

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง/แบ่ง/แบ่งตัดแปรร



นางสาวสุชลี รอดทั้ง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-6270-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF MEDIUM DENSITY POLYETHYLENE/STARCHES/MODIFIED STARCHES BLENDS



Miss Suchalee Rodtung

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

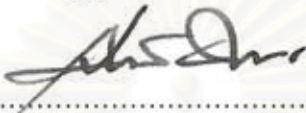
Chulalongkorn University

Academic Year 2005


ISBN 974-17-6270-4


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง/แบ่ง/แบ่งตัดแปรร
โดย	นางสาวสุชลี รอดทั้ง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์

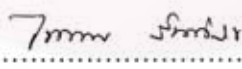
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

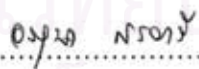

 คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
 (ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

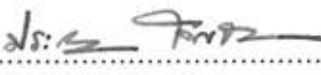
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


 ประธานกรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ เสาวรณ ชัยจุลจิตร์)


 อาจารย์ที่ปรึกษา
 (รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์)


 กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)


 กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)


 กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

นางสาวสุชสี รอดทั้ง : การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
/แบ่ง/แบ่งดัดแปร. (PREPARATION OF MEDIUM DENSITY POLYETHYLENE /
STARCHES/MODIFIED STARCHES BLENDS) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์,
158 หน้า. ISBN 974-17-6270-4.

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมพอลิเมอร์ผสมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แบ่งและ
แบ่งดัดแปร ซึ่งแบ่งดัดแปรสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแบ่งและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยใช้
โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาและน้ำเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปร คือ 50
องศาเซลเซียส โดยการดัดแปรแบ่งข้าวเหนียวใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ 35 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เป็นเวลา
30 นาที ส่วนการดัดแปรแบ่งมันสำปะหลังใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ 25 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เป็นเวลา 2
ชั่วโมง จากนั้นนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แบ่งไม่ดัดแปร และแบ่งดัดแปรมาผสมกัน
แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดแบบ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยเปลี่ยนแปลง
ปริมาณของแบ่งเป็น 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณแบ่งดัดแปรเป็น 5 10 15
และ 20 phr จากการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ซึ่งได้แก่ สมบัติด้านแรงดึง ด้านแรงดัดโค้ง และด้านแรง
กระแทก พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมแบ่งดัดแปร สามารถดูความชื้นความขึ้นและย่อยสลายทาง
ชีวภาพได้มากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยไม่เติมแบ่งดัดแปร แม้ว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแบ่ง
มันสำปะหลังมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแบ่งข้าวเหนียว แต่พอลิเมอร์ผสมที่
เตรียมจากแบ่งข้าวเหนียวสามารถดูความชื้นความขึ้นและย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่
เตรียมจากแบ่งมันสำปะหลัง ผลการทดลองทั้งหมดบ่งชี้ว่า พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิด
ความหนาแน่นปานกลางกับแบ่งข้าวเหนียวที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็น 80:20 และแบ่งข้าวเหนียว
ดัดแปร 5 phr กับที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแบ่งมันสำปะหลังที่
อัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็น 90:10 และแบ่งมันสำปะหลังดัดแปร 5 phr มีสมบัติโดยรวมดีกว่าพอลิเมอร์ที่
เตรียมจากสูตรอื่น

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต... ศักดิ์ใจ... จงอกแก้ว

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา... วิชา... พิมพ์พันธุ์

4772275923 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: MODIFICATION / POLYMER BLEND / GLUTINOUS STARCH / CASSAVA STARCH / MDPE

SUCHALEE RODTUNG : PREPARATION OF MEDIUM DENSITY POLYETHYLENE/

STARCHES/MODIFIED STARCHES BLENDS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.

VIMOLVAN PIMPAN, Ph.D., 158 pp. ISBN 974-17-6270-4.

Polymer blends between medium density polyethylene (MDPE) starches and modified starches were prepared in this research. Modified starches were prepared from the reaction between the starch and maleic anhydride using sodium hydroxide as a catalyst and water as a solvent at 50°C. While glutinous starch was modified by 35% by mole for 30 minutes, cassava starch was modified by 25% by mole for 2 hours. MDPE, unmodified and modified starches were then mixed and compressed to form polymer blend sheets at 180°C for 5 minutes. The amounts of unmodified starch were varied from 10, 20, 30, 40 and 50% w/w. The amounts of modified starch were varied from 5, 10, 15 and 20 phr. From mechanical tests including tensile, flexural and impact properties, it was found that polymer blends from MDPE/starch/modified starch exhibited higher %moisture absorption and better biodegradability than those of all MDPE/starch blends prepared without modified starch. While cassava starch blends exhibited better mechanical properties than glutinous starch blends, the latter showed better moisture absorption and biodegradability than the former. The results suggested that polymer blends prepared from MDPE and glutinous starch at weight ratio of 80:20 and modified glutinous starch 5 phr and from MDPE and cassava starch at weight ratio of 90:10 and modified cassava starch 5 phr exhibited better overall properties than those prepared with other compositions.

Department Materials Science

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Academic year 2005

Student's signature.....*Suchalee Rodtung*.....

Advisor's signature.....*Vimolvan Pimpan*.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำงานวิจัยรวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่างจุลจิตร์ รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข รองศาสตราจารย์ อรุษา สรวารี และรองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์.ดร. ศิริธน์ เจียมศิริเลิศ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องบดบอลล์มิลล์ ชนิดความเร็วสูง

ขอขอบพระคุณบริษัท ไทยวา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แบ่งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณภาคีชาวสัตวศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในการขึ้นรูป ศูนย์วิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์สมบัติชิ้นงานที่เตรียมได้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณเพื่อนๆ ภาคีชาวสัตวศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้.....	3
2.1.1 การสลายตัวทางชีวภาพของพลาสติก.....	4
2.1.2 กลไกการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ผสมสารเติมแต่ง.....	5
2.2 แป้ง.....	7
2.3 แป้งดัดแปร.....	11
2.3.1 การดัดแปรโดยวิธีทางกายภาพ.....	11
2.3.2 การดัดแปรโดยวิธีทางเคมี.....	11
2.3.2.1 การดัดแปรทางเคมีที่เกิดการเสื่อมสภาพ.....	12
2.3.2.2 การดัดแปรทางเคมีที่ไม่เกิดการเสื่อมสภาพ.....	12
2.4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง.....	14
2.5 พอลิเมอร์ผสม.....	16
2.5.1 กลไกการเข้ากันได้.....	17
2.5.2 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม.....	18
2.5.3 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม.....	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19

บทที่	หน้า
3. วิธีการทดลอง.....	22
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ.....	22
3.1.1 การดัดแปรแป้ง.....	22
3.1.1.1 การเตรียมแป้งดัดแปร.....	22
3.1.1.2 การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม.....	23
3.1.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม.....	23
3.1.3 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม.....	23
3.1.3.1 การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง.....	23
3.1.3.2 การทดสอบสมบัติความทนแรงดัดโค้ง.....	24
3.1.3.3 การทดสอบสมบัติความทนแรงกระแทก.....	24
3.1.4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน.....	24
3.1.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา.....	25
3.1.6 การทดสอบความสามารถในการดูดซึ่มความชื้น.....	25
3.1.7 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	25
3.1.8 การทดสอบความทนทานต่อสารเคมี.....	26
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	27
3.2.1 การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้ง.....	28
3.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของแป้งและแป้งดัดแปร.....	29
3.2.3 การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม.....	30
3.2.4 การทดสอบสมบัติต่างๆ.....	32
3.2.4.1 การทดสอบสมบัติด้านแรงดึง.....	32
3.2.4.2 การทดสอบสมบัติด้านแรงดัดโค้ง.....	33
3.2.4.3 การทดสอบความทนแรงกระแทก.....	34
3.2.5 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน.....	35
3.2.5.1 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค DSC.....	35
3.2.5.2 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค TGA.....	36
3.2.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา.....	37
3.2.7 การทดสอบการดูดซึ่มความชื้น.....	38

บทที่	หน้า
3.2.8 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	39
3.2.9 การทดสอบความทนทานต่อสารเคมี.....	39
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	40
4.1 ลักษณะของแป้งดัดแปรและไม่ดัดแปร.....	40
4.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้งดัดแปรและไม่ดัดแปร.....	41
4.3 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสม.....	44
4.4 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและพอลิเมอร์ผสม.....	48
4.4.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง.....	48
4.4.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม.....	49
4.4.2.1 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม.....	50
4.4.2.2 สมบัติด้านแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสม.....	55
4.4.2.3 สมบัติความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม.....	56
4.5 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของแป้งดัดแปร แป้งไม่ดัดแปร และพอลิเมอร์ผสม.....	58
4.6 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	65
4.6.1 เสถียรภาพทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสม.....	65
4.6.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณผลึก.....	73
4.7 การดูดซึ่มความชื้นของพอลิเมอร์ผสม.....	75
4.8 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม.....	77
4.9 ความทนทานต่อสารเคมีของพอลิเมอร์ผสม.....	79
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	84
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	84
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	85
รายการอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก.....	89

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ข.....	107
ภาคผนวก ค.....	118
ภาคผนวก ง.....	122
ภาคผนวก จ.....	136
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	158



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตราสาร

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะและสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน.....	10
ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งชนิดต่างๆ.....	10
ตารางที่ 2.3 ชนิดของพอลิเอทิลีนแบ่งตามความหนาแน่น.....	15
ตารางที่ 2.4 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางตามมาตรฐาน ASTM.....	16
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้ง และแป้งดัดแปร.....	31
ตารางที่ 4.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง.....	48
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติการสลายตัวของสารแต่ละชนิด.....	66
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปรปริมาณ 0 5 และ 20 phr.....	67
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณ 0 5 และ 20 phr.....	68
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปรปริมาณ 0 5 และ 20 phr.....	70
ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณ 0 5 และ 20 phr.....	71
ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติการหลอมเหลว คุณสมบัติการเกิดผลึก และปริมาณผลึกของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง.....	73
ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติการหลอมเหลว คุณสมบัติการเกิดผลึก และปริมาณผลึกของ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ แป้งข้าวเหนียว โดยมีแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ.....	73

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.9 คุณภูมิการหลอมเหลว คุณภูมิการเกิดผลึก และปริมาณผลึกของ พอลิเมอรัสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ แป้งมันสำปะหลัง โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ.....	74
ตารางที่ 4.10 ดัชนีความมีขั้วของตัวทำละลายที่ใช้ในการทดสอบ.....	79
ตารางที่ 4.11 ความสามารถในการละลายของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งประเภทต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....	79
ตารางที่ 4.12 ความสามารถในการละลายของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งประเภทต่างๆ ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....	80
ตารางที่ 4.13 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอรัสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวอัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณ แป้งข้าวเหนียวดัดแปรต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....	80
ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอรัสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณ แป้งข้าวเหนียวดัดแปรต่างๆ ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง..	81
ตารางที่ 4.15 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอรัสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณ แป้งมันสำปะหลังดัดแปรต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....	81
ตารางที่ 4.16 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอรัสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณ แป้งมันสำปะหลังดัดแปรต่างๆ ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....	82

สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1	5
รูปที่ 2.2	6
รูปที่ 2.3	6
รูปที่ 2.4	8
รูปที่ 2.5	8
รูปที่ 2.6	9
รูปที่ 2.7	9
รูปที่ 2.8	14
รูปที่ 2.9	15
รูปที่ 2.10	18
รูปที่ 2.11	18
รูปที่ 3.1	27
รูปที่ 3.2	28
รูปที่ 3.3	29
รูปที่ 3.4	30
รูปที่ 3.5	32
รูปที่ 3.6	32
รูปที่ 3.7	33
รูปที่ 3.8	33
รูปที่ 3.9	34
รูปที่ 3.10	34
รูปที่ 3.11	35
รูปที่ 3.12	36
รูปที่ 3.13	37
รูปที่ 3.14	37
รูปที่ 3.15	38

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.1 ลักษณะแป้ง.....	40
รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของแป้งข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการดัดแปร.....	42
รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมของแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร.....	42
รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการดัดแปร.....	43
รูปที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปร.....	43
รูปที่ 4.6 ซึ้นงานของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง.....	44
รูปที่ 4.7 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปร.....	45
รูปที่ 4.8 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร.....	46
รูปที่ 4.9 ปฏิกริยาการเชื่อมขวางระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งดัดแปร.....	49
รูปที่ 4.10 ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	51
รูปที่ 4.11 ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	51
รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	52
รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	52
รูปที่ 4.14 ยั่งสัมมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วนต่างๆ.....	53
รูปที่ 4.15 ยั่งสัมมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ.....	53

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.16 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	56
รูปที่ 4.17 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	56
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 1500 เท่า.....	58
รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดกำลังขยาย 1500.....	59
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ.....	61
รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ.....	63
รูปที่ 4.22 ทิจีเอเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง.....	65
รูปที่ 4.23 ทิจีเอเทอร์โมแกรมของแป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียวดัดแปร และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร.....	66
รูปที่ 4.24 ทิจีเอเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีแป้งข้าวเหนียวดัดแปรปริมาณ 0 5 และ 20 phr.....	67
รูปที่ 4.25 ทิจีเอเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณ 0 5 และ 20 phr.....	68
รูปที่ 4.26 ทิจีเอเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีแป้งข้าวเหนียวดัดแปรปริมาณ 0 5 และ 20 phr.....	70

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.27 ทีจีเอเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณ 0.5 และ 20 phr.....	71
รูปที่ 4.28 เปอร์เซ็นต์การดูดซึ่มความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	75
รูปที่ 4.29 เปอร์เซ็นต์การดูดซึ่มความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	75
รูปที่ 4.30 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	77
รูปที่ 4.31 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ อัตราส่วนต่างๆ.....	77

บทที่ 1

บทนำ

พลาสติก เป็นวัสดุที่ใช้มากที่สุดวัสดุหนึ่งในปัจจุบันและได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากพลาสติกมีสมบัติที่หลากหลาย ทนทานต่อการใช้งาน น้ำหนักเบา มีสีส่นสวยงาม และราคาถูก สามารถปรับปรุงให้ตรงตามความต้องการของการใช้งาน ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านความแข็ง ความแข็งแรง ความขุ่น ความใส ความเป็นฉนวนความร้อน หรือการนำไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการนำพลาสติกมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น นำไปใช้แทนโลหะบางชนิดที่มีราคาแพงและไม่สะดวกต่อการขนย้าย ทำให้บทบาทของพลาสติกยังคงมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนความต้องการของผู้บริโภคในประชากรโลก

ในสภาพปัจจุบัน ทั้งในโลกที่พัฒนาหรือกำลังพัฒนาได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับภาวะขยะพลาสติกที่ย่อยสลายตัวทางธรรมชาติได้ยาก จนเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ก่อให้เกิดผลเสียต่อคนและสัตว์เป็นอย่างมาก ถึงแม้จะมีเตาเผาขยะที่ใช้เพื่อกำจัดขยะ แต่ก็มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะกำจัดขยะพลาสติกให้หมดไปได้

วิธีการที่จะลดขยะพลาสติกได้นั้น นอกจากนำไปฝังดินหรือเผาทิ้งตามปกติแล้ว ยังมีวิธีอื่นๆ อีกที่ได้รับการคิดค้นขึ้นมา เช่น การเผาโดยใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้ได้น้ำมัน แต่ก็ยังคงสร้างปัญหาได้ในกรณีที่ไม่สามารถควบคุมควันหรือเขม่าที่เกิดจากการเผาได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งต้นทุนก็สูงมากและพลาสติกบางชนิดยังให้สารพิษออกมาระหว่างการเผาอีกด้วย

ดังนั้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงได้เกิดแนวคิดที่จะนำพอลิเมอร์ธรรมชาติ ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้แทนพอลิเมอร์สังเคราะห์ พอลิเมอร์ธรรมชาติที่นิยมนำมาศึกษาได้แก่ แป้ง เนื่องจากหาได้ง่าย และมีราคาถูก แต่ข้อเสียของแป้งในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ คือ จะไม่หลอมเหลวหรืออ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์สายยาวที่มีความเป็นระเบียบสูง แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลส่วนใหญ่เป็นพันธะไฮโดรเจน อีกทั้งการขึ้นรูปจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ และไม่ทนต่อความชื้น ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน จึงได้มีแนวคิดที่จะนำแป้งมาผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงพอที่จะใช้งานได้ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่การที่จะนำพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางไปผสมกับแป้งให้เข้ากันได้ดีนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่ต่างกัน คือ แป้งมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) สามารถละลายน้ำได้ แต่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงเกิดปัญหาคือ ความไม่เข้ากัน (incompatibility)

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เน้นไปที่การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แบน และแบนด์ดัดแปร ซึ่งใช้แป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้แป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรโครงสร้างทางเคมีด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ รวมทั้งศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง ซึ่งจะเกิดผลดีในการช่วยลดปริมาณขยะให้กับสิ่งแวดล้อม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ [1,2]

พลาสติกเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีสมบัติแข็งแรง ทนทาน มีน้ำหนักเบา ไม่ผุกร่อน ไม่เป็นสนิม และป้องกันความชื้นได้ดี จากสมบัติดังกล่าว ทำให้พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์อย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากการนำพลาสติกมาใช้งาน อาทิ ถุงพลาสติกบรรจุอาหาร บรรจุภัณฑ์ต่างๆ ภาชนะ เป็นต้น เมื่อปริมาณการใช้พลาสติกสูงขึ้น ผลกระทบที่ตามมาก็คือ เกิดปัญหาขยะพลาสติกตกค้างในสิ่งแวดล้อมปริมาณมากขึ้น ดังนั้น นักวิจัยจึงพยายามคิดค้นการผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้เพื่อบรรเทาปัญหาดังกล่าว

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ (Degradable Plastics) หมายถึง พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าพลาสติกทั่วไปเมื่อสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น แสง ความชื้น จุลินทรีย์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradable Plastics) หมายถึง พลาสติกที่จะเกิดการแตกหักของสายโซ่หลักเมื่อได้รับพลังงานแสงหรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งการสังเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่มีความว่องไวต่อแสงในสายโซ่หลัก เช่น หมู่คาร์บอนิล ($C=O$) ในรูปไวโนลคีโตน (vinyl ketone) หรือ คาร์บอนมอนอกไซด์

2. พลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable Plastics) หมายถึง พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยจุลชีพ (microbes) เช่น แบคทีเรีย และเชื้อรา (fungi) พลาสติกที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้มีการพัฒนาไปในหลายลักษณะ อาทิ

- การเติมหมู่ฟังก์ชัน เช่น พวกการเติมหมู่เอสเทอร์บนโครงสร้างพอลิเมอร์ซึ่งหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลชีพ

- การสังเคราะห์พอลิไฮดรอกซีบิวทิลเรต (Poly(hydroxyl butyrate), PHB) โดย PHB ได้มาจากการสังเคราะห์ของแบคทีเรียชนิดหนึ่งในระหว่างการหมัก โดยเป็นแหล่งสะสมธาตุคาร์บอน ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ การเกษตรกรรม และบรรจุภัณฑ์

- การใช้ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้เป็นสารเติมแต่งในการผลิตพลาสติก เช่น แป้ง

2.1.1 การสลายตัวทางชีวภาพของพลาสติก

การสลายตัวทางชีวภาพของพลาสติก เป็นการสลายตัวเนื่องจากสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้ ได้แก่ จุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียและเชื้อรา สิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีความสามารถในการย่อยสลายสารได้หลายประเภท เพราะสามารถผลิตเอนไซม์ย่อยสลายได้หลายชนิด ขณะเดียวกันก็มีจุลินทรีย์ชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นมาเรื่อยๆ อันเนื่องมาจากผลของการผ่าเหล่า (mutation) และกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (natural selection) อัตราการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับสภาวะของสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก จุลินทรีย์ที่เหมาะสมต้องมีปริมาณอยู่เพียงพอ และควรจะต้องมีอยู่มากกว่า 1 ชนิด การที่จุลินทรีย์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น สภาพแวดล้อมต้องมีอุณหภูมิและระดับความชื้นที่เหมาะสม มีออกซิเจนและสารอาหารที่เพียงพอ แม้ว่าจุลินทรีย์จะสามารถใช้พอลิเมอร์เป็นแหล่งของธาตุคาร์บอน แต่ก็จำเป็นต้องหาธาตุอื่นมาใช้ด้วย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และโลหะอื่นๆ ส่วนใหญ่ธาตุเหล่านี้มักจะไม่อยู่ในพอลิเมอร์สังเคราะห์ จึงจำเป็นต้องหาจากสภาพแวดล้อม

การย่อยสลายพลาสติกโดยจุลินทรีย์เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์ปล่อยเอนไซม์ออกมาออกเซลล์ เอนไซม์นี้จะผ่านไปถึงพลาสติกได้ทางตัวกลางที่เป็นน้ำ เอนไซม์ดังกล่าวนี้จะย่อยสลายโมเลกุลของพอลิเมอร์ไปเป็นสารผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่จะเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ได้ เพื่อย่อยต่อไปให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก

จากขั้นตอนของการย่อยสลายข้างต้นจะเห็นว่า การย่อยสลายของพลาสติกโดยจุลินทรีย์จะเป็นไปได้ยาก เพราะโมเลกุลของพลาสติกไม่ยอมให้น้ำผ่านเข้าออก จึงทำให้โอกาสที่เอนไซม์เข้าย่อยสลายน้อยลง การย่อยสลายพลาสติกจึงต้องเริ่มที่ผิวด้านนอกก่อน การแบ่งพลาสติกออกเป็นชิ้นเล็กๆ จะช่วยให้กระบวนการย่อยสลายนี้อาจเกิดขึ้นเร็วขึ้น

พอลิเมอร์สังเคราะห์ส่วนใหญ่จะไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยสิ่งมีชีวิต ยกเว้นพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ในสายโซ่โมเลกุล เช่น อะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ (aliphatic polyester) พอลิยูรีเทน (polyurethanes) เป็นต้น และพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้รับการปรับเปลี่ยนแล้ว เช่น เรยอน (rayon) เซลลูโลสแอซีเตต (cellulose acetate)

ความสามารถของการย่อยสลายจะลดลง เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของการย่อยสลายกับน้ำหนักโมเลกุล เป็นดังนี้คือ ถ้านำพอลิเมอร์มาย่อยสลายโดยใช้ปฏิกิริยาเคมี (เป็นการลดน้ำหนักโมเลกุล) จะเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายขึ้น และถ้าพอลิเมอร์มีช่วงการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง อัตราเร็วของการย่อยสลายจะลดลงเมื่อโมเลกุลขนาดเล็กถูกย่อยสลายไปแล้ว

2.1.2 กลไกการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ผสมสารเติมแต่งที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ [4]

พอลิเมอร์ที่มีแป้งที่ได้จากพืชเป็นสารตัวเติมจัดเป็นประเภทหนึ่งของพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ แป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติมแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

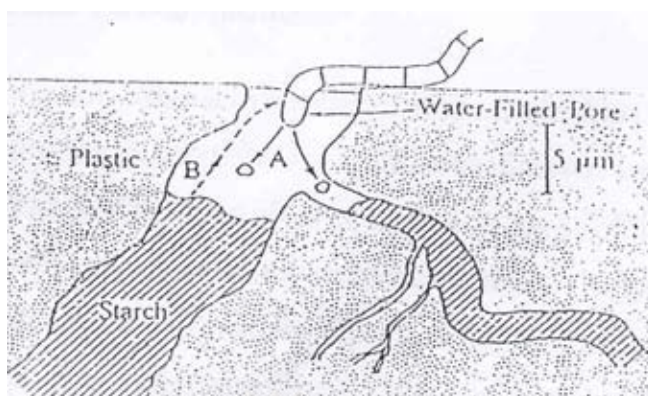
1. แป้งที่ได้รับการปรับปรุงผิวหน้า (surface-modified starch) ได้จากการนำเอาเม็ดแป้งไปปรับปรุงผิวหน้าด้วยสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เช่น ใช้ตัวเชื่อมประสานช่วยทำให้มีผิวหน้าที่สามารถผสมเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น ไขมัน หรือ กรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นได้ด้วยตัวสารเอง

2. แป้งเจลาติไนซ์ (gelatinized starch) การทำแป้งให้อยู่ในลักษณะที่เป็นเจลนี้ เพื่อให้สามารถผสมเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณมากขึ้น โดยมีน้ำเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกซึ่งเป็นตัวเร่งการสลายตัวของพลาสติกด้วย จึงเป็นประโยชน์ต่อการเร่งอัตราการสลายตัวของพอลิเมอร์และช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้

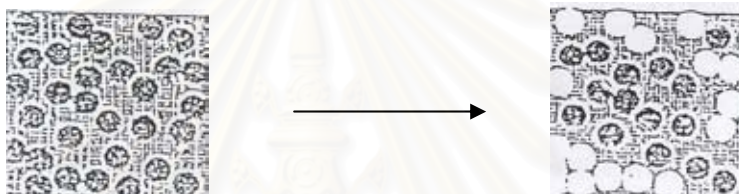


รูปที่ 2.1 สัณฐานวิทยาและ ขนาดอนุภาคของแป้ง (ก) เมล็ดแป้ง
(ข) แป้งเจลาติไนซ์ [3]

ซึ่งกลไกการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ผสมแป้งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นแรกที่จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์อะไมโลส (amylase) เข้าย่อยสลายแป้งในพลาสติกผ่านทางตัวกลางที่เป็นน้ำ เอนไซม์นี้จะย่อยโมเลกุลของแป้งให้มีขนาดเล็กจนสามารถเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์เพื่อถูกย่อยสลายต่อไป ทำให้เม็ดแป้งหายไปจากเนื้อของพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3 ทำให้พลาสติกอ่อนลงและมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.2 กลไกการย่อยสลายแป้งในพลาสติกโดยจุลินทรีย์ [4]



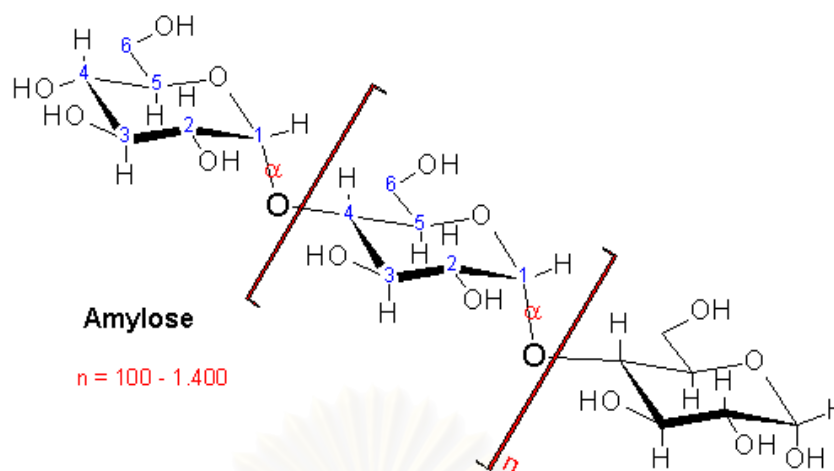
รูปที่ 2.3 การหายไปของเม็ดแป้งในพลาสติก [4]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 แป้ง (Starch) [1,2,5]

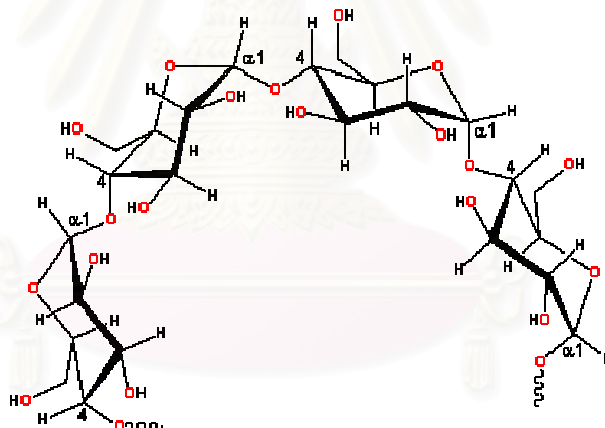
แป้ง (Starch) เป็นแหล่งสะสมคาร์โบไฮเดรตของพืช เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี จากหัวพืช เช่น มันฝรั่ง และจากรากพืช เช่น มันสำปะหลัง แป้งแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบต่างกัน จึงทำให้แป้งมีสมบัติในทางโภชนาการ ทางเคมี และทางกายภาพที่แตกต่างกันออกไปด้วย แป้งเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่ละลายในน้ำเย็น ถ้าส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นแป้งมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ รูปร่างและขนาดต่างๆ กันไปตามชนิดของพืช โดยทั่วไปแป้งมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบมากที่สุด โดยแป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่เกิดจากกลูโคสแต่ละหน่วยมาต่อกันเป็นสายยาว รองลงมาคือ โปรตีน นอกจากนี้ยังมีไขมัน แ้ว วิตามิน สารสี เอนไซม์ และความชื้น หน่วยย่อยที่สุดของแป้งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 สามารถเขียนสูตรเคมีได้เป็น $C_6H_{10}O_5$ แป้งจัดเป็นพอลิเมอร์แบบควบแน่นของกลูโคส หน่วยของกลูโคสที่อยู่ในแป้งจัดเป็นหน่วยของกลูโคสที่ปราศจากน้ำ (anhydroglucose unit) น้ำในโมเลกุลของกลูโคสนั้นหายไปขณะที่มีการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบขั้น (step polymerization) พันธะที่เชื่อมต่อกันระหว่างกลูโคสแต่ละหน่วยในโมเลกุลของแป้งเรียกว่า พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ซึ่งพันธะนี้สามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรด องค์ประกอบและสมบัติของแป้งธรรมชาติในโครงสร้างของแป้งประกอบด้วยโมเลกุลหลัก 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) ปกติแป้งมีอะไมโลสประมาณร้อยละ 20-30 และมีอะไมโลเพกทินประมาณร้อยละ 70-80

1. อะไมโลส (Amylose): อะไมโลสไม่แข็งหรือเหนียว เป็นแหล่งอาหารที่ดี มีโครงสร้างเป็นสายตรง เป็นพอลิเมอร์แบบเส้น (linear polymer) ของหน่วยย่อยที่เป็นดีกลูโคส (D-glucose) เชื่อมกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4-ไกลโคซิดิก (α -1,4-glycosidic linkage) ดังรูปที่ 2.4 โดยแป้งส่วนใหญ่จะมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ 20-25 เปอร์เซ็นต์ และเป็นส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ดี ขณะต้มมีลักษณะขุ่น ความหนืดต่ำ



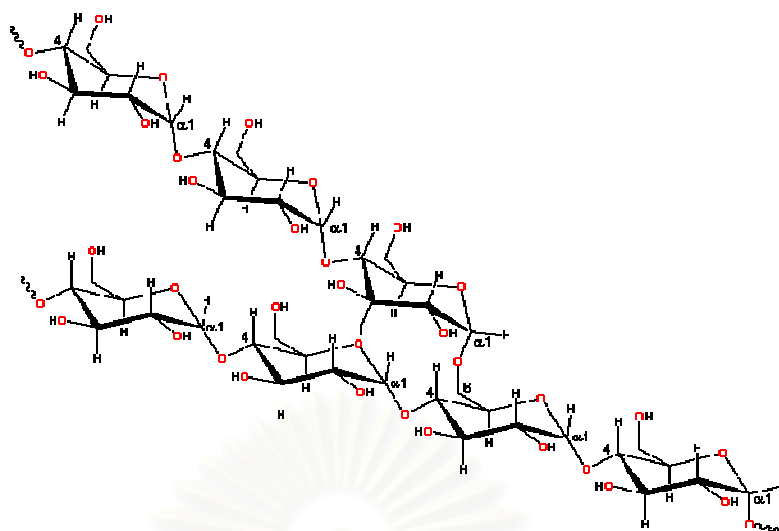
รูปที่ 2.4 โครงสร้างแบบเส้นของโมเลกุลอะไมโลส [5]

นอกจากนี้ อะไมโลสอาจจะจับตัวอยู่ในรูปโครงสร้างแบบเกลียว (helical structure) ได้ โดยโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ได้ จะมีลักษณะหงิกงอ ดังรูปที่ 2.5



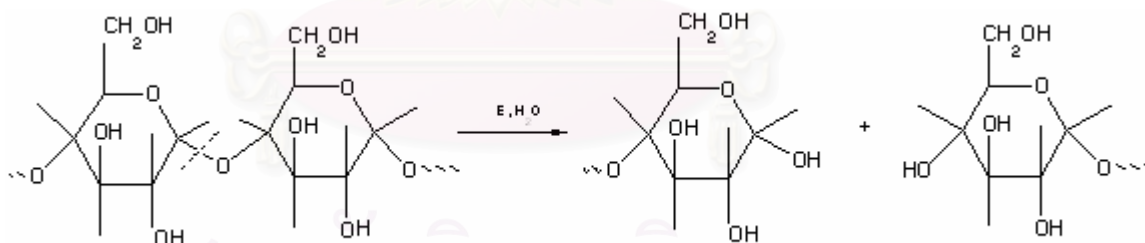
รูปที่ 2.5 โครงสร้างแบบเกลียวของอะไมโลส [5]

2. อะไมโลเพกติน (Amylopectin) : เป็นโมเลกุลที่แขนงแตกออก มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นกิ่ง โดยจะประกอบไปด้วยหน่วยย่อยที่เชื่อมกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4-ไกลโคซิดิก เช่นเดียวกับอะไมโลสเป็นส่วนใหญ่ แต่จะมีแขนงแยกออกที่พันธะแอลฟา-1,6-ไกลโคซิดิก (α -1,6-glycosidic linkage) ประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีโครงสร้างดังนี้ คือ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของตำแหน่งกิ่งของอะไมโลเพกติน [5]

การย่อยสลายของแป้งในทางชีวภาพนั้น จะเกิดจากเอนไซม์ 2 ชนิด ถ้าย่อยสลายบริเวณพันธะไกลโคซิดิกของแป้ง โดยเอนไซม์อะไมเลส จะเข้าย่อยสลายส่วนที่เป็นพันธะแอลฟา-1,4-ไกลโคซิดิก สำหรับพันธะแอลฟา-1,6-ไกลโคซิดิก จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์กลูโคซิเดส (glucosidases) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างแป้งที่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ [5]

แป้งแต่ละชนิดจะมีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีสมบัติที่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างและสมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน [6]

อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
<ol style="list-style-type: none"> 1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรง ประกอบด้วยกลูโคส 200-120 หน่วย 2. ละลายน้ำได้ดี 3. เมื่อต้มในน้ำจะข้นหนืดน้อยและขุ่น 4. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน 5. ต้มแล้วตั้งทิ้งไว้จับตัวเป็นวุ้นได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันและมีกิ่งก้านสาขา แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย 2. ละลายน้ำได้น้อย 3. เมื่อต้มในน้ำจะข้นหนืดมากและใส 4. ให้สีม่วงแดงกับสารละลายไอโอดีน 5. ต้มแล้วตั้งทิ้งไว้ไม่จับตัวเป็นวุ้น

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งชนิดต่างๆ [6]

ชนิดแป้ง	%อะไมโลส	%อะไมโลเพกติน
ข้าวโพด	28	72
มันฝรั่ง	21	79
ข้าวสาลี	28	72
มันสำปะหลัง	17	83
ข้าวเหนียว	0	100
ข้าวฟ่าง	28	72
ข้าว	17	83
สาเก	27	73
ท้าวยายม่อม	20	80
ข้าวโพด (amylo maize)	50-80	20-50

อย่างไรก็ดี การใช้ประโยชน์จากแป้งธรรมชาติในการทำผลิตภัณฑ์พลาสติกยังมีข้อจำกัดจากโครงสร้างของแป้งดังที่ได้กล่าวไปแล้ว จะเห็นได้ว่า แป้งมีโครงสร้างที่สม่่าเสมอและมีพันธะไฮโดรเจนเป็นแรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลของแป้งเข้าไว้ด้วยกัน จึงทำให้สามารถเรียงตัวกันอย่างใกล้ชิดและยึดเหนี่ยวกันอย่างแข็งแรง จึงทำให้แป้งไม่อ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเป็นปัญหาในการขึ้นรูป ประกอบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทางกายภาพไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน เช่น เปราะ นอกจากนี้ แป้งยังมีความหนืดขณะร้อนสูง ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการนำแป้งไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมกับพลาสติก เพราะแป้งมีความหนืดสูงมากทำให้รวมตัวกับพลาสติกได้ยาก จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของแป้งให้มีความหนืดขณะร้อนลดลง นอกจากนี้ โครงสร้าง

ของแป้งเองจะไม่ทนต่อกรด อุณหภูมิสูง และแรงเฉือนจากเครื่องมือ จึงต้องมีการดัดแปรแป้งให้มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ด้วยการทำให้พันธะไฮโดรเจนลดลง หรือทำให้ความสม่ำเสมอของโครงสร้างลดลง

2.3 แป้งดัดแปร (Modified Starch) [2,5,6,7]

แป้งดัดแปร คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมี และ/หรือทางกายภาพ ด้วยวิธีทางกายภาพ และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือทางเคมี เพื่อให้แป้งเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ การดัดแปรแป้งทำให้แป้งมีสมบัติแปรเปลี่ยนไปจากเดิม การเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมี และทางกายภาพ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแป้งดัดแปร

วิธีการดัดแปรแป้งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การดัดแปรโดยวิธีทางกายภาพ และการดัดแปรโดยวิธีทางเคมี

2.3.1 การดัดแปรโดยวิธีทางกายภาพ (physical modification)

หลักการคือ ให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งที่ข้นหนืด จนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชันแล้วทำให้แห้งทันที เพื่อป้องกันการเกิดรีโทรเกรดชัน แป้งที่ดัดแปรโดยวิธีนี้ เรียกว่า พรี-เจลาติไนเซชันสตาร์ช (pregelatinization starch) วิธีการที่นิยมคือ นำน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 40-50 ส่งเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) ซึ่งอาจใช้แบบลูกกลิ้งเดี่ยว (single drum dryer) หรือลูกกลิ้งคู่ (double drum dryer) ที่มีระบบการควบคุมความร้อนจากผิวหน้าลูกกลิ้งที่ได้จากไอน้ำ จะทำให้แป้งเกิดเจลาติไนเซชัน และมีการระเหยน้ำพร้อมไปด้วย แป้งดัดแปรที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ฉาบผิวหน้าลูกกลิ้ง ซึ่งมีใบมีดที่ติดกับเครื่องขูดลอก แล้วนำแป้งดัดแปรที่ได้ไปบด ร้อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่ต้องการ นอกจากนี้อาจผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ (spray dryer) หรือเครื่องอัดรีด (extruder) ก็ได้ แป้งดัดแปรนี้สามารถละลายในน้ำเย็น และให้ความข้นหนืดแก่ผลิตภัณฑ์

2.3.2 การดัดแปรโดยวิธีทางเคมี (chemical modification)

การดัดแปรแป้งทางเคมีเป็นการปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของแป้งกับสารที่ใช้ดัดแปรในภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา แป้งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การดัดแปรทางเคมีที่เกิดการเสื่อมสภาพ และการดัดแปรทางเคมีที่ไม่เกิดการเสื่อมสภาพ

2.3.2.1 การดัดแปรทางเคมีที่เกิดการเสื่อมสภาพ

การดัดแปรแบบนี้จะทำให้โครงสร้างของแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเกิดที่ตำแหน่งพันธะแอลฟา-1,4-ไกลโคซิดิก เป็นส่วนมาก ทำให้ความเหนียวของแป้งลดลง รวมถึงการเกิดออกซิเดชันของหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่อัลดีไฮด์ คีโตน หรือคาร์บอกซิล การดัดแปรแบบนี้ เช่น

ก. การย่อยสลายด้วยกรด

เตรียมโดยการย่อยสลายสารแขวนลอยแป้งด้วยกรด ซึ่งนิยมดัดแปรในแป้งข้าวโพด ความเข้มข้นร้อยละ 36-40 ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินในเซชันของแป้ง กรดที่นิยมใช้คือ กรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริก กรดจะทำลายพันธะแอลฟา-1,4-ไกลโคซิดิกของอะไมโลเพกตินได้ง่าย ทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลง เมื่อความเหนียวได้ตามต้องการจะหยุดปฏิกิริยาโดยการทำเป็นกลางด้วยด่าง กรอง ล้าง แล้วทำให้แห้ง แป้งที่ได้มีความเหนียวในขณะร้อน (hot paste viscosity) ต่ำกว่าแป้งดิบ

ข. การย่อยสลายด้วยสารออกซิไดซ์

เตรียมโดยการย่อยสลายสารแขวนลอยแป้งด้วยสารออกซิไดซ์ ที่สำคัญคือ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเคมีที่นิยมใช้คือ ต่างพวกไฮโปคลอไรด์ ปฏิกิริยาเกิดโดยหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งจะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่แอลดีไฮด์คีโตน หรือคาร์บอกซิล ในขณะเดียวกันโมเลกุลของแป้งจะมีขนาดเล็กลง แป้งดัดแปรที่ได้จากการฟอกสี มีการเกิดเจลน้อยกว่าแป้งที่ดัดแปรด้วยกรด เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลจะป้องกันการรวมตัวกันใหม่ของโมเลกุลของแป้ง นอกจากนี้ สารเหล่านี้ยังฟอกสีที่มีในธรรมชาติของแป้งให้ขาวขึ้น

ค. ปฏิกิริยาของเดกซ์ทริน

เดกซ์ทรินเกิดจากการไฮโดรไลซ์โมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้ง ทำให้แป้งดังกล่าวมีปริมาณน้ำตาล หรือที่ของแข็งที่ละลายในน้ำเย็นได้มากกว่าแป้งดัดแปรชนิดอื่นๆ สามารถผลิตได้โดยใช้เอนไซม์หรือกรดในสภาพแขวนลอย หรือในรูปแป้งแห้ง (dry granular form) ในขณะเดียวกันก็ให้ความร้อนด้วย การหยุดปฏิกิริยาทำโดยทำให้ความเย็น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี 3 ชนิด คือ เดกซ์ทรินขาว เดกซ์ทรินเหลือง และแป้งที่มีลักษณะคล้ายหมากฝรั่ง

2.3.2.2 การดัดแปรทางเคมีที่ไม่เกิดการเสื่อมสภาพ

การดัดแปรแบบนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยไม่ทำให้โครงสร้างของโมเลกุลแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยด้วยปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารที่ใช้ดัดแปรในภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่

ก. การดัดแปรแป้งแบบเกิดการเชื่อมขวาง

เป็นวิธีการที่ใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ซึ่งมีกลุ่มที่ทำปฏิกิริยาได้ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไปทำปฏิกิริยากับแป้ง พันธะที่เกิดขึ้นเป็นพันธะโควาเลนต์ ซึ่งจะช่วยให้ส่งเสริมพันธะไฮโดรเจน ที่ยึดเม็ดแป้งเข้าด้วยกัน ทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

ข. การดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่

การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาการแทนที่เป็นการปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยใช้สารที่มีหมู่สำหรับเกิดปฏิกิริยาเพียงหมู่เดียวเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่กับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง สารเหล่านี้ได้แก่ 2-(ไดเอทิลอะมิโน)เอทิล คลอไรด์ ไฮโดรคลอไรด์, โพรพิลีน ออกไซด์, 3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรพิล ไตรเมทิลแอมโมเนียม คลอไรด์ เป็นต้น ปฏิกิริยาแทนที่ที่เกิดขึ้นอาจเกิดปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชัน หรือ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน คือ

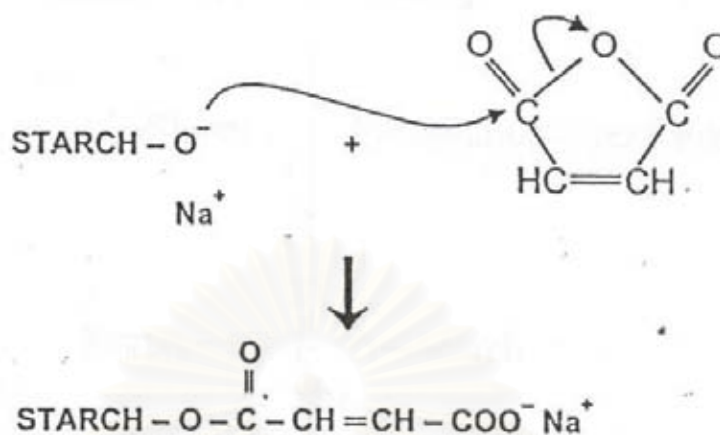
- ปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชัน

เป็นการปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยใช้สารที่มีหมู่สำหรับเกิดปฏิกิริยาเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่ประเภทอีเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง แป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาการแทนที่ประเภทนี้ เช่น แป้งประจุบวก (cationic starch) ซึ่งได้จากการนำแป้งธรรมชาติมาเติมสารพวกแอมีนเข้าไปในโมเลกุลแป้งทำให้แป้งมีประจุบวก

- ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์ (หมู่ไฮดรอกซิล) ของแป้งกับแอซิดคลอไรด์ (acid chloride) หรือแอซิดแอนไฮไดรด์ (acid anhydride) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น แป้งแอซิติเตต ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับแอซิดิกแอนไฮไดรด์ หรือ แป้งมาเลอีนต (starch maleinate) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปฏิกิริยาเป็นดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



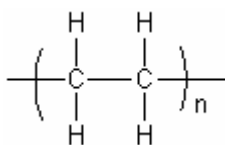
รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ซึ่งใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [1]

ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เอสเทอร์ โดยเกิดการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างแป้งด้วยหมู่เอสเทอร์ จากปฏิกิริยา วิธีการนี้เป็นการลดหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างแป้งส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลแป้งลดลง ทำให้แป้งสามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น และมีแนวโน้มที่จะนำไปใช้งานในลักษณะที่เป็นพลาสติกได้

แม้ว่าพลาสติกที่ขึ้นรูปจากแป้งดัดแปรจะมีสมบัติทางกายภาพดีกว่าแป้งที่ไม่ได้รับการดัดแปรเนื่องจากแป้งดัดแปรมีแนวโน้มที่จะนำไปใช้งานในลักษณะที่เป็นพลาสติกได้ แต่เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็ยังคงมีความแข็งแรงต่ำ ทำให้ใช้งานได้อย่างจำกัด จึงมีแนวคิดที่จะนำแป้งดัดแปรมาผสมกับพอลิเมอร์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น อีกทั้งยังสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้

2.4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง [1]

พอลิเอทิลีน (polyethylene) หรือ PE เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ประเภทเทอร์โมพลาสติก ได้จากการพอลิเมอไรซ์แก๊สเอทิลีน จนกลายเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างต่างๆ กัน มีทั้งโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงและโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขา



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม เหมาะสำหรับใช้หุ้มสายไฟ สามารถทนกรดและด่างได้ดี จึงเหมาะที่จะใช้ทำภาชนะใส่สารเคมีที่ไม่ร้อน แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานกับสารละลายบางชนิดที่ร้อนระดับ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไป ได้แก่ น้ำมันเบนซิน โทลูอีน และกรด

พอลิเอทิลีนสามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ถึง -73 องศาเซลเซียส โดยไม่เปราะ ไม่กรอบ แต่ไม่ควรใช้ที่อุณหภูมิสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับบรรจุอาหารร้อน แต่มีความเหมาะสมในการทำภาชนะบรรจุอาหารและถูงเย็น

ตารางที่ 2.3 ชนิดของพอลิเอทิลีนแบ่งตามความหนาแน่น [7]

ชนิดของพอลิเอทิลีน	ความหนาแน่น (g/cc)
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (VLDPE)	0.890 – 0.910
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	0.911 – 0.925
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE)	0.926 – 0.940
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	0.941 – ขึ้นไป

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางมีสมบัติระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ดังนั้น สมบัติส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่างพอลิเอทิลีนทั้งสองชนิดนี้ ซึ่งสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางแสดงได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางตามมาตรฐาน ASTM [7]

สมบัติ	หน่วย	มาตรฐานการทดสอบ	ค่าที่ได้
ดัชนีการไหล	g/10 min	ASTM D 1238	4.0
ความหนาแน่น	g/cm ³	ASTM D 1505	0.938
ความทนแรงดึงที่จุดคราก	kg/cm ²	ASTM D 638	200
ความทนแรงดึงที่จุดขาด	kg/cm ²	ASTM D 638	270
การยืดดึง ณ จุดขาด	%	ASTM D 638	1000
มอดุลัส	kg/cm ²	ASTM D 790	6700
ความทนแรงกระแทก	Kg-cm/cm	ASTM D 256	13
ความแข็ง	-	ASTM D 2240	60
ความต้านทานต่อการแตกหัก	F ₅₀ , hr	ASTM D 1693	>200
จุดหลอมเหลว	°C	ASTM D 2117	128
จุดอ่อนตัว	°C	ASTM D 1525	117
อุณหภูมิแตกหัก	°C	ASTM D 746	<-70
ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย	Micron	TPE Method	350
ความต้านทานต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต	KLy.	ASTM D 2565	500

2.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blends) [1,8,9]

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ต่างชนิดมาผสมกันเพื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งการทำพอลิเมอร์ผสมกำลังได้รับความสนใจ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยในปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยทำพอลิเมอร์ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติที่บกพร่องของพอลิเมอร์บางชนิด เช่น ความทนแรงกระแทก การติดไฟ และการทนความร้อน รวมไปถึงเพื่อให้ง่ายหรือสะดวกในการผลิตขึ้นรูปและที่สำคัญเพื่อลดต้นทุนการผลิต ทั้งยังสามารถขยายประเภทของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย โดยการเลือกประเภทและปริมาณของแต่ละพลาสติกให้เหมาะสม ซึ่งอาจหลีกเลี่ยงการใช้พลาสติกที่มีราคาแพง เช่น พลาสติกวิศวกรรม (engineering plastic) นอกจากนี้ยังมีการนำวัสดุรีไซเคิลมาทำพอลิเมอร์ผสมอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม ความสามารถเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมจะเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา โดยเฉพาะการผลิตในทางการค้า ซึ่งมีพอลิเมอร์บางชนิดที่สามารถเข้ากันได้ แต่บางคู่ไม่สามารถเข้ากันได้เนื่องจากพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างสายโซ่ต่างกันไม่สามารถกระจายตัวอิสระเช่นเดียวกับสารโมเลกุลเล็ก ซึ่งทำให้เกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ ยังมีเงื่อนไขทางพลังงาน (energy factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์สองชนิดเข้ากันไม่ได้ นั่นคือ พลังงานที่ใช้ในการผสมผสานโมเลกุลหรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของสารพอลิเมอร์แต่ละชนิดได้

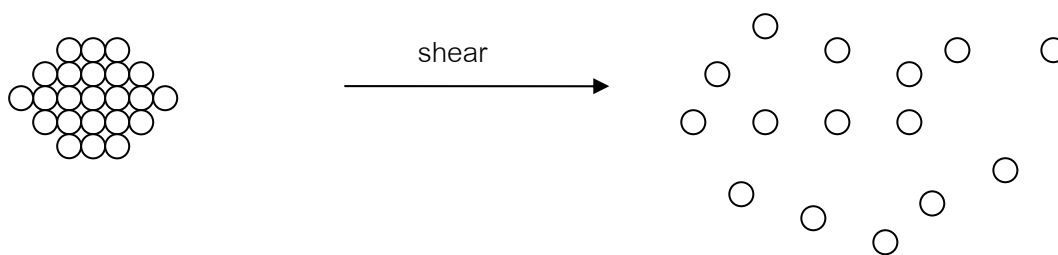
2.5.1 กลไกของการเข้ากันได้ (Compatibilization mechanisms)

พอลิเมอร์ผสมที่ได้ส่วนใหญ่จะมีสมบัติต่ำลง โดยเฉพาะสมบัติเชิงกล โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความเปราะ และไม่แข็งแรง เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัส (interfacial adhesion) ของดีสเพอร์สเฟสกับเมทริกซ์ต่ำ และมีความเค้นสะสม (stress concentration) เกิดขึ้น ซึ่งทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์จึงนิยมใช้สารช่วยผสม (compatibilizer) หรือทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (in-situ chemical reaction) เพื่อปรับปรุงแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์เพื่อให้ได้สัดส่วนวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสมที่สุด โดยทั้งสัดส่วนวิทยาและแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสมีความสำคัญมากในการช่วยถ่ายโอนแรงในระหว่างการใช้งาน ซึ่งสัดส่วนวิทยาของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นอยู่กับภาวะที่ได้รับในระหว่างกระบวนการผสม เช่น ชนิดเครื่องผสม อัตราการผสม อุณหภูมิของการผสม นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับสมบัติการไหลของแต่ละองค์ประกอบในการผสม และแรงดึงผิวขององค์ประกอบในขณะหลอมเหลวอีกด้วย

การผสมกันของพอลิเมอร์มี 2 ลักษณะ คือ

1. การผสมโดยมีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (reactive blending) ในวิธีการนี้ พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันต้องมีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำปฏิกิริยาเคมี เช่น พอลิเมอร์ผสมของการทำปฏิกิริยาของพอลิคาร์บอเนตและพอลิเอไมด์ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีนออกไซด์ จะเห็นว่าพอลิเมอร์ทุกชนิดจะมีหมู่ฟังก์ชันสำหรับทำปฏิกิริยา

2. การผสมโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (non-reactive blending) การผสมวิธีนี้ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก โดยใช้เครื่องผสมในการผสม เช่น เครื่องอัดรีด (extruder) หรือ เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (two-rolls mill) ซึ่งเครื่องมือประเภทนี้จะทำให้เกิดแรงเฉือนเพิ่มขึ้นในระหว่างการผสม แรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันเกิดการกระจายตัวมากขึ้น ส่งผลให้การผสมมีประสิทธิภาพดีขึ้น



รูปที่ 2.10 การกระจายตัวของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงเฉือน [1]

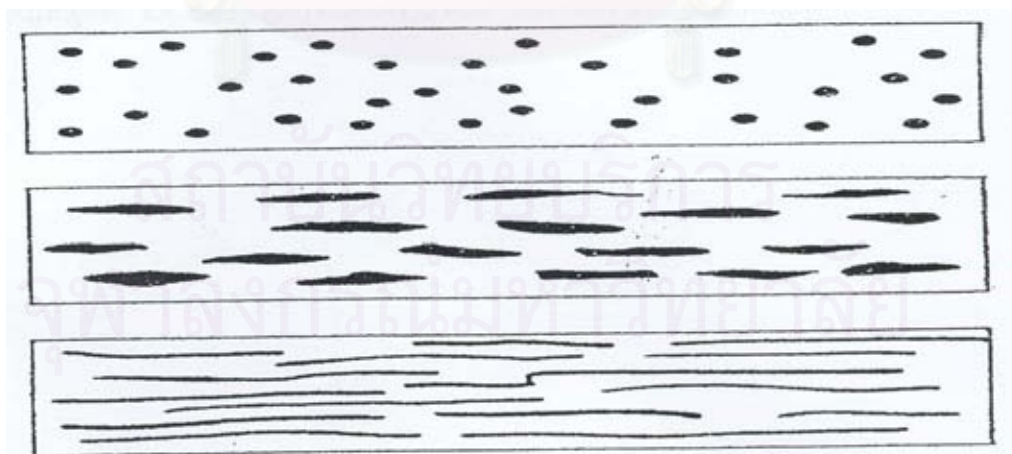
2.5.2 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม (Properties of polymer blends)

สมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นกับอัตราส่วนของแต่ละองค์ประกอบ รวมทั้งสมบัติของแต่ละองค์ประกอบด้วย ลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละองค์ประกอบ (ลักษณะคล้ายแก้ว ยาง หรือพอลิเมอร์กึ่งผลึก) สถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการผสม และการจัดเรียงโมเลกุล

การผสมที่เข้ากันได้สมบูรณ์จะแสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาเพียงเฟสเดียว ซึ่งเป็นการทำงานที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนผสม

2.5.3 พื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม (Morphology of blends)

การจัดเรียงตัวหรือพื้นฐานวิทยาของแต่ละเฟสในพอลิเมอร์ผสมจะมีความสำคัญมาก ซึ่งพื้นฐานวิทยาอาจมีลักษณะของดีสเปอร์สเฟสกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งลักษณะดีสเปอร์สเฟสจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม แผ่น หรือเส้นใย ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะดีสเปอร์สเฟสที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสม [9]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S. Thiebaud และคณะ [10] ได้ศึกษาการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งโดยใช้คลอไรด์ของกรดไขมัน (fatty acid chloride) ซึ่งชนิดที่เลือกใช้คือ ออกทานอิลคลอไรด์ (octanoyl chloride) และโดเดคาโนอิลคลอไรด์ (dodecanoyl chloride) แล้วศึกษาถึงผลของความยาวโซ่ของกรดไขมัน (fatty acid chain) ที่ใช้ ระดับของการแทนที่ (degree of substitution) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR spectroscopy) พบว่า เมื่อใช้กรดไขมันที่มีสายโซ่ยาวกว่า ทำให้ความเข้มของพีคบริเวณหมู่เมทิลและเมทิลีนสูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่สูงขึ้น ความเข้มของพีคบริเวณหมู่เอสเทอร์และหมู่เมทิลีนก็สูงกว่าด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร ความเข้มข้นของพีคที่บริเวณหมู่ไฮดรอกซิลก็ลดลง รวมทั้งยังพบว่า แป้งเอสเทอร์ (starch ester) ที่ได้มีสมบัติเหมือนเทอร์โมพลาสติก

N. Ramani และคณะ [11] ได้ใช้ฟทาสิกแอนไฮไดรด์ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และแอสติคลอไรด์หลายประเภทในการดัดแปรแป้งข้าวโพด ใช้ไดเมทิลซัลฟอกไซด์เป็นตัวทำละลายและใช้ไฟรีดินเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าสามารถดัดแปรโครงสร้างของแป้งข้าวโพดได้ รวมทั้งได้ทดลองนำแป้งดัดแปรไปขึ้นรูปเป็นพลาสติก แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี อีกทั้งสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

J. Aburto และคณะ [12] ได้ดัดแปรแป้งมันฝรั่งด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับ ออกทานอิลคลอไรด์ (octanoyl chloride) ได้เป็นแป้งออกทานอิลเอต (octanoate starch) จากนั้นนำไปผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยเปลี่ยนปริมาณแป้งที่ร้อยละ 5 10 15 20 25 30 40 50 และ 75 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อปริมาณแป้งออกทานอิลเอตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature) ความเค้น (stress) และเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ จุดขาด (% elongation at break) ลดลง และได้เสนออีกว่าสามารถใช้โคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับกรดอะคริลิก (poly(ethylene-co-acrylic acid)) เป็นสารช่วยผสมได้แต่มีข้อเสียคือ ทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพช้า

I.M. Thakore และคณะ [13] ได้เตรียมพอลิเมอร์ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับแป้งมันฝรั่งที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร และที่ดัดแปรด้วยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับฟทาสิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) ได้เป็นแป้งฟทาเลต (phthalate starch) โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของแป้งที่ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก พบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสามารถผสมเข้ากับแป้งฟทาเลตได้ดีกว่าแป้งที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร อีกทั้งยังมีสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าด้วย และปริมาณแป้งที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด

วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ และคณะ [14] ได้ตัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลายและใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2 4 และ 6 ชั่วโมง เมื่อนำแป้งตัดแปรที่เตรียมได้มาขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกด้วยวิธีการหล่อ พร้อมทั้งได้ศึกษาลักษณะและสมบัติบางประการของแผ่นพลาสติกดังกล่าวในเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลายแบบ พบว่า ปริมาณของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ทำให้โครงสร้างทางเคมีของแป้งและลักษณะแผ่นพลาสติกที่เตรียมได้มีความแตกต่างกัน ในขณะที่เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่มีผลกระทบบเลย แผ่นพลาสติกดังกล่าวนี้สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ทั้งหมด ไม่สามารถทำละลายได้ในตัวทำละลายทั่วไป เช่น คลอโรฟอร์ม หรือสารละลายกรดทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง แต่ละลายในสารละลายต่างที่ร้อน นอกจากนี้ยังพบว่า แผ่นพลาสติกซึ่งเตรียมได้จากแป้งตัดแปรมีสมบัติแตกต่างจากพลาสติกที่เตรียมจากแป้งไม่ได้ตัดแปร กล่าวคือ มีอุณหภูมิกลาสทรานซิชันและจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่า มีการดูดซับน้ำที่ดีกว่า และมีความแข็งแรงสูงกว่า

งานวิจัยของสมพร รุ่งสัมพันธ์กุล และคณะ [7] ได้ศึกษาการตัดแปรแป้งข้าวเหนียวจากปฏิกิริยาระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและน้ำเป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิที่ใช้ในการตัดแปร คือ 50 องศาเซลเซียส ภาวะที่ใช้ในการตัดแปร คือ เมื่อปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็น 5 15 25 35 50 60 75 และ 85 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 30 60 90 และ 120 นาที เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก พร้อมทั้งตรวจสอบโครงสร้างสมบัติทางเคมีของแป้งตัดแปรด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากนั้นนำแป้งตัดแปรมาขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกด้วยวิธีการหล่อ พร้อมทั้งจับเวลาการแห้งตัว แล้วนำแผ่นพลาสติกที่เตรียมได้มาทดสอบสมบัติด้านแรงดึง การดูดความชื้น และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่า ปริมาณมาเลอิก-แอนไฮไดรด์และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างมีผลต่อสมบัติของแผ่นพลาสติกที่เตรียมได้ ซึ่งโดยรวมแล้วแผ่นพลาสติกที่เตรียมได้จากแป้งข้าวเหนียวตัดแปรด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 35 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ให้สมบัติที่ดีที่สุด

งานวิจัยของโปรตปราน ทาเขียว [5] ได้เตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิกและแป้งมันสำปะหลังโดยการฉายรังสีแกมมาพร้อมกันด้วย ^{60}Co เพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติทางเคมีของแป้งให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น จากนั้นนำไปผสมกับพอลิเอทิลีน เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลต่อไป เมื่อตัดแปรทางเคมีของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันและอีเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล 4000 และ โพรพิลีนออกไซด์ ตามลำดับ พบว่า มีปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล 4000 และ หมู่ไฮดรอกซีโพรพิลเท่ากับร้อยละ 15.2 และ 1.30 ตามลำดับ นำแป้งตัดแปรที่เตรียมได้มาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในปริมาณ

ต่างๆ จากการทดลองพบว่า ความทนแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมแป้งดัดแปร มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งดัดแปรในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น แป้งดัดแปรสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอลิเมอร์ผสมได้ แต่ลดความต้านทานการสลายตัวด้วยความร้อนของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจาก 350 องศาเซลเซียส เป็น 300 องศาเซลเซียสของพลาสติกผสม การย่อยสลายของพลาสติกผสมโดยการฝังดินนั้นเกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ สอดคล้องกับสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นพลาสติกผสมซึ่งมีค่าน้อยกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยของนรศิษฐ์ จันทรกุล [1] ได้เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยได้นำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำไปผสมกับแป้งให้เข้ากันโดยก่อนการผสมได้นำแป้งข้าวเหนียวไปดัดแปรโครงสร้างทางเคมีด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารดัดแปร น้ำเป็นตัวทำละลายและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีความทนแรงดึงลดลง มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำลง ค่ายังก้มอดูลัสเพิ่มขึ้น โดยสรุปแล้วสามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า หากต้องการใช้งานที่เน้นการย่อยสลายทางชีวภาพสูงควรเลือกใช้แป้งข้าวเหนียวดัดแปร หากเป็นงานที่ต้องการการย่อยสลายทางชีวภาพไม่สูงนัก แต่ต้องการความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ด้วย ควรใช้แป้งข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการดัดแปร

งานวิจัยของสุภสิทธิ์ ผู้มีโชคชัย [15] ได้เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังดัดแปรและไม่ดัดแปรกับพอลิโพรพิลีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา และน้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่า เมื่อปริมาณแป้งสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แผ่นพอลิเมอร์ผสมมีความเปราะ ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบได้ แต่เมื่อพอลิโพรพิลีนที่ผสมแป้ง 0-50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติด้านแรงดัดโค้ง การดูดซึมน้ำ ความชื้น และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการดัดแปร

สำหรับงานวิจัยนี้เน้นไปที่การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้แป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรโครงสร้างทางเคมีด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารช่วยผสมรวมทั้งศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

3.1.1 การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

3.1.1.1 การดัดแปรแป้ง

วัตถุดิบและสารเคมี

1. แป้งข้าวเหนียว เกรดทางการค้า จากบริษัท ไทยวา จำกัด
2. แป้งมันสำปะหลัง เกรดทางการค้า จากบริษัท ไทยวา จำกัด
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, A.R. grade จากบริษัท Ajax FineChem)
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 36.5-38 เปอร์เซ็นต์ (Hydrochloric acid, A.R. grade จากบริษัท J.T. Baker)
5. เมทานอล (Methanol, G.R. grade จากบริษัท Zen Point)
6. น้ำกลั่น

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. ชุดเครื่องปั่นกวน พร้อมใบพัด
4. เครื่องให้ความร้อน (hot plate)
5. กระดาษลิตมัส
6. กระจกนาฬิกา

3.1.1.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของแป้งและแป้งดัดแปร

วัตถุดิบและสารเคมี

1. แป้งข้าวเหนียว
2. แป้งข้าวเหนียวดัดแปร
3. แป้งมันสำปะหลัง
4. แป้งมันสำปะหลังดัดแปร

5. โฟแทสเซียมโบรไมด์ จากบริษัท BDH laboratory Supplies จำกัด
อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. พูเรียร์ทรานสฟอร์เมอร์อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Nicolet-Impact 400)
2. เครื่องไฮดรอลิกอัดแผ่นตัวอย่าง
3. แม่แบบในการเตรียมตัวอย่าง

3.1.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

3.1.2.1 การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม

วัตถุดิบ

1. แป้งข้าวเหนียว
2. แป้งข้าวเหนียวดัดแปร
3. แป้งมันสำปะหลัง
4. แป้งมันสำปะหลังดัดแปร
5. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene, Injection grade, TPI Co. Ltd.)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. แม่แบบ
2. แผ่นฟิล์มไมลา (mylar film)
3. เครื่องขึ้นรูปแบบอัด (compression molding, V508-18-CX)

3.1.3 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

3.1.3.1 การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง

วัตถุดิบ

1. แผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Universal Testing Machine (รุ่น LLOYD model LR100K)
2. เวอร์เนีย
3. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ

3.1.3.2 การทดสอบสมบัติความทนแรงดัดโค้ง

วัสดุดิบ

1. แผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Universal Testing Machine (รุ่น LLOYD model 500)
2. เวอร์เนีย
3. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ

3.1.3.3 การทดสอบสมบัติความทนแรงกระแทก

วัสดุดิบ

1. แผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก (รุ่น GT-7045MD)
2. เวอร์เนีย
3. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ
4. เครื่องทำรอยบากชิ้นงาน

3.1.4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน

วัสดุดิบ

1. แผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Perkin Elmer รุ่น Diamond DSC)
2. เทอร์โมกราวิเมตริกแอนนาไลเซอร์ TGA (METTLER TOLEDO รุ่น TGA/SDTA851)
3. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.1.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา

วัตถุดิบ

1. แผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, JSM-6400)
2. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ
3. แท่นทองเหลืองสำหรับวางชิ้นงานทดสอบ
4. กระดาษกาว

3.1.6 การทดสอบความสามารถในการดูดซึ่มความชื้น

วัตถุดิบ

1. แผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้กระจกขนาด 25 ซม.×50 ซม.×30 ซม. ที่มีฝาปิดสนิทสำหรับใส่น้ำ
2. ตะแกรงสำหรับวางชิ้นทดสอบ
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. เดซิเคเตอร์
5. ตู้อบสูญญากาศ (vacuum oven)
6. ไฮโกรมิเตอร์ (hygrometer)

3.1.7 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

วัตถุดิบ

1. แผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม

ดิน

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. กระบะสำหรับบรรจุดิน
2. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. เดซิเคเตอร์
5. ตู้อบสูญญากาศ (vacuum oven)

3.1.8 การทดสอบความทนทานต่อสารเคมี

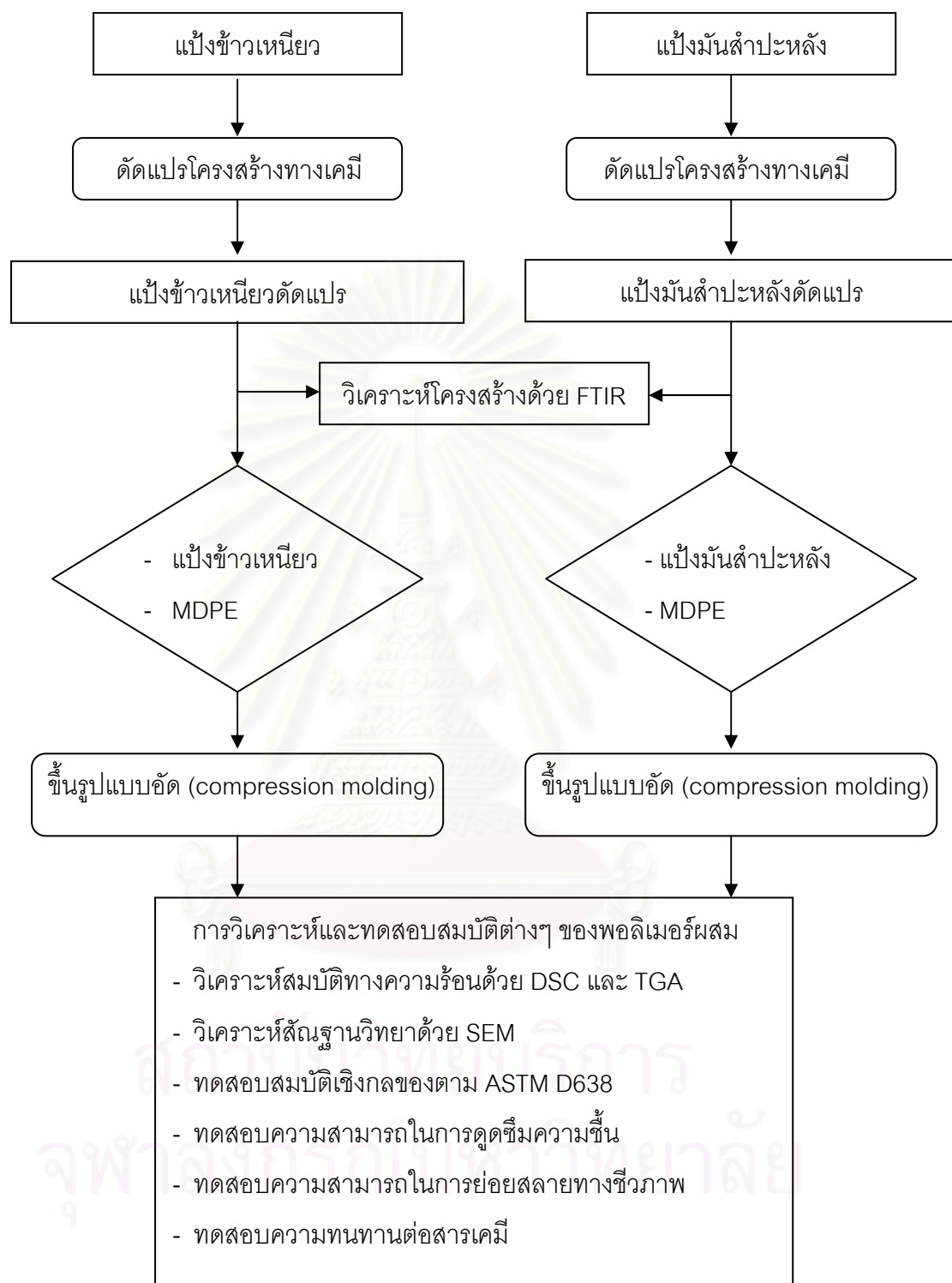
วัสดุดิบ

1. แผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม
2. น้ำกลั่น
3. เตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran, A.R. grade จากบริษัท Lab-Scan)
4. เมทานอล (Methanol, A.R. grade จากบริษัท Lab-Scan)
5. โทลูอีน (Toluene, A.R. grade จากบริษัท Lab-Scan)
6. ไชลีน (Xylene, A.R. grade จากบริษัท Merk)
7. เบนซีน (Benzene, A.R. grade จากบริษัท Baker Analytical)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลองขนาดกลาง
2. ที่ตั้งหลอดทดลอง
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. เครื่องให้ความร้อน (hot plate)
5. เครื่องตัดชิ้นงาน
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก
7. นาฬิกาจับเวลา

3.2 ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การตัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 3.2 ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการตัดแปรแป้ง

ขั้นตอนในการตัดแปรแป้งเป็นดังนี้

1. อบแป้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งนำหนักแป้งที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา แล้วนำไปใช้คำนวณหาปริมาณสารอื่นๆ ที่ใช้ในปฏิกิริยา
2. เตรียมชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เติมน้ำกลั่นและละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำกลั่นจนหมด (ปริมาณ NaOH : MA = 2.2 : 1 โมล)
3. ละลายแป้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยค่อยๆ ใส่แป้งทีละน้อยพร้อมกับกวนและให้ความร้อนไปด้วย โดยควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการละลายแป้งหลังจากใส่จนหมดครึ่งชั่วโมง
4. เติมนมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแป้งข้าวเหนียว และ 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแป้งมันสำปะหลัง (เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดจากการเตรียมแป้งตัดแปรจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยปริมาณของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ใช้ คิดเป็นโมลเปอร์เซ็นต์ของหมู่กรดของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่มีในแป้ง) ลงไปอย่างช้าๆ โดยค่อยๆ ใส่ทีละน้อยพร้อมกับปั่นกวนตลอดเวลา ปล่อยให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาทีสำหรับแป้งข้าวเหนียวและ 2 ชั่วโมงสำหรับแป้งมันสำปะหลัง และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 60-65 องศาเซลเซียส
5. เมื่อครบกำหนดปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายแป้งตัดแปรผสมให้เป็นสารละลายที่เป็นกลางด้วยสารละลายกรดไฮดรอกคลอริก นำไปตกตะกอนในเมทานอล กรองและนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้แป้งที่แห้ง

6. นำแป้งดัดแปรที่อบจนแห้งแล้วไปบดให้ละเอียด ไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

3.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของแป้งและแป้งดัดแปร

เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันของแป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียวดัดแปรและแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งแป้งที่ได้รับการดัดแปรนั้นจะทำการตรวจหาการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล ด้วยหมู่เอสเทอร์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของแป้งกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนของพีกหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) ณ เลขคลื่น (wavenumber) ประมาณ $3,200-3,600\text{ cm}^{-1}$ และพีกของหมู่เอสเทอร์ (CO-O group) ที่เลขคลื่นประมาณ $1,500-1,700\text{ cm}^{-1}$ เป็นหลัก

ขั้นตอนในการวิเคราะห์เป็นดังนี้

1. นำแป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียวดัดแปรและแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ที่ตกตะกอนด้วยเมทานอล ออบแห้งและทำให้เป็นผงด้วยเครื่องบดบอลล์มิลล์ชนิดความเร็วสูงมาผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ในอัตราส่วน KBr 2 ส่วน ต่อ แป้ง 1 ส่วน จากนั้นนำไปอัดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องไฮโดรลิกอัดแผ่นตัวอย่าง
2. นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Nicolet-Impact 400) ดังรูปที่ 3.3 จะได้สเปกตรัมของแป้งและแป้งดัดแปร



รูปที่ 3.3 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Nicolet-Impact 400)

3.2.3 การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม

การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แปะ และ แปะดัดแปร แปะเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แปะ ข้าวเหนียว และแปะข้าวเหนียวดัดแปร และเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แปะมันสำปะหลัง และแปะมันสำปะหลังดัดแปร โดยอัตราส่วนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมแสดงดังตารางที่ 3.1

2. นำพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้มาวางบนแม่แบบเพื่อเตรียมกดอัดเป็นแผ่นด้วยเครื่อง compression moulding V508-18-CX ดังรูปที่ 3.4 โดยให้อุณหภูมิในช่วงแรก (preheat) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ต่อมาให้ความดัน 10 ตัน เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลง (cool down) ที่ประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส นำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปตัดเพื่อเตรียมทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป จากนั้นนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางมาทำการอัดเป็นแผ่นเช่นเดียวกันโดยไม่ต้องผสมกับแปะทั้งสองและแปะที่ได้รับการดัดแปร



รูปที่ 3.4 เครื่องขึ้นรูปแบบอัด (compression moulding, V508-18-CX)

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แบ่ง และแบ่งดัดแปร

สูตร	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (เปอร์เซ็นต์)	แบ่งข้าวเหนียว/ แบ่งมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)	แบ่งข้าวเหนียวดัดแปร/ แบ่งมันสำปะหลัง ดัดแปร (phr)
1	90	10	0
2			5
3			10
4			15
5			20
1	80	20	0
2			5
3			10
4			15
5			20
1	70	30	0
2			5
3			10
4			15
5			20
1	60	40	0
2			5
3			10
4			15
5			20
1	50	50	0
2			5
3			10
4			15
5			20

3.2.4 การทดสอบสมบัติต่างๆ

3.2.4.1 การทดสอบสมบัติด้านแรงดึง

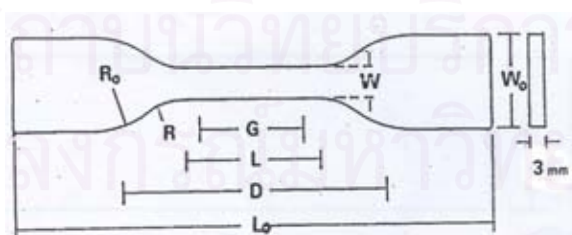
เตรียมชิ้นงานและทดสอบตามขั้นตอนในมาตรฐาน ASTM D638 (type IV) (Standard Test Method For Tensile Properties of Plastic) โดยใช้ LLOYD Universal Testing Machine (model LR 100K) ดังรูป 3.5

โดยใช้ภาวะในการทดสอบดังนี้

อุณหภูมิ	25	องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์	50	เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ	1	กิโลนิวตัน
ความเร็วในการทดสอบ	50	มม./นาที



รูปที่ 3.5 LLOYD Universal Testing Machine model LR 100K



W : 6 มม.

L : 33 มม.

G : 25 มม.

R : 14 มม.

W₀ : 19 มม.

L₀ : 115 มม.

D : 65 มม.

R₀ : 25 มม.

รูปที่ 3.6 ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 638 (type IV)

3.2.4.2 การทดสอบสมบัติด้านแรงดัดโค้ง

เตรียมชิ้นงานและทดสอบตามขั้นตอนในมาตรฐาน ASTM D790 โดยใช้ LLOYD

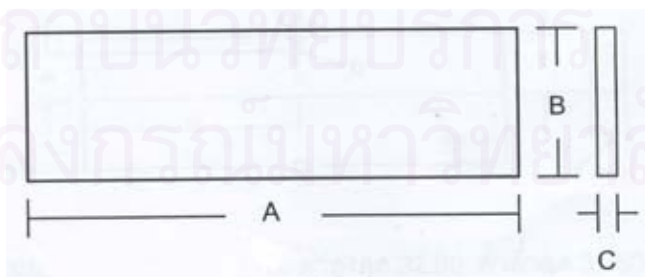
Universal Testing Machine (model 500) ดังรูป 3.7

โดยใช้ภาวะในการทดสอบดังนี้

อุณหภูมิ	25	องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์	50	เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ	2500	กิโลนิวตัน
ความเร็วในการทดสอบ	50	มม./นาที
ระยะที่ใช้ทดสอบ	50	มม.



รูปที่ 3.7 LLOYD Universal Testing Machine model 500



A : 80 มม.

B : 25 มม.

C : 3.2 มม.

รูปที่ 3.8 ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 790

3.2.4.3 การทดสอบความทนแรงกระแทก

เตรียมชิ้นงานและทดสอบตามขั้นตอนในมาตรฐาน ASTM D256 (type Izod)

โดยใช้เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก Gotech รุ่น GT-7045MD ดังรูป 3.9

โดยใช้ภาวะในการทดสอบดังนี้

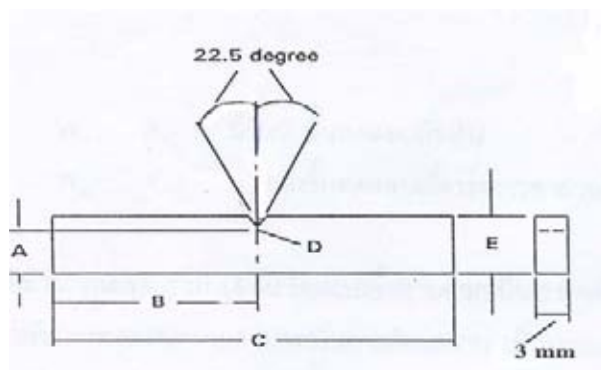
อุณหภูมิ	25	องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์	50	เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก Gotech รุ่น GT-7045MD



รูปที่ 3.10 เครื่องบากชิ้นงาน



A : 10.16 ± 0.05 มม. B : ค่าสูงสุด 32.00, ค่าต่ำสุด 31.50
 C : ค่าสูงสุด 63.50, ค่าต่ำสุด 53.50 D : 0.25 ± 0.05 มม. E : 12.70 ± 0.15 มม.

รูปที่ 3.11 ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D256 (type Izod)

3.2.5 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน

3.2.5.1 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimetry

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ในการทดลองนี้เป็นการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ Perkin Elmer รุ่น Diamond DSC ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยใช้พอลิเมอร์ผสมที่มีน้ำหนักประมาณ 5 มิลลิกรัม บรรจุในช่องอะลูมิเนียมที่มีฝาปิด โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส/นาทิจาก 60 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส จากนั้น ในขั้นตอนที่สอง ลดอุณหภูมิของชิ้นตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมจาก 300 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเย็นตัว 10 องศาเซลเซียส/นาทิจ และในขั้นตอนที่สามซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย ให้ความร้อนขึ้นตัวอย่างจาก 60 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาทิจ เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิในการหลอมเหลว

นอกจากนี้เทคนิค DSC ยังสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ได้อีกด้วย โดยอาศัยการคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟของอุณหภูมิการหลอมเหลว จากสมการที่ 3.1

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณความเป็นผลึก (\%)} &= \frac{H_f^* \times 100}{H_f^0} \quad (3.1) \\ \text{(degree of crystallinity, \%)} & \end{aligned}$$

โดย

H_f^* = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกต่อ
อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (จูล/กรัม)

H_f^0 = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึก 100
เปอร์เซ็นต์ สำหรับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปาน
กลาง คือ 293.6 จูล/กรัม



รูปที่ 3.12 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ Perkin Elmer รุ่น Diamond DSC

3.2.5.1 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA ในการทดลองนี้เป็นการตรวจสอบเสถียรภาพทางความร้อน และอุณหภูมิในการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ METTLER TOLEDO รุ่น TGA/SDTA851 ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยใช้พอลิเมอร์ผสมที่มีน้ำหนักประมาณ 3-10 มิลลิกรัมที่บรรจุใน pan โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส/นาที่ ในช่วงอุณหภูมิ 50-700 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.13 เทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ METTLER TOLEDO รุ่น TGA/SDTA851



รูปที่ 3.14 pan บรรจุสาร

3.2.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา

การตรวจสอบลักษณะที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-6400 ดังรูป 3.15 โดยใช้ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ซึ่งก่อนการทดสอบจะเคลือบผิวด้วยทอง โดยศึกษาพื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความทนแรงกระแทก ทั้งนี้เพื่อศึกษาการกระจายตัวของแป้งข้าวเหนียวและการยึดเกาะระหว่างแป้งข้าวเหนียวและพอลิเอทีลีน ชนิดความหนาแน่นปานกลาง



รูปที่ 3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-6400

3.2.7 การทดสอบการดูดซึมความชื้น [1]

มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาด 2.5 ซม. × 2.5 ซม. นำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้น นำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของชิ้นทดสอบ
3. นำชิ้นงานไปวางบนตะแกรงในตู้กระจก ซึ่งควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
4. นำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนัก

ความสามารถในการดูดซึมความชื้น คือ การหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม} = [(M_2 - M_1)/M_1] \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ M_1 = น้ำหนักชิ้นทดสอบเริ่มต้น

M_2 = น้ำหนักชิ้นทดสอบเมื่อระยะเวลาผ่านไปตามกำหนด

3.2.8 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ [1]

มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ตัดชิ้นงานทดสอบให้มีขนาด 2.5 ซม.× 2.5 ซม. แล้วนำไปใส่ในเคซิเคเตอร์ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของชิ้นทดสอบ
3. นำชิ้นทดสอบฝังลงในดินให้ลึกจากผิวดิน 5 ซม. ในกระบะที่บรรจุดินอยู่เต็ม โดยกระบะต้องมีรูระบายน้ำส่วนเกินออก
4. รดน้ำบนดินให้ชุ่ม จากนั้นนำกระบะดินเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสทิ้งไว้เป็นระยะ 30 วัน
5. นำชิ้นทดสอบออกจากดินอย่างระมัดระวัง ปิดครอบดินที่ติดอยู่ตามชิ้นงานออกจนหมด
6. นำชิ้นงานไปอบในตู้อบสุญญากาศ จากนั้นนำชิ้นงานไปใส่ในเคซิเคเตอร์จนได้น้ำหนักชิ้นทดสอบคงที่

ความสามารถในการย่อยสลาย คือ การหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง} = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักชิ้นทดสอบเริ่มต้น

W_2 = น้ำหนักชิ้นทดสอบเมื่อระยะเวลาผ่านไปตามกำหนด

3.2.9 การทดสอบความทนทานต่อสารเคมี

มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ตัดชิ้นทดสอบให้ได้น้ำหนัก 0.05 กรัม
2. นำชิ้นทดสอบที่ได้น้ำหนักตามต้องการใส่ในหลอดทดลองที่มีปริมาณตัวทำละลาย 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสารละลายที่ใช้ทดสอบมีดังนี้ คือ น้ำกลั่น เตตระไฮโดรฟิวแรน (THF) เมทานอล (methanol) โทลูอีน (toluene) ไซลีน (xylene) และเบนซีน (benzene)
1. แบ่งชุดการทดลองของแต่ละชิ้นทดสอบเพื่อดูลักษณะของชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับและ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ
4. สังเกตลักษณะของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะของแป้งดัดแปรและไม่ดัดแปร

ลักษณะของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ผ่านการอบ พบว่าแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ส่วนแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวเช่นกัน แต่มีความขาวที่น้อยกว่า ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.1 (ก) ลักษณะของแป้งข้าวเหนียว

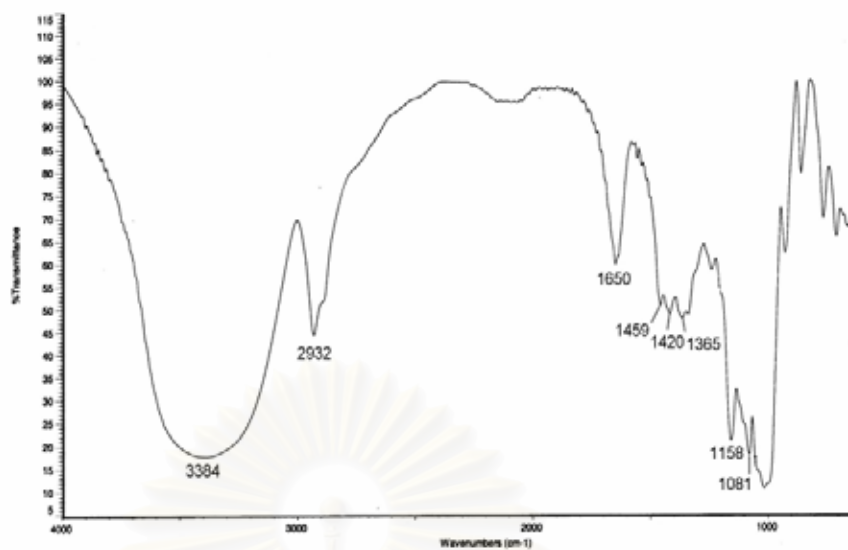
(ข) ลักษณะของแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่ผ่านการอบ

(ค) ลักษณะของแป้งมันสำปะหลัง

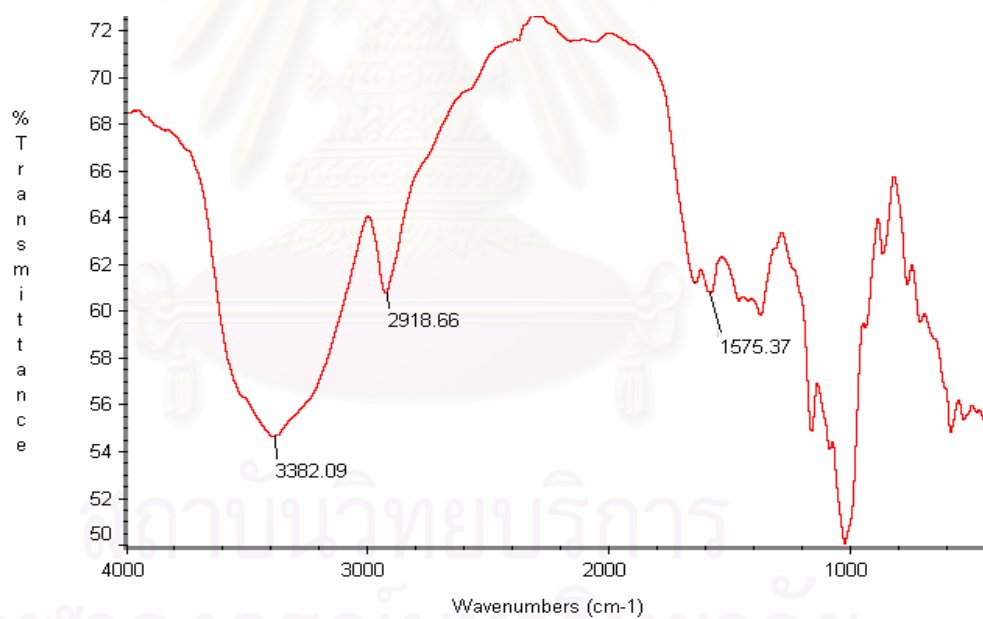
(ง) ลักษณะของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ผ่านการอบ

4.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้งดัดแปรและไม่ดัดแปร

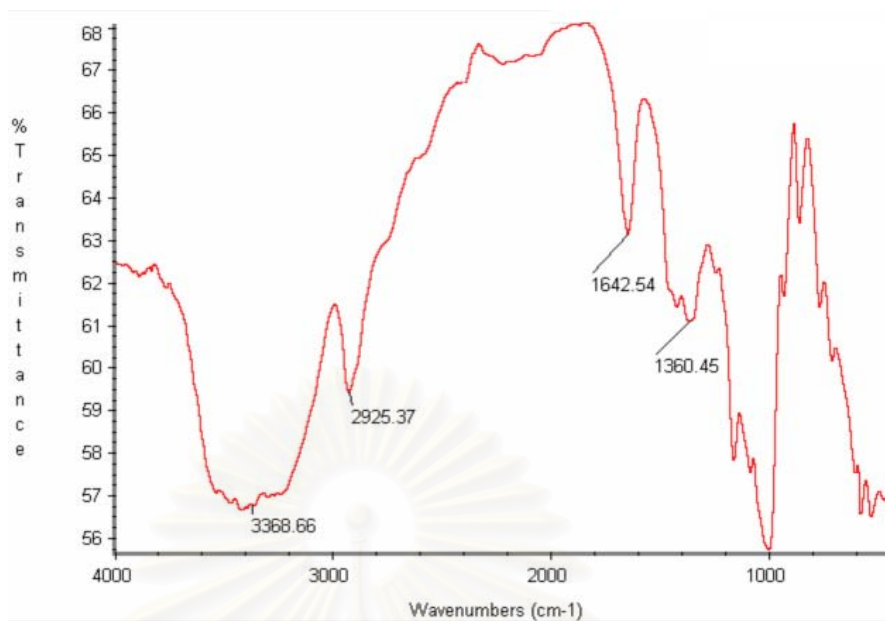
แป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรโครงสร้างด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พบว่ามีลักษณะของสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าเกิดการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้ง โดยเปรียบเทียบสเปกตรัมของแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านและไม่ผ่านการดัดแปร พบว่าสเปกตรัมของแป้งข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีพีกที่สำคัญ คือ พีกที่แสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งอยู่ในช่วง $3,200-3,600\text{ cm}^{-1}$ พีกที่แสดงถึงหมู่เมทิลีนในช่วง $2,932\text{ cm}^{-1}$ และพีกที่แสดงถึงหมู่เอเทอร์ในช่วง $1,158\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 4.2 แต่เมื่อดัดแปรด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ จะเห็นการปรากฏของพีกที่แสดงถึงหมู่เอสเทอร์ที่เลขคลื่นประมาณ $1,575.37\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 4.3 ในสเปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังจะพบการเปลี่ยนแปลงของพีกที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ พบพีกที่แสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิล ในช่วง $3,200-3,600\text{ cm}^{-1}$ และพีกที่แสดงถึงหมู่เมทิลีนในช่วง $2,918.66\text{ cm}^{-1}$ และพีกที่แสดงถึงหมู่เอเทอร์ในช่วง $1,165\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 4.4 แต่เมื่อดัดแปรด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ จะเห็นการปรากฏของพีกที่แสดงถึงหมู่เอสเทอร์ที่เลขคลื่นประมาณ $1,588.81\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 4.5



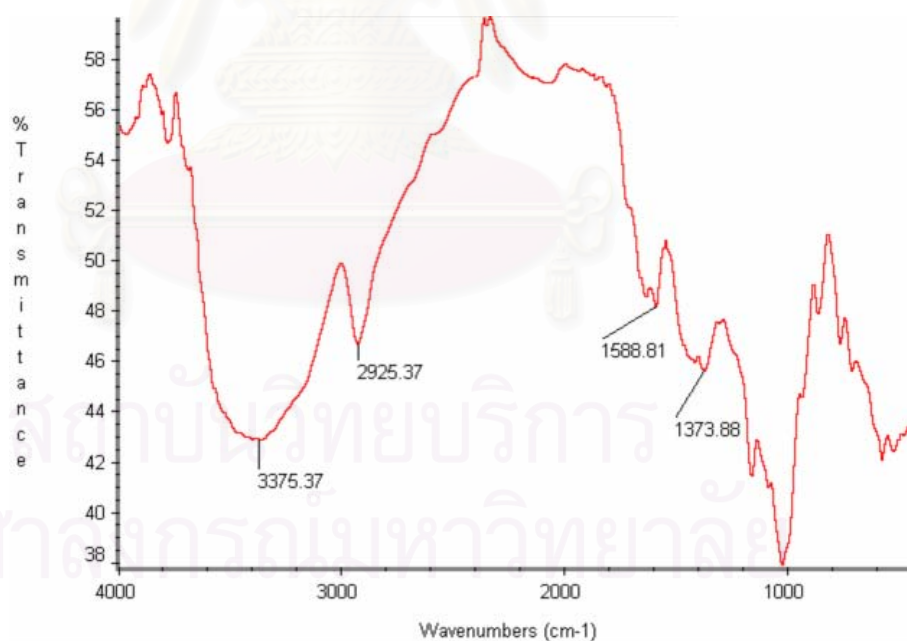
รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของแป้งข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการดัดแปร



รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมของแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร



รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมของเบ้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการดัดแปร



รูปที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมของเบ้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปร

4.3 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสม

จากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดแบบ พบว่าลักษณะชิ้นงานของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) มีความเรียบ โปร่งแสง มีสีขาวขุ่น ดังรูปที่ 4.6 ในขณะที่ชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปร และชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ที่อัตราส่วนต่างๆ มีลักษณะดังรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.6 ชิ้นงานของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

50:50/0	50:50/5	50:50/10	50:50/15	50:50/20
				
60:40/0	60:40/5	60:40/10	60:40/15	60:40/20
				
70:30/0	70:30/5	70:30/10	70:30/15	70:30/20
				
80:20/0	80:20/5	80:20/10	80:20/15	80:20/20
				
90:10/0	90:10/5	90:10/10	90:10/15	90:10/20
				

















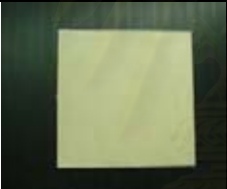
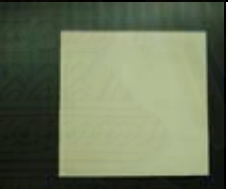


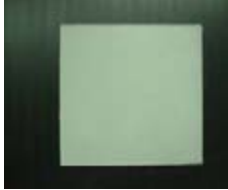

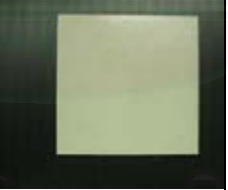


รูปที่ 4.7 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปร

* X:Y/Z คือ สัญลักษณ์ของสูตรที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์ผสม ซึ่งหมายถึง

X คือ ปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (เปอร์เซ็นต์)

Y คือ ปริมาณแป้งข้าวเหนียว (เปอร์เซ็นต์)

Z คือ ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร (phr)

50:50/0	50:50/5	50:50/10	50:50/15	50:50/20
				
60:40/0	60:40/5	60:40/10	60:40/15	60:40/20
				
70:30/0	70:30/5	70:30/10	70:30/15	70:30/20
				
80:20/0	80:20/5	80:20/10	80:20/15	80:20/20
				
90:10/0	90:10/5	90:10/10	90:10/15	90:10/20
				

รูปที่ 4.8 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
 แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

* X:Y/Z คือ สัญลักษณ์ของสูตรที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์ผสม ซึ่งหมายถึง

X คือ ปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (เปอร์เซ็นต์)

Y คือ ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)

Z คือ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (phr)

จากรูปที่ 4.7 พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปร ให้ชิ้นงานที่กระจายตัว เรียบ ซึ่งแต่ละอัตราส่วนมีความแตกต่างกัน คือ พอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 และปริมาณแป้งดัดแปร 20 phr ชิ้นงานมีสีค่อนข้างเหลือง มีความขุ่น และหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางให้สูงขึ้น คือ อัตราส่วน 60:40 70:30 80:20 และ 90:10 พบว่าสีของชิ้นงานจะเปลี่ยนจากสีค่อนข้างเหลืองเป็นสีขาว มีความโปร่งแสง ตามปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางที่สูงขึ้น แต่ยังคงความเรียบ และหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันอยู่ ซึ่งเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมเดียวกัน แต่ปริมาณแป้งดัดแปรต่างกัน พบว่าที่ปริมาณแป้งดัดแปรต่างๆ กัน ไม่พบลักษณะที่แตกต่างของพอลิเมอร์ผสม เนื่องมาจากปริมาณแป้งดัดแปรที่เติมไปนั้นมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณแป้งข้าวเหนียวที่เติมลงไป

จากรูปที่ 4.8 พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร พบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียว ไม่ว่าจะพิจารณาจากปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เท่ากัน แต่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ต่างกัน หรือ พิจารณาจากปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่เท่ากัน แต่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ต่างกัน

4.4 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและพอลิเมอรัผสม

4.4.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ซึ่งประกอบด้วย สมบัติด้านแรงดึง สมบัติด้านแรงดัดโค้ง และความทนแรงกระแทก แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

สมบัติ	ค่าที่ได้โดยเฉลี่ย
สมบัติด้านแรงดึง	
- ความทนแรงดึง (MPa)	15.74 ± 1.13
- เปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด (%)	31.62 ± 2.84
- ยั่งสัมมอดูลัส (MPa)	175.52 ± 37.42
สมบัติด้านแรงดัดโค้ง	
- ความทนแรงดัดโค้ง (N/mm ²)	20.77 ± 0.90
- ระยะดัดโค้ง (mm.)	20.99 ± 0.25
- ยั่งสัมมอดูลัสดัดโค้ง (N/mm ²)	125.04 ± 3.59
ความทนแรงกระแทก (J/m ²)	46,852.90 ± 6,573.42

แต่ในขณะเดียวกัน แป้งดัดแปรก็อาจส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องได้เช่นกัน หากใช้ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากแป้งดัดแปรยังคงมีความเปราะเช่นเดียวกัน

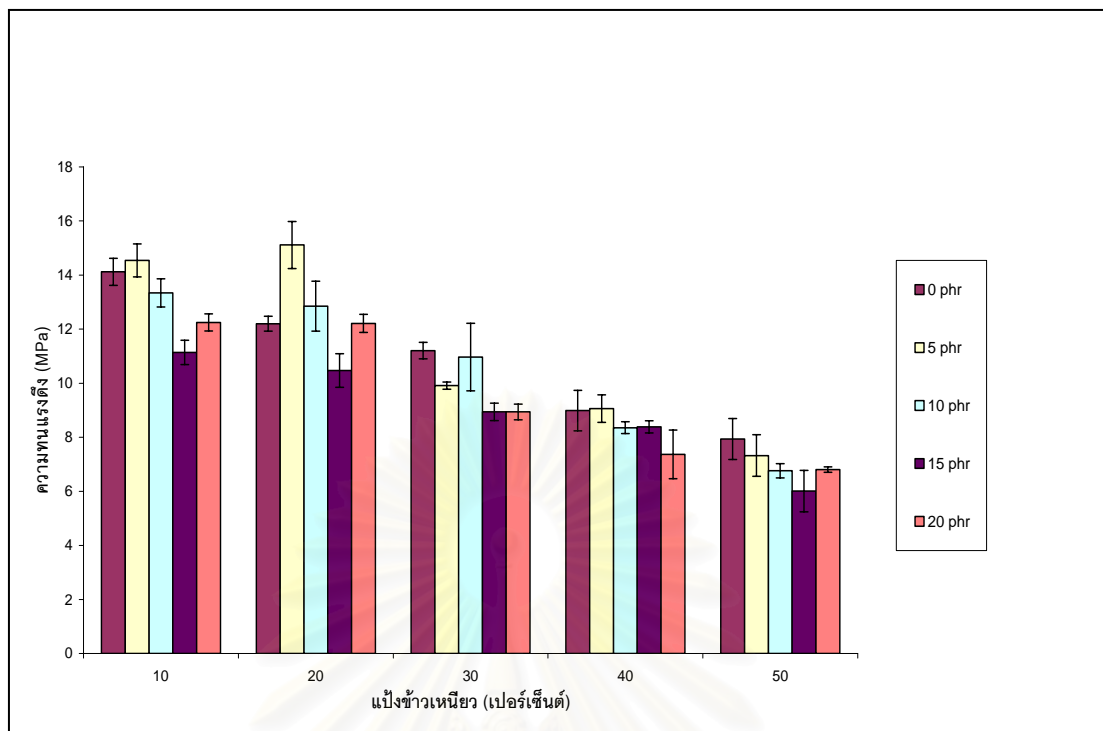
จากปัจจัยดังกล่าว ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มขึ้นอยู่กับการพิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบจึงต้องพิจารณาถึงผลของแต่ละปัจจัยว่าปัจจัยใดที่มีอิทธิพลทำให้ค่าที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลง

4.4.2.1 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม

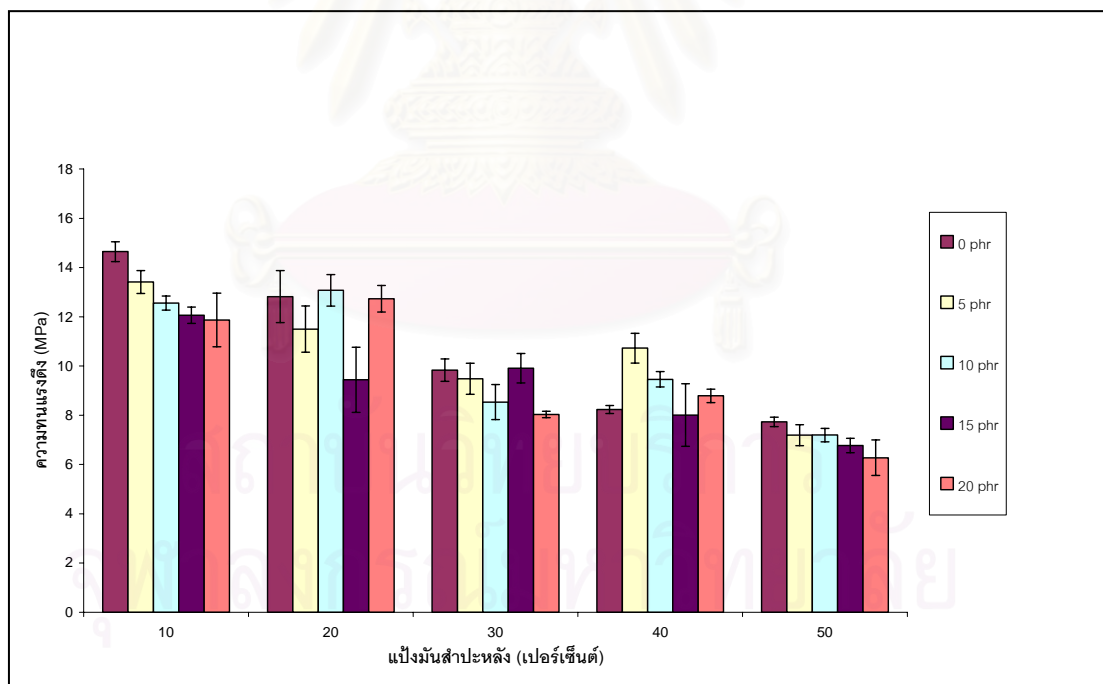
จากผลการทดสอบสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้ง และแป้งดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ กัน สามารถแสดงค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด (% elongation at maximum load) และค่ายังส์มอดุลัส (Young's modulus) ในรูปที่ 4.9-4.14



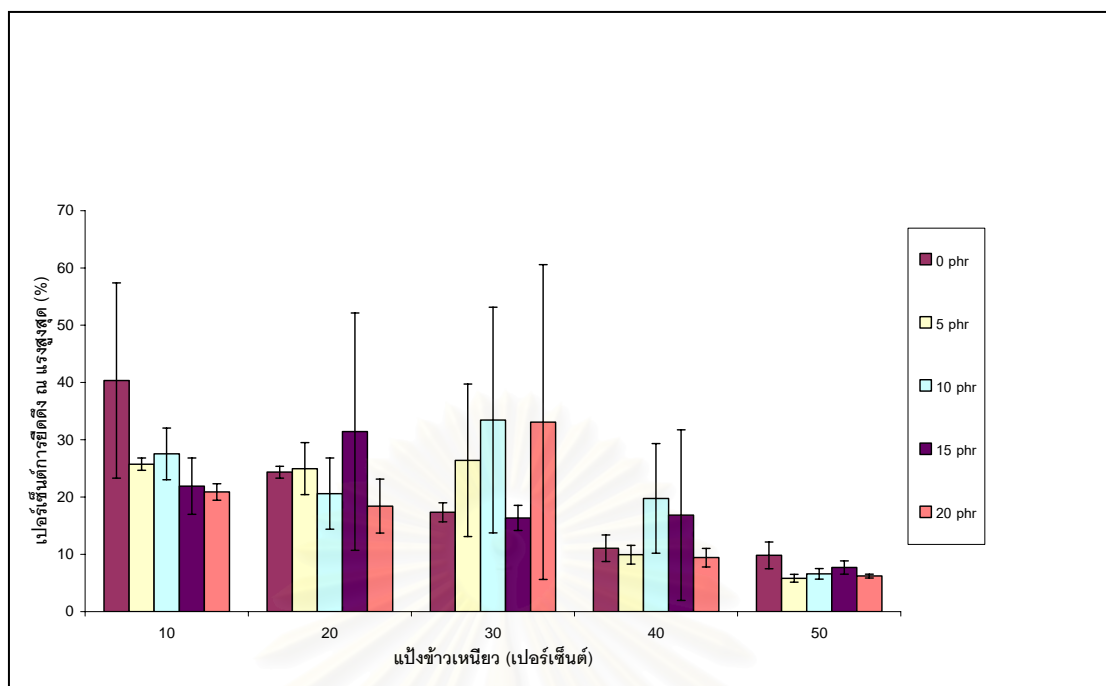
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



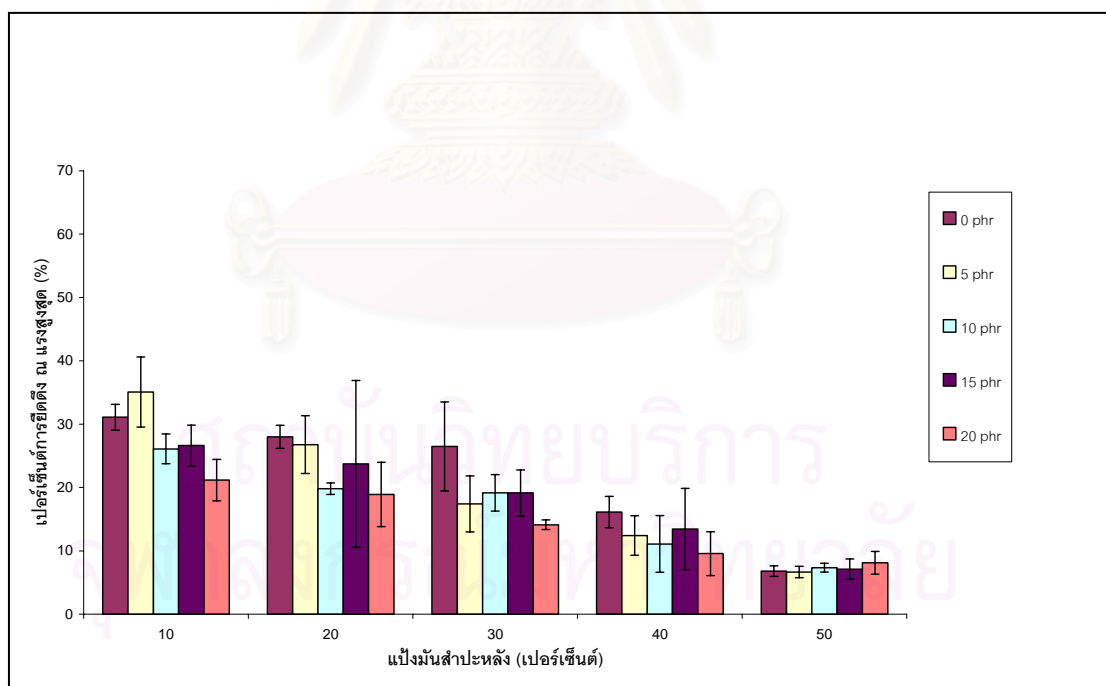
รูปที่ 4.10 ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
 แ่งข้าวเหนียว และแ่งข้าวเหนียวดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ



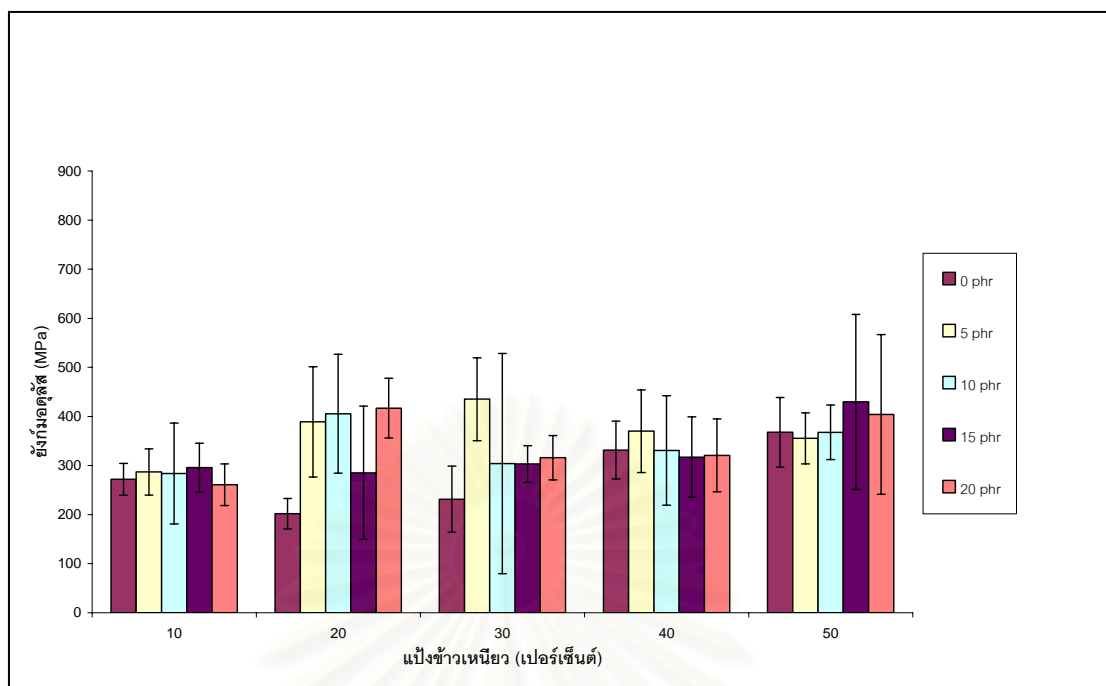
รูปที่ 4.11 ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
 แ่งมันสำปะหลัง และแ่งมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ



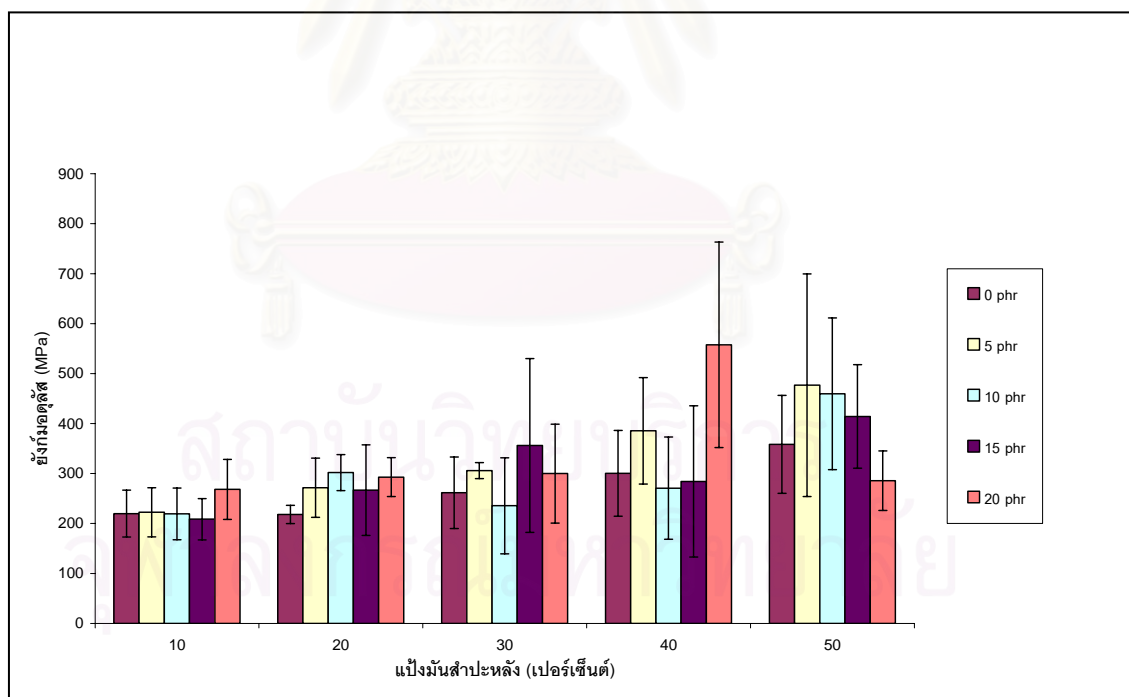
รูปที่ 4.12 เปอร์เซนต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.13 เปอร์เซนต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.14 ยั่งส์มอดุลล์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
 แปะง้ำวเหนือย และแปะง้ำวเหนือยดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.15 ยั่งส์มอดุลล์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
 แปะง้ำมันสำปะหลัง และแปะง้ำมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของความทนแรงดึงกับปริมาณแป้งข้าวเหนียวในพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และมีแป้งข้าวเหนียวดัดแปรปริมาณต่างๆ จากกราฟเมื่อพิจารณาปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้น พบว่าความทนแรงดึงมีค่าลดต่ำลง เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมมีแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวต่ำ ก่อให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ซึ่งเกิดการขาดออกจากกันได้ง่าย นอกจากนี้ ส่วนของแป้งข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้นยังเป็นการขัดขวางการจัดเรียงตัวของผลึกในพอลิเมอร์ผสม ทำให้พอลิเมอร์มีความมีความเป็นผลึกที่ลดลง ดังนั้น เมื่อได้รับแรงดึงจึงส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้น ทำให้ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง

ส่วนในระบบที่มีอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางต่อแป้งข้าวเหนียวเดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร พบว่าส่งผลให้ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่มีสายโซ่โมเลกุลของหมู่เอสเทอร์ที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ขัดขวางการจัดเรียงตัวของผลึกในสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางมากยิ่งขึ้น ดังนั้นแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่เพิ่มไปในระบบของพอลิเมอร์ผสมจะไปลดปริมาณผลึกในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของความทนแรงดึงกับปริมาณแป้งมันสำปะหลังในพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ พบว่าความทนแรงดึงที่ได้จะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากแป้งข้าวเหนียว เมื่อพิจารณาจากการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

รูปที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียว พบว่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมลดลงตามปริมาณแป้งข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสตรงบริเวณรอยต่อระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่ต่ำ ทำให้ขึ้นทดสอบเกิดการขาดออกจากกันตรงบริเวณจุดบกพร่องก่อนที่จะยืดตัว นอกจากนี้ การลดลงของเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมยังเกิดจากการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เคลื่อนผ่านกันได้ยากเมื่อได้รับแรงดึง จึงเป็นผลให้ความสามารถในการยืดดึงของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง

ส่วนในระบบที่มีอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวเดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปรซึ่งทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม พบว่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

แป้งข้าวเหนียวตัดแปรที่เติมลงไป ทำให้เกิดพันธะเชื่อมขวางยืดสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ผสมไว้จึงเกิดการเลื่อนผ่านกันได้น้อย ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมยึดตัวได้น้อยลง

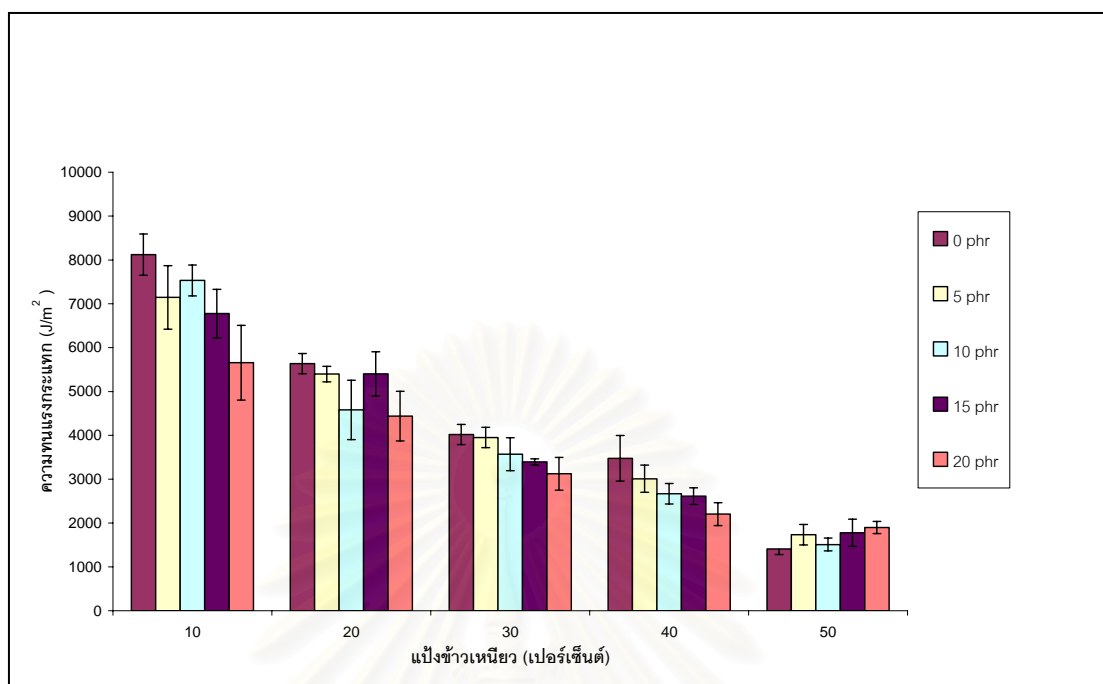
รูปที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากแป้งข้าวเหนียว เมื่อพิจารณาจากการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังและปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปร ทั้งนี้ผลของแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลและพันธะเชื่อมขวางที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์ผสมจึงส่งผลต่ออย่างสมดุลทำให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งในระบบที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวเหนียวตัดแปรและมีการเติมแป้งข้าวเหนียวตัดแปรในพอลิเมอร์ผสมดังรูปที่ 4.14 และระบบของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและมีการเติมแป้งมันสำปะหลังตัดแปรดังรูปที่ 4.15

เมื่อเปรียบเทียบความทนแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด ระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ พบว่าพอลิเมอร์ที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังมีความทนแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุดใกล้เคียงกัน แสดงว่าชนิดของแป้งไม่มีผลมากนัก แต่ปริมาณแป้งเป็นปัจจัยที่ส่งผลมากกว่า เมื่อพิจารณาค่ายังสมดุล พบว่ากลับสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีความเป็นผลึกที่สูงกว่าแป้งข้าวเหนียว ทำให้ต้องใช้แรงดึงที่มากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวนั่นเอง

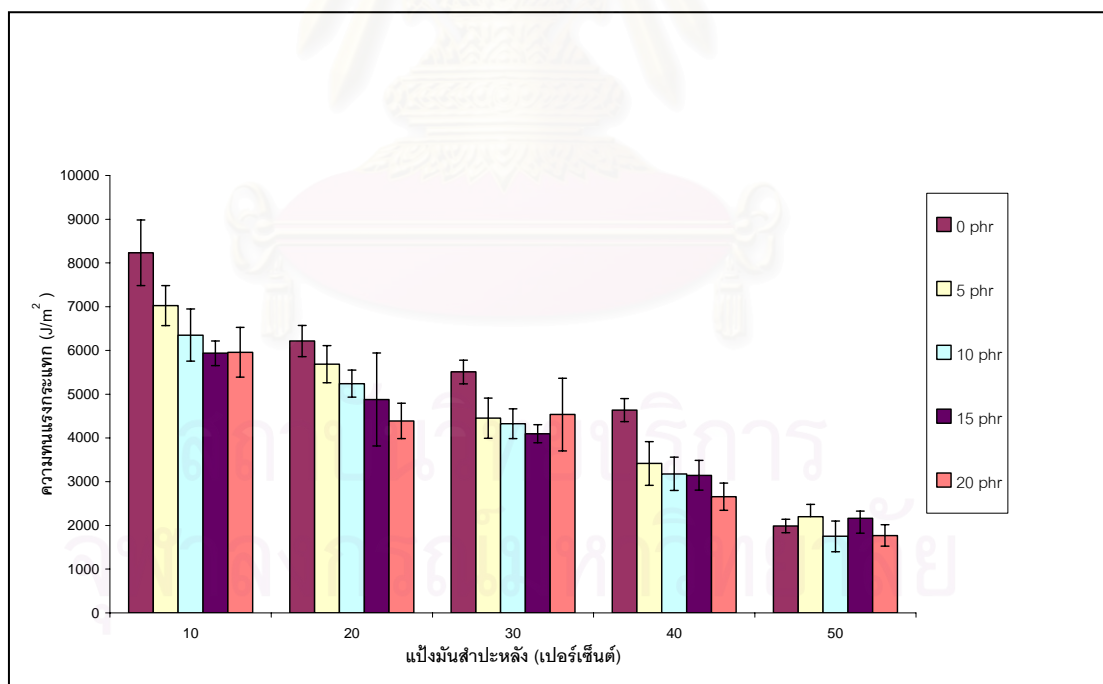
4.4.2.2 สมบัติด้านแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสม

จากผลการทดสอบสมบัติด้านแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสม ขึ้นทดสอบของพอลิเมอร์ผสมทุกสูตรไม่เกิดการหักงอ ทั้งนี้เพราะพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางมีความยืดหยุ่นค่อนข้างสูง ดังตารางที่ 4.1 ถึงแม้จะเติมแป้ง หรือแป้งตัดแปรปริมาณต่างๆ ก็ไม่ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการหักงอ ดังนั้น จึงไม่สามารถหาค่าความทนแรงดัดโค้ง (flexural strength) ค่าระยะดัดโค้ง (deformation at maximum load) และมอดุลัสดัดโค้ง (flexural modulus) ได้

4.4.2.3 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 4.16 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แปะงั่วแหนญว และแปงั่วแหนญวดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.17 ความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แปงมันสำปะหลัง และแปงมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ

การทดสอบความทนแรงกระแทกนั้นเป็นการทดสอบวัตถุภายใต้แรงเค้นหรือแรงที่ส่งผ่านมายังชิ้นงานทดสอบด้วยอัตราเร็วที่สูงมาก จากรูปที่ 4.16 แสดงความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียว พบว่าการเติมแป้งข้าวเหนียวในพอลิเมอร์ผสมในระบบที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวเหนียวดัดแปร ส่งผลให้ความทนแรงกระแทกลดลง เนื่องจากรอยต่อระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวมีแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสที่ต่ำ ทำให้เมื่อได้รับแรงกระแทกจึงไม่มีการถ่ายโอนแรงระหว่างกัน ดังนั้น ชิ้นงานจึงแตกหักได้ง่ายขึ้น ความทนแรงกระแทกจึงลดลง

ส่วนในกรณีเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปรในพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวเดียวกัน พบว่าความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่เติมเข้าไป ทำให้เกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียว จึงช่วยเพิ่มแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัส ทำให้มีการถ่ายโอนแรงระหว่างผิวสัมผัสได้ดี

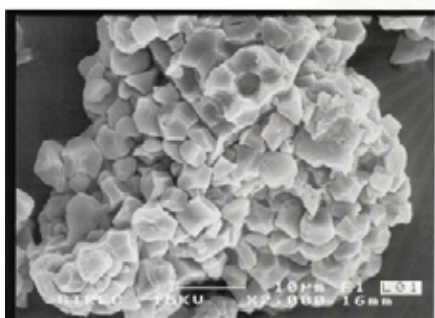
รูปที่ 4.17 แสดงความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังส่งผลให้ความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเหตุผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียว

ส่วนในกรณีเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรในพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางเดียวกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร สามารถทนแรงกระแทกได้เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียว

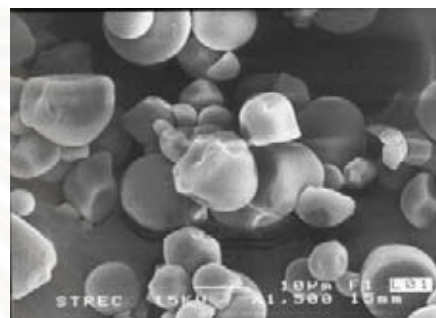
แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบความทนแรงกระแทกระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังมีความทนแรงกระแทกที่ต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีความเป็นอสัณฐานมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งบริเวณนี้เป็นส่วนที่สามารถรับและถ่ายโอนแรงกระแทก ดังนั้นเมื่อให้แรงกระแทก พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวจึงรับและถ่ายโอนแรงกระแทกภายในชิ้นทดสอบได้ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลัง

4.5 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของแป้งดัดแปร แป้งไม่ดัดแปร และพอลิเมอร์ผสม

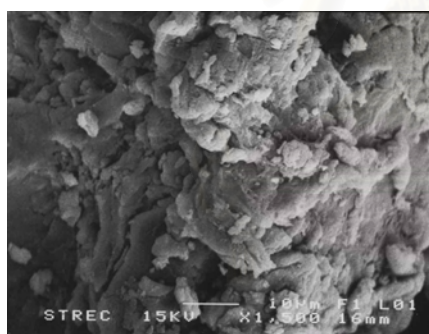
เมื่อนำแป้งดัดแปรและไม่ดัดแปรมาศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากรูปที่ 4.18 ก และ ข พบว่าอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างต่างๆ กัน โดยมากเป็นรูปไข่ ตัดปลายข้างหนึ่ง ผิวบริเวณที่ตัดเว้าเข้าข้างใน ส่วนใหญ่ปรากฏรอยบุ๋ม ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวดัดแปรและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรไม่คงความเป็นเม็ดแป้ง แต่เกาะกลุ่มรวมกันเป็นเนื้อเดียว



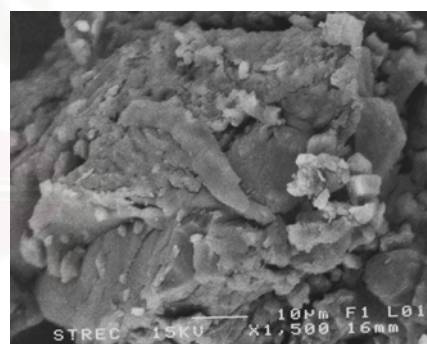
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

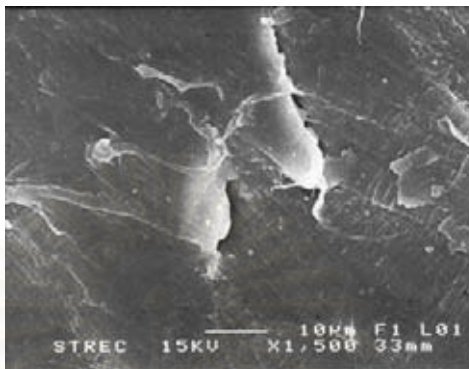
(ก) แป้งข้าวเหนียว

(ข) แป้งมันสำปะหลัง

(ค) แป้งข้าวเหนียวดัดแปร

(ง) แป้งมันสำปะหลังดัดแปร

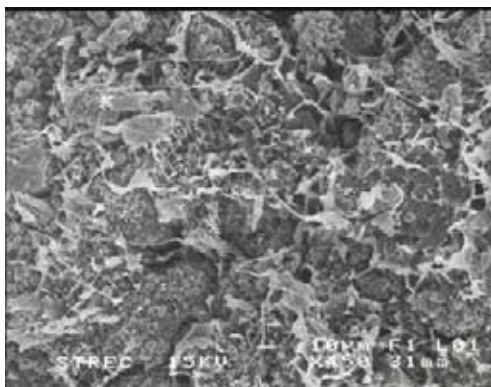
การศึกษาทางด้านสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและพอลิเมอร์ผสม เป็นการศึกษาจากขั้นตอนทดสอบที่ได้ภายหลังจากการทดสอบความทนแรงกระแทก ซึ่งผลการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 4.19 -4.21



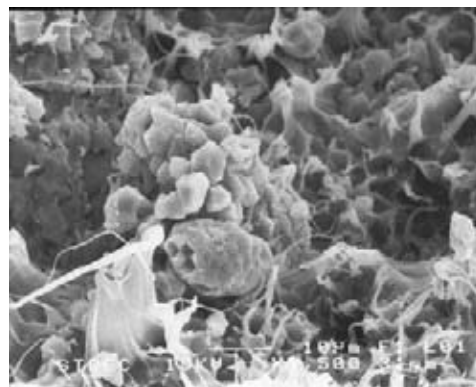
รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางที่กำลังขยาย 1500 เท่า

รูปที่ 4.19 ซึ่งเป็นภาพถ่ายของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าพื้นผิวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง มีลักษณะเรียบ

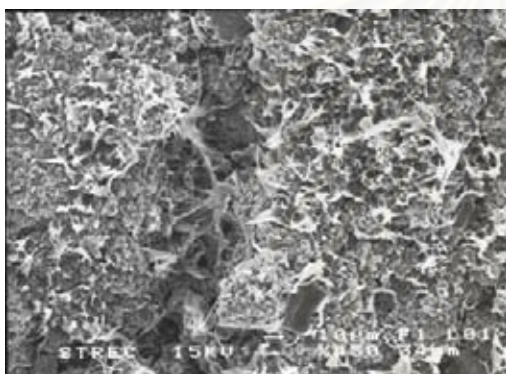
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



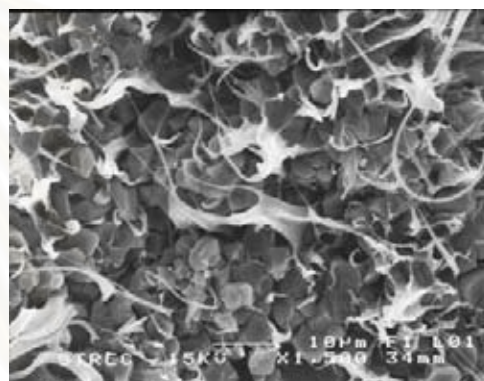
50:50/0 (X450)



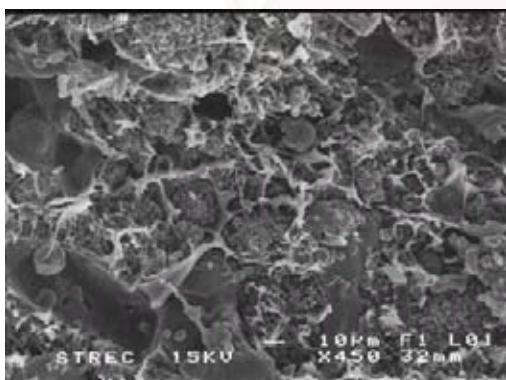
50:50/0 (X1500)



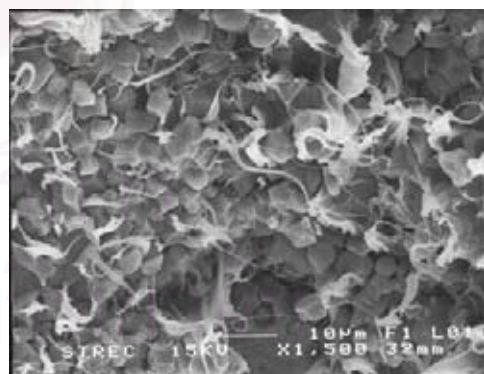
50:50/5 (X450)



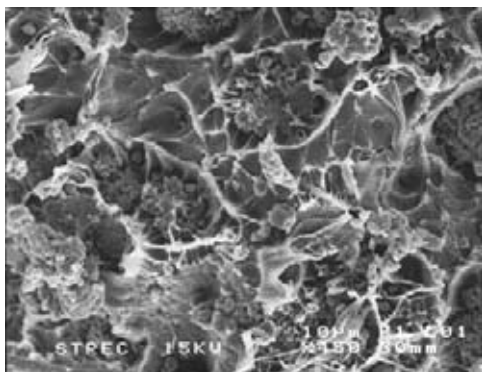
50:50/5 (X1500)



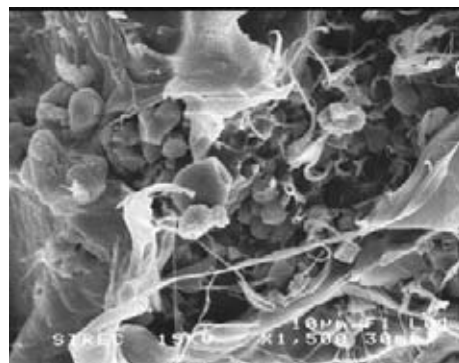
50:50/20 (X450)



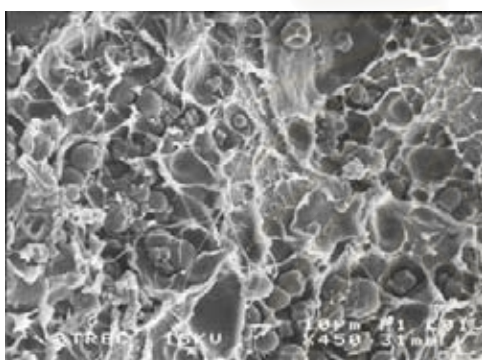
50:50/20 (X1500)



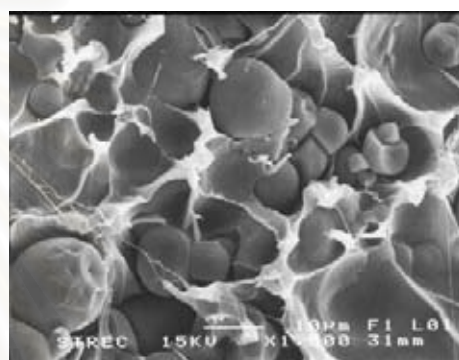
90:10/0 (X450)



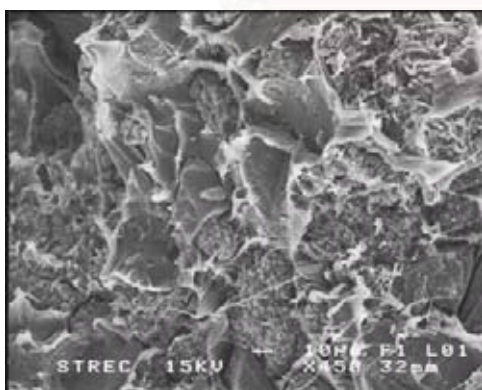
90:10/0 (X1500)



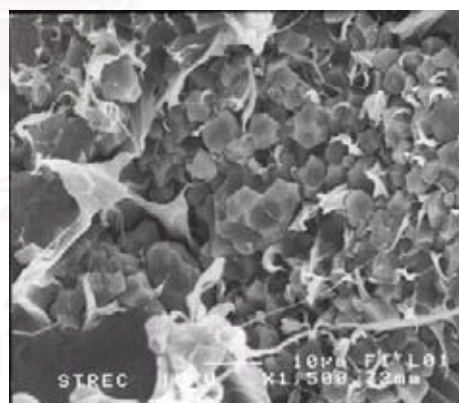
90:10/5 (X450)



90:10/5 (X1500)

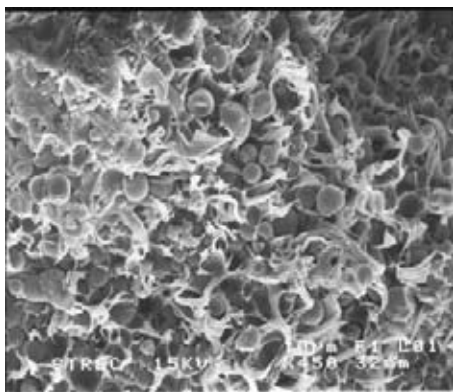


90:10/20 (X450)

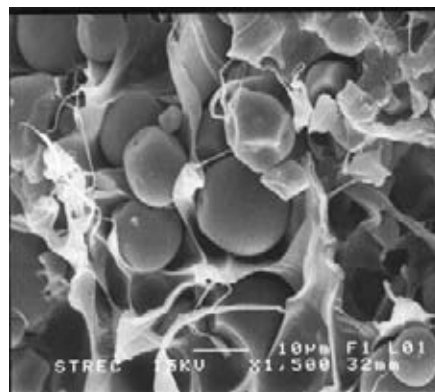


90:10/20 (X1500)

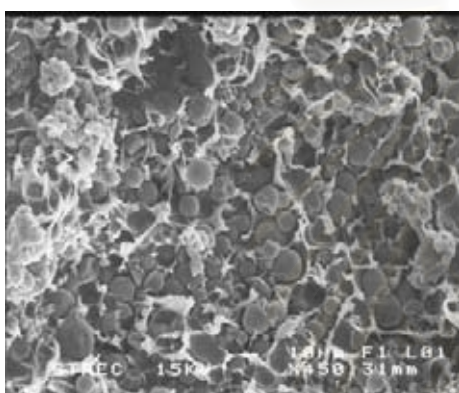
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ



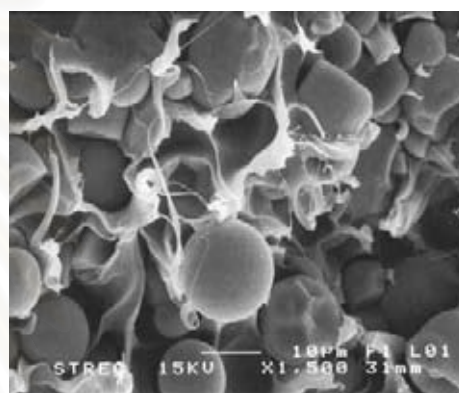
50:50/0 (X450)



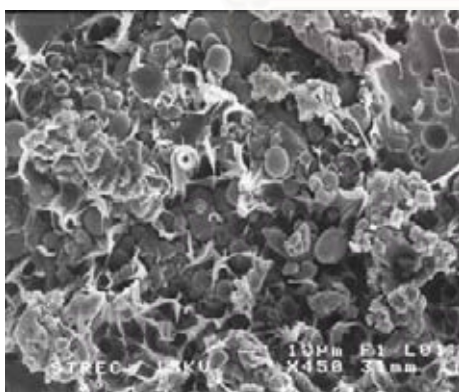
50:50/0 (X1500)



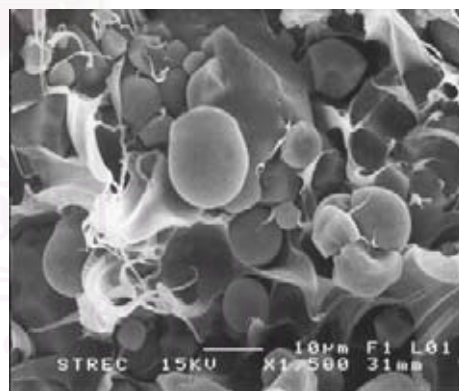
50:50/5 (X450)



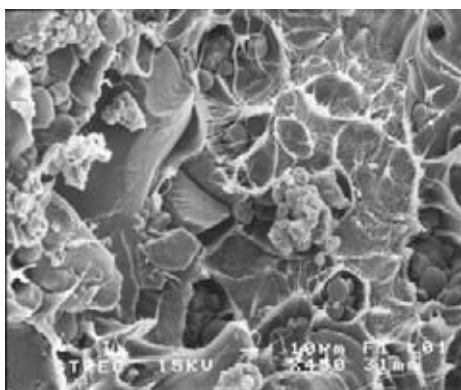
50:50/5 (X1500)



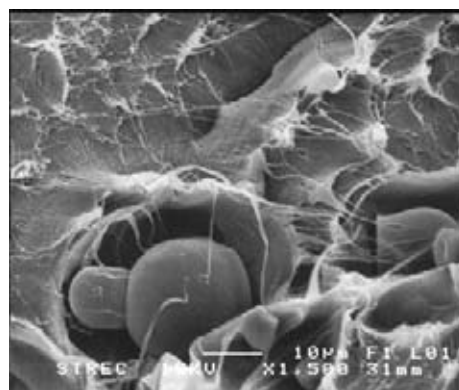
50:50/20 (X450)



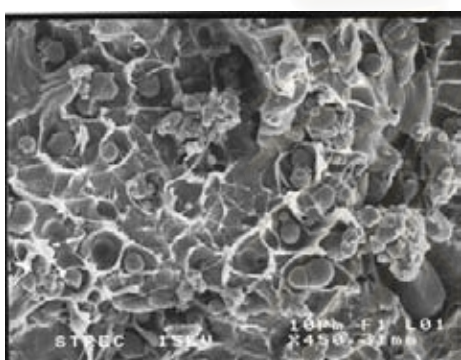
50:50/20 (X1500)



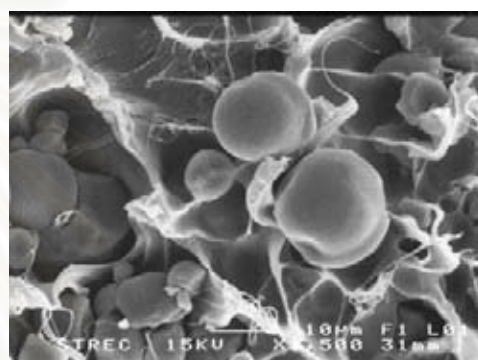
90:10/0 (X450)



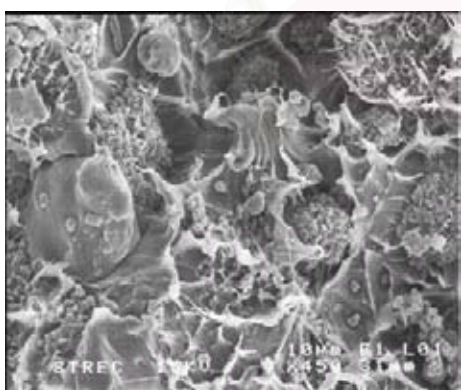
90:10/0 (X1500)



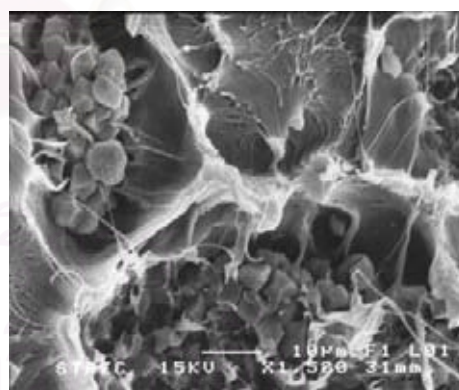
90:10/5 (X450)



90:10/5 (X1500)



90:10/20 (X450)



90:10/20 (X1500)

รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และ แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.20 เมื่อเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 และ 90:10 ซึ่งมีแป้งข้าวเหนียวดัดแปรปริมาณ 0 5 และ 20 phr ตามลำดับ พบว่าพื้นผิวที่ได้มีอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวแทรกตัวอยู่อย่างต่อเนื่อง และเห็นได้ชัดเจนเมื่อทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแป้งดัดแปรที่เติมลงไป พบว่าที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร 0 phr จะสังเกตเห็นความขรุขระและการเสียสภาพมาก แต่เมื่อมีการเติมแป้งข้าวเหนียวดัดแปรลงไป พบว่ารอยฉีกขาดและรอยขรุขระน้อยลง ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการที่มีการยึดติดกันมากขึ้นระหว่างแป้ง แป้งดัดแปร และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางดังที่ได้อธิบายไว้ในส่วนของสมบัติเชิงกล

เมื่อสังเกตพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียว ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.21



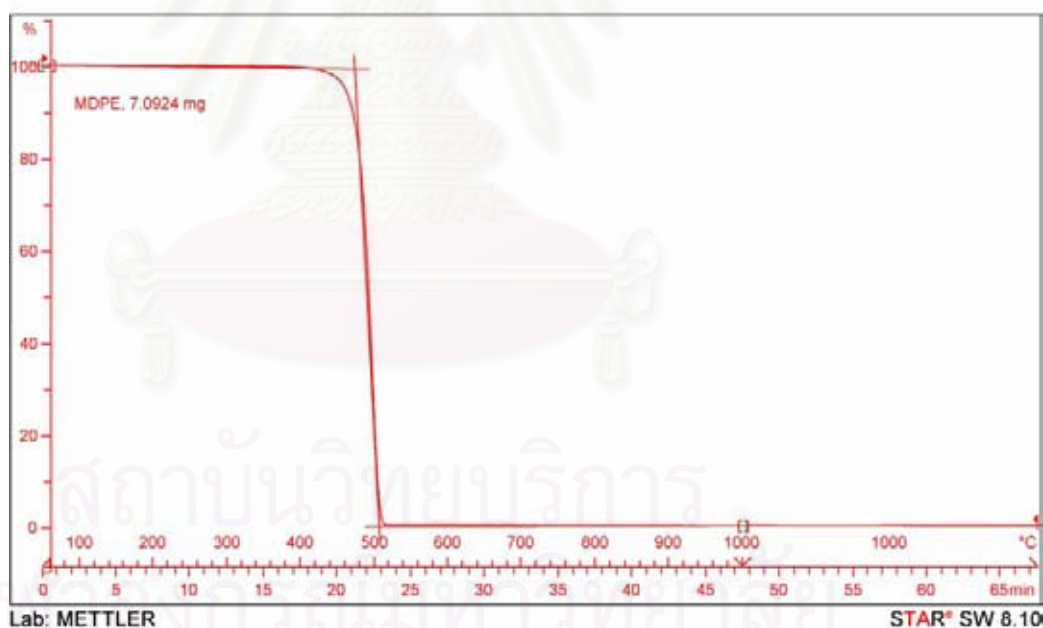
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

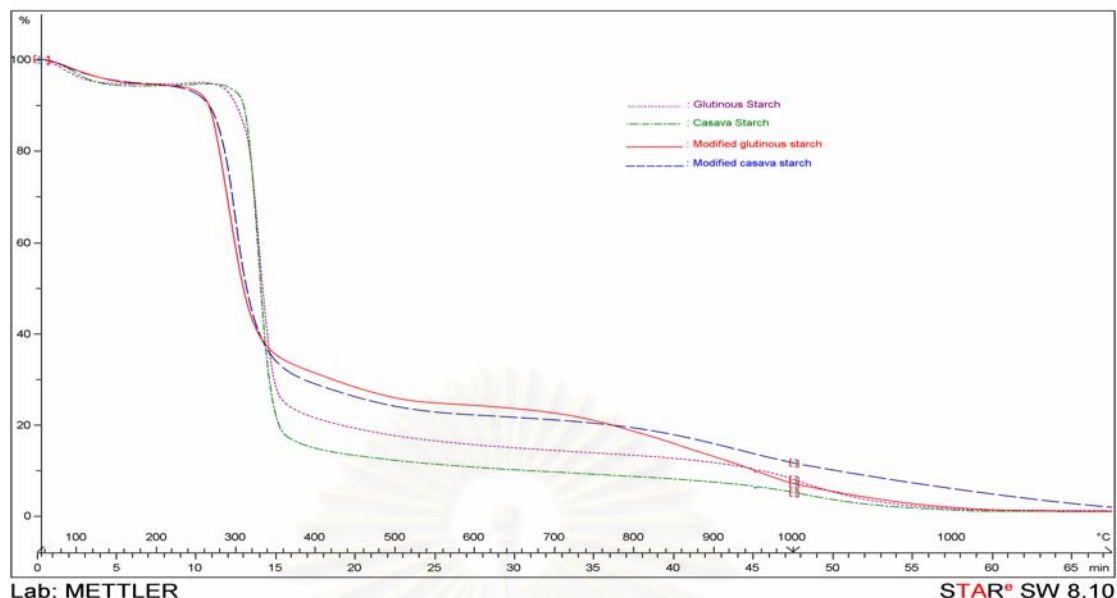
งานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส (TGA) และดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้ง และแป้งดัดแปร

4.6.1 เสถียรภาพทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสม

เสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์สามารถตรวจสอบได้ด้วยเทคนิค TGA จากรูปที่ 4.22-4.23 และตารางที่ 4.2 พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงสุด รองลงมาคือ แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนที่เท่ากัน รองลงมาคือแป้งมันสำปะหลังดัดแปร และสุดท้ายคือ แป้งข้าวเหนียวดัดแปรตามลำดับ



รูปที่ 4.22 ทีจีเอเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

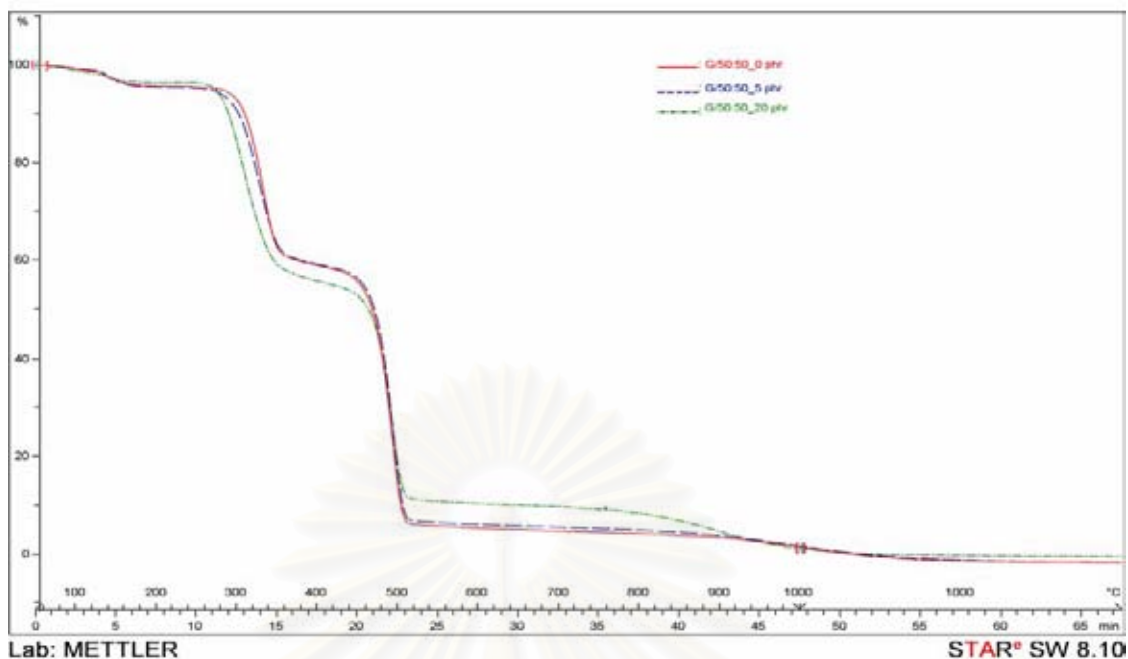


รูปที่ 4.23 ทีจีไอเทอร์โมแกรมของแป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียวดัดแปร และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวของสารแต่ละชนิด

สาร	อุณหภูมิการสลายตัว (องศาเซลเซียส)
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง	477.17
- แป้งข้าวเหนียว	311.25
- แป้งมันสำปะหลัง	311.65
- แป้งข้าวเหนียวดัดแปร	266.55
- แป้งมันสำปะหลังดัดแปร	276.42

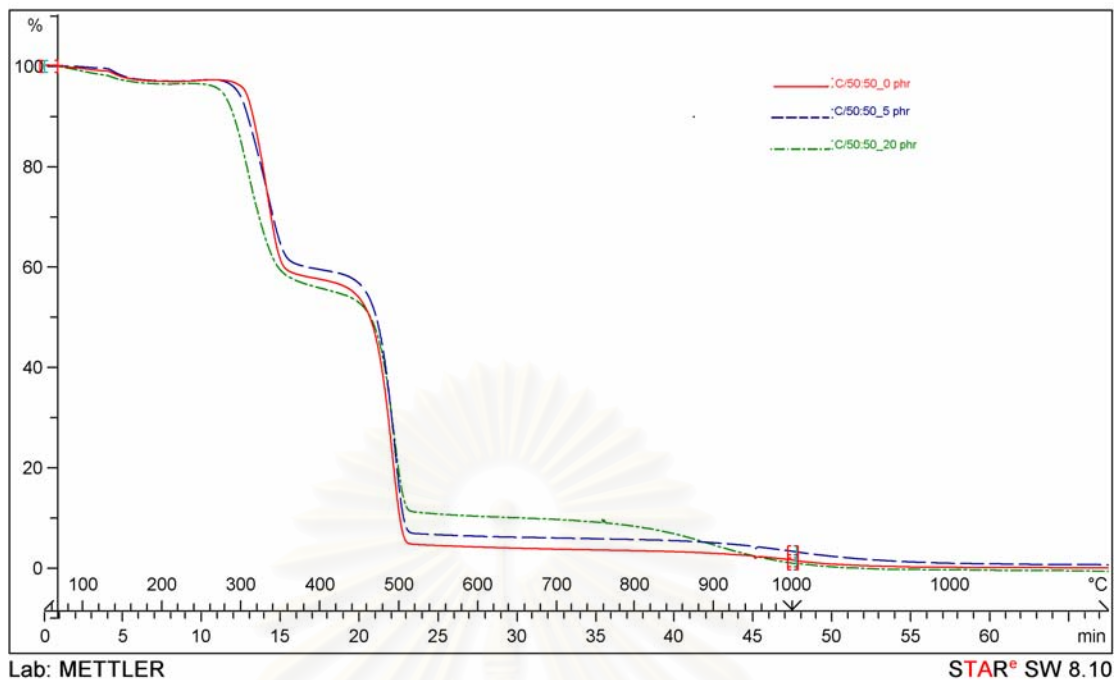
สาเหตุที่แป้งดัดแปรีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง เนื่องจากโมเลกุลของแป้งดัดแปรีโครงสร้างของพันธะคู่อยู่ ซึ่งพันธะคู่นี้ี้จะมีความว่องไวต่อการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน ทำให้แป้งดัดแปรีอุณหภูมิการสลายตัวที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง แต่เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียวดัดแปรีและอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรี พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียวดัดแปรีต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรี เนื่องจากโมเลกุลของแป้งข้าวเหนียวดัดแปรีโครงสร้างของพันธะคู่อยู่และโมเลกุลมีความไม่เป็นระเบียบที่สูงกว่า ดังนั้นจึงมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ต่ำกว่า



รูปที่ 4.24 ที่จีโอเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร 0 5 และ 20 phr

ตารางที่ 4.3 คุณนหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร 0 5 และ 20 phr

ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร (phr)	คุณนหภูมิสลายตัว (องศาเซลเซียส)	
	T _{onset1}	T _{onset2}
0	308.86	470.24
5	348.74	468.09
20	338.49	469.24



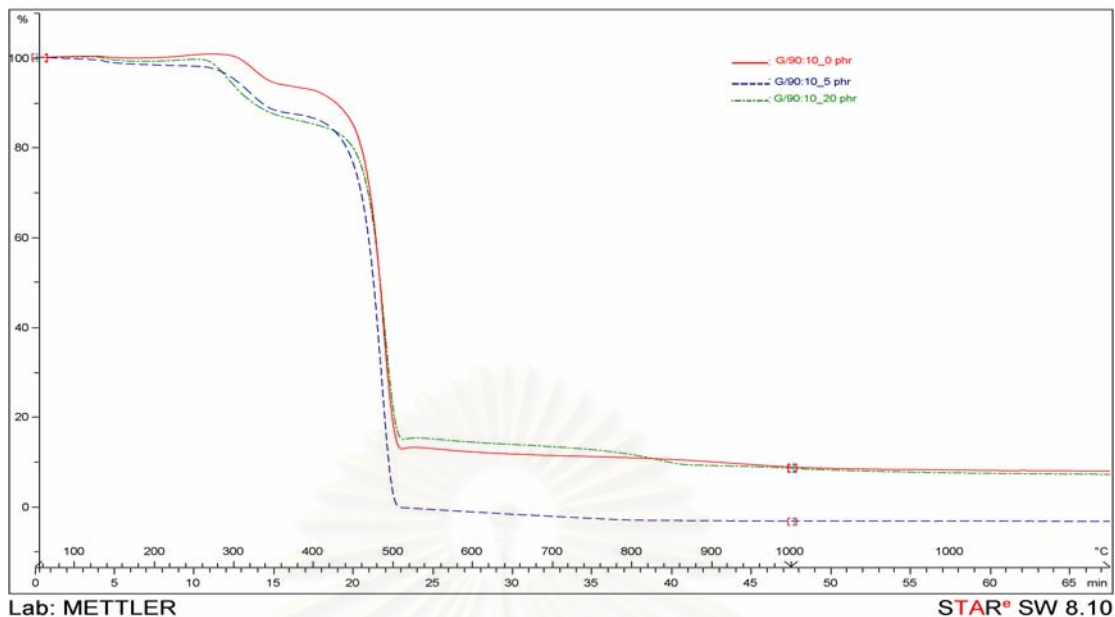
รูปที่ 4.25 ที่จีเอเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 0 5 และ 20 phr

ตารางที่ 4.4 คุณนหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 0 5 และ 20 phr

ปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (phr)	คุณนหภูมิสลายตัว (องศาเซลเซียส)	
	T _{onset1}	T _{onset2}
0	308.96	470.24
5	299.61	470.97
20	283.05	469.24

เมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งที่อัตราส่วน 50:50 พบว่าในกรณีของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียว เมื่อเติมแป้งข้าวเหนียวตัดแปรลงไปในพอลิเมอร์ผสมที่ 5 และ 20 phr คุณสมบัติในการสลายตัวครั้งที่ 1 มากกว่าคุณสมบัติการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวเหนียวตัดแปร คุณสมบัติการสลายตัวครั้งที่ 2 มีค่าน้อยกว่าคุณสมบัติการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง เนื่องจากเกิดการเชื่อมขวางในระบบของพอลิเมอร์ผสม (ตามข้อมูลยังสัมพัทธ์ที่สูงขึ้น) ดังนั้น การให้ความร้อนเพื่อไปทำลายการเชื่อมขวาง จึงส่งผลให้คุณสมบัติการสลายตัวครั้งที่ 1 ของพอลิเมอร์ผสมสูงกว่าคุณสมบัติการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวเหนียวตัดแปร และส่งผลให้คุณสมบัติการสลายตัวครั้งที่ 2 ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางลดลงกว่าเดิมด้วย

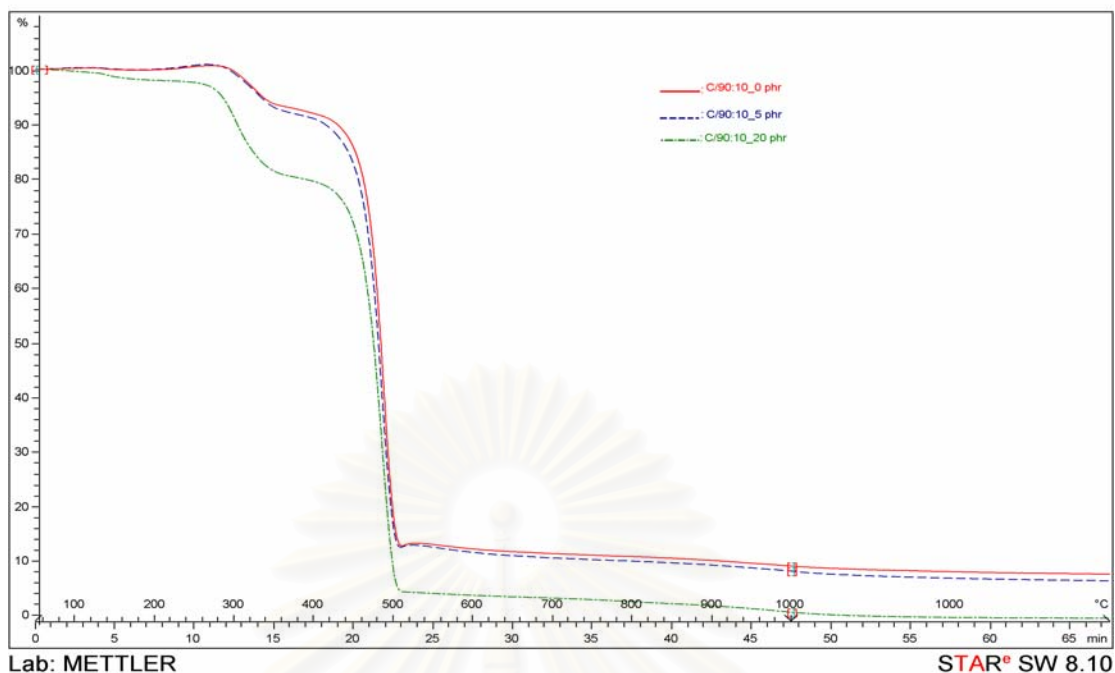
ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเติมแป้งมันสำปะหลังตัดแปร 5 และ 20 phr ลงไปในพอลิเมอร์ผสม พบว่าค่าคุณสมบัติการสลายตัวครั้งที่ 1 มีค่าที่มากกว่าคุณสมบัติการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังตัดแปร แต่ต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งผลที่ได้นี้แตกต่างจากของแป้งข้าวเหนียว ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะเมื่อใช้แป้งข้าวเหนียวซึ่งมีความเป็นอสัณฐานอยู่มาก ปฏิริยาการเชื่อมขวางอาจเกิดขึ้นได้ดีกว่า ในขณะที่เมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังซึ่งมีปริมาณผลึกอยู่มากกว่า ปฏิริยาการเชื่อมขวางอาจเกิดไม่สมบูรณ์ ยังคงเหลือพันธะคู่อยู่ในแป้งตัดแปร ซึ่งเป็นจุดการสลายตัวเมื่อให้ความร้อน คุณสมบัติการสลายตัวครั้งที่ 1 จึงต่ำกว่าของแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 4.26 ที่จีเอเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 90:10 ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร 0 5 และ 20 phr

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 90:10 ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร 0 5 และ 20 phr

ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร (phr)	อุณหภูมิสลายตัว (องศาเซลเซียส)	
	T _{onset1}	T _{onset2}
0	301.59	463.10
5	283.01	454.30
20	278.90	464.92



รูปที่ 4.27 ที่จีเอเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90:10 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 0 5 และ 20 phr

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90:10 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 0 5 และ 20 phr

ปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (phr)	อุณหภูมิสลายตัว (องศาเซลเซียส)	
	T_{onset1}	T_{onset2}
0	294.42	465.52
5	296.15	463.20
20	279.49	458.38

เมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับ
แป้งที่อัตราส่วน 90:10 พบว่าในกรณีของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียว เมื่อเติมแป้ง
ข้าวเหนียวตัดแปรลงไปปริมาณ 5 และ 20 phr มีคุณสมบัติการสลายตัวครั้งที่ 1 สูงกว่าคุณสมบัติ
การสลายตัวของแป้งข้าวเหนียวตัดแปร และมีคุณสมบัติการสลายตัวครั้งที่ 2 น้อยกว่าคุณสมบัติการ
สลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่เตรียม
จากแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเติมแป้งตัดแปรลงไปปริมาณ 5 และ 20 phr มีคุณสมบัติการ
สลายตัวครั้งที่ 1 สูงกว่าคุณสมบัติการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังตัดแปร และมีคุณสมบัติการ
สลายตัวครั้งที่ 2 น้อยกว่าคุณสมบัติการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
เช่นกัน ซึ่งเหตุผลจะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับพอลิเมอร์ผสมของแป้งข้าวเหนียวและแป้ง
มันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึกและปริมาณผลึก

เมื่อนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ มาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC (Differential Scanning Calorimeter) เพื่อหาอุณหภูมิในการหลอมเหลว (melting temperature, T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature, T_c) ปริมาณผลึก (degree of crystalline, %) ผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

อุณหภูมิการหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิการเกิดผลึก (องศาเซลเซียส)	ปริมาณผลึก (เปอร์เซ็นต์)
125.13	110.83	44.93

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ

MDPE : แป้งข้าวเหนียว	ปริมาณ แป้งข้าวเหนียว ดัดแปร (phr)	อุณหภูมิ การหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ การเกิดผลึก (องศาเซลเซียส)	ปริมาณผลึก (เปอร์เซ็นต์)
50:50	0	125.44	113.22	7.69
	5	125.69	113.90	7.36
	20	125.74	114.03	6.62
90:10	0	126.93	113.55	31.82
	5	125.91	113.84	21.80
	20	125.58	112.84	16.77

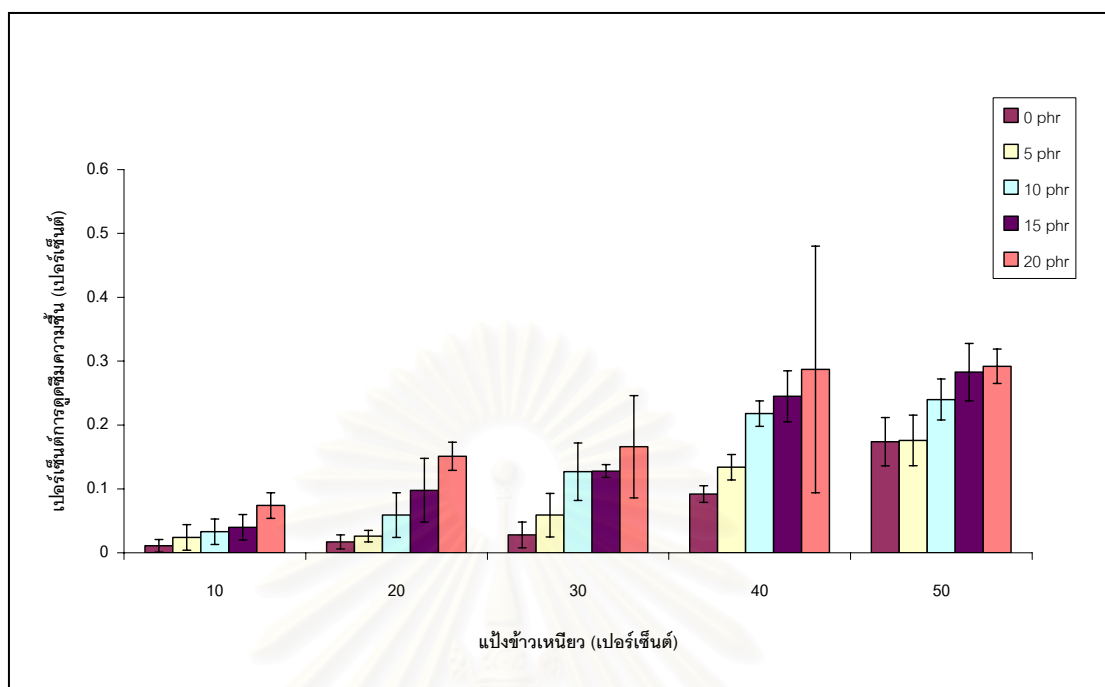
ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แปะมันสำปะหลัง และแปะมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ

MDPE : แป้ง มันสำปะหลัง	ปริมาณแป้ง มันสำปะหลัง ดัดแปร (phr)	อุณหภูมิการ หลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ การเกิดผลึก (องศาเซลเซียส)	ปริมาณผลึก (เปอร์เซ็นต์)
50:50	0	125.64	113.74	8.85
	5	125.24	113.77	8.52
	20	125.44	112.84	6.24
90:10	0	125.44	112.42	29.89
	5	126.00	112.44	22.45
	20	126.01	114.88	18.93

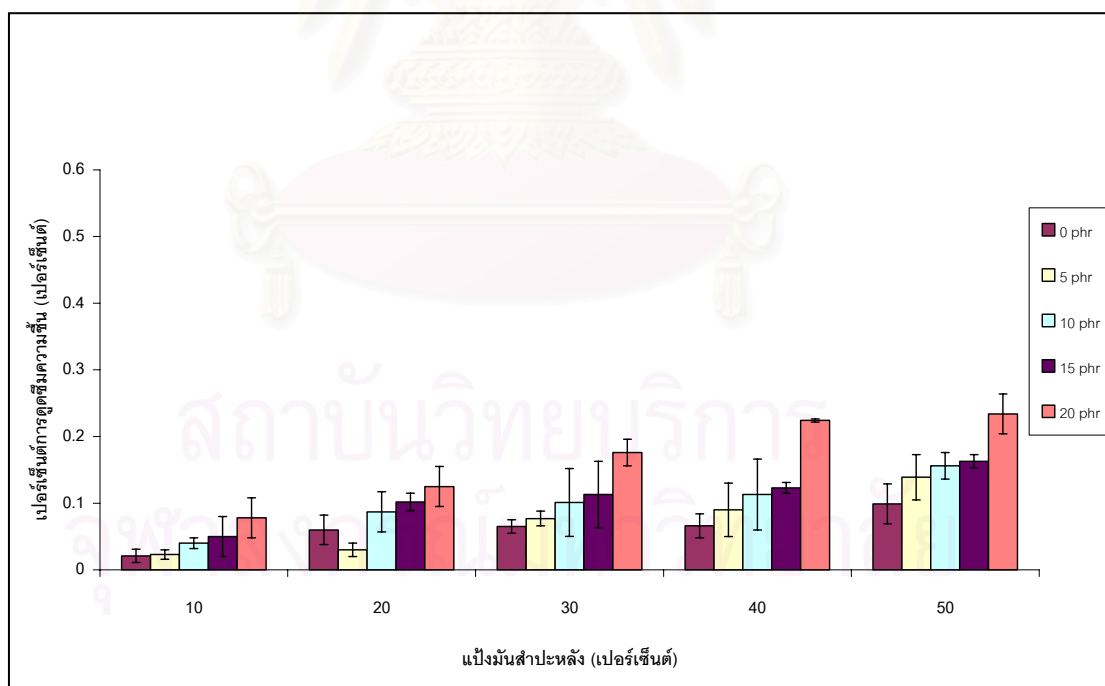
เมื่อพิจารณตารางที่ 4.8 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ อุณหภูมิการหลอมเหลวมีค่าใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แสดงว่าระบบของพอลิเมอร์ผสมเกิดผลึกที่อุณหภูมิเดียวกันกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แต่อุณหภูมิการเกิดผลึกของระบบพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า อุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวที่เติมลงไปช่วยให้ระบบเกิดผลึกได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะแป้งข้าวเหนียวไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีปริมาณผลึกลดลง ถ้าพิจารณาระบบของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนเดียวกัน แต่มีการเติมแป้งข้าวเหนียวดัดแปรลงไป พบว่าการเติมแป้งข้าวเหนียวดัดแปรไม่มีผลต่อ อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการเกิดผลึก เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่เติมแป้งดัดแปร แต่มีผลต่อปริมาณผลึก กล่าวคือ เมื่อปริมาณแป้งดัดแปรเพิ่มขึ้น ปริมาณผลึกลดลง ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะแป้งดัดแปรประกอบด้วยหมู่ เอสเทอร์ที่มีขนาดใหญ่ จึงไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางได้มากกว่าแป้งที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร ปริมาณผลึกจึงลดลงมากกว่า

ส่วนระบบพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร พบว่ามีอุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณผลึกเป็นไปในทำนองเดียวกันกับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปร

4.7 การดูดัชึมความขึ้นของพอลิเมอรืผสม



รูปที่ 4.28 เปอร์เซ็นต์การดูดัชึมความขึ้นของพอลิเมอรืผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ



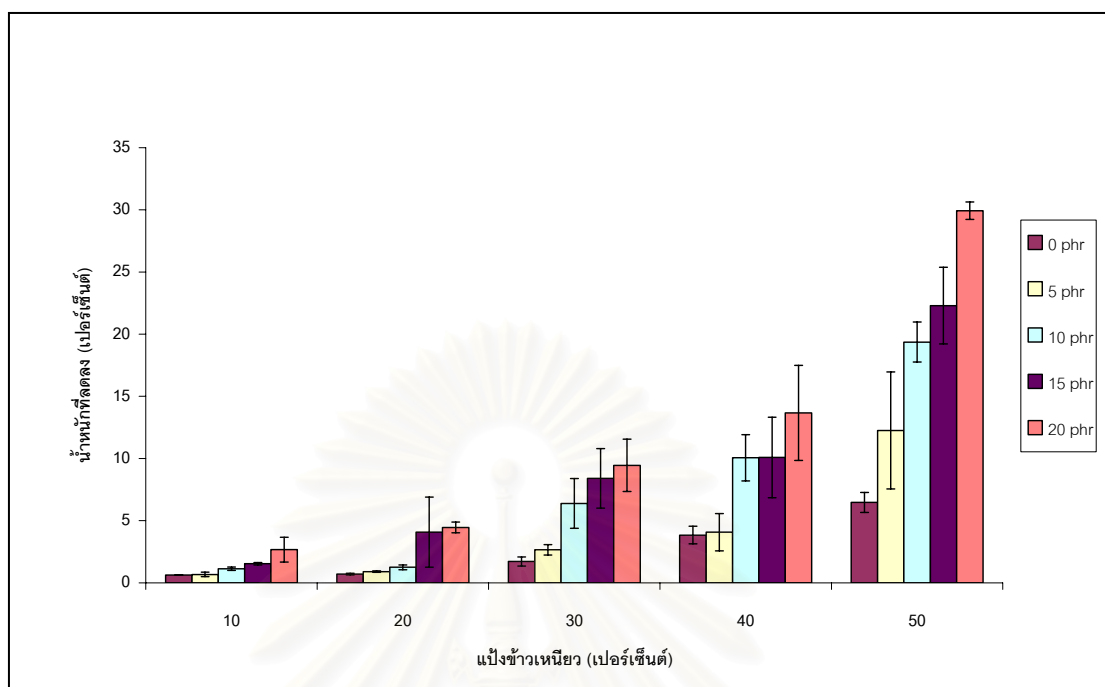
รูปที่ 4.29 เปอร์เซ็นต์การดูดัชึมความขึ้นของพอลิเมอรืผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.28 พบว่าในระบบที่ยังไม่มีการเติมแป้งดัดแปร เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะในสายโซ่โมเลกุลของแป้งมีหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล จึงทำให้ดูดซึมความชื้นได้ เมื่อเติมแป้งข้าวเหนียวดัดแปรลงในพอลิเมอร์ผสม พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงขึ้นจากเดิมที่ยังไม่ได้เติมแป้งดัดแปร เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของแป้งข้าวเหนียวดัดแปร ทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมยึดเกาะกันเป็นโครงสร้างที่ไม่แน่นมากนัก ทำให้โครงสร้างเปิดมากขึ้น ส่งผลให้ความชื้นแพร่ผ่านและจึงทำให้ดูดซึมความชื้นได้มากขึ้น สำหรับพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังจะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียว ดังรูปที่ 4.29

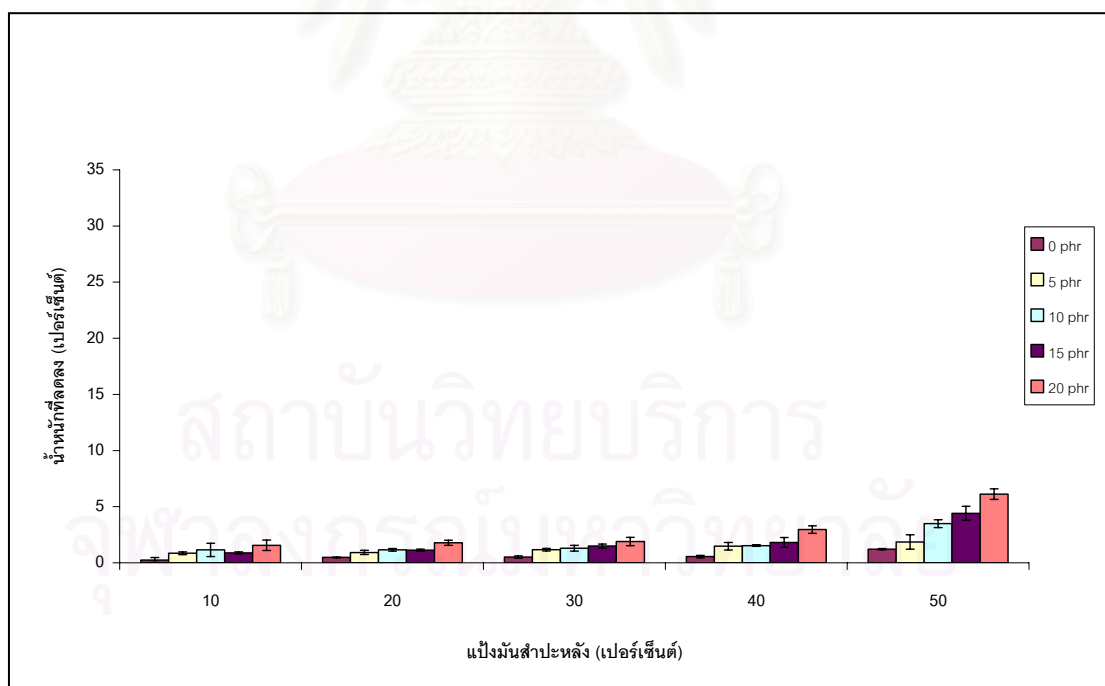
แต่เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นสูงกว่า เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของแป้งข้าวเหนียวมีความเป็นเอกลักษณ์ที่สูงกว่า ทำให้สามารถดูดซึมความชื้นได้มากกว่า

สำหรับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ดังนั้น จึงไม่สามารถดูดซึมความชื้นได้ดี

4.8 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 4.30 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.31 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่าเมื่อฝังชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมเป็นเวลา 30 วัน เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงมีแนวโน้มเดียวกัน คือ เมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นในพอลิเมอร์ผสมที่ยังไม่มีการเติมแป้งข้าวเหนียวดัดแปร ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายที่ของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงมากขึ้น ซึ่งเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักที่ลดลงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากในสายโซ่โมเลกุลของแป้งมีหมู่ที่ชอบน้ำ ทำให้สามารถดูดซับความชื้นได้มากขึ้น ซึ่งน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้น การเติมแป้งข้าวเหนียวจึงส่งผลให้เกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น และเมื่อเติมแป้งข้าวเหนียวดัดแปรลงในพอลิเมอร์ผสม พบว่าเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงขึ้นจากเดิม เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของแป้งข้าวเหนียวดัดแปร ทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมเกาะกันเป็นโครงสร้างที่ไม่แน่นมากนัก ทำให้ดูดซับน้ำได้ดีและจุลินทรีย์เติบโตได้มากขึ้น พอลิเมอร์ผสมที่เติมแป้งดัดแปรจึงย่อยสลายได้มากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมแป้งดัดแปร ซึ่งพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลัง จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียว ดังรูปที่ 4.31

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวมีความสามารถในการย่อยสลายที่สูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า ทำให้ดูดซับความชื้นได้ต่ำกว่า จุลินทรีย์จึงเติบโตได้น้อยกว่าแป้งข้าวเหนียว ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวมีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายที่สูงกว่า

สำหรับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ดังนั้น ทำให้ไม่สามารถดูดซับความชื้นได้ ทำให้น้ำและจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางได้เลย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.9 ความทนทานต่อสารเคมีของพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 4.10 ดัชนีความมีขี้ของตัวทำละลายที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวทำละลาย	ดัชนีความมีขี้
น้ำ	9.0
เตตระไฮโดรฟิวแรน (THF)	4.2
เมทานอล (methanol)	6.6
โทลูอีน (toluene)	2.3
ไซลีน (xylene)	2.4
เบนซีน (benzene)	3.0

ตารางที่ 4.11 ความสามารถในการละลายของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ
แป้งประเภทต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สาร	น้ำ	เตตระไฮโดรฟิวแรน	เมทานอล	โทลูอีน	ไซลีน	เบนซีน
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง	X	X	X	X	X	X
- แป้งข้าวเหนียว	S	S	S	S	S	S
- แป้งมันสำปะหลัง	S	S	S	S	S	S
- แป้งข้าวเหนียวดัดแปร	S	S	S	S	S	S
- แป้งมันสำปะหลังดัดแปร	S	S	S	S	S	S

หมายเหตุ : • = ละลาย S = ไม่ละลายแต่บวม X = ไม่ละลายและไม่บวม

ตารางที่ 4.12 ความสามารถในการละลายของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ
 แป้งประเภทต่างๆ ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สาร	น้ำ	เตตระไฮโดรฟิวแรน	เมทานอล	โทลูอีน	ไซลีน	เบนซีน
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง	X	X	X	X	X	X
- แป้งข้าวเหนียว	S	S	S	S	S	S
- แป้งมันสำปะหลัง	S	S	S	S	S	S
- แป้งข้าวเหนียวดัดแปร	S	S	S	S	S	S
- แป้งมันสำปะหลังดัดแปร	S	S	S	S	S	S

หมายเหตุ : • = ละลาย S = ไม่ละลายแต่บวม X = ไม่ละลายและไม่บวม

ตารางที่ 4.13 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอรัสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความ
 หนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวอัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณแป้ง
 ข้าวเหนียวดัดแปรต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

แป้งข้าวเหนียวดัดแปร (phr)	น้ำ	เตตระไฮโดรฟิวแรน	เมทานอล	โทลูอีน	ไซลีน	เบนซีน
0	S	S	S	S	S	S
5	S	S	S	S	S	S
20	S	S	S	S	S	S

หมายเหตุ : • = ละลาย S = ไม่ละลายแต่บวม X = ไม่ละลายและไม่บวม

ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการละลายพอลิเมอร์สมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวอัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปรต่างๆ ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

แป้งข้าวเหนียวดัดแปร (phr)	น้ำ	เตตระไฮโดรฟิวแรน	เมทานอล	โทลูอีน	ไซลีน	เบนซีน
0	S	S	S	S	S	S
5	S	S	S	S	S	S
20	S	S	S	S	S	S

หมายเหตุ : • = ละลาย S = ไม่ละลายแต่บวม X = ไม่ละลายและไม่บวม

ตารางที่ 4.15 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์สมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (phr)	น้ำ	เตตระไฮโดรฟิวแรน	เมทานอล	โทลูอีน	ไซลีน	เบนซีน
0	S	S	S	S	S	S
5	S	S	S	S	S	S
20	S	S	S	S	S	S

หมายเหตุ : • = ละลาย S = ไม่ละลายแต่บวม X = ไม่ละลายและไม่บวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปรต่างๆ ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

แป้งมันสำปะหลังตัดแปร (phr)	น้ำ	เตตระไฮโดรฟิวแรน	เมทานอล	โทลูอิน	ไซลีน	เบนซีน
0	S	S	S	S	S	S
5	S	S	S	S	S	S
20	S	S	S	S	S	S

หมายเหตุ : • = ละลาย S = ไม่ละลายแต่บวม X = ไม่ละลายและไม่บวม

โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางเป็นโครงสร้างที่ไม่มีขั้วเนื่องจากโมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจน ส่งผลให้ไม่สามารถละลายกับตัวทำละลายตัวอย่างข้างต้นซึ่งมีขั้วได้เลยแม้จะเพิ่มอุณหภูมิถึง 60 องศาเซลเซียสก็ตาม

แป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล และมีโครงสร้างที่มีความสม่ำเสมอ เกิดพันธะไฮโดรเจนได้อย่างหนาแน่น จึงมีหมู่ไฮดรอกซิลที่จะเกิดอันตรกิริยากับตัวทำละลายได้น้อย ทำให้ไม่เกิดการละลายแต่จะเกิดการบวมตัวเท่านั้น แต่เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นส่งผลให้ระบบมีพลังงานที่สูงขึ้น สายโซ่ของโมเลกุลเคลื่อนตัวห่างออกจากกันมากขึ้น ตัวทำละลายเข้าไปในสายโซ่ได้มากขึ้น ทำให้แป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังบวมตัวเพิ่มจากเดิมอีกเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่าแป้งข้าวเหนียวจะเกิดการบวมตัวที่มากกว่าเนื่องจากโมเลกุลประกอบด้วยอะมิโนเพกตินที่สูงกว่า ซึ่งจะมีความไม่เป็นระเบียบที่สูงกว่าโมเลกุลของแป้งมันสำปะหลัง

แป้งข้าวเหนียวตัดแปรและแป้งมันสำปะหลังตัดแปร เกิดจากการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างแป้งและเกิดเป็นหมู่เอสเทอร์ วิธีการดังกล่าวส่งผลให้โครงสร้างโมเลกุลแป้งลดความสม่ำเสมอลง ทำให้การจัดเรียงตัวของแป้งหลวมขึ้น ดังนั้นโมเลกุลของตัวทำละลายจึงเกิดอันตรกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งได้ แต่เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นส่งผลให้ระบบมีพลังงานที่สูงขึ้น สายโซ่ของโมเลกุลเคลื่อนตัวห่างออกจากกันมากขึ้น ตัวทำละลายเข้าไปในสายโซ่ได้มากขึ้น ทำให้แป้งข้าวเหนียวตัดแปรและแป้งมันสำปะหลังตัดแปรบวมตัวเพิ่มจากเดิมอีกเล็กน้อย

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวโดยมีแป้งข้าวเหนียวดัดแปรปริมาณต่างๆ และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังโดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ พบว่ามีความสามารถในการทนทานต่อสารเคมีที่คล้ายคลึงกัน คือ มีการบวมตัวตามปริมาณแป้งที่มีอยู่ในแต่ละสูตร ทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณแป้งอยู่มาก จึงมีหมู่ไฮดรอกซิลที่จะเกิดอันตรกิริยากับตัวทำละลายได้บ้าง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งดัดแปรจึงส่งผลให้โครงสร้างโมเลกุลแป้งลดความสม่ำเสมอลง ทำให้การจัดเรียงตัวของแป้งหลวมขึ้น ดังนั้น โมเลกุลของตัวทำละลายจึงเกิดอันตรกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งได้และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปส่งผลให้ระบบมีพลังงานที่สูงขึ้น จึงเห็นลักษณะของชิ้นงานที่บวมตัวมากขึ้นกว่าเดิมด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การผสมแป้งลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ทำให้เกิดการขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ส่งผลให้ปริมาณผลึกลดลง ประกอบกับความไม่เข้ากันของแป้งและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ทำให้แรงดึงดูดระหว่างพื้นผิวต่ำ เกิดเป็นจุดบกพร่องของชั้นทดสอบ จึงส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมได้แก่ ความทนแรงดึง และความทนแรงกระแทกลดลง เมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

5.1.2 จากการเกิดจุดบกพร่องในชั้นทดสอบ อันเนื่องมาจากความไม่เข้ากันของแป้งและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง จึงทำให้ชั้นทดสอบเกิดการขาดหรือแตกหัก ก่อนการยืดตัว นอกจากนี้ การเติมแป้งที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีความแข็งแรงกว่าแรงวันเดอร์วาลส์ในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลเป็นไปได้ยาก ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมลดลง เมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และจากปัจจัยเหล่านี้ ทำให้โดยรวมแล้วยังสัมมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

5.1.3 การเติมแป้งดัดแปรทำให้เกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลขึ้น ทำให้ยังสัมมอดูลัสมีค่าสูงขึ้น แต่ส่งผลสายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านกันได้ยากขึ้น เปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ แรงสูงสุด จึงลดลง อย่างไรก็ตาม ปริมาณการเชื่อมขวางที่เพิ่มขึ้นนี้ ยังไม่เพียงพอที่จะชดเชยปริมาณผลึกที่ลดลงไป ดังนั้น โดยรวมจึงส่งผลให้ความทนแรงดึงและความทนแรงดัดโค้งมีค่าลดลง

5.1.4 การเติมแป้งดัดแปรซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ต่ำกว่าแป้งไม่ดัดแปร ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นในกรณีของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดัดแปร มีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงกว่าแป้งไม่ดัดแปร เนื่องจากเกิดการเชื่อมขวางกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางที่มากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมในภาวะอื่น

5.1.5 แป้งที่เติมลงไปนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง อาจช่วยเร่งการเกิดผลึก จึงทำให้อุณหภูมิในการเกิดผลึกสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง โดยปริมาณและชนิดของแป้งดัดแปรไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังกล่าว

5.16 การผสมแป้งดัดแปรและแป้งไม่ดัดแปรในพอลิเมอร์ผสม ไม่มีผลต่อสมบัติการละลายมากนัก

5.17 การเติมแป้งดัดแปรลงไปในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้ง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมความชื้นและการย่อยสลายทางชีวภาพดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมแป้งดัดแปร ทั้งนี้เพราะแป้งดัดแปรมีโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลจึงไม่แน่นอน ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ พอลิเมอร์ผสมจากแป้งข้าวเหนียวและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง สามารถดูดซึมความชื้นและย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีความเป็นอสัณฐานมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง น้ำและจุลินทรีย์จึงแทรกซึมเข้าไปได้ง่ายกว่า

เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวคือ อัตราส่วน 80:20 มีปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปรที่เหมาะสม คือ 5 phr ในขณะที่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งมันสำปะหลังคือ อัตราส่วน 90:10 มีปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่เหมาะสม คือ 5 phr

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมในรูปแบบอื่น เช่น การใช้เครื่องอัดรีด หรือการฉีดขึ้นรูป ซึ่งจะทำให้การผลิตพอลิเมอร์ผสมมีความสะดวกยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ในขณะที่การใช้วิธีการผลิตแบบอัดแบบในงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการผลิตทีละชุด

5.2.2 ควรศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำแป้งไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น เพื่อนำไปประยุกต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย และเป็นการเพิ่มโอกาสในการผลิตพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพสู่อุตสาหกรรมด้วย

รายการอ้างอิง

1. นรศิษฏ์ จันทรวงศ์. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวดัดแปรและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2547.
2. บุญศรี ศิลาพัชรนันท์ และ ธิดาพันธ์ ซื่อสัตย์วงศ์. การย่อยสลายตัวของฟิล์มพอลิเอทิลีนผสมแป้งมันสำปะหลัง. โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2538.
3. อรการ สัตย์สาร และ ปุณศรีกร รุจิราภา. การดัดแปรทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง. โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2539.
4. Pedrosa, A.G. and Rosa, D.S. Mechanical, thermal and morphological characterization of recycled LDPE/corn starch blends. Carbohydrate Polymer 59(2005): 1-9.
5. ไพรดปราน ทาเขียว. การดัดแปรทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังเพื่อสมบัติความต้านแรงดึงของแผ่นพอลิเอทิลีนย่อยสลายได้. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2543.
6. นลินี อุดมพรทวี. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2540.
7. สมพร รุ่งสัมพันธ์กุล และ สุพิชญา ชื่นชนม. ภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการเตรียมพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ. โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2545.
8. กิตติภูมิ กลับดี และ ชีรศักดิ์ สรรพศิริ. การปรับปรุงวิธีการผลิตพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ที่ใช้แล้ว. โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2543.
9. นිරันตร์ ไทยปรีชา. ผลของสารเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต/พอลิคาร์บอเนตโดยกระบวนการอัตรัดรีดรีแคททีฟ. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2544.
10. Thiebaud, S.; Aburto, J.; Alric, I. Borredon, E.; Bikiaris, D.; Prinós, J.; and Panayiotou, C. Properties of fatty-acid esters of starch and their blends with LDPE. Journal of Applied Polymer Science 65(1997): 705.

11. Ramani, N.; Ramsay, J. A. ; and Vergooh, H Method of preparing biodegradable modified-starch moldable product and films. United States Patent 5(1999): 889, 847.
12. Aburto, J.; Thiebaud, S.; Alris, I.; Borredon, E.; Bikiaris, D.; Prinos, J.; and Panayiotou, C. Properties of octanoate starch and it blends with polyethylene. Carbohydrate Polymer 34 (1996): 101-112.
13. Thakore, I. M.; Desai, S.; Sarawade, B. D.; and Davi, S. Studies on biodegradability, morphology and thermomechanical properties of LDPE/modified starch blend. European Polyme Journal 37 (2001): 151-160.
14. Pimpan, V.; Ratanarat, K.; and Pongchawanakul, M. Preliminary study on preparation of biodegradable plastic from modified casava starch. Journal of Scientific Research Chulalongkorn University 26 (2001): 117.
15. สุภสิทธิ์ ผู้มีโชคชัย. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังดัดแปรและพอลิโพรพิลีน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2547.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 สมบัติด้านแรงดึงของ MDPE และพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งที่อัตราส่วนและแป้งดัดแปรที่ปริมาณต่างๆ

MDPE

Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
16.473	36.041	179.554
16.434	28.287	112.940
13.753	32.193	187.776
15.981	30.801	183.731
16.080	30.802	213.614
$\bar{X} = 15.744$	$\bar{X} = 31.625$	$\bar{X} = 175.523$
SD. = ± 1.134	SD. = ± 2.843	SD. = ± 37.421

แป้งข้าวเหนียว : MDPE = 50:50

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	6.946	10.113	436.399
	8.472	10.709	405.078
	7.310	13.964	282.780
	8.658	8.815	414.330
	8.286	7.727	299.953
\bar{X}	7.934	9.840	367.708
SD.	± 0.759	± 2.113	± 70.873

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	6.387	5.103	375.709
	6.777	5.598	304.066
	7.282	5.408	354.614
	8.150	6.839	242.907
	8.030	6.136	298.974
\bar{X}	7.325	5.817	315.254
SD.	± 0.768	± 0.684	± 52.030

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	6.540	7.041	310.564
	6.973	5.873	356.031
	6.541	5.463	319.979
	7.102	7.705	430.547
	6.645	6.871	419.829
\bar{X}	6.760	6.590	367.390
SD.	± 0.261	± 0.910	± 55.553

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	5.012	8.161	340.495
	6.637	5.900	465.182
	6.794	7.866	284.768
	5.436	7.412	725.766
	6.163	9.081	331.637
\bar{X}	6.009	7.684	429.570
SD.	± 0.768	± 1.169	± 178.531

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	6.843	6.118	273.214
	6.702	6.411	555.546
	6.785	5.914	592.665
	6.966	6.686	362.758
	6.746	5.922	235.312
\bar{X}	6.808	6.210	403.899
SD.	± 0.102	± 0.334	± 162.652

MDPE : แบ่งช่วงเหนียว = 60:40

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	8.832	12.187	265.213
	7.893	9.254	308.761
	9.807	14.026	418.244
	9.555	11.586	305.066
	8.848	8.266	359.341
\bar{X}	8.987	11.064	331.325
SD.	± 0.747	± 2.314	± 58.969

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	8.633	8.249	252.799
	8.418	9.324	408.314
	9.527	9.991	228.786
	9.498	12.627	274.772
	9.225	9.506	184.879
\bar{X}	9.060	9.939	269.910
SD.	± 0.508	± 1.632	± 84.252

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	8.140	59.193	157.428
	8.142	8.252	296.197
	8.618	10.661	354.575
	8.347	15.400	400.325
	8.522	8.298	455.121
\bar{X}	8.354	19.761	330.729
SD.	± 0.217	± 20.573	± 111.494

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	8.387	10.977	353.370
	8.761	8.954	313.817
	8.274	10.459	177.360
	8.175	10.379	380.926
	8.331	43.449	360.704
\bar{X}	8.385	16.844	317.235
SD.	± 0.224	± 14.892	± 81.897

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	7.683	8.011	282.271
	8.267	9.510	296.808
	5.858	8.113	276.656
	7.470	9.407	294.350
	7.555	12.063	452.338
\bar{X}	7.366	9.421	320.485
SD.	± 0.899	± 1.635	± 74.179

MDPE : แป้งข้าวเหนียว = 70:30

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	11.166	14.712	266.335
	11.507	16.884	332.460
	10.921	18.276	181.605
	11.521	18.965	171.019
	10.895	17.840	204.882
\bar{X}	11.202	17.335	231.260
SD.	± 0.304	± 1.649	± 67.569

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	9.987	14.870	390.899
	10.017	39.850	422.079
	9.896	16.612	249.112
	9.684	18.776	373.103
	9.967	41.917	240.324
\bar{X}	9.910	26.405	335.103
SD.	± 0.134	± 13.309	± 84.409

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	9.382	13.176	156.158
	10.890	14.006	230.654
	12.199	41.241	701.216
	12.213	39.534	195.891
	10.149	59.251	235.895
\bar{X}	10.967	33.442	303.963
SD.	± 1.251	± 19.700	± 224.356

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	9.342	18.292	266.559
	8.509	16.315	305.147
	8.746	18.305	356.757
	9.086	15.864	269.148
	9.009	13.001	317.576
\bar{X}	8.939	16.355	303.037
SD.	± 0.321	± 2.182	± 37.352

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	8.864	10.821	246.926
	9.239	13.567	338.261
	9.065	56.717	346.948
	8.474	15.523	352.995
	9.042	68.869	293.842
\bar{X}	8.937	33.099	315.794
SD.	± 0.291	± 27.496	± 44.955

MDPE : แบ่งซ้ำเหมือน = 80:20

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	12.587	25.498	117.280
	12.225	23.847	250.727
	12.302	25.323	179.738
	11.984	23.081	213.740
	11.891	23.973	187.126
\bar{X}	12.198	24.344	201.722
SD.	± 0.275	± 1.033	± 30.983

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	14.245	18.062	334.194
	16.387	29.732	318.519
	15.195	26.381	272.786
	15.389	27.488	517.035
	14.361	23.037	501.784
\bar{X}	15.115	24.940	388.856
SD.	± 0.870	± 4.540	± 112.452

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	11.403	12.913	586.262
	12.612	15.865	293.294
	13.424	22.128	378.960
	13.004	28.458	461.087
	13.795	23.605	307.805
\bar{X}	12.848	20.594	405.482
SD.	± 0.922	± 6.217	± 121.041

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	11.136	68.104	298.415
	10.247	26.075	515.857
	9.515	18.102	186.685
	10.823	20.705	218.408
	10.624	24.124	206.524
\bar{X}	10.469	31.422	285.178
SD.	± 0.623	± 20.735	± 135.770

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	12.054	19.025	517.038
	12.317	15.845	405.292
	12.431	17.280	351.910
	11.717	13.846	413.654
	12.541	26.111	396.232
\bar{X}	12.212	18.421	416.825
SD.	± 0.331	± 4.70	± 60.876

MDPE : แป้งข้าวเหนียว = 90:10

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	14.428	27.554	305.134
	13.776	28.644	246.884
	14.664	32.027	245.397
	13.442	67.991	252.475
	14.290	45.480	308.902
\bar{X}	14.120	40.339	271.758
SD.	± 0.499	± 17.032	± 32.323

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	13.789	24.466	349.635
	13.969	24.979	238.197
	14.956	25.623	322.036
	14.962	27.104	268.922
	15.026	26.481	277.519
\bar{X}	14.540	25.731	286.783
SD.	± 0.608	± 1.075	± 47.164

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	13.815	29.971	361.507
	12.885	27.450	187.929
	12.848	32.731	155.468
	13.963	26.944	360.651
	13.192	20.593	351.948
\bar{X}	13.341	27.538	283.501
SD.	± 0.521	± 4.513	± 102.772

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	11.268	20.843	291.293
	10.590	22.210	268.890
	11.813	28.496	279.146
	11.022	23.155	256.751
	10.976	14.793	382.055
\bar{X}	11.134	21.899	295.627
SD.	± 0.451	± 4.919	± 49.966

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	12.026	21.136	245.942
	11.871	19.590	234.230
	12.434	20.375	229.321
	12.236	20.016	261.247
	12.672	23.262	333.334
\bar{X}	12.248	20.876	260.815
SD.	± 0.319	± 1.450	± 42.365

MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 50:50

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	7.446	7.189	375.241
	7.665	5.692	346.946
	7.961	6.939	201.100
	7.836	7.850	463.878
	7.747	6.288	403.932
\bar{X}	7.731	6.791	358.219
SD.	± 0.193	± 0.831	± 97.924

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	7.401	6.255	260.459
	6.767	8.281	846.211
	7.464	6.857	495.260
	7.630	6.156	399.754
	6.710	5.758	382.219
\bar{X}	7.194	6.661	476.781
SD.	± 0.425	± 0.903	± 222.761

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	7.023	6.50	553.001
	7.283	7.018	459.110
	7.004	7.668	415.894
	7.638	7.157	234.679
	7.026	8.297	635.768
\bar{X}	7.195	7.330	459.690
SD.	± 0.273	± 0.680	± 151.871

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	7.125	5.534	358.529
	6.531	9.372	460.912
	6.555	8.055	566.778
	6.600	5.861	297.318
	7.053	6.658	387.974
\bar{X}	6.773	7.097	414.302
SD.	± 0.291	± 1.600	± 103.574

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	6.913	8.954	291.577
	6.918	6.343	259.703
	6.523	6.314	269.884
	5.664	12.610	383.197
	5.369	6.350	224.149
\bar{X}	6.277	8.114	285.702
SD.	± 0.721	± 1.801	± 59.697

MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 60:40

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	8.389	18.941	233.371
	8.317	14.673	224.907
	8.142	17.214	438.737
	8.323	17.138	313.077
	7.992	12.599	291,477
\bar{X}	8.233	16.113	300.314
SD.	± 0.163	± 2.484	± 85.979

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	11.420	13.933	517.940
	10.554	13.538	283.152
	10.515	14.639	315.494
	11.230	12.984	481.680
	9.910	6.974	328.806
\bar{X}	10.726	12.414	385.414
SD.	± 0.607	± 3.100	± 106.514

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	9.115	13.524	337.560
	9.873	7.499	341.084
	9.272	17.577	152.360
	9.689	6.931	356.590
	9.353	9.838	165.371
\bar{X}	9.460	11.074	270.593
SD.	± 0.312	± 4.465	± 102.347

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	7.157	8.041	308.913
	7.648	12.509	234.887
	7.397	12.316	361.184
	7.589	9.905	289.451
	10.255	24.425	226.686
\bar{X}	8.009	13.439	284.224
SD.	± 1.270	± 6.412	± 551.463

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	9.115	6.779	317.223
	8.977	9.027	595.718
	8.722	15.560	709.949
	8.400	8.423	375.859
	8.725	7.966	789.663
\bar{X}	8.788	9.551	557.682
SD.	± 0.275	± 3.459	± 205.747

MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 70:30

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	9.692	23.751	312.183
	9.221	25.318	170.137
	10.439	38.691	196.896
	9.753	23.903	311.580
	10.076	20.775	316.668
\bar{X}	9.836	26.488	261.493
SD.	± 0.455	± 7.020	± 71.835

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	9.222	16.549	291.491
	8.746	10.035	333.301
	9.151	19.739	302.498
	10.212	20.522	300.636
	10.065	20.233	301.198
\bar{X}	9.479	17.416	305.825
SD.	± 0.631	± 4.422	± 15.967

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	8.755	18.797	195.829
	8.823	16.676	362.609
	7.449	16.822	307.663
	8.305	23.751	132.340
	9.350	19.688	178.222
\bar{X}	8.537	19.145	235.333
SD.	± 0.712	± 2.878	± 95.996

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	10.192	21.774	430.755
	10.033	17.010	402.156
	10.271	22.085	168.188
	10.202	21.058	194.554
	8.854	13.752	584.361
\bar{X}	9.910	19.136	356.003
SD.	± 0.597	± 3.635	± 174.073

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	8.199	14.456	225.080
	7.963	12.791	338.139
	8.053	14.232	371.586
	8.049	14.294	167.407
	7.904	14.773	397.297
\bar{X}	8.033	14.109	299.902
SD.	± 0.1294	± 0.766	± 99.045

MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 80:20

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	11.933	30.359	243.163
	12.205	26.681	218.555
	12.206	26.288	210.990
	13.292	27.149	193.346
	14.468	29.527	224.184
\bar{X}	12.821	28.001	218.048
SD.	± 1.058	± 1.823	± 18.225

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	11.273	22.942	227.652
	12.695	24.847	295.854
	10.117	28.929	364.899
	11.538	23.392	244.907
	11.865	33.749	225.421
\bar{X}	11.498	26.771	271.747
SD.	± 0.939	± 4.559	± 59.307

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	12.790	19.914	283.263
	12.827	20.623	360.941
	13.490	18.854	271.114
	12.313	20.774	310.631
	13.944	18.851	283.403
\bar{X}	13.073	19.804	301.870
SD.	± 0.642	± 0.926	± 36.053

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	9.7174	43.805	243.141
	10.126	12.675	192.545
	9.312	29.649	257.911
	10.768	19.627	217.529
	7.280	12.825	423.074
\bar{X}	9.441	23.716	266.84
SD.	± 1.322	± 13.191	± 90.832

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	13.259	22.919	345.892
	12.713	15.996	262.892
	13.295	20.194	312.666
	12.191	23.744	248.599
	12.212	11.597	293.715
\bar{X}	12.734	18.890	292.753
SD.	± 0.538	± 5.076	± 38.931

MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 90:10

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
0	14.352	33.197	255.484
	14.658	32.925	217.290
	15.286	31.347	158.266
	14.655	28.887	275.118
	14.265	29.130	192.652
\bar{X}	14.643	31.097	219.762
SD.	± 0.400	± 2.035	± 47.072

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
5	13.923	35.731	189.778
	12.675	44.223	288.694
	13.630	31.807	184.930
	13.326	30.067	262.225
	13.509	33.545	187.271
\bar{X}	13.413	35.074	222.580
SD.	± 0.466	± 5.528	± 49.201

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
10	12.498	28.464	165.718
	12.140	26.044	237.318
	12.685	26.345	259.771
	12.524	22.255	162.086
	12.921	27.363	270.903
\bar{X}	12.554	26.094	219.159
SD.	± 0.286	± 2.347	± 51.889

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
15	12.342	27.739	272.650
	11.819	23.177	201.146
	11.628	30.603	163.216
	12.389	23.367	185.133
	12.143	28.177	220.351
\bar{X}	12.064	26.613	208.499
SD.	± 0.331	± 3.239	± 41.552

Amount of compatibilizer (phr)	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation at Maximum Load (%)	Young's Modulus (MPa)
20	10.788	19.957	215.145
	11.753	21.121	294.684
	13.710	26.803	348.086
	11.545	19.111	281.423
	11.549	18.827	202.367
\bar{X}	11.869	21.164	268.341
SD.	± 1.093	± 3.276	± 60.014

ตารางที่ ก.2 สมบัติความทนแรงกระแทกของ MDPE และพอลิเอทิลีนระหว่างพอลิเอทิลีนหนาแน่นปานกลางกับแป้งที่อัตราส่วน และแป้งดัดแปรที่ปริมาณต่างๆ

MDPE

sample	ค่าที่ได้
1	40486.16 J/m ²
2	55105.05 J/m ²
3	40283.63 J/m ²
4	46949.64 J/m ²
5	51440.00 J/m ²
\bar{X}	46852.90 J/m ²
SD.	±6573.42

MDPE : แป้งข้าวเหนียว = 50:50

phr sample	0	5	10	15	20
1	1482.05 J/m ²	1532.05 J/m ²	1581.16 J/m ²	2236.06 J/m ²	1905.66 J/m ²
2	1224.25 J/m ²	1942.95 J/m ²	1602.60 J/m ²	1461.77 J/m ²	2132.49 J/m ²
3	1325.02 J/m ²	1908.19 J/m ²	1523.21 J/m ²	1765.24 J/m ²	1790.76 J/m ²
4	1520.14 J/m ²	1435.43 J/m ²	1257.14 J/m ²	1889.61 J/m ²	1838.09 J/m ²
5	1497.20 J/m ²	1849.84 J/m ²	1587.09 J/m ²	1533.54 J/m ²	1818.46 J/m ²
\bar{X}	1409.73 J/m ²	1733.69 J/m ²	1510.24 J/m ²	1777.24 J/m ²	1897.09 J/m ²
SD.	± 129.08	± 233.10	± 144.65	± 309.11	± 138.25

MDPE : แป้งข้าวเหนียว = 60:40

phr sample	0	5	10	15	20
1	2744.96 J/m ²	2781.13 J/m ²	2274.36 J/m ²	2489.72 J/m ²	1814.81 J/m ²
2	3944.25 J/m ²	2929.41 J/m ²	2944.25 J/m ²	2870.17 J/m ²	2494.54 J/m ²
3	4010.00 J/m ²	2949.61 J/m ²	2722.02 J/m ²	2491.46 J/m ²	2252.52 J/m ²
4	3322.80 J/m ²	2841.08 J/m ²	2840.27 J/m ²	2759.32 J/m ²	2351.72 J/m ²
5	3346.66 J/m ²	3549.61 J/m ²	2559.02 J/m ²	2455.47 J/m ²	2091.57 J/m ²
\bar{X}	3473.73 J/m ²	3010.17 J/m ²	2667.98 J/m ²	2613.23 J/m ²	2201.03 J/m ²
SD.	± 519.38	± 309.13	± 234.84	± 188.63	± 261.08

MDPE : แบ่งข้าวเหนียว = 70:30

phr sample	0	5	10	15	20
1	2054.79 J/m ²	3832.14 J/m ²	3387.83 J/m ²	3326.24 J/m ²	3339.04 J/m ²
2	2023.97 J/m ²	3930.40 J/m ²	3349.47 J/m ²	3332.15 J/m ²	3516.55 J/m ²
3	2017.42 J/m ²	3949.45 J/m ²	3308.21 J/m ²	3363.95 J/m ²	2883.33 J/m ²
4	2325.34 J/m ²	3712.68 J/m ²	3584.55 J/m ²	3472.22 J/m ²	2597.26 J/m ²
5	1679.18 J/m ²	4331.03 J/m ²	4216.94 J/m ²	3472.22 J/m ²	3282.82 J/m ²
\bar{X}	2020.14 J/m ²	3951.14 J/m ²	3569.40 J/m ²	3393.36 J/m ²	3123.80 J/m ²
SD.	± 229.47	± 232.26	± 377.19	± 73.40	± 374.48

MDPE : แบ่งข้าวเหนียว = 80:20

phr sample	0	5	10	15	20
1	5470.17 J/m ²	5451.72 J/m ²	4989.16 J/m ²	5108.30 J/m ²	5256.41 J/m ²
2	5618.18 J/m ²	5131.03 J/m ²	4382.67 J/m ²	5017.98 J/m ²	4355.55 J/m ²
3	5680.14 J/m ²	5368.62 J/m ²	5374.53 J/m ²	5346.57 J/m ²	3896.29 J/m ²
4	5996.29 J/m ²	5618.18 J/m ²	3577.77 J/m ²	6131.86 J/m ²	3960.00 J/m ²
5	5410.90 J/m ²	5410.90 J/m ²	4573.52 J/m ²	4967.50 J/m ²	4718.51 J/m ²
\bar{X}	5635.14 J/m ²	5396.09 J/m ²	4579.53 J/m ²	5401.18 J/m ²	4437.35 J/m ²
SD.	±229.26	±175.82	±678.63	±506.46	±565.07

MDPE : แบ่งข้าวเหนียว = 90:10

phr sample	0	5	10	15	20
1	8128.40 J/m ²	6479.24 J/m ²	7950.35 J/m ²	6271.42 J/m ²	5224.71 J/m ²
2	8461.53 J/m ²	8177.35 J/m ²	7249.08 J/m ²	7647.26 J/m ²	4592.05 J/m ²
3	8667.85 J/m ²	6863.81 J/m ²	7823.10 J/m ²	6323.63 J/m ²	6891.69 J/m ²
4	7860.80 J/m ²	7615.38 J/m ²	7146.52 J/m ²	6819.23 J/m ²	5704.11 J/m ²
5	7483.63 J/m ²	6593.40 J/m ²	7490.63 J/m ²	6816.54 J/m ²	5872.65 J/m ²
\bar{X}	8120.44 J/m ²	7145.84 J/m ²	7531.94 J/m ²	6775.62 J/m ²	5657.04 J/m ²
SD.	± 471.44	± 726.91	± 350.04	± 552.69	± 850.62

MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 50:50

phr sample	0	5	10	15	20
1	1953.57 J/m ²	2325.34 J/m ²	1250.00 J/m ²	2288.59 J/m ²	1524.59 J/m ²
2	2110.71 J/m ²	1963.08 J/m ²	1526.66 J/m ²	1972.88 J/m ²	1534.20 J/m ²
3	1744.60 J/m ²	2089.28 J/m ²	1922.55 J/m ²	1996.58 J/m ²	1827.81 J/m ²
4	2121.42 J/m ²	2634.81 J/m ²	1947.54 J/m ²	2327.64 J/m ²	1851.85 J/m ²
5	1992.85 J/m ²	1993.15 J/m ²	2105.96 J/m ²	2221.12 J/m ²	2105.96 J/m ²
\bar{X}	1984.63 J/m ²	2201.13 J/m ²	1750.54 J/m ²	2161.36 J/m ²	1768.88 J/m ²
SD.	± 152.69	± 281.04	± 351.92	± 165.90	± 244.30

MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 60:40

phr sample	0	5	10	15	20
1	4381.94J/m ²	2850.18J/m ²	3490.00J/m ²	3580.53J/m ²	2604.02J/m ²
2	4363.01J/m ²	3085.18J/m ²	3031.54 J/m ²	3083.87 J/m ²	2296.55 J/m ²
3	4654.10J/m ²	3820.51J/m ²	3667.74 J/m ²	3003.38 J/m ²	2600.00 J/m ²
4	4958.33J/m ²	4037.03J/m ²	2918.64 J/m ²	3361.29 J/m ²	3157.89 J/m ²
5	4823.32J/m ²	3283.87 J/m ²	2785.71 J/m ²	2693.60 J/m ²	2626.26 J/m ²
\bar{X}	4636.14J/m ²	3415.35J/m ²	3178.73J/m ²	3144.53J/m ²	2656.94J/m ²
SD.	± 263.81	± 499.09	± 380.72	± 340.60	± 311.37

MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 70:30

phr sample	0	5	10	15	20
1	5743.58 J/m ²	4726.61 J/m ²	4102.94 J/m ²	4000.00 J/m ²	4693.14 J/m ²
2	5555.55 J/m ²	4356.36 J/m ²	4426.35 J/m ²	4376.47 J/m ²	5044.82 J/m ²
3	5070.37 J/m ²	4978.18 J/m ²	3851.71 J/m ²	4003.57 J/m ²	3482.14 J/m ²
4	5459.55 J/m ²	4447.65 J/m ²	4624.49 J/m ²	4236.36 J/m ²	5531.91 J/m ²
5	5709.55 J/m ²	3757.57 J/m ²	4617.64 J/m ²	3859.71 J/m ²	3920.68 J/m ²
\bar{X}	5507.72 J/m ²	4453.27 J/m ²	4324.63 J/m ²	4095.22 J/m ²	4534.54 J/m ²
SD.	± 270.30	± 459.26	± 338.72	± 207.34	± 831.36

MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 80:20

phr sample	0	5	10	15	20
1	6510.00 J/m ²	5966.03 J/m ²	5100.00 J/m ²	3921.34 J/m ²	4734.54 J/m ²
2	5915.19 J/m ²	6277.56 J/m ²	5053.57 J/m ²	4800.00 J/m ²	3915.78 J/m ²
3	6669.09 J/m ²	5240.74 J/m ²	5732.85 J/m ²	2939.10 J/m ²	4127.94 J/m ²
4	5867.85 J/m ²	5470.58 J/m ²	4967.50 J/m ²	5048.14 J/m ²	4867.85 J/m ²
5	6116.36 J/m ²	5470.58 J/m ²	5350.74 J/m ²	2687.09 J/m ²	4288.59 J/m ²
\bar{X}	6215.70 J/m ²	5685.10 J/m ²	5240.93 J/m ²	3879.13 J/m ²	4386.94 J/m ²
SD.	± 358.24	± 424.09	± 309.75	± 1063.13	± 403.38

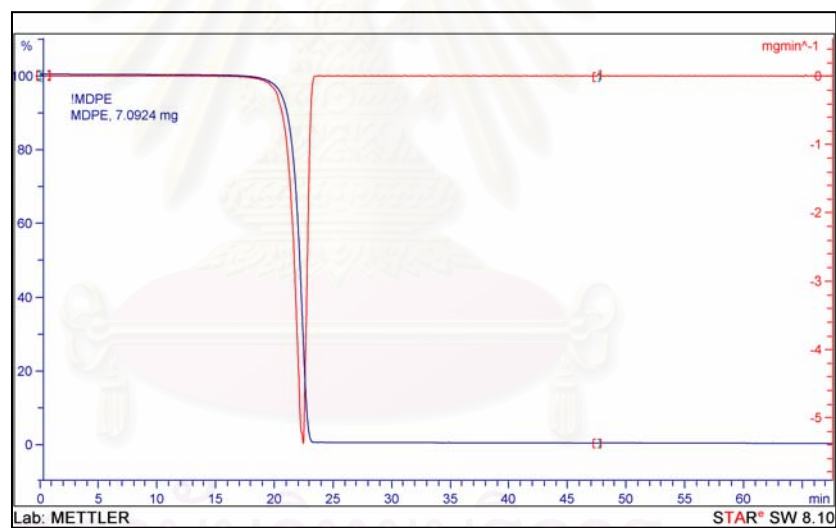
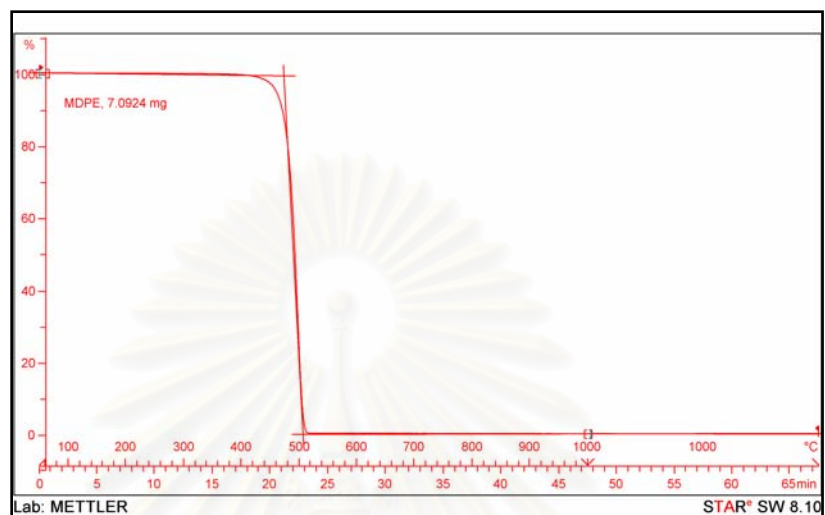
MDPE : แป้งมันสำปะหลัง = 90:10

phr sample	0	5	10	15	20
1	8442.85 J/m ²	6970.90 J/m ²	6187.27 J/m ²	5816.84 J/m ²	5722.22 J/m ²
2	8878.67 J/m ²	7747.25 J/m ²	6666.66 J/m ²	5931.40 J/m ²	5624.56 J/m ²
3	7907.40 J/m ²	6640.44 J/m ²	6796.15 J/m ²	5618.18 J/m ²	5873.68 J/m ²
4	7087.91 J/m ²	7126.92 J/m ²	6732.07 J/m ²	6385.45 J/m ²	6960.43 J/m ²
5	8846.42 J/m ²	6640.00 J/m ²	5374.53 J/m ²	5929.82 J/m ²	5607.91 J/m ²
\bar{X}	8232.65 J/m ²	7025.10 J/m ²	6351.34 J/m ²	5936.34 J/m ²	5957.76 J/m ²
SD.	± 750.74	± 455.82	± 596.51	± 281.64	± 570.38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

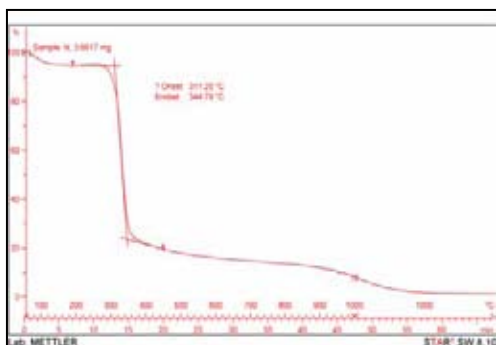
ภาคผนวก ข

การหาอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและพอลิเมอรัสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งโดยมีแป้งตัดแปรเป็นสารช่วยผสม

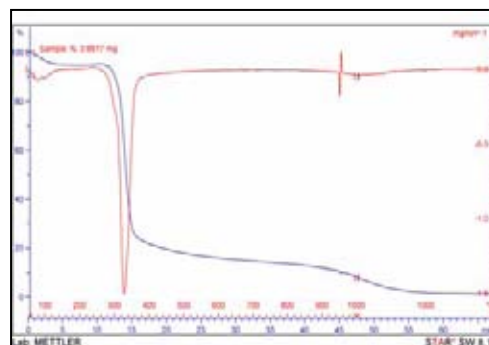


รูปที่ ข.1 เทอร์โมกราฟิมेटริกเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

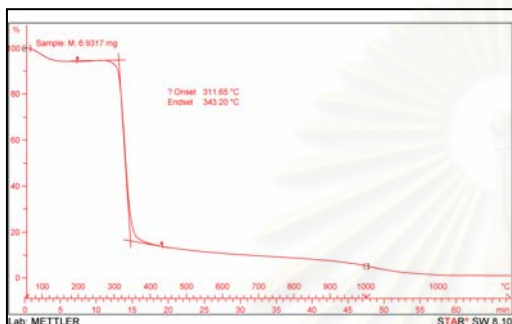
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



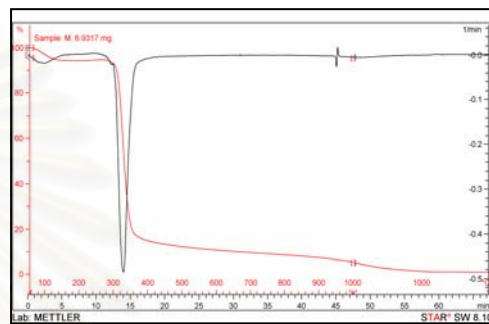
(ก)



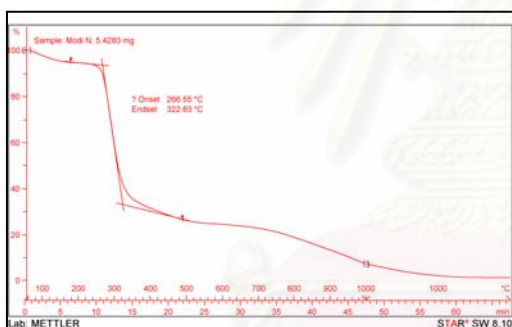
(ข)



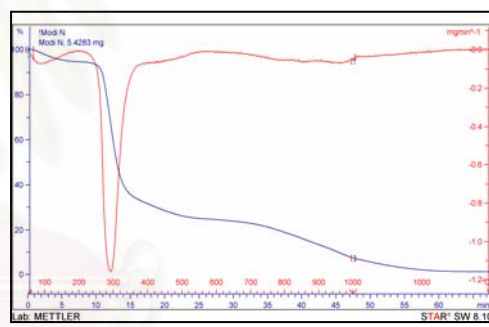
(ค)



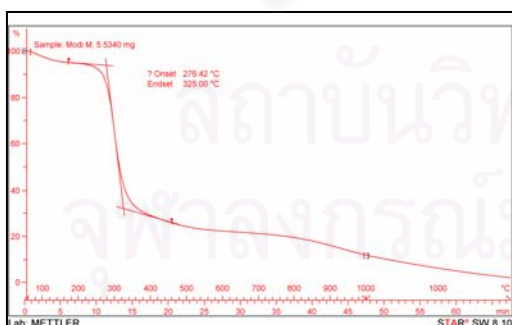
(ง)



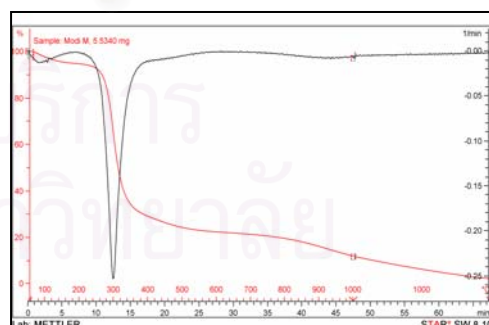
(จ)



(ฉ)

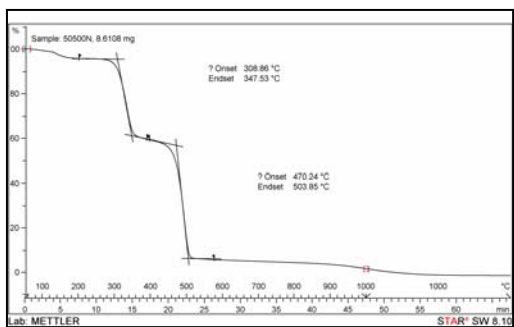


(ช)

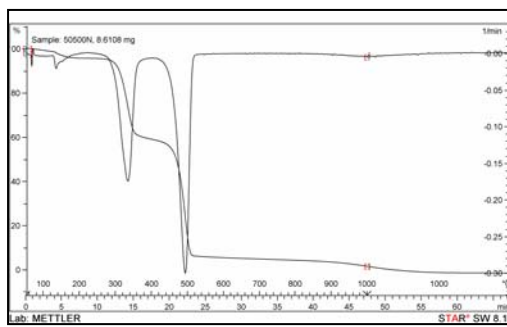


(ฌ)

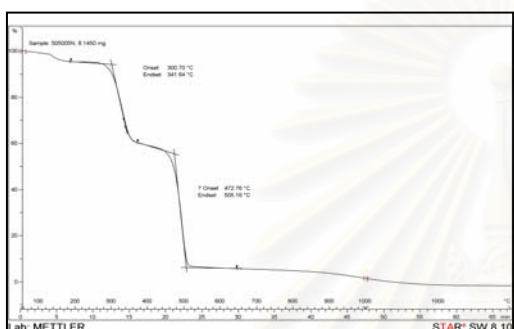
รูปที่ ๒.2 เทอร์โมกราฟิมเมตริกเทอร์โมแกรมของ (ก-ข) แป้งข้าวเหนียว (ค-ง) แป้งมันสำปะหลัง (จ-ช) แป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูป (ฌ-ญ) แป้งมันสำปะหลังตัดแปรรูป



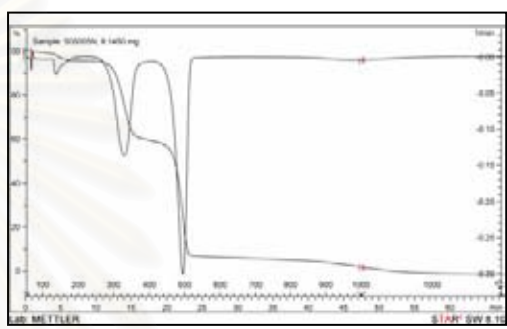
(ก)



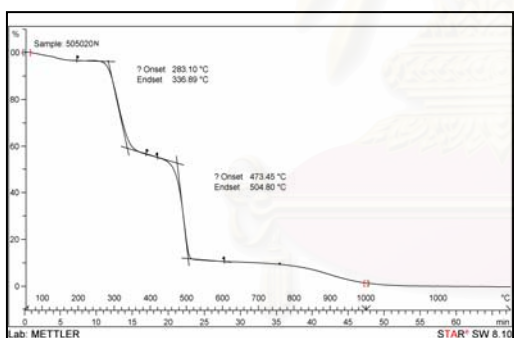
(ข)



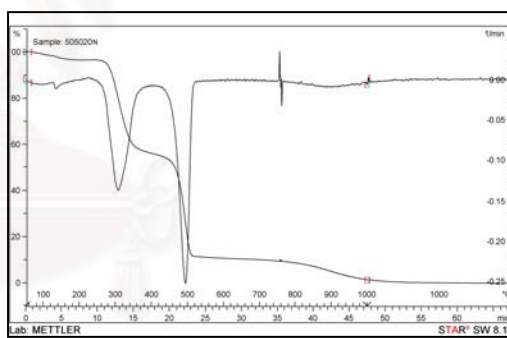
(ค)



(ง)

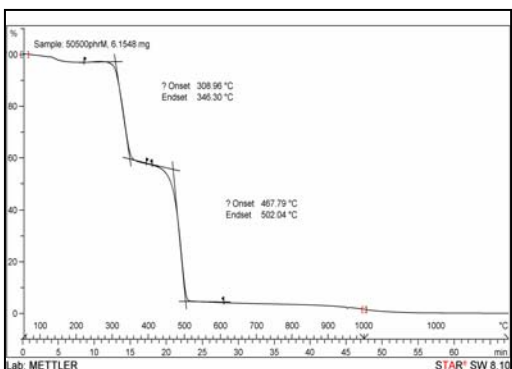


(จ)

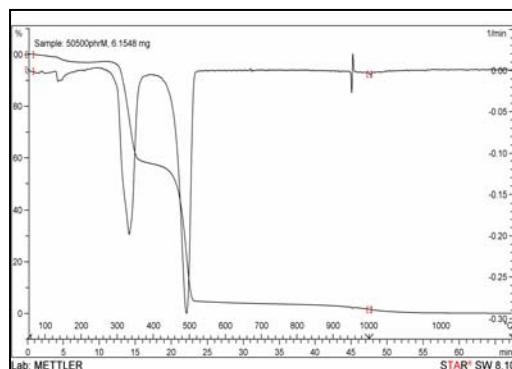


(ฉ)

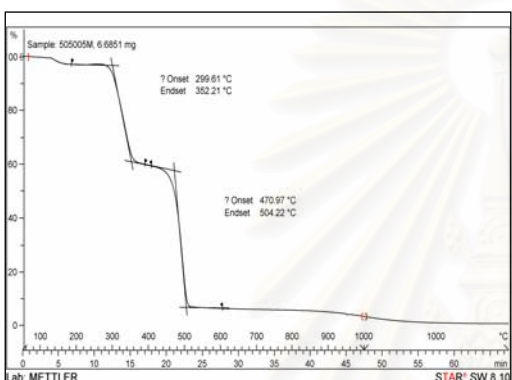
รูปที่ ข.3 เทอร์โมกราฟิมेटริกเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีแป้งข้าวเหนียวตัดแปรต่างๆ กัน คือ (ก-ข) 0 phr (ค-ง) 5 phr (จ-ฉ) 20 phr



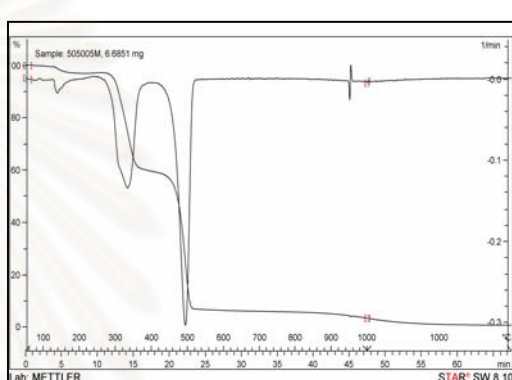
(ก)



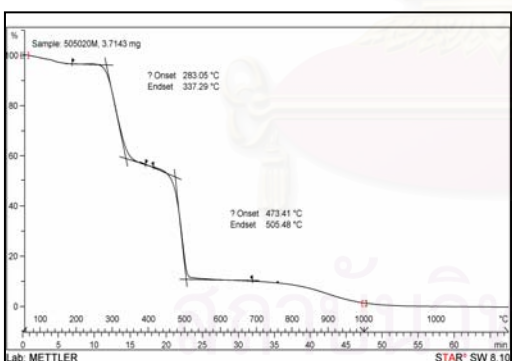
(ข)



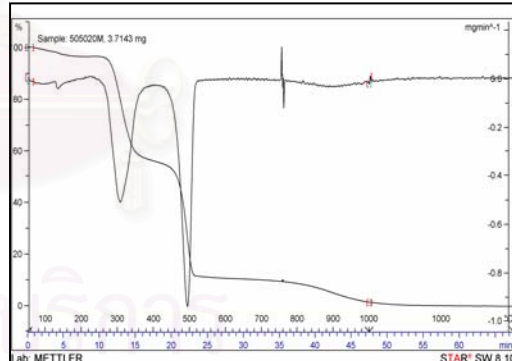
(ค)



(ง)

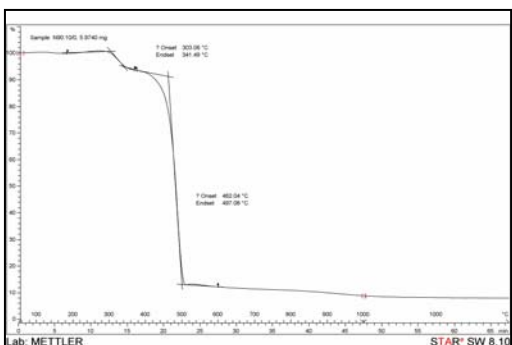


(จ)

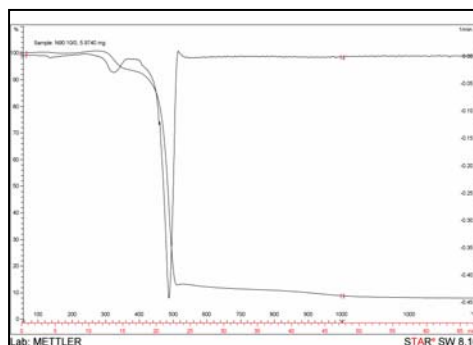


(ฉ)

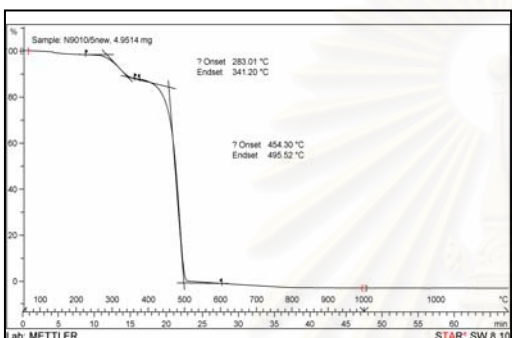
รูปที่ ข.4 เทอร์โมกราฟิมेटริกเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรต่างๆ กัน คือ (ก-ข) 0 phr (ค-ง) 5 phr (จ-ฉ) 20 phr



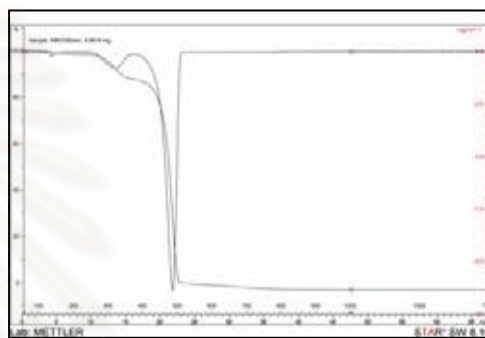
(ก)



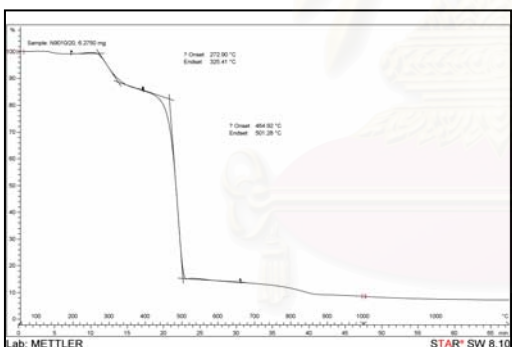
(ข)



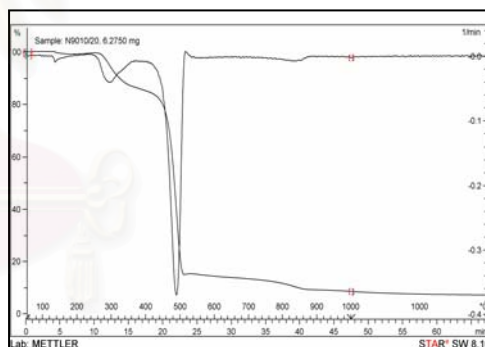
(ค)



(ง)

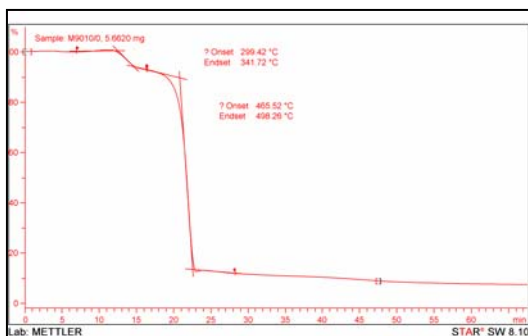


(จ)

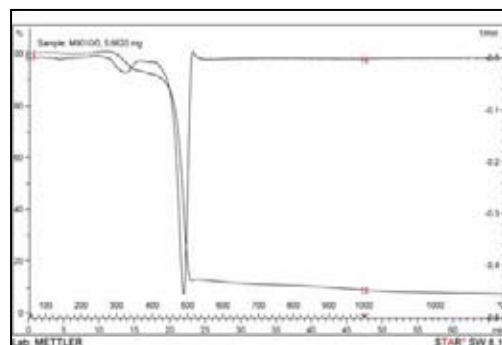


(ฉ)

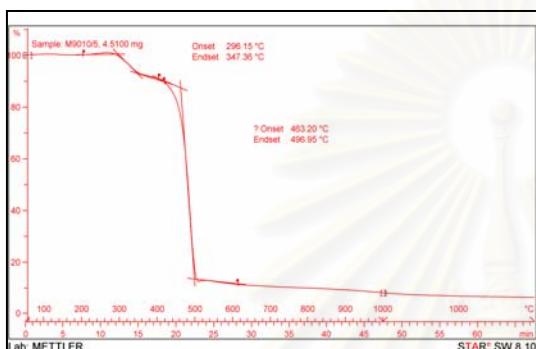
รูปที่ ข.5 เทอร์โมกราฟิมेटริกเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีแป้งข้าวเหนียวตัดแปรต่างๆ กัน คือ (ก-ข) 0 phr (ค-ง) 5 phr (จ-ฉ) 20 phr



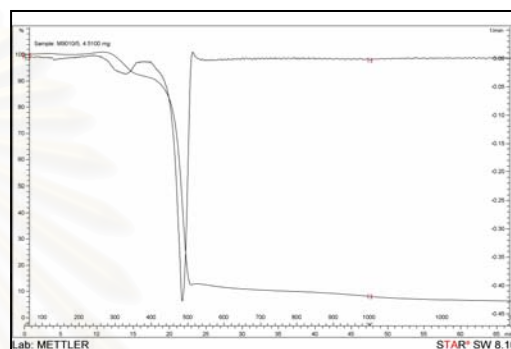
(ก)



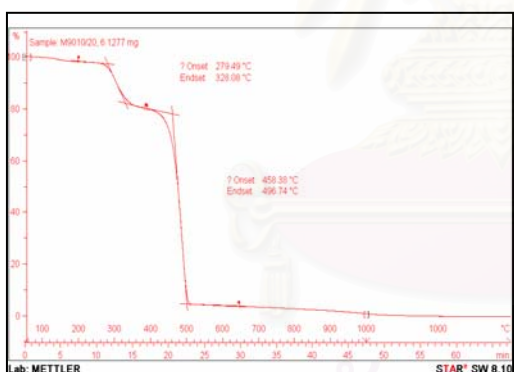
(ข)



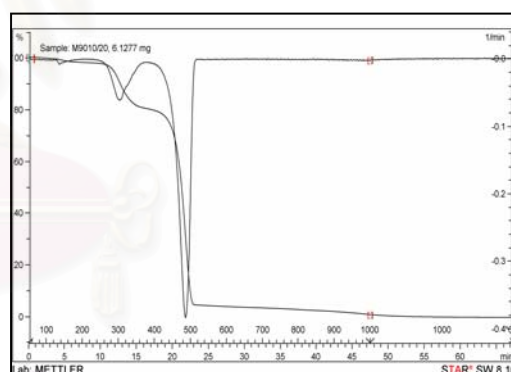
(ค)



(ง)



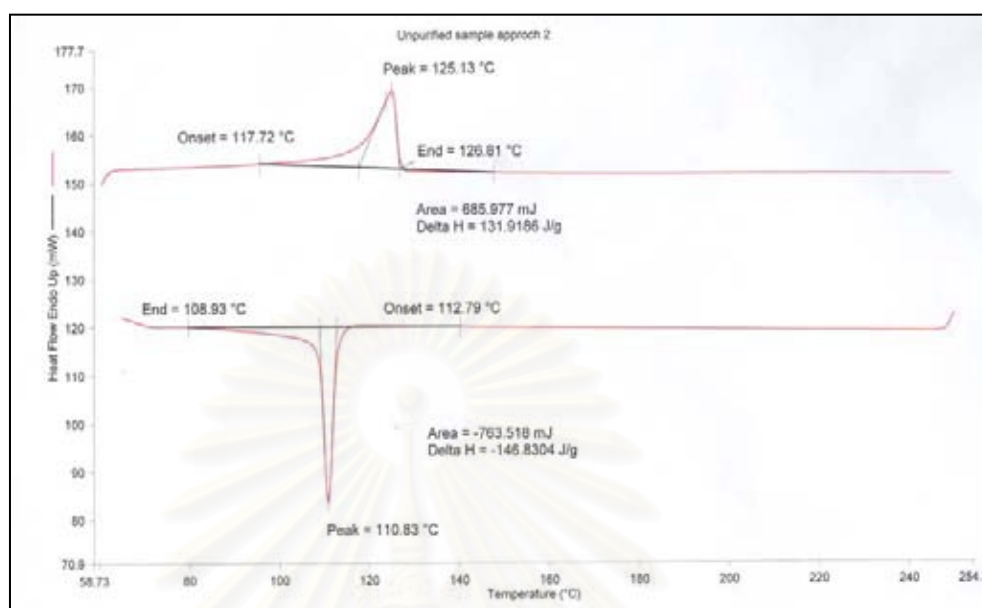
(จ)



(ฉ)

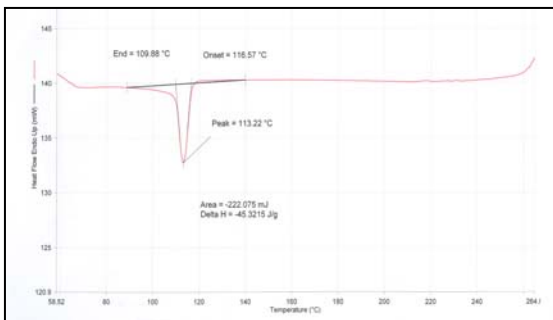
รูปที่ ข.6 เทอร์โมกราฟิมेटริกเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีแป้งมันสำปะหลังคัดแปรต่างๆ กัน คือ (ก-ข) 0 phr (ค-ง) 5 phr (จ-ฉ) 20 phr

การหาอุณหภูมิในการหลอมเหลว (melting temperature, T_m) อุณหภูมิในการเกิดผลึก (crystallization, T_c) ด้วยเทคนิค DSC (Differential Scanning Calorimeter)

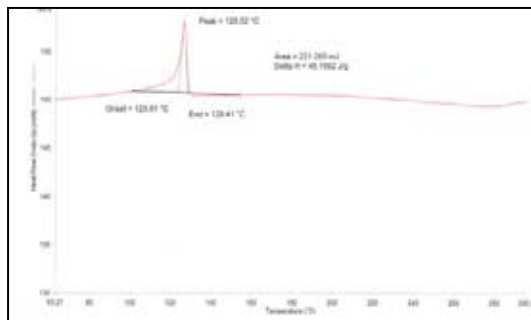


รูปที่ ข.7 ดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตริกเทอร์โมแกรมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

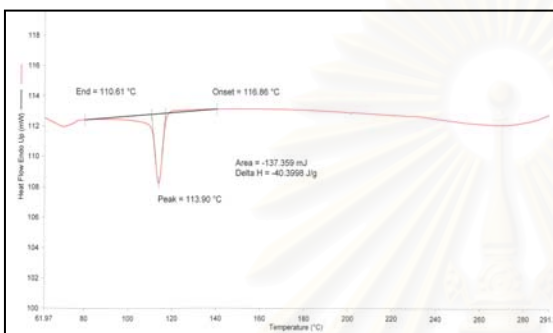
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



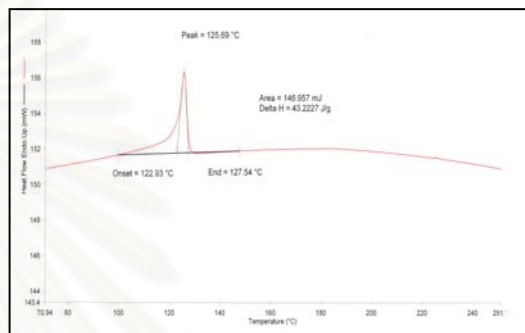
(ก)



(ข)



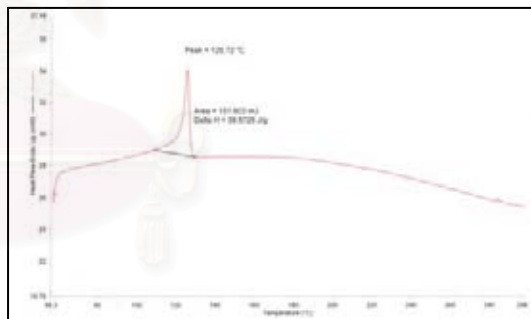
(ค)



(ง)

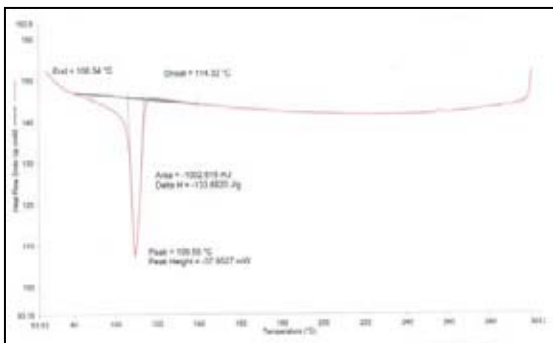


(จ)

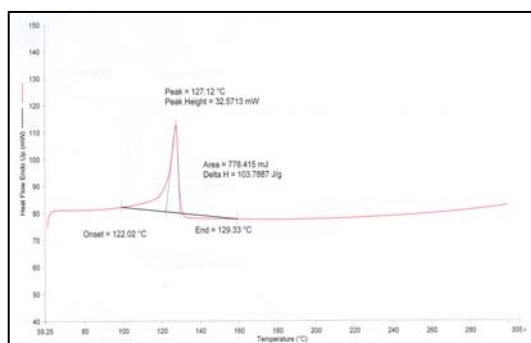


(ฉ)

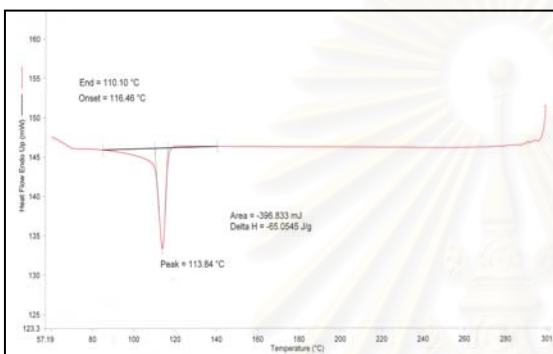
รูปที่ ๗.8 ดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตริกเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีปริมาณแป้งข้าวเหนียวตั้งแต่ 0 phr (ก-ง) 5 phr (จ-ฉ) 20 phr



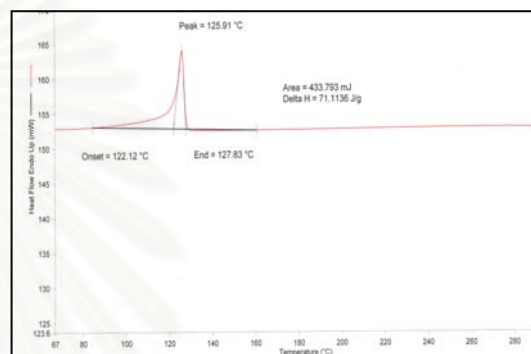
(ก)



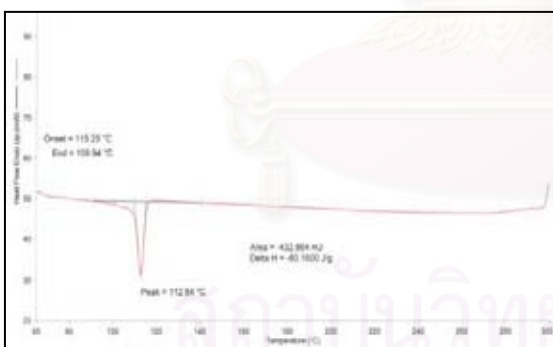
(ข)



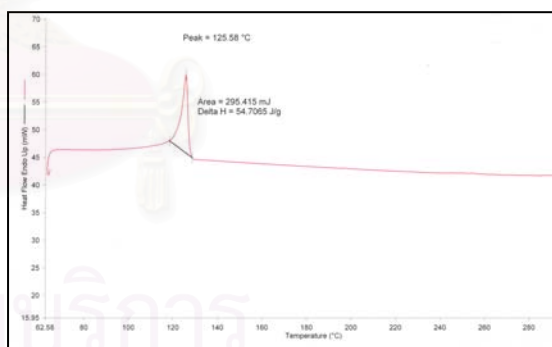
(ค)



(ง)

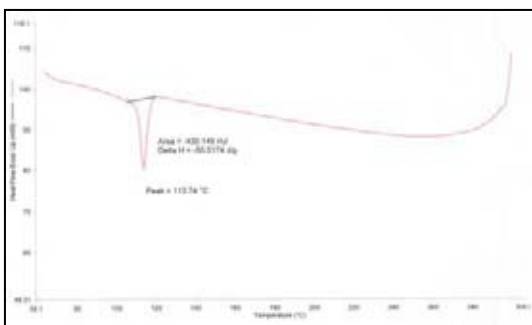


(จ)

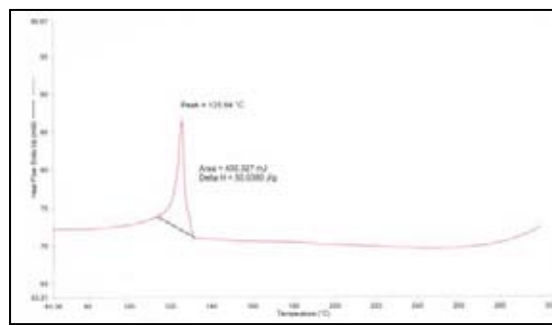


(ฉ)

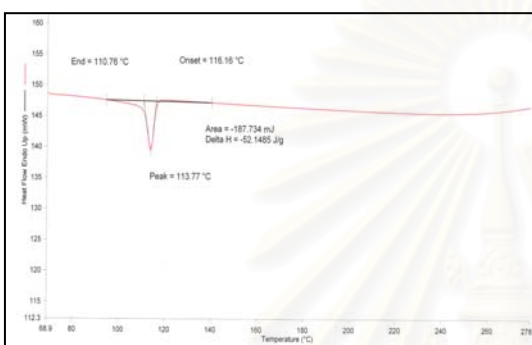
รูปที่ ข.9 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตริกเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีปริมาณแป้งข้าวเหนียวดัดแปร (ก-ข) 0 phr (ค-ง) 5 phr (จ-ฉ) 20 phr



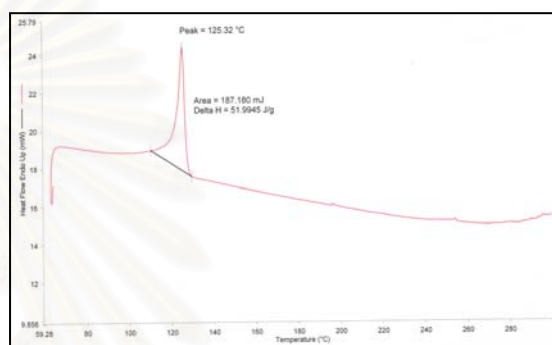
(ก)



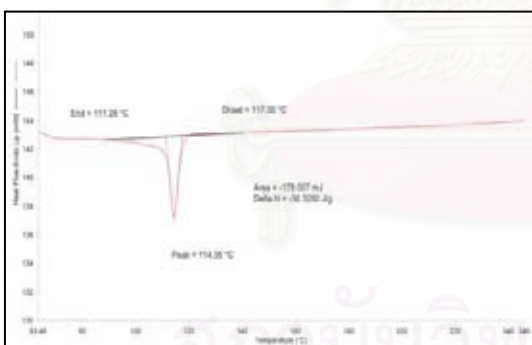
(ข)



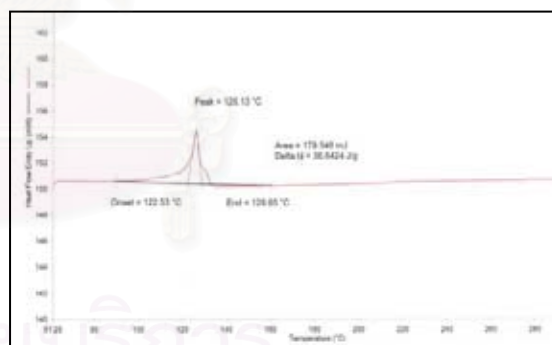
(ค)



(ง)

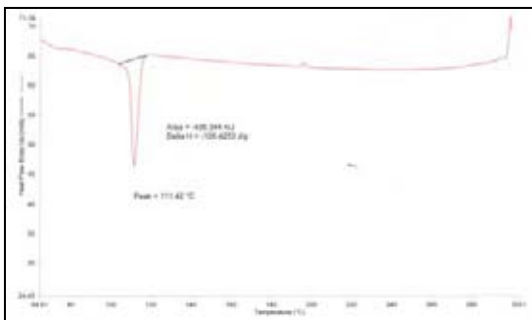


(จ)

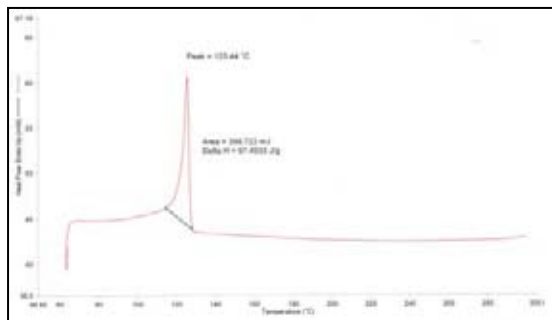


(ฉ)

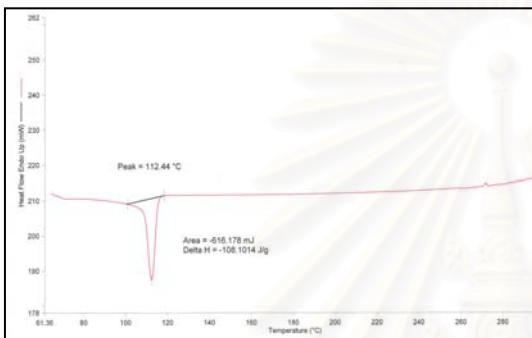
รูปที่ ข.10 ดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตริกเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (ก-ข) 0 phr (ค-ง) 5 phr (จ-ฉ) 20 phr



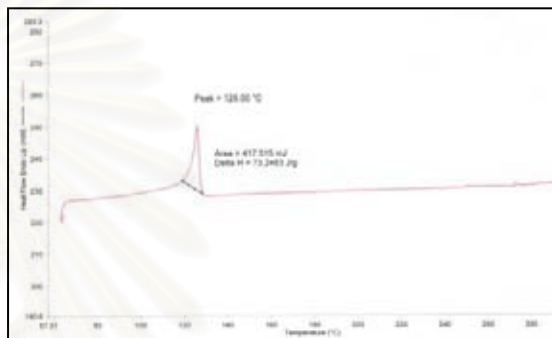
(ก)



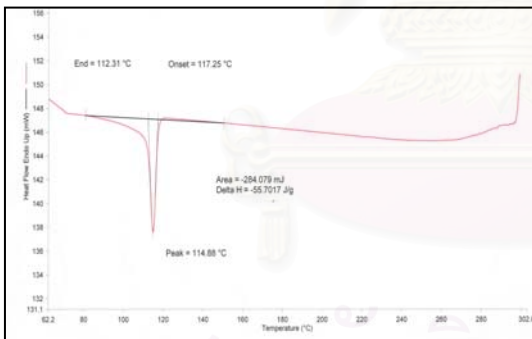
(ข)



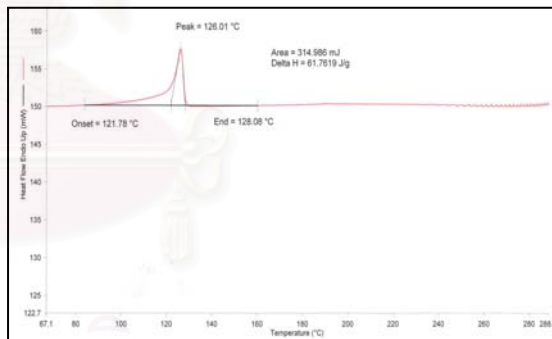
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ ข.11 ดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตริกเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (ก-ข) 0 phr (ค-ง) 5 phr (จ-ฉ) 20 phr

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

ชนิดทดสอบ	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)
1	0.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000
\bar{X}	0.000
S.D.	± 0.000

ตารางที่ ค.2 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีแป้งข้าวเหนียววัดแปรปรมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.139	0.179	0.294	0.289	0.292
2	0.127	0.115	0.214	0.337	0.268
3	0.193	0.172	0.236	0.220	0.276
4	0.197	0.188	0.237	0.259	0.285
5	0.213	0.225	0.220	0.309	0.337
\bar{X}	0.174	0.176	0.240	0.283	0.292
SD.	± 0.038	± 0.003	± 0.032	± 0.045	± 0.027

ตารางที่ ค.3 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 60:40 โดยมีแป้งข้าวเหนียววัดแปรปรมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.111	0.123	0.224	0.292	0.521
2	0.074	0.110	0.193	0.265	0.310
3	0.094	0.167	0.248	0.285	0.018
4	0.093	0.133	0.222	0.191	0.396
5	0.090	0.139	0.203	0.214	0.188
\bar{X}	0.092	0.134	0.218	0.245	0.287
SD.	± 0.013	± 0.020	± 0.020	± 0.040	± 0.193

ตารางที่ ค.4 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 70:30 โดยมีแป้งข้าวเหนียวตัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.011	0.017	0.081	0.080	0.128
2	0.032	0.091	0.075	0.104	0.094
3	0.010	0.064	0.157	0.098	0.156
4	0.062	0.093	0.148	0.317	0.295
5	0.025	0.028	0.174	0.041	0.156
\bar{X}	0.028	0.059	0.127	0.128	0.166
SD.	± 0.020	± 0.035	± 0.045	± 0.110	± 0.080

ตารางที่ ค.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 80:20 โดยมีแป้งข้าวเหนียวตัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.015	0.034	0.060	0.028	0.125
2	0.013	0.023	0.054	0.259	0.179
3	0.011	0.022	0.061	0.043	0.164
4	0.022	0.022	0.063	0.104	0.150
5	0.023	0.029	0.057	0.054	0.136
\bar{X}	0.017	0.026	0.059	0.098	0.151
SD.	± 0.005	± 0.005	± 0.004	± 0.095	± 0.022

ตารางที่ ค.6 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีแป้งข้าวเหนียวตัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.012	0.019	0.058	0.066	0.055
2	0.000	0.036	0.006	0.012	0.081
3	0.012	0.036	0.023	0.036	0.098
4	0.020	0.000	0.037	0.040	0.069
5	0.013	0.030	0.041	0.048	0.066
\bar{X}	0.011	0.024	0.033	0.040	0.074
SD.	± 0.010	± 0.020	± 0.020	± 0.020	± 0.020

ตารางที่ ค.7 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ
 แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.028	0.343	0.132	0.122	0.290
2	0.259	0.072	0.166	0.094	0.230
3	0.043	0.036	0.166	0.151	0.230
4	0.104	0.044	0.107	0.294	0.229
5	0.054	0.198	0.209	0.154	0.190
\bar{X}	0.099	0.139	0.156	0.163	0.234
SD.	± 0.095	± 0.132	± 0.039	± 0.077	± 0.036

ตารางที่ ค.8 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ
 แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 60:40 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.077	0.020	0.110	0.068	0.228
2	0.076	0.131	0.108	0.142	0.219
3	0.060	0.092	0.122	0.150	0.239
4	0.080	0.090	0.112	0.132	0.223
5	0.037	0.114	0.115	0.124	0.213
\bar{X}	0.066	0.090	0.113	0.123	0.224
SD.	± 0.018	± 0.040	± 0.033	± 0.032	± 0.010

ตารางที่ ค.9 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ
 แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 70:30 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.018	0.080	0.123	0.108	0.034
2	0.206	0.095	0.086	0.109	0.353
3	0.029	0.076	0.154	0.120	0.214
4	0.050	0.071	0.020	0.110	0.130
5	0.023	0.065	0.122	0.117	0.149
\bar{X}	0.065	0.077	0.101	0.113	0.176
SD.	± 0.080	± 0.011	± 0.051	± 0.085	± 0.118

ตารางที่ ค.10 เปรอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 80:20 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.105	0.030	0.069	0.037	0.071
2	0.083	0.018	0.070	0.023	0.142
3	0.049	0.047	0.101	0.051	0.153
4	0.019	0.030	0.135	0.102	0.134
5	0.040	0.025	0.058	0.296	0.124
\bar{X}	0.060	0.030	0.087	0.102	0.125
SD.	± 0.034	± 0.010	± 0.030	± 0.113	± 0.003

ตารางที่ ค.11 เปรอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.024	0.028	0.006	0.006	0.050
2	0.018	0.020	0.011	0.031	0.071
3	0.038	0.039	0.017	0.040	0.050
4	0.018	0.018	0.144	0.082	0.106
5	0.006	0.008	0.027	0.033	0.115
\bar{X}	0.021	0.023	0.040	0.050	0.078
SD.	± 0.010	± 0.012	± 0.058	± 0.030	± 0.030

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

ขั้นตอนทดสอบ	น้ำหนักที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
1	0.032
2	0.019
3	0.025
4	0.059
5	0.018
\bar{X}	0.031
S.D.	± 0.017

ตารางที่ ง.2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีแป้งข้าวเหนียวตัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	6.435	15.552	19.631	18.858	29.362
2	5.282	14.401	17.805	24.955	30.333
3	6.951	13.436	19.640	19.774	30.329
4	6.232	3.966	21.774	22.030	30.631
5	7.421	13.932	17.083	25.851	29.017
\bar{X}	6.464	12.257	19.367	22.294	29.934
SD.	± 0.807	± 4.700	± 1.604	± 3.080	± 0.702

ตารางที่ ง.3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 60:40 โดยมีแป้งข้าวเหนียวตัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	4.837	4.348	7.742	15.694	7.506
2	3.983	6.100	11.435	10.279	15.669
3	3.020	2.122	12.388	7.084	17.658
4	4.058	3.202	8.997	9.325	14.283
5	3.318	4.570	9.735	12.016	13.187
\bar{X}	3.843	4.068	10.059	10.080	13.661
SD.	± 0.708	± 1.500	± 1.865	± 3.230	± 3.824

ตารางที่ ง.4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ
แป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 70:30 โดยมีแป้งข้าวเหนียววัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	2.219	3.078	3.874	8.720	10.078
2	1.971	3.082	7.281	11.696	8.285
3	1.377	2.181	6.299	8.947	12.468
4	1.598	2.619	5.325	7.607	6.811
5	1.415	2.322	9.160	5.063	9.583
\bar{X}	1.716	2.656	6.388	8.407	9.445
SD.	± 0.367	± 0.418	± 1.996	± 2.399	± 2.110

ตารางที่ ง.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ
แป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 80:20 โดยมีแป้งข้าวเหนียววัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.587	0.880	1.246	1.452	5.045
2	0.754	0.945	1.560	3.859	4.510
3	0.760	0.978	1.141	1.259	4.600
4	0.735	0.864	1.014	6.153	3.895
5	0.683	0.846	1.255	7.644	4.211
\bar{X}	0.704	0.903	1.243	4.073	4.452
SD.	± 0.070	± 0.056	± 0.202	± 2.820	± 0.432

ตารางที่ ง.6 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ
แป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีแป้งข้าวเหนียวปริมาณต่างๆ เป็นสารช่วยผสม

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.600	0.853	1.343	1.629	1.532
2	0.626	0.753	1.072	1.485	4.268
3	0.618	0.512	1.036	1.530	2.652
4	0.637	0.454	1.044	1.624	2.368
5	0.623	0.802	1.198	1.410	2.520
\bar{X}	0.621	0.675	1.139	1.536	2.668
SD.	± 0.014	± 0.180	± 0.130	± 0.090	± 0.995

ตารางที่ ง.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	1.222	1.313	3.963	3.341	6.063
2	1.246	1.856	3.705	4.709	6.466
3	1.249	2.884	3.117	4.453	6.615
4	1.117	1.322	3.423	4.893	6.042
5	1.233	1.895	3.238	4.690	5.413
\bar{X}	1.213	1.854	3.490	4.417	6.120
SD.	± 0.050	± 0.640	± 0.345	± 0.622	± 0.467

ตารางที่ ง.8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 60:40 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.540	1.597	1.478	2.044	2.633
2	0.560	1.777	1.590	2.386	3.443
3	0.570	1.008	1.643	1.645	2.798
4	0.640	1.752	1.487	1.220	3.194
5	0.500	1.244	1.475	1.777	2.740
\bar{X}	0.561	1.476	1.535	1.814	2.962
SD.	± 0.051	± 0.340	± 0.077	± 0.437	± 0.343

ตารางที่ ง.9 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและ
แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 70:30 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ

phr sample	0	5	10	15	20
1	0.548	1.038	0.716	1.520	1.935
2	0.643	1.353	0.945	1.548	1.459
3	0.498	1.216	0.418	1.273	2.086
4	0.371	1.132	3.510	1.732	2.389
5	0.507	1.152	0.930	1.338	1.596
\bar{X}	0.513	1.178	1.304	1.489	1.893
SD.	± 0.100	± 0.117	± 1.252	± 0.186	± 0.370

ตารางที่ ง.10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 80:20 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ











phr sample	0	5	10	15	20
1	0.446	0.719	1.239	0.975	2.083
2	0.531	1.133	1.229	1.142	1.985
3	0.469	0.752	1.228	1.137	1.698
4	0.503	1.105	0.977	1.118	1.573
5	0.459	0.910	1.113	1.222	1.608
\bar{X}	0.482	0.924	1.157	1.119	1.789
SD.	± 0.035	± 0.190	± 0.113	± 0.090	± 0.230









ตารางที่ ง.11 เปรอ์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีแป้งมันสำปะหลังดัดแปรปริมาณต่างๆ


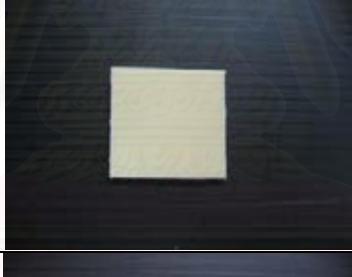
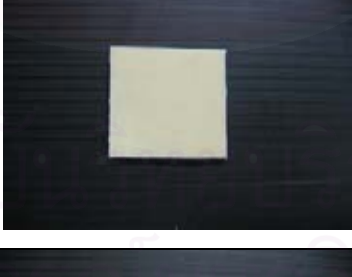
phr sample	0	5	10	15	20
1	0.015	0.809	0.532	0.932	1.369
2	0.165	0.968	0.566	0.975	2.348
3	0.103	0.841	1.876	0.776	1.547
4	0.415	0.954	1.422	0.871	1.090
5	0.525	0.666	1.363	0.859	1.446
\bar{X}	0.245	0.848	1.152	0.883	1.560
SD.	± 0.216	± 0.123	± 0.585	± 0.080	± 0.472






สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย







ตารางที่ ง.12 แสดงภาพก่อนและหลังการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวในแต่ละอัตราส่วน โดยมีแป้งข้าวเหนียวตัดแปรปริมาณต่างๆ

สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
MDPE		
50:50/0		
50:50/5		
50:50/10		
50:50/15		

สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
50:50/20		
60:40/0		
60:40/5		
60:40/10		
60:40/15		
60:40/20		







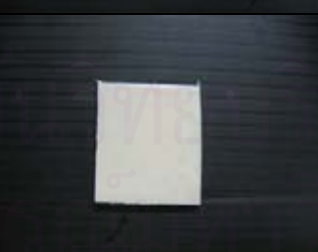

สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
70:30/0		
70:30/5		
70:30/10		
70:30/15		
70:30/20		
80:20/0		











สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
80:20/5		
80:20/10		
80:20/15		
80:20/20		
90:10/0		
90:10/5		







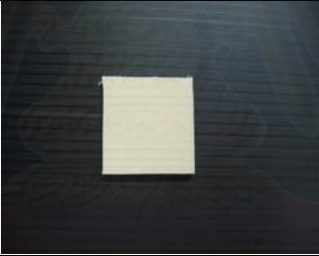
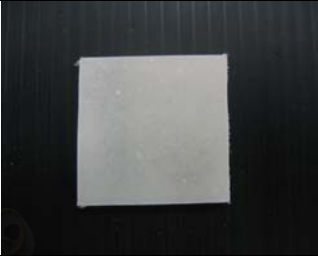


สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
90:10/10		
90:10/15		
90:10/20		












 สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย











ตารางที่ ง.13 แสดงภาพก่อนและหลังการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังในแต่ละอัตราส่วนและมีแป้งมันสำปะหลังตัดแปรปริมาณต่างๆ

สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
50:50/0		
50:50/5		
50:50/10		
50:50/15		
50:50/20		

สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
60:40/0		
60:40/5		
60:40/10		
60:40/15		
60:40/20		








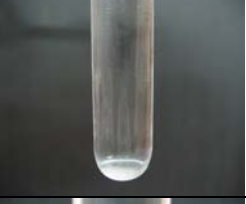




สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
70:30/0		
70:30/5		
70:30/10		
70:30/15		
70:30/20		

สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
80:20/0		
80:20/5		
80:20/10		
80:20/15		
80:20/20		







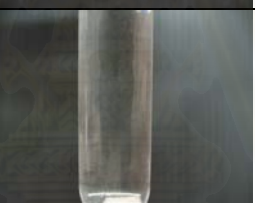


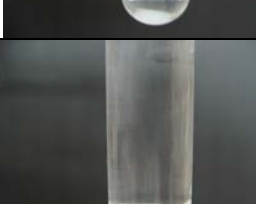
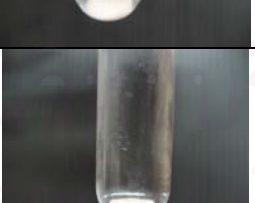

สูตร	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
90:10/0		
90:10/5		
90:10/10		
90:10/15		
90:10/20		

ภาคผนวก จ






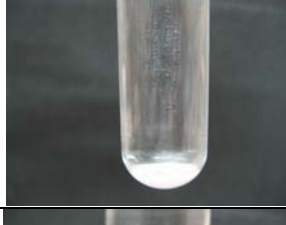
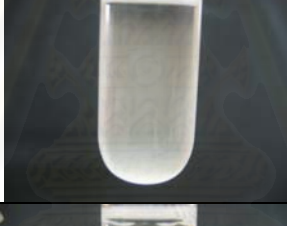

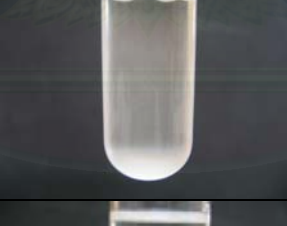



ตารางที่ จ.1 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อตัวทำละลายแต่ละชนิดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







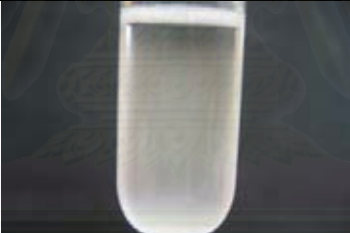





ตารางที่ จ.2 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อตัวทำละลายแต่ละชนิดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		





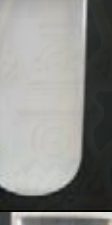







ตารางที่ ๑.3 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของแป้งข้าวเหนียว ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







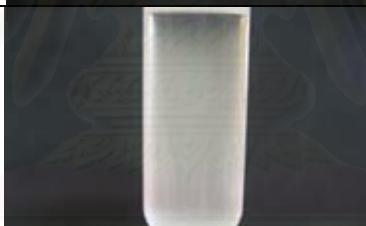



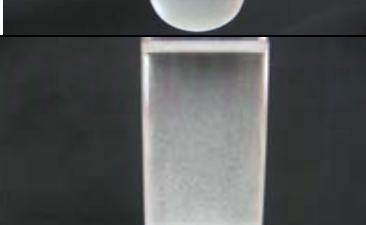

ตารางที่ จ.4 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อตัวทำละลายแต่ละชนิดของแป้งข้าวเหนียว ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







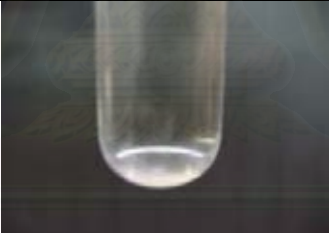





ตารางที่ จ.5 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของแป้งมันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







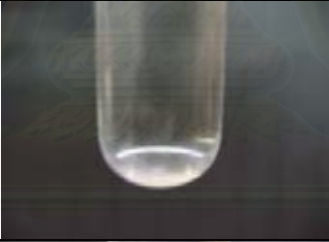





ตารางที่ จ.6 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของแป้งมันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		











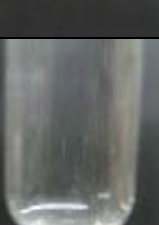

ตารางที่ จ.7 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของแป้งข้าวเหนียวดัดแปร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







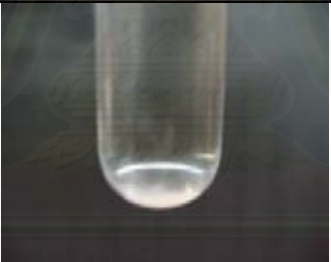





ตารางที่ จ.8 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของแป้งข้าวเหนียวดัดแปร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		


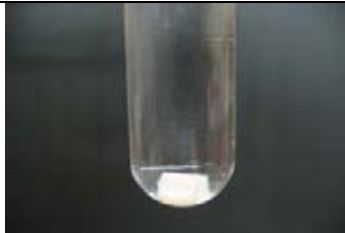










ตารางที่ จ.9 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







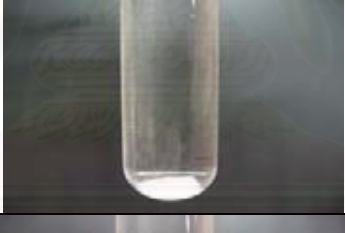





ตารางที่ จ.10 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







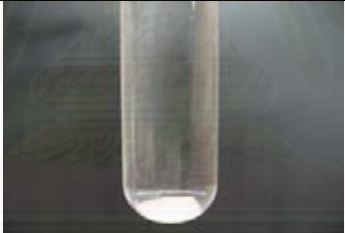





ตารางที่ จ.11 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50/0 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







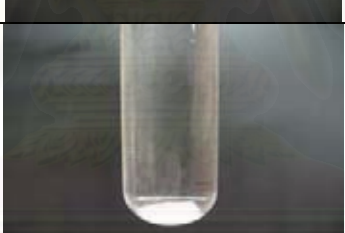





ตารางที่ จ.12 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50/0 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







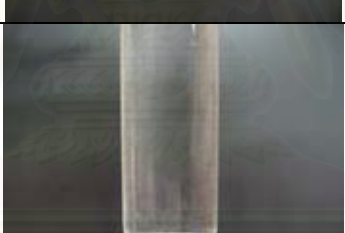

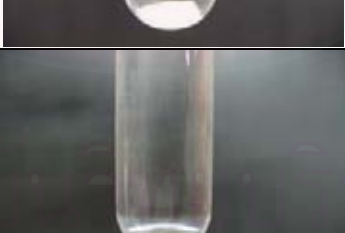


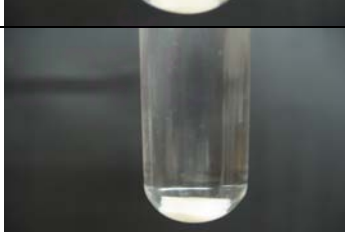
ตารางที่ จ.13 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50/5 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







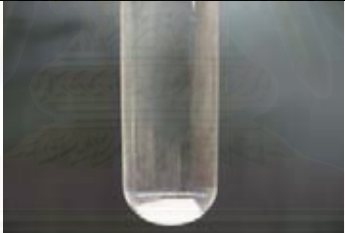





ตารางที่ จ.14 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50/5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







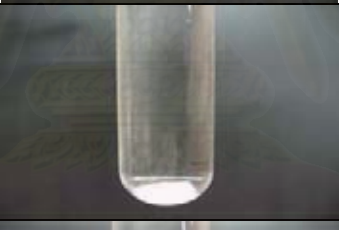





ตารางที่ จ.15 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50/20 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







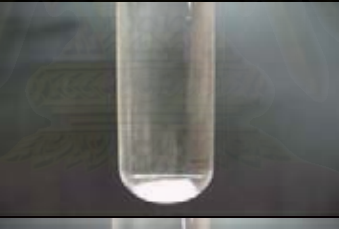





ตารางที่ จ.16 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 50:50/20 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		



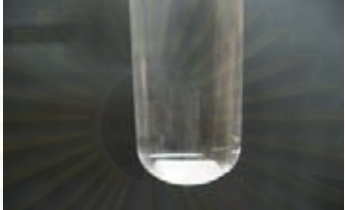



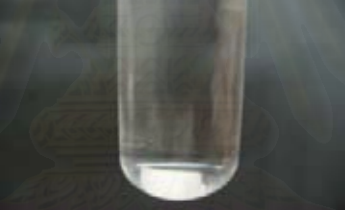

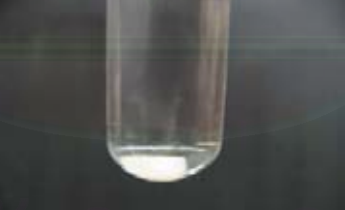



ตารางที่ จ.17 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50/0 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		







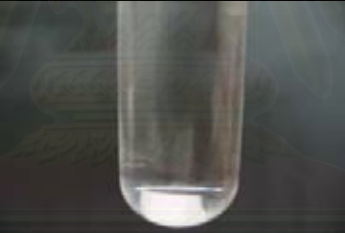

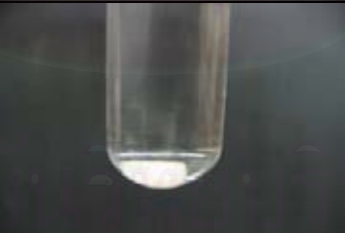



ตารางที่ จ.18 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50/0 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		





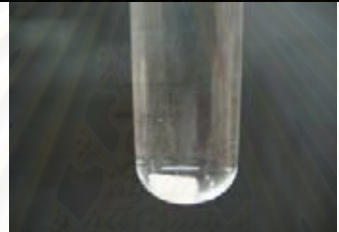

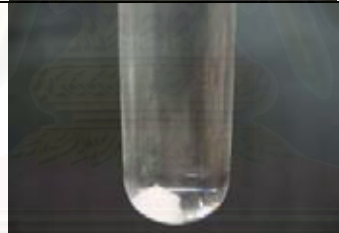





ตารางที่ จ.19 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50/5 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		





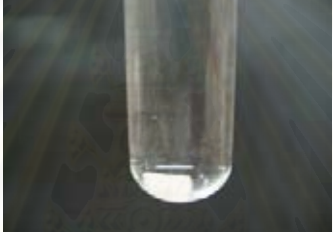

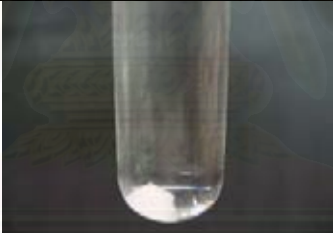





ตารางที่ จ.20 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50/5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		

ตารางที่ จ.21 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50/20 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		

ตารางที่ จ.22 แสดงภาพก่อนและหลังการทดลองความทนทานต่อสารเคมีแต่ละชนิดของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 50:50/20 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สารเคมีที่ใช้	ลักษณะของชิ้นงานก่อนทดลอง	ลักษณะของชิ้นงานหลังทดลอง
น้ำกลั่น		
THF		
Methanol		
Toluene		
Xylene		
Benzene		

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุชลี รอดทั้ง เกิดเมื่อวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดอุดรดิษฐ์ สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ ภาควิชา วิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ศิลปากร ในปี พ.ศ. 2546 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ.2546 สำเร็จการศึกษาในภาคปลาย ปีการศึกษา 2548



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย