สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์และ/หรือมาลิอิกแอนไฮดรายด์-กราฟท์-พอลิพรอพิลีนที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอก

EFFECT OF SODIUM HYDROXIDE AND/OR MALEIC ANHYDRIDE-GRAFTED-POLYPROPYLENE (MAPP) ON PROPERTIES OF POLYPROPYLENE REINFORCED BY MARANTI SAWDUST

(*Shorea foxworthyi*)

T074830

นริศรา บุตรพริ้ง

NARISSARA BUTPRING

วท.
น253พ
2550

เลขหมู่...................
เลขทะเบียน 74830
วัน,เดือน,ปี 11 ต.ค. 2550

.b 11829941
.i...................

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF SODIUM HYDROXIDE AND/OR MALEIC ANHYDRIDE-GRAFTED-POLYPROPYLENE (MAPP) ON PROPERTIES OF POLYPROPYLENE REINFORCED BY MARANTI SAWDUST (*Shorea foxworthyi*)

NARISSARA BUTPRING

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
2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์และ/หรือมาลิอิกแอนไฮดรายด์-กราฟท์-พอลิพรอพิลีนที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอก
นักศึกษา	นางสาวนริศรา บุตรพริ้ง
รหัสประจำตัว	45064404
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ใช้ขี้เลื่อยจากไม้เนื้อแข็งชนิดไม้เต็งนอกเป็นสารเสริมแรง ทำการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวและขึ้นรูปโดยการกดอัด โดยศึกษาถึงผลของปริมาณและขนาดอนุภาคของขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติทางเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของพอลิพรอพิลีน นอกจากนี้ทำการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ/หรือใช้สารช่วยผสมพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิอิกแอนไฮดรายด์ (MAPP) พบว่าปริมาณและขนาดอนุภาคของขี้เลื่อยที่ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด คือ วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก จากผลของสารช่วยผสม MAPP พบว่าช่วยให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีขึ้น คือ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก มอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มดีขึ้น ส่วนการปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH พบว่าที่ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 60 นาที ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด ส่วนการปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH เข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 60 นาที ร่วมกับการใช้สารช่วยผสม MAPP ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อยให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย TGA พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่มีการบำบัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และ/หรือการใช้สารช่วยผสม MAPP ช่วยให้อุณหภูมิเริ่มต้นการเสียสภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้วัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ขี้เลื่อยเป็นสารเสริมแรง เมื่อใช้สารช่วยผสม MAPP พบว่าร้อยละการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง แต่การใช้ NaOH ทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Effect of Sodium hydroxide and/or Maleic anhydride-grafted-Polypropylene (MAPP) on Properties of Polypropylene Reinforced By Meranti Sawdust (*Shorea foxworthyi*)
Student	Ms.Narissara Butpring
Student ID.	45064404
Degree	Master of Science
Program	Polymer Technology
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Jutarat Prachayawarakorn

ABSTRACT

This research aimed to study properties of polypropylene composites reinforced by Meranti hardwood sawdust. The composites were compounded in a single-screw extruder and then compressed into testing specimens using a compression molding machine. The influence of filler loadings and filler particle sizes on physical and mechanical properties of PP were studied. In addition, the sawdust was surface-treated with sodium hydroxide (NaOH) and/or maleic anhydride-grafted-polypropylene (MAPP) compatibilizer. It was found that the suitable content and particle size of the sawdust were 30% and more than 100 mesh. The mechanical property improvement, i.e. tensile strength, elongation at yield, Young's modulus, flexural strength and flexural modulus were obtained from the use of MAPP compatibilizer. In addition, similar property enhancement was found with the NaOH treatment. It was shown that the optimum concentration and time for NaOH treatment were 5% and 60 min, respectively. Moreover, the NaOH treatment and the addition of compatibilizer resulted in the greatest overall mechanical properties. The result from TGA technique showed that the use of NaOH and/or MAPP caused the slight increase of the onset thermal decomposition temperatures of the composites. Futhermore, water absorption of composites increased with the incorporation of the sawdust and the MAPP. However, NaOH treatment brought about the decrease of the water absorption of the composites.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยการได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำงานวิจัยในครั้งนี้จาก ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ เป็นอย่างสูงในความกรุณามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และได้ให้คำแนะนำและแก้ไขในการทำวิจัยให้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด และ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่ให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหาในบางจุดเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ ซึ่งมีส่วนช่วยให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัท HMC Polymers Company Limited ที่ให้ความอนุเคราะห์พอลิพรอพิลีน

ขอขอบคุณบริษัท Innovation Group ที่ให้ความอนุเคราะห์พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดรายด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene , MAPP)

ขอขอบคุณร้านค้าไม้ตลาดบางโพ ที่ให้ความอนุเคราะห์ไม้เต็งนอกที่คัดแยกแล้ว

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ อีกทั้งคอยให้กำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด นอกจากนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีและสนับสนุนช่วยเหลือในการทำงานวิจัยจนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวนริศรา บุตรพริ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..II
กิตติกรรมประกาศ...III
สารบัญ...IV
สารบัญตาราง VIII
สารบัญรูป...IX
บทที่ 1 บทนำ..1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย..1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย...5
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ...5
1.5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ..6
2.1 พอลิพรอพิลีน...6
2.1.1 สมบัติทางกายภาพและการนำไปใช้..6
2.1.1.1 ข้อดีของพอลิพรอพิลีน...7
2.1.1.2 ข้อด้อยของพอลิพรอพิลีน...8
2.2 ไม้เต็งนอก...8
2.2.1 เส้นใยไม้..10
2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของไม้..11
2.2.3 องค์ประกอบอินทรีย์ของเส้นใยไม้..11
2.2.3.1 เซลลูโลส...11
2.2.3.2 เฮมิเซลลูโลส...13
2.2.3.3 ลิกนิน..14
2.2.3.4 เพคติน...15
2.3 คอมโพสิต..15
2.3.1 องค์ประกอบหลักของคอมโพสิต...16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.3.1 Diferential Scanning Calorimeter (DSC)....................................37
3.4.3.2 อุณหภูมิการสลายตัว....................................38
3.4.4 สัณฐานวิทยา....................................38
3.4.4.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด....................................38
3.4.5 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี....................................38

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง....................................39
4.1 การหาอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง....................................40
4.2 สัณฐานวิทยา....................................42
4.2.1 ผลสัณฐานวิทยาขนาดและปริมาณขี้เลื่อย....................................42
4.2.2 ผลสัณฐานวิทยาของสารช่วยผสม....................................44
4.2.3 ผลสัณฐานวิทยาของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์....................................46
4.2.4 ผลสัณฐานวิทยาของสารช่วยผสม และปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์....................................49
4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FT-IR....................................50
4.4 สมบัติทางความร้อน....................................53
4.4.1 อุณหภูมิการสลายตัว (Thermal degradation)....................................53
4.4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature, T_c) และปริมาณความเป็นผลึก (Degree of crystallinity)....................................56
4.5 สมบัติเชิงกล....................................57
4.5.1 ผลของขนาดและปริมาณขี้เลื่อย....................................57
4.5.1.1 สมบัติทางแรงดึง....................................57
4.5.1.2 สมบัติทางแรงโค้งงอ....................................60
4.5.1.3 ความแข็งแรงกระแทก....................................62
4.5.1.4 ความแข็งกด....................................63
4.5.2 ผลของปริมาณสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน....................................64
4.5.2.1 สมบัติทางแรงดึง....................................65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.2.2 สมบัติทางแรงโค้งงอ.....67
4.5.2.3 ความแข็งแรงกระแทก.....68
4.5.2.4 ความแข็งกด.....69
4.5.3 ผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์.....70
4.5.3.1 สมบัติทางแรงดึง.....71
4.5.3.2 สมบัติทางแรงโค้งงอ.....73
4.5.3.3 ความแข็งแรงกระแทก.....75
4.5.3.4 ความแข็งกด.....76
4.5.4 ผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์และมาลิอิกแอนไฮดรายด์.....77
4.5.4.1 สมบัติทางแรงดึง.....77
4.5.4.2 สมบัติทางแรงโค้งงอ.....79
4.5.4.3 ความแข็งแรงกระแทกและความแข็งกด.....81
4.6 สมบัติทางกายภาพ.....83

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....86

เอกสารอ้างอิง.....88

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.....93
ภาคผนวก ข.....97
ภาคผนวก ค.....98
ภาคผนวก ง.....105
ภาคผนวก จ.....108

ประวัติผู้เขียน.....110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงการเติบโตของตลาด Filler Compound ในอเมริกาเหนือ....................................2
2.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนเชิงพาณิชย์..7
2.2 สมบัติทางธรรมชาติของไม้เต็งนอก..9
2.3 ประเภทของไม้ตามมาตรฐานกรมป่าไม้..10
2.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน..11
2.5 ข้อดีและข้อเสียของคอมโพสิต..19
3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (Moplen® HP550R)..29
3.2 สมบัติของพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิอิกแอนไฮดรายด์
(Fusabond®P MD353D) 30
3.3 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ..32
3.4 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต..34
4.1 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของขี้เลื่อยจาก 10 ตัวอย่าง..................42
4.2 แสดงตำแหน่งสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย..........................50
4.3 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิพรอพิลีน ขี้เลื่อยที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 54
4.4 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนใน
วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม MAPP และ
ขี้เลื่อยปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% และ
... 15% โดยน้ำหนักนาน 60 นาที..56
ค.1 ความแข็งแรงดึง..98
ค.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก..99
ค.3 มอดุลัสแรงดึง..100
ค.4 ความแข็งแรงโค้งงอ..101
ค.5 มอดุลัสโค้งงอ..102
ค.6 ความแข็งแรงกระแทก..103
ค.7 ความแข็งกด..104
จ.1 ร้อยละการดูดซับน้ำ..108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ตัวอย่างงานวัสดุคอมโพสิตจากพลาสติกและไม้.....1
1.2 การเติบโตตลาด และปริมาณการใช้ WPC ของอเมริกาเหนือปี 2543.....2
1.3 การเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ.....3
1.4 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนของสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ.....3
2.1 ไม้เต็งนอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....9
2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส.....11
2.3 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลส.....12
2.4 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....13
2.5 โครงสร้างของลิกนิน.....14
2.6 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน.....15
2.7 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน.....16
2.8 ประเภทของวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง.....18
2.9 การกระตุ้นโคพอลิเมอร์ด้วยความร้อน.....22
2.10 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของเซลลูโลส.....22
4.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 20 เท่าของขี้เลื่อยที่มี
(ก) ขนาด 12-34 เมช (ข) ขนาด 35-99 เมช และ (ค) มากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช.....41
4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของ
(ก) วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาด 12-34 เมช และ
(ข) วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช.....43
4.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของ
(ก) วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาด 12-34 เมช และ
(ข) วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช.....43
4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 และ 200 เท่าของ
(ก) ไม่ใช้สารช่วยผสม
(ข) ใช้สารช่วยผสมร้อยละ 5.....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 20 และ 500 เท่า ของขี้เลื่อยที่มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช
(ก) ขี้เลื่อยก่อนปรับปรุงพื้นผิว
(ข) ขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 60 นาที
(ค) ขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 60 นาที..47

4.6 ภาพถ่ายพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของวัสดุคอมโพสิต ระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช กำลังขยาย 30 และ 1000 เท่า ตามลำดับ
(ก) วัสดุคอมโพสิตที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิว
(ข) ปรับปรุงพื้นผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 60 นาที และ
(ค) ปรับปรุงพื้นผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 15% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 60 นาที 48

4.7 ภาพถ่ายพื้นผิววัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยที่มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) กำลังขยาย 200 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 1,000 เท่า.........................49

4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) พอลิพรอพิลีน (ข) ขี้เลื่อย และ (ค) วัสดุคอมโพสิต 51

4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุคอมโพสิต
(ก) ขี้เลื่อยปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 60 นาที
(ข) เติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย
(ค) ขี้เลื่อยปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 60 นาที และเติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

(ง) ไม่มีการปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างวัฏภาค..52

4.10 TG เทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีน ขี้เลื่อย และวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดขี้เลื่อยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช....................53

4.11 (ก) TG และ (ข) DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดขี้เลื่อยมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช วัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์ กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย วัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 60 นาที และวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิก-แอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย และปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 60 นาที โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก..55

4.12 ความแข็งแรงดึงของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง 58

4.13 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก ของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ..59

4.14 มอดุลัสแรงดึงของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ..59

4.15 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ..60

4.16 มอดุลัสโค้งงอของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ..61

4.17 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ..62

4.18 ความแข็งกดของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ..63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.19 ความแข็งแรงดึงของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ.........65

4.20 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ.........66

4.21 มอดุลัสแรงดึงของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ.........66

4.22 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ.........67

4.23 มอดุลัสโค้งงอของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30โดยน้ำหนักและเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ.........67

4.24 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมใน ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ.........68

4.25 ความแข็งกดของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ.........69

4.26 ความแข็งแรงดึงของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน.........71

4.27 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน.........71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.28 มอดุลัสแรงดึงของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน....................72

4.29 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน....................74

4.30 มอดุลัสโค้งงอของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน....................74

4.31 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน....................75

4.32 ความแข็งกดของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน....................76

4.33 สมบัติทางแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดราย์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และ (ค) มอดุลัสแรงดึง....................79

4.34 สมบัติทางแรงโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดราย์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย (ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ....................80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.35 ความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย.....81

4.36 ความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย.....82

4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีน วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาดขี้เลื่อยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช วัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย วัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 60 นาที และวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 60 นาที โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย.....84

ก.1 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีน.....93

ก.2 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาด 12-34 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก.....93

ก.3 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก.....94

ก.4 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสม MAPP ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย.....94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.5 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึก ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก........................95

ก.6 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของ วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก........................95

ก.7 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของ วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสม MAPP ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย........................96

ง.1 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของพอลิพรอพิลีน........................105

ง.2 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของขี้เลื่อยขนาด มากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช 105

ง.3 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก 106

ง.4 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสม MAPP ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย........................106

ง.5 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก........................107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.6 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมชที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสม MAPP ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย............	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

พลาสติกจัดเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย พอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกประเภทหนึ่งที่มีผู้นิยมนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ การผลิตพลาสติกคอมโพ-สิตเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานกันมาก เนื่องจากพลาสติกคอมโพสิตมีสมบัติเด่นหลายประการที่สำคัญ คือ มีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ เช่น โลหะหรือเซรามิกส์

วัสดุเสริมแรงในพลาสติกคอมโพสิตในปัจจุบันที่นิยมคือ เส้นใยแก้วและไมก้า ซึ่งมีราคาแพงจึงได้มีผู้ศึกษาที่จะประยุกต์นำเส้นใยไม้ มาใช้สารเสริมแรง (Wood fibre-reinforced thermoplastic composites) เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีราคาถูก หาง่าย ความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา ปรับปรุงสมบัติทางเคมีได้ ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และลดกากเสียจากอุตสาหกรรมไม้และเกษตรกรรม แต่มีข้อจำกัด คือ มีสมบัติการดูดซับน้ำ และมีสมบัติการยึดติดกับพอลิเมอร์ที่ไม่ดี

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างงานวัสดุคอมโพสิตจากพลาสติกและไม้ [1-4]

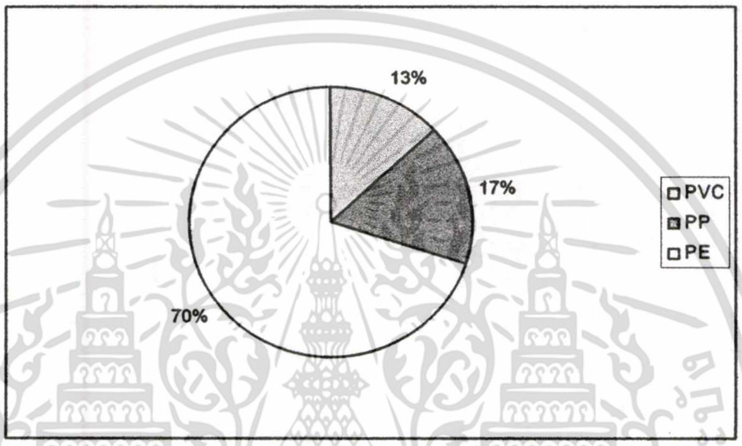
พลาสติกคอมโพสิตที่มีไม้เป็นส่วนเสริมแรง (Wood Plastic Composite, WPC) [5] เป็นวัสดุทดแทนไม้ที่ได้รับความสนใจอย่างมากในตลาดยุโรป สังเกตจากรายงานผลการศึกษา WPC และสถิติการเติบโตของตลาด WPC ปี 2543 ถึง 2548 (2000 ถึง 2005) ดังที่แสดงในแผนภูมิรูปที่ 1.1-1.2 และจากตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่า WPC เป็นสารตัวเติมที่มีอัตราการใช้งานสูงกว่าเส้นใยแก้ว และสาร ตัวเติมประเภทแร่ (Mineral filler)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

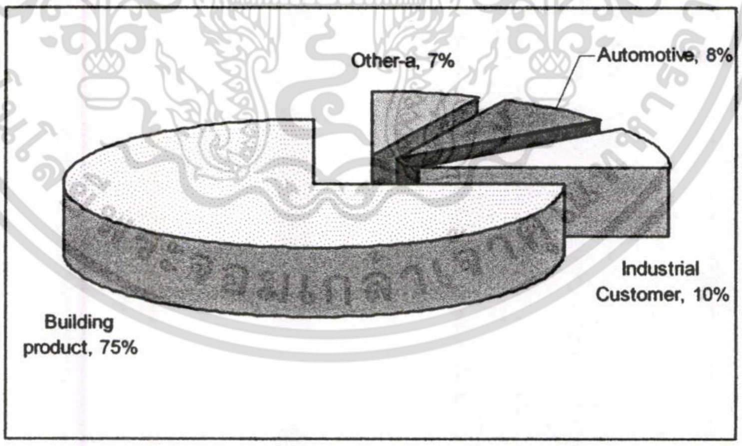
ตารางที่ 1.1 แสดงการเติบโตของตลาด Filler Compound ในอเมริกาเหนือ

(North America Market Size) [5]

การเติบโตของตลาด Filler Compound ในอเมริกาเหนือ			
ปี (Millions pounds / Year)	2000	2005	Growth Rate
เส้นใยแก้ว	200	300	8.4%
Talc,$CaCO_3$	1,000	1,200	3.7%
Wood Polyolefin	530	1,100	15.7%



2000 North America Market WPC



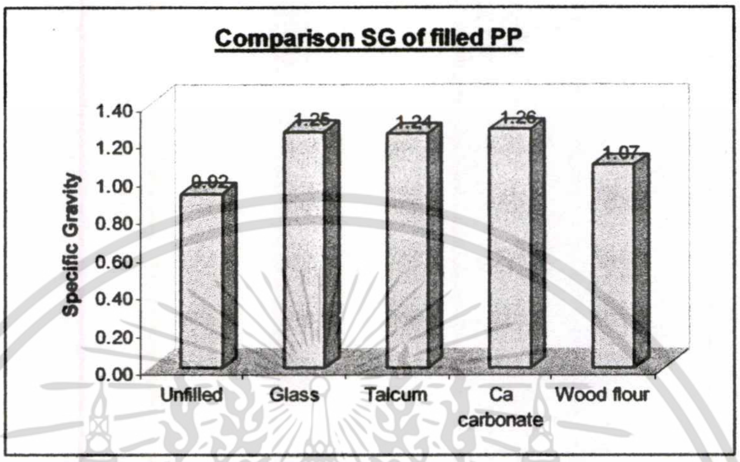
Major end market for WPC

รูปที่ 1.2 การเติบโตตลาด และปริมาณการใช้ WPC ของอเมริกาเหนือปี 2543 [5]

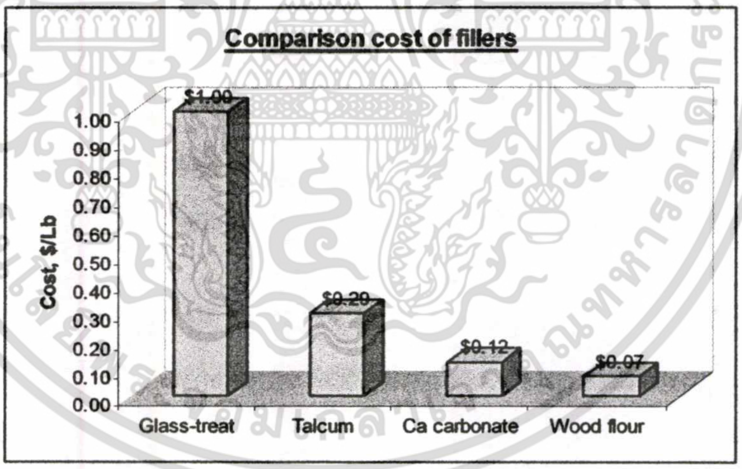
เนื่องจากไม้เป็นสารตัวเติมที่ราคาถูก และมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารตัวเติมชนิดอื่นเช่น เส้นใยแก้ว (Glass fiber) แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) และทัลค์ (Talc) ดังที่แสดงในแผนภูมิรูปที่ 1.3-1.4 จะพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของ เส้นใยแก้ว แคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอเนต และทัลค์ มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าผงไม้มาก แสดงว่าเมื่อนำมาเป็นสารตัวเติมในพลาสติกในอัตราส่วนที่มากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความถ่วงจำเพาะสูง หรือ น้ำหนักมากส่งผลทำให้ใช้งานยาก และยังมีราคาที่สูงกว่าผงไม้ ดังนั้นการใช้ผงไม้เป็นสารตัวเติมจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีต้นทุนที่ต่ำกว่าการใช้สารตัวเติมชนิดอื่น



รูปที่ 1.3 การเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ [5]



รูปที่ 1.4 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนของสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ คือ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) ซึ่งใช้เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ เนื่องจากพอลิพรอพิลีนสามารถหลอมเหลวและขึ้นรูปได้ง่ายที่อุณหภูมิปานกลาง มีสมบัติที่เหนียว ใส แข็งแรงและถือว่ามีน้ำหนักเบาที่สุด และใช้ขี้เลื่อยไม้เต็งนอก (*Shorea foxworthyi*) ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงเลื่อยเป็นสารเสริมแรงสำหรับพอลิพรอพิลีน แต่อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยยังไม่ดีนัก เนื่องจากขี้เลื่อยเป็นเส้นใยมีองค์ประกอบทางเคมี คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) หรือมีความสามารถของการดูดซับน้ำสูงไม่สามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวได้ดีกับพอลิพรอพิลีนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือมีความสามารถของการดูดซับน้ำต่ำที่สำคัญการยึดติดกันของพื้นผิวระหว่างเมตริกซ์และเส้นใยนี้มีบทบาทสำคัญโดยตรงต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) ของคอมโพสิตที่ผลิตได้ ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ของขี้เลื่อยกับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์สามารถจึงได้มีการทำได้โดยใช้วิธีการทางเคมี เช่น การใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 2 วัฏภาค หรือการปรับปรุงพื้นผิวด้วยด่าง (Alkali Treatment)

ในงานวิจัยนี้มีการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยด่าง ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) และสารช่วยผสม (Compatibilizer) ที่ใช้ ได้แก่ พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิอิก-แอนไฮดรายด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) ซึ่งคาดว่าการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยด่าง และการใช้สารคู่ควบ จะช่วยปรับปรุงพันธะระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับเมตริกซ์ให้มีการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อผลิตคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยไม้เต็งนอก

2. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตที่ผลิตได้

3. เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงการยึดเกาะพื้นผิวระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาถึงขนาดและปริมาณของขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ได้

2. ศึกษาสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) มอดุลัส (Modulus) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ความแข็งแรงกระแทก (Impact streng th) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การดูดซับน้ำ (Water absorbtion) สมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริ-มิเตอร์ (Differential scanning calorimeter) ได้แก่ อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และองศาการเกิดผลึก รวมถึงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ที่มีพอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์และขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติม

3. ศึกษาเชิงเปรียบเทียบถึงการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอก-ไซด์

4. ศึกษาถึงผลของปริมาณของสารช่วยผสม MAPP ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุคอมโพ-สิตที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตวัสดุคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยให้สมบัติโดยรวมดีขึ้น

2. เพิ่มมูลค่าให้กับขี้เลื่อยที่ได้จากอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ให้สามารถใช้ประโยชน์ในการเสริมแรงพลาสติกได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) [6-8]

หน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) คือ $-\!\left(CH_2-\underset{CH_3}{CH}\right)_n\!-$ มีหมู่เมทิล (CH_3) เกาะอยู่บนโครงสร้างพอลิพรอพิลีน เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบามีจุดหลอมเหลวปานกลาง ใช้ผลิตท่อ แผ่นพลาสติก ภาชนะเป่าขึ้นรูป และเส้นใย สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งเฮเทอโรจีเนียส (Heterogeneous catalysts) พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเหนียว ใส แข็งแรง และเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer)

2.1.1 สมบัติทางกายภาพและการนำไปใช้

พอลิพรอพิลีนมีความเป็นผลึกสูงเนื่องจากมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงโดยตลอด มีจุดหลอมเหลว 165 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ 13-0 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่น 0.905 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเนื่องจากความเป็นผลึกสูงจึงทำให้พอลิ- พรอพิลีนมีสมบัติเชิงกลที่ดี และมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าพอลิเอทิลีนทำให้สามารถใช้งานได้ที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า เนื่องจากพอลิพรอพิลีนสามารถทำแม่แบบที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ง่าย และวัสดุที่ทำจากพอลิพรอพิลีนยังรักษาความแข็งแกร่งของรูปทรงไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 140 องศาเซลเซียส สมบัติการละลายได้ของพอลิพรอพิลีนคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีน กล่าวคือไม่สามารถละลายในตัวทำละลายใด ณ อุณหภูมิห้อง แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน และคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส

สมบัติของพอลิพรอพิลีนขึ้นอยู่กับความหนาแน่น น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนแสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนเชิงพาณิชย์ [6-7, 9]

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

ประมาณครึ่งหนึ่งของพอลิพรอพิลีนที่ผลิตขึ้นนำไปทำเป็นส่วนประกอบ และชิ้นส่วนของรถยนต์และอุปกรณ์เครื่องใช้งานในบ้าน ส่วนที่เหลือใช้ทำในรูปเส้นใย และฟิล์ม

2.1.1.1 ข้อดีของพอลิพรอพิลีน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 ข้อด้อยของพอลิพรอพิลีน

1. สลายตัวต่อรังสีอุลตราไวโอเลต
2. ไม่ทนต่อสภาวะแวดล้อม
3. ติดไฟง่าย
4. ละลายในตัวทำละลายที่มีคลอไรด์หรืออะโรมาติกเป็นองค์ประกอบ
5. ยากต่อการเชื่อมต่อหรือประกอบ
6. โลหะจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

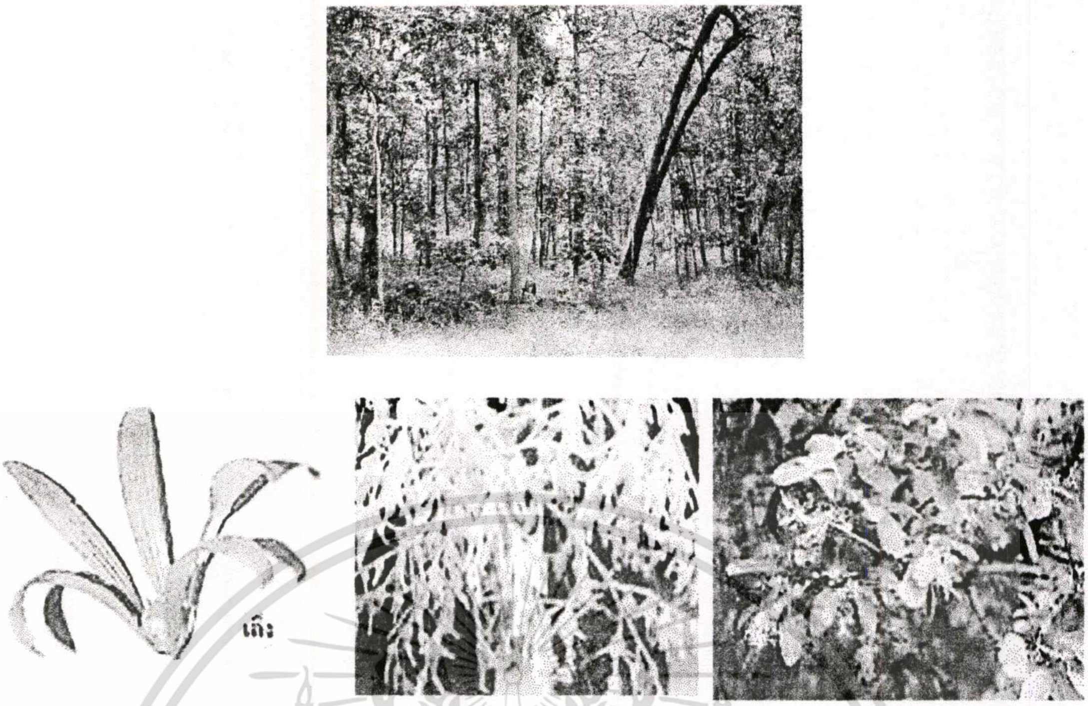
2.2 ไม้เต็งนอก [10-11]

ขี้เลื่อยที่ใช้เป็นสารเสริมแรงสำหรับงานวิจัยนี้เป็นเศษไม้ที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้เนื้อแข็งชนิดไม้เต็งนอก (*Shorea foxworthyi*)

ไม้เต็งนอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ชื่อทางพฤกษศาสตร์	*Shorea foxworthyi*
วงศ์	Dipterocarpacase
ลักษณะที่เกิด	เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูง 15-30 เมตร เรือนยอดเป็นพุ่มกว้าง ออกดอกและผลระหว่างเดือนมีนาคม-มิถุนายน ก่อนออกดอกจะผลัดใบและผลิใบใหม่พร้อมกับช่อดอก จัดเป็นไม้เนื้อแข็งขึ้นเป็นหมู่ตามป่าแดง และป่าเต็งรังทั่วไป ยกเว้นภาคใต้
ลักษณะทั่วไปของเนื้อไม้	สีน้ำตาลอ่อนเมื่อตัดใหม่ ๆ ทิ้งไว้นาน ๆ จะเป็นสีน้ำตาลแก่แกมแดงไม่มีกลิ่น และรส น้ำหนักมาก(ความถ่วงจำเพาะ ≈ 1.05) เซลล์ของเนื้อไม้เรียงตัวเบี่ยงเบนไปจากแกนของลำต้น ทั้งทางขวา และทางซ้ายสลับกัน เนื้อไม้หนาปานกลาง และสม่ำเสมอ มีความแข็งมาก
ลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้	วงรอบปีมีแต่ไม่ชัดเจน ระบบท่อลำเลียงอยู่กันอย่างกระจัดกระจายมองเห็นด้วยตาเปล่า มีขนาดความโตเฉลี่ยประมาณ 5 ท่อลำเลียงต่อหนึ่งตารางมิลลิเมตร
ประโยชน์	ใช้ก่อสร้างได้แข็งแรงทนทาน เช่น ทำโครงสร้างอาคารบ้านเรือนและพื้นสะพาน รถ เครื่องมือกสิกรรม ไม้หมอนรถไฟ โครงเรือเดินทะเล ฯลฯ เปลือกใช้เป็นยาสมานแผล ห้ามเลือด รักษาแผลเรื้อรัง แผลพุพอง ชันไม้ผสมน้ำมันทาไม้ และยาแนวเรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ไม้เต็งนอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ [12-14]

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางธรรมชาติของไม้เต็งนอก [15]

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

*** จากค่าสถิติความทนทานตามธรรมชาติของประเทศมาเลเซีย**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 เส้นใยไม้ [16]

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

- ไม้เนื้อแข็ง ลักษณะใบจะกว้าง ผลัดใบตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของโลก ที่สำคัญ คือ จะมีท่อลำเลียงน้ำมัดรวมอยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช เช่น ไม้เต็ง ไม้สัก เป็นต้น

- ไม้เนื้ออ่อน ลักษณะใบจะคล้ายเข็ม ไม่มีการผลัดใบและไม่มีส่วนที่เป็นท่อลำเลียงน้ำในโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช เช่น ไม้แดง ไม้ประดู่ เป็นต้น

ไม้เนื้อแข็งตามมาตรฐานกรมป่าไม้กำหนดว่าไม้ชนิดใดเป็นไม้เนื้อแข็งนั้น พิจารณาตามความแข็งแรง ทนทาน ตามหนังสือกรมป่าไม้ที่ กส. 0702/6679 ลงวันที่ 3 พ.ค. 2517 ได้แบ่งไม้ออกเป็น 3 ประเภท โดยถือเอาค่าความแข็งแรงในการดัดไม้แห้ง (ความชื้นประมาณ 12 %) และความทนทานตามธรรมชาติของไม้ชนิดนั้นเป็นเกณฑ์ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ประเภทของไม้ตามมาตรฐานกรมป่าไม้ [15]

ชนิดไม้	ความแข็งแรงในการดัด (kg/cm^3)	ความทนทานตามธรรมชาติ (ปี)
ไม้เนื้อแข็ง	มากกว่า 1000	มากกว่า 6
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	600 - 1000	2 – 6
ไม้เนื้ออ่อน	น้อยกว่า 600	น้อยกว่า 6

อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากมีปริมาณขององค์ประกอบที่แตกต่างกันบ้าง ส่วนประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนแสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน [16]

ส่วนประกอบ	ไม้เนื้อแข็ง	ไม้เนื้ออ่อน
เซลลูโลส	31-64	30-61
เฮมิเซลลูโลส	15-35	20-32
ลิกนิน	14-35	22-37
ขี้เถ้า	0.1-5.4	0.02-1.1

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ [17]

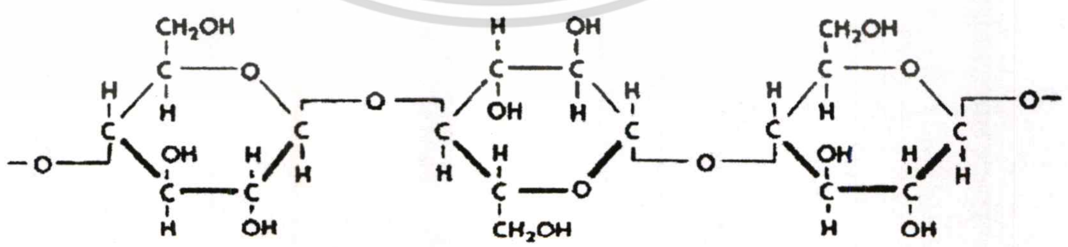
องค์ประกอบทางเคมี (Chemical compositions) ที่สำคัญของไม้ ได้แก่ คาร์บอน (C) 49-50% ไฮโดรเจน (H) 6% และออกซิเจน (O) 44-45% นอกจากนี้ยังมีไนโตรเจน (N) 0.1-1% และแร่ธาตุปริมาณน้อย เช่น แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโพแทสเซียม (K) ที่พบในเถ้าไม้อีกด้วย

2.2.3 องค์ประกอบอินทรีย์ของเส้นใยไม้ [16,18]

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

2.2.3.1 เซลลูโลส

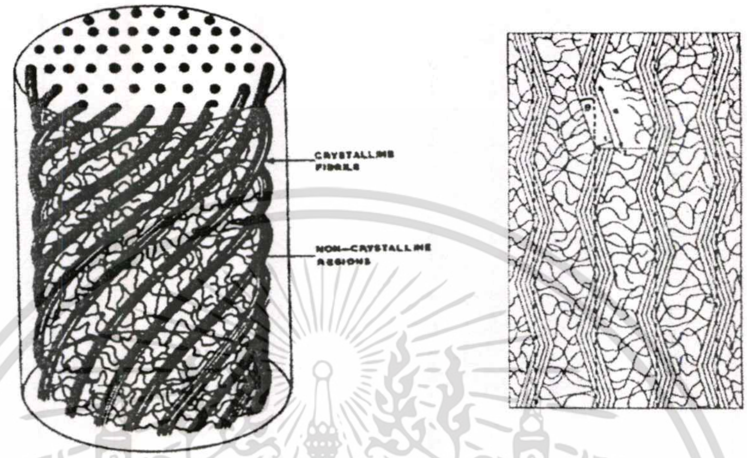
เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccarides) ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กันของกลูโคสที่มีสูตรเคมี $C_6H_{12}O_6$ เป็นโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccarides) ที่เกิดผ่านการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กลูโคสเป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบรวมกับลิกนิน เพนโตแซนกัม (Pentosan gum) แทนนิน ฯลฯ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลสสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวสูง มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำแต่จะละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก เป็นต้น รูปที่ 2.3 แสดงการจัดเรียงตัวของผลึกและ อสัณฐานในโครงสร้างของเซลลูโลส



รูปที่ 2.3 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลส [18]

สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

1. ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งแปรตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี

2. การดูดซับความชื้น เซลลูโลสเป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ปริมาณความชื้นมีผลต่อสมบัติบางประการ อย่างเช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

3. การละลาย เซลลูโลสไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดแร่เข้มข้น เช่น 72% กรดซัลฟูริก 40% กรดไฮโดรคลอริกและ 78% กรดฟอสฟอริก เซลลูโลสจะเกิดไฮโดรไลซีส อย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำ

สารละลายเกลือบางชนิดที่เข้มข้น เช่น 72% ซิงค์คลอไรด์ และสารอัลคาไลด์ไฮดรอกไซด์ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้เซลลูโลสบวมและเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ ละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 เฮมิเซลลูโลส

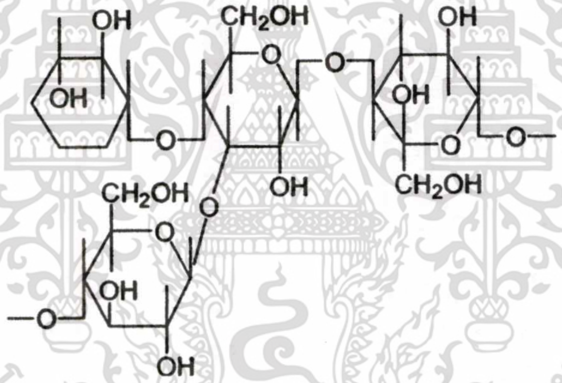
โครงสร้างเฮมิเซลลูโลสจะประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์คล้ายกับเซลลูโลส แต่อย่างไรก็ตามเฮมิเซลลูโลสยังมีข้อแตกต่างจากเซลลูโลส 3 ข้อด้วยกัน คือ

1. เฮมิเซลลูโลสจะประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลคโตส แมนโนส ไซโลส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก ในขณะที่เซลลูโลสจะประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสชนิดเดียวเป็นส่วนใหญ่

2. สายโซ่พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสายโซ่กิ่ง ในขณะที่สายโซ่ พอลิเมอร์ของเซลลูโลสมีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง

3. ระดับการเกิดพอลิแซคคาไรด์จากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Degree of polymerization) ของเซลลูโลสสูงกว่าเฮมิเซลลูโลส

สูตรเคมีของเฮมิเซลลูโลส คือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ โดย n คือ จำนวนหน่วยซ้ำของเฮมิเซลลูโลส โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลสแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



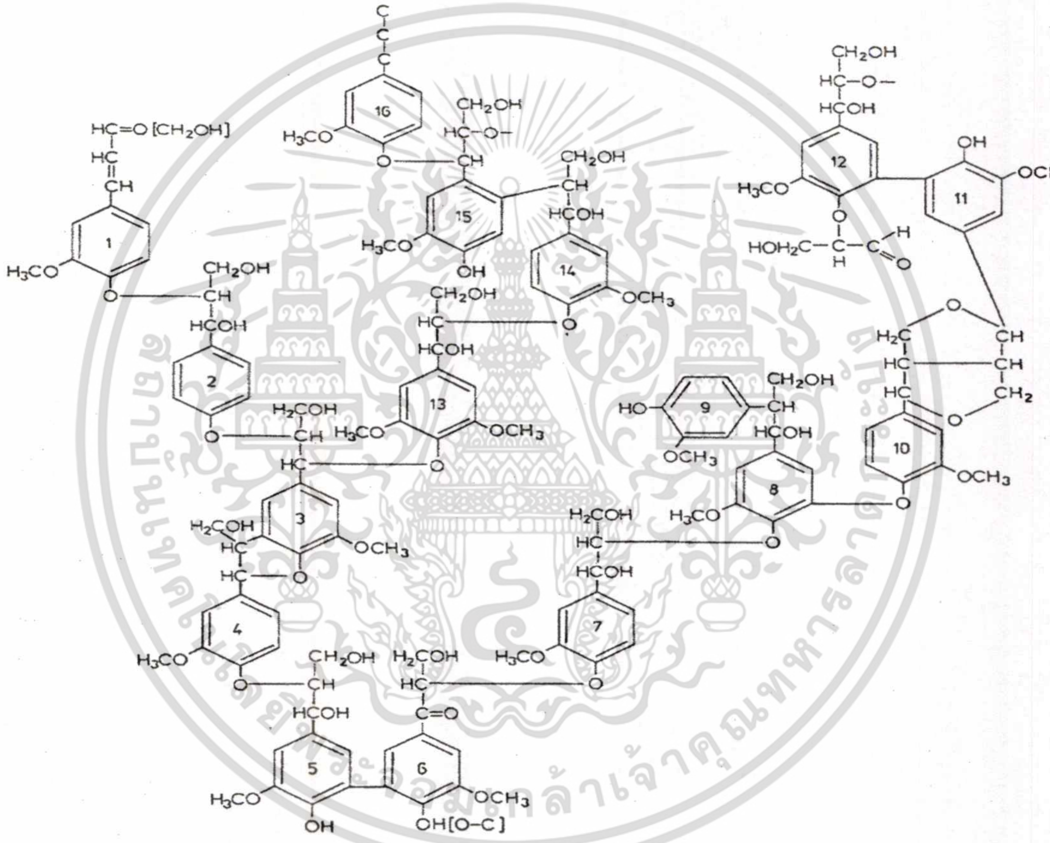
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [19]

เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่น ๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พบมากในแกลบ ซังข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.3 ลิกนิน

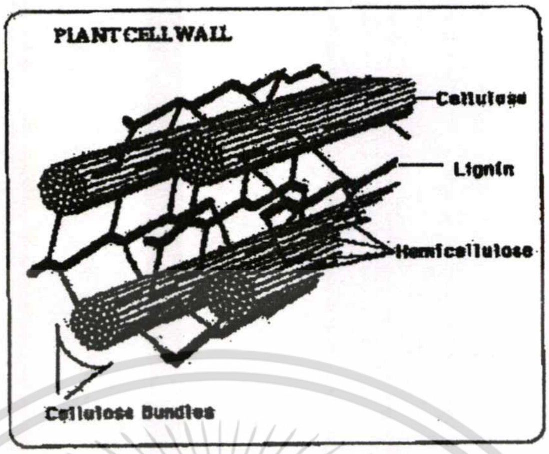
ลิกนินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โครงสร้างของลิกนินจะประกอบด้วยสารอะลิฟาติกและสารอะโรมาติกอยู่รวมกัน สารอะโรมาติกในโครงสร้างของลิกนินทำให้ลิกนินมีเสถียรภาพสูงและไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ลิกนินยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้พืชที่มีปริมาณลิกนินอยู่มากจะมีความแข็ง ทนทานต่อดินฟ้าอากาศสูงมากด้วย ซึ่งไม้ต่างชนิดกันจะมีลิกนินอยู่ในโครงสร้างในรูปที่แตกต่างกันด้วย ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของลิกนิน [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของไม้ สำหรับไม้ชนิดเดียวกันนั้นไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินมาก



รูปที่ 2.6 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน [17]

2.2.3.4 เพคติน

เพคตินเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตรู้จักกันในชื่อของ เฮทเทอโรพอลิแซคคาไรด์ (Heteropolysaccarides) ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ กรดโพลิกาแลคทูรอน (Polygalacturon acid) โดยเพคตินจะละลายในน้ำ หลังจากการทำให้เป็นกลางบางส่วน (Partial neutralization) ด้วยด่างหรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

2.3 คอมโพสิต [21]

คอมโพสิต (Composites) หรือวัสดุประกอบเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานกันอย่างมาก เนื่องจากคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีหลายอย่างจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมโดยใช้เป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering materials) นอกจากนี้มีสมบัติที่หลากหลายเนื่องจากมี คอมโพสิตหลายชนิดและหลายรูปแบบ จึงสามารถเลือกใช้ ออกแบบ และสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ ได้ ทำให้มีการประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตอย่างกว้างขวาง

พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composites) หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบสองส่วน (หรือมากกว่า) ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน (Distinct component) เมื่อผสมเป็นคอมโพสิตแล้วจะมีความแข็งแรงมากกว่าแต่ละองค์ประกอบย่อย

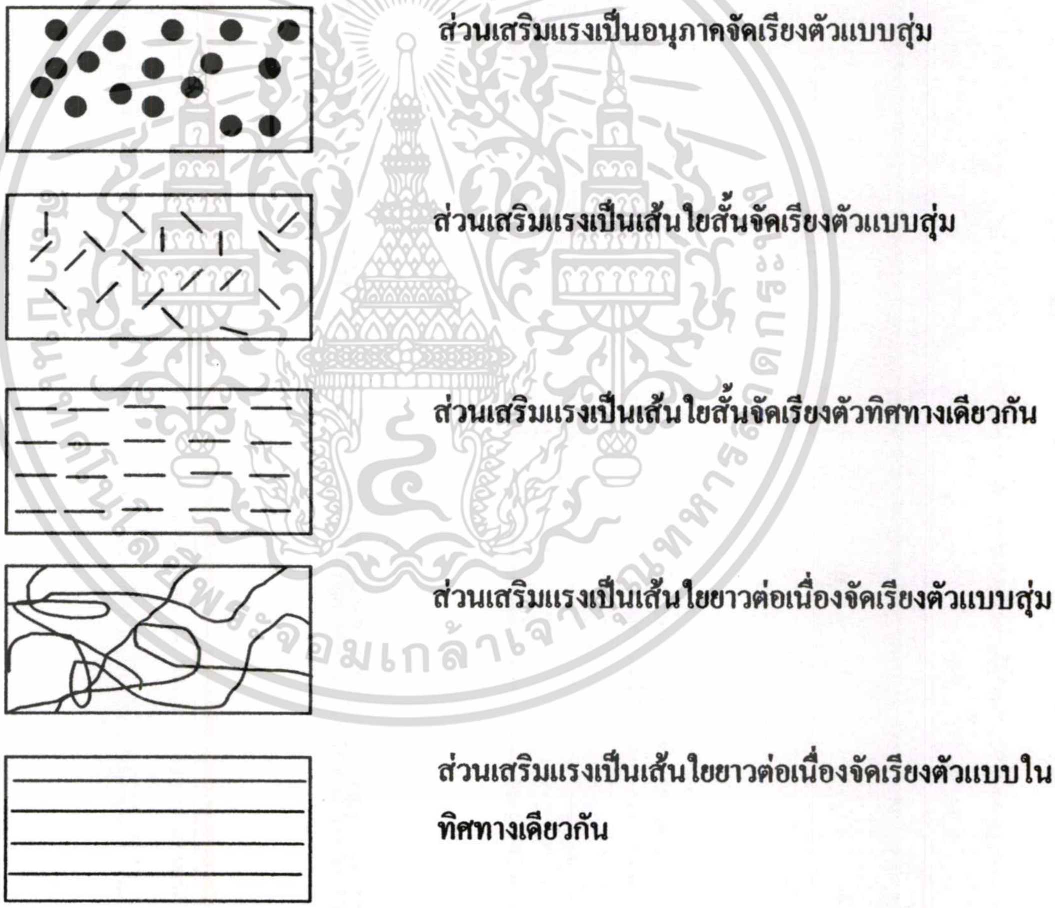
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 องค์ประกอบหลักของคอมโพสิต [21]

คอมโพสิตประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก คือ

2.3.1.1 ส่วนเสริมแรง

ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) เป็นส่วนประกอบที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิต วัสดุที่จะเป็นส่วนเสริมแรงนั้นจะมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง มีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบอาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ส่วนเสริมแรงที่นิยมใช้มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous fibers) นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยที่พันกันหรืออยู่ในรูปของเส้นใยที่ผ่านการถัก (Knitting) หรือการทอ (Weaving) มาแล้วทำให้คอมโพสิตมีโครงสร้างและมีการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรงหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 เมตริกซ์

เมตริกซ์ (Matrix) เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่องที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ทำให้ส่วนเสริมแรงอยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด โดยเมตริกซ์จะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียสภาพจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ เมตริกซ์มักเป็นส่วนที่มีความแข็งแรงและมอดุลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมตริกซ์มีหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้

1. ทำหน้าที่ถ่ายเทความเค้น (Transfer stresses) ที่ได้รับไปยังเส้นใยเสริมแรง และถ่ายเทความเค้นระหว่างเส้นใย
2. ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกัน (Barrier) กับสภาวะแวดล้อมใด ๆ
3. ป้องกันเส้นใยจากการขัดถูเสียดสี (Abrasion)

2.3.2 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต

การแบ่งชนิดวัสดุคอมโพสิตมีหลายแบบ คอมโพสิตอาจแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรงได้คือ

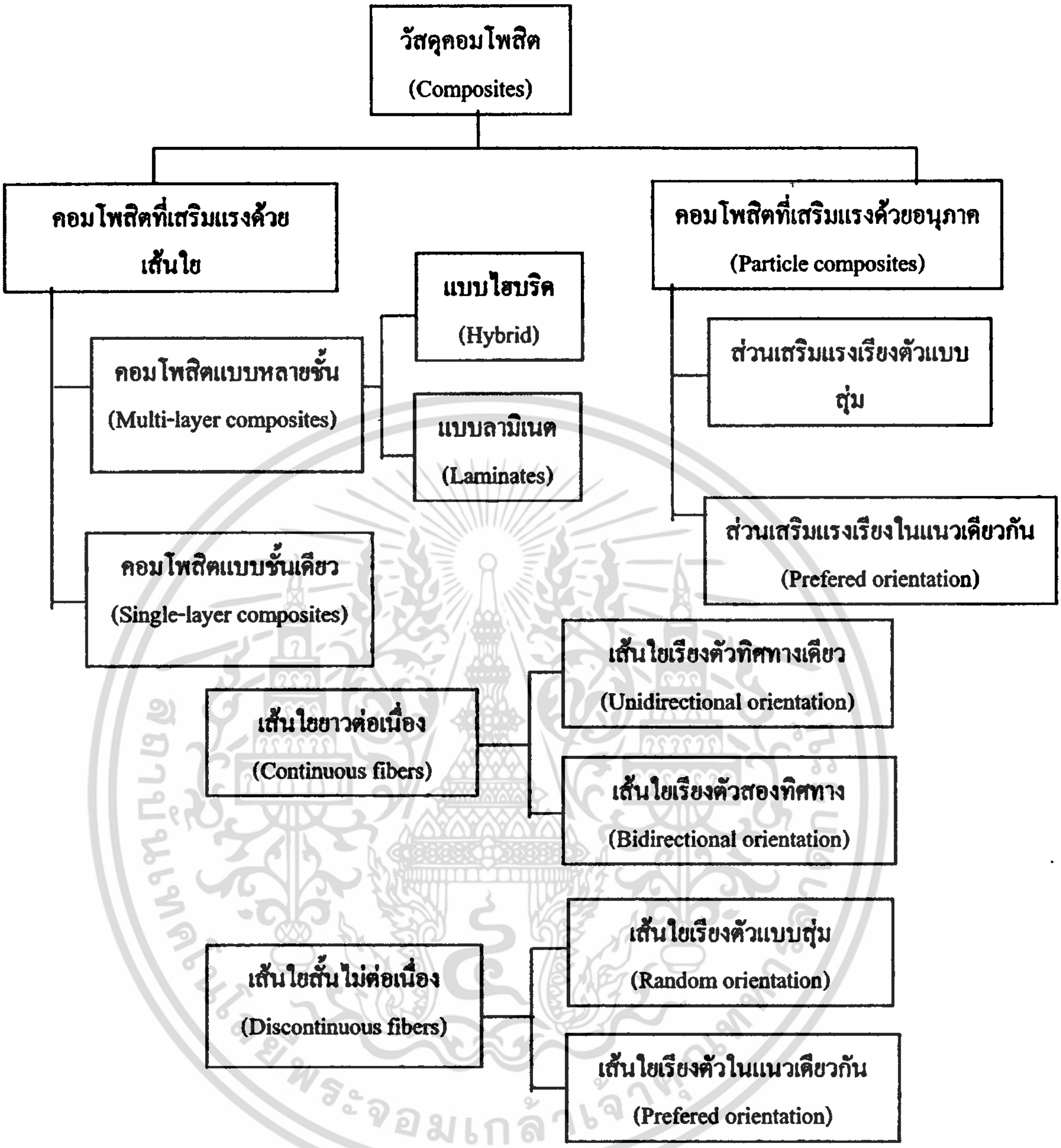
1. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) คือ คอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็น เส้นใย อาจเป็นเส้นใยสั้น (Short fibers) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่มีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่น ๆ
2. คอมโพสิตแบบลามิเนต (Laminar composites) คือ คอมโพสิตที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมตริกซ์ มีลักษณะเป็นชั้น ๆ คล้ายแผ่นประกบหรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง
3. คอมโพสิตแบบเป็นก้อน (Particulate composites) คือ คอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (Beads) เป็นแผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก

และสามารถเขียนเป็นแผนภูมิคอมโพสิตที่แบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรงและการจัดเรียงตัวได้ดังรูปที่ 2.8

นอกจากนี้ ยังสามารถแบ่งชนิดของคอมโพสิตได้ตามลักษณะการเกิดของคอมโพสิต คือ

1. คอมโพสิตจากธรรมชาติ (Natural composites) คือ วัสดุคอมโพสิตที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ไม้ ฟัน และกระดูก ตัวอย่างเช่น ไม้เป็นคอมโพสิตที่มีเส้นใยเซลลูโลสเป็นส่วนเสริมแรง โดยมีสารจำพวกลิกนินเป็นเมตริกซ์ยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน ส่วนกระดูกและฟันเป็นคอมโพสิตของผลึกแข็งอนินทรีย์ คือ ไฮดรอกซีแอปาไทต์ (Hydroxyapatite) ที่อยู่ในเมตริกซ์ของคอลลาเจนที่เป็นสารอนินทรีย์เหนียว เป็นต้น
2. คอมโพสิตจากการสังเคราะห์ (Synthetic composites) คือ วัสดุคอมโพสิตที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พลาสติกเสริมแรง วัสดุไฟเบอร์กลาส ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
74830



รูปที่ 2.8 ประเภทของวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิตสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ข้อดีและข้อเสียของคอมโพสิต [21]

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

2.4 การปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใย [21]

2.4.1 ทฤษฎีการยึดเกาะ

สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยและเมตริกซ์เท่านั้น แต่ยังขึ้นกับลักษณะของผิวสัมผัสของเส้นใยกับเมตริกซ์ด้วย ในวัสดุคอมโพสิต เมตริกซ์สามารถสามารถยึดเกาะกับเส้นใยได้หลายวิธี กลไกการยึดเกาะหลักแบ่งออกเป็น 5 กลไก ซึ่งอาจเกิดอย่างใดอย่างหนึ่งหรือเกิดร่วมกัน ดังนี้

1. การดูดซับและการเปียก (Adsorption and Wetting)

เมื่อพื้นผิวสองพื้นผิวที่ไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่ใกล้กันมากพอ จะเกิด "แรงดึงดูดเชิงกล" (Physical attraction) เช่น การเปียก (Wetting) ของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง ในกรณีของของแข็งสองชนิดอยู่ใกล้ชิดกันมากถึงระดับจุลภาคหรือระดับอะตอม ความขรุขระของพื้นผิวจะเป็นสิ่งขัดขวางไม่ให้เกิดการยึดเกาะหรือสัมผัส จะมีเพียงบางตำแหน่งเท่านั้นที่สามารถสัมผัสกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion)

เกิดระหว่างสองพื้นผิวที่มีการแพร่โมเลกุลพอลิเมอร์บนพื้นหนึ่งไปยังโครงร่างโมเลกุลอีกพื้นผิวหนึ่ง ความแข็งแรงของแรงยึดติดนี้ขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นและความสามารถในการเคลื่อนที่และการเกี่ยวพันของสายโซ่พอลิเมอร์

3. แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic attraction)

เกิดขึ้นเมื่อวัสดุสองชนิดที่มีประจุต่างกันมาอยู่ใกล้กัน นั่นคือถ้าพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นบวก และอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นลบ เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุที่ต่างกัน ความแข็งแรงของการยึดติดชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นประจุ แรงดึงดูดระหว่างประจุหรือไฟฟ้าสถิตจะไม่ใช่แรงยึดเกาะหลักระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ในคอมโพสิต

4. พันธะเคมี (Chemical bonding)

เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันเคมีบนพื้นผิว และเมตริกซ์มีหมู่ฟังก์ชันเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นพันธะเคมีได้แก่ พันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ ซึ่งเป็นการยึดเกาะที่แข็งแรง ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น

5. การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical adhesion or mechanical interlocking)
เกิดขึ้นเมื่อเมตริกซ์กระจายบนพื้นผิวเส้นใยในขณะที่เป็นของไหลสามารถที่จะแทรกตัวไปตามพื้นผิวที่ขรุขระของเส้นใย รวมทั้งช่องว่างอื่น ๆ เมื่อเมตริกซ์แข็งตัวเป็นเหตุให้เมตริกซ์ถูกล๊อคแข็งติดอยู่กับพื้นผิวเส้นใย ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวเส้นใยที่เมตริกซ์แทรกตัวไป

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วิธีทางกายภาพ

การปรับปรุงพื้นผิวทางกายภาพทำได้หลายวิธี เช่น การดึงยืด (Stretching) การรีดกลิ้ง (Calendering) การปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้ความร้อน (Thermotreatment) และการพันเส้นใย (Hybrid yarns) วิธีที่ระบุข้างต้นเหล่านี้จะไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตามยังมีการปรับปรุงพื้นผิวทางกายภาพอื่น ๆ ที่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะมีผลต่อพันธะเชิงกลของเส้นใยและเมตริกซ์พอลิเมอร์

2.4.3 วิธีทางเคมี

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

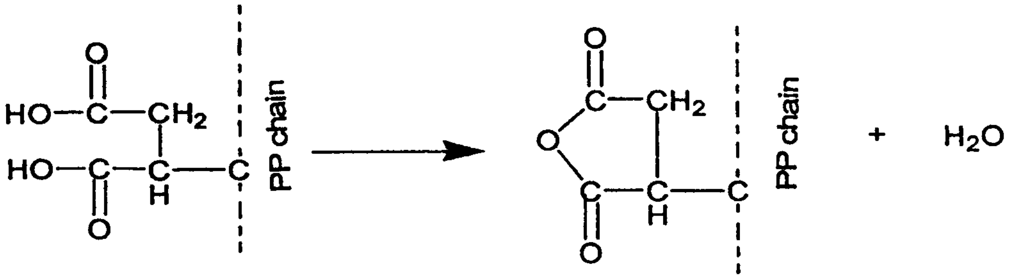
1. สารคู่ควบจะปรับปรุงสมบัติการเปียกผิว (Wettability) ระหว่างพอลิเมอร์กับสารตั้งต้นโดยจะเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างพื้นผิว (Surface tension)
2. สารคู่ควบจะปรับปรุงพื้นผิวระหว่างวัฏภาคที่ไม่แข็งแรงของพลาสติกคอมโพสิต
3. สารคู่ควบจะเพิ่มความเหนียวและความสามารถในการโค้งงอให้กับวัสดุ
4. สารคู่ควบจะสร้างพันธะโควาเลนท์ให้เกิดขึ้นระหว่างวัสดุทั้งสอง
5. สารคู่ควบจะเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของพื้นผิวสารตั้งต้น

2.4.3.1 พอลิเมอร์ร่วมชนิดต่อกิ่ง

วิธีนี้เป็นการใช้พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิอิกแอนไฮดรายด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) เป็นสารคู่ควบซึ่งจะทำให้เกิดพันธะโควาเลนท์ระหว่างมาลิอิกแอนไฮดรายด์ และหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของเซลลูโลส กลไกของปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ 2 ขั้นตอนคือ

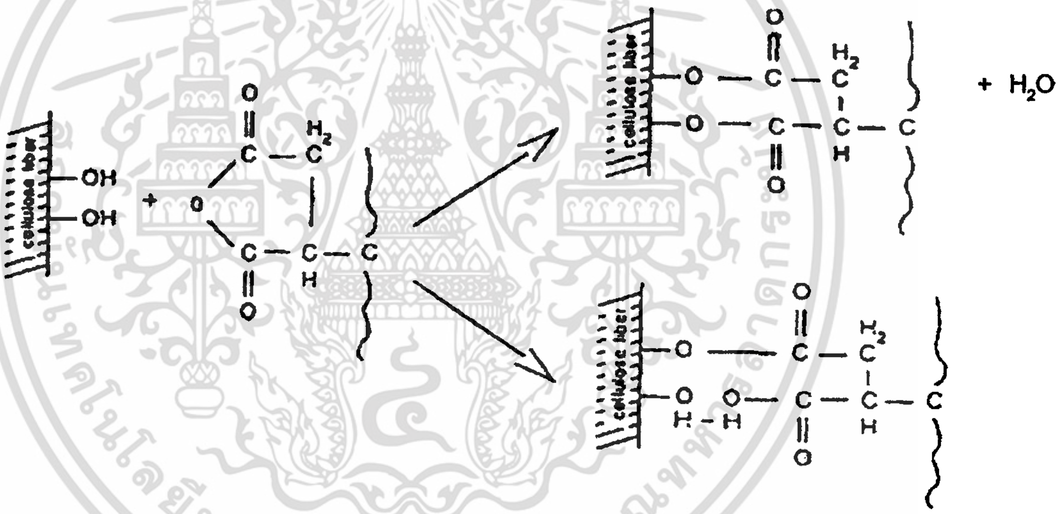
ขั้นที่ 1 การกระตุ้นโคพอลิเมอร์ (Activation of the copolymer,MAPP) ด้วยความร้อน โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 170 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยซึ่งโคพอลิเมอร์จะเปลี่ยนรูปเป็นแอนไฮไดรด์ที่ว่องไวกว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การกระตุ้นโคพอลิเมอร์ด้วยความร้อน [22]

ขั้นที่ 2 เอสเทอริฟิเคชันของเซลลูโลส (Esterification of cellulose) เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนและเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสและเกิดพันธะเอสเทอร์ได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของเซลลูโลส [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นันทพร พันธุ์ภักดี และ เรวดี สกุลอาริยะ [23] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตใช้เส้นใยอ้อยเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยมีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีการการฉายรังสี การปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยสารอีโพลีนแวกซ์ (Epolene wax) ซึ่งเป็นสารช่วยกระจาย และการใช้มัลติฟังก์ชันมอนอเมอร์ (Maltifunctional monomer) โดยใช้สาร TMPTA ใช้การผสมด้วยเครื่อง Barbender ขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding พบว่าปริมาณเส้นใยอ้อย 10% โดยน้ำหนักสามารถทนต่อแรงดึงยืด แรงกระแทก การขัดถู และความร้อนได้ดี

จิราพรรณ หน่ายคอน และ มาริษา ต้นติลักขณา [24] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์ คอมโพสิตใช้เส้นใยอ้อยเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขวดน้ำพลาสติกที่เหลือใช้ โดยมีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์ 60 ในปริมาณ 0 10 20 และ 30 กิโลเกย์ และใช้มัลติฟังก์ชันมอนอเมอร์ช่วยในการต่อกิ่ง พบว่าการฉายรังสีในปริมาณ 10 กิโลเกย์ ให้สมบัติดีที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำจากเส้นใยใหม่และเก่า พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำจากเส้นใยใหม่ให้สมบัติเชิงกลดีกว่า และดูดซับน้ำน้อยกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากเส้นใยเก่า

กมลทิพย์ มุมิ และ รัชนีกุล บุญหนูกลับ [25] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตใช้เส้นใยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมในอะคริโลไนไตร์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS) โดยการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยมะพร้าวโดยทำการสกัดเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% นาน 48 ชั่วโมง และสกัดเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% นาน 48 ชั่วโมงแล้วต่อกิ่งด้วยอะคริลาไมด์ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาสภาวะในขั้นตอนการต่อกิ่งโดยใช้ความเข้มข้นมอนอเมอร์ 0.5 0.75 และ 1 โมลาร์ ใช้เวลาในการต่อกิ่ง 1 3 และ 5 ชั่วโมง รวมทั้งศึกษาผลของอะคริลาไมด์ที่ติดอยู่บนเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต โดยการนำเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกนำไปล้างน้ำกลั่นอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส อีกส่วนล้างด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง อบเส้นใยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมงก่อนนำไปเตรียมคอมโพสิต ผลจากการศึกษาพบว่าเส้นใยมะพร้าวที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้คอมโพสิตมีสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนดีกว่าเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุง เนื่องจากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ดีขึ้น นอกจากนี้พบว่าสภาวะการต่อกิ่งทำให้ได้คอมโพสิตที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M.B.Fernanda และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยไม้ที่ได้จากเยื่อไม้ของต้นสน (Aspen) ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยสนกับเมตริกซ์ที่เป็นพอลิพรอพิลีนหรือพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิอิกแอนไฮดรายด์ นอกจากนี้ยังศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมเพื่อเตรียมพลาสติกคอมโพสิต โดยทำการผสมพอลิพรอพิลีน และเส้นใยสนที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 และ 15 นาที ความเร็วสกรู 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/w ให้ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความทนทานต่อการโค้งงอสูงที่สุด และร้อยละการยืด ณ จุดขาด ต่ำที่สุด

T.Q.Li และคณะ [27] ทำการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่และขี้เลื่อยจากต้นสนที่ได้จากโรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ทั่วไป พบว่าความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด (Notched Izod strength) เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณ MAPP และปริมาณเส้นใยในคอมโพสิต นอกจากนี้ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้นตามปริมาณ MAPP ที่เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อทำการศึกษาลักษณะการแตกตัวเชิงกล (Linear fracture mechanics, LEFM) โดยการทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบชาร์ปี พบว่าพลังงานแตกร้าว (Fracture energy, G_c) เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของปริมาณ MAPP และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อไม่ได้เติม MAPP ส่วนความเหนียวขณะแตกร้าว (Fracture toughness, K_c) ของคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าคอมโพสิตที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP แต่ความเหนียวขณะแตกร้าวของคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP มีค่าต่ำกว่าคอมโพสิตที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP ที่ปริมาณเส้นใย 30% และ 40%

K.Rajeev และคณะ [28] ศึกษาคอมโพสิตระหว่างไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีนและเส้นใยปอกระเจา (Kenaf fiber) โดยใช้ MAPP เป็นสารช่วยผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่และฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน นอกจากนี้ยังศึกษาคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยสารละลาย Amino-ethyl-amino-propyl tirmethoxysilane ในน้ำ และทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ จากผลงานวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ MAPP 2-5% ทำให้สมบัติด้านแรงดึงและสมบัติด้านการโค้งงอเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทกและความเหนียว (Toughness) ลดลง นอกจากนี้สมบัติต่าง ๆ ของคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลนที่ปริมาณเส้นใยเท่ากันเปรียบเทียบกับการใช้ MAPP นั้น พบว่าการใช้ไซเลนให้สมบัติด้านแรงดึง สมบัติด้านโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าการใช้ MAPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P.W.Balasuriya และคณะ [29] ศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของคอมโพสิตระหว่าง HDPE และเศษไม้ (Wood flakes) ด้วยมาลิอิกแอนไฮดรายด์ (MA) ผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin - screw extruder) และใช้สารละลายไซเลน (N - (4 - vinylbenzyl) - N′ - (3 - trimethoxysilypropylethyl) enediamine, CVBS) จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC และ FTIR สามารถพบโครงสร้างที่เกิดจาก HDPE และไซเลนต่อกิ่งบนเส้นใยไม้ที่ตำแหน่งสเปกตรัม 1111 และ 1032 cm^{-1} ซึ่งเป็นโครงสร้างของพอลิไซลอกเซน และพบพีกที่ตำแหน่ง 1865 1786 และ 1795 - 1775 เป็นหมู่แอนไฮดรายด์ นอกจากนี้ที่ตำแหน่ง 1305 และ 1220 cm^{-1} ของ C-O Stretching ของ Cyclic anhydride ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยไม้และพอลิเอทิลีน จากผลของสมบัติเชิงกลแสดงว่าคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลนและ MA นั้นปรับปรุงความแข็งแรงดึง ความเหนียว และความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด โดยพบว่าการปรับปรุงพื้นผิวด้วย MA 1-2% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย และ ไซเลน 1-3% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย ให้สมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สุด

M.C.Matias และคณะ [30] ศึกษาปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีนและเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากเยื่อกระดาษที่ไม่ได้ฟอกขาวและกระดาษกรองอ้างอิง (Whatman no.42) โดยใช้สารคู่ควบ 3 ชนิด ได้แก่ MAPP, N-2-Aminoethyl-3-aminopropyltri-methoxysilane และ Methyltrimethoxy silane เพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์ ศึกษาปฏิกิริยาโดยใช้เทคนิค DRIFT และ Diffuse reflectance ultraviolet-visible spectroscopy ซึ่งเส้นใยเซลลูโลสทั้งสองชนิดเกิดปฏิกิริยาไปในทางเดียวกัน สำหรับ Aminosilane นั้นเกิดปฏิกิริยากับเซลลูโลสในส่วนของหมู่อะมิโนที่พีกตำแหน่ง 1550 cm^{-1} และเกิดสเปกตรัมของพอลิไซลอกเซนที่ตำแหน่ง 1060-1260 cm^{-1} สำหรับการใช้ MAPP เป็นสารคู่ควบนั้นแสดงพีกที่ตำแหน่ง 1718 และ 1775 cm^{-1} ของ MAPP ส่วนเส้นใยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP นั้นปรากฏสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 1734 cm^{-1} แสดงหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ จากการศึกษาเปรียบเทียบระดับการปรับปรุงพื้นผิวเซลลูโลส (Degree of cellulose modification) ด้วยสารคู่ควบแต่ละชนิดด้วยการวิเคราะห์จลนศาสตร์ของการออกซิเดชัน ชี้ให้เห็นว่าการลดลงของหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของเซลลูโลสเกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันด้วย MAPP เช่นเดียวกับไซเลนที่เกิดจากปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างหมู่ไซลานอลกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N.Stark และคณะ [31] ทำการศึกษาคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและผงไม้โดยพิจารณาผลของชนิดผงไม้และขนาดอนุภาคผงไม้ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของคอมโพสิต โดยเติมผงไม้ปริมาณ 20-60% โดยน้ำหนักผงไม้ พบว่าเมื่อปริมาณผงไม้เพิ่มขึ้นค่ามอดุลัสโค้งงอและมอดุลัสแรงดึง ความหนาแน่น อุณหภูมิการเสียรูปเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงโค้งงอ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด การหดตัวของแม่แบบ (Mold shrinkage) และดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index) มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ไม้เนื้อแข็งให้สมบัติด้านแรงโค้งงอและแรงดึงรวมถึงอุณหภูมิการเสียรูปดีกว่าไม้เนื้ออ่อน และปริมาณผงไม้ 40% โดยน้ำหนักผงไม้ ให้สมบัติโดยรวมดีสุด สมบัติด้านแรงดึง สมบัติด้านแรงโค้งงอ อุณหภูมิการเสียรูป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดผงไม้ สำหรับขนาดผงไม้ต่ำกว่า 0.25 มิลลิเมตรทำให้การหดตัวของแม่แบบลดลง

O.Y.Mansour และคณะ [32] ได้ทำการศึกษาอัตราการเกิดกราฟพอลิเมอร์ไรเซชันแบบต่อกิ่งของไวนิลมอนอเมอร์เมทิลเมทาไคเลท เมทิลอะไคเรท เอทิลอะไคเลท แอลลิลแอลกอฮอล์ แอลลิลคลอไรด์ อะครีโลไนไตล์ โดยใช้เซลลูโลสจากเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายด่าง โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 10 15 20 25 และ 30% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าการปรับปรุงด้วยสารละลายด่างลดความเป็นผลึกของเซลลูโลสลง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% สามารถลดอัตราการเกิดกราฟพอลิเมอร์ไรเซชันและปริมาณการต่อกิ่ง สำหรับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นอื่นพบว่าเป็นการเพิ่มอัตราการใช้ ซีริคแอมโมเนียมซัลเฟท (Free-radical) นอกจากนี้การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่ำกว่า 5% พบว่าให้ประสิทธิภาพ ปริมาณการต่อกิ่ง และความเป็นผลึกของเซลลูโลสมากที่สุด และที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 15% ขึ้นไปทำให้ความเป็นผลึก ประสิทธิภาพและปริมาณการต่อกิ่งลดลง

J.C.M.Suarez และคณะ [33] ได้ทำการศึกษาสมบัติความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกระแทก และโครงสร้างของส่วนประกอบของคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยผสมผงไม้ 4 ชนิดได้แก่ ซินเนมอน เชอร์รี่ วอลนัท และ มะฮอกกานี โดยมีการปรับปรุงพื้นผิวของขี้เลื่อยด้วย MAPP 22.4 % โดยน้ำหนักของผงไม้ พบว่าการเติม MAPP ช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ดีกว่าที่ไม่ได้เติม เนื่องจากช่วยเพิ่มการยึดเกาะบริเวณพื้นผิวระหว่าง PP/ขี้เลื่อย โดยปริมาณ MAPP 20-40% ช่วยปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคได้ดีส่งผลให้สมบัติความแข็งแรงดึงดีที่สุด แต่ที่ปริมาณ MAPP 10% ช่วยปรับปรุงการยึดเกาะเพียงพอแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M.N.Ichazo และคณะ [34] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล โครงสร้างส่วนประกอบ และสมบัติทางความร้อนของคอมโพสิตที่เกิดจากพอลิพรอพิลีนกับผงไม้เนื้อแข็งซึ่งผสมไม้ 5 ชนิดในปริมาณเท่ากัน ได้แก่ มะฮอกกานี ซีดาร์ สน โอ๊ก และซากิซากิ ที่อัตราส่วน 10 20 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่าที่อัตราส่วน 40 % มีสมบัติดีที่สุดจึงนำมาทำการปรับปรุงผงไม้ด้วยโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 18% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที และ 60 นาที แล้วเติมสารช่วยผสม MAPP 3.45% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน เพื่อปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคและการกระจายตัวของผงไม้ พบว่าการปรับปรุงโดยใช้สารละลายด่างเพียงอย่างเดียวช่วยปรับปรุงการกระจายตัวของผงไม้และช่วยให้หมู่ OH ที่ผิวหน้าว่องไวมากขึ้น การเติมผงไม้ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเพิ่มค่ามอดุลัส แต่ค่าร้อยละการดึงยืดและความแข็งแรงกระแทกลดลง การเพิ่มปริมาณผงไม้ทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำโดยเพิ่มอย่างรวดเร็วในระยะเริ่มต้นและเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน แต่พบว่าขนาดของผงไม้ไม่มีผลต่อสมบัติของชิ้นงานมากนัก นอกจากนี้เมื่อเติม MAPP ทำให้ลดร้อยละการดูดซับน้ำลดลงและทำให้อุณหภูมิความเป็นผลึกสูงขึ้น จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่าคอมโพสิตที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงมีค่า T_c เพิ่มขึ้น 7 องศาเซลเซียส และเพิ่ม 13 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านการปรับปรุง แต่ผลของ T_m ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งคอมโพสิตที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุง

K.Joseph และคณะ [35] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางด้านความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตที่เกิดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึง ได้แก่ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใยและลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ โดยที่การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยในวิธีการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) ทำให้เกิดการเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตเพิ่มขึ้น แต่ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง และเมื่อนำคอมโพสิตมาฉีดขึ้นรูปใหม่ได้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ฉีด ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปทำให้เกิดการสลายตัวที่พื้นผิวของเส้นใย จึงทำให้เส้นใยยึดติดกับเมตริกซ์ได้ดีขึ้นค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรงให้ค่าความแข็งแรงดึงดีกว่า คอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิศทาง ตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 มิลลิเมตร ให้ค่าความแข็งแรงดึงที่สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P.V.Joseph และคณะ [36] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนและความเป็นผลึกของคอมโพสิตที่เกิดจากพอลิพรอพิลีน กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) โดยมีการปรับปรุงการยึดเกาะของเส้นใยด้วยยูรีเธนเดลิเวทีฟของพอลิพรอพิลีนไกลคอล์ (PPG/TDI) , MAPP และ $KMnO_4$ ด้วยเทคนิค TG DSC และ OM จากเทคนิค TG พบว่าการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์และการปรับปรุงทางเคมีส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนของคอมโพสิต โดยคอมโพสิตที่เติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงทางเคมีให้สมบัติทางความร้อนที่ดีกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุง จากเทคนิค DSC พบว่าการเติมเส้นใยใน PP ทำให้ความเป็นผลึก และอุณหภูมิการเป็นผลึกสูงขึ้น เนื่องจากที่ผิวหน้าของเส้นใยเกิดการริเริ่มของนิวเคลียส และเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนสูงขึ้น พบว่าการใช้ PPG/TDI ทำให้อุณหภูมิการเป็นผลึกน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) : Moplen® HP550R (High flow polypropylene homopolymer resin) จากบริษัท HMC POLYMERS COMPANY LIMITED มีสมบัติดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (Moplen® HP550R) [37]

สมบัติทั่วไป	Moplen® HP550R	ASTM METHOD
อัตราการไหล (Melt flow rate, g/10min)	22	D 1238
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 ^{o}C, J/m)	15	D 256A
อุณหภูมิการเสียรูป (Deflection temperature at 455 kPa, ^{o}C)	92	D 648

2. ขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอก (*Shorea foxworthyi*) : จากโรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ทั่วไป

3. พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิอิกแอนไฮดรายด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene , MAPP) : Fusabond®P MD353D มีสมบัติดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สมบัติของพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิอิกแอนไฮดรายด์ (Fusabond®P MD353D) [38]

สมบัติทั่วไป	Fusabond® P MD353D	ASTM METHOD
ความหนาแน่น (Density, g/cm^3)	0.90	D 792
ระดับการต่อกิ่ง MAH (wt%)	สูงมาก	FTIR (Dupont)
อัตราการไหล (Melt flow rate, g/10min)	22.4	D1238, 160 °C /0.325kg
จุดหลอมเหลว (°C,°F)	136 (277)	D 3418
พอลิเมอร์พื้นฐาน คือ โคพอลิเมอร์พอลิพรอพิลีนแบบสุ่ม		

4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก (Merck & Co.,Inc.)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) รุ่น Polydrive with Rheomax R252 : HAAKE
2. เครื่องบดพลาสติก (Grinder) รุ่น A 600 : Bosco Engineering
3. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal testing mechine) : LLYOD Instrument LTD. รุ่น LR 30K
4. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Izod impact tester) : บริษัท Yasuda Seiki Seisakusho รุ่น 258-PC IMPACT TESTER
5. เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบชอร์ดี (Hardness tester, shore D) : Yasuda Seiki Seisakusho Ltd. รุ่น DXT
6. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น LP-20 : Lab Tech Engineering Company LTD.
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) : บริษัท LEO รุ่น 1455 VP
8. เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter, DSC) รุ่น Pyris Diamond DSC: Perkin Elmer
9. เครื่องฟูเรียสทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer, FTIR) : Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum GX
10. เครื่องร่อนแยกขนาด
11. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 12 35 และ 100 เมช
12. เครื่องเจียร
13. ตู้อบ (Oven)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เครื่องชั่ง
15. เกียง
16. ถุงมือกันความร้อน
17. เวอร์เนียร์
18. ไมโครมิเตอร์
19. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
20. อ่างน้ำมัน
21. ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
22. อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser)
23. เครื่องให้ความร้อน (Heater)
24. เทอร์โมมิเตอร์
25. ชุดเครื่องมือกรองแบบลดความดัน
26. โถดูดความชื้น (Desiccator)
27. เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น บีกเกอร์ หลอดหยดสาร แท่งแก้วคนสาร เป็นต้น

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมขี้เลื่อย

1. นำขี้เลื่อยมาร่อนเพื่อกำจัดทราย ฝุ่นที่ติดมากับขี้เลื่อย
2. บดขี้เลื่อยด้วยเครื่องบดพลาสติกเพื่อให้ขี้เลื่อยมีขนาดเล็กลง
3. นำขี้เลื่อยที่ผ่านการบดไปคัดขนาดด้วยเครื่องร่อนแยกขนาด โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 12 35 และ 100 เมช
4. นำขี้เลื่อยที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักขี้เลื่อยคงที่

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. นำขี้เลื่อยที่ผ่านการคัดขนาด และอบจนน้ำหนักคงที่แล้วมาผสมกับพอลิพรอพิลีนในอัตราส่วนดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

สูตรที่	พอลิพรอพิลีน (ร้อยละ)	ขี้เลื่อย (ร้อยละ)	ขนาดขี้เลื่อย (เมช)
1	100	-	-
2	85	15	12-34
3	85	15	35-99
4	85	15	>100
5	70	30	12-34
6	70	30	35-99
7	70	30	>100
8	55	45	12-34
9	55	45	35-99
10	55	45	>100

2. ทำการผสมสูตรต่าง ๆ ในภาชนะปิด

3. นำของผสมที่ได้ไปผสมที่อุณหภูมิเดียวกันอีกครั้งด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวโดยใช้อุณหภูมิ 165 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และใช้ความเร็วรอบ 35 รอบต่อนาที

4. นำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก

5. อบของผสมที่ผ่านการบดที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำของผสมไปขึ้นรูปโดยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และอัดเย็นเพื่อให้ชิ้นงานเย็นตัวเป็นเวลา 5 นาที

5. ตัดชิ้นงานทดสอบ

6. ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงาน ตามหัวข้อ 3.3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของวัสดุคอมโพสิต

เลือกสูตรของวัสดุคอมโพสิตที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุดมาศึกษาต่อ

3.3.3.1 การปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อย

- นำขี้เลื่อยมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 30 60 และ 120 นาที

- ปรับค่าความเป็นกรดด่างของขี้เลื่อยให้เป็นกลางด้วยน้ำ หรือ กรดอะซิติก

- อบขี้เลื่อยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่

3.3.3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เตรียมชิ้นงานใน 4 ลักษณะ ดังนี้

- เตรียมชิ้นงานจากขี้เลื่อยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และไม่มีการใช้สารช่วยผสม MAPP

- เตรียมชิ้นงานจากขี้เลื่อยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และใช้สารช่วยผสม MAPP

- เตรียมชิ้นงานจากขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไม่ใช้สารช่วยผสม MAPP

- เตรียมชิ้นงานจากขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และใช้สารช่วยผสม MAPP

- ทำการผสมเช่นเดียวกับข้อ 3.3.2

<u>หมายเหตุ</u> ปริมาณ MAPP ที่ใช้ ได้แก่ 2 3 และ 5 % ต่อน้ำหนักขี้เลื่อย

3.3.4 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุคอมโพสิต

แบ่งการทดสอบเป็น 5 ลักษณะ

1. ทดสอบสมบัติเชิงกล
- สมบัติทางแรงดึง สำหรับค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด
- สมบัติความโค้งงอ สำหรับค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ
- ความแข็งแรงกระแทก
- ความแข็งแรงกด

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ
- ร้อยละการดูดซับน้ำ

3. ศึกษาสมบัติทางความร้อน
- ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาสัณฐานวิทยา

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

5. การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

- เครื่องฟูเรียสทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.4 วิธีการทดสอบ

สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัสที่ 3% (Modulus)	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก (%Elongation at break)	ASTM D 256	kJ/m^2
ความแข็งกด (Hardness)	ASTM D 785	Shore D
ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa
ร้อยละการดูดซับน้ำ (% Water absorption)	ASTM D 570	%

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และ ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เป็นไปดังมาตรฐาน ASTM D 638 [34] โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปดัมเบลล์ ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละสูตรและใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 5 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 5 มิลลิเมตร/นาที

ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

$$\text{ค่ามอดุลัสที่ความเครียด 3\% } (E) = \frac{F_2 / A}{3 / 100}$$

$$\text{ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก } (A_t) = \left[\frac{l - l_o}{l_o}\right] \times 100$$

เมื่อ F_1 คือแรงที่ใช้ในการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดสูงสุด (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

F_2 คือแรงที่ใช้ในการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่างที่ 3% ความเครียด (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

A คือพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร; mm^2)

l คือระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดคราก (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

l_0 คือระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (Guage Length หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก

การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D256 [40] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละสูตร ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

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

W คือ ค่าพลังงานกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูล; kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางเมตร; m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 ความแข็งกด

การทดสอบความแข็งกด (Hardness) เป็นไปดังมาตรฐาน ASTM D785 [41] ในการทดสอบใช้มาตรฐาน Shore D ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบต้องมีความเรียบ มีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ใช้เวลากด 15 วินาทีจึงอ่านค่าได้ ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละสูตร โดยทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ เป็นไปดังมาตรฐาน ASTM D790 [42] โดยการทดสอบแต่ละครั้งใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้น รูปที่ 3.5 เป็นภาพการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ สภาวะที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังนี้

-โหลดเซลล์	5	กิโลนิวตัน (kN)
-ความเร็วในการกด (Compression speed)	5	มิลลิเมตร/นาที
-ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span length)	40	มิลลิเมตร

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

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

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

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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2.1 ร้อยละการดูดซับน้ำ

การทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำ (Water absorption) เป็นไปดังมาตรฐาน ASTM D570-81 [43] โดยนำชิ้นงานตัวอย่างอย่างละ 2 ชิ้น ให้มีน้ำหนักประมาณ 2.000-2.500 กรัม ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักโดยละเอียด แล้วนำไปแช่น้ำ โดยต้องทำการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอทุกสัปดาห์จนกระทั่งชิ้นงานมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ จากสมการดังต่อไปนี้

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

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

3.4.3.1 Differential scanning calorimeter (DSC)

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

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

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\Delta H_f/\text{fraction of PP}}{\Delta H_f^o} \times 100$$

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

ΔH_f^o = Enthalpy of fusion ของพอลิพรอพิลีนที่มีองศาการเป็น ผลึก 100% เท่ากับ 165 J/g [45]

ชั่งสารตัวอย่างใส่ในอลูมิเนียมแพนหนักประมาณ 5 มิลลิกรัม ให้ทราบปริมาณสารแน่นอนแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิในช่วง 50-200 องศาเซลเซียส และลดอุณหภูมิลงในอัตราอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิในช่วง 200-50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2 อุณหภูมิการสลายตัว (Thermal degradation)

การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Onset temperature) ของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยไม้เต็งด้วยเทอร์โมกราวิเมทริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 16 มิลลิกรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศไนโตรเจน (N_2) และใช้ภาวะในการทดสอบคือ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 50-900 องศาเซลเซียส และมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส/นาที

3.4.4 สัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ใช้นำมาศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่แตกหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป โดยจะทำการศึกษาการกระจายตัวของเส้นใยและศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยไม้กับพอลิเมอร์ และใช้ศึกษาโครงสร้างและสัณฐานวิทยาอย่างละเอียดของสารตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่ออิเล็กตรอนแบบส่องกราดศึกษาขนาดของขี้เลื่อยในรูปของความยาว/ความกว้าง (l/d) ในแต่ละขนาดใช้ขี้เลื่อยจำนวน 100 ตัวอย่างแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ คือ ขี้เลื่อยขนาด 12-34 เมช ขี้เลื่อยขนาด 35-99 เมช และขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช

3.4.5 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี [46]

การทดสอบทำได้โดยนำสารตัวอย่างที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวแล้วบดด้วยเครื่องบดหยาบ จากนั้นแช่ในไนโตรเจนเหลวก่อนนำไปบดละเอียดต่อไปด้วยเครื่องบดความเร็วสูง (14000 รอบต่อนาที) ทำให้ได้สารตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.025 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปบด ผสมรวมกับ KBr วิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงเลขคลื่น 4000-400 cm^{-1} resolution เท่ากับ 4 และจำนวนรอบของการ scan เท่ากับ 16 จากนั้นอ่าน และศึกษาพีคในช่วงต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการนำขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกมาเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยศึกษาถึงผลของขนาดและปริมาณของขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบถึงการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Alkali treatment) และการใช้สารช่วยผสม คือ พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิอิกแอนไฮดรายด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene, มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน) เพื่อปรับปรุงการยึดเกาะกับพอลิพรอพิลีนที่พื้นผิวของขี้เลื่อยที่ใช้เป็นสารตัวเติม ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษา ได้แก่ การศึกษาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR สัณฐานวิทยา (Morphology) สมบัติเชิงกล (Mechanical property) สมบัติทางกายภาพ (Physical property) และสมบัติทางความร้อน (Thermal property) โดยใช้สัญลักษณ์ดังนี้

PP	คือ พอลิพรอพิลีนที่ไม่มีการเติมขี้เลื่อย
SD	คือ ขี้เลื่อย
SDNaOH5	คือ ขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นระยะเวลา 60 นาที
SDNaOH15	คือ ขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นระยะเวลา 60 นาที
SD30	คือ วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยโดยมีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
SD30MAPP2	คือ วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยโดยมีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 2 ต่อน้ำหนักขี้เลื่อย
SD30MAPP3	คือ วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยโดยมีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 3 ต่อน้ำหนักขี้เลื่อย
SD30MAPP5	คือ วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยโดยมีปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักขี้เลื่อย

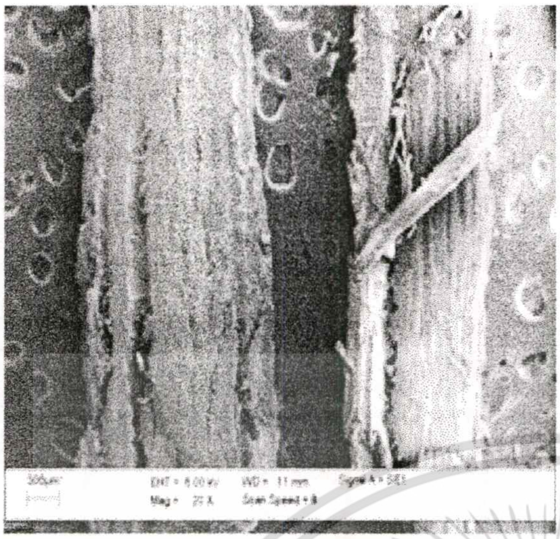
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SD30NaOHMAPP5 คือ วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย

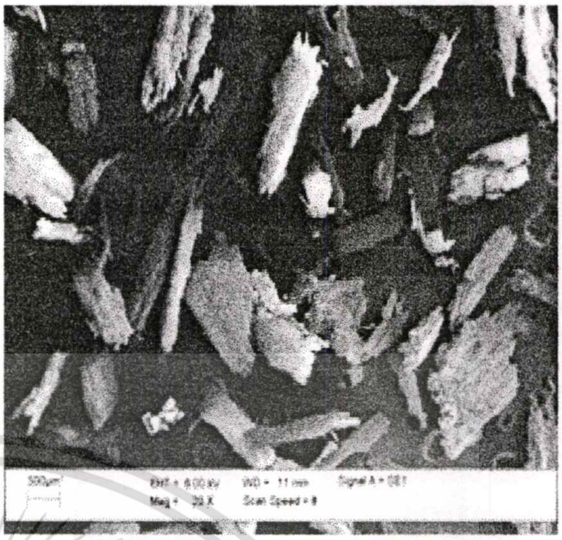
4.1 การหาอัตราส่วนค่าความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio, l/d ratio)

ขี้เลื่อยที่ทำการคัดขนาดแล้ว ได้แก่ ขี้เลื่อยที่มีขนาด 12-34 เมช 35-99 เมช และมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 15 โดยน้ำหนัก ได้นำมาหาอัตราส่วนค่าความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยการใช้เครื่อง SEM 10 ตัวอย่างในแต่ละขนาดพบว่าขี้เลื่อยมีขนาดที่ต่างกันเล็กน้อย ให้ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนค่าความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต่างกัน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และภาพถ่ายขนาดขี้เลื่อยจากรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่มีผลต่อค่าความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของขี้เลื่อย และขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็กมีค่าความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าซึ่งแสดงว่าแนวโน้มเป็นเส้นใยมากกว่า ซึ่งจากผลค่าความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง และรูปที่ 4.1 แสดงภาพขนาดขี้เลื่อย ซึ่งขี้เลื่อยขนาด 12-34 เมช และขนาด 35-99 เมช ลักษณะเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช อาจจะทำให้เกิดช่องว่างหรือจุดบกพร่องภายในชิ้นงานขนาดใหญ่มากกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลต่ำเนื่องจากการถ่ายเทแรงต่ำ

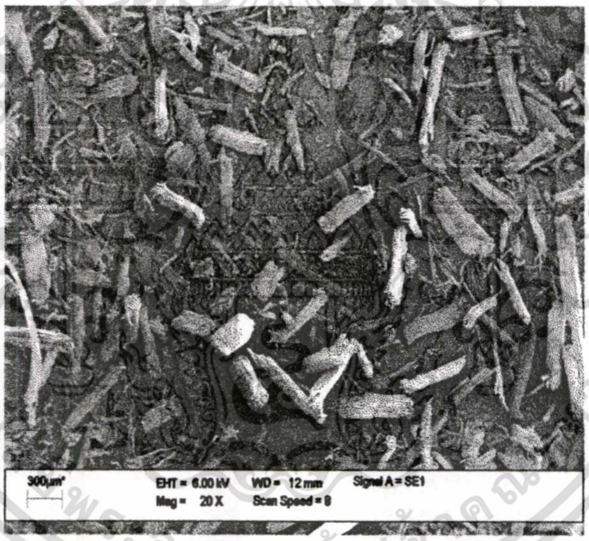
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.1 **ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 20 เท่าของขี้เลื่อยที่มี (ก) ขนาด 12-34 เมช (ข) ขนาด 35-99 เมช และ (ค) มากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของขี้เลื่อยจาก 10 ตัวอย่าง [47]

ขนาดตะแกรงร่อน		อัตราส่วนค่าความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio)
เมช	ไมโครเมตร (μm)	
$\geq$ 100	$\leq$ 149	3.6±0.2
$\geq$100 (60 นาที5% NaOH)	$\leq$ 149	3.5±0.3
$\geq$100 (60 นาที15% NaOH)	$\leq$ 149	3.5±0.3
35-100	149-500	2.8±0.3
12-35	500-1680	2.7±0.2

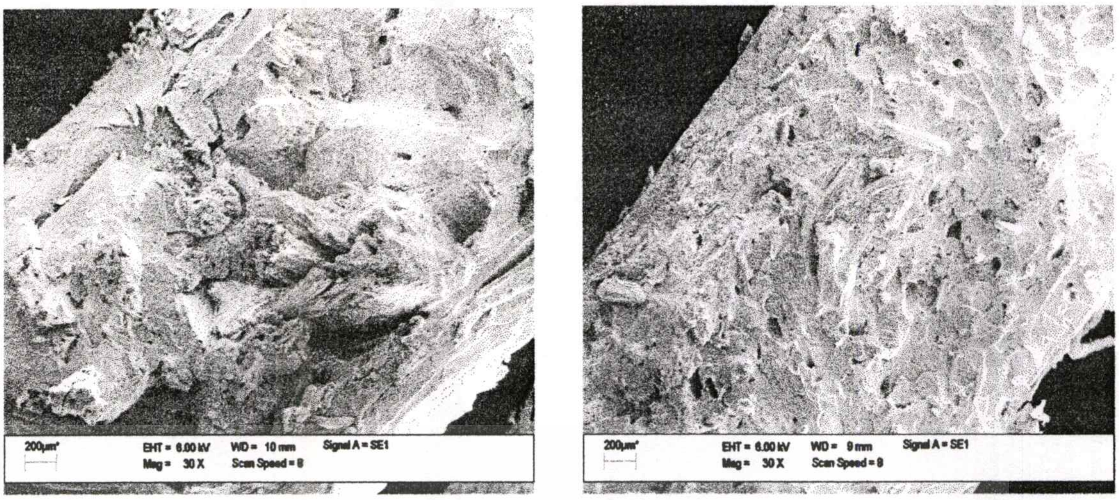
4.2 สัณฐานวิทยา

4.2.1 ผลสัณฐานวิทยาของขนาดและปริมาณขี้เลื่อย

การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัว (Dispersion) ของขี้เลื่อยในพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ และลักษณะพื้นผิวระหว่างวัฏภาค (Interfacial surface) ของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์และขี้เลื่อย

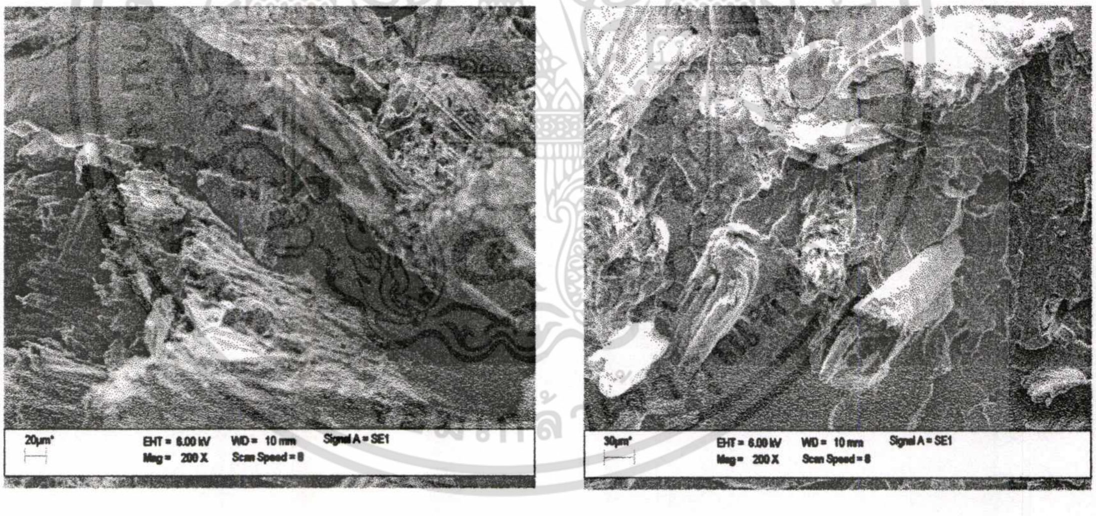
จากรูปที่ 4.2 (ก) - (ข) ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาด 12-34 เมช และมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ในปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เนื่องจากความเข้ากันได้ต่ำของทั้งสองวัฏภาคพบว่าการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomeration) ของขี้เลื่อยขนาดใหญ่มีแนวโน้มเกิดช่องว่างหรือจุดบกพร่องภายในชิ้นงานขนาดใหญ่มากกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็กดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของ (ก) วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาด 12-34 เมช และ (ข) วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช



(ก) (ข)

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของ (ก) วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาด 12-34 เมช และ (ข) วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

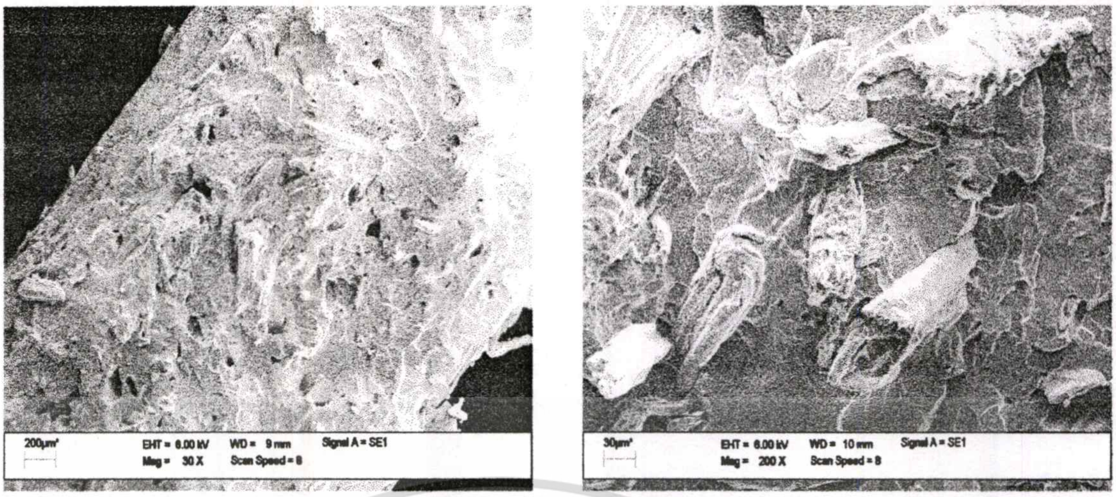
เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นผิวระหว่างวัฏภาคของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์และขี้เลื่อยพบว่าเกิดช่องว่างระหว่างพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์และขี้เลื่อย โดยแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 และ 200 เท่าตามลำดับของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาด 12-34 เมช และมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบการเกิดช่องว่างเนื่องจากขี้เลื่อยหลุดออก (Pull-out) จากวัฏภาคของพอลิพรอพิลีน แสดงให้เห็นว่าวัฏภาคทั้งสองมีความสามารถในการยึดเกาะกันต่ำหรือไม่ดี เนื่องจากความแตกต่างของความมีขั้วของสองวัฏภาค นั่นคือพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์มีความไม่มีขั้ว แต่ขี้เลื่อยมีความมีขั้ว และพบว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่การรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนก่อให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่กว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็ก ทำให้เกิดจุดบกพร่องของชิ้นงานระหว่างขี้เลื่อยในพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ส่งผลอย่างมากต่อสมบัติเชิงกล ในขณะที่ขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็กการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนก่อให้เกิดช่องว่างระหว่างวัฏภาคที่แคบกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่กว่า

4.2.2 ผลสัณฐานวิทยาของสารช่วยผสม

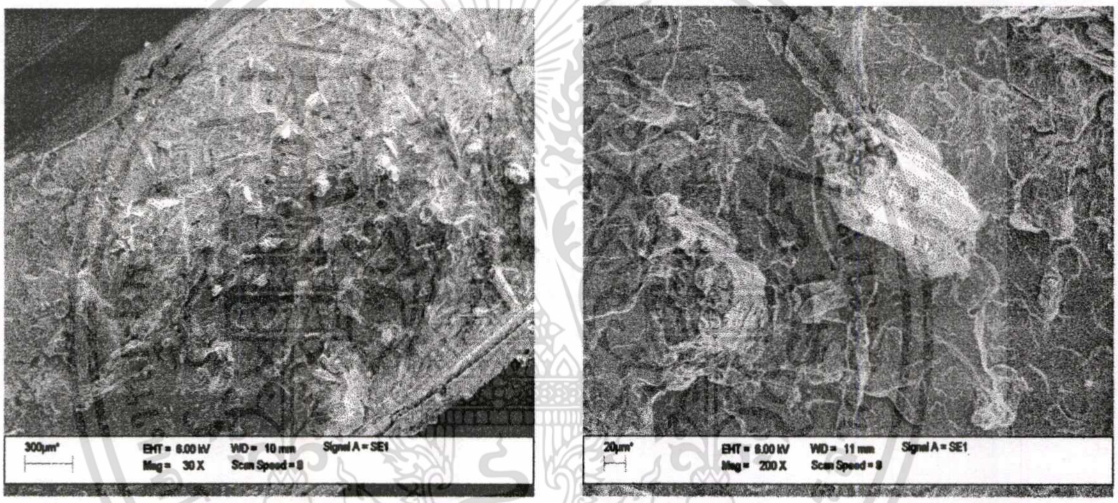
การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัว (Dispersion) ของขี้เลื่อยในพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ และขี้เลื่อย

จากรูปที่ 4.4 (ก) - (ข) ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่มีการเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มกระจายตัวและยึดเกาะในพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงเล็กน้อย เนื่องจากสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนปลายข้างหนึ่งไม่มีขั้ว (พอลิพรอพิลีน) จึงเกิดการเกี่ยวพันเชิงกลกับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งมีขั้ว (มาลิอิกแอนไฮดรายด์) สามารถเกิดพันธะเอสเทอร์ หรือ พันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสบนพื้นของขี้เลื่อยทำให้ความเข้ากันได้ดีขึ้นส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 และ 200 เท่าของ (ก) ไม่ใช้สารช่วยผสม และ (ข) ใช้สารช่วยผสมร้อยละ 5

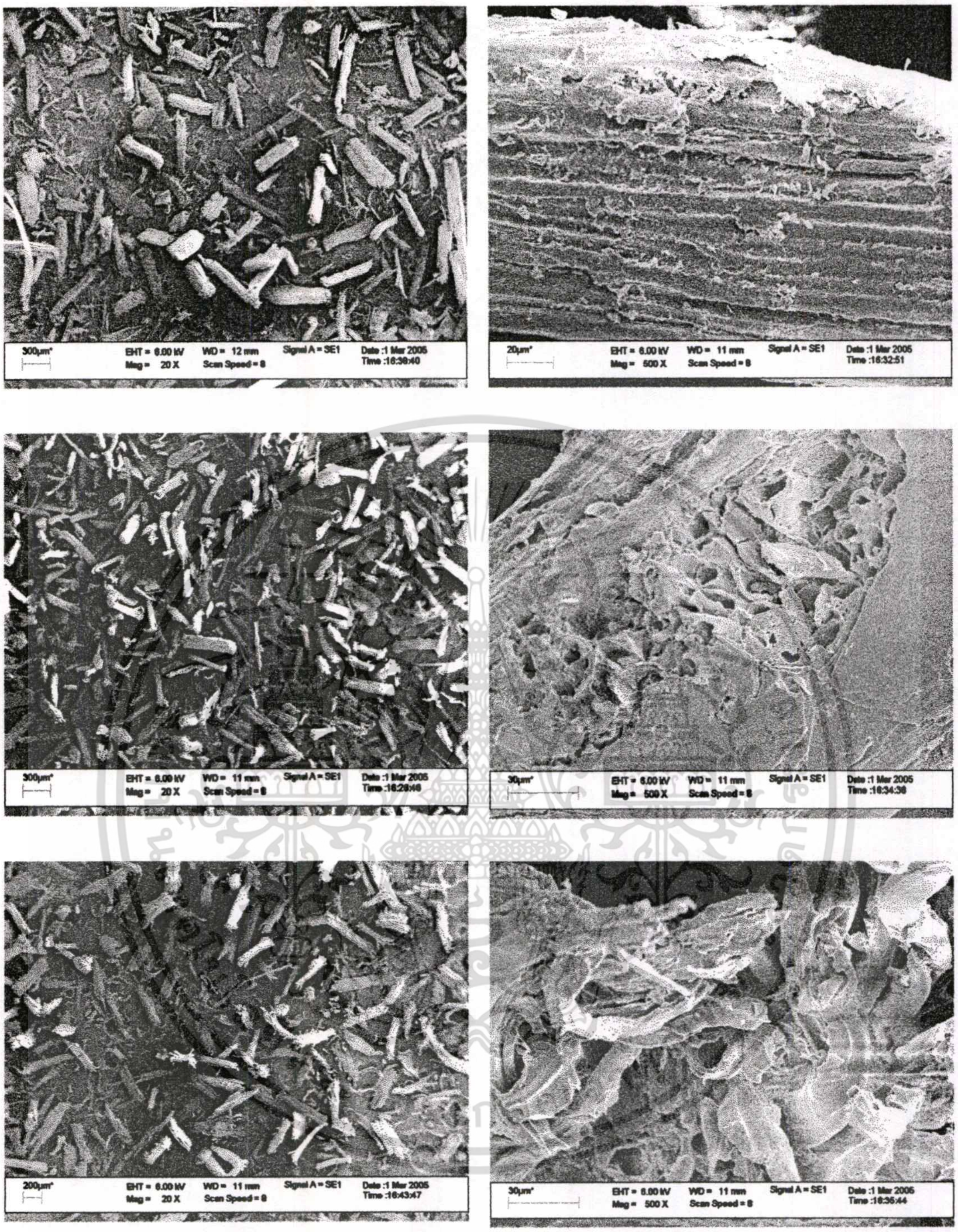
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลสัณฐานวิทยาของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

การปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ของขี้เลื่อย พบว่าพื้นผิวของขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความขรุขระมากกว่าขี้เลื่อยไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว และพบว่าพื้นผิวขี้เลื่อยมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณด้านปลายของชิ้นขี้เลื่อยจะมีลักษณะเปื่อยยุ่ยมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังรูปที่ 4.5 (ก) – (ค)

เมื่อพิจารณาบริเวณพื้นผิววัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวดังรูปที่ 4.6 พบว่าขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอก-ไซด์มีร่องรอยการถูกทำลายบริเวณพื้นผิว และเมื่อเพิ่มความเข้นข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นพบว่าพื้นผิวถูกทำลายมากขึ้น และเมื่อพิจารณาวัสดุคอมโพสิตพบว่าขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 60 นาที ดังรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) มีแนวโน้มเกิดการยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาคได้ดีกว่าขี้เลื่อยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวเป็นการสกัดลิกนินที่บริเวณพื้นผิวออกส่งผลให้เกิดการยึดเกาะเชิงกลระหว่างขี้เลื่อยและพอลิพรอพิลีน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นดังรูปที่ 4.6 (ค) พบว่าขี้เลื่อยมีแนวโน้วรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากกว่าขี้เลื่อยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวเป็นการสกัดลิกนินที่เป็นองค์ประกอบส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกันออกส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างขี้เลื่อยด้วยกันได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวของขี้เลื่อยในพอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่ดี จำนวนช่องว่างมากขึ้น ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต เนื่องจากการถ่ายเทแรงจากพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ไปยังขี้เลื่อยเกิดขึ้นได้ไม่ดีหรือไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



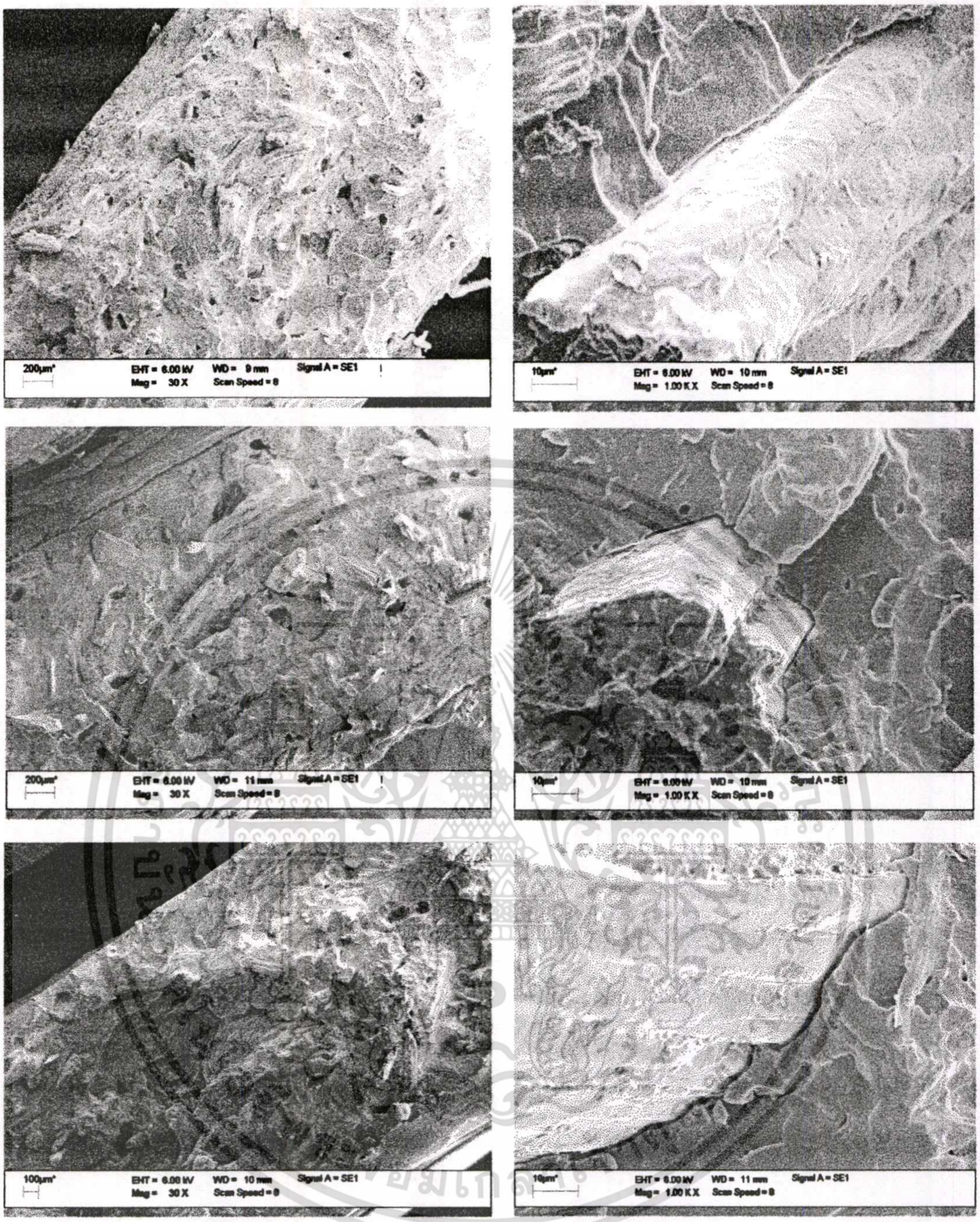
(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 20 และ 500 เท่าของขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช (ก) ขี้เลื่อยก่อนปรับปรุงพื้นผิว (ข) ขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 60 นาที และ (ค) ขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

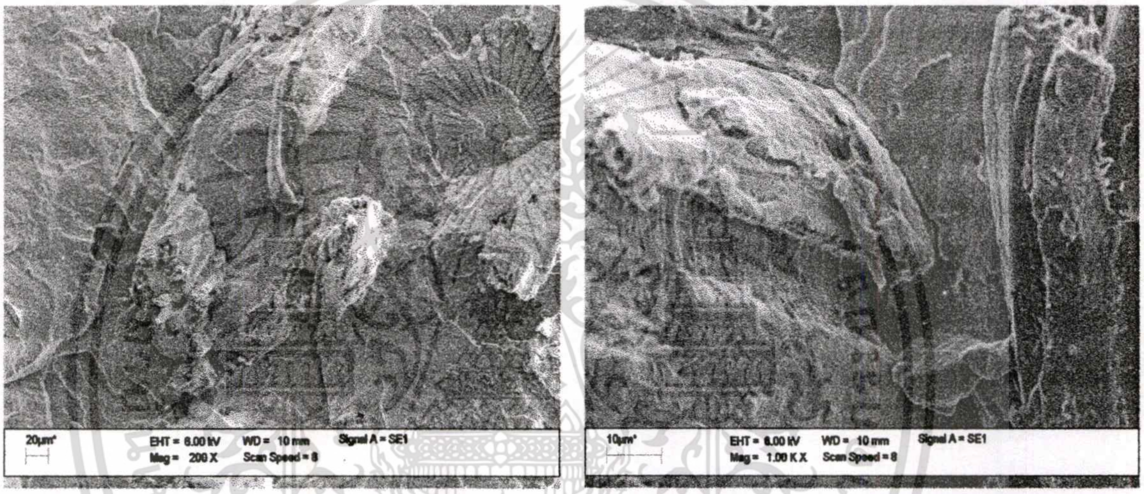
(ค)

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช กำลังขยาย 30 และ 1000 เท่า ตามลำดับ (ก) วัสดุคอมโพสิตที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิว (ข) ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 60 นาที และ (ค) ปรับปรุงพื้นผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 15% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลสัณฐานวิทยาของการใช้สารช่วยผสม และปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮ-ดรอกไซด์

เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย จากรูปที่ 4.7 แสดงว่าวัสดุ คอมโพสิตมีแนวโน้มเกิดการยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาคได้ดี โดยสังเกตเห็นพอลิเมอร์ปกคลุมพื้นผิว ขี้เลื่อยได้ดี (Wetting)



(ก) (ข)

รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายพื้นผิววัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) กำลังขยาย 200 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

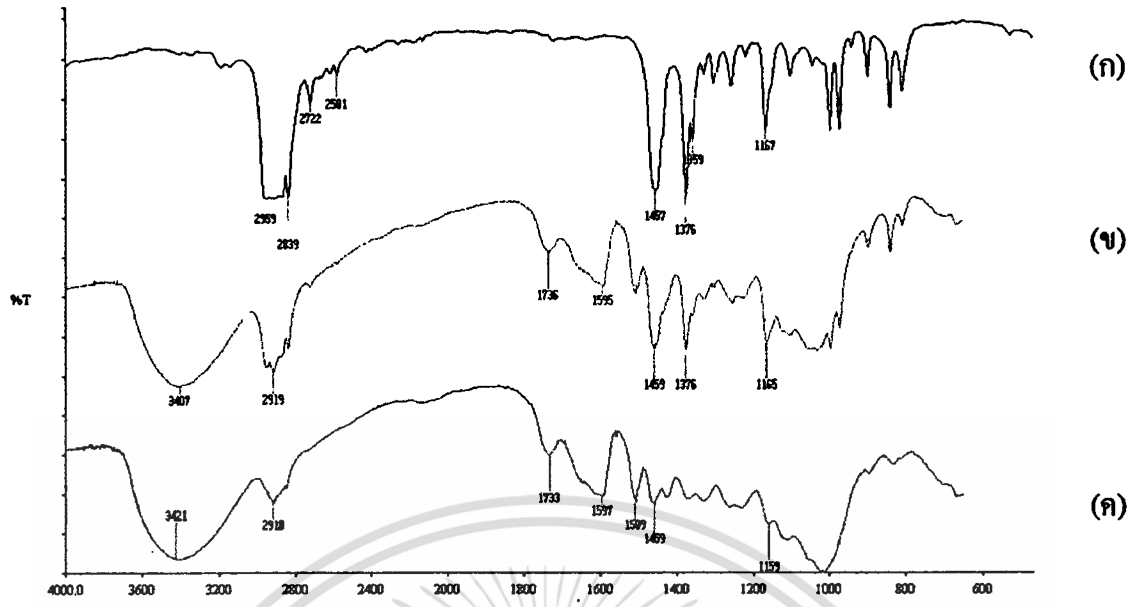
4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FT-IR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิพรอพิลีน ขี้เลื่อย และวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีน และขี้เลื่อยด้วยเทคนิค FT-IR [48-50] ในช่วงเลขคลื่น 4000 - 650 cm^{-1} แสดงได้ดังรูปที่ 4.8-4.9 สำหรับการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิค FT-IR แสดงตำแหน่งสเปกตรัมได้ตารางที่ 4.2 และภาพสเปกตรัมดังรูปที่ 4.8-4.9

ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งสเปกตรัมของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย

ตำแหน่งพีก (cm^{-1})	ลักษณะการสั่น
4000-3000	O-H Stretching
3100-2600	CH-Stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3
1750-1700	C=O Stretching ของคาร์บอนิล
1680-1650	C=C Stretching
1650-1450	วงแหวงอะโรมาติก
1400-1300	CH-Deformation ของ CH_2 และ/หรือ CH_3
1300-900	C-O Stretching

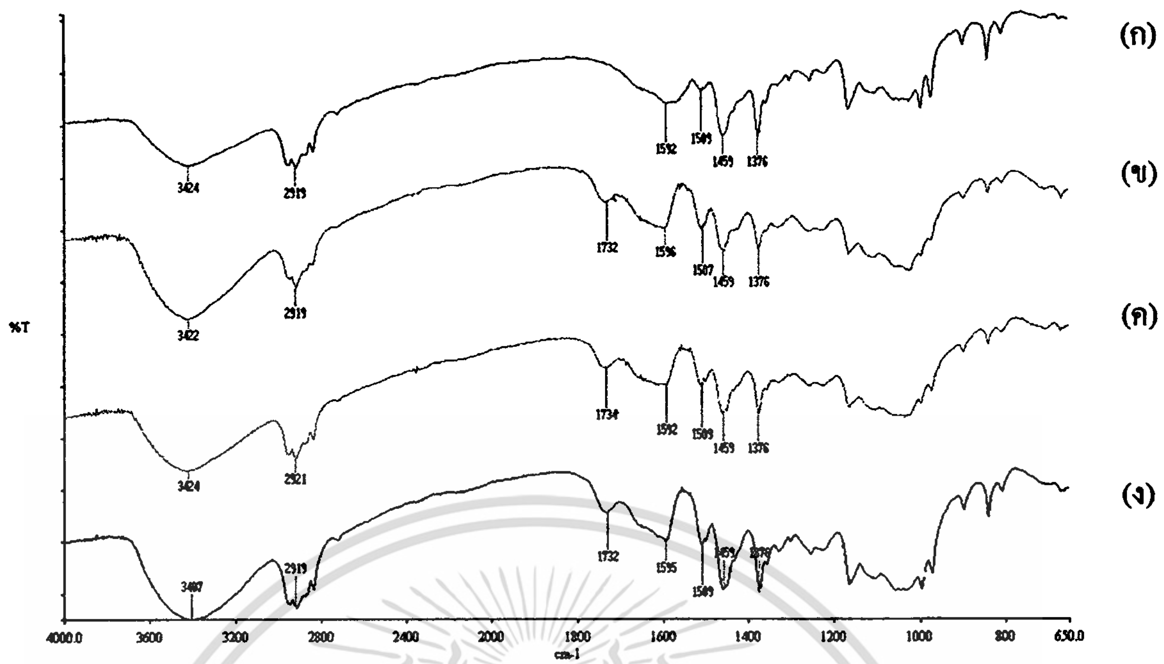
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) พอลิพรอพิลีน (ข) ขี้เลื่อย และ (ค) วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดขี้เลื่อยมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.8 จะพบพีกช่วง 4000-3000 cm^{-1} เป็นพีกของหมู่ O-H Stretching ในขี้เลื่อยพีกช่วง 3100-2600 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H Stretching ของอะลิฟาติกคาร์บอน พีกช่วง 1750-1700 cm^{-1} เป็นลักษณะของหมู่ของคาร์บอนิล (C=O Stretching) ของลิกนินในองค์ประกอบของขี้เลื่อย พีกช่วง 1680-1560 cm^{-1} เป็นพีกของคาร์บอนพันธะคู่ (C=C Stretching) พีกช่วง 1650-1450 cm^{-1} เป็นพีกของวงแหวนเบนซีน (Benzene ring) พีกช่วง 1400-1300 cm^{-1} เป็นลักษณะการเปลี่ยนรูปของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย และพีกช่วง 1300-900 cm^{-1} เป็นพีกของ C-O Stretching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุคอมโพสิต (ก) ขี้เลื่อยปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 60 นาที (ข) เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์ กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนัก ขี้เลื่อย (ค) ขี้เลื่อยปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย และ (ง) ไม่มีการปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างวัฏภาค

และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับวัสดุคอมโพสิตที่มีขี้เลื่อยที่ผสมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย จากการทดสอบไม่พบพีคที่ปรากฏลักษณะของหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่ง 1750 – 1730 cm^{-1} ที่ชัดเจน

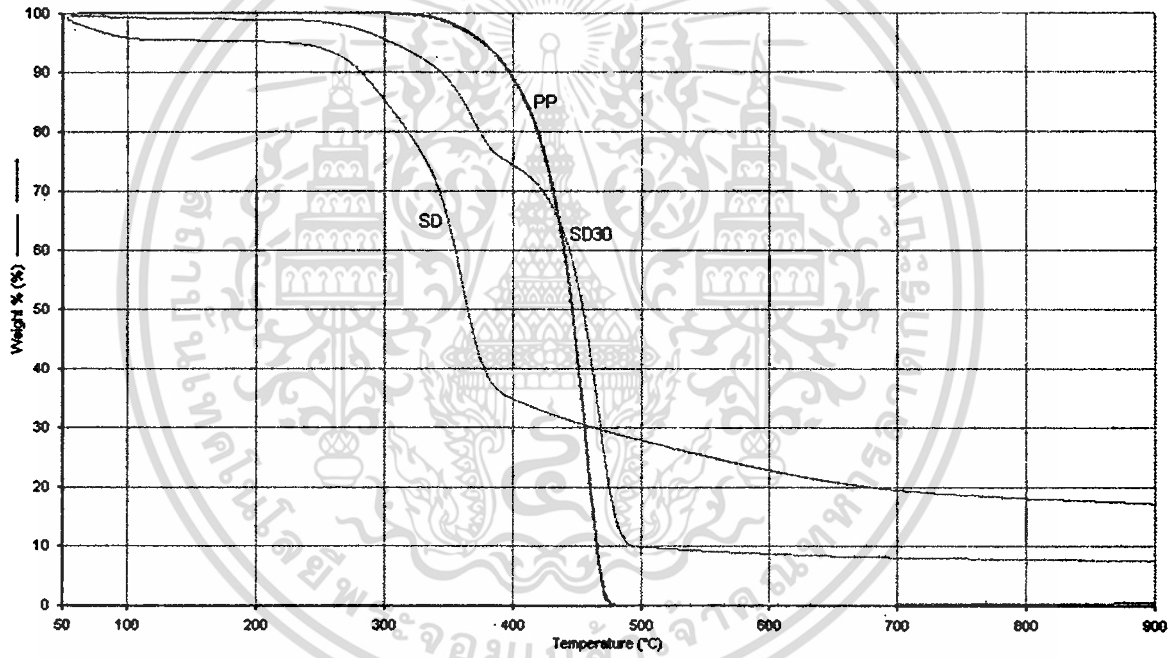
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา คือ ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Thermal degradation) โดย TGA และ อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature, T_c) และปริมาณความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) โดย DSC

4.4.1 อุณหภูมิการสลายตัว (Thermal degradation)

การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวของขี้เลื่อย พอลิพรอพิลีน และวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย โดย TGA อุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในช่วง 50-900 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และใช้บรรยากาศไนโตรเจน ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10-4.11 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.10 TG เทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีน ขี้เลื่อย และวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีน และ ขี้เลื่อยที่มีขนาดขี้เลื่อยมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช

จากรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดง TG เทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีน ขี้เลื่อย และวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดขี้เลื่อยมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าพอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าขี้เลื่อยมีอุณหภูมิการสลายตัว คือ 2 อุณหภูมิ คือ ที่อุณหภูมิ 293 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของเซลลูโลสและเฮมิ-เซลลูโลส และลิกนินที่อุณหภูมิ 359 องศาเซลเซียส [51] จากผลที่ได้แสดงว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

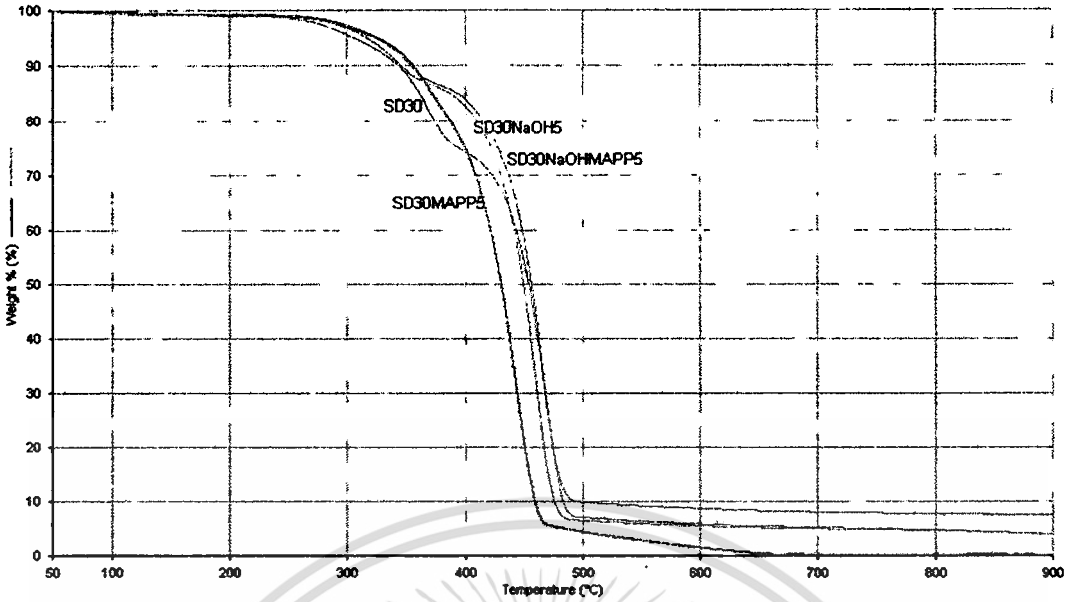
พอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าขี้เลื่อยหรือกล่าวได้ว่าพอลิพรอพิลีนมีเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) ที่ดีกว่าขี้เลื่อย

รูปที่ 4.11 ซึ่งแสดง TG และ DTG เทอร์โมแกรม และตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัวของ พอลิพรอพิลีน ขี้เลื่อยที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 60 นาทีและวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยโดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวช่วงอุณหภูมิ 302-309 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวสูงกว่าขี้เลื่อยที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอก-ไซด์ ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้สกัดสารที่มีโมเลกุลต่ำบางส่วนหรือสิ่งสกปรกออกไป ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น ส่วนการใช้สารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนทำให้วัสดุคอมโพสิตมีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

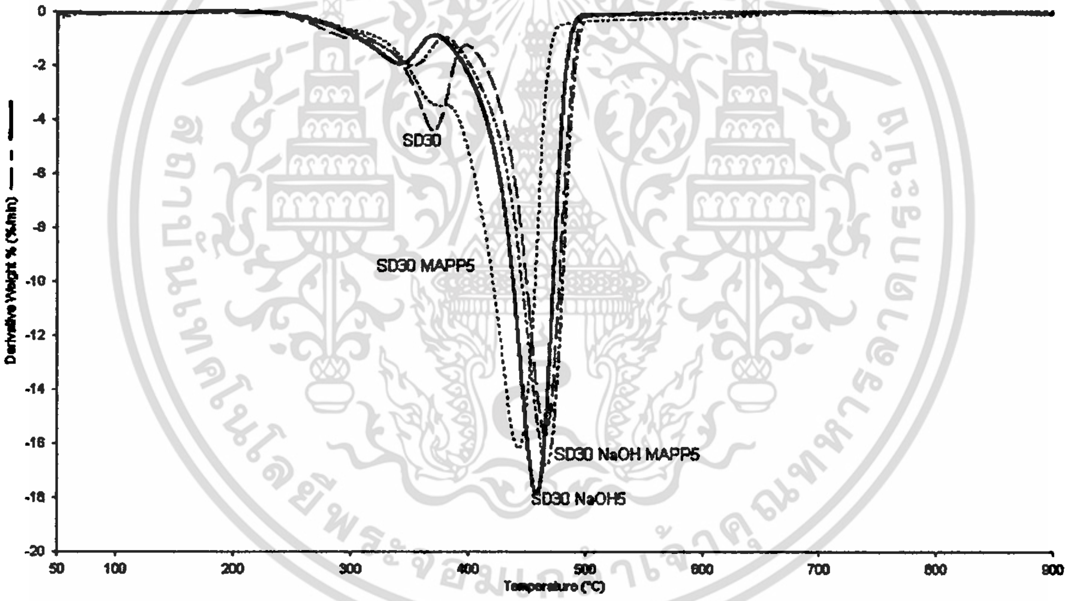
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิพรอพิลีน ขี้เลื่อยที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย

ชื่อตัวอย่าง	อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว (°C)
PP	419
ขี้เลื่อย	
SD	263
วัสดุคอมโพสิต	
SD30	266
SD30MAPP5	308
SD30NaOH5	302
SD30NaOHMAPP5	309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.11 (ก) TG และ (ข) DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดขี้เลื่อยมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช วัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย วัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 60 นาที และวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย และปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 60 นาที โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature, T_c) และปริมาณความเป็นผลึก (Degree of crystallinity)

การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC เกี่ยวกับอุณหภูมิการหลอมเหลวอุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิ-ลีนและขี้เลื่อย ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลว และอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีน และวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาด 12-34 เมช และมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยมีปริมาณขี้เลื่อยอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อผสมขี้เลื่อยในวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยมีผลทำให้พอลิพรอพิลีนในวัสดุคอมโพสิตมีอุณหภูมิการหลอมเหลว และอุณหภูมิการเกิดผลึกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง รวมทั้งขนาดของขี้เลื่อยไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว และอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย แสดงว่าการใช้ ขี้เลื่อยทั้งขนาดเล็ก-ขนาดใหญ่เป็นสารตัวเติมในวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว และอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอน-ไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน และขี้เลื่อยปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอก-ไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% และ 15% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 60 นาที

ตัวอย่าง	T_m (°C)	T_c (°C)	% Crystallinity
PP	161.4	126.9	49.1
SD30 (วัสดุคอมโพสิต 12-34 mesh)	160.8	126.1	51.7
SD30 (วัสดุคอมโพสิต ≥100 mesh)	158.2	127.2	57.2
SD30MAPP5	159.8	124.4	54.5
SD30NaOH5	160.4	126.8	54.1
SD3ONaOH15	158.8	123.6	54.2
SD3ONaOHMAPP5	157.8	122.4	55.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาปริมาณร้อยละความเป็นผลึก พบว่าการผสมขี้เลื่อยในวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยนั้นทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากขี้เลื่อยอาจทำหน้าที่เป็นอนุภาคที่เหนี่ยวนำ หรือเพิ่มโอกาสการเกิดนิวเคลียสของผลึกของพอลิพรอพิลีนบนพื้นผิวของขี้เลื่อยซึ่งส่งผลให้ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ขี้เลื่อยที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน พบว่ามีร้อยละความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แสดงว่าการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนไม่ส่งผลต่อร้อยละความเป็นผลึก

4.5 สมบัติเชิงกล

การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่มีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกมาเป็นสารตัวเติมโดยมีศึกษาถึงความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มอดุลัสแรงดึง (Tensile modulus) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ความแข็งกด (Hardness) และความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) โดยใช้ขี้เลื่อยที่มีขนาด 12-34 เมช 35-99 เมช และมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ในอัตราส่วนขี้เลื่อยร้อยละ 15 30 และ 45 จากการศึกษาให้ผลการทดลองดังนี้

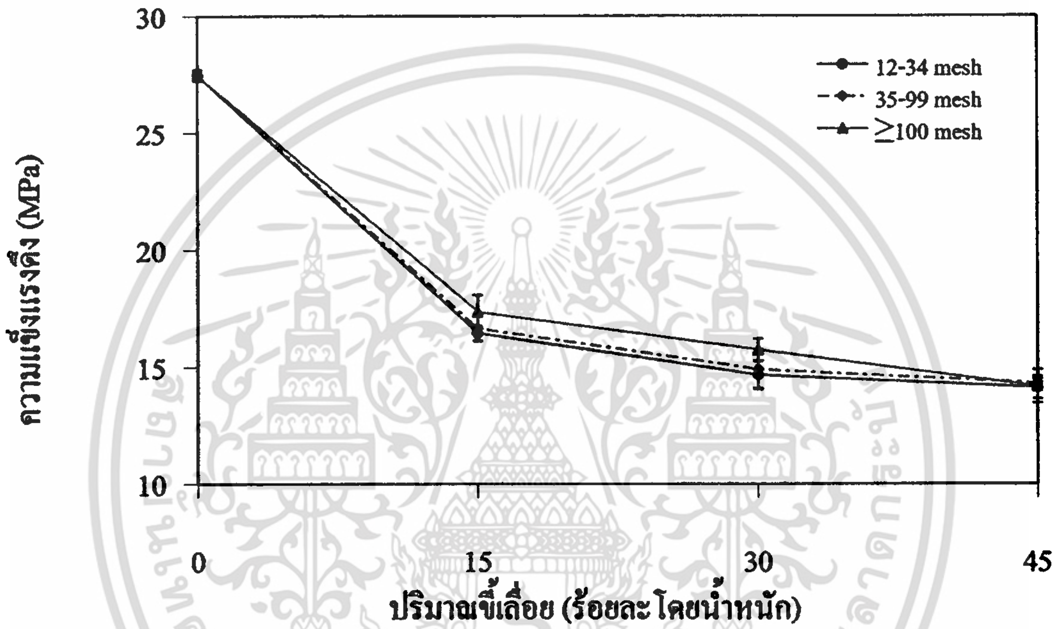
4.5.1 ผลของขนาดและปริมาณขี้เลื่อย

4.5.1.1 สมบัติทางแรงดึง

จากรูปที่ 4.12-4.13 แสดงถึงความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของพอลิพรอพิลีนที่มีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกมาเป็นสารตัวเติมในอัตราส่วนร้อยละ 15 30 และ 45 พบว่าขี้เลื่อยทำให้ความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุคอมโพสิตลดลงในทุกอัตราส่วนที่ทำการศึกษา และเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยพบว่าความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลงในทำนองเดียวกันทุกขนาดของขี้เลื่อย เนื่องจากวัฏภาคที่หนึ่ง คือ พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นโครงสร้างไม่มีขั้ว และส่งผลให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่วัฏภาคที่สอง คือ ขี้เลื่อยมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ภายในโครงสร้างซึ่งมีขั้วและส่งผลให้มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้ทั้งสองวัฏภาคมีความเข้ากันได้น้อยเกิดเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงานทำให้ความสามารถในการรับแรงและถ่ายเทแรงของพอลิเมอร์เมทริกซ์ลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยจึงเป็นการเพิ่มจุดบกพร่องของชิ้นงาน ทำให้ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานลดลงเมื่อปริมาณขี้เลื่อยเพิ่มขึ้น

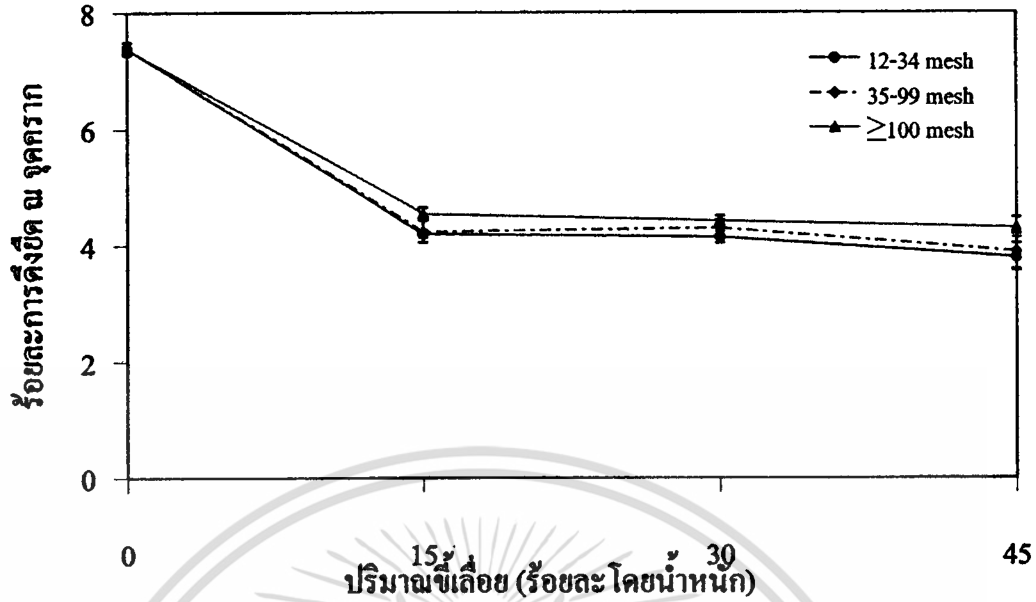
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาถึงขนาดขี้เลื่อย 12-34 เมช 35-99 เมช และมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ในอัตราส่วนเดียวกันพบว่าเมื่อขนาดขี้เลื่อยลดลงมีค่าความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช มีแนวโน้มความแข็งแรงดึงสูงกว่าขนาดอื่น ๆ ทั้งนี้จากผลของสัณฐานวิทยาจะพบว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่มีแนวโน้มเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ หรือจุดบกพร่องเนื่องจากการรวมตัวกันมากกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็ก ซึ่งทำให้การยึดเกาะระหว่างขี้เลื่อยกับพอลิเมอร์มีแนวโน้มน้อยกว่าขี้เลื่อยมีขนาดเล็ก

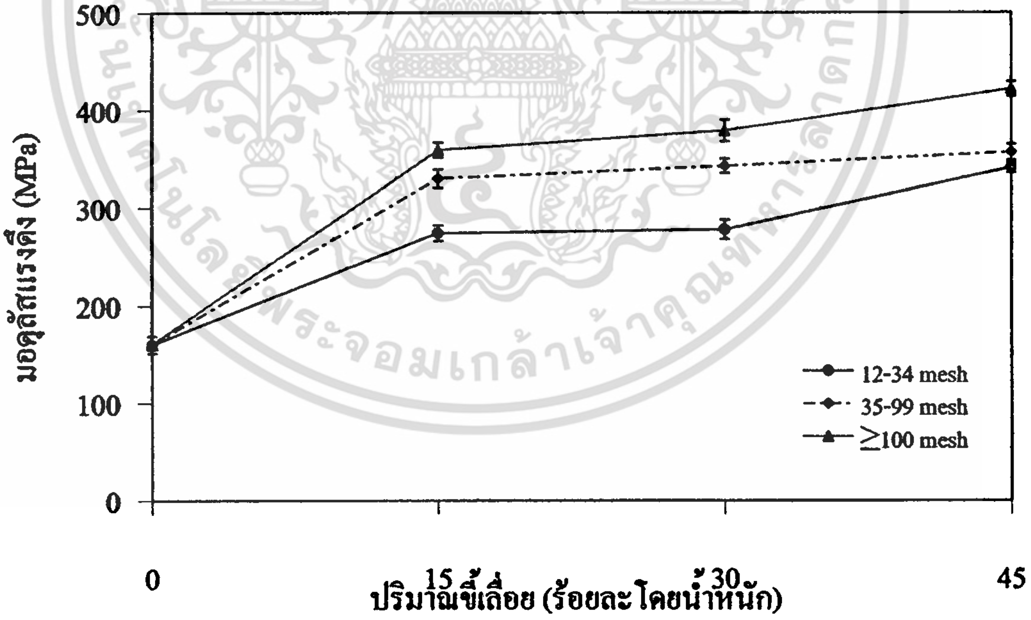


รูปที่ 4.12 ความแข็งแรงดึงของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ

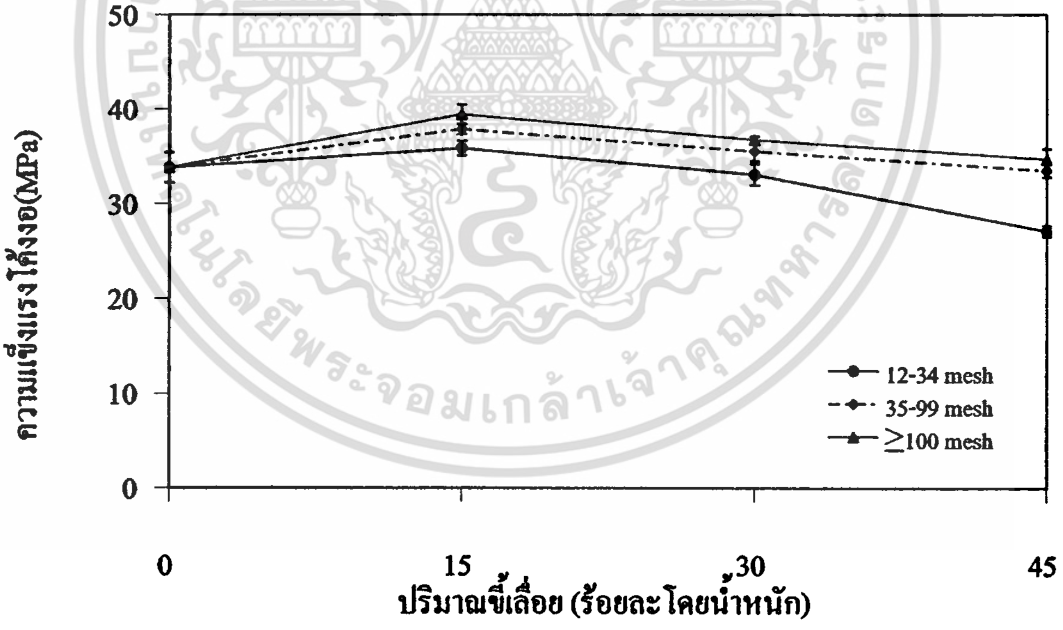


รูปที่ 4.14 มอดุลัสแรงดึงของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 พบว่าพอลิพรอพิลีนที่เติมขี้เลื่อยมีค่ามอดุลัสแรงดึงมากกว่าพอลิพรอพิลีน เนื่องจากขี้เลื่อยมีความแข็งตึง (Stiffness) มากกว่าพอลิพรอพิลีนดังนั้นเมื่อเติมขี้เลื่อยลงในพอลิพรอพิลีนจึงทำให้มอดุลัสแรงดึงเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากมอดุลัสแรงดึงแสดงถึงความแข็ง หรือการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือความเสถียรทางรูปร่างของวัสดุ และอนุภาคของขี้เลื่อยขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยากยิ่งขึ้นจึงทำให้มอดุลัสแรงดึงเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงขี้เลื่อยอัตราส่วนร้อยละ 15 30 และ 45 พบว่าเมื่อปริมาณขี้เลื่อยที่มากขึ้นวัสดุคอมโพสิตมีค่ามอดุลัสแรงดึงเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาถึงขนาดของขี้เลื่อยพบว่าขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ100 เมช มีค่ามอดุลัสแรงดึงสูงกว่าขี้เลื่อยขนาด 35-99 และ12-34 เมช เนื่องจากผลสัณฐานวิทยาพบว่าขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช มีแนวโน้มเกิดช่องว่างขนาดแคบ หรือจุดบกพร่องเนื่องจากการรวมตัวกันน้อยกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้การยึดเกาะระหว่างขี้เลื่อยกับพอลิเมอร์มีแนวโน้มมากกว่าขี้เลื่อยมีขนาดใหญ่ และขี้เลื่อยขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์มากกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่กว่าจึงมีความเข้ากันได้มากกว่าส่งผลทำให้วัสดุคอมโพสิตเปลี่ยนแปลงรูปร่างยากขึ้น

4.5.1.2 สมบัติทางแรงโค้งงอ

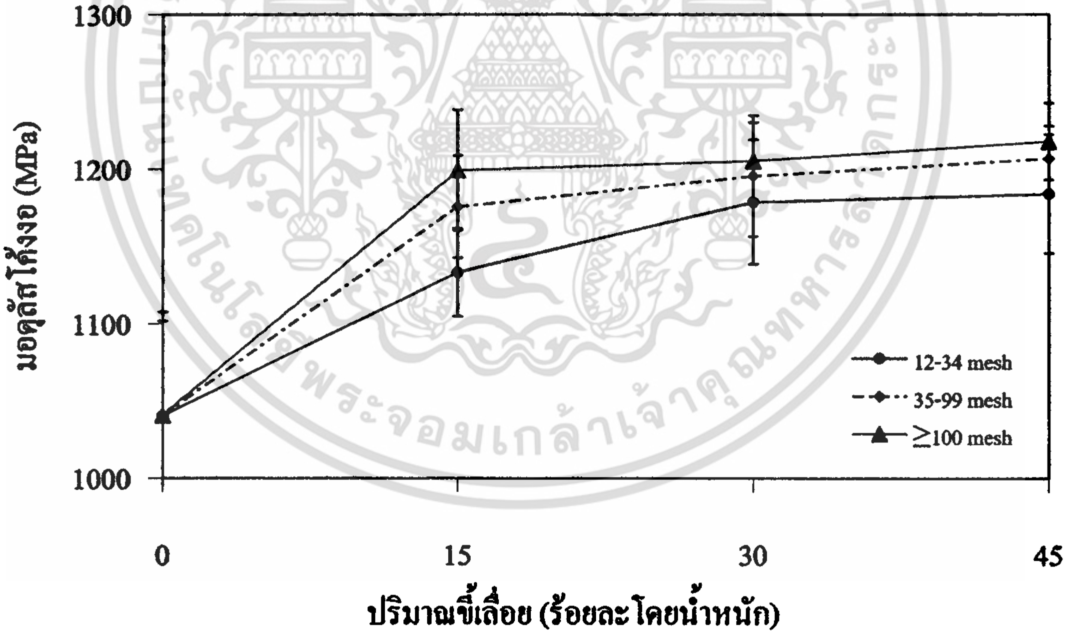


รูปที่ 4.15 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 พบว่าความแข็งโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมขี้เลื่อยลงในพอลิพรอพิลีน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยมากขึ้นค่าความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มลดลงตามไปด้วย โดยที่ปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 45 มีความแข็งแรงโค้งงอต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาถึงขนาดขี้เลื่อยที่ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 และ 35-99 เมช มีค่าใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วน โดยที่ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช มีแนวโน้มค่าความแข็งแรงโค้งงอมากกว่า แต่ที่ขนาด 12-34 เมช ซึ่งมีขนาดใหญ่ให้ค่าแข็งแรงโค้งงอลดต่ำลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อย

เนื่องด้วยเหตุผลที่ว่าพอลิพรอพิลีนมีความเข้ากันได้กับขี้เลื่อยน้อยทำให้เมื่อเติมขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมจึงเกิดเป็นจุดบกพร่อง ส่งผลให้การรับแรงต่ำค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ และจากภาพสัณฐานวิทยาแสดงให้เห็นว่าขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช มีแนวโน้มเกิดช่องว่างขนาดแคบ หรือจุดบกพร่องเนื่องจากการรวมตัวกันน้อยกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้การยึดเกาะระหว่างขี้เลื่อยกับพอลิเมอร์มีแนวโน้มมากกว่าขี้เลื่อยมีขนาดใหญ่ จึงทำให้มีแนวโน้มความแข็งแรงโค้งงอดีกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 4.16 มอดุลัสโค้งงอของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ

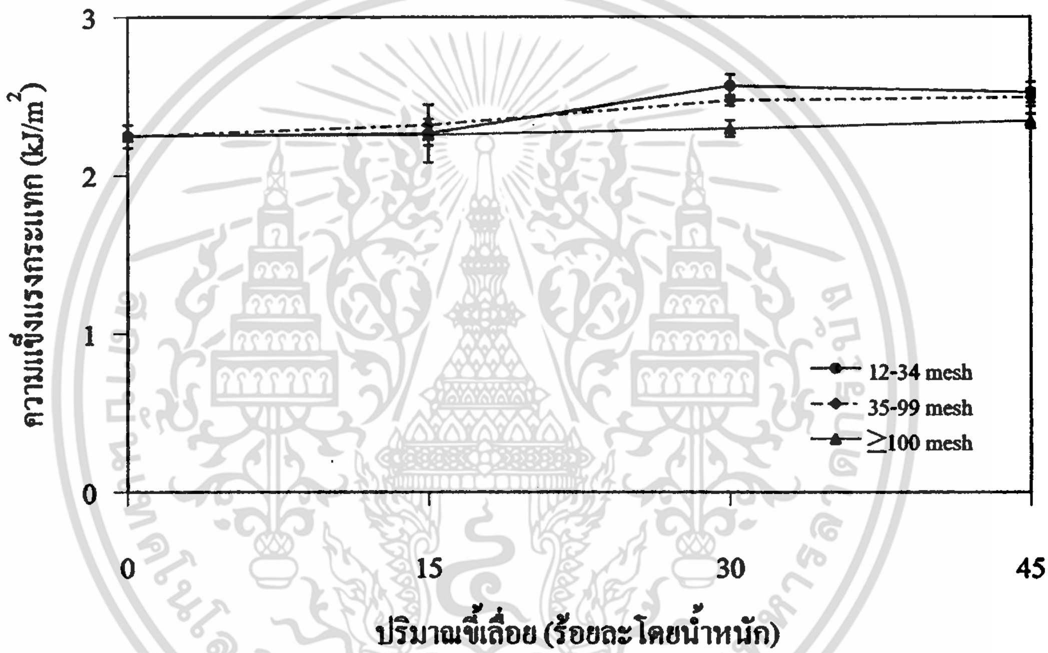
จากรูปที่ 4.16 พบว่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นเมื่อเติมขี้เลื่อยลงในพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ และเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยมากขึ้นค่ามอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณขี้เลื่อยที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นด้วย และพบว่าที่ขนาดขี้เลื่อยมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ซึ่งมีขนาดเล็กมีค่ามอดุลัสโค้งงอที่มากกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่กว่าในปริมาณเดียวกัน ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับมอดุลัสแรงดึง

4.5.1.3 ความแข็งแรงกระแทก

จากรูปที่ 4.17 พบว่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีน โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือปริมาณขี้เลื่อย

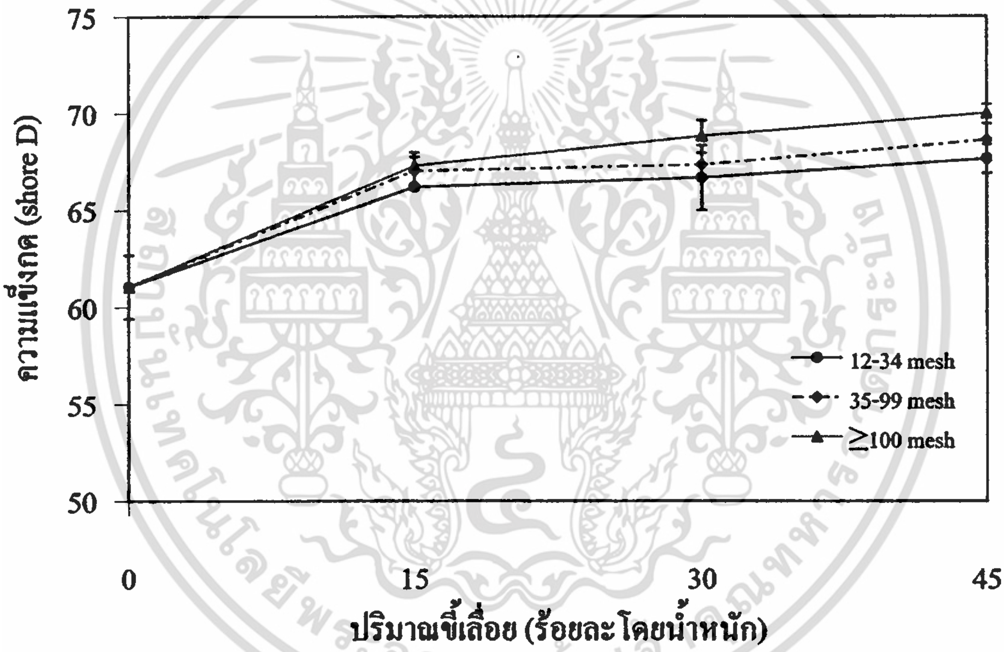


รูปที่ 4.17 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.4 ความแข็งกด

จากรูปที่ 4.18 แสดงค่าความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย พบว่า พอลิพรอพิลีนที่เติมขี้เลื่อยมีค่าความแข็งกดสูงกว่าพอลิพรอพิลีนเพียงอย่างเดียว และเมื่อปริมาณขี้เลื่อยเพิ่มขึ้นค่าความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากขี้เลื่อยมีความแข็งรับแรงกดได้มากกว่าพอลิพรอพิลีนซึ่งมีความนิ่มรับแรงกดได้น้อยกว่าเมื่อผสมขี้เลื่อยลงในพอลิพรอพิลีนจึงทำให้วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยมีความสามารถในการรับแรงกดได้มากกว่าพอลิพรอพิลีน และเมื่อพิจารณาถึงขนาดของขี้เลื่อยที่มีต่อความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย พบว่าขนาดของขี้เลื่อยมีผลต่อความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.18 ความแข็งกดของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและขนาดต่าง ๆ

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าปริมาณและขนาดของขี้เลื่อยมีผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวม คือ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของขี้เลื่อยมากขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสแรงดึง มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง และขนาดของขี้เลื่อยส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตโดยที่ขี้เลื่อยที่มีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กมีแนวโน้มให้ ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสแรงดึง มอดุลัสโค้งงอ ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และความแข็งกด มากกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่ แต่เมื่อพิจารณาความแข็งแรงกระแทกพบว่าปริมาณและขนาดของขี้เลื่อยไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต และเมื่อพิจารณาจากสูตรผสมทั้งหมดของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่มีขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยเลือกปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เพื่อทำการศึกษาต่อเนื่องจากการผสมรวมถึงการขึ้นรูปง่ายกว่าปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดี และนอกจากนี้การใช้ปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เป็นการนำขี้เลื่อยมาประยุกต์ให้เกิดประโยชน์กับงานพลาสติก และเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ให้กับขี้เลื่อยได้มาก

4.5.2 ผลของปริมาณสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน

เนื่องจากข้อจำกัดของความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ คือ พอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อย ซึ่งส่งผลให้สมบัติความแข็งแรงดึงที่ได้ไม่ดีนัก ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟ พอลิพรอพิลีนมาใช้เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างขี้เลื่อยกับพอลิพรอพิ-ลีนพร้อมทั้งปรับลดข้อจำกัดดังกล่าวข้างต้นลง และหาปริมาณสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลดีที่สุดในวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนที่ใช้ปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

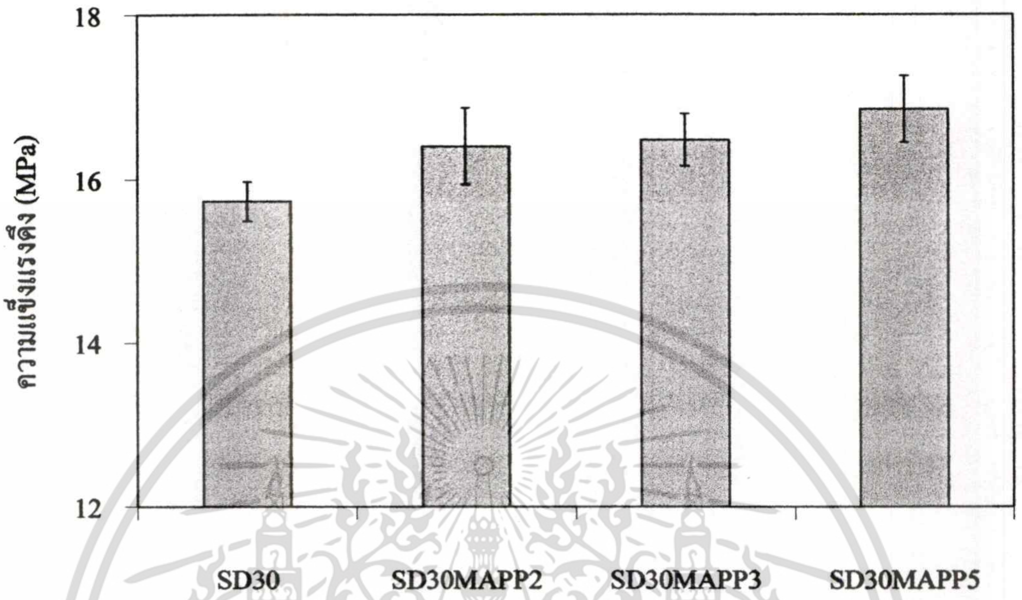
4.5.2.1 สมบัติทางแรงดึง

จากรูปที่ 4.19 -21 แสดงความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และมอดุลัสแรงดึงตามลำดับของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาคด้วยการเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน (MAPP) ในปริมาณต่าง ๆ โดยน้ำหนักขี้เลื่อย พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน มีแนวโน้มสมบัติทางแรง ดึงเพิ่มมากขึ้นกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนเล็กน้อย เนื่องจากมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนปลายข้างหนึ่งไม่มีขั้วสามารถเกิดการเกี่ยวพันเชิงกลกับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งมีขั้วจะเกิดพันธะเคมีกับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสบนพื้นของขี้เลื่อย

และเมื่อเพิ่มปริมาณมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนมากขึ้นพบว่าสมบัติทางแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งผลจากสัณฐานวิทยาพบว่าวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์ กราฟพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มกระจายตัวดีกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ใช้สารช่วยผสม ดังนั้นการใช้สารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนจึงส่งผลให้สมบัติทางแรงดึงมีแนวโน้มดีขึ้น เนื่องจากมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนที่มากขึ้นส่งผลให้เพิ่มพื้นที่การ

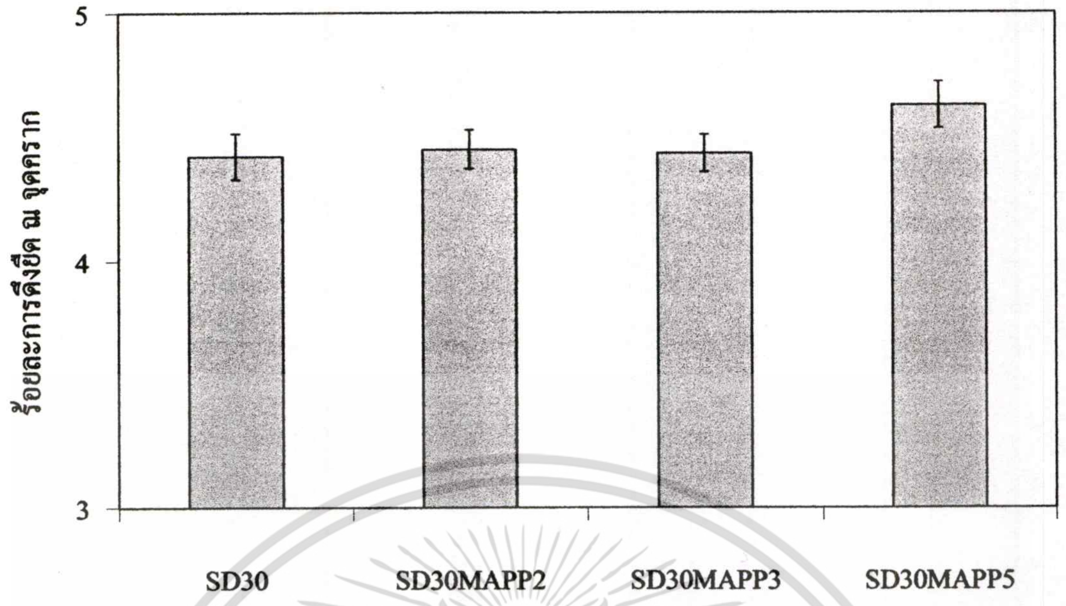
เอกสารนี้...เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มดีขึ้น เนื่องจากมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนที่มากขึ้นส่งผลให้เพิ่มพื้นที่การเกิดพันธะกับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสบนพื้นของขี้เลื่อยส่งผลให้การยึดเกาะที่พื้นผิวของขี้เลื่อยและพอลิพรอพิลีนให้มากขึ้น

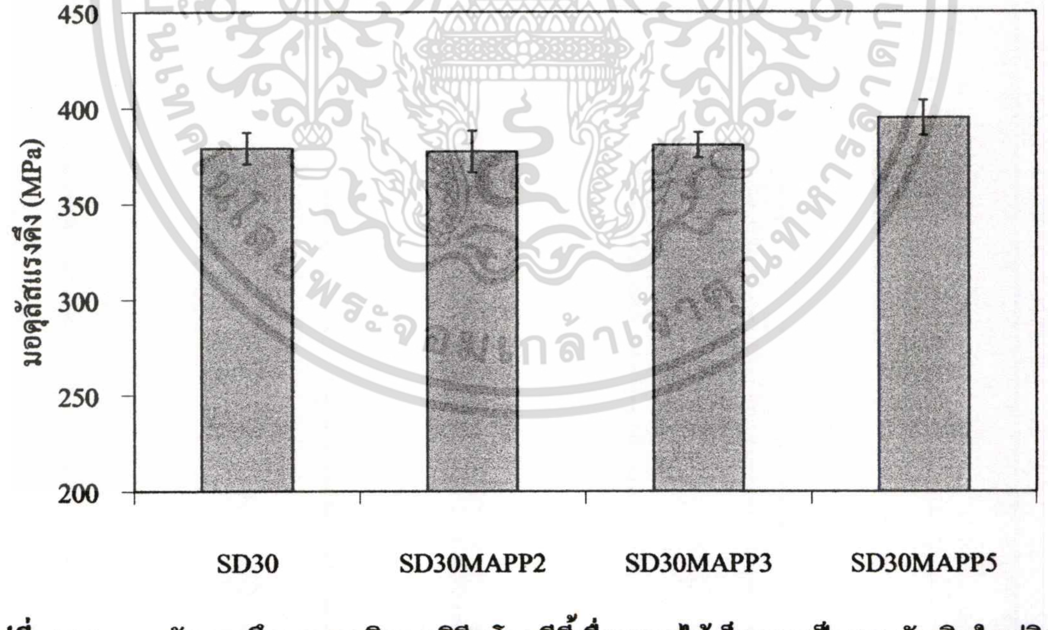


รูปที่ 4.19 ความแข็งแรงดึงของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



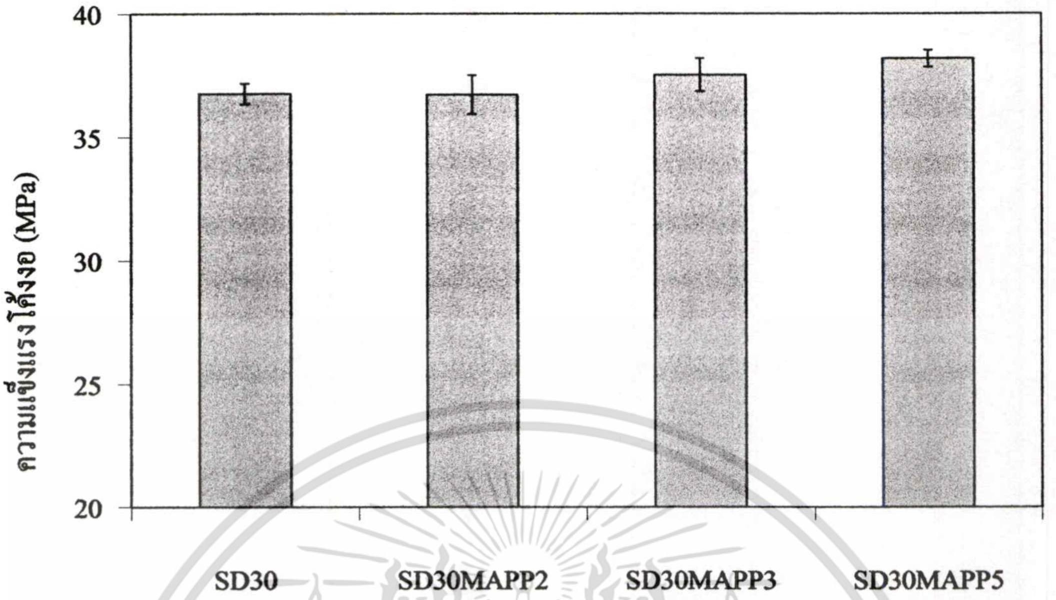
รูปที่ 4.20 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ



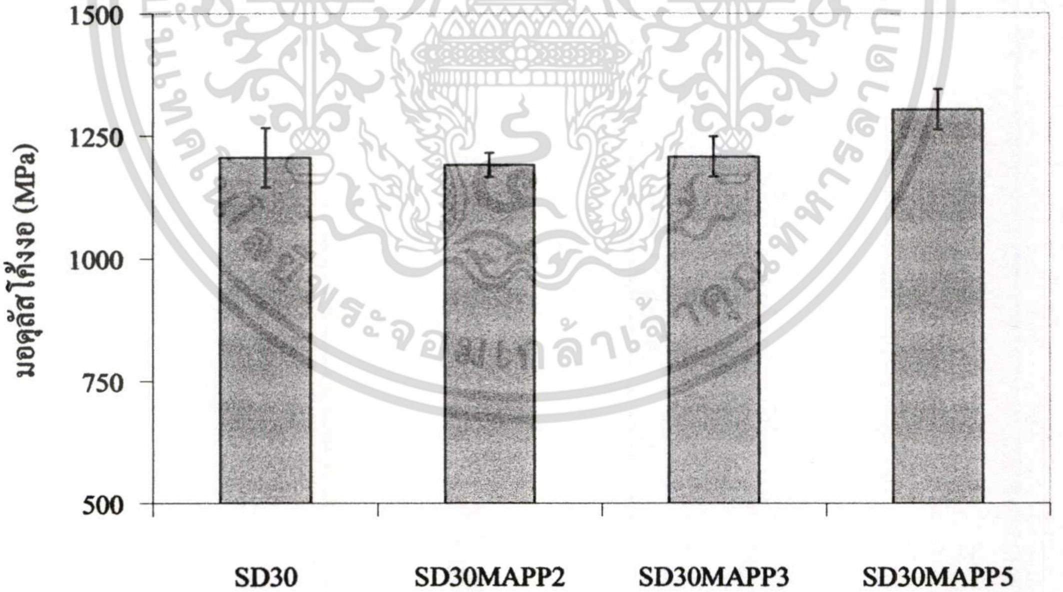
รูปที่ 4.21 มอดุลัสแรงดึงของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.2 สมบัติทางแรงโค้งงอ



รูปที่ 4.22 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ

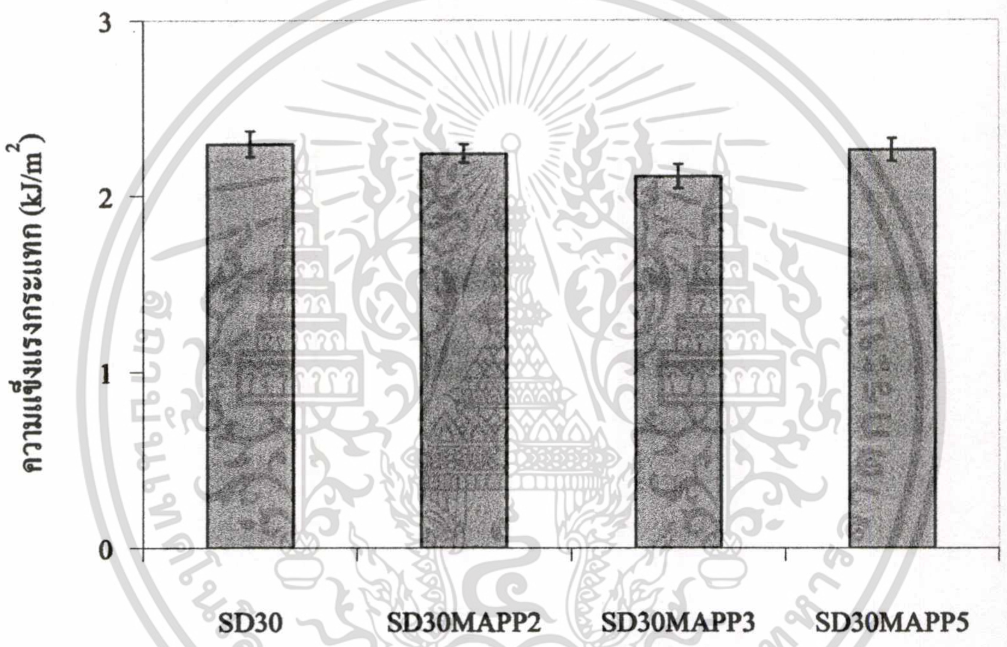


รูปที่ 4.23 มอดุลัสโค้งงอของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30โดยน้ำหนักและเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 แสดงความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ ตามลำดับของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาคด้วยการเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์ กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ โดยน้ำหนักขี้เลื่อย พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มสมบัติทางแรงโค้งงอเพิ่มมากขึ้นกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.5.2.1

4.5.2.3 ความแข็งแรงกระแทก

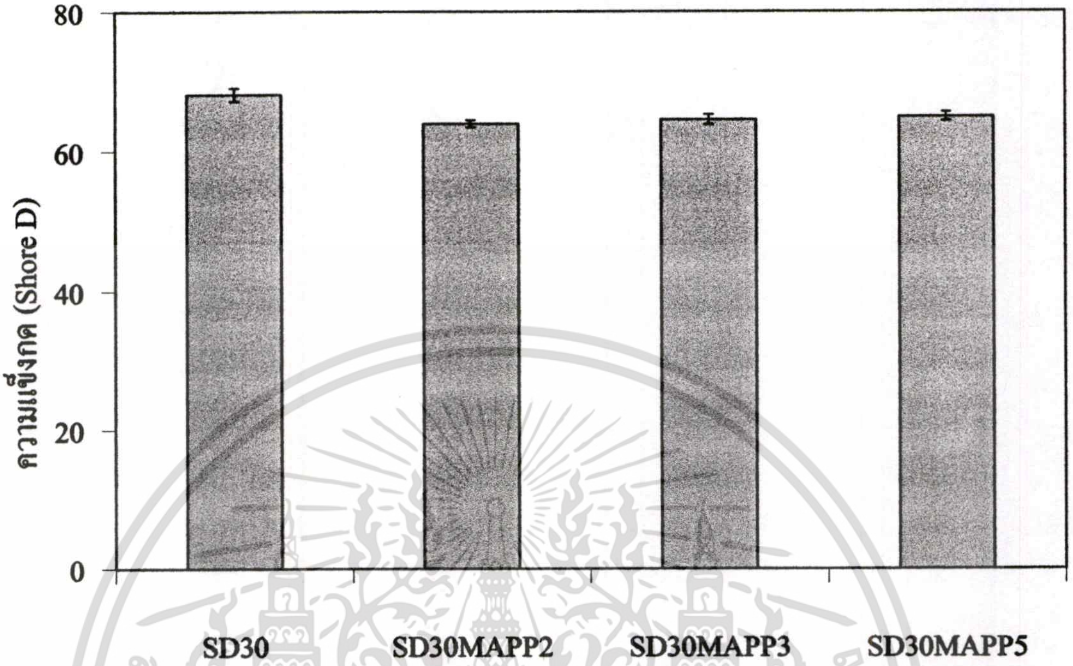


รูปที่ 4.24 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.24 แสดงความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากขี้ลื่อยเป็นวัฏภาคที่สามารถรับและกระจายแรงให้กับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ได้ และเมื่อพิจารณาถึงผลของสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน โดยพบว่ามีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตมากนัก แสดงว่าสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.4 ความแข็งกด



รูปที่ 4.25 ความแข็งกดของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.25 แสดงความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน พบว่าวัสดุคอมโพสิตมีค่าความแข็งกดลดลงเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาปริมาณของสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนพบว่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งกด

จากการศึกษาผลของสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่ามาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนช่วยให้สมบัติเชิงกลโดยรวมมีแนวโน้มดีขึ้น คือ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก มอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ แต่ความแข็งกดมีแนวโน้มลดลง และความแข็งแรงกระแทกไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากสันฐานวิทยาแสดงให้เห็นว่ามาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนส่งผลการกระจายตัวของขี้เลื่อยในพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ได้ดี และเมื่อศึกษาถึงปริมาณที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมของสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนเพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลดีที่สุด พบว่าที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อยมีแนวโน้มสมบัติเชิงกลโดยรวมดี

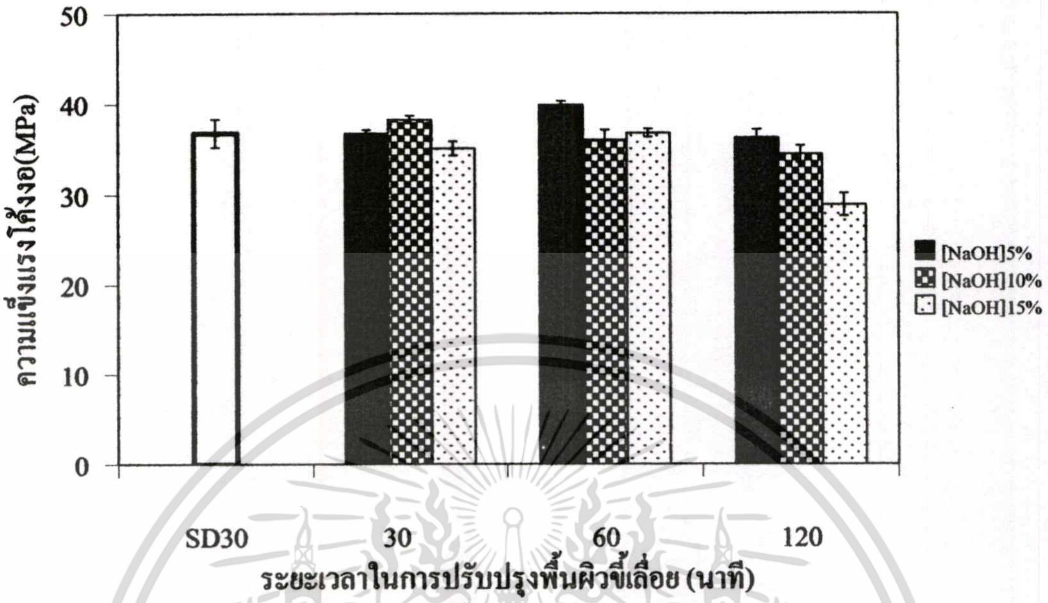
4.5.3 ผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์

การปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันนั้นเป็นการสกัดลิกนินบริเวณพื้นผิวซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งในไม้ออกจากขี้เลื่อย [11-12, 28] ทำให้พื้นผิวขี้เลื่อยมีความขรุขระ (Roughness) ส่งผลให้พอลิเมอร์เมทริกซ์สามารถแทรกเข้าไปในบริเวณพื้นผิวที่ขรุขระ และช่องว่างอื่น ๆ ในขณะที่หลอมเหลวระหว่างทำการผสม และเมื่อเย็นตัวพอลิเมอร์เมทริกซ์เกิดการแข็งตัว เป็นสาเหตุให้พอลิเมอร์เมทริกซ์ถูกล็อคแข็งติดอยู่กับพื้นผิวของเส้นใย เรียกว่าการยึดเกาะเชิงกล (Mechanical Interlocking) ซึ่งความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวเส้นใยที่ทำให้เกิดการแทรกตัวของพอลิเมอร์เมทริกซ์ รวมทั้งขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อความสามารถของพอลิเมอร์เมทริกซ์ในการเปียกและแทรกตัวบริเวณพื้นผิวที่ขรุขระของเส้นใย

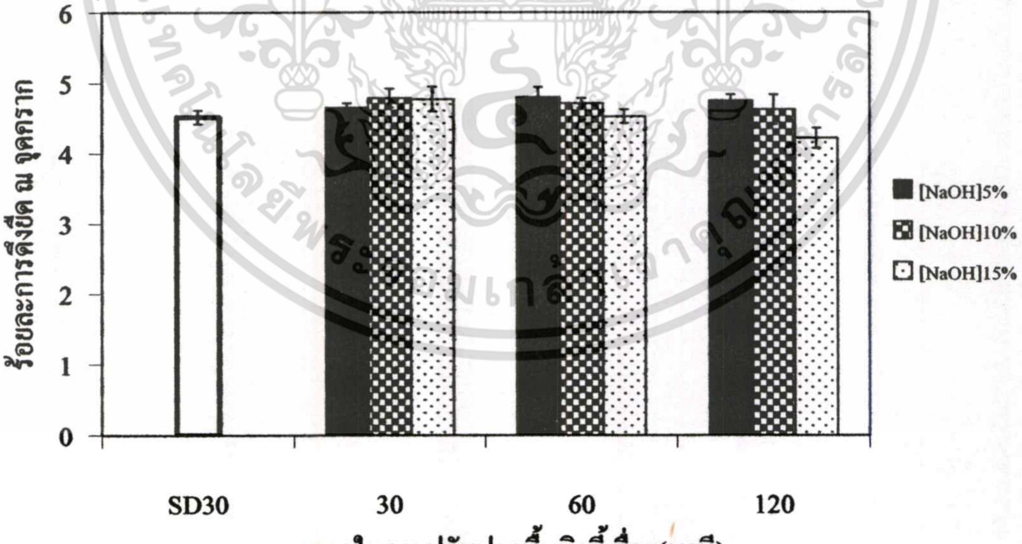
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบถึงการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวของขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลต่าง ๆ โดยนำขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ปริมาณร้อยละ 30 มาปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 30 60 และ 120 นาที ตามลำดับที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3.1 สมบัติทางแรงดึง

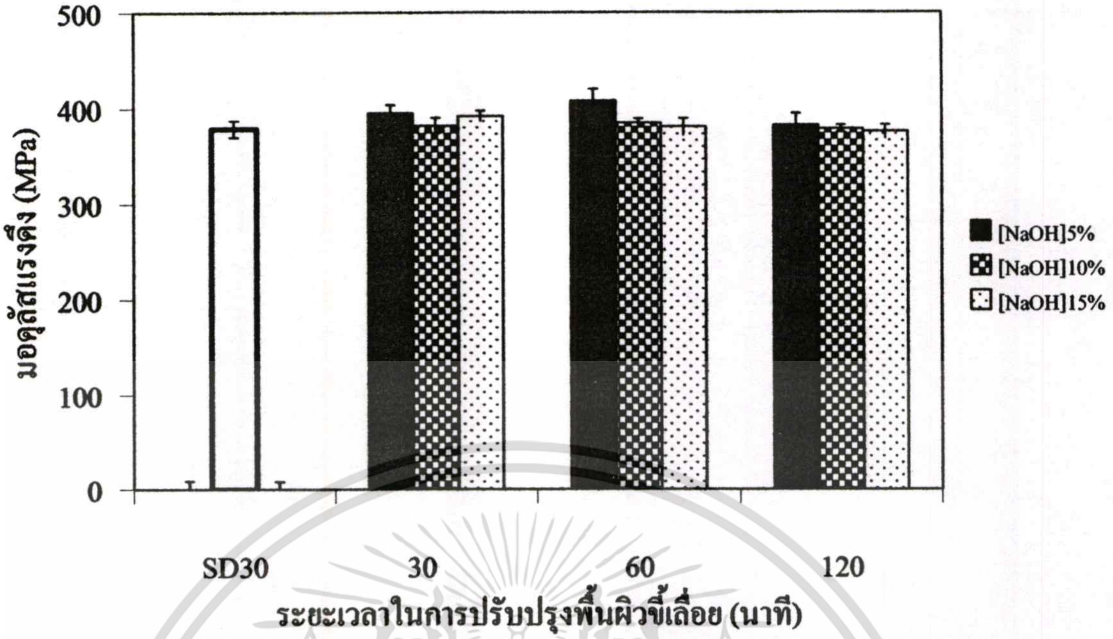


รูปที่ 4.26 ความแข็งแรงดึงของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน



รูปที่ 4.27 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 มอดุลัสแรงดึงของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน

จากรูปที่ 4.26-4.28 แสดงถึงความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และมอดุลัสแรงดึงของพอลิพรอพิลีนที่มีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มาเป็นสารสารตัวเติมในอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่ขี้เลื่อยได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 30 60 และ 120 นาที มีสมบัติทางแรงดึงมากกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ขี้เลื่อยไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์และระยะเวลาในการปรับปรุงพื้นผิว ขี้เลื่อยมีแนวโน้มสมบัติทางแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตมีค่าลดลงทั้งนี้จากสันฐานวิทยาแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์และระยะเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวมากขึ้น ขี้เลื่อยมีแนวโน้มการกระจายตัวของขี้เลื่อยไม่ดีในเมทริกซ์ เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวเป็นการสกัดลิกนินที่เป็นองค์ประกอบส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกันออกส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างขี้เลื่อยด้วยกันได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวของขี้เลื่อยในพอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่ดี โดยที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ระยะเวลา 1 ชั่วโมงที่ทำการศึกษาให้สมบัติทางแรงดึงมากกว่าความเข้มข้น และระยะเวลาการปรับปรุงพื้นผิวอื่น ๆ ซึ่งเพราะเป็นความเข้มข้นและ

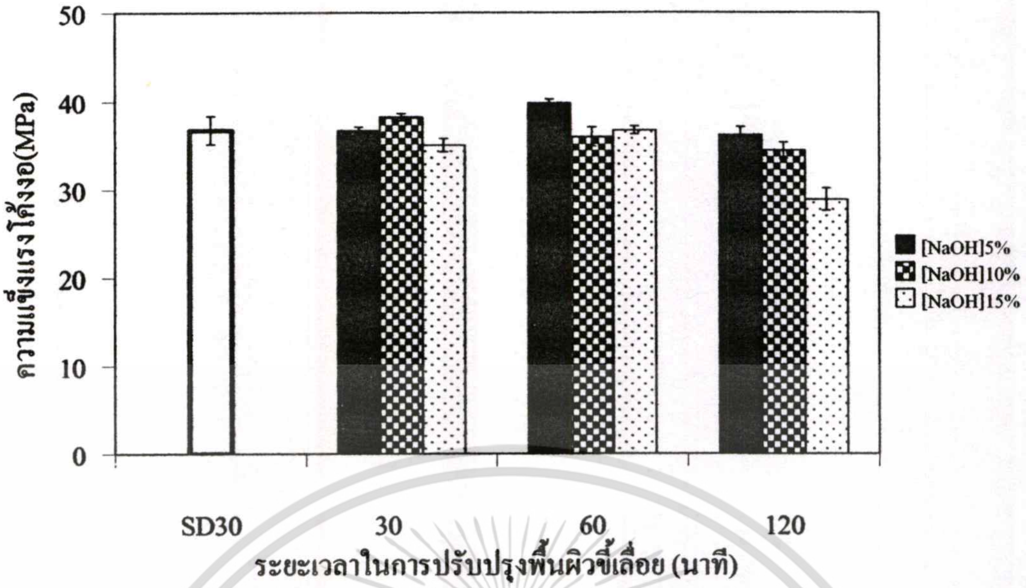
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่ทำให้เกิดความขรุขระของพื้นผิวขี้เลื่อยที่เหมาะสมทำให้เกิดความแข็งแรงดึงสูงกว่าความเข้มข้น และระยะเวลาอื่น ๆ

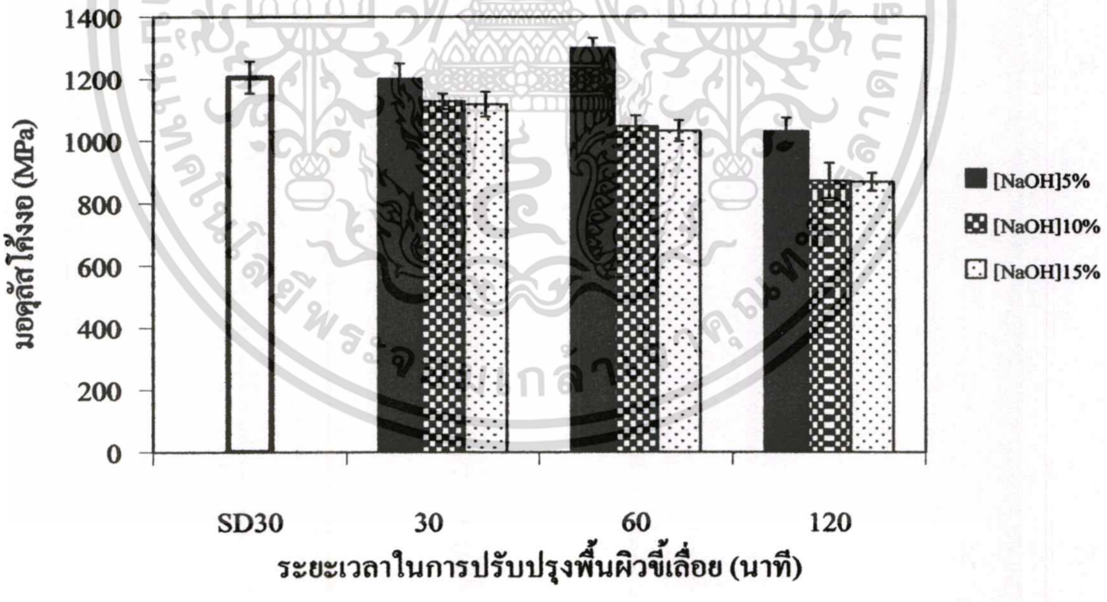
4.5.3.2 ความแข็งแรงโค้งงอ

จากรูปที่ 4.29-4.30 แสดงถึงความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ต่างกัน พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่ขี้เลื่อยได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 60 นาที มีสมบัติทางแรงโค้งงอมากกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ขี้เลื่อยไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และระยะเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวมากขึ้นส่งผลถึงแนวโน้มสมบัติแรงโค้งงอให้มีค่าลดลง โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในระยะเวลา 30 60 และ 120 นาที ที่ทำการศึกษาพบว่ามีค่าต่ำกว่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อย และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นพบว่าขี้เลื่อยมีแนวโน้วรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากกว่าขี้เลื่อยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวเป็นการสกัดลิกนินที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งออก ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างขี้เลื่อยด้วยกันได้ง่ายขึ้นทำให้เกิดการกระจายตัวของขี้เลื่อยในพอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่ดีทำให้สมบัติทางแรงโค้งงอลดลงเกิดการเสียสภาพได้ง่ายขึ้น และพบว่าที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักมีความแข็งแรงโค้งงอมากกว่าความเข้มข้นอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน

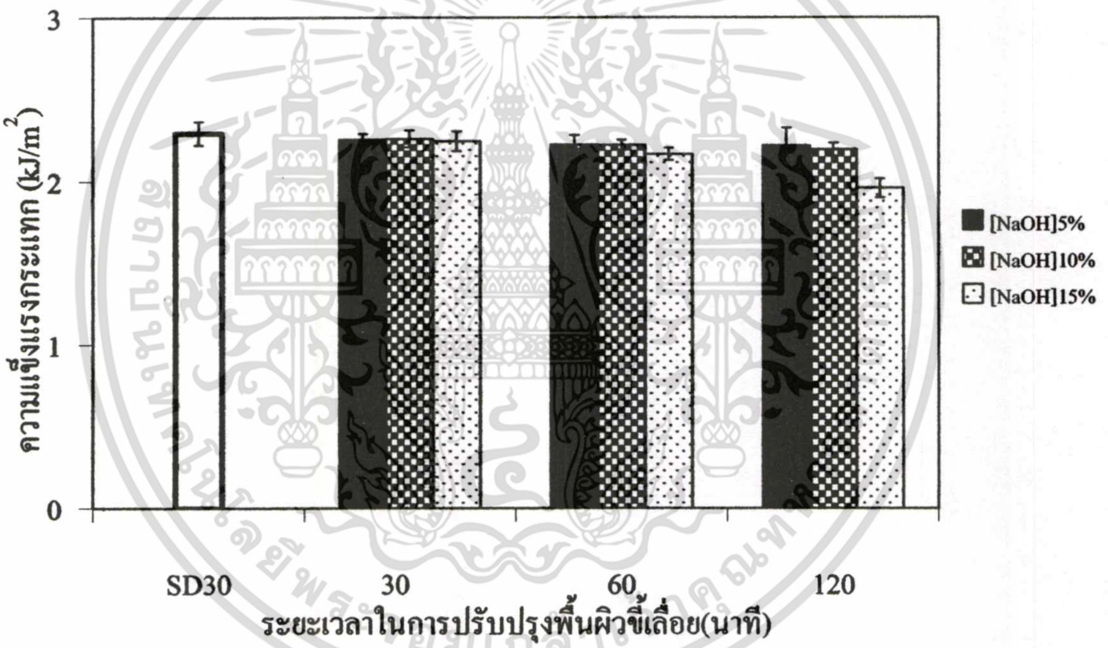


รูปที่ 4.30 มอดุลัสโค้งงอของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3.3 ความแข็งแรงกระแทก

จากรูปที่ 4.31 แสดงถึงความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีน และ ขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น และระยะเวลาที่ต่างกัน พบว่าในทุกความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และทุกระยะเวลาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวมีค่าความแข็งแรงกระแทกน้อยกว่าวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้พบว่าที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น และระยะเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยที่ระยะเวลาในการปรับปรุงพื้นผิว 30 60 และ 120 นาที ความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าการปรับปรุงพื้นผิวของขี้เลื่อยออกไปทำให้พื้นผิวขรุขระ หรือช่องว่างที่บริเวณพื้นผิวขี้เลื่อยไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงกระแทก

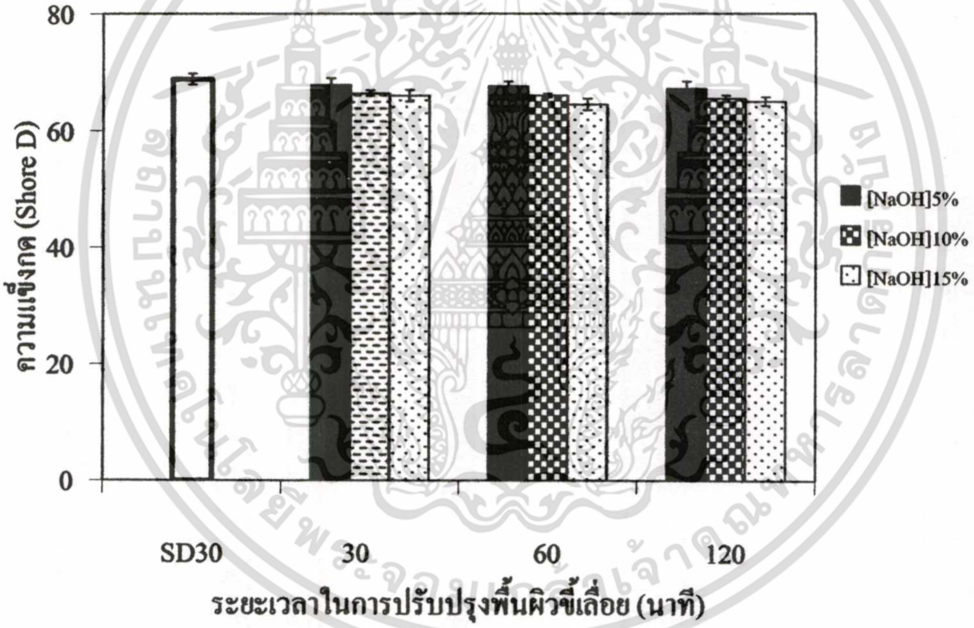


รูปที่ 4.31 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีน โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3.4 ความแข็งกด

จากรูปที่ 4.32 แสดงถึงความแข็งกดของของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น และระยะเวลาที่ต่างกัน พบว่าในทุกความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และทุกระยะเวลาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวมีค่าความแข็งกดน้อยกว่าวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้น และระยะเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวความแข็งกดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากองค์ประกอบที่สำคัญของไม้ที่จำแนกชนิดไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน คือ ปริมาณลิกนินที่มีอยู่ในไม้ชนิดนั้น โดยที่ไม้ที่มีลิกนินมากส่งผลให้มีความแข็งมากตามไปด้วย ซึ่งการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการสกัดลิกนินที่แสดงถึงความแข็งของไม้ออกไปทำให้ขี้เลื่อยมีความแข็งลดลงในทุกสูตรที่ทำการปรับปรุงพื้นผิว



รูปที่ 4.32 ความแข็งกดของพอลิพรอพิลีนโดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกเป็นสารตัวเติมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกัน

จากการศึกษาผลของวัสดุคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 60 นาที ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าความเข้มข้น และระยะเวลาในการปรับปรุงผิวสภาวะอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา อาจเนื่องจากเป็นที่ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ทำให้เกิดความขรุขระของพื้นผิวขี้เลื่อยที่เหมาะสมทำให้เกิดการยึดเกาะเชิงกลระหว่างขี้เลื่อยและพอลิพรอพิลีนที่เกิดล็อคอยู่ภายในช่องว่างบริเวณพื้นผิว

เอกสารนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขี้เลื่อยที่ขรุขระส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตเกิดการเสียสภาพได้ยากทำให้แนวโน้มสมบัติเชิงกลโดยรวมดี แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น หรือเพิ่มระยะเวลาการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นพบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวเป็นการสกัดลิกนินที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งออก ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างขี้เลื่อยด้วยกันได้ง่ายขึ้นทำให้เกิดการกระจายตัวของขี้เลื่อยใน พอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่ดีทำให้เกิดการเสียสภาพได้ง่ายขึ้นสมบัติเชิงกลโดยรวมจึงมีแนวโน้มลดลง

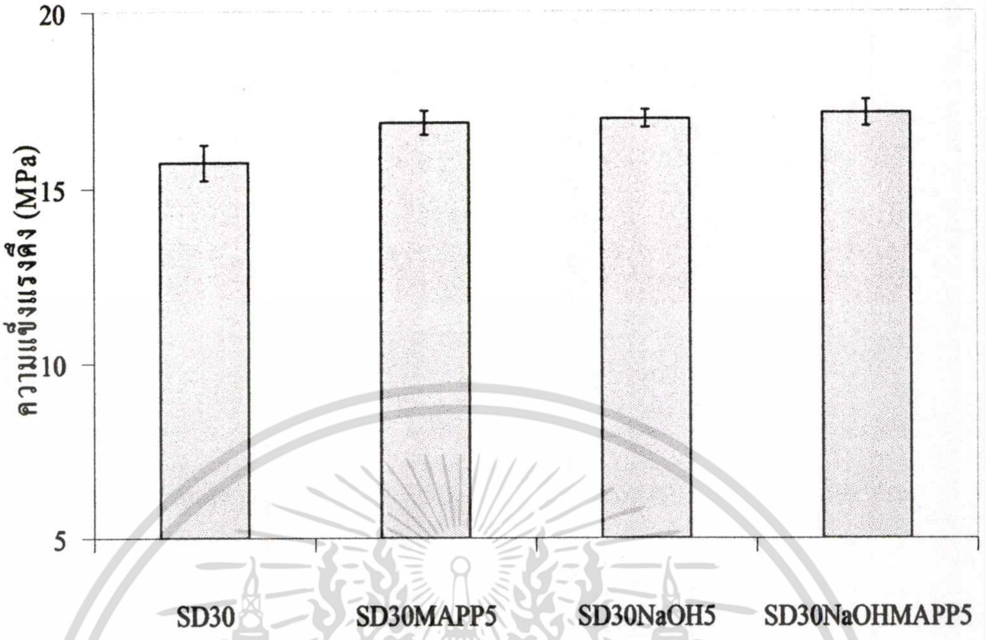
4.5.4 ผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์และมาลิอิกแอนไฮดรายด์

จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่าวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที และวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย มีสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาวัสดุคอมโพสิตถึงผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์และมาลิอิกแอนไฮดรายด์ที่มีต่อสมบัติเชิงกล

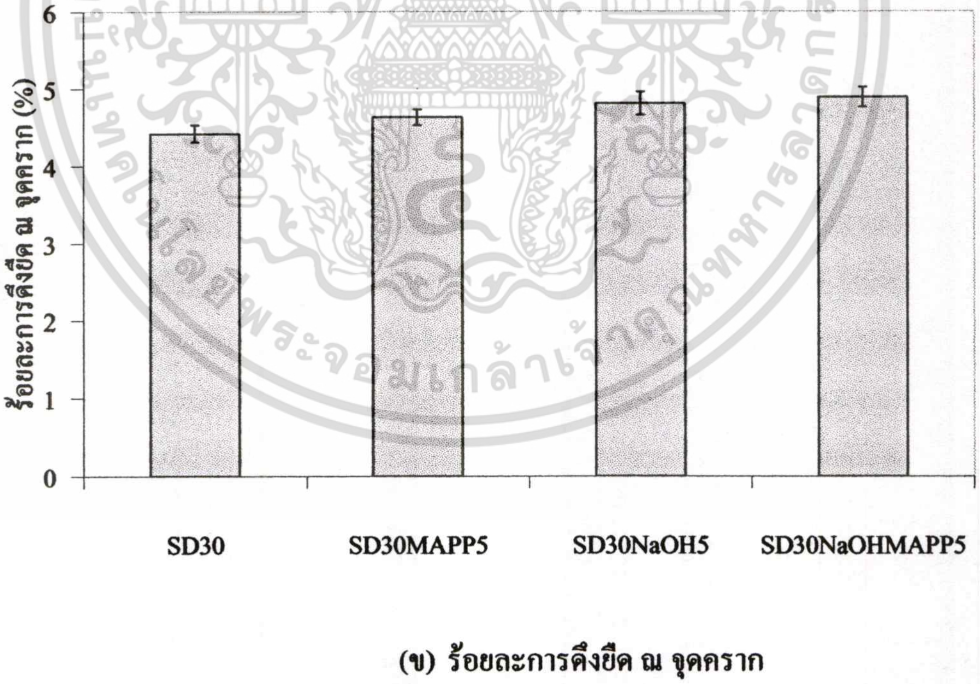
4.5.4.1 สมบัติทางแรงดึง

จากรูปที่ 4.33 แสดงสมบัติทางแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยหนักขี้เลื่อย เมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และมอดุลัสแรงดึงพบว่ามีแนวโน้มดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย และวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว เป็นผลจากการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยทำให้เกิดการยึดเกาะเชิงกลระหว่างขี้เลื่อยและพอลิพรอพิลีนที่เกิดล็อคอยู่ภายในช่องว่างบริเวณพื้นผิวขี้เลื่อยที่ขรุขระ และมีสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ช่วยเพิ่มพื้นที่การเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสบนพื้นของขี้เลื่อยส่งผลให้การยึดเกาะที่พื้นผิวของขี้เลื่อยและพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มดีขึ้นส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตมีสมบัติทางแรงดึงมีแนวโน้มดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

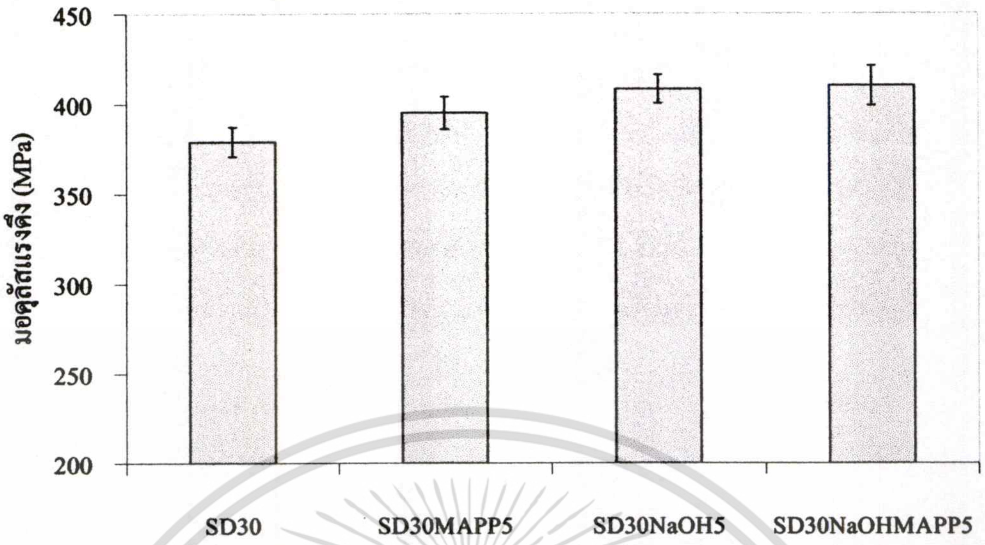


(ก) ความแข็งแรงดึง



(ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) มอดุลัสแรงดึง

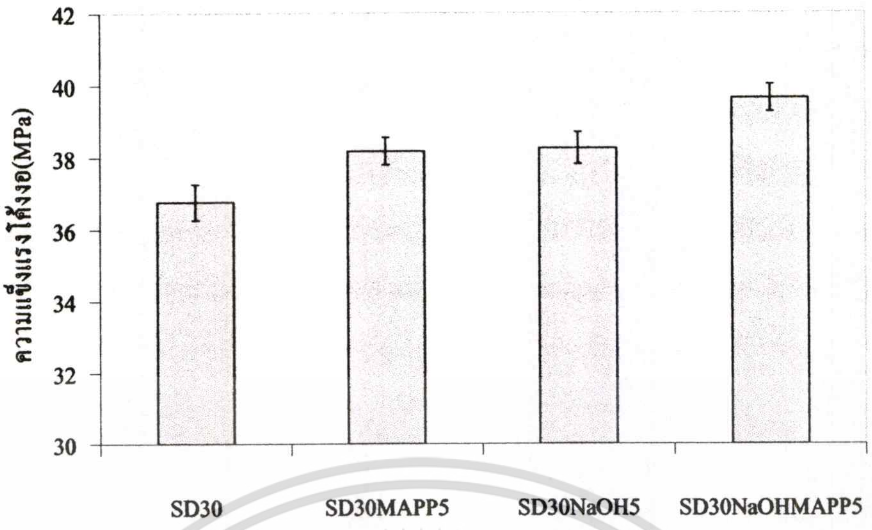
รูปที่ 4.33 สมบัติทางแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนักโดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และ (ค) มอดุลัสแรงดึง

4.5.4.2 สมบัติทางแรงโค้งงอ

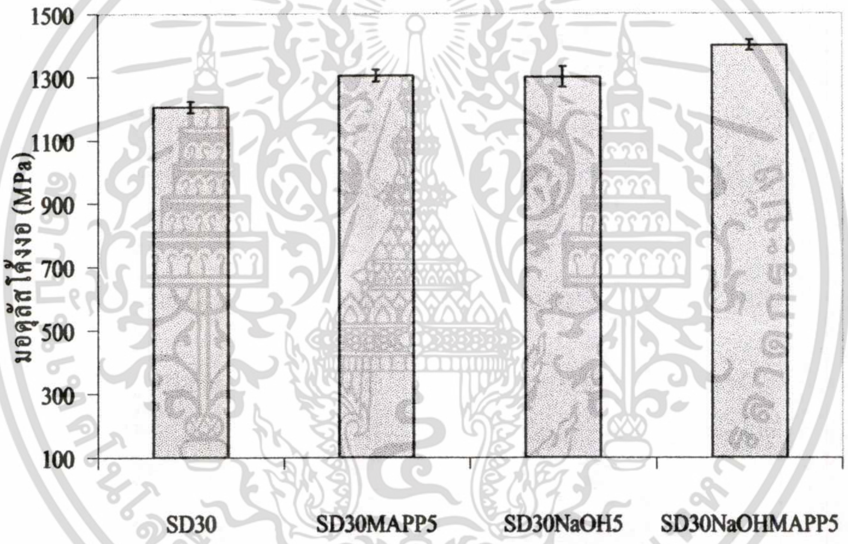
จากรูปที่ 4.34 สมบัติการโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสมมาลิ-อิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยหนักขี้เลื่อย เมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย และวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถอธิบายด้วยเหตุผลเดียวกับข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)

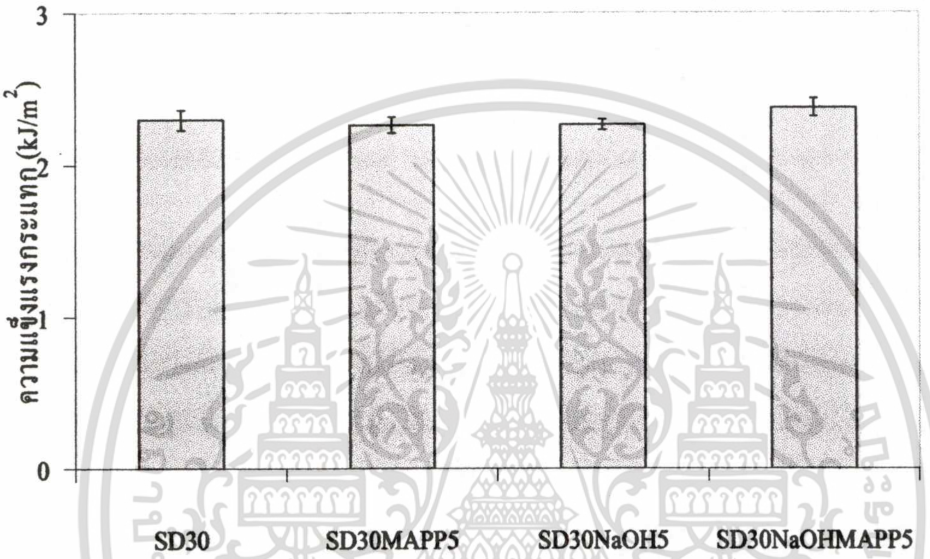


รูปที่ 4.34 สมบัติทางแรงโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย (ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

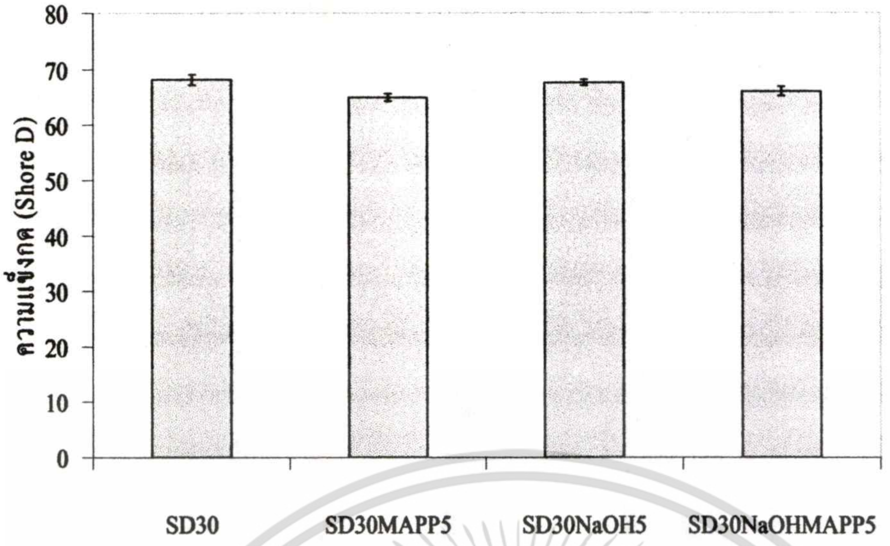
4.5.4.3 ความแข็งแรงกระแทกและความแข็งกด

และจากรูปที่ 4.35-4.36 พบว่าความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิต มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงแสดงถึงสารช่วยผสม มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยหนักขี้เลื่อย การปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที หรือใช้ มาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิต



รูปที่ 4.35 ความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 ความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าปริมาณและขนาดของขี้เลื่อยมีผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวม คือ โดยเลือกวัสดุคอมโพสิตที่มีขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีปริมาณไม้มากแต่การผสม และขึ้นรูปง่าย และให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดี โดยพิจารณาได้จากความแข็งแรงดึง มอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ เมื่อพิจารณาถึงผลของสารช่วยผสมพบว่าปริมาณมีผลต่อสมบัติเชิงกลและที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของขี้เลื่อยมีแนวโน้มให้สมบัติเชิงกลดีกว่าปริมาณอื่น ๆ เนื่องจากสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนปลายข้างหนึ่งไม่มีขั้วก็เกิดการเกี่ยวพันเชิงกลกับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งมีขั้วจะเกิดพันธะเคมีกับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสบนพื้นของขี้เลื่อยซึ่งเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยให้มากขึ้น และผลของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นระยะเวลา 30 60 และ 120 นาที พบว่าส่งผลต่อสมบัติเชิงกลอย่างชัดเจนทั้งความเข้มข้น และระยะเวลาในการปรับปรุงพื้นผิวโดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้น และระยะเวลาในการปรับปรุงผิวมากขึ้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวเป็นการสกัดลิกนินที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งออกส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างขี้เลื่อยด้วยกันได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวของขี้เลื่อยในพอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่ดี โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นระยะเวลา 60 นาที มีแนวโน้มให้สมบัติเชิงกลดีกว่าสภาวะความเข้มข้น และเวลาอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา

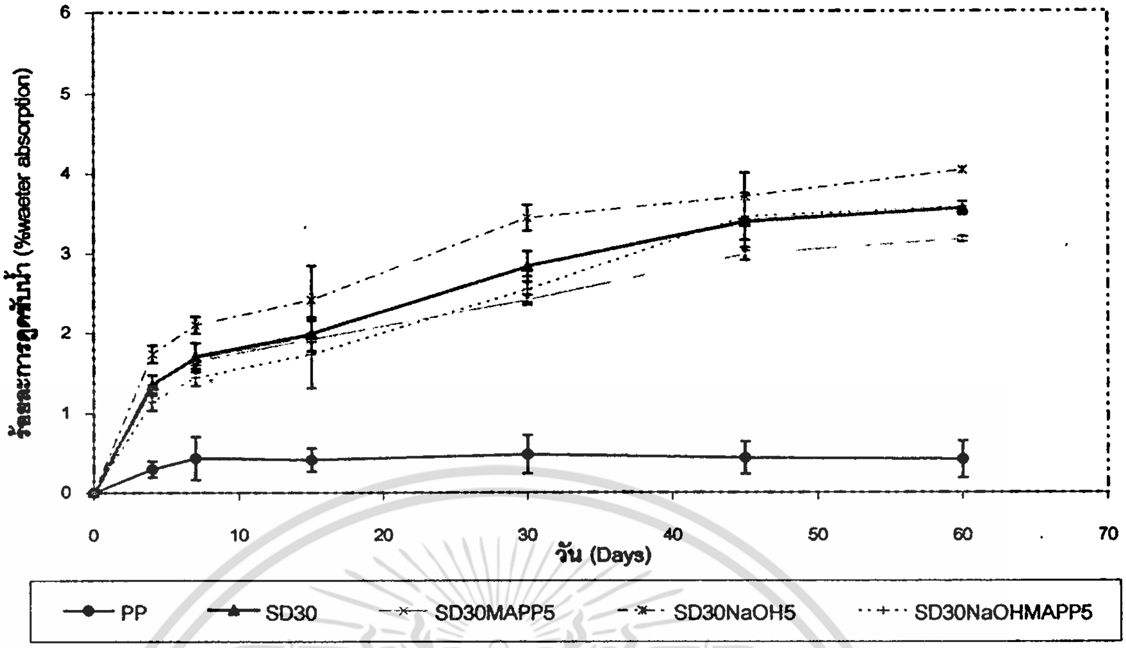
และเมื่อศึกษาวัสดุคอมโพสิตถึงผลของการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ร่วมกับมาลิอิกแอนไฮดรายด์ พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิ-พรอพิลีน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของขี้เลื่อย เพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มสมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ใช้สารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ในขณะที่วัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มสมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ใช้สารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย เพียงอย่างเดียว และพบว่าวัสดุคอมโพสิตที่ใช้การปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 60 นาที ร่วมกับมาลิอิกแอนไฮดรายด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อยมีสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มดีกว่าสภาวะอื่น ๆ ที่ทำการศึกษาด้วยเหตุผลจากการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยที่ความเข้มข้น และเวลาที่เหมาะสมทำให้เกิดการความขรุขระที่พื้นผิวของขี้เลื่อยทำให้เกิดการยึดเกาะเชิงกลระหว่างขี้เลื่อยและพอลิพรอพิลีนที่เกิดล็อคอยู่ภายในช่องว่างบริเวณพื้นผิวขี้เลื่อยที่ขรุขระและสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนปลายข้างหนึ่งไม่มีขั้วก็เกิดการเกี่ยวพันเชิงกลกับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งมีขั้วจะเกิดพันธะเคมีกับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสบนพื้นของขี้เลื่อยซึ่งเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยให้มากขึ้น จึงส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตเกิดการเสียสภาพได้ยากกว่า

4.6 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษา คือ สมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตกับเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 4.37 ซึ่งจากการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีน วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.37 พบว่าวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าพอลิพรอพิลีนอย่างชัดเจน เนื่องจากพอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความไม่มีขั้วหรือมีสมบัติไม่ชอบน้ำ แต่ขี้เลื่อยมีความมีขั้วหรือมีสมบัติชอบน้ำ และเนื่องจากขี้เลื่อยมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นการเติมขี้เลื่อยในพอลิพรอพิลีนจึงทำให้วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยมี ค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าพอลิพรอพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีน วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่มีขนาดขี้เลื่อยมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช วัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย วัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 60 นาที และวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 60 นาที โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน 5% โดยน้ำหนักขี้เลื่อย

เมื่อพิจารณาที่วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงไม่ปรับปรุงพื้นผิวนั้นพบว่าวัสดุคอมโพสิตที่มีขี้เลื่อยปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมีแนวโน้มมากกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่มีการปรับพื้นผิวขี้เลื่อยเล็กน้อย เนื่องจากละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการสกัดสารลิกนินที่เป็นสารที่ไม่มีขั้วออกจากบริเวณพื้นผิวขี้เลื่อย และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้แก่ขี้เลื่อยส่งผลให้ขี้เลื่อยที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความมีขั้วหรือมีสมบัติชอบน้ำมากขึ้นหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นการปรับพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวเป็นการสกัดลิกนินที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบหนึ่งที่ไม่มีขั้วออก ส่งผลให้เกิดความมีขั้วเนื่องมาจากหมู่ไฮดรอกซิลของขี้เลื่อยมากขึ้น และมีแนวโน้มขี้เลื่อยรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนส่งผลให้มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากขึ้น

เมื่อมีการเติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนลงไปพบว่ามีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมีแนวโน้มน้อยกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่เติม ทั้งนี้เป็นผลมาจากมาลิอิกแอนไฮ-ดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ได้สร้างพันธะส่วนหนึ่งกับหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) ของขี้เลื่อยจึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของน้ำได้น้อยลง ดังนั้นการเติมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนในวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยจึงทำให้วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำน้อยกว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยที่ไม่ได้เติมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำขี้เลื่อยจากไม้เต็งนอกมาเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยศึกษาถึงผลของขนาดและปริมาณของขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบถึงการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Alkali treatment) และการใช้สารช่วยผสม คือ พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาลิอิกแอนไฮดรายด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) เพื่อปรับปรุงการยึดเกาะกับพอลิพรอพิลีนที่พื้นผิวของขี้เลื่อยที่ใช้เป็นสารตัวเติม ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย TGA พบว่าพอลิพรอพิลีนมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อย และขี้เลื่อย ตามลำดับ และการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ขี้เลื่อยมีเสถียรภาพทางความร้อนมากขึ้น และจากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย DSC พบว่าการผสมขี้เลื่อยในพอลิพรอพิลีนไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน ส่วนอุณหภูมิการเกิดผลึกไม่เปลี่ยนแปลง และปริมาณความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเมื่อเติมขี้เลื่อย

จากผลการศึกษาผลของขนาดและปริมาณต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย พบว่าปริมาณและขนาดของขี้เลื่อยมีผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวม คือ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของขี้เลื่อยมากขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก ของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่มอดุลัสแรงดึง มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ขนาดของขี้เลื่อยส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตโดยที่ขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็กมีแนวโน้มให้ ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสแรงดึง มอดุลัสโค้งงอ ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และความแข็งกด มีแนวโน้มมากกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่ แต่เมื่อพิจารณาความแข็งแรงกระแทกพบว่าปริมาณและขนาดของขี้เลื่อยไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต

การศึกษาผลของสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่ามาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนช่วยให้สมบัติเชิงกลโดยรวมมีแนวโน้มดีขึ้น คือ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก มอดุลัสแรงดึง ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ มีแนวโน้มดีขึ้น แต่ความแข็งกดมีแนวโน้มลดลง และความแข็งแรงกระแทกไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยผสมมาลิอิกแอน-ไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนเพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลดีที่สุดพบว่าที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อยให้สมบัติเชิงกลโดยรวมมีแนวโน้มดีที่สุด

การศึกษาผลของวัสดุคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมมีแนวโน้มดีที่สุด แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น หรือเพิ่มระยะเวลาการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นพบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมมีแนวโน้มลดลง

การศึกษาวัสดุคอมโพสิตถึงผลของการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ร่วมกับมาลิอิกแอนไฮดรายด์ พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย เพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มสมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ใช้สารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีน ในขณะที่วัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มสมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ใช้สารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนเพียงอย่างเดียว และพบว่าวัสดุคอมโพสิตที่ใช้การปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาทีร่วมกับมาลิอิกแอนไฮดรายด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อยมีสมบัติเชิงกลเชิงกลโดยรวมมีแนวโน้มดีกว่าการใช้สารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิพรอพิลีนและปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว

ร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้ขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติม เมื่อใช้สารช่วยผสมมาลิอิกแอนไฮดรายด์กราฟพอลิ-พรอพิลีน พบว่าร้อยละการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง แต่ละการปรับปรุงพื้นผิวขี้เลื่อยในวัสดุคอมโพสิตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าร้อยละการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการใช้สารปรับปรุงแรงกระแทก (Impact Modifier) เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต

2. ศึกษาปริมาณสารช่วยผสม หรือ สารควบคู่ (Coupling agent) เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Mitsubishi Rayon America Inc. 2003 "Process aid for Wood Composite" [online]. Available : http: www.mrany.com/data/HTML/43.htm.

[2] Sinotrans Jiangsu Imp. & Exp Co.,Ltd. 2007 "Wood Plastic Composite" [online]. Available : http://sinotrans.en.alibaba.com/product/0/51151044/Wood_Plastic_Composite.html

[3] Eco-Product. Inc. 2006 "Trex Decking" [online].Available : http : www.ecoproducts.com/Building/build_decking/build_decking_trex.htm

[4] กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตร และสหกรณ์. 2006. "สะเดาเทียม" [online]. Available : www.forest.go.th/private/tiam3.htm

[5] Douglas J. Gardner. 1998 "Wood Plastic Composite Extrusion Overview" [online]. Available : www.umaine.edu/adhesion/gardner/5502002/wpc%20ext%20over%203-11-02.pdf

[6] มาลินี ชัยศุภกิจสินธิ์ "เคมีพอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 3 2543 254.

[7] D.Hull and T.W.Clyne, in"Introduction to Composite Materials", 2 nd ed.,Cambridge University Press, Cambridge,1996, 30-31.

[8] A.B.Strong, in"Plastics Materials and Processing", 2 nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2000, 208-209.

[9] S.Aggarwal, in "Physical constants of polypropylene", in *Polymer handbook* (Brandrup, Immergut Hh. Ed.), Jhon Willey & Sons, New York, 1975, 23-27.

[10] B.T.Astrom, in "Manufacturing of Polymer Composites", 1 st ed., Chapman & Hall, London, 1997, 37.

[11] วิรัช ชื่นวาริน และ ดำรงค์ ศรีอรัญ "ลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ที่สำคัญในลำดับธาลามิฟลอรีและดิสซิฟลอรีของประเทศไทย" รายงานวนศาสตร์วิจัย คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[12] กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตร และสหกรณ์. 2006. "ประเภทของป่าไม้" [online]. Available : http://www.dnp.go.th/research/Knowledge/type%20of%20forest.html

[13] คณะเภสัชกร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [online]. Available http://www.pharm.chula.ac.th/vichen /morpho45/indehis.ht

[14] วนกรอีโคทัวร์, 2549 " พรรณไม้น่ารู้" [online]. Available : http://www.wanakorn.com /natural _ detail.php?tid=48&nid=194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] ณรงค์ โทณาพทท์ และ ศิริ เจือวิจิตรจันทร์ "ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย" ฝ่ายวิจัยไม้ขั้นพื้นฐาน กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พิมพ์ครั้งที่ 2 2528 หน้า 2-16,389.

[16] S.Eero, in "Wood Chemistry : Fundamentals and Applications", 2nd ed., Academic Press,Sandiego, **1993**, 48.

[17] W.B.Banks and J.M.Lawther, in "Derivatization of Wood in Composition" in *Cellulose Polymers, Blends and Composites*, Hanser Publishers, New York, **1994**, 131-153.

[18] A.K.Bledzki and J.Gassan, in "Composites reinforced with cellulose based fibers" *Prog.Polym.Sci.*, 24, **1999**, 225-243.

[19] J.I.Kroschwitz, in "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", 2nd ed., John-Wiley & Sons, New York, Vol 6, **1990**, 655.

[20] R.A.Eaton and M.D.C.Hale, in "Wood Declay, Pests and Protection", 1st ed., Chapman &Hall, London, **1993**, 33.

[21] อิทธิพล แจ้งชัด "เอกสารประกอบการสอน วิชา พอลิเมอร์คอมโพสิต" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 1. 2544 หน้า 1-3, 63-67.

[22] 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.

[23] นันทพร พันธุ์ภักดี และ เรวดี สกุลอาริยะ "วัสดุคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย" โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540.

[24] จิราพรรณ หน่ายคอน และ มาริสา ตันติลักขณา "วัสดุคอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยอ้อย" โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.

[25] กมลทิพย์ มุมิ และ รัชนีกูล บุญหนูกลับ "การปรับปรุงพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าวโดยวิธีการต่อกิ่งแบบรีดอกซ์" โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.

[26] 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.

[27] 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.

เอกสารนี้เป็น...อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[28] K.Rajeev, K.Mohan and N.Ramani, "Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites", *Polym.Eng.Sci.*, 37(2), 1997, 476-483.

[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] 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.

[31] N.Stark, "Effect of Species and Particle Size on Properties of Wood-Flour Filled Polypropylene Composites", 1st ed., Intertech Conferences, USA, 1997.

[32] O.Y.Mansour, Z.A.Nagieb, and A.H.Basta, "Graft Polymerization of Some Vinyl Monomer onto Alkali-Treated Cellulose", *J.Appl.Polym.Sci.*, 43, 1991, 1147-1158.

[33] J.C.M. Suarez, *F.M.B.Coutinho*, and T.H.Sydenstricker, "SEM Studies of Tensile Fracture Surfaces of Polypropylene-Sawdust Composite", *Poly. Test.*, 22, 2003, 819-824.

[34] M.N.Ichazo, "Polypropylene/Wood Flour Composites: Treatments and Properties", *Comp. Struct.*, 54 , 2001, 207-214.

[35] K.Joseph, S.Thomas and C.Pavethran, "Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites.", *J.Appl.Polym.Sci.*, 47, 1993, 1731-1739.

[36] P.V.Joseph, K.Joseph, and S.Thomas, "The Thermal and crystallization studies of Short Sisal Fiber- Reinforced Polypropylene Composites.", *Composite: Part A.*, 34, 2003, 253-266.

[37] HMC Polymer."Profax Z30S" Technical Report: HMC Polymer 2002.

[38] www.dupont.com/industrail-polymers/fusabond® p md353d

[39] ASTM D 638, "Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric)", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.

[40] ASTM D 256, "Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.

[41] ASTM D 785, "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[42] ASTM D 790, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.

[43] ASTM D 570, "Standard Test Methods for Water absorption of Plastics", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.

[44] ASTM D 648, "Standard Test Methods for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.

[45] B.Wunderich, in "Macromolecular Physics", Academic Press, New York, vol. 3, 1980, 61-64.

[46] J.W.Robinson, in "Practical Handbook of Spectroscopy", 1st ed., CRC Press Inc.,Boston , 2000, 481-583.

[47] Journey to forever Hong Kong to Cape Town Overland ,"Mesh to micron conservation chart " [online]. Available : http://journeytoforever.org/biodiesel_mesh.html

[48] 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.

[49] Nicole M. Stark and Laurent M. Matuana, "Surface Chemistry Changes of Weathered HDPE/Wood-Flour Composites Study by XRF and FT-IR Spectroscopy", Madison: *Polymer Degradation and Stability,* 86, 2004, 1-9..

[50] แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม "หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ" กรุงเทพฯ ชวนพิมพ์ 2539 หน้า 108-188

[51] U.S.D.A. forest service research paper, 1970 "Thermal degradation of woo component"[online]. Available : http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fplrp130.pdf

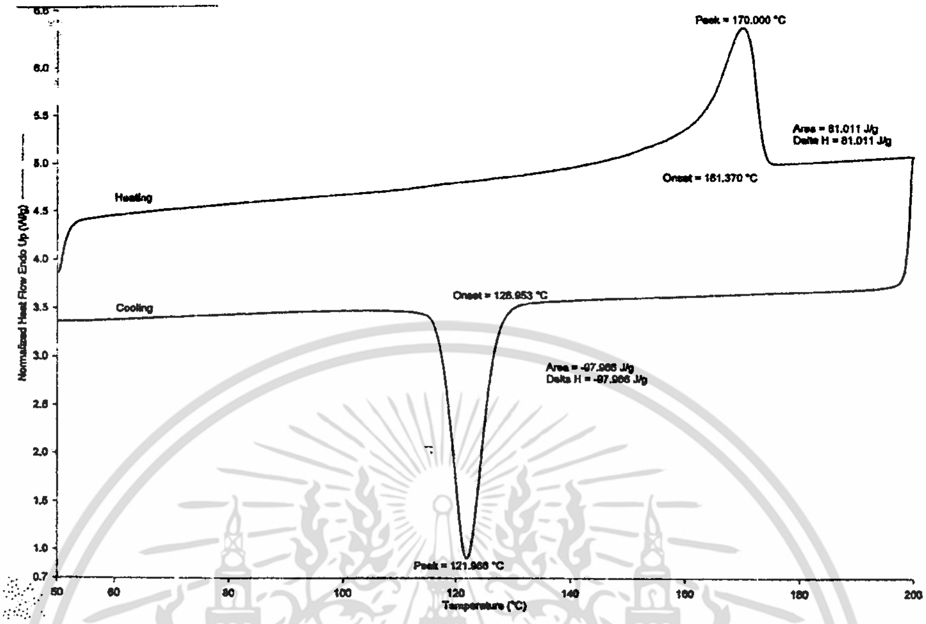
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

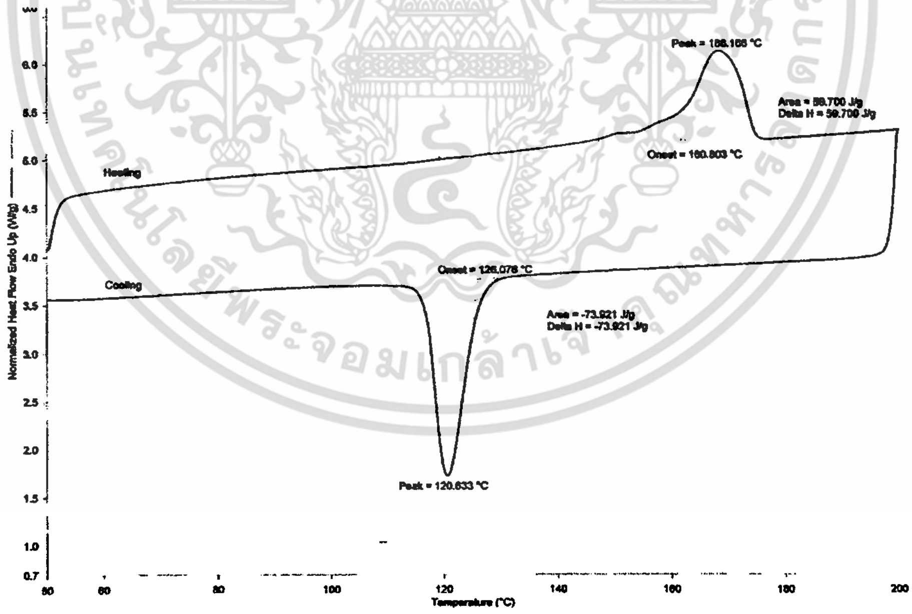
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

DSC เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย

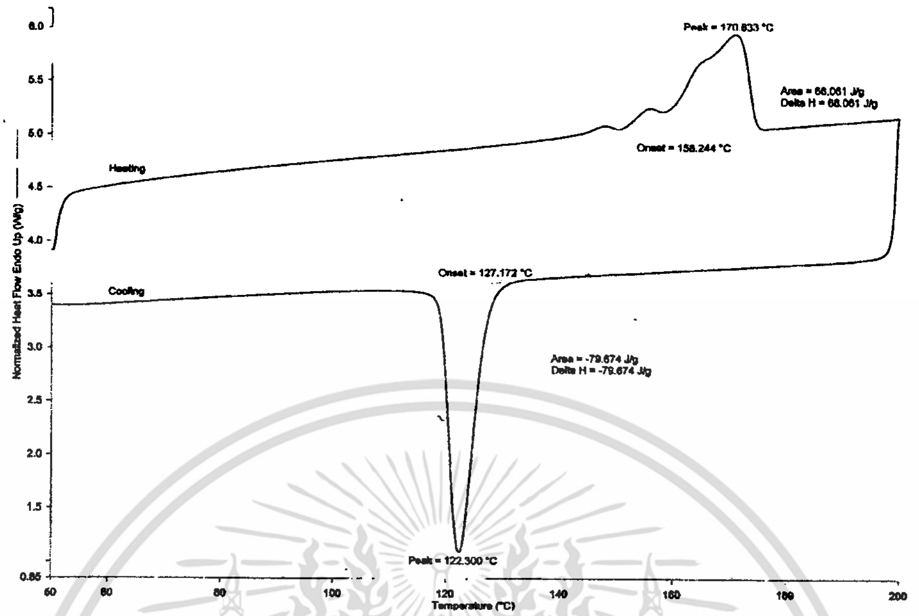


รูปที่ ก.1 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีน

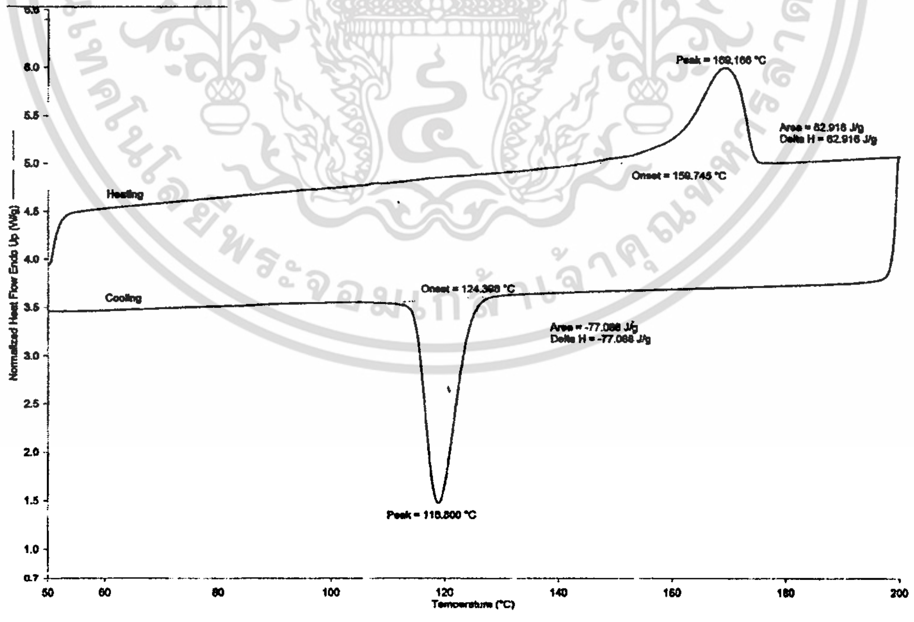


รูปที่ ก.2 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาด 12-34 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

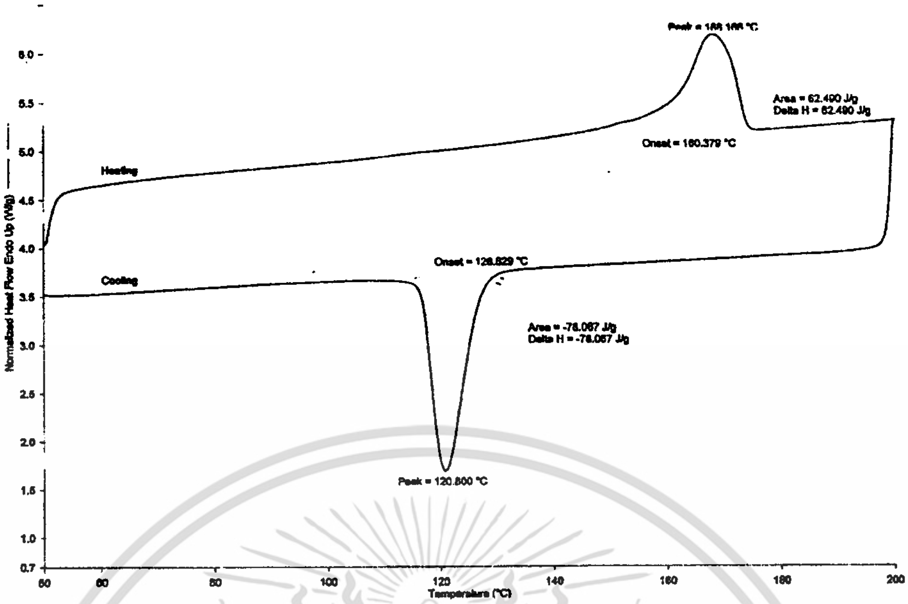


รูปที่ ก.3 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

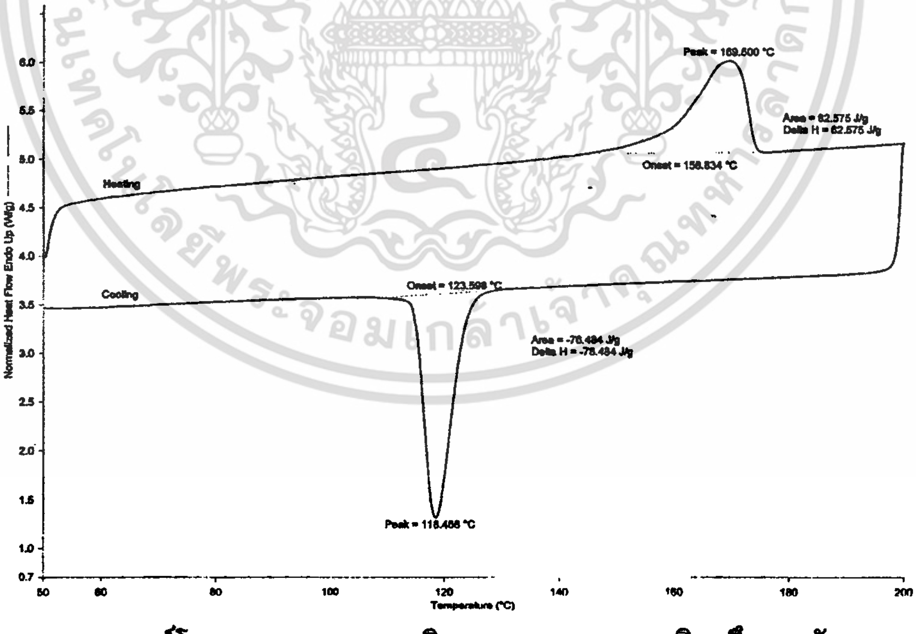


รูปที่ ก.4 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสม MAPP ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

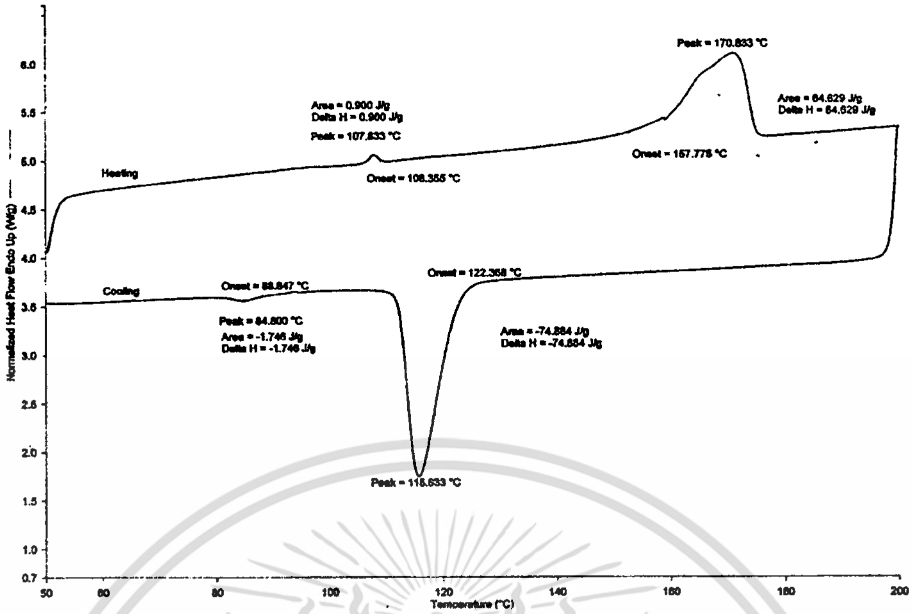


รูปที่ ก.5 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก



รูปที่ ก.6 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสม MAPP ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย

การคำนวณปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย สามารถทำได้ดังสมการต่อไปนี้

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

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\Delta H_f / \text{fraction of PP (0.7)}}{\Delta H^{\circ}_f} * 100$$

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

ΔH°_f = Enthalpy of fusion ของพอลิพรอพิลีนที่มีความเป็นผลึก 100 % เท่ากับ 165 J/g [45]

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

วัสดุผสมระหว่างวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช โดยมีปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มี $\Delta H_f = 40$ J/g

จากสูตร Degree of crystallinity $= \frac{\Delta H_f / \text{fraction of PP (0.7)}}{\Delta H^{\circ}_f} * 100$

$$= \frac{40 * 100}{165 * 0.7}$$

$$= 51.69$$

ดังนั้น วัสดุผสมระหว่างวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มี ΔH_f = 40 J/g มีปริมาณความเป็นผลึกเท่ากับ 51.69 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย

ตารางที่ ค.1 ความแข็งแรงดึง

ชิ้นทดสอบ	Tensile strength (MPa)
Pure PP	27.5 ± 0.2
PP + SD 12-34 เมช ที่ 15 %	16.4 ± 0.2
PP + SD 12-34 เมช ที่ 30 %	14.7 ± 0.2
PP + SD 12-34 เมช ที่ 45 %	14.1± 0.5
PP + SD 35-99 เมช ที่ 15 %	16.6± 0.4
PP + SD 35-99 เมช ที่ 30 %	14.9 ± 0.6
PP + SD 35-99 เมช ที่ 45 %	14.3 ± 0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 15 %	17.4 ± 0.4
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 %	15.7±0.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 45 %	14.2± 0.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 2%	16.4±0.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 3%	16.5±0.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5%	16.9±0.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 30 นาที	17.0±0.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที	17.0±0.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 120 นาที	16.2±0.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 30 นาที	16.6±0.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 60 นาที	15.7±0.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 120 นาที	15.6±0.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 30 นาที	15.8±0.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 60 นาที	15.6±0.4
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 120 นาที	15.2±0.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที + MAPP 5%	17.1±0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก

ชิ้นทดสอบ	Elongation at yield (%)
Pure PP	7.4±0.3
PP + SD 12-34 เมช ที่ 15 %	4.2±0.1
PP + SD 12-34 เมช ที่ 30 %	4.1±0.1
PP + SD 12-34 เมช ที่ 45 %	3.8±0.2
PP + SD 35-99 เมช ที่ 15 %	4.2±0.2
PP + SD 35-99 เมช ที่ 30 %	4.3±0.1
PP + SD 35-99 เมช ที่ 45 %	3.9±0.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 15 %	4.5±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 %	4.4±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 45 %	4.3±0.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 2%	4.5±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 3%	4.4±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5%	4.6±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 30 นาที	4.7±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที	4.7±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 120 นาที	4.8±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 30 นาที	4.8±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 60 นาที	4.7±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 120 นาที	4.6±0.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 30 นาที	4.8±0.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 60 นาที	4.5±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 120 นาที	4.2±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที + MAPP 5%	4.9±0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3มอดุลัสแรงดึง

ชิ้นทดสอบ	Tensile modulus (MPa)
Pure PP	160.5±8.8
PP + SD 12-34 เมช ที่ 15 %	274.4±8.1
PP + SD 12-34 เมช ที่ 30 %	330.0±9.3
PP + SD 12-34 เมช ที่ 45 %	440.4±6.3
PP + SD 35-99 เมช ที่ 15 %	330.0±9.2
PP + SD 35-99 เมช ที่ 30 %	342.6±7.4
PP + SD 35-99 เมช ที่ 45 %	356.7±8.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 15 %	359.2±6.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 %	379.0±8.4
PP + SD ≥100 เมช ที่ 45 %	421.6±6.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 2%	377.3±7.7
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 3%	380.6±4.9
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5%	395.0±4.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 30 นาที	395.7±12.4
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที	408.2±12.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 120 นาที	383.1±9.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 30 นาที	382.6±4.7
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 60 นาที	385.5±3.9
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 120 นาที	379.1±10.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 30 นาที	392.9±5.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 60 นาที	381.5±8.9
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 120 นาที	376.4±7.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที + MAPP 5%	410.1±11.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ความแข็งแรงโค้งงอ

ชิ้นทดสอบ	Flexural strength (MPa)
Pure PP	40.9±0.5
PP + SD 12-34 เมช ที่ 15 %	35.9±0.5
PP + SD 12-34 เมช ที่ 30 %	33.1±0.9
PP + SD 12-34 เมช ที่ 45 %	27.1±0.4
PP + SD 35-99 เมช ที่ 15 %	37.9±0.5
PP + SD 35-99 เมช ที่ 30 %	35.5±1.0
PP + SD 35-99 เมช ที่ 45 %	33.5±0.7
PP + SD ≥100 เมช ที่ 15 %	39.5±1.0
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 %	36.8±0.4
PP + SD ≥100 เมช ที่ 45 %	34.7±1.0
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 2%	36.7±0.8
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 3%	37.5±0.7
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5%	38.2±0.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 30 นาที	36.7±0.4
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที	38.3±0.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 120 นาที	35.1±1.0
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 30 นาที	39.9±1.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 60 นาที	36.0±1.0
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 120 นาที	36.8±0.9
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 30 นาที	36.2±0.8
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 60 นาที	34.4±0.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 120 นาที	28.9±1.0
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที + MAPP 5%	39.7±0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 มอดุลัสโค้งงอ

ชิ้นทดสอบ	Flexural modulus (MPa)
Pure PP	1040.8±17.8
PP + SD 12-34 เมช ที่ 15 %	1133.2±17.9
PP + SD 12-34 เมช ที่ 30 %	1178.8±36.4
PP + SD 12-34 เมช ที่ 45 %	1184.0±24.7
PP + SD 35-99 เมช ที่ 15 %	1175.6±29.1
PP + SD 35-99 เมช ที่ 30 %	1195.6±39.4
PP + SD 35-99 เมช ที่ 45 %	1206.8±25.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 15 %	1199.25±10.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 %	1205.4±18.4
PP + SD ≥100 เมช ที่ 45 %	1217±24.6
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 2%	1190.4±35.6
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 3%	1207.0±43.8
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5%	1303.5±18.8
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 30 นาที	1201.4±39.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที	1299.2±37.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 120 นาที	1029.9±35.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 30 นาที	1127.2±38.6
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 60 นาที	1045.6±29.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 120 นาที	872.4±23.6
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 30 นาที	1116.7±23.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 60 นาที	1030.9±33.9
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 120 นาที	868.26±28.4
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที + MAPP 5%	1398.6±16.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ความแข็งแรงกระแทก

ชิ้นทดสอบ	Impact strength (kJ/m^2)
Pure PP	2.25±0.1
PP + SD 12-34 เมช ที่ 15 %	2.26±0.2
PP + SD 12-34 เมช ที่ 30 %	2.57±0.1
PP + SD 12-34 เมช ที่ 45 %	2.52±0.1
PP + SD 35-99 เมช ที่ 15 %	2.32±0.03
PP + SD 35-99 เมช ที่ 30 %	2.47±0.03
PP + SD 35-99 เมช ที่ 45 %	2.49±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 15 %	2.26±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 %	2.30±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 45 %	2.34±0.05
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 2%	2.24±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 3%	2.11±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5%	2.26±0.03
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 30 นาที	2.26±0.03
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที	2.26±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 120 นาที	2.25±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 30 นาที	2.22±0.03
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 60 นาที	2.23±0.04
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 120 นาที	2.25±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 30 นาที	2.22±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 60 นาที	2.20±0.04
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 120 นาที	1.96±0.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที + MAPP 5%	2.37±0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

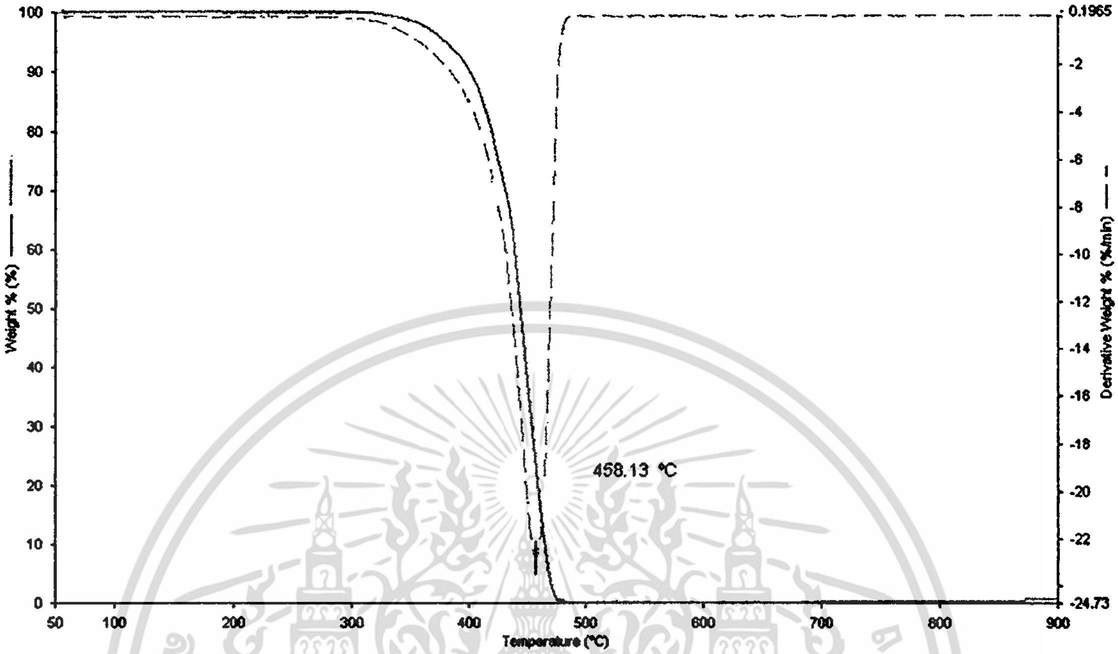
ตารางที่ ค.7 ความแข็งกด

ชิ้นทดสอบ	Hardness (Shore D)
Pure PP	61.1±0.6
PP + SD 12-34 เมช ที่ 15 %	66.2±0.2
PP + SD 12-34 เมช ที่ 30 %	66.7±0.8
PP + SD 12-34 เมช ที่ 45 %	67.9±0.7
PP + SD 35-99 เมช ที่ 15 %	67.0±0.9
PP + SD 35-99 เมช ที่ 30 %	67.3±0.6
PP + SD 35-99 เมช ที่ 45 %	68.6±0.8
PP + SD ≥100 เมช ที่ 15 %	67.3±0.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 %	68.8±0.8
PP + SD ≥100 เมช ที่ 45 %	67.9±0.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 2%	64.0±0.7
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 3%	64.5±0.6
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5%	65.0±0.5
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 30 นาที	67.8±1.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที	67.6±0.8
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 120 นาที	67.2±1.2
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 30 นาที	66.4±0.3
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 60 นาที	66.1±0.6
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 10% 120 นาที	65.5±1.1
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 30 นาที	66.0±0.9
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 60 นาที	64.5±1.0
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 15% 120 นาที	65.0±0.7
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที + MAPP 5%	66.1±0.3

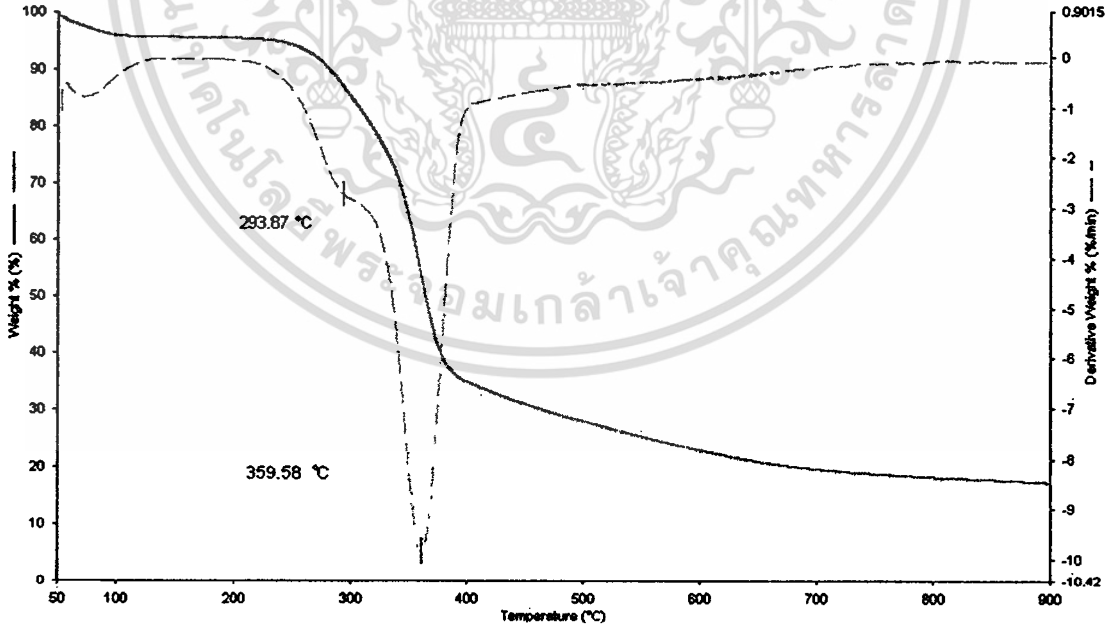
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

TG เทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีน ขี้เลื่อย และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อย

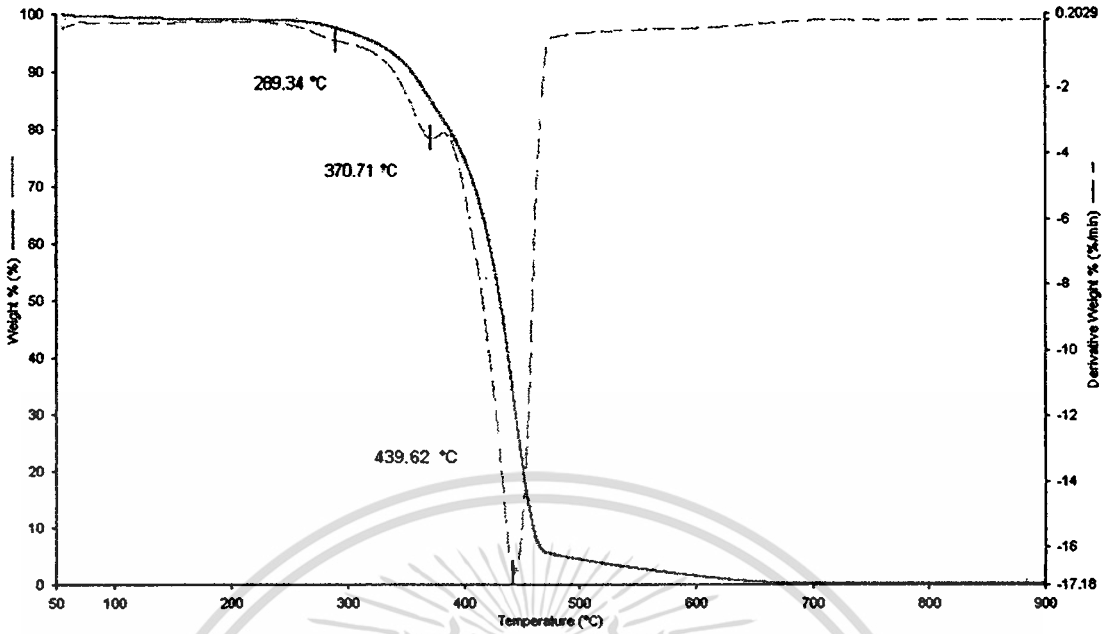


รูปที่ ง.1 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของพอลิพรอพิลีน

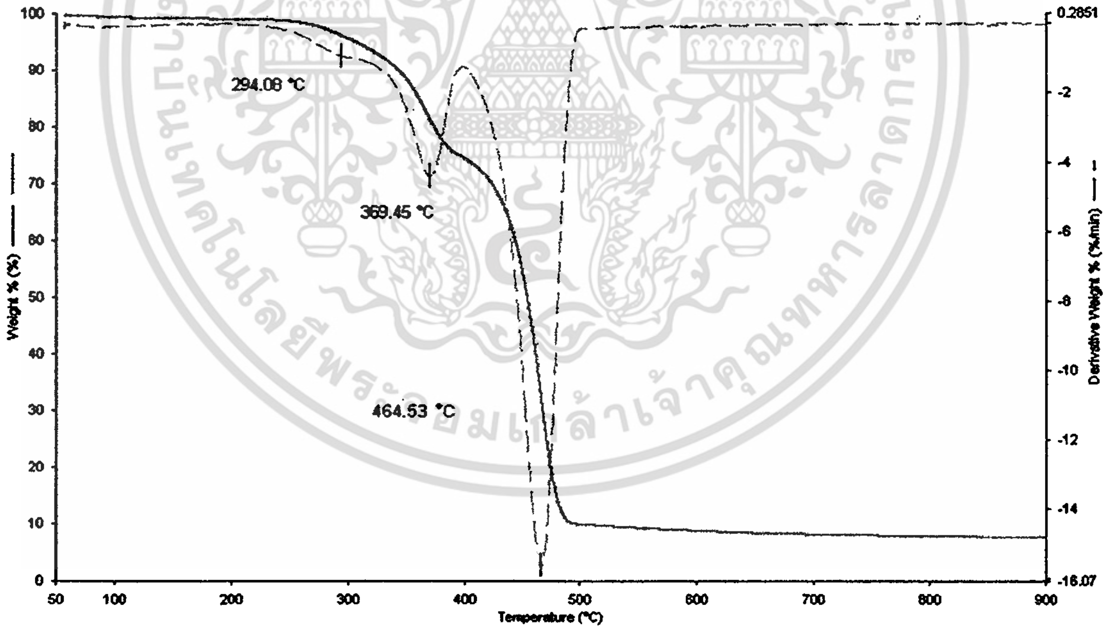


รูปที่ ง.2 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

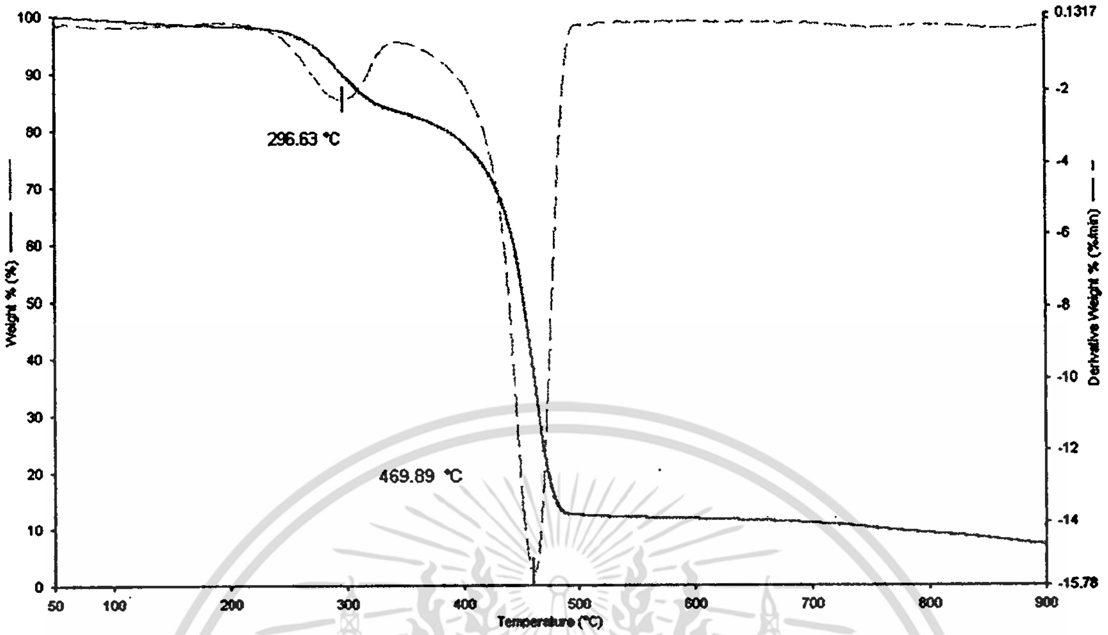


รูปที่ ง.3 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

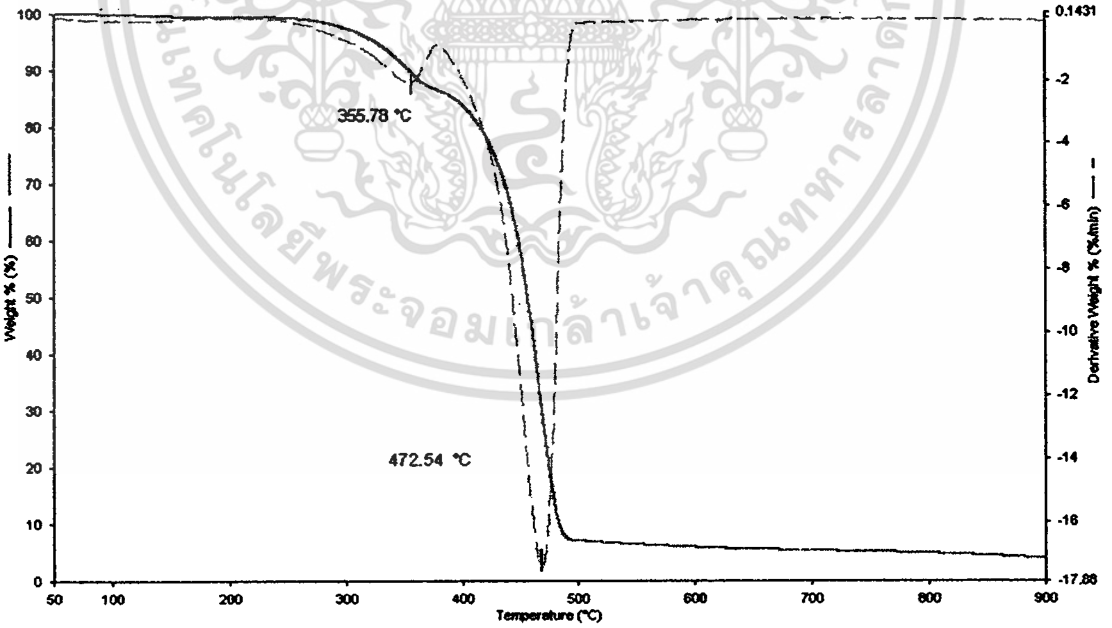


รูปที่ ง.4 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสม MAPP ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.5 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก



รูปที่ ง.6 DTG เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นาน 60 นาที ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และเติมสารช่วยผสม MAPP ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักขี้เลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
ตารางแสดงร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อย

ตารางที่ จ.1 ร้อยละการดูดซับน้ำ

ชิ้นทดสอบ	Water absorption (%)
Pure PP 4 วัน	0.29 ± 0.1
Pure PP 7 วัน	0.43 ± 0.27
Pure PP 15 วัน	0.41 ± 0.15
Pure PP 30 วัน	0.48 ± 0.24
Pure PP 45 วัน	0.43 ± 0.20
Pure PP 605 วัน	0.41 ± 0.23
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % 4 วัน	1.35±0.13
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % 7 วัน	1.70± 0.17
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % 15 วัน	1.98±0.21
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % 30 วัน	2.83±0.19
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % 45 วัน	3.38±0.36
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % 60 วัน	3.55± 0.09
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5% 4 วัน	1.29±0.05
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5% 7 วัน	1.65± 0.04
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5% 15 วัน	1.92±0.03
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5% 30 วัน	2.41±0.06
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5% 45 วัน	2.9±0.07
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + MAPP 5% 60 วัน	3.17± 0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นทดสอบ	Water absorption (%)
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที 4 วัน	1.73±0.21
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที 7 วัน	2.10±0.21
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที 15 วัน	2.42±0.31
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที 30 วัน	3.44±0.22
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที 45 วัน	3.71±0.22
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที 60 วัน	4.03±0.31
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที+ MAPP 5% 3 วัน	1.14±0.02
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที+ MAPP 5% 7 วัน	1.45±0.11
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที+ MAPP 5% 15 วัน	1.74±0.11
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที+ MAPP 5% 30 วัน	2.54±0.42
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที+ MAPP 5% 45 วัน	3.45±0.16
PP + SD ≥100 เมช ที่ 30 % + NaOH 5% 60 นาที+ MAPP 5% 60 วัน	3.58±0.29

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นริศรา บุตรพริ้ง
วันเกิด	30 สิงหาคม พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด	นครสวรรค์ ประเทศไทย
การศึกษา	-ระดับมัธยมต้นจากวิทยาลัยนาฏศิลปอ่างทอง พ.ศ. 2534-2538
	-ระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสตรีนครสวรรค์ พ.ศ. 2538-2541
	-ระดับปริญญาตรี (วท.บ. เคมี) จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต พ.ศ. 2541-2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้