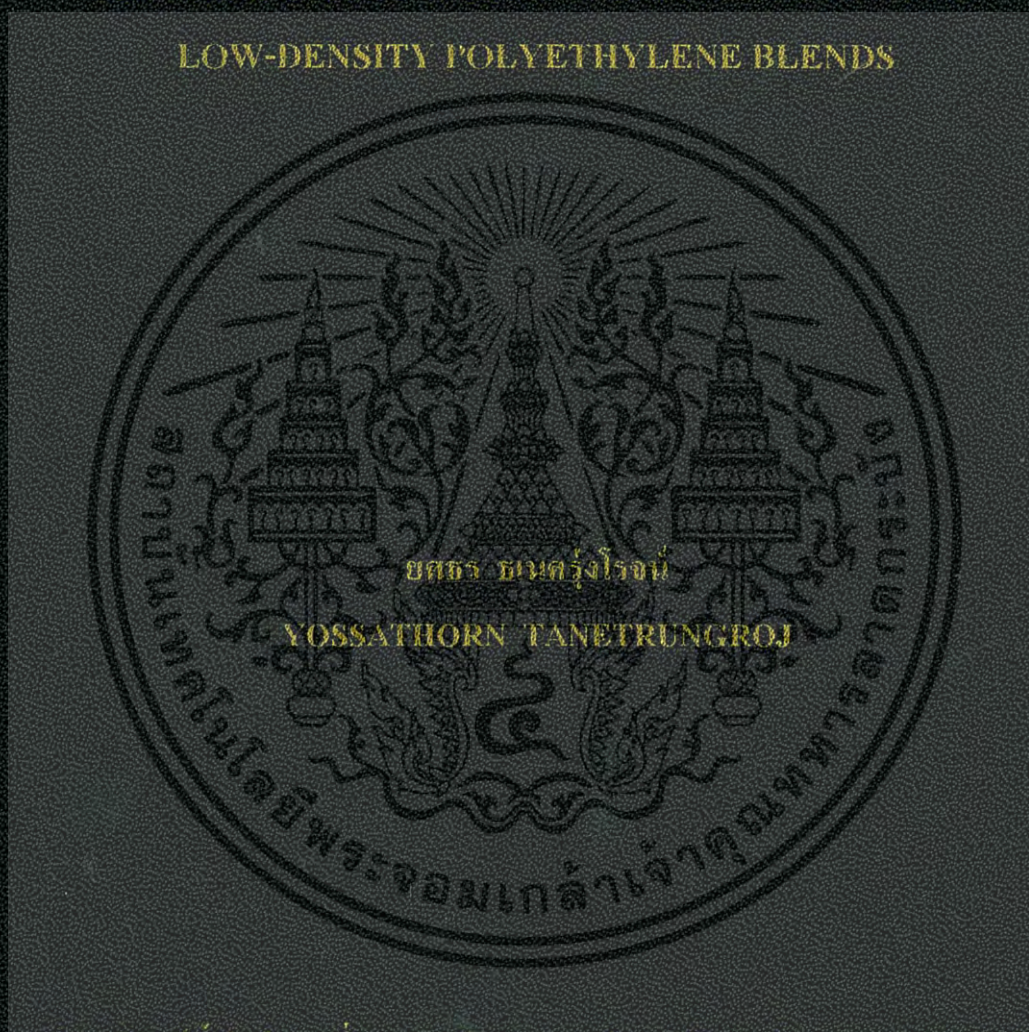


ผลของชนิดของแป้งต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
ระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

EFFECT STARCH TYPES ON PROPERTIES OF
BIODEGRADABLE THERMOPLASTIC STARCH AND
LOW-DENSITY POLYETHYLENE BLENDS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-SC-M-014-003

ผลของชนิดของแป้งต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
ระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาർชและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

**EFFECT OF STARCH TYPES ON PROPERTIES OF
BIODEGRADABLE THERMOPLASTIC STARCH AND
LOW-DENSITY POLYETHYLENE BLENDS**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-SC-M-014-003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EFFECT OF STARCH TYPES ON PROPERTIES OF
BIODEGRADABLE THERMOPLASTIC AND LOW-DENSITY
POLYETHYLENE BLENDS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG
2014
KMITL-2014-SC-M-014-003**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของชนิดของแป้งที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้
ระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาarchและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
Effect of Starch Types on Properties of Biodegradable
Thermoplastic Starch and Low-Density Polyethylene Blends

นักศึกษา

นายยศธร ธเนศรุ่งโรจน์

รหัสประจำตัว

54651102

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.มาลินี	ชัยศุภกิจสินธุ์	
รศ.ดร.สมศักดิ์	วรมงคลชัย	
ผศ.ดร.สุปราณี	แก้วภิรมย์	
รศ.ดร.จุฑารัตน์	ปรัชญาวารากร	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 10 มีนาคม พ.ศ. 2557 เวลา 09.30 - 12.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 502 ชั้น 5 อาคารจุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. ดุษณี ธนะบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 28 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของชนิดของแข็งต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

นักศึกษา นายยศธร ชนสรุ่งโรจน์

รหัสประจำตัว 54651102

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีพอลิเมอร์

พ.ศ. 2557

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของชนิดแข็งที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแข็งชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเขียว แป้งข้าวเหนียวและแป้งท้าวยายม่อม ใช้เครื่องผสมแบบปิดและขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) นอกจากนี้ยังศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณแข็งของ TPS จากแข็งแต่ละชนิดกับ LDPE จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ การทดสอบดึงวเบนของรังสีเอกซ์ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ฐานฐานวิทยา สมบัติการดูดซับน้ำ และสมบัติการย่อยสลาย ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ TPS ส่งผลให้ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงจากการทดสอบดึงวเบนของรังสีเอกซ์ แต่ส่งผลทำให้พีคช่วง O-H stretching ของ TPS มีความเข้มเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำสูงขึ้น ฐานฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น สำหรับสมบัติเชิงกล พบว่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณ TPS ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ TPS พอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มการย่อยสลายด้วยการฝังดินเร็วขึ้น แต่ทำให้ค่าดัชนีการไหล ค่าความสว่างจากการวัดสี และอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนของ LDPE ลดลงเมื่อปริมาณ TPS เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยพบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งถั่วเขียวและ LDPE แสดงสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากผลการทดสอบการดูดซับน้ำ สมบัติเชิงกล สมบัติการไหล และสมบัติการย่อยสลาย

คำสำคัญ : สมบัติเชิงกล, แป้งท้าวยายม่อม, แป้งถั่วเขียว

Thesis Title	Effect of starch types on properties of biodegradable thermoplastic starch and low-density polyethylene blends
Student	Yossathorn Tanetrungroj
Student ID	54651102
Degree	Master of science
Major Program	Polymer technology
Year	2014
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn

Abstract

This research focused on the effect of starch types on properties of biodegradable polymer blends prepared from thermoplastic starch (TPS) and low-density polyethylene (LDPE). Different types of starch were used, i.e. cassava starch, mungbean starch, waxy rice starch and arrowroot starch. The polymer blends were compounded and shaped using an internal mixer and injection molding machine, respectively. Different ratios of the TPS:LDPE were also studied. The polymer blends were, then, tested, by X-ray diffraction, FT-IR and tested for mechanical, thermal, physical, and degradation properties. It was found that when TPS content increased, it affected the degree of crystalline decreased, determined from X-ray diffraction technique. However, the increase of the OH stretching intensity, the increase of the water absorption and more homogeneous morphology of the polymer blends were observed when the TPS contents increased. For tensile properties, it was found that the strain at maximum load and impact strength increased with the increasing TPS contents. Moreover, as expected, the more the TPS content, the faster the biodegradation of the blends. On the contrary, melt flow index, brightness and thermal degradation temperature of LDPE decreased as the amounts of the TPS increased. From this study, the TPMS/LDPE blend showed the greatest overall properties, determined from water absorption, tensile properties, flowability and biodegradation.

Keywords : Tensile properties, Arrowroot starch, Mungbean starch

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย รศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ และ ผศ.ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ ที่กรุณาเป็นกรรมการตลอดจนให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและ ผู้ที่ให้ทุกสิ่งอย่างต่อข้าพเจ้า จนประสบความสำเร็จในการศึกษา



นายศร ชเนสรังโรจน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	XIV

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 พลาสติก.....	4
2.2 พลาสติกย่อยสลายได้.....	5
2.3 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ.....	6
2.3.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	7
2.3.2 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง.....	7
2.3.2.1 การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก..	7
2.3.2.2 แป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้.....	8
2.3.2.3 แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์.....	11
2.3.3 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย.....	11
2.3.3.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน.....	11
2.3.3.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป.....	12
2.3.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์.....	12
2.3.3.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ V ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน.....	13
2.3.3.6 การทดสอบโดยการฝังดิน.....	13
2.4 แป้ง.....	13
2.4.1 องค์ประกอบภายในเม็ดแป้ง	13
2.4.2 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง.....	17
2.4.3 สมบัติของแป้ง.....	19
2.2.4.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย.....	19
2.2.4.2 การเกิดเจลลิตินในเซชัน.....	20
2.2.4.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน	21
2.4.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....	25
2.5 แป้งถั่วเขียว.....	27
2.6 แป้งมันสำปะหลัง.....	27
2.7 แป้งข้าวเหนียว.....	29
2.8 แป้งท้าวยายม่อม.....	30
2.9 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ.....	32
2.10 พลาสติกไซเซอรส์.....	33
2.11 สารช่วยผสม.....	34
2.12 การขึ้นรูปแบบฉีด.....	36
2.12.1 ส่วนประกอบเครื่อง Injection Molding.....	25
2.12.2 ส่วนชุดฉีด (Injection Unit).....	26
2.12.3 ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์.....	27
2.12.4 ส่วนฐานของเครื่องฉีด.....	28
2.12.5 ขั้นตอนการฉีด.....	37
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	46
3.1 สารเคมี.....	46
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	47
3.3 วิธีการทดลอง.....	49
3.4 วิธีการทดสอบ.....	51
3.4.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	51
3.4.5.1 แรงดึง ความแข็งแรงดึง มอดุลัส การดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด.....	51
3.4.5.2 ความแข็งแรงกด.....	52
3.4.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา.....	52
3.4.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	53
3.4.4 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	53
3.4.5 ปริมาณการดูดซับน้ำ.....	53
3.4.6 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน.....	53
3.4.7 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์.....	53
3.4.8 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี.....	54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	55
4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ.....	56
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR.....	59
4.3 XRD.....	63
4.4 การดูดซับน้ำ.....	70
4.5 สัณฐานวิทยา.....	79
4.6 ดัชนีการไหล.....	86
4.7 การวัดสี.....	89
4.8 สมบัติเชิงกล.....	91
4.9 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	95
4.10 การย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	102
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	114
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	114
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	115
เอกสารอ้างอิง.....	116
ภาคผนวก.....	120
ประวัติผู้เขียน.....	136

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สมบัติที่แตกต่างกันของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน..... 14
2.2	สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส..... 15
2.3	สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน..... 17
2.4	องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง..... 18
2.5	ปริมาณอะไมโลสและอนุหภูมิในการเกิดเจลาติโนเซชันของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ..... 21
2.6	อัตราการคืนตัวของแป้งแต่ละชนิด..... 23
2.7	ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด..... 24
2.8	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยเขียว..... 30
2.9	ลักษณะของแป้งมันสำปะหลัง..... 32
2.10	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว..... 33
2.11	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งท้าวยายม่อม..... 36
3.1	สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกรดชนิด (DNDV-0405 R) จากบริษัทดาวเคมีคอลจำกัด..... 49
3.2	สมบัติของมาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน..... 49
3.3	อัตราส่วนของ TPS ผสมกับ LDPE โดยมี MAPE เป็นสารช่วยผสม..... 53
3.4	สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)..... 53
3.5	มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้..... 54
4.1	อักษรย่อแทนสูตรพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลอง..... 55
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง แป้งกล้วยเขียว แป้งข้าวเหนียว และแป้งท้าวยายม่อม..... 56
4.3	ลักษณะทางกายภาพหลังการฉีด..... 56
4.4	ตำแหน่งของพีคในอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม..... 59
4.5	ปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสม..... 68
4.6	ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมTPAS/ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ..... 86
4.7	ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมTPCS/ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ..... 86
4.8	ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมTPMS/ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ..... 87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมTPWS/ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	87
4.10 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมTPS/ LDPE ที่แต่ละชนิดของ TPS.....	88
4.11 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	89
4.12 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	89
4.13 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	89
4.14 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	90
4.15 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	90
4.16 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	99
4.17 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	99
4.18 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	99
4.19 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	99
4.20 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS และ LDPE ที่อัตราส่วน 80:20.....	100

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	7
2.2	การย่อยสลายแป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้.....	9
2.3	การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปแบบเม็ดแป้ง.....	9
2.4	การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปแบบเจลลาทีนซ์.....	10
2.5	โครงสร้างของสตาร์ชกราฟท์โคพอลิเมอร์.....	11
2.6	โครงสร้างทางเคมีของแป้ง.....	14
2.7	โครงสร้างของอะไมโลส.....	15
2.8	โครงสร้างของอะไมโลเพกทิน.....	16
2.9	การเกิดรีโทรเกรดชัน.....	12
2.10	กลไกการคืนตัวของแป้ง.....	22
2.11	X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน.....	24
2.12	โครงสร้างของกลีเซอรอล.....	34
2.13	โครงสร้างของพอลิเอทิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	35
2.14	เครื่อง Injection Molding.....	36
3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย.....	51
3.2	ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ.....	55
4.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม TPAS /LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	60
4.2	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม TPCS /LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	60
4.3	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม TPMS /LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	61
4.4	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม TPWS /LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	61
4.5	ดิฟแฟร็กโตแกรมของ LDPE.....	63
4.6	ดิฟแฟร็กโตแกรมของแป้งท้าวยายม่อม แป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเขียวและแป้งข้าวเหนียว.....	63
4.7	ดิฟแฟร็กโตแกรมของ TPAS80/LPDE20,TPAS70/LDPE30 ,TPAS60/LDPE40..	64
4.8	ดิฟแฟร็กโตแกรมของ TPCS80/LPDE20,TPCS70/LDPE30 ,TPCS60/LDPE40...	65
4.9	ดิฟแฟร็กโตแกรมของ TPMS80/LPDE20,TPMS70/LDPE30 ,TPMS60/LDPE40	65
4.10	ดิฟแฟร็กโตแกรมของ TPWS80/LPDE20,TPWS70/LDPE30 ,TPWS60/LDPE40	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.11	คิฟแฟรกโตแกรมของพอลิเมอร์ผสม (ก) TPAS80/LDPE20 (ข) TPCS80/LDPE20 (ค) TPMS80/LDPE20 และ (ง) TPWS80/LDPE20.....	67
4.12	ปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่แต่ละชนิดของแป้งที่อัตราส่วนต่างๆ.....	68
4.13	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS60/LDPE40.....	70
4.14	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS70/LDPE30.....	70
4.15	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS80/LDPE20.....	70
4.16	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS60/LDPE40.....	71
4.17	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS70/LDPE30.....	71
4.18	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS80/LDPE20.....	71
4.19	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS60/LDPE40.....	72
4.20	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS70/LDPE30.....	72
4.21	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS80/LDPE20.....	72
4.22	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS60/LDPE40.....	73
4.23	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS70/LDPE30.....	73
4.24	ชั้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS80/LDPE20.....	73
4.25	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	74
4.26	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	74
4.27	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	75
4.28	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	75
4.29	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS/LDPE ที่แต่ละชนิดของ TPS.....	77
4.30	ลักษณะวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XII ต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.31	ศึกษานิวทริยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า	80
4.32	ศึกษานิวทริยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า	81
4.33	ศึกษานิวทริยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า	82
4.34	ศึกษานิวทริยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสม ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า (ก) – (ข) TPAS80/LDPE20 (ค) – (ง) TPCS80/LDPE20 (จ) – (ฉ) TPMS80/LDPE20 และ (ช)-(ซ) TPWS80/LDPE20.....	84
4.35	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด (ค) โมดูลัส และ (ง) ความแข็งกด.....	92
4.36	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS แต่ละชนิดและ LDPE ที่อัตราส่วน 80:20.....	94
4.37	TGA และ DTG ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ	95
4.38	TGA และ DTG ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ	96
4.39	TGA และ DTG ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ	97
4.40	TGA และ DTG ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ	98
4.41	การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวขามม่อม (TPAS) ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อถ่ายด้วยกล้อง 3.2 ล้านพิกเซล.....	102
4.42	การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อถ่ายด้วยกล้อง 3.2 ล้านพิกเซล.....	104
4.43	การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งถั่วเขียว (TPMS) ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อถ่ายด้วยกล้อง 3.2 ล้านพิกเซล.....	105
4.44	การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียว (TPWS) ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อถ่ายด้วยกล้อง 3.2 ล้านพิกเซล.....	106
4.45	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน.....	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XIII อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.46	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน.....	108
4.47	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน.....	109
4.48	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน.....	110
4.49	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่แต่ละชนิดของแป้ง ที่อัตราส่วน 60:40 ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน.....	112

สัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	วิธีการทดสอบตามมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials)
FTIR	Fourier transform infrared spectrophotometer
LDPE	Low-density Polyethylene
MAPE	Maleic anhydride-graft-polyethylene
SEM	Scanning electron microscope
TGA	Thermogravimetric analyzer
XRD	X-ray Diffractometer
TPCS	Thermoplastic Cassava Starch
TPAS	Thermoplastic Arrowrot Starch
TPMS	Thermoplastic mungbean Starch
TPWS	Thermoplastic waxy rice Starch

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

พลาสติกถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในรูปของบรรจุภัณฑ์และฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเนื่องจากมีราคาถูก พลาสติกจึงถูกทิ้งเพิ่มมากขึ้นภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน ก่อให้เกิดปัญหาด้านการจัดการขยะพลาสติกในเวลาต่อมาเนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ย่อยสลายยาก การใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดปริมาณขยะได้ เนื่องจากพลาสติกย่อยสลายได้ในปัจจุบันได้ถูกวิจัยและพัฒนาให้สามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น ในดิน ถังหมัก ป๋อฝังกลบ และน้ำทะเล เมื่อมีการวิจัยและพัฒนาด้านการสังเคราะห์พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อการใช้งานด้านต่างๆ แบ่งถือได้ว่าเป็นวัสดุทางเลือกอีกชนิดหนึ่ง เนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูก การเปลี่ยนแปลงให้มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกสามารถทำได้โดยนำเม็ดแป้งมาผสมกับพลาสติกไฮเซอรส์ เช่น น้ำ กลีเซอรอล เป็นต้น และให้ความร้อนและความดัน แต่เทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้งนั้นมีข้อเสีย คือ แข็ง เปราะ และว่องไวต่อความชื้น การทนต่อความร้อนต่ำ [1] จึงต้องมีการนำมาผสมลงในพลาสติกต่างๆ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน เป็นต้น ซึ่งช่วยให้เทอร์โมพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น มีสมบัติการไหลที่ดีขึ้น สมบัติเชิงกลดีขึ้น อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ได้จากวิธีนี้จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ 100% โดยแป้งที่ผสมลงในพอลิเอทิลีนจะกระจายตัวอยู่บริเวณพื้นผิวพลาสติก จุลินทรีย์จะย่อยแป้งที่กระจายอยู่ทั่วพลาสติก เกิดรูพรุน ส่วนที่เป็นพอลิเอทิลีนจะถูกทำลายต่อไปด้วยแรงกลหรือปฏิกิริยาเคมีต่อไป

แป้งเป็นองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรของประเทศหลายชนิด เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ถั่วต่างๆ และลูกเดือย เป็นต้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ เช่น เป็นเส้นหมี่หรือขนมหวานต่างๆ ซึ่งเป็นการจำกัดการใช้ประโยชน์ แป้งจากธรรมชาตินี้มีสมบัติที่จำกัดทำให้การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆถูกจำกัดไปด้วยการดัดแปรแป้งทำให้แป้งมีสมบัติในการนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มมูลค่าแป้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยทั่วไปแป้งไม่สามารถขึ้นรูปโดยกระบวนการทางความร้อนเช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไปได้ เนื่องจากแป้งจะมีไหม้หรือสลายตัวก่อนที่จะหลอม ดังนั้นการพัฒนาแป้งเป็นเทอร์โมพลาสติกหรือให้สามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อนสามารถทำได้โดยการผสมแป้งกับพลาสติกไฮเซอรส์ เช่น น้ำ โซร์บิทอล กลีเซอรอล หรือเอทิลีนไกลคอล เป็นต้น พร้อมทั้งให้ความร้อน ความดัน และแรงเฉือน เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างกิ่งผลึกของแป้งให้เป็นโครงสร้างอสัณฐาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการเดียวกันกับพลาสติกทั่วไป เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีด (Injection) เป็นต้น ในปัจจุบันเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการศึกษากัน ได้มาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสตาร์ชชนิดต่างๆ เช่น แป้งข้าวโพด (Corn starch) แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) แป้งสาลี (Wheat starch) แป้งข้าวเจ้า (Rice starch) เป็นต้น

แป้งมันสำปะหลังเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติและสามารถทดแทนได้ ย่อยสลายได้ง่าย มีความบริสุทธิ์สูง ราคาถูก ให้ลักษณะปรากฏที่ใส นำใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารมากมาย เช่น เป็นตัวให้ความข้นหนืด สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมอาหารหลักและอาหารรองในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ข้าวเกรียบ ขนมไทย ซอสปรุงรส เป็นต้น และมีสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ที่เหมาะสมและเฉพาะตัว [2] จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตพลาสติกทดแทนปิโตรเลียม

แป้งถั่วเขียวและผลิตภัณฑ์จากถั่วเขียวส่วนใหญ่ใช้ภายในประเทศเพื่อการบริโภคโดยตรง และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเพาะถั่วงอก อุตสาหกรรมขนมหวาน การผลิตแป้งถั่วเขียวและวุ้นเส้นแป้งถั่วเขียว คนทั่วไปมักรู้จักในนามของแป้งชำหริ่มสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายประเภท โดยเฉพาะขนม เช่น ขนมเทียน ขนมชั้น กุ้งกึ่ง ทาร์ต เป็นต้น [3]

แป้งท้าวายม่อม สามารถนำมาใช้ประกอบอาหารและทำขนมได้หลายชนิด ได้แก่ ขนมชั้น ขนมเปียกปูนหรือขนม น้ำดอกไม้วัว ฟางเปียก เมื่อนำไปประกอบอาหารจะให้ความข้นเหนียว นุ่มและใสวาว เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะเหนียวกว่าแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด [9] โดยแป้งท้าวายม่อมในปัจจุบันยังมีผู้ศึกษาไม่มากเท่าที่ควร [4]

แป้งข้าวเหนียว ผลิตจากข้าวเหนียวที่มีการเพาะปลูกมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย แป้งข้าวเหนียวมีปริมาณของอะไมโลเพกตินประมาณ 100% ซึ่งมีสมบัติไม่ละลายในน้ำเย็น มีการพองตัวมากแต่มีการละลายน้ำได้ต่ำ สามารถประกอบอาหารและทำขนมได้หลายชนิด เพราะมีขนาดของเม็ดแป้งเล็กและให้เจลที่อ่อนนุ่ม ขนมที่ทำจากแป้งข้าวเหนียวมีความเหนียวนุ่ม เช่น ขนมถั่วแปบ แป้งจี่ ขนมโค ขนมโก๋ไทย ขนมต้ม ขนมบัวบิน ข้าวเหนียวตัด บัวลอย ขนมแข่ง ข้าวเหนียวเปียก ขนมหัวล้าน เป็นต้น [5]

งานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาการเตรียมและการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเขียวและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยโซเดียมอัลจินेट เพกติน และเจลาติน [6] โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป โดยใช้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเขียวผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ในอัตราส่วน 50:50 %wt พบว่าการเติมสารก่อเจลลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นและขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น แต่การใช้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเขียวและ LDPE ในอัตราส่วน 50:50 %wt ส่งผลให้ชิ้นงานมีการย่อยสลายได้ช้า

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปและการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) ที่เตรียมได้จากแป้งชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งถั่วเขียว (Mung Bean starch) แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) แป้งท้าวายม่อม (Arrowroot

starch) และแป้งข้าวเหนียว (Waxy rice starch) โดยมีกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซอร์ นำมาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density Polyethylene, LDPE) และสารช่วยผสมชนิดมาลิกแอนไฮไดรด์ กราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE) เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่สามารถย่อยสลายได้และขึ้นรูปได้โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) และศึกษาชนิดของแป้งต่างๆ อัตราส่วนของ TPS จากแป้งแต่ละชนิดที่มีผลต่อการขึ้นรูปและสมบัติต่างๆ พอลิเมอร์ผสม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้จาก TPS จากแป้งชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งถั่วเขียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งท้าวยายม่อมและแป้งข้าวเหนียว กับ LDPE โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป
- 1.2.2 เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS จากแป้งชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งถั่วเขียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งท้าวยายม่อมและแป้งข้าวเหนียว กับ LDPE โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์
- 1.3.2 เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของ TPS จากแป้งชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูปและสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS และ LDPE
- 1.3.3 เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สันฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน การดูดซับน้ำ และสมบัติการย่อยสลายของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ที่เตรียมได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้จาก TPS จากแป้งชนิดต่างๆ ผสมกับ LDPE ให้สมบัติใกล้เคียงกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ที่ใช้งานกันทั่วไปได้
- 1.4.2 ช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนและปัญหาขยะพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากของพอลิเมอร์ที่มีการใช้งานในปัจจุบันได้
- 1.4.3 เพื่อแปรรูปแป้งชนิดต่างๆ ซึ่งมักใช้ประกอบในอุตสาหกรรมอาหาร นำมาใช้ให้มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติก [7]

พลาสติก หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้น ใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อเย็นจะแข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว บางชนิดก็แข็งตัวถาวร มีหลายชนิด เช่น โนลอน ยางเทียม ใช้ทำสิ่งต่างๆ เช่น เสื้อผ้า พาหนะ ส่วนประกอบของเรือ หรือ รถยนต์ นำมาสังเคราะห์โดยขบวนการ " พอลิเมอร์ไรเซชัน "

พลาสติกแบ่งเป็น 2 ประเภท โดยอาศัยลักษณะของพลาสติกเมื่อถูกความร้อน

1. เทอร์โมเซตติง (Thermosetting หรือ TS) คือ พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยระหว่างโมเลกุล ทำให้พอลิเมอร์มีรูปร่างที่ถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน และหากได้รับความร้อนสูงเกินไป จะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก ได้สารที่ไม่มีสมบัติของความเป็นพอลิเมอร์ต่อไป

2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics หรือ TP) คือ พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่โพลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืดเนื่องจากโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกัน ไปมาได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้ สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ หรือ โครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนไปมากนัก

2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ [8]

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ (Degradable plastic) หมายถึง พลาสติกที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้เฉพาะ ก่อให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการที่สามารถวัดได้ โดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับพลาสติกและการใช้งานในช่วงเวลาหนึ่ง ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้ในการระบุชนิดและประเภทของวัสดุย่อยสลายได้ โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกได้เป็น 5 ประเภท คือ

1. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradable plastics) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีดี หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการฉาบด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. พลาสติกย่อยสลายทางกล (Mechanical degradable plastics) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติก ทำให้ชิ้นพลาสติกแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในกระบวนการรีไซเคิล

3. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางเคมีโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidatively degradable plastic) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว

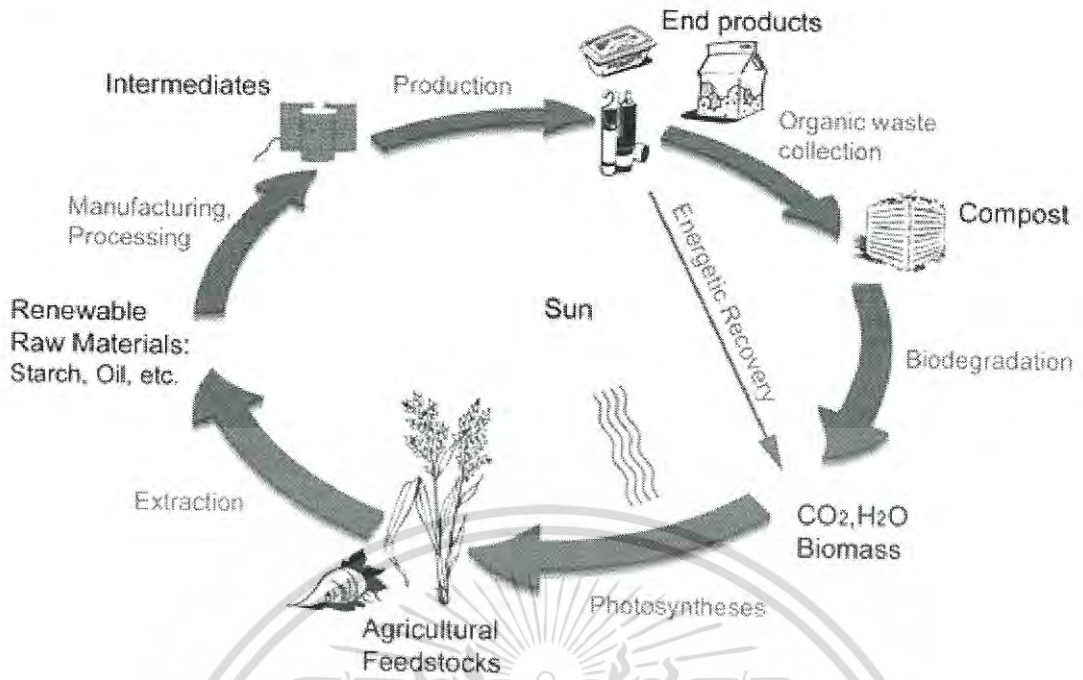
4. พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytically degradable plastics) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไฮโดรด์ พอลิคาร์บอนเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic Degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น โลหะแอลคาไลด์ เบส และกรด ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิลของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5. พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกจะเป็นการย่อยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายให้โมเลกุลแตกออก เรียกว่าขั้น Depolymerization จะเกิดภายนอกสิ่งมีชีวิต (ปกติจะเป็นแบคทีเรียหรือรา) เนื่องจากขนาดและสมบัติที่ไม่ละลายของพอลิเมอร์ จุลินทรีย์จะจับเอนไซม์ออกมาซึ่งจะตัดพอลิเมอร์ทั้งแบบ Endo (ตัดพันธะแบบสุ่ม) และแบบ Exo (ตัดพันธะจากมอนอเมอร์ปลายสุดก่อนอย่างมีลำดับ) จนได้สารประกอบที่เล็กลง จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นที่สอง คือ Mineralization สารประกอบที่ได้จากการย่อยจากขั้นแรกจะเข้าสู่เซลล์ จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบ ATP ก๊าซต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) น้ำเกลือต่าง ๆ และชีวมวล (Biomass) ปฏิริยาส่วนใหญ่เป็นแบบทั่วไปของกระบวนการย่อยสลาย แต่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลาย จุลินทรีย์และสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น มีหลายกรณีที่ขั้นแรกสามารถเกิดปฏิริยาย้อนกลับได้ได้ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ประสิทธิภาพของการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ ชนิดของจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ออกซิเจน ความชื้นและอุณหภูมิ

2.3 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ [9]

พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) หมายถึง พลาสติกที่ย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้ โดยเอนไซม์จากสิ่งมีชีวิตทั้งในสภาพที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศ สารประกอบคาร์บอนที่ได้จะกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อม การพัฒนาการของระบบในธรรมชาติเริ่มจากมวลชีวภาพหลายพันล้านตันถูกผลิตขึ้นโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชตามธรรมชาติ ซึ่งมวลชีวภาพจำนวนที่เท่ากันนี้ถูกย่อยสลายกลับสู่ธรรมชาติกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำรวมทั้งมวลชีวภาพและแร่ธาตุ การเกิดขึ้นในวัฏจักรนี้ผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ซึ่งวัฏจักรของธรรมชาตินี้มีเกิดขึ้นและย่อยสลายไปอย่างครบวงจร โดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดขยะเข้ามาเกี่ยวข้อง ไม่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและไม่มีค่าใช้จ่ายสูง วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีจุดประสงค์ที่จะเลียนแบบวงจรของธรรมชาติที่กล่าวข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 2.1 หลังจากผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพถูกนำไปใช้งานโดยผู้บริโภคและถูกนำไปกำจัดโดยการย่อยเป็นปุ๋ยเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและมวลชีวภาพ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกปล่อยออกมานั้นจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งวัฏจักรนี้ทำให้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นการใช้ทรัพยากรแบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายใต้ทรัพยากรที่ปลูกทดแทนได้



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [9]

2.3.1 ประเภทพลาสติกย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพ

พลาสติกย่อยสลายได้โดยทางชีวภาพสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ

1. พลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน
2. พอลิเอสเตอร์
3. พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ชนิดอื่น

2.3.2 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง [10]

การพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้มีการพัฒนาเป็นเวลานานแล้ว เริ่มตั้งแต่การที่เริ่มใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติราคาถูก คือ แป้งผสมในการฉีดพลาสติก และได้รับการพัฒนาจากนักวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่อง ขณะนี้สามารถแบ่งเทคโนโลยีการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

2.3.2.1 การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก

กลุ่มนี้จะใช้แป้งทั้งหมดหรือมากกว่า 90% ผลิตภัณฑ์ที่รู้จักจะอยู่รูปที่เรียกว่า Gelatinized starch puff หรือ Plate expanded by extrusion หรือ Baking with water หมายความว่า การให้แป้งเกิดการพองตัวขึ้นเนื่องจากแรงดันของน้ำภายในตัวแป้งเมื่อถูกความร้อนสูงกลายเป็นไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นการทดแทนโพลีที่มาจากพอลิโอสไตรีน เรียกกันว่า โพลีแบง ใช้ในการรองรับภาชนะกันกระแทกในกล่อง โพลีแบงแบ่งออกได้เป็น

(1) โพลีพลาสติกจากแบง

การใช้แบงเป็นวัตถุดิบอัดด้วยความดันสูงในเครื่องอัดรีด (Extruder) แบงจะพองออกจากหัวฉีดเนื่องจากสูญเสียความชื้นและลดแรงดัน เมื่อเย็นตัวลงจะมีโครงสร้างแข็ง มีรูพรุนคล้ายโพลีสำหรับอุ้มอากาศ สมบัติของโพลีแบงนี้ (ความหนาแน่น ความเหนียว) เกิดจากสมบัติของแบง ปริมาณน้ำ ชนิดและปริมาณของสารเติมแต่ง (Additive)

(2) โพลีจากแบง

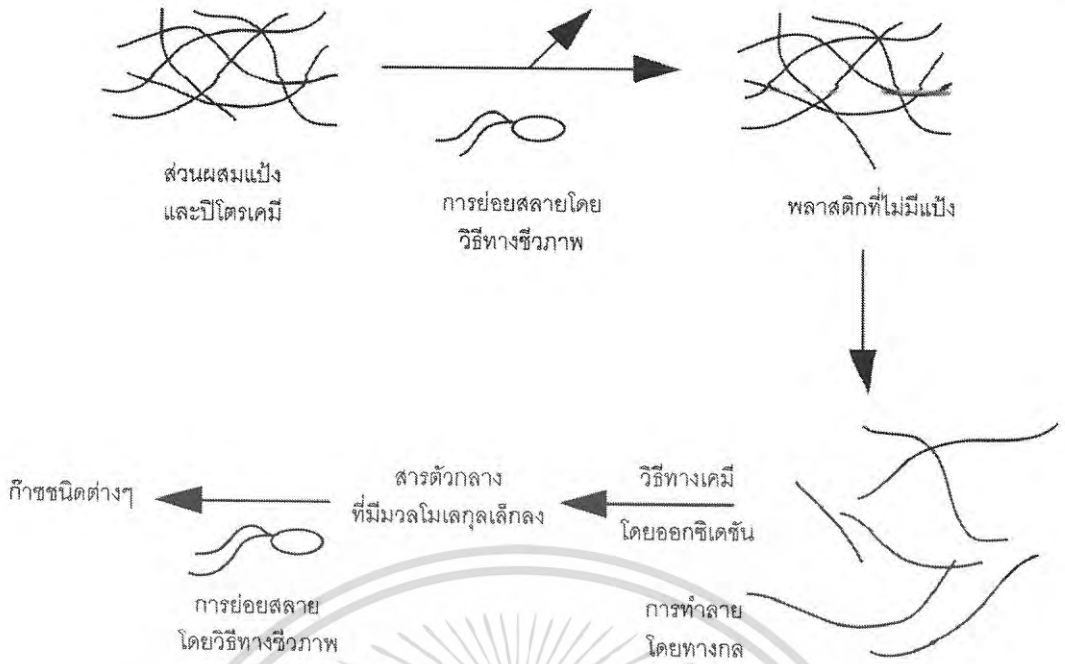
เป็นการใช้ลักษณะการขยาย (Expansion) ของส่วนผสมจากแบงและเส้นใย เช่น เชื้อ (Pulp) เพื่อสร้างความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เมื่อขึ้นรูปในแม่พิมพ์ เช่น ภาชนะใส่ของ ถ้วย ถาด เป็นต้น

2.3.2.2 แบงผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้

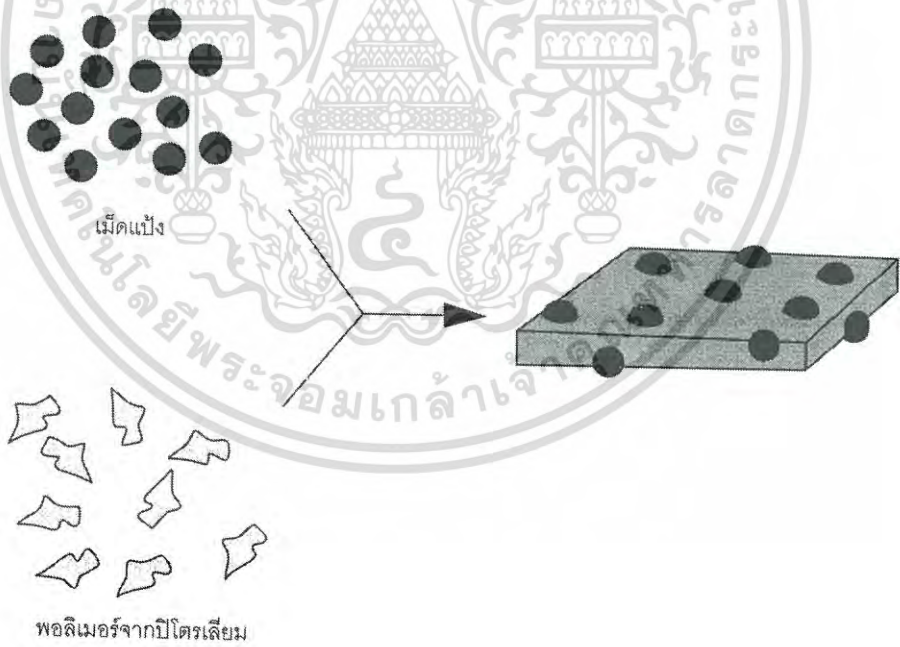
พลาสติกที่ผลิตได้จากกลุ่มนี้จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนที่ต่างกัน คือ ส่วนที่เป็นแบงสามารถย่อยสลายได้ และส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมี การย่อยสลายแบงผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้แสดงดังรูปที่ 2.2 แบงที่ใช้ในกระบวนการนี้สามารถใช้ได้ 2 รูป คือ ในรูปเม็ดแบงและแบงที่ผ่านการเจลาติไนซ์ อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ได้จากวิธีนี้จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ 100% โดยจุลินทรีย์จะย่อยแบงที่กระจายอยู่ทั่วพลาสติก เกิดรูพรุน ส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมีจะถูกทำลายต่อไปด้วยแรงกลหรือปฏิกิริยาเคมี

(1) ในรูปเม็ดแบง

แบงจะผสมกับพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมี นำไปขึ้นรูปโดยไม่ต้องทำให้เม็ดแบงแตกออก ปริมาณแบงที่ใช้ในวิธีนี้ถูกจำกัดไม่ให้เกิน 10% และต้องมีความชื้นน้อยกว่า 1% เพื่อป้องกันการเกิดไอน้ำระหว่างกระบวนการอัดรีด อาจมีการใส่สารเติมแต่งอื่นๆ ได้ เช่น ใส่น้ำมันข้าวโพด ซึ่งเป็น Auto-oxidant เข้าไปในกระบวนการผลิต เพื่อให้ไปทำปฏิกิริยากับเกลือโลหะในดินหรือสิ่งแวดล้อม เกิดอนุมูลอิสระชนิดเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะไปย่อยพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมีให้ได้โอลิโกเมอร์ที่เล็กลง เพื่อให้ง่ายต่อการย่อยสลายต่อไป การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แบงในรูปเม็ดแบงแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การย่อยสลายแข็งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ [10]

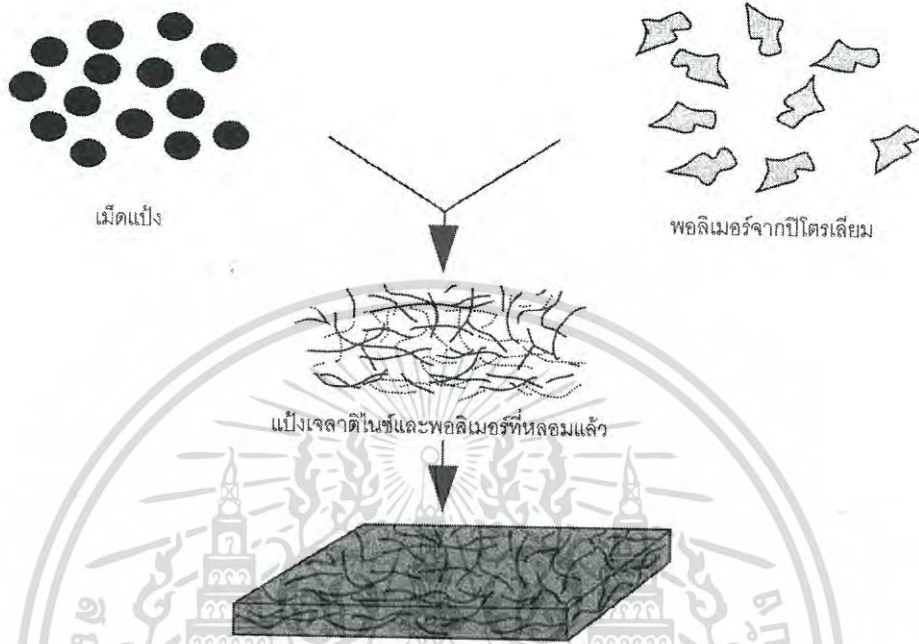


รูปที่ 2.3 การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แข็งในรูปแบบเม็ดแข็ง [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ในรูปแป้งเจลาทีนซ์

วิธีนี้เม็ดแป้งจะแตกตัวทั้งหมดผสมรวมกับอนุพันธ์ของปิโตรเคมีที่หลอมละลาย กระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.4



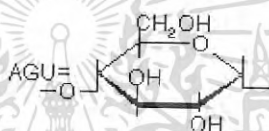
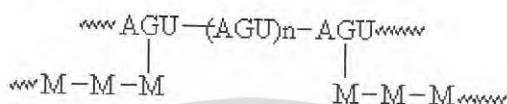
รูปที่ 2.4 การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปเจลาทีนซ์ [10]

ในประเทศไทยได้ทดลองผลิตพลาสติกย่อยสลายได้จากส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง และพอลิคาโพรแลคแทม โดยแป้งมันที่ใช้อยู่ในรูปเม็ดแป้งเจลาทีนซ์ ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและความสามารถในการย่อยสลาย ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสมบัติของส่วนผสมขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแป้งที่ใช้ เมื่อปริมาณแป้งในรูปเม็ดแป้งและแป้งเจลาทีนซ์ในส่วนผสมต่ำกว่า 40% พบว่าความแข็งแรงดึงของส่วนผสมทั้ง 2 ไม่แตกต่างกัน เปอร์เซ็นต์การดึงยืดขึ้นอยู่กับรูปแป้งที่ใช้ถ้าปริมาณแป้งมากกว่า 30% ในการทดลองพบว่าในรูปเม็ดแป้งมีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดสูงกว่าแป้งรูปเจลาทีนซ์ถึง 125 เท่าที่ปริมาณแป้ง 50% เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total organic carbon analyzer) และกล้องจุลทรรศน์ชนิดอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) พบว่าในรูปแป้งเจลาทีนซ์สามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่า เนื่องจากมีโครงสร้างลำดับที่น้อยกว่าในรูปเม็ดแป้ง เมื่อทำการทดสอบส่วนผสมที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่าส่วนผสมที่มีแป้งเจลาทีนซ์ 30% และพอลิคาโพรแลคแทม 70% เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกที่มีสมบัติทางกายภาพดีและมีความสามารถในการย่อยสลายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์

โครงสร้างของแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ (Starch graft copolymer) แสดงได้ดังรูปที่ 2.5 โดยที่ AGU เป็นหน่วยกลูโคส และ M เป็นมอนอเมอร์ที่จะมาทำปฏิกิริยากับแป้ง แป้งที่ใช้อาจใช้ในรูปแบบของเม็ดแป้งหรือแป้งเจลาทีโนส การทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน (Graft copolymerization) ชั้นแรกจะต้องทำให้เกิดอนุภาคนิวเคลียสสายโมเลกุลของแป้งก่อน ซึ่งมี 2 วิธี คือ โดยวิธีทางเคมีและวิธีฉายรังสี ซึ่งจะใช้วิธีไหนขึ้นกับชนิดของมอนอเมอร์ วิธีทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมที่สุด คือ ปฏิกิริยาของแป้งกับเกลือซิริก



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสตาร์ชกราฟท์โคพอลิเมอร์ [10]

2.3.3 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย [10]

2.3.3.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (Soluble) ในรูปจุลินทรีย์ (Microbial) และในสถานะก๊าซ ซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ถูกย่อยสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสถานะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้การคำนวณหาหน้าหนักแห้ง สมมูลมวลของคาร์บอนที่ถูกย่อยสลายสามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_d = C_g + C_s + C_m$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียมวลหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ (Mineralization) ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่หายไป จะทำให้ทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ โดยพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งในปริมาณสูง จะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแป้งปริมาณต่ำ นอกจากนี้วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ แต่พอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน

2.3.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์

(ก) การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง ที่ฝังดินเป็นเวลา 6 เดือน ก่อนที่จะล้าง นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์ และเมื่อนำมาล้างและสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบรูเล็กๆ ในพอลิเมอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

(ข) การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังขยายที่สูงมาก โดยจะได้ภาพในลักษณะสามมิติ ซึ่งจะพบว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังไว้ในดินมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปและมีขนาดเล็กลง เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนที่เป็นแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นพอลิเมอร์มีจุดดำและเป็นทางสีขาว ซึ่งแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลาย เหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีน นอกจากนี้การใช้ SEM ที่มีกำลังขยายสูงยังสามารถแสดงถึงการสร้างโคโคไนด์ของจุลินทรีย์บนพอลิเมอร์ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ฝังดินไว้ 6 เดือนมาตรวจปริมาณไนโตรเจน พบว่าปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 0.06% เป็น 0.16% มาจากกรดอะมิโนของจุลินทรีย์ที่ตายอยู่บนพอลิเมอร์ นั่นคือจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและสร้างโคโคไนด์บนพอลิเมอร์ และย่อยสลายส่วนที่เป็นแป้งบนพอลิเมอร์ โดยจะย่อยสลายพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยหรือไม่ย่อยสลายเลย

2.3.3.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด

สเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด (Infrared spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาส่วนแสงอินฟราเรดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์จะทำให้เกิดการดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าวที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมในโมเลกุล ความหนาแน่นของการดูดซับและความยาวคลื่นจะทำให้เกิดแถบสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะของแถบที่เฉพาะตัว ไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์

สเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่หายไปในการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้ขณะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายแป้งจะเกิดรูขึ้นที่บริเวณพื้นผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ที่รู้เหล่านี้จะมีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด

2.3.3.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน

วิธีวิเคราะห์ด้วยความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึก โดย Differential thermal analysis (DTA) หรือ Differential scanning calorimeter (DSC) การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียโดยใช้ Thermogravimetric analysis (TGA)

- การศึกษาโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะอสัณฐาน (Amorphocity) ของพอลิเมอร์จะลดลง โดยที่ส่วนอสัณฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนผลึก
- การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้ศึกษาการย่อยสลายแป้งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งก่อนและหลังการย่อยสลาย

2.3.3.6 การทดสอบโดยการฝังดิน

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20 x 50 มิลลิเมตรหลายๆ ตัวอย่าง ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างออกมา การทดลองใช้เวลาประมาณ 7 เดือน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน ทำการเปรียบเทียบเศษวัสดุที่เหลือเมื่อเวลาต่างๆ

2.4 แป้ง [10]

“แป้ง” ในการผลิตนั้นหมายถึง คาร์โบไฮเดรต ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาว์ (Flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง จะจัดอยู่ในประเภทฟลาว์ เรียกว่า Corn flour, Wheat flour เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7 ถึง 8 % เรียกว่า Rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนหมายถึง โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่น ๆ ถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ จึงเรียกว่าเป็นสตาร์ช (Starch) เช่น Corn starch, Wheat starch เป็นต้น

2.4.1 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่า Reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

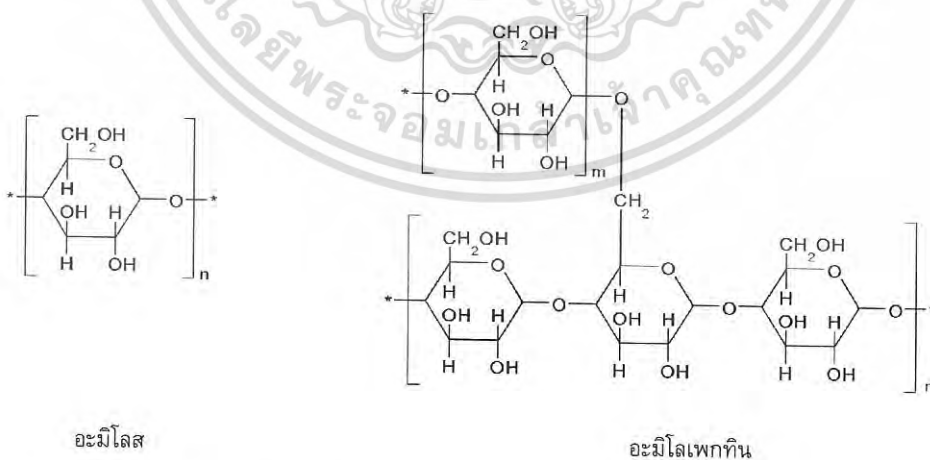
พอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกติน) วางตัวในแนวรัศมี แปรจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของ อะไมโลสและอะไมโลเพกตินแตกต่างกัน (ดังตารางที่ 2.1) ทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิด แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน [10]

สมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	$\alpha - 1, 4$	$\alpha - 1, 4$ และ $\alpha - 1, 6$
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัว เป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้งดังรูปที่ 2.6 ได้แก่

1. อะไมโลส (Amylose)
2. อะไมโลเพกติน (Amylopectin)
3. สารตัวกลาง (Intermediate material)

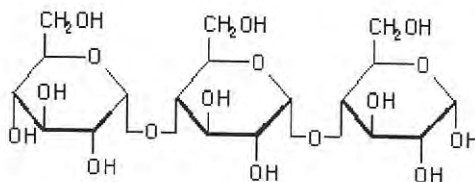


รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 (α -1,4) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของอะไมโลส [10]

แป้งจากธัญพืชมีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28% แป้งจากรากและหัวมีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณ 20% น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน ซึ่งอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลงในธรรมชาติ อะไมโลส มีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก สมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลสของแป้งหลายชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลส [10]

แหล่งของสตาร์ช	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	ปริมาณอะไมโลเพกติน (ร้อยละ)	ขนาดโมเลกุล(DP)เฉลี่ยของ	
			อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ข้าวเจ้าชนิด อินดิกา (Indica) จาโปนิกา (Japonica)	17	83	1,000 1,100	4,700 12,800
ข้าวเหนียว	1	99	-	-
ข้าวโพด	28	72	930	8,200
มันสำปะหลัง	17	83	2,600	-
มันฝรั่ง	21	79	4,900	9,800
ข้าวสาลี	28	72	1,300	4,800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในแป้ง [11]

วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ จะหาโดยการทำให้แป้งเกิด gelatinization แล้วจึงทำปฏิกิริยากับ สารละลายไอโอดีนใน HCl 0.1N เป็นเวลา 5 นาที จะก่อให้เกิดสีฟ้าหรือสีน้ำเงิน จากนั้นจะนำ สารละลายที่มีสีนี้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 nm แล้วนำค่าที่วัด ได้มาคำนวณจาก สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลส (%) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 625 nm ดังนี้

$$y = 85.24x - 13.19$$

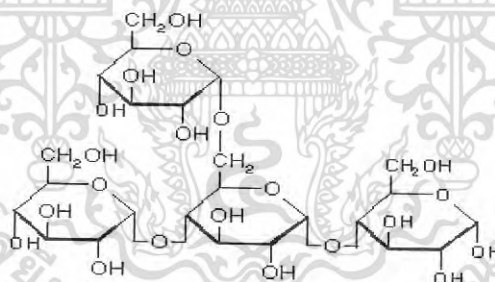
เมื่อ $y =$ ปริมาณอะไมโลส (%)

$x =$ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 625nm

ส่วนอะไมโลเพกตินจะคำนวณได้จากส่วนที่เหลือของอะไมโลสจาก 100

2. อะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกัน ด้วยพันธะกลูโคซิดิก α -1, 4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาด โมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 ดังรูปที่ 2.8 สมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลเพกตินจากแป้งชนิดต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน [10]

หน่วยกลูโคสที่มีกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 มีอยู่ประมาณ 5 % ของปริมาณกลูโคสใน อะไมโลเพกตินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพกตินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 คาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสายโซ่ (Chain) 3 ชนิด คือ

- 1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (Unbranched structure)
- 2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่น ๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9 : 1
- 3) สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพกติน แต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลเพกติน [10]

แหล่งแป้ง	ปริมาณ อะไมโลเพกติน (%)	ขนาด โมเลกุลเฉลี่ย (DP)	ความยาว สายเฉลี่ย (CL)	จำนวน สายเฉลี่ย (NC)	ความยาวสาย ภายนอกเฉลี่ย (CL)	โมเลกุล กิ่ง (%)
แป้งสาลี	72	4,800	19	250	13	5
แป้งข้าวโพด	72	8,200	22	370	15	6
แป้งข้าวเจ้า	83					
- อินเดีย		4,700	21	220	14	6
- ญี่ปุ่น		12,800	19	670	13	5
- ข้าวเหนียว		18,500	18	1,000	12	5
แป้งมันสำปะหลัง	79	9,800	24	410	15	8
แป้งมันฝรั่ง	83					

3. สารตัวกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า อะไมโลเพกตินแต่ใหญ่กว่าอะไมโลส และสารตัวกลางนี้มีโครงสร้างเป็นลักษณะเชิงกิ่ง เช่นเดียวกับอะไมโลเพกติน แต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า ปริมาณหรือสัดส่วนของอะไมโลส อะไมโลเพกติน และสารตัวกลางในเมล็ดแป้งไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูกและปริมาณน้ำระหว่างการเพาะปลูก เป็นต้น

4. ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1. ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลาย และผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง
2. ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง
3. ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal components) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง
4. ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง [10]

แป้ง (ร้อยละ)	กาก	ความชื้น	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	โปรตีน
แป้งสาลี	13.3	0.9	74.1	11.0	0.3
แป้งข้าวเจ้า	11.8	0.8	80.4	6.4	0.3
แป้งข้าวเหนียว	8.8	4.0	82.7	6.6	1.6
แป้งมันสำปะหลัง	9.1	0.5	88.2	1.1	0.3
แป้งถั่วเขียว	12.0	0.3	82.3	3.2	1.8
แป้งข้าวโพด	13.5	1.0	85.1	0.3	0
แป้งมันเทศ	13.2	0.9	80.8	2.2	3.0
แป้งมันฝรั่ง	17.5	0.1	82.1	0.1	0
แป้งลูกเดือย	10.4	6.7	67.8	13.5	0.6
แป้งหัวสาคู	14.8	0.1	84.5	0.4	0

2.4.2 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้ง (Granule) ขนาดเล็ก โดยเมื่อตรวจสอบลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา และแบบอิเล็กตรอน (Scanning electron microscope) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้น ๆ

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนอสัณฐาน ส่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายโซ่ของอะไมโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลสและสายโซ่ยาวของอะไมโลเพกติน เม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่

สตาร์ชจากพืชหัวหรือรากส่วนอะไมโลเพกตินจะมีโครงสร้างบางส่วนเป็นผลึกส่วนอะไมโลส จะอยู่ในส่วนของอสัณฐาน สำหรับสตาร์ชจากธัญชาติส่วนอะไมโลเพกตินจะรวมตัวกันเป็นผลึก ส่วนอะไมโลสจะรวมตัวกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไขมันเกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่เสริมความแข็งแรงแก่เม็ดสตาร์ชจึงทำให้สตาร์ชจากธัญชาติพองตัวได้ช้า และเม็ดสตาร์ชมีช่องเปิดเล็กๆ บริเวณพื้นผิวที่สามารถทำให้น้ำและสารที่มีโมเลกุลเล็กๆ ผ่านได้ เป็นส่วนที่อยู่บริเวณอสัณฐาน

2.4.3 สมบัติของแป้ง [10]

2.4.3.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่มักเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17 %

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก (Crystal water) น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (Bond water) และน้ำในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8 ถึง 10 % สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้งจะได้สตาร์ชโมโนไฮเดรต $[n(C_6H_{10}O_5) \cdot H_2O]$

แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเจลาตินไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มมากขึ้น สมบัติของการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) ในเม็ดแป้งจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป

2.4.3.2 การเกิดเจลลิตินในเซชัน

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (Micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวในลักษณะนี้จะทำให้แป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลลิตินในเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิเริ่มเจลลิตินในเซชันจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

การเกิดเจลลิตินในเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างโมเลกุลยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ เมื่อใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65°C (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นกับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เรียกว่า การเกิดเจลลิตินในเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินเข้ม เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีกว่า

ตารางที่ 2.5 ปริมาณอะไมโลสและอุณหภูมิในการเกิดเจลชาติในเซชันของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ [10]

แหล่งของสตาร์ช	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	อุณหภูมิในการเกิดเจลชาติในเซชัน (องศาเซลเซียส)
ข้าวเหนียว	1	55 – 65
ข้าวเจ้า	18	61 – 78
ข้าวโพด	22	62 – 70
มันสำปะหลัง	16	52 – 64
ข้าวสาลี	26	53 – 65
ข้าวบาร์เลย์	22	56 – 62
มันฝรั่ง	23	58 – 66
ข้าวฟ่าง	25	69 – 75
ข้าวโอ๊ต	27	56 – 62

2.4.3.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลชาติในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กัน จะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการคูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะ เจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Setback) ดังรูปที่ 2.9 เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของ โครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขรุขระและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้นมี ลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดขึ้นส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อน เกิดการตกตะกอนของอนุภาค แป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจลและโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมานอกเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อ เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น

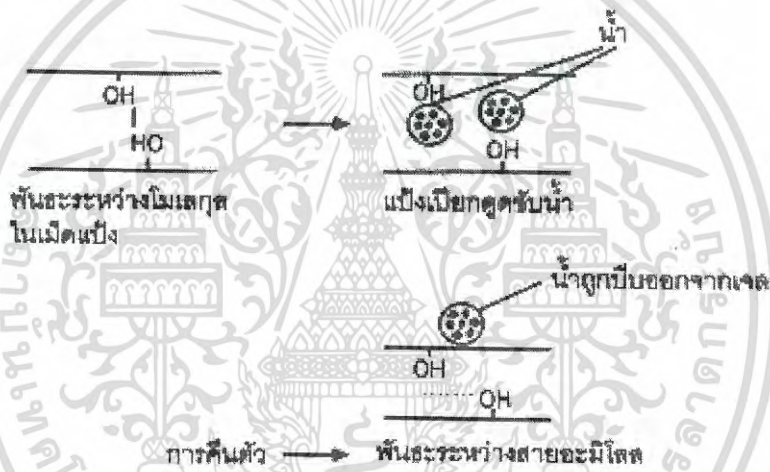
การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของ แป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดอะไมโลส อะไมโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในแป้งในสถานะที่อุณหภูมิค่าและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วง pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

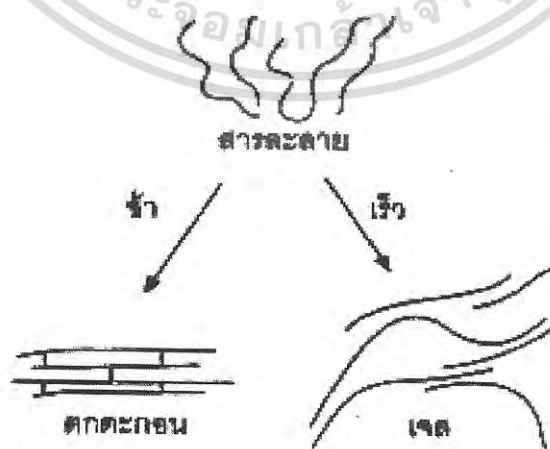
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้ แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก แคลเซียมไนเตรท และยูเรีย กลไกการคืนตัวของแป้งแสดงได้ดังรูปที่ 2.10

ปริมาณและขนาดของอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ อัตราในการคืนตัวจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (Degree of polymerization) ของอะไมโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะไมโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะไมโลสที่คืนตัวกลับมามีขนาดเล็กลงได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 °C อะไมโลสเพกตินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.9 การเกิดรีโทรเกรเดชัน [10]



รูปที่ 2.10 กลไกการคืนตัวของแป้ง [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

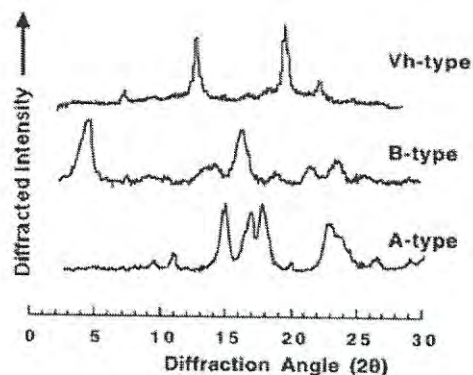
ตารางที่ 2.6 อัตราการคืนตัวของแป้งแต่ละชนิด [10]

ชนิดของแป้ง	% การตกตะกอนของส่วนที่ไม่ละลาย		
	5 วัน	10 วัน	30 วัน
แป้งมันฝรั่ง	10	15	20
แป้งข้าวโพด	37	48	62
แป้งสาลี	45	48	52
แป้งมันสำปะหลัง	11	12	13
แป้งข้าวเหนียว	0.2	0.5	1

นอกจากการใช้สตาร์ชในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในรูปแบบแป้งเพราะไม่ได้สกัดเอาโปรตีนและใยอาหารออกยังมีการใช้สตาร์ชในผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีก เช่น การใช้สตาร์ชจากข้าวทำเป็นเครื่องสำอางเช่น ทำแป้งแข็ง แป้งฝุ่น แป้งรองพื้น เป็นต้น รวมทั้งใช้ในอุตสาหกรรมเส้นใยผ้า เพื่อเคลือบเนื้อเส้นใยให้คงรูป เนื่องจากเม็ดสตาร์ชของแป้งมีขนาดเล็กสามารถแทรกหรือผสมกับส่วนอื่นๆ ได้ดี ในอุตสาหกรรมกระดาษมีการใช้สตาร์ชเป็นฟิล์มเคลือบเส้นใยเซลลูโลสเพื่อให้เกิดความเรียบเนียน พบว่า สตาร์ชจากข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่งใช้ได้ดีเพราะให้ความใสเป็นมันเงา และมีความยืดหยุ่นไม่เปราะแตกได้ง่าย อุตสาหกรรมกาว เช่น กาวของจดหมาย แสตมป์ และกระดาษกาว ก็นิยมใช้สตาร์ช รวมทั้งในอุตสาหกรรมยาก็นิยมใช้สตาร์ชเพื่อผสมกับตัวยา เพราะสามารถตกเป็นเม็ดยาได้ดีไม่เปราะแตกง่าย และยังคงจับความชื้นไว้ไม่ให้ความชื้นไปทำตัวยาเสื่อมคุณภาพเป็นต้น และพบว่าปัจจุบันมีการนำสตาร์ชมาใช้ทำเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์หรือกล่องโฟม เพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้ ลดจำนวนขยะพลาสติกหรือโฟมที่เสื่อมสลายได้ยากด้วย เพื่อลดมลพิษจากกล่องโฟมหรือถุงพลาสติกที่ย่อยสลายยาก

เม็ดสตาร์ชโดยทั่วไป จะมีลักษณะ โครงสร้างผลึก (Crystalline) เป็นได้ 3 แบบ คือ

- 1.A-type เป็นลักษณะ โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากธัญพืช เช่น ข้าวสาลี
- 2.B-type เป็นลักษณะ โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากพืชหัว เช่น สตาร์ชจากมันฝรั่ง
- 3.C-type เป็น อินเทอร์มีเดียตของ 2 ชนิดแรก ซึ่งมักเป็นเม็ดสตาร์ชที่ได้จากถั่ว และราก (Root starch)



รูปที่ 2.11 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน [10]

ตารางที่ 2.7 ลักษณะ โครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด [10]

ชนิดแป้ง	ความเป็นผลึก (%)	อุณหภูมิการเกิดเจลลิต์ในเซชัน (°C)	ปริมาณอะไมโลส (%)
โครงสร้าง A			
ข้าวโอ๊ต	33	60.7	23
ข้าวสาลี	36	63.5	23
ข้าวเหนียว	37	64.5	-
ข้าวฟ่าง	37	72.2	25
ข้าวเจ้า	38	70.0	17
ข้าวโพด	40	71.3	27
โครงสร้าง B			
Amylomaize	15 – 22	86.0	55 – 75
สาคุ	26	70.5	28
มันฝรั่ง	28	67.3	22
โครงสร้าง C			
มันเทศ	38	70.0	20
มันสำปะหลัง	38	66.0	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch) [11]

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) หมายถึง วัสดุที่สามารถหลอมตัว และนำไปขึ้นรูปเป็นแบบต่าง ๆ ได้ โดยการใช้ความร้อนและความดัน จากสมบัติของแป้งที่กล่าวข้างต้นจะเห็นว่าโดยธรรมชาติแล้ว แป้งไม่มีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกเลย เนื่องจากอุณหภูมิหลอมเหลวของเม็ดแป้ง ($T_m \sim 220-240\text{ }^{\circ}\text{C}$) สูงกว่าอุณหภูมิสลายตัว ($T_d \sim 220\text{ }^{\circ}\text{C}$) ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชสลายตัวก่อนที่จะหลอมเหลว ซึ่งเราสามารถทำให้แป้งมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกได้ โดยการใช้สารเติมแต่ง (Additive) คือ พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ช่วยทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินเป็นอิสระมากขึ้น ดังนั้นเราจึงนำแป้งมาขึ้นรูปเป็นแผ่นหรือขึ้นรูปเป็นรูปแบบต่าง ๆ ได้ พลาสติกที่ผลิตได้โดยวิธีนี้จึงเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความว่องไวต่อความชื้น ความยืดหยุ่นหรือความอ่อนตัว และการทนต่อความร้อน

การปรับปรุงคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชอาจทำได้โดยการตัดแปร โครงสร้างทางเคมี เช่น การกราฟท์โมเลกุลที่ไม่มีขั้วหรือโมเลกุลไฮโดรโฟบิกไปบนโมเลกุลของสตาร์ช การผสมทางกายภาพระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับพอลิเมอร์อื่นๆ และการผลิตคอมโพสิตที่มีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเป็นเมทริกซ์เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับพอลิเมอร์อื่น

การผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับพอลิเมอร์อื่นๆ เป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชอาจผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (Non-degradable synthetic polymers) เช่น พอลิเอทิลีน เอทิลีน ไวนิลอะซิเตต (EVA) และพอลิเอทิลีน ไวนิลอัลกอฮอล์ (PVOH) หรือพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพอลิเอสเทอร์ เช่น พอลิแลคติกแอซิด พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท พอลิคาโพรแลคโตน (Polycaprolactone, PCL) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนทอะดิเพต (PBSA) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ การผสมไม่เพียงแต่จะพัฒนาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช แต่ยังช่วยลดการดูดซับความชื้นและการหดตัวขณะขึ้นรูปอีกด้วย

2.5 แป้งถั่วเขียว [12]

แป้งถั่วเขียว (Mung bean starch) สกัดมาจากถั่วเขียว มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ เมื่อจับผิวสัมผัสแล้วจะรู้สึกสากมือ ก่อนใช้จึงควรมานำบดให้เป็นผงก่อน เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะข้นค่อนข้างใส ใสเหลือง ถ้าพักให้เย็นจะจับตัวเป็นก้อนแข็งอยู่ตัว มีสมบัติที่ให้ความแข็งแรงแต่เปราะ แป้งชนิดนี้มักใช้เป็นส่วนผสมในขนมไทย เหมาะสำหรับการทำอาหารที่ต้องการความใสอยู่ตัว เช่น ซ้ำหริ่ม ขนมลิ่มกลิน ตัวตะโก้

แป้งถั่วเขียว ซึ่งประชาชนทั่วไปมักรู้จักในนามของ “แป้งสลิ้ม” เนื่องจากผู้บริโภคหรือร้านค้าานิยมนำแป้งชนิดนี้มาทำเป็นขนม “ซ่าหริ่ม” หรือ “สลิ้ม” แต่ในความเป็นจริงแล้วแป้งชนิดนี้สามารถนำมาประกอบอาหารชนิดอื่นได้อีกหลายประเภท โดยเฉพาะขนม เช่น ขนมเทียน, ขนมชั้น, คู่ก๊ก, ทาร์ต เป็นต้น ทางสิทธิบัตรจึงได้เปลี่ยนชื่อเรียกใหม่เป็น “แป้งถั่วเขียว” เพราะเป็นแป้งที่ใช้ถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต และลดข้อจำกัดที่จะถูกเข้าใจว่า ทำได้เฉพาะขนม “ซ่าหริ่ม” เพียงอย่างเดียว แป้งถั่วเขียวที่มีขายอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ลักษณะดังนี้

- แป้งถั่วเขียวดัดแปร เป็นแป้งถั่วเขียวที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำขนมไทยและขนมต่างชาติได้ทันที

- แป้งถั่วเขียวธรรมชาติ เป็นแป้งที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวุ้นเส้นหรือก๋วยเตี๋ยวแช่แข็งได้

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเขียว [12]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	0.3
คาร์โบไฮเดรต	82.3
โปรตีน	1.8
ไขมัน	3.2
เส้นใย	0.53
เถ้า	3.20
ปริมาณอะไมโลส	37.90
ปริมาณอะไมโลเพกติน	62.10
อื่นๆ	0.90

กรรมวิธีการผลิตแป้งถั่วเขียว [12]

1. นำเมล็ดถั่วเขียวที่ทำความสะอาดแล้วมากะเทาะให้แตกเป็น 2 ซีก โดยใช้เครื่องโม่/บดและกรองแยกกาก ปรับแต่งชุดลูกหินกะเทาะให้ห่างพอเหมาะ ที่จะกะเทาะถั่วแตกเป็นสองซีกได้ หลังจากได้ถั่วซีกให้นำมาผัดเอาเปลือกปน จมูกถั่ว และสิ่งเจือปนขนาดเล็กออก เพราะสิ่งเจือปนเหล่านี้ถ้าบดไปพร้อมกันกับ เมล็ดถั่วเขียวแล้วจะแยกออกจากกันได้ยาก บางส่วนจะตกตะกอนรวมกับแป้ง และเห็นได้ชัดเมื่อผลิตออกมาเป็นวุ้นเส้นแล้ว

2. ใช้ถั่วซีกครั้งละ 10 กิโลกรัม (ใช้น้ำประมาณ 30 กิโลกรัม) แช่น้ำนานประมาณ 1-3 ชั่วโมง พอให้เมล็ดถั่วซีกนุ่มและแยกเปลือกออกได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำถั่วชิกที่ล้างแล้วไปบดในเครื่องโม่/ บดและกรองแยกกาก โดยขณะบดต้องผสมน้ำลงไปกับถั่วชิกด้วยเพราะแป้งถั่วเขียวมีคุณสมบัติในการละลายน้ำและตกตะกอนได้ง่าย ดังนั้นการผสมน้ำให้มากจะมีส่วนช่วยชะล้างแป้งและโปรตีนออกมาได้มากด้วย

4 ถั่วชิกที่ถูกบดจนละเอียดจะไหลผ่านลงมาในส่วนเครื่องกรองแยกกาก และถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแป้งและน้ำโปรตีนจะไหลผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช ลงในภาชนะเดียวกัน ขณะที่ส่วนของกากถั่วเขียวจะถูกอัดและส่งผ่านออกไปจากเครื่องกรองแยกกาก หรืออาจใช้ผ้าขาวบางกรองแยกกาก ถั่วเขียวออกจากน้ำแป้งแทนเครื่องกรองแยกกากได้

5. กากถั่วเขียวที่ได้ครั้งแรกอาจนำมาผสมน้ำแล้วโม่กรองแยกกากอีก 1 ครั้ง เพื่อแยกแป้งที่ตกค้างในกากถั่วเขียวออกให้หมด

6. การตกตะกอนแป้ง โดยการตั้งน้ำแป้งที่กรองแยกกากออกหมดแล้วทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วเทน้ำสีเขียวส่วนบนทิ้ง ซึ่งน้ำสีเขียวนี้เป็นน้ำที่มีโปรตีน ละลายอยู่สามารถนำได้ ตกตะกอนโปรตีนใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือใช้ผลิตชีวส์ได้ การตกตะกอนแป้งจะต้องไม่นานเกินไป เพราะจะทำให้โปรตีนตกตะกอนด้วย หลังจากนั้นล้างแป้งด้วยน้ำสะอาดโดยกวนแป้งในน้ำแล้วทิ้งไว้ให้แป้งตกตะกอน ประมาณ 3 ครั้ง หรือจนกระทั่งแป้งมีสีขาว น้ำที่ใช้ตกตะกอนใส เทน้ำทิ้งไปจะได้แป้งขึ้น

7. นำแป้งขึ้นไปตากแดดให้แห้ง ความชื้นประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

2.6 แป้งมันสำปะหลัง [13]

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทยมากพืชหนึ่ง เพราะพืชชนิดนี้มีการปลูกกระจายอยู่ทั่วทุกภาคในประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือตอนบน เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่ขึ้นได้บนดินหลายชนิด ไม่ต้องการการดูแลเอาใจใส่มาก การลงทุนไม่มากทนต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี เกษตรกรจึงปลูกกันมาก ทำให้ประเทศไทยสามารถปลูกมันสำปะหลังสดปีละ 20-23 ล้านตันซึ่งสามารถทำเป็นมันเส้นในรูปของการทำแป้งและอัดเม็ดเป็นมันสำปะหลังอัดเม็ด ในประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังมากขึ้น โดยเฉพาะการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์และหัวมันสำปะหลังไม่ควรนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เพราะมีสารพิษกรดไฮโดรไซยานิกในระดับที่สูงมาก และสามารถเป็นอันตรายต่อสัตว์ได้ นั่นก่อนจะนำมันสำปะหลังมาเลี้ยงสัตว์ต้องหาทางลดสารพิษดังกล่าวให้เหลือน้อยลง เช่นการทำมันเส้น และการทำมันหมัก

ลักษณะของแป้งมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว เนื้อเนียน ลื่นเป็นมัน ลักษณะเด่นของแป้งมันสำปะหลังคือ มีความบริสุทธิ์สูง (มีแป้งมากกว่า 95%) มีปริมาณโปรตีนและไขมันค่อนข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ (น้อยกว่า 1%) มีฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.04% เมื่อทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำไฟอ่อนปานกลาง แป้งจะละลายง่าย สุกง่าย แป้งเหนียวติดภาชนะ หนืดขึ้นขึ้นเรื่อยๆ ไม่มีการรวมตัวเป็นก้อน เหนียวเป็นใย ติดกันหมด ติดภาชนะ กล่าวได้ว่าแป้งไทย ขาวใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี เหมาะสมมาก เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ แป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2-8 เม็ดมารวมตัวกัน แต่ละเม็ดจะมีความยาวตั้งแต่ 5-35 ไมครอน เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออกและผิวตรงส่วนที่ตัดออกมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้ง อีกด้านแบน ไม่สม่ำเสมอกัน เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยบุ๋มอย่างชัดเจน และในบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้งด้วย ตลาดได้เลือกแป้งมันสำปะหลังประเภทstararchชั้นพิเศษ เป็นสินค้ามาตรฐานในการซื้อขายเนื่องจาก เป็นประเภทที่ผลิตกันอยู่ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรม โดยมีคุณภาพตามมาตรฐานโครงสร้างผลึกของแป้งมันสำปะหลังเป็นแบบ B

ชนิดของแป้งมันสำปะหลัง

- แป้งมันสำปะหลังดิบ (Native Starch) คือ แป้งที่เกิดจากการแปรรูปหัวมันสำปะหลัง ขึ้นต้นโดยไม่มีการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงร่วมในการผลิต เช่น การนำ หัวมันมาบดให้เป็นแป้ง แป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว และมีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งปนเปื้อนต่ำ โดยจะมีปริมาณแป้ง (Starch) อยู่มากกว่าร้อยละ 95 และมีปริมาณโปรตีนและไขมัน รวมถึงฟอสฟอรัส ค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ และเมื่อได้รับความร้อนจะมีความหนืดสูง ทำให้ได้แป้งเปียกที่ใส ไม่ทึบแสง และมีอัตราการคืนตัวต่ำ (Retrogradation)

- แป้งมันสำปะหลังแปรรูป (Modified Starch) คือ แป้งที่ได้จากการนำแป้งดิบไปผ่านกระบวนการปรับเปลี่ยน โครงสร้างทางโมเลกุลเพื่อให้มีคุณสมบัติเฉพาะ เช่น สมบัติทางด้านความเหนียว สำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท แป้งแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้แป้งมันสำปะหลังดิบเพราะมีราคาสูงกว่าแป้งดิบกว่าเท่าตัว

ตารางที่ 2.9 ลักษณะของแป้งมันสำปะหลัง (มอก. 274-2521) [13]

ข้อกำหนด	สมบัติขั้นต่ำ
ปริมาณแป้ง	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก
ความชื้น	ไม่เกินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก
เถ้า	ไม่เกินร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก
เชื้อ	ไม่เกิน 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อน้ำหนักแป้ง 50 กรัม
ความเป็นกรด-ด่าง	ตั้งแต่ 4.5 - 7.0
ปริมาณอะไมโลส	ร้อยละ 24.5 โดยน้ำหนัก
ปริมาณอะไมโลเพกติน	ร้อยละ 75.4 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แป้งข้าวเหนียว [14]

ข้าวเหนียว (Glutinous or waxy rice) ประกอบด้วย แป้งประเภทอะไมโลเพกติน ประมาณร้อยละ 95 มีแป้งประเภทอะไมโลสน้อยมาก หรือบางพันธุ์ไม่มีเลย แต่แป้งอะไมโลเพกตินล้วนๆ เมื่อหุงจะสุกง่ายและอ่อนนุ่ม เป็นแป้งที่มีความนิ่มมาก เป็นแป้งที่มีความนิ่มเหนียวมาก มีค่าความคงตัวแข็งละลายสูง ให้รสชาติมันคล้ายครีม มีค่าการดูดซับน้ำสูง แป้งข้าวเหนียวมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับแป้งสาลี ไม่สามารถนำมาทำเป็นขนมอบได้ เนื่องจากไม่เกิดกลูเตน ก้อนแป้งจึงไม่สามารถจับก้ำไขว้เพื่อให้ความพองตัวต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ โครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียวเป็นแบบ A

ในทางอุตสาหกรรมมีการพัฒนาแป้งข้าวเหนียวได้เป็น 4 ชนิด คือ Waxy rice starch, Non-waxy rice starch, Modified rice starch และ Organic rice starch

ในขนมบางชนิดจึงต้องผสมแป้งข้าวเจ้าลงไปเล็กน้อย จะทำให้ขนมหรืออาหารนิ่มนวลขึ้น เมื่อสุกต้องมีความเหนียวเหนียวหนึบ จะมีสีขาวขุ่นเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน สังกัดได้จากขนมถ้วยแปบ ขนมเหนียว ขนมบัวลอย และขนมบัวป็น

แป้งข้าวเหนียวดิบมีความบริสุทธิ์สูง ส่วนคุณสมบัติเชิงหน้าที่นั้นยังมีคุณสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นสารช่วยทางยา เช่น ความสามารถในการไหลต่ำ ความสามารถในการถูกคอกออัตต่ำ (25.13) และความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก (ร้อยละ 2.43)

ตัวอย่างการนำแป้งข้าวเหนียวไปใช้ประโยชน์

- การทดแทนแป้งสาลีและแป้งข้าวในผลิตภัณฑ์ขนมปังแบนด์วิช ผลิตภัณฑ์ปาห้องโก้

ตารางที่ 2.10 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว [14]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	4.0
คาร์โบไฮเดรต	82.7
โปรตีน	0.3
ไขมัน	6.6
เถ้า	8.8
ปริมาณอะไมโลส	1
ปริมาณอะไมโลเพกติน	99
อื่นๆ	0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 แป้งท้าวยายม่อม [14]

แป้งท้าวยายม่อมเป็นแป้งที่ทำมาจากหัวท้าวยายม่อม (*Tacca leontopetaloides*) ซึ่งเก็บหัวได้ปีละครั้ง จึงทำให้เป็นแป้งที่มีราคาแพง ลักษณะแป้งเป็นเม็ดเล็กๆ หยิบๆ สีขาวลักษณะของแป้งจะหนัก มีเม็ดแป้งปนอยู่บ้าง ไม่นุ่มละเอียดเหมือนแป้งมัน ลักษณะของแป้ง เมื่อทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำด้วยไฟอ่อนปานกลาง แป้งละลายง่าย สุกง่าย เมื่อสุกจะเริ่มใส มีเงาในเนื้อแป้ง เหนียวปานกลาง เมื่อเย็นแล้ว แป้งรวมตัวเป็นก้อน ล่อนออกจากภาชนะได้ เมื่อต้องการนำมาทำอาหารจะต้องบดให้ละเอียดเป็นผงเสียก่อนด้วยครก โดยใช้สากคสิ่งๆ หากไม่บดเมื่อนำมาปรุงอาหารจะเป็นเม็ดไตอยู่ในอาหาร เมื่อนำไปประกอบอาหารจะให้ความข้นเหนียวนุ่มและใสวาว เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะเหนียวกว่าแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด (จึงใช้ในปริมาณไม่มากเท่ากับแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด)

ชื่อสามัญ East Indian arrow root

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี มีหัวลักษณะกลมแบน หรือรี อยู่ใต้ดิน ในฤดูฝนจะงอกงามดี แต่จะโทรมลงในฤดูหนาว ต้นสูงประมาณ ๘๐ เซนติเมตร ก้านใบงอกตรงขึ้นจากหัว มีจำนวน ๑-๓ ก้าน ใบเป็นใบเดี่ยวออกที่ปลายก้าน สีเขียวอ่อน มีจุดประสีขาวหรือม่วงดำ ขอบใบจักเว้าลึก ออกดอกคราวละ ๑-๒ ช่อ แต่ละช่อมี ๑๐-๒๐ ดอก ใต้วงศ์ดอกมีกลีบรองดอกใหญ่ และกลีบรองดอกย่อยรองรับ ดอกสีเหลืองอ่อน เหลืองแกมเขียว หรือเขียวแกมม่วงดำ ที่ช่อดอกสีขาว สายนี้จะติดอยู่จนผลแก่ ผลสีเขียว สุกสีเหลือง

ท้าวยายม่อมมีการกระจายพันธุ์กว้างตั้งแต่แอฟริกา เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หมู่เกาะแปซิฟิก จนถึงออสเตรเลีย ในไทยพบกระจายห่างๆ เคยมีการสำรวจ พบอยู่ค่อนข้างหนาแน่นในป่าบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงใต้และพบอยู่อย่างกระจัดกระจายในป่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพืชล้มลุกเจริญเติบโต ได้ดีในสภาพร่มเงาต้นไม้ในป่าโปร่งที่เป็นดินทรายหรือดินร่วนทราย การขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดหรือการแยกหัว ต้นท้าวยายม่อมชาวจังหวัดระยองรู้จักกันในชื่อ ต้นนางนวล

ประโยชน์ หัวต้นท้าวยายม่อม สามารถนำมาทำเป็นแป้งที่เป็นอาหารเรียกว่า แป้งท้าวยายม่อม ซึ่งได้จากหัว ถ้านำแป้งมากวนกับน้ำตาลกรวด เป็นอาหารบำรุงคนป่วยและคนชรา แก้อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ทำให้เกิดกำลังชุ่มชื่นใจ ขนมอบางชนิดใช้แป้งท้าวยายม่อมผสมเพื่อให้ตัวเนื้อขนม นุ่มนวล เพิ่มรสชาติขึ้น

สมบัติแป้งท้าวายม่อม

มีลักษณะใส ความหนืดสูง ความทนทานต่อแรงเฉือนและความร้อนต่ำ มีความเปราะเล็กน้อย มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 99 % โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะไมโลส 24.53 % และมีไขมัน เถ้า เส้นใย ฟอสฟอรัส และโปรตีนน้อยมาก โครงสร้างผลึกของสตาร์ชท้าวายม่อมเป็นแบบ C มีการพองตัวปานกลาง มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาคิโนเซชันของสตาร์ช เท่ากับ 72.25 องศาเซลเซียส แป้งเปียกที่ความเข้มข้นสูงจะมี เสถียรภาพของความหนืดต่ำกว่าแป้งเปียกความเข้มข้นต่ำ การเกิดรีโทรเกรเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บนาน 7 วัน และเมื่อเก็บไว้นานขึ้น(14 วัน) การเกิดรีโทรเกรเดชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ การเก็บที่ - 20 องศาเซลเซียส ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ และมีสมบัติการไหลแบบ Pseudoplastic

สมบัติที่แตกต่างจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดคือ เมื่อนำมาอุ่นจะมีความข้นและไม่คืนตัว สามารถนำมาใช้ประกอบอาหารและทำขนมได้หลายชนิด ได้แก่ ขนมชั้น ขนมเปียกปูนหรือขนมบัวตอก ไม้ ข้าวฟ่างเปียก เต้าส่วน ขนมกรวย ขนมซ่อม่วง ครองแครงกะทิ ขนมดอกถั่วเจียก ขนมผักเจียก ขนมผักทอง ขนมกล้วย ทับทิมกรอบมะพร้าวกะทิ ขนมถ้วยหน้ากะทิลอดช่องกะทิ กะละแมเสวย ขนมหัวผักกาด ขนมกงหรือขนมกงเกวียน ข้าวเกรียบปากหม้อ บัวลอย เส้นหั่นจันทร์ ขนมทองเอก ขนมเรไร ขนมมันสำปะหลัง ขนมดอกอัญชัน ขนมวุ้นกรอบ อีกทั้งสามารถนำมาผสมกับแป้งเผือกและแป้งสาลีทำขนมพุดดิ้ง เค้ก และขนมปัง สำหรับ อาหารคาว ใช้เป็นส่วนผสมใน ซุปเห็ด เจ หอยทอด ผัดราดหน้า กระจ่างปลา เป็นต้น

วิธีการผลิตแป้งจากหัวท้าวายม่อม มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ล้างหัวให้สะอาดปอกเปลือก
2. นำมาย่อยสลายให้ได้แป้งโดยน้ำสะอาดโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้

วิธีที่ 1 เอาหัวฝนบนแผ่นสังกะสีที่เจาะรูด้วยตะปูใช้ภาชนะเช่น โถงหรือถังพลาสติกใส่น้ำรรับส่วนที่ฝนได้ไว้

วิธีที่ 2 นำหัวสับย่อยให้เป็นชิ้นเล็กแล้วใส่ในเครื่องปั่นผลไม้เติมน้ำเล็กน้อยแล้วปั่น

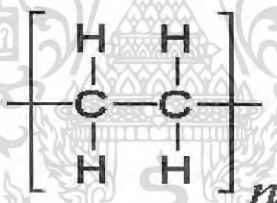
3. เอาส่วนที่ได้จากข้อ2 มาเติมน้ำคนให้เข้ากันแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง เอาส่วนที่เป็นกากทิ้งไป แช่ส่วนที่กรองได้ในภาชนะนาน 3 ชั่วโมง แป้งจะตกตะกอนอยู่ก้นภาชนะเมื่อครบ 3 ชั่วโมงเทน้ำทิ้งเติมน้ำลงแป้งที่ตกตะกอนคนให้เข้ากันแล้วกรองอีกเอาส่วนกากทิ้งไป แช่ส่วนที่กรองได้ครั้งที่ 2 นี้อีกจนครบ 3 ชั่วโมงแล้วดำเนินการเหมือนกับ เมื่อครบ 3 ชั่วโมงแรกเสร็จแล้วแช่ส่วนที่กรองได้เป็นครั้งที่ 3 เมื่อครบ 3 ชั่วโมงแล้วจึงเทน้ำทิ้งเอาแป้งที่ตกตะกอนอยู่ก้นภาชนะ ออกมาตากแดดให้แห้งก็จะได้แป้งขาวสะอาดโดยได้น้ำหนักกว่า 1 กิโลกรัมจากหัวสดประมาณ 5 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.11 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งทำยายม่อม [14]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	0.2
คาร์โบไฮเดรต	99.36
โปรตีน	0.05
ไขมัน	0.03
เถ้า	0.15
ปริมาณอะไมโลส	17.34
ปริมาณอะไมโลเพกติน	83.66
อื่นๆ	0.50

2.9 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Poly Ethylene, LDPE) [15]

สูตรโครงสร้างทางเคมี



สมบัติทางกายภาพ :

LDPE มีความหนาแน่นต่ำ (0.910 - 0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ที่ผลิตโดยใช้แรงดันสูง จากกระบวนการ Free radical polymerization มีความเหนียวและยืดหยุ่นได้ดี ทนต่อการกรอกรอบแตก มีความนุ่ม ความใสแต่ใสไม่เท่าพลาสติกชนิด PP (Polypropylene, สัญลักษณ์เลข 5) โครงสร้างทางเคมีเป็นกิ่งสาขา (Branching) มากกว่าโครงสร้างทางเคมีของ HDPE (High-density polyethylene, สัญลักษณ์เลข 2) จึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ต่ำกว่า และมีความแข็งแรงทนทานน้อยกว่า HDPE แต่ LDPE ทนความร้อนได้ไม่มากนัก แต่ทนสารเคมีได้ดี โดยทนความร้อน (ทนอุณหภูมิสูงถึง 80 °C และทนอุณหภูมิสูงถึง 95 °C ในช่วงสั้น ๆ) แต่ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงในหม้ออัดไอน้ำ (Autoclave) เท่าพลาสติกชนิด PP และทนต่อสารเคมีน้อยกว่า HDPE เริ่มหลอมตัวที่ 120 °C ทนความเย็นได้ถึง - 50 °C ทนต่อสภาพอากาศได้ดีพอสมควร แต่อากาศสามารถซึมผ่านได้ LDPE มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว มีความเหนียวและยืดหยุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ สามารถผสมให้มีสีต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LDPE เป็นวัสดุประเภท Polyethylene thermoplastic ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม จัดเป็นพลาสติกที่รับสัญลักษณ์เลข 4 ซึ่งหมายถึง Resin identification code 4 เพื่อความสะดวกสำหรับการจำแนกชนิดของพลาสติกในการนำกลับไปเวียนทำใหม่ (Recycled)

การใช้งาน : เหมาะสำหรับการผลิตแผ่นฟิล์มต่าง ๆ เช่น วัสดุสำหรับบรรจุหีบห่ออาหาร เคลือบด้านในของถังกระดาศ ถุงเย็น ถุงก๊อบแก๊บ ซองใส่อาหาร เครื่องเล่นเด็ก ฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า สายเคเบิล ขวดพลาสติกชนิดบีบได้ โดยเฉพาะขวดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

2.10 พลาสติกไซเซออร์ (Plasticizer) [16]

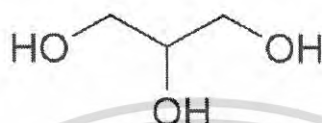
พลาสติกไซเซออร์ คือ สารเติมแต่ง (Additive) ที่ใส่ลงในกระบวนการผลิตพลาสติกเพื่อทำให้มีสมบัติเปลี่ยนไปคือ มีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นสูง ทนต่อสภาวะความเป็นกรดด่าง ทนต่ออุณหภูมิสูง สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและยา เครื่องมือทางการแพทย์ ของเล่นสำหรับเด็ก เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับพลาสติกแต่จะไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพลาสติก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนลง พลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น สารกลุ่มพทาเลต (Phthalate) สารกลุ่มอะดิเพต (Adipate) สารกลุ่มมาลีเอต (Maleate) และน้ำมันพืชอีพอกซิไดซ์ (Epoxidized vegetable oils) เป็นต้น

โดยทั่วไปพลาสติกที่ใช้ทำปะเก็นฝาปิดขวดแก้ว จะเป็นพลาสติกประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride: PVC) ซึ่งจะเติมสารพลาสติกไซเซออร์ประมาณร้อยละ 25 – 45 โดยน้ำหนัก โดยพลาสติกไซเซออร์ ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่ม แรลเลต และกลุ่มน้ำมันพืชอีพอกซิไดซ์มากที่สุด สารที่เป็นปัญหาได้แก่ ไดเอทิลเฮกซิลแรลเลต (Di-(2-ethylhexyl) phthalate, DEHP) ไดนอร์มอลบิวทิลแรลเลต (Di-(n-butyl) phthalate, DnBP, DBP) ไดไอโซโนนิลแรลเลต (Diisononyl phthalate, DINP) และน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (Epoxidized soybean oils, ESBO)

เนื่องจากสารพลาสติกไซเซออร์เหล่านี้ ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลกับพลาสติก แต่ไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลเท่านั้น เมื่อผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในกระบวนการผลิตอาหารถึงสำเร็จรูปที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 100 – 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือถ้าอาหารเป็นกรดจะใช้เวลาความร้อนไม่ถึง 100 องศาเซลเซียส ทำให้สารพลาสติกไซเซออร์สลายออกมาและเกิดการปนเปื้อนลงในอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่มีไขมันสูง เนื่องจากสารพลาสติกไซเซออร์เป็นสารที่ละลายในไขมันได้ดี

แบ่งเป็น 2 ประเภท [16]

1. พลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary plasticizer) เป็นพลาสติไซเซอร์ที่มีคุณภาพสูง ใช้งานได้โดยตรง แต่มักมีราคาแพง
2. พลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary plasticizer) เป็นพลาสติไซเซอร์ที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำกว่าประเภทแรก นำไปใช้โดยตรงไม่ได้ จะต้องใช้ควบคู่กับพลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ แต่พลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิจะเพิ่มคุณสมบัติเฉพาะอย่างได้ดีกว่า



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของกลีเซอรอล [16]

2.11 สารช่วยผสม (Compatibilizer) [17]

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้พอลิเมอร์มีข้อบกพร่อง คือ

- มีสมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคไม่ดี
- มีค่าความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่าง 2 วัฏภาค (Interfacial tension) สูง
- มีสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่ไม่เสถียรเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป

ซึ่งจากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทำให้มีการนำสารช่วยผสม (Compatibilizer) มาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) และให้ผลในการช่วยลดความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่าง 2 วัฏภาค ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสัณฐานวิทยาที่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป มีวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) ที่มีขนาดเล็กและทำให้มีสมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคดีขึ้น ซึ่งวิธีการที่สามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ดีขึ้น แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. Non-reactive blending คือ การเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้ สารช่วยผสมที่ใช้ควรมีสถูรโครงสร้างที่เหมือนกับพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน เพื่อให้เกิดการเกี่ยวพัน (Entanglement) กับวัฏภาคทั้งสองของพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นสารช่วยผสมที่นิยมใช้คือพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ซึ่งมีหลายชนิด คือ พอลิเมอร์ร่วมแบบโคปอลิเมอร์แบบไดโคปอลิเมอร์แบบกราฟท์หรือแบบส้อม ตัวอย่างเช่น การใช้พอลิเมอร์ร่วมของพอลิสไตรีนกับพอลิบิวทาไดอีน แบบโคปอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมของ พอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีน

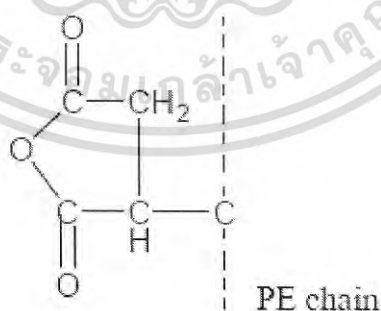
2. Reactive blending เป็นวิธีการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมแบบเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมนั้นมีหมู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีขณะที่ทำการผสม หรือทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกราฟต์พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งให้มีหมู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีกับ พอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การกราฟต์พอลิเอทิลีนด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) หรืออะคริลิกแอซิด (Acrylic acid) ซึ่งทำให้มีหมู่คาร์บอกซิลที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีหมู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมี เช่น พอลิเอไมด์

การเติมสารช่วยผสมเป็นการเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมแต่ไม่ใช่การทำให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว เนื่องจากสารช่วยผสมมีการจัดเรียงตัวระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสมทำหน้าที่เหมือนสะพานเชื่อม (เทียบกับการเย็บผ้า) ทั้งสองวัฏภาคให้ดีขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการยึดติดระหว่างวัฏภาค ทำให้วัฏภาคกระจายมีการกระจายตัวที่ดี และมีขนาดของวัฏภาคกระจายที่เล็กขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

ในการเลือกพอลิเมอร์ร่วมเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมต้องคำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลในแต่ละส่วนของพอลิเมอร์ร่วม คือ ถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความยาวของสายโซ่สั้น ทำให้การแทรกซึมผ่านไปนพอลิเมอร์ผสมได้น้อย ส่งผลให้การยึดติดระหว่างผิวสัมผัสต่ำ แต่ถ้าน้ำหนักโมเลกุลสูงมากเกินไป ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก การแทรกซึมผ่านไปนพอลิเมอร์ผสมก็ต่ำเช่นเดียวกัน ในงานวิจัยนี้ใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride grafted polyethylene, MAPE) โครงสร้างดังรูปที่ 2.13 มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีนเป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้วซึ่งจะทำให้สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physical chemical properties) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเป็นขั้วของพอลิเอทิลีน โดยทำให้ความเป็นขั้วเพิ่มขึ้นและความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น พบว่าแอนไฮไดรด์เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนและเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่น รวมทั้งสารตัวเติม (Additive) ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ [17]

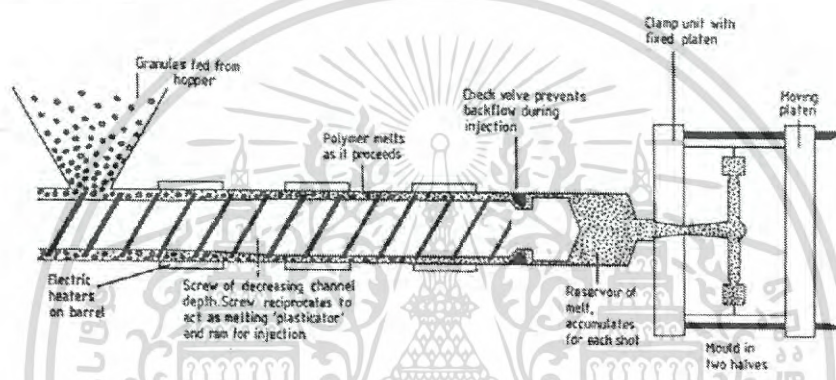
2.12 การขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Molding) [18]

เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีดพลาสติกที่กำลังหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยความดันสูง เครื่องจักรที่ใช้ในการนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่และเป็นที่ยอมรับแพร่หลาย

2.12.1 ส่วนประกอบเครื่อง Injection Molding

โดยทั่วไปแล้วเครื่องฉีดพลาสติก จะมีโครงสร้างส่วนประกอบสำคัญซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ส่วน

- ส่วนชุดฉีด (Injection Unit)
- ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)
- ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base)



รูปที่ 2.14 เครื่อง Injection Molding [18]

2.12.2 ส่วนชุดฉีด (Injection Unit)

จะทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกลอดหลอมเหลว แล้วส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด และทำหน้าที่ในการฉีด และรักษาความดันอัด ซึ่งจะมีส่วนประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้ คือ

- หัวฉีด (Nozzle) เป็นส่วนต่อปลายกระบอกลอดพลาสติกเข้ากับช่องทางไหลของพลาสติก ในแม่พิมพ์หัวฉีดมีรูขนาดเล็กเพื่อให้พลาสติกหลอมเหลวไหลผ่านเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์ด้วยความรวดเร็ว

2.12.3 ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

- ทำหน้าที่ในการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ให้แรงในการปิดแม่พิมพ์
- หล่อเย็นชิ้นงานฉีดพลาสติก และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์
- ประกอบไปด้วยแผ่นยึดแม่พิมพ์ ซึ่งมีส่วนที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่เพลาเคลื่อนระบบขับเคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ และแผ่นยึดระบบขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.4 ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base)

- ทำหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์
- นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่อง และยังทำหน้าที่เป็นถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่แล้วตัวฐานเครื่อง จะทำด้วยเหล็กเหนียว ที่เชื่อมประกอบเข้าเป็นฐานเครื่อง เพื่อความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักมาก ๆ ได้ดี

2.12.5 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก

การฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding นี้เครื่องฉีดจะประกอบด้วยสกรู และเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานได้หลายลักษณะงาน จึงทำให้มีความนิยมในการฉีดพลาสติกแบบนี้มาก ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนของการฉีดพลาสติกได้ 9 ขั้นตอน

1. แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิด และล็อกแน่น เพื่อป้องกันการแยกด้วยแรงดันภายในแม่พิมพ์
2. ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์จนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์ และค้างไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะ เพื่อป้องกันชุดฉีดถอยหลังกลับ ในขณะที่ทำการฉีด
3. ฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยสกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน
4. ย้ำรักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่น และไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน
5. หล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์ โดยที่จังหวะนี้จะมีอิทธิพลมาก ต่อเวลาการทำงานที่แท้จริง
6. การหลอม และป้อนพลาสติกไปหน้าปลายสกรู เมื่อได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่ต้องการแล้วเกลียวบนอนจะหยุดหมุน
7. ชุดฉีดจะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะจะทำให้พลาสติกหนืดเกินไปและไหลไม่ได้
8. แม่พิมพ์จะเปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น
9. ทำการปลดชิ้นงาน เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกสุดแล้ว

อุตสาหกรรมการผลิตด้วย Injection molding ได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันที่สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมการผลิต เช่น การผลิตรถยนต์ (Automotive) การแพทย์ (Medical) เครื่องบิน (Aerospace) สินค้าอุปโภคบริโภค (Consumer products) ของเล่น (Toys) ประปา (Plumbing) บรรจุภัณฑ์ (Packaging) รวมไปถึงงานด้านโยธา (Construction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คารินทร์ โพธิ์ศรี และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาการเตรียมและสมบัติต่างๆของพลาสติกย่อยสลายที่เตรียมได้จากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) จากแป้งถั่วเขียว (Mung bean starch) โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเขียวในสูตรที่มีการผสมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด จากนั้นเป็นขั้นตอนการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเขียวโดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยฝ้ายและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเพิ่มขึ้น และสมบัติเชิงกลมีค่าสูงสุดเมื่อทำการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ในอัตราส่วน 2:1 ส่วนฐานฐานวิทยาของ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในแต่ละสูตรเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) แสดงให้เห็นว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถเข้ากับเมทริกซ์ได้ สำหรับสมบัติทางความร้อนพบว่า การเติมเส้นใยฝ้ายมีผลทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสูงขึ้น และยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่มีการปรับปรุงมีแนวโน้มการย่อยสลายเร็วที่สุด แต่สูตรที่มีการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 40 % โดยน้ำหนัก ใช้เวลาในการย่อยสลายนานที่สุด

อุยารัตน์ รัตนคำนวน และดวงดาว อัจจง [20] ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มพลาสติกเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และแป้งที่สกัดจากกล้วยน้ำว้าที่ปริมาณ 5-20% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยมีการเติมสารช่วยผสม คือ พอลิเอทิลีน-กราฟต์-มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PE-g-MA) และสารเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสง คือ เบนโซฟีโนน ในปริมาณ 10 % โดยน้ำหนักของแป้ง และ 0.25 0.5 1% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ตามลำดับ จากนั้นทำการศึกษาผลของปริมาณแป้งกล้วยและสารเติมแต่งต่างๆ ที่มีต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของฟิล์ม สำหรับอุณหภูมิการหลอมเหลว และปริมาณความเป็นผลึกไม่ขึ้นกับปริมาณแป้งที่เติมเข้าไปไม่มีผลต่อสมบัติทั้งสอง ในขณะที่การเติมสารช่วยผสมแม้จะไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของฟิล์มแต่ทำให้ความเป็นผลึกของวัสดุภาค LDPE ลดลง สำหรับเบนโซฟีโนนนั้นจากการศึกษาพบว่า มีผลทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น แต่ในขณะที่เดียวกันทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุภาค LDPE ลดลงเช่นเดียวกัน สำหรับสมบัติเชิงกลของฟิล์มนั้นพบว่า การเติมแป้งนั้นทำให้สมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มลดลงตามปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเติมสารช่วยผสมลงไปสามารถปรับปรุงสมบัติความทนแรงดึงให้เพิ่มขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กษิต อิมประไพ และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลและกายภาพของฟิล์มบริโกลด์ได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโกลด์ได้จากแป้งต่างชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้น 5 10 และ 15% (w/v) โดยเติมพลาสติกไซเซอร์ความเข้มข้น 30% โดยน้ำหนักของแป้ง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50° C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทดสอบสมบัติทางกล-กายภาพ ได้แก่ ค่าความหนา (Thickness) ความทึบแสง (Opacity) อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor transmission rate, WVTR) การละลาย (Solubility) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength, TS) และการยืดตัว (Elongation, E) พบว่า ความหนาของฟิล์มจากแป้งทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มมากขึ้น ความใสของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีค่า Opacity ต่ำกว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้า และเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มขึ้น สำหรับการละลาย ความทนต่อแรงยืด และการยืดตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการละลาย ความแข็งแรงดึง และการยืดตัวสูงกว่าฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้า และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มขึ้น

สุทธิ รอดทั้ง [22] ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง/แป้ง/แป้งตัดแปรร โดยแป้งตัดแปรรสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งและมาเลอิกแอนไฮไดรด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาและน้ำเป็นตัวทำละลาย โดยการตัดแปรรแป้งข้าวเหนียวใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ 35 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เป็นเวลา 30 นาที ส่วนการตัดแปรรแป้งมันสำปะหลังใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ 25 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางแป้งไม่ตัดแปรร และแป้งตัดแปรรมาผสมกันแล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดแบบ โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของแป้งเป็น 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณแป้งตัดแปรรเป็น 5 10 15 และ 20 phr จากการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ซึ่งได้แก่ สมบัติด้านแรงดึง ด้านแรงคดโค้ง และด้านแรงกระแทก พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมแป้งตัดแปรร สามารถดูความชื้นความชื้นและย่อยสลายทางชีวภาพได้มากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยไม่เติมแป้งตัดแปรร แม้ว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียว แต่พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวสามารถดูความชื้นและย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง ผลการทดลองทั้งหมดบ่งชี้ว่า พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็น 80:20 และแป้งข้าวเหนียวตัดแปรร 5 phr กับที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็น 90:10 และแป้งมันสำปะหลังตัดแปรร 5 phr มีสมบัติโดยรวมดีกว่าพอลิเมอร์ที่เตรียมจากสูตรอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีติพร อุทธิเรืองเดช และ ธงชัย สุวรรณดิษณณ์ [23] ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งท้าวยายม่อม (*Tacca leontopetaloides* Ktze.) โดยการเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า พบว่าแป้งท้าวยายม่อมมีองค์ประกอบทางเคมีร้อยละน้ำหนักแห้ง ได้แก่ ไขมัน เส้นใยหยาบ โปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 0.03 0.41 0.05 0.15 และ 99.36 ตามลำดับ โดยมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง และมีลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งเป็นรูปไข่ ในขณะที่แป้งข้าวเจ้ามีรูปร่างหลายเหลี่ยม ลักษณะแกรนูลของแป้งท้าวยายม่อมมีขนาดเม็ดแป้งใหญ่ที่สุด เท่ากับ 21 ไมครอน มีปริมาณและน้ำหนักของอะไมโลสมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 28 และ DPn เท่ากับ 2418 ตามลำดับ แป้งท้าวยายม่อมและแป้งอีก 2 ชนิดที่กล่าวมามีรูปแบบ X-ray diffraction pattern เป็นแบบ A-type เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตินซ์ของแป้งท้าวยายม่อมเท่ากับ 68 องศาเซลเซียส และเมื่อวิเคราะห์พฤติกรรมด้านความข้นหนืดด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) ให้ค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 317 RVU ที่ 95 องศาเซลเซียส และค่าการคืนตัวเท่ากับ 121 RVU ที่ 50 องศาเซลเซียส และจากการศึกษาสมบัติทางกลของเจลแป้งท้าวยายม่อมด้วยวิธีการวัดค่าแรงกด พบว่าเจลแป้งท้าวยายม่อมมีลักษณะที่แข็งกว่าเจลแป้งมันสำปะหลัง แต่แข็งน้อยกว่าเจลแป้งข้าวเจ้า โดยที่เจลแป้งท้าวยายม่อมมีค่า Young's modulus ที่ช่วงค่าความเครียดน้อยกว่า 0.2 เท่ากับ 3.94 kPa และมีค่าระดับความสามารถในการคืนตัวสู่สภาพเดิมร้อยละ 67.36 เมื่อนำแป้งท้าวยายม่อม และแป้งมันสำปะหลัง มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมชั้นพบว่าขนมชั้นที่มีส่วนผสมของแป้งท้าวยายม่อม ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกับขนมชั้นที่มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า และจากวิธีการวัดค่าทางกลพบว่าขนมชั้นที่มีส่วนผสมของแป้งท้าวยายม่อม มีค่าระดับความสามารถในการคืนตัวสู่สภาพเดิม ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน และค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ ร้อยละ 45.58, 0.44 และ 10.70 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าขนมชั้นที่มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า

ทัศนัย อรรถพรพิทักษ์ [24] ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสตาร์ชท้าวยายม่อม โดยจากการสกัดสตาร์ชจากหัวท้าวยายม่อม 2 พันธุ์ (Green stem tacca, GST และ Purple stem tacca, PST) ด้วยวิธีไม่เปียก พบว่า Yield ที่ได้เท่ากับ 24.46 และ 20.43 % รูปร่างแกรนูลของสตาร์ชทั้ง 2 พันธุ์ เป็นรูปไข่และรูปกล้วย เม็ดสตาร์ชมีผิวเรียบแต่ที่บริเวณรอยตัดของเม็ดสตาร์ชรูปกล้วยมีลักษณะผิวไม่เรียบ สตาร์ช GST และ PST มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 99.62 และ 99.37 % โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะไมโลส 24.53 % และ 21.16 % และมีไขมัน เถ้า เส้นใย ฟอสฟอรัส และโปรตีนน้อยมาก โครงสร้างผลึกของสตาร์ชท้าวยายม่อมเป็นแบบ C นอกจากนี้สตาร์ชท้าวยายม่อมมีการพองตัวปานกลาง โดยสตาร์ช PST มีการพองตัวสูงกว่า GST เมื่อศึกษาการเกิดเจลลิตินซ์ด้วย RVA พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตินซ์ของสตาร์ช GST และ PST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 72.25 องศาเซลเซียส และ 74.43 องศาเซลเซียส เมื่อศึกษาสมบัติด้านความหนืดของแป้งเปียก พบว่าแป้งท้าวมึลักษณะใส ความหนืดสูง ความทนทานต่อแรงเฉือนและความร้อนต่ำ นอกจากนี้แป้งท้าวมึที่ความเข้มข้นสูงจะมีเสถียรภาพของความหนืดต่ำกว่าแป้งท้าวมึที่ความเข้มข้นต่ำ เมื่อศึกษาสมบัติการเกิดรีโทรเกรเดชัน ด้วย DSC พบว่าเกิดรีโทรเกรเดชันเมื่อเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 วัน การเกิดรีโทรเกรเดชัน เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บนาน 7 วัน และเมื่อเก็บไว้นานขึ้น (14 วัน) การเกิดรีโทรเกรเดชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ การเก็บที่ -20 องศาเซลเซียส ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ และเมื่อศึกษาสมบัติการไหลของสตาร์ชท้าวยายม่อมที่ความเข้มข้น 2.5-4 % พบว่า มีการไหลแบบ Pseudoplastic จากการศึกษาศสมบัติทาง Viscoelastic ของเจลแป้งท้าวยายม่อมความเข้มข้น 20 g/dl พบว่าสตาร์ช GST มีเจลที่แข็งแรงกว่าสตาร์ช PST

นภมณี มงคลประเสริฐ [25] ศึกษาสมบัติทางการไหลและสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชถั่วเขียวซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่ามีคาร์บอน 10.89% เถ้า 0.03% โปรตีน 0.10% ไขมัน 0.31% เส้นใย 0.01% และคาร์โบไฮเดรต 88.66% (w/w) และจากการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชและอะไมโลสพบว่ามีสตาร์ช 97.98% (w/w) จากคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด โดยส่วนที่เป็นสตาร์ชมีอะไมโลส 34.49% (w/w) ผลการทดลองโดยวิธี Differential scanning calorimetry (DSC) พบว่าความชื้นมีผลต่อการเกิดเจลในเซชันของสตาร์ช คือ ที่ความชื้น 30% (w/w) ไม่พบพีค Endotherm ซึ่งบ่งว่ามีความชื้นไม่พอต่อการเกิดเจลในเซชันการเพิ่มความชื้นจาก 40% (w/w) ถึง 80% (w/w) ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น 62.62 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในช่วงค่าความชื้น 50-61% (w/w) พบพีค Endotherm 2 พีคซ้อนกัน ขณะที่ช่วงความชื้นต่ำหรือสูงกว่านี้พบเพียง 1 พีค ที่ความชื้น 70% (w/w) สตาร์ชถั่วเขียวเกิดรีโทรเกรเดชันทันทีเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 วัน แต่การเก็บที่ -20 องศาเซลเซียสช่วยชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ 3 วัน ค่า Intrinsic viscosity ของสตาร์ชถั่วเขียวไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงว่าขนาดแกรนูลของสตาร์ชคงที่

นริศกัญจน์ทรกุล [26] ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นการเตรียมพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและไม่ดัดแปรกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยแป้งข้าวเหนียวดัดแปรสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 35 เปอร์เซ็นต์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา และน้ำเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปร คือ 50 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา คือ 30 นาที แล้วนำแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและแป้งข้าวเหนียวที่ไม่ได้ดัดแปรไปผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง จากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยวิธีการอัดแบบ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 5 นาที โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเป็น 0 5 10 15 20 25 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อปริมาณแป้งสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แผ่นพอลิเมอร์ผสมมีความเปราะ ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบได้สำหรับที่ปริมาณแป้ง 0-50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติด้านความทนแรงดึง สมบัติด้านความทนการตัดโค้ง และความทนแรงกระแทกตกลงในขณะที่การดูดซึมความชื้นและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณแป้งเท่ากัน พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวไม่ดัดแปร มีสมบัติเชิงกลดีกว่า แต่มีการดูดซึมความชื้นและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวดัดแปร

กาญจนา อุทัยฉายและคณะ [27] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้ง (TPS) โดยการนำแป้งข้าวเหนียวและกลีเซอรอลผสมกันด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ แล้วจึงนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นตัวอย่างด้วยเทคนิคการอัดเข้าแม่พิมพ์ ในการทดลองได้ใช้แป้งมันสำปะหลัง, แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว ผสมกับกลีเซอรอลที่อัตราส่วนกลีเซอรอล 15% 20% 25% และ 30% w/w รวมถึงศึกษาการพัฒนาสมบัติเชิงกลของ TPS ด้วยการเติมผงแคลซียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.250-0.355 มม. และ 0.038-0.150 มม. ผสมกับแป้งในอัตราส่วนผงแคลซียม 1% และ 3% w/w ผลการทดลองพบว่า TPS ที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวและกลีเซอรอล 15% w/w มีค่า Tensile strength มากที่สุด และการเติมผงแคลซียมขนาด 0.038-0.150 มม. ปริมาณ 1% w/w ทำให้ TPS มี Tensile strength และ Impact strength สูงขึ้น

H. A. Pushpadassa และคณะ [28] ได้ศึกษาเตรียมพอลิเมอร์ผสมจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพด (TPS) ผสม LDPE ที่อัตราส่วนของ TPS: LDPE 95:5, 90:10 และ 85:15 ใช้กลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ที่ 25 30 และ 35% wt และไม่มีสารเติมสารช่วยผสม ทำการผสมส่วนผสมทั้งหมดด้วยเครื่องผสมแบบปิดและขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป นำที่เตรียมได้ไปทดสอบด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และทดสอบด้วยเทคนิค XRD และทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ ผลการทดลองพบว่าภาพจากเทคนิค SEM มีลักษณะปรากฏพื้นผิวเป็นรอยแตกและเกิดความไม่ต่อเนื่องกันของ 2 วัฏภาคระหว่างแป้งและ LDPE โดยงานวิจัยนี้จึงมีการปรับปรุงการกระจายตัวของ LDPE ในเมทริกซ์ของสตาโรซโดยการลดความหนืดของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซโดยการเพิ่มอุณหภูมิในการอัดรีดให้สูงขึ้น ซึ่งทำให้การดึงยึดเพิ่มขึ้นและความต้านทานการซึมผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้น 7.3-25.4 % และความแข็งแรงดึงและมอดูลัสเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณ LDPE 5 ถึง 10% แต่มีค่าลดลงเมื่อใช้ปริมาณ LDPE 15% และพบว่าการใช้กลีเซอรอล ที่ 30 % wt ให้ค่าการดึงยึดที่มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M.A.Manal และคณะ [29] ศึกษาการเตรียมและสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเจ้า (TPS) ที่มีองค์ประกอบดังนี้ ความชื้น 14 % โปรีติน 0.8% เส้นใย 0.8% และไขมัน 0.2% กับ LDPE (MFI 2 g/min และ ความหนาแน่น 0.923 g/ml) โดยใช้ปริมาณ TPS ที่ 0 2.5 5 7.5 และ 10 % โดยน้ำหนักของ LDPE โดยมีกลีเซอรอล 30%wt เป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่อง Two roll mill และขึ้นรูปโดยเทคนิคการเป่า (Blow film extrusion) ให้ได้ความหนาของฟิล์มประมาณ 5-75 ไมโครเมตร นำฟิล์มย่อยสลายได้ที่เตรียมได้ไปทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการผ่านรังสีอัลตราไวโอเลต (UV-radiation) ที่ระยะเวลา 0 20 40 60 80 และ 150 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้ว มาทดสอบสมบัติต่างๆ จากการศึกษพบว่า การเติม TPS ในปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่ามอดูลัสและความแข็งแรงดึงมีค่าสูงขึ้นและค่าการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง ส่วนการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มพบว่าฟิล์มที่มีการปรับปรุงพื้นผิวแล้ว มีพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบมากขึ้น จะเห็นได้ว่ามีลักษณะเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน และในด้านสมบัติเชิงกลพบว่าให้ค่าการดึงยืดที่เพิ่มขึ้น

P. Lescher และคณะ [30] ศึกษาการเตรียมและสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จาก LLDPE และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพด (TPS) ที่มี 25% อะไมโลส โดยใช้ TPS 2 ชนิด คือ 1.TPS ที่ไม่เติมกลีเซอรอล 2.TPS ที่มีกลีเซอรอลกับ Ethanolamine 50:50 โดยใช้อัตราส่วนของ TPS: LLDPE ที่ 20:80 ใช้สารช่วยผสม คือ Octenyl succinate anhydride (OSA) ทำการผสมด้วยเครื่อง Corotating twin screw extruder ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ที่ Melt flow rate 10g/min ใช้ความเร็วสกรู 60 rpm ขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของแป้ง ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ ผลของสารช่วยผสมและการ Aging (โดยการเก็บชิ้นงานไว้ 80 วันแล้วจึงนำมาทดสอบ) ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ผลการศึกษาพบว่า การใช้ปริมาณ TPS ทั้ง 3 ชนิดมากขึ้น ทำให้ค่าความเค้นดึงและมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมลดลงและผลจากการ Aging ทำให้ค่ามอดูลัสลดลงและความเค้นสูงขึ้น และพบว่าชนิดแป้ง ชนิดของสารพลาสติกไซเซอร์ ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ พบว่ามีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมน้อยมาก

F.J. Rodriguez-Gonzalez และคณะ [31] ศึกษาถึงการเตรียมและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งสาลี (TPS) ที่มีปริมาณอะไมโลส 25 % และอะไมโลเพกติน 75 % โดยใช้กลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้ปริมาณกลีเซอรอลที่แตกต่างกัน คือ 29 36 40 % โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วนของ TPS :LDPE เท่ากับ 45:55 และ 29:71 เตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยการผสมและขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูแบบคู่ โดยใช้ความเร็วสกรู 150 rpm แล้วนำพอลิเมอร์ผสมไปทดสอบสมบัติเชิงกล ผลการศึกษาพบว่าสูตรที่ใช้อัตราส่วนของ TPS :LDPE เท่ากับ 29:71 ให้ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดและค่ามอดูลัสสูงกว่าเมื่อใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่นับญาติให้มาแจ้งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของ TPS :LDPE เท่ากับ 45:55 และปริมาณกลีเซอรอลที่ทำให้สมบัติโดยรวมของพอลิเมอร์ผสมที่ดีที่สุดคือ 36 % โดยน้ำหนัก

R. Nawang และคณะ [32] ศึกษาถึงการเตรียมและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LLDPE กับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งสาคุ (TPS) โดยแป้งสาคุมีขนาดอนุภาค 14.5 ไมโครเมตร และมีอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อน 230 องศาเซลเซียส โดยใช้กลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ใช้ปริมาณ TPS 5-30 % โดยน้ำหนัก เตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 20 rpm เป็นเวลา 10 นาทีและขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Injection molding ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำพอลิเมอร์ผสมไปทดสอบสมบัติเชิงกล ผลการศึกษาพบว่าผลของการเติมแป้งสาคุลงใน LLDPE ทำให้ค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงขึ้น ส่วนค่าความเค้น ค่าความแข็งแรงดึง และค่าการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ LLDPE บริสุทธิ์ ส่วนปริมาณ TPS ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้สมบัติโดยรวมดีที่สุดคือ 15 % โดยน้ำหนัก

P. Matnizos และคณะ [33] ศึกษาถึงการเตรียมและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)/เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพด (TPS)/พอลิคาโพรแลคโตน (PCL) โดย LLDPE มี MFI เท่ากับ 1.92 กรัม/10 นาที และแป้งข้าวโพด มีปริมาณอะไมโลส 30 % ปริมาณอะไมโลเพกติน 70 % ใช้โดยมีการเติมสารช่วยผสมคือพอลิเอทิลีน-กราฟต์-มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PE-g-MA) ในปริมาณ 10 % โดยน้ำหนักของแป้ง เตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยการผสมด้วย Intermeshing twin screw extruder ที่ความเร็วสกรู 80 rpm ใช้กลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ 30 %wt ใช้อัตราส่วน LDPE:TPS ที่ 70:30 และใช้อัตราส่วนระหว่าง (LDPE:TPS) : PCL 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 ขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป ใช้ความดันที่ฉีด 60 bar อุณหภูมิที่ใช้ 180-190 องศาเซลเซียส และมีการขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยเทคนิคการเป่าขึ้นรูปได้ฟิล์มที่มีความหนาประมาณ 50 ไมโครเมตร เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ที่ขึ้นกับวิธีการทดสอบจาก 2 เทคนิค ผลการศึกษาพบว่าการกระจายตัวของ PCL ในเมทริกซ์ TPS/LDPE มีการกระจายตัวที่ดี ซึ่งส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดี ในด้านความแข็งแรงดึง มอดูลัสและการดึงยืด ณ จุดขาด พบว่ามีค่าสูงขึ้น ส่วนการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป พบว่ามีการกระจายตัวของ PCL ในเมทริกซ์ TPS/LDPE ที่ไม่ดี จึงส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมไม่ดี สรุปว่า 2 เทคนิคในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมแตกต่างกัน

W. Shujun และคณะ [34] ศึกษาถึงความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ (TPS) จากแป้งข้าวโพด (Corn starch) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ที่เตรียมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขลิขสิทธิ์ที่กำหนดไว้ ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 20 : 80 และ 30 : 70 ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวและศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม สมบัติทางความร้อน ศึกษานิวทราด้วย Scanning electron microscopy (SEM) และสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) ซึ่งการใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเพื่อทำให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติกโดยใช้ความร้อน (Plasticization) จากการศึกษาพบว่าค่าความแข็งแรงดึงและการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของ TPS เพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาศึกษานิวทราพบว่า TPS และ LLDPE มีการแยกวัฏภาคกันอย่างชัดเจน และงานวิจัยนี้ยังได้ทำการผสมพอลิเมอร์ผสมกับมาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride, MAH) พบว่าให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการที่ไม่เติม ซึ่งสามารถบอกได้โดยใช้เทคนิค TG ที่พบว่ามีเสถียรภาพทางความร้อนมากขึ้นและเมื่อนำพอลิเมอร์ผสมมาผสมกับ MAH ทำให้ TPS กับ LLDPE ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น เทคนิค FT-IR แสดงให้เห็นถึง MAH สามารถต่อกิ่งบนสายโซ่ของ LLDPE ได้โดยใช้กระบวนการเดียวกับการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS และ LLDPE

D.S. Rosa และคณะ [35] ศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปและการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งข้าวโพด (Thermoplastic starch, TPS) กับพอลิเมอร์ผสมกัน 2 ชนิด คือ PP และ HDPE โดยมีกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้ปริมาณ PP/HDPE 100/0 75/25 และ 0/100 wt.% และใช้ปริมาณ TPS 30 40 และ 50% wt โดยไม่มีการเติมสารช่วยผสม นำของผสมที่เตรียมได้มาทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูแบบคู่และขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป แล้วนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่าการเติม TPS ลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้อัตราการไหล ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมลดลง แต่เพิ่มความแข็งแรงให้กับพอลิเมอร์ผสม จึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงขึ้น และลักษณะทางศึกษานิวทรา สามารถบอกได้ว่าการแยกวัฏภาคระหว่าง TPS กับ HDPE/PP

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แป้งถั่วเขียวตราคันสน

2. แป้งข้าวเหนียว ตราเหรียญทองก้าวหน้า

3. แป้งมันสำปะหลัง ตราดาวแดง

4. แป้งท้าวยายม่อม ตราปلامังกร

5. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density polyethylene, LDPE) สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกรดซีดี (LD1630J) จากบริษัทไทยโพลีเอทิลีน จำกัด

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ค่าที่ได้	วิธีการทดสอบ
อัตราการไหล (Melt flow rate)	g / 10 min	28	ASTM D1238
ความหนาแน่น (Density)	g / cm ³	0.915	ASTM D 1505
จุดหลอมเหลว (Melting point)	°C	110	ASTM D 2117

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

6. กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab System

7. มาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE) สมบัติของมาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน แสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.2 สมบัติของมาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน เกรดการค้า MB 100D จากบริษัท Dupont Packaging & Industrial Polymer

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ค่าที่ได้	วิธีการทดสอบ
อัตราการไหล (Melt flow rate)	g / 10 min	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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์

1. ถุงมือกันความร้อน
2. เกรียง
3. เวอร์เนียร์
4. ไมโครมิเตอร์
5. ถาด
6. กรรไกร
7. แผ่นอลูมิเนียม (Aluminium Foil)

เครื่องมือที่ใช้

1. เครื่องชั่งแบบละเอียด (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) : Precisa Instrument
2. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) : Brabender รุ่น PL 2000/PL 2001
3. เครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) : LABTECH ENGINEERING
4. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Plastic Injection moulding machine) : TTI-220/80 HITECH, Welltec industrial equipment Ltd
5. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) : LLYOD INSTRUMENT LTD. รุ่น LR 5K
6. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Durometer Hardness แบบ Shore D) : Intro enterprise CO., Ltd
7. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact tester) : Yazuda 199311
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) : JEOL รุ่น JSM-6400
9. เครื่องทดสอบทางความร้อน TGA (Thermogravimetric analyzer, TGA) : รุ่น Pyris 1 TGA HT
10. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer, FTIR) : รุ่น FTIR Spectrum GX
11. เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) : Hunter lab รุ่น Miniscan XE plus
12. เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) : Bruker AXS GmbH รุ่น D 8 Advance
13. ตู้อบ : WTB binder 7200 Tuttlingen/Germany

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

- 1) ทำการชั่งน้ำหนักแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลใส่ลงภาชนะ ในอัตราส่วน 70:30 ทำการผสมให้เข้ากัน [21,28]
- 2) เก็บของผสมที่ได้ในภาชนะที่ปิดสนิทเป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้กลีเซอรอลซึมเข้าไปในแป้ง
- 3) นำ LDPE มาผสมกับมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (MAPE) 5%wt ของ LDPE ด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสและที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 นาที
- 4) นำเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS) ที่เตรียมได้มาผสมกับ LDPE ที่ผสมกับ MAPE ไว้แล้วดังตารางที่ 3.3 ในอัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 70:30 และ 60:40 % wt มาทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสและที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็น 12 นาที
- 5) นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากขั้นที่แล้วมาทำการบด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 6) นำพอลิเมอร์ผสมไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection moulding) ตามสภาวะดังตารางที่ 3.4
- 7) นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป
- 8) ทำการทดลองซ้ำ ตามวิธีข้อ 1-7 โดยเปลี่ยนชนิดแป้งเป็น แป้งถั่วเขียว แป้งท้าวยายม่อม และแป้งข้าวเหนียว ตามลำดับ เพื่อศึกษาถึงปริมาณของ TPS : LDPE ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของ TPS ผสมกับ LDPE โดยมี MAPE เป็นสารช่วยผสม

TPS (g)	LDPE (g)	MAPE (5%wt LDPE) (g)
100	0	0
90	10	0.5
80	20	1.0
70	30	1.5
60	40	2.0

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

Description	Unit	Value
PRESSURE		
1 st stage pressure	Bar.	30
2 nd stage pressure	Bar.	30
3 rd stage pressure	Bar.	30
FLOW SPEED		
1 st stage injection speed	Rpm	40
2 nd stage injection speed	Rpm	40
3 rd stage injection speed	Rpm	40
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.	100
TEMPERATURE		
Zone 1	°C	170
Zone 2	°C	160
Zone 3	°C	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ [36]

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
แรงดึง (Load)	ASTM D 638	N
ความเค้นที่จุดแรงดึงสูงสุด (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	%
ความแข็งกด (Hardness)	ASTM D 2240	Shore A

3.4.1.1 แรงดึง ความเค้นที่จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุดและ ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม WINDAP ซึ่ในงานที่ใช้ในการทดสอบ จะมีลักษณะเป็นรูปคัมเบลล์ จำนวน 10 ชิ้นงาน ต่อ 1 สูตร โดยทำการควบคุมสภาวะของชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบ ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60% ทดสอบตามสภาวะดังนี้

Test speed	:	100 mm/min
Gauge length	:	30 mm
Load cell	:	5 kN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ [36]

ค่าความเค้นที่จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

ค่าความเค้นที่จุดแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load) = F/A

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

เปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดแรงดึงสูงสุด (% Strain at maximum load) = $[(L-L_0)/L_0] * 100$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm^2)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (mm)

L_0 คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

3.4.1.2 ความแข็งกด (Hardness) [37]

วัดความแข็งของพอลิเมอร์ผสม ตามมาตรฐาน ASTM D 2440 ด้วย Durometer Hardness ชนิด Shore A โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะต้องมีความหนาอย่างน้อย $\frac{1}{4}$ นิ้ว หรือ 0.25 นิ้ว ทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงกดตัวอย่างละ 10 จุด สเกลสำหรับอ่านค่าความแข็งกด อยู่ในช่วง 0-100 โดยค่าความแข็งกด 0 คือ ความแข็งกดของของเหลว และค่าความแข็งกด 100 คือ ความแข็งกดของวัสดุที่แข็งมากไม่ยุบตัว เช่น กระจก

3.4.2. การทดสอบสัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ทำการเตรียมตัวอย่างที่ได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป

3.4.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด (Maximum degradation temperature) ของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชด้วยเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 16 มิลลิกรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศไนโตรเจน (N₂) ที่ภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ให้อยู่ในช่วง 50-600 องศาเซลเซียส และมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส/นาที เมื่อได้ TGA เทอร์โมแกรมแล้วจึงนำมาทำอนุพันธ์ของเทอร์โมแกรม (Derivative thermogram) ได้เป็น DTG

3.4.4 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน [38]

นำชิ้นงานรูปดัมเบลล์มาฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 30-40% ทำการฝังดินทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 90 วัน จากนั้นนำชิ้นงานที่ฝังดินไปทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการย่อยสลายของชิ้นงาน

3.4.5 ปริมาณการดูดซับน้ำ[39]

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 570 นำพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน โดยนำชิ้นงานขึ้นมาบันทึกน้ำหนักทุกวัน ซึ่งปริมาณการดูดซับน้ำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$W_a (\%) = (W_e - W_0) / W_0 \times 100$$

เมื่อ W_a คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

W_e คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมหลังการดูดซับน้ำ

W_0 คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมก่อนการดูดซับน้ำ

3.4.6 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในพอลิเมอร์ผสม โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Infrared spectroscopy) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างไปให้ความร้อนจนอ่อนตัวจนกระทั่งเป็นฟิล์มแผ่นบาง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2-0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์แล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน 10⁻¹ kg/cm² นาน 5 นาที แล้วนำเม็ดออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปวิเคราะห์จะได้กราฟสเปกตรัมของสารตัวอย่าง

3.4.7 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction)

วิเคราะห์หาโครงสร้างของผลึกของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆ กัน เพื่อระบุวัฏภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer โดยเตรียมสารตัวอย่างที่มีความหนา 200 μm และขนาดของมุมตกกระทบที่ใช่ (2θ) ในช่วง $3-60^\circ$ ด้วยอัตราเร็ว $1^\circ/\text{นาที}$ แล้วปล่อยรังสีเอกซ์เข้าขึ้นตัวอย่าง โดยใช้ Step time 5 นาที

3.4.8 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี

ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่น Miniscan XE Plus โดยใช้ระบบของ CIE $L^*a^*b^*$ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D 65/ 10° เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงาน

โดย L^*	:	ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)
		$L = 0$ perfect black sample
		$L = 100$ perfect white sample
a^*	:	ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (red – green)
		a เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีแดง
		a เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางของสีเขียว
b^*	:	ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (yellow – blue)
		b เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง
		b เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน
c^* (Chroma)	:	ความสดใสของสี
จากสูตร		$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$
h° (Hue angle)	:	เป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีนั้นมีตำแหน่งอยู่ที่ใดมีหน่วยเป็นองศา
จากสูตร		$h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและศึกษาการขึ้นรูปและการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ที่เตรียมได้จากเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งท้าวขาม่อม (Thermoplastic arrowroot starch : TPAS) แป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch : TPCS) แป้งถั่วเขียว (Thermoplastic mungbean starch : TPMS) และแป้งข้าวเหนียว (Thermoplastic waxy rice starch : TPWS) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยมีก๊ลิเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และสารช่วยผสมชนิดมาลิกอิกแอนไฮไดรด์ กราฟท์พอลิเอทิลีน (MAPE) และศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งชนิดต่างๆ และ LDPE พอลิเมอร์ผสมสามารถเตรียมได้ด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) และขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมในแต่ละสูตร มาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การวัดสี การเกี่ยวเบนของรังสีเอกซ์ สมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน การดูดซับน้ำและการย่อยสลายด้วยการฝังดิน โดยรายละเอียดของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และองค์ประกอบทางเคมีของแป้งแต่ละชนิดแสดงใน ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อแทนสูตรของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

สูตรที่	อักษรย่อที่ใช้	ความหมาย
1	TPAS*/LDPE**	เทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวขาม่อม * phr /พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ** phr
2	TPCS*/LDPE**	เทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลัง * phr /พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ** phr
3	TPMS*/LDPE**	เทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งถั่วเขียว * phr /พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ** phr
4	TPWS*/LDPE**	เทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งข้าวเหนียว * phr /พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ** phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเขียว แป้งข้าวเหนียว และแป้งท้าวยายม่อม

องค์ประกอบ (ร้อยละ) /ชนิดของแป้ง	แป้งถั่วเขียว [12]	แป้งมัน สำปะหลัง [13]	แป้งข้าวเหนียว [14]	แป้งท้าวยายม่อม [15]
ความชื้น	0.3	0.5	4.0	0.2
คาร์โบไฮเดรต	82.3	85.0	82.7	99.3
โปรตีน	1.8	0.3	1.6	0.05
ไขมัน	3.2	1.1	6.6	0.03
เถ้า	3.2	0.2	8.8	0.1
ปริมาณอะไมโลส	37.9	16.4	1.0	24.5
ปริมาณอะไมโลเพกติน	62.1	83.6	99.0	75.4
อื่นๆ	0.9	0.60	0.8	0.5

ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละสูตร ให้ผลการทดลองตามหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

ศึกษาสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละสูตร โดยดูลักษณะทางกายภาพหลังจากการฉีดขึ้นรูป ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพหลังการฉีด

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ
TPAS100 /LDPE0	ฉีดออกมา runner ได้ แต่ติดอยู่ที่แม่พิมพ์ เมื่อดึงออกมาจากแม่พิมพ์ ชิ้นงานไม่คงรูปเกิดการยืดออก
TPAS90 /LDPE10	ฉีดออกได้ค่อนข้างยาก มีชิ้นงานบางส่วนสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ มีติดแม่พิมพ์เล็กน้อย
TPAS80/LDPE20	ฉีดออกได้ค่อนข้างยากเล็กน้อย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์
TPAS70 /LDPE30	ฉีดออกได้ง่าย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TPAS60 /LDPE40	ฉีดออกได้ง่าย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์
TPCS100 /LDPE0	ฉีดออกมา runner ได้ แต่ติดอยู่ที่แม่พิมพ์ เมื่อดึงออกมาจากแม่พิมพ์ ชิ้นงานไม่คงรูปเกิดการยืดออก
TPCS90 /LDPE10	ฉีดออกได้ค่อนข้างยาก มีชิ้นงานบางส่วนสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ มีติดแม่พิมพ์บางส่วน
TPCS 80/LDPE20	ฉีดออกได้ค่อนข้างยากเล็กน้อย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์
TPCS70 /LDPE30	ฉีดออกได้ง่าย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์
TPCS60 /LDPE40	ฉีดออกได้ง่าย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์
TPMS100 /LDPE0	ฉีดออกมา runner ได้ แต่ติดอยู่ที่แม่พิมพ์ เมื่อดึงออกมาจากแม่พิมพ์ ชิ้นงานไม่คงรูปเกิดการยืดออก
TPMS90 /LDPE10	ฉีดออกได้ค่อนข้างยากเล็กน้อย มีชิ้นงานบางส่วนสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์
TPMS80/LDPE20	ฉีดออกได้ค่อนข้างง่าย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์
TPMS70 /LDPE30	ฉีดออกได้ง่าย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์
TPMS60 /LDPE40	ฉีดออกได้ง่าย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์
TPWS100 /LDPE0	ฉีดออกมา runner ได้ แต่ติดอยู่ที่แม่พิมพ์ เมื่อดึงออกมาจากแม่พิมพ์ ชิ้นงานไม่คงรูปเกิดการยืดออก
TPWS90 /LDPE10	ฉีดออกได้ยากมาก มีชิ้นงานบางส่วนสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ มีติดแม่พิมพ์ค่อนข้างมาก
TPWS 80/LDPE20	ฉีดออกได้ค่อนข้างยาก ชิ้นงานบางส่วนสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ มีติดแม่พิมพ์เล็กน้อย
TPWS70 /LDPE30	ฉีดออกได้ยากเล็กน้อย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์
TPWS60 /LDPE40	ฉีดออกได้ค่อนข้างง่าย ชิ้นงานสมบูรณ์ตามแม่พิมพ์ ไม่ติดแม่พิมพ์

จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของ TPS : LDPE มากขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานฉีดออกมาจากเครื่องฉีดขึ้นรูปได้ยากขึ้น เนื่องจากการใช้ปริมาณแป้งมากขึ้น มีความหนืดสูงขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์ไหลอมเหลวไหลได้ยากขึ้น เมื่อพิจารณาที่ชนิดของแป้งพบว่าแป้งถั่วเขียวสามารถฉีดขึ้นรูปได้ง่ายที่สุด รองลงมา คือ แป้งมันสำปะหลังและแป้งท้าวยายม่อม ส่วนแป้งที่สามารถฉีดขึ้นรูปได้ยากที่สุดคือ แป้งข้าวเหนียว ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการฉีดขึ้นรูป ขึ้นอยู่กับปริมาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งแต่ละชนิด กล่าวคือ อะไมโลสมีลักษณะเป็นโซ่ตรง มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมากนักจึงมีความเกาะกันน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอะไมโลเพกติน ส่วนอะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส [10] มีความเกาะหรือขัดขวางการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว โดยจากข้อมูลส่วนประกอบของแป้งแต่ละชนิด (ตารางที่ 4.2) พบว่าแป้งถั่วเขียวมีปริมาณอะไมโลสมากที่สุด รองลงมาคือ แป้งท้าวยายม่อม และแป้งมันสำปะหลัง ส่วนแป้งข้าวเหนียว มีปริมาณอะไมโลสน้อยที่สุด ดังนั้นพอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE สามารถฉีดขึ้นรูปได้ง่ายที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ รองลงมา คือ แป้งมันสำปะหลังและแป้งท้าวยายม่อม ส่วนแป้งที่สามารถฉีดขึ้นรูปได้ยากที่สุดคือ แป้งข้าวเหนียว ตามลำดับ



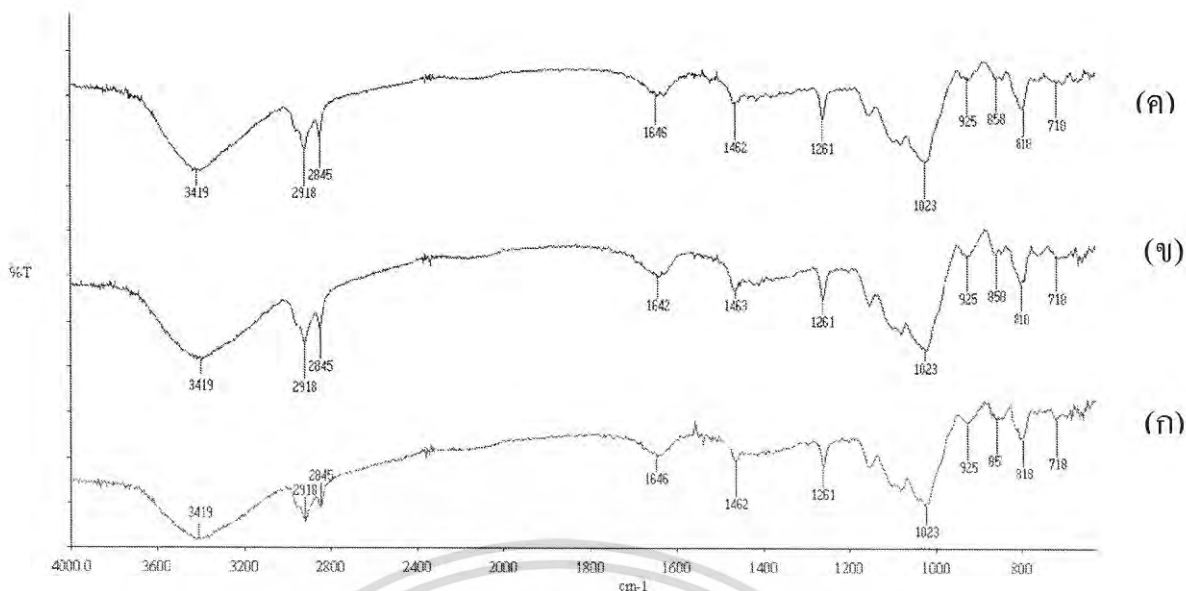
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์สามารถทำได้โดยใช้เครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์ที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ ดังนี้ TPAS/LDPE, TPCS/LDPE, TPMS/LDPE และ TPWS/LDPE พิกที่ปรากฏมีลักษณะคล้ายกันดังที่แสดงในตารางที่ 4.4

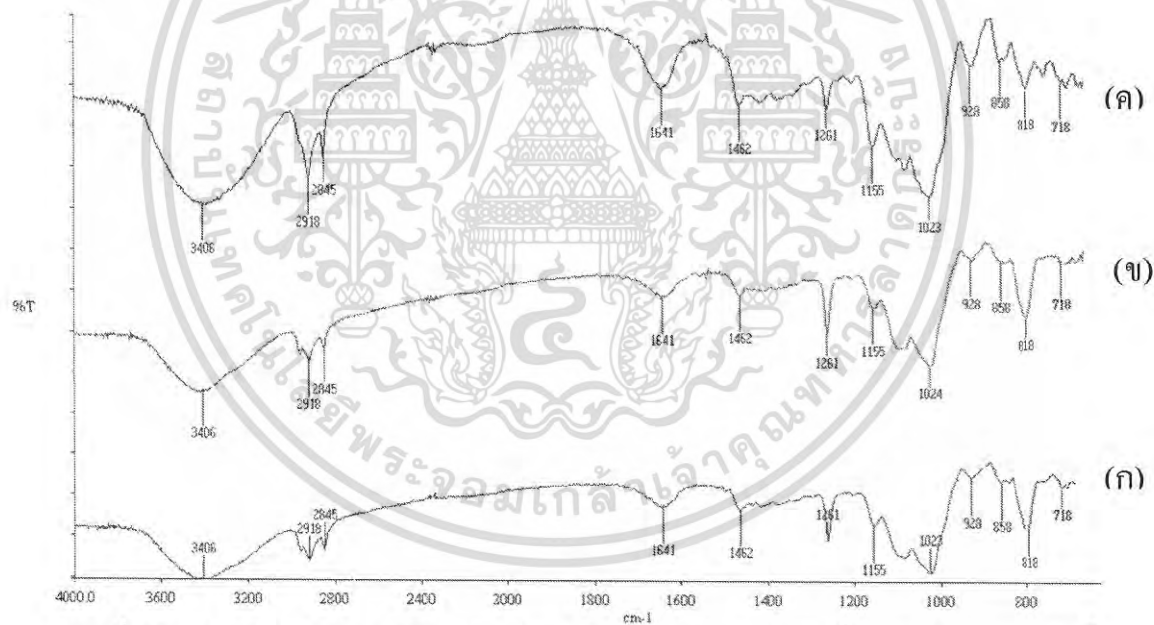
ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งของพิกอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม [40]

Wavenumber range, cm^{-1}	Functional group
3200-3600 (v)	O-H stretching
2800-3000 (m→s)	Alkanes C-H stretching
1640	H-O-H stretching
1445-1485 (m)	O-H-bending
1410 (s)	C-H wagging (in-plane bending)
1300-1000 (s)	C-O-C stretching
1200-1000 (s)	C-O-H bending
900-940 (s)	C-H out-of-plane bending
800-860 (s)	C-H out-of-plane bending
735-770 (s)	C-H out-of-plane bending
716-718 (s)	CH_2 - rocking

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนระหว่าง TPAS:LDPE เท่ากับ 60:40, 70:30 และ 80:20 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1

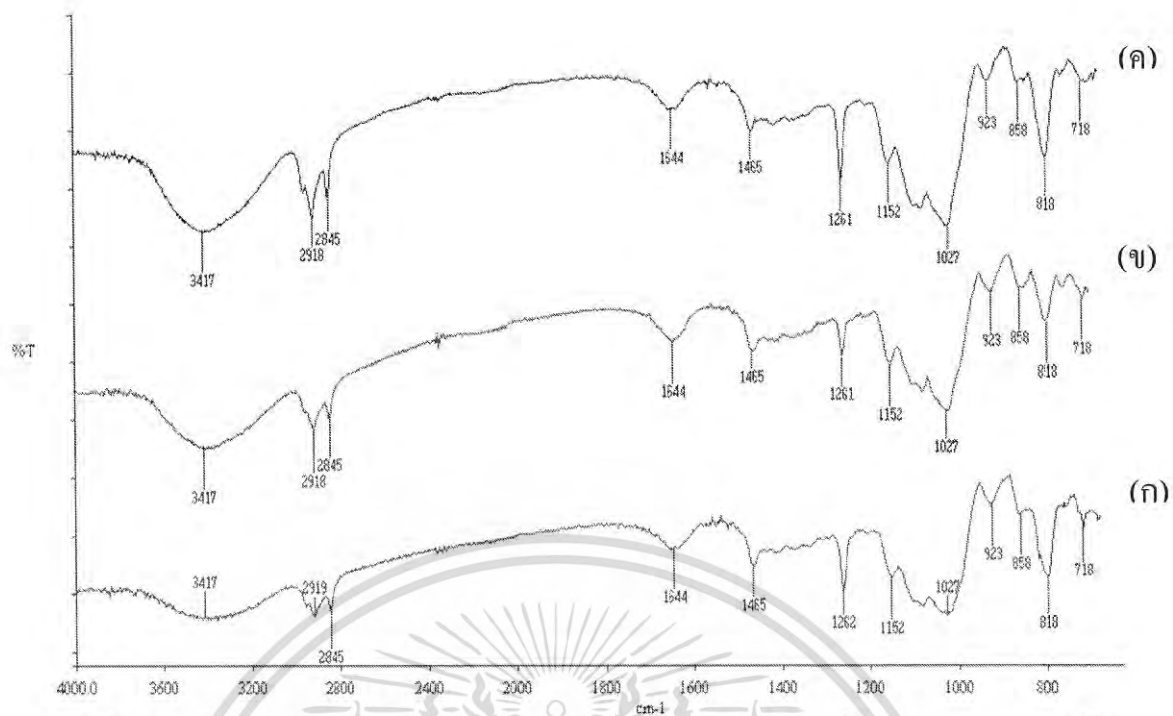


รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้
(ก) TPAS60/LDPE40 (ข) TPAS70/LDPE30 และ (ค) TPAS80/LDPE20



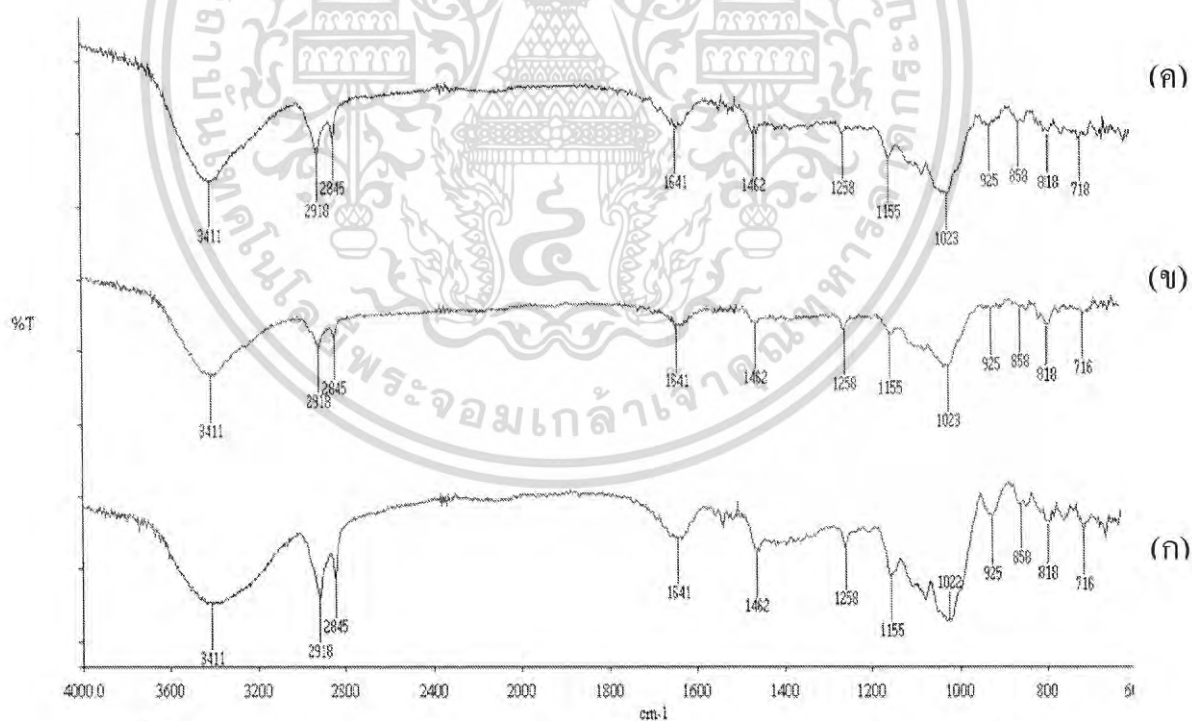
รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม TPCS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้
(ก) TPCS60/LDPE40 (ข) TPCS70/LDPE30 และ (ค) TPCS80/LDPE20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้

(ก) TPMS60/LDPE40 (ข) TPMS70/LDPE30 และ (ค) TPMS80/LDPE20



รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม TPWS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้

(ก) TPWS60/LDPE40 (ข) TPWS70/LDPE30 และ (ค) TPWS80/LDPE20

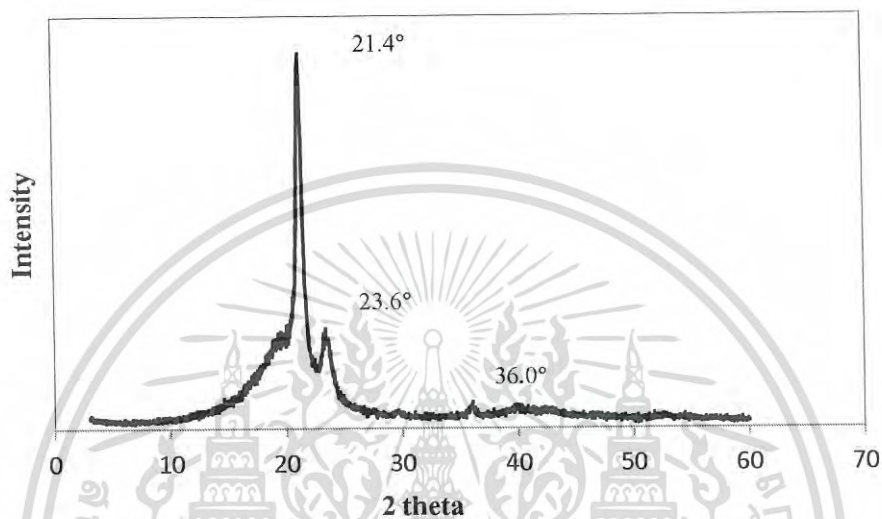
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1- 4.4 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของร้อยละต่างผ่านแสงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/LDPE, TPCS/LDPE, TPMS/LDPE และ TPWS/LDPE จากสเปกตรัมทุกสูตรมีลักษณะคล้ายคลึงกันในทุกสูตร กล่าวคือ พบอินฟราเรดสเปกตรัมช่วง $3500-3300\text{ cm}^{-1}$ เป็นสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชัน $-OH$ ที่เป็นส่วนประกอบหลักของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ประกอบด้วยแป้งและกลีเซอรอล ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ TPS อินฟราเรดสเปกตรัมช่วง $3000-2800\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของ TPS, LDPE และ MAPE สำหรับอินฟราเรดสเปกตรัมช่วงที่ $1642-1646\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ แบบ O-H bending ของโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในแป้ง พีกที่ 1462 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ แบบ C-H bending ของ CH_2 ของ LDPE และ MAPE แถบพีกช่วง $1300-1000\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-C stretching ของแป้ง และพีกในช่วง $1200-1000\text{ cm}^{-1}$ แสดงลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending ของแป้ง พีกช่วง $925-818\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H bending และ $716-718\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH_2 - rocking [41]

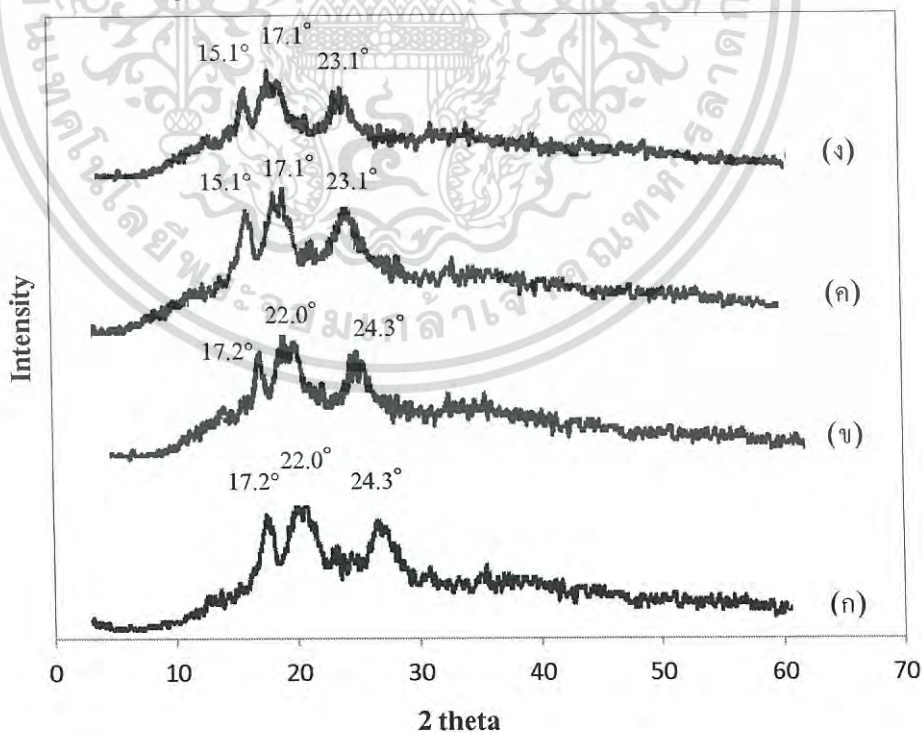
เมื่อพิจารณาการเพิ่มปริมาณ TPS ของพอลิเมอร์ผสมที่แป้งแต่ละชนิด พบว่าการเพิ่มปริมาณ TPS ทุกชนิด ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของช่วงพีกของสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม โดยสเปกตรัมมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในทุกสูตร เนื่องจากในโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมทุกชนิดนั้นมีส่วนประกอบของแป้งเป็นหลักซึ่งในโครงสร้างโมเลกุลของแป้งนั้นประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน $-OH$ $-CH_2$ และ $C-OH$ เป็นหลัก แต่พบว่าการเพิ่มปริมาณ TPS ทำให้พีกช่วง $3500-3300\text{ cm}^{-1}$ ของ O-H stretching มีความเข้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณ TPS ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ามี TPS ในพอลิเมอร์ผสมในปริมาณมากขึ้น

4.3 การทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD)

การวิเคราะห์หาโครงสร้างของผลึกและปริมาณความเป็นผลึกของ LDPE และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/LDPE, TPCS/LDPE, TPMS/LDPE และ TPWS/LDPE โดยการใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆ โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer โดยใช้ขนาดของมุมตกกระทบในช่วง $3-60^{\circ}$ ด้วยอัตราเร็ว 1° / นาที



รูปที่ 4.5 ดิฟแฟรคโตแกรมของ LDPE



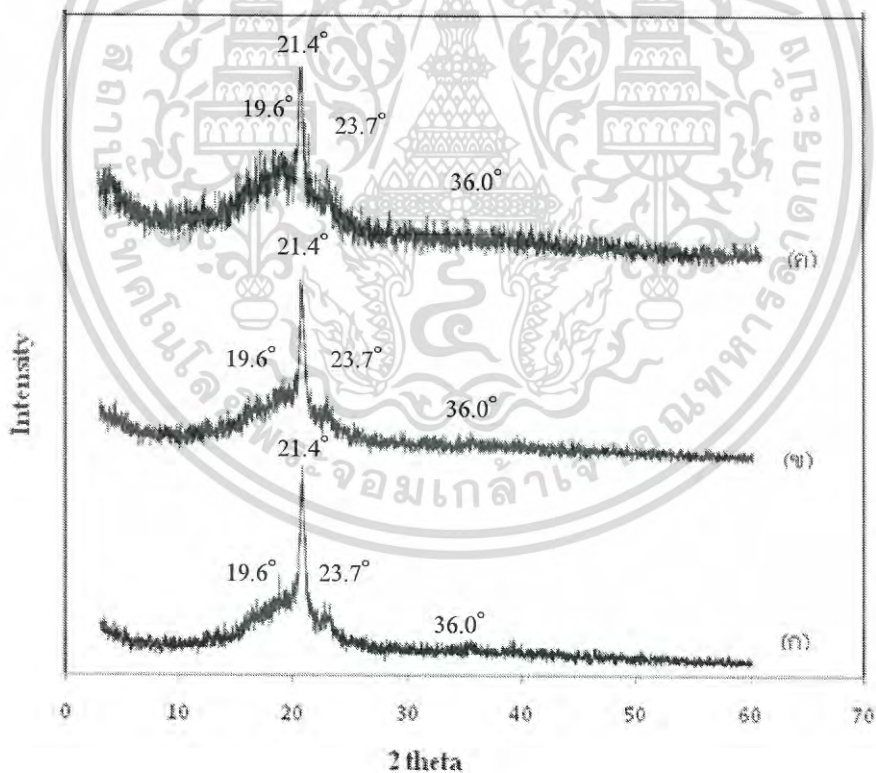
รูปที่ 4.6 ดิฟแฟรคโตแกรมของ (ก) แป้งท้าวยายม่อม (ข) แป้งมันสำปะหลัง

(ค) แป้งถั่วเขียว และ (ง) แป้งข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

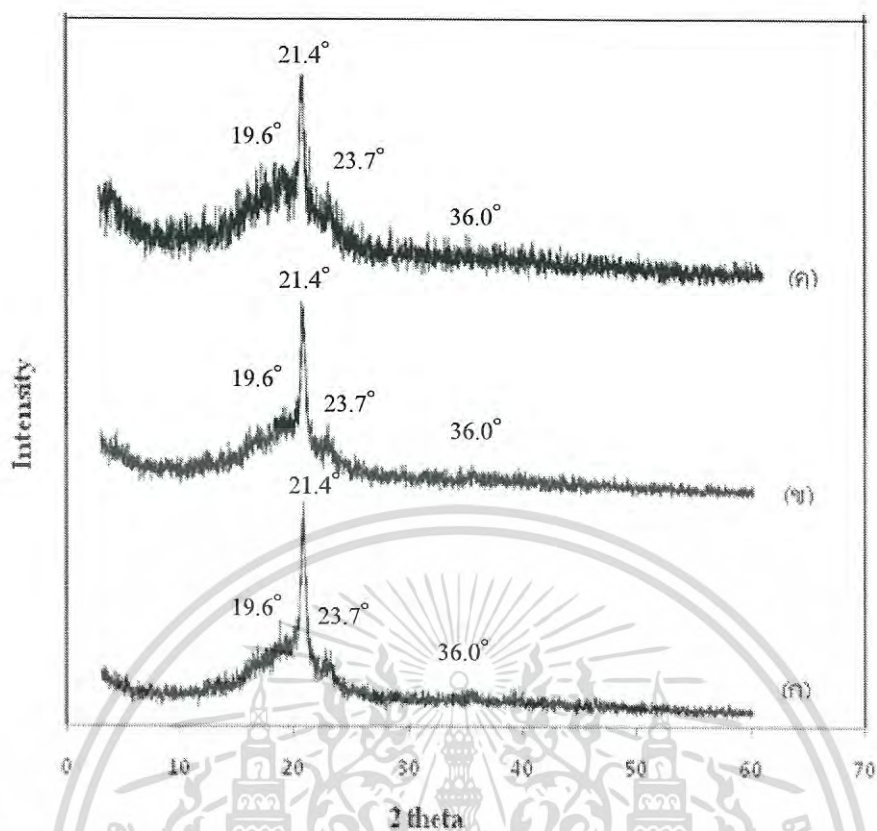
จากรูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างผลึกของ LDPE พบว่าจากโครงสร้างผลึกของ LDPE พบพีคที่มุม 2 θ เท่ากับ 21.4° 23.6° และ 36.0° ซึ่งแสดงโครงสร้างผลึกแบบ Orthorhombic ของพอลิเอทิลีน [41]

จากรูปที่ 4.6 (ก)–(ง) แสดงโครงสร้างผลึกของแป้งท้าวยายม่อม (TPAS) แป้งมันสำปะหลัง (TPCS) แป้งถั่วเขียว (TPMS) และแป้งข้าวเหนียว (TPWS) ตามลำดับ พบว่าโครงสร้างผลึกของแป้งท้าวยายม่อม ซึ่งเป็นแป้งที่ได้จากพืชหัว มีโครงสร้างผลึกแบบ A-type ที่พบพีคที่มุม 2 θ เท่ากับ 17.2° 22.0° และ 24.3° ตามลำดับ ส่วนโครงสร้างผลึกของแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นแป้งที่ได้จากพืชหัว มีโครงสร้างผลึกแบบ A-type ที่พบพีคที่มุม 2 θ เท่ากับ 17.2° 22.0° และ 24.3° ตามลำดับ ส่วนโครงสร้างผลึกของแป้งถั่วเขียว ซึ่งเป็นแป้งที่ได้จากข้าวที่มีอะไมโลสสูง มีโครงสร้างผลึกแบบ A-type โดยพบพีคที่มุม 2 θ เท่ากับ 15.1°, 17.1° และ 23.1° ตามลำดับ และโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียว ซึ่งเป็นแป้งที่ได้จากธัญพืชที่มีอะไมโลเพกตินสูง มีโครงสร้างผลึกแบบ A-type ที่พบพีคที่มุม 2 θ เท่ากับ 15.1°, 17.1° และ 23.1° ตามลำดับ [10]

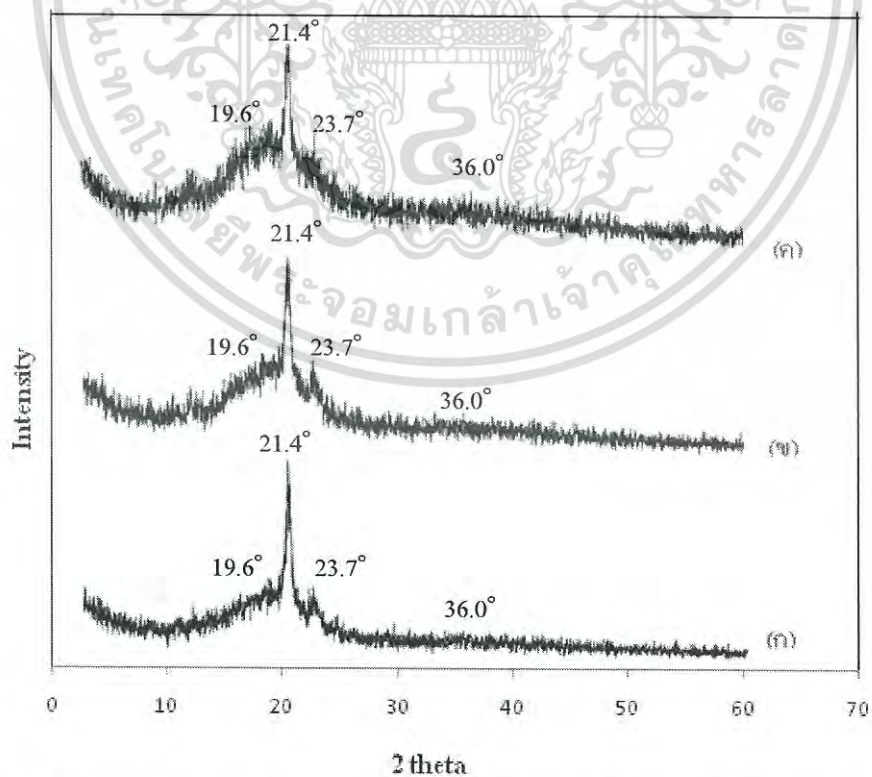


รูปที่ 4.7 ดิฟแฟร็กโตแกรมของ (ก) TPAS80/LPDE20 (ข) TPAS70/LDPE30 และ (ค) TPAS60/LDPE40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

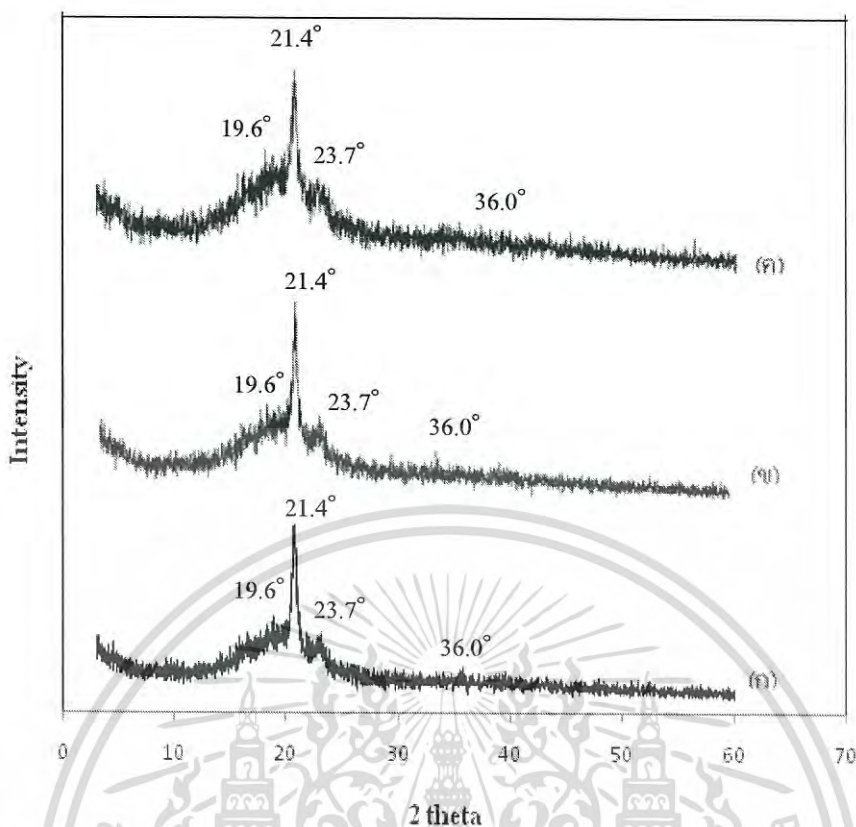


รูปที่ 4.8 ดิฟแฟร็กโตแกรมของ (ก) TPCS60/LDPE40 (ข) TPCS70/LDPE30 และ (ค) TPCS80/LDPE20



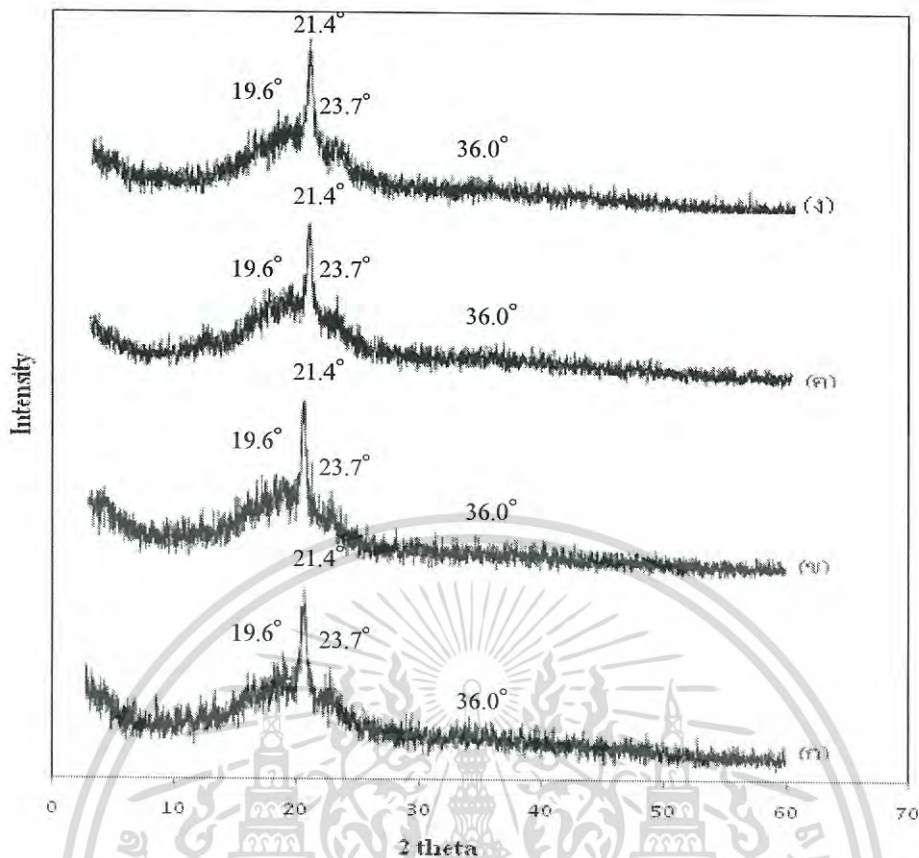
รูปที่ 4.9 ดิฟแฟร็กโตแกรมของ (ก) TPMS60/LDPE40 (ข) TPMS70/LDPE30 และ (ค) TPMS80/LDPE20

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ดิฟแฟรกโตแกรมของ (ก) TPWS60/LDPE40 (ข) TPWS70/LDPE30 และ (ค) TPWS80/LDPE20

จากรูปที่ 4.7- 4.10 (ก)–(ค) แสดงโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จาก TPAS/LDPE, TPCS/LDPE, TPMS/LDPE และ TPWS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่แต่ละชนิดแป้ง ผลึกของพอลิเมอร์ผสมในทุกอัตราส่วน มีโครงสร้างผลึกไม่เปลี่ยนแปลง ให้พีคของผลึกที่มุม 2θ เท่ากับ 19.6° 21.4° 23.7° และ 36.0° [31] โดยพีคที่มุม 19.6° มาจากองค์ประกอบของ TPS ซึ่งมีลักษณะผลึกเป็นแบบ V-type ทั้งหมด ซึ่งเกิดจากการนำแป้งมาเติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ และผ่านการให้ความร้อนและแรงเฉือนเพื่อทำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ทำให้ผลึกของแป้งถูกทำลายและมีลักษณะผลึกของเป็นแบบ V-type [23] ส่วนพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 21.4° 23.7° และ 36.0° มาจากองค์ประกอบของ LDPE เมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มปริมาณของ TPS ทุกชนิดแล้ว มีผลทำให้ความเป็นผลึกมีค่าลดลง เนื่องจาก TPS ที่เติมลงไปเข้าไปขัดขวางการเกิดผลึกของ LDPE นอกจากนี้พบว่าผลของการเติมปริมาณ TPS มากขึ้น และลดการใช้ปริมาณ LDPE ส่งผลให้ความเข้ม (Intensity) พีคที่ 19.6° ของ TPS มีความเข้มพีคสูงขึ้น และ พีคที่ 21.4° 23.7° 36.0° เป็นพีคที่มุม 2θ ของ LDPE มีความเข้มพีคลดลงด้วย

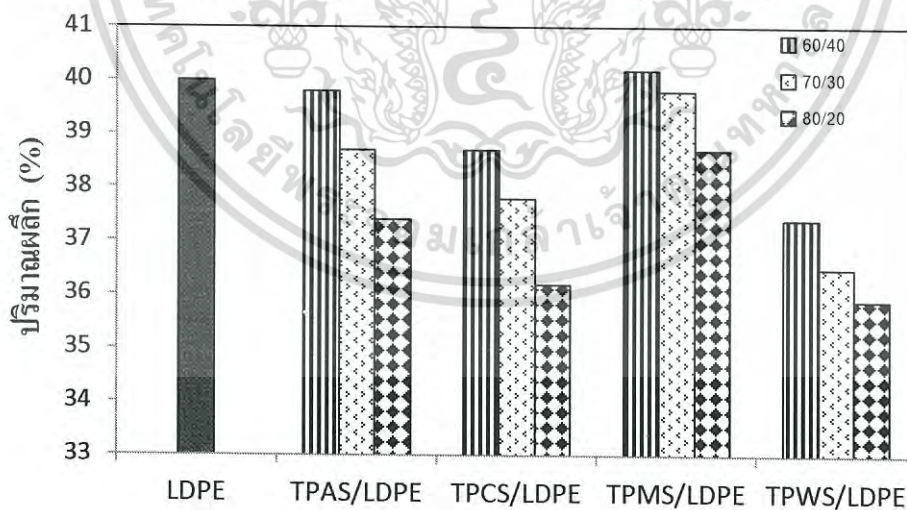


รูปที่ 4.11 ดิฟแฟรกโตแกรมของพอลิเมอร์ผสม (ก) TPAS80/LDPE20 (ข) TPCS80/LDPE20 (ค) TPMS80/LDPE20 และ (ง) TPWS80/LDPE20

สำหรับการเปรียบเทียบดิฟแฟรกโตแกรมของพอลิเมอร์ผสมที่แต่ละชนิดของแป้ง ที่อัตราส่วน 80:20 พบว่าดิฟแฟรกโตแกรมมีรูปแบบโครงสร้างผลึกที่คล้ายคลึงกันในทุกสูตร และมีความเข้ม (Intensity) ของดิฟแฟรกโตแกรมไม่เปลี่ยนแปลง โดยพบพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 19.6° , 21.4° และ 23.7° และ 36.0° โดยพีคที่มุม 19.6° เป็นพีคของ TPS ส่วนพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 21.4° , 23.7° และ 36.0° เป็นพีคที่มุม 2θ ของ LDPE ทั้งนี้เนื่องจากทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสมมีแป้งและ LDPE เป็นองค์ประกอบเหมือนกัน จึงพบเห็นลักษณะของโครงสร้างผลึกที่คล้ายคลึงกัน

ตารางที่ 4.5 ปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสม

ตัวอย่าง	ปริมาณผลึก (%)
LDPE	40.0
TPAS60/LDPE40	39.8
TPAS70/LDPE30	38.7
TPAS80/LDPE20	37.4
TPCS60/LDPE40	38.7
TPCS70/LDPE30	37.8
TPCS80/LDPE20	36.2
TPMS60/LDPE40	40.2
TPMS70/LDPE30	39.8
TPMS80/LDPE20	38.7
TPWS60/LDPE40	37.4
TPWS70/LDPE30	36.5
TPWS80/LDPE20	35.9



รูปที่ 4.12 ปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่แต่ละชนิดของแบ่งที่อัตราส่วนต่างๆ

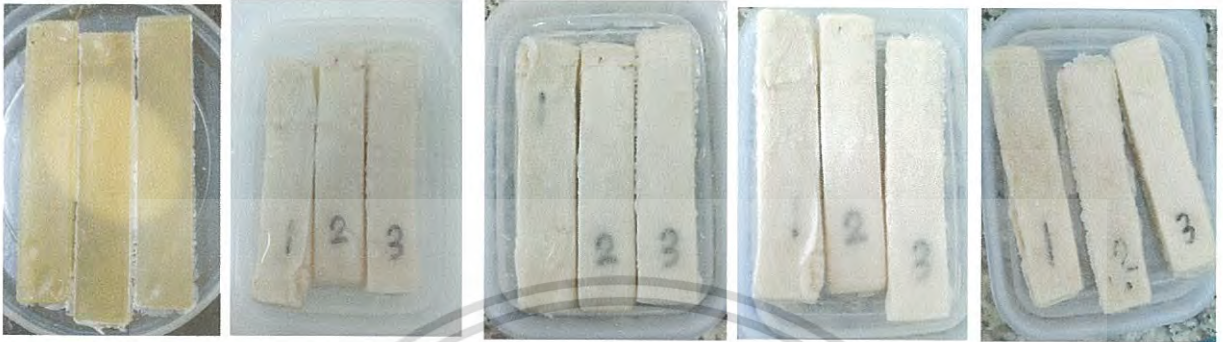
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.12 แสดงปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่แต่ละชนิดของแป้งที่อัตราส่วนต่างๆ จากเทคนิคของ XRD พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่เติมลงไปปริมาณมากขึ้นนั้น มีผลทำให้ความเป็นผลึกมีค่าลดลง เนื่องจาก TPS ที่เติมลงไปเข้าไปขัดขวางการเกิดผลึกของ LDPE แต่เมื่อพิจารณาที่ปริมาณ TPS เท่ากันของแป้งแต่ละชนิด พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS และ LDPE มีปริมาณผลึกมากที่สุด รองลงมา คือ TPAS/LDPE และ TPCS/LDPE ส่วนปริมาณผลึกน้อยที่สุด คือ TPWS/LDPE ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณผลึกของแป้ง ขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้ง โดยอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น มีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก ส่วนอะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส โดยข้อมูลจากตารางที่ 4.2 พบว่าแป้งถั่วเขียว มีปริมาณอะไมโลสมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 37.9 รองลงมา คือ แป้งข้าวขาม่อม เท่ากับร้อยละ 24.5 และแป้งมันสำปะหลัง เท่ากับร้อยละ 16.4 ส่วนแป้งข้าวเหนียว มีปริมาณอะไมโลสน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.0 ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณผลึกที่ได้จากตารางที่ 4.5



4.4 การดูดซับน้ำ

การทดสอบปริมาณการดูดซับน้ำโดยนำของพอลิเมอร์ผสม TPAS/ LDPE, TPCS/ LDPE, TPMS/ LDPE และ TPWS/ LDPE มาทำการทดสอบโดยการแช่น้ำเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



สัปดาห์ที่ 0 สัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 3 สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.13 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS60/LDPE4



สัปดาห์ที่ 0 สัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 3 สัปดาห์ที่ 4

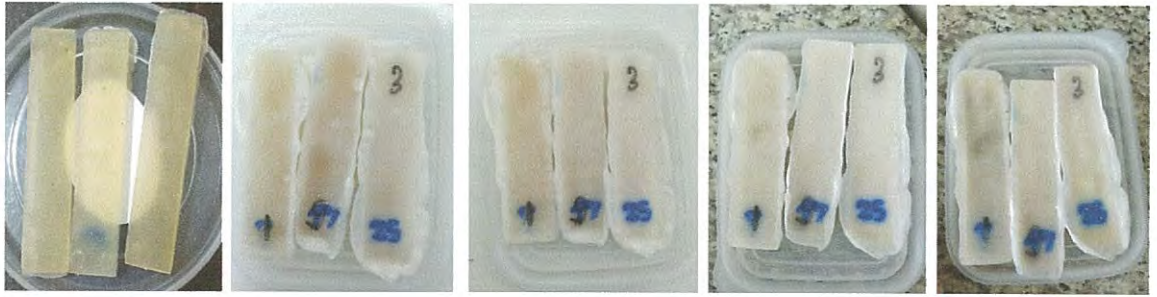
รูปที่ 4.14 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS70/LDPE30



สัปดาห์ที่ 0 สัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 3 สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.15 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS80/LDPE20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัปดาห์ที่ 0

สัปดาห์ที่ 1

สัปดาห์ที่ 2

สัปดาห์ที่ 3

สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.16 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS60/LDPE40



สัปดาห์ที่ 0

สัปดาห์ที่ 1

สัปดาห์ที่ 2

สัปดาห์ที่ 3

สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.17 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS70/LDPE30



สัปดาห์ที่ 0

สัปดาห์ที่ 1

สัปดาห์ที่ 2

สัปดาห์ที่ 3

สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.18 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS80/LDPE20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัปดาห์ที่ 0

สัปดาห์ที่ 1

สัปดาห์ที่ 2

สัปดาห์ที่ 3

สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.19 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS60/LDPE40



สัปดาห์ที่ 0

สัปดาห์ที่ 1

สัปดาห์ที่ 2

สัปดาห์ที่ 3

สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.20 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS70/LDPE30

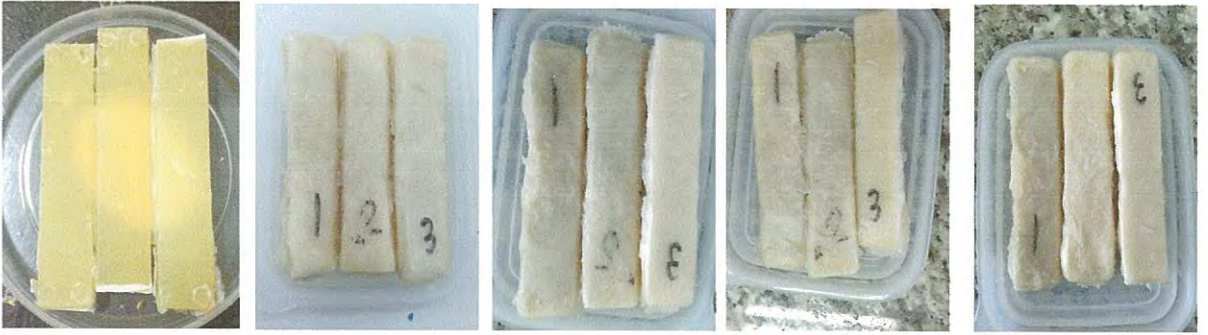


สัปดาห์ที่ 0

สัปดาห์ที่ 1

รูปที่ 4.21 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS80/LDPE20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัปดาห์ที่ 0

สัปดาห์ที่ 1

สัปดาห์ที่ 2

สัปดาห์ที่ 3

สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.22 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS60/LDPE40



สัปดาห์ที่ 0

สัปดาห์ที่ 1

สัปดาห์ที่ 2

สัปดาห์ที่ 3

สัปดาห์ที่ 4

รูปที่ 4.23 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS70/LDPE30

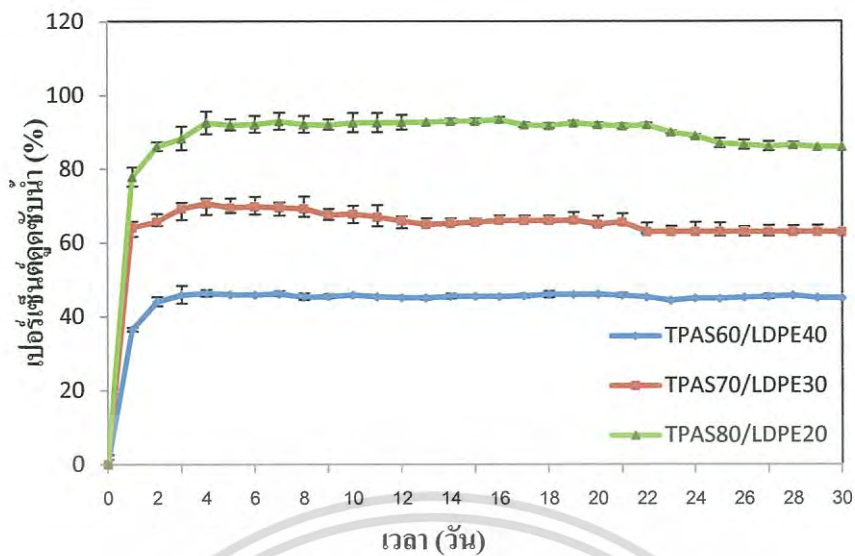


สัปดาห์ที่ 0

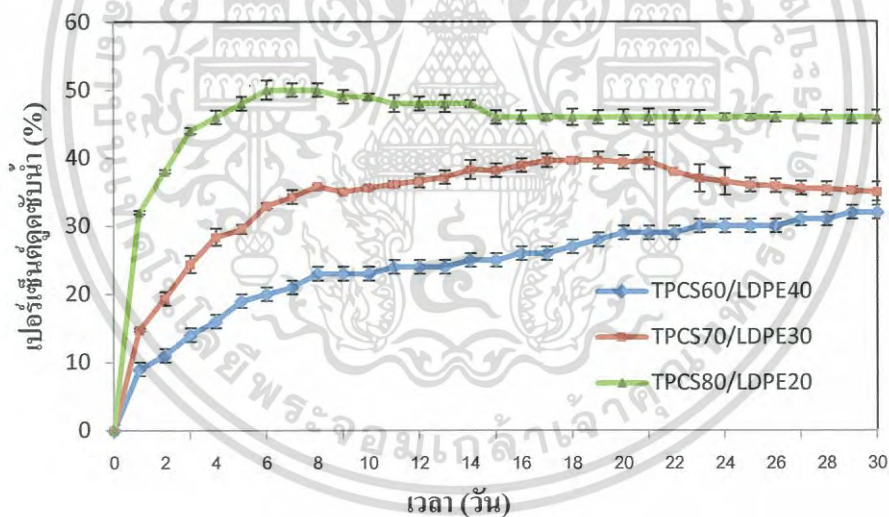
สัปดาห์ที่ 1

รูปที่ 4.24 ชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS80/LDPE20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

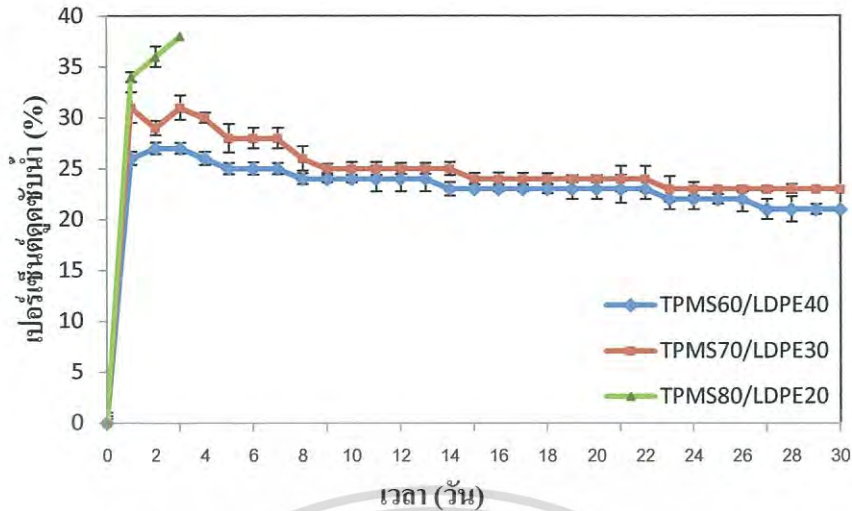


รูปที่ 4.25 เปอร์เซนต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

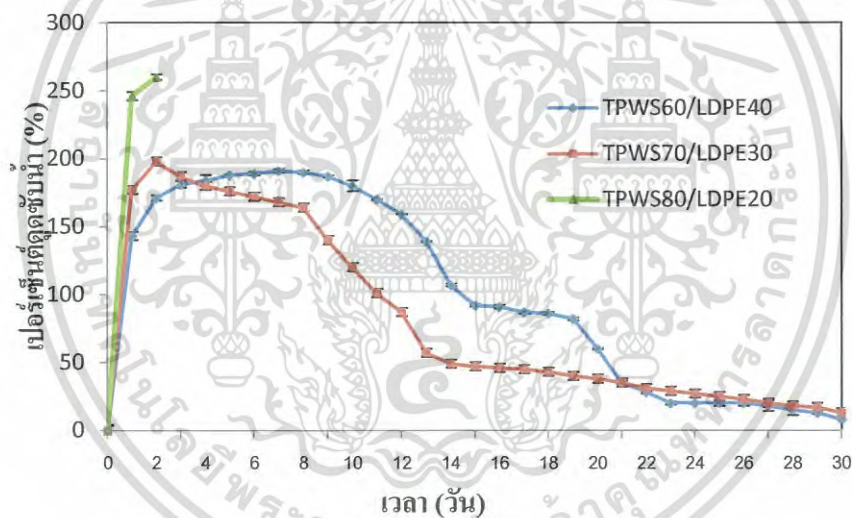


รูปที่ 4.26 เปอร์เซนต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 เปอร์เซนต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ



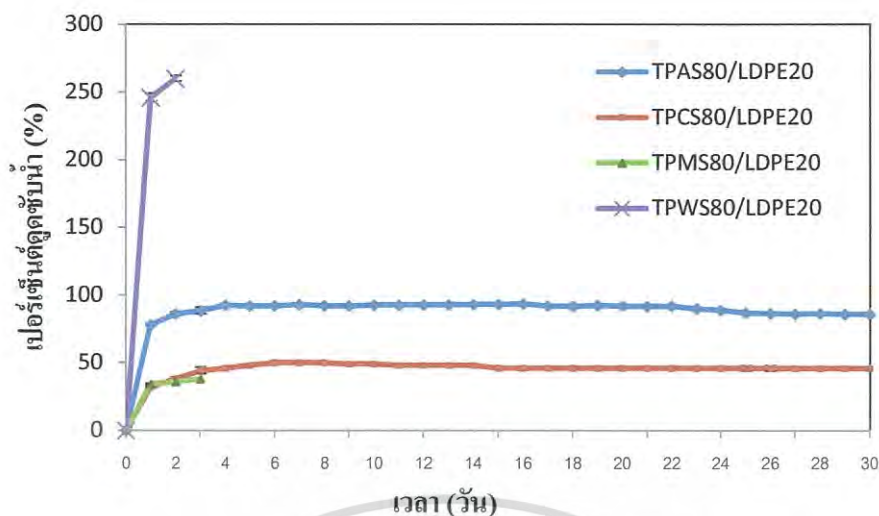
รูปที่ 4.28 เปอร์เซนต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.25-4.28 แสดงเปอร์เซนต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/LDPE, TPCS/LDPE, TPMS/LDPE, และ TPWS/LDPE พบว่าเปอร์เซนต์การดูดซับน้ำมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันในทุกชนิดของ TPS กล่าวคือ เมื่อปริมาณของ TPS เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซนต์การดูดซับน้ำของชิ้นงาน พอลิเมอร์ผสม TPS/LDPE มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดของ TPS มีปริมาณแฉ่งเป็นส่วนประกอบในปริมาณมาก ซึ่งโครงสร้างของแฉ่งมีหมู่ฟังก์ชัน ไฮดรอกซิลจำนวนมากซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นขั้วมีสมบัติชอบน้ำจึง

ทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี โดยพบว่าพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE และ TPCS/LDPE มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 5 วันแรก หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีแนวโน้มคงที่ ส่วนพอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 3 วันแรก หลังจากนั้นพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS60/LDPE40 และ TPMS70/LDPE30 ปริมาณการดูดซับน้ำมีแนวโน้มคงที่ แต่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS80/LDPE20 มีการดูดซับน้ำจนอิ่มตัวแล้ว ไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก นอกจากนี้พบว่าพอลิเมอร์ผสม TPWS/LDPE มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าสูงชันอย่างมาก โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณการดูดซับน้ำจะมีค่าน้อยลง เนื่องจากมีการดูดซับน้ำจนอิ่มตัวแล้ว ไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก โดยชิ้นงานมีลักษณะเปื่อยยุ่ยอย่างมาก ไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้อีก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 เปอร์เซนต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS/LDPE ที่แต่ละชนิดของ TPS

จากรูปที่ 4.29 เมื่อเปรียบเทียบกันที่แต่ละชนิดของ TPS พบว่า TPWS มีค่าเปอร์เซนต์การดูดซับน้ำที่มากที่สุด โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณการดูดซับน้ำมีค่าน้อยลง เนื่องจากมีการดูดซับน้ำจนอิ่มตัวแล้ว ไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก โดยชิ้นงานมีลักษณะไม่คงรูปเสียสภาพ (รูปที่ 4.24) รองลงมา คือ TPAS และ TPCS โดยดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วใน 3 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณการดูดซับน้ำมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากมีการดูดซับน้ำจนอิ่มตัวแล้ว โดยชิ้นงานมีลักษณะคงรูปไม่เกิดการเสียสภาพ ส่วนการดูดซับน้ำน้อยที่สุด คือ TPMS ทั้งนี้พบว่า TPMS ดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วใน 3 วันแรก หลังจากนั้นไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก โดยชิ้นงานมีลักษณะไม่คงรูปเกิดการเสียสภาพแตกหัก (รูปที่ 4.21)

จากการทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่า TPWS/LDPE มีการดูดซับน้ำมากที่สุด รองลงมา คือ TPAS/LDPE และ TPMS/LDPE ส่วน TPCS/LDPE มีการดูดซับน้ำน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากค่าเปอร์เซนต์การดูดซับน้ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งอะไมโลเพกตินมีโครงสร้างเป็นโซ่กิ่ง จึงส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ได้ไม่แน่น จึงทำให้มีช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์มากขึ้น น้ำจึงสามารถดูดซับเข้ามาในชิ้นงานได้ โดยข้อมูลจากตารางที่ 4.2 พบว่าแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเพกตินมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 99.0 รองลงมา คือ แป้งท้าวขยวม่อม เท่ากับร้อยละ 24.5 และแป้งมันสำปะหลัง เท่ากับร้อยละ 16.4 ส่วนแป้งถั่วเขียว มีปริมาณอะไมโลเพกตินน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.0 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบการดูดซับน้ำจากรูปที่ 4.29 แต่เมื่อพิจารณาจากสูตร TPAS/LDPE พบว่ามีปริมาณอะไมโลเพกตินน้อยกว่า TPCS/LDPE แต่จากผลการทดลองการดูดซับน้ำ พบว่า TPAS/LDPE มีการดูดซับน้ำมากกว่า TPCS/LDPE ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.2) พบว่าแป้งท้าวขยวม่อม มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 99.3 ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบร้อยละ 85.0 โดย

โครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตนี้มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลจำนวนมากซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นขั้วมีสมบัติชอบน้ำจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้นจึงพบว่า TPAS/LDPE มีการดูดซับน้ำที่มากกว่า TPCS/LDPE นอกจากนี้พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณไขมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 1.1 ส่วนแป้งท้าวยายม่อมมีไขมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 0.03 โดยโครงสร้างของไขมันนี้มีสมบัติไม่ชอบน้ำจึงทำให้ TPAS/LDPE มีการดูดซับน้ำมากกว่า TPCS/LDPE ด้วย

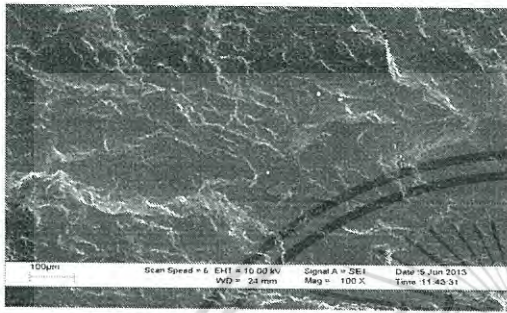
นอกจากนี้จากการทดสอบการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมจากแป้งชนิดต่างๆ พบว่าน้ำที่ใช้ในการแช่ชิ้นงานมีความขุ่นเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่แป้งในพอลิเมอร์ผสมสามารถดูดน้ำและพองตัวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการบิดเบี้ยว (รูปที่ 4.13-4.24) และทำให้แป้งบางส่วนละลายออกมาในน้ำที่ใช้ในการทดสอบ



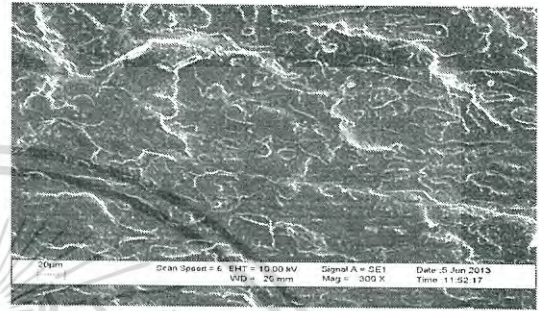
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สัณฐานวิทยา

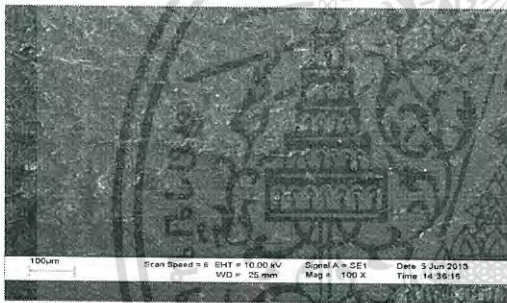
การศึกษาสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซชนิดต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) เพื่อทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา (Morphology) ลักษณะการกระจายตัวและความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE, TPCS/LDPE, TPMS/LDPE และ TPWS/LDPE ที่ปรับปรุงความเข้ากันได้โดยใช้สารช่วยผสม MAPE ซึ่งให้ผลการทดลองเป็นดังนี้



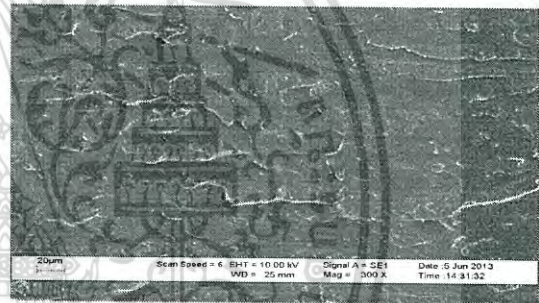
(ก) TPAS60/LDPE40, 100X



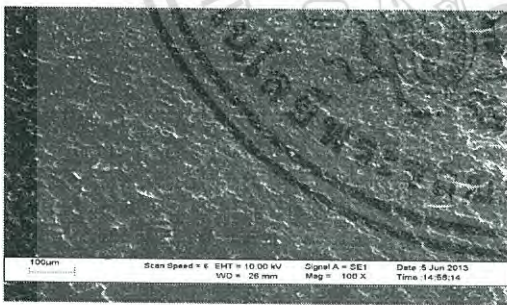
(ข) TPAS60/LDPE40, 300X



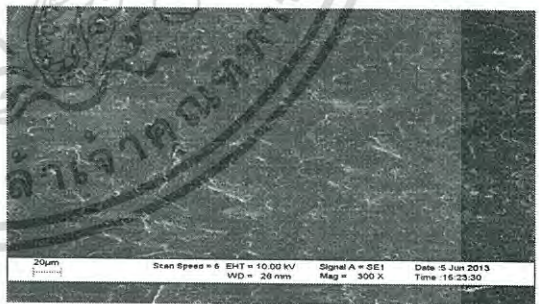
(ค) TPAS70/LDPE30, 100X



(ง) TPAS70/LDPE30, 300X



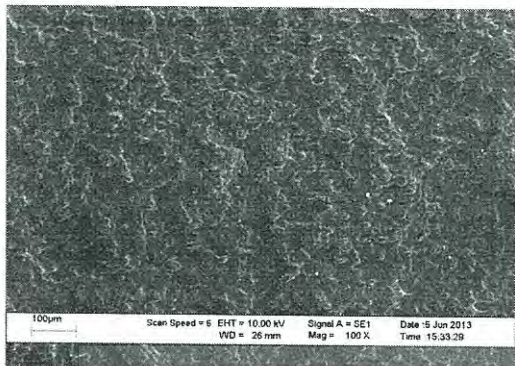
(จ) TPAS80/LDPE20, 100X



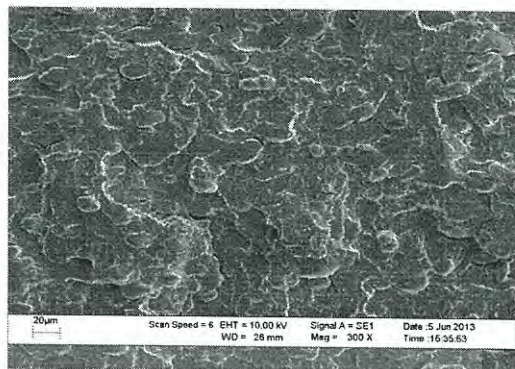
(ฉ) TPAS80/LDPE20, 300X

รูปที่ 4.30 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า (ก) – (ข) TPAS60/LDPE40 (ค) – (ง) TPAS70/LDPE30 และ (จ) – (ฉ) TPAS80/LDPE20

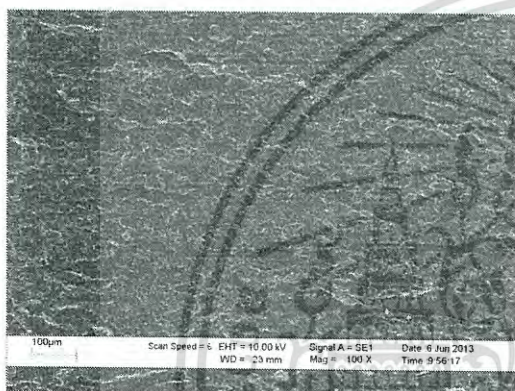
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



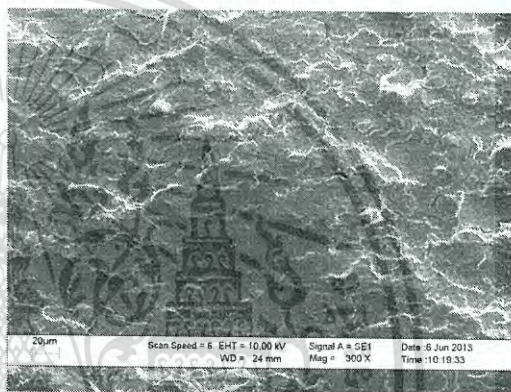
(ก) TPCS60/LDPE40, 100X



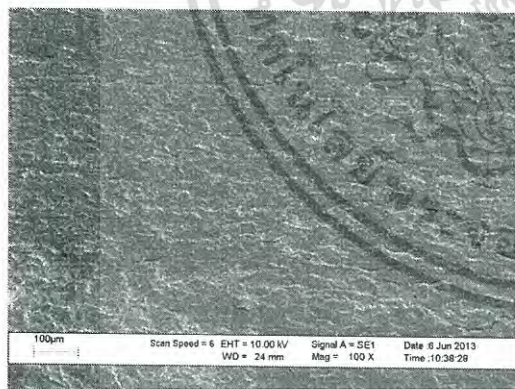
(ข) TPCS60/LDPE40, 300X



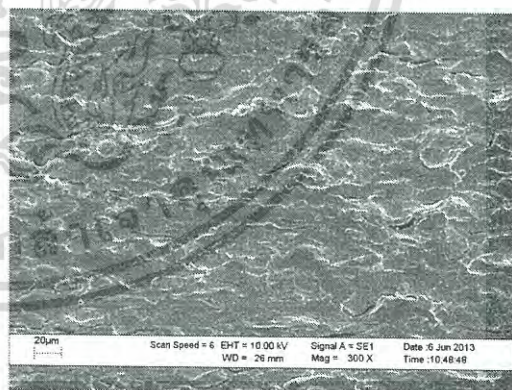
(ค) TPCS70/LDPE30, 100X



(ง) TPCS70/LDPE30, 300X



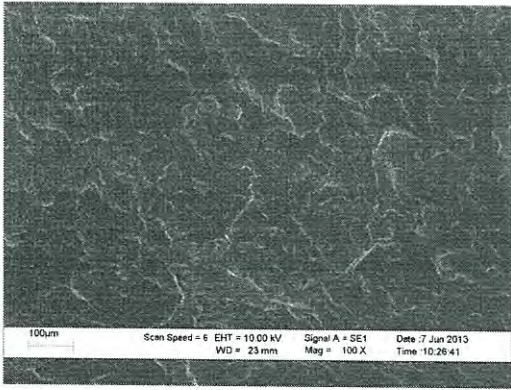
(จ) TPCS80/LDPE20, 100X



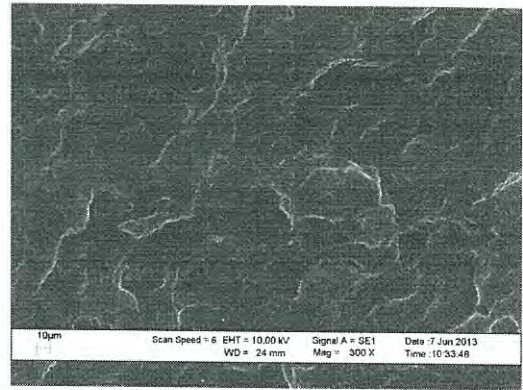
(ฉ) TPCS80/LDPE20, 300X

รูปที่ 4.31 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า (ก) – (ข) TPCS60/LDPE40 (ค) – (ง) TPCS70/LDPE30 และ (จ) – (ฉ) TPCS80/LDPE20

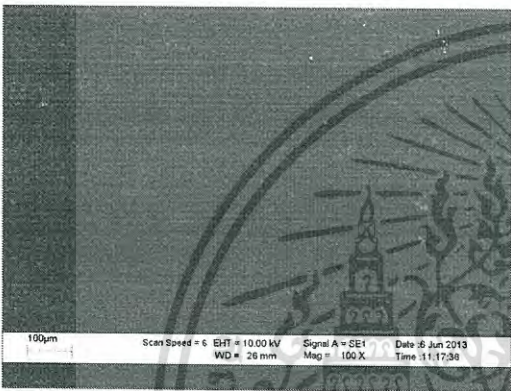
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



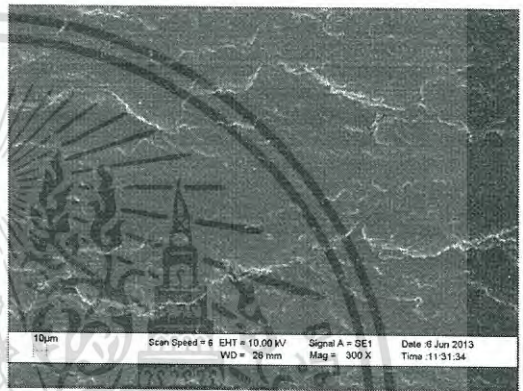
(ก) TPMS60/LDPE40, 100X



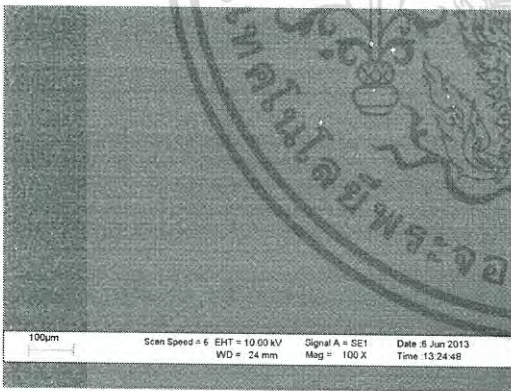
(ข) TPMS60/LDPE40, 300X



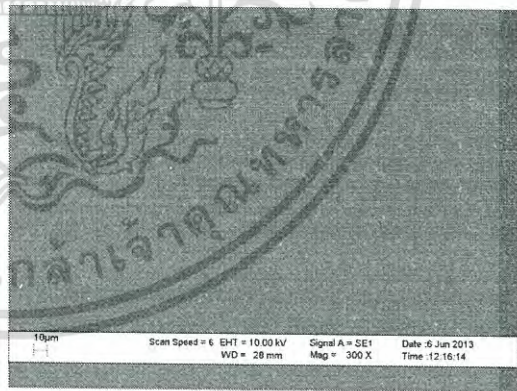
(ค) TPMS70/LDPE30, 100X



(ง) TPMS70/LDPE30, 300X



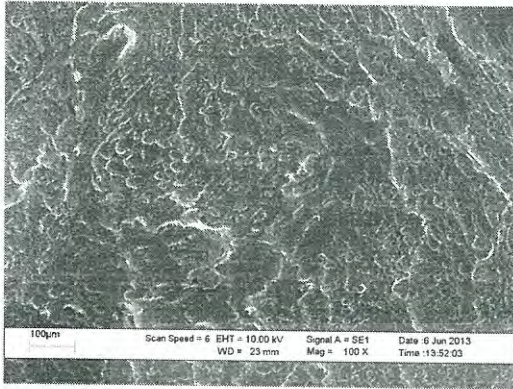
(จ) TPMS80/LDPE20, 100X



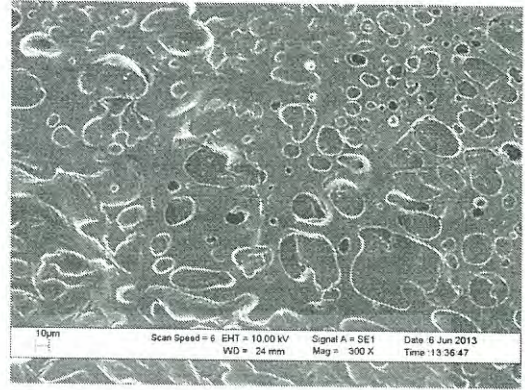
(ฉ) TPMS80/LDPE20, 300X

รูปที่ 4.32 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า (ก) – (ข) TPMS60/LDPE40 (ค) – (ง) TPMS70/LDPE30 และ (จ) – (ฉ) TPMS80/LDPE20

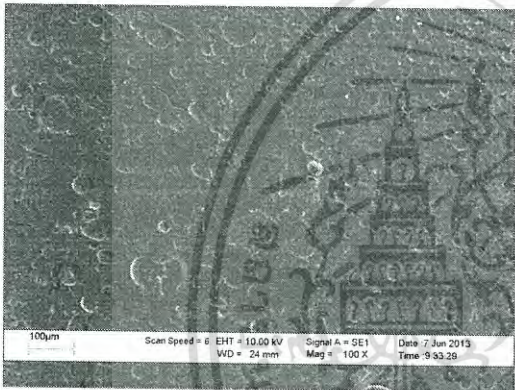
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



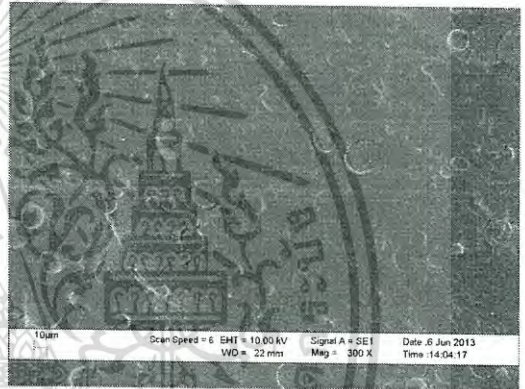
(ก) TPWS60/LDPE40, 100X



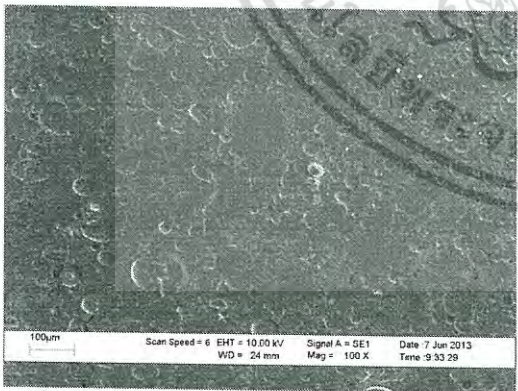
(ข) TPWS60/LDPE40, 300X



(ค) TPWS70/LDPE30, 100X



(ง) TPWS70/LDPE30, 300X



(จ) TPWS80/LDPE20, 100X



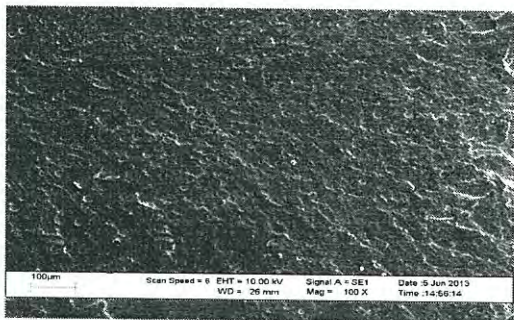
(ฉ) TPWS80/LDPE20, 300X

รูปที่ 4.33 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า (ก) – (ข) TPWS60/LDPE40 (ค) – (ง) TPWS70/LDPE30 และ (จ) – (ฉ) TPWS80/LDPE20

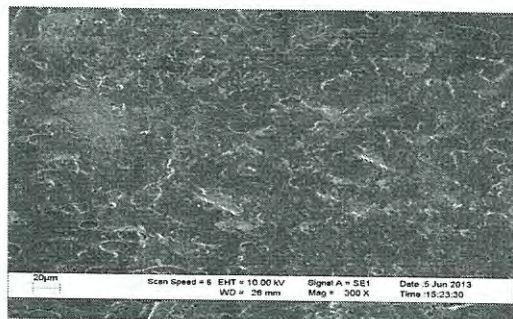
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.30-4.33 (ก)-(ค) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของ TPAS/LDPE, TPCS/LDPE, TPMS/LDPE และ TPWS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า พบว่าทุกชนิดของ TPS ที่กำลังขยาย 100 เท่า พื้นผิวมีลักษณะขรุขระ แต่เมื่อใช้กำลังขยายภาพ 300 เท่า สามารถมองเห็นวิภาคของ TPAS และ LDPE โดยส่วนที่มีลักษณะพื้นผิวเรียบ คือ ส่วนของ LDPE และส่วนที่มีลักษณะขรุขระ คือ ส่วนของอนุภาคของ TPS เนื่องจากความเป็นขี้ที่แตกต่างกันของ LDPE ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขี้ แต่ TPS มีขี้ จึงทำให้เกิดการแยกระหว่างวิภาคทั้งสอง

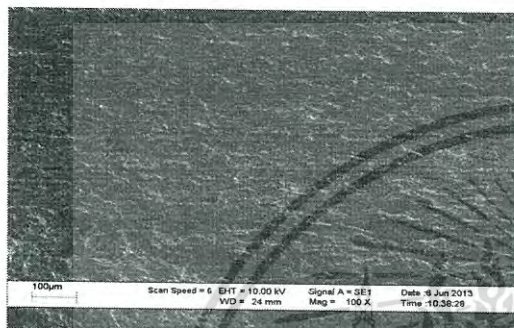
เมื่อพิจารณาถึงผลของการเพิ่มปริมาณ TPS ที่แบ่งแต่ละชนิด พบว่าให้ผลสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณ TPS ทำให้พื้นผิวของชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะเรียบมากขึ้น เกิดการแยกระหว่างวิภาคทั้งสองน้อยลง เป็นวิภาคต่อเนื่องกันมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าอาจปรากฏเห็นรูพรุนหรือช่องว่างกระจายอยู่ในชิ้นงานบ้าง เนื่องมาจากการที่แบ่งดูดซับความชื้นไว้ ดังนั้นเมื่อนำมาทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิสูง จึงเกิดการระเหยของน้ำและความชื้นเกิดเป็นช่องว่างภายในของชิ้นงาน



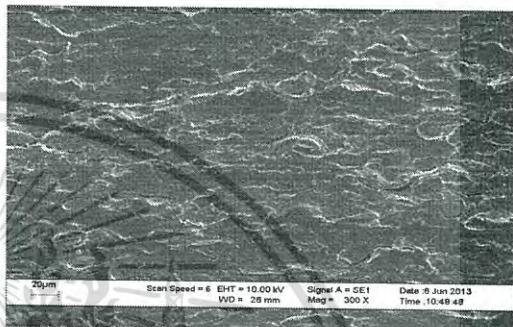
(ก) TPAS80/LDPE20, 100X



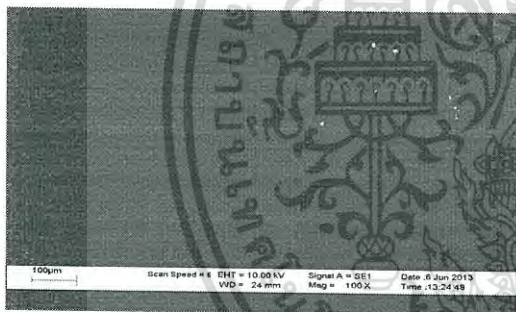
(ข) TPMS80/LDPE20, 300X



(ค) TPCS80/LDPE20, 100X



(ง) TPCS80/LDPE20, 300X

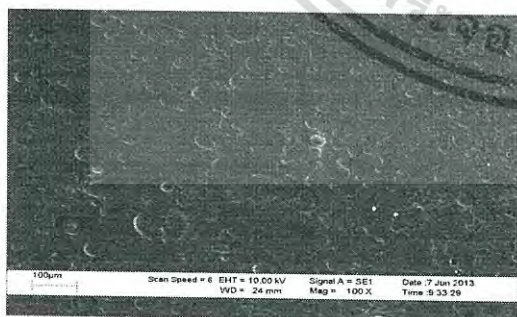


TPM80/LDPE20, 100X

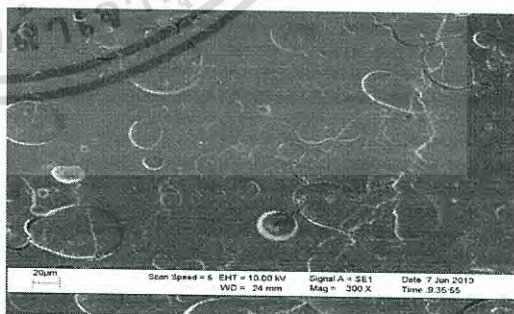
(จ)



(ฉ) TPMS80/LDPE20, 300X



(ช) TPWS80/LDPE20, 100X



(ছ) TPWS80/LDPE20, 300X

รูปที่ 4.34 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสม ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

(ก) – (ข) TPAS80/LDPE20 (ค) – (ง) TPCS80/LDPE20 (จ) – (ฉ) TPMS80/LDPE20 และ (ช)-(ছ) TPWS80/LDPE20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.34 (ก)-(ข) แสดงลักษณะภาคตัดขวางของ TPS80/LDPE20 ของแป้งแต่ละชนิดที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า พบว่าที่กำลังขยาย 100 เท่า พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมทุกสูตรมีลักษณะขรุขระ ยกเว้นแต่เพียงสูตร TPMS80/LDPE20 เท่านั้นที่มีลักษณะเรียบอย่างชัดเจน และเมื่อใช้กำลังขยายภาพ 300 เท่า สามารถมองเห็นวิภาคของ TPS และ LDPE โดยส่วนที่มีลักษณะพื้นผิวเรียบ คือ ส่วนของ LDPE และส่วนที่มีลักษณะขรุขระ คือ ส่วนของอนุภาคของ TPS นอกจากนี้พบว่าพอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE มีพื้นผิวเรียบมากที่สุด รองลงมาคือ พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE และ TPMS/LDPE ส่วนที่มีลักษณะพื้นผิวขรุขระมากที่สุด คือ TPWS/LDPE ทั้งนี้พอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE ชิ้นงานมีความเรียบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ เนื่องจากแป้งถั่วเขียวมีลักษณะสมบัติเฉพาะตัวที่ถิ่นไพลดี [12] พอลิเมอร์หลอมเหลวจึงเกิดการไหลได้ดีที่สุด นอกจากนี้เป็นผลเนื่องมาจากแป้งถั่วเขียวมีปริมาณอะไมโลสมากที่สุด สามารถเข้ากันได้กับ LDPE ได้ดี จึงทำให้พื้นผิวมีความเรียบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ

นอกจากนี้พบว่าอาจปรากฏเห็นรูพรุนหรือช่องว่างกระจายอยู่ในชิ้นงานบ้าง โดยพบในพอลิเมอร์ผสม TPWS/LDPE เพียงอย่างเดียว เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีสมบัติการดูดซับความชื้นไว้ปริมาณสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ ดังแสดงในหัวข้อ 4.4 (รูปที่ 4.25-4.28) ดังนั้นเมื่อนำแป้งข้าวเหนียวมาผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิสูง จึงเกิดการระเหยของน้ำและความชื้นเกิดเป็นช่องว่างภายในของชิ้นงานขึ้น

4.6 ดัชนีการไหล

ศึกษาค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม TPAS/ LDPE, TPCS/ LDPE, TPMS/ LDPE และ TPWS/ LDPE โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 180 °C และใช้น้ำหนักกดทับ 2.16 kg ให้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.6 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม TPAS/ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPAS ที่ ออกมาจากหัวตายของเครื่อง Melt Flow Indexer
TPAS60/LDPE40	6.5±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPAS
TPAS70/LDPE30	6.3±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPAS
TPAS80/LDPE20	6.1±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPAS
TPAS90/LDPE10	5.9±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPAS

ตารางที่ 4.7 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม TPCS/ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPCS ที่ ออกมาจากหัวตายของเครื่อง Melt Flow Indexer
TPCS60/LDPE40	6.3±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPCS
TPCS70/LDPE30	5.9±0.1	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPCS
TPCS80/LDPE20	5.7±0.1	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPCS
TPCS90/LDPE10	5.5±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPCS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม TPMS/ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPMS ที่ ออกมาจากหัวคายของเครื่อง Melt Flow Indexer
TPMS60/LDPE40	6.8±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPMS
TPMS70/LDPE30	6.6±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPMS
TPMS80/LDPE20	6.3±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPMS
TPMS90/LDPE10	6.0±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPMS

ตารางที่ 4.9 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม TPWS/ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPWS ที่ ออกมาจากหัวคายของเครื่อง Melt Flow Indexer
TPWS60/LDPE40	5.2±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPWS
TPWS70/LDPE30	4.9±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPWS
TPWS80/LDPE20	4.7±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPWS
TPWS90/LDPE10	4.4±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการพองตัวของ TPWS

จากตารางที่ 4.6-4.9 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE, TPCS/LDPE, TPMS/LDPE และ TPWS/LDPE ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าทุกชนิดของ TPS ให้แนวโน้มผลค่าดัชนีการไหลที่คล้ายคลึงกัน โดยมีค่าดัชนีการไหลอยู่ในช่วง 4.4-6.5 g/10 min ซึ่งเป็นค่าดัชนีการไหลที่สามารถใช้ฉีดขึ้นรูปได้ กล่าวคือ เมื่อใช้ปริมาณ TPS มากขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวมีค่าลดลง เนื่องจาก TPS ที่เติมลงไปเป็นเหมือนสารตัวเติม จึงเข้าไปขวางการเคลื่อนที่ของสายพอลิเมอร์ขณะหลอมเหลวทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น มีความหนืดสูงขึ้น จึงมีสมบัติการไหลต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมTPS/ LDPE ที่แต่ละชนิดของ TPS

ตัวอย่าง	MFI (g/10 min)	ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ TPS ที่ ออกมาจากหัวตายของเครื่อง Melt Flow Indexer
TPAS80/LDPE20	6.1±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPAS
TPCS80/LDPE20	5.7±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPCS
TPMS80/LDPE20	6.3±0.3	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPMS
TPWS80/LDPE20	4.7±0.2	เกิดฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์หลอมเหลว เนื่องจากการ พองตัวของ TPWS

จากตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบแต่ละชนิดของ TPS พบว่า TPS จากแป้งข้าวเหนียว (TPWS) มีค่าดัชนีการไหลต่ำที่สุด แสดงว่าพอลิเมอร์หลอมเหลวไหลได้ยากที่สุด รองลงมา คือ แป้งท้าวยายม่อม (TPAS) และ แป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และค่าดัชนีการไหลมากที่สุด คือ แป้งถั่วเขียว (TPMS) แสดงว่า พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลได้ดีที่สุด ทั้งนี้ค่าดัชนีการไหลขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยอะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกึ่ง มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส [10] มีความเกาะหรือขัดขวางการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว

TPWS มีค่าดัชนีการไหลต่ำที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของ TPWS มีโครงสร้างของอะไมโลสน้อยมีปริมาณร้อยละ 1.0 และอะไมโลเพกตินมากปริมาณร้อยละ 99.0 (ตารางที่ 4.2) มีความเกาะมากที่สุด จึงมีผลทำให้สายโซ่พอลิเมอร์หลอมเหลวเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ส่วน TPCS มีค่าดัชนีการไหลสูงกว่า TPWS แต่มีค่าต่ำกว่า TPAS และ TPMS เนื่องจากแป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณอะไมโลเพกตินร้อยละ 75.4 และมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 24.6 (ตารางที่ 4.2) ส่วน TPAS มีค่าดัชนีการไหลสูงกว่า TPWS และ TPCS แต่มีค่าต่ำกว่า TPMS เนื่องจากแป้งท้าวยายม่อม มีปริมาณอะไมโลสปริมาณร้อยละ 83.6 และมีปริมาณอะไมโลเพกตินร้อยละ 16.4 (ตารางที่ 4.2) ส่วนโครงสร้างของ TPMS มีโครงสร้างของอะไมโลสมาก มีปริมาณร้อยละ 37.9 และอะไมโลเพกตินน้อยมาก มีปริมาณร้อยละ 62.1 (ตารางที่ 4.2) โครงสร้างของอะไมโลสมีลักษณะเป็นโซ่ตรง มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมากนักจึงมีความเกาะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอะไมโลเพกตินจึงมีผลทำให้สายโซ่พอลิเมอร์หลอมเหลวเคลื่อนที่ได้ง่ายที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่น ซึ่งสัมพันธ์กับ

สถาบันวิทยาที่ได้นรูปที่ 4.32

4.7 การวัดสี

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ผสม TPAS/ LDPE, TPCS/ LDPE, TPMS/ LDPE และ TPWS/ LDPE ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่า L^* a^* b^* C^* และ H° ให้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.11 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าการวัดสี				
	L^*	a^*	b^*	C^*	H°
TPAS60/LDPE40	41.39	1.65	9.68	9.67	80.32
TPAS70/LDPE30	37.25	2.46	11.88	11.88	78.30
TPAS80/LDPE20	32.23	3.68	13.54	13.68	70.42

หมายเหตุ ค่า L^* กำหนดค่าความสว่าง ค่า a^* กำหนดสีเหลืองหรือสีเขียว ถ้า $a^* > 1$ แสดงสีแดง และถ้า $a^* < 1$ แสดงสีเขียว ค่า b^* กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ถ้า $b^* > 1$ แสดงสีเหลือง และถ้า $b^* < 1$ แสดงสีน้ำเงิน ค่า C^* แสดงค่าความสดใสของสี และค่า H° ระบุตำแหน่งของสีเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

ตารางที่ 4.12 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าการวัดสี				
	L^*	a^*	b^*	C^*	H°
TPCS60/LDPE40	46.67	0.30	5.64	5.65	86.95
TPCS70/LDPE30	44.60	1.06	6.08	6.17	80.11
TPCS80/LDPE20	36.73	2.89	7.96	8.45	67.30

ตารางที่ 4.13 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าการวัดสี				
	L^*	a^*	b^*	C^*	H°
TPMS60/LDPE40	49.90	0.65	4.15	4.20	81.09
TPMS70/LDPE30	44.36	1.09	5.68	5.78	79.13
TPMS80/LDPE20	39.58	2.83	6.91	7.49	64.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าการวัดสี				
	L*	a*	b*	C*	H°
TPWS60/LDPE40	41.39	1.65	9.68	9.67	80.32
TPWS70/LDPE30	34.85	5.03	11.50	12.55	66.37
TPWS80/LDPE20	30.88	6.41	13.69	14.98	74.93

จากตารางที่ 4.11-4.14 แสดงผลการทดลองการวัดสีของแต่ละชนิดของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ซมีแนวโน้มที่เหมือนกัน กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณ TPS ลงไปในพอลิเมอร์ผสม ทำให้ค่า a*, ค่า b* และค่าความสดสีของสี (C*) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความสว่าง (L*) มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มแสดงสีออกไปทางแดงมากขึ้น แต่ยังคงออกสีเหลือง มีความสดสีของสีเพิ่มขึ้น ส่วนตำแหน่งของสี (H°) ของพอลิเมอร์ผสมในทุกสูตร แสดงสีโดยรวมไปทางสีเหลืองทั้งหมด

ตารางที่ 4.15 ค่าการวัดสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

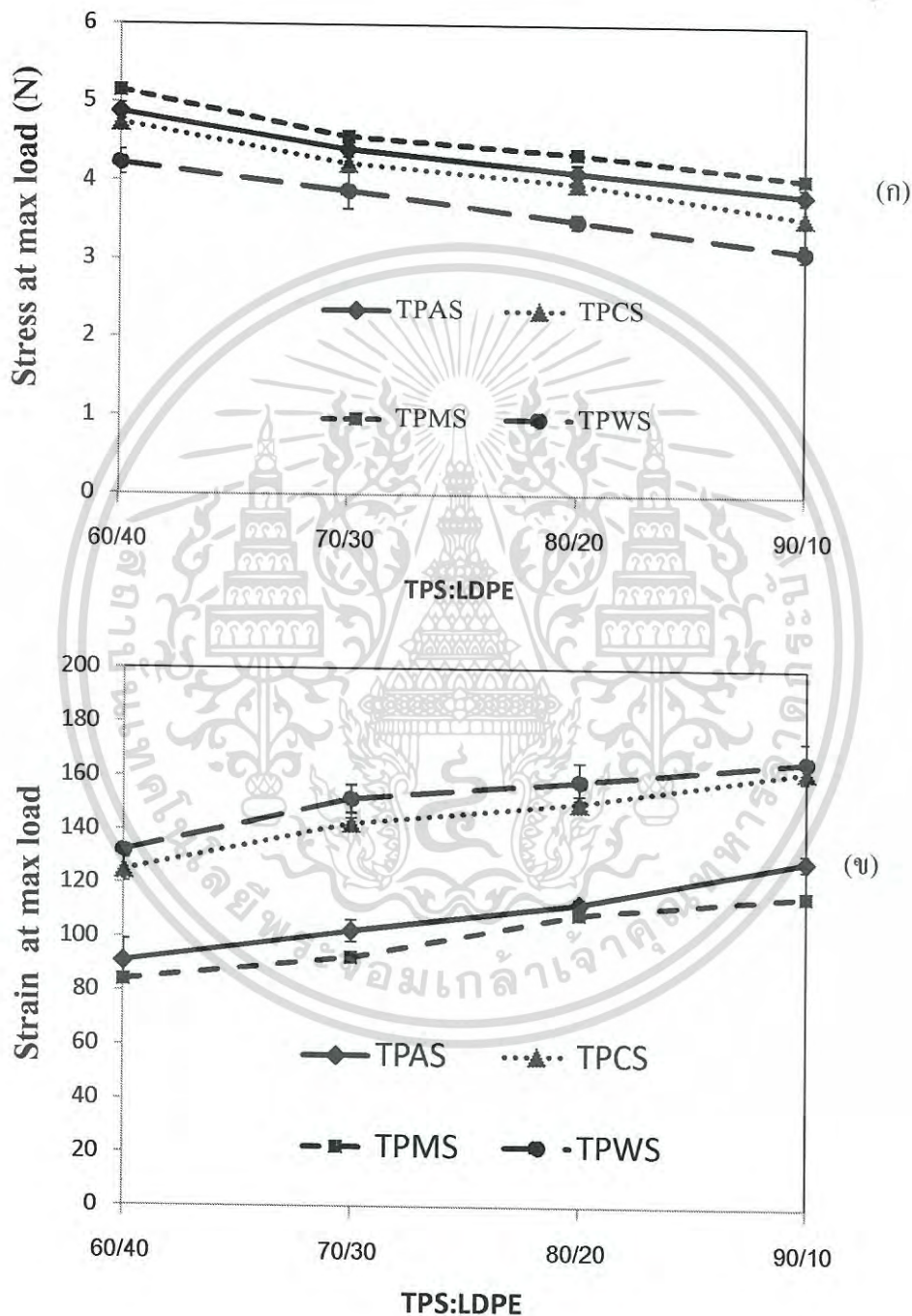
ตัวอย่าง	ค่าการวัดสี				
	L*	a*	b*	C*	H°
TPAS80/LDPE20	32.23	3.68	13.54	13.68	70.42
TPCS80/LDPE20	36.73	2.89	7.96	8.45	67.30
TPMS80/LDPE20	39.58	2.83	6.91	7.49	64.66
TPWS80/LDPE20	30.88	6.41	13.69	14.98	74.95

จากตารางที่ 4.15 ผลการวัดสี พบว่าพอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE มีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุด แต่มีค่า a*, b* และค่าความสดสีของสี (C*) มีค่าน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE มีสีของชิ้นงานอ่อนที่สุด มีแนวโน้มแสดงสีออกไปทางแดงและเหลืองน้อยที่สุด ส่วนพอลิเมอร์ผสม TPWS/LDPE มีค่าความสว่าง (L*) น้อยที่สุด แต่มีค่า a*, b*, C* มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสม TPWS/LDPE ชิ้นงานมีสีที่เข้มที่สุด และมีแนวโน้มของสีออกไปทางแดงและเหลืองมากที่สุด ส่วนตำแหน่งของสี (H°) ของพอลิเมอร์ผสมในทุกสูตร แสดงสีไปทางสีเหลืองทั้งหมด

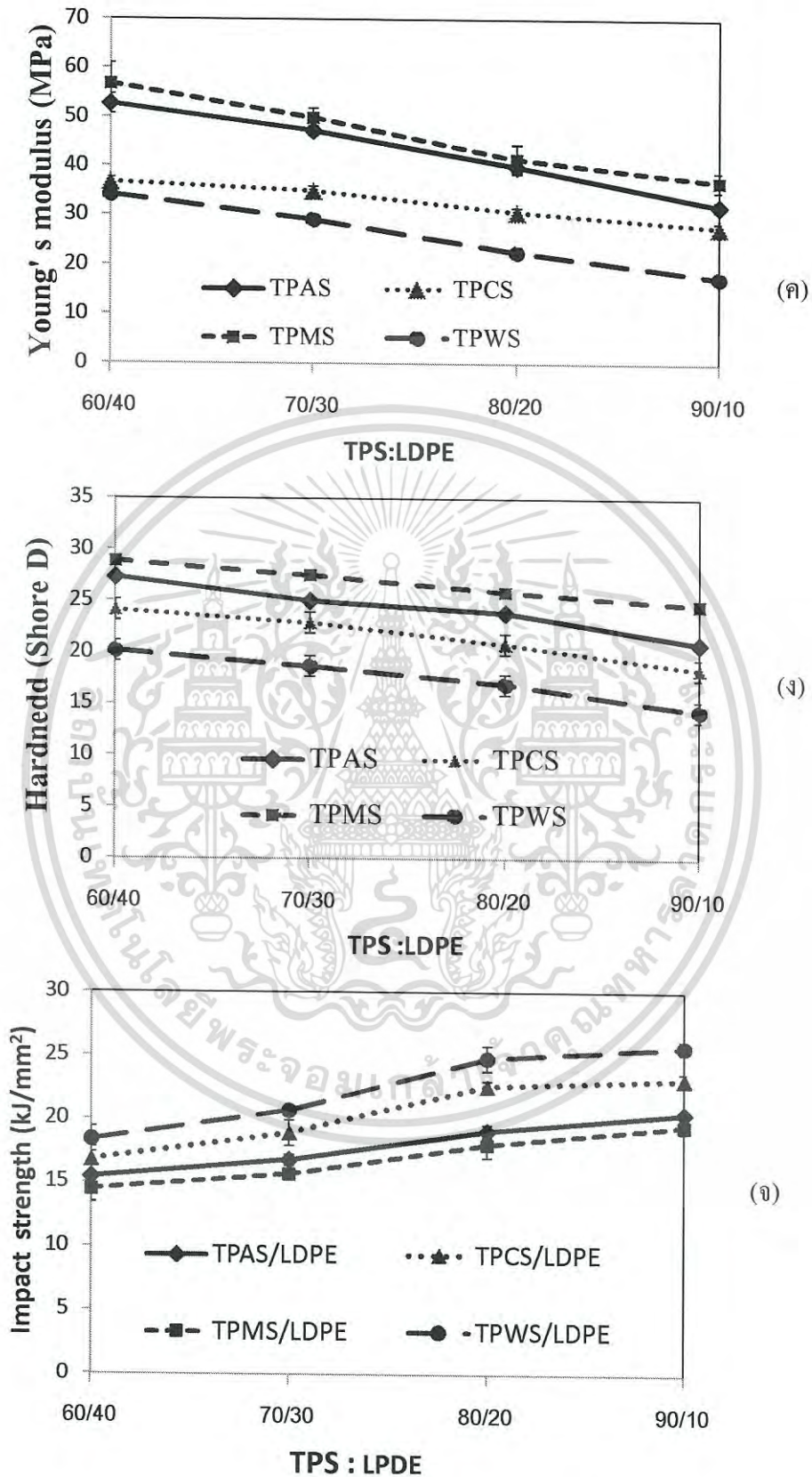
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม TPAS/ LDPE, TPCS/ LDPE, TPMS/ LDPE และ TPWS/ LDPE ที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง เบอร์เซนต์การดึงยืด โมดูลัสและความแข็งกด ให้ผลการทดลองดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ (ก) ความ

แข็งแรงดึง (ข) เฮอร์เซ็นต์การดึงยืด (ค) มอดุลัส (ง) ความแข็งกด และ (จ) ความแข็งแรงกระแทก

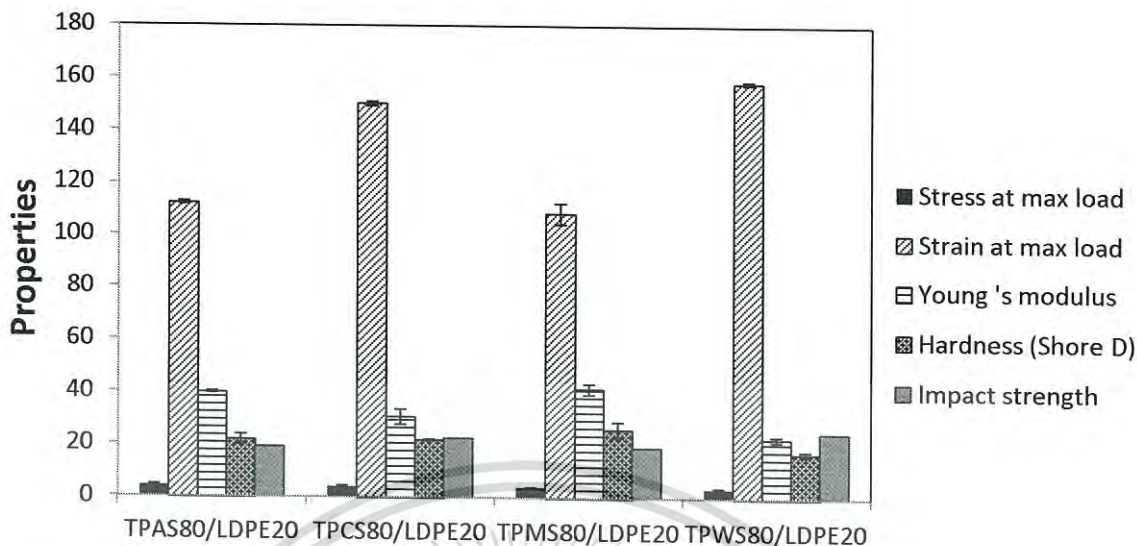
จากการคำนวณค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.35 (ก), (ค) และ (ง) แสดงค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัสและความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS แต่ละชนิดและ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าการใช้ TPS แต่ละชนิดมีแนวโน้มของผลสมบัติเชิงกลที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณ TPS ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส และค่าความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสม TPS/LDPE มีแนวโน้มลดลงในทุกชนิดของ TPS เนื่องจาก TPS มีความแข็งแรงน้อยกว่า LDPE เมื่อเติมแข็งลงในพอลิเมอร์ผสม TPS/LDPE มากขึ้น จึงส่งผลให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ผสมมีความแข็งลดลง

รูปที่ 4.35 (ข) และ (จ) แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืดและความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS แต่ละชนิด ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าทุกชนิดของ TPS เปอร์เซ็นต์การดึงยืดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ TPS อาจเนื่องมาจาก TPS มีความยืดหยุ่นดีกว่าแข็ง เมื่อเติม TPS ลงในพอลิเมอร์ผสม TPS/LDPE มากขึ้น จึงส่งผลให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น มีความสามารถในการเคลื่อนไหว (Chain flexibility) สูงขึ้น ขยับเพื่อรับและส่งผ่านแรงได้ดี จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณ TPS ที่มากขึ้น

ผลของสมบัติเชิงกลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ S.Mortazavi และคณะ [42] ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมพอลิเมอร์ผสม TPCS/LDPE ด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ TPCS ทำให้มีค่าการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดที่สูงขึ้น แต่มีค่าความแข็งแรงดึงลดลง

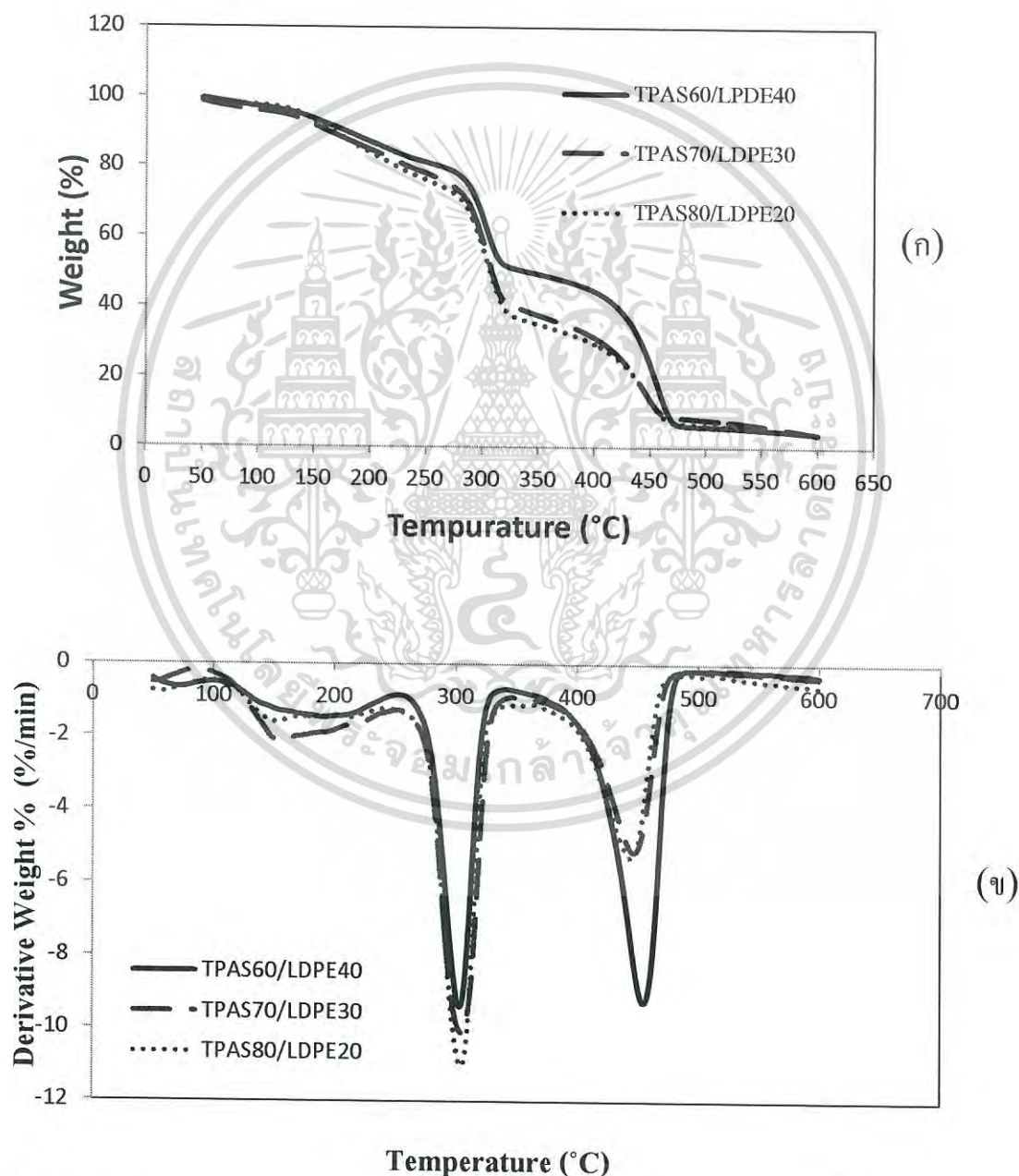


รูปที่ 4.36 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS แต่ละชนิดและ LDPE ที่อัตราส่วน 80:20

จากรูปที่ 4.36 เมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลแต่ละชนิดพบว่า TPMS/LDPE ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่สูงที่สุดในด้านความแข็งแรงดึง โมดูลัสและความแข็งกด รองลงมาคือ TPAS/LDPE และ TPCS/LDPE และน้อยที่สุดคือ TPWS/LDPE ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติเชิงกลในด้านความแข็งแรงดึง ขึ้นอยู่กับจากปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งแต่ละชนิด โดยอะไมโลสจะเป็นส่วนทำให้เกิดผลึก มีลักษณะแข็ง ส่วนอะไมโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นส่วนอสัณฐาน มีความยืดหยุ่น โดยจากข้อมูลส่วนประกอบของแป้งแต่ละชนิด (ตารางที่ 4.2) พบว่าแป้งถั่วเขียว มีปริมาณอะไมโลสมากที่สุด รองลงมาคือ แป้งท้าวยาย้ม่อม และแป้งมันสำปะหลัง ส่วนแป้งข้าวเหนียว มีปริมาณอะไมโลสน้อยที่สุด จึงทำให้พอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE มีความเป็นผลึกมากที่สุด จึงทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรง จึงมีค่าความแข็งแรงดึงและโมดูลัสสูงที่สุด นอกจากนี้ผลเนื่องมาจากความสามารถในการเข้ากันได้ของแป้งแต่ละชนิด ซึ่งแสดงได้จากผลทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.34) โดยพบว่าพอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE ขึ้นงานมีความเรียบมากที่สุด และมีรอยต่อวัฏภาคระหว่างชิ้นงานน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ

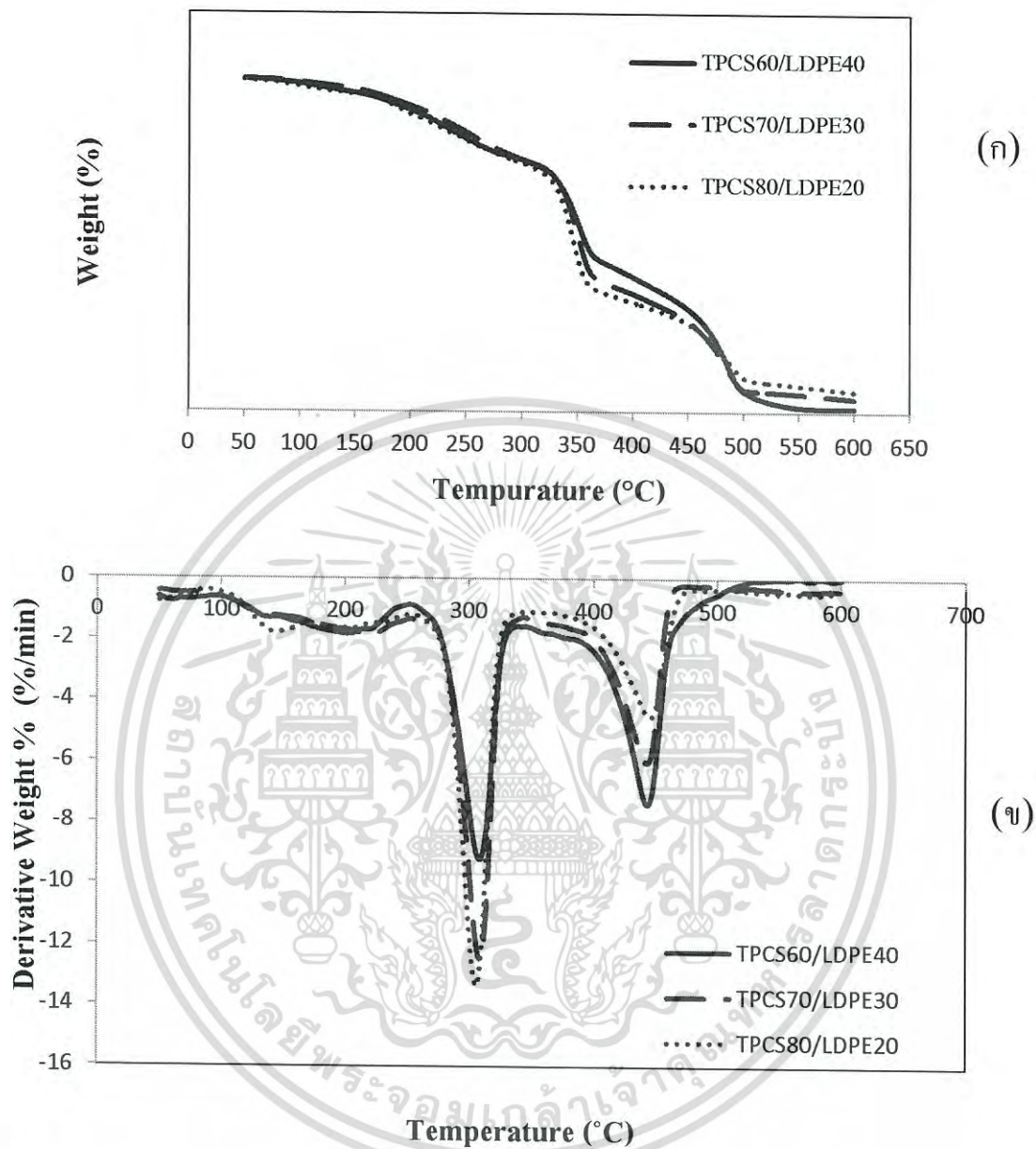
4.9 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (N_2) และใช้สภาวะในการทดสอบคือ อุณหภูมิที่ใช้ อยู่ในช่วง 50 – 700 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส/นาทึ โดยสมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (Maximum degradation temperature) ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

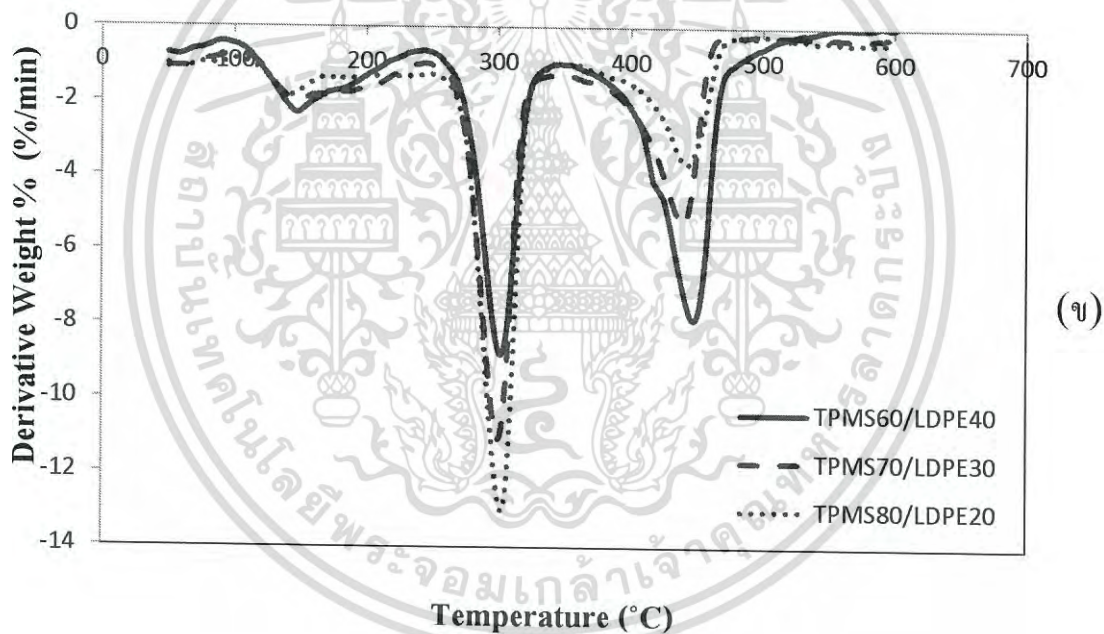
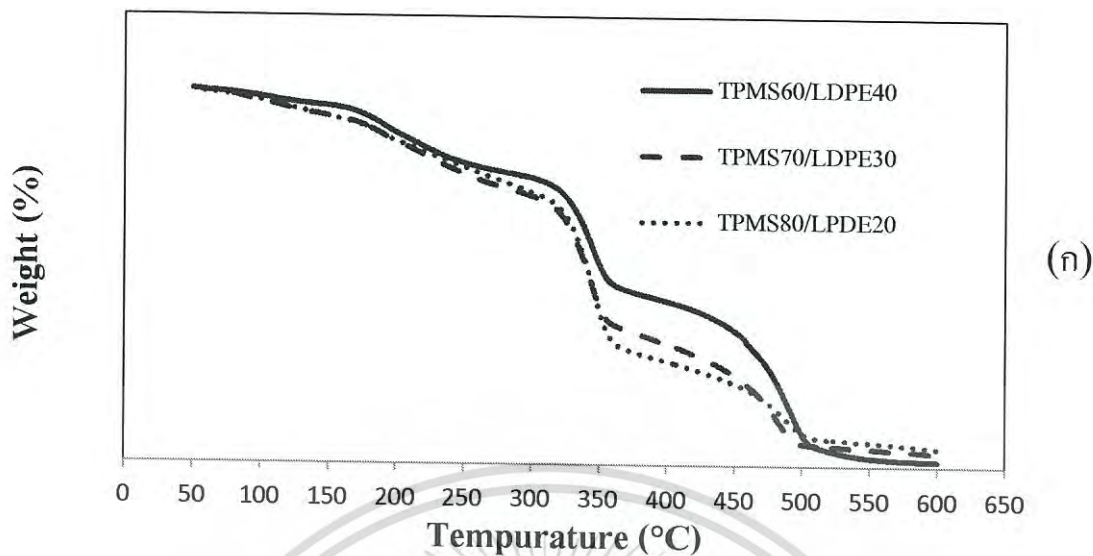


รูปที่ 4.37 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

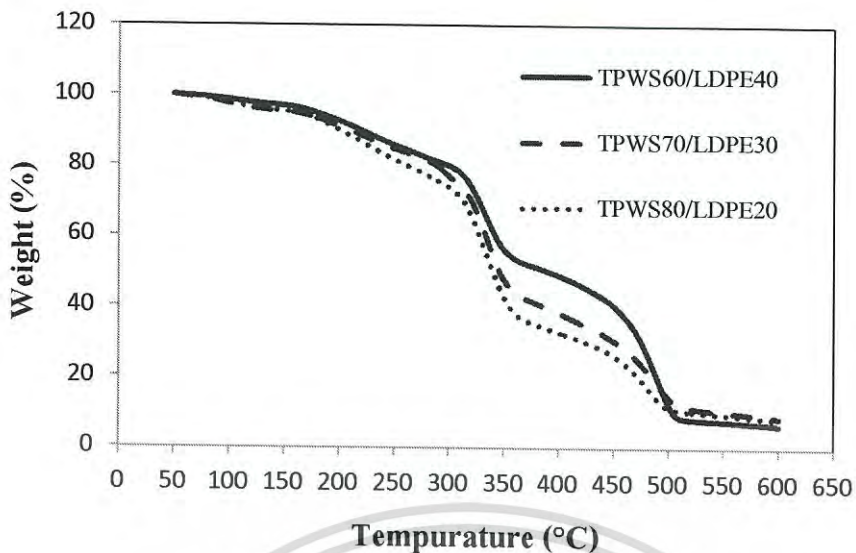
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



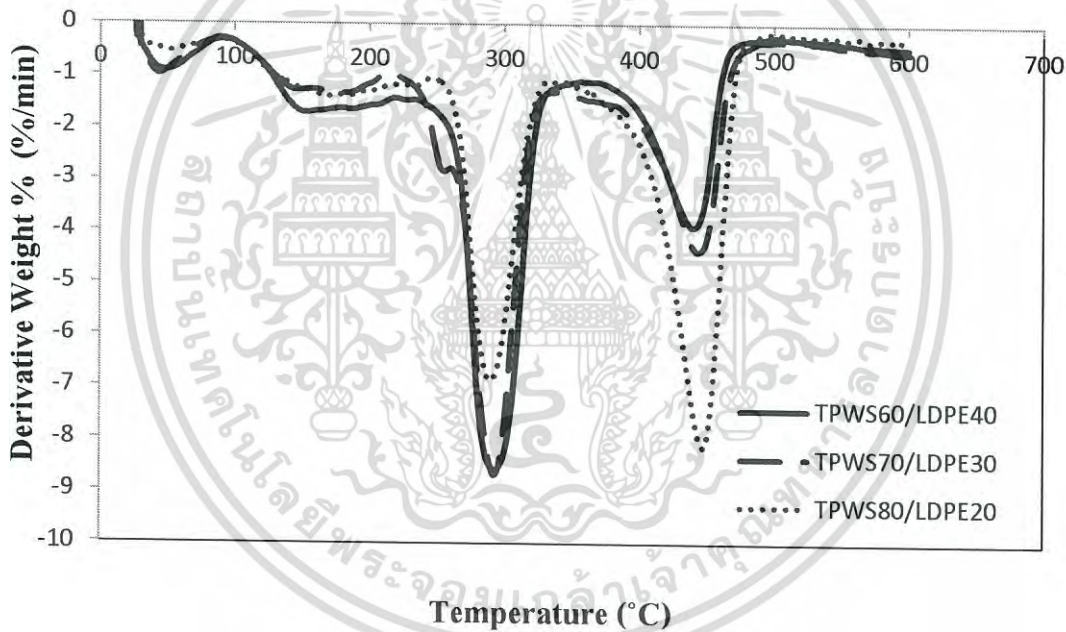
รูปที่ 4.38 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.39 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.40 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (TPAS)	ช่วงที่ 3 (LDPE)
TPAS60/LDPE40	153.80	303.24	454.98
TPAS70/LDPE30	152.62	304.36	446.58
TPAS80/LDPE20	148.70	304.36	444.34

ตารางที่ 4.17 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (TPCS)	ช่วงที่ 3 (LDPE)
TPCS60/LDPE40	135.99	309.22	443.64
TPCS70/LDPE30	135.00	308.85	443.53
TPCS80/LDPE20	137.00	309.84	445.33

ตารางที่ 4.18 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (TPMS)	ช่วงที่ 3 (LDPE)
TPMS60/LDPE40	147.45	302.39	448.03
TPMS70/LDPE30	146.44	301.68	441.39
TPMS80/LDPE20	142.65	299.51	439.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (TPWS)	ช่วงที่ 3 (LDPE)
TPWS60/LDPE40	148.11	293.43	444.41
TPWS70/LDPE30	148.62	293.32	446.97
TPWS80/LDPE20	149.16	293.08	440.61

จากรูปที่ 4.37-4.40 แสดงกราฟ TGA , DTG และตารางที่ 4.16-4.19 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/ LDPE, TPCS/LDPE, TPMS/LDPE และ TPWS/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าจากทุกสูตรให้อุณหภูมิการสลายตัวที่ใกล้เคียงกัน โดยพบช่วงอุณหภูมิอยู่ 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 เป็นของกลีเซอรอล อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 135.00 – 153.80 องศาเซลเซียส [43] ช่วงที่ 2 เป็นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 289.68 – 309.22 องศาเซลเซียส [19, 25-26, 43] และช่วงที่ 3 เป็นของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 439.59 – 454.98 องศาเซลเซียส [19]

เมื่อพิจารณาถึงผลของการเพิ่มปริมาณเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งทุกชนิดมากขึ้น พบว่าไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดในช่วงที่ 2 ของแป้ง เช่นเดียวกันในทุกชนิดของ TPS โดยพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของแป้งแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS/LDPE และ TPWS/LDPE ให้อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดมีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งดิบ (Native starch) ที่พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด [44] และแป้งข้าวเหนียวมีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำสุด [44] แต่ส่งผลให้อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวในช่วงที่ 3 ของ LDPE มีค่าลดลง เนื่องจากแป้งสะสมความร้อนแล้วส่งผ่านความร้อนไปให้ LDPE มากขึ้น จึงทำให้ LDPE ได้รับความร้อนมากขึ้นจึงเริ่มเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิลดลง

ตารางที่ 4.20 อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

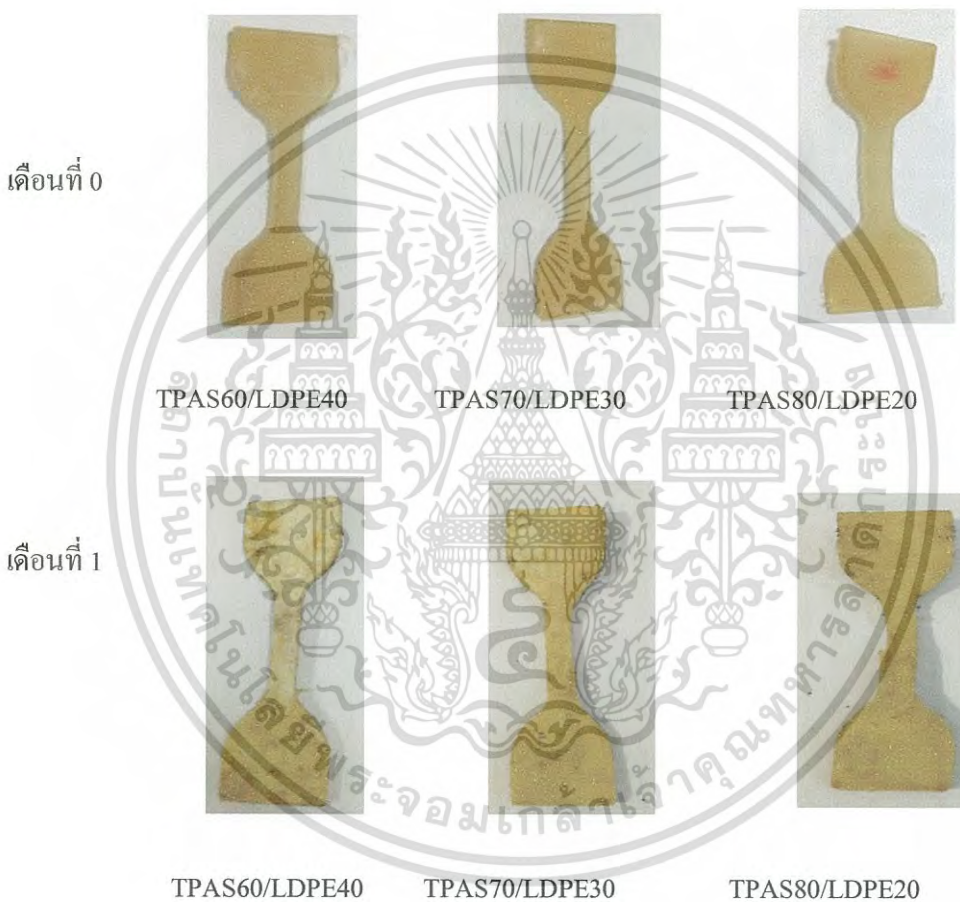
ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุด (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กาลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (TPS)	ช่วงที่ 3 (LDPE)
TPAS80/LDPE20	148.70	304.36	444.34
TPCS80/LDPE20	204.61	309.84	445.33
TPMS80/LDPE20	142.65	299.51	439.59
TPWS80/LDPE20	199.67	292.11	442.08

จากตารางที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวที่จุดสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS และ LDPE ที่แต่ละชนิดของแป้งที่อัตราส่วน 80:20 พบว่าช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมในทุกอัตราส่วนมีสามช่วงเช่นเดียวกัน โดยช่วงแรกเป็นการสลายตัวของกาลีเซอรอล ช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และช่วงที่สาม เป็นการสลายตัวของ LDPE

เมื่อเปรียบเทียบกันที่อุณหภูมิช่วงที่ 2 เมื่อใช้แป้งแต่ละชนิด พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จาก แป้งข้าวเหนียวมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวที่ต่ำที่สุด ส่วนของแป้งท้าวยายม่อม แป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเขียวมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวที่ใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้สมบัติทางความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการสลายตัวของแป้งแต่ละชนิด ซึ่งพบว่าแป้งมันสำปะหลังมีอุณหภูมิในการสลายตัวที่ 280.1 °C แป้งถั่วเขียวมีอุณหภูมิในการสลายตัวที่ 275.5 °C และแป้งท้าวยายม่อมมีอุณหภูมิในการสลายตัวที่ 278.2 °C ซึ่งแป้งทั้งสามชนิดนี้มีอุณหภูมิในการสลายตัวที่ใกล้เคียงกัน ส่วนแป้งข้าวเหนียวมีอุณหภูมิในการสลายตัวที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 268.0 °C

4.11 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินได้นำพอลิเมอร์ผสม TPAS/ LDPE, TPCS/ LDPE, TPMS/ LDPE และ TPWS/ LDPE มาทำการทดสอบ โดยการทดสอบนำพอลิเมอร์ผสมมาฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน ที่มีการควบคุมความชื้นของดินคงที่ในช่วง 30-40% ทำการศึกษาถึงสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ซึ่งให้ผลการทดลองแสดงดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือนที่ 2



TPAS60/LDPE40



TPAS70/LDPE30



TPAS80/LDPE20

เดือนที่ 3



TPAS60/LDPE40



TPAS70/LDPE30



TPAS80/LDPE20

รูปที่ 4.41 การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสไตร์จากแป้งทำวายม่อม (TPAS) ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อถ่ายด้วยกล้อง 3.2 ล้านพิกเซล

เดือนที่ 0



TPCS60/LDPE40

TPCS70/LDPE30

TPCS80/LDPE20

เดือนที่ 1



TPCS60/LDPE40

TPCS70/LDPE30

TPCS80/LDPE20

เดือนที่ 2



TPCS60/LDPE40

TPCS70/LDPE30

TPCS80/LDPE20

เดือนที่ 3



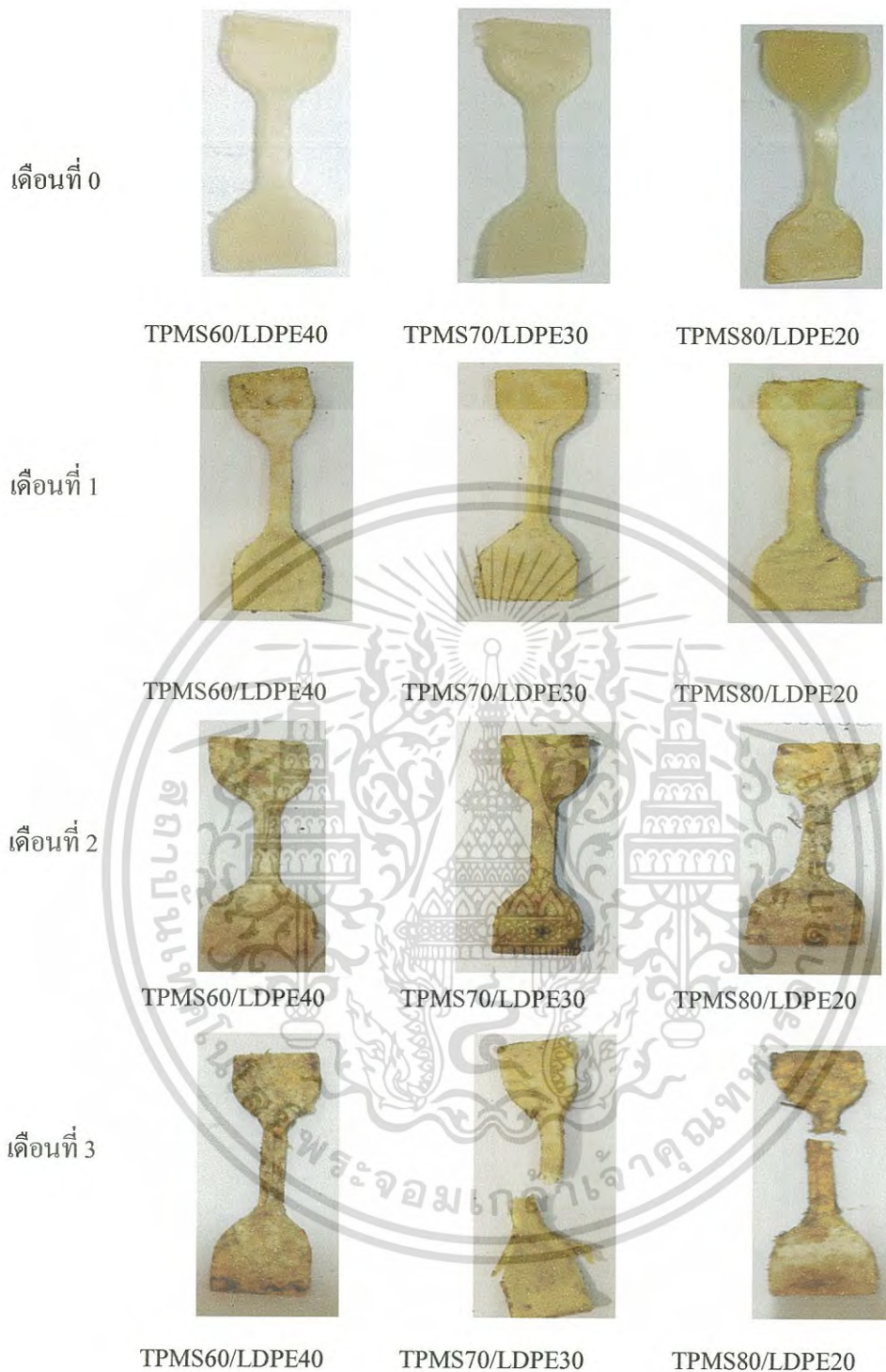
TPCS60/LDPE40

TPCS70/LDPE30

TPCS80/LDPE20

รูปที่ 4.42 การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อถ่ายด้วยกล้อง 3.2 ล้านพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งถั่วเขียว (TPMS) ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อถ่ายด้วยกล้อง 3.2 ล้านพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือนที่ 0



TPWS60/LDPE40

TPWS70/LDPE30

TPWS80/LDPE20

เดือนที่ 1



TPWS60/LDPE40

TPWS70/LDPE30

TPWS80/LDPE20

เดือนที่ 2

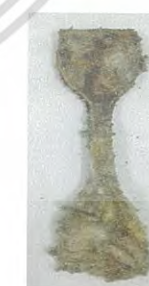


TPWS60/LDPE40

TPWS70/LDPE30

TPWS80/LDPE20

เดือนที่ 3



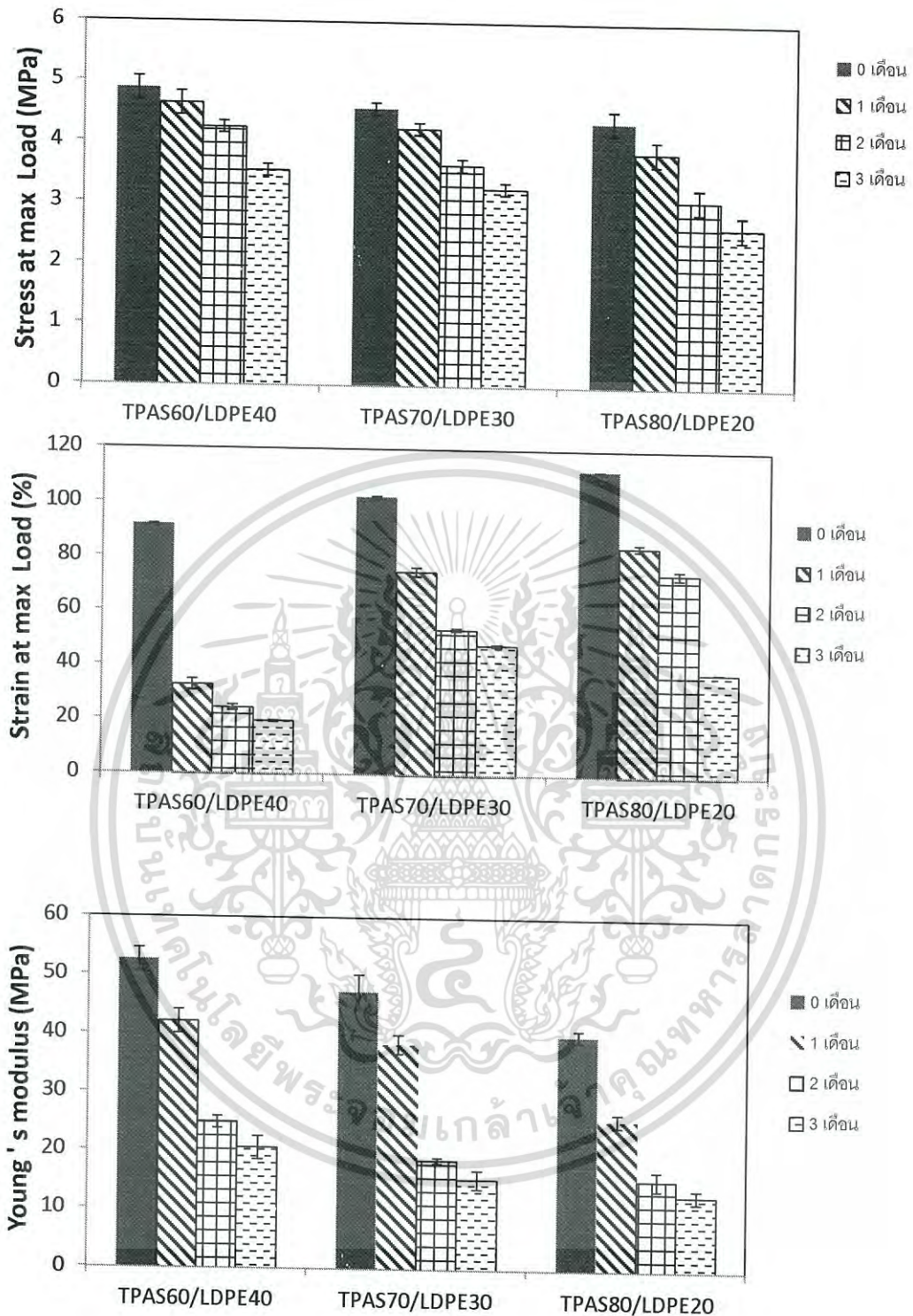
TPWS60/LDPE40

TPWS70/LDPE30

TPWS80/LDPE20

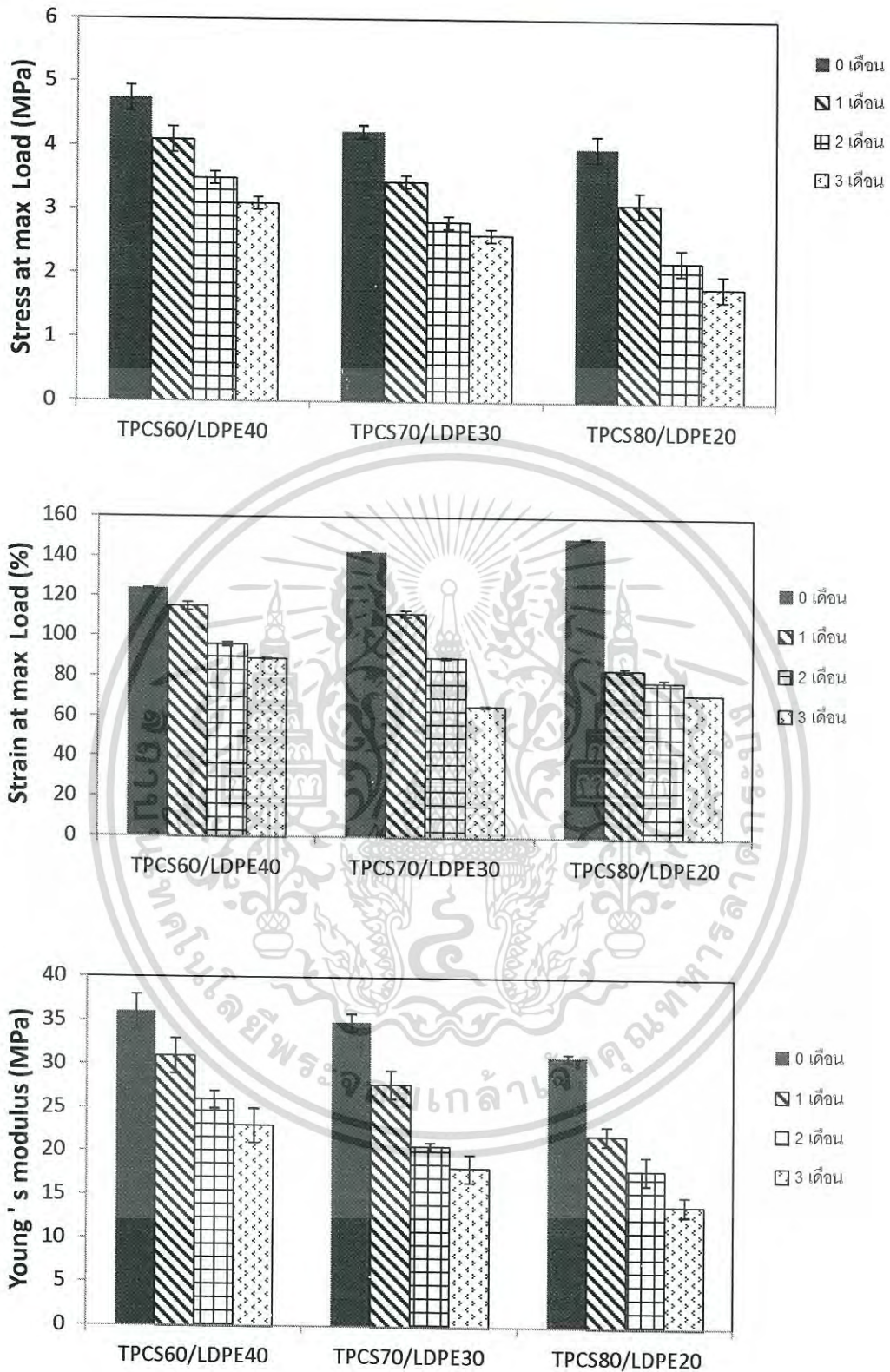
รูปที่ 4.44 การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวเหนียว (TPWS) ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อถ่ายด้วยกล้อง 3.2 ล้านพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



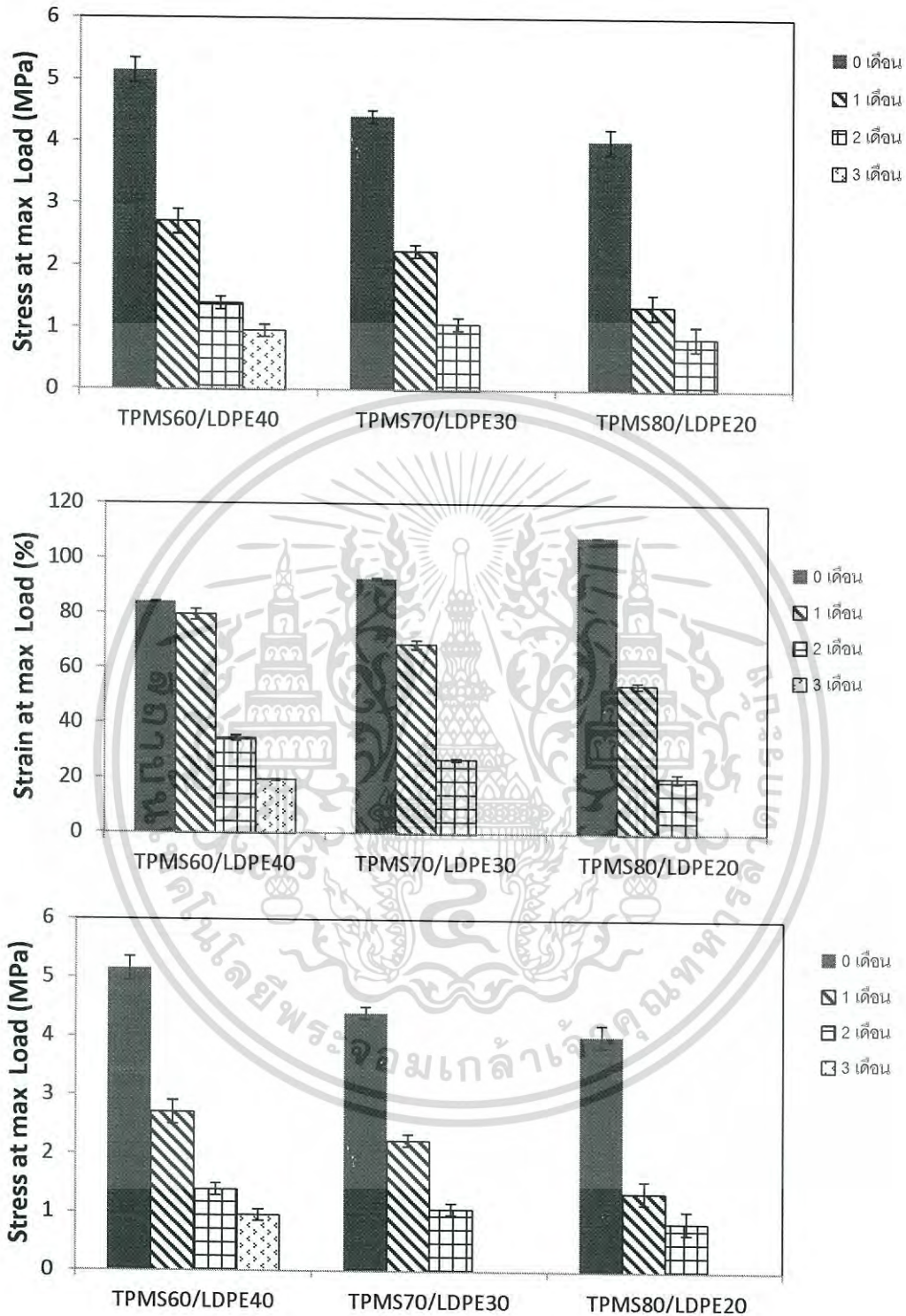
รูปที่ 4.45 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด และ (ค) มอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



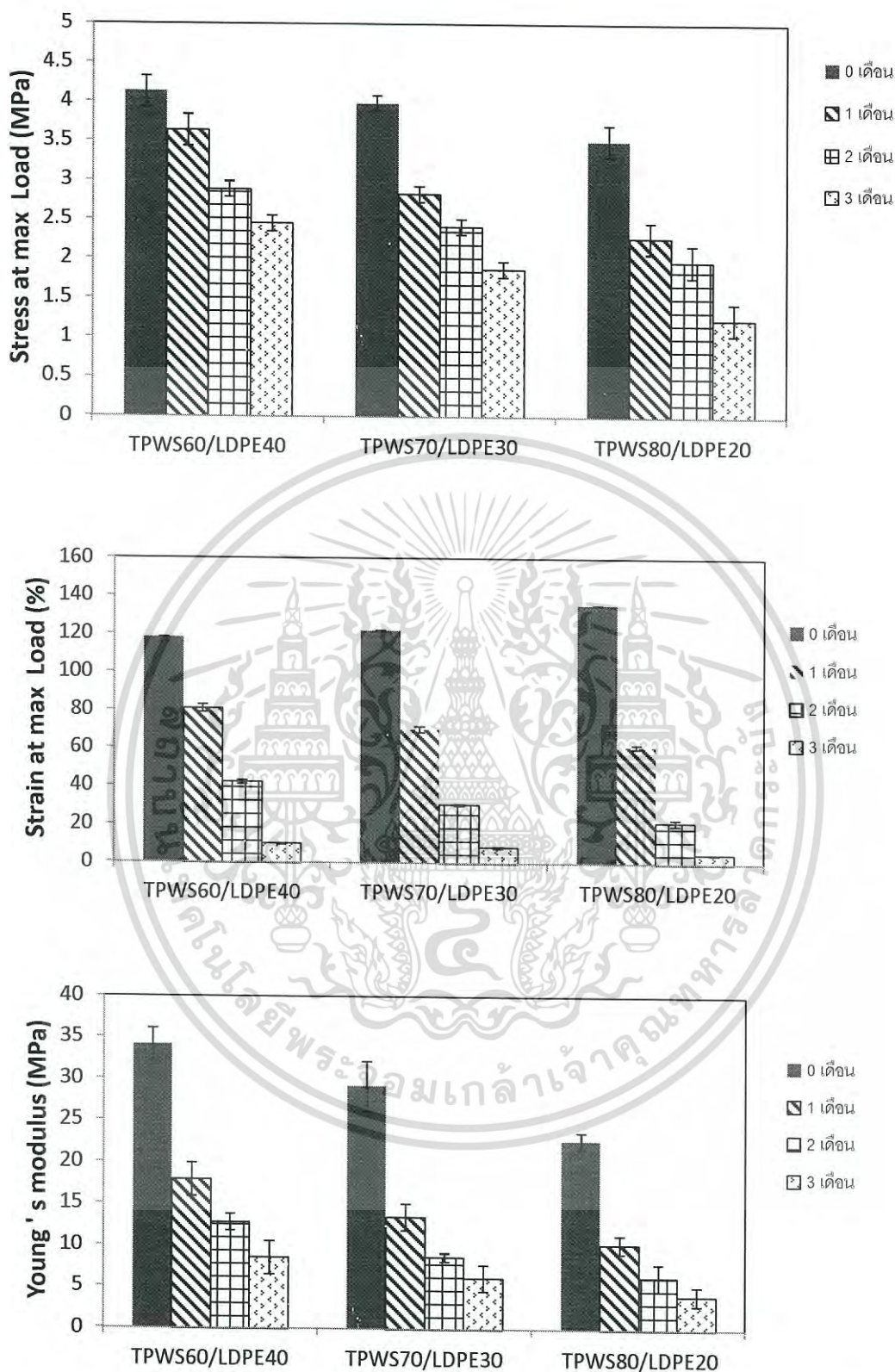
รูปที่ 4.46 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด และ (ค) มอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด และ (ค) มอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

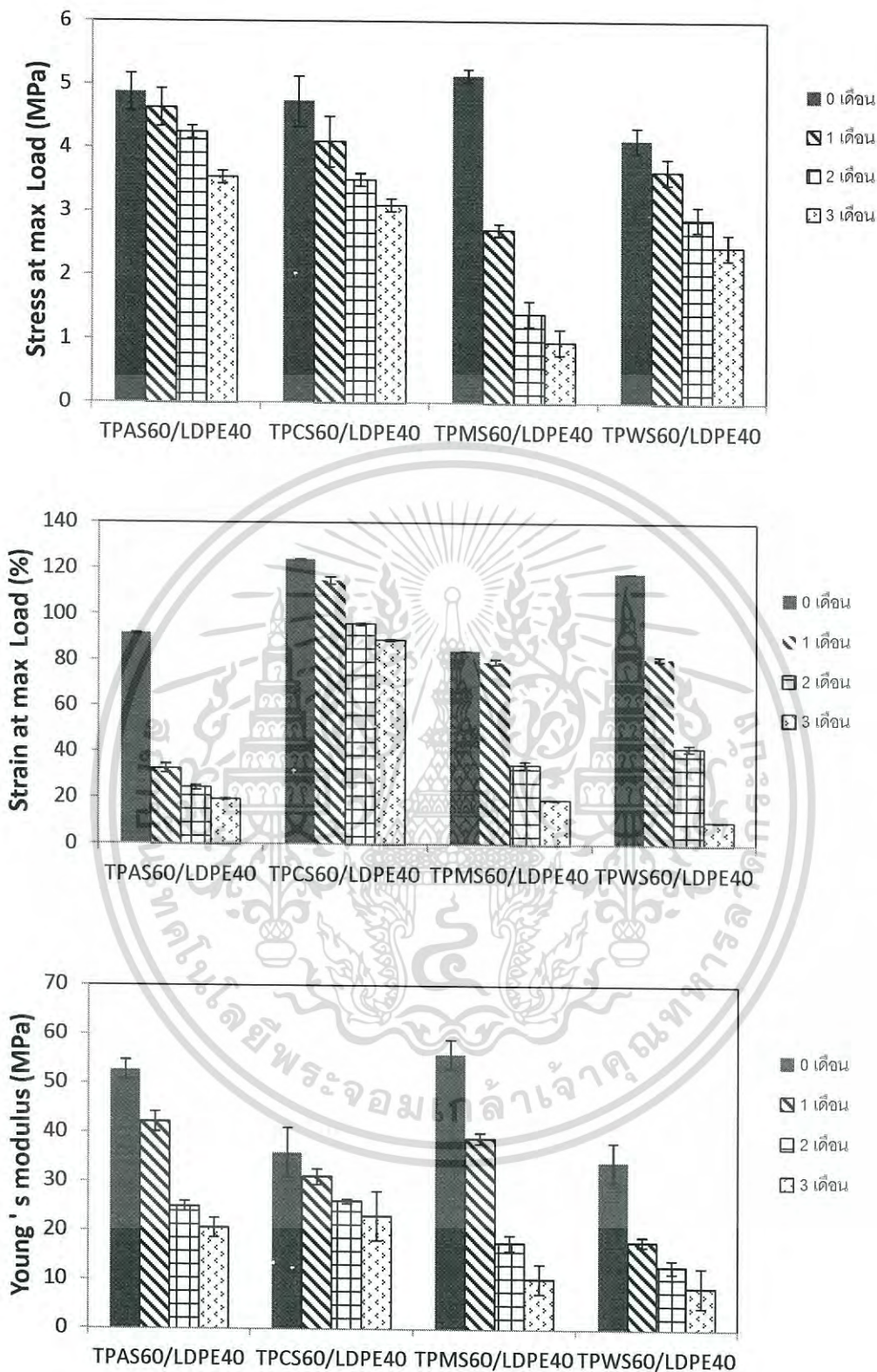


รูปที่ 4.48 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน (ก) ความแข็งแรงดึง (ค) การดึงยืด (ง) เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด และ (จ) โมดูลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/ LDPE, TPCS/ LDPE, TPMS/ LDPE และ TPWS/ LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 1 2 และ 3 เดือน ดังรูปที่ 4.41 – 4.48 พบว่าการใช้ TPS แต่ละชนิด ให้ผลสมบัติเชิงกลที่มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ค่าความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมีแนวโน้มลดลงทุกสูตร เมื่อใช้เวลาในการฝังดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมทุกชนิดของ TPS และ LDPE มีส่วนประกอบเป็นแป้ง กลิเซอรอล เป็นองค์ประกอบหลัก มีสมบัติชอบน้ำ จึงดูดซับน้ำจากดินที่นำมาทดสอบซึ่งมีความชื้นและเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งพบเห็นได้ว่าบริเวณพื้นผิวของ พอลิเมอร์ผสมมีเชื้อราเกิดขึ้นตามบริเวณต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม จึงส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงดึงและมอดุลัสลดลง นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณ TPS พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึดมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีน้ำเข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ผสมอยู่ห่างกันมากขึ้น จึงเคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้น ทำให้เมื่อออกแรงดึงพอลิเมอร์ผสม จึงเกิดการขาดได้ง่ายขึ้น





รูปที่ 4.49 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่แต่ละชนิดของแป้ง ที่อัตราส่วน 60:40 ที่ทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) เปรอร์เซ็นต์ความเครียด และ (ค) โมดูลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากกราฟการทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินในรูปที่ 4.49 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมจากแป้งแต่ละชนิด ที่อัตราส่วน 60:40 ซึ่งทดสอบการฝังดินเป็นระยะเวลา 0 1 2 และ 3 เดือน พบว่า TPS ทุกสูตรมีแนวโน้มการย่อยสลายที่เหมือนกัน กล่าวคือ เมื่อเวลาผ่านไปพอลิเมอร์ผสมถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่มีในดิน ซึ่งเกิดเชื้อราตามพื้นผิวชิ้นงาน เนื่องจากมีการดูดซับน้ำจากดิน และมีค่าสมบัติเชิงกลโดยรวมลดลง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS และ LDPE ที่ใช้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลแต่ละชนิด พบว่าการใช้แป้งข้าวเหนียวมีแนวโน้มย่อยสลายเร็วที่สุด โดยให้ค่าสมบัติเชิงกลรวมลดลงมากที่สุด โดยเนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเพกตินมากที่สุด ส่งผลให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนต่ำที่สุด และมีสมบัติในการดูดซับน้ำมากที่สุด จึงดูดซับน้ำจากดินเข้าไปในชิ้นงานได้มากที่สุด จะเห็นได้ว่าชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมเกิดการเปื่อยยุ่ยอย่างมากเมื่อใช้ระยะเวลาฝังดิน 3 เดือน ซึ่งทั้งนี้ผลมีความสอดคล้องกับการทดลองการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสม (หัวข้อ 4.4) ส่วนแป้งถั่วเขียวมีแนวโน้มย่อยสลายได้ค่อนข้างเร็วเช่นเดียวกัน ทั้งนี้แป้งถั่วเขียวมีปริมาณอะไมโลเพกตินต่ำที่สุด ซึ่งคาดว่าทำให้เกิดการย่อยสลายช้าที่สุด แต่ผลการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE สามารถย่อยสลายได้ค่อนข้างเร็ว เมื่อใช้ระยะเวลาในการฝังดินเดือนที่ 3 ชิ้นงาน TPMS/LDPE มีลักษณะแตกหัก ไม่สามารถนำมาทดสอบการฝังดินได้ ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของแป้งถั่วเขียว มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 1.8 ซึ่งมีปริมาณมากกว่าแป้งชนิดอื่นๆ ซึ่งโปรตีนในโครงสร้างของแป้งนี้ทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็ว [45] ส่วนแป้งท้าวยายม่อมพบว่าการย่อยสลายได้เร็วถัดไป ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มการย่อยสลายช้าที่สุด เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติในการดูดซับน้ำน้อยที่สุด จึงดูดซับน้ำจากดินเข้าไปในชิ้นงานได้น้อยที่สุด โดยเมื่อดูจากชิ้นงานในเดือนที่ 3 พบว่าชิ้นงานไม่มีลักษณะเปื่อยยุ่ย แต่พบว่ามีเชื้อราเกิดขึ้นบนชิ้นงาน แสดงว่าแป้งมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายได้ แต่ต้องใช้เวลาในการทดสอบการฝังดินมากกว่านี้ เมื่อพิจารณาจากปริมาณอะไมโลเพกตินพบว่าแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลเพกติน มากกว่าแป้งท้าวยายม่อม คาดว่าจะทำให้พอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE ย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE แต่เนื่องจากแป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณไขมันที่มากกว่าแป้งท้าวยายม่อม จึงทำให้พอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE ดูดซับน้ำจากดินได้น้อยกว่าและเกิดการย่อยสลายได้น้อยกว่าพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งท้าวยายม่อม (Thermoplastic arrowroot starch : TPAS) แป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch : TPCS แป้งถั่วเขียว (Thermoplastic mungbean starch : TPMS) และแป้งข้าวเหนียว (Thermoplastic waxy rice starch : TPWS) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยมีกีสเซอร์อลเป็นพลาสติกไซเซอร์และสารช่วยผสมชนิดมาลิกแอโนไฮโดรด์ กราฟท์พอลิเอทิลีน (MAPE) ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน พบว่าผลของชนิดแป้ง ไม่มีผลต่อพีคของการสั่นที่ตำแหน่งต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม แต่การเพิ่มปริมาณ TPS ทำให้พีคช่วง O-H stretching ของ TPS มีความเข้มเพิ่มขึ้น

2. จากการศึกษาการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ พบว่าเพิ่มปริมาณ TPS ทำให้ความเป็นผลึกมีค่าลดลง พอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE มีปริมาณผลึกมากที่สุด รองลงมา คือ TPAS/LDPE และ TPCS/LDPE ส่วนปริมาณผลึกน้อยที่สุด คือ TPWS/LDPE

3. จากการศึกษาการดูดซึมน้ำ พบว่าการเพิ่มปริมาณ TPS ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการดูดซึมน้ำสูงขึ้น พอลิเมอร์ผสม TPWS/LDPE มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด รองลงมา คือ TPAS/LDPE และ TPCS/LDPE ส่วนพอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด

4. จากการศึกษาพื้นฐานวิทยา พบว่าการเพิ่มปริมาณ TPS ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะเรียบและมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น พอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE มีพื้นผิวเรียบมากที่สุด รองลงมาคือ พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE และ TPMS/LDPE ส่วนที่มีลักษณะพื้นผิวขรุขระมากที่สุด คือ TPWS/LDPE

5. จากการศึกษาสมบัติการไหล พบว่าการเพิ่มปริมาณ TPS ทำให้ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง พอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE มีดัชนีการไหลมากที่สุด รองลงมาคือ พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE และ TPMS/LDPE ส่วนดัชนีการไหลน้อยที่สุด คือ TPWS/LDPE

6. จากการศึกษาการวัดสี พบว่าการเพิ่มปริมาณ TPS ทำให้ค่าความสว่างของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ความสดใสของสีเพิ่มขึ้นและแสดงสีไปทางสีเหลืองทั้งหมด

7. จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ TPS ทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืดและความแข็งแรงกระแทกสูงขึ้น พอลิเมอร์ผสม TPMS/LDPE ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่สูงที่สุดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านความแข็งแรงดึง โมดูลัสและความแข็งกด รองลงมา คือ TPAS/LDPE และ TPCS/LDPE ส่วน TPWS/LDPE มีสมบัติเชิงกลโดยรวมต่ำที่สุด

8. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ TPS ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของ LDPE ลดลง พอลิเมอร์ผสม TPCS/LDPE มีอุณหภูมิการสลายตัวจุดสูงสุดสูงที่สุด รองลงมา TPAS/LDPE, TPMS/LDPE ส่วน TPWS/LDPE มีอุณหภูมิการสลายตัวจุดสูงสุดต่ำที่สุด

9. จากการศึกษาการย่อยสลายด้วยการฝังดิน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ TPS สามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้น พอลิเมอร์ผสม TPWS/LDPE สามารถย่อยสลายได้เร็วที่สุด รองลงมา คือ TPMS/LDPE และ TPAS/LDPE และ TPCS/LDPE มีการย่อยสลายช้าที่สุด

10. พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุดคือ TPMS80/LDPE20 โดยพิจารณาจากสมบัติเชิงกลในด้านความแข็งแรงดึง โมดูลัส ความแข็งกด สันฐานวิทยา สมบัติการไหล การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาแป้งชนิดอื่นๆ เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาเก แป้งมันฝรั่ง เป็นต้น เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติที่แตกต่างกัน

2. ศึกษาการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน โดยทดลองในสภาวะเปิด เพื่อให้ชิ้นงานมีการย่อยสลายตามสภาวะจริง

3. ศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้วิธีการอื่นๆ เช่น ย่อยสลายโดยใช้แสง โดยใช้จุลินทรีย์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] พลาสติกชีวฐานจากพืชเศรษฐกิจไทย [Online]. Available:

http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/03-foods/rungrong/food_00.html; 20 มิถุนายน 2555

[2] จุติมา วีระศิลป์. 2554. มันสำปะหลัง. สำนักพิมพ์ส่งเสริมพืชไร่และพืชสวนไทย

[3] แป้งถั่วเขียว. [online] Available : [www.sc.mahidol.ac.th/wiki/doku.php.id=ผลิตภัณฑ์แป้ง](http://www.sc.mahidol.ac.th/wiki/doku.php.id=ผลิตภัณฑ์แป้ง;);
20 มิถุนายน 2555

[4] จรรยา สุบรรณ. 2542. ตำรับอาหารชุดพิเศษ. ศรีสยามการพิมพ์. กรุงเทพฯ ๑

[5] แป้งต่างๆ. [online] <http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/m6-6/no26/khanomthai/sec07p03.html>; 20 มิถุนายน 2555.

[6] ลักษณ์ หอมมณี. 2555. การเตรียมและการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเขียวและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยโซเดียมอัลจิเนตและเจลาติน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง [7] พลาสติก. [Online]. Available : <http://elibrary.eduzones.com/index>;
18 มิถุนายน 2554.

[8] ไพศาล นาคพิพัฒน์. 2547. พลาสติกในชีวิตประจำวัน. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 28

[9] ธนาวดี ลีจากภักย์. 2549. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์

[10] กถำณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[11] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ เอกสารประกอบการสอนรายวิชาเคมีประยุกต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครภาคอุดรธานี
ปีการศึกษา 2554

[12] แป้งถั่วเขียว. [Online]. Available : http://sitthinan.co.th/product/product_s_pine_th.htm;
20 มิถุนายน 2555

[13] ณรงค์ เฟิงปรัชชา. 2521. มันสำปะหลัง. วัสดุเส้นใยแหล่งใหม่. กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ ๑. : 17 หน้า

[14] สุปราณี แพรศิริ. 2539. ตำราขนมหวาน. สำนักพิมพ์แสงแดด. กรุงเทพฯ ๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] วลัยพร मुखสุวรรณ พลาสติกในชีวิตประจำวัน ตอนที่ 4 : พอลิเอทิลีน [Online URL: <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=14>] accessed on December 10, 2009.
- [16] Wikipedia Foundation Inc. 2008. Plasticizers [online]. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Plasticizer> ; 30 มิถุนายน 2555
- [17] R. Gachter, and H. Muller. 1993. **Plastic Additive Handbook**. Hanser Publishers. Munich Vienna
- [18] เจริญ นาคะสรรค์. 2546. เทคโนโลยีเบื้องต้นทางพลาสติก. กรุงเทพฯ
- [19] คารินทร์ โพธิ์ศรี ลักษณะ หอมมณี และปาริชาติ จิรภักเสถียร. 2551. การเตรียมและการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งถั่วเขียวด้วยเส้นใยฝ้ายและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ. โครงการพิเศษ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [20] ดวงดาว อางองค์ และกาญจนา เจริญคุณธรรม. **Thermal Properties and Moisture Absorption of LDPE/Banana Starch Biocomposite Films**. Journal of Metals, Materials and Minerals, 12 (1) (2002) 1-10.
- [21] กษิตศ อัมประไพ อรพิน เกิดชูชื่น และ ณีฎฐา เกาหกุลจิตต์. 2541. การศึกษาคุณสมบัติทางกลและกายภาพของฟิล์มบริโกลด์ได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง. โครงการพิเศษ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [22] สุทธิ รอดทั้ง. 2548. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง/แป้ง/แป้งตัดแปร วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [23] ปิติพร ฤทธิเรืองเดช และ ชงชัย สุวรรณสถิตน์ . 2546 . สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งท้าวายม่อม . โครงการพิเศษภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [24] ทศนัย อรรถพรพิทักษ์. 2546. สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสตา์ชท้าวายม่อม วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [25] นภมณี มงคลประเสริฐ. 2544. สมบัติทางการไหลและสมบัติทางความร้อนของสตา์ชจากถั่วเขียววิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีทางอาหาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [26] นรศิชฎ์ จันทรรุก .2547.การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวตัดแปรและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [27] กาญจนา อุตัยฉาย, โกสินทร์ หาชะวี, นเรนทร์ อาศัยพานิชย์, นัฐพร สุรพัฒน์, วันชัย เลิศวิจิตรจรัส และอำนาจ สิทธิตระกูล.2548. การเตรียมและการทดสอบคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้ง.โครงการพิเศษภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [28] H.A. Pushpadass, P.Bhandari and M.A. Hanna. **Effects of LDPE and glycerol contents and compounding on the microstructure and properties of starch composite films**, Carbohydrate Polymers, 82 (2010) 1082–1089.
- [29] M.A. Manal, E. Naggari and M.G. Farag. **Physical and biological treatments of polyethylene–rice starch plastic films**, Journal of Hazardous Materials, 176 (2010) 878–883.
- [30] P. Lescher, K. Jayaraman and D. Bhattacharyya. **Characterization of water-free thermoplastic starch blends for manufacturing processes**, Materials Science and Engineering, 532 (2012) 178– 189.
- [31] F.J. Rodriguez-Gonzalez, B.A. Ramsay and B.D. Favis. **High performance LDPE/thermoplastic starch blends: a sustainable alternative to pure polyethylene**, Polymer, 44 (2003) 1517–1526.
- [32] R. Nawang, I.D. Danjaji, U.S. Ishiaku, H.Ismail and Z.A.M. Ishak. **Mechanical properties of sago starch filled linear low density polyethylene (LLDPE) composites**, Polymer Testing, 20 (2001) 167–172.
- [33] P. Matzinos, V. Tserkia, C. Gianikourisa, E. Pavlidoub and C. Panayiotoua. **Processing and characterization of LDPE/starch/PCL blends**, European Polymer Journal, 38 (2002)1713–1720.
- [34] W. Shujun, Y. Jingao and Y. Jinglin. **Preparation and charecterizaion of compatible thermoplastic starch/polyethylene blends**, Polymer Degradation and Stability, 87 (2005) 395-401.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [35] D.S. Rosa, C.G. Guedes and C.L. Carvalho. **Processing and thermal, mechanical and morphological characterization of post-consumer polyolefins/thermoplastic starch blends**, Journal of Materials Science, 42 (2007) 551-557.
- [36] ASTM D 638. 1992. **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials.
- [37] ASTM D 2240 and D 2000. **Standard Test Method for Rubber Property-Duroter Hardness**. West Conshohocken : American Society for Testing and Materials.
- [38] R. Chandra and R. Rustgi. **Biodegradable polymers**, Progress in Polymer Science, 23 (1998) 1273 – 1335.
- [39] American Standard for Testing and Materials. 1998. **Standard Test Method for Water Absorption of Plastic**. ASTM D 624. ASTM D 570. **Annual Book of ASTM Standard 08.01.**, Philadelphia.
- [40] เย็นหทัย แน่นหนา. 2549. **สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [41] C.Y. Huang, M.C. Roan and W.L. Lu. **Effect of compatibilizer on the biodegradation and mechanical properties of high-content starch/low-density polyethylene blend**. Polymer Degradation and Stability, 90 (2005) 95-105.
- [42] Mortazavi S, Ghasemi I. and Oromiehie A. **Effect of compatibilization on polyethylene/thermoplastic starch blends**. Polymer Testing, 32 (2013) 482–491.
- [43] X. Ma, J. Yua and J. F. Kennedy. **Studies on the properties of natural fibers-reinforced thermoplastic starch composites**. Carbohydrate Polymers, 62 (2005) 19–24.
- [44] S. Charoenrein and N. Preechathamwong. **Effect of waxy rice flour and cassava starch on freeze-thaw stability of rice starch gels**. Carbohydrate Polymers, 90 (2012) 1032-1037.
- [45] E. Diaz . 2008. **Microbial Biodegradation: Genomics and Molecular Biology**. Caister Academic Press. ISBN 1-904455-17-4.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS จากแป้งชนิดต่างๆ กับ LDPE

ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล				
	ความเค้น (MPa)	เปอร์เซ็นต์ ความเครียด (%)	มอดุลัสของยัง (MPa)	ความแข็งกด (Shore D)	ความแข็งแรง กระแทก (kJ/mm ²)
LDPE	6.31±0.34	178.95±8.67	68.04±5.87	29.60±2.01	30.43±2.00
LDPE40 /Arrow Starch 60	4.88±2.23	91.72±2.23	52.72±4.75	27.30±2.01	15.43±2.00
LDPE30 / Arrow Starch 70	4.57±1.56	102.40±3.76	47.32±2.35	25.02±2.90	16.78±0.97
LDPE20/ Arrow Starch 80	4.36±0.43	112.57±1.76	39.95±3.54	21.89±0.65	19.06±0.62
LDPE10/ Arrow Starch 90	4.05±0.49	128.87±1.74	32.01±2.24	20.90±0.98	20.45±1.78
LDPE40 /Cassava Starch 60	4.74±0.12	124.89±6.67	36.67±3.69	24.12±0.98	16.78±0.62
LDPE30 / Cassava Starch 70	4.23±0.16	142.66±1.37	34.89±0.78	22.90±2.12	18.90±2.45
LDPE20/ Cassava Starch 80	3.98±0.09	150.26±1.50	30.67±1.42	21.87±0.70	22.56±0.54
LDPE10/ Cassava Starch 90	3.56±0.14	162.68±2.79	27.67±1.23	20.45 ±0.84	23.13±0.98

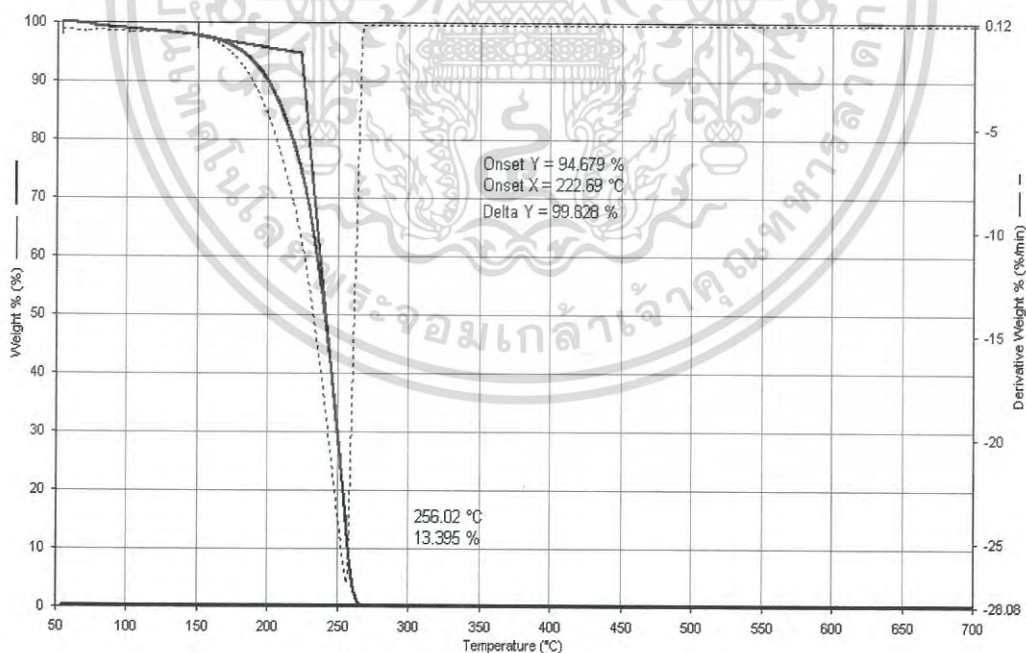
ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล				
	ความเค้น (MPa)	เปอร์เซ็นต์ ความเครียด (%)	มอดูลัสของยัง (MPa)	ความแข็งกด (Shore D)	ความแข็งแรง กระแทก (kJ/mm ²)
LDPE40 /Mungbean Starch 60	5.15±0.19	84.16±3.41	56.72±3.41	28.87±0.65	14.46±0.98
LDPE30 /Mungbean Starch 70	4.41±0.34	92.66±1.14	49.93±3.19	27.50±0.98	15.67±1.12
LDPE20/Mungbean Starch 80	4.02±0.27	108.71±2.12	41.54±0.62	25.89±1.02	18.97±1.58
LDPE10/Mungbean Starch 90	3.56±0.21	115.76±1.67	36.96±3.82	24.63±0.14	19.45±1.23
LDPE40 /Waxy rice Starch 60	4.13±0.23	118.23±3.16	34.09±2.89	20.15±0.98	18.38±0.62
LDPE30 /Waxy rice Starch 70	3.98±0.12	121.83±5.86	29.15±1.06	18.70±1.45	20.67±2.90
LDPE20/Waxy rice Starch 80	3.50±0.15	135.48±6.50	22.60±2.27	16.96±0.70	24.78±0.14
LDPE10/Waxy rice Starch 90	3.12±0.07	175.08±3.45	17.51±0.40	14.34±0.84	25.67±1.40

ภาคผนวก ก

TGA เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ระหว่าง TPS จากแป้งชนิดต่างๆ และ LDPE

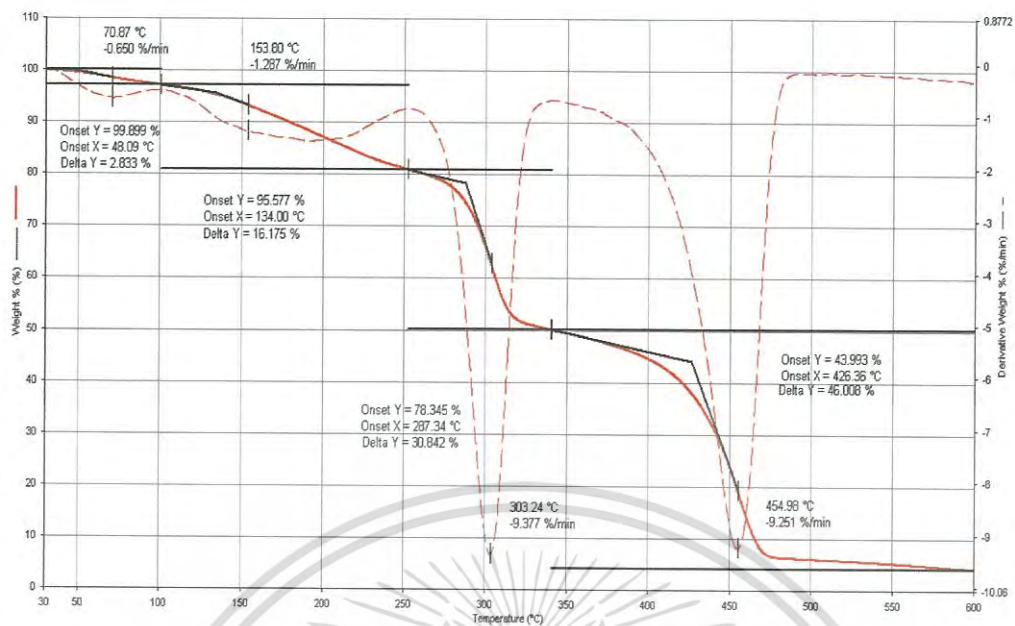


รูปที่ ก.1 เทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

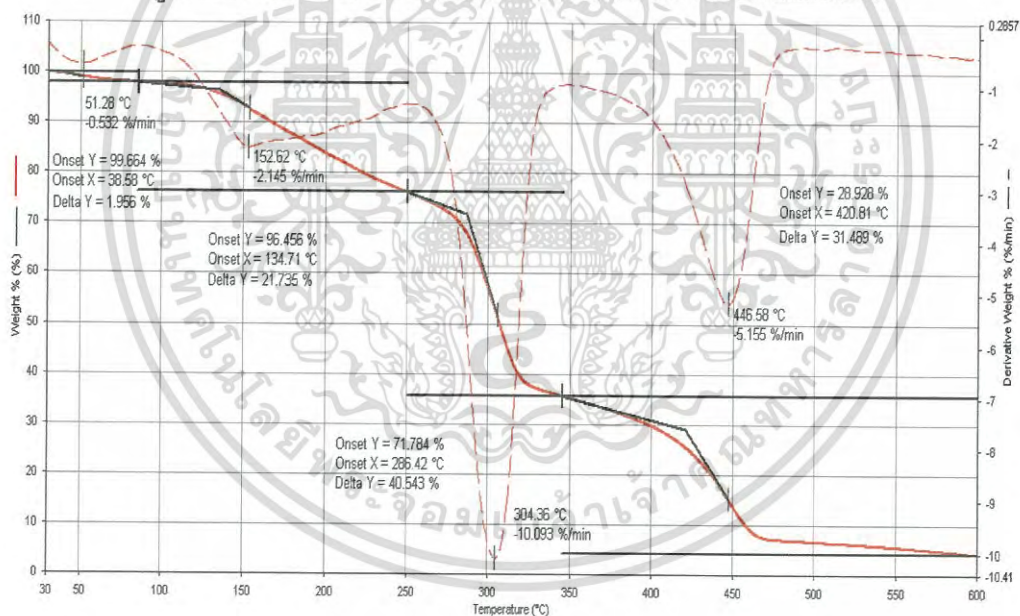


รูปที่ ก.2 เทอร์โมแกรมของกลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

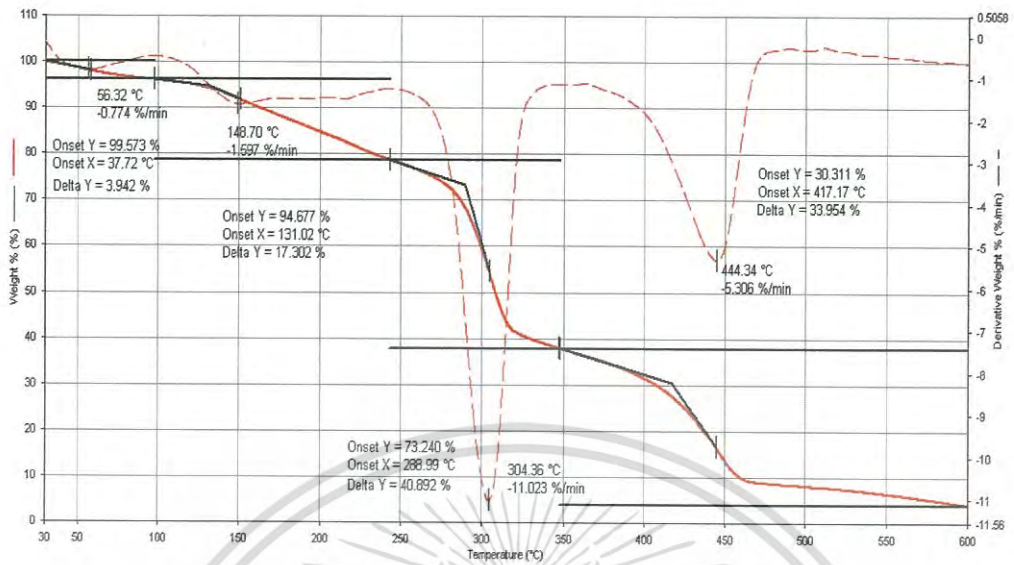


รูปที่ ๓.3 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS60/LDPE40

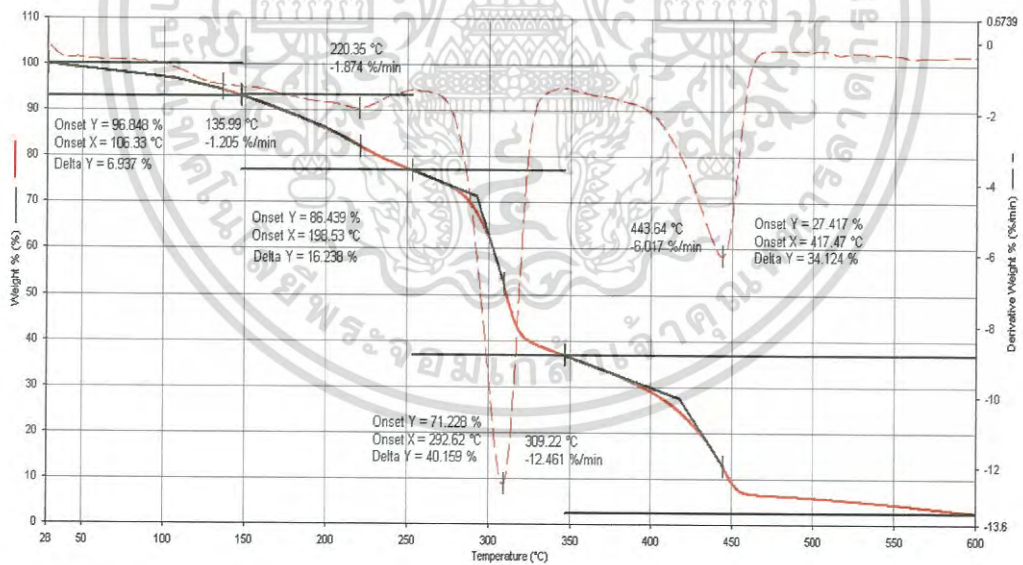


รูปที่ ๓.4 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS70/LDPE30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

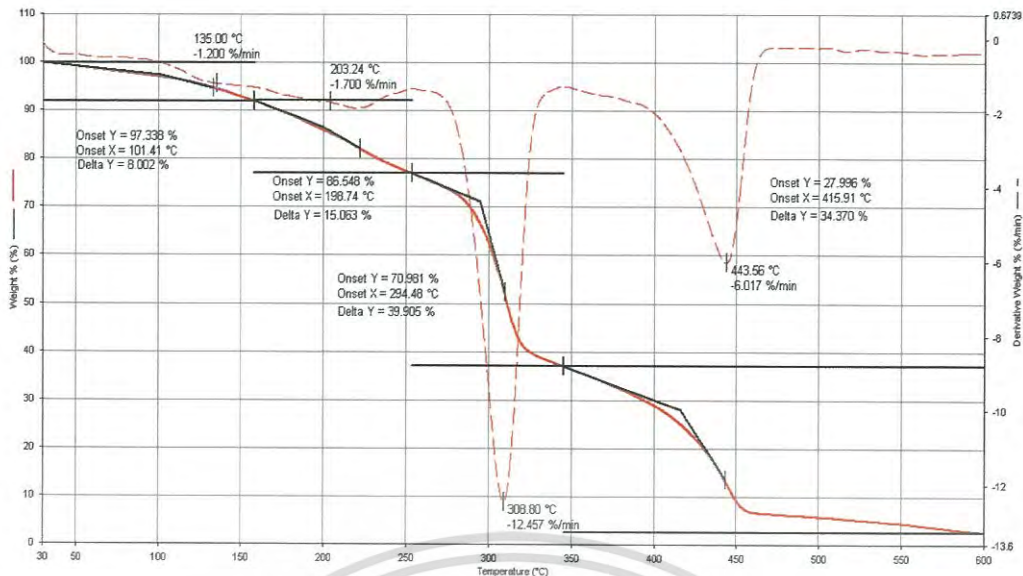


รูปที่ ค.5 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS80/LDPE20

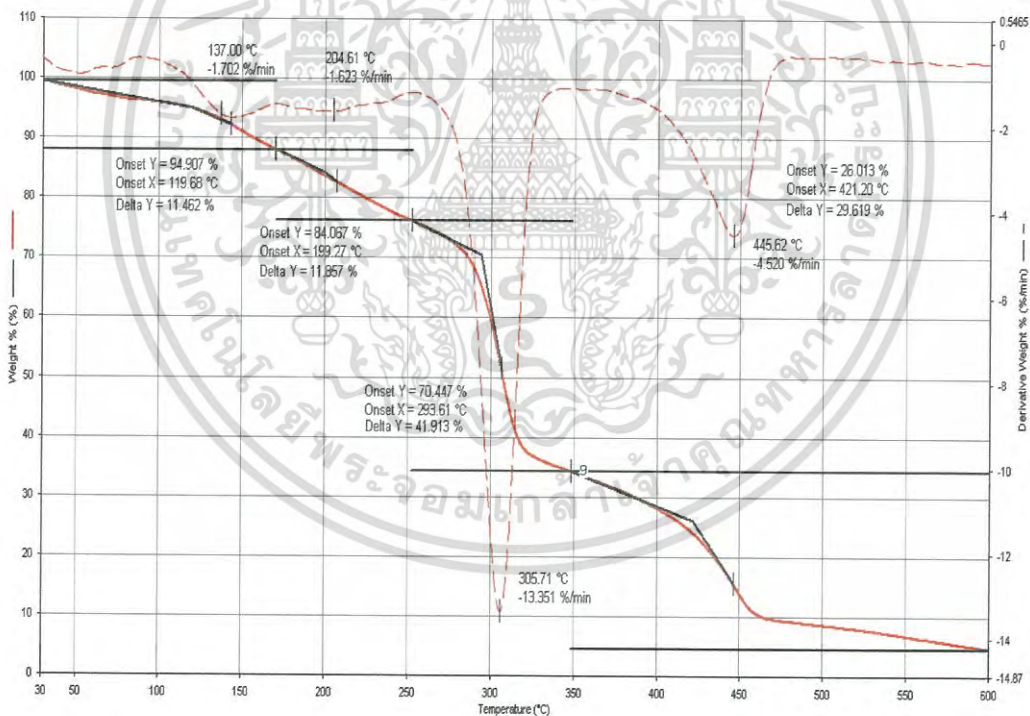


รูปที่ ค.6 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS60/LDPE40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

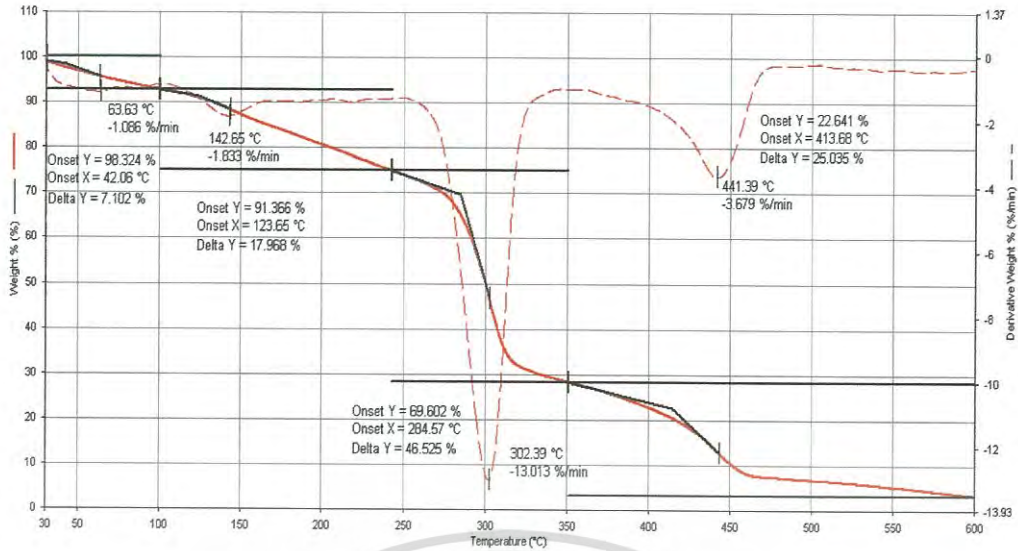


รูปที่ ๗ เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS70/LDPE30

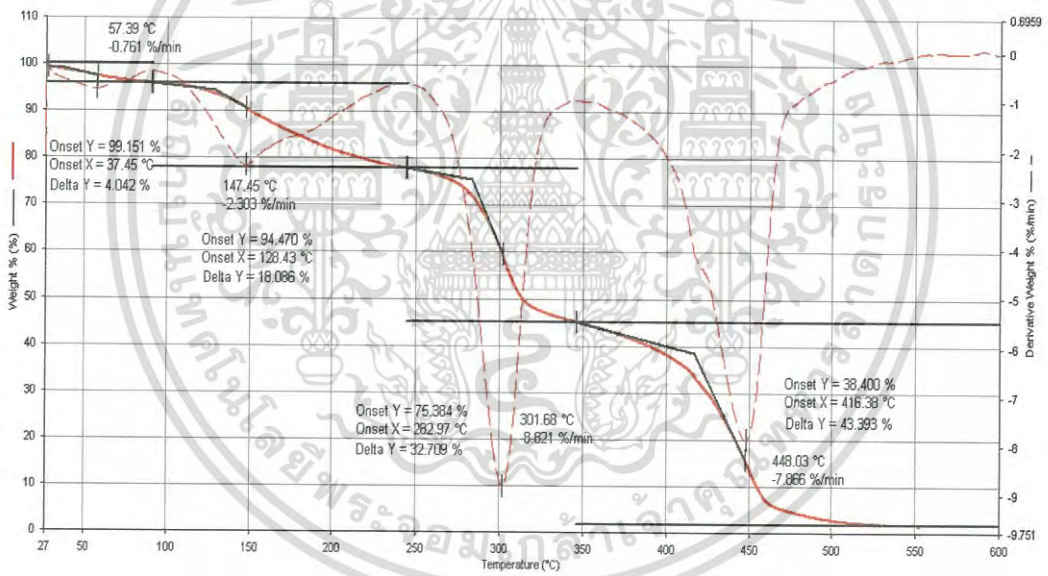


รูปที่ ๘ เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPCS80/LDPE20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

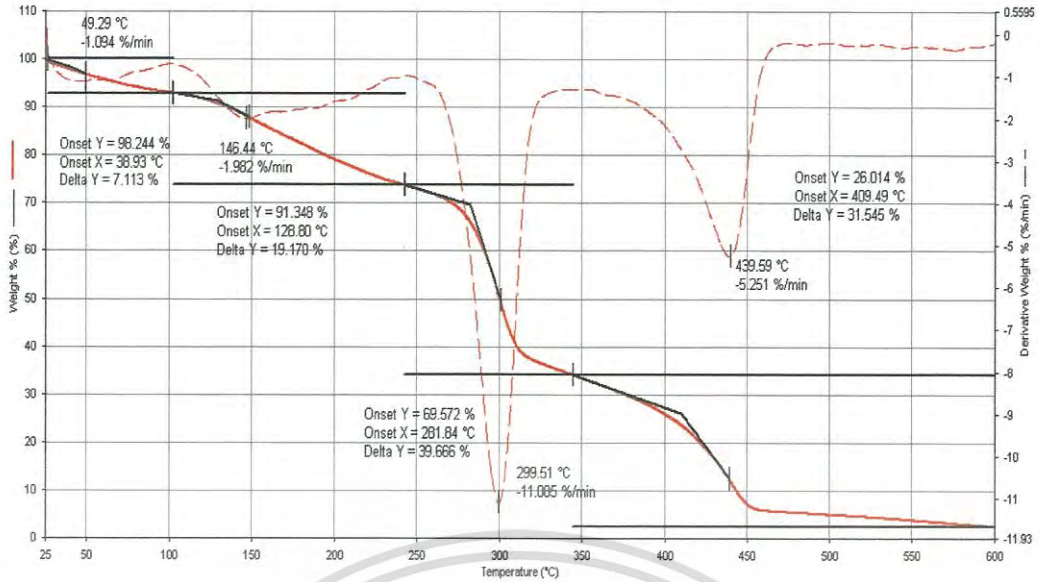


รูปที่ ๙ เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS60/LDPE40

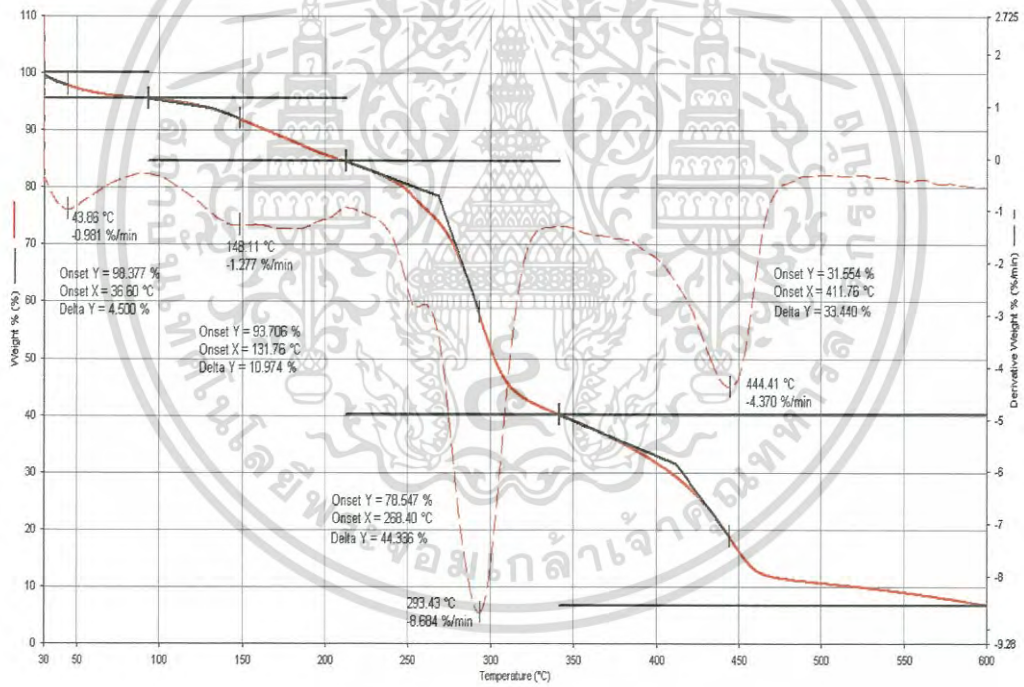


รูปที่ ๑๐ เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS70/LDPE30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

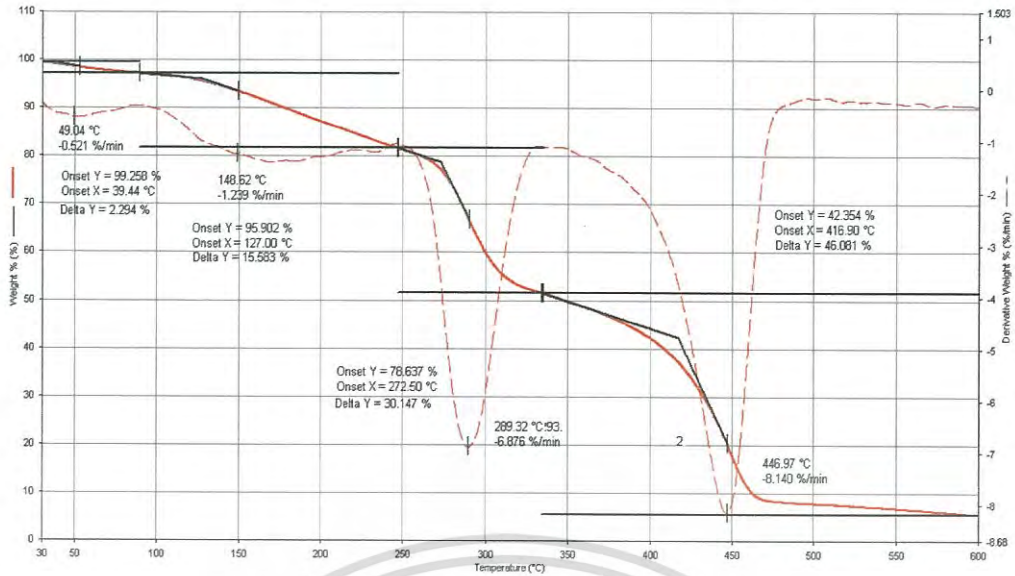


รูปที่ ค.11 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPMS80/LDPE20

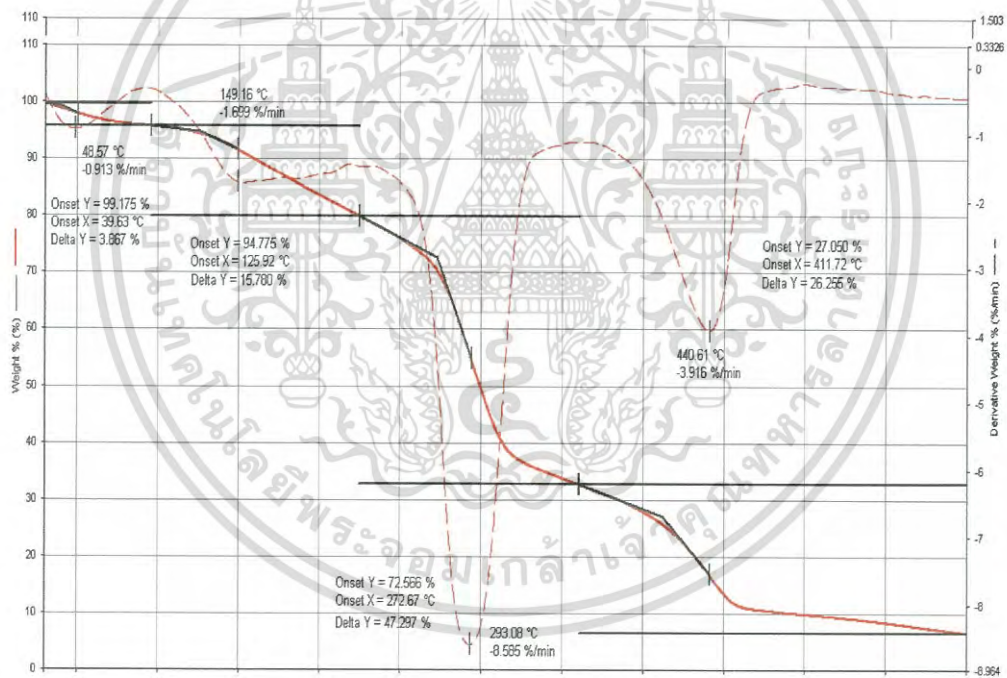


รูปที่ ค.12 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS60/LDPE40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.13 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS70/LDPE30



รูปที่ ค.14 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPWS80/LDPE20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS จากแป้งท้าวยายม่อม และ LDPE ที่ทำการ
ฝังดิน 0 1 2 และ 3 เดือน

เดือน	ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
		ความเค้น (MPa)	ความเครียด (%)	มอดุลัส (MPa)
0	TPAS60/LDPE40	4.88±0.34	91.72±1.09	52.72±0.34
	TPAS70/LDPE30	4.57±0.23	102.45±1.32	47.32±0.61
	TPAS80/LDPE20	4.36±0.14	112.57±1.34	39.95±1.52
1	TPAS60/LDPE40	4.64±0.13	32.72±0.94	42.16±1.12
	TPAS70/LDPE30	4.24±0.04	74.87±0.90	38.42±1.34
	TPAS80/LDPE20	3.86±0.62	84.51±0.63	25.64±0.99
2	TPAS60/LDPE40	4.25±0.12	24.43±0.47	24.97±1.23
	TPAS70/LDPE30	3.64±0.14	53.63±2.98	18.64±0.98
	TPAS80/LDPE20	3.08±0.34	74.56±0.67	15.41±2.34
3	TPAS60/LDPE40	3.54±0.24	19.54±1.43	20.62±1.45
	TPAS70/LDPE30	3.26±0.45	47.94±2.42	15.41±2.34
	TPAS80/LDPE20	2.64±0.34	38.21±0.89	12.78±2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS จากแป้งมันสำปะหลัง และ LDPE ที่ทำการ
ฝังดิน 0 1 2 และ 3 เดือน

เดือน	ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
		ความเค้น (MPa)	ความเครียด (%)	มอดุลัส (MPa)
0	TPCS60/LDPE40	4.74±0.89	124.42±1.00	36.61±0.12
	TPCS70/LDPE30	4.23±0.45	142.66±1.23	34.89±0.56
	TPCS80/LDPE20	3.98±0.90	151.34±1.11	31.23±1.51
1	TPCS60/LDPE40	4.16±0.67	115.65±0.98	31.51±1.12
	TPCS70/LDPE30	3.45±0.13	111.54±1.56	27.81±1.21
	TPCS80/LDPE20	3.11±0.22	84.93±0.63	22.13±0.86
2	TPCS60/LDPE40	3.55±0.12	96.45±0.47	26.42±1.23
	TPCS70/LDPE30	2.81±0.67	89.45±0.06	20.65±1.98
	TPCS80/LDPE20	2.22±0.34	72.76±0.61	18.64±2.34
3	TPCS60/LDPE40	3.17±0.21	89.90±1.43	23.77±1.45
	TPCS70/LDPE30	2.61±0.90	65.45±1.78	18.17±1.67
	TPCS80/LDPE20	1.84±0.34	72.94±2.00	14.41±2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS จากแป้งถั่วเขียว และ LDPE ที่ทำการฝังดิน 0 1 2 และ 3 เดือน

เดือน	ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
		ความเค้น (MPa)	ความเครียด (%)	มอดุลัส (MPa)
0	TPMS60/LDPE40	5.15±0.09	84.15±1.56	56.78±1.56
	TPMS70/LDPE30	4.43±0.23	92.66±1.32	49.98±0.67
	TPMS80/LDPE20	4.02±0.14	108.89±1.34	41.21±1.58
1	TPMS60/LDPE40	2.71±0.47	79.62±0.42	38.94±1.12
	TPMS70/LDPE30	2.24±0.11	68.79±0.90	30.54±1.93
	TPMS80/LDPE20	1.36±0.89	54.17±0.63	24.56±0.99
2	TPMS60/LDPE40	1.44±1.89	34.56±0.47	17.52±1.23
	TPMS70/LDPE30	1.07±1.45	26.89±2.98	14.87±0.98
	TPMS80/LDPE20	0.85±0.90	20.41±0.61	10.63±2.34
3	TPMS60/LDPE40	2.61±0.56	19.38±1.43	10.26±1.45
	TPMS70/LDPE30	-	-	-
	TPMS80/LDPE20	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

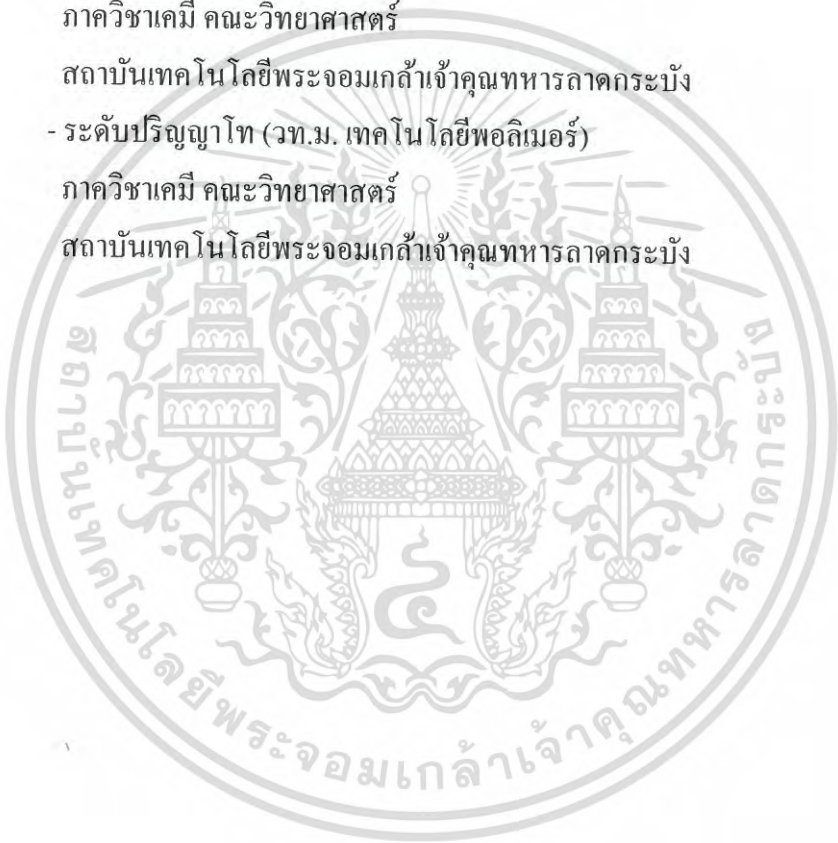
สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPS จากแป้งข้าวเหนียว และ LDPE ที่ทำการ
ฝังดิน 0 1 2 และ 3 เดือน

เดือน	ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
		ความเค้น (MPa)	ความเครียด (%)	มอดุลัส (MPa)
0	TPWS60/LDPE40	4.03±0.09	118.23±1.23	34.09±0.56
	TPWS70/LDPE30	3.98±0.89	121.83±1.32	29.15±0.67
	TPWS80/LDPE20	3.51±1.45	135.84±1.34	22.65±1.58
1	TPWS60/LDPE40	3.64±0.87	81.18±0.98	17.89±1.12
	TPWS70/LDPE30	2.83±0.65	70.23±0.90	13.46±1.34
	TPWS80/LDPE20	2.27±0.21	61.25±0.63	10.21±0.99
2	TPWS60/LDPE40	2.89±0.12	42.15±0.09	12.81±1.23
	TPWS70/LDPE30	2.41±0.34	30.45±1.56	8.64±0.88
	TPWS80/LDPE20	1.97±0.34	21.42±0.61	6.23±2.34
3	TPWS60/LDPE40	2.45±0.56	10.12±0.68	8.54±1.45
	TPWS70/LDPE30	1.87±0.09	8.54±2.11	6.12±2.34
	TPWS80/LDPE20	1.24±0.34	4.87±2.43	4.02±2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้ทำงานวิจัย

ชื่อ	ยศธร ธเนสรุ่งโรจน์
วันเกิด	18 มกราคม 2532
ภูมิลำเนา	นนทบุรี
ที่อยู่	492/3 ถ.อิสรภาพ แขวงศิริราช เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700
การศึกษา	- ระดับมัธยมต้น โรงเรียนทวีธาภิเศก - ระดับมัธยมปลาย โรงเรียนทวีธาภิเศก - ระดับปริญญาตรี (วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง - ระดับปริญญาโท (วท.ม. เทคโนโลยีพอลิเมอร์) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้