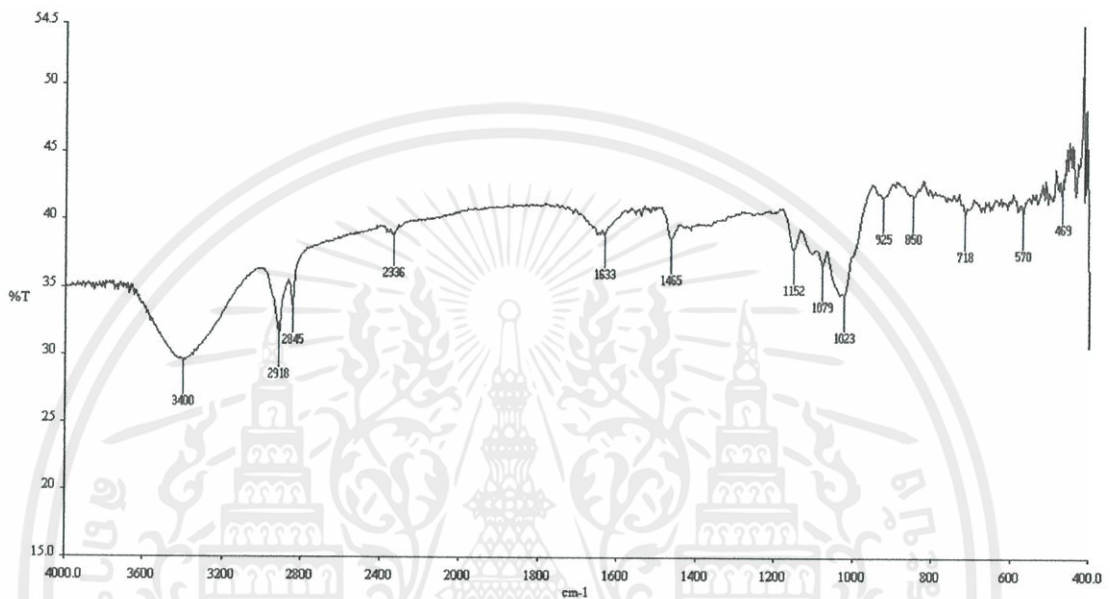


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

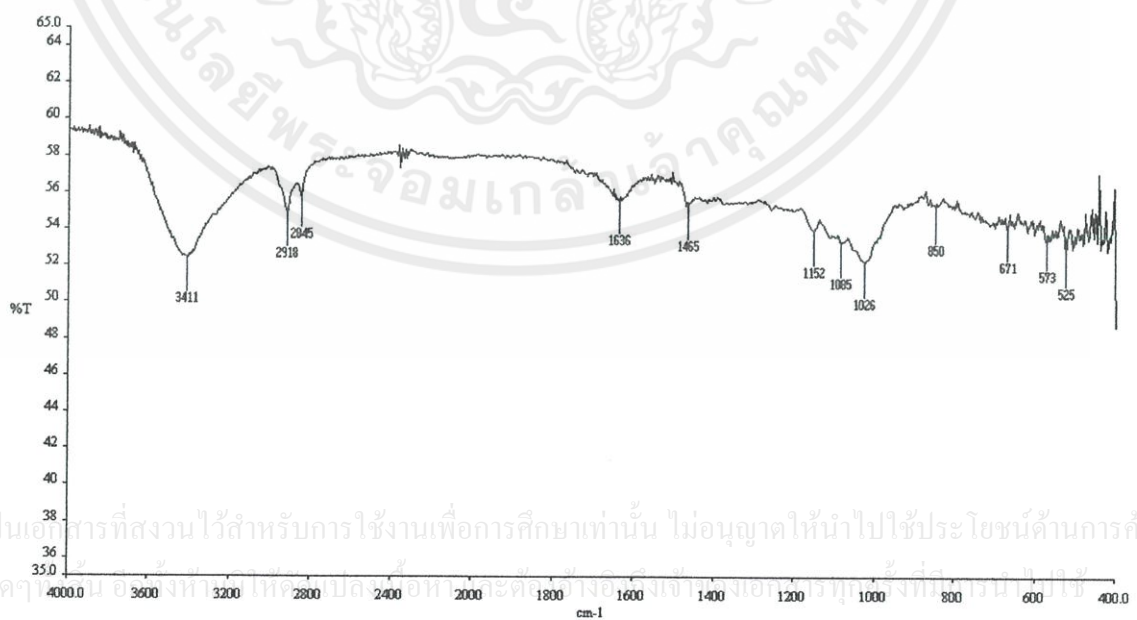
ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

รูปที่ ข.1 FTIR spectrum ของพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE

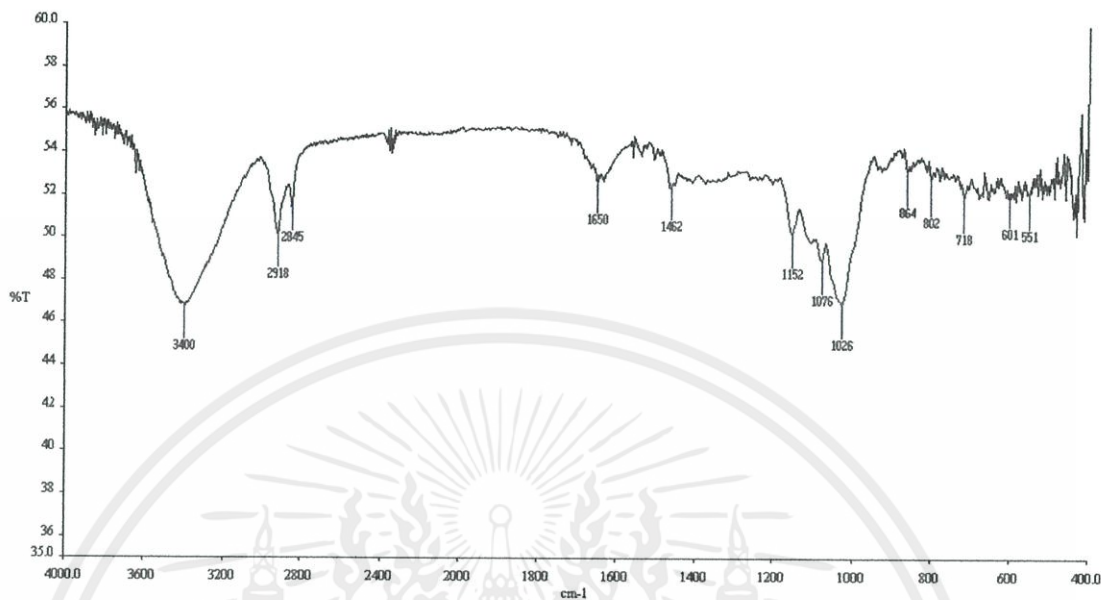


รูปที่ ข.2 FTIR spectrum ของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 10% Cotton fibers

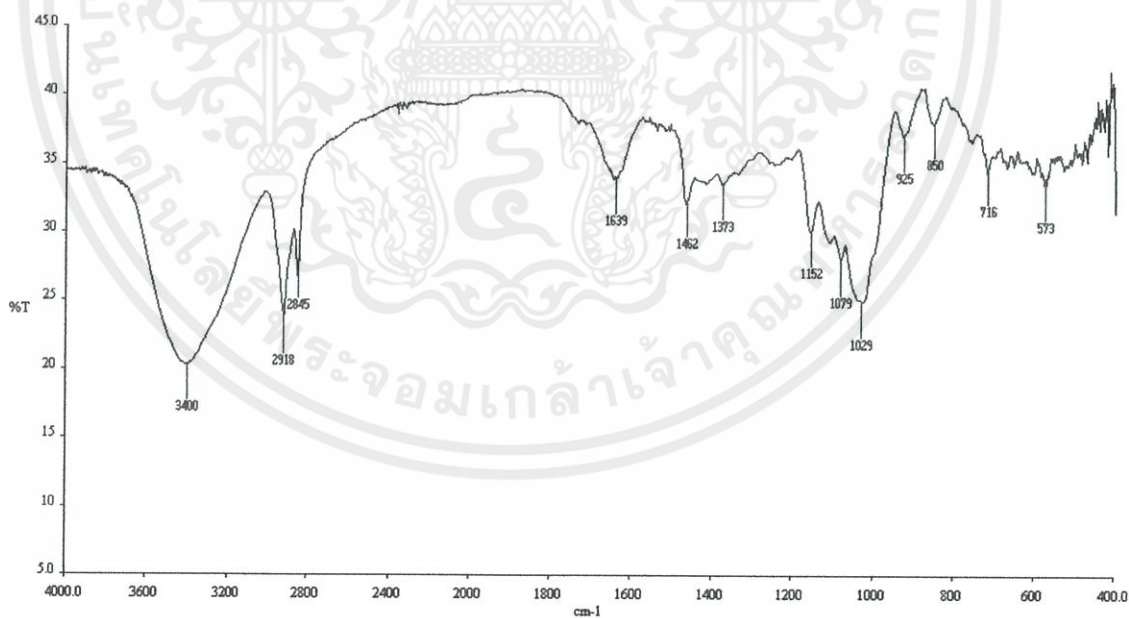


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขอสงวนสิทธิ์ไว้แก่ผู้จัดทำเอกสารนี้ไว้

รูปที่ ข.3 FTIR spectrum ของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 20% Cotton fibers

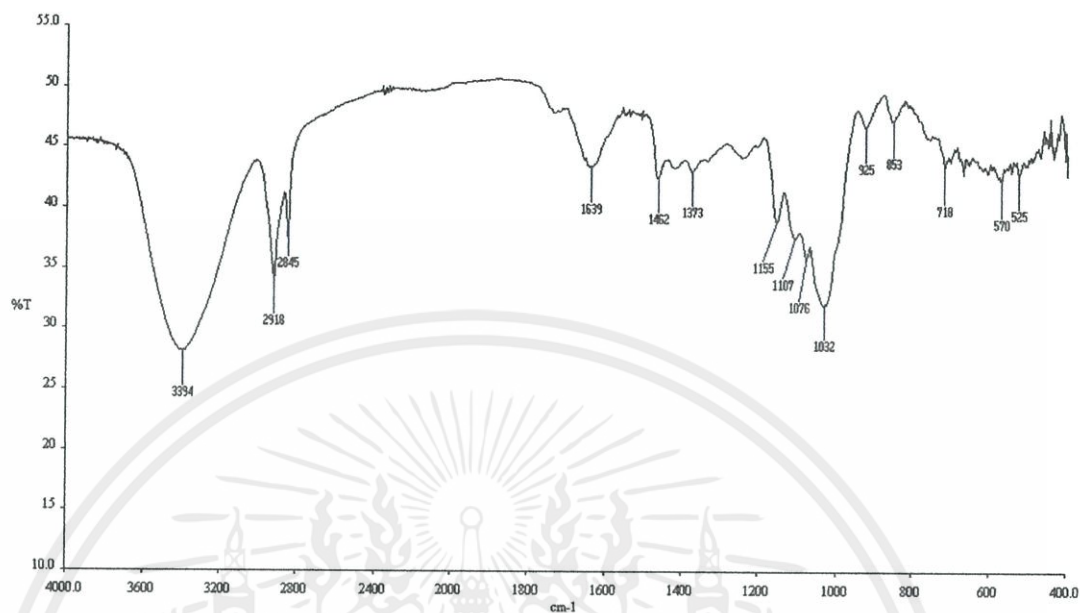


รูปที่ ข.4 FTIR spectrum ของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 10% Kapok fibers

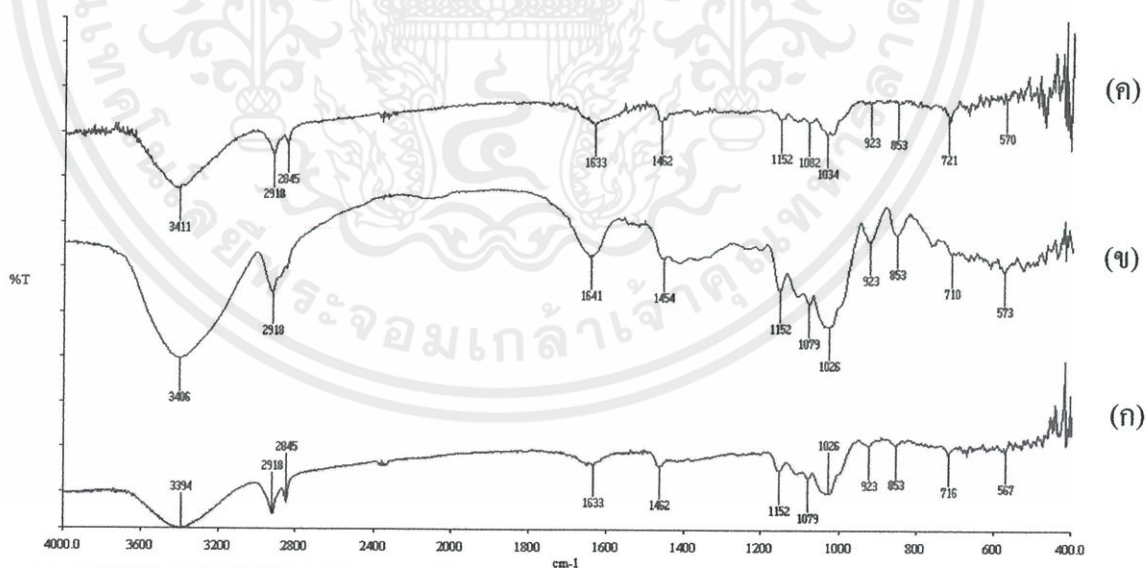


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.5 FTIR spectrum ของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 20% Kapok fibers



รูปที่ ข.6 FTIR spectrum ของ (ก) TPWRS (ข) TPWRS/MAPE และ (ค) LDPE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การดูดซึมน้ำ

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซ็นค้ำน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบด้วยการดูดซึมน้ำ

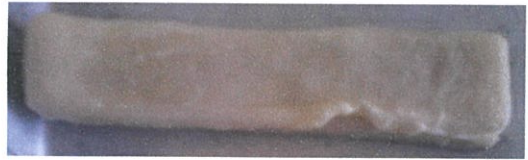
วันที่	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ				
	TPWRS/LDPE	TPWRS/LDPE +10%Cotton fibers	TPWRS/LDPE +20%Cotton fibers	TPWRS/LDPE +10%Kapok fibers	TPWRS/LDPE +20%Kapok fibers
0	0	0	0	0	0
1	65.2	55.7	52.7	37.7	22.4
2	68.2	59.3	47.7	36.8	27.7
3	70.2	57.2	46.8	35.9	26.6
4	69.1	55.1	42.7	28.8	24.7
5	61.9	52.2	42.8	25.1	23.3
6	53.9	52.1	43.1	21.8	19.1
7	52.9	48.9	40.2	18.9	20.4
10	49.1	40.2	34.5	14.0	18.5
12	48.1	40.2	36.5	12.4	18.5
14	47.2	42.9	31.1	10.9	16.3
16	46.2	41.8	32.1	10.5	15.7
18	43.2	40.6	31.1	12.4	20.3
20	43.0	42.2	30.9	13.1	21.7
22	42.9	39.8	30.3	10.7	12.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.1 ชิ้นงานที่ได้จากการดูดซึมน้ำ TPWRS/LDPE



(1.1) สัปดาห์ที่ 0



(1.2) สัปดาห์ที่ 1



(1.3) สัปดาห์ที่ 2



(1.4) สัปดาห์ที่ 3

รูปที่ ค.2 ชิ้นงานที่ได้จากการดูดซึมน้ำพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 10% Cotton fibers



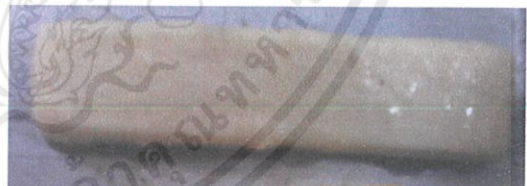
(1.1) สัปดาห์ที่ 0



(1.2) สัปดาห์ที่ 1



(1.3) สัปดาห์ที่ 2



(1.4) สัปดาห์ที่ 3

รูปที่ ค.3 ชิ้นงานที่ได้จากการดูดซึมน้ำพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 20% Cotton fibers



(1.1) สัปดาห์ที่ 0



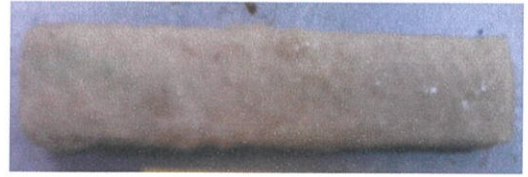
(1.2) สัปดาห์ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

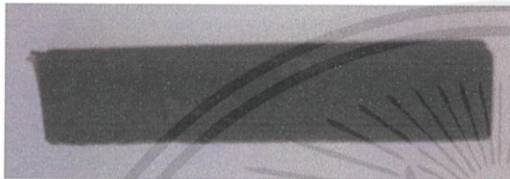


(1.3) สัปดาห์ที่ 2

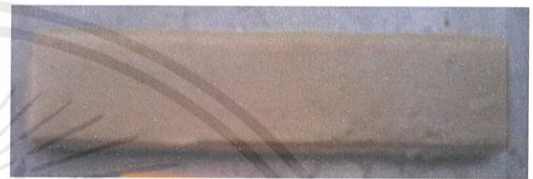


(1.4) สัปดาห์ที่ 3

รูปที่ ค.4 ชิ้นงานที่ได้จากการดูดซึมน้ำพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 10% Kapok fibers



(1.1) สัปดาห์ที่ 0



(1.2) สัปดาห์ที่ 1



(1.3) สัปดาห์ที่ 2



(1.4) สัปดาห์ที่ 3

รูปที่ ค.5 ชิ้นงานที่ได้จากการดูดซึมน้ำพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 20% Kapok fibers



(1.1) สัปดาห์ที่ 0



(1.2) สัปดาห์ที่ 1



(1.3) สัปดาห์ที่ 2



(1.4) สัปดาห์ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

ตารางที่ ง.1 สมบัติเชิงกลของ TPWRS/LDPE

Sample Number	Maximum load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
Sample 1	76.30	4.06	46.60	93.20	29.67
Sample 2	79.14	4.04	53.94	107.89	36.66
Sample3	71.89	3.94	43.95	87.90	22.91
Sample 4	79.99	4.85	43.96	87.92	32.22
Sample 5	73.73	4.01	41.43	82.85	26.13
Mean	76.22	4.18	45.98	91.95	29.52
Std dev	3.45	0.38	4.81	9.63	5.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 5% Cotton fibers

Sample Number	Maximum load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
Sample 1	102.67	5.68	15.67	28.34	110.79
Sample 2	103.51	5.34	14.17	32.73	122.33
Sample3	112.38	5.76	16.37	41.76	108.94
Sample 4	108.94	5.76	20.88	34.24	86.87
Sample 5	103.63	5.86	17.12	31.35	151.36
Mean	106.23	5.68	16.84	33.69	116.06
Std dev	4.24	0.20	1.73	5.01	23.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 10% Cotton fibers

Sample Number	Maximum load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
Sample 1	118.91	6.38	17.41	34.82	126.96
Sample 2	114.67	6.51	15.39	30.79	108.54
Sample3	115.23	6.40	12.66	25.32	123.59
Sample 4	123.12	6.59	16.60	33.20	129.18
Sample 5	125.04	6.92	16.77	33.53	166.00
Mean	119.39	6.57	15.78	31.54	130.85
Std dev	4.63	0.22	1.39	3.76	21.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.4 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 15% Cotton fibers

Sample Number	Maximum load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
Sample 1	174.05	9.92	9.14	18.27	201.28
Sample 2	172.58	9.99	6.37	12.74	288.52
Sample3	203.89	11.70	6.05	12.11	289.79
Sample 4	165.03	9.46	8.98	17.95	265.48
Sample 5	172.51	10.24	7.07	14.18	262.96
Mean	177.61	10.27	7.53	15.05	261.61
Std dev	15.11	0.85	1.22	2.90	35.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 20% Cotton fibers

Sample Number	Maximum load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
Sample 1	235.83	12.85	5.03	10.05	490.65
Sample 2	238.61	13.00	4.93	9.86	372.63
Sample3	246.23	14.52	5.11	10.21	470.83
Sample 4	223.75	13.04	5.40	10.80	331.52
Sample 5	226.47	12.93	4.31	8.82	499.47
Mean	234.13	13.27	4.96	9.96	433.02
Std dev	9.16	0.70	0.27	0.72	76.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๖.6 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 5% Kapok fibers

Sample Number	Maximum load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
Sample 1	86.51	4.86	18.42	36.84	86.08
Sample 2	76.41	3.87	17.25	34.49	94.08
Sample 3	78.34	4.07	16.34	32.68	77.56
Sample 4	73.85	4.28	21.07	42.13	104.50
Sample 5	78.26	4.05	19.21	38.41	121.33
Mean	78.67	4.23	18.46	36.91	96.71
Std dev	4.74	0.38	1.34	3.65	16.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 10% Kapok fibers

Sample Number	Maximum load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
Sample 1	122.70	6.72	4.53	9.06	313.68
Sample 2	128.65	7.22	4.28	8.57	282.53
Sample3	123.40	7.03	4.88	9.76	320.66
Sample 4	121.78	6.71	4.09	8.18	279.30
Sample 5	114.33	6.11	4.28	8.55	381.14
Mean	122.17	6.76	4.41	8.83	315.46
Std dev	5.13	0.42	0.23	0.61	41.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๖.8 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 15% Kapok fibers

Sample Number	Maximum load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
Sample 1	135.83	8.21	3.35	6.70	340.88
Sample 2	121.04	7.33	3.18	6.35	517.71
Sample 3	127.63	6.62	2.70	5.41	342.57
Sample 4	150.19	6.91	4.12	8.25	494.27
Sample 5	141.95	8.84	3.75	7.51	362.87
Mean	135.33	7.59	3.42	6.85	411.66
Std dev	11.49	0.92	0.41	1.09	86.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๙.๑ สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 20% Kapok fibers

Sample Number	Maximum load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
Sample 1	264.21	14.97	5.03	5.08	481.96
Sample 2	267.29	13.67	4.93	5.01	492.01
Sample 3	276.49	14.72	5.11	5.21	464.00
Sample 4	263.69	13.98	5.40	5.01	477.83
Sample 5	285.99	15.14	4.31	5.07	527.82
Mean	271.53	14.32	4.96	5.08	488.72
Std dev	9.57	0.60	0.27	0.08	24.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การย่อยสลาย

ตารางที่ จ.1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบการฝังดิน

วันที่	เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย				
	TPWRS/LDPE	TPWRS/LDPE +10% Cotton fibers	TPWRS/LDPE +20% Cotton fibers	TPWRS/LDPE +10% Kapok fibers	TPWRS/LDPE +20% Kapok fibers
0	0	0	0	0	0
1	35.12	36.88	33.20	35.01	20.94
2	57.68	57.82	39.79	44.64	25.41
3	68.13	56.62	36.16	39.80	28.24
4	70.31	52.52	31.66	36.12	27.68
5	66.26	45.05	27.20	27.93	24.81
6	58.36	31.84	16.45	19.99	21.08
7	44.87	16.82	6.80	9.04	17.75
10	13.69	-6.48	-8.08	-8.64	7.13
12	-8.93	-18.90	-18.69	-19.92	-6.05
14	-14.52	-22.21	-20.38	-22.22	-6.83
16	-25.67	-28.64	-24.94	-27.36	-14.04
18	-23.51	-24.48	-18.48	-25.14	-12.21
20	-24.11	-24.65	-19.78	-26.09	-12.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้คิดเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขและต้องอ้างอิงจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

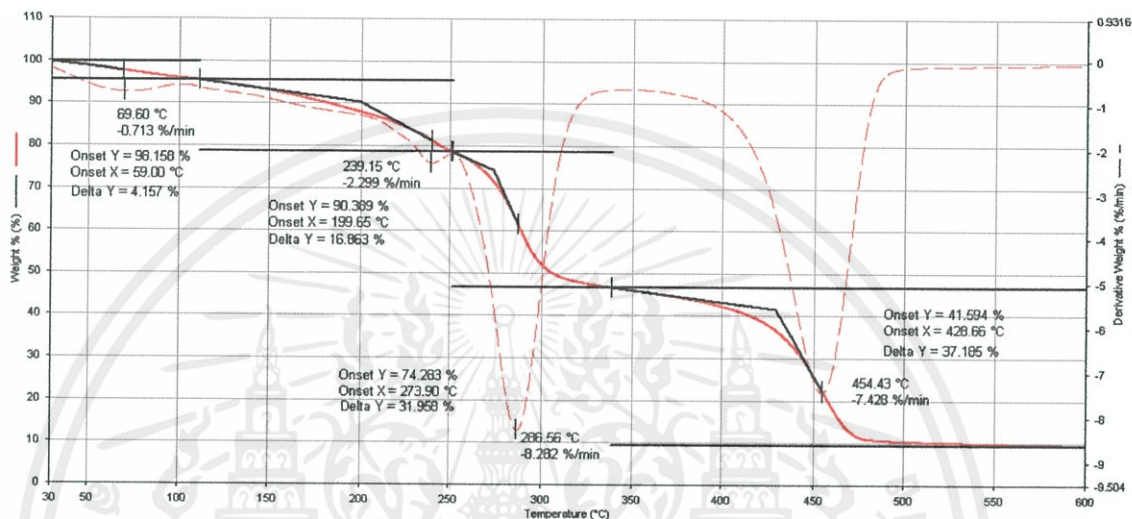
วันที่	เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย				
	TPWRS/LDPE	TPWRS/LDPE +10% Cotton fibers	TPWRS/LDPE +20% Cotton fibers	TPWRS/LDPE +10% Kapok fibers	TPWRS/LDPE +20% Kapok fibers
22	-28.25	-27.51	-22.50	-28.95	-15.37
24	-31.50	-29.19	-23.58	-30.63	0.22
28	-33.77	-30.83	-23.91	-32.07	-17.79
30	-34.14	-31.80	-26.04	-33.47	-19.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

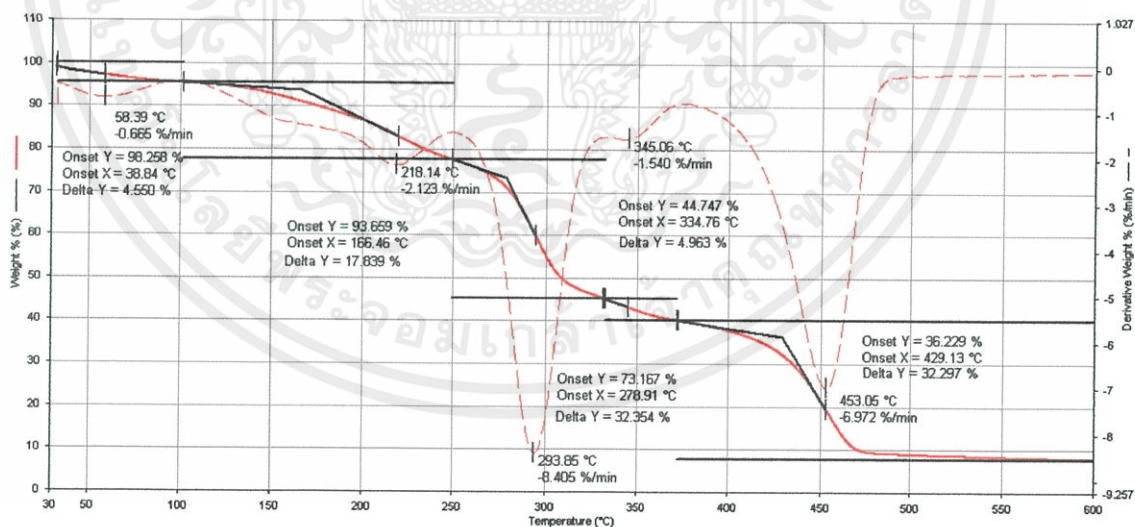
ภาคผนวก ฉ

สมบัติทางความร้อน

รูปที่ฉ.1 Thermogram ของพอลิเมอร์ผสม TPWRS/LDPE

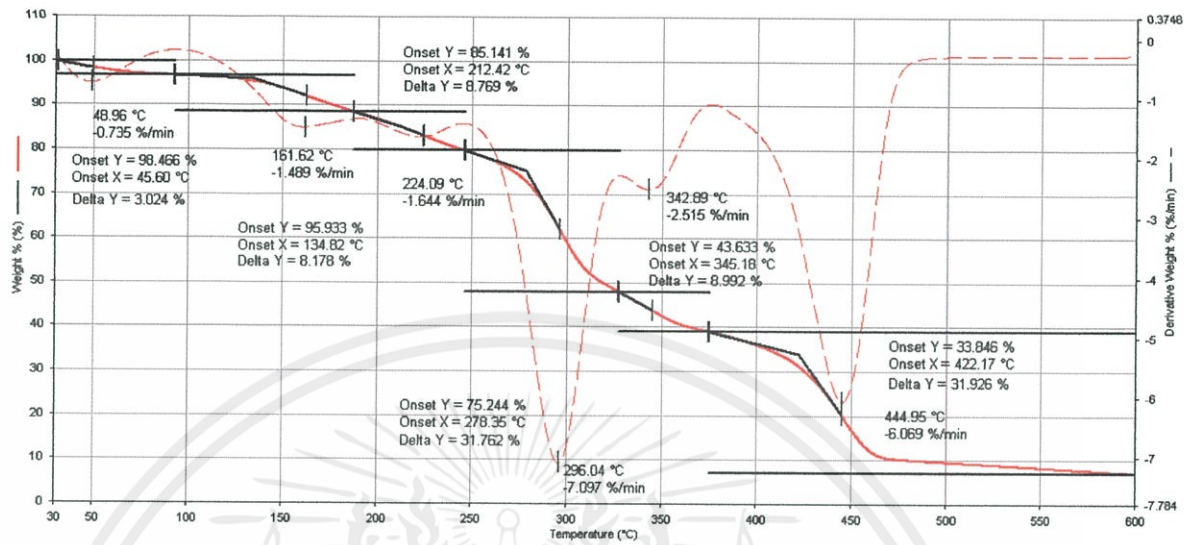


รูปที่ฉ.2 Thermogram ของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 10% Cotton fibers

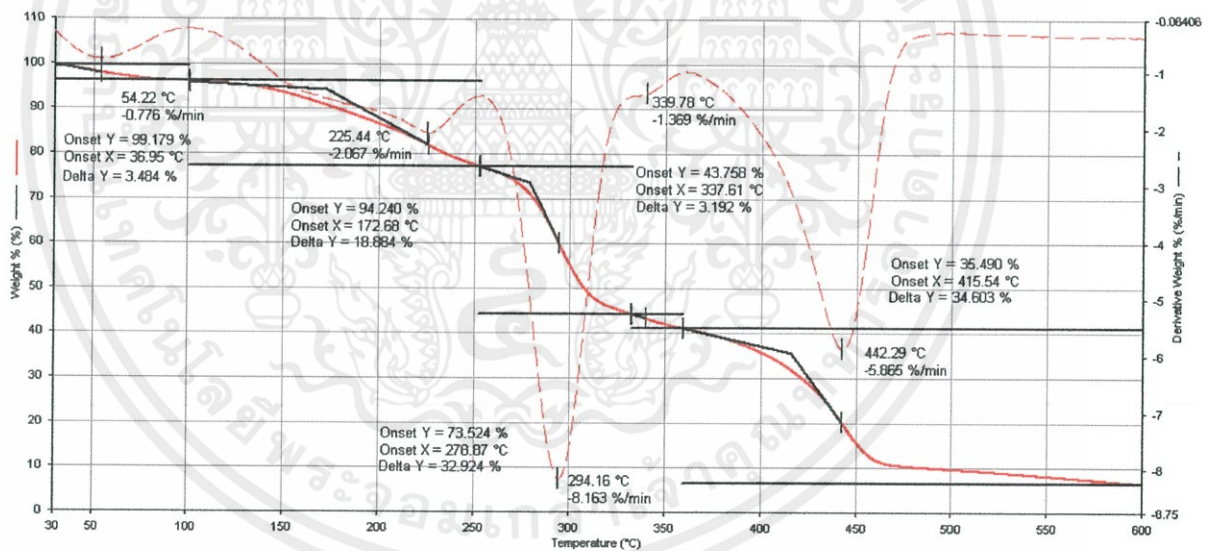


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 Thermogram ของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 20% Cotton fibers

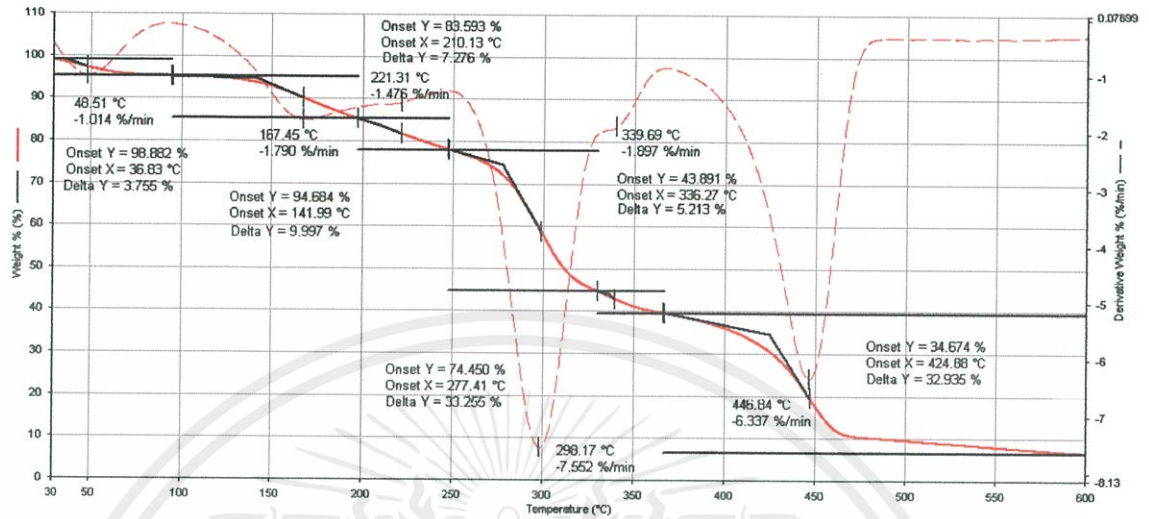


รูปที่ 4 Thermogram ของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 10% Kapok fibers



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 Thermogram ของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย 20% Kapok fibers



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้