



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานวิจัย

การปรับปรุงผิวของผงฝ้ายที่ได้จากการแปรสภาพทางเคมี
ของเศษผ้าเพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย

จพ
วท 15
012005

ดวงดาว อัจองค์

ธันวาคม ๒๕๔๕

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

การปรับปรุงผิวของผงฝ้ายที่ได้จากการแปรสภาพทางเคมีของเศษผ้าเพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน

โดย

ดร.ดวงดาว อัจจงค์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ธันวาคม 2545

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ และความช่วยเหลือจากผู้ทรงคุณวุฒิ รวมถึงการอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบจากสถาบันต่างๆเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี และ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ที่เชื้อเพื่อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากสถาบันต่างๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

และขอขอบคุณ อ.ดร.วิภาวี ไชวรัตน์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่อง ESCA และเครื่อง Contact Angle Meter อีกทั้งขอขอบคุณ คุณพิชัย อุดมมานันท์ กรรมการผู้จัดการบริษัทยูไนเต็ดเทคโบลมิลส์ จำกัด และ บริษัทไทยวานิตแวร์ จำกัด ในการเชื้อเพื่อเศษผ้าฝ้าย รวมทั้งขอขอบคุณบริษัทไทยพอลิเอทิลีน (TPE) จำกัด ในการเชื้อเพื่อเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน และบริษัทดูปองต์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ให้ความอนุเคราะห์นำเอาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัย และขอขอบคุณคณะกรรมการทุนวิจัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภชทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำแนวทางการวิจัย และตรวจสอบโครงการวิจัยฉบับนี้

สถาบันวิจัยวัสดุ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่	ที่ ๑๓
เลขทะเบียน	๐๑๒๐๐๕
วัน,เดือน,ปี	๑๙ ๕๓.๔๗

ชื่อโครงการวิจัย การปรับปรุงผิวของผงฝ้ายที่ได้จากการแปรสภาพทางเคมีของเศษผ้าฝ้ายเพื่อใช้
เป็นสารเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน

ชื่อผู้วิจัย ดร.ดวงดาว อัจจงค์

เดือนและปีที่ทำวิจัยสำเร็จ ธันวาคม พ.ศ. 2545

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เสนอแนวทางใหม่ในการนำเศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้งจากโรงงานสิ่งทอกลับมาใช้ใหม่ในลักษณะเป็นสารเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน โดยในขั้นแรกต้องทำการแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายผืนด้วยปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเพื่อให้ได้เป็นสารตัวเติมในลักษณะที่เป็นผงก่อน หลังจากนั้นจึงนำสารตัวเติมผงฝ้ายมาปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมีสองชนิดคือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ และกรดเสตียริก เพื่อให้สามารถยึดติดและเข้ากันได้ดีกับเมทริกซ์พอลิโพรพิลีน ในขั้นตอนสุดท้ายจึงทำการเตรียมวัสดุเชิงประกอบโดยใช้ผงฝ้ายทั้งที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ผ่านการปรับปรุงในปริมาณ 0-20% โดยน้ำหนักของพอลิโพรพิลีน จากนั้นจึงทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และ ลักษณะพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ ผลการศึกษาพบว่าสมบัติความทนแรงดึงและความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบซึ่งทำจากสารตัวเติมผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากพอลิโพรพิลีนก่อนที่จะเติมสารตัวเติม และมีค่าเพิ่มสูงมากกว่าวัสดุเชิงประกอบซึ่งทำจากผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว และผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเสตียริก ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้สามารถยืนยันและสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดซึ่งพบว่า การปรับปรุงสารตัวเติมผงฝ้ายด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ ทำให้สารตัวเติมสามารถยึดติดและกระจายตัวในเนื้อพลาสติกพอลิโพรพิลีนได้ดีกว่าวัสดุเชิงประกอบชนิดอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุเชิงประกอบทุกชนิดมีแนวโน้มในการดูดซึมน้ำที่ต่ำมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัสดุเชิงประกอบที่มีสารตัวเติมผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ เนื่องจากลักษณะความไม่ชอบน้ำของผงฝ้าย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Project Title Surface Modification of Cotton Powder from Chemical Transfiguration of
Waste Cotton Fabric for Reinforcing Filler in Polypropylene

Name of the Investigator Dr. Duangdao Aht-Ong

Year December, 2002

Abstract

This research presents the new approach to recycle waste cotton fabrics from textile factory by using them as a reinforcing filler in polypropylene (PP). In doing so, waste cotton fabric was first transfigured by acid hydrolysis reaction in order to obtain suitable filler in the powder form. After that, the cotton filler was surface treated with two coupling agents, maleic anhydride polypropylene copolymer (MAH-PP) and stearic acid, to improve adhesion and compatibility between the cotton filler and polypropylene matrix. Finally, the composites were prepared by varying amount of treated and untreated cotton powder from 0 to 20%, with 5% interval, by weight of polypropylene. Mechanical properties, thermal properties, water absorption, and fractured surface of the composites were investigated as a function of coupling agents and cotton filler content. The results show that the tensile and flexural properties of MAHPP-cotton/PP composites were greater than those of pure PP, untreated-cotton/PP, and stearic-cotton/PP composites. These results were confirmed and in good agreement with the results from SEM analysis that the adhesion and dispersion of the MAHPP-cotton in PP matrix were better than any other composites. In addition, all composites showed very low water absorption, in particular the MAHPP-cotton/PP composites, which is owing to the hydrophobic surface of the cotton powder after surface treatment.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iii
กิตติกรรมประกาศ.....	iv
สารบัญ.....	v
รายการตารางประกอบ.....	vii
รายการภาพประกอบ.....	viii
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
3 การทดลอง	6
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	7
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	8
3.3 วิธีการวิจัย.....	8
3.3.1 การแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายผืนโดยวิธีทางเคมี	8
3.3.2 การปรับปรุงสารตัวเติมผงฝ้ายด้วยสารเคมี.....	9
3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของสารตัวเติมผงฝ้าย.....	9
3.3.4 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ.....	10
3.3.5 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุเชิงประกอบ.....	11
4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	15
4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารตัวเติมผงฝ้าย	15
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ.....	15
4.1.2 โครงสร้างทางเคมี.....	18
4.1.3 ค่ามุมสัมผัสของผิววัสดุกับน้ำ.....	27
4.1.4 สมบัติทางความร้อน	28
4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุเชิงประกอบ	30
4.2.1 สมบัติเชิงกล.....	30
4.2.2 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหัก.....	42
4.2.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ	45
4.2.4 สมบัติทางความร้อน	50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

	หน้า
5 ข้อสรุป	58
6 ข้อเสนอแนะ	59
ส่วนอ้างอิง.....	60
ส่วนผนวก.....	62
ส่วนผนวก ก.....	63
ส่วนผนวก ข.....	64
ส่วนผนวก ค	84



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 1 สมบัติของเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรดโฮโมพอลิเมอร์.....	7
ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักระหว่างเม็ดพลาสติก พอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมผงฝ้าย	11
ตารางที่ 3 รายละเอียดของขั้นตอนทดสอบรูปคัมเบล ตามมาตรฐาน ISO R 527.....	12
ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอะตอมคาร์บอนและออกซิเจนในผงฝ้าย	24
ตารางที่ 5 ค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวและความเข้มที่สภาวะทางเคมีของคาร์บอน.....	26
ในรูปแบบ $-CH_2-$ ของผงฝ้าย	
ตารางที่ 6 ค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวและความเข้มที่สภาวะทางเคมีของคาร์บอน.....	26
ในภาพที่ต่อกับ $-OH$ ของผงฝ้าย	
ตารางที่ 7 ค่ามุมสัมผัสของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี	27
ตารางที่ 8 อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรกของผงฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่าน การปรับปรุงด้วยสารเคมี	30
ตารางที่ 9 ค่ามอดูลัสของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ.....	31
ตารางที่ 10 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ	33
ตารางที่ 11 ค่าความเค้นที่จุดขาดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ	35
ตารางที่ 12 ค่ามอดูลัสของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ.....	37
ตารางที่ 13 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ	39
ตารางที่ 14 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ	41
ตารางที่ 15 อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP.....	51
ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน	
ตารางที่ 16 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบ	53
ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก	
ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิค DSC ของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP.....	54
ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน	
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิค DSC ของวัสดุเชิงประกอบ	57
ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก	

รายการภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 1	แผนภาพขั้นตอนของวิธีการวิจัย..... 6
ภาพที่ 2	ขั้นตอนทดสอบรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ISO R 527 12
ภาพที่ 3	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของผงฝ้าย ที่กำลังขยาย 350 เท่า..... 16
ภาพที่ 4	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของผงฝ้าย ที่กำลังขยาย 2500 เท่า..... 17
ภาพที่ 5	อินฟราเรดสเปกตรัมของผงฝ้าย 19
ภาพที่ 6	ภาพขยายอินฟราเรดสเปกตรัมของผงฝ้ายในช่วงความยาวคลื่น 1500 – 1900 cm^{-1} 19
ภาพที่ 7	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส 20
ภาพที่ 8	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของวงแหวนเฮมิอะซิทัลดในเซลลูโลส 20
ภาพที่ 9	ปฏิกิริยาระหว่างฝ้ายและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) 21
ภาพที่ 10	ปฏิกิริยาระหว่างฝ้ายและกรดสเตียริก..... 22
ภาพที่ 11	กราฟ ESCA ของผงฝ้าย..... 23
ภาพที่ 12	กราฟ ESCA ของธาตุคาร์บอนในผงฝ้าย 25
ภาพที่ 13	อุณหภูมิการสลายตัวของผงฝ้าย 29
ภาพที่ 14	ค่ามอดูลัสของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ 31
ภาพที่ 15	ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ 32
ภาพที่ 16	ค่าความเค้นที่จุดขาดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ 34
ภาพที่ 17	ค่ามอดูลัสของแรงคดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ 37
ภาพที่ 18	ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงคดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ 38
ภาพที่ 19	ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ..... 41
ภาพที่ 20	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของพื้นผิวที่แตกหักของ วัสดุเชิงประกอบ ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 2000 เท่า
ภาพที่ 21	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน..... 45 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ภาพที่ 22	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้าย..... 46 ต่างๆ กันเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ภาพที่ 23	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก ที่ปริมาณผงฝ้าย..... 46 ต่างๆ กันเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ภาพที่ 24	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบชนิดต่างๆ ที่ปริมาณ..... 48 ผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

รายการภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 25 เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบชนิดต่างๆ ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก	49
ภาพที่ 26 อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน	51
ภาพที่ 27 อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก	52
ภาพที่ 28 อุณหภูมิการเกิดผลึกของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน	54
ภาพที่ 29 อุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน	55
ภาพที่ 30 อุณหภูมิการเกิดผลึกของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก	56
ภาพที่ 31 อุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก	57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1



บทนำ

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ทั้งในการทำเครื่องนุ่งห่มเพื่อให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย ไปจนถึงการตกแต่งเพื่อให้เกิดความสวยงาม เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการเพาะปลูกพืชเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทออยู่เป็นจำนวนมากทำให้อุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยมีการพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้ชัดจากปริมาณมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีจำนวนสูงสุดเป็นอันดับหนึ่งติดต่อกันมาหลายปี

จากการสำรวจพบว่า โรงงานสิ่งทอในประเทศไทยมีเศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำเศษผ้าฝ้ายเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบของสารตัวเติมเพื่อเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบพลาสติก นับว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ มีความเป็นไปได้ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้ดังกล่าวได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พลาสติกพอลิโพรพิลีนเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุเชิงประกอบซึ่งมีฝ้ายเป็นสารตัวเติม เนื่องจากพอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่สามารถหาได้ง่าย ผลิตได้เองในประเทศไทย อย่างไรก็ตามพบว่าเศษผ้าฝ้ายที่เหลือทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นผืนขนาดต่างๆ กัน จึงต้องทำการแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายให้มีลักษณะและขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นสารตัวเติมก่อน จากการค้นคว้าพบว่า วิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง ซึ่งปกติใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของสิ่งทอประเภทเซลลูโลส เช่น สมบัติด้านสัณฐานวิทยา (morphological properties) เป็นต้นนั้น นับว่าเป็นวิธีการทางเคมีที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายในงานวิจัยนี้ เนื่องจากวิธีดังกล่าวจะทำให้เศษผ้าฝ้ายเปลี่ยนสภาพจากลักษณะผ้าผืนและเส้นใยไปเป็นผงคล้ายผงแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารตัวเติมแบบผง (particulate filler) ชนิดหนึ่งที่ถูกกันดีและนิยมใช้เติมในพลาสติกเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล และลดต้นทุนการผลิต โดยผงฝ้ายที่ได้นี้จะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารตัวเติมได้ และจะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เช่นกัน

อย่างไรก็ตามพบว่าผงฝ้ายที่เตรียมได้มีลักษณะของความชอบน้ำ (hydrophilic) และมีขั้ว (polar) เนื่องจากฝ้ายมีองค์ประกอบหลักประเภทเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่เป็นจำนวนมาก ในขณะที่โครงสร้างทางเคมีของพลาสติกเชิงพาณิชย์ทั่วไปรวมทั้งพอลิโพรพิลีน ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้มีลักษณะตรงข้ามกับฝ้ายคือมีลักษณะไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และไม่มีขั้ว (non-polar) จากลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดปัญหาการกระจายตัวและยึดติดระหว่างผงฝ้ายและเนื้อพลาสติกพอลิโพรพิลีน และปัญหาอีกประการหนึ่งอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากสมบัติความชอบน้ำของผงฝ้าย คือความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี ซึ่งจะทำให้วัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้มีความทนทานต่อสิ่งแวดล้อมและอายุการใช้งานที่ลดลง เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้วัสดุเชิงประกอบที่มีคุณภาพ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงผงฝ้ายให้มีลักษณะชอบน้ำและความมีขั้วลดลงเพื่อให้สามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อพลาสติก

จากเหตุผลข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงสารตัวเติมผงฝ้ายซึ่งเป็นวัสดุเซลลูโลสชนิดหนึ่ง โดยทำการเปรียบเทียบสารเคมี 2 ชนิดที่ใช้ในการปรับปรุงคือ (1) มาเลอิกแอนไฮไดรด์

พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) และ (2) กรดสเตียริก (stearic acid) ซึ่งจากการค้นคว้าพบว่าสารทั้งสองนี้เป็นสารที่นิยมใช้ในการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและพลาสติก หลังจากทำการปรับปรุงผงฝ้ายด้วยสารเคมีดังกล่าวแล้ว จึงนำฝ้ายที่ได้มาผสมเป็นวัสดุเชิงประกอบตามกระบวนการที่เหมาะสม แล้วนำไปทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของวัสดุเชิงประกอบที่ได้ต่อไป

กล่าวโดยสรุปงานวิจัยนี้คาดว่าจะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสิ่งของเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม โดยการแปรสภาพสิ่งของเหลือใช้นั้นให้มีรูปแบบและการใช้งานที่ต่างไปจากเดิม หรือดัดแปลงให้สามารถใช้งานทดแทนวัสดุอื่นที่มีราคาแพงกว่าได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งของที่เหลือใช้แล้ว และคาดว่าจะได้วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนที่ผลิตด้วยผงฝ้ายซึ่งได้จากการแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ รวมทั้งได้ทางเลือกที่เหมาะสมในการแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายและปรับปรุงผิวสารตัวเติมฝ้ายเพื่อให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีสมบัติที่ดี สามารถนำไปใช้งานได้จริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสอบถามผู้ประกอบการในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่าภายหลังจากกระบวนการผลิต โรงงานสิ่งทอเหล่านี้จะมีเศษผ้าเหลือทิ้งอยู่ในโรงงานเป็นจำนวนมาก ปกติแล้วเศษผ้าดังกล่าวจะถูกกำจัดทิ้งจากโรงงานโดยเปล่าประโยชน์ ด้วยการเผา การฝังดิน หรือนำไปขายต่อในราคาที่ต่ำมาก และในจำนวนเศษผ้าที่ถูกกำจัดดังกล่าว ผ้าฝ้ายจะมีปริมาณค่อนข้างสูง เนื่องจากในประเทศไทยฝ้ายเป็นเส้นใยที่มีความสำคัญและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เพราะฝ้ายสามารถปลูกได้ดีในประเทศไทย และผ้าฝ้ายยังมีความสมบัติที่ดีในการนำมาทำเป็นเครื่องนุ่งห่ม หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ สาเหตุอีกประการของเศษผ้าฝ้ายที่เหลือทิ้งเป็นปริมาณมากก็คือ ฝ้ายไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ได้เหมือนเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากฝ้ายไม่สามารถหลอมเหลวได้ แต่จะเริ่มไหม้และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 246°C และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นไปอีก โครงสร้างทางเคมีของฝ้ายจะถูกทำลายได้ (วิระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2542) ดังนั้นการนำเศษผ้าฝ้ายกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้งจึงเป็นสิ่งที่หลายโรงงานให้ความสนใจ ซึ่งการนำเศษผ้าฝ้ายกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบของสารตัวเติมเพื่อเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบนั้นจัดเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถปฏิบัติได้

จากการรวบรวมข้อมูลของ Bledzki และคณะ (1996) พบว่าวัสดุประเภทเซลลูโลสจากธรรมชาติมีประโยชน์อย่างมากในการใช้เป็นสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงให้กับพลาสติก เพื่อทำเป็นวัสดุเชิงประกอบทดแทนวัสดุสังเคราะห์ เช่น แก้ว คาร์บอน และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น แม้ว่าความแข็งแรงของเซลลูโลสจะน้อยกว่าวัสดุสังเคราะห์และสารแร่ตัวเติม (mineral fillers) แต่เซลลูโลสมีคุณสมบัติที่พิเศษกว่าคือ มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้วัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้มีน้ำหนักเบา และมีสมบัติจำเพาะ (specific properties) ที่เทียบได้กับวัสดุสังเคราะห์ นอกจากนี้วัสดุประเภทเซลลูโลสยังสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งขั้นตอนการผลิตไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องมือ ที่สำคัญการใช้วัสดุเซลลูโลสจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตเนื่องจากมีราคาต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุสังเคราะห์ และสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทยด้วย

ปัจจุบันพบว่าในต่างประเทศได้มีการนำวัสดุเซลลูโลสมาเสริมแรงในพลาสติก และผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น คอนโซลหน้ารถยนต์ (panel) ที่ทำจาก ปอแก้ว (kenaf) / พอลิโพรพิลีน / พอลิเอทิลีนเทเรพทาเรท (PET) (Sherman, 1999) และ ประตูด้านข้างรถยนต์ (door inner trim panel) ที่ทำจาก ปอแก้ว / พอลิยูรีเทน (Elsevier Sci Ltd, 1999) เป็นต้น จากการศึกษาของ Saheb และ Jog (1999) พบว่ามีตัวอย่างของวัสดุเซลลูโลสจากธรรมชาติหลากหลายชนิดที่สามารถนำมาเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ เช่น ลิเนียน (flax) ปอกระเจา (jute) ปอแก้ว โยกาบมะพร้าว และฝ้าย เป็นต้น ส่วนองค์ประกอบหลัก (matrix) ของวัสดุเชิงประกอบคือพลาสติกนั้น มีหลากหลายชนิดทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว และพอลิยูรีเทน เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ ในขั้นต้นจะต้องทำการแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายผืนที่มีขนาดต่างๆ กันให้มีลักษณะและขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารตัวเติมก่อน ซึ่งจากการค้นคว้าพบว่า วิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจางเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้แปรสภาพผ้าฝ้ายผืนให้มีลักษณะเป็นผงได้ โดย O.A. Battista (1950) ได้ศึกษาผลกระทบของเวลา อุณหภูมิ และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ 2.5N และ 5N ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับเส้นใยเซลลูโลสชนิดต่าง ๆ กัน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปลำดับขั้นของการพอลิเมอไรเซชัน (degree of polymerization, DP) ของเส้นใย จะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงค่าคงที่ และการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดนี้จะไปทำลายส่วนอสัณฐาน (amorphous) ของเส้นใย ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความเป็นผลึกสูง ซึ่งลักษณะภายนอกเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะพบว่าเส้นใยได้ถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นผงที่มีลักษณะคล้ายผงแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นหรือการต้มจะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้ดำเนินเร็วขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินจุดเดือดของน้ำ อาจมีผลให้ฝ้ายเปลี่ยนสีได้ ส่วนความเข้มข้นของกรดนั้นพบว่า ความเข้มข้น 2.5 N และ 5 N มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน

M. L. Nelson และ V. W. Tripp (1953) ได้ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกของเส้นใยฝ้ายและเส้นใยเรยอนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 80 °C ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ค่า คือ 0.01 N 0.1 N 1.0 N และ 2.5 N โดยวิเคราะห์ผลจาก ค่า DP ที่ลดลง เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น พบว่า สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงกว่า และความเข้มข้นมากกว่าจะทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้เร็วกว่า แต่อย่างไรก็ตามทุกสภาวะในการทดลองจะให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันคือ เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาเส้นใยจะเปลี่ยนสภาพเป็นผง และมีค่า DP ที่คงที่และเท่ากัน

หลังจากแปรสภาพเพื่อให้ได้สารตัวเติมที่มีขนาดเหมาะสมแล้ว จึงนำมาเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบต่อไป ซึ่งการค้นคว้าพบว่ามีงานวิจัยที่ใกล้เคียงกันในการนำวัสดุธรรมชาติมาผสมพลาสติกเพื่อทำเป็นวัสดุเชิงประกอบ โดย A.K. Bledzki S.Reihmane และ J.Gassan (1996) ได้ศึกษาโครงสร้างและสมบัติของเส้นใยธรรมชาติต่าง ๆ ที่ได้มีการนำมาทำวัสดุเชิงประกอบ เช่น ปอกระเจา ลินิน ป่านรามิรั และใยกามมะพร้าว เป็นต้น อีกทั้งยังได้รวบรวมการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติเพื่อให้สามารถเข้ากันได้กับสารพอลิเมอร์ ทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยการปรับปรุงทางกายภาพ เช่น calendaring และ thermotreatment เป็นต้น นอกจากนี้วิธีการปรับปรุงโดยใช้กระแสไฟฟ้า เช่น corona และ cold plasma ก็เป็นแนวทางหนึ่งของการปรับปรุงทางกายภาพด้วย ส่วนการปรับปรุงทางเคมี ได้แก่ การใช้สารเคมีต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติ เช่น สารโคพอลิเมอร์ของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ กรดไขมัน สารประกอบไตรอะซีน และสารประกอบไซเลน เป็นต้น

J. M. Felix และ P. Gatenholm (1991) ได้กล่าวถึงการปรับปรุงผิวหน้าของเส้นใยเซลลูโลสโดยใช้สารมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) ซึ่งเติมลงไปประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย และในงานวิจัยนี้ได้ใช้กระดาษกรองเป็นตัวแทนของเส้นใยเซลลูโลสเนื่องจากประกอบด้วยเซลลูโลสมากกว่า 99 % ในการศึกษาสมบัติของผิวหน้าเซลลูโลส และใช้เยื่อไม้ (beech wood and birch wood) เป็นเส้นใยเซลลูโลสในการเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบ โดยจุดประสงค์ของงานวิจัยคือปรับปรุงเส้นใยเซลลูโลสให้สามารถยึดติดกับพลาสติกพอลิโพรพิลีนได้ดี เพื่อคุณภาพที่ดีของวัสดุเชิงประกอบ พบว่า การเติมเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงในพลาสติกพอลิโพรพิลีนสามารถเพิ่มความทนแรงดึงได้มากกว่าการเติมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง และนอกจากนี้เมื่อตรวจสอบผิวหน้าเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงด้วย

เครื่อง Scanning Electron Microscope พบว่า ผิวหน้ามีลักษณะขรุขระคล้ายมีสารเคลือบอยู่บนผิวเส้นใย เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงซึ่งจะมีผิวหน้าเรียบ

C. Joly R. Gauthier และ M. Escoubes (1996) ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงผิวหน้าของเส้นใยฝ้าย ด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อใช้สำหรับทำวัสดุเชิงประกอบ โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยฝ้าย ซึ่งได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสมบัติของเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมี 4 ชนิด ได้แก่ (1) อะซิฟลาติกไฮโดรซายาเนต (2) มาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิไพโรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) (3) สารประกอบโวนิลซิลโฟน และ (4) สารประกอบไตรอะซีน จากการทดลองพบว่าเส้นใยฝ้ายที่ถูกปรับปรุงด้วยสารชนิดที่(2) (3) และ (4) ให้ผลการดูดซึมน้ำที่ต่ำมาก ทำให้ไม่สามารถวัดค่าการดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเส้นใยฝ้ายที่ถูกปรับปรุงด้วยสารชนิดที่ (1) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำลงตามความยาวที่เพิ่มขึ้นของสายโซ่โมเลกุลแอลคิลที่ต่อกับหมู่ไฮโดรซายาเนต เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลแอลคิลไปกีดขวางเส้นทางผ่านของน้ำในเส้นใยฝ้าย

R.G. Raj และ B.V. Kokta (1989) ได้ศึกษามลกระทบของการปรับปรุงเส้นใยจากเยื่อไม้ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสด้วยกรดสเตียริก เพื่อให้สามารถผสมและกระจายตัวได้ดีในพลาสติกพอลิไพโรพิลีน โดยเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงที่แตกต่างกันคือ การปรับปรุงด้วยไอของกรด และการปรับปรุงด้วยสารละลายของกรด หลังจากการผสมเส้นใยกับพลาสติกพอลิไพโรพิลีนและขึ้นรูปเป็นชิ้นงานแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Optical Microscope พบว่า การปรับปรุงด้วยสารละลายจะสามารถทำให้เส้นใยกระจายตัวในเนื้อพลาสติกได้ดีกว่า และปริมาณของกรดสเตียริกที่น้อยที่สุดซึ่งส่งผลให้เส้นใยกระจายตัวได้ดีในพอลิไพโรพิลีน คือ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใย

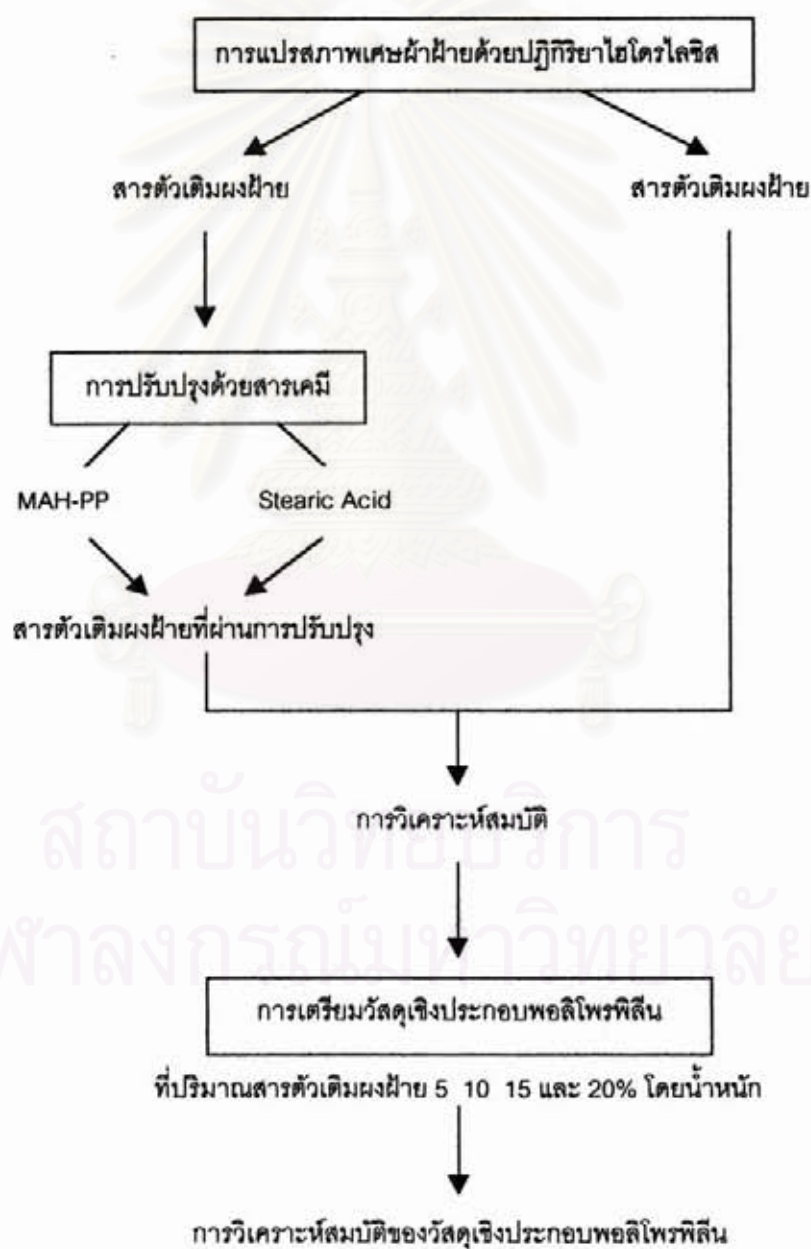
A.C. Karmaker และ J.A. Youngquist (1996) ได้กล่าวถึงการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรพิลีนที่เติมเส้นใยปอกระเจาเป็นสารเสริมแรง โดยเทคนิคการฉีดเข้าแม่แบบ ที่อุณหภูมิ 188°C และใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิไพโรพิลีน โคพอลิเมอร์ เป็นสารในการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยปอกระเจาและพอลิไพโรพิลีน โดยในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการปรับปรุงแบบชั้นตอนเดียว (reactive blending) คือ การใส่สารปรับปรุงลงในเครื่องผสมพร้อมทั้งเส้นใยและพลาสติก พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใส่สารปรับปรุงจะมีค่า ความทนแรงดึง และความทนแรงคัดโค้งที่เพิ่มขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามจนถึงปัจจุบันนี้ พบว่ายังไม่มียานวิจัยใดใช้วัสดุธรรมชาติในรูปแบบเดียวกันนี้มาก่อน คือการนำเศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้งจากโรงงานสิ่งทอมาแปรสภาพให้มีลักษณะเป็นผงฝ้าย เพื่อเป็นสารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรพิลีน จะมีเพียงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับงานวิจัยนี้เท่านั้น

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

สำหรับโครงการวิจัยนี้ สามารถแบ่งแนวทางการวิจัยได้เป็น 3 ส่วน คือ (1) การเตรียมสารตัวเติมโดยการแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (2) การปรับปรุงสารตัวเติมด้วยสารเคมี และ(3) การเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างสารตัวเติมและพอลิโพรพิลีนซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนได้จากแผนภาพในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพขั้นตอนของวิธีการวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี

วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

- (1) เม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรดไฮโมพอลิเมอร์ (P700J) ของ บริษัท ไทยพอลิเอทิลีน จำกัด มีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรดไฮโมพอลิเมอร์

สมบัติ	พอลิโพรพิลีน	มาตรฐานทดสอบ
ความหนาแน่น (กรัม/10นาท)	12	ASTM D 1238
ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	0.910	ASTM D 1505
ความต้านทานแรงดึงยืด (กก./ตร.ซม.)	380	ASTM D 638
ความต้านทานแรงดึงขาด (กก./ตร.ซม.)	250	ASTM D 638
ความยืดที่จุดขาด (%)	500	ASTM D 638
ความต้านทานแรงกระแทก(กก.-ซม./ซม.)	2.5	ASTM D 256
มอดูลัสการโค้งงอ (กก./ตร.ซม.)	15,500	ASTM D 790
จุดอ่อนตัวไวแคท (°C)	155	ASTM D 1525

- (2) เศษผ้าฝ้าย 100 % จากโรงงานสิ่งทอ
- (3) มาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP)
- (4) กรดสแตียริก เกรดสังเคราะห์
- (5) กรดไฮโดรคลอริก
- (6) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
- (7) โทลูอีน
- (8) เอทิลแอลกอฮอล์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทดสอบสมบัติ และเตรียมวัสดุเชิงประกอบมีดังนี้

	แบบ/รุ่น	ผู้ผลิต
Thermogravimetric Analysis (TGA)	TGA 7	PERKIN ELMER
Differential Scanning Calorimeter (DSC)	DSC 7	PERKIN ELMER
Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA)	5100	PERKIN ELMER
Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	Vector 3	BRUKER
Scanning Electron Microscopy (SEM)	JSM-5410LV	JEOL
Contact Angle meter	-	Rame-Hart
Twin Screw Extruder	D-8017	COLLIN
Internal Mixer	D-47055	BRABENDER
Injection Molding	E-80B	ELITE
Universal Testing Machine	LR 10 K	LLOYD
Instron Testing Machine	4502	INSTRON
Digital Impact Tester	No.555	TOYOSEIKI
Notching Machine	Spec. N	TOYOSEIKI

3.3 วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยสามารถแบ่งได้เป็น 5 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 การแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายผืน โดยวิธีทางเคมีด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง

การแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายโดยการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง มีขั้นตอนดังนี้

- (1) นำเศษผ้าฝ้ายผืนมาตัดให้มีขนาดเล็กลง เพื่อความสะดวกในการใส่ลงในขวดสีคอ
- (2) ชั่งเศษผ้าฝ้ายที่ตัดแล้วมาประมาณ 40 กรัม ใส่ลงในขวดสีคอแล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2.5 N ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ปล่อยให้ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในระบบปิดพร้อมด้วยการกลั่นแบบไหลกลับ (reflux condensation) ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งจะทำให้เศษผ้าฝ้ายเปลี่ยนสภาพเป็นผงฝ้ายโดยสมบูรณ์
- (3) หลังจากนั้นกรองผงฝ้ายที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในข้อ(2)และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5% เพื่อทำฝ้ายให้เป็นกลาง แล้วตามด้วยการล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน ประมาณ 5 ครั้ง

- (4) นำสารตัวเติมผงที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลาข้ามคืน หรือจนกระทั่งสารตัวเติมผงมีน้ำหนักคงที่

3.3.2 การปรับปรุงสารตัวเติมผงฝ้ายด้วยสารเคมี

3.3.2.1 การปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์

- (1) เตรียมสารละลายมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ โดยชั่งสารมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ มา 10 % โดยน้ำหนักของสารตัวเติมผงฝ้าย แล้วนำมาละลายในตัวทำละลายโทลูอีน ที่อุณหภูมิ 110°C จนได้สารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน
- (2) เติมผงฝ้ายลงในสารละลายมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ ที่คงอุณหภูมิไว้ที่ 100°C พร้อมทั้งกวนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวน (stirring machine) เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้ปริมาตรสารละลาย 250 มิลลิลิตร ต่อ น้ำหนักผงฝ้าย 100 กรัม
- (3) กรองแยกสารตัวเติมผงฝ้ายออกจากสารละลาย แล้วจึงนำสารตัวเติมที่ได้แช่ลงในโทลูอีนร้อน เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อกำจัดโคพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับผิวของสารตัวเติมผงฝ้ายออกไป
- (4) นำสารตัวเติมผงฝ้ายไปอบให้แห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลาข้ามคืน หรือจนกระทั่งสารตัวเติมผงฝ้ายมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 80 ซึ่งมีช่องตะแกรงขนาด 180 ไมครอน (μm) เพื่อความสม่ำเสมอของขนาดสารตัวเติม

3.3.2.2 การปรับปรุงด้วยกรดเตียริก

- (1) เตรียมสารละลายกรดเตียริก โดยชั่งกรดเตียริกมา 10% โดยน้ำหนักของสารตัวเติมผงฝ้าย ละลายในตัวทำละลายเอทิล แอลกอฮอล์ ที่อุณหภูมิห้อง
- (2) เติมสารละลายกรดเตียริกลงในสารตัวเติมผงฝ้ายทีละน้อย พร้อมทั้งกวนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวนแบบใบพัด (stirring machine) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 45 นาที โดยปริมาตรสารละลายเป็น 250 มิลลิลิตร ต่อ น้ำหนักผงฝ้าย 100 กรัม
- (3) กรองแยกสารตัวเติมผงฝ้ายออกจากสารละลาย แล้วล้างสารตัวเติมผงฝ้ายด้วยอะซิโตนเพื่อกำจัดกรดเตียริกที่ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวของสารตัวเติมผงฝ้ายออกไป
- (4) นำสารตัวเติมผงฝ้ายไปอบให้แห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลาข้ามคืน หรือจนกระทั่งสารตัวเติมผงฝ้ายมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 80 ซึ่งมีช่องตะแกรงขนาด 180 ไมครอน (μm) เพื่อความสม่ำเสมอของขนาดสารตัวเติม

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของสารตัวเติมผงฝ้าย

- (1) การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของพื้นผิวสารตัวเติมผงฝ้ายที่ผ่านการแปรสภาพทางเคมี ด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างทางกายภาพของพื้นผิวสารตัวเติมผง

ฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบบนกาวสองหน้าซึ่งติดอยู่บนแท่นทดสอบแล้วทำการเคลือบด้วยทอง ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนพลังงาน 15 KV และกำลังขยายในช่วง 300 ถึง 2,500 เท่า ในการตรวจสอบ

(2) การวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี

(2.1) เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

ตรวจสอบองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวสารตัวเติมผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy แบบ Attenuated Total Reflection (ATR) รุ่น Vector 3 ของบริษัท PERKIN ELMER โดยทำการวิเคราะห์ที่ความละเอียดในการแปลผล (resolution) 4 cm^{-1} และ ความเร็วในการสแกน (number of scan) 32 ต่อหนึ่งตัวอย่าง

(2.2) เทคนิค Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA)

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสถานะทางเคมีของธาตุแต่ละชนิดที่อยู่บนพื้นผิวสารตัวเติมผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่อง Electron Spectroscopy for Chemical Analyzer รุ่น 5100 ของบริษัท PERKIN ELMER โดยมี X-ray MgK_{α} เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานการกระตุ้นที่ 400 วัตต์ และใช้มุมในการตรวจสอบ 15 องศา

(3) การวิเคราะห์ลักษณะการดูดซึมน้ำของพื้นผิววัสดุ

ตรวจสอบลักษณะและความสามารถในการดูดซึมน้ำของพื้นผิวสารตัวเติมผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส Goniometer ของบริษัท Rame-Hart และอุปกรณ์ในการหยดน้ำ Microsyringe ของบริษัท Gilmont โดยนำสารตัวเติมฝ้ายไปอบให้แห้งในตู้อบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเตรียมตัวอย่างทดสอบบนกาวสองหน้าซึ่งติดอยู่บนฟิล์มไมลาร์ (milar film) ทำการวัดมุมสัมผัสโดยหยดน้ำกลั่นบนตัวอย่าง และวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ โดยวัดทั้งมุมสัมผัสสูงสุดและมุมสัมผัสต่ำสุด

(4) การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

ตรวจสอบหาอุณหภูมิการสลายตัว (degradation temperature, T_d) ของสารตัวเติมผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer โดยให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50°C ถึง 500°C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (heating rate) $20^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ ภายใต้ภาวะแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหลของแก๊ส (flow rate) 40 มิลลิลิตร/นาที

3.3.4 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ

สำหรับการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิไพโรทีลีนและสารตัวเติมผงฝ้ายนั้น สามารถแบ่งขั้นตอนการเตรียมวัสดุเชิงประกอบเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- (1) การผสมพอลิไพโรทีลีนและสารตัวเติมผงฝ้ายด้วยเครื่องผสมเกลียวทวนคู่ (Twin Screw Extruder)

ผสมเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมผงฝ้ายด้วยเครื่องผสมเกลียวหนอนคู่ ในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยทำการผสมที่อุณหภูมิ 190°C และความเร็วในการผสม 50 รอบ/นาที (rpm) ซึ่งของผสมที่ได้จะอยู่ในรูปของเม็ดพลาสติกที่สามารถนำไปขึ้นรูปได้ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักระหว่างเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมผงฝ้าย

ชนิดของตัวอย่าง	พอลิโพรพิลีน (%โดยน้ำหนัก)	ผงฝ้าย (%โดยน้ำหนัก)	ผงฝ้ายที่ปรับปรุง ด้วย MAHPP (%โดยน้ำหนัก)	ผงฝ้ายที่ปรับปรุง ด้วยกรดสเดียริก (%โดยน้ำหนัก)
1	100	0	0	0
2	95	5	5	5
3	90	10	10	10
4	85	15	15	15
5	80	20	20	20

(2) การขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding)

นำเม็ดพลาสติกที่เตรียมได้จากข้อ (1) มาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบล โดยใช้อุณหภูมิการขึ้นรูป 195 °C ความเร็วรอบของเกลียวหนอน 90 รอบ/นาที และแรงดันในการฉีด 80 bar

3.3.5 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

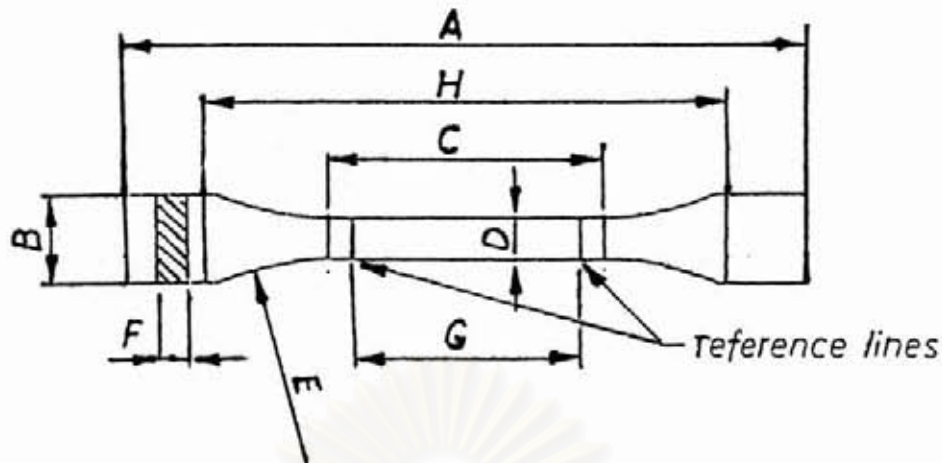
วิเคราะห์สมบัติของชิ้นทดสอบวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.4 เปรียบเทียบกับสมบัติของชิ้นทดสอบพอลิโพรพิลีน ดังนี้

(1) สมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลทุกชนิดกระทำที่ภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 50% และอุณหภูมิ 23°C

(1.1) การทดสอบความทนแรงดึง

ทดสอบหาค่าความทนแรงดึง (tensile strength) และ มอดุลัสของแรงดึง (tensile modulus) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น 4502 ของบริษัท INSTRON โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO R 527 (plastics-determination of tensile properties) ซึ่งมีชิ้นงานเป็นรูปดัมเบล โดยมีขนาดและรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 3 ให้แรงในการดึง 10 kN และความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ISO R 527

ตารางที่ 3 รายละเอียดของชิ้นทดสอบรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ISO R 527

สัญลักษณ์	รายละเอียด (มิลลิเมตร)	
A	ความยาวทั้งหมด	150
B	ความกว้างที่ปลายชิ้นทดสอบ	20 ± 0.5
C	ความยาวของ parallel portion	60 ± 0.5
D	ความกว้างของ parallel portion	10 ± 0.5
E	รัศมี (ต่ำสุด)	60
F	ความหนา	3 – 4
G	ระยะเส้นอ้างอิง (gauge length)	50 ± 0.5
H	ระยะการจับชิ้นทดสอบ	115 ± 0.5

(1.2) การทดสอบความทนแรงดัดโค้ง

ทดสอบหาค่าความทนแรงดัดโค้ง (flexural strength) และมอดุลัสของแรงดัดโค้ง (flexural modulus) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LR10K ของบริษัท LLOYD โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 178 (plastics-determination of flexural properties) แบบ three point bending ซึ่งมีชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $60 \times 10 \times 3$ มิลลิเมตร มีระยะระหว่างหัวกด (span length) 48 มิลลิเมตร ใช้แรงในการกด 10 kN และความเร็วในการกด 2 มิลลิเมตร/นาที

(1.3) การทดสอบความทนแรงกระแทก

ทดสอบหาค่าความทนแรงกระแทก (impact strength) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Digital Impact Tester รุ่น No.555 ของบริษัท TOYOSEIKI โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 179

(plastics-determination of Charpy impact strength) ซึ่งมีชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 80 x 10 x 3 มิลลิเมตร โดยทำการบาก (notch) แบบ A มีรัศมีของรอยบาก 0.25 มิลลิเมตร ความลึก 2.0 มิลลิเมตร มีระยะระหว่างการวาง (span support) 60 มิลลิเมตร และใช้แรงในการตี 0.5 J

(2) ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหัก

ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ของบริษัท JEOL โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการหักวัสดุเชิงประกอบในไนโตรเจนเหลว และนำส่วนของพื้นผิวที่แตกหักติดบนแท่นทดสอบแล้วทำการเคลือบด้วยทอง ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนพลังงาน 15 kV และกำลังขยายในช่วง 300 ถึง 2,500 เท่า ในการตรวจสอบ

(3) ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM D570-95 (standard test method for water absorption of plastics) ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- หาน้ำหนักแห้งของชิ้นงาน โดยทำการอบชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งให้เย็นในเคซิเคเตอร์แล้วจึงชั่งน้ำหนักของชิ้นงานด้วยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง
- นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำ ในลักษณะที่ชิ้นงานจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 23 °C
- วัดน้ำหนักเปียกของชิ้นงาน โดยนำชิ้นงานขึ้นมาจากน้ำ แล้วเช็ดน้ำที่เกาะรอบชิ้นงานออกด้วยผ้าฝ้ายสะอาด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเปียกทันที โดยที่จะทำการชั่งน้ำหนักเปียกของชิ้นทดสอบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเริ่มแรกจะชั่ง ทุก 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 1 วัน และหลังจากนั้นจะชั่งทุก 1 วันเป็นเวลา 1 สัปดาห์
- คำนวณหา เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงาน ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

(4) สมบัติทางความร้อน

(4.1) Thermogravimetric Analysis (TGA)

วิเคราะห์หาอุณหภูมิการสลายตัว (degradation temperature, T_d) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer รุ่น TGA 7 ของบริษัท PERKIN ELMER โดยให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 °C ถึง 600 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (heating rate) 20 °C/นาที ภายใต้ภาวะแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหลของแก๊ส (flow rate) 40 มิลลิลิตร/นาที

(4.2) Differential Scanning Calorimetry (DSC)

วิเคราะห์หาอุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature, T_c) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (melting temperature, T_m) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Differential Scanning

Calorimeter รุ่น DSC7 ของบริษัท PERKIN ELMER โดยการให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างในรูปแบบ heat-cool-heat ที่อุณหภูมิ 50°C ถึง 250°C ให้ความร้อนครั้งแรกในอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (first heating rate) 10 °C/นาที หลังจากนั้นจึงลดอุณหภูมิกลับมาที่ 50°C ในอัตราการลดอุณหภูมิ (cooling rate) เป็น 20 °C/นาที แล้วให้ความร้อนครั้งที่สองในอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (second heating rate) 10 °C/นาที เช่นเดียวกับครั้งแรก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4



ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัยของโครงการนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ (1) ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารตัวเติมผงฝ้ายทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP และ กรดเตียริก และ (2) ผลการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน ซึ่งมีสารตัวเติมจากส่วนที่ (1) เป็นส่วนประกอบ ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงผลการวิจัยและการอภิปรายผลไปพร้อมกัน

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารตัวเติมผงฝ้าย

สารตัวเติมผงฝ้ายที่ทำการวิเคราะห์สมบัติ มีดังนี้

- (1) สารตัวเติมผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง
- (2) สารตัวเติมผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP
- (3) สารตัวเติมผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริก

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

การแปรสภาพด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางนั้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของฝ้ายอย่างมาก ซึ่งผลที่ได้หลังจากการแปรสภาพเมื่อสังเกตด้วยคาเปล่าพบว่า ลักษณะผ้าฝ้ายหรือเส้นใยนั้นได้ถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นผงคล้ายผงแคลเซียมคาร์บอเนต และมีสีขาวซึ่งอาจเนื่องมาจากเศษผ้าฝ้ายที่ใช้มีสีขาว แต่ดำนำผงฝ้ายที่ได้มาดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ที่กำลังขยาย 350 เท่า จะเห็นว่าผงฝ้ายมีลักษณะเป็นเส้นยาวคล้ายเส้นใย แต่มีขนาดเล็กและสั้นลงมาก สังเกตว่ามีความยาวแตกต่างกันไปอยู่ในช่วงประมาณ 50 – 300 ไมครอน(μm) และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 ไมครอน ดังรูปที่ 3 (1) และ 4 (1) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดจะไปทำลายส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) ของเส้นใย จึงทำให้ลำดับชั้นของการพอลิเมอไรเซชัน (degree of polymerization, DP) ของเส้นใยลดลงเรื่อยๆ มีผลทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กและสั้นลงเรื่อยๆ ตามการดำเนินไปของปฏิกิริยา และจะสิ้นสุดที่ค่าคงที่ของ ค่า DP ค่าหนึ่ง ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้สุดท้าย คือ เส้นใยฝ้ายที่มีขนาดเล็กและสั้นลงมากจนมองเห็นเป็นผงนั่นเอง



(1)

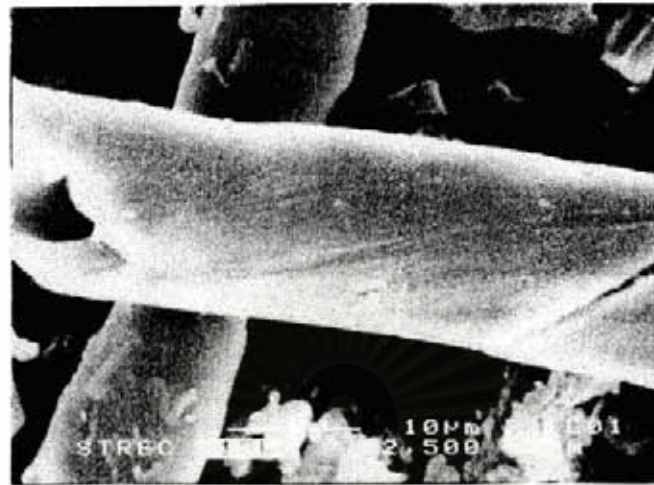


(2)

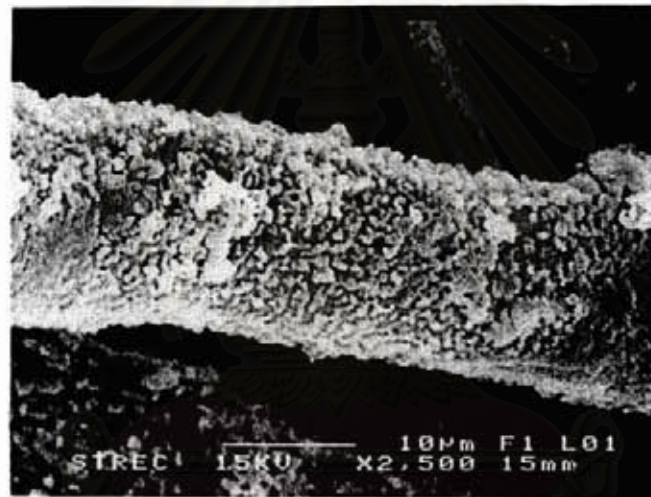


(3)

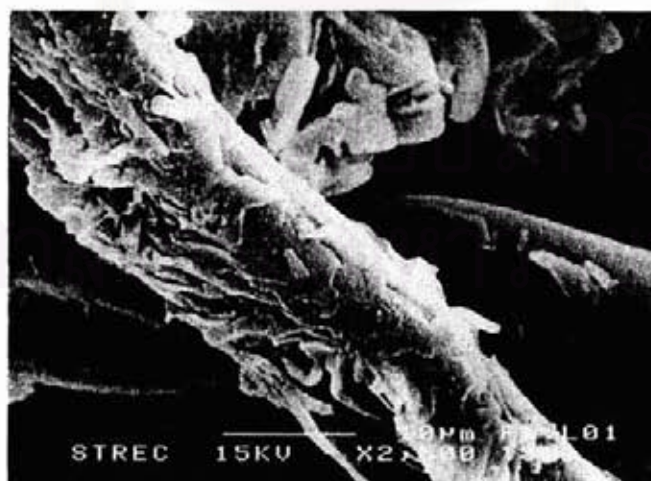
รูปที่ 3 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของผงฝ้าย ที่กำลังขยาย 350 เท่า
 (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และ
 (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเดซิริก



(1)



(2)



(3)

รูปที่ 4 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของผงฝ้าย ที่กำลังขยาย 2,500 เท่า
 (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และ
 (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเทียริก

เมื่อนำผงฝ้ายดังกล่าวมาปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมี 2 ชนิดคือ (1) มาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (maleicanhydride polypropylene copolymer, MAH-PP) และ (2) กรดสเตียริก (stearic acid) พบว่าสารเคมีทั้งสองสามารถเกาะติดอยู่บนพื้นผิวของผงฝ้ายได้ รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายกำลังขยายต่ำ 350 เท่า เปรียบเทียบลักษณะโดยรวมของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมีทั้งสองชนิด พบว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP (รูปที่ 3 (2)) มีเม็ดสารมากมายเกาะอยู่อย่างสม่ำเสมอโดยรอบผงฝ้ายซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นเส้นใยสั้นๆ ในขณะที่ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก (รูปที่ 3 (3)) พบว่าผงฝ้ายบางเส้นมีลักษณะขรุขระและมีเกล็ดของสารเกาะอยู่ แต่ไม่สม่ำเสมอและไม่พบทั่วถึงในทุกเส้นเมื่อเปรียบเทียบกับผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP โดยลักษณะดังกล่าวนี้สามารถเห็นได้ชัดเจนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นภาพถ่ายกำลังขยายสูงของรูปที่ 3 คือ 2,500 เท่า จะเห็นได้ชัดว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงจะมีพื้นผิวเรียบ ส่วนผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยสารเคมีทั้งสองชนิดจะมีลักษณะขรุขระ (roughness) ในลักษณะต่างกันคือ พื้นผิวของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP จะมีลักษณะเป็นเม็ดสารเล็กๆ และละเอียดเกาะอยู่มากมาย แต่ในพื้นที่ผิวของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกจะมีลักษณะเป็นเกล็ดใหญ่ และหยาบกว่า ซึ่งลักษณะขรุขระนี้แสดงถึงความสำเร็จในการเกาะติดของสารบนผงฝ้าย และความสามารถในการยึดติดกับเนื้อพลาสติกเมื่อนำผงฝ้ายนี้มาใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อทำเป็นวัสดุเชิงประกอบต่อไป

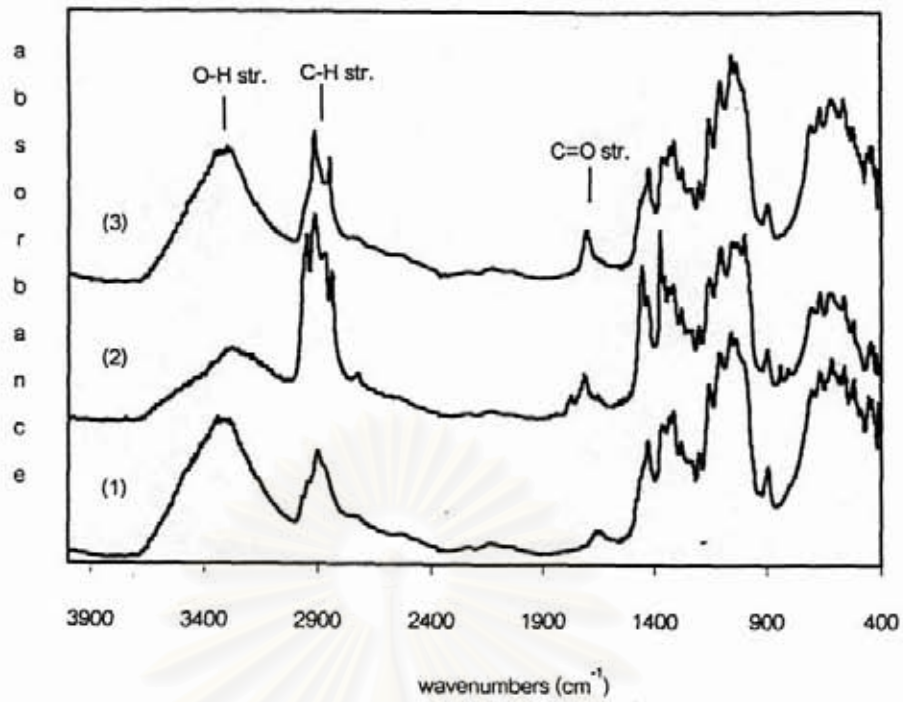
4.1.2 โครงสร้างทางเคมี

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การตรวจสอบ 2 เทคนิคด้วยกันในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไปของผงฝ้ายเมื่อผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAH-PP และกรดสเตียริก เปรียบเทียบกับผงฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง เพื่อยืนยันผลการปรับปรุงพื้นผิวผงฝ้าย ดังนี้

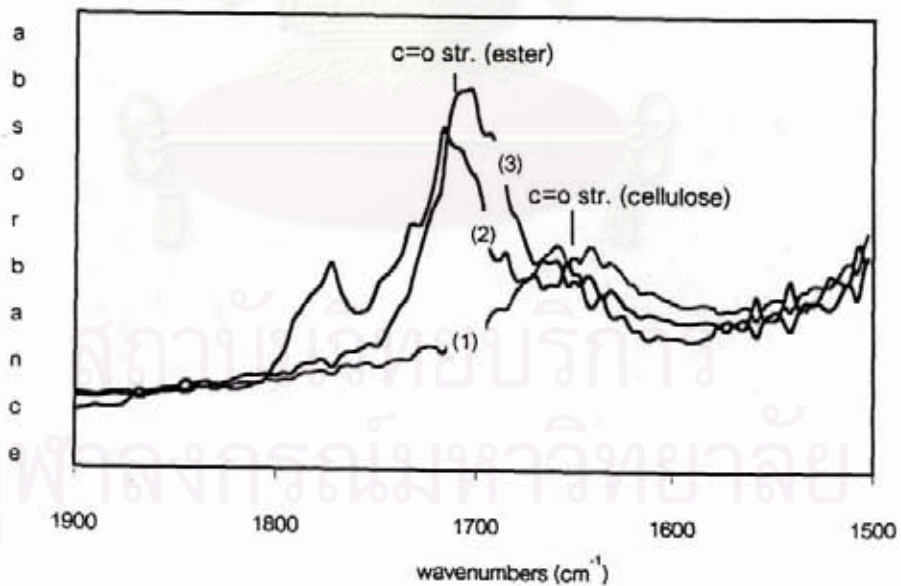
(1) เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FT-IR) แบบ Attenuated Total Reflection (ATR) นี้ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ผงฝ้ายทั้ง 3 ชนิด ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 โดยพบว่า ผงฝ้ายที่ได้จากการแปรสภาพทางเคมี แต่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงปรากฏพีก (peak) ของอินฟราเรดสเปกตรัมที่ช่วงความยาวคลื่น (wave numbers) สำคัญๆ ดังนี้ (รูปที่ 5 (1))

ช่วงความยาวคลื่น (cm ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน
3200 – 3300	O-H stretching
2850 – 2950	C-H stretching (aliphatic)
1620 – 1640	C=O stretching (cellulose)



รูปที่ 5 อินฟราเรดสเปกตรัมของผงฝ้าย (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และ (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริก

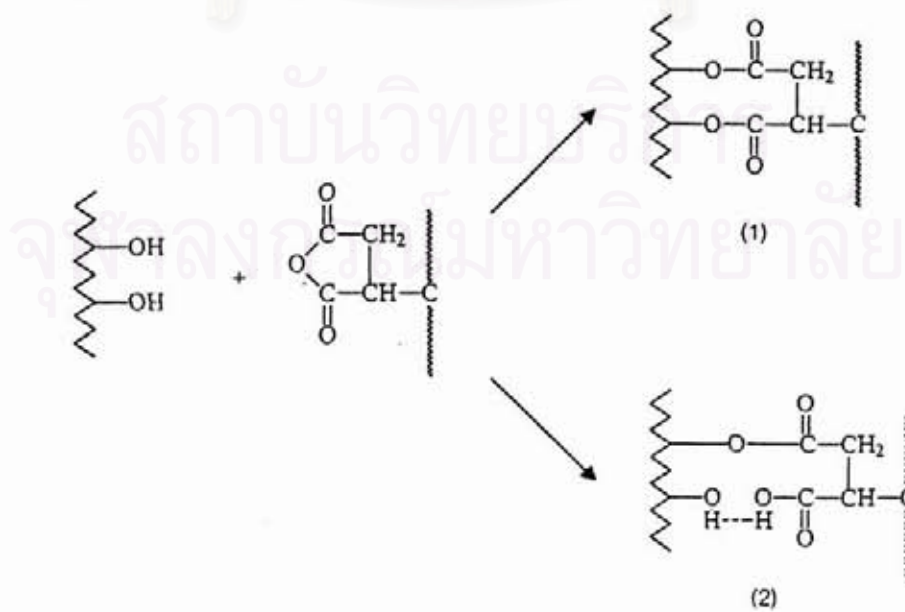


รูปที่ 6 ภาพขยายอินฟราเรดสเปกตรัมของผงฝ้ายในช่วงความยาวคลื่น 1500 – 1900 cm^{-1} (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และ (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริก

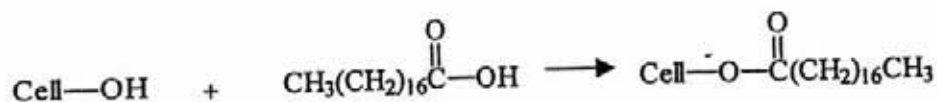
เห็นว่า การปรับปรุงผงฝ้ายด้วย MAH-PP นั้น สามารถไปลดสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) ของผงฝ้ายลงได้ เพราะหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นหมู่ที่ว่องไวต่อน้ำ และสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดีนั้นลดลง ซึ่งโดยปกติแล้วเส้นใยธรรมชาติจะสามารถดูดซึมน้ำได้ดีเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างเป็นจำนวนมาก

นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดการแยกของปลายฟีกที่ช่วงความยาวคลื่น 2850 – 2950 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสายโซ่โมเลกุลยาวของไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon) และฟีกดังกล่าวมีลักษณะสูงขึ้นด้วย อาจกล่าวได้ว่าเกิดจากสายโซ่โมเลกุลพอลิโพรพิลีนซึ่งมาจาก MAH-PP บนผิวหน้าของผงฝ้าย ทำให้เกิดการเสริมของฟีกให้สูงขึ้นและเกิดการแยกตรงส่วนปลายของฟีกนั่นเอง นอกจากนี้ฟีกดังกล่าวแล้ว ที่สำคัญพบว่า มีฟีกใหม่ขนาดเล็ก เกิดขึ้นที่ตำแหน่งความยาวคลื่นประมาณ 1703 – 1751 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl, $\text{C}=\text{O}$) ในสารประกอบเอสเทอร์ ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดในรูปที่ 6 (2) ฟีกที่ปรากฏนี้เป็น การยืนยันการทำปฏิกิริยากันระหว่างผงฝ้ายและสาร MA-HPP เกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ตรงตำแหน่งของหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นใหม่นั้นเอง

สำหรับในกรณีของผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก (รูปที่ 5 (3)) พบว่าฟีกของหมู่ไฮดรอกซิลไม่ได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเหมือนในกรณีการปรับปรุงด้วย MAH-PP ซึ่งคาดว่าอาจเกิดจากการหลงเหลือของกรดสเตียริกที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ด้วย แต่พบว่าฟีกที่ช่วงความยาวคลื่น 2850–2950 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสายโซ่โมเลกุลยาวของไฮโดรคาร์บอน มีลักษณะสูงขึ้น และเกิดการแยกของปลายฟีกเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังเกิดฟีกใหม่ที่ตำแหน่ง 1700 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะของหมู่คาร์บอนิลในสารประกอบเอสเทอร์ (รูปที่ 6 (3)) ซึ่งอาจแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างฝ้ายและกรดสเตียริก ดังรูปที่ 10 อย่างไรก็ตามเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างกรดสเตียริกซึ่งเป็นกรดอ่อนและเซลลูโลสที่เป็นของแข็งนั้นจัดเป็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแบบ heterogeneous ที่ช้าต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วย เช่น กรดซัลฟิวริก เป็นต้น แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาใดๆ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองนี้น่าจะเป็นเพียงผงฝ้ายที่เคลือบด้วยกรดสเตียริกเท่านั้น ไม่เกิดพันธะระหว่างกรดสเตียริกและฝ้าย



รูปที่ 9 ปฏิกิริยาระหว่างฝ้ายและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP)



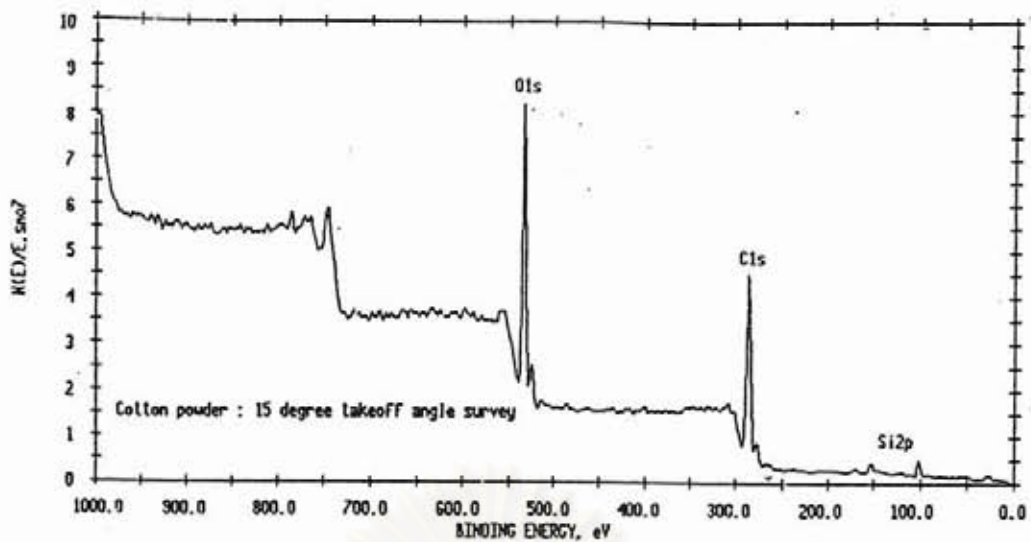
รูปที่ 10 ปฏิกริยาระหว่างฝ้ายและกรดสเตียริก

(2) เทคนิค Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA)

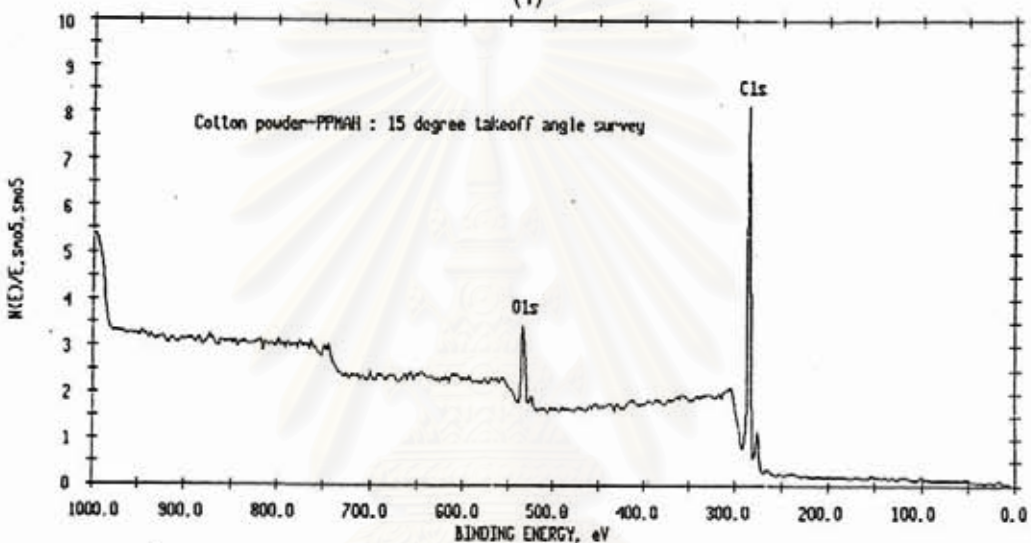
ESCA หรือ X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ตรวจสอบสมบัติของผิวหน้าวัสดุ เนื่องจากผลการวิเคราะห์สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางเคมี (chemical state) ของธาตุแต่ละชนิดที่อยู่บนพื้นผิวได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้เทคนิค ESCA ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีบนพื้นผิวของฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และของฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก เปรียบเทียบกับฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ซึ่งทำการวิเคราะห์พื้นผิวของฝ้ายโดยมีแหล่งกำเนิดพลังงานเป็น X-ray $\text{MgK}\alpha$ และใช้มุมในการตรวจสอบ 15 องศา

ผลจากวิเคราะห์ของฝ้ายทั้ง 3 ชนิด พบว่าปรากฏฟีกของคาร์บอนที่พลังงานการยึดเหนี่ยว(binding energy) ประมาณ 285 eV และ ฟีกของออกซิเจนที่พลังงานการยึดเหนี่ยวประมาณ 533 eV (รูปที่ 11) และพบว่าของฝ้ายที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงมีความสูงของฟีกของคาร์บอนและออกซิเจนแตกต่างกัน จากรูปที่ 11 (2) จะเห็นว่าของฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มีฟีกของคาร์บอนสูงกว่าของฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงมาก และในทำนองเดียวกันฟีกของออกซิเจนก็ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับฟีกของฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง เมื่อพิจารณารูปที่ 11 (3) ซึ่งแสดงฟีกของคาร์บอนและออกซิเจนของฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก จะเห็นว่าฟีกของคาร์บอนสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับฟีกของฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และในทำนองเดียวกันฟีกของออกซิเจนก็ต่ำลงเพียงเล็กน้อยจากฟีกของฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง

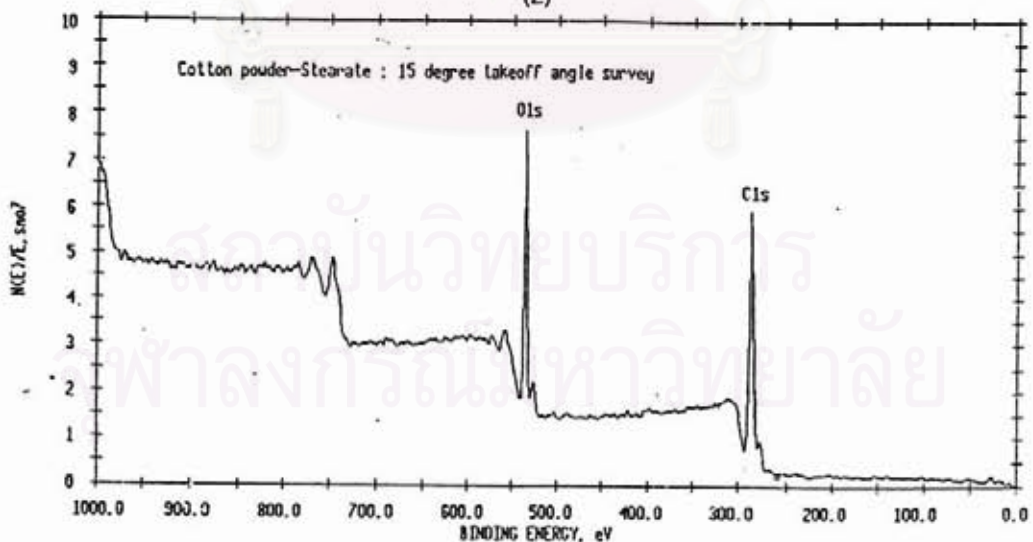
เพื่อความชัดเจนในการวิเคราะห์จึงทำการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟหรือได้ฟีกของอะตอมแต่ละชนิด ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟที่คำนวณได้นี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของอะตอมนั้นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับอะตอมอื่นๆ ในโมเลกุลโดยคิดให้ปริมาณของทุกอะตอมรวมกันเป็น 100% ดังตารางที่ 4 ซึ่งแสดงปริมาณของอะตอมคาร์บอนและออกซิเจนของฝ้ายทั้ง 3 ชนิด พบว่า ฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มี ปริมาณของคาร์บอนสูงขึ้นถึง 21.79% หรืออาจกล่าวได้ว่ามีปริมาณของออกซิเจนต่ำลง 21.79% เช่นเดียวกัน และเมื่อทำการฟิต (fit) ฟีกของคาร์บอน ดังรูปที่ 12 ทำให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นถึงการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางเคมีของคาร์บอนระหว่างฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ซึ่งค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวและความเข้มของสภาวะทางเคมีของคาร์บอนได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 และ 6 โดยพบว่าของฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP ปรากฏฟีกที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่พลังงานการยึดเหนี่ยว 284.24 eV และมีความเข้ม (intensity) ถึง 9543 counts/sec. (รูปที่ 12 (2)) เมื่อเปรียบเทียบกับฟีกของฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงที่พลังงานการยึดเหนี่ยว 284.69 eV



(1)



(2)



(3)

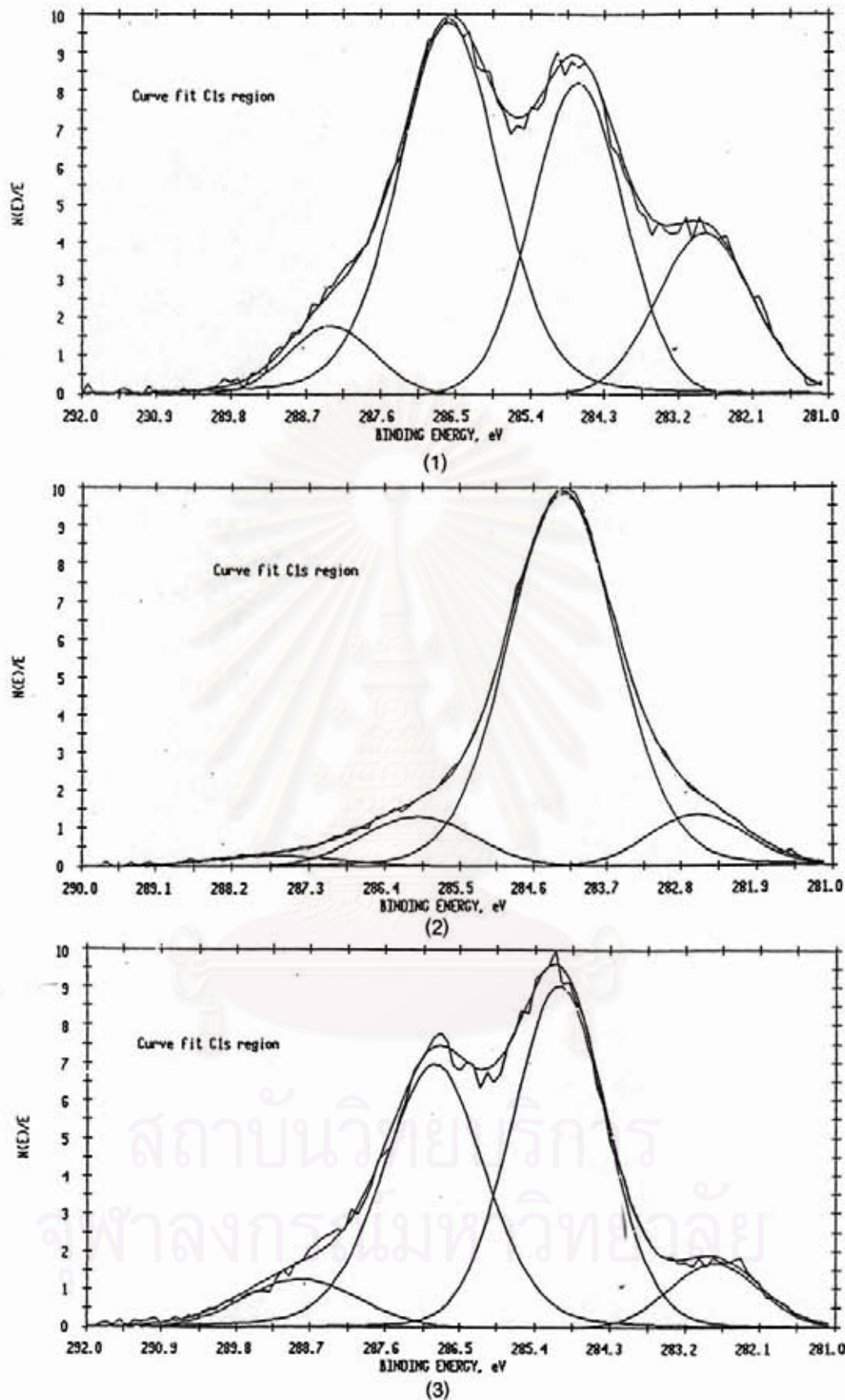
รูปที่ 11 กราฟ ESCA ของผงฝ้าย (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และ (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก

โดยมีความเข้มเพียง 3266 counts/sec (รูปที่ 12 (1)) กล่าวคือพิกที่ตำแหน่งดังกล่าวของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง คือพิกที่แสดงถึงสถานะเคมีของคาร์บอนที่อยู่ในรูป $-CH_2-$ (Boyd และคณะ, 1997) ซึ่งปกติแล้วจะ ปรากฏที่ตำแหน่ง 285 eV ซึ่งค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวที่เลื่อนไปเล็กน้อยของผงฝ้ายนี้อาจเนื่องมาจากสถานะทางเคมีของธาตุข้างเคียงที่ต่างกัันนั่นเอง นอกจากนี้ยังพบพิกสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาอีกคือที่พลังงานการยึดเหนี่ยว 286.01 eV ของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP (รูปที่ 12 (2)) ซึ่งพบว่ามีค่าความเข้ม ลดลงอย่างเห็นได้ชัดจากผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงซึ่งมีพิกดังกล่าวที่พลังงานการยึดเหนี่ยว 286.60 eV (รูปที่ 12 (1)) โดยมีความเข้มลดลงจาก 3892 counts/sec. เป็น 1265 counts/sec. ตามลำดับ ซึ่งที่พลังงานการยึดเหนี่ยว 286.60 eV นี้แสดงถึง สถานะทางเคมีของคาร์บอนที่อยู่ในรูป C ที่ต่อกับ $-OH$ (Boyd และคณะ, 1997)

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอะตอมคาร์บอนและออกซิเจนในผงฝ้าย

ชนิดของสารตัวเดิม	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอะตอม	
	C1s	O1s
ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง	68.24	31.76
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP	90.03	9.97
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริก	73.31	26.69

การเปลี่ยนแปลงสถานะทางเคมีเหล่านี้เป็นการยืนยันว่า MAH-PP สามารถทำปฏิกิริยาและเกิดพันธะกับพื้นผิวของผงฝ้ายได้จริง โดยผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มีความเข้มข้นของคาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งคาร์บอนดังกล่าวอยู่ในรูปของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน แสดงว่าเกิดจากสายโซ่โมเลกุลยาวของพอลิโพรพิลีนใน MAH-PP ที่เกาะอยู่บนผิวหน้าของผงฝ้าย และนอกจากนี้ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ลดลงอย่างมาก เป็นการแสดงถึงการหายไปของหมู่ไฮดรอกซิลเนื่องจากเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างเซลลูโลสของผงฝ้าย กับสาร MAH-PP จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีผลให้ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มีสมบัติความชอบน้ำลดลง



รูปที่ 12 กราฟ ESCA ของธาตุคาร์บอนในผงฝ้าย (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และ (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก

ตารางที่ 5 ค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวและความเข้มที่สภาวะทางเคมีของคาร์บอนในรูปแบบ $-CH_2-$ ของผงฝ้าย

ชนิดของสารตัวเติม	พลังงานการยึดเหนี่ยว (eV)	ความเข้ม (counts/sec.)
ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง	284.69	3266
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP	284.24	9543
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก	285.04	4773

ตารางที่ 6 ค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวและความเข้มที่สภาวะทางเคมีของคาร์บอนในรูปแบบที่ต่อกับ $-OH$ ของผงฝ้าย

ชนิดของสารตัวเติม	พลังงานการยึดเหนี่ยว (eV)	ความเข้ม (counts/sec.)
ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง	286.60	3892
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP	286.01	1265
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก	286.88	3678

สำหรับผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก จากตารางที่ 4 ซึ่งแสดงปริมาณของอะตอมคาร์บอนและออกซิเจน พบว่ามีปริมาณของคาร์บอนสูงขึ้นเพียง 5.07% หรืออาจกล่าวได้ว่ามีปริมาณของออกซิเจนต่ำลง 5.07% เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อทำการพิตทิงของคาร์บอน ดังรูปที่ 12 (3) จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางเคมีของคาร์บอนขึ้นจริง โดยพบว่าที่พลังงานการยึดเหนี่ยว 285.04 eV ของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกนั้น มีความเข้มของพิกที่สูงสุด (รูปที่ 12 (3)) เมื่อเปรียบเทียบกับผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงซึ่งมีพิกปรากฏที่พลังงานการยึดเหนี่ยว 284.69 eV (รูปที่ 12 (1)) โดยมีความเข้มของพิกเป็น 4773 และ 3266 counts/sec. ตามลำดับ ซึ่งพิกที่ตำแหน่งดังกล่าวแสดงถึงสภาวะเคมีของคาร์บอนที่อยู่ในรูป $-CH_2-$ ดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้น นอกจากนี้ยังพบว่าพิกที่พลังงานการยึดเหนี่ยว 286.88 eV (รูปที่ 12 (3)) มีความเข้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพิกของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ซึ่งมีพิกดังกล่าวที่พลังงานการยึดเหนี่ยว 286.60 eV (รูปที่ 12 (1)) โดยมีความเข้มเป็น 3678 และ 3892 counts/sec. ตามลำดับ ซึ่งตำแหน่งพลังงานการยึดเหนี่ยว 286.60 eV นี้ แสดงถึงสภาวะทางเคมีของคาร์บอนที่อยู่ในรูป C ที่ต่อกับ $-OH$

จากที่กล่าวข้างต้นแสดงว่ากรดสเตียริกสามารถปรับปรุงพื้นผิวของผงฝ้ายได้ โดยสังเกตจากความเข้มข้นของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งคาร์บอนดังกล่าวอยู่ในรูปของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน แสดงว่าเกิดจากสายโซ่โมเลกุลอะลิฟาติกที่ประกอบด้วยคาร์บอน 17 อะตอมของกรดสเตียริกซึ่งมาจากกรดสเตียริกจำนวนมากที่เกาะอยู่บนผิวหน้าของผงฝ้าย นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของออกซิเจนลดลง ซึ่งแสดงว่ามีการทำปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างเซลล์ลูโลสของผงฝ้าย กับกรดสเตียริก จึงมีผลทำให้หมู่ไฮดรอกซิลหายไป ซึ่งจะทำให้ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกมีสมบัติความชอบน้ำลดลงได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย

MAH-PP พบว่า ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริกมีการเพิ่มขึ้นของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนและการลดลงของหมู่ไฮดรอกซิลที่ต่ำกว่า ทำให้สรุปได้ว่ากรดเตียริกสามารถปรับปรุงผงฝ้ายให้ลดสมบัติความชอบน้ำได้ แต่ไม่ดีเท่า MAH-PP

4.1.3 ค่ามุมสัมผัสของผิววัสดุกับน้ำ

การวัดค่ามุมสัมผัสเป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถยืนยันสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) หรือความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของวัสดุได้ ถ้าค่ามุมสัมผัสของน้ำกับพื้นผิววัสดุมีค่าสูง แสดงว่าน้ำสามารถซึมผ่านผิววัสดุได้ยาก โดยจะปรากฏให้เห็นว่าหยดน้ำมีลักษณะเป็นทรงกลมหรือเกือบเป็นทรงกลมอยู่บนพื้นผิววัสดุ ในทางตรงกันข้ามถ้าค่ามุมสัมผัสของน้ำกับพื้นผิววัสดุมีค่าต่ำ แสดงว่าน้ำสามารถซึมผ่านผิววัสดุได้ง่าย โดยจะปรากฏให้เห็นว่าหยดน้ำมีลักษณะแบนราบอยู่บนพื้นผิววัสดุ

หลังจากนำผงฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง ผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP และผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดเตียริก ไปวัดค่ามุมสัมผัสกับน้ำบริสุทธิ์ (น้ำกลั่น) โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค sessile drop แล้ว ได้ผลของค่ามุมสัมผัสตามตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 7 ค่ามุมสัมผัสของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี

ชนิดของตัวเดิม	ค่ามุมสัมผัส (องศา)
ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง	10
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงMAH-PP	155 [*] / 150 ^{**}
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริก	60

จากตารางพบว่า ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงมีค่ามุมสัมผัสต่ำ และลักษณะหยดน้ำแบนราบไปกับพื้นผิวฝ้าย แสดงว่าน้ำสามารถซึมผ่านผิวหน้าของผงฝ้ายได้ง่าย บ่งบอกถึงสมบัติความชอบน้ำของผงฝ้าย ซึ่งเป็นสมบัติที่พบเห็นโดยทั่วไปในสารเซลลูโลสหรือเส้นใยธรรมชาติต่าง ๆ รวมถึงฝ้ายด้วย เนื่องจากเส้นใยดังกล่าวมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างทางเคมีและมีส่วนอสัณฐานอยู่ในโครงสร้างทางกายภาพ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้มีความว่องไวต่อน้ำ และเป็นส่วนสำคัญในการดูดซึมน้ำหรือรับสีเวลาซัก แม้ผงฝ้ายดังกล่าวได้ผ่านการแปรสภาพทางเคมีโดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซึ่งจะไปทำลายส่วนอสัณฐานของฝ้ายลงก็ตาม แต่เนื่องจากผงฝ้ายที่ได้ยังคงมีโครงสร้างทางเคมีเช่นเดิมคือมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มากมายในสายโซ่โมเลกุล ดังจะเห็นได้จากพิกของอินฟราเรดสเปกตรัมในรูปที่ 5 (1) ทำให้ผงฝ้ายยังคงสมบัติความชอบน้ำและสามารถดูดซึมน้ำได้คืออยู่

* ค่ามุมสัมผัสสูงสุด

** ค่ามุมสัมผัสต่ำสุด

เมื่อพิจารณาผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP พบว่ามีค่ามุมสัมผัสสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมสัมผัสของผงฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง และมีลักษณะหยดน้ำเกือบเป็นทรงกลมกับพื้นผิวของผงฝ้าย แสดงว่า MAH-PP สามารถปรับปรุงผงฝ้ายให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำได้เป็นผลดีเยี่ยม โดยน้ำที่หยดลงไปสามารถซึมผ่านพื้นผิวของผงฝ้ายได้ยาก นอกจากนี้เนื่องจากน้ำที่หยดลงไปยังคงลักษณะของทรงกลมทำให้สามารถหาค่ามุมสัมผัสสูงสุด (advancing angle) และค่ามุมสัมผัสต่ำสุด (receding angle) ได้ โดยค่ามุมสัมผัสทั้งสองหาได้จากการเพิ่มหรือลดปริมาณของหยดน้ำบนพื้นผิวของผงฝ้าย ในขณะที่ผงฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงและผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกไม่สามารถหาได้โดยสามารถหาได้เพียงค่ามุมสัมผัสที่หยดน้ำอยู่นิ่งเท่านั้น (static angle) และพบว่าค่ามุมสัมผัสสูงสุดและค่ามุมสัมผัสต่ำสุดที่หาได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นการยืนยันถึงความสามารถในการซึมผ่านของน้ำได้ยาก

ในส่วนของผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกพบว่ามีค่ามุมสัมผัสสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยจากผงฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง เมื่อเทียบกับค่ามุมสัมผัสที่ได้จากผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP แสดงว่าการปรับปรุงผงฝ้ายด้วยกรดสเตียริกทำให้ผงฝ้ายมีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นแต่ไม่สูงเท่ากับการปรับปรุงด้วย MAH-PP ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอาจเกิดจากการคงมีอยู่ของหมู่ไฮดรอกซิลในปริมาณที่สูงของผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลของผงฝ้ายที่ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกนั่นเอง ดังจะเห็นได้จากพีคของอินฟราเรดสเปกตรัมในรูปที่ 5 (3) ทำให้ผงฝ้ายดังกล่าวยังคงความสามารถในการดูดซึมน้ำได้

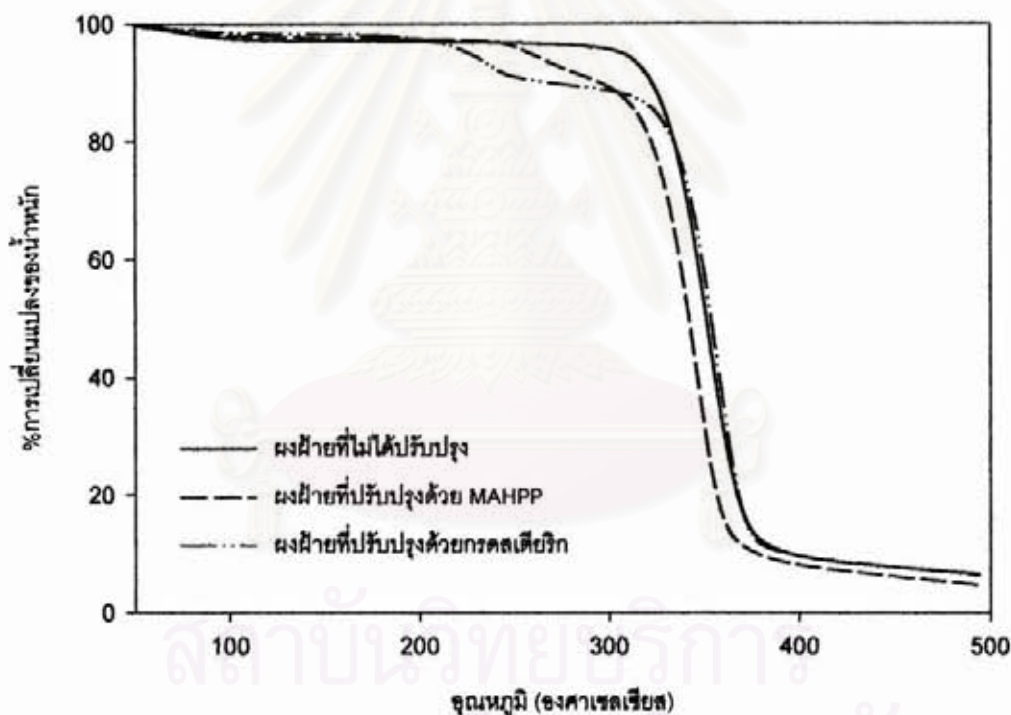
4.1.4 สมบัติทางความร้อน

TGA เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางความร้อนที่วัดการเปลี่ยนแปลงมวลหรือน้ำหนักของสารตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งนิยมใช้ในการหาอุณหภูมิการสลายตัว (degradation temperature, T_d) ของสาร และส่วนประกอบของวัสดุผสมหรือวัสดุเชิงประกอบ โดยเทคนิคนี้จะรายงานผลในรูปของกราฟซึ่งพล็อตระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก (% weight change) และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เปลี่ยนไป

ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิค TGA มาใช้วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ส่วนประกอบของผงฝ้ายภายหลังการปรับปรุง และหาอุณหภูมิการสลายตัว ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของสารตัวเติมสำหรับวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากสารตัวเติมควรมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าอุณหภูมิในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ เพราะการสลายตัวของสารตัวเติมมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบลดลงได้

รูปที่ 13 และตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ผงฝ้ายทั้ง 3 ชนิดด้วยเทคนิค TGA พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรก (onset degradation temperature) ของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงมีค่าสูงกว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และกรดสเตียริก และสังเกตเห็นว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงมีอุณหภูมิการสลายตัวสองช่วง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกนั้นจะเป็นการหายไปของสารทั้งสองชนิดที่ใช้ในการปรับปรุงซึ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำกว่าผงฝ้าย และสามารถเกิดการสูญเสียอันเนื่องมาจากการระเหยระหว่างการทดสอบได้ จึงเป็นสาเหตุให้ผงฝ้ายที่ปรับปรุงมีอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรกต่ำกว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงเล็กน้อย ส่วนในช่วงที่สองจะเป็นการสลายตัวของผงฝ้ายที่อุณหภูมิประมาณ 314°C เช่นเดียวกับผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงนั่นเอง

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการสลายตัวของผงฝ้ายทั้ง 3 ชนิดถือว่าเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิโพรพิลีน ทั้งนี้เนื่องจากผงฝ้ายทั้ง 3 ชนิดมีอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรกสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนซึ่งใช้ที่อุณหภูมิ 195°C นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่ามีการหายไปของน้ำหนักของผงฝ้ายทั้ง 3 ชนิด ในช่วงแรกของกราฟ คือ ที่อุณหภูมิ 100°C โดยพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 5 - 6% ซึ่งคาดว่าเกิดจากความชื้นที่มีอยู่ในผงฝ้ายนั่นเอง และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิการสลายตัวสุดท้าย (final temperature) พบว่าผงฝ้ายยังคงมีมวลหลงเหลืออยู่หรือชี้เก่าของฝ้ายนั่นเอง โดยมีมวลหลงเหลืออยู่ที่ประมาณ 6 - 7 % ที่อุณหภูมิประมาณ 390°C



รูปที่ 13 อุณหภูมิการสลายตัวของผงฝ้าย (1) ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง (2) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และ (3) ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียวิก

ตารางที่ 8 อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรกของผงฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมี

ชนิดของสารตัวเติม	Td (°C) Onset
ผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง	314.671
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP	259.318
ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก	232.886

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบที่ทำการวิเคราะห์สมบัติในข้อนี้ มีดังนี้

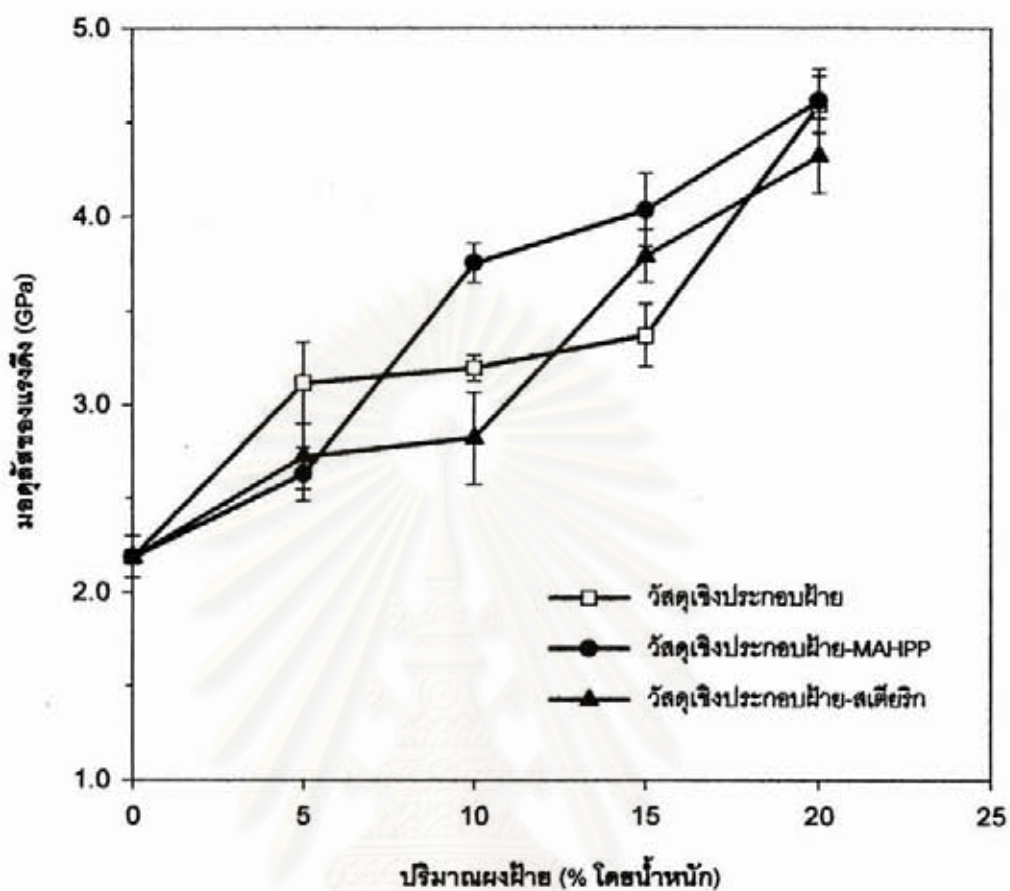
- (1) วัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย คือ วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนซึ่งมีผงฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเป็นสารตัวเติม
- (2) วัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-MAH-PP คือ วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนซึ่งมีผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP เป็นสารตัวเติม
- (3) วัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-สเตียริก คือ วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนซึ่งมีผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกเป็นสารตัวเติม

4.2.1 สมบัติเชิงกล

- (1) ความทนแรงดึง (Tensile Strength)

ผลของปริมาณผงฝ้ายต่อความทนแรงดึง

ปริมาณผงฝ้ายที่เติมในพอลิโพรพิลีนเพื่อเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบในงานวิจัยนี้ได้แก่ 5 10 15 และ 20 % โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณผงฝ้ายมีผลต่อสมบัติความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบเป็นอย่างมาก จากรูปที่ 14 และตารางที่ 9 แสดงค่ามอดูลัสของแรงดึง (tensile modulus) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นกับความเครียดในช่วงการเปลี่ยนแปลงแบบอีลาสติก โดยในช่วงนี้ความเค้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จะเห็นว่าค่ามอดูลัสของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้น พบว่าที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก วัสดุเชิงประกอบฝ้ายมีค่ามอดูลัสสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ตามลำดับ แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณผงฝ้ายมากขึ้นกลับพบว่าในวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP จะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้น

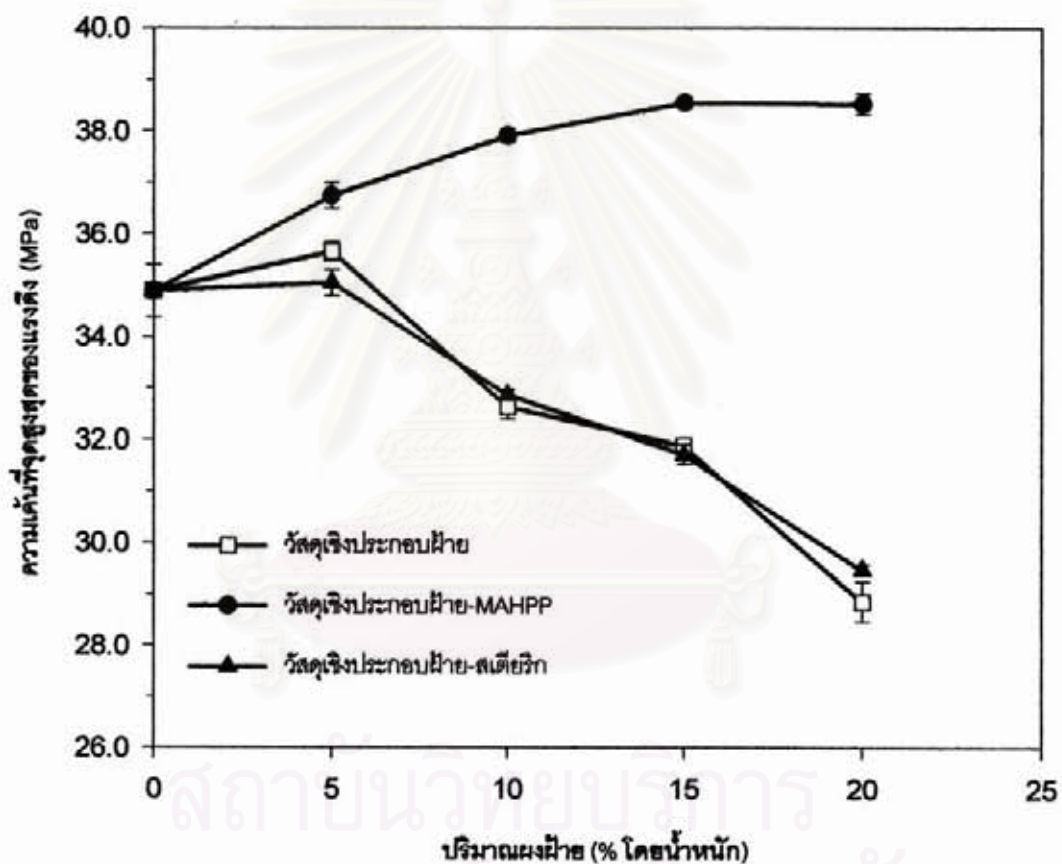


รูปที่ 14 ค่ามอดูลัสของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ

ตารางที่ 9 ค่ามอดูลัสของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ

ปริมาณผงใย (% โดยน้ำหนัก)	มอดูลัสของแรงดึง (GPa)		
	วัสดุเชิงประกอบใย	วัสดุเชิงประกอบใย-MAH-PP	วัสดุเชิงประกอบใย-สตีเรติก
0 (PP)	2.19 ± 0.11	2.19 ± 0.11	2.19 ± 0.11
5	3.12 ± 0.22	2.63 ± 0.14	2.72 ± 0.18
10	3.20 ± 0.07	3.75 ± 0.10	2.82 ± 0.25
15	3.37 ± 0.17	4.03 ± 0.19	3.79 ± 0.14
20	4.60 ± 0.15	4.62 ± 0.17	4.32 ± 0.20

ของค่ามอดุลัสอย่างรวดเร็ว ซึ่งพบว่าที่ปริมาณผงฝ้ายทั้ง 10 15 และ 20 % โดยน้ำหนัก มีค่ามอดุลัสสูงกว่าที่ปริมาณผงฝ้ายเดียวกันของวัสดุเชิงประกอบฝ้ายและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียวิก จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่าการเพิ่มปริมาณผงฝ้ายจะมีผลให้ความแข็งตึงของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น โดยสังเกตจากค่ามอดุลัสที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP มีแนวโน้มความแข็งตึงเพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุเชิงประกอบชนิดอื่น เมื่อปริมาณผงฝ้ายมากขึ้น



รูปที่ 15 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงตึงของวัสดุเชิงประกอบ

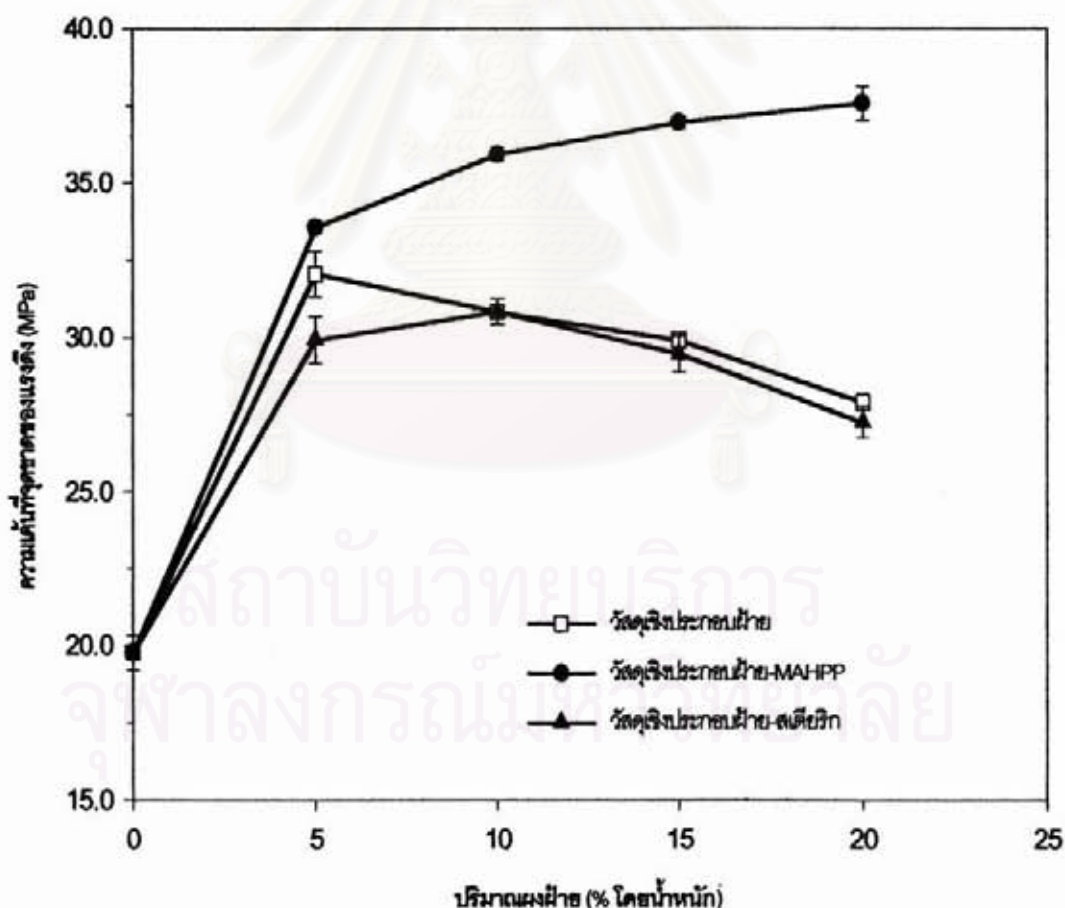
ตารางที่ 10 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ

ปริมาณผงฝ้าย (% โดยน้ำหนัก)	ความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึง (MPa)		
	วัสดุเชิงประกอบฝ้าย	วัสดุเชิงประกอบฝ้าย- MAH-PP	วัสดุเชิงประกอบฝ้าย- สเดียริก
0 (PP)	34.89 ± 0.50	34.89 ± 0.50	34.89 ± 0.50
5	35.66 ± 0.18	36.74 ± 0.26	35.04 ± 0.25
10	32.63 ± 0.23	37.90 ± 0.13	32.86 ± 0.10
15	31.87 ± 0.15	38.54 ± 0.12	31.71 ± 0.19
20	28.85 ± 0.39	38.51 ± 0.20	29.47 ± 0.10

จากรูปที่ 15 และตารางที่ 10 ซึ่งแสดงค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึง (tensile stress at maximum load) พบว่าปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้นมีผลกับวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดในแนวโน้มต่างกัน ซึ่งสังเกตเห็นว่าที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก วัสดุเชิงประกอบฝ้ายมีค่าความเค้นที่จุดสูงสุดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นมากกว่า แต่สำหรับวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียริกพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับที่ปริมาณผงฝ้าย 0% โดยน้ำหนัก หรือพอลิโพรพิลีนก่อนการเติมผงฝ้ายนั่นเอง หลังจากนั้นเมื่อเติมผงฝ้ายในปริมาณที่มากขึ้นจะสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของผลของปริมาณผงฝ้ายต่อวัสดุเชิงประกอบแต่ละชนิดได้ชัดเจนขึ้น โดยพบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้ายและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียริกมีค่าความเค้นที่จุดสูงสุดลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของผงฝ้ายซึ่งค่าความเค้นลดลงต่ำสุดที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP มีค่าความเค้นที่จุดสูงสุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของผงฝ้าย และพบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP เริ่มมีค่าความเค้นที่จุดสูงสุดใกล้เคียงกันที่ปริมาณผงฝ้าย 15 และ 20% โดยน้ำหนัก จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่าปริมาณผงฝ้ายมีผลต่อค่าความเค้นที่จุดสูงสุดแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งในวัสดุเชิงประกอบฝ้ายและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียริกพบว่าเมื่อปริมาณผงฝ้ายเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบลดลง ซึ่งสังเกตได้จากค่าความเค้นที่จุดสูงสุดมีแนวโน้มลดลงนั่นเอง แต่ในวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP พบว่าปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้นได้ โดยเริ่มมีค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้นที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

สำหรับผลของปริมาณผงฝ้ายต่อค่าความเค้นที่จุดขาดของแรงดึง (tensile stress at break) แสดงในรูปที่ 16 และตารางที่ 11 พบว่าปริมาณผงฝ้ายมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของวัสดุเชิงประกอบแต่ละชนิดแตกต่างกันเช่นเดียวกับค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึง จะเห็นว่าที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก ทั้งวัสดุเชิงประกอบฝ้าย วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียริก มีแนวโน้มของค่าความเค้นที่จุดขาดเพิ่มขึ้นเพิ่มอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผงฝ้ายกลับพบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้ายและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียริกมีแนวโน้มของค่าความเค้นที่จุดขาดลดลง โดยลดลงต่ำสุดที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามการลดลงของค่าความเค้นที่จุดขาดในวัสดุเชิงประกอบฝ้ายและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-

สเดียริกนี้ ยังคงพบว่ามีค่าความเค้นที่จุดขาดสูงกว่าพอลิโพรพิลีนหรือที่ปริมาณผงฝ้าย 0% โดยน้ำหนักนั่นเอง ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาวัฏจักรแรงดึงประกอบฝ้าย-MAH-PP พบว่าการเพิ่มปริมาณผงฝ้ายมีผลให้ค่าความเค้นที่จุดขาดสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรกที่เริ่มเติมผงฝ้ายที่ปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก และเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับเมื่อเติมปริมาณผงฝ้ายเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีค่าความเค้นที่จุดขาดสูงสุดที่ปริมาณผงฝ้าย 20 % โดยน้ำหนัก จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่าผลของปริมาณผงฝ้ายต่อค่าความเค้นที่จุดขาดคล้ายคลึงกับค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึง แต่พบว่าการเติมปริมาณผงฝ้ายเพียงเล็กน้อยมีผลให้วัฏจักรแรงดึงประกอบฝ้ายและวัฏจักรแรงดึงประกอบฝ้าย-สเดียริกมีความแข็งแรงที่จุดขาดเพิ่มขึ้นได้ แต่ถ้าเติมผงฝ้ายในปริมาณที่มากกว่า 5% โดยน้ำหนักจะส่งผลให้ความแข็งแรงที่จุดขาดลดลงได้เช่นกัน ส่วนในวัฏจักรแรงดึงประกอบฝ้าย-MAH-PP พบว่าการเติมผงฝ้ายในปริมาณที่มากขึ้นมีผลให้วัฏจักรแรงดึงประกอบมีความแข็งแรงที่จุดขาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ



รูปที่ 16 ค่าความเค้นที่จุดขาดของแรงดึงของวัฏจักรประกอบ

ตารางที่ 11 ค่าความเค้นที่จุดขาดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ

ปริมาณผงฝ้าย (% โดยน้ำหนัก)	ความเค้นที่จุดขาดของแรงดึง (MPa)		
	วัสดุเชิงประกอบฝ้าย	วัสดุเชิงประกอบฝ้าย- MAH-PP	วัสดุเชิงประกอบฝ้าย- สตีเรียก
0 (PP)	19.78 ± 0.56	19.78 ± 0.56	19.78 ± 0.56
5	32.07 ± 0.73	33.57 ± 0.22	29.94 ± 0.77
10	30.83 ± 0.25	35.92 ± 0.24	30.84 ± 0.41
15	29.91 ± 0.25	36.95 ± 0.20	29.47 ± 0.59
20	27.90 ± 0.26	37.57 ± 0.55	27.25 ± 0.51

ผลของการปรับปรุงผงฝ้ายต่อความทนแรงดึง

จากรูปที่ 14 และ ตารางที่ 9 จะเห็นว่าทั้งผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสตีเรียก มีผลให้ค่ามอดูลัสของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP สามารถทำให้วัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มของค่ามอดูลัสสูงสุด โดยค่ามอดูลัสสูงสุดสำหรับสำหรับทุกวัสดุเชิงประกอบอยู่ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถเรียงลำดับค่ามอดูลัสที่เพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีนได้ดังนี้ วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP 110.83% ส่วนวัสดุเชิงประกอบฝ้าย109.78% และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สตีเรียก 97.30% ส่วนผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสตีเรียกพบว่าส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีค่ามอดูลัสต่ำกว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงเล็กน้อย จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่าผงฝ้ายทั้ง 3 ชนิดสามารถทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นโดยดูจากค่ามอดูลัสที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP พบว่ามีผลให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งตึง (stiffness) สูงที่สุด ส่วนผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสตีเรียกพบว่าสามารถทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งตึงน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ซึ่งคาดว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสตีเรียกนี้มีผลต่อการเพิ่มความอ่อนเหนียว (ductile) และความเหนียว (toughness) ของวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ความแข็งแรงตึงไม่สูงเท่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงนั่นเอง

จากรูปที่ 15 และตารางที่ 10 พบว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และกรดสตีเรียก ส่งผลให้ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มของค่าความเค้นที่จุดสูงสุดลดลงตามการเพิ่มปริมาณของผงฝ้าย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้สามารถพบได้เช่นเดียวกันในกรณีของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสตีเรียก แต่สำหรับผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP พบว่าสามารถทำให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความเค้นที่จุดสูงสุดเพิ่มขึ้นได้โดยจะเพิ่มตามปริมาณของผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก และที่ปริมาณนี้มีค่าความเค้นที่จุดสูงสุดเพิ่มขึ้น 10.40% เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีน จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสตีเรียกมีผลให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงลดลงโดยสังเกตได้จากค่าความเค้นสูงสุดที่ลดลง และพบว่าแนวโน้มของความแข็งแรงจะลดลงตามการเพิ่ม

ปริมาณผงฝ้าย แต่เมื่อพิจารณาผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP จะพบว่าสามารถช่วยเสริมให้ความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้นได้ และยังพบว่ามีแนวโน้มความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้น

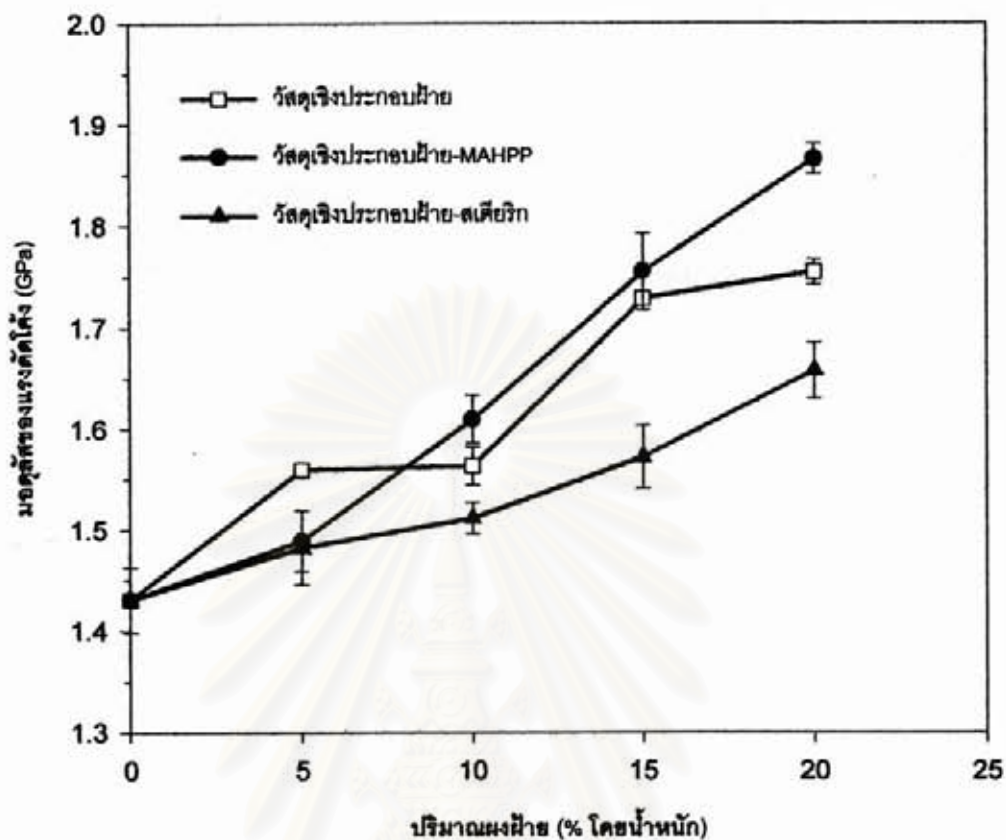
เมื่อพิจารณารูปที่ 16 และตารางที่ 11 ซึ่งแสดงความเค้นที่จุดขาดของการดึง พบว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริกส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มผลของค่าความเค้นที่จุดขาดใกล้เคียงกันเช่นเดิม ซึ่งพบว่าในตอนแรกเมื่อเติมผงฝ้ายเพียงปริมาณเล็กน้อยจะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความเค้นที่จุดขาดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมผงฝ้ายในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความเค้นที่จุดขาดลดลง แต่เมื่อพิจารณาผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP พบว่าสามารถเพิ่มค่าความเค้นที่จุดขาดให้กับวัสดุเชิงประกอบได้ตามการเพิ่มของปริมาณผงฝ้าย โดยค่าความเค้นที่จุดขาดสูงสุดอยู่ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าความเค้นที่จุดขาดเพิ่มขึ้นจากพอลิโพรพิลีนถึง 89.96% จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริกมีสมบัติใกล้เคียงกันคือสามารถไปเพิ่มความแข็งแรงที่จุดขาดให้กับวัสดุเชิงประกอบได้เมื่อเติมผงฝ้ายเพียงปริมาณต่ำเท่านั้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณผงฝ้ายมากขึ้นจะมีผลให้ความแข็งแรงที่จุดขาดลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงข้ามพบว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP จะสามารถเพิ่มความแข็งแรงที่จุดขาดให้กับวัสดุเชิงประกอบได้ตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้น

(2) ความทนแรงดัดโค้ง (Flexural Strength)

ผลของสมบัติความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก หลังการทดสอบพบว่าชิ้นงานของทั้งวัสดุเชิงประกอบฝ้าย วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก ไม่เกิดการแตกหัก

ผลของปริมาณผงฝ้ายต่อความทนแรงดัดโค้ง

จากผลทดสอบพบว่าปริมาณผงฝ้ายมีผลต่อความทนแรงดัดโค้งเป็นไปในแนวทางเดียวกับความทนแรงดึง จากรูปที่ 17 และตารางที่ 12 พบว่าค่ามอดูลัสของแรงดัดโค้ง (flexural modulus) ของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้น จะเห็นว่าที่ปริมาณผงฝ้าย 5 % โดยน้ำหนัก วัสดุเชิงประกอบฝ้ายมีค่ามอดูลัสของแรงดัดโค้งสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบชนิดอื่น ส่วนวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก พบว่ามีค่ามอดูลัสของแรงดัดโค้งใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผงฝ้ายมากขึ้นพบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP มีแนวโน้มของค่ามอดูลัสของแรงดัดโค้งที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นแนวเส้นตรงกับการเพิ่มปริมาณของผงฝ้าย ส่วนวัสดุเชิงประกอบฝ้ายและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริกพบว่ามีแนวโน้มของค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของผงฝ้าย จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่าการเพิ่มปริมาณผงฝ้ายมีผลให้วัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการต้านทานแรงดัดโค้งสูงขึ้นหรือมีความแข็งแรงสูงขึ้นนั่นเอง

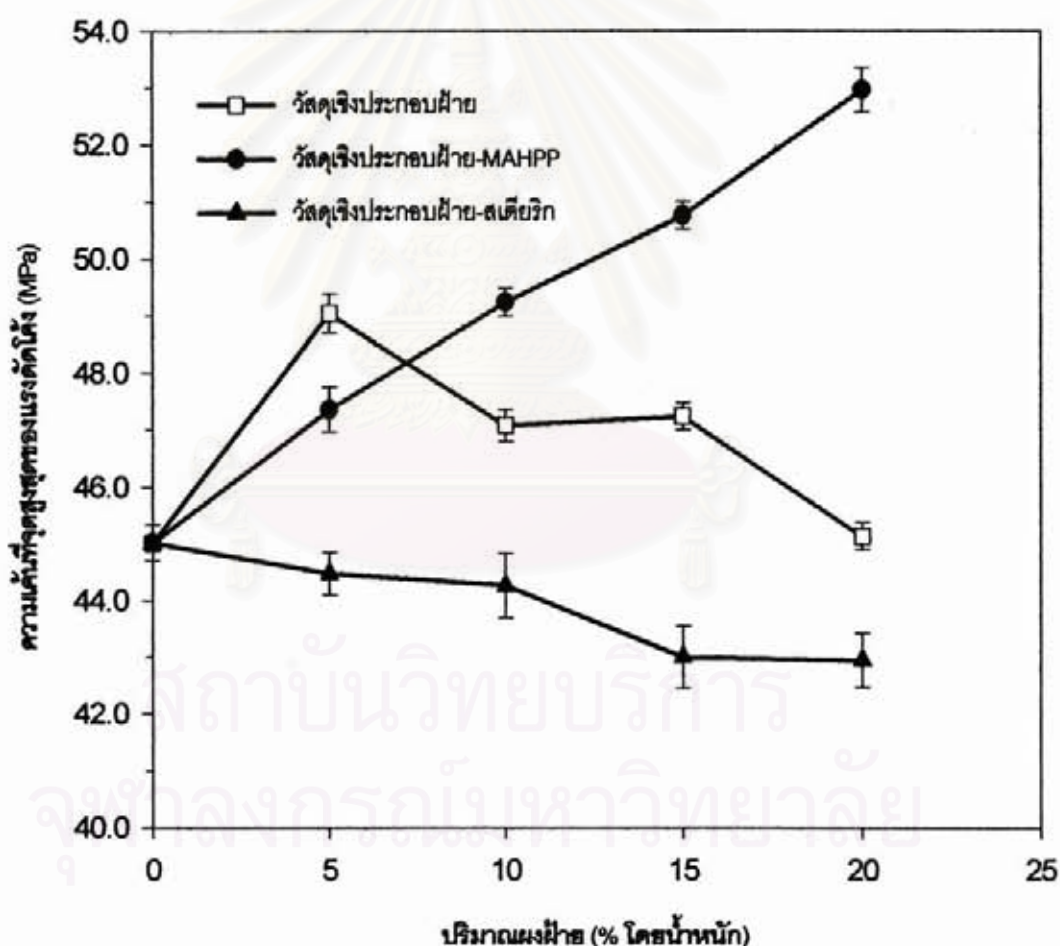


รูปที่ 17 ค่ามอดูลัสของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ

ตารางที่ 12 ค่ามอดูลัสของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ

ปริมาณผงใย (% โดยน้ำหนัก)	มอดูลัสของแรงดัดโค้ง (GPa)		
	วัสดุเชิงประกอบใย	วัสดุเชิงประกอบใย- MAH-PP	วัสดุเชิงประกอบใย- สตีเร็ก
0 (PP)	1.43 ± 0.03	1.43 ± 0.03	1.43 ± 0.03
5	1.56 ± 0.01	1.49 ± 0.03	1.48 ± 0.04
10	1.56 ± 0.02	1.61 ± 0.02	1.51 ± 0.02
15	1.73 ± 0.01	1.76 ± 0.04	1.57 ± 0.03
20	1.76 ± 0.01	1.87 ± 0.02	1.66 ± 0.03

จากรูปที่ 18 และตารางที่ 13 ซึ่งแสดงค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดัดโค้ง (flexural stress at maximum load) พบว่าปริมาณผงฝ้ายมีผลต่อค่าความความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดัดโค้งแตกต่างกันไปตามวัสดุเชิงประกอบแต่ละชนิด เมื่อพิจารณาปริมาณผงฝ้ายที่ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้ายมีค่าความเค้นสูงที่สุดและรองลงมาคือวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ซึ่งมีค่าความเค้นเพิ่มขึ้นจากพอลิโพรพิลีนหรือที่ปริมาณผงฝ้าย 0% โดยน้ำหนักเล็กน้อย แต่สำหรับวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริกกลับพบว่ามีความเค้นลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝ้ายมากขึ้นจะเห็นว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้ายและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริกมีแนวโน้มของค่าความเค้นลดลงไปเรื่อยๆ และสำหรับวัสดุเชิงประกอบฝ้ายพบว่าที่ปริมาณผงฝ้าย 20%



รูปที่ 18 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ

ตารางที่ 13 ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ

ปริมาณผงฝ้าย (% โดยน้ำหนัก)	ความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดัดโค้ง (MPa)		
	วัสดุเชิงประกอบฝ้าย	วัสดุเชิงประกอบฝ้าย- MAH-PP	วัสดุเชิงประกอบฝ้าย- สเทียริก
0 (PP)	45.02 ± 0.32	45.02 ± 0.32	45.02 ± 0.32
5	49.05 ± 0.35	47.36 ± 0.40	44.48 ± 0.38
10	47.08 ± 0.28	49.23 ± 0.24	44.26 ± 0.57
15	47.24 ± 0.24	50.76 ± 0.24	43.00 ± 0.55
20	45.14 ± 0.24	52.97 ± 0.39	42.95 ± 0.48

โดยน้ำหนักเริ่มมีค่าความเค้นใกล้เคียงกับพอลิโพรพิลีนและมีแนวโน้มลดลงไปได้อีกถ้าเติมผงฝ้ายในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันพบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP มีแนวโน้มของค่าความเค้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นเส้นตรงตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้น จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่าปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบแต่ละชนิดไม่เหมือนกันโดยสังเกตจากค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงดัดโค้งที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยพบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้ายและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเทียริกมีแนวโน้มของความแข็งแรงลดลงเมื่อปริมาณผงฝ้ายเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่าในวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP จะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของปริมาณผงฝ้าย

ผลของการปรับปรุงผงฝ้ายต่อความทนแรงดัดโค้ง

จากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งพบว่า ผลของการปรับปรุงผงฝ้ายต่อความทนแรงดัดโค้งคล้ายกับความทนแรงดึง จากรูปที่ 17 และตารางที่ 12 พบว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยMAH-PP และผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเทียริกมีผลให้ค่ามอดุลัสของแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณผงฝ้าย โดยพบว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP สามารถทำให้วัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มของค่ามอดุลัสของแรงดัดโค้งสูงสุด โดยค่ามอดุลัสของแรงดัดโค้งสูงสุดสำหรับทุกวัสดุเชิงประกอบอยู่ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถเรียงลำดับค่ามอดุลัสของแรงดัดโค้งสูงสุดที่เพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีนได้ดังนี้ วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP 30.40% วัสดุเชิงประกอบฝ้าย 22.64% และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเทียริก 15.86% ตามลำดับ และสังเกตเห็นว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเทียริกมีผลให้วัสดุเชิงประกอบมีค่ามอดุลัสของแรงดัดโค้งต่ำกว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงเล็กน้อย จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่า ผงฝ้ายทั้ง 3 ชนิดสามารถทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นซึ่งดูได้จากค่ามอดุลัสของแรงดัดโค้งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความแข็งแรงนี้คือความสามารถในการต้านทานแรงดัดโค้งนั่นเอง และพบว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP สามารถช่วยเสริมความแข็งแรงดัดโค้งให้กับวัสดุเชิงประกอบได้ดีกว่าผงฝ้ายชนิดอื่น และพบว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเทียริกมีผลให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงดัดโค้งน้อยกว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง คาดว่าอาจเนื่องมาจากกรดสเทียริกซึ่งน่าจะมีผลทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความอ่อนเหนียวและความเหนียวเพิ่มขึ้น

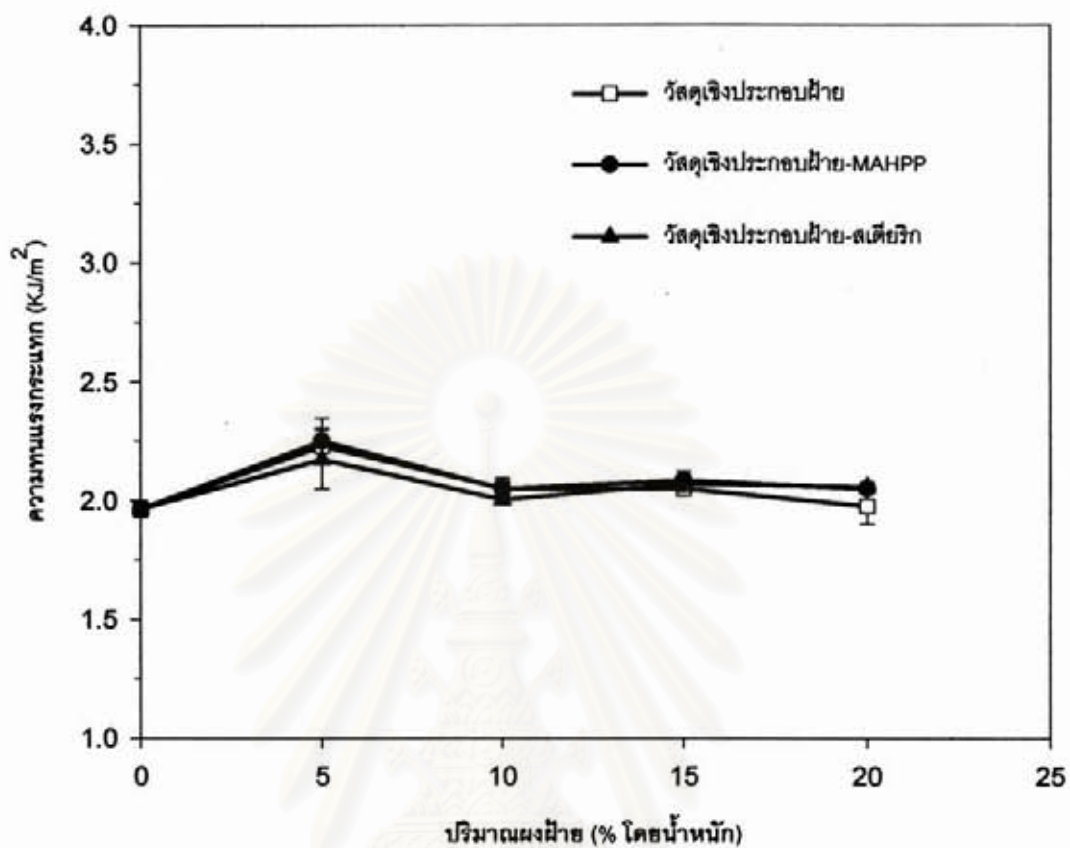
เมื่อพิจารณาค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงคัดโค้ง ในรูปที่ 18 และตารางที่ 13 พบว่า ผนังที่ไม่ได้ปรับปรุง ผนังที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และผนังที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริก ส่งผลให้ค่าความเค้นที่จุดสูงสุดของแรงคัดโค้งมีแนวโน้มแตกต่างกันไป โดยพบว่าผนังที่ไม่ได้ปรับปรุงส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความเค้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในช่วงแรกที่ปริมาณผนังต่ำๆ คือ 0-5 % โดยน้ำหนักเท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผนังมากขึ้นค่าความเค้นจะลดลง ซึ่งพบพฤติกรรมคล้ายกันนี้ในการปรับปรุงผนังด้วยกรดเตียริก แต่พบว่าผนังที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริกส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความเค้นลดลงเมื่อเริ่มเติมผนังลงไป โดยจะลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณผนังที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามพบว่าผนังที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มีผลให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความเค้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเป็นไปในลักษณะเส้นตรงตามปริมาณผนังที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ปริมาณผนัง 20% โดยน้ำหนัก มีค่าความเค้นของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้นจากพอลิโพรพิลีน 17.33% จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงว่าผนังที่ไม่ได้ปรับปรุงจะสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบได้เล็กน้อยที่ปริมาณผนังต่ำ ๆ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผนังมากขึ้นพบว่าผนังที่ไม่ได้ปรับปรุงจะมีผลทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าผนังที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริกจะมีผลทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบลดลงเช่นเดียวกันและลดลงมากกว่าผนังที่ไม่ได้ปรับปรุงเมื่อปริมาณผนังเพิ่มขึ้น ส่วนผนังที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP พบว่ามีความสามารถในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบได้ โดยวัสดุเชิงประกอบจะมีแนวโน้มความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามปริมาณผนังที่เพิ่มขึ้น

(3) ความทนแรงกระแทก (Impact Strength)

ผลของสมบัติความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP วัสดุเชิงประกอบ-สเตียริก หลังการทดสอบพบว่าชิ้นงานของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดเกิดการแตกหักแบบสมบูรณ์

ผลของปริมาณผนังต่อความทนแรงกระแทก

จากรูปที่ 19 และตารางที่ 14 พบว่าการเพิ่มปริมาณผนังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความทนแรงกระแทกอย่างไม่มีนัยสำคัญ และพบว่าที่ปริมาณผนัง 5% โดยน้ำหนัก มีการเพิ่มขึ้นของค่าความทนแรงกระแทกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนที่ปริมาณผนัง 10 15 และ 20% โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่าความทนแรงกระแทกใกล้เคียงกับพอลิโพรพิลีน ลักษณะดังกล่าวพบว่าเกิดขึ้นกับทั้งวัสดุเชิงประกอบฝ้าย วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก ซึ่งมีแนวโน้มของค่าความทนแรงแทกเมื่อเพิ่มปริมาณผนังที่เหมือนกัน



รูปที่ 19 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ

ตารางที่ 14 ค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ

ปริมาณผงใย (% โดยน้ำหนัก)	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)		
	วัสดุเชิงประกอบใย	วัสดุเชิงประกอบใย- MAH-PP	วัสดุเชิงประกอบใย- สตีเร็ก
0 (PP)	1.97 ± 0.04	1.97 ± 0.04	1.97 ± 0.04
5	2.23 ± 0.08	2.25 ± 0.10	2.17 ± 0.12
10	2.05 ± 0.04	2.05 ± 0.04	2.00 ± 0.01
15	2.05 ± 0.03	2.09 ± 0.04	2.07 ± 0.04
20	1.98 ± 0.07	2.05 ± 0.01	2.06 ± 0.02

ผลของการปรับปรุงผงฝ้ายต่อความทนแรงกระแทก

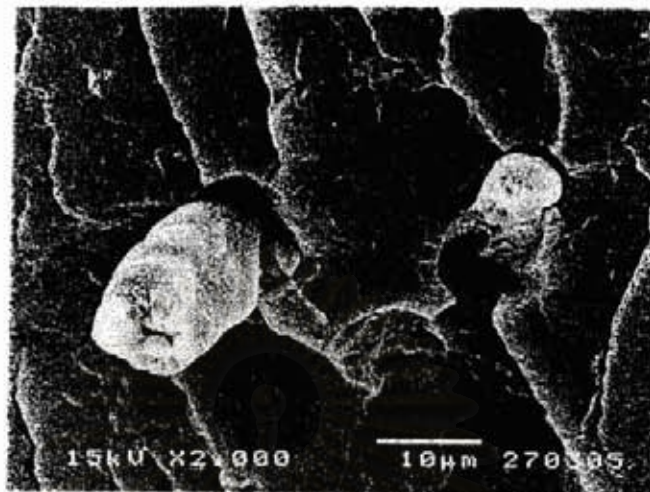
จากรูปที่ 19 และตารางที่ 14 พบว่าการปรับปรุงผงฝ้ายทั้ง 2 ชนิดมีผลต่อค่าความทนแรงกระแทกใกล้เคียงกัน จะเห็นว่าเส้นกราฟของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันและเกือบทับเป็นเส้นเดียวกัน และค่าความทนแรงกระแทกที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีความสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีน หรืออาจกล่าวได้ว่าการปรับปรุงผงฝ้ายมีผลต่อความทนแรงกระแทกน้อยมาก

ทั้งผลของปริมาณผงฝ้ายและการปรับปรุงผงฝ้ายต่อความทนแรงกระแทกนั้น พบว่ามีค่าความทนแรงกระแทกต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอาจเกิดจากความไม่เหมาะสมของขนาดชิ้นงานและการให้แรงในการตีของค้อน เนื่องจากข้อจำกัดของชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูป ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำให้ชิ้นงานที่ใช้มีขนาด $80 \times 10 \times 3$ มิลลิเมตร ในขณะที่ใช้แรงในการตี 0.5 J ซึ่งโดยปกติตามมาตรฐาน ISO 179 ชิ้นงานที่ทำการทดสอบแรงกระแทกแบบ Charpy ควรจะมีขนาด $80 \times 10 \times 4$ มิลลิเมตร ทำให้คาดว่าขนาดของชิ้นงานที่ต่างไปจากมาตรฐานนี้จะส่งผลทำให้ค่าแรงกระแทกในงานวิจัยนี้ต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น

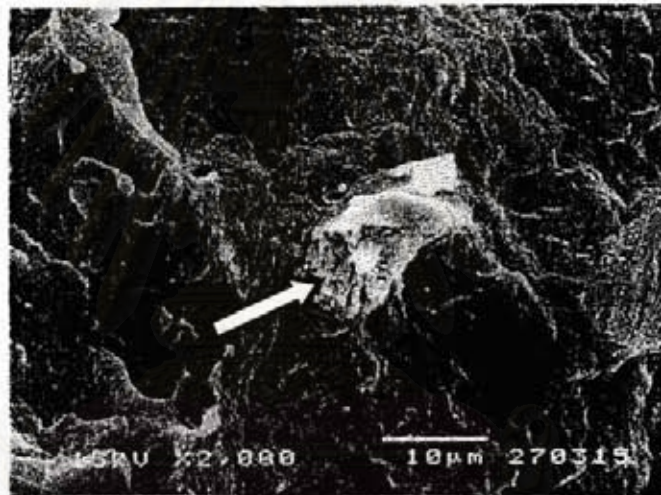
4.2.2 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหัก

ผลของการปรับปรุงผงฝ้ายต่อลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ

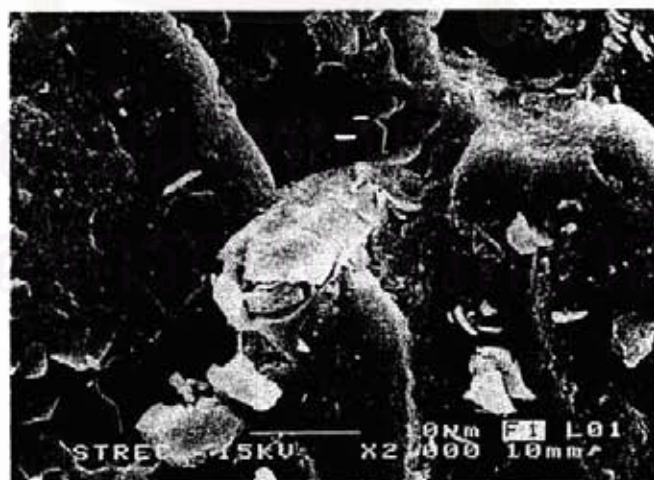
จากรูปที่ 20 พบว่าสามารถเห็นลักษณะของผงฝ้ายซึ่งยังคงรูปร่างเป็นเส้นฝังตัวอยู่บนพื้นผิวที่แตกหัก โดยได้แสดงรูปร่างของผงฝ้ายก่อนเติมในพอลิโพรพิลีนไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.1 และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 20 (1) ซึ่งแสดงลักษณะการฝังตัวของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง บนพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย พบว่ามีช่องว่าง (void) ขนาดใหญ่บริเวณรอบผงฝ้าย ซึ่งฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์พอลิโพรพิลีน ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเปียก (wetting) ที่ต่ำระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานผิวหน้า (surface energy) หรือแรงตึงผิว (surface tension) ของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและพอลิโพรพิลีนมีค่าที่ต่างกันมากทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำไปด้วย นอกจากนี้จะเห็นว่าผงฝ้ายมีการหลุดออกมาแสดงให้เห็นถึงรูปร่างที่เป็นเส้นของผงฝ้าย และสังเกตเห็นว่าผิวของผงฝ้ายที่หลุดออกมานั้นมีลักษณะเรียบ แสดงว่ามีการยึดติดที่ไม่ดีกับเมทริกซ์พอลิโพรพิลีน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากความแตกต่างกันระหว่างสมบัติความมีขี้และความชอบน้ำของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และสมบัติความไม่มีขี้และความไม่ชอบน้ำของพอลิโพรพิลีนซึ่งอธิบายไปแล้วข้างต้นในเรื่องผลของปริมาณผงฝ้าย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสและสมบัติเชิงกลกล่าวคือทำให้ค่าสมบัติเชิงกลทั้งความทนแรงดึงและความทนแรงคดโค้งของวัสดุเชิงประกอบฝ้ายมีค่าต่ำกว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP



(1)



(2)



(3)

รูปที่ 20 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ
ที่มีปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 2000 เท่า (1) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย
(2) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAHPP และ(3) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 20 (2) ซึ่งแสดงลักษณะการฝังตัวของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP บนพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP จะเห็นว่าไม่พบช่องว่างบริเวณรอบผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP แต่กลับพบว่ามีสารฝังตัวของผงฝ้ายในเมทริกซ์พอลิโพรพิลีน แสดงว่าการปรับปรุงฝ้ายด้วย MAH-PP ส่งผลให้ความสามารถในการเปียกกระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงฝ้ายเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่ามีการปกคลุมอย่างทั่วถึงของเมทริกซ์ไปสู่ผงฝ้าย อาจกล่าวได้ว่าการปรับปรุงผงฝ้ายด้วย MAH-PP นั้นจะมีผลให้พลังงานผิวหน้าของผงฝ้ายลดต่ำลงในระดับที่ใกล้เคียงกับพลังงานผิวหน้าของเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนมากขึ้น ซึ่งพลังงานผิวหน้าที่ลดต่ำลงนี้สามารถยืนยันได้จากผลของค่ามุมสัมผัส ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.1.3 ว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มีค่ามุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีค่าแรงดึงผิวหน้า (surface tension) หรือค่าพลังงานผิวหน้าลดลงนั่นเอง นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP ไม่มีการหลุดออกจากเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนเหมือนกับผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง อีกทั้งยังพบว่ามีลักษณะการแตกเป็นเส้น (fibrils) ในอนุภาคของผงฝ้าย (ตำแหน่งที่ลูกศรชี้) ซึ่งแสดงถึงการยึดติดที่ดีระหว่างผิวหน้าของผงฝ้ายและเมทริกซ์พอลิโพรพิลีน ลักษณะเส้นที่แตกออกนี้สามารถอธิบายได้ว่า เกิดจากความสามารถในการถ่ายเทพลังงานระหว่างการแตกหักจากเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนไปสู่ผงฝ้าย ซึ่งการยึดติดที่ดีทำให้ผงฝ้ายสามารถดูดซับพลังงานการแตกหักเอาไว้ ส่งผลให้ภายในอนุภาคของผงฝ้ายเกิดการแตกออกเป็นเส้นเมื่อมีแรงมากกระทำเพื่อหนีวัสดุเชิงประกอบ การยึดติดที่ดีนี้เนื่องมาจากการเกิดพันธะทางกายภาพ (physical bonding) และการดึงดูดระหว่างผิวหน้าของผงฝ้ายซึ่งมีพอลิโพรพิลีนจาก MAH-PP เกาะอยู่กับเมทริกซ์พอลิโพรพิลีน หรือที่เรียกว่า cohesive coupling นั่นเอง ซึ่งการยึดติดที่ดีนี้ส่งผลให้ผลทดสอบสมบัติเชิงกลทั้งความทนแรงดึงและความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP มีค่าสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบชนิดอื่น โดยไม่พบการลดลงของค่าความเค้นตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้นดังที่พบในวัสดุเชิงประกอบฝ้าย และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียวริก

เมื่อพิจารณารูปที่ 20 (3) ซึ่งแสดงลักษณะการฝังตัวของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเดียวริก บนพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียวริก จะเห็นว่าไม่พบช่องว่างบริเวณรอบผงฝ้ายที่ฝังตัวอยู่เช่นเดียวกันกับกรณีของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP แต่เมื่อสังเกตจะพบว่าไม่มีลักษณะการฝังตัวของผงฝ้ายในเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนดังที่พบในกรณีของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP เนื่องจากสังเกตเห็นลักษณะของผงฝ้ายที่หลุดออกมาและไม่พบลักษณะการแตกเป็นเส้นไฟบริล แสดงว่าการปรับปรุงผงฝ้ายด้วยกรดสเดียวริกทำให้ความสามารถในการเปียกกระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงฝ้ายเพิ่มขึ้นได้แต่ไม่ดีเท่าการปรับปรุงด้วย MAH-PP ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลของค่ามุมสัมผัสของผงฝ้ายในหัวข้อ 4.1.3 ซึ่งพบว่าค่ามุมสัมผัสของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเดียวริกมีค่าต่ำกว่าค่ามุมสัมผัสของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP ซึ่งแสดงว่าการปรับปรุงด้วยกรดสเดียวริกสามารถไปลดพลังงานผิวหน้าให้กับผงฝ้ายได้น้อยกว่าการปรับปรุงด้วย MAH-PP นอกจากนี้จากรูปจะเห็นว่ามีสารหลุดออกมาของผงฝ้ายซึ่งเผยให้เห็นผิวของผงฝ้ายซึ่งมีลักษณะไม่เรียบและมีเกล็ดของสารซึ่งคาดว่าเป็นกรดสเดียวริกเกาะอยู่ ซึ่งเป็นการแสดงว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเดียวริกนี้มีการยึดติดกับเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนที่ไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP โดยอาจจะสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากโครงสร้างของกรดสเดียวริกซึ่งมีสายโซ่โมเลกุลประเภทแอลเคน ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมเพียง 17 ตัว ทำให้การดึงดูดกันระหว่างสายโซ่โมเลกุลแอลเคนซึ่งเกาะอยู่บนผิวผงฝ้ายกับเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนไม่ดีเท่าสายโซ่พอลิโพรพิลีนใน MAH-PP ดังนั้นค่าสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียวริกจึงมีค่าต่ำกว่าวัสดุเชิง

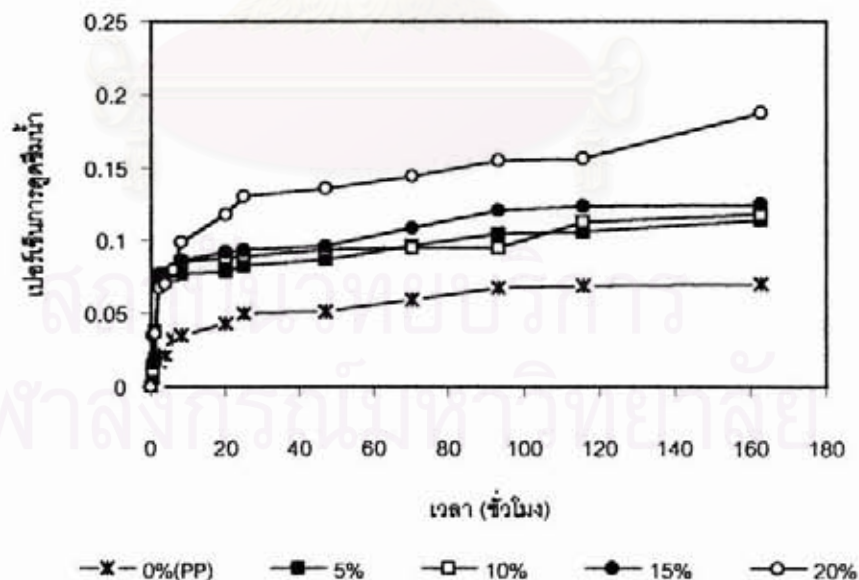
ประกอบฝ้าย-MAH-PP และมีพฤติกรรมของสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับวัสดุเชิงประกอบฝ้ายซึ่งมีฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงเป็นสารตัวเติม

4.2.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

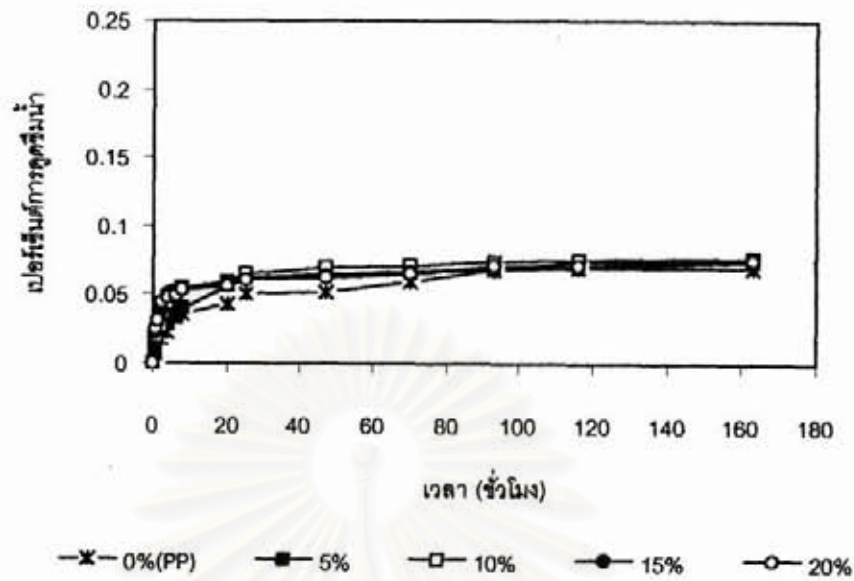
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบตามมาตรฐาน ASTM D750-95 และใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 163 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณผงฝ้าย 5 10 15 และ 20% โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มในการดูดซึมน้ำที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบชนิดอื่นที่มีเส้นใยธรรมชาติเป็นสารตัวเติม (Kasemsook, 1999) โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นจากพอลิโพรพิลีนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้จากการทดสอบพบว่าปริมาณผงฝ้ายและวิธีการปรับปรุงผงฝ้ายมีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ ดังนี้

ผลของปริมาณผงฝ้ายต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ

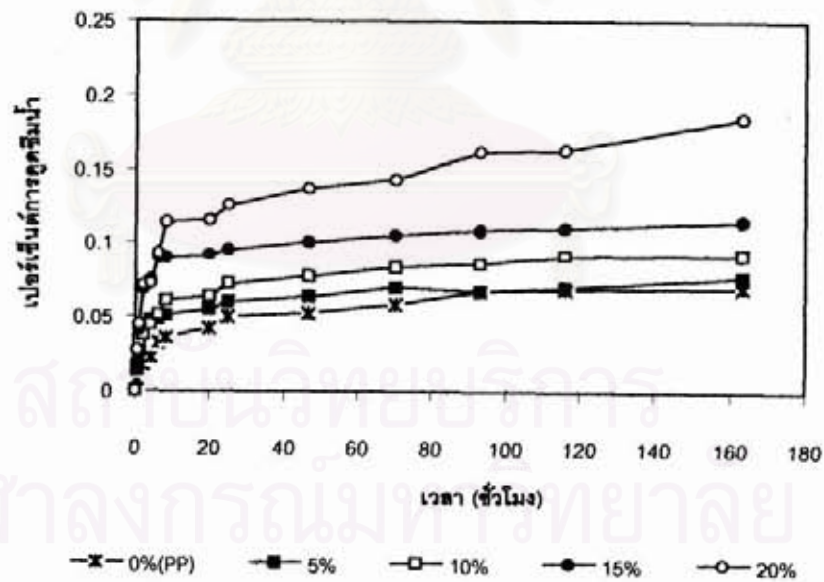
รูปที่ 21 แสดงความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้ายซึ่งมีผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงเป็นสารตัวเติม ที่ปริมาณผงฝ้ายต่าง ๆ กัน พบว่า เมื่อเติมผงฝ้ายในปริมาณที่มากขึ้นจะมีผลให้วัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มในการดูดซึมน้ำที่มากขึ้น จากกราฟจะเห็นว่าในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการทดสอบ ทุกปริมาณผงฝ้ายจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำค่อนข้างเร็ว ต่อจากนั้นกราฟจะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนเกือบคงที่เมื่อเวลาในการทดสอบผ่านไปเรื่อย ๆ จนถึง 163 ชั่วโมง ยกเว้นที่ปริมาณผงฝ้าย 20%



รูปที่ 21 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้ายที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 22 เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 23 เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเด็ยวิก ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กันเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

โดยน้ำหนักจะเห็นว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำได้อีก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับวัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยธรรมชาติโดยทั่วไปแล้ว กล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้มีค่าต่ำมาก นั่นคือเมื่อสิ้นสุดเวลาในการทดสอบ พบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้ายที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการดูดซึมน้ำเพียงประมาณ 0.19%

สำหรับปริมาณผงฝ้ายอื่นๆ ก็เช่นเดียวกัน นั่นคือพบว่ามีความสามารถในการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับที่ต่ำใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 0.11 – 0.12% แสดงว่าการเพิ่มปริมาณของผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงมีผลทำให้วัสดุเชิงประกอบสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้นในปริมาณเล็กน้อย เมื่อพิจารณาสมบัติของฝ้ายโดยทั่วไปที่สามารถดูดซึมน้ำได้ดี ความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ค่อนข้างต่ำนี้สามารถอธิบายได้ว่าอาจเป็นผลมาจากการแปรสภาพทางเคมีของเศษผ้าฝ้ายให้เป็นผงฝ้ายด้วยวิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง โดยวิธีการดังกล่าวจะทำลายส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) ของเส้นใยฝ้าย ซึ่งส่วนอสัณฐานนี้เองที่เป็นส่วนที่ว่องไวต่อน้ำ สามารถดูดซึมและรับน้ำจากสิ่งแวดล้อมได้ดี (Shore, 1995) ดังนั้นจึงมีผลทำให้วัสดุเชิงประกอบที่มีผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงเป็นสารตัวเติมมีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ต่ำไปด้วย แต่ถึงอย่างไรก็ตามผงฝ้ายที่ได้ยังคงมี โครงสร้างของโมเลกุลเป็นเรลูลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลเป็นจำนวนมาก จึงส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงฝ้ายในวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น

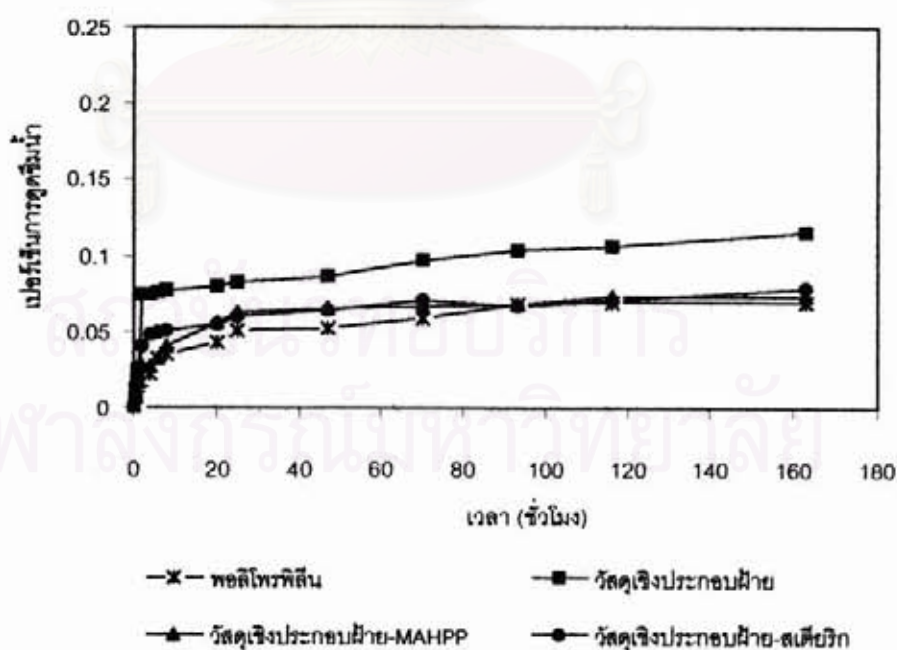
เมื่อนำผงฝ้ายมาผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP แล้วเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP พบว่าผลของปริมาณผงฝ้ายต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงในรูปที่ 22 พบว่าที่ทุกปริมาณผงฝ้ายอันได้แก่ 5 10 15 และ 20% โดยน้ำหนัก วัสดุเชิงประกอบมีความสามารถในการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน โดยในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการทดสอบพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนเกือบเป็นค่าคงที่ เช่นเดียวกับในวัสดุเชิงประกอบฝ้าย ซึ่งความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ 163 ชั่วโมงที่ใช้ในการทดสอบของทุกปริมาณผงฝ้ายอยู่ในช่วงประมาณ 0.07 – 0.08% ซึ่งเป็นความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ต่ำมากและต่ำกว่าในวัสดุเชิงประกอบฝ้ายซึ่งผงฝ้ายไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP แสดงว่าปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้นของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP ไม่ส่งผลกระทบต่อขีดต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ โดยพบว่าทุกปริมาณจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ต่ำมากและมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากการปรับปรุงด้วย MAH-PP ส่งผลให้ผงฝ้ายมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลของค่ามุมสัมผัสกับน้ำ ในหัวข้อ 4.1.3 ซึ่งพบว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มีค่ามุมสัมผัสที่สูงมาก แสดงถึงการดูดซึมน้ำที่ต่ำนั่นเอง

สำหรับวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริกซึ่งมีผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกเป็นสารตัวเติมนั้นพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่มากกว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ดังรูปที่ 23 ซึ่งจะเห็นว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยใน 2 ชั่วโมงแรกจะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ต่อมากจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนเกือบเป็นค่าคงที่ ยกเว้นที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก คาดว่าวัสดุเชิงประกอบอาจจะสามารถดูดซึมน้ำได้เพิ่มขึ้นอีกภายหลังจาก 163 ชั่วโมง ที่ใช้ในการทดสอบ พฤติกรรมดังกล่าวนี้คล้ายกับในวัสดุเชิงประกอบฝ้าย ดังรูปที่ 21 โดยพบว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป 163 ชั่วโมง วัสดุเชิงประกอบมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำประมาณ 0.19% และที่ปริมาณผงฝ้าย 5 10 และ 15 % โดย

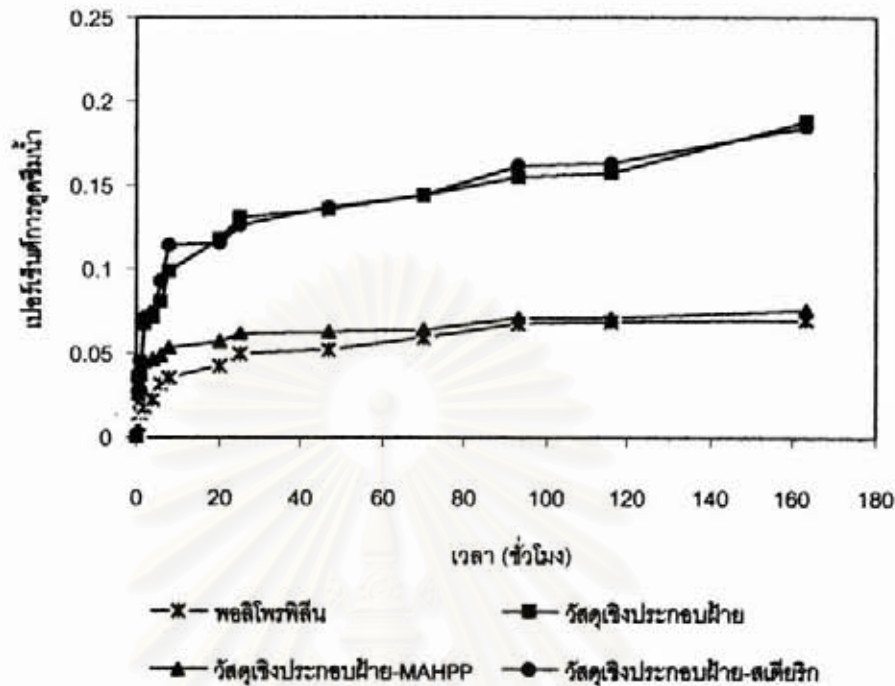
น้ำหนัก พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำประมาณ 0.08 0.9 และ 0.11% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณของผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกเพิ่มขึ้น วัสดุเชิงประกอบจะสามารถดูดซึมน้ำได้เพิ่มมากขึ้น และมีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกับวัสดุเชิงประกอบฝ้าย ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงผงฝ้ายด้วยกรดสเตียริกนั้นมีผลทำให้ผงฝ้ายมีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นแต่ในระดับที่น้อยกว่าการปรับปรุงด้วย MAH-PP ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลของค่ามุมสัมผัสกับน้ำ ในหัวข้อ 4.1.3 ซึ่งพบว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกมีค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP แสดงถึงการเข้ากันกับน้ำได้ดีกว่านั่นเอง ส่งผลให้เมื่อปริมาณผงฝ้ายมากขึ้นวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริกจึงมีโอกาสในการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น

ผลของการปรับปรุงผงฝ้ายต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ

จากรูปที่ 24 ซึ่งแสดงความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีน พบว่า วัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างของความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ไม่มากนัก นั่นคือมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่สูงกว่าพอลิโพรพิลีนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ยกเว้นวัสดุเชิงประกอบฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง โดยพบว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงมีผลทำให้วัสดุเชิงประกอบมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่สูงกว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกเล็กน้อย ซึ่งจะเห็นว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกับพอลิโพรพิลีน



รูปที่ 24 เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบชนิดต่างๆ ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 25 เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบชนิดต่างๆ ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

และเมื่อพิจารณาเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้ายมากขึ้น ดังรูปที่ 25 แสดงความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณผงฝ้ายที่มากที่สุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่า วัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างของค่าเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสตีเรอิกมีผลให้วัสดุเชิงประกอบมีเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP ซึ่งการปรับปรุงผงฝ้ายด้วย MAH-PP สามารถทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ต่ำมากจนใกล้เคียงกับพอลิโพรพิลีน จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP สามารถส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ต่ำมากกว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสตีเรอิก แม้ว่าที่ปริมาณผงฝ้ายสูงๆ ก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติความไม่ชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อผงฝ้ายผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในเรื่องผลของปริมาณผงฝ้ายนั่นเอง

4.2.4 สมบัติทางความร้อน

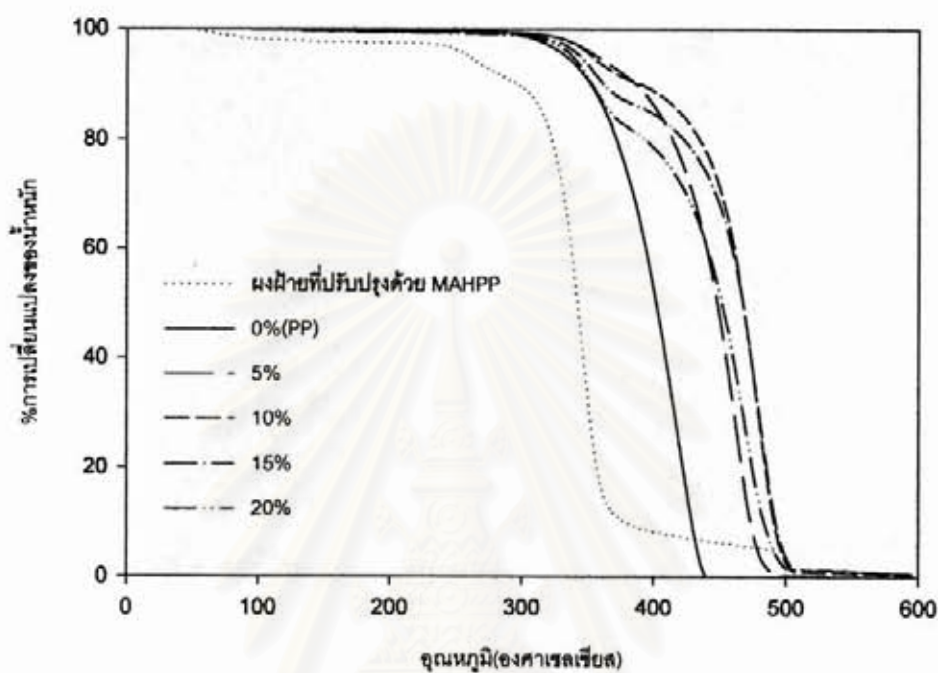
(1) Thermogravimetric Analysis (TGA)

วัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดถูกวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิการสลายตัว (degradation temperature, T_d) ภายใต้ภาวะแก๊สไนโตรเจน ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $20^\circ\text{C}/\text{นาที่}$ โดยทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาผลของปริมาณผงฝ้ายและสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงผงฝ้ายที่มีต่ออุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบ

ผลของปริมาณผงฝ้ายต่ออุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบ

เนื่องจากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ ทำให้พบว่าวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งานจริงมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกทำการวิเคราะห์เฉพาะวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้าย 5 10 15 และ 20% โดยน้ำหนัก จากรูปที่ 26 และตารางที่ 15 พบว่าการเติมผงฝ้ายในปริมาณเพียงเล็กน้อยมีผลให้พอลิไพโรทีซินมีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนักพบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรก (onset degradation temperature) เพิ่มขึ้นประมาณ 24°C แสดงว่าผงฝ้ายสามารถส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้มีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณผงฝ้ายมากขึ้น เช่นที่ 10% โดยน้ำหนักจะสังเกตเห็นอุณหภูมิการสลายตัวแบ่งเป็นสองช่วง ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่ามีของผสมมากกว่าหนึ่งชนิดอยู่ด้วยกันในวัสดุเชิงประกอบ และยังพบว่าที่ปริมาณผงฝ้ายมากขึ้นจะเห็นการแบ่งของอุณหภูมิการสลายตัวได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งการสลายตัวในช่วงแรกนั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากผงฝ้าย ส่วนการสลายตัวในช่วงหลังเกิดจากพอลิไพโรทีซินนั่นเอง หลังจากนั้นกราฟจะมีการลดลงของน้ำหนักไปเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิการสลายตัวจุดสุดท้าย (final degradation temperature) และจากการสังเกตพบว่าพอลิไพโรทีซินไม่มีมวลหลงเหลือภายหลังจากอุณหภูมิการสลายตัวสุดท้ายที่ประมาณ 440°C ซึ่งอธิบายได้ว่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน ไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำระเหยออกไปจนหมด ทั้งนี้เนื่องจากถ้วยอะลูมิเนียม (pan) ที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบระบบเปิดนั่นเอง แต่เมื่อสังเกตวัสดุเชิงประกอบ พบว่าที่ปริมาณผงฝ้ายมากขึ้นจะสังเกตเห็นว่ามีมวลหลงเหลือเล็กน้อยประมาณ 2% ภายหลังจากอุณหภูมิการสลายตัวจุดสุดท้ายที่ประมาณ $500 - 510^\circ\text{C}$ โดยสามารถเริ่มสังเกตเห็นได้ชัดเจนที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากปริมาณผงฝ้ายที่มากขึ้นจึงมีผลให้มีมวลของธาตุคาร์บอนภายหลังการเผาไหม้หรือซี้เผาของฝ้ายหลงเหลืออยู่



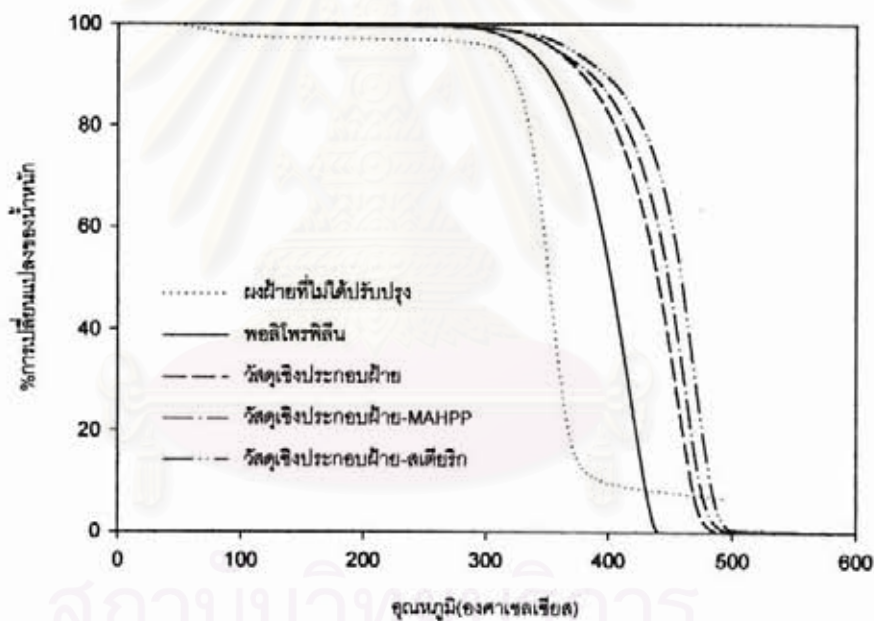
รูปที่ 26 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณฝ้ายต่างๆ กัน

ตารางที่ 15 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณฝ้ายต่างๆ กัน

ปริมาณฝ้าย (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรก ($^{\circ}\text{C}$)
0 (PP)	313.29
5	337.70
10	336.57
15	334.58
20	333.71

ผลของการปรับปรุงผงฝ้ายต่ออุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบ

ในการวิเคราะห์นี้ได้เลือกปริมาณผงฝ้ายที่ 5% โดยน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการปรับปรุงผงฝ้าย เนื่องจากที่ปริมาณผงฝ้ายดังกล่าววัสดุเชิงประกอบทุกชนิดมีสมบัติเชิงกลและความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ดีและสามารถยอมรับได้ ดังที่ได้ทดสอบไปแล้ว จากรูปที่ 27 และตารางที่ 16 พบว่าการเติมผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP และผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดลิวคิก ต่างก็สามารถทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบมีค่าสูงกว่าพอลิไพโรทีน โดยที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดนี้พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรกอยู่ที่ประมาณ 338 – 340°C ในขณะที่พอลิไพโรทีนมีค่าประมาณ 313°C แสดงว่าผงฝ้ายทั้งที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงสามารถส่งผลให้พอลิไพโรทีนมีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงขึ้น



รูปที่ 27 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไพโรทีนและวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 16 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ชนิดของวัสดุ	อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรก (°C)
พอลิโพรพิลีน (PP)	313.289
วัสดุเชิงประกอบฝ้าย	337.677
วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP	337.700
วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก	339.343

นอกจากนี้จากรูปที่ 27 ยังแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงผงฝ้ายด้วย MAH-PP และกรดสเตียริกไม่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรก เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 2 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงพบว่า มีอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มแรกเพิ่มขึ้นจากพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์ประมาณ 24 - 26°C ใกล้เคียงกัน แสดงว่าการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีนนั้นมีผลมาจากผงฝ้ายที่ใส่เข้าไปเพียงอย่างเดียว หรืออาจกล่าวได้ว่าผงฝ้ายเท่านั้นที่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบ และเมื่อพิจารณาดูพบว่าผงฝ้ายทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณผงฝ้าย 5 % โดยน้ำหนักจะไม่สามารถสังเกตเห็นการสลายตัวของวัสดุเชิงประกอบซึ่งแบ่งเป็นสองช่วงได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณผงฝ้ายมีน้อยมากจนทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นได้

(2) Differential scanning calorimeter (DSC)

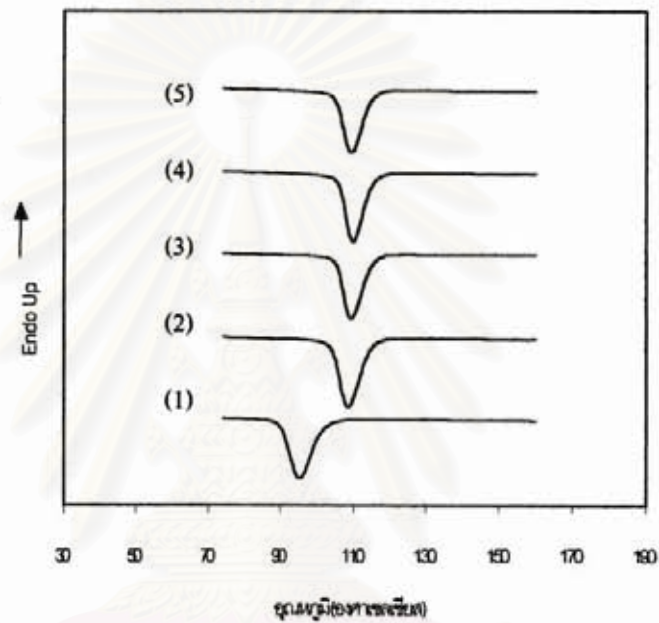
วัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิดถูกวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC เพื่อหาอุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature, T_c) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (melting temperature, T_m) โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อหาอุณหภูมิการหลอมเหลว 10°C/นาที และรายงานผลในรูปของอุณหภูมิการหลอมเหลวในครั้งที่สอง (second heating temperature) ส่วนอุณหภูมิการเกิดผลึกใช้อัตราการลดอุณหภูมิ 20°C/นาที โดยทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาผลของปริมาณผงฝ้ายและการปรับปรุงผงฝ้ายที่มีต่ออุณหภูมิการเกิดผลึก อุณหภูมิการหลอมเหลว และ พลังงานความร้อน (heat of fusion, ΔH) ของการหลอมเหลว

ผลของปริมาณผงฝ้ายต่ออุณหภูมิการเกิดผลึกและอุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบ

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค DSC นี้ได้เลือกทำการวิเคราะห์วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้าย 5 10 15 และ 20% โดยน้ำหนักเช่นเดียวกับเทคนิค TGA จากรูปที่ 28 และตารางที่ 17 พบว่าเมื่อเติมผงฝ้ายลงไปเพียงเล็กน้อยมีผลให้อุณหภูมิการเกิดผลึกของวัสดุเชิงประกอบสูงขึ้น โดยสังเกตเห็นว่าที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนักสามารถทำให้วัสดุเชิงประกอบมีอุณหภูมิการเกิดผลึกสูงขึ้นประมาณ



13°C และยังพบว่าทุกปริมาณของผงฝ้ายส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีอุณหภูมิการเกิดผลึกสูงขึ้นใกล้เคียงกันด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีน ทั้งนี้แสดงว่าผงฝ้ายที่เติมลงไปโนพอลิโพรพิลีนนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมเป็นสารก่อผลึก (nucleating agent) ซึ่งจะประพฤติตัวเสมือนเป็นนิวเคลียส (nuclei) หรือแกนของผลึก โดยสามารถชักนำให้เกิดการก่อผลึกในพอลิโพรพิลีนได้เร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีนที่ไม่ได้เติมผงฝ้าย แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่มีผลต่อการก่อผลึกแต่อย่างใด

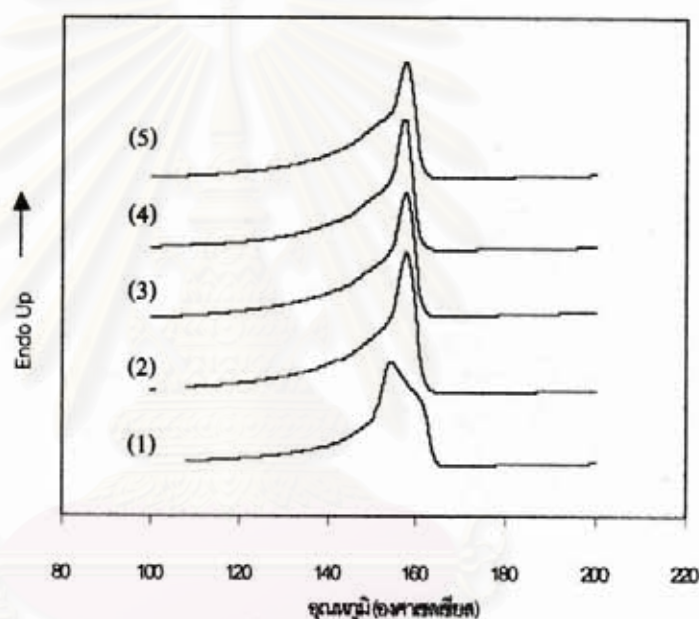


รูปที่ 28 อุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน (1) 0%(PP) (2) 5% (3) 10% (4) 15% และ (5) 20% โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิค DSC ของวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน

ปริมาณผงฝ้าย (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิการ เกิดผลึก (°C)	อุณหภูมิการ หลอมเหลว (°C)	ΔH, ของการ หลอมเหลว (J/g)		เปอร์เซ็นต์ ความเป็นผลึก ของ PP (%)
			PP+ ฝ้าย	PP	
0 (PP)	95.27	154.37	76.04	76.04	33.06
5	108.60	157.70	77.62	81.71	35.53
10	109.27	157.53	74.38	82.64	35.93
15	109.93	157.20	69.90	82.23	35.75
20	109.27	157.53	67.30	84.13	36.58

เมื่อพิจารณา รูปที่ 29 คู่กับตารางที่ 17 พบว่าการเติมผงฝ้ายลงไปในพอลิไพโรพิลีนเพียงเล็กน้อยมีผลให้ได้วัสดุเชิงประกอบที่มีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวเพิ่มขึ้น ซึ่งจากตารางจะเห็นว่าที่ปริมาณผงฝ้ายเพียง 5% โดยน้ำหนัก วัสดุเชิงประกอบมีอุณหภูมิการหลอมเหลวเพิ่มขึ้นประมาณ 3°C เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิไพโรพิลีน และยังพบว่าทุกปริมาณของผงฝ้ายส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีอุณหภูมิการหลอมเหลวสูงขึ้นใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นลักษณะเช่นเดียวกับอุณหภูมิการสลายตัวที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าผงฝ้ายมีผลให้พันธะระหว่างโมเลกุล (intermolecular bonding) ของผลึกพอลิไพโรพิลีนแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง ส่งผลให้ต้องใช้ความร้อนสูงขึ้นในการทำลายพันธะระหว่างโมเลกุล ซึ่งพบว่าปริมาณผงฝ้ายที่ได้มีผลต่อความแข็งแรงของพันธะระหว่างโมเลกุลในผลึกพอลิไพโรพิลีน หากแต่เป็นผลอันเนื่องมาจากผงฝ้ายที่เติมลงไปเท่านั้น

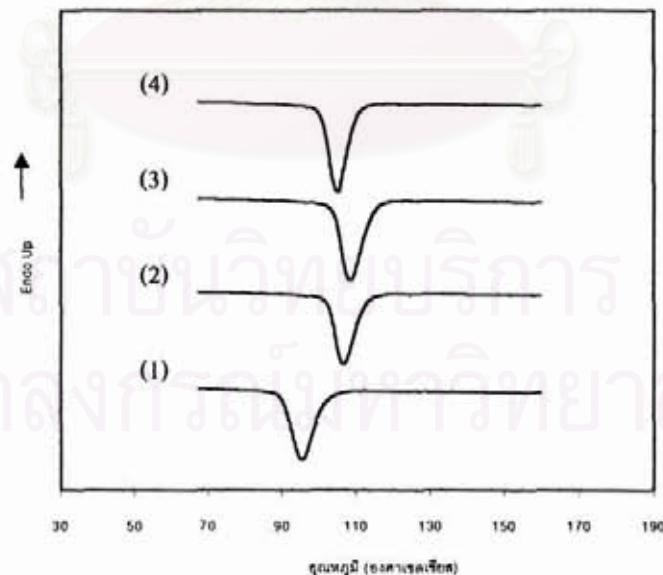


รูปที่ 29 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิไพโรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP ที่ปริมาณผงฝ้ายต่างๆ กัน (1) 0%(PP) (2) 5% (3) 10% (4) 15% และ (5) 20% โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิไพโรพิลีนในวัสดุเชิงประกอบสูงขึ้น โดยสูงขึ้นจากพอลิไพโรพิลีนที่ไม่ได้เติมผงฝ้ายประมาณ 2 - 3% ใกล้เคียงกันในทุกปริมาณผงฝ้าย สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากผงฝ้ายประพฤติตัวเป็นแกนของผลึก ชักนำให้พอลิไพโรพิลีนก่อผลึก จึงมีผลให้ความเป็นผลึกทั้งหมดของพอลิไพโรพิลีนเพิ่มขึ้นด้วย แต่พบว่าปริมาณผงฝ้ายที่มากขึ้นนั้นไม่มีผลต่อความเป็นผลึกทั้งหมดของพอลิไพโรพิลีน

ผลของการปรับปรุงผงฝ้ายต่ออุณหภูมิการเกิดผลึกและอุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบ

สำหรับการศึกษามลของการปรับปรุงผงฝ้ายด้วยการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค DSC นี้ ได้เลือกทำการวิเคราะห์วัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกับเทคนิค TGA จากรูปที่ 30 และตารางที่ 18 พบว่าทั้งผงฝ้ายที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงมีผลให้อุณหภูมิการเกิดผลึกสูงขึ้นจากพอลิโพรพิลีนได้เช่นเดียวกัน แต่จะเห็นว่าผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดผลึกสูงสุด รองลงมาคือผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกตามลำดับ แสดงว่าผงฝ้ายทั้ง 3 ชนิด สามารถแสดงพฤติกรรมเป็นสารก่อก่อผลึกได้ เนื่องจากผงฝ้ายที่เติมลงไปพอลิโพรพิลีนนั้น จะประพฤติตัวเสมือนเป็นแกนของผลึกซึ่งสามารถชักนำให้เกิดการก่อก่อผลึกในพอลิโพรพิลีนได้เร็วขึ้น แต่สำหรับผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มีผลให้อุณหภูมิการเกิดผลึกได้เร็วกว่าผงฝ้ายชนิดอื่นเล็กน้อย คาดว่าเนื่องจากการปรับปรุงด้วย MAH-PP ทำให้มีส่วนของสายโซ่โมเลกุลยาวของพอลิโพรพิลีนเกาะอยู่ที่ผิวหน้าผงฝ้าย ซึ่งสามารถดึงดูดกับสายโซ่โมเลกุลยาวในเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนได้ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบและก่อก่อผลึกในบางส่วนของสายโซ่โมเลกุล (segmental crystallization) ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยเสริมให้ผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มีการก่อก่อผลึกได้เร็วกว่าผงฝ้ายชนิดอื่น ส่วนผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกนั้น พบว่ามีผลให้อุณหภูมิการเกิดผลึกต่ำกว่าผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP คาดว่าเนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอน 17 ตัวในกรดสเตียริกซึ่งมีความยาวสั้นกว่าในสายโซ่โมเลกุลของ MAH-PP มาก อาจมีผลต่อการชักนำในการก่อก่อผลึกได้ไม่ดีเท่าการปรับปรุงด้วย MAH-PP



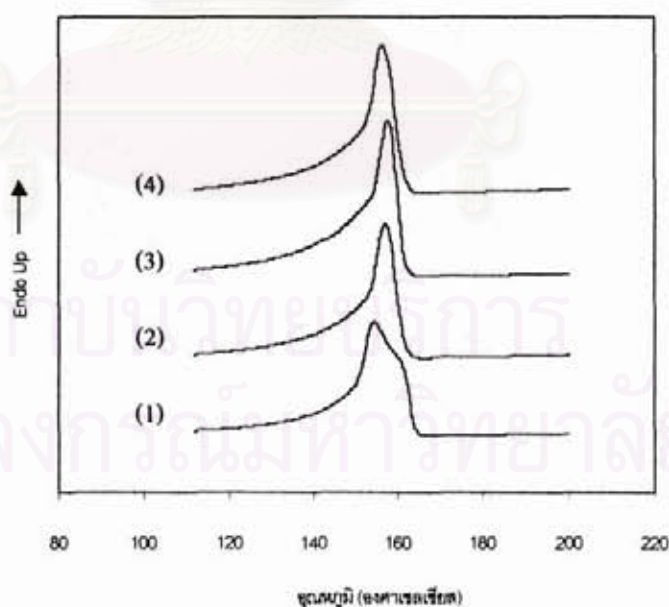
รูปที่ 30 อุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบต่างชนิดกัน ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก (1) พอลิโพรพิลีน (2) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย (3) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และ (4) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเตียริก

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์โดยเทคนิค DSC ของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ชนิดของตัวอย่าง	อุณหภูมิการเกิดผลึก (°C)	อุณหภูมิการหลอมเหลว (°C)	ΔH_f ของการหลอมเหลว (J/g)		เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ PP (%)
			PP+ ฝ้าย	PP	
พอลิโพรพิลีน (PP)	95.27	154.37	76.04	76.04	33.06
วัสดุเชิงประกอบฝ้าย	106.60	157.03	77.81	81.95	35.63
วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP	108.60	157.70	77.62	81.73	35.53
วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียริก	104.93	156.37	76.23	80.26	34.90

จากรูปที่ 31 และตารางที่ 18 พบว่า ผงฝ้ายทั้งที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงสามารถส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีอุณหภูมิการหลอมเหลวเพิ่มขึ้นได้ใกล้เคียงกัน โดยเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเล็กน้อยประมาณ 2 - 3°C และพบว่ามีผลสอดคล้องเช่นเดียวกับอุณหภูมิการสลายตัว

นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงต่างก็มีผลให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นได้เช่นเดียวกัน แสดงว่าความเป็นผลึกทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นของพอลิโพรพิลีนนั้นเกิดเนื่องมาจากผงฝ้ายที่ใส่เข้าไปเพียงอย่างเดียว ส่วนการปรับปรุงไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเป็นผลึกทั้งหมด



รูปที่ 31 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนและวัสดุเชิงประกอบต่างชนิดกันที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก (1) พอลิโพรพิลีน (2) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย (3) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-MAH-PP และ (4) วัสดุเชิงประกอบฝ้าย-สเดียริก

บทที่ 5

ข้อสรุป

การแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้งโดยวิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางนั้น จะทำให้ได้สารตัวเติมฝ้ายที่มีลักษณะเป็นผง ซึ่งมีลักษณะและขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบ สามารถส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้มีสมบัติสม่ำเสมอ และจากการศึกษาผลของการปรับปรุงสารตัวเติมผงฝ้ายด้วยสารเคมีพบว่า มาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิไพโรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) สามารถปรับปรุงผงฝ้ายให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เพิ่มขึ้นได้เป็นอย่างดี โดยสาร MAH-PP สามารถทำปฏิกิริยาและเกาะอยู่บนพื้นผิวของผงฝ้ายได้ ส่วนการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกพบว่า กรดสเตียริกสามารถทำปฏิกิริยากับผงฝ้ายได้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่า กรดสเตียริกสามารถปรับปรุงให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำได้ไม่ดีเท่า MAHPP

จากผลของการปรับปรุงสารตัวเติมผงฝ้ายด้วย MAHPP ที่ประสบความสำเร็จดังกล่าว ทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบซึ่งทำจากผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP เพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุเชิงประกอบซึ่งทำจากผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก และผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงโดยพบว่า ทั้งผลการทดสอบความทนแรงดึงและความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-MAHPP มีค่ามอดุลัสและความเค้นเพิ่มขึ้นไปในแนวทางเดียวกันโดยเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีค่ามอดุลัสและความเค้นสูงสุดที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก ในขณะที่วัสดุเชิงประกอบซึ่งทำจากผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-สเตียริก เมื่อเพิ่มปริมาณผงฝ้ายมากขึ้นพบว่าค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นแต่ค่าความเค้นจะลดลงตามปริมาณผงฝ้ายที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าความเค้นจะลดลงต่ำสุดที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก และเมื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า วัสดุเชิงประกอบจากผงฝ้ายทุกชนิดมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าพอลิไพโรพิลีน โดยมีทั้งอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงกว่าพอลิไพโรพิลีน และยังพบว่าผงฝ้ายสามารถแสดงพฤติกรรมเสมือนสารก่อผลึก (nucleating agent) ได้ โดยวัสดุเชิงประกอบจากผงฝ้ายมีอุณหภูมิการเกิดผลึกที่ตำแหน่งสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิไพโรพิลีนนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าทั้งปริมาณผงฝ้ายและวิธีการปรับปรุงผงฝ้ายไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนแต่อย่างใด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-สเตียริกนั้นพบว่า วัสดุเชิงประกอบดังกล่าวมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนัก ซึ่งคาดว่าเนื่องจากการหลงเหลือของกรดสเตียริกที่ไม่ทำปฏิกิริยากับผงฝ้าย และเกิดการตกค้างบนพื้นผิวของพอลิโพพรทิลีน โดยในงานวิจัยนี้ได้เติมกรดสเตียริกที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของผงฝ้าย ดังนั้นวิธีการแก้ไขดังกล่าวคือการใช้กรดสเตียริกที่ปริมาณน้อยลง หรือการล้างผงฝ้ายหลังทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกด้วยอะซีโตนหลายๆ ครั้ง ก่อนนำไปเป็นสารตัวเติม
2. เนื่องจากผลการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า วัสดุเชิงประกอบจากผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAH-PP มีค่าความทนแรงดึงและความทนแรงดัดโค้งที่ดี ดังนั้นควรศึกษาสมบัติเชิงกลที่ปริมาณผงฝ้าย-MAHPP เพิ่มขึ้น เนื่องจากพบว่ากราฟสามารถมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้อีกเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝ้าย-MAHPP มากกว่า 20% โดยน้ำหนัก
3. และจากผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนนั้นพบว่า ผงฝ้ายสามารถส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดผลึกและอุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิโพพรทิลีนในวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นเพื่อยืนยันผลการวิจัย รวมทั้งเป็นการตรวจสอบลักษณะและรูปแบบของผลึกที่เกิดขึ้นจึงควรจะมีการศึกษาสมบัติทางผลึกของวัสดุเชิงประกอบจากผงฝ้ายเพิ่มเติม โดยใช้เทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ซึ่งคาดว่าจะทำให้ได้ผลการศึกษาที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น
4. จากการทำฝ้ายเป็นสารประกอบประเภทเซลลูโลส ทำให้สามารถสลายตัวได้เองตามธรรมชาติ (biodegradable) ดังนั้นถ้ามีการศึกษาต่อไปถึงความสามารถในการสลายตัวได้เองตามธรรมชาติของสารตัวเติมผงฝ้ายจากงานวิจัยนี้ ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ และสามารถทำได้
5. นอกจากนี้ผงฝ้ายในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารตัวเติมให้กับพลาสติกชนิดอื่นๆ ได้ ทั้งพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต เช่น พอลิสไตรีน และพอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester ,UPE) เป็นต้น

ส่วนอ้างอิง

ภาษาไทย

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

Adamson, A.W. Physical Chemistry of Surface. 5th ed. New York: Wiley, 1990.

Aht-Ong, D. and Farris, R.J. Effect of Moisture on the State of Stress of Photographic Gelatin-latex Coatings. Ph.D. Diss. University of Massachusetts at Amherst. Amherst, 1999.

Battista, O.A. Hydrolysis and Crystallization of Cellulose. Industrial and Engineering Chemistry 42 (3) March (1950): 502-507.

Belgacem, M.N., Bataille, P. , and Sapieha, S. Effect of Corona Modification on the Mechanical Properties of Polypropylene/Cellulose Composites. Journal of Applied Polymer Science 53 (1994): 379-385.

Bledzki, A.K., Reihmane, S. , and Gassan, J. Properties and Modification Methods for Vegetable Fibers for Natural Fiber Composites. Journal of Applied Polymer Science 59 (1996): 1329-1336.

Boyd, R.D., et al. Atmospheric Nonequilibrium Plasma Treatment of Biaxially Oriented Polypropylene. Macromolecules 30 (1997): 5429-5436.

Chan, C.M. Polymer Surface Modification and Characterization. Cincinnati: Hanser/Garner Publications, 1994.

Elsevier Science Ltd. The Natural Alternative. Reinforced Plastics March (1999): 42-46 .

Felix, J.M. and Gatenholm, P. the Nature of Adhesion in Composites of Modified Cellulose Fibers and Polypropylene. Journal of Applied Polymer Science 42 (1991): 609-620.

Garbassi, F., Morra, M. , and Occhiello, E. Polymer Surfaces from Physics to Technology. Chichester: John Wiley and Sons, 1994.

Kasemsook, N. Silane coupling agent / Kenaf fiber-UPE composites / Natural fiber-UPE composite. M.S. Thesis. the Petroleum and Petrochemical College. Chulalongkorn University. Bangkok, 1999

Maldas, D., Kokta, B.V. , and Daneaulf, C. Influence of Coupling Agents and Treatments on the Mechanical Properties of Cellulose Fiber-polystyrene Composites. Journal of Applied Polymer Science 37 (1989): 751-775.

Neison, M.L. and Tripp, V.W. Determination of the Levelling-off Degree of Polymerization of Cotton and Rayon. Journal of Polymer Science X (6) (1953): 577-586.

- Raj, R.G. and Kokta, B.V. Compounding of Cellulose Fibers with Polypropylene: Effect of Fiber Treatment on Dispersion in the Polymer Matrix. Journal of Applied Polymer Science 38 (1989): 1987-1996.
- Saheb, D.N. and Jog, J.P. Natural Fiber Polymer Composites : a Review. Advances in Polymer Technology 18 (4) (1999): 351-363.
- Sherman, L.M. Natural Fibers. Plastics Technology October (1999): 62-68.
- Shore, J. Cellulosics Dyeing. West Yorkshire: Alden Press Oxford, 1995.
- Young, R.J. and Lovell, P.A. Introduction to Polymers. 2nd ed. New York: Publisher , 1991.
- Zadorecki, P. and Ronnhult, T. An ESCA Study of Chemical Reactions on the Surfaces of Cellulose Fibers. Journal of Polymer Science : Part A . Polymer Chemistry 24 (1986): 737-745.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนผนวก

ส่วนผนวก ก

**ข้อมูลดิบและข้อมูลผลการทดลองที่เกี่ยวข้องของการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารตัวเติม
ผงฝ้าย ด้วยเทคนิค Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA)**

ตารางที่ 1 ข้อมูลของกราฟ ESCA ของธาตุคาร์บอนในผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ตามรูปที่ 11 (1) บทที่ 4

Band No	Peak Position (ev)	Delta (ev)	Intensity (counts/sec)	FWHM (eV)	%-Gaussian	Area (counts-eV/sec)	% of Total Area
1	288.32	5.51	708	1.46	97	1116	6.39
2	286.60	3.78	3892	1.74	80	7876	45.07
3	284.69	1.87	3266	1.59	100	5528	31.63
4	282.82	0.00	1690	1.64	100	2955	16.91

ตารางที่ 2 ข้อมูลของกราฟ ESCA ของธาตุคาร์บอนในผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAHPP ตามรูปที่ 11 (2) บทที่ 4

Band No	Peak Position (ev)	Delta (ev)	Intensity (counts/sec)	FWHM (eV)	%-Gaussian	Area (counts-eV/sec)	% of Total Area
1	287.68	5.07	284	1.80	30	595	2.79
2	286.01	3.40	1265	1.59	100	2144	10.04
3	284.24	1.63	9543	1.57	90	16717	78.25
4	282.61	0.00	1311	1.37	100	1907	8.93

ตารางที่ 3 ข้อมูลของกราฟ ESCA ของธาตุคาร์บอนในผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดสเดียวริก ตามรูปที่ 11 (3)
บทที่ 4

Band No	Peak Position (ev)	Delta (ev)	Intensity (counts/sec)	FWHM (eV)	%-Gaussian	Area (counts-eV/sec)	% of Total Area
1	288.84	6.06	667	2.00	100	1420	7.46
2	286.88	4.10	3678	1.76	80	7541	39.61
3	285.04	2.27	4773	1.61	90	8587	45.10
4	282.77	0.00	901	1.56	100	1492	7.84

ส่วนผนวก ข

ข้อมูลคืนของผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

(1) พอลิโพรพิลีน

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของพอลิโพรพิลีน

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (Gpa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (Mpa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (Mpa)
1	2.11	34.36	9.79	20.06	298.79
2	2.38	34.39	9.97	20.59	234.81
3	2.13	35.08	10.04	19.12	252.80
4	2.13	35.08	10.11	19.43	309.44
5	2.20	35.53	9.82	19.72	298.40
ค่าเฉลี่ย	2.19	34.89	9.95	19.78	278.85
ค่า SD.	0.11	0.50	0.14	0.56	32.92

ตารางที่ 5 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของพอลิโพรพิลีน

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.39	44.87	56.09
2	1.45	44.72	55.98
3	1.40	45.23	56.54
4	1.46	45.47	56.84
5	1.45	44.80	56.00
ค่าเฉลี่ย	1.43	45.02	56.29
ค่า SD.	0.03	0.32	0.38

ตารางที่ 6 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	1.93
2	1.96
3	1.96
4	2.01
ค่าเฉลี่ย	1.97
ค่า SD.	0.03

(2) วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนซึ่งมีผงฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงเป็นสารตัวเติม

ตารางที่ 7 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้ายที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	ความเครียดที่จุดสูงสุด (MPa)	ความเค้นที่จุดขาด (MPa)	ความเครียดที่จุดขาด (Mpa)
1	3.38	35.53	7.44	31.56	21.08
2	3.01	35.47	7.24	32.54	20.40
3	3.22	35.93	7.04	31.54	18.21
4	3.17	35.70	7.16	31.56	19.99
5	2.81	35.67	7.45	33.13	18.69
ค่าเฉลี่ย	3.12	35.66	7.27	32.07	19.67
ค่า SD.	0.22	0.18	0.18	0.73	1.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย
ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.57	48.63	60.79
2	1.56	48.82	61.02
3	1.56	49.40	61.75
4	1.56	49.40	61.75
5	1.55	48.99	61.24
ค่าเฉลี่ย	1.56	49.05	61.31
ค่า SD.	0.01	0.35	0.43

ตารางที่ 9 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย
ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.28
2	2.28
3	2.12
4	2.23
ค่าเฉลี่ย	2.23
ค่า SD.	0.08

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย ที่ปริมาณ
ผงฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (Mpa)
1	3.12	32.55	6.10	30.88	14.96
2	3.18	32.65	6.07	30.96	12.47
3	3.21	32.77	6.12	31.11	13.83
4	3.31	32.88	6.22	30.47	14.61
5	3.16	32.28	6.26	30.73	14.27
ค่าเฉลี่ย	3.20	32.63	6.15	30.83	14.03
ค่า SD.	0.07	0.23	0.08	0.25	0.97

ตารางที่ 11 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย
ที่ปริมาณผงฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.58	47.30	59.12
2	1.59	46.90	58.63
3	1.55	47.44	59.29
4	1.55	46.77	58.46
5	1.55	46.99	58.74
ค่าเฉลี่ย	1.56	47.08	58.85
ค่า SD.	0.02	0.28	0.35

ตารางที่ 12 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย
ที่ปริมาณผงฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.09
2	2.08
3	2.01
4	2.01
ค่าเฉลี่ย	2.05
ค่า SD.	0.04

ตารางที่ 13 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย ที่ปริมาณ
ผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (MPa)
1	3.38	32.03	5.44	29.71	11.14
2	3.34	31.95	5.46	29.74	11.23
3	3.36	31.88	5.37	29.73	12.37
4	3.15	31.87	5.35	30.18	12.75
5	3.62	31.62	5.28	30.20	10.55
ค่าเฉลี่ย	3.37	31.87	5.38	29.91	11.61
ค่า SD.	0.17	0.15	0.07	0.25	0.92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย ที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.73	47.44	59.30
2	1.73	47.03	58.79
3	1.72	47.03	58.79
4	1.73	47.17	59.68
5	1.73	47.54	58.96
ค่าเฉลี่ย	1.73	47.24	59.10
ค่า SD.	0.0036	0.24	0.38

ตารางที่ 15 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย ที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.08
2	2.02
3	2.03
4	2.07
ค่าเฉลี่ย	2.05
ค่า SD.	0.03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 16 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย ที่ปริมาณ
ผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (Mpa)
1	4.36	28.98	4.52	27.51	10.96
2	4.63	29.07	4.66	28.07	8.22
3	4.71	29.27	4.86	27.98	8.87
4	4.54	28.64	4.61	28.16	7.32
5	4.73	28.28	4.69	27.79	9.04
ค่าเฉลี่ย	4.59	28.85	4.67	27.90	8.88
ค่า SD.	0.15	0.39	0.13	0.26	1.34

ตารางที่ 17 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย ที่ปริมาณ
ผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.78	45.11	56.38
2	1.75	45.05	56.31
3	1.76	45.52	56.90
4	1.75	45.13	56.41
5	1.74	44.87	56.09
ค่าเฉลี่ย	1.75	45.14	56.42
ค่า SD.	0.01	0.24	0.30

ตารางที่ 18 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระทำ (KJ/m ²)
1	2.07
2	1.98
3	1.90
4	1.94
ค่าเฉลี่ย	1.98
ค่า SD.	0.07

(3) วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนซึ่งมีผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAHPP เป็นสารตัวเติม

ตารางที่ 19 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	ความเครียดที่จุดสูงสุด (MPa)	ความเค้นที่จุดขาด (MPa)	ความเครียดที่จุดขาด (MPa)
1	2.61	36.90	7.58	33.50	17.80
2	2.62	36.30	7.46	33.83	15.80
3	2.87	36.93	7.31	33.30	17.19
4	2.54	36.73	7.46	33.73	15.05
5	2.51	36.83	7.92	33.47	16.53
ค่าเฉลี่ย	2.63	36.74	7.55	33.57	16.47
ค่า SD.	0.14	0.26	0.23	0.21	1.09

ตารางที่ 20 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.47	47.86	59.83
2	1.45	47.69	59.62
3	1.53	47.26	59.07
4	1.49	46.96	58.70
5	1.51	47.05	58.81
ค่าเฉลี่ย	1.49	47.36	59.21
ค่า SD.	0.03	0.40	0.50

ตารางที่ 21 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.15
2	2.19
3	2.37
4	2.29
ค่าเฉลี่ย	2.25
ค่า SD.	0.10

ตารางที่ 22 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-MAHPP
ที่ปริมาณผงฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (MPa)
1	3.57	37.93	6.50	36.03	11.35
2	3.80	37.93	6.51	36.20	12.63
3	3.82	37.67	6.49	35.77	13.07
4	3.77	37.97	6.49	35.60	11.91
5	3.80	38.00	6.45	36.00	11.98
ค่าเฉลี่ย	3.75	37.90	6.49	35.92	12.19
ค่า SD.	0.10	0.13	0.02	0.24	0.67

ตารางที่ 23 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.65	49.27	61.59
2	1.61	49.31	61.63
3	1.59	49.10	61.37
4	1.59	48.92	61.15
5	1.61	49.57	61.96
ค่าเฉลี่ย	1.61	49.23	61.54
ค่า SD.	0.02	0.24	0.30

ตารางที่ 24 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.11
2	2.05
3	2.02
4	2.02
ค่าเฉลี่ย	2.05
ค่า SD.	0.04

ตารางที่ 25 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-MAHPP
ที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (Mpa)
1	4.15	38.73	5.75	37.10	9.24
2	4.01	38.53	5.51	37.10	9.14
3	3.71	38.40	5.55	36.63	8.50
4	4.11	38.53	5.67	36.87	9.15
5	4.19	38.50	5.69	37.03	10.38
ค่าเฉลี่ย	4.03	38.54	5.63	36.95	9.28
ค่า SD.	0.19	0.12	0.10	0.20	0.68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 26 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.73	50.89	63.61
2	1.71	50.43	63.04
3	1.77	50.97	63.71
4	1.80	50.94	63.68
5	1.78	50.57	63.22
ค่าเฉลี่ย	1.76	50.76	63.45
ค่า SD.	0.04	0.24	0.30

ตารางที่ 27 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.14
2	2.05
3	2.06
4	2.09
ค่าเฉลี่ย	2.08
ค่า SD.	0.04

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-MAHPP
ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (MPa)
1	4.79	38.67	5.09	36.97	8.28
2	4.61	38.23	4.93	37.6	6.97
3	4.60	38.57	5.15	37.07	7.18
4	4.73	38.73	5.10	38.20	8.23
5	4.35	38.37	5.24	38.00	7.26
ค่าเฉลี่ย	4.61	38.51	5.10	37.57	7.58
ค่า SD.	0.17	0.21	0.11	0.55	0.62

ตารางที่ 29 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.84	53.31	66.64
2	1.88	53.32	66.65
3	1.86	52.82	66.02
4	1.87	53.00	66.25
5	1.88	52.38	65.47
ค่าเฉลี่ย	1.87	52.97	66.21
ค่า SD.	0.02	0.39	0.49

ตารางที่ 30 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-MAHPP ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.05
2	2.05
3	2.06
4	2.04
ค่าเฉลี่ย	2.05
ค่า SD.	0.01

(4) วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนซึ่งมีผงฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยกรดเคอซิลิกเป็นสารตัวเติม

ตารางที่ 31 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-สเต็มซิลิก
ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (MPa)
1	2.87	35.09	7.47	29.14	22.46
2	2.65	35.14	7.68	29.39	24.22
3	2.55	35.37	7.66	29.90	21.20
4	2.60	34.90	7.76	30.17	23.83
5	2.95	34.70	7.76	31.09	20.13
ค่าเฉลี่ย	2.72	35.04	7.67	29.94	22.37
ค่า SD.	0.18	0.25	0.12	0.76	1.73

ตารางที่ 32 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-สเต็มริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่สูงสุด (N)
1	1.50	44.76	55.95
2	1.46	44.55	55.69
3	1.54	44.60	55.75
4	1.47	43.82	54.78
5	1.45	44.66	55.83
ค่าเฉลี่ย	1.48	44.48	55.60
ค่า SD.	0.04	0.38	0.47

ตารางที่ 33 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-สเต็มริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 5% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.25
2	2.31
3	2.07
4	2.07
ค่าเฉลี่ย	2.17
ค่า SD.	0.12

ตารางที่ 34 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-สเต็มริก
ที่ปริมาณผงฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (MPa)
1	2.86	32.78	6.69	30.76	14.54
2	3.23	32.74	6.59	30.76	13.60
3	2.77	32.84	6.71	31.17	14.94
4	2.60	32.93	6.62	31.26	13.04
5	2.66	33.00	6.66	30.22	12.49
ค่าเฉลี่ย	2.82	32.86	6.65	30.84	13.72
ค่า SD.	0.25	0.11	0.05	0.41	1.02

ตารางที่ 35 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-สเต็มริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.49	44.26	55.32
2	1.52	44.59	55.74
3	1.51	43.59	54.49
4	1.51	43.86	54.83
5	1.53	45.01	56.27
ค่าเฉลี่ย	1.51	44.26	55.33
ค่า SD.	0.02	0.57	0.71

ตารางที่ 36 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-สเตียริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.01
2	2.00
3	2.01
4	1.98
ค่าเฉลี่ย	2.00
ค่า SD.	0.01

ตารางที่ 37 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-สเตียริก
ที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (Mpa)
1	3.76	31.73	6.66	30.03	13.29
2	3.63	31.42	6.76	29.75	16.76
3	3.72	31.95	6.65	29.68	15.54
4	3.82	31.69	6.58	28.51	17.52
5	4.01	31.77	6.46	29.35	13.93
ค่าเฉลี่ย	3.79	31.71	6.62	29.47	15.41
ค่า SD.	0.14	0.19	0.11	0.58	1.80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 37 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-สเตียริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.55	43.36	54.20
2	1.60	42.74	53.43
3	1.55	42.40	53.00
4	1.56	42.75	53.43
5	1.61	43.77	54.72
ค่าเฉลี่ย	1.57	43.00	53.76
ค่า SD.	0.03	0.55	0.69

ตารางที่ 38 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระทำของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-สเตียริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 15% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระทำ (KJ/m ²)
1	2.11
2	2.09
3	2.05
4	2.03
ค่าเฉลี่ย	2.07
ค่า SD.	0.04

ตารางที่ 39 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-สเตียริก
ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูง สุด (MPa)	ความเครียดที่จุด สูงสุด(MPa)	ความเค้นที่จุด ขาด (MPa)	ความเครียดที่ จุดขาด (Mpa)
1	4.22	29.55	5.57	26.56	15.93
2	4.16	29.55	5.59	27.86	12.72
3	4.42	29.53	5.61	27.63	12.76
4	4.63	29.33	5.65	27.06	14.85
5	4.17	29.40	5.56	27.15	15.42
ค่าเฉลี่ย	4.32	29.47	5.61	27.25	14.34
ค่า SD.	0.20	0.10	0.04	0.51	1.51

ตารางที่ 40 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-สเตียริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	โมดูลัส (GPa)	ความเค้นที่จุดสูงสุด (MPa)	แรงกระทำที่จุดสูงสุด (N)
1	1.62	43.80	54.75
2	1.65	42.72	53.40
3	1.65	42.68	53.35
4	1.68	42.79	53.24
5	1.69	42.75	53.19
ค่าเฉลี่ย	1.66	42.95	53.59
ค่า SD.	0.03	0.48	0.67



ตารางที่ 41 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบ
ผงฝ้าย-สเต็มริก ที่ปริมาณผงฝ้าย 20% โดยน้ำหนัก

ตัวอย่างที่	ความทนแรงกระแทก (KJ/m ²)
1	2.07
2	2.08
3	2.05
4	2.03
ค่าเฉลี่ย	2.06
ค่า SD.	0.02

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบของการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ

ตารางที่ 42 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย

ปริมาณผงฝ้าย (% โดยน้ำหนัก)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ												
	½ hr.	1 hr.	2 hrs.	4 hrs.	6 hrs.	8 hrs.	20 hrs.	25 hrs.	47 hrs.	70 hrs.	93 hrs.	116 hrs.	163 hrs.
0 (PP)	0.0072	0.0145	0.0180	0.0222	0.0326	0.0360	0.0432	0.0506	0.0522	0.0594	0.0684	0.0694	0.0700
5	0.0071	0.0194	0.0740	0.0740	0.0758	0.0775	0.0793	0.0828	0.0864	0.0969	0.1040	0.1057	0.1146
10	0.0102	0.0375	0.0767	0.0767	0.0767	0.0852	0.0886	0.0903	0.0938	0.0955	0.0955	0.1125	0.1176
15	0.0167	0.0368	0.0769	0.0769	0.0786	0.0870	0.0920	0.0936	0.0970	0.1087	0.1204	0.1237	0.1254
20	0.0356	0.0372	0.0679	0.0711	0.0808	0.0986	0.1180	0.1309	0.1358	0.1439	0.1552	0.1568	0.1875

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 43 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-MAHPP

ปริมาณผงฝ้าย (% โดยน้ำหนัก)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ												
	½ hr.	1 hr.	2 hrs.	4 hrs.	6 hrs.	8 hrs.	20 hrs.	25 hrs.	47 hrs.	70 hrs.	93 hrs.	116 hrs.	163 hrs.
0 (PP)	0.0072	0.0145	0.0180	0.0222	0.0326	0.0360	0.0432	0.0506	0.0522	0.0594	0.0684	0.0694	0.0700
5	0.0088	0.0176	0.0281	0.0281	0.0333	0.0404	0.0562	0.0632	0.0649	0.0667	0.0684	0.0737	0.0737
10	0.0172	0.0189	0.0275	0.0429	0.0515	0.0549	0.0601	0.0652	0.0704	0.0721	0.0738	0.0755	0.0773
15	0.0217	0.0300	0.0383	0.0500	0.0517	0.0533	0.0583	0.0617	0.0633	0.0667	0.0700	0.0700	0.0750
20	0.0259	0.0308	0.0453	0.0470	0.0486	0.0534	0.0567	0.0615	0.0632	0.0648	0.0712	0.0712	0.0761

ตารางที่ 44 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบผงฝ้าย-สเดียวิก

ปริมาณผงฝ้าย (% โดยน้ำหนัก)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ												
	½ hr.	1 hr.	2 hrs.	4 hrs.	6 hrs.	8 hrs.	20 hrs.	25 hrs.	47 hrs.	70 hrs.	93 hrs.	116 hrs.	163 hrs.
0 (PP)	0.0072	0.0145	0.0180	0.0222	0.0326	0.0360	0.0432	0.0501	0.0522	0.0594	0.0684	0.0694	0.0700
5	0.0142	0.0266	0.0407	0.0478	0.0496	0.0514	0.0549	0.0602	0.0638	0.0709	0.0673	0.0709	0.0779
10	0.0172	0.0345	0.0379	0.0448	0.0517	0.0621	0.0638	0.0724	0.0776	0.0845	0.0862	0.0914	0.0931
15	0.0184	0.0418	0.0686	0.0753	0.0903	0.0903	0.0920	0.0954	0.1004	0.1054	0.1088	0.1104	0.1154
20	0.0278	0.0457	0.0718	0.0735	0.0931	0.1143	0.1159	0.1257	0.1372	0.1437	0.1617	0.1633	0.1845