การดัดแปรฝ้ายจากเศษผ้าเพื่อใช้เป็นตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน

กมลวรรณ บุญอารีย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0389-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODIFICATION OF COTTON FROM WASTE FABRIC AS A FILLER FOR POLYPROPYLENE COMPOSITES

Miss Kamonwan Boonaree

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 974-03-0389-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดัดแปรฝ้ายจากเศษผ้าเพื่อใช้เป็นตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน
โดย	นางสาว กมลวรรณ บุญอารีย์
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 ดร. เข็มชัย เหมะจันทร)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

นางสาว กมลวรรณ บุญอารีย์ : การดัดแปรฝ้ายจากเศษผ้าเพื่อใช้เป็นตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน. (MODIFICATION OF COTTON FROM WASTE FABRIC AS A FILLER FOR POLYPROPYLENE COMPOSITES) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. ดวงดาว อาจองค์, 177 หน้า. ISBN 974-03-0389-7

เศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้งจากโรงงานสิ่งทอในประเทศไทยมีเป็นจำนวนมาก การนำเศษผ้าเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้งในรูปของสารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบนับว่าเป็นวิธีการเพิ่มมูลค่าของเศษผ้าเหล่านี้แนวทางหนึ่ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางความเป็นไปได้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างฝ้ายและพอลิโพรพิลีน โดยเบื้องต้นต้องทำการแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายผืนให้มีลักษณะเหมาะสมต่อการเป็นสารตัวเติม หลังจากนั้นนำฝ้ายที่ได้มาปรับปรุงพื้นผิวเพื่อให้สามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อพลาสติกพอลิโพรพิลีน โดยใช้สารเคมีสองชนิดเพื่อทำการเปรียบเทียบ คือ มาเลอิกแอนไฮไดร์ดกราฟพอลิโพรพิลีน (MAHPP) และกรดสเตียริก แล้วทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของสารตัวเติมฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว ต่อจากนั้นจึงเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบโดยการผสมด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่และขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติก แล้วทำการทดสอบสมบัติเชิงกล วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวที่แตกหัก ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางความร้อน จากผลการศึกษาพบว่า สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบอันได้แก่ มอดุลัสของแรงดึง และมอดุลัสของแรงดัดโค้ง มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของสารตัวเติมฝ้าย และที่สำคัญพบว่าการปรับปรุงสารตัวเติมฝ้ายด้วย MAHPP ทำให้ได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการใช้กรดสเตียริก โดยทั้งค่ามอดุลัส และความเค้นของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนจากสารตัวเติมฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAHPP มีค่าเพิ่มขึ้นไปในทางเดียวกัน ซึ่งค่าสูงสุดอยู่ที่ปริมาณสารตัวเติมฝ้าย 20 % โดยน้ำหนัก พฤติกรรมเหล่านี้สามารถยืนยันได้จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวที่แตกหักด้วยเครื่อง SEM พบว่า การปรับปรุงสารตัวเติมฝ้ายด้วย MAHPP ทำให้สารตัวเติมสามารถยึดติดและกระจายตัวในเนื้อพลาสติกพอลิโพรพิลีนได้ดีกว่าการใช้กรดสเตียริก นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุเชิงประกอบทั้งที่สารตัวเติมผ่านการปรับปรุงและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงมีแนวโน้มในการดูดซึมน้ำที่ต่ำมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัสดุเชิงประกอบที่เติมสารตัวเติมฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย MAHPP เนื่องจากลักษณะไม่ชอบน้ำที่เกิดขึ้นภายหลังการปรับปรุง

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2544

4272205523 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD : POLYPROPYLENE /COTTON /SURFACE MODIFICATION /COMPOSITE

KAMONWAN BOONAREE : MODIFICATION OF COTTON FROM WASTE FABRIC AS A FILLER FOR POLYPROPYLENE COMPOSITES : DR. DUANGDAO AHT-ONG 177 pp. ISBN 974-03-0389-7

Waste cotton fabrics from textile factory in Thailand are abundant. Reusing of the waste cotton fabrics as a filler for composite materials is possible. In this work, preparation of the composites between cotton and polypropylene (PP) was studied. Transfiguration of the waste cotton fabrics was performed at first to obtain suitable filler. After that, the cotton filler was surface treated with two coupling agents, maleic anhydride polypropylene copolymer (MAHPP) and stearic acid, to improve compatibility between the cotton filler and polypropylene matrix. FT-IR, TGA, SEM and contact angle measurement were used to evaluate chemical structure, morphology, and properties of surface-modified cotton fillers. Finally, composites with various amounts of the cotton fillers were manufactured by twin screw extruder and injection molding. Mechanical properties of the composites were assessed in terms of tensile, impact and flexural properties as a function of coupling agents and cotton filler content. In addition, fractured surface characterization, water absorption and thermal properties of the composites were also investigated. Results showed that the tensile modulus and flexural modulus of all composites increased with increasing cotton filler loading. However, the composites consisted of MAHPP modified cotton filler showed better mechanical properties than those modified with stearic acid at the same filler content. In particular, the 20 wt% MAHPP-cotton/PP composites gave the highest modulus and strength values. These results were confirmed and in good agreement with the results from SEM analysis. Better adhesion and dispersion of the MAHPP-cotton/PP composites was observed. Moreover, all composites exhibited very low water absorption, especially with the MAHPP treated cotton filled composites. This is due to the hydrophobic surface of the cotton filler after surface treatment.

Department Materials Science Student's signature Kamonwan Boonaree

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature Duangdao Aht-ong

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้นเป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ และความช่วยเหลือ จากผู้ทรงคุณวุฒิจากสถาบันต่างๆ เป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณ อ.ดร. ดวงดาว อาจองค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นและแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

นอกจากนี้ ขอขอบคุณ รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ รศ.ดร. เข็มชัย เหมะจันทร รศ.ดร. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และ รศ. ไพพรรณ สันติสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี และ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากสถาบันต่างๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

และขอขอบคุณ ผศ.ดร. สนอง เอกสิทธิ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่อง FT-IR (ATR) และ อ.ดร. วิภาวี โฮเว่น ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่อง ESCA และ contact angle meter อีกทั้งขอขอบคุณ ผศ.ดร. ณรงฤทธิ์ สมบัติสมภพ คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการขึ้นรูปชิ้นทดสอบ

ขอขอบคุณ คุณพิชัย อุตมาภินันท์ กรรมการผู้จัดการ บริษัท ยูไนเต็ด เท็กไทล์ มิลล์ จำกัด ซึ่งให้แนวคิดริเริ่มสำหรับวิทยานิพนธ์นี้และเอื้อเฟื้อเศษผ้าฝ้าย นอกจากนี้ขอขอบคุณ บริษัท ไทยวานิตแวร์ จำกัด ในการเอื้อเฟื้อเศษผ้าฝ้าย เช่นกัน และ บริษัท ไทยพอลิเอทิลีน(TPE) จำกัด ในการเอื้อเฟื้อเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่สนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ และวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาการทั้งหลายให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามที่มุ่งหวัง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1
2 วารสารปริทัศน์ 5
2.1 สารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ 5
2.1.1 ประเภทของสารตัวเติม 5
2.1.2 สารตัวเติมฝ้าย 9
2.2 ฝ้าย 12
2.3 พอลิโพรพิลีน 16
2.4 การไฮโดรไลซิสเส้นใยเซลลูโลส 20
2.5 การปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติ 24
2.5.1 กระบวนการทางกายภาพ 24
2.5.2 กระบวนการทางเคมี 25
2.6 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบเทอร์โมพลาสติก 32
2.6.1 การผสมสารประกอบ 32
2.6.2 การฉีดพลาสติก 35
2.7 การวิเคราะห์พื้นผิว 37
2.7.1 การวิเคราะห์มุมสัมผัส 38
2.7.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 41
3 การทดลอง 45
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี 45
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 46

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

3.3 แนวทางการทดลอง 47
3.4 วิธีทำการทดลอง 47
3.4.1 การแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายฝืน 47
3.4.1.1 วิธีทางเคมี 47
3.4.1.2 วิธีทางเชิงกล 49
3.4.2 การปรับปรุงพื้นผิวของสารตัวเติมฝ้าย 49
3.4.2.1 การปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีน 49
3.4.2.2 การปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก 50
3.4.3 การวิเคราะห์สมบัติของสารตัวเติมฝ้าย 51
3.4.3.1 ลักษณะทางกายภาพ 51
3.4.3.2 โครงสร้างทางเคมี 51
3.4.3.3 ค่ามุมสัมผัสของผิววัสดุกับน้ำ 52
3.4.3.4 สมบัติทางความร้อน 52
3.4.4 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ 53
3.4.4.1 การผสมพอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมฝ้าย 53
3.4.4.2 การขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน 54
3.4.5 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุเชิงประกอบ 55
3.4.5.1 สมบัติเชิงกล 55
3.4.5.2 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหัก 57
3.4.5.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ 57
3.4.5.4 สมบัติทางความร้อน 58
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 59
4.1 สมบัติของสารตัวเติมฝ้ายจากการแปรสภาพทางเคมี 59
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ 59
4.1.2 โครงสร้างทางเคมี 63
4.1.2.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy 63

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

4.1.2.2 Electron Spectroscopy for Chemical Analysis.....67
4.1.3 ค่ามุมสัมผัสของผิววัสดุกับน้ำ.....74
4.1.4 สมบัติทางความร้อน.....76
4.2 สมบัติของวัสดุเชิงประกอบจากผงฝ้าย.....78
4.2.1 สมบัติเชิงกล.....78
4.2.1.1 ความทนแรงดึง.....79
4.2.1.2 ความทนแรงดัดโค้ง.....91
4.2.1.3 ความทนแรงกระแทก.....97
4.2.2 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหัก.....99
4.2.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ.....108
4.2.4 สมบัติทางความร้อน.....114
4.2.4.1 Thermogravimetric Analysis.....114
4.2.4.2 Differential Scanning Calorimeter.....118
4.3 สมบัติของสารตัวเติมฝ้ายจากการแปรสภาพทางเชิงกล.....125
4.4 สมบัติของวัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยฝ้าย.....129
4.4.1 สมบัติเชิงกล.....129
4.4.2 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหัก.....136
4.4.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ.....137
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....139
5.1 สรุปผลการทดลอง.....139
5.2 ข้อเสนอแนะ.....140
รายการอ้างอิง.....142
ภาคผนวก.....145
ภาคผนวก ก.....146
ภาคผนวก ข.....148
ภาคผนวก ค.....169
ภาคผนวก ง.....173

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 177

สารบัญตารางราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของวัสดุเซลลูโลส 11

ตารางที่ 2.2 ค่า DP ของเส้นใยเซลลูโลสชนิดต่างๆ ระหว่างปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส 22
ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 N

ตารางที่ 2.3 สารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติ 31

ตารางที่ 2.4 ค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวในแต่ละระดับพลังงานของธาตุต่างๆ.....43

ตารางที่ 3.1 สมบัติของเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรดโฮโมพอลิเมอร์ 45

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักระหว่างเม็ดพลาสติก.....53
พอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมผงฝ้าย

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักระหว่างเม็ดพลาสติก.....54
พอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมเส้นใยฝ้าย

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของชิ้นทดสอบรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ISO R 527 56

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอะตอมคาร์บอนและออกซิเจนในผงฝ้าย.....70

ตารางที่ 4.2 ค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวและความเข้มที่สภาวะทางเคมีของคาร์บอน 72
ในรูป $-CH_2-$ ของผงฝ้าย

ตารางที่ 4.3 ค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวและความเข้มที่สภาวะทางเคมีของคาร์บอน 73
ในรูปที่ต่อกับ –OH ของผงฝ้าย

ตารางที่ 4.4 ค่ามุมสัมผัสของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี.....74

ตารางที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรกของผงฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่าน.....78
การปรับปรุงด้วยสารเคมี

ตารางที่ 4.6 ค่ามอดุลัสของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ 86

ตารางที่ 4.7 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ.....88

ตารางที่ 4.8 ค่าความเค้นที่จุดขาดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ 89

ตารางที่ 4.9 ค่ามอดุลัสของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ 93

ตารางที่ 4.10 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ.....95

ตารางที่ 4.11 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ.....99

ตารางที่ 4.12 อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณ.....116
ผงฝ้ายต่างๆ กัน

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.13 อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก 118

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิค DSC ของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน 120

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิค DSC ของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ... 123

ตารางที่ 4.16 ค่าความเค้นของวัสดุเชิงประกอบจากสารตัวเติมฝ้ายลักษณะแตกต่างกัน ที่แรงกระทำในการทดสอบ (1) และ (2) แรงดึง และ(3) แรงดัดโค้ง 135

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้ายจากกล้องจุลทรรศน์ (1) เส้นใยอ่อน 13
ในสภาพแห้ง (2) เส้นใยโตเต็มที่ ในสภาพแห้ง และ (3) เส้นใยโตเต็มที่
ในสภาพปกติ
รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายตามยาวของเส้นใยฝ้ายจากกล้องจุลทรรศน์ 13
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส 14
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของโพรพิลีน 17
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 17
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของซินดิโอแทกติกพอลิโพรพิลีน 17
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของอะแทกติกพอลิโพรพิลีน 18
รูปที่ 2.8 แบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดที่อุณหภูมิต่ำและสูง 21
รูปที่ 2.9 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดของเส้นใยฝ้ายที่อุณหภูมิและ 23
ความเข้มข้นแตกต่างกัน
รูปที่ 2.10 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดของเส้นใยเรยอนที่อุณหภูมิและ 23
ความเข้มข้นแตกต่างกัน
รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและ MAHPP 27
รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและสารประกอบเมทิลออล 27
รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและสารประกอบไอโซไซยาเนต 28
รูปที่ 2.14 ปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและสารประกอบไตรอาซีน 29
รูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและสารประกอบไซเลน 30
รูปที่ 2.16 แบบจำลองลักษณะการกระจายตัวของสารตัวเติมในเนื้อพลาสติก 33
รูปที่ 2.17 เกลียวหนอนคู่แบบหมุนทางเดียวกัน 34
รูปที่ 2.18 เกลียวหนอนคู่แบบหมุนสวนทางกัน 34
รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก 35
รูปที่ 2.20 กระบวนการฉีดพลาสติก 37
รูปที่ 2.21 มุมภายในของของเหลวบนพื้นผิววัสดุ 38
รูปที่ 2.22 ลำดับความสามารถในการเปียกของมุมสัมผัส 39
รูปที่ 2.23 เทคนิคการวัดมุมสัมผัสแบบต่างๆ (1) เทคนิค Sessile Drop 40
(2) เทคนิค Wilhelmy Plate และ (3) เทคนิค Captive Bubble

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.24 การหลุดออกของโฟโตอิเล็กตรอน 42
รูปที่ 3.1 แผนภาพแนวการทดลอง 48
รูปที่ 3.2 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ISO R 527 55
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายของผงฝ้ายหลังจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด 60
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของผงฝ้าย ที่กำลังขยาย 61
350 เท่า (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2)ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAHPP
และ (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของผงฝ้าย ที่กำลังขยาย 62
2,500 เท่า (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2)ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAHPP
และ (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก
รูปที่ 4.4 ภาพอินฟราเรดสเปกตรัมของผงฝ้าย (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2)ผงฝ้าย..... 64
ที่ปรับปรุงด้วย MAHPP และ (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก
รูปที่ 4.5 ภาพอินฟราเรดสเปกตรัมของผงฝ้ายในช่วงความยาวคลื่น1500 – 1900 cm^{-1}.... 64
(1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAHPP และ
(3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก
รูปที่ 4.6 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส 65
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของวงแหวนเฮมิอะซิทัลในเซลลูโลส..... 65
รูปที่ 4.8 ปฏิกิริยาระหว่างฝ้ายและมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีน (MAHPP)..... 66
รูปที่ 4.9 ปฏิกิริยาระหว่างฝ้ายและกรดสเตียริก
รูปที่ 4.10 กราฟ ESCA ของผงฝ้าย (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุง..... 68
ด้วย MAHPP และ (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก
รูปที่ 4.11 กราฟ ESCA ของธาตุคาร์บอนในผงฝ้าย (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง..... 71
(2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAHPP และ(3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิการสลายตัวของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงด้วย..... 77
MAHPP และกรดสเตียริก
รูปที่ 4.13 ความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ (1) และ(2) ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% และ..... 80
(3) ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 ค่ามอดุลัสของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ....85
รูปที่ 4.15 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ....87
รูปที่ 4.16 ค่าความเค้นที่จุดขาดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ....89
รูปที่ 4.17 ค่ามอดุลัสของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ....93
รูปที่ 4.18 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ....94
รูปที่ 4.19 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ....98
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของพื้นผิวที่แตกหักของ....101
วัสดุเชิงประกอบฝ้าย ที่กำลังขยาย 350 เท่า (1) 5% (2) 10%
(3) 15% และ (4) 20% โดยน้ำหนัก
รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของพื้นผิวที่แตกหักของ....102
วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP ที่กำลังขยาย 350 เท่า (1) 5% (2) 10%
(3) 15% และ (4) 20% โดยน้ำหนัก
รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของพื้นผิวที่แตกหักของ....103
วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP ที่กำลังขยาย 350 เท่า (1) 5% (2) 10%
(3) 15% และ (4) 20% โดยน้ำหนัก
รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของพื้นผิวที่แตกหักของ....106
วัสดุเชิงประกอบ ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 2000 เท่า
(1) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย (2) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP และ (3) วัสดุ
เชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก
รูปที่ 4.24 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน..109
เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
รูปที่ 4.25 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย..109
ต่างๆ กันเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
รูปที่ 4.26 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก ที่ปริมาณผงฝ้าย...110
ต่างๆ กันเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
รูปที่ 4.27 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบชนิดต่างๆ ที่ปริมาณ....112
ผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.28 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบชนิดต่างๆ ที่ปริมาณ 112
ผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.29 อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณ 115
ผงฝ้ายต่างๆ กัน

รูปที่ 4.30 อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% 117
โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.31 อุณหภูมิการการเกิดผลึกของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP 119
ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน (1) 0% (PP) (2) 5% (3) 10% (4) 15%
และ (5) 20% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.32 อุณหภูมิการการหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP 121
ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน (1) 0% (PP) (2) 5% (3) 10% (4) 15%
และ (5) 20% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.33 อุณหภูมิการเกิดผลึกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% 122
โดยน้ำหนัก (1) พอลิโพรพิลีน (2) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย
(3) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP และ (4) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก

รูปที่ 4.34 อุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% 124
โดยน้ำหนัก (1) พอลิโพรพิลีน (2) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย
(3) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP และ (4) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก

รูปที่ 4.35 ภาพถ่ายของเส้นใยฝ้ายหลังการแปรสภาพด้วยวิธีทางเชิงกล 126

รูปที่ 4.36 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 127
100 เท่า (1) เส้นใยฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และ (2) เส้นใยฝ้ายที่ปรับปรุง
ด้วย MAHPP

รูปที่ 4.37 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 128
1500 เท่า (1) เส้นใยฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และ (2) เส้นใยฝ้ายที่ปรับปรุง
ด้วย MAHPP

รูปที่ 4.38 กราฟความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบจากสารตัวเติมฝ้าย 130
ลักษณะแตกต่างกัน ที่ปริมาณฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.39 ค่ามอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบจากสารตัวเติมฝ้ายลักษณะแตกต่างกัน 132
ที่แรงกระทำในการทดสอบ (1) และ (2) แรงดึง และ (3) แรงดัดโค้ง
รูปที่ 4.40 ค่าความเค้นของวัสดุเชิงประกอบจากสารตัวเติมฝ้ายลักษณะแตกต่างกัน.....133
ที่แรงกระทำในการทดสอบ (1) และ (2) แรงดึง และ (3) แรงดัดโค้ง
รูปที่ 4.41 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบจากสารตัวเติมฝ้าย.....134
ลักษณะแตกต่างกัน
รูปที่ 4.42 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของพื้นผิวที่แตกหักของ 136
วัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย (1) 350 และ
(2) 2000 เท่า
รูปที่ 4.43 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบจากสารตัวเติมฝ้าย.....138
ลักษณะแตกต่างกัน ที่ปริมาณฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก