การเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนโดยสารก่อผลึกที่ได้จากการรีไซเคิลขวดเพทที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการทางเคมี

นายนพดล เกิดดอนแฝก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0392-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NUCLEATION OF ISOTACTIC POLYPROPYLENE BY NUCLEATING AGENT BASED ON CHEMICAL RECYCLING WASTE PET BOTTLES

Mr. Noppadon Kerddonfag

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-03-0392-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนโดยสารก่อผลึกที่ได้จากการรีไซเคิลขวดเพทที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการทางเคมี
โดย	นาย นพดล เกิดดอนแฝก
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. วรรณี ฉินศิริกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. วรรณี ฉินศิริกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิชญ์ ศุภผล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายนพดล เกิดดอนแฝก : การเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนโดยสารก่อผลึกที่ได้จากการรีไซเคิลขวดเพทที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการทางเคมี. (NUCLEATION OF ISOTACTIC POLYPROPYLENE BY NUCLEATING AGENT BASED ON CHEMICAL RECYCLING WASTE PET BOTTLES) อ.ที่ปรึกษา : รศ. อรอุษา สรวารี, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. วรรณี ฉินศิริกุล 75 หน้า ISBN 974-03-0392-7

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตจากการนำขวดเพทที่ใช้แล้วมาย่อยสลายด้วยกระบวนการอัลคาไลดีคอมโพสิชัน นำเกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดที่เตรียมได้มาตรวจสอบขนาดและรูปร่างของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน จากนั้น นำไปใช้เป็นสารก่อผลึกสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน และตรวจสอบความสามารถในการเป็นสารก่อผลึกด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริเมตรีและเทคนิคไวด์แองเกิลเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน โดยเปรียบเทียบกับการใช้ผงสีควินาคริโดน

จากการทดลอง พบว่า ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตมีรูปร่างของอนุภาคเป็นแท่งและมีขนาด 1 – 10 ไมโครเมตร ในขณะที่แคลเซียมเทเรฟทาเลตมีรูปร่างของอนุภาคค่อนข้างกลมรีและมีขนาด 1 – 5 ไมโครเมตร นอกจากนี้ เกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดมีอุณหภูมิสลายตัวสูงกว่า 500^{o}C ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสารก่อผลึกสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนได้ โดยพบว่าเกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดสามารถชักนำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเกิดผลึกได้ทั้งแบบอัลฟาและเบตา และเมื่อเปรียบเทียบกับผงสีควินาคริโดน พบว่า เกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบเบตาได้ต่ำกว่าผงสีควินาคริโดน

จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า เกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดสามารถปรับปรุงความทนแรงกระแทกและความทนแรงดึงของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนให้เพิ่มขึ้นได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....นพดล เกิดดอนแฝก.....
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....รศ. อรอุษา สรวารี.....
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4272306223 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD : polypropylene / beta PP / impact modifier / terephthalate salt
NOPPADON KERDDONFAG : NUCLEATION OF ISOTACTIC POLYPROPYLENE BY NUCLEATING AGENT BASED ON CHEMICAL RECYCLING WASTE PET BOTTLES. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. ONUSA SARAVARI, THESIS COADVISOR : DR. WANNEE CHINSIRIKUL 75 pp. ISBN 974-03-0392-7.

Disodium terephthalate and calcium terephthalate were synthesized from waste PET bottles by alkali decompositon process. Structure and particle size of terephthalate salts were characterized by scanning electron microscope. Thermal characteristics of the salts were examined prior to use as nucleating agent for isotactic polypropylene. The nucleation effect of the terphthalate salts was also characterized by differential scanning calorimetry and wide angle x-ray diffraction technique. Comparison was made between nucleation effect of terephthalate salts and that of a widely used quinacridone pigment.

Based on scanning electron microscopy results, disodium terephthalate particle tended to be rectangular rod in shape and its size was in a range of 1 – 10 μm. In contrast, calcium terephthalate particle was rather round and its size was in a range of 1 – 5 μm. Due to thermal stability of both salts up to 500^{o}C, they could be effectively used as nucleating agent for isotactic polypropylene.

Differential scanning calorimeter studies revealed a nucleation effect of disodium terephthalate and calcium terephthalate on isotactic polypropylene. Wide angle x-ray diffraction measurements indicated that the β-nucleation effect of both salts was less than quinacridone pigment. However, the improvement of mechanical properties of isotactic polypropylene, in particular tensile and impact strength, was achieved by incorporating disodium terephthalate and calcium terephthalate into isotactic polypropylene.

Department MATERIALS SCIENCE Student's signature N. KERDDONFAG
Field of study APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY Advisor's signature Onusa Saravari
Academic year 2001 Coadvisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้นเป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ ความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัตถุดิบและสถานที่สำหรับทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะแนวในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายนามดังนี้

1. รศ. อรอุษา สรวารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. วรรณี ฉินศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
2. รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
3. รศ. ไพพรรณ สันติสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
4. ดร. พิชญ์ ศุภผล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือ คำแนะนำและแนวคิดซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
5. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. Mr. John W. Ellis วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
8. ดร. เติมศักดิ์ ศรีศิรินทร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
9. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
10. คุณรุจิพร ประทีปเสน ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11. บริษัท เฮซเอ็มซี โปลีเมอส์ จำกัด

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฎ
สารบัญรูป.....ฎ

บทที่

1. บทนำ.....1

2. วารสารปริทรรศน์.....3
2.1 การย่อยสลายเพทด้วยกระบวนการทางเคมี.....3
2.2 พอลิโพรพิลีน.....5
2.2.1 โครงสร้างของพอลิโพรพิลีน.....5
2.2.2 สมบัติทางกายภาพของพอลิโพรพิลีน.....7
2.2.3 โครงสร้างผลึกในไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน.....7
2.2.3.1 รูปผลึกแบบอัลฟา.....8
2.2.3.2 รูปผลึกแบบเบตา.....10
2.2.3.3 รูปผลึกแบบแกมมา.....12
2.2.3.4 รูปผลึกแบบสเมกติก.....14
2.2.4 การสร้างผลึกแบบเบตาของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน.....15
2.2.5 สารก่อผลึกแบบเบตา.....16
2.2.6 สมบัติเชิงกลของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผลึกแบบเบตา.....18
2.2.7 การประยุกต์ใช้งานของพอลิโพรพิลีนที่มีผลึกแบบเบตา.....22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. การทดลอง 24
3.1 การเตรียมเกลือเทเรฟทาเลตจากการย่อยสลายขวดเพท 24
3.1.1 สารเคมี 24
3.1.2 อุปกรณ์ 24
3.1.3 เครื่องทดสอบ 24
3.1.4 วิธีการทดลอง 25
3.1.4.1 การเตรียมไดโซเดียมเทเรฟทาเลตจากการย่อยสลายขวดเพทด้วยปฏิกิริยาอัลคาไลดีคอมโพสิชัน 25
3.1.4.2 การเตรียมแคลเซียมเทเรฟทาเลตจากไดโซเดียมเทเรฟทาเลต 26
3.1.5 การวิเคราะห์และตรวจสอบเกลือเทเรฟทาเลต 26
3.1.5.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ 26
3.1.5.2 การตรวจสอบด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ 26
3.1.5.3 การตรวจสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริมิเตอร์ 27
3.1.5.4 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด 27
3.1.5.5 การตรวจสอบด้วยเครื่องไวด์แองเกิลเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ 27
3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 28
3.2.1 สารเคมี 28
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 28
3.2.3 เครื่องทดสอบ 28
3.2.4 วิธีการทดลอง 29
3.2.4.1 การเตรียมไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนคอมปาวด์ 29
3.2.4.2 การเตรียมแผ่นไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 30
3.2.4.3 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 30
3.3 การตรวจสอบความสามารถในการทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกของเกลือเทเรฟทาเลตสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 31
3.3.1 การตรวจสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริมิเตอร์ 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2 การตรวจสอบด้วยเครื่องไวด์แองเกิลเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ 31
3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 32
3.4.1 การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก 32
3.4.2 การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง 32

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 33
4.1 การเตรียมเกลือเทเรฟทาเลตจากการย่อยสลายขวดเพท 33
4.2 การวิเคราะห์และตรวจสอบเกลือเทเรฟทาเลต 34
4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR 34
4.2.2 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA 36
4.2.3 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC 38
4.2.4 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด 40
4.2.5 การตรวจสอบด้วยเครื่องไวด์แองเกิลเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ 42
4.3 การตรวจสอบและทดสอบชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 43
4.3.1 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC 43
4.3.2 การตรวจสอบด้วยเครื่องไวด์แองเกิลเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ 47
4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 53
4.4.1 ความทนแรงกระแทก 53
4.4.2 ความทนแรงดึง 56

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 59
5.1 สรุปผลการทดลอง 59
5.2 ข้อเสนอแนะ 61

รายการอ้างอิง 62

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก 65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 lacttice parameters ของผลึกแบบอัลฟา เบตา และแกมมาของไอโซแทกติก พอลิโพรพิลีน 13
ตารางที่ 2.2 สมบัติของฟิล์มพอลิโพรพิลีน ฟิล์มพอลิอะนิลีน และวัสดุคอมโพสิต พอลิอะนิลีน/พอลิโพรพิลีน 23
ตารางที่ 3.1 สูตรต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนคอมปาวด์ 29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างแบบสเตอริโอของพอลิโพรพิลีน (a) ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (b) ซินดิโอแทกติกพอลิโพรพิลีน และ (c) อะแทกติกพอลิโพรพิลีน 6
รูปที่ 2.2 ภาพฉายยูนิตเซลล์ของรูปผลึกแบบอัลฟาของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน บนระนาบ ab โดยแกน c ตั้งฉากกับระนาบ..... 8
รูปที่ 2.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีรูปผลึกแบบ (a) อัลฟา (b) เบตา และ (c) แกมมา.....10
รูปที่ 2.4 ภาพฉายยูนิตเซลล์ของรูปผลึกแบบเบตาของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน บนระนาบ ab โดยแกน c ตั้งฉากกับระนาบ.....11
รูปที่ 2.5 DSC เทอร์โมแกรมของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีรูปผลึกแบบอัลฟาและเบตา.... 12
รูปที่ 2.6 ภาพฉายยูนิตเซลล์ของรูปผลึกแบบแกมมาของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนบน ระนาบ ab โดยแกน c ตั้งฉากกับระนาบ 13
รูปที่ 2.7 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีรูปผลึก แบบสเมกติก.....14
รูปที่ 2.8 DSC เทอร์โมแกรมการหลอมเหลวของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่ถูกทิ้งให้เกิด ผลึกที่อุณหภูมิต่างกัน.....15
รูปที่ 2.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของ (a) สเฟียรูไลท์ ของรูปผลึกแบบอัลฟา และ (b) สเฟียรูไลท์ของรูปผลึกแบบเบตา.....19
รูปที่ 2.10 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ (a) ผิวหน้า และ (b) แกนกลาง ของชิ้นทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่เตรียมโดยวิธีฉีดขึ้นรูป.....20
รูปที่ 2.11 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของชิ้นทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มี รูปผลึกแบบเบตาเมื่อผ่านการยืดดึงที่อัตราส่วน (draw ratio, λ) ต่างกัน.....21
รูปที่ 2.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนของชิ้นงานฉีดไอโซแทกติก พอลิโพรพิลีนที่มีรูปผลึกแบบเบตาซึ่งผ่านการดึงยืด 5 %.....22
รูปที่ 2.13 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวฟิล์ม ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่ผ่านกระบวนการยืดดึง 2 ทิศทาง ทำให้ได้ฟิล์ม ที่มีรูพรุนระดับไมครอน 23

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต และ (b) แคลเซียมเทเรฟทาเลต 34
รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมมาตรฐานของไดโซเดียมเทเรฟทาเลต 34
รูปที่ 4.3 TGA เทอร์โมแกรมของกรดเทเรฟทาลิก (——TPA) ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต
(- -Na_2-TPA) และแคลเซียมเทเรฟทาเลต (····Ca-TPA) 36
รูปที่ 4.4 DSC เทอร์โมแกรมการเพิ่มอุณหภูมิของ (a) ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต และ
(b) แคลเซียมเทเรฟทาเลต 38
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของไดโซเดียมเทเรฟทาเลต
ที่กำลังขยาย (a) 2,000 และ (b) 7,500 เท่า 40
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของแคลเซียมเทเรฟทาเลต
ที่กำลังขยาย (a) 2,000 และ (b) 7,500 เท่า 40
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของผงสีควินาคริโดนที่กำลัง
ขยาย 35,000 เท่า 41
รูปที่ 4.8 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของ (a) ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต และ
(b) แคลเซียมเทเรฟทาเลต 42
รูปที่ 4.9 DSC เทอร์โมแกรมการลดอุณหภูมิของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP)
ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B)
และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 – 2.50 %โดย
น้ำหนัก (Na0.25 – Na2.50) 43
รูปที่ 4.10 DSC เทอร์โมแกรมการลดอุณหภูมิของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP)
ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B)
และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 – 2.50 %โดย
น้ำหนัก (Ca0.25 – Ca2.50) 44
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) ไอโซแทกติก
พอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B)
และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียม
เทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 – 2.50 %โดยน้ำหนัก 45

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B) 47

รูปที่ 4.13 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก ในทิศทางการทดสอบที่ 0° (E3B 0°) และ 90° (E3B 90°) 49

รูปที่ 4.14 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกพอลิโพรพิลีน (iPP) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก (Na0.25 Na0.50 Na0.75 Na1.00 Na1.50 และ Na2.50 ตามลำดับ) 50

รูปที่ 4.15 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกพอลิโพรพิลีน (iPP) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก (Ca0.25 Ca0.50 Ca0.75 Ca1.00 Ca1.50 และ Ca2.50 ตามลำดับ) 51

รูปที่ 4.16 ค่า K ของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลต และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 – 2.50 %โดยน้ำหนัก 52

รูปที่ 4.17 ค่าความทนแรงกระแทกแบบ Izod ของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลต ปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก (Na0.25 - Na2.50 และ Ca0.25 - Ca2.50 ตามลำดับ) 54

รูปที่ 4.18 ค่าความทนแรงดึงของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B) และไอโซแทกติกพอลิ-โพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 – 2.50 %โดยน้ำหนัก (Na0.25 – Na2.50 และ Ca0.25 – Ca2.50 ตามลำดับ) 56

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.19 เส้นกราฟแรงดึงระยะยืดและลักษณะการแตกหักจากการทดสอบความทนแรงดึงของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (— iPP) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (- - -E3B) 57

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย