ผลของสารเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต/พอลิคาร์บอเนตโดยกระบวนการอัดรีดรีแอกทีฟ

นายนิรันดร์ ไทยปรีชา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0383-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20601517

EFFECTS OF TRANSESTERIFICATION CATALYSTS ON COMPATIBILITY OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE)/POLYCARBONATE BLENDS BY REACTIVE EXTRUSION PROCESS

Mr. Nirun Thaipreecha

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0383-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสารเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต/พอลิคาร์บอเนตโดยกระบวนการอัดรีดรีแอกทีฟ
โดย	นายนิรันดร์ ไทยปรีชา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ดวงดาว อาจองค์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. ดวงดาว อาจองค์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

นายนิรันดร์ ไทยปรีชา : ผลของสารเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต/พอลิคาร์บอเนตโดยกระบวนการอัดรีดรีแอกทีฟ. (EFFECTS OF TRANSESTERIFICATION CATALYSTS ON COMPATIBILITY OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE)/POLYCARBONATE BLENDS BY REACTIVE EXTRUSION PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. ดวงดาว อาจองค์, 111 หน้า. ISBN 974-03-0383-8.

การผสมพอลิเมอร์แบบรีแอกทีฟระหว่างพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และบิสฟีนอลเอพอลิคาร์บอเนต (PC) ในอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว เครื่องอัดรีดสกรูคู่ และเครื่องบราเบนเดอร์ ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้แก่ แอนทิมอนีไตรออกไซด์ (Sb_2O_3) และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) พบว่าการใช้เครื่องบราเบนเดอร์เท่านั้นที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ โดยเมื่อใช้สารเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการผสมที่แตกต่างกันในการผสมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์แล้วทำการวิเคราะห์อุณหภูมิกลาสทรานซิชันด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริเมทรี (DSC) พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาแอนทิมอนีไตรออกไซด์ปริมาณ 1.5% สามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ที่อุณหภูมิในการผสม 270 °C ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ในปริมาณ 1.5% สามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ด้วยการใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 290 °C ในขณะที่ถ้าพิจารณาในแง่ของอุณหภูมิในการผสมพบว่าการใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 290 °C ร่วมกับการใช้สารเร่งปฏิกิริยาแอนทิมอนีไตรออกไซด์ปริมาณ 0.75% สามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ต้องใช้ในปริมาณถึง 1.5% จึงจะสามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ โดยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตและพอลิคาร์บอเนตที่มีความเข้ากันได้จะมีอุณหภูมิกลาสทรานซิชันใกล้เคียงกับอุณหภูมิกลาสทรานซิชันที่คำนวณได้จากสมการของฟอกซ์ (Fox's equation)

นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิในการผสมและปริมาณสารเร่งปฏิกิริยามีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลและเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วย โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการผสมและ/หรือใช้ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่สูงขึ้นจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลและเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมลดลง

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....นิรันดร์ ไทยปรีชา.....
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2544

4272324523 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: transesterification / poly(ethylene terephthalate) / polycarbonate / PET / PC / reactive blending / antimony trioxide / zinc oxide / catalyst

NIRUN THAIPREECHA : EFFECTS OF TRANSESTERIFICATION CATALYSTS ON COMPATIBILITY OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) /POLYCARBONATE BLENDS BY REACTIVE EXTRUSION PROCESS. THESIS ADVISOR : DR. DUANGDAO AHT-ONG, 111 pp. ISBN 974-03-0383-8.

Reactive blending of poly(ethylene terephthalate) (PET) and bisphenol A polycarbonate (PC) in composition of 50:50 by weight with transesterification catalysts, antimony trioxide (Sb_2O_3) and zinc oxide (ZnO), was performed in single screw extruder, twin screw extruder and Brabender. It was found that only the Brabender can make polymer blends compatible. The compatibility of the blends with various catalyst contents and different mixing temperatures was investigated by differential scanning calorimeter (DSC). The results showed that polymer blend with 1.5% antimony trioxide became compatible when the mixing temperature was 270 ^{o}C, while polymer blend with 1.5% zinc oxide was compatible at higher temperature of mixing, i.e., 290 ^{o}C. Considering at the mixing temperature of 290 ^{o}C, the results revealed that polymer blend with 0.75% antimony trioxide achieved the compatibility, whereas the higher amount of zinc oxide, 1.5%, was required in order to make the blend compatible. It was also found that the glass transition temperature of compatible blends was in good agreement with the theoretical prediction from Fox's equation.

In addition, it was found that not only mixing temperature but catalyst content also affected the molecular weight and the thermal stability of the PET/PC blends. Furthermore, high mixing temperature and/or high catalyst content decreased molecular weight and thermal stability of the blends.

Department Materials Science Student's signature Nirun Thaipreecha

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้นั้น เนื่องจากการได้รับการสนับสนุนและความเอื้อเฟื้อทางด้านอาคารสถานที่ เครื่องมือ และวัตถุดิบสำหรับการดำเนินงาน ตลอดจนได้รับความแนะนำทางวิชาการ และความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังรายนามต่อไปนี้

อาจารย์ ดร. ดวงดาว อาจองค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ รศ. ไพพรรณ สันติสุข และ รศ. อรอุษา สรวารี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ อาจารย์ ดร. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ที่ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์

บริษัท ไทยชินกงอินดัสตรีคอร์ปอเรชั่น จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต บริษัท ไทยโพลิคาร์บอเนต จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนต บริษัท โฟโมซ่า ออร์แกนิค เคมิคอล อินดัสตรี จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำพอลิเมอร์ผสม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือในการตรวจสอบสมบัติเฉพาะ

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณสุวิชชา กิตติกุลพันธ์ รุ่นพี่ภาควิชาวัสดุศาสตร์สำหรับความอนุเคราะห์สารเคมีหลายๆ ชนิด และเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอทุกคน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณอุดมศักดิ์ พาลี คุณนพดล เกิดดอนแฝก สำหรับคำปรึกษาที่มีประโยชน์ คุณวีระเดช กีรติธนวิทย์ สำหรับหนังสือหลายๆ เล่ม คุณพูลสิริ รัตนนิยมกุล สำหรับการสนับสนุนในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ข้าพเจ้าจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ง

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

2 ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์ 3

2.1 ความเข้ากันได้ของวัสดุผสม 3

2.2 กระบวนการทำให้พอลิเมอร์มีความเข้ากันได้ 4

2.2.1 ความเข้ากันได้ทางอุณหพลศาสตร์ 4

2.2.2 การเติมบล็อกหรือกราฟท์โคพอลิเมอร์ 5

2.2.3 การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน 6

2.2.4 การผสมแบบรีแอคทีฟ 6

2.3 กระบวนการผสม 7

2.3.1 เครื่องผสมภายในแบบทีละชุด 8

2.3.2 การผสมแบบต่อเนื่อง 9

2.4 การตรวจสอบสมบัติเฉพาะของวัสดุผสม 11

2.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์ 12
2.4.2 การวิเคราะห์ทางเทอร์โมแกรวิเมทรี 13
2.4.3 การหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยเครื่องเจลเปอร์มีเอชันโครมาโทกราฟี 14
2.4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี 15
2.5 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต 17
2.5.1 วัตถุดิบ 17
2.5.2 การผลิตพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต 18
2.5.3 สมบัติของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต 20
2.5.4 การใช้งาน 22
2.6 พอลิคาร์บอเนต 22
2.6.1 วัตถุดิบ 23
2.6.2 การผลิตพอลิคาร์บอเนต 24
2.6.2.1 ฟอสจีเนชันโดยตรง 24
2.6.2.2 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน หรือ เอสเทอร์อินเทอร์เชนจ์ 26
2.6.3 สมบัติของพอลิคาร์บอเนต 28
2.6.4 การใช้งาน 30
2.7 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 30
3 การทดลอง 36
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี 36
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 36
3.3 วิธีการทดลอง 37
3.3.1 ขั้นตอนการผสม 37
3.3.2 การตรวจสอบสมบัติเฉพาะ 39
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 42

4.1 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET กับ PC 42
4.1.1 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ผสมที่ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว 42
4.1.2 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ผสมที่ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่.. 43
4.1.3 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ผสมที่ทำการผสมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ 44
4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลวและปริมาณผลึก 51
4.3 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของพอลิเมอร์ผสม 56
4.4 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสม 63
4.5 เสถียรภาพทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสม 65
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 68
5.1 สรุปผลการทดลอง 68
5.2 ข้อเสนอแนะ 71
รายการอ้างอิง 72
ภาคผนวก 76
ภาคผนวก ก ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์เทอร์โมแกรม 77
ภาคผนวก ข แถบดูดซับจากเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี 83
ภาคผนวก ค น้ำหนักโมเลกุลจากเครื่องเจลเปอร์มีเอชันโครมาโทกราฟฟี 90
ภาคผนวก ง เทอร์โมแกรวิเมทรีเทอร์โมแกรม 100
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 111

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวและเครื่องอัดรีดสกรูคู่ 11

ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต 21

ตารางที่ 2.3 สมบัติทั่วไปของพอลิคาร์บอเนต 28

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิในการผสม ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา และรหัสของสารตัวอย่างในการผสม 39

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ผสมที่ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว 42

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ผสมที่ทำการผสมด้วยเครื่องอัดสกรูคู่..... 43

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ผสมที่ทำการผสมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์.. 44

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการหลอมเหลวและปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้อุณหภูมิในการผสม 290 °C และใช้สารเร่งปฏิกิริยาปริมาณต่างกัน 52

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการหลอมเหลวและปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยา 1.5 % และใช้อุณหภูมิในการผสมต่างกัน..... 54

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้อุณหภูมิในการผสม 290 °C และใช้สารเร่งปฏิกิริยาปริมาณที่ต่างกัน..... 63

ตารางที่ 4.7 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 1.5% ในการผสมด้วยอุณหภูมิที่ต่างกัน 64

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา และใช้อุณหภูมิในการผสมที่ต่างกัน 66

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 พอลิเมอร์ผสม 2 เฟสที่มีพฤติกรรมแบบ LCST และ UCST 5

รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของบล็อก และกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ระหว่างเฟส 5

รูปที่ 2.3 เครื่องผสมภายในแบบทีละชุด "แบนบิวรี" 8

รูปที่ 2.4 เครื่องอัดรีด 9

รูปที่ 2.5 สกรูชนิดหมุนทางเดียวกัน และสกรูชนิดหมุนสวนทางกัน 10

รูปที่ 2.6 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์ (R คือเซลล์อ้างอิง S คือเซลล์ตัวอย่าง) . 12

รูปที่ 2.7 (ก) เครื่องวิเคราะห์ทางเทอร์โมแกรวิเมทรี (ข) TGA ของสารอ้างอิง 13

รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องเจลเปอร์มีเอชันโครมาโทกราฟี 15

รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี 16

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของบิส(2-ไฮดรอกซีเอทิล)เทเรฟทาเลต 19

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ 4,4'-ไดไฮดรอกซีไดฟีนิลแอลเคน 22

รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างสายโซ่ของพอลิเอสเทอร์ 31

รูปที่ 3.1 (ก) การผสมพอลิเมอร์ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวหรือเครื่องอัดรีดสกรูคู่
(ข) การผสมพอลิเมอร์ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ 37

รูปที่ 4.1 DSC ของ PET และ PC โฮโมพอลิเมอร์ 44

รูปที่ 4.2 DSC ของพอลิเมอร์ผสมเมื่อใช้อุณหภูมิในการผสม 290 ^{o}C
และใช้สารเร่งปฏิกิริยา Sb_2O_3 ในปริมาณต่างกัน 46

รูปที่ 4.3 DSC ของพอลิเมอร์ผสมเมื่อใช้อุณหภูมิในการผสม 290 ^{o}C
และใช้สารเร่งปฏิกิริยา ZnO ในปริมาณต่างกัน 47

รูปที่ 4.4 DSC ของพอลิเมอร์ผสมเมื่อใช้สารเร่งปฏิกิริยา Sb_2O_3 1.5%
เมื่อใช้อุณหภูมิในการผสมต่างกัน 49

รูปที่ 4.5 DSC ของพอลิเมอร์ผสมเมื่อใช้สารเร่งปฏิกิริยา ZnO 1.5% เมื่อใช้อุณหภูมิในการผสมต่างกัน 50

รูปที่ 4.6 อุณหภูมิการหลอมเหลวและปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้อุณหภูมิในการผสม 290 ^{o}C 53

รูปที่ 4.7 อุณหภูมิการหลอมเหลวและปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยา 1.5 % 55

รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PET โฮโมพอลิเมอร์ และ PC โฮโมพอลิเมอร์..... 56

รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ที่ไม่มีการเติมสารเร่งปฏิกิริยาในการผสม และใช้อุณหภูมิในการผสมต่างกัน..... 57

รูปที่ 4.10 A_{PC}/A_{PET} ของพอลิเมอร์ที่ไม่มีการเติมสารเร่งปฏิกิริยาในการผสม และใช้อุณหภูมิในการผสมต่างกัน..... 58

รูปที่ 4.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมเมื่อใช้อุณหภูมิในการผสม 290 ^{o}C และใช้สารเร่งปฏิกิริยา Sb_2O_3ในปริมาณที่ต่างกัน..... 59

รูปที่ 4.12 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมเมื่อใช้อุณหภูมิในการผสม 290 ^{o}C และใช้สารเร่งปฏิกิริยา ZnO ในปริมาณที่ต่างกัน..... 59

รูปที่ 4.13 A_{PC}/A_{PET} ของพอลิเมอร์ผสมเมื่อใช้อุณหภูมิในการผสม 290 ^{o}C และใช้สารเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่ต่างกัน..... 60

รูปที่ 4.14 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารเร่งปฏิกิริยา Sb_2O_3 1.5 % ในการผสมด้วยอุณหภูมิที่ต่างกัน..... 61

รูปที่ 4.15 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารเร่งปฏิกิริยา ZnO 1.5 % ในการผสมด้วยอุณหภูมิที่ต่างกัน..... 61

รูปที่ 4.16 A_{PC}/A_{PET}ของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารเร่งปฏิกิริยา 1.5 % ในการผสมที่อุณหภูมิต่างกัน 62

รูปที่ 4.17 TGA ของโฮโมพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาในการผสม 65

รูปที่ 4.18 TGA ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยา Sb_2O_3 ในการผสม..... 66

รูปที่ 4.19 TGA ของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้สารเร่งปฏิกิริยา ZnO ในการผสม 67