การเตรียมวัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน/เถ้าแกลบ

นางสาวเพชรี ศรีรัตอำไพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2255-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF WOOD-LIKED COMPOSITE MATERIALS FROM UNSATURATED POLYESTER RESIN/NATURAL RUBBER GRAFT STYRENE/RICE HUSK ASH

Miss Pecharee Sriratampai

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 974-14-2255-5

481654

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมวัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน/เถ้าแกลบ
โดย	นางสาว เพชรี ศรีรัตอำไพ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ไพพรรณ สันติสุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์อรอุษา สรวารี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

เพชรี ศรีรัตอำไพ: การเตรียมวัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน/เถ้าแกลบ. (PREPARATION OF WOOD-LIKED COMPOSITE MATERIALS FROM UNSATURATED POLYESTER RESIN/NATURAL RUBBER GRAFT STYRENE/RICE HUSK ASH) อ.ที่ปรึกษา : รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ 99 หน้า.
ISBN 974-14-2255-5.

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การเตรียมวัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน และเถ้าแกลบ โดยยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนถูกสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโคพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันด้วยอัตราส่วนโดยโมลของยางธรรมชาติ/สไตรีนมอนอเมอร์เท่ากับ 80/20 และใช้ TBHPO/TEPA เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา ยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนที่เตรียมได้มีเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ประมาณ 54% ชิ้นงานถูกเตรียมโดยการผสมพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวกับเถ้าแกลบในอัตราส่วน 100/30 100/40 และ 100/50 จากนั้นจึงนำสารผสมที่ได้ไปผสมกับยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนในปริมาณ 5 10 และ 15 ส่วนต่อพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว 100 ส่วน ภายหลังการบ่ม ชิ้นงานที่ขึ้นรูปโดยการหล่อแบบถูกนำไปตรวจสอบสมบัติเชิงกล การดูดซึมน้ำ พฤติกรรมทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลอง พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน/เถ้าแกลบในอัตราส่วน 100/5/30 มีความต้านแรงดัดโค้งและความต้านแรงกระแทกสูงที่สุด และมีการปรับปรุงสมบัติเหล่านี้อย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ชิ้นงานมีความแข็งใกล้เคียงกับของพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ วัสดุเชิงประกอบมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนและเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างมีความบกพร่องและปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากในเถ้าแกลบ

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิทรี แสดงให้เห็นว่าปริมาณยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนและเถ้าแกลบที่ใส่เข้าไปในพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวมีผลต่ออุณหภูมิกลาสแทรนซิชันของชิ้นงานน้อยมาก การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว/ยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีน/เถ้าแกลบในอัตราส่วน 100/5/30 ด้วยเทคนิค TMA แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก คือ ประมาณ 0.00005 mm/mm.°C

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบด้วยเทคนิค SEM แสดงให้เห็นการกระจายตัวที่ดีของยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนในพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ขณะที่เถ้าแกลบจับตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ และถ้าปริมาณยางธรรมชาติกราฟต์พอลิสไตรีนเพิ่มขึ้น การจับตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากระบบมีความหนืดสูงมาก

ภาควิชา....วัสดุศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....เพชรี ศรีรัตอำไพ.....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา....2548.....

4772413123 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: unsaturated polyester resin / natural rubber graft styrene / rice husk ash

PECHAREE SRIRATAMPAI : PREPARATION OF WOOD-LIKED COMPOSITE MATERIALS FROM UNSATURATED POLYESTER RESIN/NATURAL RUBBER GRAFT STYRENE/RICE HUSK ASH. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT, 99 pp. ISBN 974-14-2255-5.

The aim of this research is to produce wood-liked composite materials from unsaturated polyester (UPE) resin, natural rubber graft polystyrene (NR-*g*-PS) and rice husk ash (RHA). NR-*g*-PS was synthesized by emulsion copolymerization with NR/PS in a mole ratio of 80/20 using ter-butyl hydroperoxide/tetraethylene pentamide (TBHPO/TEPA) as an initiator. The percent grafting of the obtained copolymer was about 54%. UPE resin was blended with RHA at UPE/RHA ratio of 100/30, 100/40 and 100/50 by wt. Each blend was subsequently mixed with NR-*g*-PS at the amount of 5, 10 and 15 parts per hundred of UPE. After curing, the cast specimens were examined for their mechanical properties, water absorption, thermal behaviors, and morphology. From the results, it was found that the composite of 100 UPE/5 NR-*g*-PS/30 RHA exhibited highest flexural and impact strength with substantially improved in these properties, whereas the hardness was comparable to a UPE sample. Furthermore, water absorption of the composites was increased at high loading of NR-*g*-PS and RHA due to the imperfections in the structures and the high amount of hydroxyl groups in RHA.

DSC thermograms showed insignificant effect of both NR-*g*-PS and RHA on T_g of the composites. In addition, the thermal expansion coefficient of 100 UPE/5 NR-*g*-PS/30 RHA composite characterized by TMA technique was as low as 0.00005 mm/mm.$^{\circ}$C.

Morphology of the composites was investigated by SEM technique. SEM micrographs revealed that NR-*g*-PS particles were well dispersed in the UPE matrix whereas RHA agglomerated into coarse particles. The higher amount of the NR-*g*-PS the more agglomeration of RHA in the composite due to the very high viscosity of the system.

Department...Materials Science.....Student's signature Pecharee Sriratampai

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

Academic year...2005.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลหลายๆ ท่าน และหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายนามดังนี้

1. รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาต่างๆ และแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

2. รศ.ไพพรรณ สันติสุข รศ.อรอุษา สรวารี และ รศ.ดร.ประณัฐ โพธิยะราช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ และช่วยตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3. คุณชัยวัฒน์ นรกานต์กร ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ รวมทั้งความช่วยเหลือในการติดต่อขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือต่างๆ ตลอดจนการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

4. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็คซ์คอร์ปอร์เรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) สำหรับความอนุเคราะห์น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง

6. บริษัท สยามเคมิคอล อินดัสตรี จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ POLYLITE FG 283-TXN MEKPO และ Co-octoate

7. บริษัท ฟาบริเนท จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ SEM

8. บริษัท เมทเล่อร์-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ DSC

9. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ TMA

10. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธ์ประสาทวิชาการจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามมุ่งหวังอย่างสมบูรณ์ และขอขอคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อต่างๆ นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายซึ่งมิได้กล่าวถึง ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

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

บทที่

1 บทนำ.....1

2 วารสารปริทัศน์.....3
2.1 พอลิเอสเทอร์ (Polyester).....3
2.1.1 การแบ่งประเภทของพอลิเอสเทอร์.....3
2.1.2 ปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์.....3
2.2 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin, UPE resin).....4
2.2.1 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว.....6
2.2.2 การแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว.....8
2.2.3 สมบัติของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว.....9
2.2.4 การใช้งาน.....10
2.3 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR).....10
2.3.1 น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex).....11
2.3.2 การแปรรูปยางธรรมชาติ.....14
2.3.3 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ.....18
2.3.4 กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ (Graft Copolymer of NR).....20
2.4 เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash).....22
2.4.1 ประโยชน์ของแกลบ.....23
2.4.2 องค์ประกอบของแกลบ.....24
2.4.3 การทดสอบทางเคมีของแกลบ.....25

บทที่ หน้า

2.4.4 การเผาไหม้ของแกลบ (Combustion of husks).....26
2.4.5 สถานะปัจจุบันของแกลบและเถ้าแกลบในประเทศไทย.....28
2.5 พอลิเมอร์คอมโพสิต.....29
2.5.1 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต (Classification of Composites).....30
2.5.2 ข้อดีและข้อเสียของคอมโพสิต.....31
2.5.3 การประยุกต์ใช้งานคอมโพสิต (Composite Applications).....32
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....33

3 วิธีการทดลอง.....36
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....36
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....37
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....37
3.4 ขอบเขตการทดลอง.....38
3.5 การเตรียมยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน.....38
3.5.1 การเตรียมสไตรีนมอนอเมอร์บริสุทธิ์.....38
3.5.2 การเตรียมยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน.....38
3.6 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม.....39
3.7 การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน.....41
3.7.1 เปอร์เซ็นต์การเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์.....41
3.7.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่อง FT-IR.....41
3.8 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม.....42
3.8.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC.....42
3.8.2 การทดสอบความต้านแรงดัดโค้ง (Flexural Strength).....42
3.8.3 การทดสอบความต้านแรงกระแทก (Impact Strength).....44
3.8.4 การทดสอบความแข็ง (Hardness).....45
3.8.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา.....46
3.8.6 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ (Water absorption).....46
3.8.7 การทดสอบสมบัติการขยายตัวเนื่องจากความร้อน.....46
3.8.8 การทดสอบความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ.....47

บทที่ หน้า

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง....48
4.1 ผลการวิเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน....48
4.1.1 การหาเปอร์เซนต์การเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์....48
4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน....48
4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกล....51
4.2.1 ความต้านแรงดัดโค้ง (Flexural Strength)....51
4.2.2 ความต้านแรงกระแทก (Impact Strength)....55
4.2.3 ความแข็ง (Hardness)....59
4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติการดูดซับน้ำ....63
4.4 พฤติกรรมทางความร้อน....63
4.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC....63
4.4.2 การวิเคราะห์สมบัติการขยายตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง TMA....64
4.5 ผลการทดสอบความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ....66
4.5.1 ความทนแรงดัดโค้ง....66
4.5.2 ความทนแรงกระแทก....66
4.6 ผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยา....67

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....74
5.1 สรุปผลการทดลอง....74
5.2 ข้อเสนอแนะ....75

รายการอ้างอิง....76

ภาคผนวก....78
ภาคผนวก ก....79
ภาคผนวก ข....81
ภาคผนวก ค....88
ภาคผนวก ง....89
ภาคผนวก จ....92

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....99

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างไกลคอลที่สามารถใช้สังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว.....6

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างส่วนประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในน้ำยางธรรมชาติ.....11

ตารางที่ 2.3 น้ำยางข้นที่ผลิตโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงในทางการค้า.....18

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพบางอย่างของยางธรรมชาติ.....19

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลทางสถิติการส่งออกเถ้าแกลบตั้งแต่ปี 2539-2542.....22

ตารางที่ 2.6 สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของแกลบ.....25

ตารางที่ 2.7 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแกลบ.. 25

ตารางที่ 2.8 สมบัติของแกลบไทย (Properties of Thai rice husk).....29

ตารางที่ 2.9 สมบัติบางประการของวัสดุต่างๆ เทียบกับวัสดุคอมโพสิต.....32

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างการใช้งานวัสดุคอมโพสิต.. 33

ตารางที่ 3.1 สมบัติของยางธรรมชาติ.....36

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของการเตรียมพอลิเมอร์ผสม.....40

สารบัญรูป

รูปประกอบ หน้า
รูปที่ 2.1 สไตรีนมอนอเมอร์แทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว 5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างร่างแหของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวภายหลังการแข็งตัว 5
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาขณะเรซินแข็งตัว 9
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ (*cis*-1,4-polyisoprene) 10
รูปที่ 2.5 การผลิตน้ำยางข้นชนิด 60% 17
รูปที่ 2.6 DTA graph ของการเผาไหม้แกลบในอากาศ.....27
รูปที่ 2.7 TG – DTG graph ของการเผาไหม้แกลบในอากาศ และในบรรยากาศไนโตรเจน.....27
รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติกราฟต์สไตรีน.....39
รูปที่ 3.2 เครื่อง Fourier transform infrared spectrophotometer (FT-IR) ของ Nicolet รุ่น Impact 400D.....41
รูปที่ 3.3 เครื่อง DSC ของ METTLER TOLEDO รุ่น DSC822^e Module 42
รูปที่ 3.4 การทดสอบความต้านแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด.....43
รูปที่ 3.5 ความเค้นในชิ้นทดสอบขณะทดสอบความต้านแรงดัดโค้ง.....43
รูปที่ 3.6 เครื่อง Universal Tester Machine ของ LLOYD รุ่น 500 43
รูปที่ 3.7 Izod Type Impact Machine 44
รูปที่ 3.8 Dimension of Izod Type Test Specimen.....44
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความต้านแรงกระแทก ของ GOTECH รุ่น GT-7045-MDH.....45
รูปที่ 3.10 เครื่อง Durometer ชนิด Shore D.....45
รูปที่ 3.11 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของ JEOL รุ่น JSM-5900LV.....46
รูปที่ 3.12 Thermomechnical Analyzer (TMA) ของ The Perkin-Elmer รุ่น TMA 7 47
รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของ NR 49
รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของ PS.....49
รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมของ NR-g-SM (NR : Styrene = 80 : 20 %โมล).....50
รูปที่ 4.4 ค่าความต้านแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR.....51
รูปที่ 4.5 ค่าความต้านแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR-*g*-PS.....51

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR และ UPE/NR-*g*-PS....52
รูปที่ 4.7 ค่าความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/RHA....53
รูปที่ 4.8 ค่าความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR/RHA....53
รูปที่ 4.9 ความต้านแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ UPE/NR-*g*-PS/RHA....54
รูปที่ 4.10 ความต้านแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR....55
รูปที่ 4.11 ความต้านแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR-*g*-PS....56
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบความต้านแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบระหว่างUPE/NR และ UPE/NR-g-PS....56
รูปที่ 4.13 ความต้านแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบระหว่างUPE/RHA....57
รูปที่ 4.14 ความต้านแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR/RHA....58
รูปที่ 4.15 ความต้านแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR-*g*-PS/RHA....58
รูปที่ 4.16 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR....59
รูปที่ 4.17 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR-*g*-PS....60
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR และ UPE/NR-*g*-PS....60
รูปที่ 4.19 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/RHA....61
รูปที่ 4.20 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR/RHA....61
รูปที่ 4.21 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR-*g*-PS/RHA....62
รูปที่ 4.22 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR-*g*-PS/RHA....63
รูปที่ 4.23 DSC เทอร์โมแกรม....64
รูปที่ 4.24 ผลวิเคราะห์การขยายตัวทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR-*g*-PS/RHA ด้วยเทคนิค TMA....65
รูปที่ 4.25 ความต้านแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ (100 UPE/5 NR-*g*-PS/30 RHA) ก่อนและหลังการนำไปตากแดดและตากฝนเป็นเวลา 30 วัน....66
รูปที่ 4.26 ความต้านแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ (100 UPE/5 NR-*g*-PS/30 RHA) ก่อนและหลังการนำไปตากแดดและตากฝนเป็นเวลา 30 วัน....67
รูปที่ 4.27 สัณฐานวิทยาของ UPE....67

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.28 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง UPE/NR ที่อัตราส่วน
(a) 100/5 และ (b) 100/10.....68
รูปที่ 4.29 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/RHA ที่อัตราส่วน
(a) 100/30, (b) 100/40 และ (c) 100/50.....69
รูปที่ 4.30 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง UPE/NR-*g*-PS ที่อัตราส่วน
(a) 100/5, (b) 100/10 และ (c) 100/15 70
รูปที่ 4.31 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR/RHA ที่อัตราส่วน 100/5/30.....71
รูปที่ 4.32 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่าง UPE/NR-*g*-PS/RHA ที่อัตราส่วน
(a) 100/5/30, (b) 100/10/30 และ (c) 100/15/30.....72