

การเตรียมพลาสติกและโพลีเอทิลีนจากแป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต

นายกิตติศักดิ์ จงเสรีกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF BIODEGRADABLE PLASTICS AND FOAMS FROM  
GLUTINOUS STARCH-GRAFT-POLY(METHYL METHACRYLATE)

Mr. Kitisak Jongsarikit

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 2006

Copyright of Chulalongkorn University

492199



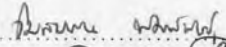
นายกิตติศักดิ์ จงเสรีกิจ : การเตรียมพลาสติกและโฟมที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากแป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต. (PREPARATION OF BIODEGRADABLE PLASTICS AND FOAMS FROM GLUTINOUS STARCH-GRAFT-POLY (METHYL METHACRYLATE)) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.ดวงหทัย เพ็ญตระกูล 124 หน้า.

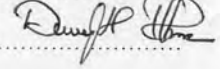
กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งข้าวเหนียวและพอลิเมทิลเมทาคริเลต สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบฟรีเรดิคัล โดยใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ 0.1 กรัม เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาในตุ้มกลางที่เป็นน้ำ ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยปรับเปลี่ยนปริมาณสารตั้งต้นเป็น 2 ภาวะ คือ ภาวะที่ 1 ใช้แป้งข้าวเหนียว 5 กรัม และเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ 5 กรัม สำหรับภาวะที่ 2 ปริมาณแป้งข้าวเหนียว 7.5 กรัม และเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ 2.5 กรัม โดยมีการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นเป็น 5 10 15 20 และ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ การเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์สามารถยืนยันได้จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี และการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลจากการวิเคราะห์คุณลักษณะการกราฟต์ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันเกิดได้ดีกว่าไฮโมพอลิเมอไรเซชันเมื่อความเร็วรอบในการกวนลดลง นอกจากนี้ ยังพบว่า การเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะการกราฟต์อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำกราฟต์โคพอลิเมอร์มาขึ้นรูปเป็นพลาสติกและโฟม ด้วยวิธีการอัดแบบ ที่อุณหภูมิ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้และไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป พลาสติกที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้ภาวะที่ 1 และอัดแบบด้วยอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด ในขณะที่โฟมที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 1 และอัดแบบด้วยอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส มีสมบัติเชิงกลดีที่สุดเช่นกัน

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ  
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิติ..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

# # 4872223323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: biodegradable plastic / graft copolymer / foam / PMMA / glutinous starch

KITISAK JONGSARIKIT : (PREARATION OF BIODEGRADABLE PLASTICS AND FOAMS FROM GLUTINOUS STARCH-GRAFT-POLY(METHYL METHACRYLATE))

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VIMOLVAN PIMPAN, Ph.D. THESIS

COADVISOR : ASST. PROF. DUANGHATHAI PENTRAKOON, Ph.D. 124 pp.

Glutinous starch-g-poly(methyl methacrylate) was synthesized by free radical polymerization using benzoyl peroxide (BPO) 0.1 g as an initiator in aqueous medium at 80°C for 2 hours. The amounts of reactants were varied as 2 conditions. For condition 1, 5 g of glutinous starch and 5 g of methyl methacrylate monomer were used. For condition 2, 7.5 g of glutinous starch and 2.5 g of methyl methacrylate monomer were used. The amounts of the reactants were increased to 5, 10, 15, 20 and 50 times of lab scale. The formation of graft copolymers was confirmed by FT-IR spectroscopy and scanning electron microscopy. Grafting characteristics showed that graft copolymerization was more favorable than homopolymerization when decreasing stirring speed. In addition, it was found that an increase in the batch size did not significantly affect the grafting characteristics. To prepare plastic and foam products, graft copolymers were then compressed using compression molding at 170, 180 and 190 °C. It was found that both products were biodegradable and did not dissolve in common solvents. The plastic prepared from graft copolymer synthesized using first condition and compressed at 170 °C exhibited the best mechanical properties. The foam prepared from graft copolymer synthesized using first condition and compressed at 190 °C also exhibited the best mechanical properties.

Department Materials Science

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Academic year 2006

Student's signature.....  
*Kitisk J.*

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

Co-advisor's signature.....  
*Duangthai Pentrakoon*

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงหทัย เพ็ญตระกูล ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำงานวิจัย รวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจตุจักร รองศาสตราจารย์ อรุษา สรวารี และรองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำ และตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบริษัท ไทยวา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แบ่งข้าวเหนียวที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบพระคุณบริษัท Sumipex (Thailand) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เมทิลเมทาคริเลต มอนอเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์สารต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้แก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจ จนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทรรศน์.....	3
2.1 แบ่ง.....	3
2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของแบ่ง.....	4
2.1.1.1 อะไมโลส.....	4
2.1.1.2 อะไมโลเพกติน.....	5
2.1.2 สมบัติทางกายภาพของแบ่งข้าวเหนียว.....	7
2.1.3 การนำแบ่งมาทำเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....	7
2.2 พอลิเมทิลเมทาคริลิต.....	8
2.3 การจำแนกประเภทของพอลิเมอโรเซชัน.....	9
2.3.1 พอลิเมอโรเซชันแบบแขนกลอย.....	10
2.4 กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	11
2.4.1 การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแบ่ง.....	12
2.4.1.1 การริเริ่มด้วยการฉายรังสี.....	13
2.4.1.2 การริเริ่มด้วยการใช้สารเคมี.....	14
2.5 พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้.....	22
3. วิธีการทดลอง.....	26
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	26

บทที่	หน้า
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์และขึ้นรูป.....	26
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	27
3.4 ขอบเขตการทดลอง.....	28
3.5 การสังเคราะห์แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	30
3.5.1 การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	31
3.5.2 การสกัดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยตัวทำละลาย.....	32
3.5.3 การไฮโดรลิซิสกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยกรด.....	33
3.6 การสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง.....	34
3.7 การศึกษาคุณลักษณะการกราฟต์.....	35
3.7.1 การดำเนินไปของปฏิกิริยา.....	35
3.7.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์.....	35
3.7.3 การเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	35
3.7.4 ประสิทธิภาพในการกราฟต์.....	35
3.7.5 สัดส่วนการกราฟต์.....	36
3.7.6 เปอร์เซ็นต์แอดออน.....	36
3.8 การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	36
3.8.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี.....	36
3.8.2 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล.....	37
3.8.3 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....	38
3.8.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	39
3.9 ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์.....	39
3.9.1 พลาสติก.....	39
3.9.2 โฟม.....	40
3.10 การทดสอบสมบัติต่างๆของพลาสติกและที่เตรียมได้.....	40
3.10.1 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	40
3.10.2 การทดสอบความทนทานต่อสารเคมี.....	41
3.10.3 การทดสอบความทนแรงกระแทก.....	41
3.10.4 การทดสอบสมบัติด้านแรงดัดโค้ง.....	43
3.10.5 ทดสอบความหนาแน่นของโฟม.....	44
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	45



4.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟโคพอลิเมอร์.....	45
4.2 โครงสร้างทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟโคพอลิเมอร์.....	47
4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	52
4.4 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ต่อคุณลักษณะการกราฟต์.....	55
4.4.1 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อการดำเนินไปของปฏิกิริยา.....	55
4.4.2 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อปริมาณผลิตผล.....	56
4.4.3 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์.....	57
4.4.4 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อการเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	58
4.4.5 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อสัดส่วนการกราฟต์.....	59
4.4.6 ผลของการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นต่อเปอร์เซ็นต์แอดออน.....	60
4.5 ความถี่ของการกราฟต์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	61
4.6 สมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์..	62
4.7 ผลของอุณหภูมิการอัดแบบต่อลักษณะและสมบัติของแผ่นพลาสติกที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	67
4.7.1 ลักษณะของแผ่นพลาสติก.....	67
4.7.2 สมบัติเชิงกลของแผ่นพลาสติก.....	68
4.7.2.1 สมบัติด้านแรงดัดโค้ง.....	68
4.7.2.2 ความทนแรงกระแทก.....	70
4.7.3 ความทนทานต่อสารเคมี.....	70
4.7.4 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก.....	72
4.8 ผลของอุณหภูมิการอัดแบบต่อลักษณะและสมบัติของแผ่นโฟมที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	73
4.8.1 ลักษณะของแผ่นโฟม.....	73
4.8.2 สมบัติเชิงกลของแผ่นโฟม.....	76
4.8.2.1 สมบัติด้านแรงดัดโค้ง.....	76
4.8.2.2 ความทนแรงกระแทก.....	78
4.8.3 ความทนทานต่อสารเคมี.....	78
4.8.4 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	80

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	82
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	82
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก.....	88
ภาคผนวก ข.....	91
ภาคผนวก ค.....	100
ภาคผนวก ง.....	109
ภาคผนวก จ.....	114
ภาคผนวก ฉ.....	122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	124

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งแต่ละชนิด.....	7
ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตตามภาวะที่ 1.....	30
ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตตามภาวะที่ 2.....	30
ตารางที่ 4.1 ความถี่การกราฟต์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	62
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียวและพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	65
ตารางที่ 4.3 ขั้นตอนและอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อนและหลังสกัดด้วยตัวทำละลาย ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	66
ตารางที่ 4.4 ลักษณะของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกันสำหรับภาวะที่ 1.....	67
ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการละลายของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบที่อุณหภูมิต่างกัน.....	71
ตารางที่ 4.6 ภาพถ่ายลักษณะแผ่นพลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นระยะเวลา 30 วัน..	72
ตารางที่ 4.7 ลักษณะของโฟมที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน.....	74
ตารางที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ของโฟมทั้ง 2 ภาวะ ที่อุณหภูมิการอัดแบบต่างกัน.....	75
ตารางที่ 4.9 ความสามารถในการละลายของแผ่นโฟมภาวะที่ 1 ที่ได้จากการอัดแบบที่อุณหภูมิต่างกัน.....	79
ตารางที่ 4.10 ความสามารถในการละลายของแผ่นโฟมภาวะที่ 2 ที่ได้จากการอัดแบบที่อุณหภูมิต่างกัน.....	80
ตารางที่ 4.11 ภาพถ่ายลักษณะของแผ่นโฟมที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นระยะเวลา 30 วัน.....	81

สารบัญภาพ

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของแป้งและเซลลูโลส.....	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลส.....	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพกติน.....	6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	11
รูปที่ 2.5 กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้ง.....	12
รูปที่ 2.6 กลไกการกราฟต์โดยการริเริ่มด้วยซิริกไอออน.....	14
รูปที่ 2.7 กลไกการกราฟต์โดยการริเริ่มด้วยหมู่เปอร์ซัลเฟต.....	15
รูปที่ 2.8 กลไกการกราฟต์โดยการริเริ่มด้วยแมงกานีสไอออน.....	16
รูปที่ 2.9 กลไกการริเริ่มปฏิกิริยาด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์-กรดแอสคอบิก.....	17
รูปที่ 2.10 การแตกตัวของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์.....	18
รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง.....	29
รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์แป้งข้าวเหนียวกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต เมื่อเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ที่ 20 และ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ.....	32
รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์การสกัดซอกซ์เลต.....	33
รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์การไฮโดรลิซิสกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยกรด.....	34
รูปที่ 3.5 ฟลูออโรเมตริกสเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ของ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One.....	37
รูปที่ 3.6 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟของ Waters รุ่น 600 Controller .....	38
รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ JEOL รุ่น JSM-6480LV.....	38
รูปที่ 3.8 เทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA 851.....	39
รูปที่ 3.9 เครื่องอัดแบบ (compression molding, Lab tech engineering รุ่น LP-S-50).....	40
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก Gotech รุ่น GT-7045MD.....	42
รูปที่ 3.11 เครื่องบดชิ้นงาน.....	42
รูปที่ 3.12 ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D256-04 (type Izod).....	42
รูปที่ 3.13 LLOYD Universal Testing Machine model 500.....	43
รูปที่ 3.14 ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 790-95.....	43
รูปที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไอออน.....	46

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.2	แบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย... 46
รูปที่ 4.3	ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย..... 46
รูปที่ 4.4	กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตซึ่งได้จากการปฏิกริยาไฮโดรลิซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก..... 47
รูปที่ 4.5	อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้ภาวะที่ 1 ระดับปฏิบัติการ : (a) แบ่งข้าวเหนียว (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง (c) แบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อน และ (d) หลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย (e) ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และ (f) กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต..... 49
รูปที่ 4.6	อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้ภาวะที่ 1 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ : (a) แบ่งข้าวเหนียว (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง (c) แบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อน และ (d) หลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย (e) ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และ (f) กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต..... 50
รูปที่ 4.7	อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้ภาวะที่ 2 ระดับปฏิบัติการ : (a) แบ่งข้าวเหนียว (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง (c) แบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อน และ (d) หลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย (e) ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และ (f) กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต..... 51
รูปที่ 4.8	อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้ภาวะที่ 2 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ : (a) แบ่งข้าวเหนียว (b) พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ้างอิง (c) แบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตก่อน และ (d) หลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย (e) ไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และ (f) กราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต..... 52
รูปที่ 4.9	ภาพถ่าย SEM ของแบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งสังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 1 ระดับปฏิบัติการ..... 53
รูปที่ 4.10	ภาพถ่าย SEM ของแบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งสังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 2 ระดับปฏิบัติการ..... 54
รูปที่ 4.11	ภาพถ่าย SEM ของแบ่งข้าวเหนียวที่กราฟต์ ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งสังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 1 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ..... 54

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM ของแป้งข้าวเหนียวที่กราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งสังเคราะห์โดยใช้ภาวะที่ 2 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ.....	54
รูปที่ 4.13 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อการดำเนินไปของปฏิกิริยา.....	55
รูปที่ 4.14 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อปริมาณผลิตผล.....	56
รูปที่ 4.15 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพในการกราฟต์.....	57
รูปที่ 4.16 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อการเกิดไฮโมพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	58
รูปที่ 4.17 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อสัดส่วนการกราฟต์.....	59
รูปที่ 4.18 ผลของการเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์ต่อเปอร์เซ็นต์แอดออน.....	60
รูปที่ 4.19 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์เมื่อใช้ภาวะที่ 1 ระดับปฏิบัติการ.....	63
รูปที่ 4.20 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์เมื่อใช้ภาวะที่ 2 ระดับปฏิบัติการ.....	63
รูปที่ 4.21 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้ภาวะที่ 1 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ.....	64
รูปที่ 4.22 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์เมื่อใช้ภาวะที่ 2 ที่ 50 เท่าของระดับปฏิบัติการ.....	64
รูปที่ 4.23 ความทนแรงดัดโค้งของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน...	68
รูปที่ 4.24 ระยะเวลาดัดโค้งของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน.....	69
รูปที่ 4.25 มอดุลัสดัดโค้งของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน.....	69
รูปที่ 4.26 ความทนแรงกระแทกของแผ่นพลาสติกที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน.	70
รูปที่ 4.27 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพลาสติก.....	72
รูปที่ 4.28 ความทนแรงดัดโค้งของแผ่นโฟมที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน.....	76
รูปที่ 4.29 ระยะเวลาดัดโค้งของแผ่นโฟมที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน.....	77
รูปที่ 4.30 มอดุลัสดัดโค้งของแผ่นโฟมที่ได้จากการอัดแบบโดยใช้อุณหภูมิต่างกัน.....	77
รูปที่ 4.31 ความทนแรงกระแทกของแผ่นโฟมที่ได้จากการอัดแบบที่อุณหภูมิต่างกัน.....	78
รูปที่ 4.32 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของโฟม.....	81