

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสมบัติของพอลิพรอพิลีนโดย
ใช้ซีเลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารเสริมแรง

STUDIES ON PROPERTIES OF POLYPROPYLENE REINFORCED
BY MERANTI SAWDUST (*Shorea foxworthyi.*)



กนิษฐา อังกูร์รัต
KANITA AUNGURARAT

๑๖
๗ ก
๕ ๕

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 47710
วัน, เดือน, ปี 22 ธ.ค. 2546

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พ.ศ.2546
ISBN 974-324-678-9

STUDIES ON PROPERTIES OF POLYPROPYLENE REINFORCED
BY MERANTI SAWDUST (*Shorea foxworthyi*)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมบัติของพอลิพรอพิลีนโดยใช้ซีลี้อยจาก ไม้เต็งนอกเป็นสารเสริมแรง
นักศึกษา	นางสาวกนิษฐา อังกูร์รัตน์
รหัสประจำตัว	43065604
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ใช้ซีลี้อยจากไม้เนื้อแข็งชนิดไม้เต็งนอกเป็นสารเสริมแรงโดยทำการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวและขึ้นรูปโดยการฉีดขึ้นรูป จากการศึกษาพบว่าการใช้สารคู่ควบไซเลนชนิด A-172 (Vinyltris-(2-methoxyethoxy)silane) และพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดรายด์ (MAPP) เพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้และเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัฏภาคทำให้สมบัติด้านแรงดึง มอดุลัสที่ 5% ความเครียด และสมบัติการโค้งงอของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการใช้สารคู่ควบไซเลนให้สมบัติเชิงกลสูงกว่าการใช้ MAPP นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ซีลี้อยที่มีปริมาณและอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างเพิ่มขึ้น สำหรับการใส่สารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกันช่วยปรับปรุงสมบัติด้านโค้งงอดีกว่าการใช้สารคู่ควบชนิดเดียว จากการศึกษาทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารคู่ควบผสมสัดส่วน MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+1 เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนิงแคลอริมิเตอร์ (DSC) พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและองศาการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มลดลงทั้งคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงซีลี้อยด้วยสารคู่ควบ ส่วนอุณหภูมิการเกิดผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับการทดสอบโดยใช้อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) เพื่อวิเคราะห์พันธะเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างเซลลูโลสและสารคู่ควบ สามารถพบอินฟราเรดสเปกตรัมของพันธะเอสเทอร์และพอลิไซลอคเซนที่เกิดจากเซลลูโลสหรือเฮมิเซลลูโลสในโมเลกุลของซีลี้อยทำปฏิกิริยากับพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดรายด์และไซเลนตามลำดับ ส่วนฐานฐานวิทยาของคอมโพสิตจากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าการใช้สารคู่ควบสามารถปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัฏภาคทั้งสองที่แตกต่างกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Studies on Properties of Polypropylene Reinforced By Meranti Sawdust (<i>Shorea foxworthyi</i>)
Student	Ms.Kanita Aungurarat
Student ID.	43065604
Degree	Master of Science
Program	Polymer Technology
Year	2003
Thesis Advisor	Dr.Jutarat Prachayawarakorn

ABSTRACT

This research aims to study properties of polypropylene reinforced by Meranti hardwood sawdust. The composites were compounded by a single-screw extruder and then injected into testing specimens using an injection moulding machine. It was found that the use of silane A-172 (Vinyl-tris (2-methoxy ethoxy) silane) and Maleic Anhydride grafted Polypropylene (MAPP) coupling agents for improving compatibility and adhesion between the two phases caused slightly increases in tensile properties and flexural properties of the composites. The application of silane coupling agent led to greater mechanical properties than the use of MAPP. Moreover, composite mechanical properties tended to increase with increasing sawdust aspect ratios and sawdust contents. Besides, the combination of both MAPP and silane coupling agents resulted in greater flexural properties than the use of single coupling agent. The results indicated that the optimum ratio of MAPP+silane for enhancing the mechanical properties was 1+1. From the thermal properties of the polypropylene composites using Differential Scanning Calorimeter (DSC), it was shown that polypropylene melting temperature and % crystallinity decreased with the presence of both untreated and treated sawdust composites and crystallization temperature showed slightly increases. In addition, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was used to identify the formation of chemical bonds between cellulose or hemicellulose molecules in sawdust and the coupling agents. The results showed the IR spectra of the ester linkage and polysiloxane from the reactions between cellulose and MAPP and silane coupling agent, respectively. Morphology of the composites from Scanning Electron Microscope (SEM)

revealed that the use of the coupling agents improved the interfacial adhesion between the two different phases.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยการได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำวิจัยในครั้งนี้จาก ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ ในความกรุณามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และได้ให้คำแนะนำและแก้ไขในการทำวิจัยให้ประสบผลสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และ ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ ที่ให้คำแนะนำและแก้ปัญหาในบางจุดเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ ซึ่งมีส่วนช่วยให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ อีกทั้งคอยให้กำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด นอกจากนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีและสนับสนุนช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บริษัท HMC Polymers Company Limited ในความอนุเคราะห์ให้พอลิพรอพิลีน และบริษัท Uniroyal Chemicals ในความอนุเคราะห์ให้พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดไรด์ (MAPP) สำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวกนิษฐา อังกูร์ราชต์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 คอมโพสิต.....	4
2.1.1 องค์ประกอบหลักของคอมโพสิต.....	4
2.1.1.1 ส่วนเสริมแรง.....	4
2.1.1.2 เมทริกซ์.....	5
2.1.2 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต.....	6
2.1.3 การประยุกต์ใช้งานคอมโพสิต.....	8
2.2 เส้นใยธรรมชาติ.....	9
2.3 ไม้เต็งนอก.....	11
2.3.1 เส้นใยไม้.....	12
2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของไม้.....	13
2.3.3 องค์ประกอบอินทรีย์ของเส้นใยไม้.....	13
2.3.3.1 เซลลูโลส.....	13
2.3.3.2 เฮมิเซลลูโลส.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3.3 ลิกนิน.....	15
2.3.3.4 เพคติน.....	16
2.4 การปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใย.....	16
2.4.1 วิธีทางกายภาพ.....	16
2.4.2 วิธีทางเคมี.....	17
2.4.2.1 กราฟท์โคพอลิเมอร์.....	18
2.4.2.2 การใช้สารคู่ควบอแกโนไซเลน.....	19
2.4.2.3 การใช้ไอโซไซยานาต.....	21
2.4.2.4 การใช้สารคู่ควบไตรอะซีน.....	21
2.5 พอลิพรอพิลีน.....	22
2.5.1 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน.....	22
2.5.2 สมบัติทางกายภาพทั่วไป.....	24
2.5.2.1 ข้อดีของพอลิพรอพิลีน.....	24
2.5.2.2 ข้อด้อยของพอลิพรอพิลีน.....	24
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	33
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	34
3.3 วิธีการทดลอง.....	35
3.3.1 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลน.....	35
3.3.1.1 การเตรียมซีล้อย.....	35
3.3.1.2 ขั้นตอนการทำพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	36
3.3.2 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วย MAPP.....	38
3.3.3 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยสารคู่ควบผสม.....	39
3.4 วิธีการทดสอบ.....	40
3.4.1 สมบัติเชิงกล.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด	
ณ จุดขาด.....	41
3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก.....	42
3.4.1.3 ความแข็งกด.....	44
3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ.....	44
3.4.2 สมบัติทางกายภาพ.....	45
3.4.2.1 การดูดซับน้ำ.....	45
3.4.3 สมบัติทางความร้อน.....	45
3.4.3.1 อุณหภูมิเย็งเบนทางความร้อน.....	45
3.4.3.2 Diferential Scanning Calorimeter (DSC).....	45
3.4.4 สัณฐานวิทยา.....	46
3.4.4.1 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง.....	46
3.4.4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	47
3.4.5 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	49
4.1 สมบัติเชิงกล.....	49
4.1.1 การศึกษาผลของสารคู่ควบ MAPP และไซเลน.....	49
4.1.2 การศึกษาผลของปริมาณสารคู่ควบ MAPP.....	54
4.1.3 การศึกษาผลของปริมาณซีลี้อย.....	59
4.1.4 การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของซีลี้อย.....	64
4.1.5 การศึกษาผลของอัตราส่วนของสารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกัน.....	70
4.2 สมบัติทางกายภาพ.....	75
4.2.1 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารคู่ควบ.....	75
4.2.2 การศึกษาผลของปริมาณซีลี้อย.....	76
4.2.3 การศึกษาผลของขนาดซีลี้อยที่มี Aspect ratio ต่าง ๆ.....	77
4.2.4 ผลของการใช้ MAPP ร่วมกับไซเลน.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 สมบัติทางความร้อน.....	78
4.3.1 อุณหภูมิการเสียรูป.....	79
4.3.1.1 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารคู่ควบ.....	79
4.3.1.2 การศึกษาผลของปริมาณซีลี้อย.....	80
4.3.1.3 การศึกษาผลของขนาดซีลี้อยที่มี Aspect ratio ต่าง ๆ.....	81
4.3.1.4 การศึกษาผลของการใช้ MAPP ร่วมกับไซเลน.....	82
4.3.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว.....	83
4.3.3 อุณหภูมิการเป็นผลึก.....	85
4.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR.....	86
4.4.1 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วยสารคู่ควบไซเลน.....	87
4.4.2 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วยสารคู่ควบ MAPP.....	88
4.4.3 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วยสารคู่ควบผสม.....	90
4.5 สัณฐานวิทยา.....	92
4.5.1 ลักษณะการกระจายตัวของซีลี้อยในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์.....	92
4.5.2 ลักษณะพื้นผิวระหว่างวัฏภาคของซีลี้อยและพอลิพรอพิลีน.....	94
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	97
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	97
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	98
เอกสารอ้างอิง.....	99
ภาคผนวก.....	103
ประวัติผู้เขียน.....	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อดีและข้อเสียของคอมโพสิต.....	8
2.2 สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติเปรียบเทียบกับเส้นใยอื่น ๆ ที่ใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	10
2.3 สมบัติทางธรรมชาติของไม้เต็งนอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	12
2.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน.....	13
2.5 อิทธิพลของสารคู่ควบต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่าง เส้นใยธรรมชาติและพอลิเมอร์.....	19
2.6 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนเชิงพาณิชย์.....	24
3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (Pro-Fax [®] Z30S).....	33
3.2 สมบัติทั่วไปของ MAPP (Polybond [®] 3150).....	34
3.3 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลน.....	37
3.4 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วย MAPP.....	38
3.5 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลด้วยสารคู่ควบผสม.....	40
3.6 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	40
4.1 อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของซีลที่ใช้ในการทดลอง ที่ร้อนผ่านตะแกรงร้อนขนาดต่าง ๆ	64
4.2 ตารางสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกัน.....	71
4.3 ผลของอุณหภูมิการเสีรูปของคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบผสม.....	82
4.4 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของคอมโพสิต.....	84
4.5 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และองศาความเป็นผลึก (%Crystallinity) ของคอมโพสิต.....	85
4.6 ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน.....	88
4.7 ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน.....	5
2.2 ประเภทของวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง.....	7
2.3 ไม้เต็งนอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	11
2.4 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส.....	13
2.5 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลส.....	14
2.6 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	15
2.7 หน่วยซ้ำของลิกนิน.....	15
2.8 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน.....	16
2.9 การกระตุ้นโคพอลิเมอร์ด้วยความร้อน.....	18
2.10 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของเซลลูโลส.....	18
2.11 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไซเลนกับเซลลูโลส.....	20
2.12 การยึดเกาะระหว่าง PMPPIC กับ พอลิสไตรีน.....	21
2.13 การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างไตรอะซีนกับเส้นใยเซลลูโลส.....	21
2.14 โครงสร้างของไฮโซแทคติกพอลิพรอพิลีน.....	22
2.15 โครงสร้างของซินดีโอแทคติกพอลิพรอพิลีน.....	23
2.16 โครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน.....	23
3.1 การจัดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์.....	36
3.2 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ.....	41
3.3 เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด.....	43
3.4 ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	43
3.5 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ.....	45
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงและปริมาณสารคู่ควบ.....	50
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านการโค้งงอและปริมาณสารคู่ควบ.....	51
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและปริมาณสารคู่ควบ.....	51
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและปริมาณสารคู่ควบ.....	52
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงและปริมาณ MAPP.....	55
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านการโค้งงอและปริมาณ MAPP.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและปริมาณ MAPP.....	57
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและปริมาณ MAPP.....	57
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงและปริมาณซีล้อย.....	60
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านการโค้งงอและปริมาณซีล้อย.....	61
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและปริมาณซีล้อย.....	62
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและปริมาณซีล้อย.....	62
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงและ Aspect ratio ของซีล้อย.....	66
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านการโค้งงอและ Aspect ratio ของซีล้อย.....	67
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและ Aspect ratio ของซีล้อย.....	68
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและ Aspect ratio ของซีล้อย.....	68
4.17 กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสำหรับคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบ สองชนิดรวมกันในงานวิจัยนี้.....	72
4.18 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิตเมื่อเติม MAPP หรือไซเลนในปริมาณต่าง ๆ.....	75
4.19 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิตเมื่อเติม MAPP ปริมาณเพิ่มขึ้น.....	75
4.20 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิตที่ปริมาณซีล้อยต่าง ๆ.....	76
4.21 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำเมื่อเติมซีล้อยที่มี Aspect ratio ต่าง ๆ.....	77
4.22 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำเมื่อใช้สารคู่ควบผสมรวมกัน.....	78
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสียรูปและปริมาณสารคู่ควบ.....	79
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสียรูปและปริมาณ MAPP.....	79
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสียรูปและปริมาณซีล้อย.....	80
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสียรูปและ Aspect ratio ของซีล้อย.....	81
4.27 อุณหภูมิการหลอมเหลวของคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบต่างชนิดกัน.....	83
4.28 อุณหภูมิการเกิดผลึกของคอมโพสิตที่ชนิดของสารคู่ควบต่างชนิดกัน.....	85
4.29 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน.....	87
4.30 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ MAPP.....	89
4.31 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบผสม.....	90
4.32 ภาพพื้นผิวแตกหักของคอมโพสิต.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.33 ลักษณะพื้นผิวระหว่างภูมิภาคของซีลีอยและพอลิพรอฟิลินเมตริกซ์.....95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางมากขึ้น เนื่องจากความหลากหลายทั้งชนิดและประเภทของพลาสติกจึงได้มีการนำพลาสติกมาใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตขวดพลาสติก กล่องพลาสติก เครื่องเขียน และอื่น ๆ แต่เนื่องด้วยของพลาสติกมีข้อจำกัดบางอย่างสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรง (Strength) การทนต่อแรงกระแทก (Impact resistance) ความต้านทานการคืบ (Creep resistance) สูง ๆ ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมการก่อสร้าง ยานพาหนะ ฯลฯ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการผลิตพลาสติกคอมโพสิตซึ่งต่อมาได้รับความนิยมและมีการใช้งานกันมาก การใช้งานของวัสดุคอมโพสิตส่วนใหญ่ผลิตเป็นโครงสร้างรับแรงในงานวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน เรือเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกคอมโพสิตมีสมบัติเด่นหลายประการที่สำคัญ คือ มีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ เช่น โลหะหรือเซรามิกส์ จึงทำให้มีการประยุกต์ใช้งานพลาสติกคอมโพสิตกันอย่างกว้างขวาง

เนื่องจากสารตัวเติมที่ใช้เสริมแรงในพลาสติกคอมโพสิตในปัจจุบันมักเป็นสารตัวเติมอนินทรีย์ (Inorganic fillers) เช่น เส้นใยแก้วและไมก้า ซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติพลาสติกคอมโพสิตและลดต้นทุนการผลิตได้ คือ การผลิตพลาสติกคอมโพสิตที่ใช้สารเสริมแรงเป็นเส้นใยไม้ (Wood fibre-reinforced thermoplastic composites)

ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับไม้ เช่น อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมการต่อเรือ เป็นต้น มักมีเศษไม้หรือผงไม้ที่เหลือใช้เป็นจำนวนมาก เศษไม้ที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของขี้เลื่อย (Sawdust) ซึ่งมักนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงและไม้กระดานอัด นอกจากนี้ขี้เลื่อยยังหาได้ง่ายและมีราคาถูก จึงมีแนวคิดที่จะนำเศษไม้เหล่านี้มาผสมกับพลาสติกเพื่อทำให้อพอลิเมอร์คอมโพสิตมีสมบัติที่ดีกว่าไม้หรือพลาสติก คือ มีน้ำหนักเบา ความแข็งแรงและค่ามอดุลัสต่อน้ำหนักสูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีอายุการใช้งานยาว พลาสติกคอมโพสิตที่ผลิตได้จึงอาจนำไปใช้งานแทนไม้หรือโลหะ นอกจากนี้การนำขี้เลื่อยมาใช้เป็นสารเสริมแรงให้กับพลาสติกคอมโพสิตยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขี้เลื่อยอีกด้วย

พอลิเมอร์คอมโพสิตสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) ซึ่งใช้เป็นพลาสติกเมตริกซ์ เนื่องจากพอลิพรอพิลีนสามารถหลอมเหลวและขึ้นรูปได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ มีสมบัติที่เหนียว ใส แข็งแรงและถือว่ามีน้ำหนักเบาที่สุด การใช้ซีลี้อยเป็นสารเสริมแรงสำหรับพอลิพรอพิลีนจะปรับปรุงความแข็งเหนียว (Stiffness) และความเหนียว (Toughness) ของพลาสติกให้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวระหว่างพอลิพรอพิลีนและซีลี้อยยังไม่ดีนัก เนื่องจากซีลี้อยเป็นเส้นใยชนิดเซลลูโลสซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) หรือมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงไม่สามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวได้ดีกับพอลิพรอพิลีนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำ ที่สำคัญการยึดติดกันของพื้นผิวระหว่างเมตริกซ์และเส้นใยนี้มีบทบาทสำคัญโดยตรงต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) ของคอมโพสิตที่ผลิตได้ ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ของซีลี้อยกับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์สามารถทำได้โดยใช้วิธีการทางเคมี เช่น การใช้สารคู่ควบเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 2 วัสดุ

ในงานวิจัยนี้สารคู่ควบ (Coupling agent) ที่ใช้ได้แก่ ซิลาน (Silane) พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตซึ่งคาดว่าสารคู่ควบนี้จะช่วยปรับปรุงพันธะระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับเมตริกซ์ให้มีการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น จากนั้นจะทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตที่ผลิตได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อผลิตคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและซีลี้อย
2. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตที่ผลิตได้
3. เพื่อศึกษาการใช้สารคู่ควบในการยึดเกาะพื้นผิวระหว่างพอลิพรอพิลีนและซีลี้อย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด มอดุลัส เสถียรภาพทางรูปร่าง สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การดูดซับน้ำ สมบัติทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิการเสียดสภาพของพอลิเมอร์ อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และองศาการเกิดผลึก รวมถึงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีพอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์และซีลี้อยเป็นสารเสริมแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาถึงผลกระทบของสารคู่ควบไซเลน และพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรไรต์ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของคอมโพสิต
3. ศึกษาถึงขนาดและปริมาณของซีลีออยที่มีต่อสมบัติของคอมโพสิต

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนกับซีลีออยที่มีสมบัติโดยรวมดีขึ้น
2. เพิ่มมูลค่าให้กับซีลีออยที่ได้จากอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ให้อสามารถใช้ประโยชน์ในการเสริมแรงพลาสติกได้มากขึ้น
3. เลือกใช้ชนิดสารคู่ควบ ปริมาณสารคู่ควบ ปริมาณซีลีออย และขนาดซีลีออยที่เหมาะสมที่แตกต่างกันต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตในกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิตสำหรับงานวิจัยนี้ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 คอมโพสิต

คอมโพสิต (Composites) หรือวัสดุประกอบเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีหลายอย่างจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมโดยใช้เป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering materials) ปัจจุบันมีการใช้งานวัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุ โครงสร้างและรับแรงสำหรับงานทางวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ เรือ เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์กีฬา ฯลฯ ทั้งนี้เนื่องจากคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีหลายประการที่สำคัญที่สุดคือมีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ เช่น โลหะหรือเซรามิกส์ นอกจากนี้มีหลายชนิดและหลายรูปแบบ จึงสามารถเลือกใช้ ออกแบบ และสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ ได้ ทำให้มีการประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตอย่างกว้างขวาง

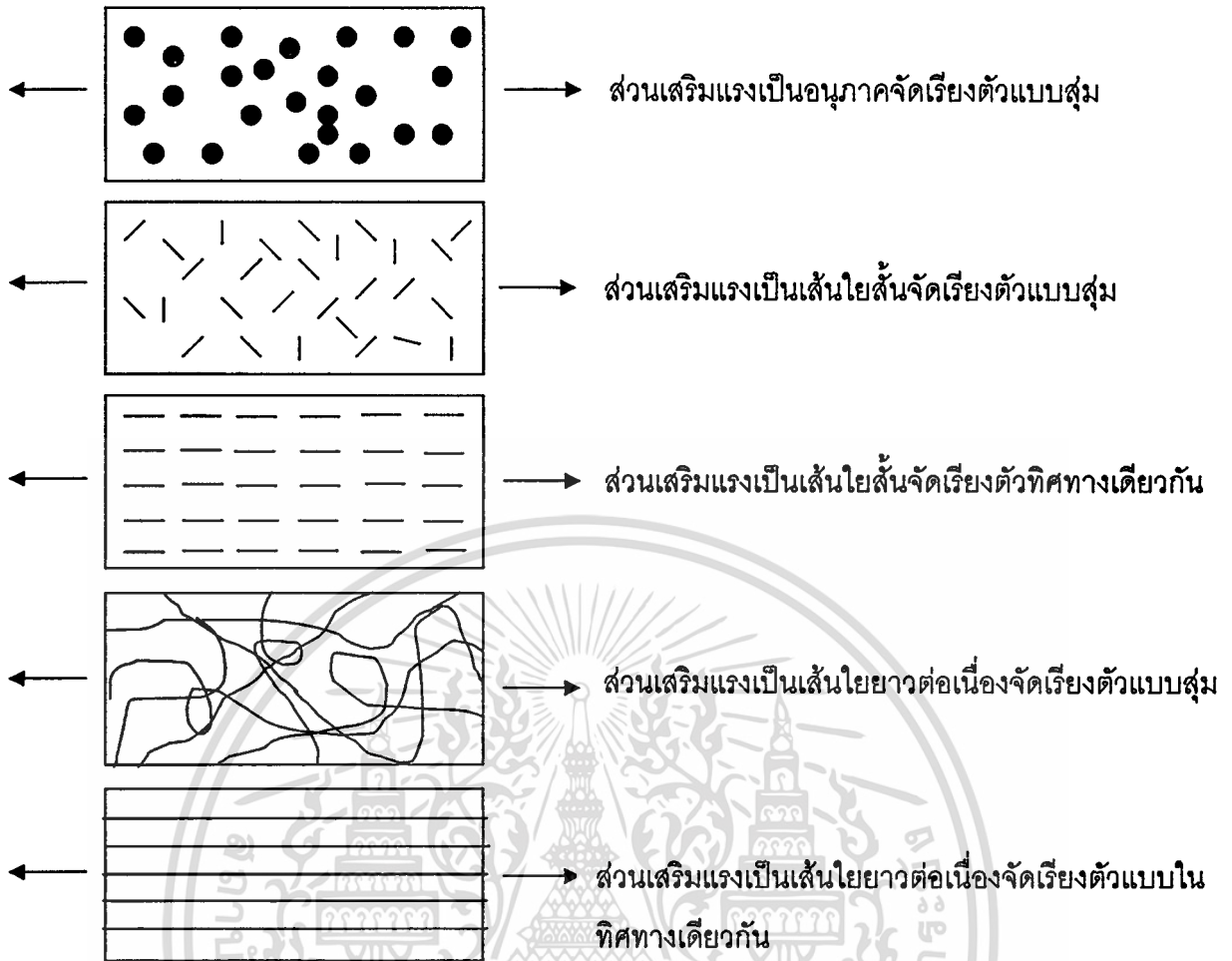
โดยนิยามแล้วพอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composites) หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อผสมเป็นคอมโพสิตแล้วจะมีความแข็งแรงมากกว่าแต่ละองค์ประกอบย่อย [1]

2.1.1 องค์ประกอบหลักของคอมโพสิต [1]

คอมโพสิตประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก คือ

2.1.1.1 ส่วนเสริมแรง

ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) เป็นส่วนประกอบที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิต วัสดุที่จะเป็นส่วนเสริมแรงนั้นจะมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง มีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ส่วนเสริมแรงที่นิยมใช้มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous fibers) เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นใยเคฟลาร์ เป็นต้น นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยที่พันกันหรืออยู่ในรูปของเส้นใยที่ผ่านการถัก (Knitting) หรือการทอ (Weaving) มาแล้วทำให้คอมโพสิตมีโครงสร้างและมีการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรงหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน [2]

2.1.1.2 เมตริกซ์

เมตริกซ์ (Matrix) เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่องที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ทำให้ส่วนเสริมแรงอยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด โดยเมตริกซ์จะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียหายจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ เมตริกซ์มักเป็นส่วนที่มีความแข็งแรงและมอดุลลีสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมตริกซ์มีหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้

1. ทำหน้าที่ถ่ายเทความเค้น (Transfer stresses) ที่ได้รับไปยังเส้นใยเสริมแรง และถ่ายเทความเค้นระหว่างเส้นใย
2. ป้องกันส่วนเสริมแรงจากการเสียหายเนื่องจากสภาวะแวดล้อม
3. รักษาเสถียรทางรูปร่างและขนาดของวัสดุคอมโพสิต
4. รักษาการกระจายตัวของเส้นใยและป้องกันการรวมตัวของเส้นใย
5. ป้องกันเส้นใยจากการขาดเสียหาย
6. ช่วยให้คอมโพสิตมีเสถียรภาพในตัวกลางต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุคอมโพสิตมีมากมายหลายชนิดและมีสมบัติหลากหลาย เมตริกซ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ เมตริกซ์ที่ทำจากพอลิเมอร์ (Polymer matrices) เมตริกซ์ที่ทำจากโลหะ (Metal matrices) เมตริกซ์ที่ทำจากเซรามิกส์ (Ceramic matrices)

เมตริกซ์ที่ทำจากพอลิเมอร์ที่นิยมใช้ในคอมโพสิต คือ พอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซต เนื่องจากสารตั้งต้นที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงมีความหนืดต่ำ สามารถผสมกับเส้นใยและขึ้นรูปเป็นคอมโพสิตได้ง่าย โดยจะใช้สารเชื่อมโยงเกิดพันธะเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ จากสารตั้งต้นที่ใช้สามารถเปลี่ยนให้เป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติที่มีความแข็งแรงสูงและไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ หรือหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงได้ สำหรับพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกใช้เป็นเมตริกซ์สำหรับคอมโพสิตพบได้น้อยกว่า เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกมีสมบัติเชิงกลที่ด้อยกว่าทนทานต่ออุณหภูมิต่ำกว่า แต่เทอร์โมพลาสติกมีข้อดี คือ สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งจึงมีแนวโน้มการประยุกต์ใช้เป็นคอมโพสิตมากขึ้น

การใช้วัสดุโลหะเป็นเมตริกซ์สำหรับคอมโพสิตนิยมใช้กับเส้นใยโลหะเป็นส่วนเสริมแรงซึ่งมีความแข็งแรงสูงแต่มีข้อจำกัด คือ น้ำหนักของวัสดุ เมตริกซ์โลหะนิยมใช้ได้แก่ อะลูมิเนียม ไทเทเนียม แมกนีเซียม และทองแดง เป็นต้น การใช้โลหะและเซรามิกส์เป็นเมตริกซ์นิยมใช้กับคอมโพสิตที่ใช้งานอุณหภูมิสูงและทนต่อสารเคมี

2.1.2 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต

การแบ่งชนิดวัสดุคอมโพสิตมีหลายแบบ คอมโพสิตอาจแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรงได้ดังนี้

1. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) คือ คอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย อาจเป็นเส้นใยสั้น (Short fibers) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่มีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่น ๆ

2. คอมโพสิตแบบลามิเนต (Laminar composites) คือ คอมโพสิตที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมตริกซ์ มีลักษณะเป็นชั้น ๆ คล้ายแผ่นประกบหรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง

3. คอมโพสิตแบบเป็นก้อน (Particulate composites) คือ คอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (Beads) เป็นแผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก

นอกจากนี้ ยังสามารถแบ่งชนิดของคอมโพสิตได้ตามลักษณะการเกิดของคอมโพสิต คือ

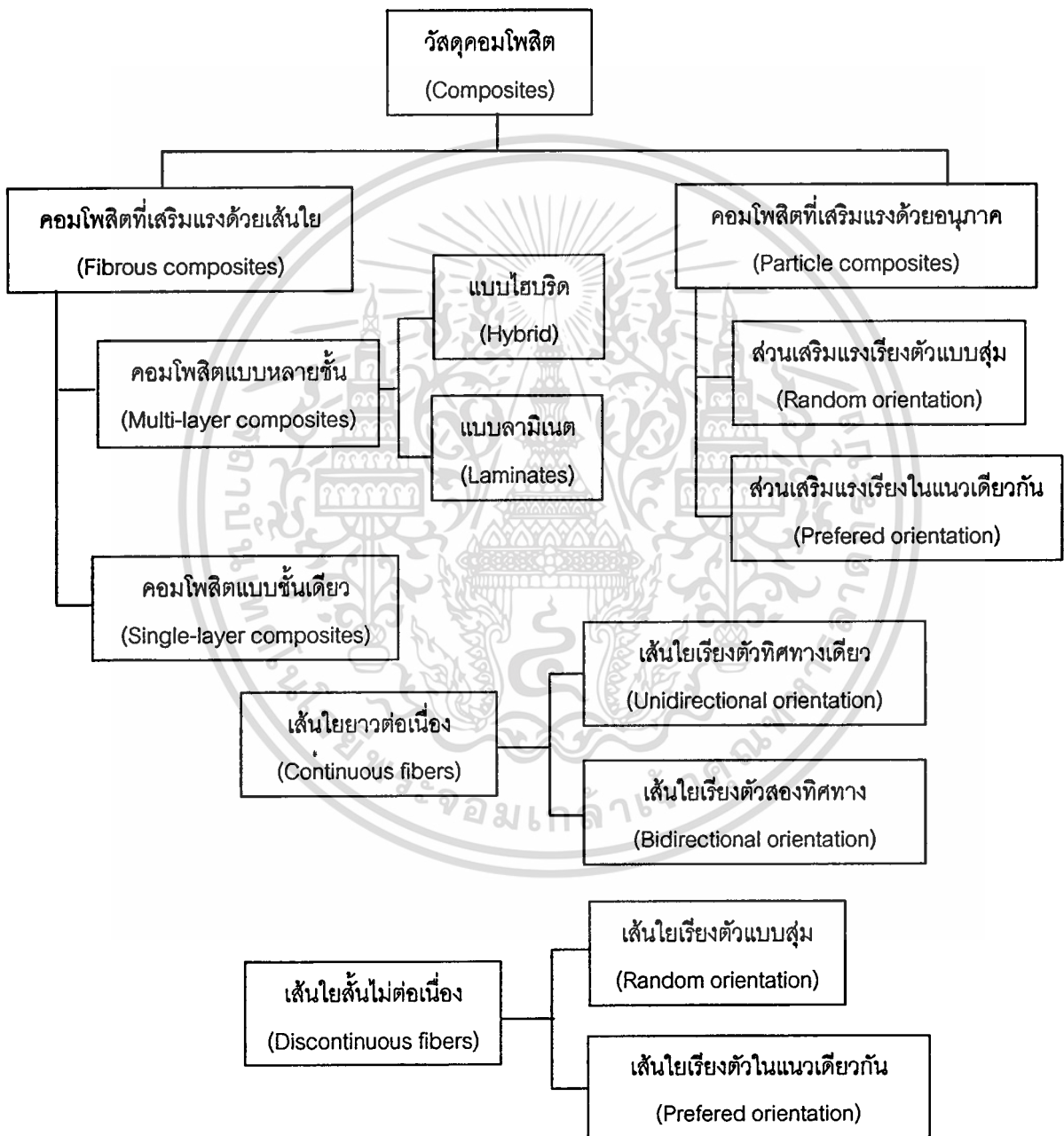
1. คอมโพสิตจากธรรมชาติ (Natural composites) คือ วัสดุคอมโพสิตที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ไม้ ฟัน และกระดูก ตัวอย่างเช่น ไม้เป็นคอมโพสิตที่มีเส้นใยเซลลูโลสเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเสริมแรง โดยมีสารจำพวกลิกนินเป็นเมตริกซ์ยึดเซลล์ลูโลสไว้ด้วยกัน ส่วนกระดูกและฟันเป็นคอมโพสิตของผลึกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) ที่อยู่ในเมตริกซ์ของคอลลาเจนที่เป็นสารอนินทรีย์เหนียว เป็นต้น

2. คอมโพสิตจากการสังเคราะห์ (Synthetic composites) คือ วัสดุคอมโพสิตที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พลาสติกเสริมแรง วัสดุไฟเบอร์กลาส ฯลฯ



รูปที่ 2.2 ประเภทของวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของคอมโพสิต [1]

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีสมบัติต่อน้ำหนักสูง เช่น ความแข็งแรง จำเพาะ เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา	1. ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือการขึ้นรูปคอมโพสิต
2. ช่วยลดน้ำหนักของวัสดุ	2. มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากันหรือมีสมบัติแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรง
3. มีสมบัติหลายหลาย	3. ยากในการต่อ (Attaching) หรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่น
4. มีอายุการใช้งานยาวนาน ด้านทานการสึกกร่อนดี	4. ยากในการตรวจวิเคราะห์สมบัติของคอมโพสิต
5. สมบัติการรับแรงและแดมป์ (Damping) ดี	5. ยากในการทำลายและนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle)
6. ความทนทานต่อการล้าดี	
7. มีเสถียรภาพทางรูปร่างสูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่น โลหะ	

2.1.3 การประยุกต์ใช้งานคอมโพสิต [4]

ในการประยุกต์ใช้งานวัสดุคอมโพสิตนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์เมทริกซ์และส่วนเสริมแรงว่าเหมาะสมกับการใช้งานในด้านใด คอมโพสิตมักนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่นำมาใช้งานแทนโลหะ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องบิน ยานอวกาศ อุปกรณ์กีฬา เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานคอมโพสิต เช่น

เครื่องบิน พบใน ประตู ปีก ใบพัด หางเสือ ตัวเครื่อง

ยานยนต์ พบใน ตัวถังรถยนต์ กันชน ส่วนประกอบเครื่องยนต์

เรือ พบใน ตัวถังเรือ คาดฟ้าเรือ

อุปกรณ์กีฬา พบใน ไม้เทนนิส ไม้แบดมินตัน ก้านไม้กอล์ฟ หมวกกันกระแทก

วัสดุที่ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมากจึงมักใช้เส้นใยที่สามารถรับแรงกระแทกได้ดี ตัวอย่างเช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบคอมโพสิตจากเส้นใยไม้ พบได้ในบานประตู (Door panels) ซึ่งเป็นคอมโพสิตแบบลามิเนต หรือการใช้ป่าน (Flax) เสริมแรงอิพอกซีเรซินหรือพอลิยูรีเทนในหลังคารถยนต์ เป็นต้น

2.2 เส้นใยธรรมชาติ [2]

เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) เป็นเส้นใยที่ได้จากพืช สัตว์ หรือแร่ธาตุ ตัวอย่างของเส้นใยธรรมชาติ เช่น ป่าน (Flax) ฝ้าย (Cotton) ปอกระเจา (Jute) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วเส้นใยธรรมชาติมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารเสริมแรงพลาสติกทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต เนื่องจากมีความแข็งแรงและความแข็งเปราะสูง ความหนาแน่นต่ำ การประยุกต์ใช้งานคอมโพสิตในปัจจุบันมีการใช้เส้นใยธรรมชาติแทนการใช้เส้นใยแก้วมากขึ้น จุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิตเป็นหลัก นอกจากนี้เส้นใยธรรมชาติยังมีข้อดีอีกหลายอย่างที่เหนือกว่าเส้นใยแก้วคือ [2]

- เส้นใยธรรมชาติเป็นเส้นใยที่ได้จากพืช สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ และหาได้ง่าย
- เส้นใยธรรมชาติมีความทนทานต่อการเสียดสีกันเองตามธรรมชาติมากกว่าเส้นใยแก้ว ซึ่งทำให้ง่ายสำหรับกระบวนการนำเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ของพลาสติกคอมโพสิต
- หากนำเส้นใยธรรมชาติเสริมแรงพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable polymers) ได้ดี จะไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และยังสามารถหมักไว้ใช้เป็นปุ๋ยได้อีกด้วย
- เส้นใยธรรมชาติมีน้ำหนักเบากว่าเส้นใยแก้วมาก ทำให้สมบัติความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) มากกว่าเส้นใยแก้ว

ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารเสริมแรงในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติมและสารเสริมแรง เพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มปริมาณการผลิต ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและขนาดของเส้นใยธรรมชาติที่นำมาใช้ ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติเปรียบเทียบกับเส้นใยอื่น ๆ ที่เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต

ตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติเปรียบเทียบกับเส้นใยอื่น ๆ ที่ใช้เป็นสารเสริมแรง
ในพอลิเมอร์คอมโพสิต [2]

เส้นใย	ความหนาแน่น (g/cm ³)	เปอร์เซ็นต์ การยืดออก (%Elongation)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	ค้ำย้งมอดุลัส (Young's modulus,GPa)
ฝ้าย	1.5-1.6	7.0-8.0	287-597	5.5-12.6
ปอกระเจา	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
ป่าน	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
ปอ (Hemp)	-	1.6	690	-
รามี่ (Ramie)	-	3.6-3.8	400-938	61.4-128
ป่านศรนารายณ์ (Sisal)	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
เส้นใยไม้เนื้ออ่อน	1.5	-	1000	40.0
เส้นใยแก้วชนิด E (E-glass)	2.5	2.5	2000-3500	70
เส้นใยแก้วชนิด S (S-glass)	2.5	2.8	4570	86.0
เส้นใยอะรามิด	1.4	3.3-3.7	3000-3150	63.0-67.0
เส้นใยคาร์บอน	1.4	1.4-1.8	4000	230.0-240.0

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าเส้นใยธรรมชาติมีน้ำหนักเบากว่าเส้นใยชนิดอื่น ๆ มาก ดังนั้นความแข็งแรงจำเพาะ (ความแข็งแรงดึง/ความหนาแน่น) ของเส้นใยธรรมชาติกับเส้นใยอื่น ๆ จึงไม่แตกต่างกันมากนัก หากแต่การนำเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงให้กับพลาสติกคอมโพสิตจะได้ผลิตภัณฑ์คอมโพสิตที่มีน้ำหนักเบากว่าการใช้เส้นใยแก้วเป็นสารเสริมแรงให้กับพลาสติกคอมโพสิต

2.3 ไม้เต็งนอก [4,5]

ชื่อสามัญที่ใช้เป็นสารเสริมแรงสำหรับงานวิจัยนี้เป็นเศษไม้ที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้เนื้อแข็งชนิดไม้เต็งนอก (*Shorea foxworthy*)

ไม้เต็งนอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ชื่อทางพฤกษศาสตร์ *Shorea foxworthy*

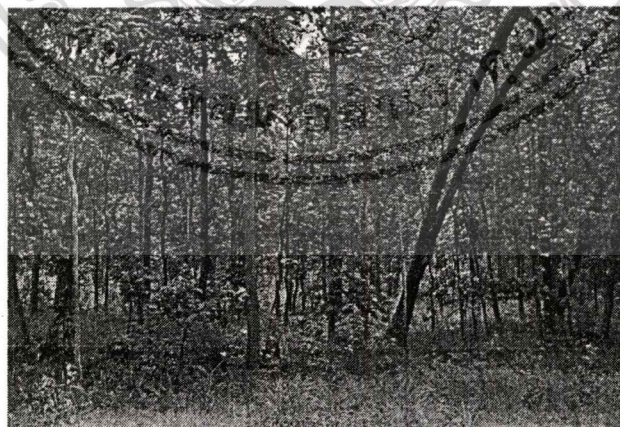
วงศ์ Dipterocarpaceae

ลักษณะที่เกิด เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ จัดเป็นไม้เนื้อแข็งชั้น เป็นหมู่ตามป่าแดง และป่าเต็งรังทั่วไป ยกเว้นภาคใต้

ลักษณะทั่วไปของเนื้อไม้ สีน้ำตาลอ่อนเมื่อตัดใหม่ ๆ ทั้งไว้นาน ๆ จะเป็นสีน้ำตาลแก่แกมแดง ไม่มีกลิ่น และรส น้ำหนักมาก (ความถ่วงจำเพาะ ≈ 1.05) เซลล์ของเนื้อไม้เรียงตัวเบี่ยงเบนไปจากแกนของลำต้นทั้งทางขวาและทางซ้ายสลับกัน เนื้อไม้หนาปานกลาง และสม่ำเสมอ มีความแข็งแรงมาก

ลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ วงรอบปี้มีแต่ไม่ชัดเจน ระบบท่อลำเลียงอยู่กันอย่างกระจัดกระจาย มองเห็นด้วยตาเปล่า มีขนาดความโตเฉลี่ยประมาณ 5 ท่อลำเลียงต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตร

ประโยชน์ ใช้ทำโครงสร้างอาคารบ้านเรือนและพื้นสะพาน ต่อเรือ รถ เครื่องมือกลกรรม ไม้หมอนรถไฟ



รูปที่ 2.3 ไม้เต็งนอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางธรรมชาติของไม้เต็งนอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ [7]

สมบัติทั่วไป	ค่าที่ได้
ปริมาณความชื้น (%)	13.6
ความต้งจำเพาะ (g/cm ³)	1.02
ความแข็งแรง (kg/cm ³) - การดีด	1571
- การบีบ	768
- การเฉือน	182
ความเหนียวจากการดีด (kg.m)	6.60
ความแข็ง (kg)	967
ความทนทานจากการทดลองปักดิน (ปี)	7-15*

* จากค่าสถิติความทนทานตามธรรมชาติของประเทศมาเลเซีย

2.3.1 เส้นใยไม้ [8]

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการทำอาหาร ให้ความร้อน และการผลิตไอน้ำ ซึ่งอาจใช้เป็นแหล่งพลังงานด้วย แต่อย่างไรก็ตามการผลิตไม้ของโลกใช้เป็นเชื้อเพลิงมากกว่าครึ่งหนึ่ง

โครงสร้างทางเคมีและกายวิภาคของไม้มีผลกระทบต่อสมบัติความแข็งแรง ลักษณะรูปร่าง (Appearance) ความต้านทานต่อแทรกผ่าน (Penetration) ของน้ำ สารเคมี และการเสียสภาพ ไม้แบ่งได้ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) และไม้เนื้ออ่อน (Softwood)

- ไม้เนื้อแข็ง ลักษณะใบจะกว้าง ผลัดใบตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของโลก ที่สำคัญคือจะมีท่อลำเลียงน้ำมดรวมอยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช เช่น ไม้เต็ง ไม้สัก เป็นต้น

- ไม้เนื้ออ่อน ลักษณะใบจะคล้ายเข็ม ไม่มีการผลัดใบและไม่มีส่วนที่เป็นท่อลำเลียงน้ำในโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช เช่น ไม้แดง ไม้ประดู่ เป็นต้น

แต่อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากมีปริมาณขององค์ประกอบที่แตกต่างกันบ้าง ส่วนประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน [8]

ส่วนประกอบ	ไม้เนื้อแข็ง	ไม้เนื้ออ่อน
เซลลูโลส	31-64	30-61
เฮมิเซลลูโลส	15-35	20-32
ลิกนิน	14-35	22-37
แพนโตซาน	13-32	4.5-17.5
ซีเถ้า	0.1-5.4	0.02-1.1

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ [9]

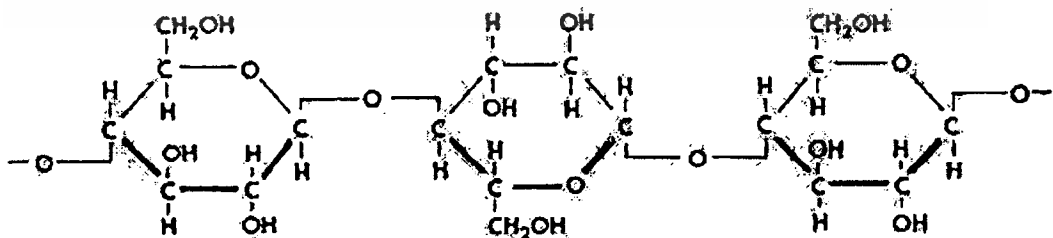
องค์ประกอบทางเคมี (Chemical compositions) ที่สำคัญของไม้ ได้แก่ คาร์บอน (C) 49-50% ไฮโดรเจน (H) 6% และออกซิเจน (O) 44-45% นอกจากนี้ยังมีไนโตรเจน (N) 0.1-1% และแร่ธาตุปริมาณน้อย เช่น แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโพแทสเซียม (K) ที่พบในเนื้อไม้อีกด้วย

2.3.3 องค์ประกอบอินทรีย์ของเส้นใยไม้ [2,3,8]

องค์ประกอบของเส้นใยไม้ ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) นอกจากนี้ยังมีสารเพคติน (Pectin) ปริมาณเล็กน้อยอีกด้วย

2.3.3.1 เซลลูโลส

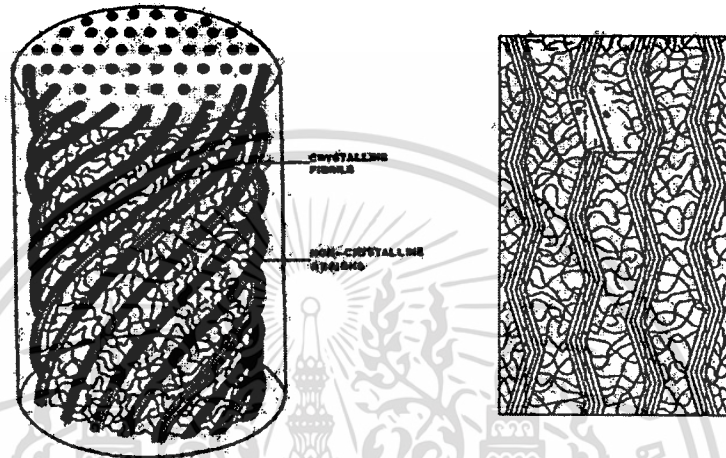
เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กันของกลูโคสที่มีสูตรเคมี $C_6H_{12}O_6$ เป็นโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharides) ที่เกิดผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กลูโคสเป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบร่วมกับลิกนิน เพนโตแซนแกม (Pentosan gum) แทนนิน ฯลฯ



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลสสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้าง มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวสูง มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำแต่จะละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก เป็นต้น รูปที่ 2.5 แสดงการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานในโครงสร้างของเซลลูโลส

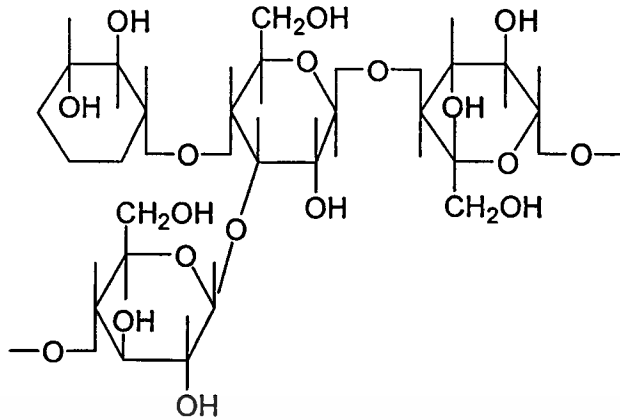


รูปที่ 2.5 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลส [2]

2.3.3.2 เฮมิเซลลูโลส

โครงสร้างเฮมิเซลลูโลสจะประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์คล้ายกับเซลลูโลส แต่อย่างไรก็ตามเฮมิเซลลูโลสยังมีข้อแตกต่างจากเซลลูโลส 3 ข้อด้วยกัน คือ ประการที่หนึ่งเฮมิเซลลูโลสจะประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลคโตส แมนโนส ไซโลส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก ในขณะที่เซลลูโลสจะประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสชนิดเดียวเป็นส่วนใหญ่ ประการที่สองสายโซ่พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสายโซ่กิ่ง ในขณะที่สายโซ่พอลิเมอร์ของเซลลูโลสจะมีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง และประการที่สามระดับการเกิดพอลิแซคคาไรด์จากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Degree of polymerization) ของเซลลูโลสจะสูงกว่าเฮมิเซลลูโลส

สูตรเคมีของเฮมิเซลลูโลส คือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ โดย n คือ จำนวนหน่วยซ้ำของเฮมิเซลลูโลส โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลสแสดงได้ดังรูปที่ 2.6

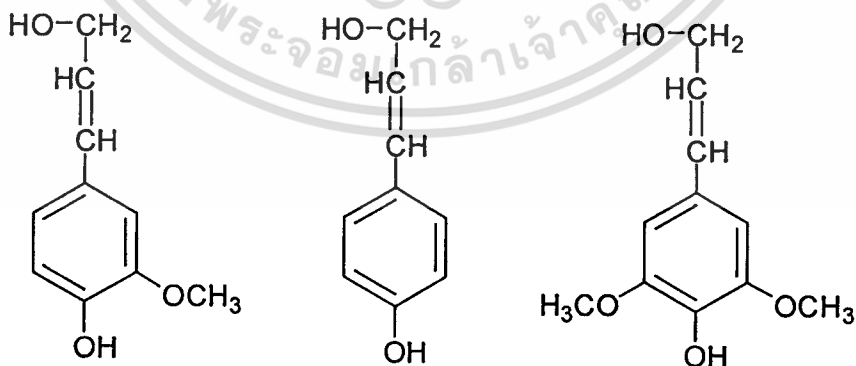


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [10]

เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่น ๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พบมากในแกลบ ชังข้าวโพด

2.3.3.3 ลิกนิน

ลิกนินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โครงสร้างของลิกนินจะประกอบด้วยสารอะลิฟาติกและอะโรมาติกอยู่รวมกัน สารอะโรมาติกในโครงสร้างของลิกนินทำให้ลิกนินมีเสถียรภาพสูงและไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ลิกนินยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้พืชที่มีปริมาณลิกนินอยู่มากจะมีความแข็ง ทนทานต่อดินฟ้าอากาศสูงมากด้วย ซึ่งไม้ต่างชนิดกันจะมีลิกนินอยู่ในโครงสร้างในรูปที่แตกต่างกันด้วย ตัวอย่างหน่วยซ้ำของลิกนินแสดงดังรูป 2.7

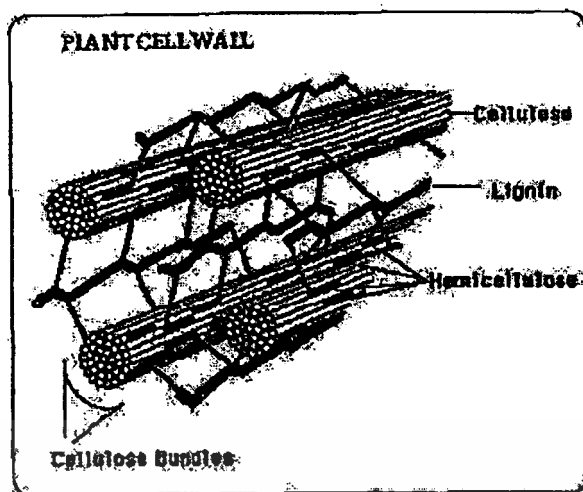


รูปที่ 2.7 หน่วยซ้ำของลิกนิน [10]

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับ

อายุของไม้ สำหรับไม้ชนิดเดียวกันนั้นไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินมาก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน [9]

2.3.3.4 เพคติน

เพคตินเป็นคาร์โบไฮเดรต รู้จักกันในชื่อของ เฮเทอโพลีแซคคาไรด์ (Heteropolysaccharides) ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ กรดโพลีกลาลักตูรอน (Polygalacturon acid) โดยเพคตินจะละลายในน้ำ หลังจากการทำให้เป็นกลางบางส่วน (Partial neutralization) ด้วยด่างหรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

2.4 การปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใย [2]

ประสิทธิภาพของการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวเส้นใยและเมตริกซ์นั้นเป็นส่วนสำคัญที่จะบ่งบอกความสามารถในการนำพลาสติกคอมโพสิตไปประยุกต์ใช้งานเพื่อให้มีความหลากหลาย ดังนั้นการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยก่อนนำมาผลิตพลาสติกคอมโพสิตเพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์จึงเป็นที่นิยมกันในปัจจุบัน วิธีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยมี 2 วิธี คือ วิธีทางกายภาพ (Physical methods) และวิธีทางเคมี (Chemical methods) ซึ่งแต่ละวิธีจะให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะที่แตกต่างกัน

2.4.1 วิธีทางกายภาพ [2]

การปรับปรุงพื้นผิวทางกายภาพทำได้หลายวิธี เช่น การดึงยืด (Stretching) การรีดกึ่ง (Calendering) การปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้ความร้อน (Thermotreatment) และการพันเส้นใย (Hybrid yarns) วิธีที่ระบุข้างต้นเหล่านี้จะไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามยังมีการปรับปรุงพื้นผิวทางกายภาพอื่น ๆ ที่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะมีผลต่อพันธะเชิงกลของเส้นใยและเมตริกซ์พอลิเมอร์ วิธีดังกล่าวได้แก่

1. วิธีการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้า (Electric discharge) ได้แก่ โคโรนา (Corona) พลาสมา (Plasma) เป็นวิธีการที่ทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีองค์ประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้สามารถยึดเกาะกับเมตริกซ์ได้ดียิ่งขึ้น

2. วิธีโคโรนา เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เป็นการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พื้นผิวของเส้นใยโดยใช้พลังงานไฟฟ้า กระบวนการนี้จะเปลี่ยนแปลงพลังงานบนพื้นผิวของเส้นใย ทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์เมตริกซ์ และทำให้มีหมู่อัลดีไฮด์มากขึ้น

วิธีการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้านั้นจะมีประสิทธิภาพดีสำหรับพอลิเมอร์เมตริกซ์ที่ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น พอลิสไตรีน พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน ฯลฯ

นอกจากนี้การชุบมัน (Mercerization) จะใช้กันอย่างกว้างขวางกับเส้นใยฝ้าย การชุบมันจะเป็นการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลสด้วยด่าง ประสิทธิภาพของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารละลายต่าง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ หากใช้สภาวะที่เหมาะสมแล้วจะช่วยปรับปรุงสมบัติการทนแรงดึงและการดูดซับน้ำของเส้นใยฝ้ายได้

2.4.2 วิธีทางเคมี [2]

เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างจึงทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีขั้วมาก จึงเป็นเหตุให้ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatibility) กับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วหรือมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เช่น พอลิพรอพิลีน ความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์กับเส้นใยสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้สารคู่ควบ (Coupling agents) ซึ่งสารคู่ควบจะเป็นตัวกลางเชื่อมระหว่างวัสดุทั้งสอง สารคู่ควบมีหลายชนิดแตกต่างกันตามหน้าที่ในการเชื่อมโยง หน้าที่ของสารคู่ควบมีหลายประการดังนี้

- สารคู่ควบจะปรับปรุงสมบัติการเปียกผิว (Wettability) ระหว่างพอลิเมอร์กับสารตั้งต้น โดยจะเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างพื้นผิว (Surface tension)
- สารคู่ควบจะปรับปรุงพื้นผิวระหว่างวัฏภาคที่ไม่แข็งแรงของพลาสติกคอมโพสิต
- สารคู่ควบจะเพิ่มความเหนียวและความสามารถในการโค้งงอให้กับวัสดุ
- สารคู่ควบจะสร้างพันธะโควาเลนต์ให้เกิดขึ้นระหว่างวัสดุทั้งสอง
- สารคู่ควบจะเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของพื้นผิวสารตั้งต้น

การใช้สารคู่ควบเป็นวิธีการปรับปรุงการยึดเกาะของพื้นผิวระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมตริกซ์ที่สำคัญ นั่นคือพื้นผิวของเส้นใยจะเกิดพันธะเคมีเชื่อมโยงกับเมตริกซ์ ซึ่งกลไกการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

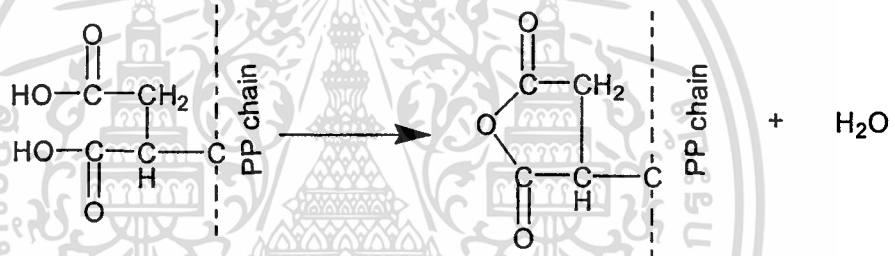
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยทางเคมีมีหลายวิธี สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลสโดยใช้วิธีกราฟโทโคพอลิเมอร์และการใช้สารคู่ควบประเภทออกาโนไซเลนดั่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 2.4.2.1 และ 2.4.2.2

2.4.2.1 พอลิเมอร์ร่วมชนิดต่อกิ่ง [2]

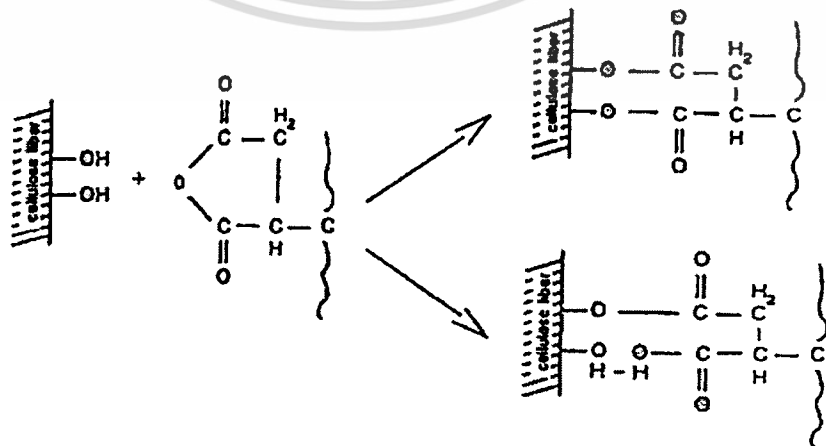
วิธีนี้เป็นการใช้พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) เป็นสารคู่ควบซึ่งจะทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์และหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของเซลลูโลส กลไกของปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นที่ 1 การกระตุ้นโคพอลิเมอร์ (Activation of the copolymer) ด้วยความร้อน โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 170 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยซึ่งโคพอลิเมอร์จะเปลี่ยนรูปเป็นแอนไฮไดรด์ที่ว่องไวกว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การกระตุ้นโคพอลิเมอร์ด้วยความร้อน [11]

ขั้นที่ 2 เอสเทอร์ฟิเคชันของเซลลูโลส (Esterification of cellulose) เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสและเกิดพันธะเอสเทอร์ได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของเซลลูโลส [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 การใช้สารคู่ควบออกาโนซิลเลน

ออกาโนซิลเลน (Organosilanes) เป็นสารคู่ควบหลักที่ใช้กับเส้นใยแก้วเพื่อเสริมแรงในพอลิเมอร์ แต่อย่างไรก็ตามมีการใช้งานกับพอลิเมอร์หลากหลายมากขึ้น

ตารางที่ 2.5 อิทธิพลของสารคู่ควบต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยธรรมชาติและพอลิเมอร์ [2]

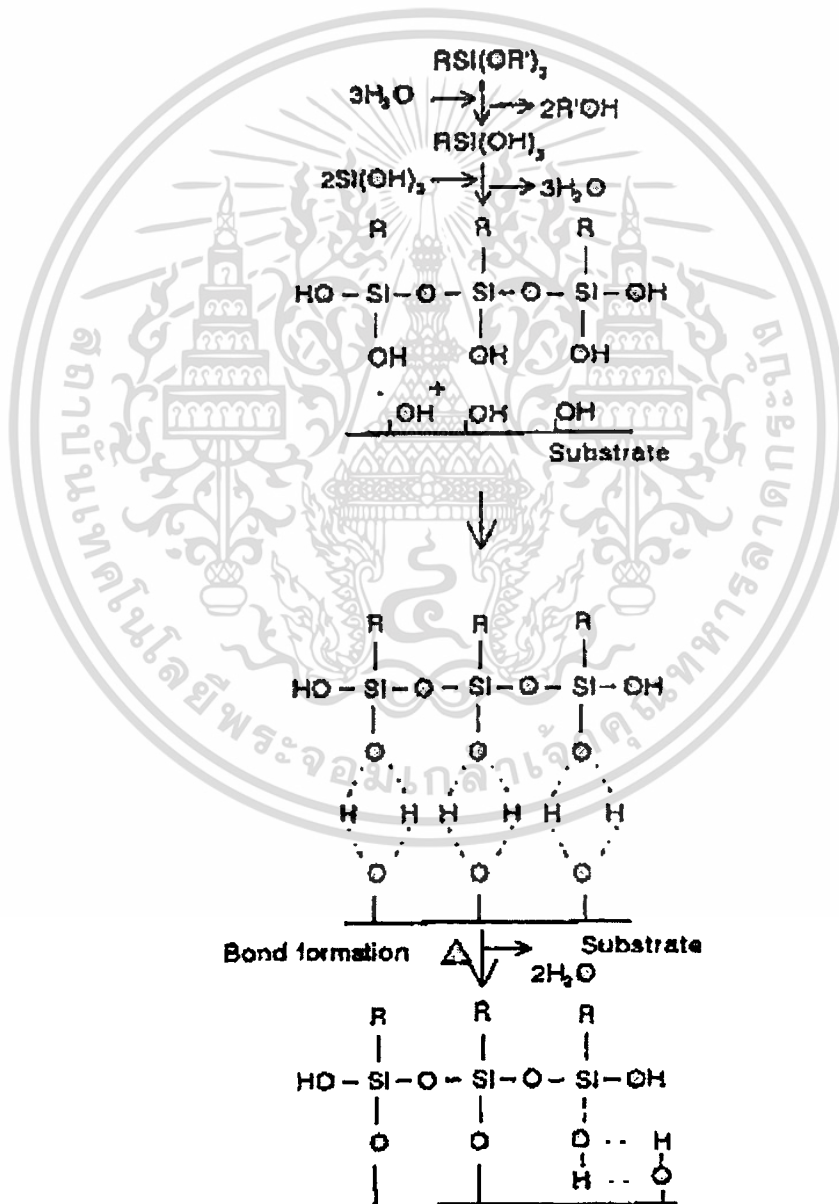
เส้นใย/เมตริกซ์	สารคู่ควบ	สมบัติที่เพิ่มขึ้น (%)			
		ความแข็งแรงดึง	ค่ามอดุลัส	ความแข็งแรงกดอัด	พลังงานแรงกระแทก
เทอร์โมเซต					
-ปอกระเจา/อีพอกซี	กรดอะโครลิก	คงที่	-	-	100
-ปอกระเจา/พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (UP)	พอลิเอสเตอร์เอไมด์ พอลิเอซอล	10	10	-	-
-ปานศรนารายณ์/อีพอกซี	ซิลเลน	25	-	30	-
-เซลลูโลส/พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (UP)	โดเมทานอลเมลามีน	คงที่	-	-	100
เทอร์โมพลาสติก					
-เซลลูโลส/พอลิสไตรีน	ไอโซไซยานเนต	30	คงที่	-	50
-เซลลูโลส/พอลิพรอพิลีน	กรดสเตียริก	30	15	-	50
	มาเลอิกแอนไฮดรายด์-พอลิพรอพิลีน-โคพอลิเมอร์	100	คงที่	-	-
		คงที่	50	-	-
-ปาน (Flax)/พอลิพรอพิลีน	ซิลเลน มาเลอิกแอนไฮดรายด์	50	100	-	-

สูตรโมเลกุลของสารคู่ควบซิลเลน คือ $R-(CH_2)_n-Si(OR')_3$ โดยที่ n มีค่าอยู่ในช่วง 0-3 OR' เป็นหมู่อัลคอกซี (Alkoxy group) ที่สามารถละลายน้ำได้ และ R เป็นหมู่อินทรีย์

หมู่ R ในสารคู่ควบซิลเลนจะเกิดปฏิกิริยากับพอลิพรอพิลีน โดยจะเกิดปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์ไรเซชันและ/หรือการสร้างโครงร่างแหเชื่อมโยงภายในโครงสร้าง (Interpenetrating networks) ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างซิลเลนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลสนั้นจะเพิ่มความสามารถ

ความสามารถในการยึดเกาะกันกับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ โดยอัลคอกซีไซเลน (Alkoxy silanes, R-Si-OH) จะเกิดพันธะกับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวเส้นใย แสดงดังรูปที่ 2.11

อัลคอกซีไซเลนเกิดผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างและสามารถเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลสได้โมเลกุลน้ำเป็นผลพลอยได้ซึ่งจะเกิดพันธะโควาเลนต์ขึ้น นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไซลันอล (Silanols, Si-OH) กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยแล้วยังเกิดโครงสร้างพอลิไซล๊อกเซน (Polysiloxane structure, (RSi-(OR')_n)_n) ขึ้นด้วย ซึ่งโครงสร้างนี้จะเชื่อมโยงระหว่างเส้นใยกับพอลิพรอพิลีนให้สามารถยึดเกาะและเข้ากันได้ดียิ่งขึ้นนั่นเอง

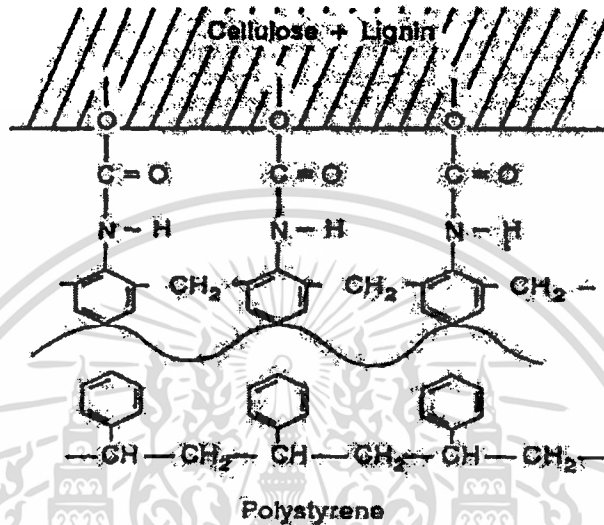


รูปที่ 2.11 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไซเลนกับเซลลูโลส [12,13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 การใช้ไอโซไซยาเนต

การใช้ไอโซไซยาเนต (Isocyanates) มักใช้ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม้กับพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพอลิสไตรีนเรซินเมตริกซ์ ตัวอย่างที่ใช้กันคือพอลิเมทิลีน-พอลิฟีนิล-ไอโซไซยาเนต (Polymethylene-polyphenyl-isocyanate, PMPPIC) ซึ่งจะเกิดพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงกับเส้นใยเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.12

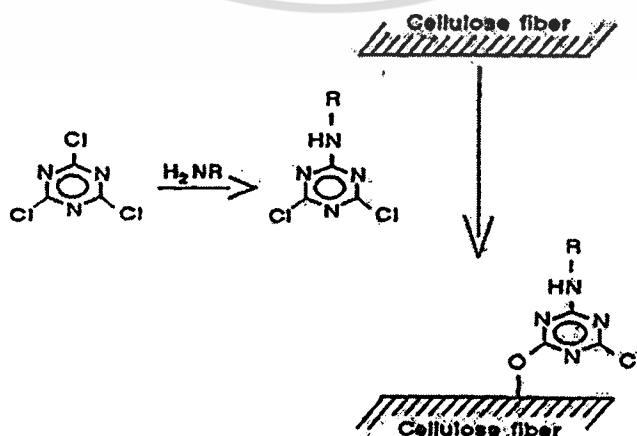


รูปที่ 2.12 การยึดเกาะระหว่าง PMPPIC กับ พอลิสไตรีน [2]

นอกจากนี้ทั้ง PMPPIC และพอลิสไตรีนมีวงแหวนเบนซีนอยู่ในโครงสร้างและอยู่ติดต่อกัน ดังนั้นจะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่พันธะคู่ (π -electron) ของเบนซีน ทำให้เกิดการยึดเกาะที่แข็งแรงระหว่าง PMPPIC และพอลิสไตรีน

2.4.2.4 การใช้สารคู่ควบไตรอะซีน

สารคู่ควบไตรอะซีนจะเกิดพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยเซลลูโลสดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างไตรอะซีนกับเส้นใยเซลลูโลส [14,15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้สารคู่ควบไตรอะซีนจะลดปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งจะทำการดูดซับน้ำของเส้นใยต่ำลง และจะป้องกันการบวมตัวของเส้นใยโดยจะเกิดโครงร่างแหเชื่อมโยงระหว่างเส้นใยเซลลูโลสกับเมตริกซ์

2.5 พอลิพรอพิลีน [17,18]

หน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) คือ $\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right)_n$ มีหมู่เมทิล (CH_3) เกาะ

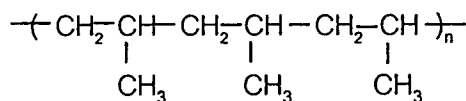
อยู่บนโครงสร้างพอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบา มีจุดหลอมเหลวปานกลาง ใช้ผลิตท่อ แผ่นพลาสติกภาชนะเป่าขึ้นรูป และเส้นใยสามารถสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งเฮเทอโรจีเนียส (Heterogeneous catalysts) พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเหนียว ใส แข็งแรงและเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer)

2.5.1 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน

พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่โมเลกุลหลัก ได้แก่

1. ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene, iPP)

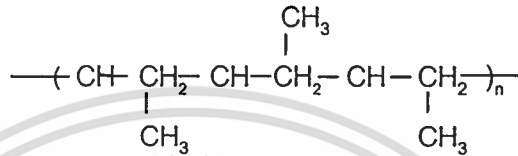
ลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลจะเกาะอยู่ทางด้านเดียวของสายโซ่โมเลกุลหลัก มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (150,000-1,500,000) โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูงส่งผลให้การตกผลึกดีที่สุด ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีนจะสังเคราะห์ด้วยตัวเร่งของไทเทเนียมไตรคลอไรด์กับตัวเร่งร่วมของสารประกอบออลิกอีนอะลูมิเนียม เช่น ไดเอทิลอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะแขวนลอยอยู่ในสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งช่วยส่งผ่านความร้อน อุณหภูมิของปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 50-80 องศาเซลเซียส และความดัน 25 atm อาจใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวถ่ายโอนสายโซ่เพื่อควบคุมน้ำหนักโมเลกุล



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน [16,17]

2. ซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic Polypropylene, sPP)

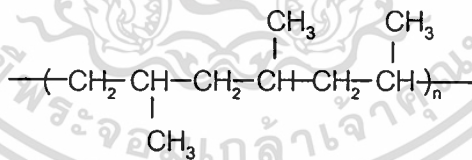
ลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล จะเกาะอยู่สลับกันบนสายโซ่โมเลกุลหลักอย่างเป็นระเบียบ ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลง มีผลทำให้การตกผลึกลดลงด้วย สังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฮเทอโรจีเนียสซิกเกลอร์-แนททา (Heterogeneous Ziegler-Natta) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน sPP พอลิเมอร์ชนิดนี้มีจุดหลอมเหลวต่ำและละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิด เช่น



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน [16,17]

3. อะแทคติกพอลิพรอพิลีน (Atactic Polypropylene, aPP)

ลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลจะเกาะอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุดพอลิเมอร์ชนิดนี้สามารถสังเคราะห์จากกรดลิวอิสและสารประกอบออร์แกนอลูมิเนียม แต่พอลิเมอร์นี้มีโซ่กิ่งมาก และมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะแก้ว (T_g) ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง คือ -20 องศาเซลเซียส จึงไม่มีประโยชน์ในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน [16,17]

สมบัติของทั้ง iPP sPP aPP แตกต่างกันเนื่องมาจากความสามารถในการยึดเกาะกันของโมเลกุลพอลิเมอร์ sPP และ aPP มีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่แน่นอน เมื่อเปรียบเทียบกับ iPP ซึ่งจะมีความแข็งแรงและแข็ง (Rigid) มากกว่า ดังนั้นจึงนิยมใช้ iPP ที่มีความเป็นผลึกสูงใช้ในทางการค้าเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 2.6 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนเชิงพาณิชย์ [17,18]

สมบัติทั่วไป	พอลิพรอพิลีน
ความหนาแน่น (mg m^{-3})	0.90
ความเป็นผลึก (%)	82
อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก ($^{\circ}\text{C}$)	175
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะแก้ว ($^{\circ}\text{C}$)	-20
มอดุลัส (GPa)	1.0-1.4
ความทนทานแรงดึงสูงสุด (GPa)	0.02-0.04
ค่าการนำความร้อน ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	0.2
ค่าการขยายตัวทางความร้อน ($10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$)	110
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	100-600
ความต้านทานการกระแทก (J m^{-1})	21-53
อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ ($^{\circ}\text{C}$ ที่ 455 kPa)	225-250

2.5.2 สมบัติทางกายภาพทั่วไป

2.5.2.1 ข้อดีของพอลิพรอพิลีน

1. มีความเหนียวใส
2. มีน้ำหนักเบา ราคาถูก
3. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ
4. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
5. มีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี
6. ทนต่อสารเคมี เช่น กรดและเบส
7. ดูดซับน้ำต่ำ
8. มีความโค้งงอดีเยี่ยม
9. มีความเป็นผลึกสูงจึงมีสมบัติเชิงกลที่ดี

2.5.2.2 ข้อด้อยของพอลิพรอพิลีน

1. สลายตัวต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต
2. ไม่ทนต่อสภาวะแวดล้อม
3. ติดไฟง่าย
4. ละลายในตัวทำละลายที่มีคลอไรด์หรืออะโรมาติกเป็นองค์ประกอบ
5. ยากต่อการเชื่อมต่อนหรือประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โลหะจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สารตัวเติม เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ทัลคัม (Talc) ไม้ ที่ใส่ในพอลิพรอพิลีนประมาณ 30% โดยน้ำหนัก จะช่วยปรับปรุงสมบัติความแข็งเหนียว (Stiffness) ลดการหดตัวของแม่พิมพ์ และลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้อุตสาหกรรมการทำแม่แบบสำหรับชิ้นส่วนรถยนต์หลายอย่างได้มีการนำพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนแทนการใช้พอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากพอลิพรอพิลีนสามารถทำแม่แบบที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ง่าย และยังมีเสถียรภาพทางรูปร่าง (Dimensional stability) ที่ดีอีกด้วย

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M.B.Fernanda และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยไม้ที่ได้จากเยื่อไม้ของต้นสน (Aspen) ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยสนกับเมตริกซ์ที่เป็นพอลิพรอพิลีนหรือพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดไรด์ นอกจากนี้ยังศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมเพื่อเตรียมพลาสติกคอมโพสิต โดยทำการผสมพอลิพรอพิลีนและเส้นใยสนที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 และ 15 นาที ความเร็วรอบใบพัด 60 รอบต่อนาที ทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยไม้ด้วยสารคู่ควบไซเลน โดยมีชนิดของสารคู่ควบไซเลน ปริมาณสารคู่ควบไซเลนและกระบวนการเคลือบบนพื้นผิวของเมตริกซ์ของ PP หรือ MAPP ที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการผสมที่เหมาะสม คือ 180 องศาเซลเซียสและ 10 นาที ตามลำดับ ในขณะที่การปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยไม้ด้วยสารคู่ควบไซเลน A-172 ในปริมาณ 4% โดยน้ำหนัก ที่เคลือบด้วย MAPP 2% w/v และปริมาณเส้นใยไม้ที่ 10% w/v ให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าความทนทานต่อการโค้งงอสูงสุด และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ต่ำที่สุด

B.V.Kokta และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้สนที่ใส่ในพอลิพรอพิลีนซึ่งมีการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใยไม้ด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์กับไม้สน โดยใช้พอลิเมทิลีนพอลิพีนิลไอโซไซยาเนต (PMPPIC) สารคู่ควบไซเลน (A-172 A-174 และ A-1100) รวมถึงอีโพลีนแว็กซ์ (Epolene wax) เป็นสารปรับปรุงสภาพพื้นผิวเส้นใยก่อนการผลิตคอมโพสิต โดยทำการผสมในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปโดยวิธีการกดอัด จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยคอมโพสิตมีความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่ร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง ในขณะที่การใช้ PMPPIC กับอีโพลีนแว็กซ์เป็นสารปรับปรุงสภาพพื้นผิวทำให้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตมีค่าสูงมากกว่าการใช้สารคู่ควบไซเลน นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของเส้นใยทำให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงสุด คือ 20 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K.L.Yam และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จากขูดนมกับเส้นใยไม้สน โดยศึกษาเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุง พื้นผิวและที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยความร้อนและอะเซทิลเลท (Acetylate) จากการผสมด้วยเครื่องอัด ริดแบบเกลียวทวนคู่ (Twin-screw extruder) พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดย น้ำหนักของไม้สน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง และเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยความร้อนและอะเซทิลเลทให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ต่ำกว่าเส้นใยที่ ปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลท สำหรับค่ามอดุลัส ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและ ความสามารถในการยึดเกาะกันของพื้นผิวเส้นใยและ HDPE ไม่ขึ้นอยู่กับ การปรับปรุงพื้นผิวเส้น ใย นอกจากนี้ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นและส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดลดลง

M.N.Angles และคณะ [22] ทำการศึกษาซีลีเยอที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนของต้นสนสปีซีร์ *Abies alba* และต้นสนสปีซีร์ *Pinus insinnsis* ที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคการระเบิดด้วย ไอน้ำ (Steam-explosion technics) และเคลือบผิวซีลีเยอด้วย MAPP ก่อนการผลิตเป็นคอมโพ- ลิตกับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลแบบสั่น (Dynamic mechanical analysis) สมบัติเชิงกลและการดูดซับน้ำของคอมโพสิต เมื่อวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการวิเคราะห์พลังงานพื้นผิว (Surface energy) ของ ซีลีเยอ พบว่าความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยที่เคลือบด้วย MAPP กับพอลิพรอพิลีน จะดีกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว โดยเพิ่มการยึดเกาะกันระหว่างพื้นผิวของ องค์ประกอบทั้งสอง นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณ MAPP จะยิ่งช่วยปรับปรุงความแข็งแรงดึง มอดุลัสและลดการดูดซับน้ำของคอมโพสิต และเมื่อเพิ่มความรุนแรงของเทคนิคสตรีมเอ็กโพรชัน (Stream-explosion technique) เป็นการเพิ่มพลังงานพื้นผิวของคอมโพสิต แต่พบว่าค่าความ แข็งแรงดึงที่ได้โดยเทคนิคนี้ต่ำกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิว และเมื่อเพิ่มปริมาณซีลีเยอ ทำให้คอมโพสิตดูดซับน้ำมากขึ้นและค่าความแข็งแรงดึงต่ำลง

P.Flink และคณะ [23] ทำการศึกษาคอมโพสิตของยางธรรมชาติที่เชื่อมโยงโดยใช้ สารเชื่อมโยงต่างกัน คือ เชื่อมโยงด้วยกำมะถันและเปอร์ออกไซด์ โดยจะเสริมแรงด้วยเส้นใย เซลลูโลสสั้นและเขม่าดำ (ชนิด N330) ยางธรรมชาติ เขม่าดำ และสารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้ในการ เชื่อมโยงยางธรรมชาติ จะผสมในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง 5 นาที ก่อนจะนำเส้นใยเซลลูโลส ผสมใส่ลงไปเกิดการผสมต่อเนื่อง 20 นาที จากนั้นจะขึ้นรูปแบบกวดอัดและทำการทดสอบสมบัติ เชิงกลและทางกายภาพ ได้แก่ การบวมน้ำ (Water swelling) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Crosslink density) ในเฮปแทนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงดึงสูงสุด ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ค่ายังมอดุลัส พบว่าการบวมน้ำและความหนาแน่นของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยที่มีการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันและเปอร์ออกไซด์ เนื่องมาจากปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นเป็นการจำกัดการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลยางทำให้เกิดการพันกันของสายโซ่มากขึ้น เป็นผลให้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นและพันธะเคมีระหว่างเส้นใยกับยางที่เชื่อมโยงไม่อาจขัดขวางการแพร่ผ่านของน้ำเข้ามาทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ของเส้นใยเซลลูโลสได้จึงทำให้การบวมน้ำเพิ่มขึ้น สำหรับคอมโพสิตที่เชื่อมโยงด้วยกำมะถันค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยแต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ มอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณเส้นใย แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลงสำหรับการเชื่อมโยงทั้งสองระบบ

K. Joseph และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางด้านความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตที่เกิดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านครนารายณ์ (Sisal fiber) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึง ได้แก่ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใยและลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ โดยที่การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยในวิธีการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) ทำให้เกิดการเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตเพิ่มขึ้น แต่ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง และเมื่อนำคอมโพสิตมาฉีดขึ้นรูปใหม่ได้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ฉีด ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปจะทำให้เกิดการสลายตัวที่พื้นผิวของเส้นใย จึงทำให้เส้นใยยึดติดกับเมตริกซ์ได้ดีขึ้นค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรงจะให้ค่าความแข็งแรงดึงดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 มิลลิเมตร จะให้ค่าความแข็งแรงดึงที่สูงสุด

M.A. Manchado และ M. Arroyo [25] ทำการศึกษาลักษณะของเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอทิลีนเทอเลฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) และเส้นใยไนลอน 66 (PA) ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกรดเบนโซอิกต่อพฤติกรรมทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC และสมบัติเชิงกลเชิงพลวัต (Dynamic mechanical analysis, DMA) ของคอมโพสิตที่มีไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (iPP) เป็นเมตริกซ์ จากผลของ DMA นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะเพิ่มค่าพลังงานสะสม (Storage modulus, E') และค่า $\tan \delta$ (E''/E') มีค่าลดลงซึ่งแสดงถึงความแข็งเปราะของคอมโพสิต

เป็นผลให้เกิดการเสริมแรงของเส้นใยทั้งสองชนิดกับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ นอกจากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของหมู่พารา-ซัลโฟนิล-คาร์บอนิล ไดอะไซด์ (P-sulphonyl-carbonyl diazide) ของกรดเบนโซอิกที่ใช้เป็นสารคู่ควบระหว่างเส้นใย PET และ PA เพิ่มการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์และทำให้ค่า E' เพิ่มขึ้น ส่วน $\tan \delta$ ลดลงด้วย ผลของ DSC พบว่าทั้งเส้นใย PET และ PA ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยไดอะไซด์เป็นการเพิ่มอุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallizing temperature, T_c) ของคอมโพสิต นอกจากนี้หมู่ไดอะไซด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ T_c เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากหมู่ซัลโฟนิลไดอะไซด์ในโครงสร้างทางเคมีของเส้นใย

J.M.Felix และ P.Gatenholm [11] ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและธรรมชาติของการยึดเกาะของคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและเส้นใยเซลลูโลสจากต้นมะเดื่อ (Beech wood) และต้นเบิร์ช (Birch wood) ในอัตราส่วน 60:40 ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโคพอลิเมอร์ของพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดราอิด (MAPP) โดยวิธีการสกัดแบบซ็อกเล็ต (Sohxlet extraction) ด้วยโทลูอีน ทำการวัดมุมสัมผัส (Contact angle measurement) และศึกษาโครงสร้างทางเคมีของคอมโพสิตโดยวิธี ESCA (Electron spectroscopy for chemical analysis) และ IR (Infrared spectroscopy) พบว่าผลจาก ESCA และ IR แสดงว่า MAPP สามารถยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยเซลลูโลสด้วยพันธะโควาเลนต์ผ่านกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันเป็นผลทำให้ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตได้มากกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP นอกจากนั้นเมื่อวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่าการกระจายตัวและการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและพอลิพรอพิลีนดีขึ้นเมื่อใช้ MAPP เพิ่มขึ้น

D.Maldas และ B.V.Kokta [26] ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางรูปร่างของพอลิสไตรีนที่เสริมแรงด้วยซีล้อยจากต้นสนกับเส้นใยแก้วในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งซีล้อยจะผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยไอโซไซยานเนต (PMPPIC) 8% โดยน้ำหนักและไซเลน (A-1100) 4% โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงจะทดสอบผลของความรุนแรงจากสิ่งแวดล้อมที่มีต่อคอมโพสิตด้วยการจุ่มชิ้นงานในน้ำเดือด 24 ชั่วโมงภายใต้ความดันบรรยากาศโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในตู้อบ 5 วัน และการต้มในน้ำเดือด 24 ชั่วโมงแล้วอบต่อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบพบว่าคอมโพสิตที่ได้จากซีล้อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลนและ PMPPIC ช่วยปรับปรุงความแข็งแรง ร้อยละการยึด ณ จุดขาด และพลังงานสะสม แต่ให้ผลตรงกันข้ามสำหรับค่ามอดุลัส ซึ่งการปรับปรุงพื้นผิวด้วย PMPPIC ให้ผลต่อสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าไซเลนและสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตมีค่าดีขึ้นตามการเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณซีล้อยต่อเส้นใยแก้วและสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีล้อยที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงของคอมโพสิตที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมีค่าลดลงเมื่อนำมาทดสอบความรุนแรงจากสิ่งแวดล้อม และความแข็งแรงและมอดุลัสของคอมโพสิตที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อนำมาต้มน้ำร้อนเดือด 24 ชั่วโมง การต้มคอมโพสิตในน้ำร้อนเดือด 24 ชั่วโมงแล้วอบที่อุณหภูมิ 105°C ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วย PMPPIC เท่านั้น อย่างไรก็ตามการอบคอมโพสิตที่อุณหภูมิ 105°C ในตู้อบ 5 วัน ปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยรวมมากที่สุด ส่วนเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวเมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดการทำลายพื้นผิวจึงทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมต่ำลง

S.Sapieha และคณะ [27] ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่าง LLDPE กับเส้นใยเซลลูโลสจากเยื่อไม้เนื้อแข็งที่ฟอกขาวแล้วที่ใช้ไดคัมไมลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP) และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BCP) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาอนุมูลอิสระขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบกดอัด พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ BCP เป็นตัวริเริ่มนั้น การใช้ DCP เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความแข็งแรงของคอมโพสิตมากกว่า BCP เนื่องจาก DCP มีอัตราการสลายตัวที่ต่ำกว่า BCP หรือมีเสถียรภาพดีกว่า ทำให้ความสามารถในการกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์สูงกว่า นอกจากนี้มอดุลัส ความเค้นแตกร้าว (Rupture stress) ความแข็งแรง มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณ DCP และเส้นใยเซลลูโลส เมื่อทำการวัดแรงบิดเทียบกับเวลาในการขึ้นรูป พบว่าค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นตามปริมาณ DCP ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก DCP แตกตัวเกิดปฏิกิริยาอนุมูลอิสระระหว่าง LLDPE และเส้นใยเซลลูโลส ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์เป็นผลให้ความเหนียวเพิ่มขึ้น

T.Q.Li และคณะ [28] ทำการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่และซีลื้อจากต้นสนที่ได้จากโรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ทั่วไป พบว่าความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด (Notched izod strength) เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณ MAPP และปริมาณเส้นใยในคอมโพสิต นอกจากนั้นความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้นตามปริมาณ MAPP ที่เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อทำการศึกษาลักษณะการแตกตัวเชิงกล (Linear fracture mechanics, LEFM) โดยการทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบชาร์ปี พบว่าพลังงานแตกร้าว (Fracture energy, G_c) เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของปริมาณ MAPP และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อไม่ได้เติม MAPP ส่วนความเหนียวขณะแตกร้าว (Fracture toughness, K_{Ic}) ของคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าคอมโพสิตที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP แต่ความเหนียวขณะแตกร้าวของคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP มีค่าต่ำกว่าคอมโพสิตที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP ที่ปริมาณเส้นใย 30 % และ 40%

P.W.Balasureya และคณะ [29] เป็นการศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของคอมโพสิตระหว่าง HDPE และเศษไม้ (Wood flakes) ด้วยมาเลอิกแอนไฮดริด (MA) ผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวิน (Twin-screw extruder) และไซเลน (N-(4-vinylbenzyl)-N'-(3-trimethoxysilypropyl-ethyl)enediamine, CVBS) ในสารละลาย จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC และ FTIR สามารถพบโครงสร้างที่เกิดจาก HDPE และไซเลนต่อกันด้วยเส้นใยไม้ที่ตำแหน่งสเปกตรัม 1111 และ 1032 cm^{-1} เป็นโครงสร้างของพอลิไซลอคเซน และพบที่ตำแหน่ง 1865, 1786, 1795-1775 เป็นหมู่แอนไฮดริด นอกจากนี้ตำแหน่ง 1305 และ 1220 cm^{-1} ของ C-O Stretching ของ Cyclic anhydride ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยไม้และพอลิเอทิลีน จากผลของสมบัติเชิงกลแสดงว่าคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลนและ MA นั้นจะปรับปรุงความแข็งแรงดึง ความเหนียว และความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด โดยพบว่ากาปรับปรุงพื้นผิวด้วย MA 1-2% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย และ ไซเลน 1-3 % โดยน้ำหนักขี้เลื่อย จะให้สมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สุด

G.E.Myers และคณะ [30] ศึกษาผลของการเติมสารตัวเติมอีพอกซี E-43 (0-5% ต่อน้ำหนัก) และอุณหภูมิการผสมในเครื่องอัดรีด (190-250 องศาเซลเซียส) ต่อสมบัติเชิงกลของผงไม้กับพอลิพรอพิลีนและผงไม้กับ HDPE พบว่าการใช้อุณหภูมิผสมที่สูงขึ้นทำให้ผงไม้เกิดการเสียหายและพื้นผิวของผงไม้มีความเป็นขรุขระทำให้สมบัติเชิงกลลดลง นอกจากนี้การใช้สารตัวเติมอีพอกซี E-43 ช่วยปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ และอุณหภูมิการเสียรูป โดยปริมาณการเติมอีพอกซี E-43 ที่ 1-2% ต่อน้ำหนักรวมให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด นอกจากนี้พบว่าคอมโพสิตระหว่าง PP และผงไม้ ให้สมบัติเชิงกลดีกว่า HDPE กับผงไม้ที่อัตราส่วนพอลิเมอร์ต่อผงไม้เท่ากับ 50:50

M.Kazayawoko และคณะ [31] เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเส้นใยไม้และ MAPP ด้วยเทคนิค FTIR โดยทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยไม้ที่ผ่านการฟอกขาวและไม่ได้ผ่านการฟอกขาว ขนาด 20 เมช ด้วยวิธีการสกัดแบบซ็อกเลตกับในตัวทำละลายไซลีน โดยใช้โซเดียมไฮโปฟอสเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถพบสเปกตรัมช่วง 1600-1400 cm^{-1} แสดงวงแหวนเบนซีนในลิกนิน และ 1400-1300 cm^{-1} แสดงการสั่นของอะลิฟาติกของเมทิล เมทิลีน และหมู่เมทอกซีในเส้นใยไม้ นอกจากนี้พบที่ 1730 cm^{-1} แสดงการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่าง MAPP และเส้นใยไม้ โดยทั้งเซลล์ลูโลสที่ผ่านการฟอกขาว และเยื่อกระดาษที่ผ่านกระบวนการเชิงกลด้วยความร้อน (Thermomechanical pulp) สามารถเกิดปฏิกิริยากับ MAPP เกิดพันธะเอสเทอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M.C.Matias และคณะ [32] การศึกษาปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีนและเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากเยื่อกระดาษที่ไม่ได้ฟอกขาวและกระดาษกรองอ่างอิง (Whatman no.42) โดยใช้สารคู่ควบ 3 ชนิดได้แก่ MAPP, N-2-Aminoethyl-3-aminopropyltri-methoxysilane และ Methyltrimethoxy silane เพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์ ศึกษาปฏิกิริยาโดยใช้เทคนิค DRIFT และ Diffuse reflectance ultraviolet-visible spectroscopy ซึ่งเส้นใยเซลลูโลสทั้งสองชนิดเกิดปฏิกิริยาไปในทางเดียวกัน สำหรับ Aminosilane นั้นจะเกิดปฏิกิริยากับเซลลูโลสในส่วนของหมู่เอมิโนที่พิกัดตำแหน่ง 1550 cm^{-1} และเกิดสเปกตรัมของพอลิไซลอคเซนที่ตำแหน่ง $1060-1260\text{ cm}^{-1}$ สำหรับการใส่ MAPP เป็นสารคู่ควบนั้นแสดงพีกที่ตำแหน่ง 1718 และ 1775 cm^{-1} ของ MAPP ส่วนเส้นใยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP นั้นปรากฏสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 1734 cm^{-1} แสดงหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ นอกจากนี้จากการศึกษาเปรียบเทียบระดับการปรับปรุงพื้นผิวเซลลูโลส (Degree of cellulose modification) ด้วยสารคู่ควบแต่ละชนิดด้วยการวิเคราะห์จลนศาสตร์ของการออกซิเดชัน ซึ่งให้เห็นว่าการลดลงของหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของเซลลูโลสเกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันด้วย MAPP เช่นเดียวกับไซเลนที่เกิดจากปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สารคู่ควบผสมจะเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะเอไมด์ (Amide links) จากเซลลูโลสที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย Aminosilane แล้วเกิดปฏิกิริยาต่อกิ่งกับ MAPP ขึ้น

N.Stark และคณะ [33] ทำการศึกษาคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและผงไม้โดยพิจารณาผลของชนิดผงไม้และขนาดอนุภาคผงไม้ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของคอมโพสิต โดยเติมผงไม้ปริมาณ 20-60 % โดยน้ำหนักผงไม้ พบว่าเมื่อปริมาณผงไม้เพิ่มขึ้นค่ามอดุลัสโค้งงอและมอดุลัสแรงดึง ความหนาแน่น อุณหภูมิการเสีรูปเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงโค้งงอ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด การหดตัวของแม่แบบ (Mold shrinkage) และดัชนีการไหล (Melt flow index) มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ไม้เนื้อแข็งให้สมบัติด้านแรงโค้งงอและแรงดึงรวมถึงอุณหภูมิการเสีรูปดีกว่าไม้เนื้ออ่อน และปริมาณผงไม้ 40% โดยน้ำหนักผงไม้ ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด สมบัติด้านแรงดึง สมบัติด้านแรงโค้งงอ อุณหภูมิการเสีรูป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดผงไม้ สำหรับขนาดผงไม้ต่ำกว่า 0.25 มิลลิเมตรทำให้การหดตัวของแม่แบบลดลง

K.Rajeev และคณะ [34] ศึกษาคอมโพสิตระหว่างไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีนและเส้นใยปอกระเจา (Kenaf fiber) โดยใช้ MAPP เป็นสารช่วยผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่และฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน นอกจากนี้ยังศึกษาคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยสารละลาย Amino-ethyl-amino-propyl trimethoxysilane ในน้ำ และทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ จากผลงานวิจัยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ MAPP 2-5% ทำให้ค่าสมบัติด้านแรงดึงและสมบัติด้านโค้งงอเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทกและความเหนียว (Toughness) ลดลง นอกจากนี้สมบัติต่างๆ ของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลนที่ปริมาณเส้นใยเท่ากันเทียบกับการใช้ MAPP นั้น พบว่าการใช้ไซเลนให้ค่าสมบัติด้านแรงดึง สมบัติด้านโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าการใช้ MAPP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) : Pro-Fax Z30S (High Flow Polypropylene Homopolymer Resin) จากบริษัท HMC POLYMERS COMPANY LIMITED มีสมบัติดังนี้

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (Pro-Fax[®] Z30X)

สมบัติทั่วไป	Pro-Fax [®] Z30X	ASTM METHOD
อัตราการไหล (Melt flow rate, g/10min)	22	D 123B
ความหนาแน่น (Density, g/cm ³)	0.90	D 792B
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile strength at yield, MPa)	33	D 638
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (Elongation at yield, %)	9	D638
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus, MPa)	1450	D 790A
ความแข็งแรงกระแทก (Notched izod impact strength at 23 °C, J/m)	15	D 256A
อุณหภูมิการเสียรูป (Deflection temperature at 455 kPa, °C)	92	D 648

2. สารคู่ควบซิลเลน (Silane coupling agent) : A-172 (Vinyl-tris (2-methoxy ethoxy) silane) บริษัท Fluka

3. พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) : Polybond[®] 3150, TOA Uni Royal Chemical

ตารางที่ 3.2 สมบัติทั่วไปของ MAPP (Polybond 3150)

สมบัติทั่วไป	MAPP (Polybond 3150)
ดัชนีการไหล (Melt flow index, g/10 min)	50*
จุดหลอมเหลว (Melting point, °C)	168.7
อื่น ๆ	0.5% มาเลอิก แอนไฮไดรไรต์

* ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส

4. ซี้เลื่อยจากไม้เต็งนอก (*Shorea foxworthyi.*) : จากโรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ทั่วไป
5. ไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP)
6. เมทานอล (Methanol)
7. เศษกระเบื้อง
8. กระดาษกรอง เบอร์ 1
9. น้ำมันพาราฟิน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) : LAB TECH ENGINEERING COMPANY LTD.
2. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) รุ่น Axon ab.Plasma : Sew Eurodrive
3. เครื่องบดพลาสติก (Grinder) : Bosco Engineering
4. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal testing machine) : LLYOD INSTRUMENT LTD. รุ่น LR 30K
5. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Izod impact tester) : บริษัท Yasuda Seiki Seisakusho รุ่น 258-PC IMPACT TESTER
6. เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบชอว์ดี (Hardness tester, shore D) : Yasuda Seiki Seisakusho Ltd. รุ่น DXT
7. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection moulding machine) : Welltec Industrial Equipment Ltd. รุ่น TTI-220/80 HITECH
8. เครื่องมือทดสอบการเบี่ยงเบนทางความร้อน (Heat distortion temperature tester, HDT) : Shimadzu LTD. รุ่น DSC-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

: บริษัท LEO รุ่น 1455 VP

10. เครื่อง Differential scanning calorimeter, DSC : Perkin Elmer รุ่น Diamond DSC

11. กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope, OM) : บริษัท Nikon รุ่น Oppiphot-

pol

12. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer , FTIR) : Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum GX

13. เครื่องบด

14. เครื่องร่อนแยกขนาด

15. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 20 35 50 100 และ 230 เมช

16. เครื่องเจียร

17. ตู้อบ

18. เกียง

19. เครื่องชั่ง

20. ถุงมือกันความร้อน

21. เวอร์เนีย

22. ไมโครมิเตอร์

23. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)

24. อ่างน้ำมัน

25. ขวดกั้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร

26. อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser)

27. เครื่องให้ความร้อน (Heater)

28. เทอร์โมมิเตอร์

29. ชุดเครื่องมือกรองแบบลดความดัน

30. เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น บีกเกอร์ หลอดหยดสาร แท่งแก้วคนสาร เป็นต้น

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลน

3.3.1.1 การเตรียมซีลี้อย

1. นำซีลี้อยที่ได้เข้าเครื่องบดพลาสติกให้มีขนาดเล็กพอประมาณก่อนซึ่งขนาดของซีลี้อย

ที่ได้ยังไม่ละเอียดมากพอ จึงนำซีลี้อยที่ได้ไปบดผ่านเครื่องบดอาหารสัตว์อีกครั้งเพื่อให้มีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กขนาดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาผ่านเครื่องแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 20 35 50 100 และ 230 เมช

2. นำซีลี้อยที่ได้เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. ปรับปรุงพื้นผิวของซีลี้อยด้วยสารคู่ควบไซเลนโดยการรีฟลักซ์ (Reflux) โดยใช้สารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 2 4 6 8 และ 10% ของน้ำหนักของซีลี้อยในสารละลายเมทานอล โดยมีไดควิมิวเปอร์ออกไซด์ 2% ของน้ำหนักซีลี้อยเป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีการปั่นกวนในอัตราคงที่ตลอดเวลา รูปที่ 3.1 แสดงการจัดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์



รูปที่ 3.1 การจัดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์ [35]

4. นำซีลี้อยที่ได้เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. นำซีลี้อยที่ได้ไปใช้ในการผสมและเตรียมคอมโพสิตต่อไป

3.3.1.2 ขั้นตอนการทำพอลิเมอร์คอมโพสิต

1. ผสมซีลี้อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวแล้วกับส่วนผสมต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยสารเคลือบไซเลน

สูตรที่	ขนาดซีลี้อย (เมซ)	หน่วย (กรัม)		
		PP	ไซเลน	ซีลี้อย
1	-	100	-	-
2	35-50	100	-	10
3	35-50	100	0.2	10
4	35-50	100	0.4	10
5	35-50	100	0.6	10
6	35-50	100	0.8	10
7	35-50	100	1.0	10

2. ทำการผสมสูตรต่าง ๆ ในเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
3. นำของผสมที่ได้เข้าผสมอีกครั้งด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) โดยใช้ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที
4. นำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบด
5. นำของผสมที่บดได้ไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดพลาสติก (Injection moulding machine) โดยใช้อุณหภูมิ 170 180 190 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในช่วงป้อนสาร (Feed section) ช่วงการส่งผ่านสาร (Transition section) และช่วงการผสมและฉีดสาร (Metering section) ตามลำดับ โดยปรับสภาวะการฉีดตามภาคผนวก ค
6. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่
 1. ทดสอบสมบัติเชิงกล
 - ทดสอบสมบัติแรงดึง จะได้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด
 - ทดสอบสมบัติการโค้งงอ ได้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ
 - ความแข็งแรงกระแทก
 - ความแข็งกด
 2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ
 - การดูดซับน้ำ (Water absorption)
 3. ศึกษาสมบัติทางความร้อน
 - HDT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- DSC
- 4. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของคอมโพสิตโดยใช้ FTIR
- 5. ศึกษาสัณฐานวิทยา
 - SEM

3.3.2 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วย MAPP

1. ซั่งส่วนผสมต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.4
2. ขั้นตอนการทำคอมโพสิตตามหัวข้อ 3.3.1.2 ในข้อ 2-5

ตารางที่ 3.4 สูตรผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วย MAPP

สูตรที่	ขนาดซีลี้อย (เมตร)	หน่วย (กรัม)		
		PP	MAPP	ซีลี้อย
1	35-50	100	0.2	10
2	35-50	100	0.4	10
3	35-50	100	0.6	10
4	35-50	100	0.8	10
5	35-50	100	1.0	10
6	35-50	100	2*	10
7	35-50	100	4*	10
8	35-50	100	6*	10
9	35-50	100	8*	10
10	35-50	100	10*	10
11	35-50	100	-	10**
12	35-50	100	-	20**
13	35-50	100	-	30**
14	35-50	100	*	10**
15	35-50	100	*	20**
16	35-50	100	*	30**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

สูตรที่	ขนาดซีลี้อย (เมฆ)	หน่วย (กรัม)		
		PP	MAPP	ซีลี้อย
17	20-35	100	-	**
18	35-50	100	-	**
19	50-100	100	-	**
20	100-230	100	-	**
21	20-35	100	*	**
22	35-50	100	*	**
23	50-100	100	*	**
24	100-230	100	*	**

หมายเหตุ *คือให้เลือกปริมาณ MAPP ที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด

**คือให้เลือกปริมาณซีลี้อยที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด

3. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ตามหัวข้อ 3.3.1.2 ในข้อ 6
4. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ โดยการเปลี่ยนแปลงสูตรผสมต่าง ๆ คือ
 - สูตรที่ 1-5 ศึกษาสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วย MAPP เปรียบเทียบกันกับที่ใช้สารคู่ควบไซเลนปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยในข้อ 3.3.1
 - สูตรที่ 6-10 ศึกษาอิทธิพลปริมาณ MAPP ในช่วงที่กว้างขึ้น
 - สูตรที่ 11-16 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีลี้อย
 - สูตรที่ 17-24 ศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดเส้นใย

3.3.3 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยสารคู่ควบผสม

1. ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วยสารคู่ควบไซเลนตามหัวข้อ 3.3.1.1 ในข้อ 1-3 โดยใช้ปริมาณไซเลนที่เหมาะสมที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด
2. ชั่งสารต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สูตรผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลด้วยสารคู่ควบผสม

สูตรที่	ขนาดซีล (เมช)	หน่วย (กรัม)				สัดส่วน MAPP+ไซเลน
		PP	MAPP	ไซเลน	ซีล	
1	35-50	100	*	**	10	0+1
2	35-50	100	*	**	10	1+0
3	35-50	100	*	**	10	1+1
4	35-50	100	*	**	10	1+2
5	35-50	100	*	**	10	2+1

หมายเหตุ *คือปริมาณสารคู่ควบไซเลนที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด (ในหัวข้อ 3.3.1)

**คือปริมาณ MAPP ที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด (ในหัวข้อ 3.3.2)

สัดส่วน MAPP+ไซเลน เป็นปริมาณการเติม MAPP และไซเลนร่วมกันเพิ่มขึ้นที่สัดส่วนต่าง ๆ โดยใช้ปริมาณของ MAPP และไซเลนที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุดเท่ากัน

3. ขั้นตอนการทำคอมโพสิตตามหัวข้อ 3.3.1.2 ในข้อ 2-5

4. ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามหัวข้อ 3.3.1.2 ในข้อ 6

3.4 วิธีการทดสอบ

สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.6 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัสที่ 5% การยืด (Modulus 5% strain)	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)	ASTM D 638	%
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)	ASTM D 256	kJ/m ²
ความแข็งกด (Hardness)	ASTM D 785	Shore D

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

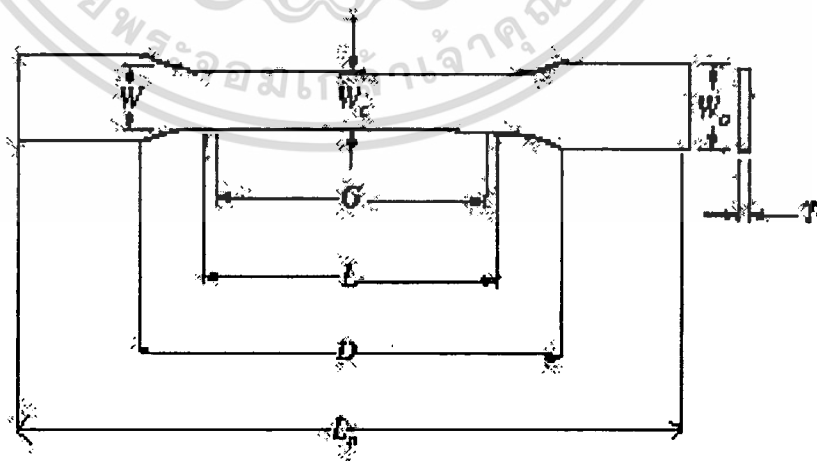
สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa
อุณหภูมิการเสียรูป (Heat distortion temperature, HDT)	ASTM D 648	องศาเซลเซียส

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เป็นไปดั่งมาตรฐาน ASTM D 638 [36] โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปดัมเบลล์ดังรูปที่ 3.2 ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละสูตรและใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 1 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 5 มิลลิเมตร/นาที
- Grammage 1.0 กรัม/ตารางเมตร
- ระดับเซลล์ (Cell class) 0.5



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ [36]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W : ความกว้างของช่วงที่แคบที่สุด	=	10 มิลลิเมตร
L : ความยาวของส่วนที่แคบที่สุด	=	60 มิลลิเมตร
W_0 : ความกว้างของชิ้นงาน	=	20 มิลลิเมตร
L_0 : ความยาวชิ้นงานทั้งหมด	=	150 มิลลิเมตร
G : ความยาวของเกจ (Gauge length)	=	50 มิลลิเมตร
D : ระยะทางระหว่างตัวยึดจับ	=	115 มิลลิเมตร

ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength, } \sigma) = \frac{F_1}{A}$$

$$\text{ค่ามอดุลัสที่ความเครียด 5\% (Tensile modulus at 5\% strain, E) = } \frac{F_2 / A}{5 / 100}$$

$$\text{ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (\%Elongation at break, At) = } \frac{l - l_0}{l_0} \times 100$$

เมื่อ F_1 คือแรงที่ใช้ในการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดสูงสุด (หน่วยเป็นนิวตัน ; N)

F_2 คือแรงที่ใช้ในการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่างที่ 5% ความเครียด (N)

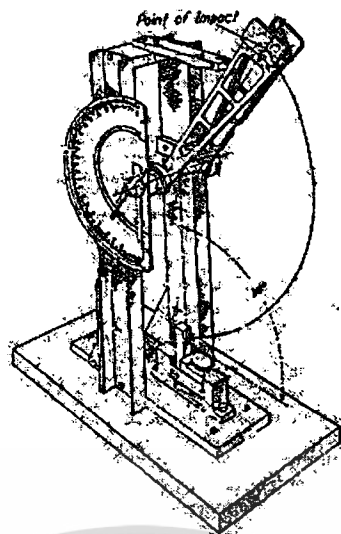
A คือพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร ; mm^2)

l คือระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดขาด (หน่วยเป็นมิลลิเมตร ; mm)

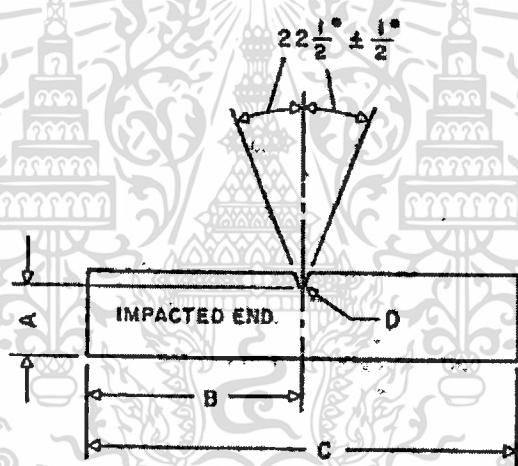
l_0 คือระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (Gauge length หน่วยเป็นมิลลิเมตร ; mm)

3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก

การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นไปดังมาตรฐาน ASTM D256 [37] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละสูตร รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องมือ Izod impact ที่ใช้ในการทดสอบ และรูปที่ 3.4 แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.3 เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด [37]



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงกระแทก [37]

โดย	A	แสดงควมยาว 10.16 ± 0.05 มิลลิเมตร
	B	แสดงควมยาว 31.5 - 32.00 มิลลิเมตร
	C	แสดงควมยาว 60.30 - 63.50 มิลลิเมตร
	D	แสดงมุมรูปตัว V เท่ากับ $22.5^\circ \pm 0.5^\circ$

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = W/A$$

เมื่อ IS คือ ค่าความแข็งแรงกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร ; kJ/m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- W คือ ค่าพลังงานกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูล ; kJ)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางเมตร ; m²)

3.4.1.3 ความแข็งกด

การทดสอบความแข็งกด (Hardness) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D785 [38] ในการทดสอบใช้มาตรฐาน Shore D ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบต้องมีความเรียบ มีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ใช้เวลาทดสอบ 15 วินาทีจึงอ่านค่าได้ โดยทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D790 [39] โดยการทดสอบแต่ละครั้งใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้น รูปที่ 3.5 เป็นภาพการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ สภาวะที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังนี้

-โหลดเซลล์ (Load)	1	กิโลนิวตัน (kN)
-ความเร็วในการกด (Compression speed)	10	มิลลิเมตร/นาที
-ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span length)	40	มิลลิเมตร
-Grammage	1.0	กรัม/ตารางเมตร
-ระดับเซลล์ (Cell class)	0.5	

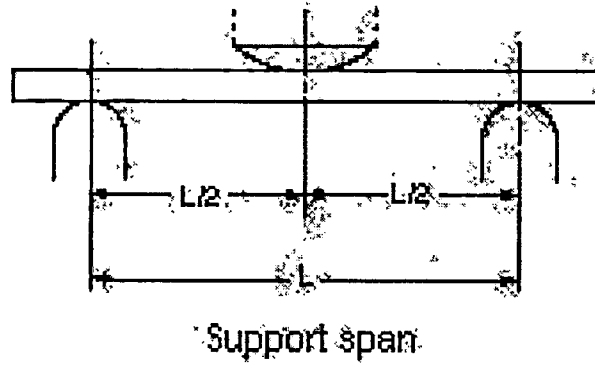
สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

$$\text{ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ; } \sigma_f = \frac{1.5FL}{bh^2}$$

$$\text{มอดุลัสโค้งงอ ; } E_b = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta d}$$

- เมื่อ F คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานโค้งงอ (หน่วยเป็นนิวตัน ; N)
 L คือ Span length (หน่วยเป็นมิลลิเมตร ; mm)
 b คือ ความกว้างของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร ; mm)
 h คือ ความหนาของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร ; mm)
 ΔF คือ ผลต่างของแรงกด ณ จุดเริ่มต้นถึงแรงกดที่ 20 N ในช่วงความชันเป็นเส้นตรง (หน่วยเป็นนิวตัน ; N)
 Δd คือ ระยะกดโค้งงอในช่วงแรงกด 0-20 N (หน่วยเป็นมิลลิเมตร ; mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ [39]

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2.1 การดูดซับน้ำ

การทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D570-81 [40] โดยนำชิ้นงานตัวอย่างอย่างละ 2 ชิ้น หนักประมาณ 2.000-2.500 กรัม ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักโดยละเอียด แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 30 วัน โดยต้องทำการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอทุก ๆ 3 วัน แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ จากสมการดังต่อไปนี้

$$\% \text{ การดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

3.4.3.1 อุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อน

อุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อน (Heat distortion temperature, HDT) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสียรูป ดังมาตรฐาน ASTM D648 [41] หลักการของเครื่อง HDT คือ จุ่มชิ้นงานตัวอย่างในอ่างน้ำมันที่มีการปั่นกววนและให้ความร้อนที่อัตราการให้ความร้อนคงที่ ชิ้นงานตัวอย่างได้รับแรงกดโค้งงอเพื่อทำให้เกิดการเสียรูป อุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อนเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างเสียรูปไป 0.25 มิลลิเมตร [41] โดยใช้สภาวะในการทดลองดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ = 35 – 150 องศาเซลเซียส
- อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) = 10 องศาเซลเซียส/นาที
- ความเค้นกดที่ใช้ = 455 kPa

3.4.3.2 Differential Scanning Calorimeter (DSC) [3]

เป็นเครื่องมือที่ใช้หาอุณหภูมิการตกผลึก (Crystallization temperature, T_c) อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, T_m) และพื้นที่ใต้กราฟซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึก (Enthalpy of fusion, ΔH_f) เพื่อคำนวณองศาของการเกิดผลึก (Degree of crystallinity) ของสารได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\Delta H_f = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (mg)}}$$

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_{100}} * 100$$

เมื่อ ΔH_f = Enthalpy of fusion ของสารหรือพื้นที่ใต้กราฟ (J/g)

ΔH_{100} = Enthalpy of fusion ของพอลิพรอพิลีนที่มีองศาการเป็นผลึก 100% เท่ากับ 165 J/g [10]

ซึ่งสารตัวอย่างใส่ในอูมิเนียมแพนหนัก 4 มิลลิกรัมคงที่ ให้ทราบปริมาณสารแน่นอนแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60-200 องศาเซลเซียส

3.4.4 สันฐานวิทยา

3.4.4.1 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง [42]

กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope, OM) ใช้ในการศึกษาโครงสร้างและสันฐานวิทยาอย่างละเอียดของสารตัวอย่าง โดยใช้หลักการ คือ เมื่อแสงต้นกำเนิดส่องผ่านวัตถุตัวอย่างแล้วกระทบเลนส์ (เลนส์แก้ว) แสงจะเกิดการกระจัดกระจายหรือส่องผ่านทะลุเลนส์เกิดเป็นภาพของตัวอย่างเข้าสู่ตา ภาพที่ได้จะมีความละเอียดอยู่ในช่วงกำลังขยาย 2-2000 เท่า ความคมชัดของภาพมากที่สุดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร จำกัดโดยชนิดตัวอย่าง เลนส์ และความยาวคลื่นของแสงต้นกำเนิด

ในงานวิจัยนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษาขนาดของขี้เลื่อยในรูปของความยาว/ความกว้าง (l/d) ในแต่ละขนาดใช้ขี้เลื่อยจำนวน 100 ตัวอย่างแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

- คือ
- ขี้เลื่อยขนาด 20-35 เมช
 - ขี้เลื่อยขนาด 35-50 เมช
 - ขี้เลื่อยขนาด 50-100 เมช
 - ขี้เลื่อยขนาด 100-230 เมช

3.4.4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคบนพื้นผิววัตถุด้วยเทคนิคระบบเลนส์แบบลำอิเล็กตรอนสแกน โดยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนจะต้องทำงานในคอลัมน์สุญญากาศ โดยจะถูกบังคับด้วยสนามไฟฟ้าศักย์สูงเร่งให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูง การปรับเปลี่ยนกำลังขยายและความคมชัดของระบบเลนส์อิเล็กตรอนเป็นการปรับปริมาณกระแสไฟฟ้าในขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก รวมทั้งระบบการมองเห็นภาพต้องอาศัยตัวกลางในการเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดจากอันตรกิริยาในโครงสร้างระดับจุลภาคของชิ้นตัวอย่างให้ปรากฏเป็นภาพที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ใช้นำมาศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่แตกหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป โดยจะทำการศึกษาการกระจายตัวของเส้นใยและศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยไม้กับพอลิเมอร์

3.4.5 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี [43]

อินฟราเรดเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ พิสูจน์และศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร ซึ่งอาจอยู่ในสถานะของแข็ง หรือของเหลว หรือก๊าซก็ได้ ข้อมูลที่ได้คือ เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการสั่น (Vibration) การหมุน (Rotation) พันธะของโมเลกุลนั้นเกิดจากการยืด (Stretching) หรือการงอ (Bending) ที่แตกต่างกันทำให้เกิดอินฟราเรดสเปกตรัมแตกต่างกันด้วย

ในการวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์แบบ Attenuated total reflectance (ATR) โดยนำสารตัวอย่างไปติดกับ ATR Crystal ซึ่งเป็นผลึกของสารที่มีค่าดัชนีหักเหสูงมาก และแสงอินฟราเรดสามารถผ่านได้ เช่น แทเลียมโบรไมด์ แทเลียมไอโอไดด์หรือซิลเวอร์คลอไรด์ เมื่อลำแสงอินฟราเรดตกกระทบผลึกจะเกิดการสะท้อนอยู่ภายในมาครั้งด้วยกันที่บริเวณติดกันของสารกับผลึก แสงอินฟราเรดบางส่วนจะถูกดูดกลืนบ้าง แต่แสงที่สะท้อนกลับออกมานั้นนำไปวัดด้วยเครื่องตรวจวัดก็จะได้อินฟราเรดสเปกตรัมของวัตถุเหล่านั้น

ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่สำคัญ คือ

1. ต้นกำเนิดแสงอินฟราเรด (IR source)
2. เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample cell)
3. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (IR detector)
5. เครื่องบันทึกสเปกตรัม (Recorder หรือ Readout devices)

การทดสอบทำได้โดยนำสารตัวอย่างที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วบดด้วยเครื่องบดหยาบ จากนั้นบดละเอียดต่อไปด้วยเครื่องบดความเร็วสูง (14000 รอบต่อนาที) ทำให้ได้สารตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.025 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปวางบน ATR crystal วิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงเลขคลื่น $4000-650\text{ cm}^{-1}$ resolution เท่ากับ 4 และจำนวนรอบของการ scan เท่ากับ 16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต โดยใช้สารคู่ควบสองชนิด คือ พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) และ ไชเลน (Vinyl-tris(2-methoxy ethoxy silane)) เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของซีลี้อยู่ที่ใช้เป็นสารเสริมแรง สมบัติต่าง ๆ ที่ศึกษา ได้แก่ สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) สัณฐานวิทยา (Morphology) และการศึกษาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR

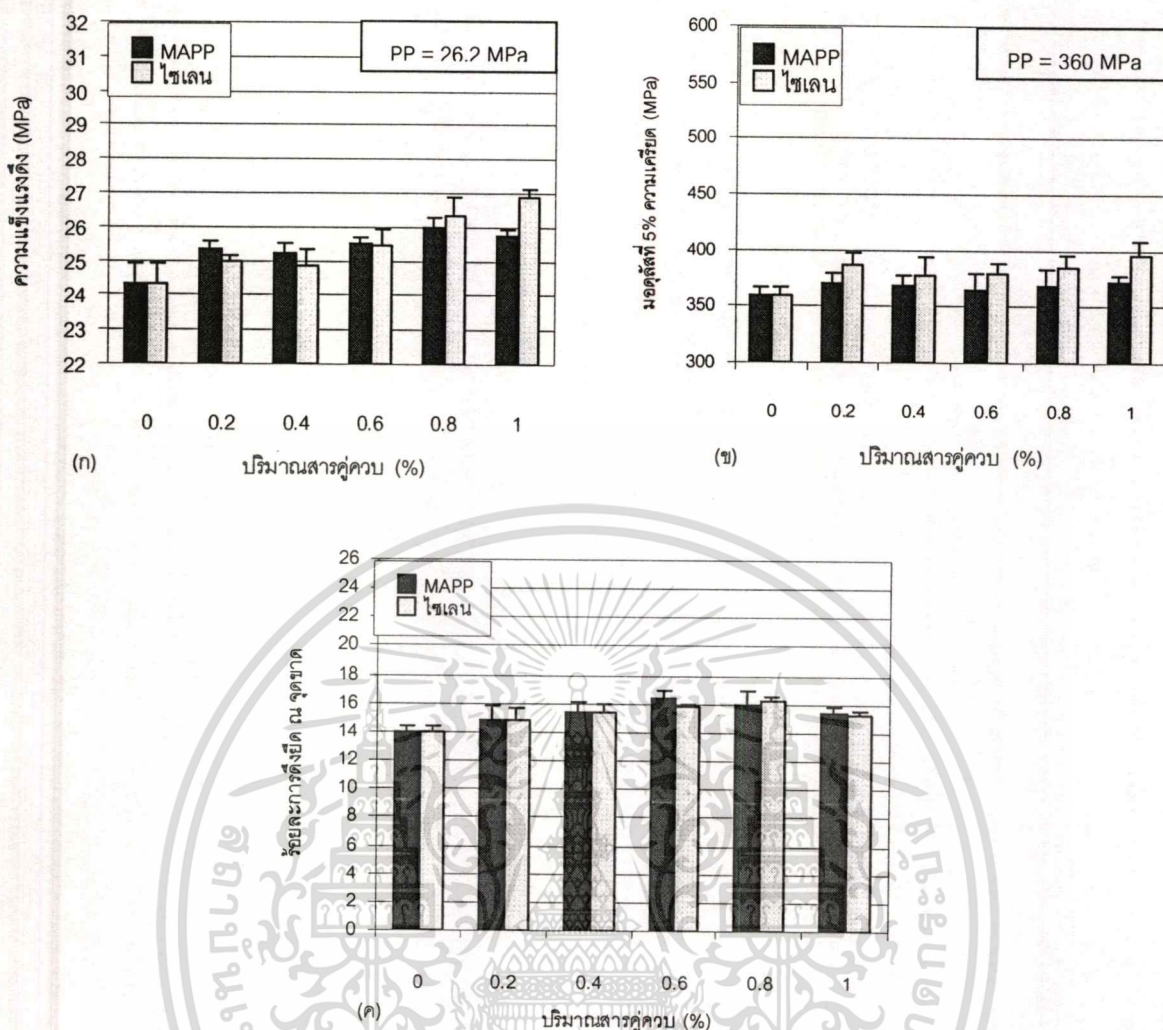
4.1 สมบัติเชิงกล

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตนั้น ได้แบ่งการศึกษาออกดังนี้ ศึกษาผลของสารคู่ควบเพียงชนิดเดียว คือ MAPP หรือไชเลน ผลของปริมาณสารคู่ควบ MAPP ที่มากขึ้น ผลของอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio) ของซีลี้อยู่ ผลของปริมาณซีลี้อยู่ และผลของอัตราส่วนของการใช้สารคู่ควบผสมระหว่าง MAPP และไชเลน ที่มีต่อสมบัติเชิงกล

จากสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ที่ศึกษาให้ผลการทดลองดังนี้

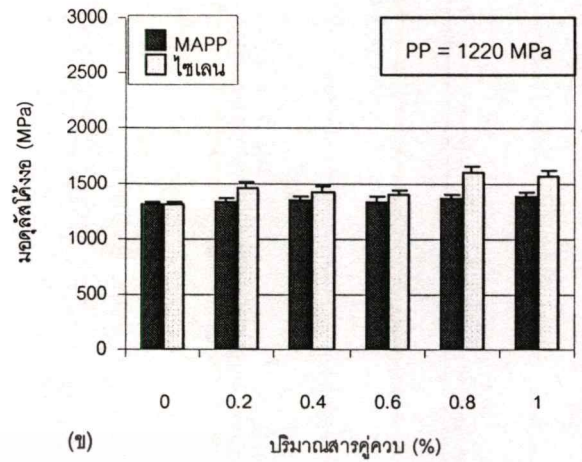
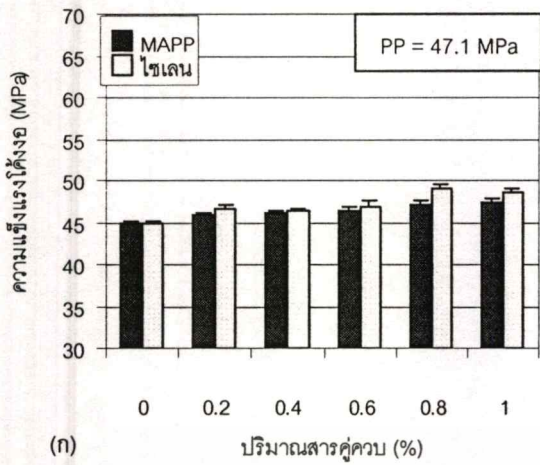
4.1.1 การศึกษาผลของสารคู่ควบ MAPP และ ไชเลน

ในการศึกษาผลของสารคู่ควบทั้งสองชนิด ได้แก่ MAPP และไชเลน เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของซีลี้อยู่ในพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต โดยใช้ซีลี้อยู่ที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio) ของซีลี้อยู่เท่ากับ 8.1 (ในหัวข้อที่ 4.1.3) ปริมาณซีลี้อยู่ 10 phr และทำการศึกษาการเติมปริมาณสารคู่ควบ MAPP และไชเลนที่ปริมาณต่าง ๆ คือ 0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0% ต่อน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน



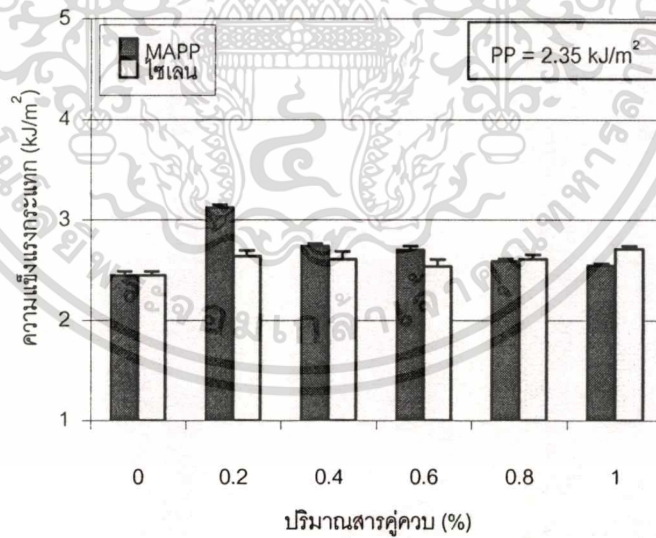
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงและปริมาณสารคู่ควบ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) มอดุลัส 5% ความเครียด และ (ค) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด

จากรูปที่ 4.1 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง มอดุลัสที่ 5% ความเครียดและ ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดกับปริมาณสารคู่ควบ พบว่าการเติมซีลี้อยลงในคอมโพสิตทำให้ค่า ความแข็งแรงดึงและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิพรอพิลีนต่ำลง สำหรับค่ามอดุลัสที่ 5% เครียดของพอลิพรอพิลีนไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเติมซีลี้อย นอกจากนี้คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิว ซีลี้อยด้วยสารคู่ควบ MAPP มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเล็กน้อย และการเติมไซเลน ให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสของคอมโพสิตสูงขึ้นมากกว่าการใช้ MAPP โดยเฉพาะใน ปริมาณสารคู่ควบ 0.8-1.0% จากรูปที่ 4.1 (ข) พบว่าเมื่อเติม MAPP หรือไซเลนที่ปริมาณมาก ขึ้นไม่มีผลต่อค่ามอดุลัส ส่วนร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 14.3% และ 16.0 % ตามลำดับ ที่ปริมาณสารคู่ควบตั้งแต่ 0-0.8% และเริ่มลดลงที่ปริมาณสารคู่ควบ 1%



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านการโค้งงอและปริมาณสารคู่ควบในพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต (ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ

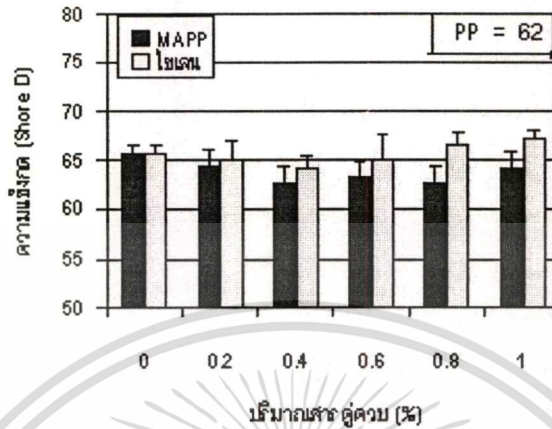
จากรูปที่ 4.2 (ก) และ 4.2 (ข) พบว่าการเติมซีลี้อยลงในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์มีผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอเล็กน้อย โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบมากขึ้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและปริมาณสารคู่ควบ

จากรูปที่ 4.3 พบว่าการเติมซีลี้อยทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับการใส่สารคู่ควบนั้น พบว่าปริมาณสารคู่ควบไชเลนไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทก

นอกจากนี้คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าสูงที่ปริมาณ 0.2% จากนั้นเริ่มลดลงและมีค่าใกล้เคียงกับคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและปริมาณสารตัวควบ

จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและสัดส่วนโดยน้ำหนักสารตัวควบพบว่า ค่าความแข็งแรงของคอมโพสิตที่ไม่เติมและเติม MAPP หรือโซเลนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยเมื่อเติมซีลี้อยในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ทำให้ความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้น

สมบัติด้านแรงดึงนั้นเป็นการศึกษาพฤติกรรมของพอลิเมอร์เมื่อมีการให้ความเค้น (Stress) ดึงให้พอลิเมอร์ยืดยาวออกจนถึงจุดที่พอลิเมอร์เกิดการเสียสภาพและขาดออกจากกัน ในที่สุด เมื่อพอลิพรอพิลีนได้รับแรงดึงสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ตามแนวแรงถูกดึงยืดยาวออกที่ความเครียดมากขึ้น เมื่อพอลิพรอพิลีนถูกดึงยืดจนเกิดการเสียสภาพในช่วงที่ความเครียดสูง ๆ หลังจากจุดคราก (Yield point) สายโซ่พอลิพรอพิลีนจะเกิดการไหลเลื่อนหลุดออกจากกรยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ (Slip) เกิดการเสียสภาพแบบพลาสติก (Plastic Deformation) สายโซ่พอลิพรอพิลีนไม่สามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้ การเติมเส้นใยซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง (Strength) และมอดุลัส (Modulus) มากกว่าพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์คอมโพสิตจะเกิดการแตกหักได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้เมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นงานบริเวณที่เส้นใยติดต่อกับวัสดุเมตริกซ์นั้นเป็นบริเวณที่มีความเค้นสูง (Stress concentration) มีการยึดเกาะตัวระหว่างเส้นใยที่มีสมบัติมีขั้วและเมตริกซ์ที่มีสมบัติไม่มีขั้วเกิดเป็นรอยตำหนิ (Defects) ขึ้น ทำให้สายโซ่พอลิพรอพิลีนสามารถเลื่อนหลุดออกจากกันได้ง่ายขึ้น เป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของคอมโพสิตที่เติมซีลี้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวต่ำกว่าพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ อย่างไรก็ตามการเติมซีลี้อยในปริมาณ 10 phr ไม่มีผลต่อค่ามอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าสารคู่ควบ MAPP และไซเลนในปริมาณ 0.2-0.6% มีผลน้อยมากต่อค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัสที่ 5% ความเครียด ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณการเติมสารคู่ควบน้อยเกินไป ไม่เพียงพอต่อการเปียกผิวบนพื้นผิวเส้นใย ซึ่งเป็นไปในการทำงานเดียวกับค่าความแข็งแรงกด (รูปที่ 4.4) นอกจากนี้พบว่า การเติมไซเลนในปริมาณตั้งแต่ 0.8-1.0% มีผลทำให้ความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้น และสูงกว่าการใช้ MAPP เป็นสารคู่ควบเล็กน้อยอาจเนื่องจากความแข็งแรงพันธะ (Bond strength) ของพันธะซิลานอล (-Si-O-) เท่ากับ 185 kcal/mol สูงกว่าพันธะเอสเทอร์ (O=C-O-) ซึ่งเท่ากับ 98 kcal/mol [10] จึงสามารถต้านทานแรงกดอัดบริเวณวัฏภาคได้ดีกว่า ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอของคอมโพลีเมอร์ที่เติมไซเลนจึงสูงกว่าคอมโพลีเมอร์ที่ใช้ MAPP

ค่าความแข็งแรงกระแทกเป็นการให้พลังงานแก่ชิ้นงานทันทีก่อนที่จะเกิดการแตกหักอย่างฉับพลัน เกิดความเค้นบริเวณรอยบากของชิ้นงานในวัสดุภายใต้แรงเป็นบริเวณที่มีความเค้นสูง สายโซ่โพลิเมอร์เริ่มแตกหลุดออกจากกันเกิดการแตกหักเริ่มต้น (Crack initiation) แล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาเกิดการแตกหักต่อเนื่อง (Crack propagation) พบว่าการเติมไซเลนมีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติม MAPP โดยค่าความแข็งแรงกระแทกของคอมโพลีเมอร์ที่เติม MAPP ดีกว่าไซเลน เนื่องจากโครงสร้าง MAPP นั้นส่วนหนึ่งประกอบด้วยสายโซ่ยาวของพอลิพรอพิลีนซึ่งสามารถเกิดการพันกัน (Chain entanglement) กับสายโซ่พอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ได้ดีกว่าหมู่ไวนิลของไซเลนที่เป็นสายโซ่สั้น ๆ ซึ่งการพันกันเชิงกลนี้จึงช่วยปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคของเส้นใยและทำให้การถ่ายเทความเค้น (Stress transfer) จากเมตริกซ์สู่เส้นใยข้ามผ่านบริเวณรอยต่อได้ดีขึ้น สามารถต้านทานพลังงานกระแทกได้ดีขึ้นสำหรับการใช้ MAPP พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าสูงที่ปริมาณ MAPP 0.2% และหลังจากนั้นเริ่มลดลง อาจเนื่องจากเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถเปียกบนพื้นผิวที่เลื่อยได้ดีพิจารณาจากผลของปริมาณ MAPP ที่เพิ่มมากกว่า 1% (ในหัวข้อ 4.1.2) นั้น ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกใกล้เคียงกันกับการใช้ปริมาณ MAPP 0.2% อาจแสดงว่าการเติมปริมาณ MAPP มากกว่า 1% ก็ไม่ได้ทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าการเติม MAPP ที่ปริมาณ 0.2%

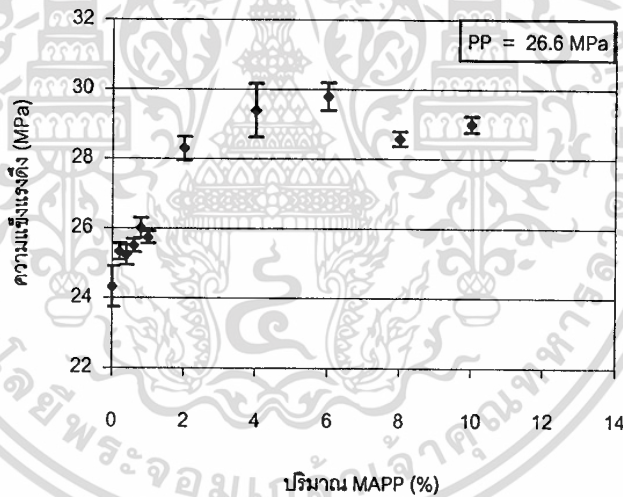
นอกจากนี้การเติมสารคู่ควบไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกดมากนัก เนื่องจากการทดสอบความแข็งแรงกดนั้นเป็นการทดสอบความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ที่ทดสอบสมบัติของชิ้นงานโดยรวม

จากผลของการใช้สารคู่ควบ MAPP และไซเลนเพื่อปรับปรุงพื้นผิวของซีลื้อยในพอลิพรอพิลีนคอมโพลีเมอร์ พบว่าปริมาณสารคู่ควบเพิ่มขึ้นมีผลต่อสมบัติเชิงกลน้อย แต่อย่างไรก็ตามการเติมสารคู่ควบทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าคอมโพลีเมอร์ที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบ

การศึกษาค่าผลของสารคู่ควบทำให้ทราบว่าสารคู่ควบทั้งสองชนิดมีแนวโน้มช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจาก MAPP มีราคาถูกกว่าจึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ MAPP มากขึ้นจะมีผลอย่างไรต่อสมบัติเชิงกล เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการใช้ MAPP ในปริมาณที่เหมาะสมในเชิงอุตสาหกรรมได้

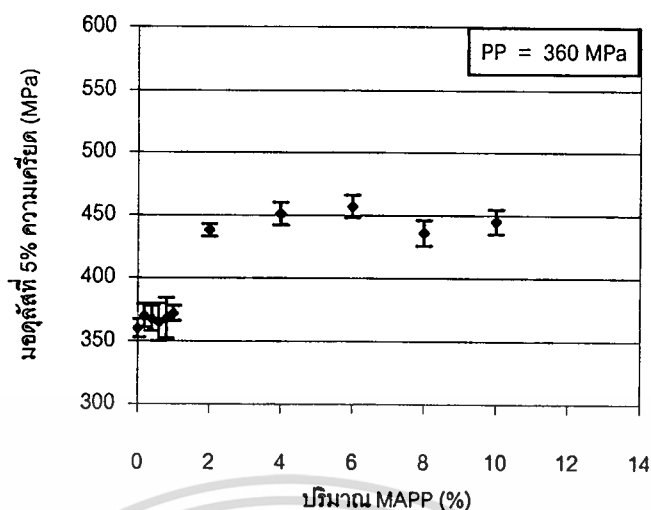
4.1.2 การศึกษาค่าผลของปริมาณสารคู่ควบ MAPP

ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาค่าผลของปริมาณ MAPP ที่เพิ่มขึ้นเพื่อปรับปรุงพื้นผิวของซีลียพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต โดยใช้ซีลียที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างเท่ากับ 8.1 ที่ปริมาณซีลีย 10 phr และทำการศึกษาค่าผลของการใช้ MAPP ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น คือ 2 4 6 8 และ 10 phr ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ (เพิ่มเติมจากหัวข้อที่ 4.1.1 ที่ใช้ MAPP ในปริมาณ 0-1.0%) ได้ผลการทดลองดังนี้

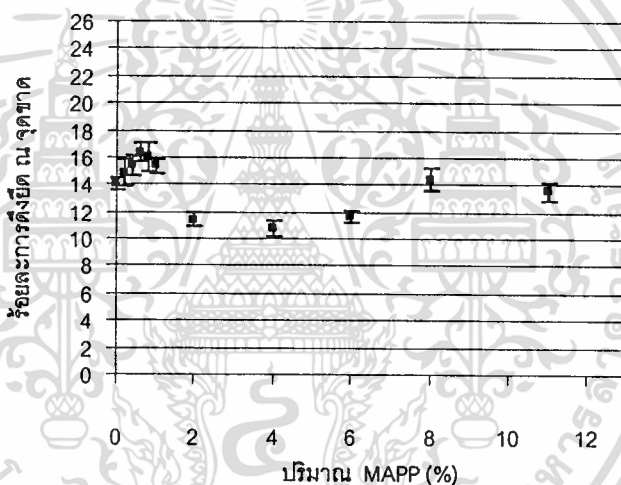


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



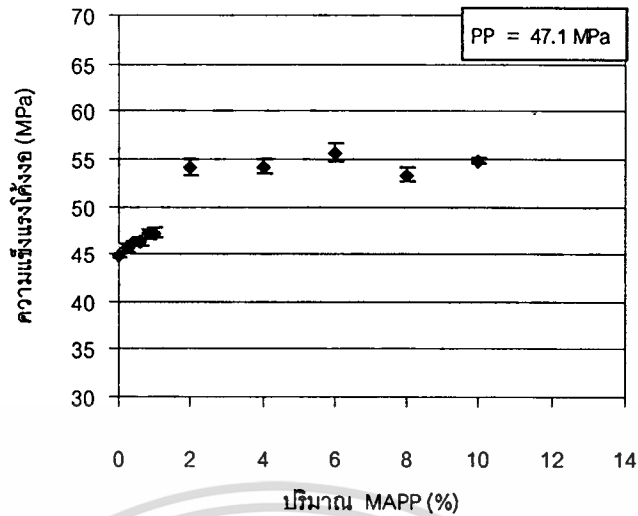
(ข)



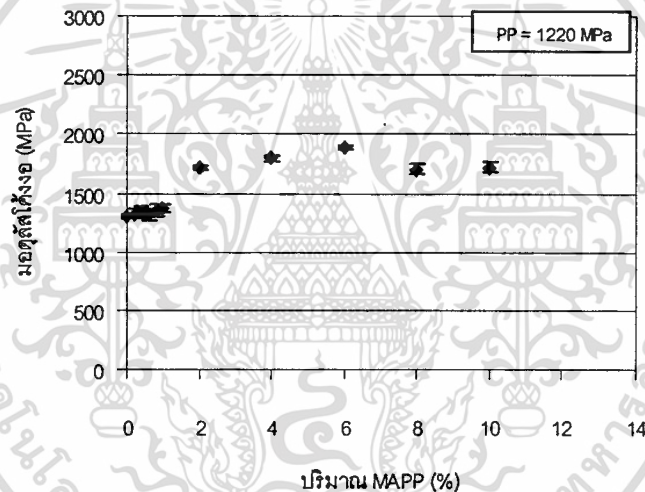
(ค)

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงและปริมาณ MAPP (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) มอดุลัสที่ 5% ความเครียด และ (ค) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด

จากรูปที่ 4.5 (ก) พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตที่เติม MAPP ปริมาณต่ำ ๆ มีค่าต่ำกว่ามาก เช่นเดียวกับกับค่ามอดุลัสที่ 5% ความเครียด (รูปที่ 4.5 (ข)) ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 25% และเมื่อความแข็งแรงของคอมโพสิตมากขึ้นจึงมีผลทำให้ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำลง นอกจากนี้ที่ปริมาณ MAPP ตั้งแต่ 8% ต่อนักพอลิพรอพิลีนสมบัติด้านแรงดึงมีแนวโน้มคงที่หรือลดลงเล็กน้อย



(ก)

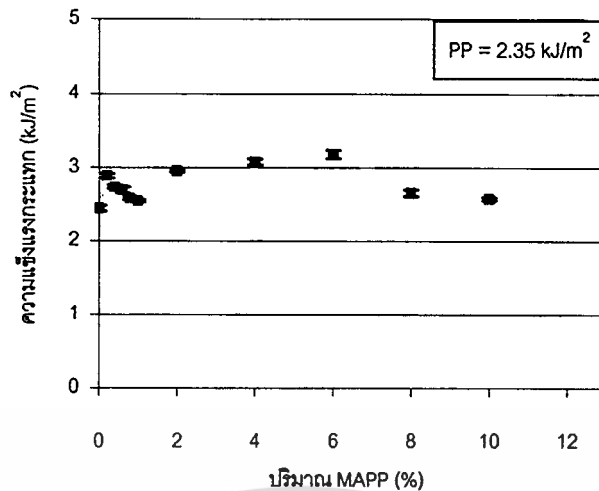


(ข)

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านการโค้งงอและปริมาณของ MAPP

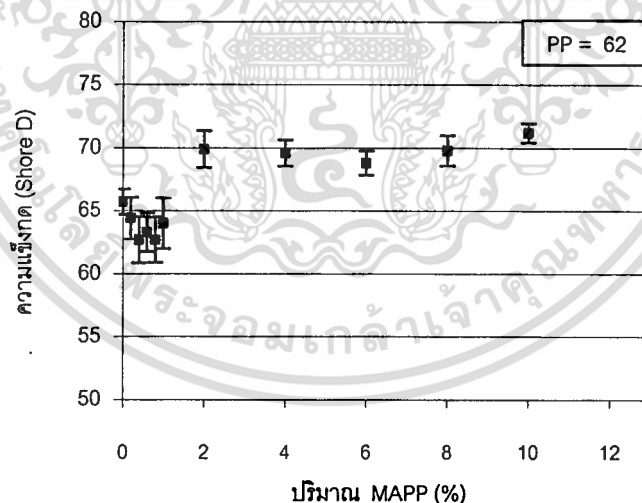
(ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ

จากรูปที่ 4.6 (ก) และ รูปที่ 4.6 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอที่ปริมาณ MAPP ต่าง ๆ พบว่าเป็นไปในทำนองเดียวกับสมบัติแรงดึง โดยเมื่อปริมาณ MAPP สูงขึ้น สมบัติด้านโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่ปริมาณ MAPP 4%



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและปริมาณ MAPP

จากรูป 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ MAPP มากขึ้น ตั้งแต่ปริมาณ 0-6% ค่าความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นประมาณ 30% แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณ MAPP เพิ่มขึ้นมากตั้งแต่ 6-10% ค่าความแข็งแรงกระแทกเริ่มมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับผลของสมบัติอื่น ๆ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและปริมาณ MAPP

จากความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและสัดส่วนโดยน้ำหนัก MAPP (รูปที่ 4.8) พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวซึ่งเลื่อยด้วยสารคู่ควบ MAPP มากขึ้นตั้งแต่ 1-10% ทำให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งกดสูงขึ้น

ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วย MAPP มากขึ้น มีผลทำให้สมบัติเชิงกลต่าง ๆ เพิ่มขึ้น และเริ่มมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณ MAPP เท่ากับ 6%

ทฤษฎีการแตกหักของกริฟฟิท (Griffith's Fracture Theory) [18, 44] กล่าวว่า การแตกหักของพอลิเมอร์เกี่ยวข้องโดยตรงกับรอยแตกหรือตำหนิในพอลิเมอร์ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหัก การเติม MAPP ทำให้หมู่แอนไฮดรายด์ใน MAPP เกิดพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยไม้ และสายโซ่พอลิพรอพิลีนในโมเลกุลของ MAPP สามารถเกิดการเกี่ยวพันกันเชิงกล (Mechanical interlocking) หรือเกิดการพันกันระหว่างสายโซ่ (Chain entanglement) กับสายโซ่พอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ เพิ่มความแข็งแรงบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคของคอมโพสิต ช่วยลดรอยตำหนิที่เกิดขึ้นทำให้การถ่ายเทแรงจากเมตริกซ์ไปสู่เส้นใยมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นการเติม MAPP จึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงจึงมีค่าสูงขึ้น สำหรับค่ามอดุลัสที่ 5% ความเครียดเป็นการศึกษาความต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างในช่วงยืดหยุ่น เป็นช่วงที่สายโซ่พอลิเมอร์สามารถคืนกลับรูปร่างเดิมได้เมื่อปล่อยแรง ซึ่งการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูปหรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่เมื่อได้รับแรงดึงได้มากขึ้น ค่ามอดุลัสจึงเพิ่มขึ้นเมื่อเติม MAPP ปริมาณมากขึ้น เป็นผลให้ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำลงด้วยเนื่องจากสภาพยืดหยุ่น (Elasticity) ของพอลิเมอร์ต่ำลง

ค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอนั้นแรงกดอัดแบบโค้งงอทำให้เกิดความเค้นขึ้นบริเวณภายในของคอมโพสิต ค่าความแข็งแรงโค้งงอเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่ให้แก่งานก่อนการเสียรูปของชิ้นงานอย่างถาวร หลังจากการเสียรูปอย่างถาวรความเครียดที่เพิ่มขึ้นจะไม่ทำให้ความเค้นเปลี่ยนแปลง เมื่อได้รับแรงกดเกิดกระจายแรงจากเมตริกซ์สู่เส้นใยโดยถ่ายเทความเค้นที่ได้รับไปตามความยาวของเส้นใย ปริมาณ MAPP ที่เพิ่มขึ้นจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปของคอมโพสิตเมื่อได้รับแรงกดมากขึ้น

จากความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกดและสัดส่วนโดยน้ำหนัก MAPP (รูปที่ 4.8) พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวซึ่งเลื่อยด้วยสารคู่ควบ MAPP มากขึ้น ทำให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงกดสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงกดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณ MAPP ตั้งแต่ 2-10% นอกจากนี้ที่ปริมาณ MAPP 8% สมบัติด้านแรงดึง รวมถึงสมบัติด้านโค้งงอ (รูปที่ 4.6) และความแข็งแรงกระแทก (รูปที่ 4.7) เริ่มมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติม MAPP มาก ๆ ทำให้เกิดการแยกวัฏภาคของ MAPP ออกมาอีกวัฏภาคหนึ่ง ซึ่ง MAPP ที่ใช้มีความหนืดต่ำกว่าพอลิพรอพิลีนมากทำให้เกิดเป็นบริเวณที่มีความแตกต่างกันของความหนืด เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนในการขึ้นรูปคอมโพสิตแล้วทำให้เย็นนั้น บริเวณดังกล่าวอาจเกิดเป็นจุดบกพร่อง (Weak points) ภายในคอมโพสิต ทำให้สมบัติต่าง ๆ มีแนวโน้มลดต่ำลง

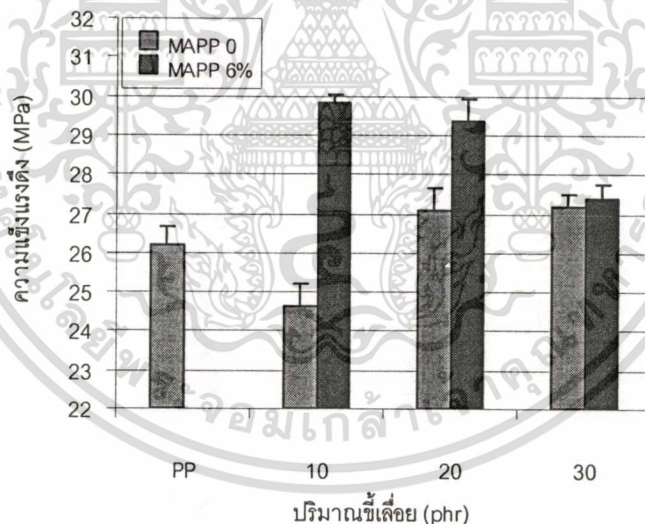
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

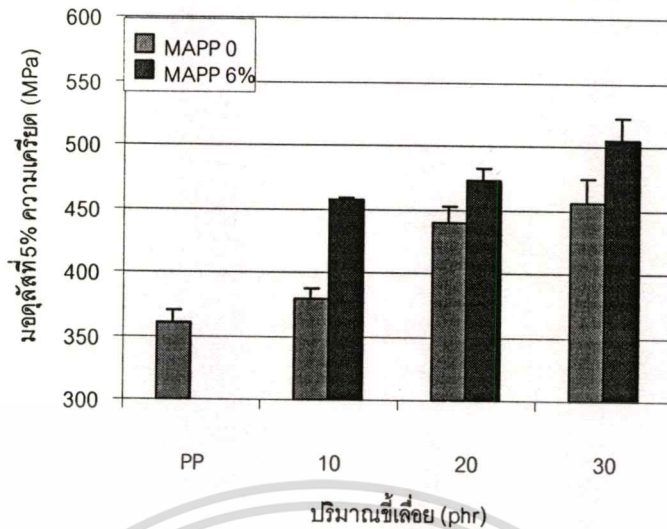
จากการศึกษาผลของปริมาณสารคู่ควบ MAPP ที่มีต่อสมบัติของคอมโพสิตนั้น พบว่าการเติม MAPP มากขึ้นตั้งแต่ 1-10% มีแนวโน้มทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการเติม MAPP ปริมาณต่ำ ๆ (ในหัวข้อ 4.1) และเริ่มมีค่าลดลงที่ปริมาณตั้งแต่ 8% โดยพบว่าที่ปริมาณ MAPP 6% ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด ดังนั้นจึงทำการศึกษาค่าผลของปริมาณที่น้อยที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตในหัวข้อที่ 4.1.3 ต่อไป โดยใช้ปริมาณ MAPP 6% ซึ่งเป็นปริมาณที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด

4.1.3 การศึกษาผลของปริมาณซีลี้อย

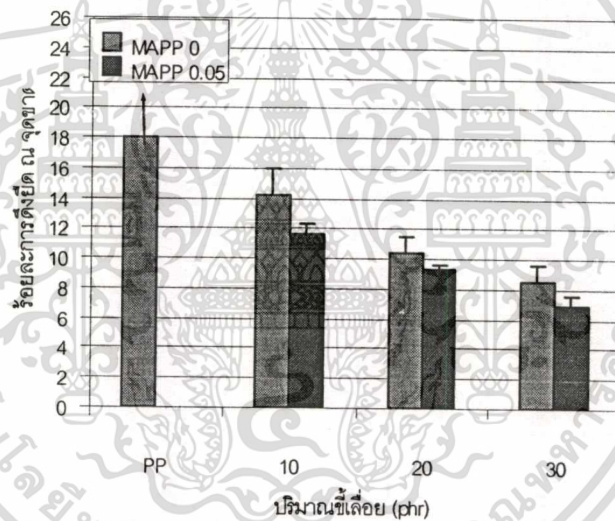
การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีลี้อยที่มีต่อสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของคอมโพสิต ทำได้โดยใช้ปริมาณซีลี้อยแตกต่างกัน ได้แก่ 0 10 20 30 phr (ส่วนในร้อยละของพอลิพรอพิลีน) ใช้ซีลี้อยมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio) เท่ากับ 8.1 (หัวข้อที่ 4.1.4) โดยทำการปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วย MAPP ปริมาณ 6% (จากหัวข้อที่ 4.1.2) ได้ผลการทดลองดังนี้



(n)



(ข)

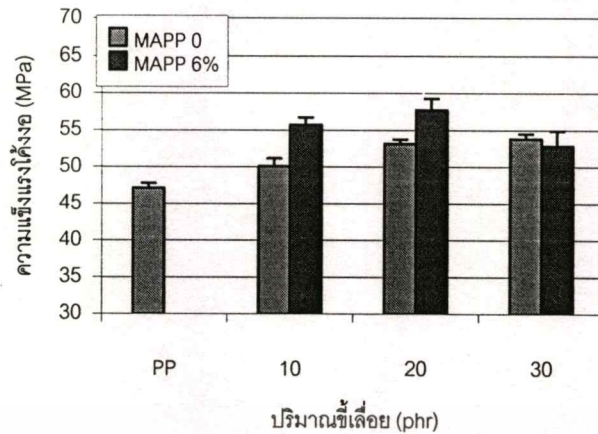


(ค)

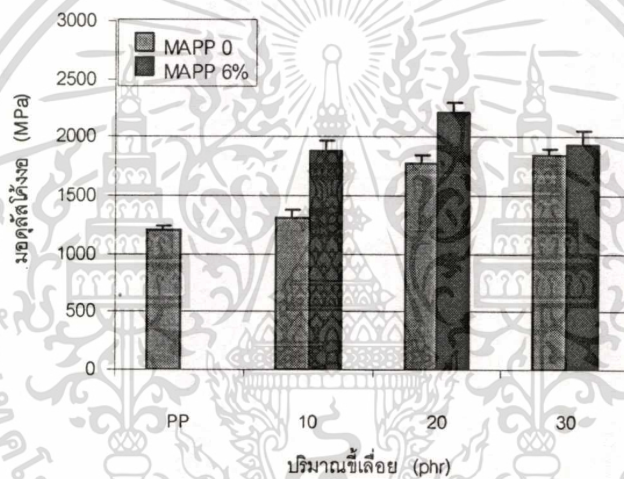
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงกับปริมาณซีลี้อย (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) มอดุลัสที่ 5% ความเครียด และ (ค) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด

จากรูปที่ 4.9 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและปริมาณซีลี้อย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสที่ 5% ความเครียดของคอมโพสิตที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วย MAPP 6% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการใช้ MAPP ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีค่ามากกว่า สำหรับค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของซีลี้อยทั้งในกรณีที่มีการใช้และไม่ใช้ MAPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



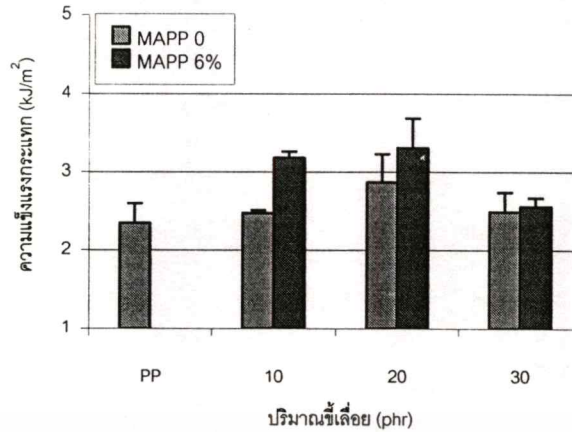
(ก)



(ข)

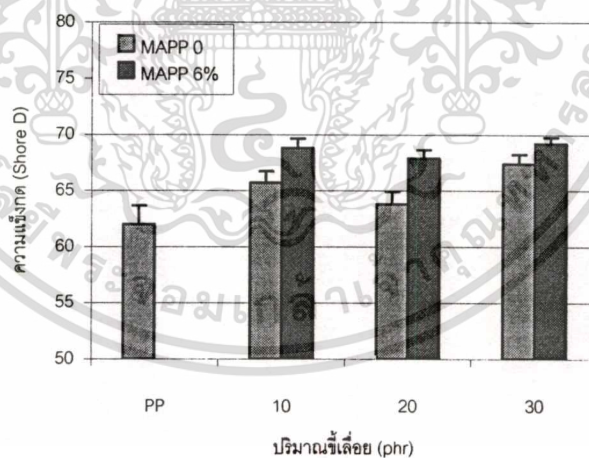
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการโค้งงอและปริมาณซีลี้อย (ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ

จากรูปที่ 4.10 คอมโพสิตที่เติม MAPP ทำให้สมบัติการโค้งงอดีกว่าคอมโพสิตที่ไม่เติม MAPP การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงโค้งงอในคอมโพสิตที่เติมและไม่เติม MAPP มีค่าประมาณ 22% และ 15% ตามลำดับ (รูปที่ 4.10 (ก)) และค่ามอดุลัสโค้งงอในคอมโพสิตที่เติมและไม่เติม MAPP เพิ่มขึ้นประมาณ 85% และ 55% ตามลำดับ (รูปที่ 4.10 (ข)) อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าสูงสุดที่ปริมาณซีลี้อย 20 phr และต่ำลงที่ปริมาณซีลี้อย 30 phr



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและปริมาณซีลี้อย

จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและปริมาณซีลี้อย พบว่าคอมโพสิตที่เติม MAPP ให้ความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยมากขึ้น จนถึง 30 phr ความแข็งแรงกระแทกเริ่มมีค่าลดลง สำหรับคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP ความแข็งแรงกระแทกมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักและมีค่าต่ำกว่าคอมโพสิตที่เติม MAPP



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและปริมาณซีลี้อย

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและปริมาณซีลี้อยในรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยลงในคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP ทำให้สมบัติความแข็งกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยมีผลทำให้ค่าความแข็งกดสูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม

MAPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมซีลี้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP ลงในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์นั้น สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนได้ เนื่องจากซีลี้อยช่วยเพิ่มความแข็งและมอดุลัสให้แก่พอลิพรอพิลีน อย่างไรก็ตามการเติมเส้นใยมาก ๆ นั้น เส้นใยอาจกระจายตัวได้ไม่ดี บางส่วนมีการเกาะตัวเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งบริเวณที่เส้นใยมีการรวมเป็นก้อนนั้นจะเป็นบริเวณที่ไม่มีการติดต่อกับเมตริกซ์ทำให้เกิดเป็นตำหนิของชิ้นงานคอมโพสิต เมื่อให้แรงดึงยืดสายโซ่พอลิเมอร์ จึงเกิดการเสียหายเสียนหลุดออกได้ง่ายที่บริเวณรอยตำหนิดังกล่าว สมบัติความแข็งแรงดึงและมอดุลัสจึงมีแนวโน้มลดลงหรือคงที่ที่ปริมาณซีลี้อยมาก ๆ อย่างไรก็ตามการเติม MAPP ที่มีความหนืดต่ำสามารถช่วยในการกระจายตัวของเส้นใยในเมตริกซ์ จากการศึกษาชั้นฐานวิทยาศาสตร์ (หัวข้อ 4.5) พบว่าคอมโพสิตที่มีการเติม MAPP ช่วยในการกระจายตัวของซีลี้อยในเมตริกซ์ได้ดีขึ้น ทำให้เส้นใยเกิดปฏิกิริยากับ MAPP เป็นพันธะเอสเทอร์บริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคช่วยลดรอยตำหนิหรือช่องว่าง (Void) บริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคได้ดีขึ้น และพบว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP สามารถพบช่องว่างระหว่างพื้นผิวของซีลี้อยและพอลิพรอพิลีนอย่างเด่นชัด จึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสของคอมโพสิตที่ไม่เติม MAPP ต่ำกว่าคอมโพสิตที่เติม MAPP เช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ การปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้นจึงสามารถทนต่อการรับแรงกดเพื่อให้เกิดการเสียรูปได้ดียิ่งขึ้น

คอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคอาจเกิดการแตกหักของพันธะบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Debonding) ขึ้นได้ง่าย ค่าความแข็งแรงกระแทกจึงลดลง และเมื่อเพิ่มเส้นใยมากขึ้น ยิ่งเพิ่มจุดบกพร่อง (Weak points) มากขึ้น ค่าความแข็งแรงกระแทกจึงมีแนวโน้มลดลง

เนื่องจากเส้นใยไม้จัดเป็นวัสดุที่มีความแข็ง มีค่าความแข็งแรงกดสูง แต่พอลิพรอพิลีนพอลิเมอร์มีความนิ่ม รับแรงกดได้น้อย ค่าความแข็งแรงกดจึงไม่มากเมื่อเทียบกับเส้นใยไม้ ดังนั้นเมื่อเติมเส้นใยไม้ลงในพอลิพรอพิลีน ช่วยให้ความแข็งแรงของวัสดุโดยรวมมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้คอมโพสิตสามารถรับแรงกดได้ดีขึ้น ค่าความแข็งแรงกดจึงมีค่าสูงขึ้น

จากการศึกษาปริมาณซีลี้อยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ใช้ซีลี้อยที่มี Aspect ratio เท่ากับ 8.1 พบว่าปริมาณซีลี้อยที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้เป็นสารเสริมแรงในคอมโพสิตเท่ากับ 20 phr โดยสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด นอกจากนี้การปรับปรุงพื้นผิวระหว่างวัฏภาคทั้งสองโดยการเติม MAPP นั้นให้สมบัติเชิงกลดีกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP

จากผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่าปริมาณซีลี้อยและ MAPP เท่ากับ 20 phr (จากหัวข้อ 4.1.3) และ 6% (จากหัวข้อ 4.1.2) ตามลำดับ ให้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตดีที่สุด จึงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาต่อไปถึงขนาดหรืออัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio, l/d) ของซีลี้อยู่ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ในหัวข้อ 4.1.4

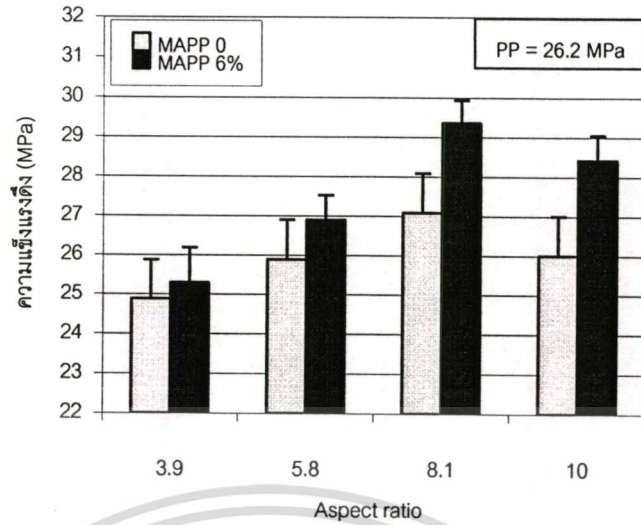
4.1.4 การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของซีลี้อยู่

การคัดขนาดซีลี้อยู่ทำได้โดยร่อนซีลี้อยู่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ ได้แก่ 20-35 35-50 50-100 และ 100-230 เมช จากนั้นนำซีลี้อยู่ที่ได้ไปหาค่าความยาวและความกว้างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) แล้วนำมาคำนวณหาค่า Aspect ratio ของซีลี้อยู่ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ ได้ซีลี้อยู่ที่มี Aspect ratio แตกต่างกันไปซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ได้ (ภาคผนวก ก. และตารางที่ 4.1)

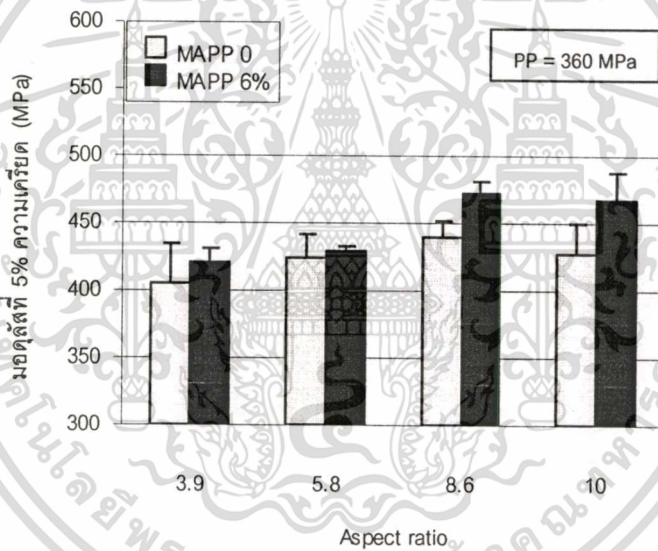
ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของซีลี้อยู่ที่ใช้ในการทดลองที่ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ ดังนี้

ขนาดตะแกรงร่อน		อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio)
เมช	ไมโครเมตร (μm)	
100-230	150-63	3.9
50-100	350-150	5.8
35-50	500-350	8.1
20-35	850-500	10.0

ในการศึกษา Aspect ratio นั้นได้ทำการศึกษาซีลี้อยู่ที่ได้จากไม้เต็งนอกที่มีค่า Aspect ratio ต่าง ๆ กัน ได้แก่ 3.9 5.8 8.1 และ 10.0 โดยทำการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยู่ด้วย MAPP ที่ปริมาณ 6% (ในหัวข้อที่ 4.1.2) และเลือกใช้ปริมาณซีลี้อยู่ที่ดีที่สุด 20 phr (จากหัวข้อที่ 4.1.3)

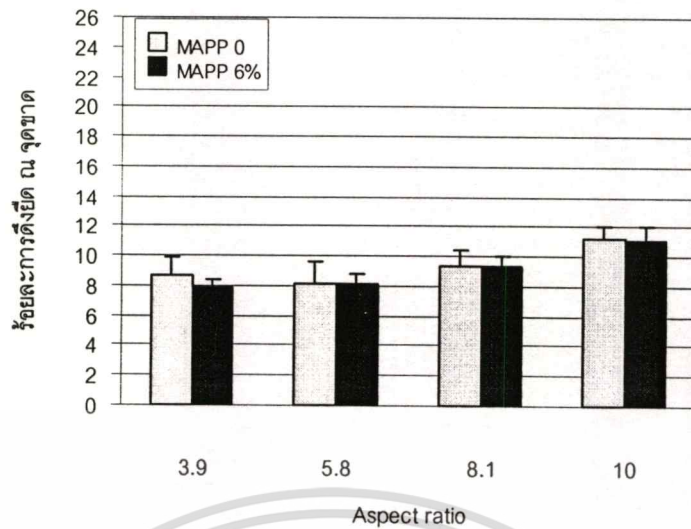


(n)



(ข)

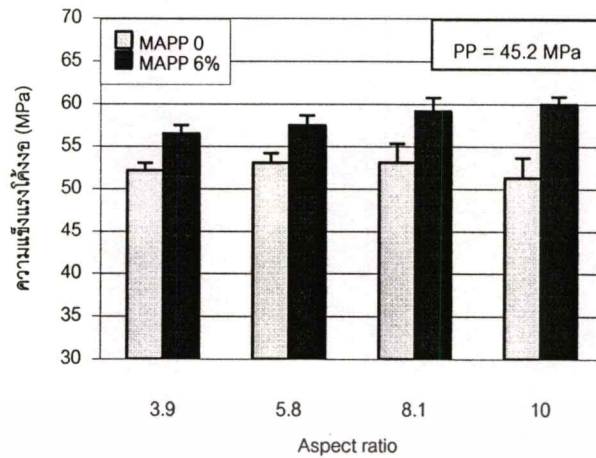
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



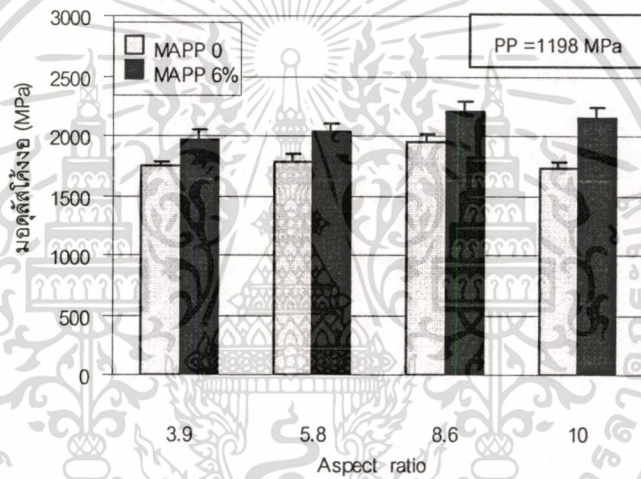
(ค)

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงและ Aspect ratio ของซีเมนต์ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) มอดุลัสที่ 5% ความเครียด และ(ค) ร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดขาด

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง มอดุลัสที่ 5% ความเครียด และ ร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดขาดกับ Aspect ratio แสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีเมนต์ด้วย MAPP ให้ค่าสมบัติด้านแรงดึงต่ำกว่าคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP ในทุก ๆ ขนาดของซีเมนต์ สำหรับค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ Aspect ratio ของซีเมนต์ อย่างไรก็ตามซีเมนต์ที่มี Aspect ratio เท่ากับ 10 นั้นค่าความแข็งแรงดึงมีค่าต่ำลงเล็กน้อย ค่ามอดุลัสที่ 5% ความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อซีเมนต์มีขนาดเพิ่มขึ้น และ Aspect ratio เท่ากับ 8.1 และ 10 มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อขนาดซีเมนต์เพิ่มขึ้น



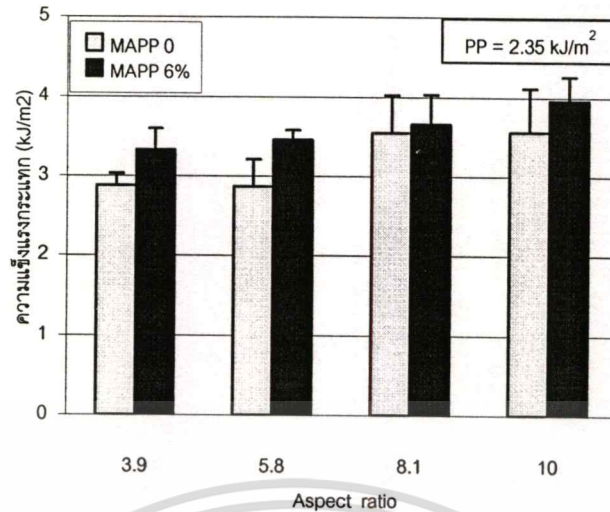
(n)



(ข)

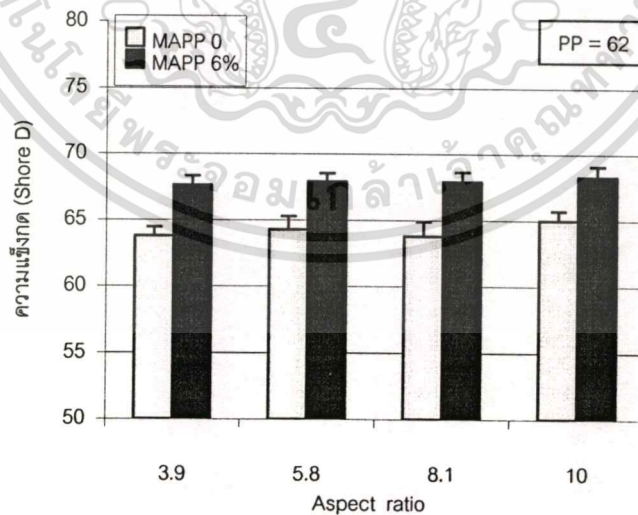
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการโค้งงอและ Aspect ratio ของซีเมนต์ (ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ

จากรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ และ Aspect ratio ของซีเมนต์ พบว่าความยาวซีเมนต์ไม่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ (รูปที่ 4.14) ทั้งคอมโพสิตที่เติมและไม่เติม MAPP นอกจากนี้คอมโพสิตที่เติม MAPP ให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอสูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและ Aspect ratio ของซีล้อย

จากความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกและ Aspect ratio ของซีล้อย (รูปที่ 4.15) พบว่า คอมโพลีเมอร์ไม่เติม MAPP ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อ Aspect ratio เพิ่มขึ้นและเริ่มมีค่าใกล้เคียงกันที่ Aspect ratio เท่ากับ 8.1 และ 10 อย่างไรก็ตามคอมโพลีเมอร์เติม MAPP ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าคอมโพลีเมอร์ที่ไม่ได้เติม MAPP และความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Aspect ratio เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและ Aspect ratio ของซีล้อย

จากรูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดและ Aspect ratio ของซีล้อย

พบว่าค่าความแข็งกดของคอมโพลีเมอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวซีล้อยด้วย MAPP มีค่าสูงกว่าคอมโพลีเมอร์ที่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวที่เสื่อ ย นอกจากนี้ค่าความแข็งกดของคอมโพสิตที่ Aspect ratio เส้นใยต่าง ๆ มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง

จากกฎของ Cox [18] กล่าวว่าที่ปลายของเส้นใยความเครียดของเส้นใยจะน้อยกว่าความเครียดของเมตริกซ์ ความเค้นเฉือนที่กระทำกับเส้นใย (Shear stress) มีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งปลายเส้นใย และมีค่าสูงสุดที่กึ่งกลางเส้นใย นอกจากนี้ความเค้นเฉือนที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคมีค่าสูงสุดที่ปลายเส้นใยและมีค่าลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ที่บริเวณกลางเส้นใย ดังนั้นบริเวณปลายเส้นใยไม่สามารถช่วยรับแรงที่เกิดจากการดึงได้มาก ประสิทธิภาพในการรับแรงจะเกิดขึ้นตามความยาวของเส้นใย คอมโพสิตจึงสามารถรับแรงดึงได้น้อยลงที่มีความยาวเส้นใยต่ำ ๆ เนื่องจากเส้นใยมีส่วนรับแรงน้อยลง ความแข็งแรงดึงและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดจึงมีค่าต่ำกว่าคอมโพสิตที่ประกอบด้วยเส้นใยที่มี Aspect ratio สูงกว่า (ผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงกระแทก) ตามที่ได้เคยกล่าวมาแล้วบริเวณที่เส้นใยติดต่อกับเมตริกซ์ที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวเป็นบริเวณที่มีการยึดเกาะต่ำเกิดรอยต่อที่ไม่สมบูรณ์ (Imperfect joints) ซึ่งเป็นรอยตำหนิเกิดขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นมากในการใช้เส้นใยที่มี Aspect ratio ต่ำ ๆ เพราะมีพื้นที่ผิว (Surface area) ที่ติดต่อกับเมตริกซ์มากกว่า จึงเกิดรอยตำหนิบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคมากกว่าการใช้เส้นใยยาว การปรับปรุงการยึดเกาะบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคจึงช่วยลดรอยตำหนิดังกล่าว ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่ Aspect ratio เท่ากับ 10 ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำลงเล็กน้อย อาจเนื่องจากเส้นใยยาวมากค่าหนึ่งอาจมีผลทำให้สายโซ่พอลิพรอพิลีนเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ความสามารถในการกระจายตัวของเส้นใยยาวอยู่ในเมตริกซ์ได้ลดลง จึงอาจมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตที่ Aspect ratio เท่ากับ 10 มีค่าต่ำลง

เส้นใยที่มี Aspect ratio มากขึ้น ทำให้ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นและใกล้เคียงกันที่ Aspect ratio เท่ากับ 8.1 และ 10 เนื่องจากความแข็งแรงของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามผลของขนาดที่เสื่อ ยมีอิทธิพลต่อค่ามอดุลัสน้อยกว่าปริมาณที่เสื่อ ย (รูปที่ 4.9)

เนื่องจากความแข็งแรงของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ Aspect ratio (พิจารณาได้จากค่ามอดุลัส) จึงสามารถต้านทานแรงกดจนเกิดความเค้นภายในวัสดุของคอมโพสิตก่อนการเสียหายได้ดีขึ้นด้วย โดยค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงพื้นผิวที่เสื่อ ยด้วย MAPP มีค่าสูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวที่เสื่อ ย

คอมโพสิตที่มีเส้นใยมี Aspect ratio สูง ๆ เส้นใยมีความยาวเพียงพอสำหรับการรับความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น โดยเมตริกซ์จะถ่ายเทความเค้นไปสู่เส้นใยตลอดตามความยาวของเส้นใย ซึ่งเส้นใยยาวมีพื้นที่ในการดูดซับพลังงานกระแทกได้มากขึ้นตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้มีค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าเส้นใยสั้น นอกจากนี้ขนาดที่เสื่อ ยไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรง เนื่องจากเป็นการทดสอบเพียงบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานคอมโพสิตเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดซีล้อยที่ Aspect ratio ต่าง ๆ กันต่อสมบัติเชิงกลของ พอลิพรอพิลีนคอมโพสิตในงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่าซีล้อยที่มี Aspect ratio เท่ากับ 8.1 และ 10 มี ค่าใกล้เคียงกันและให้สมบัติเชิงกลโดยรวมแก่คอมโพสิตดีที่สุด นอกจากนี้การปรับปรุงพื้นผิว ซีล้อยด้วยสารคู่ควบ MAPP นั้นทำให้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตสูงชันกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้ ปรับปรุงพื้นผิวซีล้อยด้วยสารคู่ควบ MAPP ในทุก ๆ Aspect ratio ของซีล้อย และในหัวข้อ 4.1.5 ได้ทำการศึกษาต่อถึงผลของการใช้สารคู่ควบผสมทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน ที่มีต่อ สมบัติเชิงกลของคอมโพสิต

4.1.5 การศึกษาผลของอัตราส่วนของสารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกัน

ในหัวข้อนี้เป็นผลการศึกษาการใช้สารคู่ควบ 2 ชนิดร่วมกันระหว่างไซเลนและ MAPP ใน สัดส่วนต่าง ๆ กันเพื่อปรับปรุงพื้นผิวซีล้อย โดยใช้ปริมาณ MAPP และไซเลน ปริมาณ 0.8% ต่อ น้ำหนักของพอลิพรอพิลีน (ในหัวข้อที่ 4.1.1) ซึ่งเป็นปริมาณสารคู่ควบที่ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดี ที่สุด ศึกษาการใช้สารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกันเพิ่มขึ้นในสัดส่วนของ MAPP+ไซเลน เพิ่มขึ้น เท่ากับ 1+1 (0.8%+0.8%) 1+2 (0.8%+1.6%) และ 2+1 (1.6%+0.8%) โดยเลือกที่จะศึกษา ซีล้อยปริมาณ 10 phr ที่ซีล้อยมี Aspect ratio เท่ากับ 8.1 (ในหัวข้อที่ 4.1.3) ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ตารางสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกัน

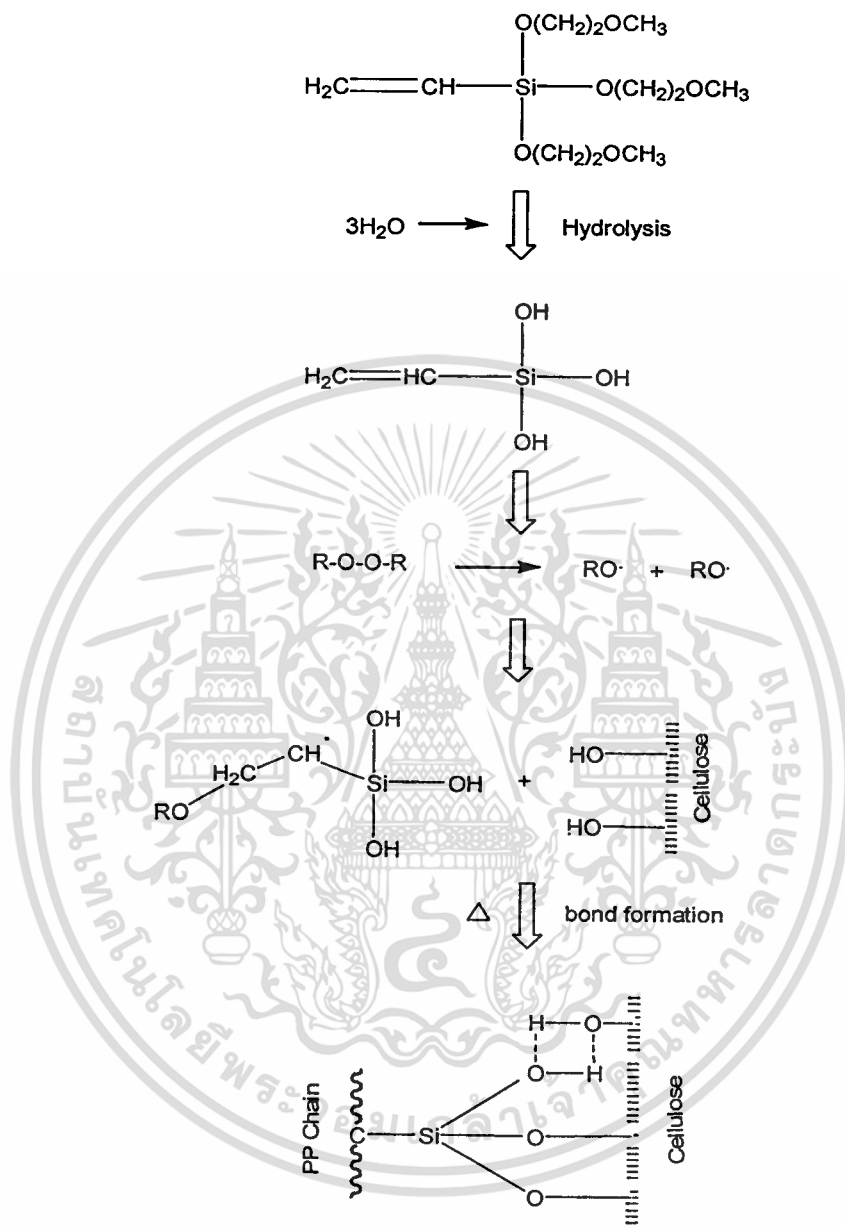
สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)	PP	PP + ซีลี้อย	สัดส่วน MAPP+ ไชเลน				
			0+1	1+0	1+1	1+2	2+1
ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Tensile strength, MPa)	26.2	24.3	26.3	26.0	27.0	27.5	28.0
มอดุลัสที่ 5% ความเครียด (Modulus at 5% strain, MPa)	360	360	385	366	401	408	429
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)	1000-1500	14.0	16.3	16.0	16.3	17.3	17.8
ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength, MPa)	47.1	44.2	49	48.2	49.6	51.7	50.1
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus, MPa)	1198	1300	1608	1356	1770	1823	1791
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength, kJ/m ²)	2.35	2.47	2.61	2.59	2.93	2.86	2.93
ความแข็งกด (Hardness, Shore D)	62.0	65.0	66.4	62.7	60.9	60.8	61.3

จากตารางที่ 4.2 ผลของการศึกษาสมบัติเชิงกลที่มีต่อคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกัน พบว่าการใช้สารคู่ควบร่วมกันให้ค่าสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ใกล้เคียงคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบชนิดเดียว ยกเว้นค่ามอดุลัสโค้งงอและความแข็งแรงกระแทกที่มีค่าสูงกว่าคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบชนิดเดียว นอกจากนี้ในสัดส่วนโดยปริมาณสารคู่ควบรวมที่เท่ากัน คือ MAPP+ไชเลน เท่ากับ 1+2 และ 2+1 นั้น พบว่าปริมาณการเติม MAPP หรือไชเลนเพิ่มขึ้นในสารคู่ควบผสมไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วน 1+1

รูปที่ 4.17 แสดงกลไกปฏิกิริยาการใช้สารคู่ควบสองชนิดร่วมกันที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ สารคู่ควบไชเลนที่ใช้คือ Vinyl-tris(2-methoxy ethoxy) silane ใช้ไดคิมิวเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ในส่วนของหมู่ไซลานอลของไชเลนและหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยไม้ นอกจากนี้โอกาสการเกิดปฏิกิริยากับ MAPP สามารถเกิดได้ 2 แบบ คือ MAPP สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไซลานอลของไชเลนได้ในส่วนที่ไชเลนไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับ

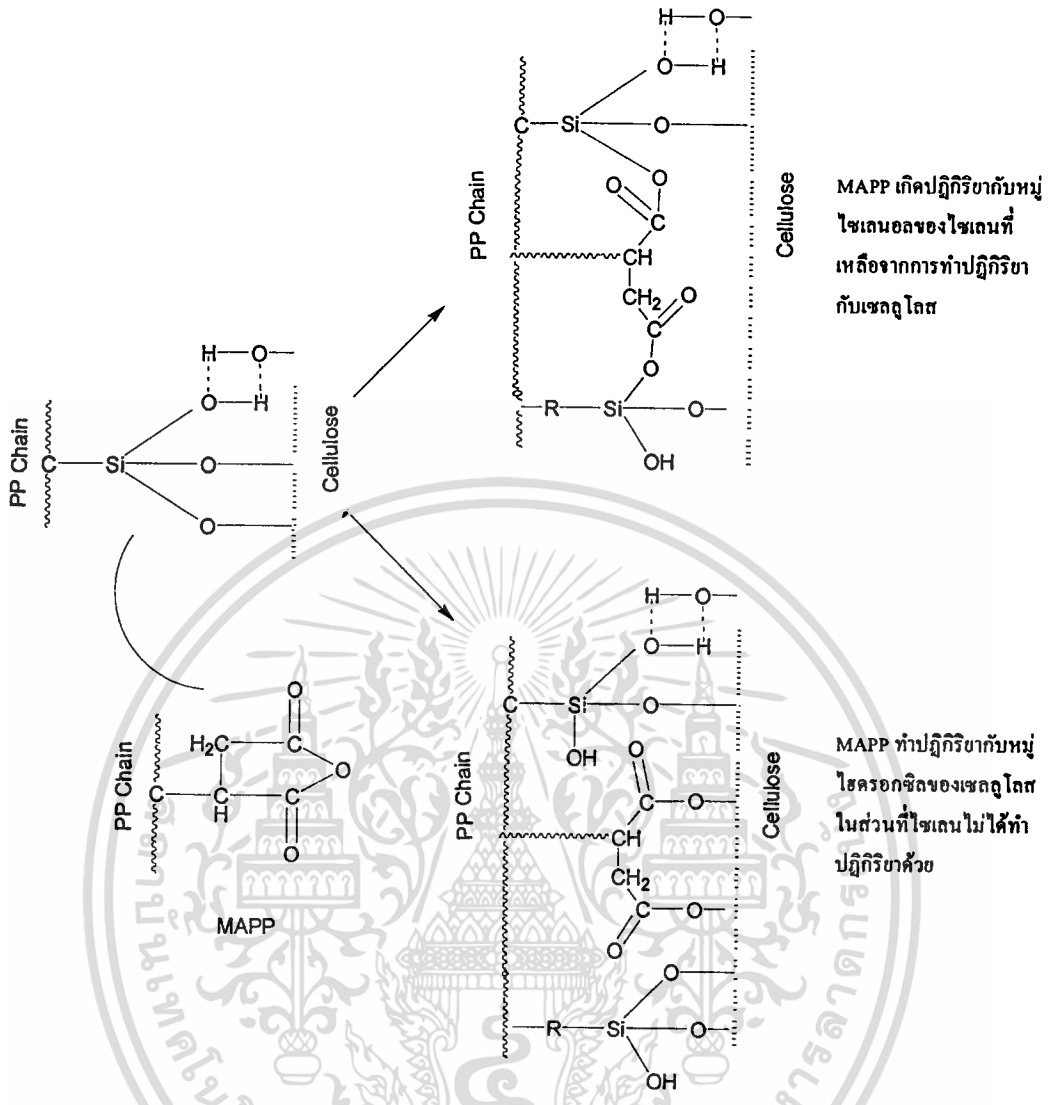
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลส และสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้ในส่วนที่ไซเลนไม่ได้เกิดปฏิกิริยาด้วยกลไกเป็นดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสำหรับคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบสองชนิดร่วมกันในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 (ต่อ) กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสำหรับคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบสองชนิดร่วมกันในงานวิจัยนี้

เนื่องจากกลไกการต่อกิ่งระหว่างพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์กับสารคู่ควบ โดยในงานวิจัยนี้โซลิตอนที่ใช้เป็นชนิด Vinyl-tris(methoxy ethoxy) silane นั้น เกิดขึ้นจากหมู่ไวนิล ($\text{CH}_2=\text{CH}-$) ที่ไม่มีขั้วสามารถเข้ากันได้กับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ เนื่องจากแรงเฉือนเชิงกลและอุณหภูมิสูงในกระบวนการอัดรีด (Extrusion process) ทำให้เริ่มเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระส่งผลให้สายโซ่พอลิพรอพิลีนเกิดการแตกออกและเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของหมู่ไวนิลของโซลิตอนทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงเชื่อมโยงพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ส่วนหมู่เมทอกซี ($\text{CH}_3\text{O}-$) ของโซลิตอนสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำเกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยไม้ได้ เป็นการเพิ่มความสามารถใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยึดเกาะระหว่างพื้นผิวโดยการเติม MAPP เข้าไปในคอมโพสิตร่วมกับไซเลนด้วยนั้นทำให้หมู่แอนไฮดรอกซิลของ MAPP สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกิ่งกับหมู่ไฮดรอกซิลของซีลเลอร์ในส่วนที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับไซเลน [45] ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเปียกพื้นผิวบนซีลเลอร์ จึงทำให้มอดุลัสโค้งงอและความแข็งแรงกระแทกดีกว่าการใช้สารคู่ควบเพียงชนิดเดียว อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ว่า MAPP อาจเกิดปฏิกิริยากับไซเลนเองได้ด้วยดังกลไกรูปที่ 4.17 จึงมีโมเลกุล MAPP ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ลดลง ซึ่งจากกลไกที่คาดว่าอาจจะเกิดขึ้นได้ทั้งสองกรณีนี้ จึงเป็นผลให้สมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบร่วมกันนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการใช้สารคู่ควบเพียงชนิดเดียว อย่างไรก็ตามผลของการเพิ่มปริมาณสัดส่วน MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+1 1+2 และ 2+1 มีค่าสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้สารคู่ควบผสมในสัดส่วน MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+1 นั้น การเข้าทำปฏิกิริยาของ MAPP และไซเลนบนพื้นผิวของซีลเลอร์อาจเพียงพอสำหรับการปรับปรุงพื้นผิวรอยต่อระหว่างวัสดุเทียบกับปริมาณซีลเลอร์และพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ของคอมโพสิตที่ใช้ จึงทำให้การเพิ่ม MAPP หรือไซเลนมีผลต่อการปรับปรุงสมบัติเชิงกลต่าง ๆ น้อยมาก

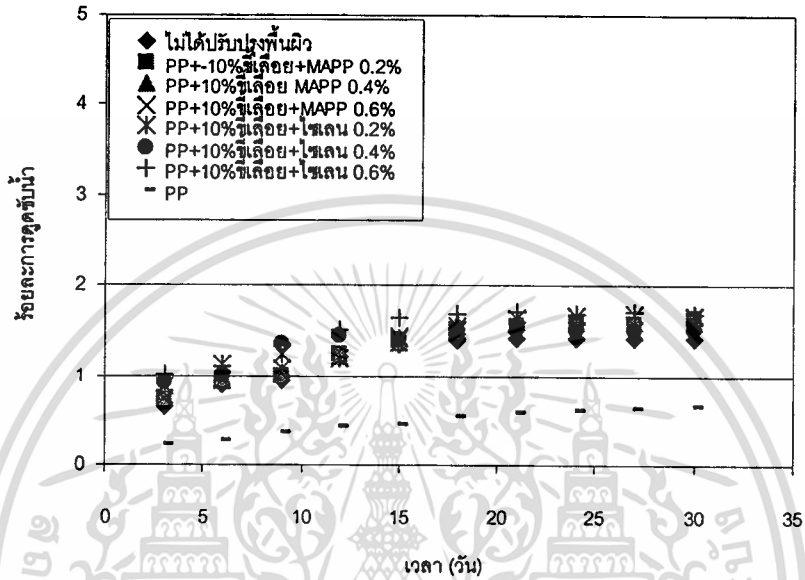
จากการศึกษาการใช้สารคู่ควบผสมระหว่างไซเลนและ MAPP เพื่อปรับปรุงพื้นผิวซีลเลอร์ในสัดส่วนต่าง ๆ กัน โดยใช้ซีลเลอร์ที่มีค่า Aspect ratio 8.1 และปริมาณเส้นใย 10 phr พบว่าสมบัติเชิงกลมีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มสูงกว่าการใช้สารคู่ควบชนิดเดียวเล็กน้อย ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่อุตสาหกรรมแล้วพบว่าสัดส่วน MAPP+ไซเลน ที่เหมาะสมที่สุด คือ 1+1 เนื่องจากให้สมบัติเชิงกลใกล้เคียงกันกับสัดส่วนอื่น ๆ แต่ช่วยลดต้นทุนการผลิตได้มากกว่าเนื่องจากใช้สารคู่ควบไซเลนที่มีราคาแพงในปริมาณที่น้อยกว่า

สำหรับการศึกษาการใช้สารคู่ควบ MAPP และไซเลน เพื่อปรับปรุงพื้นผิวซีลเลอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ กัน โดยใช้ซีลเลอร์ที่มีค่า Aspect ratio 8.1 และปริมาณซีลเลอร์ 10 phr พบว่าการใช้ปริมาณสารคู่ควบไซเลนเท่ากับ 8% และ MAPP เท่ากับ 10% ให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด โดยไซเลนช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลได้ดีกว่า MAPP และการเพิ่มปริมาณ MAPP มากขึ้น (ในหัวข้อ 4.1.2) ยิ่งให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นมากอีกด้วย นอกจากนี้การใช้ปริมาณซีลเลอร์ 20 phr และซีลเลอร์ที่มี Aspect ratio 8.1 ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมแก่คอมโพสิตดีที่สุด การใช้สารคู่ควบผสมที่สัดส่วน MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+1 มีความเหมาะสมมากที่สุด นอกจากการศึกษสมบัติเชิงกลแล้วในหัวข้อถัดไปจะเกี่ยวข้องกับสมบัติทางความร้อนของคอมโพสิต

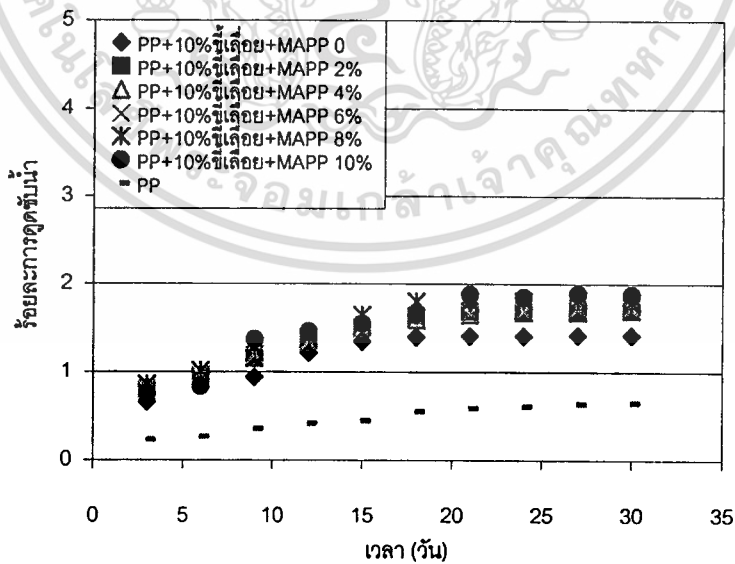
4.2 สมบัติทางกายภาพ

4.2.1 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารคู่ควบ

การศึกษาผลของสารคู่ควบไซเลนและ MAPP รวมถึงปริมาณ MAPP ที่มีต่อร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิต ที่ปริมาณซีลี้อย 10 phr และซีลี้อยมี Aspect ratio เท่ากับ 8.1 ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.18 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิตเมื่อเติม MAPP หรือไซเลนในปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 4.19 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิตเมื่อเติม MAPP ปริมาณเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

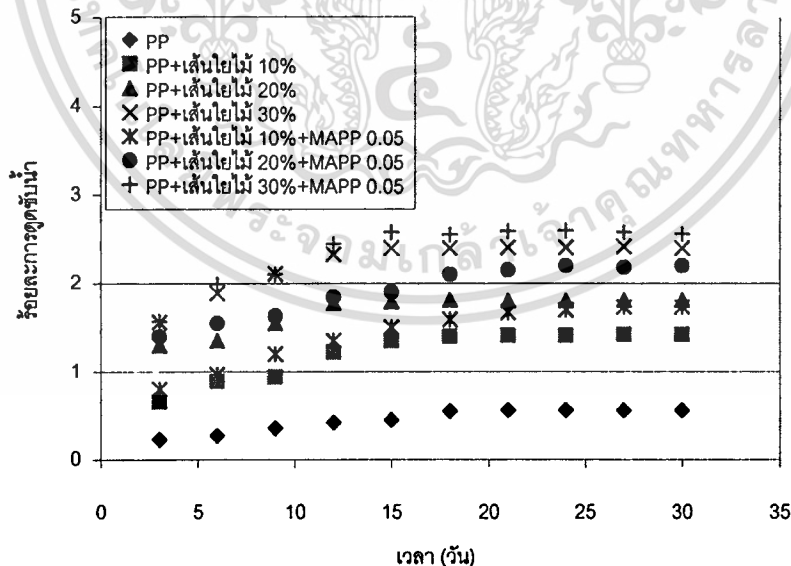
รูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อเวลามากขึ้นทำให้ทุกชิ้นงานคอมโพสิตมีการดูดซับน้ำมากขึ้น สำหรับคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีล้อยมีการดูดซับน้ำสูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีล้อยเล็กน้อย โดยพบว่าแนวโน้มการดูดซับน้ำเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบมากขึ้น

การเติมซีล้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวลงในเมตริกซ์ทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำสูงกว่าพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์เพราะหมู่ไฮดรอกซิลของซีล้อยที่มีความมีชีวิตสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลน้ำได้ทำให้ค่าการดูดซับน้ำจึงมีค่าสูงกว่า (เช่นเดียวกับผลของปริมาณซีล้อยที่ทำให้การดูดซับน้ำสูงขึ้น ในหัวข้อ 4.1.3) นอกจากนี้การใช้สารคู่ควบมีผลน้อยมากต่อค่าการดูดซับน้ำ อาจเนื่องจากปริมาณสารคู่ควบที่ใช้น้อย ทำให้ผลการดูดซับน้ำไม่เด่นชัดนัก

จากรูปที่ 4.19 พบว่าเมื่อเติม MAPP ที่ปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำมีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าร้อยละการดูดซับน้ำไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อปริมาณ MAPP เพิ่มขึ้น

4.2.2 การศึกษาผลของปริมาณซีล้อย

ผลของปริมาณซีล้อยต่อร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิต โดยใช้ปริมาณซีล้อยต่าง ๆ และใช้ซีล้อยที่มี Aspect ratio เท่ากับ 8.1 (หัวข้อ 4.1.4) ซึ่งปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีล้อยด้วย MAPP 6% (หัวข้อ 4.1.2) ได้ผลการทดลองดังนี้



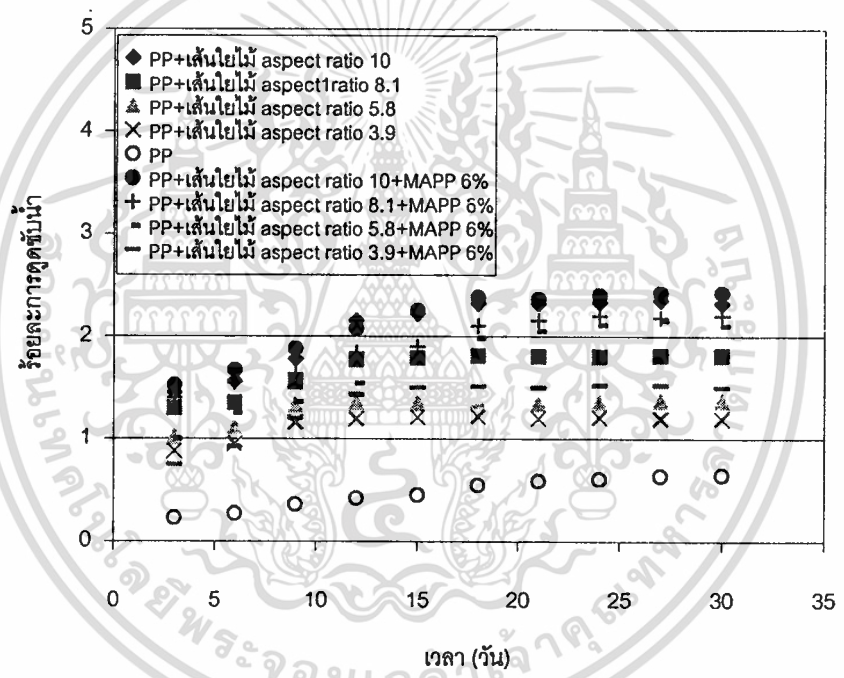
รูปที่ 4.20 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิตที่ปริมาณซีล้อยต่าง ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำและเวลา เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีล้อยด้วย MAPP พบว่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยไม้เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลสทำให้เกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลน้ำได้มากขึ้นเมื่อเวลาให้เวลาในการดูดซับน้ำมากขึ้น คอมโพสิตที่เติมเส้นใยไม้ในปริมาณมากขึ้นจึงสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น

4.2.3 ศึกษาผลของขนาดซีลี้อยที่มี Aspect ratio ต่าง ๆ

การศึกษามผลของขนาดซีลี้อยที่มีต่อร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิต โดยใช้ซีลี้อยที่ Aspect ratio ต่าง ๆ ที่ปริมาณซีลี้อย 20 phr (จากหัวข้อ 4.1.3) โดยทำการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วย MAPP ปริมาณ 6% เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสมให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด (หัวข้อ 4.1.2) ให้ผลการทดลองดังนี้

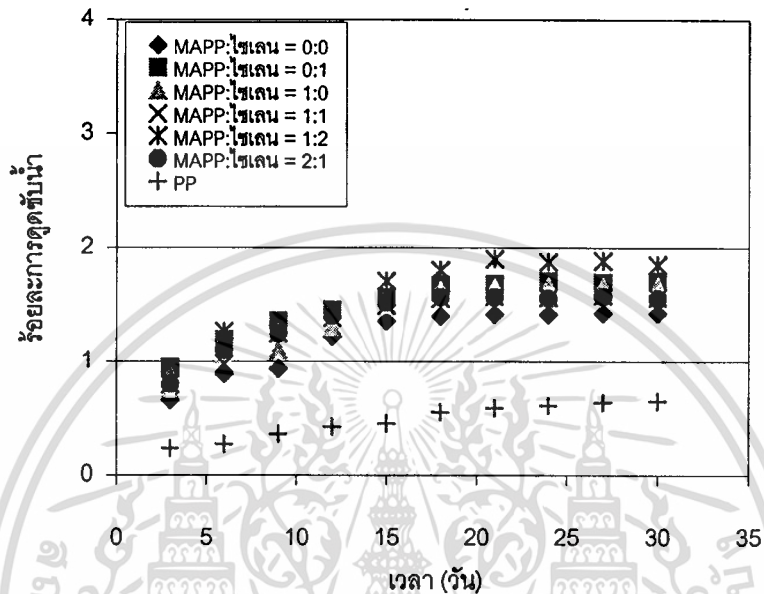


รูปที่ 4.21 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำเมื่อเติมซีลี้อยที่มี Aspect ratio ต่าง ๆ

พบว่าเมื่อให้เวลาในการดูดซับน้ำมากขึ้นซีลี้อยที่มี Aspect ratio มากกว่ามีค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงกว่าซีลี้อยที่มี Aspect ratio น้อยกว่า เพราะเส้นใยไม้ที่ยาวนั้นมีโมเลกุลเซลลูโลสที่สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าเส้นใยสั้น และการเติม MAPP ทำให้คอมโพสิตดูดซับน้ำได้ดีขึ้นเล็กน้อย

4.2.4 ผลของการใช้ MAPP ร่วมกับไซเลน

การศึกษาสัดส่วนของ MAPP+ไซเลนต่าง ๆ ต่อร้อยละการดูดซับน้ำ โดยให้ปริมาณไซเลน และ MAPP 0.8% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน (ในหัวข้อที่ 4.1.1) โดยเลือกที่จะศึกษาปริมาณซีลี้อย 10 phr ซีลี้อยมี Aspect ratio เท่ากับ 8.1 (หัวข้อที่ 4.1.4) ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.22 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำเมื่อใช้สารคู่ควบผสมร่วมกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำและเวลาในการแช่ชิ้นงานคอมโพสิต แสดงในรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อเวลาในการแช่ชิ้นงานมากขึ้นทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำของคอมโพสิตที่เติมและไม่เติมสารคู่ควบเพิ่มขึ้น และเริ่มอิ่มตัวครั้งที่เวลา 20 วัน นอกจากนี้การใช้สารคู่ควบร่วมกันให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันกับการใช้สารคู่ควบชนิดเดียว ผลคล้ายคลึงกับสมบัติเชิงกล

4.3 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตในงานวิจัยนี้ ได้มีการศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. อุณหภูมิการเสียรูปของคอมโพสิตโดยใช้เครื่อง Heat distortion tester (HDT)
2. อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, T_m) และอุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature, T_c) ของคอมโพสิตโดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

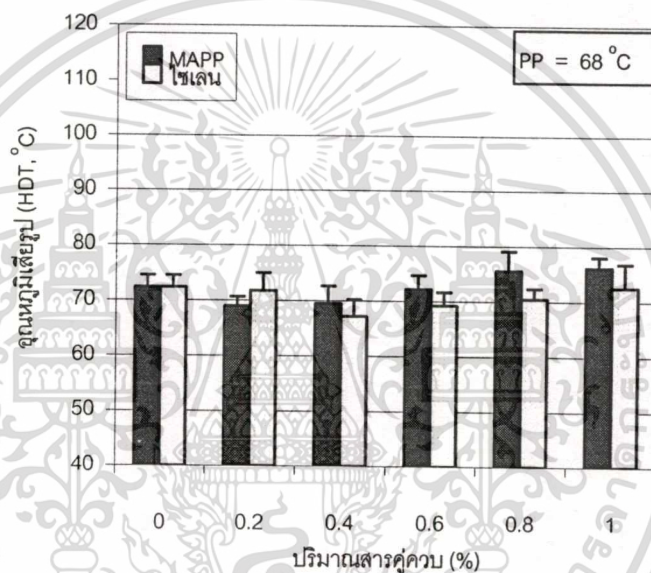
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 อุณหภูมิการเสียรูป

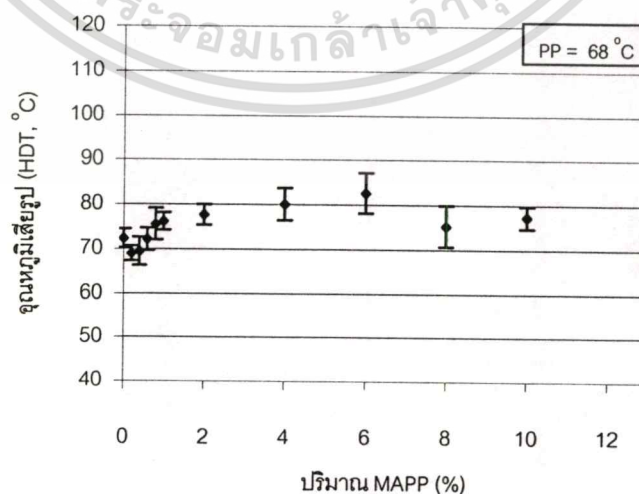
อุณหภูมิการเสียรูป (Heat distortion temperature, HDT) เป็นการพิจารณาสมบัติทางความร้อนของคอมโพสิตวิธีหนึ่งโดยเป็นค่าที่บอกถึงอุณหภูมิที่ทำให้คอมโพสิตเกิดการเสียรูปไป 0.26 มิลลิเมตร [41] เมื่อได้รับความร้อน โดยสภาวะที่ใช้สำหรับคอมโพสิตที่มีค่าอุณหภูมิการเสียรูปสูง แสดงว่าคอมโพสิตนั้น ๆ สามารถทนการเสียรูปที่อุณหภูมิสูง

4.3.1.1 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารคู่ควบ

การศึกษาผลของสารคู่ควบไซเลนและ MAPP รวมถึงปริมาณ MAPP ที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของคอมโพสิต ที่ปริมาณซีลี้อย 10 phr และซีลี้อยมี Aspect ratio เท่ากับ 8.1 ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสียรูปและปริมาณสารคู่ควบ



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสียรูปและปริมาณ MAPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

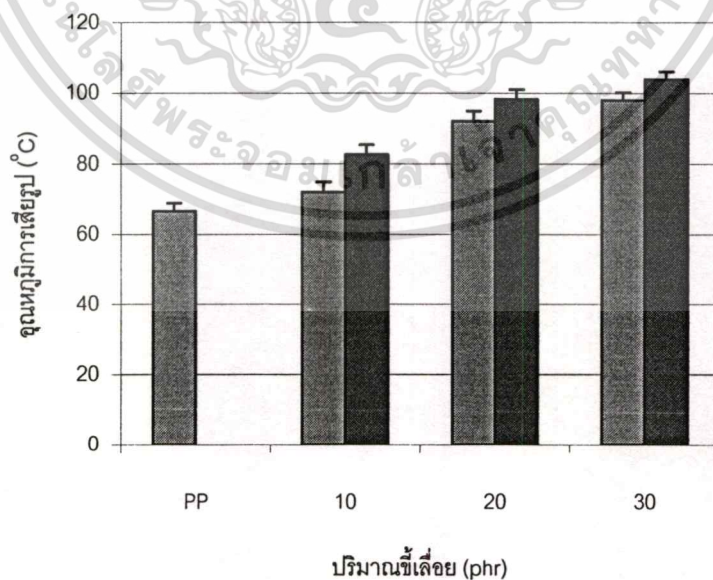
จากรูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสีรูปและปริมาณสารคู่ควบพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบไซเลนและ MAPP ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการเสีรูปเท่าใดนัก อย่างไรก็ตามการเติมซีลี้อยมีผลทำให้อุณหภูมิการเสีรูปของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์เพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 4.24 พบว่าคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP ในปริมาณมากขึ้น ให้ค่าอุณหภูมิการเสีรูปสูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยและพอลิพรอพิลีน

เมื่อปริมาณสารคู่ควบ MAPP ที่เติมลงในคอมโพสิตเพิ่มขึ้น ทำให้การยึดเกาะระหว่างพื้นผิวรอยต่อของสองวัสดุภาคเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงเชื่อมระหว่างรอยต่อลดช่องว่างที่ทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของคอมโพสิต ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่ชิ้นงานคอมโพสิตทำให้ชิ้นงานมีด้านทานการเสีสภาพได้มากขึ้น

อุณหภูมิการเสีรูปที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ MAPP และมีค่าเริ่มลดลงที่ปริมาณ MAPP 8% สอดคล้องกับสมบัติเชิงกล (ในหัวข้อที่ 4.1.2) เมื่อมีการใช้สารคู่ควบทำให้เกิดการด้านทานแรงดึงหรือแรงกดบนชิ้นงานคอมโพสิตมากขึ้น โดยการเติม MAPP มากขึ้น อาจทำให้เกิดการแยกวัสดุภาคของ MAPP ที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยาจึงทำให้อุณหภูมิการเสีรูปจึงมีแนวโน้มลดลง

4.3.1.2 ศึกษาผลของปริมาณซีลี้อย

การศึกษาค่าอิทธิพลของปริมาณซีลี้อยที่มีต่ออุณหภูมิการเสีรูปของคอมโพสิต โดยใช้ปริมาณซีลี้อยต่าง ๆ ใช้ซีลี้อยที่มี Aspect ratio เท่ากับ 8.6 (หัวข้อ 4.1.4) ซึ่งปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วย MAPP 6% (หัวข้อ 4.1.2) ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสีรูปและปริมาณซีลี้อย

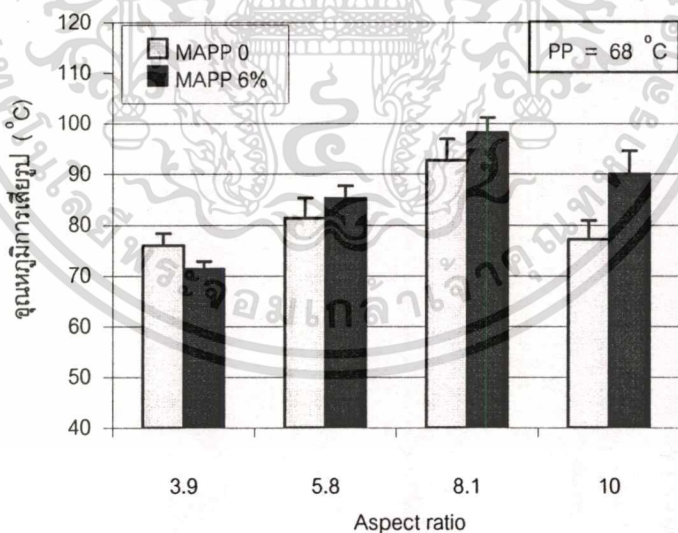
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสียรูปและปริมาณซีลี้อย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยค่าอุณหภูมิการเสียรูปของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นทั้งที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP อย่างไรก็ตามคอมโพสิตที่เติม MAPP ให้ค่าอุณหภูมิการเสียรูปสูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP

เส้นใยไม่มีความแข็งแรงเนื่องจากโครงสร้างของเซลลูโลส และมีพันธะไฮโดรเจนเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลรวมถึงวงแหวนเบนซีนในโครงสร้างของลิกนิน ทำให้เส้นใยไม่ทนความร้อนได้สูง พิจารณาได้จากอุณหภูมิหลอมเหลวของเส้นใยไม่มีค่า 435 องศาเซลเซียส [8] ดังนั้นเมื่อเติมซีลี้อยลงในพอลิพรอพิลีนจึงทำให้คอมโพสิตมีค่าอุณหภูมิการเสียรูปสูงกว่าพอลิพรอพิลีน การเติมซีลี้อยในปริมาณมากเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้คอมโพสิต ทำให้คอมโพสิตมีอุณหภูมิการเสียรูปสูงกว่าคอมโพสิตที่มีซีลี้อยปริมาณน้อย

4.3.1.3 ศึกษาผลของขนาดซีลี้อยที่มี Aspect ratio ต่าง ๆ

การศึกษามูลของขนาดซีลี้อยที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของคอมโพสิต โดยใช้ซีลี้อยที่ Aspect ratio ต่าง ๆ ที่ปริมาณซีลี้อย 20 phr (จากหัวข้อ 4.1.3) โดยทำการปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วย MAPP ปริมาณ 6% เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสมให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด (หัวข้อ 4.1.2) ให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสียรูปและ Aspect ratio ของซีลี้อย

จากรูป 4.26 พบว่าเมื่อ Aspect ratio ของซีลี้อยเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิการเสียรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงที่ Aspect ratio เท่ากับ 10 นอกจากนี้คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อย

ด้วย MAPP ให้ค่าอุณหภูมิการเสียรูปสูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวที่เลื่อยและพอลิ-
พรอพิลีนเมตริกซ์

การเติมซีลี้อยที่มี Aspect ratio มากกว่าทำให้ทนทานต่อการเสียรูปได้มากกว่าคอมโพ-
สิตที่เติมซีลี้อยที่มี Aspect ratio ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากความแข็งแรงของโครงสร้างของเส้นใยไม้
ทำให้ทนต่อความร้อนได้ดี เมื่อให้ความร้อนเส้นใยไม้สามารถทนการรับแรงตลอดความยาวของ
เส้นใยได้มากขึ้น หากเส้นใยมีความยาวมากเพียงพอหรือมี Aspect ratio สูง ๆ แต่อาจมีผลของ
การกระจายตัวของเส้นใยยาวที่มีพื้นที่ผิวต่ำกว่าเส้นใยสั้นที่มีพื้นที่ผิวสูงกว่า ดังนั้น
ความสามารถในการรับแรงของเส้นใยเมื่อได้รับความร้อนต่ำลง อุณหภูมิการเสียรูปของ Aspect
ratio เท่ากับ 10 จึงมีค่าต่ำลง นอกจากนี้การปรับปรุงพื้นผิวที่เลื่อยด้วย MAPP เป็นการเพิ่มความ
แข็งแรงระหว่างพื้นผิวของสองวัสดุ พันธะเอสเทอร์และการพันกันเชิงกลของ MAPP กับพอลิ-
พรอพิลีนและซีลี้อยที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวช่วยในการถ่ายเทแรงกดจากเมตริกซ์สู่เส้นใยเมื่อได้รับ
ความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิการเสียรูปของคอมโพสิตที่เติม MAPP มีค่ามากกว่าคอมโพสิตที่
ไม่ได้เติม MAPP

4.3.1.4 ศึกษาผลของการใช้ MAPP ร่วมกับไซเลน

การศึกษาการใช้ MAPP ร่วมกับไซเลนเพิ่มขึ้นที่สัดส่วน MAPP+ไซเลนต่าง ๆ ที่มีผลต่อ
อุณหภูมิการเสียรูป โดยให้ปริมาณไซเลนและ MAPP 0.8% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน (ในหัวข้อ
ที่ 4.1.1) โดยเลือกที่จะศึกษาปริมาณซีลี้อย 10 phr ซีลี้อยมี Aspect-ratio เท่ากับ 8.1 (หัวข้อ
ที่ 4.1.4) ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิการเสียรูปของคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบผสม

สมบัติทางความร้อน	PP	MAPP+ไซเลน				
		0+1	1+0	1+1	1+2	2+1
อุณหภูมิการเสียรูป (Heat distortion temperature, °C)	67 ±1.9	70 ±1.2	76 ±2.3	68 ±4.2	68 ±3.1	72 ±2.0

จากตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเสียรูปและสัดส่วนของ MAPP+
ไซเลน พบว่าเมื่อปรับปรุงพื้นผิวที่เลื่อยด้วยสารคู่ควบสองชนิดร่วมกันค่าอุณหภูมิการเสียรูปมีค่า
ใกล้เคียงกัน (ผลสอดคล้องกับสมบัติเชิงกล) กับการใช้สารคู่ควบชนิดเดียว และมีค่าต่ำกว่าการใช้
MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+0

จากผลการทดลองแสดงว่าการเติมไซเลนมีผลต่อสมบัติทางความร้อน ซึ่งคาดว่าโอกาส

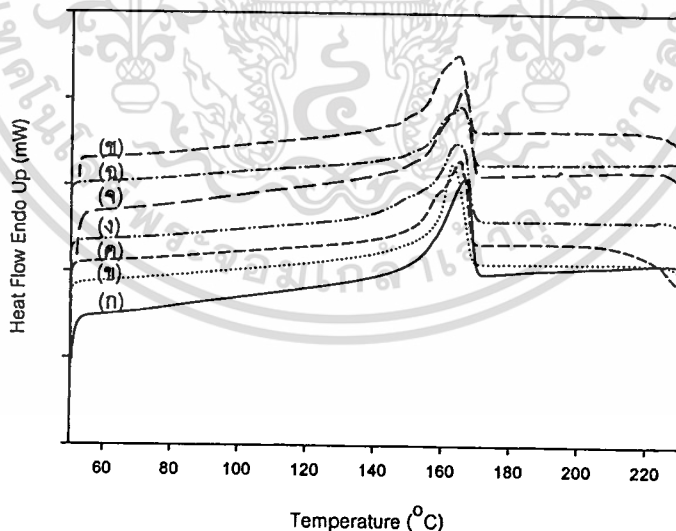
ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารคู่ควบทั้งสองชนิดกับพอลิพรอพิลีนและซีลี้อยนั้น MAPP อาจทำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยากันเองกับไซเลนมากกว่าจะทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยากับไซเลน เนื่องจากการที่ MAPP เกิดปฏิกิริยากับไซเลนเองนั้น อาจทำให้เหลือไซเลนที่ทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสน้อยลง ดังนั้นบริเวณที่เซลลูโลสไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับสารคู่ควบ MAPP หรือไซเลน อาจทำให้สายโซ่โมเลกุลพอลิพรอพิลีนสามารถเคลื่อนที่ออกจากกันได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกด อุณหภูมิ การเสียรูปจึงมีค่าต่ำกว่าการใช้สารคู่ควบ MAPP เพียงชนิดเดียว

4.3.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว

การศึกษาอุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, T_m) ทำได้โดยการใช้เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ในการทดสอบจะศึกษาช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 50-250 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยได้พิจารณาผลของสารคู่ควบที่ปริมาณสารคู่ควบเท่ากัน คือ 0.8% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน และมีซีลี้อยปริมาณ 10 phr

ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก โดยเฉพาะปัจจัยทางโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) องศาความเป็นกิ่ง (Degree of branching) องค์ประกอบของอะตอมในสายโซ่หลัก หรือความแข็งของสายโซ่ (Chain stiffness) พันธะระหว่างสายโซ่ (Intermolecular interaction) และชนิดและหมู่ข้างเคียง (Type and size of side groups) [46]



รูปที่ 4.27 อุณหภูมิหลอมเหลวของคอมโพลีเมอร์ที่ใช้สารคู่ควบต่างชนิดกัน โดย (ก) พอลิพรอพิลีน เมตริกซ์ (ข) คอมโพลีเมอร์ที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว (ค) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ MAPP 8% ต่อน้ำหนักซีลี้อย (ง) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ไซเลน 8% ต่อน้ำหนักซีลี้อย (จ) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ MAPP:ไซเลน เท่ากับ 1:2 (ฉ) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ MAPP:ไซเลน เท่ากับ 1:1 และ (ช) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ MAPP:ไซเลน เท่ากับ 2:1

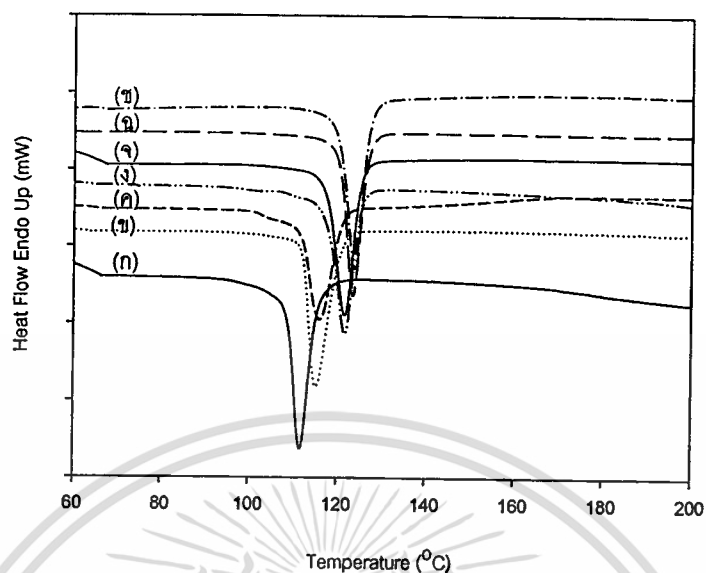
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของคอมโพลีเมอร์

ชนิดของคอมโพลีเมอร์	อุณหภูมิการหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)
(ก) พอลิพรอพิลีน	167
(ข) คอมโพลีเมอร์ที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว	163
(ค) ผสมสารคู่ควบ MAPP 0.8% น้ำหนัก PP	165
(ง) ผสมสารคู่ควบไซเลน 0.8% น้ำหนัก PP	165
(จ) ผสมสารคู่ควบ MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+2	166
(ฉ) ผสมสารคู่ควบ MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+1	165
(ช) ผสมสารคู่ควบ MAPP+ไซเลน เท่ากับ 2+1	164

เนื่องจากพอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึกจึงมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและอสัณฐาน โดยในโครงสร้างผลึกสายโซ่โมเลกุลจะมีการจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบ จากรูปที่ 4.27 และตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเติมซีลี้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวลงในเมตริกซ์ทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์มีค่าลดลง เนื่องจากการเติมซีลี้อยที่เป็นของแข็งนั้นซีลี้อยจะแทรกกระจายตัวอยู่กับสายโซ่พอลิพรอพิลีนไปขัดขวางการเติบโตหรือขยายตัวของผลึกพอลิพรอพิลีน ทำให้ความสมบูรณ์ของผลึกลดลง ดังนั้นอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกของคอมโพลีเมอร์ที่เติมซีลี้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวจึงต่ำกว่าพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ จากรูป 4.27 (ค)-4.27 (ช) เป็นคอมโพลีเมอร์ที่มีการเติมสารคู่ควบจะสังเกตเห็นไหล่ที่ก่เกิดขึ้นซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากสารคู่ควบที่เติมลงไปในระบบ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าสารคู่ควบไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกของคอมโพลีเมอร์ที่สัดส่วนต่าง ๆ

4.3.3 อุณหภูมิการเกิดผลึก



รูปที่ 4.28 อุณหภูมิการเกิดผลึกของคอมโพลีเมอร์ที่ชนิดของสารคู่ควบต่างกันโดย (ก) พอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ (ข) คอมโพลีเมอร์ที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว (ค) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ MAPP 8% ต่อน้ำหนักซีลีย์ (ง) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ไซเลน 8% ต่อน้ำหนักซีลีย์ (จ) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+2 (ฉ) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+1 และ (ช) คอมโพลีเมอร์ที่ใช้ MAPP+ไซเลน เท่ากับ 2+1

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปีและองค์ประกอบผลึก (% Crystallinity) ของคอมโพลีเมอร์

ชนิดของคอมโพลีเมอร์	T_c (°C)	ΔH_f (J/g)	% Crystallinity
(ก) พอลิพรอพิลีน	112	81	49
(ข) คอมโพลีเมอร์ที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว	115	73	40
(ค) ผสมสารคู่ควบ MAPP 0.8% น้ำหนัก PP	116	74	40
(ง) ผสมสารคู่ควบไซเลน 0.8% น้ำหนัก PP	121	70	38
(จ) ผสมสารคู่ควบ MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+2	122	75	40
(ฉ) ผสมสารคู่ควบ MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+1	124	76	41
(ช) ผสมสารคู่ควบ MAPP+ไซเลน เท่ากับ 2+1	124	81	44

อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature, T_c) เป็นอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ของพอลิเมอร์เมื่อทำการลดอุณหภูมิแก่ตัวอย่างนั้นเป็นการลดพลังงานจลน์ทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ช้าลงจนเกิดการรวมตัวกันเป็นผลึกได้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเย็นลงเกินไปจะเกิดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ช้าลงจนไม่สามารถรวมตัวกันเป็นผลึกได้ การเลือกอุณหภูมิการเกิดผลึกที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตพลาสติก เพราะการเลือกอุณหภูมิการเกิดผลึกที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ได้พลาสติกที่มีสมบัติไม่ตรงตามที่ต้องการได้

การเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิพรอพิลีนลดลงจึงเริ่มเกิดนิวเคลียสที่เสถียรที่อุณหภูมิการเกิดผลึกดังกล่าว โดยจากผลการศึกษาพบว่า การเติมซีลี้อยลงในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ทำให้อุณหภูมิการเกิดผลึกของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการเติมซีลี้อยลงในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์นั้น ทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิพรอพิลีนเป็นไปได้ยากขึ้นจึงมีโอกาสเริ่มเกิดนิวเคลียสที่เสถียรได้เร็วขึ้นหรืออุณหภูมิการเกิดผลึกสูงขึ้นทำให้เมตริกซ์ที่เติมซีลี้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวมีค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกสูงกว่าพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์

นอกจากนี้ อุณหภูมิการเกิดผลึกจะสูงขึ้นเมื่อปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยไซเลนและ MAPP ทั้งนี้อาจเนื่องจากโครงสร้างของสารคู่ควบนั้นมีส่วนหนึ่งที่มีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายคลึงกับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์และซีลี้อย ทำให้โอกาสการเกิดนิวเคลียสของพอลิพรอพิลีนบนพื้นผิวของซีลี้อยมีง่ายขึ้น อุณหภูมิการเกิดผลึกจึงสูงขึ้น

ถึงแม้ว่าสามารถเกิดผลึกเล็ก ๆ ขึ้นแบบตั้งฉาก (Transcrystallization) [46] ที่บริเวณพื้นผิวของซีลี้อยได้ แต่ผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กไม่สามารถขยายตัวเป็นผลึกที่สมบูรณ์ได้ จึงเกิดเป็นจุดผลึกเล็ก ๆ ขึ้นกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้ปริมาณผลึกโดยรวมทั้งหมดของคอมโพสิตที่เติมซีลี้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวน้อยกว่าพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ จึงทำให้องศาความเป็นผลึกต่ำกว่า และปริมาณสารคู่ควบไม่มีผลต่อองศาการเป็นผลึกเนื่องจากใช้ปริมาณสารคู่ควบน้อย

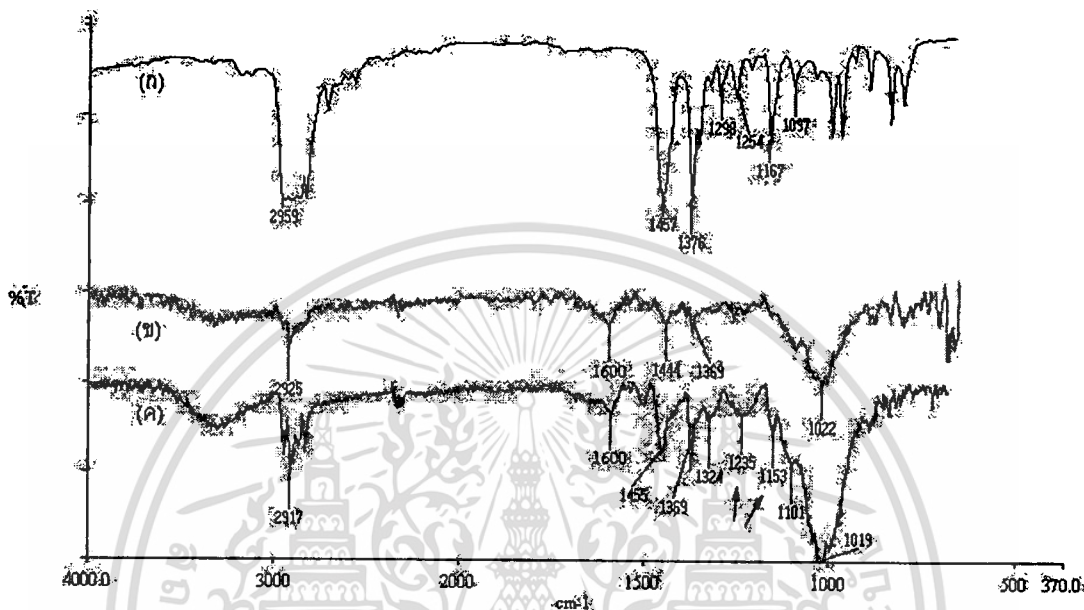
จากการศึกษาผลทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DSC เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และองศาการเป็นผลึกนั้น พบว่าการเติมซีลี้อยในเมตริกซ์ทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวต่ำกว่าเมตริกซ์ และมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเติมสารคู่ควบ นอกจากนี้ซีลี้อยทำให้เกิดผลึกได้ง่ายขึ้นอุณหภูมิการเกิดผลึกจึงเพิ่มขึ้น แต่ความสมบูรณ์ของผลึกและปริมาณผลึกลดลงทำให้องศาความเป็นเกิดผลึกต่ำลง และองศาความเป็นผลึกมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเติมสารคู่ควบ

4.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีบนพื้นผิวซีลี้อยทำได้โดยการใช้เครื่อง Fourier transform-infrared spectrometer โดยพิจารณาจากคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนและ MAPP ที่ร้อยละต่อน้ำหนักซีลี้อยเท่ากัน และคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกันที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์และคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อย

4.4.1 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน 0.8% ต่อ น้ำหนักพอลิพรอพิลีน ที่ปริมาณซีลี่ย 10 phr และซีลี่ยมี Aspect ratio 8.1 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน

(ก) พอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ (ข) คอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลี่ย

(ค) คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลี่ยด้วยไซเลน

จากรูปที่ 4.29 แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของพอลิพรอพิลีนและคอมโพสิตที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลี่ยด้วยสารคู่ควบไซเลนในช่วงเลขคลื่น 4000-650 cm^{-1} จากรูปจะพบพีกอินฟราเรดสเปกตรัมช่วง 3100-2600 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH-Stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของสายโซ่พอลิพรอพิลีนในคอมโพสิต [29,31,47] แถบพีกช่วง 1400-1300 cm^{-1} เป็นลักษณะการเปลี่ยนรูป (Deformation) ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของพอลิพรอพิลีนและเส้นใยไม้ นอกจากนี้รูปที่ 4.24 (ข) และ 4.24 (ค) พบว่าช่วง 1300-1000 cm^{-1} เป็นช่วงพีกของ C-O Stretching, C-O-C Stretching และ OH- Deformation ของโครงสร้างเซลลูโลสในคอมโพสิต [29,31] สำหรับวงแหวนอะโรมาติกในโครงสร้างของลิกนินของเส้นใยเซลลูโลสนั้นเกิดขึ้นที่พีกของ 679, 802, 884 cm^{-1} นอกจากนี้ยังมีพีกการยึดตัวของวงแหวนอะโรมาติกเป็นพีกใหญ่ในช่วง 1650-1450 cm^{-1} [47] ในที่นี้คือพีกที่ 1600 cm^{-1} นอกจากนี้จาก

การรายงานในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [31] นั้นพบว่าที่ตำแหน่งพีกที่ประมาณ 1750-1700 cm^{-1} ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาใบเซอร์เบียบยื่นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นลักษณะของคาร์บอนิล (C=O Stretching) อาจเป็นสเปกตรัมของหมู่อะซิติกในเฮมิเซลลูโลส หรือหมู่คาร์บอกซิลในเฮมิเซลลูโลสหรือลิกนินในโครงสร้างของเส้นใยไม้ ซึ่งในสเปกตรัมที่พบจะมี พิกที่ค่อนข้างกว้างในช่วง $1650-1720\text{ cm}^{-1}$

สำหรับคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวที่เคลือบด้วยสารคู่ควบไซเลนนั้น จากรูปที่ 4.29 (ค) พบ พิกที่สำคัญที่ 1153 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของพอลิไซลอคเซน (Si-O-Si) และ Si-O-C_{cel} [32,47] ที่ เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่ไซลอคเซนของสารคู่ควบไซเลนและเซลลูโลสของซีลีย์ นอกจากนี้ยังพบพิกที่ประมาณ $1200-1280\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะของ Si-CH₃ [47] อีกด้วย

ตำแหน่งของสเปกตรัมที่สำคัญของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย สารคู่ควบไซเลนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ ไซเลน

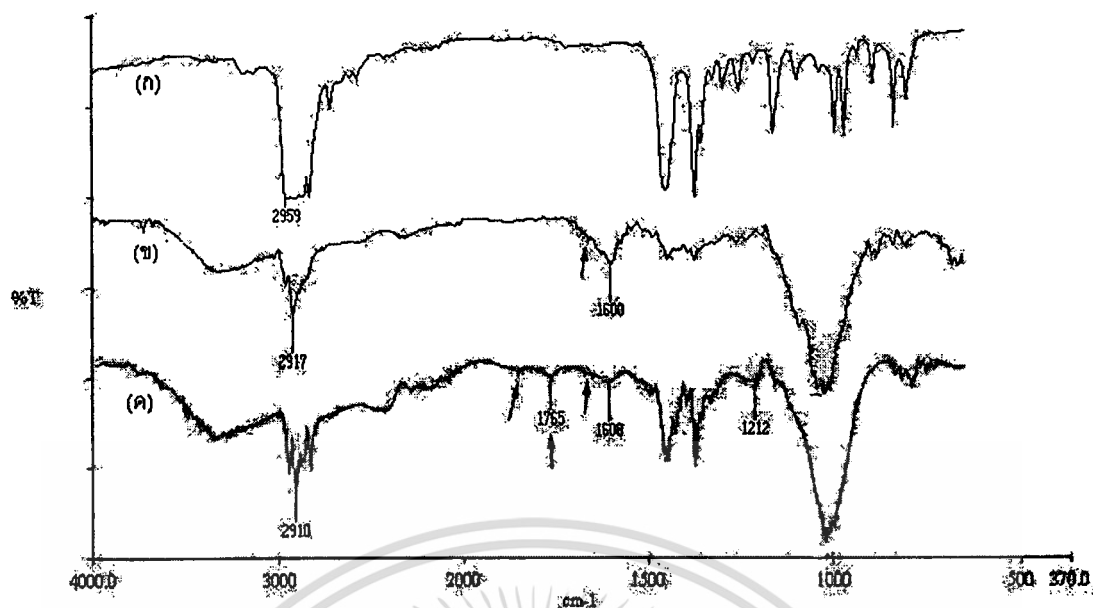
ตำแหน่งพิก (cm^{-1})	ลักษณะการสั่น	เอกสารอ้างอิง
3100-2600	CH-Stretching ของ CH ₂ และ/หรือ CH ₃	29,31,47
1750-1700	C=O Stretching ของคาร์บอนิล	31
1650-1450	วงแหวนอะโรมาติก	47
1400-1300	CH-Deformation ของ CH ₂ และ/หรือ CH ₃	29,31,47
1300-1000	C-O Stretching	29,31
1153	Si-O-Si และ Si-O-C _{cel}	32,47
1200-1280	Si-CH ₃	29,47

จากผลของอินฟราเรดสเปกตรัมพบว่าสารคู่ควบไซเลนสามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง ระหว่างหมู่ไซลันอลของสารคู่ควบไซเลนและหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของเส้นใยเกิดเป็นพอลิ- ไซลอคเซนขึ้นช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์ ซึ่งจะสอดคล้อง กับผลการทดลองหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ในการช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน ของคอมโพสิตได้

4.4.2 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ MAPP

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ MAPP 0.8%ต่อ น้ำหนักพอลิพรอพิลีน ที่ปริมาณซีลีย์ 10 phr ซีลีย์มี Aspect ratio 8.1 ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมโพลีเมอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ MAPP (ก) พอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ (ข) คอมโพลีเมอร์ที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวที่เหลือ (ค) คอมโพลีเมอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวที่เหลือด้วย MAPP

จากรูปที่ 4.30 แสดงสเปกตรัมของรอยละการส่งผ่านแสงของพอลิพรอพิลีนและคอมโพลีเมอร์ที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวที่เหลือด้วยสารคู่ควบ MAPP ในช่วงเลขคลื่น 4000-650 cm^{-1} ซึ่งช่วงพีกหลัก ๆ ที่บ่งบอกถึงหมู่ฟังก์ชันของพอลิพรอพิลีนและเซลลูโลสในที่เหลือนั้นเป็นไปตามหัวข้อที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.7 ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีนคอมโพลีเมอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP

ตำแหน่งพีก (cm^{-1})	ลักษณะการสั่น	เอกสารอ้างอิง
1750-1700	C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล	31
1750-1720	C=O Stretching ของหมู่เอสเทอร์	31-32,47

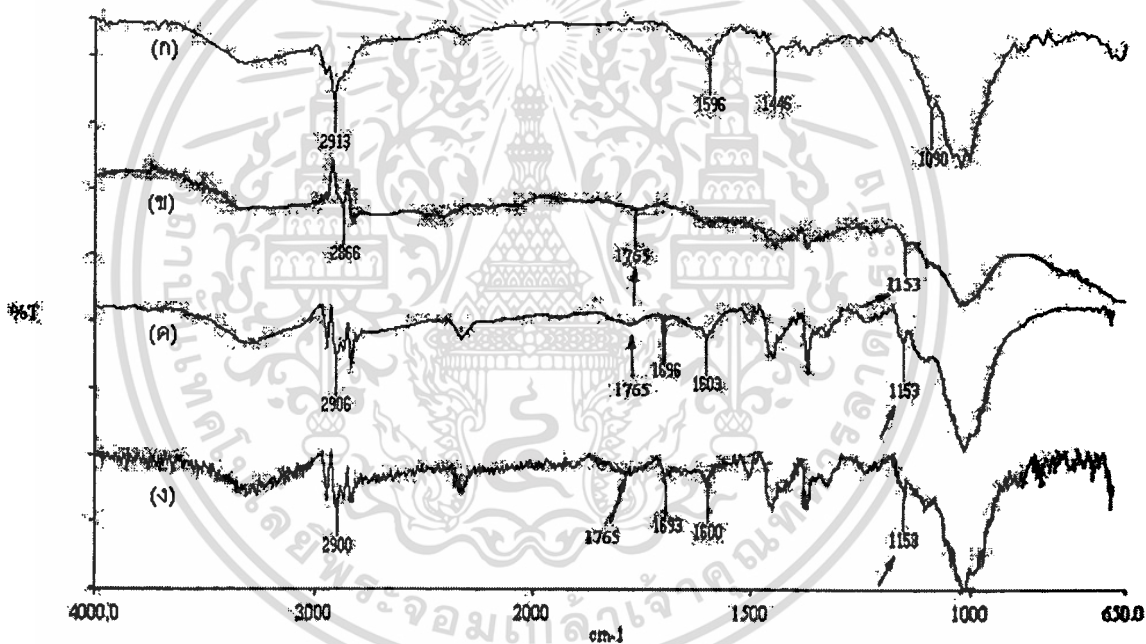
จากรูปที่ 4.30 (ข) พบสเปกตรัมที่พีกประมาณ 1700 และ 1850 cm^{-1} ซึ่งอาจเป็นพีกของแอนไฮไดรด์คาร์บอนิล (C=O Stretching) ใน MAPP [32] นอกจากนี้ยังพบหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ (C=O Stretching) ขึ้นได้ที่พีกใกล้ ๆ 1750-1720 cm^{-1} [31-32,47] ในงานวิจัยนี้เกิดที่ตำแหน่งพีกประมาณ 1765 cm^{-1} ซึ่งอาจ shift เปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากความเข้มข้นของ MAPP มีปริมาณน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลงานวิจัยนี้ปรากฏฟีกของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ที่เกิดจากกระบวนการเอสเทอร์ฟิ-เคชันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสในซีลื้อยกับหมู่แอนไฮดรอยด์ของ MAPP ซึ่งทำให้สามารถบอกได้ว่าสารคู่ควบ MAPP สามารถเกิดปฏิกิริยากับซีลื้อยเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลต่าง ๆ และสมบัติทางความร้อนของคอมโพสิตได้ตามหัวข้อ 4.1 และหัวข้อ 4.3 ตามลำดับ

4.4.3 คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบผสม

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงพื้นผิวซีลื้อยด้วยสารคู่ควบไซเลน และ MAPP ร่วมกัน โดยใช้ร้อยละต่อน้ำหนักซีลื้อยของสารคู่ควบทั้งสองชนิดเท่ากัน คือ 0.8% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน ในสัดส่วนต่าง ๆ กัน คือ สัดส่วน MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+1 1+2 และ 2+1 โดยใช้ซีลื้อยปริมาณ 10 phr และมี Aspect ratio 8.1 ได้ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบผสม (ก) คอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว (ข) คอมโพสิตที่ใช้ MAPP+ไซเลน /1+1 (ค) คอมโพสิตที่ใช้ MAPP+ไซเลน /1+2 (ง) คอมโพสิตที่ใช้ MAPP+ไซเลน / 2+1

สเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของพอลิพรอพิลีนและคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลื้อยและปรับปรุงพื้นผิวซีลื้อยด้วยสารคู่ควบสองชนิดร่วมกันในสัดส่วนต่าง ๆ กัน ได้แสดงให้เห็นในช่วงเลขคลื่น 2000-650 cm^{-1} ซึ่งช่วงฟีกหลัก ๆ ที่บ่งบอกถึงหมู่ฟังก์ชันของพอลิพรอพิลีนและเซลลูโลสในซีลื้อยนั้นได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.31 (จากอินฟราเรดสเปกตรัม 4.31 (ข) 4.31 (ค) และ 4.31 (ง)) จะพบพีกเพิ่มขึ้นที่แตกต่างจากคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อย คือจะพบแถบพีกกว้างประมาณ $1770-1750\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ที่ได้จากการปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วย MAPP ในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ที่สัดส่วน MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+2 1+1 และ 2+1 ตามลำดับ โดยจะเห็นความสูงของพีกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (เปรียบเทียบจากอินฟราเรดสเปกตรัม รูปที่ 4.31 (ค) และ 4.31 (ง)) เมื่อความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารคู่ควบ MAPP มากขึ้น

นอกจากนี้จากรูป 4.31 (ข) 4.31 (ค) และ 4.31 (ง) จะพบพีกที่ตำแหน่งประมาณ 1153 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของพอลิไซลอคเซน และ $\text{Si-O-C}_{\text{cell}}$ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ M.Kazayawoko และคณะ [31] ซึ่งพบพีกของพอลิไซลอคเซนอยู่ในช่วงเลขคลื่น $1060-1260\text{ cm}^{-1}$ อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารคู่ควบไซเลนมากขึ้น (ดูได้จากสเปกตรัมรูปที่ 4.31 (ค) และ 4.31 (ง)) มีความสูงของพีกที่ประมาณ 1153 cm^{-1} สูงขึ้นเล็กน้อยอาจไม่เด่นชัดนัก ทั้งนี้เนื่องจากมีหมู่ไซลอคเซนที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสมากขึ้นทำให้โอกาสที่จะเกิดการเชื่อมโยงเป็นหมู่พอลิไซลอคเซนก็มีมากขึ้นด้วยทำให้ความเข้มของพีก (Intensity) สูงขึ้น

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR จะเห็นได้ว่าเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่แอนไฮดรายด์ของ MAPP และหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งจะเห็นได้จากพีกกว้างขึ้นที่ประมาณ $1770-1750\text{ cm}^{-1}$ นอกจากนี้จะพบพีกของพอลิไซลอคเซนประมาณ 1153 cm^{-1} ที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไซลานอล (Silanols, Si-OH) กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย ซึ่งโครงสร้างนี้จะเชื่อมโยงระหว่างเส้นใยกับพอลิพรอพิลีนให้สามารถยึดเกาะและเข้ากันได้ดียิ่งขึ้นนั่นเองเป็นผลทำให้สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน (ในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.3 ตามลำดับ) ดีขึ้น นอกจากนี้การใช้สารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกันเราจะพบพีกทั้งสองตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกัน

ทำการศึกษาต่อไปถึงลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตต่าง ๆ ทั้งที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงพื้นผิวซีลี้อยด้วยสารคู่ควบ รวมถึงการใช้สารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกันที่เกี่ยวข้องกับผลของสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนที่เกิดขึ้น (ในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.3) ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

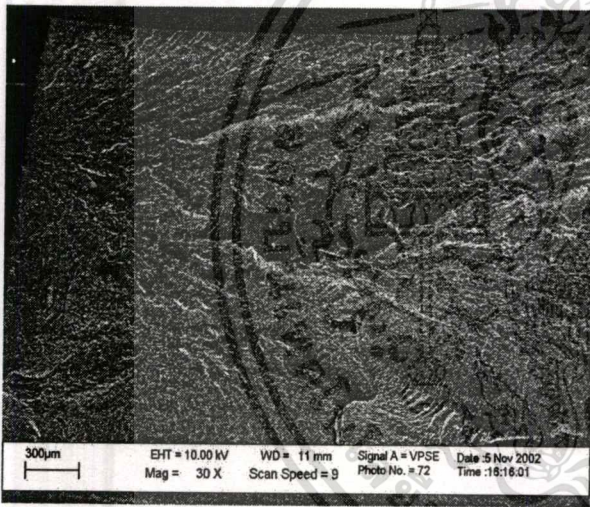
4.5 ลักษณะสัณฐานวิทยา

ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา (Morphology) ของคอมโพสิตโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) เพื่อศึกษาถึงลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ และลักษณะการยึดเกาะกันระหว่างทั้งสองวัสดุภาคโดยได้พิจารณาในส่วนของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ คอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลื้อย คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลื้อยด้วย MAPP 0.8% หรือ ไซเลน 0.8% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน ปริมาณซีลื้อย 10 phr และคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลื้อยด้วยสารคู่ควบทั้งสองชนิดร่วมกัน ให้ผลการทดลองดังนี้

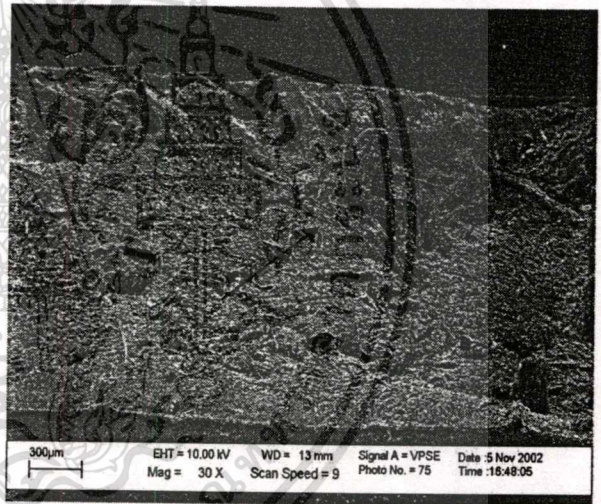
4.5.1 ลักษณะการกระจายตัวของซีลื้อยในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์

ลักษณะการกระจายตัว (Dispersion) ของซีลื้อยในพอลิพรอพิลีน พิจารณาได้ตามรูปที่

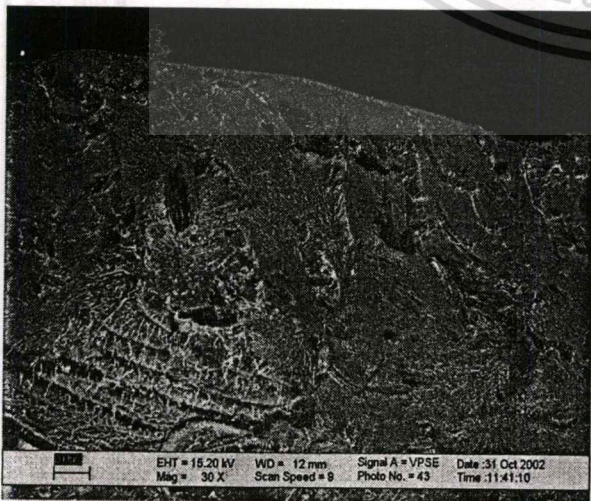
4.32



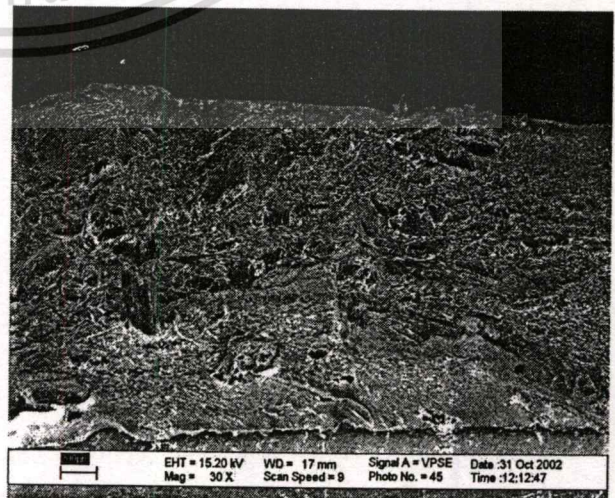
(ก)



(ข)

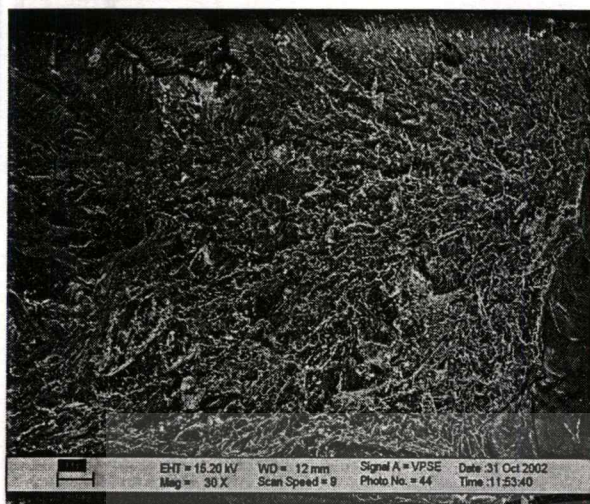


(ค)



(ง)

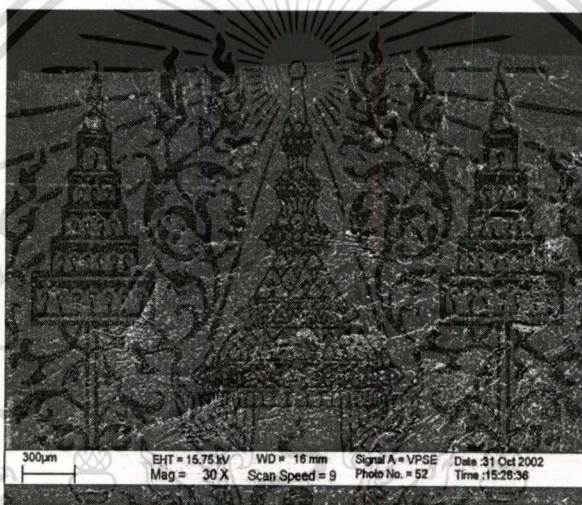
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.32 ภาพพื้นผิวแตกหักของคอมโพสิต

(ก) พอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ (ข) คอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลีอ (ค) คอมโพสิตที่เติม MAPP 0.8% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน (ง) คอมโพสิตที่เติมไซเลน 0.8% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน (จ) คอมโพสิตที่เติม MAPP+ไซเลน/1+1 (ฉ) คอมโพสิตที่เติม MAPP+ไซเลน/1+2 (ช) คอมโพสิตที่เติม MAPP+ไซเลน/2+1 (ลูกศรแสดงการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของซีลีอในคอมโพสิต)

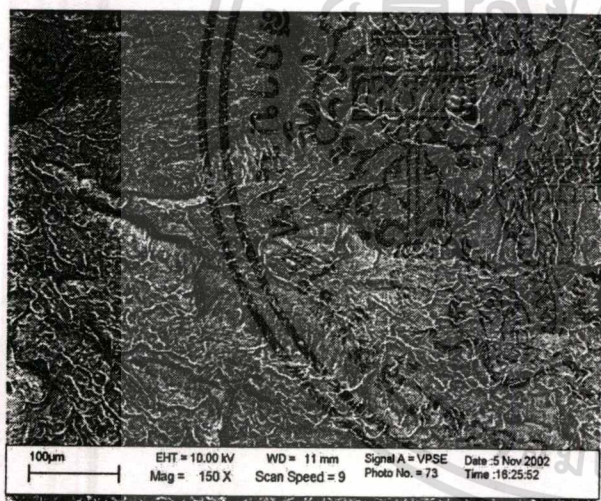
จากรูปที่ 4.32 (ข)-4.32 (ค) ลักษณะพื้นผิวแตกหักของคอมโพสิตเพื่อศึกษาการกระจายตัวของซีลีอในคอมโพสิต เมื่อพิจารณารูปที่ 4.32 (ข) สำหรับคอมโพสิตที่ได้ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซีลีอพบหลุมลึกซึ่งเป็นร่องรอยของซีลีอที่หลุดออกจากผิวของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ (รูปที่ 4.32 (ค) - 4.32 (ง)) ซึ่งก็พบบ้างแต่น้อยกว่า นอกจากนี้ซีลียบางส่วนมีการจับเป็นกลุ่มก้อน (ตามลูกศรชี้) แสดงถึงการกระจายตัวที่ไม่ดี จากรูปที่ 4.32 (ค) และ 4.32 (ง) นั้นพบว่าซีลียสามารถกระจายตัวอยู่ในเมตริกซ์ได้ดีกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบ สำหรับการกระจายตัวของคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบทั้งสองชนิดรวมกันนั้น (รูปที่ 4.32 (จ)-4.32 (ข)) มีลักษณะเหมือนกับคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบเพียงชนิดเดียว (รูปที่ 4.32 (ค) และ 4.32 (ง))

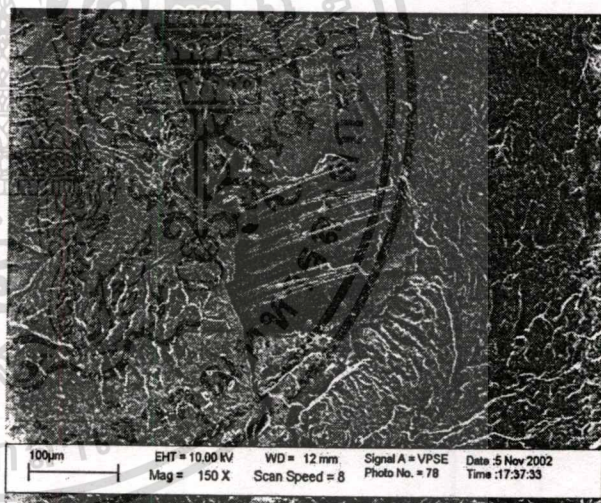
อย่างไรก็ตามจากการกระจายตัวของคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลียนั้นไม่คืนกรวมถึงการยึดเกาะกันระหว่างวัฏภาคของซีลียและพอลิพรอพิลีนไม่ดีทำให้เส้นใยหลุดออกจากวัฏภาคของพอลิพรอพิลีนเป็นผลให้สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนของคอมโพสิตต่ำกว่าคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลียด้วยสารคู่ควบ

4.5.2 ลักษณะพื้นผิวระหว่างวัฏภาคของซีลียและพอลิพรอพิลีน

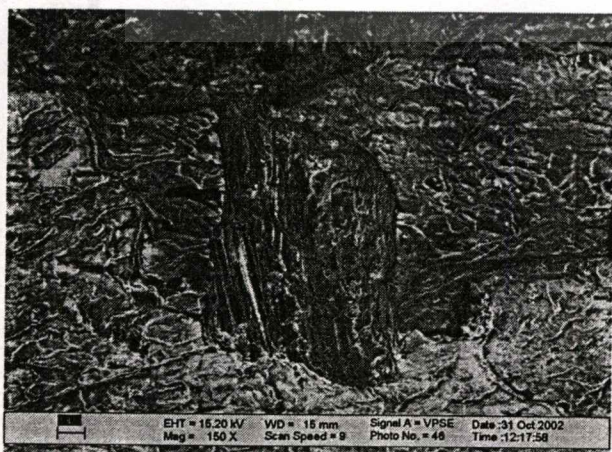
ศึกษาการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคของซีลียและพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ โดยพิจารณาได้จากรอยต่อระหว่างภาคทั้งสอง ซึ่งผลการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 4.33



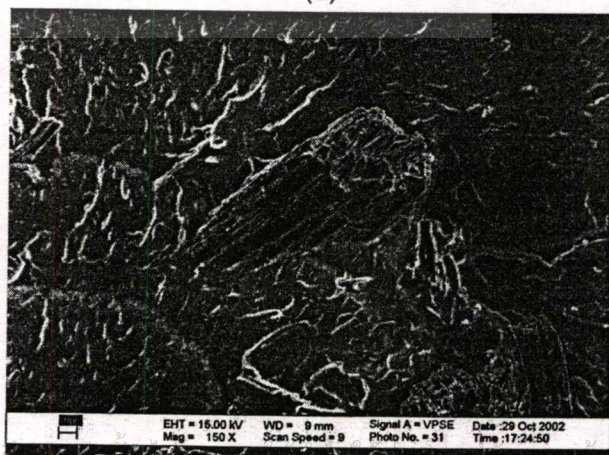
(ก)



(ข)

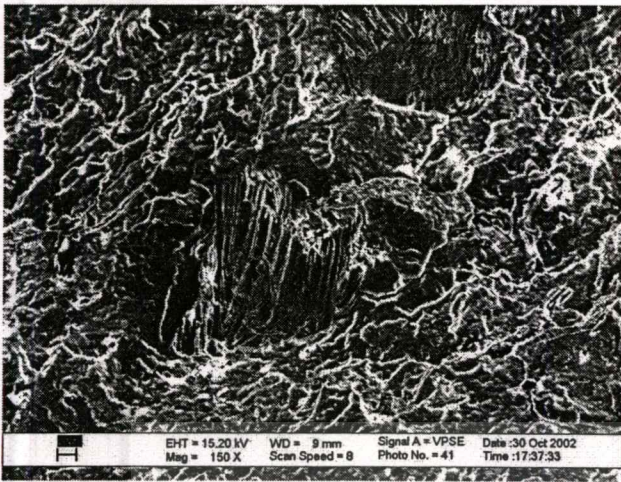


(ค)

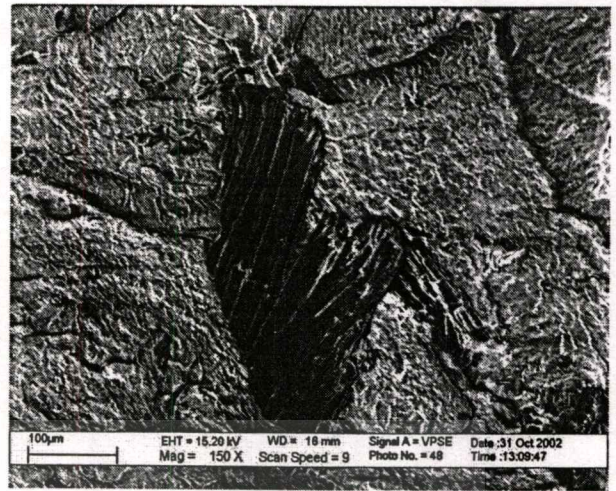


(ง)

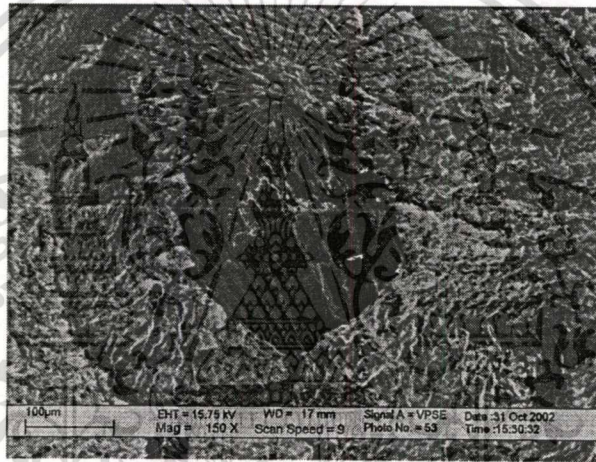
ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.33 ลักษณะพื้นผิวระหว่างภูมิภาคของซีลื้อยและพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ (ค) คอมโพลีตที่เติม MAPP 0.8% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน (ง) คอมโพลีตที่เติมไซเลน 0.8% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน (จ) คอมโพลีตที่เติม MAPP+ไซเลน/1+1 (ฉ) คอมโพลีตที่เติม MAPP+ไซเลน /1+2 (ช) คอมโพลีตที่เติม MAPP+ไซเลน/2+1

ลักษณะพื้นผิวระหว่างภูมิภาคของซีลื้อยและพอลิพรอพิลีน พบว่าจากรูป 4.33 (ก) คอมโพลีตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลื้อยด้วยสารคู่ควบนั้นสังเกตเห็นช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างภูมิภาคของซีลื้อยและพอลิพรอพิลีนได้อย่างชัดเจน (ตามลูกศรชี้) เนื่องจากการไม่เข้ากันระหว่างความไม่มีขั้วของพอลิพรอพิลีนและความมีขั้วของซีลื้อย ทำให้การยึดเกาะระหว่างทั้งสองภูมิภาคไม่ดีจึงทำให้เกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างภูมิภาค เมื่อพิจารณาคอมโพลีตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ (รูปที่ 4.33 (ค) - 4.33 (ช)) สารคู่ควบ MAPP และไซเลนจะช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อขุดค้นพบไปขอขานหรือขานการค้น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงความสามารถในการ เข้ากันได้ของสองวัสดุ ทำให้การยึดเกาะระหว่างวัสดุได้ดีขึ้น สังเกตได้ว่าทำให้ช่องว่างบริเวณรอบ ๆ เส้นใยมีขนาดลดลง จากรูปที่ 4.33 (จ) – 4.33 (ข) สำหรับคอมโพสิตที่ปรับปรุงด้วยสารคู่ควบทั้งสองชนิดนั้น ลักษณะพื้นผิวไม่แตกต่างกันกับคอมโพสิตที่ปรับปรุงด้วยสาร คู่ควบเพียงชนิดเดียว ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่าซีลียถูกปกคลุมด้วยพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ (ตามลูกศรชี้) แสดงถึงการยึดเกาะกันระหว่างพอลิพรอพิลีนและซีลียดีขึ้น

จากลักษณะพื้นฐานวิทยาสามารถบอกได้ว่าการเติมสารคู่ควบเพื่อช่วยปรับปรุงพื้นผิวของซีลียทำให้ซีลียสามารถยึดเกาะได้ดีกับพอลิพรอพิลีนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติเชิงกล (ในหัวข้อ 4.1) และสมบัติทางความร้อน (ในหัวข้อ 4.3) ที่เพิ่มขึ้น เพราะการเกิดปฏิกิริยาเคมีเชื่อมโยงระหว่างรอยต่อของสองวัสดุซึ่งพิจารณาได้จากผลของอินฟราเรดสเปกตรัม (หัวข้อที่ 4.4) ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างซีลีอียที่ได้จากไม้เต็งนอกและพอลิพรอพิลีน การใช้สารคู่ควบ ได้แก่ ไชเลนและพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดรายด์ ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตซึ่งคาดว่าสารคู่ควบนี้จะช่วยปรับปรุงพันธะระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับเมตริกซ์ให้มีการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น และทำให้สมบัติโดยรวมของคอมโพสิตดีขึ้น

สรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. การศึกษาผลของสารคู่ควบไชเลนหรือ MAPP ที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวซีลีอียในพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตโดยเติมปริมาณสารคู่ควบ MAPP และไชเลนปริมาณต่าง ๆ คือ 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0% ต่อน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าปริมาณสารคู่ควบเพิ่มขึ้นมีผลต่อสมบัติเชิงกลและร้อยละการดูดซับน้ำน้อย แต่อย่างไรก็ตามการเติมสารคู่ควบทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบ โดยไชเลนมีแนวโน้มช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลดีกว่า MAPP ยกเว้นผลของความแข็งแรงกระแทก ผลจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR พบสเปกตรัมของหมู่เอสเทอร์และพอลิไซลอคเซนช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของสองวัสดุและจากฐานฐานวิทยานั้นการปรับปรุงซีลีอียด้วยสารคู่ควบทำให้ลดช่องว่างระหว่างรอยต่อของพอลิพรอพิลีนและซีลีอีย

2. การศึกษาผลของปริมาณสารคู่ควบ MAPP ที่ปริมาณเพิ่มขึ้น คือ 0 2 4 6 8 10% ต่อน้ำหนักพอลิพรอพิลีน พบว่าการเติม MAPP มากขึ้นเป็น 10 เท่า มีแนวโน้มทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการเติม MAPP ปริมาณต่ำ ๆ และเริ่มมีค่าลดลงที่ปริมาณตั้งแต่ 8% โดยพบว่าปริมาณ MAPP 6% ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด

3. การศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีลีอีย ได้แก่ 0 10 20 30 phr โดยใช้ซีลีอียที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวซีลีอียด้วย MAPP ปริมาณ 6% พบว่าเมื่อปริมาณซีลีอียเพิ่มขึ้นสมบัติโดยรวมรวมถึงคุณสมบัติการเสีรูปเพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยที่ปริมาณ 30 phr โดยพบว่าปริมาณซีลีอียที่เหมาะสมคือ 20 phr คอมโพสิตที่เติม MAPP ให้สมบัติเชิงกลสูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP

4. การศึกษาอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio) ของซีลีอีย ค่า Aspect ratio ของซีลีอีย เท่ากับ 3.9 5.8 8.1 และ 10.0 พบว่าค่ามอดูลัสที่ 5% ความเครียดและความแข็งแรงกระแทกของซีลีอียที่มี Aspect ratio เท่ากับ 8.1 และ 10.0 มีค่าใกล้เคียงกันและมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสูงที่สุด เส้นใยที่มี Aspect ratio สูง ๆ ให้สมบัติด้านแรงดึงดีกว่าเส้นใยที่มี Aspect ratio ต่ำ ๆ ยกเว้นความแข็งแรงดึงของเส้นใยที่มี Aspect ratio เท่ากับ 10 มีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามสมบัติด้านโค้งงอไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเส้นใยยาวขึ้น

5. การใช้สารคู่ควบ 2 ชนิดร่วมกันระหว่าง MAPP และไซเลน ในสัดส่วน MAPP+ไซเลน เท่ากับ 1+1 1+2 และ 2+1 พบว่าให้สมบัติเชิงกลใกล้เคียงกัน และช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าการใช้สารคู่ควบชนิดเดียวเล็กน้อย

6. การเติมซีลี้อยลงในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกและองศาการเกิดผลึกของเมตริกซ์ลดลง และอุณหภูมิการเกิดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสารคู่ควบไม่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกและองศาการเกิดผลึกเท่าใดนัก แสดงว่าสารคู่ควบไม่มีผลต่อความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ แต่ช่วยปรับปรุงความสามารถในการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคของเมตริกซ์และซีลี้อย ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของคอมโพลีมีค่าเพิ่มขึ้น

จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างซีลี้อยและพอลิพรอพิลีน และเกิดปฏิกิริยาเคมีเชื่อมโยงระหว่างสารคู่ควบกับวัฏภาคทั้งสองช่วยเพิ่มการยึดเกาะบริเวณรอยต่อได้ ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลสมบัติทางความร้อน และลักษณะวิทยาของพอลิพรอพิลีนคอมโพลีได้ แต่อย่างไรก็ตามเป็นระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่านั้น ซึ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมนั้นยังต้องมีการแก้ไขปรับปรุงต่อไปในการเพิ่มความแข็งแรง และมอดุลัสต่อน้ำหนัก เพื่อใช้งานได้จริงมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากชิ้นงานคอมโพลีที่ได้มีสีน้ำตาล อาจมีการศึกษาต่อไปถึงวิธีการปรับปรุงสีที่ได้ของคอมโพลี เช่น การกำจัดหรือเติมสีต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการใช้งานของคอมโพลีได้หลายหลายต่อไป

2. เมื่อปริมาณซีลี้อยมากขึ้นทำให้การอัดรีดโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) คอมโพลีตยากขึ้น ดังนั้นการศึกษาปริมาณซีลี้อยที่เหมาะสมนั้นควรใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมได้ดีขึ้น และสามารถเติมซีลี้อยที่ปริมาณสูง ๆ ได้มากขึ้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] อธิพิณ แจ่มชัด "เอกสารประกอบการสอน วิชา พอลิเมอร์คอมโพสิต" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 1. 2544 หน้า 79.
- [2] A.K.Bledzki and J.Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibers" *Prog.Polym.Sci.*, 24, 1999, 225-243.
- [3] ปิยะวรรณ เจียวก๊ก และ พงศ์ศักดิ์ เพ็ญน้อย "การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตไม้เทียมจากพอลิพรอพิลีนและไม้ยูคาลิปตัส" โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [4] B.T.Astrom, in "Manufacturing of Polymer Composites", 1st ed., Chapman&Hall, London, 1997,37.
- [5] วิรัช ชื่นวาริน และดำรงศรี ศรีอรุณ "ลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ที่สำคัญในลำดับชั้นลามิเนตและดิสทริบิวชันของประเทศไทย" รายงานวนศาสตร์วิจัย คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [6] www.forest.go.th/Research/picture/Naturals/teng.GIF
- [7] ณรงค์ โทณาทท์ และศิริ เจือวิจิตรจันทร์ "ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย" ฝายวิจัยไม้ชั้นพื้นฐาน กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พิมพ์ครั้งที่ 2 2528 หน้า 389.
- [8] S.Eero, "Wood Chemistry : Fundamentals and Applications", 2nd ed., Academic Press, San diego, 1993, 48.
- [9] W.B.Banks and J.M.Lawther, "Derivatization of Wood in Composition" in *Cellulose Polymers, Blends and Composites*", Hanser Publishers, New York, 1994, 131-153.
- [10] J.I.Kroschwitz, "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", 2nd ed., John-Wiley & Sons, New York, Vol 6, 1990, 655.
- [11] J.M.Felix and P.Gatenholm, "The Nature of Adhesion in Composites of Modified Cellulose Fibers and Polypropylene", *J.Appl.Polym.Sci.*, 42, 1991, 609-620.
- [12] K.L.Mittal, "Silanes and Other Coupling Agents", Netherlands : VSP BV, 1992.
- [13] E.P.Plueddemann, "Interfaces in Polymer Matrix Composite", Academic Press, New York, 1974.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] P.Zadorecki and T.Ronnhult, "An ESCA Study of Chemical Reactions on the Surfaces of Cellulose Fibers", *J.Appl.Polm.Sci. Part A Polym Chem*, 24, 1986, 737-745.
- [15] P.Zadorecki and P.Flodin, "Surface Modification of Cellulose Fiber III. Durability of Cellulose-Polyester Compolites Under Environment Aging", *J.Appl.Polym.Sci.*, 31, 1986, 1699-1707.
- [16] A.B.Strong, in "Plastics Materials and Processing", 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2000, 208-209.
- [17] มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ "เคมีพอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 3 2543 254.
- [18] D.Hull and T.W.Clyne, in "Introduction to Composite Materials", 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1996, 30-31.
- [19] M.B.Fernanda, T.H.S.costa and D.L.carvalho, "Polypropylene-Wood Fiber Composites :Effect of Treatment and Mixing Conditions on Mechanical Properties.", *J.Appl.Polym.Sci.*, 65, 1997, 1227-1235.
- [20] B.V.Kokta and D.Maldas, "Use of Wood Flour as Filler in Polypropylene : Studies on Mechanical Properties, *Polym-Plast.Technol.Eng.*, 28(3), 1989, 247-259.
- [21] K.L.Yam, B.K.Gogoi, C.C.Lai and S.E.Selke, "Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled HDPE", *Polym.Eng.Sci.*, 30(11), 1990, 693-700.
- [22] M.N.Angles, J.Reguant, D.Montane, F.Ferrando, X.Farriol and J.Salvado., "Binderless Composites from Pretreated Residual Softwood", *J.Appl.Polym.Sci.*, 73, 1999, 2485-2491.
- [23] P.Flink, M.Rigdahl and B.Stenberg, "Bonding of Untreated Cellulose Fibers to Natural Rubber", *J.Appl.Polym.Sci.*, 35, 1988, 2155-2164.
- [24] K.Joseph, S.Thomas and C.Pavethran, "Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites.", *J.Appl.Polym.Sci.*, 47, 1993, 1731-1739.
- [25] M.A.L. Manchado and M.Arroyo, "Thermal and Dynamic Mechanical Properties of Polypropylene and Short Organic Fiber Composites", *Polymer*, 41, 2000, 7761-7767.

- [26] D.Maldas and B.V.Kokta, "Performance of Treated Hybrid Fiber Reinforced Thermoplastic Composites under Extreme Conditions", *J.Apply.Polym.Sci.*, 42, 1991, 1443-1450.
- [27] S.Sapieha, P.Allard and Y.H.Zong., "Dicumyl Peroxide-Modified Cellulose/LLDPE Composites", *J.Apply.Polym.Sci.*, 41, 1990, 2039-2048.
- [28] T.Q.Li, C.N.Ng and R.K.Y.Li., "Impact Behavior of Sawdust/Recycles-Polypropylene Composites", *J.Apply.Polym.sci.*, 81, 2001, 1420-1428.
- [29] P.W.Balasuriya, L.Ye, Y.W.Mai and J.Wu, "Mechanical Properties of Wood Flake-Polyethylene Composites. II. Interface Modification", *J.Appl.Polym.Sci.*, 83, 2002, 2505-2521.
- [30] G.E.Myers, I.S.Chahyadi, C.Gonzalez and C.A.Coherly, "Wood Flour and Polypropylene or High-Density Polyethylene Composites : Influence of Maleated Polypropylene Concentration and Extrusion Temperature on Properties", *Wood Fiber/Polymer Composites.*, The United States of America, 1993, 49-56.
- [31] M.Kazayawoko, J.J.Balatinecz and R.T.Woodhams, "Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectra of Wood Fibers Treated with Maleated Polypropylenes", *J.Appl.Polym.Sci.*, 66, 1997, 1163-1173.
- [32] M.C.Matias, M.U.De La Orden, C.G.Sanchez and J.M.Urreaga, "Comparative Spectroscopic Study of the Modification of Cellulosic Materials with Different Coupling Agents", *J.Appl.Polym.Sci.*, 75, 2000, 256-266.
- [33] N.Stark, "Effect of Species and Particle Size on Properties of Wood-Flour Filled Polypropylene Composites", 1sted., Intertech Conferences, USA, 1997.
- [34] K.Rajeev, K.Mohan and N.Ramani, "Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites", *Polym.Eng.Sci.*, 37(2), 1997, 476-483.
- [35] G.J.Shugar and J.T.Ballinger, "Chemical Technician's Ready Reference Handbook", 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1996, 521-523.
- [36] ASTM D 638, "Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric)", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.
- [37] ASTM D 256, "Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.

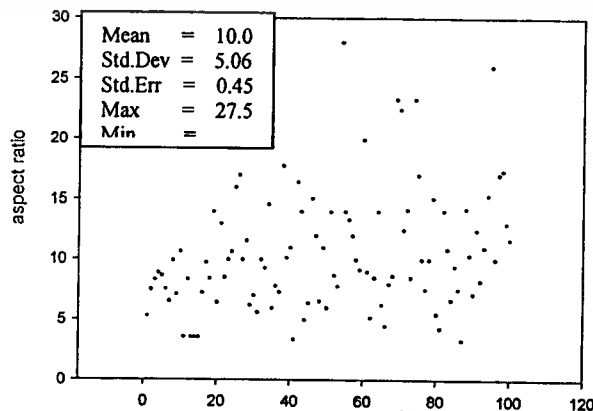
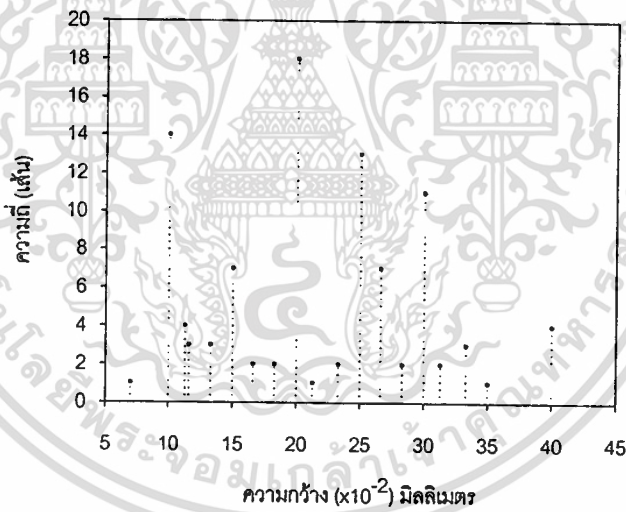
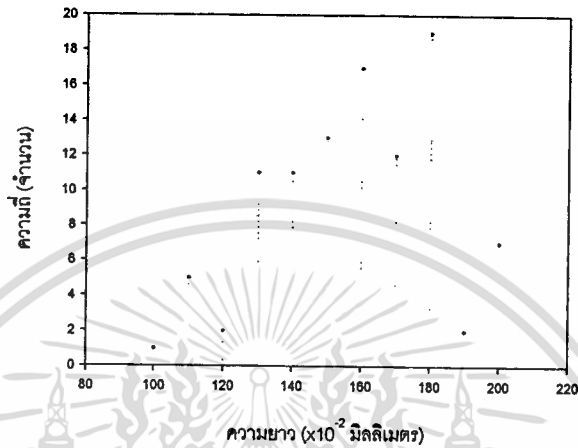
- [38] ASTM D 685, "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadelphia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.
- [39] ASTM D 790, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadelphia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.
- [40] ASTM D 570, "Standard Test Methods for Water absorption of Plastics", *Philadelphia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.
- [41] ASTM D 648, "Standard Test Methods for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load", *Philadelphia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.
- [42] F.A.Settle, in "Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry", 1st ed., Prentice Hall Inc, New Jersey, 1997, 775-786.
- [43] J.W.Robinson, in "Practical Handbook of Spectroscopy", 1st ed., CRC Press Inc., Boston, 2000, 481-583.
- [44] R.F.Gibson, "Principles of Composite Material Meachanics"., McGraw-Hill, 1st ed., New York, 1994, 381.
- [45] D.Bikiaris, P.Matzinos, A.Larena, V.Flaris and C.Panayiotou, "Use of Silane Agents and Poly(propylene-g-maleic anhydride) Copolymer as Adhesion Promoters in Glass Fiber/Polypropylene Composites", *J.Appl.Polym.Sci.*, 81, 2001, 701-709.
- [46] J.M. Schultz, "Polymer Crystallization : The Development of Crystalline Order in Thermoplastic Polymers", American Chemistry Society, Washington D.C., 2001, 57-92.
- [47] แม้น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม "หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ" กรุงเทพฯ ชวนพิมพ์ 2539 108-188



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

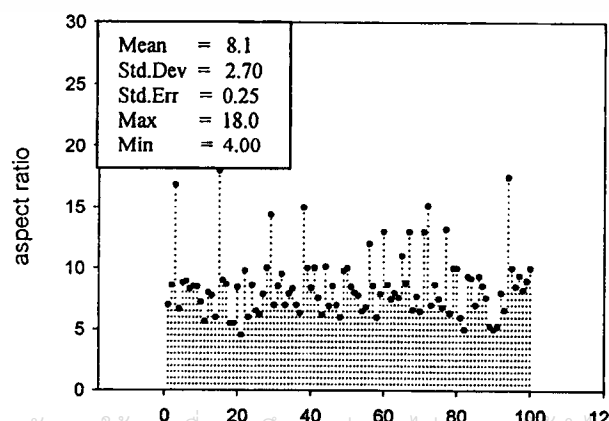
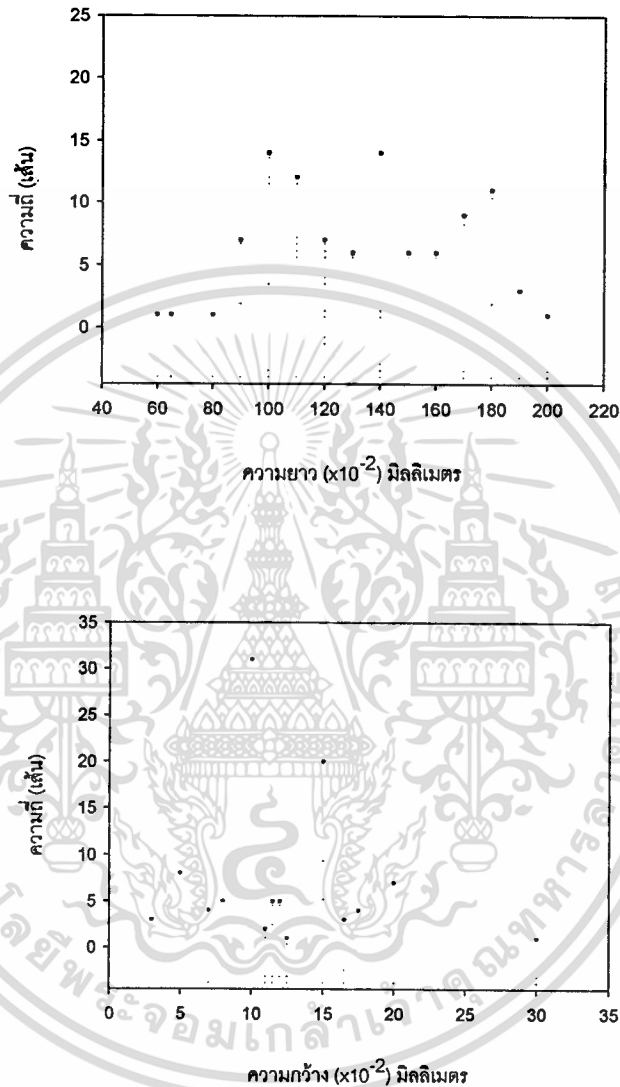
ภาคผนวก ก

ค่า Aspect ratio ของซี่เลื่อยที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด
20-35 เมช



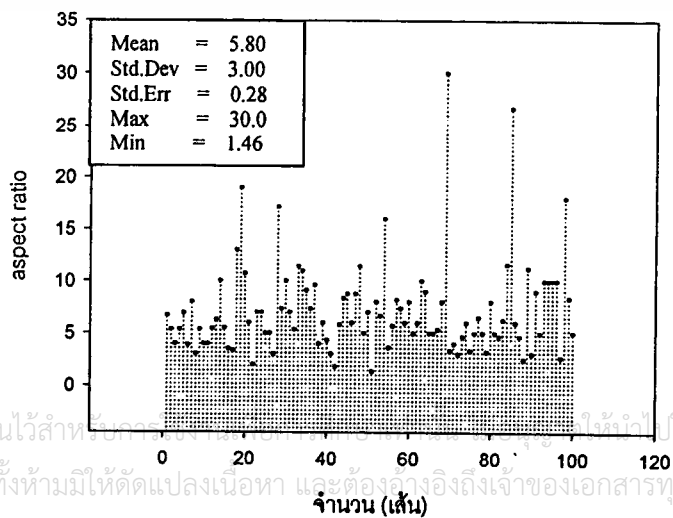
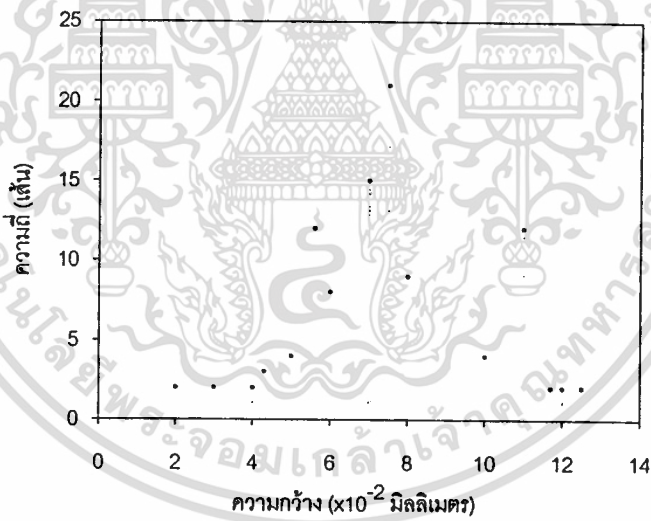
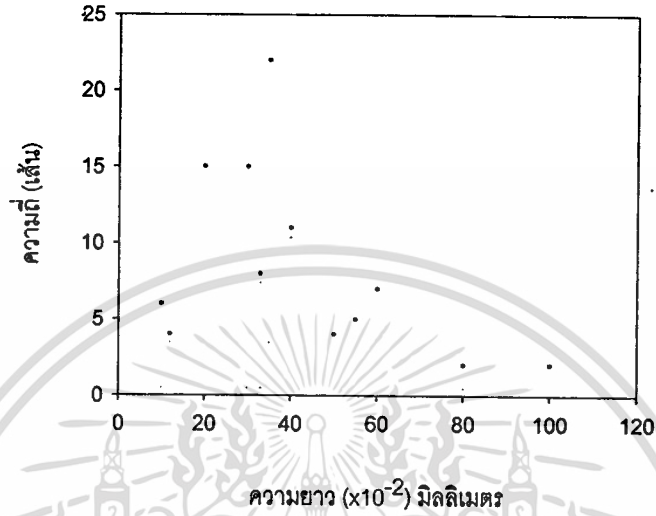
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Aspect ratio ของซีลรอยที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35-50 เมช

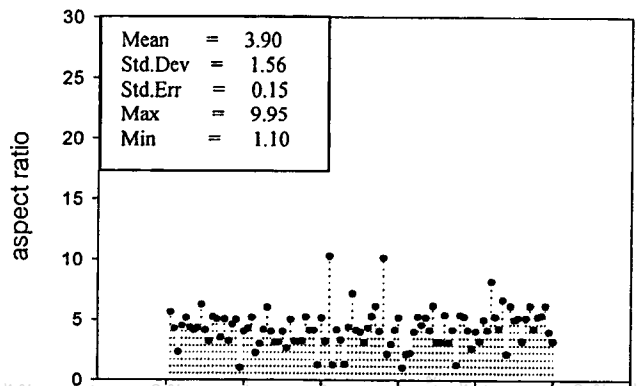
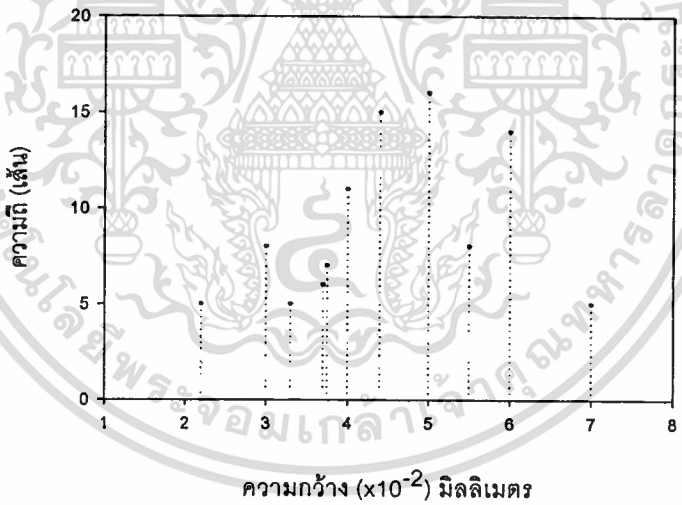
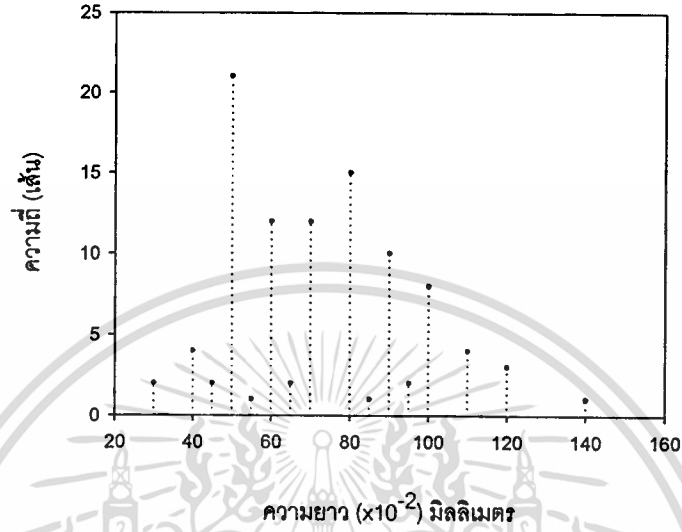


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จำนวนซีลรอย (เส้น)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Aspect ratio ของซีลื้อยที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 50-100 เมช



ค่า Aspect ratio ของซี่เหลี่ยมที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100-230 เมช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาจำนวนซี่เหลี่ยม (เส้น) เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แสดงการคำนวณองศาการเกิดผลึก (% crystallinity) ของคอมโพสิต

องศาการเกิดผลึก สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_{10}} * 100$$

$$\Delta H_f = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (mg)}}$$

$$\Delta H_{10} = \text{Enthalpy of fusion ของพอลิพรอพิลีนที่มีองศาการเป็นผลึก 100% เท่ากับ 165 J/g}$$

การหาค่าองศาการเกิดผลึกของคอมโพสิตนั้นต้องเปรียบเทียบจากสัดส่วนของพอลิพรอพิลีนทั้งหมดในคอมโพสิต

ตัวอย่างคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวซีลียด้วย MAPP 8% ของน้ำหนักซีลียนั้น พบว่าในคอมโพสิตหนักรวม 100(PP) + 10 (ซีลีย) + 0.8 (MAPP) เท่ากับ 110.8 กรัม นั้น มีพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ 100 กรัม

สัดส่วนของพอลิพรอพิลีนในคอมโพสิต เท่ากับ $100/110.8 = 0.9$

$$\text{ดังนั้น องศาการเกิดผลึก} = \frac{\Delta H_f * 0.9}{\Delta H_{10}} * 100$$

ภาคผนวก ค

สภาวะฉีดคอมโพสิตที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ความดัน (Pressure, kg/cm ²)	
Die close pressure	80
CIs low pressure	50
CIs high pressure	80
Die open pressure	20
1 st inject pressure	45
2 nd inject pressure	40
3 rd inject pressure	35
Melting pressure	50
Decomposition pressure	20
Pluger pressure	50
Ejector pressure	10
Screw-in pressure	40
Die adjust pressure	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในการฉีด (Flow speed, mm/sec)	
Rapid close speed	20
High close speed	20
Clamping speed	20
Die open slow 1	3
Rapid open speed	20
Die open slow 2	15
Plunger speed	15
Die adjust speed	25
1 st stage inject speed	50
2 nd stage inject speed	50
3 rd stage inject speed	50
Melting speed	35
Decompositon speed	20
Ejector speed	6
Screw-in speed	0
Die change speed	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการฉีด (Time, sec)	
Die close/open time	60
1 st stage inject time	20
2 nd stage inject time	15
3 rd stage inject time	10
Melting time	80
Decomposition time	1
Cooling time	450
Ejector count	1
Screw forward time	0
Screw backward time	0
Alarm time	450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลงานที่ตีพิมพ์

จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร และ กนิษฐา อังกรรัชต์ เรื่อง "การเปรียบเทียบผลของสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตเสริมแรงโดยซีลีเนียมจากไม้เต็งนอก" วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 20 เล่มที่ 1-3 เดือนมกราคมถึงธันวาคม 2545.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกนิษฐา อังกรรัชต์ เกิดเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2521 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2542 จากนั้นศึกษาในระดับปริญญาโทต่อที่คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้