

วัสดุทดแทนไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจาก
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
และเยื่อความร้อนเชิงกลจากไม้ยางพารา

WOOD POLYMER COMPOSITE (WPC)
FROM MEDIUM DENSITY POLYETHYLENE AND
THERMO-MECHANICAL PULP FROM RUBBER WOOD

ยุทธพงษ์ แซ่ตัง
YUTTHAPONG SAE-TANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2667-9

วัสดุทดแทนไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจาก
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
และเยื่อความร้อนแข็งกลจากไม้ยางพารา

WOOD POLYMER COMPOSITE (WPC)
FROM MEDIUM DENSITY POLYETHYLENE AND
THERMO-MECHANICAL PULP FROM RUBBER WOOD

ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง

YUTTHAPONG SAE-TANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2667-9

**WOOD POLYMER COMPOSITE (WPC)
FROM MEDIUM DENSITY POLYETHYLENE AND
THERMO-MECHANICAL PULP FROM RUBBER WOOD**

YUTTHAPONG SAE-TANG

**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**

2006

ISBN 974-15-2667-9

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

วัสดุทดแทนไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นปานกลางและเชื้อความร้อนเชิงกล
จากไม้ยางพารา

นักศึกษา

นายยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง

รหัสประจำตัว

46064308

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีพอลิเมอร์

พ.ศ.

2549

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจักษ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

นายวรรณธรรม อุ่นจิตติชัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติ เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ หรือไม้เทียม สามารถเตรียมได้จาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) และเส้นใยไม้ยางพารา (Rubber wood fiber) ที่เตรียมจากกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (TMP) โดยผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และ สันฐานวิทยา ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกรดของ MDPE (EL-Lene[®] M3204 และ EL-Lene[®] M3804) ปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP (0-70 phr) ปริมาณสารช่วยผสม (0-5 % ของเส้นใย) ชนิดของสารช่วยผสม (Polyethylene graft maleic anhydride (MAPE) และ Silquest[®] A-174 silane) เกรดของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) (ขนาดอนุภาค 1 และ 4 ไมครอน) ปริมาณของ CaCO₃ (0-60 phr) และเปรียบเทียบสมบัติของไม้เทียมในงานวิจัยนี้กับไม้เทียมทางการค้าและไม้ธรรมชาติ

จากการศึกษาเกรดของ MDPE โดยเติมเส้นใยไม้ยางพารา 40 phr พบว่า MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804 ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าเกรด EL-Lene[®] M3204 เช่น ความแข็งแรงดึง มอดูลัส ความแข็งแรง โค้งงอ และ มอดูลัส โค้งงอ เมื่อทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา พบว่าสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตดีขึ้น แต่เมื่อปริมาณเส้นใยมากเกินไปการขึ้นรูปจะทำได้ยากขึ้น และเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น ปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราที่เหมาะสมที่สุดคือ 40 phr จากการศึกษาปริมาณของสารช่วยผสมพบว่า สมบัติเชิงกลดีขึ้นและเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลง ปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมคือ 3% สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ใส่ CaCO₃ ขนาดอนุภาค 4 μm มีแนวโน้มที่ดีกว่าวัสดุคอมโพสิตที่ใส่ CaCO₃ ขนาดอนุภาค 1 μm และปริมาณ CaCO₃ ที่เหมาะสมคือ 60 phr จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และ องศาความเป็นผลึกใกล้เคียงกัน จากการศึกษาสันฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ

ส่องกวาด (SEM) พบว่า เส้นใยไม้ยางพาราและ CaCO_3 มีการกระจายตัวที่ดี การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์ดีขึ้นเมื่อใช้สารช่วยผสม และจากการทดสอบสมบัติเชิงกลของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นรูปจริงในงานวิจัยนี้ พบว่าสมบัติเชิงกลที่ได้มีค่าน้อยกว่าไม้จริง แต่มีค่าใกล้เคียงกับไม้เทียมเชิงพาณิชย์ที่มีจำหน่ายในประเทศ

Thesis Title	Wood Polymer Composite (WPC) from Medium Density Polyethylene and Thermo-Mechanical Pulp from Rubber Wood
Student	Mr. Yutthapong Sae-Tang
Student ID.	46064308
Degree	Master of Science
Programme	Polymer Technology
Year	2006
Thesis advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud
Thesis Co-advisor	Mr. Woratham Oonjittichai

ABSTRACT

In this research work, natural fiber-polymer composites used as an artificial wood were prepared from medium density polyethylene (MDPE) and thermo-mechanical pulp from rubber wood. The composites formula were mixed and compounded by a single screw extruder and then shaped by an injection molding machine. The samples were characterized for physical, mechanical, thermal and morphological properties. Parameters effecting to composite properties were studied, such as grades of MDPE (EL-Lene[®] M3204 and EL-Lene[®] M3804), amount of fiber loading (0-70 phr), type of compatibilizers (polyethylene graft maleic anhydride (MAPE) and Silquest[®] A-174 silane), amount of compatibilizers (0-5% fiber loading), size of calcium carbonate (CaCO₃) (1 and 4 μm) and amount of CaCO₃ loading (0-60 phr). Comparative studies between properties of the MDPE/rubber wood fiber composites and those of commercial artificial woods and natural woods were carried out.

By studying the effects of MDPE grades by added 40 phr fiber, it was found that mechanical properties such as tensile strength, modulus, flexural strength, and flexural modulus of EL-Lene[®] M3804 were higher than those of EL-Lene[®] M3204. Mechanical properties of the MDPE/TMP composites were improved by increasing % fiber. The % water absorption of the composites was also increased as the fiber loading was increased. It was found that an optimum fiber loading in this work was 40 phr. By studying the effects of compatibilizers, it was found that the composites with MAPE 3% of fiber loading yielded better mechanical properties. The % of water absorption was also declined when the compatibilizers were incorporated. As the CaCO₃ filler was added, mechanical properties of the composites were not significantly altered. Properties of the composites with 4 μm CaCO₃ seemed to be better than those of the composites

with 1 μm CaCO_3 . The optimum loading of the CaCO_3 was 60 phr. For thermal properties of the composites, it was found that T_m and % crystallinity were nearly same in all samples. Morphology of the fractured composites was studied by SEM. It was revealed that good dispersion of the fibers and CaCO_3 , and good interfacial bonding between the fibers and the MDPE matrix were observed. In comparative studies between properties of composites and those of commercial artificial woods and natural woods, it was found that the composite properties were less than natural wood however; they were comparable with those of commercial artificial woods in Thailand.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้เป็นอย่างดี ด้วยการได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำวิจัยในครั้งนี้จาก รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณวราธรรม อุ่นจิตติชัย นักวิชาการป่าไม้ และเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และเป็นผู้เอื้อเฟื้อเสียใจไม้อย่างพาราที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือในการทดสอบ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ และ รศ.ดร.ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บริษัทไทยพอลิเอทิลีน จำกัด (มหาชน) ในความอนุเคราะห์ให้ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง สำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัทควอลิตี้ มิเนอรัล จำกัด (มหาชน) ในความอนุเคราะห์ให้ แคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัทออฟติมอล เทค จำกัด ในความอนุเคราะห์ให้ สารเคมี Silane coupling agent (Silquest[®] A-174 silane) เพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท เบสท์ โพลีเมอร์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด ในความอนุเคราะห์ที่ช่วยเหลือในการขึ้นรูปแผ่นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต และ สร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต

ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัย เพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ อีกทั้งคอยเป็นกำลังใจที่ดีและสนับสนุนช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

อนึ่งยังมีบุคคลอีกหลายท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 วัสดุคอมโพสิต (Composite).....	5
2.1.1 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต (Classification of Composite).....	6
2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต.....	7
2.2 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers).....	8
2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose).....	8
2.2.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส.....	9
2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses).....	9
2.2.3 ลิกนิน (Lignin).....	10
2.3 ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and Fibers).....	11
2.3.1 ชนิดของไม้.....	11
2.4 ไม้ยางพารา.....	12
2.4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของไม้ยางพารา.....	12
2.4.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล.....	13
2.4.2.1 สมบัติของไม้ยางพารา.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2.2 สมบัติพิเศษของไม้ยางพาราเทียบกับไม้สัก.....	13
2.4.2.3 สมบัติทางกลและความแข็งแรงของไม้ยางพารา.....	13
2.4.3 การใช้ประโยชน์จากไม้ยางพารา.....	15
2.5 แคลเซียมคาร์บอเนต.....	16
2.5.1 การประยุกต์ใช้งาน.....	16
2.6 พอลิเอทิลีน (Polyethylene).....	18
2.6.1 การเตรียมพอลิเอทิลีน.....	18
2.6.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene).....	19
2.7 พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene grafted maleic anhydride).....	19
2.8 ออร์แกโนซิลเลน (Organosilanes).....	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.3 วิธีการทดลอง.....	30
3.3.1 การเตรียมเยื่อไม้.....	30
3.3.2 ขั้นตอนการผสม.....	31
3.3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	31
3.4 การทดสอบ.....	34
3.4.1 สมบัติเชิงกล.....	35
3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด...	35
3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก.....	36
3.4.1.3 ความแข็งกด.....	36
3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 สมบัติทางกายภาพ.....	38
3.4.2.1 การดูดซับน้ำ.....	38
3.4.3 สมบัติทางความร้อน.....	38
3.4.3.1 Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	38
3.4.4 ความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก.....	39
3.4.5 สันฐานวิทยา.....	40
3.4.6 การทดสอบสมบัติไม้พลาสติก.....	40
3.4.6.1 สมบัติการกดอัด (Compressive properties).....	40
3.4.6.2 สมบัติการต้านทานการถอนตะปูและสกรู (Mechanical fasteners).....	40
3.4.6.3 สมบัติการโค้งงอ (Flexural properties).....	41
3.4.6.4 ความหนาแน่น (Density).....	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
4.1 การศึกษาผลของเกรดMDPE.....	43
4.2 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา.....	45
4.3 การศึกษาปริมาณของสารช่วยผสม มาเลอิกแอนคิไฮดรอกกราฟท์พอลิเอทิลีน.....	50
4.4 การศึกษาชนิดของสารช่วยผสม.....	56
4.5 การศึกษาชนิดของสารตัวเติม แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO ₃).....	60
4.6 ศึกษาปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO ₃).....	64
4.7 เพอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ.....	69
4.8 ผลจากเครื่องทดสอบทางความร้อน DSC.....	72
4.9 การศึกษาสันฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM).....	73
4.10 การศึกษาความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวก.....	77
4.11 ศึกษาสมบัติเชิงกลของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากการขึ้นรูป.....	79
4.12 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis).....	82

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	85
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
เอกสารอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก. กราฟที่ได้จากเครื่อง DSC ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	93
ภาคผนวก ข. การคำนวณเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบเป็นผลึก.....	95
ภาคผนวก ค. ภาพของเส้นใยไม้ยางพารา.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ร้อยละ โดยปริมาตร (vol %) ขององค์ประกอบต่างๆ ทางเคมีของไม้ยางพารา.....	12
2.2 สมบัติทางกลและความแข็งแรงของไม้ยางพารา.....	14
3.1 สมบัติบางประการของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3204RWP และ EL-Lene [®] M3804RWP	28
3.2 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ.....	33
3.3 อัตราส่วนผสมของสูตรไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ในการขึ้นรูปจริง.....	33
3.4 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	34
3.5 มาตรฐานในการทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิต.....	39
3.6 อัตราส่วนของสารละลายผสมในแต่ละกระบอกตวง.....	42
4.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3204 RWP และ EL-Lene [®] M3804 RWP.....	42
4.2 ค่าอุณหภูมิหลอมผลึกและองศาความเป็นผลึกของวัสดุคอมโพสิต.....	72
4.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต และ ทรีทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา).....	79
4.4 สมบัติของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ขึ้นรูปในงานวิจัยนี้.....	81
4.5 สมบัติบางประการของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในงานวิจัยนี้กับไม้จริงบางชนิด.....	82
4.6 สมบัติของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในงานวิจัยนี้และวัสดุทดแทนไม้จำพวกไม้พลาสติก ที่มีจำหน่ายในประเทศ.....	82
4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต 1 กิโลกรัม.....	83
4.8 แสดงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไม้ยางพารา.....	1
1.2 ตัวอย่างไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	2
1.3 การใช้งานจริงของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	3
2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.....	8
2.2 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลส.....	9
2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	10
2.4 ตัวอย่าง โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน.....	10
2.5 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้.....	11
2.6 ลักษณะของต้นยางพารา.....	12
2.7 โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	16
2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Falling weight impact strength กับ ปริมาณสารตัวเติม.....	17
2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Notched izod impact strength กับปริมาณสารตัวเติม.....	17
2.10 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรเรท.....	19
2.11 โครงสร้างทั่วไปทางเคมีของ Organofunctional silane.....	20
2.12 กลไกการทำงานของสารเคลือบไฮดรอกซีเมทิลเมทาครีเลตเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ.....	20
3.1 รูปถ่ายลักษณะของเส้นใยไม้ยางพาราจากกระบวนการความร้อนเชิงกล.....	30
3.2 ขั้นตอนการการขึ้นรูปวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	32
3.3 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด.....	35
3.4 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก.....	36
3.5 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ.....	37
3.6 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีการทดสอบแบบบังคับ.....	39
3.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบการถอนตะปูและสกรู.....	41
3.8 ลักษณะการทดสอบสมบัติการ โค้งงอ.....	41
4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพารา ในปริมาณต่างๆ.....	46
4.2 ค่ามอดูลัสของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณ ต่างๆ.....	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ฉณ จุดขาดของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ ยางพาราในปริมาณต่างๆ.....	47
4.4 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ ยางพาราในปริมาณต่างๆ.....	48
4.5 ค่าความแข็งกดของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราใน ปริมาณต่างๆ.....	48
4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ ยางพาราในปริมาณต่างๆ.....	49
4.7 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราใน ปริมาณต่างๆ.....	49
4.8 ส่วนต่างๆ ของสารช่วยผสมที่ช่วยให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่าง พอลิเมอร์และเส้นใย.....	51
4.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชัน ระหว่าง หมู่ไฮดรอกซี (-OH) ของเส้นใยไม้กับ หมู่แอนด์ไฮดรอกซี (C ₄ H ₃ O ₃) ของสารช่วยผสม MAPE.....	51
4.10 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	53
4.11 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	53
4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	54
4.13 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	54
4.14 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	55
4.15 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	55
4.16 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr.....	57
4.18 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr.....	57
4.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr.....	58
4.20 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนัก ของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr.....	58
4.21 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่าง พาราชนิด TMP 40 phr.....	59
4.22 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของ เส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr.....	59
4.23 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr.....	60
4.24 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO ₃ 20 phr.....	61
4.25 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO ₃ 20 phr.....	61
4.26 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนัก ของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO ₃ 20 phr.....	62
4.27 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO ₃ 20 phr.....	62
4.28 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO ₃ 20 phr.....	63
4.29 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO ₃ 20 phr.....	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ค่ามอดูลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO ₃ 20 phr.....	64
4.31 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO ₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	65
4.32 ค่ามอดูลัสของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO ₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	65
4.33 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO ₃ ขนาด 4 ไมครอนที่ปริมาณต่างๆ...	66
4.34 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO ₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	66
4.35 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO ₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	67
4.36 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO ₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	67
4.37 ค่ามอดูลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO ₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	68
4.38 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณต่างๆ.....	69
4.39 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณ 40 phr MAPE ใน ปริมาณต่างๆ.....	70
4.40 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณ 40 phr MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา และ แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ.....	71
4.41 ผลการทดสอบทางความร้อน DSC.....	72
4.42 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE และเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr.....	75
4.43 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และสารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของ เส้นใยไม้อย่างพารา.....	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.44 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr สารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของ เส้นใยไม้ยางพารา และ สารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ปริมาณ 60 phr.....	77
4.45 ลักษณะความเสียหายของแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตกับทริทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา).....	79
4.46 แผ่นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่น.....	80
4.47 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ต่างๆ เช่น แก้ว ด้งจคหมาย ไม้แผ่น.....	81

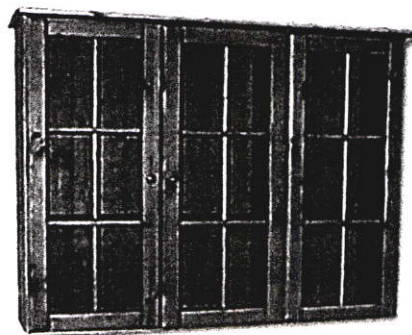
บทที่ 1

บทนำ

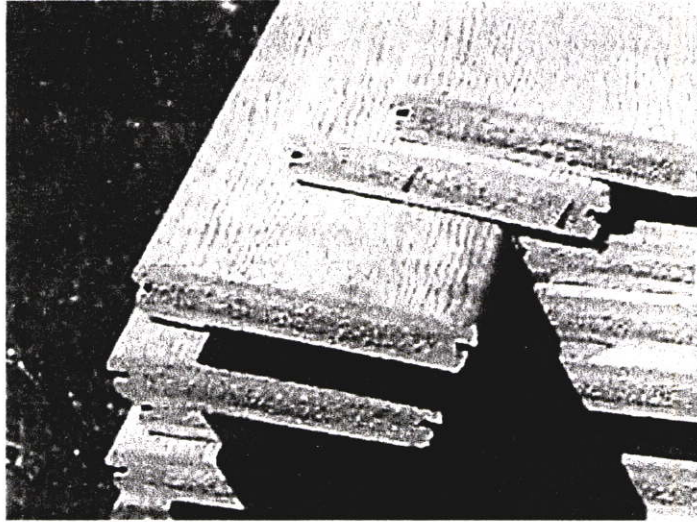
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ไม้เป็นวัสดุที่มนุษย์ได้นำมาใช้ตั้งแต่สมัยโบราณ โดยการแปรรูปให้มีขนาดและลักษณะต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานด้านต่างๆ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ เสา คาน เรือ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปเผาเพื่อทำเป็นถ่าน หรือเพื่อให้พลังงานความร้อนได้อีกด้วย เนื่องจากไม้มีประโยชน์มากมาย จึงทำให้ไม้เป็นวัสดุที่มีการนำไปใช้งานกันมาก ในปัจจุบันแม้ว่าจะมีการปลูกป่า เพื่อเพิ่มปริมาณไม้ให้มากขึ้น แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อใช้ประโยชน์ส่วนตนมากขึ้น ป่าไม้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งที่ช่วยรักษาสมดุลของระบบนิเวศน์ ดังนั้น การตัดไม้ทำลายป่าจึงก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหามลพิษอื่นๆ ตามมา เช่น ภัยแล้ง ปรากฏการณ์เรือนกระจก ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล น้ำท่วม เป็นต้น

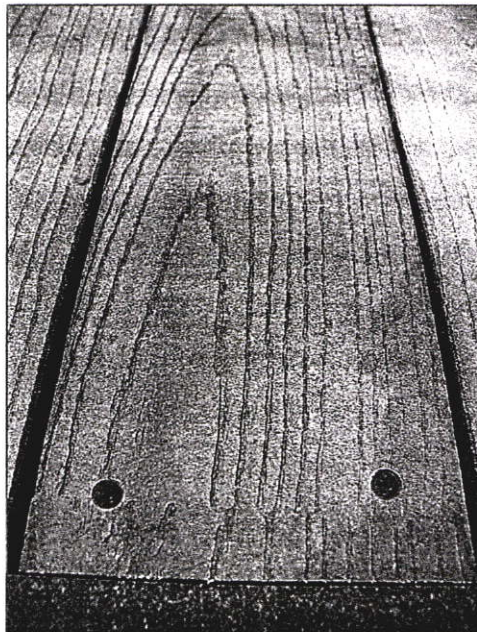
เส้นใยธรรมชาติจากไม้ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นไม้ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีการปลูกต้นยางพารามาก มีการผลิตยางธรรมชาติส่งออกมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก ไม้ยางพาราที่มีอายุ 20-25 ปี จะถูกตัดและนำเข้าสู่อุตสาหกรรมไม้ เพื่อแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือน เครื่องใช้ ดังรูปที่ 1.1 แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของเศษวัสดุไม้ลักษณะต่างๆ ที่เหลือจากการเลื่อยแปรรูปท่อนไม้ยางพารา จะมีปริมาณที่มากถึง 48.57% ของปริมาณไม้ท่อนทั้งหมด [1] ดังนั้นการนำเศษไม้และชี้เหลือที่เหลือจากการแปรรูปมาแปรสภาพใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต จะทำให้สามารถเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุไม้เหล่านี้ได้



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไม้ยางพารา [2]



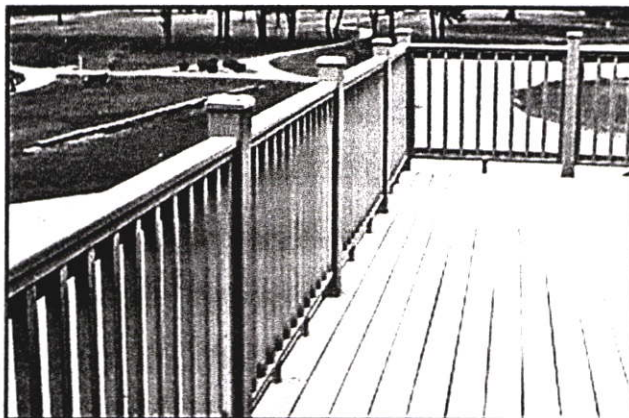
(a)



(b)

รูปที่ 1.2 ตัวอย่างไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต [3-4]

จากรูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ที่มีรูปแบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการขึ้นรูปขึ้นงาน รูป (a) เป็นการขึ้นรูปให้ขึ้นงานสามารถประกบเข้ากันได้ ทำให้ง่ายต่อการประกอบเข้ารูปเพื่อใช้งาน รูป (b) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการขันสกรูได้เหมือนการใช้งานในไม้จริง และรูปที่ 1.3 แสดงการใช้งานจริงของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต โดยนำมาประกอบเป็นระเบียงและที่กั้นภายนอกบ้าน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้งานได้ในสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้



รูปที่ 1.3 การใช้งานจริงของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต [5]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต เพื่อใช้เป็นวัสดุแผ่นไม้เทียม โดยพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene ; MDPE) และเส้นใยไม้ยางพารา เนื่องจาก MDPE เป็นพอลิเมอร์ที่มีความเหนียว นิยมนำมาใช้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะงานหล่อแบบหมุน (Rotational molding) เช่น แท็งก์น้ำ ซึ่งต้องการความแข็งแรง ความเหนียวและทนต่อสภาพภูมิอากาศได้ MDPE มีลักษณะเป็นผงทำให้สามารถที่จะกระจายตัวอยู่ระหว่างเส้นใยได้ดี และเมื่อได้รับความร้อนก็สามารถหลอมเหลวได้ง่าย ทำให้ครอบคลุมเส้นใยได้อย่างทั่วถึง ลดโอกาสเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใยให้น้อยลง ดังนั้นจึงคาดว่า การศึกษาสูตรที่ใช้ในการผสม เพื่อผลิตแผ่นไม้เทียมให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานต่างๆ สามารถที่จะทำได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) และเส้นใยไม้ยางพารา
2. ศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้ เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา
3. ศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้ เช่น ความต้านทานการถอนตะปู ความแข็งแรง โค้งงอ และมอดูลัส โค้งงอ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาชนิดของพอลิเมอร์เมตริกซ์ ได้แก่ EL-Lene[®] M3204RWP และ EL-Lene[®] M380RWP โดยใส่เส้นใยไม้ยางพารา 40 phr
2. ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยไม้ที่เติมในไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต (0-60 phr)
3. ศึกษาผลของสารช่วยผสม ได้แก่ MAPE และ Silane และปริมาณของสารช่วยผสมที่เหมาะสม (0 - 5% ของน้ำหนักเส้นใย)
4. ศึกษาผลของขนาด (1 และ 4 ไมครอน) และปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (0-60 phr)
5. ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัมฐานวิทยา และความทนทานต่อปลวก
6. ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต และทดสอบเทียบสมบัติต่างๆ กับไม้จริง และไม้เทียมที่มีจำหน่ายภายในประเทศ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีสมบัติที่ดีเหมาะแก่การประยุกต์ใช้งานได้ เช่น ไม้พื้น ไม้กระดาน เฟอร์นิเจอร์ ไม้กรอบหน้าต่าง ประตู เป็นต้น
2. สามารถเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุไม้เหลือใช้จากอุตสาหกรรมไม้ได้
3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปเป็นพื้นฐานความรู้ทางการวิจัยโดยประยุกต์ใช้กับพอลิเมอร์คอมโพสิตอื่นๆ ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วัสดุคอมโพสิต (Composites)[6]

วัสดุคอมโพสิต หรือ “วัสดุประกอบ” เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างมาก ในปัจจุบันมีปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์วัสดุคอมโพสิตมากกว่า 10 ล้านตันต่อปี และมีอัตราการใช้เพิ่มขึ้นทุกปีประมาณ 5-10% [6] วัสดุคอมโพสิตจัดเป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering materials) ที่สำคัญชนิดหนึ่ง ปัจจุบันมีการใช้งานวัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุโครงสร้างและรับแรงสำหรับงานวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ เรือ เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีหลายประการ ที่สำคัญที่สุดคือ มีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะหรือเซรามิกส์ ดังนั้นคอมโพสิตจึงมีความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength, σ/p) สูง ดังนั้นเมื่อใช้วัสดุคอมโพสิตเป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง เช่น ยานพาหนะ จะทำให้วัสดุมีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบา เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น มีประสิทธิภาพในการขนส่งมากขึ้น และประหยัดพลังงานมากขึ้น นอกจากนี้คอมโพสิตยังมีสมบัติที่อยู่ในช่วงกว้าง เนื่องจากมีคอมโพสิตหลายชนิดหลายรูปแบบ สามารถเลือกใช้ ออกแบบ และสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ ทำให้มีการประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตอย่างกว้างขวางมากมาย หลากหลายการใช้งาน

ในการใช้งานในปัจจุบันมีการเรียกวัดวัสดุคอมโพสิตหลากหลายชื่อ เช่น พลาสติกเสริมแรง (Reinforced plastics, RP) พลาสติกเสริมแรงไฟเบอร์กลาส (Fiberglass reinforced plastics, FRP) แผ่นลามิเนตเสริมแรง (Reinforced plastic laminates) หรือ ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) เป็นต้น

วัสดุคอมโพสิต คือ วัสดุที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วน (หรือมากกว่า) ที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (Distinct components) อยู่ด้วยกันและเสริมแรงกัน องค์ประกอบสองส่วนหลักของคอมโพสิต คือ

1. ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิต วัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรงจะมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ตัวอย่างของส่วนเสริมแรงที่สำคัญได้แก่ เส้นใย (Fibers) ชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar® fibers) เป็นต้น เส้นใยอาจเป็นเส้นใยเดี่ยวยาว (Continuous fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous หรือ Chopped short fibers) นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยพันกันหรือทอ (Weaves) ให้มีโครงสร้างแบบต่างๆ และมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรงแบบต่างๆ โดยส่วน

เสริมแรงทำหน้าที่เป็นส่วนรับแรงหลัก (Principle load-carrying members) ของวัสดุคอมโพสิต

2. เมตริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ให้อยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด โดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียดสภาพเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น มักมีความแข็งแรงและมอดุลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมตริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ (Load transfer medium) ไปสู่ส่วนเสริมแรง เมตริกซ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่
 - พอลิเมอร์ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Polymer Composites” สามารถใช้ได้ทั้งพอลิเมอร์ ประเภท เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และเทอร์โมเซต (Thermosets)
 - โลหะ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Metal Composites”
 - เซรามิกส์ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Ceramic Composites”

2.1.1 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต (Classification of Composites)

มีการแบ่งชนิดวัสดุคอมโพสิตในหลายแบบ อาจแบ่งชนิดคอมโพสิตตามลักษณะส่วนเสริมแรง สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) คือคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยสั้น (Short fibers) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ
2. คอมโพสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar composites) คือคอมโพสิตที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมตริกซ์ มีลักษณะเป็นชั้นๆ คล้ายแซนวิช (Sandwich) หรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (Honeycomb)
3. คอมโพสิตแบบเป็นก้อน (Particulate composites) คือคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (Beads) แผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก (มักมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน)

นอกจากนี้ สามารถแบ่งชนิดของคอมโพสิตได้ตามลักษณะการเกิดของคอมโพสิต คือ

1. คอมโพสิตจากธรรมชาติ (Natural composites) คือวัสดุคอมโพสิต ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ไม้ (Wood) ฟัน (Teeth) และกระดูก (Bone) ไม้เป็นคอมโพสิตของเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนเสริมแรง โดยมีสารจำพวกลิกนิน (Lignin) เป็นเมตริกซ์ยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน ส่วนกระดูกและฟันเป็นคอมโพสิตของผลึกแข็ง

อนินทรีย์ เช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) อยู่ในเมตริกซ์ของสารอินทรีย์ คอลลาเจน (Collagen) ที่เหนียว เป็นต้น

2. คอมโพสิตจากการสังเคราะห์ (Synthetic composites) คือวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พลาสติกเสริมแรง วัสดุไฟเบอร์กลาส เป็นต้น

2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต

ข้อดีของคอมโพสิต

- มีสมบัติต่อน้ำหนักหรือความหนาแน่น (Properties to weight/density ratio) สูง เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) โมดูลัสจำเพาะ (Specific modulus) ความแข็งเปราะจำเพาะ (Specific stiffness) เป็นต้น เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา
- ช่วยลดน้ำหนักของวัสดุ
- มีสมบัติหลากหลาย สามารถสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น จัดให้เส้นใย (ส่วนเสริมแรง) เรียงตัวตามแนวรับแรง
- มีอายุการใช้งานยาวนาน มีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อนดี
- มีสมบัติการรับแรงและมีการหน่วง (Damping) ที่ดี
- ความทนทานต่อการล้า (Fatigue resistance) ดี
- มีเสถียรภาพของรูปร่าง (Dimensional stability) สูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Coefficients of thermal expansion, CTE) ต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่น โลหะ

ข้อเสียของคอมโพสิต

- ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือการขึ้นรูปคอมโพสิต
- มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน หรือมีสมบัติแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรง เป็นสาเหตุให้คอมโพสิตไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัว (Transverse direction)
- การต่อ (Attaching) หรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่น ทำได้ยาก
- การตรวจวิเคราะห์สมบัติคอมโพสิต ทำได้ยาก
- การทำลายและนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle) ทำได้ยาก

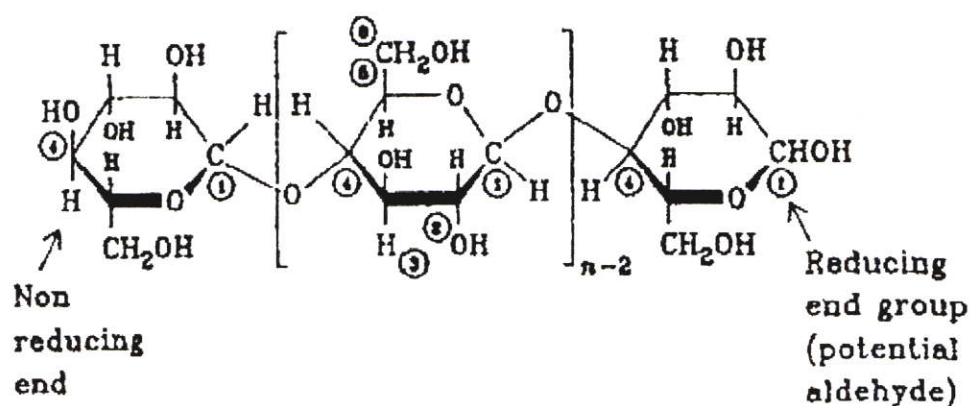
2.2 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) [7]

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ เส้นใยธรรมชาติจึงสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติมชนิดเสริมแรงและไม่เสริมแรง ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้

โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose) [8-10]

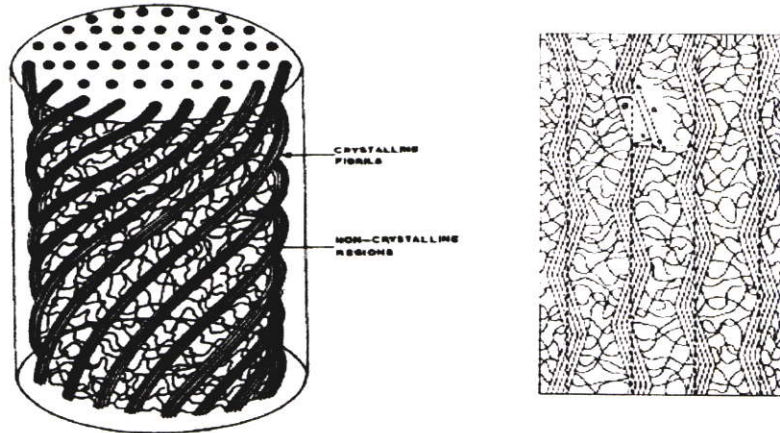
เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบรวมกับลิกนิน เพนโตแซน กัม แทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสจะมีหน่วยโมเลกุลยาวและแข็ง โดยเซลลูโลสมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [8]

ในแต่ละหน่วยซ้ำ (Repeating unit) เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล ถึง 3 หมู่ จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมากและโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวสูงจึงเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และเซลลูโลสมีความสามารถในการละลายต่ำแต่สามารถละลายได้ในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก เป็นต้น เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหา

น้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด การจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานในโครงสร้างของเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลส [8]

2.2.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

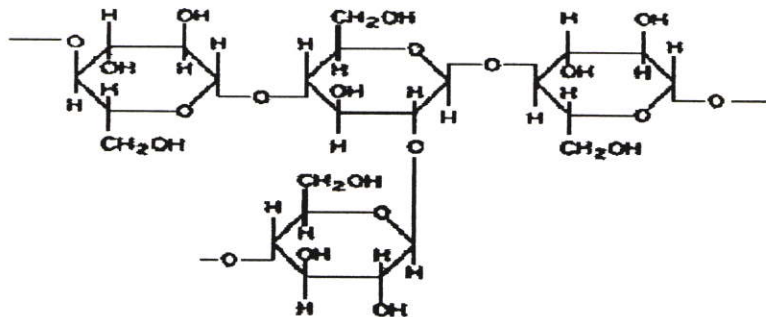
ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของเส้นใยเคียวมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งจะแปรไปตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี เซลลูโลสเป็นของแข็ง ไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่าง เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดเข้มข้น เช่น 72% ของกรดซัลฟูริก 40% ของกรดไฮโดรคลอริก และ 78% ของกรดฟอสฟอริก เซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง ปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำๆ สารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น 72% ของซิงค์ออกไซด์ จะทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ละลายได้

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses)

โครงสร้างเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์คล้ายกับเซลลูโลส แต่อย่างไรก็ตาม เฮมิเซลลูโลสยังมีข้อแตกต่างจากเซลลูโลส 3 ประการด้วยกัน คือ ประการที่หนึ่ง เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนสไซโลส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิกและกาแลกทูโรนิก ในขณะที่เซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสชนิดเดียวเป็นส่วนใหญ่ ประการที่สอง สายโซ่พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสายโซ่กิ่ง ในขณะที่สายโซ่พอลิเมอร์ของเซลลูโลสจะมีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง และประการที่สาม ระดับการ

เกิดพอลิแซคคาไรด์จากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Degree of polymerization) ของเซลลูโลสจะสูงกว่า เฮมิเซลลูโลส

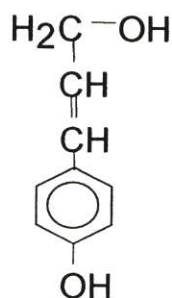
เฮมิเซลลูโลสมีสูตรทางเคมี คือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ โดย n คือ จำนวนหน่วยซ้ำของเฮมิเซลลูโลส โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [8]

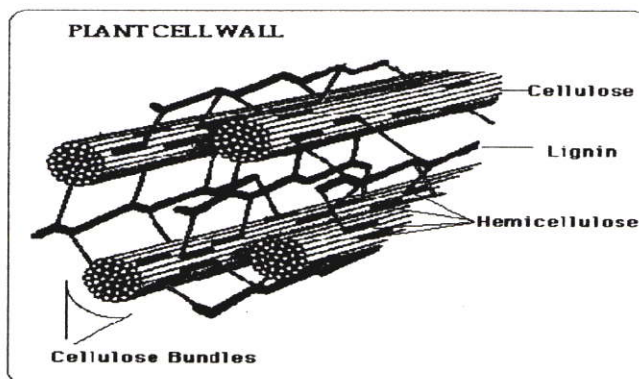
2.2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โครงสร้างของลิกนินประกอบด้วยสารอะลิฟาติกและอะโรมาติกอยู่รวมกัน สารอะโรมาติกในโครงสร้างของลิกนินจะทำให้ลิกนินมีเสถียรภาพสูง ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ลิกนินยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้พืชที่มีปริมาณลิกนินอยู่มากมีความแข็งแรง ทนทานต่อดินฟ้าอากาศสูงมากด้วย เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninnase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน [8]

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม้เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินมากเช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้จะเป็นไปตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ [8]

2.3 ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and Fibers) [11]

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับทำอาหาร ให้ความร้อน และผลิตไอน้ำ ซึ่งอาจใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ด้วย นอกจากนี้ยังนำไม้มาใช้เป็นเฟอร์นิเจอร์ เครื่องตกแต่งได้อีกมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก่อให้เกิดเศษไม้ (Wood flake) หรือ ขี้เลื่อย (Sawdust) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยไม้ (Wood fibers)

2.3.1 ชนิดของไม้

โดยทั่วไปไม้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) และไม้เนื้ออ่อน (Softwood) แต่สำหรับงานก่อสร้างแล้ว ไม้จะแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ซึ่งกำหนดตามมาตรฐานกรมป่าไม้ คือ

1. ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) มีค่าแรงคดสถิตย์ (Static bending) ต่ำกว่า 600 กก./ชม² และมีค่าความทนทานตามธรรมชาติต่ำกว่า 2 ปี
2. ไม้เนื้อแข็งปานกลาง (Medium hardwood) มีค่าแรงคดสถิตย์ (Static bending) ระหว่าง 600-1000 กก./ชม² และมีค่าความทนทานตามธรรมชาติ 2-6 ปี
3. ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) มีค่าแรงคดสถิตย์ (Static bending) สูงกว่า 1000 กก./ชม² และมีค่าความทนทานตามธรรมชาติสูงกว่า 6 ปี

2.4 ไม้ยางพารา [12-13]

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีอายุยืนยาวนานับร้อยๆปี เป็นพืชที่มีใบเลี้ยงคู่ อยู่ในตระกูล Euphorfiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ มีผู้นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยเพื่อเอาน้ำยาง ปลูกมากทางภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื้อไม้มีสีขาวอมเหลือง เนื้อไม้ละเอียดปานกลาง แข็งเหนียว และบิดตัวง่าย ลักษณะของต้นยางพาราแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะของต้นยางพารา [14]

ไม้ยางพาราเป็นพืชเพียงชนิดเดียวในตระกูลที่เป็นพืชเศรษฐกิจ ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญจากไม้ยางพาราคือน้ำยาง ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ไม้ยางพาราเพื่อเพิ่มผลผลิตของน้ำยางให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น

2.4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของไม้ยางพารา [15]

ไม้ยางพารามีองค์ประกอบทางเคมีในอัตราส่วนที่แตกต่างกันดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ร้อยละโดยปริมาตร (vol %) ขององค์ประกอบต่างๆ ทางเคมีของไม้ยางพารา [15]

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยปริมาตร (vol %)
Cellulose	49.41
Hemicellulose	17.17
Lignin	18.06

2.4.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

2.4.2.1 สมบัติของไม้ยางพารา [16]

ไม้ยางพารามีเนื้อไม้สีขาวอมเหลืองเมื่อสด และเปลี่ยนเป็นสีขาวจางเมื่อแห้ง ลักษณะเนื้อไม้จะหยาบปานกลาง เส้นตรง วงรอบปีไม่เห็นชัด ไม่มีแก่น เนื้อไม้มีลักษณะคล้ายกับตาข่าย และมีความหนาแน่นพื้นฐาน (Basic density) 0.56-0.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสำหรับที่ความชื้น 15% จะมีความหนาแน่นประมาณ 0.67-0.74 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีลวดลายสวยงาม ลวดลายอันสวยงามนี้เกิดจากอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันในระหว่างฤดูกาลต่าง ๆ หน้าไม้แปรรูปที่เลื่อยตัดกับเส้นรัศมีจะมีลวดลายที่ปรากฏชัดกว่าหน้าไม้ที่เลื่อยขนานกับเส้นรัศมี

2.4.2.2 สมบัติพิเศษของไม้ยางพาราเทียบกับไม้สัก [17]

ไม้ยางพารามีความแข็งแรงและน้ำหนักจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับไม้สัก คือ มีน้ำหนักปานกลาง โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 0.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ไม้ยางพาราจะมีความแข็งแรงในการรับแรงคด และแรงกดขนานเส้นต่ำกว่าไม้สักเล็กน้อย โดยมีการรับแรงคดในแนวรัศมีและสัมผัสและการรับแรงกระแทกดีกว่าไม้สัก อันเป็นสมบัติสำคัญที่เหมาะสมในการทำเครื่องเรือนเช่นเดียวกับไม้สัก นอกจากนั้น ไม้ยางพารายังมีอัตราการพองตัวต่อความชื้นสัมพัทธ์ อันมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งเป็นลักษณะของความชื้นสมดุลที่ดีกว่าไม้สักและไม้อื่นๆ และเป็นสมบัติสำคัญต่อการผลิตเครื่องเรือน อันมีผลต่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ การเข้าไม้และการประสานกาวที่ดีกว่าไม้ ประเภทอื่นแม้ว่าไม้ยางพาราจะต้องใช้เวลาในการอบให้แห้งนานกว่าก็ตาม

2.4.2.3 สมบัติทางกลและความแข็งแรงของไม้ยางพารา [18]

ไม้ยางพาราจัดอยู่ในประเภทไม้เนื้ออ่อน สมบัติทางกลและความแข็งแรง เช่น ค่าความชื้น ความแข็งแรงในการรับแรงคด การรับแรงกดขนานเส้น การรับแรงกดตั้งฉากเส้น การรับแรงคดตั้งฉากเส้น และอื่นๆ โดยแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลและความแข็งแรงของไม้ยางพารา [18]

สมบัติ	ค่าที่ได้
ความหนาแน่นที่ความชื้น 12%	0.60 – 0.70 g/cm ³
การรับแรงดัด <ul style="list-style-type: none"> * ความเค้นในขีดยืดหยุ่น * มอดุลัสแตกกร้าว * มอดุลัสยืดหยุ่น * พลังงานถึงจุดแตกหัก 	600 kg/cm ² 973 kg/cm ² 96,000 kg/cm ² 2.4 Kg-cm/cm ³
การรับแรงขานนเสี้ยน <ul style="list-style-type: none"> * ความเค้นในขีดยืดหยุ่น * ความเค้นประลัย 	328 kg/cm ² 478 kg/cm ²
การรับแรงกดตั้งฉากเสี้ยน <ul style="list-style-type: none"> * ความเค้นในขีดยืดหยุ่น 	93 kg/cm ²
การรับแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน <ul style="list-style-type: none"> * ด้านรัศมี * ด้านสัมผัส 	28 kg/cm ² 29 kg/cm ²
การรับแรงเฉือน <ul style="list-style-type: none"> * ด้านรัศมี * ด้านสัมผัส 	155 kg/cm ² 169 kg/cm ²
ความแข็งแรงผิวหน้า <ul style="list-style-type: none"> * ด้านรัศมี * ด้านสัมผัส 	544 kg 532 kg
การรับแรงกระแทก <ul style="list-style-type: none"> * น้ำหนักสูงสุดที่ใช้ * พลังงานที่ใช้ 	149 kg 2.9 kg-m

ที่มา : รายงานการสำรวจสภาพพื้นที่ปลูกยาง กิจกรรมกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา ที่องที่จังหวัดระยอง สงขลา ภาคเหนือ และการตลาดไม้ยางพาราของประเทศไทย.

กรุงเทพฯ : สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2543

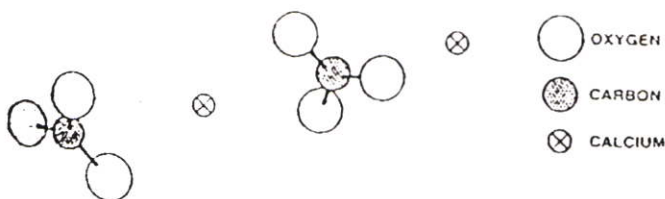
2.4.3 การใช้ประโยชน์จากไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสมของขนาดไม้ ดังนี้ทำพื้น ในอดีตไม้ยางพารานำไปใช้ประโยชน์ในการทำพื้น สำหรับหุงต้ม และพื้นสำหรับใช้ในโรงงานต่างๆ เช่น โรงรมยาง โรงงานปลาป่น โรงเผาอิฐ โรงเผากระเบื้องและปูนขาว

1. เผ่าถ่าน เมื่อประมาณปี 2513 มาเลเซียขยายอุตสาหกรรมถลุงเหล็กในประเทศ ทำให้ถ่านไม้ยางพาราในประเทศไม่เพียงพอ ต้องสั่งซื้อถ่านจากประเทศเพื่อนบ้าน เป็นเหตุให้อุตสาหกรรมการทำถ่านไม้ยางพาราเกิดขึ้นในประเทศไทยเป็นครั้งแรกและขยายตัวเรื่อยมา ต่อมาได้มีการนำไม้ยางพาราไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นที่มีมูลค่าสูงกว่าเกิดขึ้น อุตสาหกรรมถ่านจึงซบเซาลง
2. ทำเสาเข็ม มีการใช้ไม้ยางพาราทำเสาเข็มในอุตสาหกรรมก่อสร้างอยู่บ้างโดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง แต่ก็ไม่แพร่หลายเท่าใดนัก เนื่องจากข้อจำกัดในความทนทานตามธรรมชาติ
3. ทำลังไม้เป็นที่ยอมรับกันในธุรกิจแพปลาว่าลังไม้ยางพาราเป็นภาชนะบรรจุที่มีราคาถูกที่สุดในปัจจุบัน สำหรับไม้ที่นำมาใช้ทำลังปลาเป็นไม้ที่มีตาเป็นตำหนิ ไม่สามารถนำไปผลิตเครื่องเรือนที่มีมูลค่าสูงกว่าได้
4. ทำเครื่องเรือนหรือเฟอร์นิเจอร์ เป็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ที่มีมูลค่าสูงสุดในปัจจุบัน ไม้ที่จะนำมาผลิตเครื่องเรือนได้จะต้องมีขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 6 นิ้วขึ้นไป และจะต้องไม่มีตำหนิประเภทเครื่องเรือนที่ผลิตมีหลายชนิด เช่น ชุค โต๊ะอาหาร ชุครับแขก เตียงนอน ชั้นวางหนังสือชั้นวางเครื่องเสียง บาร์เหล้า ที่ใส่กระดาษต้นไม้ประดับในสำนักงาน
5. ไม้โอ๊ควีเนียร์ (Veneer) ผลิตจากไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้วขึ้นไป
6. ไม้แผ่นปาร์ติเกิ้ล (Particle Board) และไม้แผ่นเอ็มดีเอฟ หรือ แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard) สามารถผลิตจากขี้เลื่อยและปึกไม้
7. ทำสิ่งประดิษฐ์อื่นๆ ไม้ยางพาราสามารถนำไปใช้ทำสิ่งประดิษฐ์หลายอย่าง เช่น ไม้จิ้มฟัน ไม้เสียบไอศกรีม เกี้ยว ส้นรองเท้า กรอบรูป ด้ามแปรงต่างๆ เขียง ของเด็กเล่น ปัจจุบันได้มีการนำไม้ยางพาราไปใช้ในการแกะสลักของที่ระลึก

2.5 แคลเซียมคาร์บอเนต [19]

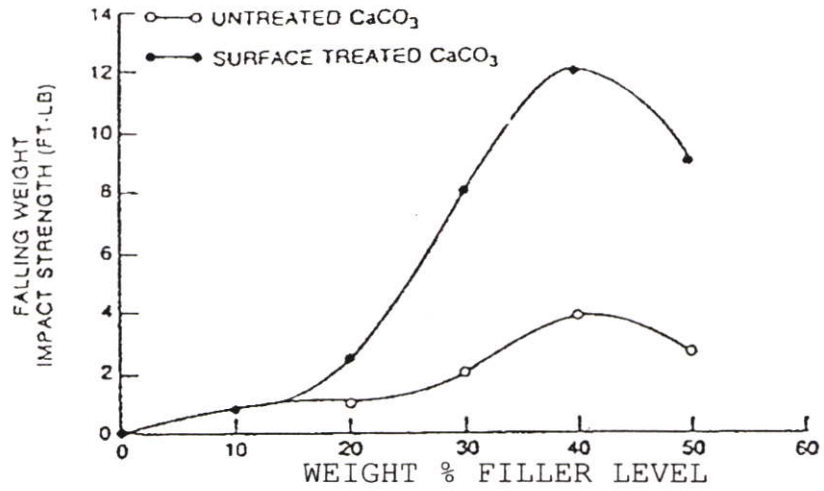
แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแร่ธาตุที่มีอย่างอุดมสมบูรณ์บนเปลือกโลก ในอุตสาหกรรมมีการนำแคลเซียมคาร์บอเนตมาใช้ประมาณ 20% ของทั้งหมด แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารทั่วไปที่ใช้เติมลงในพลาสติก ซึ่งมีหลายชื่อโดยแบ่งตามแหล่งกำเนิด เช่น Marble, Limestone, Coral, Shell หรือ Chalk เป็นต้น สามารถแบ่งตามโครงสร้างผลึกได้เช่น Calcite, Aragonite และถ้ามีแมกนีเซียมคาร์บอเนตอยู่ในโครงสร้างจะเรียก Dolomite (CaCO_3 / MgCO_3) แคลเซียมคาร์บอเนตถูกใช้เป็นสารตัวเติมอย่างกว้างขวางเนื่องจากความขาว มีหลายขนาดอนุภาค ราคาถูก แคลเซียมคาร์บอเนตมีโครงสร้าง 2 แบบ คือ Alternating calcium cations และ Trigonal planner carbonate anions ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต [19]

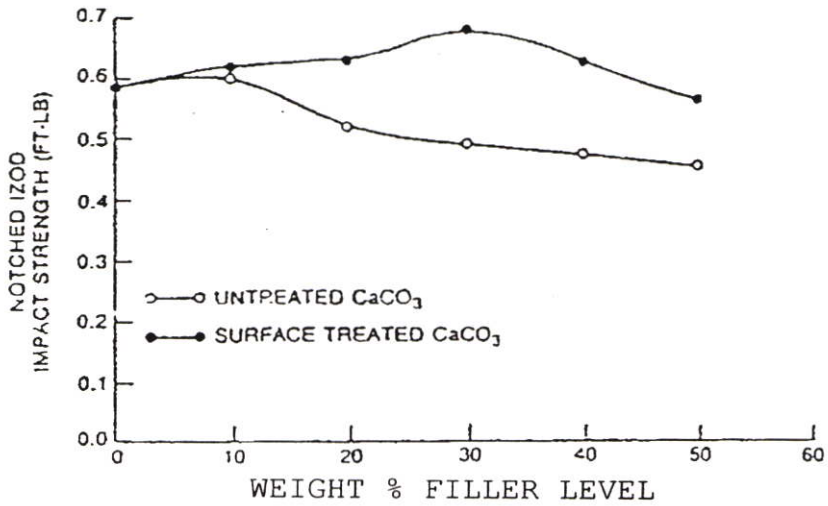
2.5.1 การประยุกต์ใช้งาน

แคลเซียมคาร์บอเนตนิยมใช้กับพอลิเอทิลีน (PE) และพอลิพรอพิลีน (PP) เพื่อลดต้นทุน Ground calcium carbonate จะนิยมใช้เติมลงในพอลิเอทิลีน ซึ่งสมบัติเชิงกลบางประการจะลดลง เช่น ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิพรอพิลีนในช่วง 20 – 40% โดยน้ำหนัก จะช่วยเพิ่มความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) แต่ลดสมบัติการโค้งงอ (Flexural properties) โดยแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว และเป็นชนิดที่มีความละเอียดมาก (Finely grade) จะมีการกระจายตัวในพอลิพรอพิลีนได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวมีความหยาบ (Coarsely grade) ซึ่งจะส่งผลต่อความทนต่อแรงกระแทก ดังรูปที่ 2.8-2.9



(a)

รูปที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Falling weight impact strength กับ ปริมาณสารตัวเติม [19]

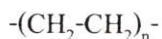


(b)

รูปที่ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Notched izod impact strength กับปริมาณสารตัวเติม [19]

2.6 พอลิเอทิลีน (Polyethylene) [20]

พอลิเอทิลีนจัดเป็นพอลิโอเลฟินชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากเอทิลีนอะติฟาติกไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated aliphatic hydrocarbon) สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีน เป็นดังนี้



พอลิเอทิลีนผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกในปี ค.ศ. 1939 เป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) ค้นพบครั้งแรกโดย เฟาเซตต์และกิบสัน (Fawcett and Gibson) ที่บริษัท ไอซีไอ (Imperial Chemical Industries Ltd. : ICI) ประเทศอังกฤษ โดยการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่ความดันสูง และได้ค้นพบพอลิเอทิลีนโดยบังเอิญจากปฏิกิริยาของเอทิลีนกับ เบนซาลดีไฮด์ ปัจจุบันมีการผลิตพอลิเอทิลีนให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีทั้ง LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) MDPE (Medium Density Polyethylene) HDPE (High Density Polyethylene) และ UMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene)

2.6.1 การเตรียมพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนโมโนเมอร์ พอลิเมอร์ที่ได้จะมีตั้งแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำมีลักษณะเป็นไขไปจนถึงน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีความเป็นผลึกสูง กระบวนการในการเตรียมพอลิเอทิลีนมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี คือ

1. พอลิเมอไรเซชันที่ความดันสูง พอลิเมอร์ที่ได้โดยวิธีนี้เป็น LDPE จะมีลักษณะยืดหยุ่น ความหนาแน่นต่ำ
2. กระบวนการซีเกลอร์ (Ziegler process) พอลิเมอร์ที่ได้มีความหนาแน่นปานกลางแต่สูงกว่าการใช้ความดันสูง
3. กระบวนการฟิลลิปส์ (Phillips process) ผลผลิตที่ได้เป็นพอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นสูง สายโซ่โมเลกุลเกือบจะเป็นสายโซ่ตรงชนิดสมบูรณ์โดยแทบไม่มีกิ่งสาขาเลย จึงทำให้มีความหนาแน่นสูงมาก
4. กระบวนการ Standard oil กระบวนการนี้คล้ายกับกระบวนการฟิลลิปส์ และพอลิเมอร์ที่ได้มีความหนาแน่นและน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกันกับพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการฟิลลิปส์ด้วย

พอลิเอทิลีนจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature: T_g) ประมาณ -130 ถึง 60 องศาเซลเซียส ทำให้พอลิเอทิลีนมีลักษณะ

ทั้งยืดหยุ่นและแข็งที่สภาวะปกติ สำหรับอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature: T_m) ของพอลิเอทิลีนมีค่าประมาณ 108 ถึง 133 องศาเซลเซียส

2.6.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

(Medium Density Polyethylene; MDPE) [21]

MDPE และ LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) สามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการ gas phase process ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตของบริษัท BP Chemical ประเทศอังกฤษ

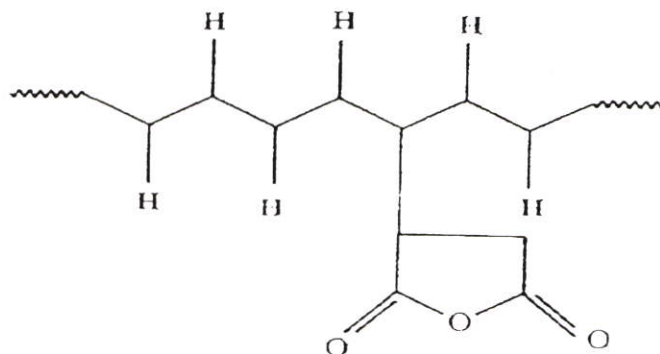
การผลิตเริ่มจากการผ่านกระบวนการควบคุมการผลิตที่มีประสิทธิภาพ และมีการเลือกใส่สารเติมอย่างดี ทำให้ เรซินที่ได้มีคุณภาพสูง มีสมบัติเชิงกลที่ดี เหมาะกับการผลิตฟิล์มคุณภาพสูง และผลิตภัณฑ์จากกระบวนการหมุนหล่อก นอกจากนี้ยังมีความปลอดภัยสามารถใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารและยาได้

2.7 พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

(Polyethylene grafted maleic anhydride, MAPE)

พอลิเอทิลีนเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วส่งผลให้เมื่อทำการผสมรวมกับวัสดุอื่นที่มีขั้วมักมีสมบัติต้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวไม่ดี แต่สามารถที่จะทำการแก้ไขได้โดยการเติมสารอีกชนิดลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติการเข้ากันได้ [22]

พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้ว ซึ่งจะทำให้สมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเป็นขั้วของพอลิเอทิลีน โดยทำให้ความชอบน้ำ (Hydrophilic) เพิ่มขึ้น และความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น พบว่าแอนไฮไดรด์เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อน และเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่นรวมทั้งสารตัวเติม (Fillers) ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ [23]

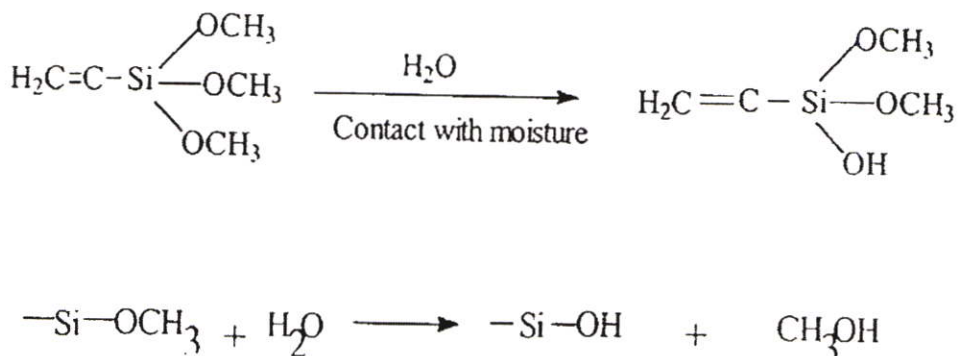
2.8 ออร์แกโนไซเลน (Organosilanes)[24]

ออร์แกโนไซเลนจัดเป็นสารคู่ควบที่นิยมใช้กันมานาน มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทั่วไปทางเคมีของ Organofunctional silane [25]

ประกอบด้วยหมู่เมทอกซี 3 กลุ่ม เอทอกซีหรืออะเซทอกซิลอีก 1 กลุ่ม ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ $-\text{OH}$ เพื่อเกิดเป็นพันธะ $-\text{O}-\text{Si}$ ระหว่างเส้นใยและสารคู่ควบ หมู่ Y ซึ่งเป็นสารอินทรีย์สามารถออกแบบพันธะที่เหมาะสมกับเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่แตกต่างกันไป เช่น หมู่ไวนิล เอมีน อีพอกซี เมอร์แคปแทน เป็นต้น หมู่เหล่านี้ทำให้เกิดพันธะโคเวเลนต์หลักจากสารคู่ควบ เข้าไปยังเมตริกซ์พอลิเมอร์ประเภทสารอินทรีย์ ด้วยเหตุนี้สารเติม (Filler) สารคู่ควบ และเมตริกซ์พอลิเมอร์ทั้งหมดจึงกลายเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ขนาดใหญ่หนึ่งโมเลกุล ตัวอย่างกลไกการทำงานของสารคู่ควบไซเลนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 กลไกการทำงานของสารคู่ควบไซเลนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ [25]

การใช้สารคู่ควบออร์กาโนไซเลนกับเรซินเทอร์โมพลาสติก การจะกล่าวว่ามีพันธะโคเวเลนต์หลักเกิดขึ้นทำได้ยากจึงควรกล่าวว่าเกิดจากความมีขั้วที่เหมือนกัน โดยมีพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวทางเคมีชนิดทุติยภูมิ ระหว่างสารคู่ควบและเมตริกซ์พอลิเมอร์ เพื่ออธิบายการกระทำที่สำเร็จได้ แม้แต่ในเรซินเทอร์โมเซต สารคู่ควบที่ใช้ได้ดีก็ไม่ปรากฏว่าเกิดพันธะโคเวเลนต์ปฐมภูมิ จึงกล่าวว่าจะเกิดจากแรงดึงดูดทางเคมีชนิดทุติยภูมิ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณิษา ชาญณรงค์ [26] ศึกษาการผลิตไม้เทียมจากพอลิไวนิลคลอไรด์(PVC) เส้นใยไม้ยางพารา (0-50 phr) สารทำให้เกิดความเสถียร และพลาสติกไซเซออร์ โดยใช้เครื่องผสมเกลียวหนอนเดี่ยว จากการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราจะทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อเกินขีดความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับเส้นใยไม้ยางพารา จากผลการวิเคราะห์ทางความร้อนพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวอยู่ในช่วง 280 – 400 °C โดยปริมาณของเส้นใยไม้ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัว อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) จะลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น สมบัติทางความร้อนเชิงกลพบว่า Heat distortion temperature (HDT) เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเส้นใยไม้ยางพารา อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วลดลง การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้นและค่าความถ่วงจำเพาะจะไม่แตกต่างกันมากเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงผลของพลาสติกไซเซออร์ คือ DOP พบว่าสมบัติเชิงกลลดลงเนื่องจาก DOP จะทำให้พอลิไวนิลคลอไรด์เกิดการเคลื่อนไหวสายโซ่ได้ง่ายขึ้น เป็นผลให้วัสดุที่ได้นิ่มขึ้น สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ในงานวิจัยนี้วัสดุประกอบที่มีสมบัติเชิงกลดีและสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ประกอบด้วย พอลิไวนิลคลอไรด์ เส้นใยไม้ยางพารา สารทำให้เกิดความเสถียร และพลาสติกไซเซออร์ เท่ากับ 100 30 15 และ 10 phr ตามลำดับ

เด่นศักดิ์ แสงพุทธเงินฐานะ [27] ได้ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม โดยเตรียมได้จาก พีวีซีและเส้นใยธรรมชาติ 2 ชนิดคือ เส้นใยหญ้าแฝกและเส้นใยยูคาลิปตัส งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใย ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ (DOP) ชนิดของเส้นใยที่เตรียมได้จาก 2 กระบวนการคือ กระบวนการเชิงกล (MP) และกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (TMP) ปริมาณสารตัวเติม 3 ชนิดคือ แคลเซียมคาร์บอเนต ซิลิกา และทัลคัม และผลของการนำกลับมาใช้ใหม่ จากการทดลองพบว่า ปริมาณเส้นใยที่ให้สมบัติดีที่สุดคือ 30 phr ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสมคือ 3 phr เส้นใยไม้ยูคาลิปตัสที่เตรียมได้จากกระบวนการความร้อนเชิงกลจะให้สมบัติเชิงกลสูงที่สุด ผลของสารตัวเติมพบว่า ซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง ปริมาณที่แนะนำคือ 10 phr และการรีไซเคิลจะทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตลดลง

ธีรพัฒน์ อุณหโชค และพจนีย์ ศรธรรมดี [28] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยผักตบชวา (Hyacinth fibers) ที่เตรียมจากกระบวนการทางเคมี ซึ่งศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์ ผลของสารช่วยผสม Polyethylene-graft-Maleic anhydride (PE-g-MA) ต่อปริมาณเส้นใย และขนาดของเส้นใยผักตบชวา โดยผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก จากการศึกษพบว่าค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส ความแข็งกด เปอร์เซ็นต์

การดูดซับน้ำและปริมาณความเป็นผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง จากการศึกษาค้นคว้าของสารช่วยผสมพบว่าคอมพอสิตมีสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อใส่สารช่วยผสม PE-g-MA เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของคอมพอสิตมีค่าลดลงเมื่อใส่สารช่วยผสม PE-g-MA ปริมาณสารช่วยผสม PE-g-MA ที่เหมาะสมคือ 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และขนาดของเส้นใยผักตบชวาที่เหมาะสมคือ 50-80 mesh ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จาก SEM พบว่าสารช่วยผสม PE-g-MA ช่วยให้การยึดเกาะระหว่างพอลิเอทิลีนเมทริกซ์กับเส้นใยดีขึ้น

รัชดา ขวัญคน [29] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เตรียมจากขูดน้ำดื่ม HDPE กับเส้นใยอ้อย โดยทำการศึกษาค้นคว้าของปริมาณ ผลของขนาดเส้นใยอ้อย และผลของสารช่วยผสม 2 ชนิด คือสารช่วยผสม PE-g-AA และ PE-g-MA จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยอ้อยที่เติมในพอลิเมอร์คอมพอสิตเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกลดลง ขนาดของเส้นใยอ้อยไม่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิต สารช่วยผสม PE-g-AA และ PE-g-MAH ที่ใช้ไม่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิต เนื่องจากสารช่วยผสมทั้งสองเกิดพันธะชนิดเดียวกัน

ปิยะวรรณ เจียวก๊ก และ พงศักดิ์ แพน้อย [30] ได้ศึกษาพอลิเมอร์คอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยยูคาลิปตัส ที่ได้จากกระบวนการทางเคมี (Chemical pulp; CP) และกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (Thermo mechanical pulp; TMP) โดยศึกษาค้นคว้าของสารช่วยผสม มาเลอิกแอนไฮไดรด์ไฮดรอกซีต่อกิ่งด้วยพอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride graft polypropylene; PP-g-MA) และ ศึกษาอัตราส่วนผสมของเส้นใย (10 20 30 และ 40 phr) จากการทดลองพบว่า วัสดุคอมพอสิตมีสมบัติความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัสดีขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทก และเปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาดลดลง ปริมาณเส้นใยที่ 20 phr จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม พบว่าวัสดุคอมพอสิตมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น และการดูดซับน้ำลดลง ส่วนชนิดของเส้นใย TMP จะมีการกระจายตัวและให้สมบัติเชิงกลดีกว่าเส้นใย CP

ธารทิพย์ เขมะศิริ และคณะ [31] ได้ศึกษาพอลิเมอร์คอมพอสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ทั้งชนิดใหม่และชนิดรีไซเคิล โดยใช้สารช่วยผสม พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polypropylene graft maleic anhydride; PP-g-MA) และพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene graft maleic anhydride; PE-g-MA) ที่ 3 % โดยน้ำหนักของเส้นใย จากการทดลองพบว่า สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมพอสิตที่เตรียมได้จากเส้นใย TMP ดีกว่าที่เตรียมได้จากวิธี MP ส่วนสมบัติอื่นๆ มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากเกินไปจะทำให้สมบัติเชิงกลลดลง การยึดติดของเส้นใยกับ

พอลิเมอร์เมตริกซ์ดี ปริมาณการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนการศึกษาชนิดของพอลิเมอร์ชนิดใหม่และชนิดรีไซเคิลจะให้สมบัติโดยรวมใกล้เคียงกัน

นวกรณ์ อนันตรนวนิชย์ และคณะ [32] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองตอน คือ พอลิพรอพิลีนกับผงหญาflake ที่เตรียมด้วยวิธีทางเชิงกล (VMP) ซึ่งทำการศึกษาถึงผลของปริมาณผงหญาflake ขนาดของผงหญาflake และปริมาณสารช่วยผสม Maleic anhydride-graft-polypropylene (MAPP) และพีวีซีกับเส้นใยหญาflake ที่เตรียมจากกระบวนการทางเคมี (VCP) ซึ่งทำการศึกษาผลของปริมาณและขนาดของเส้นใยหญาflake ผลการทดลองของพอลิพรอพิลีนกับผงหญาflake ที่เตรียมจากกระบวนการเชิงกล (VMP) พบว่าปริมาณการเติมผงหญาflake ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 30 phr ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด แต่สมบัติเชิงกลที่ได้มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผงหญาflake ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) พบว่าการใส่สารช่วยผสม MAPP 3% ของน้ำหนักผงหญาflake ทำให้มีการยึดติดกันระหว่างพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์กับผงหญาflake ดีขึ้น และมีช่องว่างระหว่างวัฏภาคลดลง ส่วนผลการทดลองของพีวีซีกับเส้นใยหญาflake ที่เตรียมจากกระบวนการทางเคมี (VCP) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญาflake ในพีวีซีคอมโพสิตทำให้ความแข็งแรงดึง มอดูลัส และเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขนาดมีค่าลดลง ปริมาณเส้นใยหญาflake ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 30 phr มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จาก SEM พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญาflake มากขึ้นทำให้การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนเป็นผลให้พีวีซีเมตริกซ์ไม่สามารถแทรกตัวระหว่างเส้นใยหญาflake และเกิดช่องว่างภายในชิ้นงานคอมโพสิตเนื่องจากพีวีซีบางส่วนเกิดการสลายตัวทางร้อน

พิชัย มนัสพัฒนาและศิริพงษ์ โรจน์วีระ [33] ได้ปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิพรอพิลีน (PP) โดยใช้ขุยมะพร้าวและฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นสารตัวเติม จากการศึกษาพบว่าปริมาณขุยมะพร้าวใน HDPE และ PP ทำให้ค่ามอดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขนาดเพิ่มขึ้น ส่วนความแข็งแรงดึงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนการเติมฟางข้าวใน HDPE และ PP ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง และมอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่สารตัวเติมมากกว่า 10 phr จะพบปัญหาในการขึ้นตอนการขึ้นรูป

กมลรัตน์ คุรัตน์ชัชวาล และคุณดาว ปรีชาวงศ์ [34] ได้ทำการศึกษาผลของเส้นใยอ้อยที่ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีน โดยใช้เส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับสภาพผิว และเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพผิวด้วยการฉายรังสีแล้วต่อกิ่งด้วยมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ (Multifunctional monomer) ผสมสูตรที่ได้แบบหลอมเหลวใน

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ จากการศึกษพบว่าคอมโพลิตที่เติมเส้นใยอ้อยทั้งปรับและไม่ปรับสภาพผิวมีสมบัติความแข็งแรงดึงและสมบัติทางด้านความร้อนดีขึ้น ปริมาณมัดติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่ 1% โดยน้ำหนักทำให้คอมโพลิตมีสมบัติต่าง ๆ ดีที่สุด

Simpson และ Selke [35] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพลิตที่เตรียมจากขูดพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled polypropylene, rPP) กับเส้นใยไม้ (Wood fiber) และพอลิเมอร์คอมโพลิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนใหม่ (Virgin polypropylene) กับเส้นใยไม้ โดยใช้ปริมาณเส้นใยไม้ 0 30 40 และ 50% โดยน้ำหนัก จากการศึกษพบว่าคอมโพลิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นที่นำกลับมาใช้ใหม่กับเส้นใยไม้มีสมบัติเชิงกลสูงกว่าคอมโพลิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนใหม่กับเส้นใยไม้ แต่การเติมเส้นใยไม้มากกว่า 30% โดยน้ำหนักทำให้ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง เนื่องจากสารเติมแต่งที่มีอยู่ในขูดพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นช่วยเพิ่มความแข็งแรงการยึดเกาะที่อินเตอร์เฟส

Premalal และคณะ [36] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของคอมโพลิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีน (PP) กับผงแกลบ และคอมโพลิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนกับทลคัม โดยใช้เครื่อง Brabender Plasticoder รุ่น PLE 331 ที่มี Mixer ต่ออยู่ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 180 °C ความเร็วรอบ 50 rpm ซึ่งทำการผสมสารตัวเติม 0 15 30 45 และ 60 % โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic press) ที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 10 นาที และทำให้เย็นภายใต้ความดันนั้นเป็นเวลา 4 นาที จากการศึกษพบว่าเมื่อปริมาณของสารตัวเติมทั้งสองเพิ่มขึ้นในแต่ละคอมโพลิตทำให้มอดูลัส และความแข็งแรงโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง คอมโพลิตที่ใช้แกลบเป็นสารตัวเติมมีค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัส และความแข็งแรงโค้งงอต่ำกว่าคอมโพลิตที่ใช้ทลคัมเป็นสารตัวเติม แต่คอมโพลิตที่ใช้แกลบเป็นสารตัวเติมมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงกว่า

Joseph และคณะ [37] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางด้านความแข็งแรงดึงของคอมโพลิตที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านสรนารายณ์ (Sisal fiber) โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง จากการศึกษพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึง ได้แก่ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ โดยการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) เกิดความเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้ความแข็งแรงดึงของคอมโพลิตมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง เมื่อนำคอมโพลิตมาฉีดขึ้นรูปใหม่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มตามจำนวนครั้งที่ฉีด เนื่องจาก

ผลของความร้อนระหว่างกระบวนการขึ้นรูปทำให้เกิดการสลายตัวที่พื้นผิวของเส้นใย จึงทำให้พอลิเอทิลีนเมตริกซ์ยึดติดกับเส้นใยดีขึ้น คอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรงมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง เส้นใยที่มีความยาว 6 mm ทำให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงสุด

Bin Li. และคณะ [38] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกล สารหน่วงการติดไฟ และการสลายตัวทางความร้อนของ LLDPE-Wood-Fiber คอมโพสิต โดยเตรียมจากเครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง และใช้ MPE เป็นสารเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต ใช้ Aluminum Polyphosphate (APP) และส่วนผสมของ APP กับ Melamine Phosphate (MP) หรือ Pentaerythritol (PER) เป็นสารหน่วงการติดไฟ จากการทดลองพบว่า MPE ให้ค่า ความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทก สูงขึ้น APP มีผลต่อความแข็งแรงกระแทกแต่ไม่มีผลต่อความแข็งแรงดึง นอกจากนี้พบว่า PER ลดค่าความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทก เนื่องจาก PER จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Esterification ระหว่าง เส้นใยไม้กับ MPE ค่า LOI ที่ได้จากการทดลองพบว่า APP เป็นสารหน่วงการติดไฟที่มีประสิทธิภาพ สำหรับวัสดุคอมโพสิตนี้ นอกจากนี้พบว่า เส้นใยไม้ไม่มีผลต่อลักษณะการสลายตัวทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิต

Chuai และคณะ [39] ได้ศึกษาการนำเส้นใยสนเป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน เพื่อเป็นวัสดุคอมโพสิต พบว่า การยึดติดกันหรือความเข้ากันได้ของพอลิพรอพิลีนและเส้นใยสน สามารถเพิ่มขึ้นได้โดยใช้ MAPP graft หรือ MAPP treat บนเส้นใยก่อนทำการผสม ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นได้จากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกวาด และเครื่อง DSC ส่วนค่า ความทนทานต่อแรงกระแทก จะลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการเสถียรภาพของวัสดุคอมโพสิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยสน

Wu และคณะ [40] ได้ศึกษาผลของเส้นใยที่ทำการปรับปรุงผิวต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตเส้นใยไม้กับพอลิพรอพิลีน พบว่า พันธะที่เกิดขึ้นมีบทบาทอย่างมากต่อค่า ความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงกระแทก ของวัสดุ งานวิจัยนี้เส้นใยไม้จะได้รับการปรับปรุงผิวก่อนด้วยสารละลายกรดไซเลน ซึ่งจะทำให้เกิดพันธะที่แข็งแรงกับพอลิพรอพิลีน จึงมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้น

P.J. Herrera และคณะ [41] ได้ศึกษาลักษณะสมบัติเชิงกลของ HDPE เสริมแรงด้วยเส้นใย Agave แบบต่อเนื่อง การยึดติดกันระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์ สามารถทำให้ดีขึ้นได้ด้วยการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วย Alkaline และ การผสมเมตริกซ์ก่อนด้วยสารกลุ่ม Silane สารกลุ่ม Silane จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ เพิ่มการยึดเกาะระหว่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ความแข็งแรง และ ความแข็งแรงเปราะ ของวัสดุคอมโพสิตขึ้นกับปริมาณของ Silane ค่า

ความแข็งแรงดึง จะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ความเข้มข้นของ Silane ที่ระดับหนึ่งเท่านั้น ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นประมาณ 80% สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น 3 และ 43% สำหรับ Longitudinal tensile และ Flexural properties ตามลำดับ ส่วนในทิศทางตามขวางของเส้นใยเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 %

Pickering และคณะ [42] ทำการศึกษาผลของสารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) ต่อคอมโพสิตเส้นใยต้นสนและพอลิเอทิลีน ชนิดของสารคู่ควบไซเลนที่ใช้คือ แกมมาอะมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (γ-Aminopropyltrimethoxy silane) โดยเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วย 2% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และไซเลน กับเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยไซเลนอย่างเดียว จากการทดสอบด้วย X-ray photoelectron spectroscopy และ NMR พบว่าไซเลนทำหน้าที่ช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของคอมโพสิตโดยเป็นตัวช่วยทำให้เกิดพันธะเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ในขณะที่ NaOH จะช่วยทำให้เกิดการประสานที่ดีขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้

1. คอมโพสิตที่ใส่เส้นใยที่เตรียมจากกระบวนการความร้อนเชิงกล (TMP) มีสมบัติเชิงกลดีที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใยที่เตรียมได้จากกระบวนการ MP และ CP เนื่องจากเส้นใย TMP มีความคงรูป และกระจายตัวในคอมโพสิตได้ดี
2. เส้นใยที่ใช้ในวัสดุคอมโพสิตควรทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วย สารคู่ควบ หรือ สารช่วยผสม เพื่อช่วยให้การยึดติดระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับเส้นใยดีขึ้น ซึ่งทำให้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตดีขึ้น

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. Medium Density Polyethylene (MDPE) บริษัทไทยโพลีเอททิลีน จำกัด

- เกรด EL-Lene[®] M3204RWP

- เกรด EL-Lene[®] M3804RWP

สมบัติบางประการของ MDPE ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังตาราง ที่ 3.1

2. เส้นใยไม้อย่างพาราเตรียมด้วยกระบวนการ TMP จากงานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้
สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้

3. แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) บริษัท ควอลิตี้ มินิเอรล จำกัด (มหาชน)

- เกรด Coated 1% stearic acid , 1QC และ 4QC

4. Antioxidant บริษัทไทยโพลีเอททิลีน จำกัด

- Polyad preblend TPE 01G

5. สารช่วยผสม (Compatibilizer)

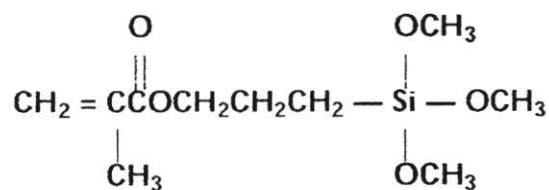
5.1 มาเลอิกแอนคไฮดรายกราฟท์พอลิเอททิลีน จาก Chemical Innovation Co., Ltd.

- Fusabond[®] MB226D (Modified Polyethylene)

LLDPE-g-MA, MFI 1.5

5.2 Silane coupling agent จาก Optimal Tech Co., Ltd.

- Silquest[®] A-174 silane (Gamma-Methacryloxypropyltrimethoxy Silane)



6. ไคลอโรมีเทน (CH₂Cl₂)

7. ไซลีน

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางประการของ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3204RWP และ

EL-Lene[®] M3804RWP

Physical Properties	หน่วย	มาตรฐานการทดสอบ	EL-Lene [®] M3204RWP	EL-Lene [®] M3804RWP
Melt Flow Rate	g/10 min	ASTM D 1238	4.0	4.0
Density	g/cm ³	ASTM D 1505	0.932	0.938
Tensile Strength at Yield	kg/cm ²	ASTM D 638	200	200
Tensile Strength at Break	kg/cm ²	ASTM D 638	270	270
Elongation at Break	%	ASTM D 638	1,000	1,000
Flexural Modulus	kg/cm ²	ASTM D 790	5,000	6,700
Izod Impact Strength	kg-cm/cm	ASTM D 256	40	13
Hardness, Shore D	-	ASTM D 2240	60	60
Environmental Stress Cracking Resistance	F ₅₀ , hr	ASTM D 1693	>400	>200
Melting Point	°C	ASTM D 2117	125	128
Vicat Softening Point	°C	ASTM D 1525	110	117
Brittleness Temperature	°C	ASTM D 746	<-70	<-70
Average Particle Size	micron	TPE METHOD	320	350

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทไทยโพลีเอททีลีน จำกัด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) :
Gebrüder HAAKE GmbH Co. Ltd. “ThermoHaake Polydrive”
2. เครื่องบดพลาสติก (Grinder): Bosco Engineering Co., Ltd.
3. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine): LLOYD Instrument Co., Ltd.
รุ่น LR 5K
4. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) : SANDRETTO metalmeccanica รุ่น micron 40
5. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Izod impact tester): Yasuda Seiki Seisakusho Co., Ltd.
รุ่น 258-PC
6. เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบชอร์ดี (Hardness tester, Shore D): Intro Enterprise Co., Ltd.
“Societa Per Azioni” รุ่น Alsaar

7. เครื่องทดสอบทางความร้อน DSC (Differential scanning calorimeter) : METTLER TOLEDO DSC 822
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope; SEM) : HITACHI รุ่น S-2500
9. เครื่องตีเยื่อด้วยกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical pulp; TMP) กรมป่าไม้
10. เครื่องทดสอบแรงกด TESTOMETRIC AS รุ่น M500 50KN กรมป่าไม้
11. เครื่องร่อนแยกขนาด (Sieve shaker) พร้อมตะแกรงร่อนขนาด 50-80 mesh
12. กล้องจุลทรรศน์
13. ตู้อบ
14. เกรียง
15. เครื่องชั่ง
16. ถุงมือกันความร้อน
17. เวอร์เนียร์
18. ไมโครมิเตอร์
19. กระบอกตวงขนาด 250 cm^3
20. แท่งแก้ว
21. บีกเกอร์

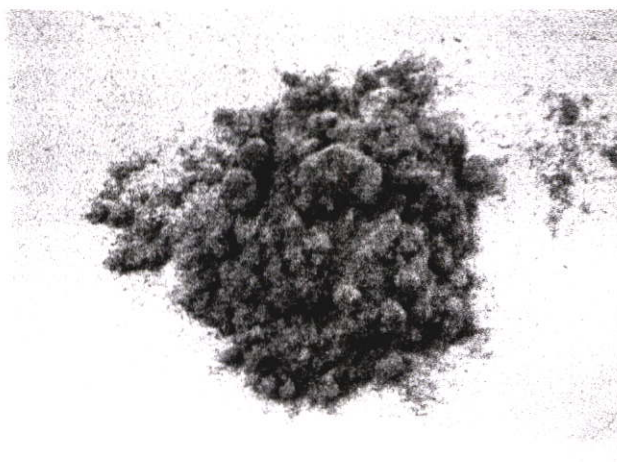
3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเยื่อไม้

ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาเยื่อไม้ยางพาราที่เตรียมได้จากกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical pulp: TMP) ซึ่งสามารถเตรียมได้ดังนี้

เยื่อไม้ที่เตรียมได้จากกระบวนการความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical pulp) เป็นวิธีที่คิดแปลงมาจากวิธีการผลิตเยื่อทางกลโดยการบด (Refined mechanical pulping) เริ่มจากการนำชิ้นไม้หรือชิ้นวัตถุดิบ เข้านึ่งไอน้ำภายใต้ความดันไอ จนอุณหภูมิไอน้ำสูงกว่า 140°C ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้ลิกนินอ่อนตัว เรียกว่า จุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition point) หรือ จุดนิ่มตัว (Softening point) แล้วจึงทำการบดชิ้นไม้ให้แยกออกจากกันภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงเป็นเส้นใยหรือกลุ่มของเส้นใย การบดใช้วิธีการเสียดสี (Attrition action) ของเครื่อง Defibrators หรือ Attrition mills ซึ่งประกอบด้วยจานบดที่มีผิวหยาบเป็นร่อง 2 จาน โดยจานหนึ่งหรือ 2 จานหมุนสวนทางเสียดสีกันให้ชิ้นไม้ที่อยู่ระหว่างจานทั้งสองแตกแยกออกเป็นกลุ่มเยื่อ ผลผลิตของเยื่อที่ได้ประมาณ 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับสถานะในการแยกเยื่อ ได้แก่ อุณหภูมิหรือความดันไอน้ำ เวลาในการนึ่งชิ้นไม้และเวลาในการบดเยื่อ จะมีความดันแปรไปขึ้นอยู่กับชนิดไม้หรือวัตถุดิบ ความหนาแน่นของไม้หรือวัตถุดิบ ความชื้น และรูปทรงทางเรขาคณิตของชิ้นไม้

หลังจากเตรียมเส้นใยเสร็จแล้ว นำเส้นใยไม้ที่บดเสร็จแล้วไปล้างด้วยน้ำ อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยก่อนการทดลอง ต้องทำการคัดแยกขนาดอนุภาคเส้นใยไม้ โดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาด ร่อนให้ได้ผงไม้ที่มีขนาด 50-80 Mesh แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการทำให้ความชื้นในผงไม้หมดไป นำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ โดยลักษณะของผงไม้ที่เตรียมได้มีลักษณะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปถ่ายลักษณะของเส้นใยไม้ยางพาราจากกระบวนการความร้อนเชิงกล

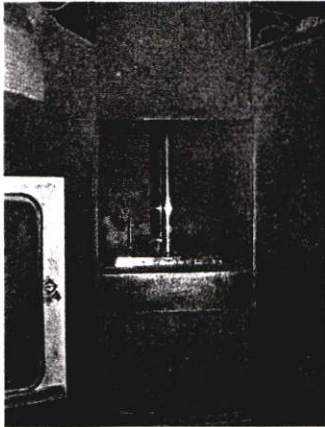
3.3.2 ขั้นตอนการผสม

1. ชั่งสูตรผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.2
2. ทำการผสม MDPE เส้นใยพารา และ Antioxidant โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง ปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที
3. นำของผสมที่ได้มาผสมกันในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิที่ 180°C
4. นำของผสมที่ได้มาบดเป็นเม็ด
5. นำเม็ดที่ได้ไปทำการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป
6. นำชิ้นงานคอมโพสิตที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่
 - 6.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล
 - ทดสอบสมบัติแรงดึงด้วยเครื่อง Universal testing machine ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 ได้ค่า ความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด
 - ความแข็งแรงกระแทก ASTM D256
 - ความแข็งกด ASTM D785
 - ทดสอบสมบัติความแข็งแรงโค้งงอด้วยเครื่อง Universal testing machine ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 790 ได้ค่า Flexural strength และ Flexural modulus
 - 6.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ
 - การดูดซับน้ำ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 570
 - 6.3 ศึกษาสมบัติทางความร้อน
 - Differential scanning calorimeter (DSC)
 - 6.4 ศึกษาสัณฐานวิทยา
 - Scanning electron microscope (SEM)
 - Optical microscope (OM)
 - 6.5 ศึกษาความทนทานต่อปลวก

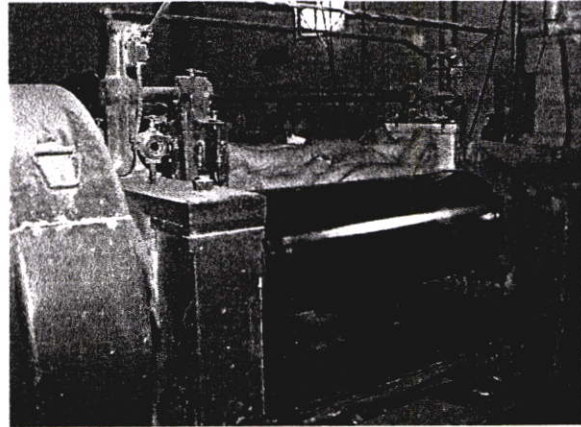
3.3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต

1. ชั่งส่วนผสมตามสูตรผสมสุดท้ายที่เลือกแล้วดังตารางที่ 3.3
2. ใส่ ส่วนผสมต่างๆ ยกเว้นเส้นใยไม้อย่างพารา ลงในเครื่องผสม (Kneader) ทำการผสมให้เข้ากัน ที่อุณหภูมิ $80-100^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที
3. ใส่เส้นใยไม้อย่างพารา ผสมต่อจนเข้ากัน
4. นำของผสมที่ได้ผ่านเข้าเครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง เพื่อรีดให้เป็นแผ่นที่มีความหนาตามต้องการ ตัดและจัดเรียงลงแม่แบบตามขนาดที่ต้องการ

5. นำแม่แบบที่ได้เข้าเครื่องอัดรีด (Compression) ที่อุณหภูมิ 220 °C เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นนำเข้าเครื่องหล่อเย็น นาน 30 นาที
6. จะได้ชิ้นงานไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตพร้อมที่จะนำไปทดสอบและแปรรูป
7. การทดสอบไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจะทำการศึกษามบัตดังต่อไปนี้
 - 7.1 ความแข็งแรงกดอัด (ASTM D 6108-97)
 - 7.2 ความต้านทานการถอนตะปูและสกรู (ASTM D 6117-97)
 - 7.3 ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ (ASTM D 6109-97)



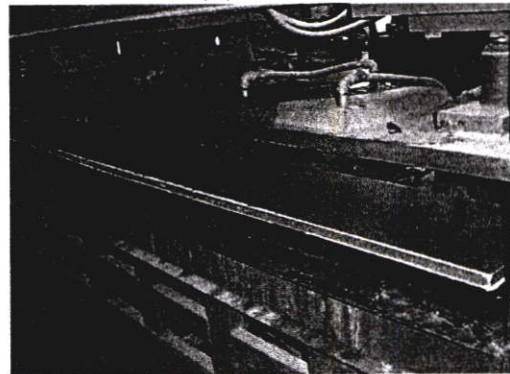
(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการการขึ้นรูปวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต : A-->B-->C-->D-->E

(A) เครื่องผสม (Kneader) (B) เครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง (2-roll mill)

(C,D) เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) (E) ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
MDPE	100
EL-Lene [®] M3204RWP	
EL-Lene [®] M3804RWP	
เส้นใยไม้ยางพารา	0-70
Antioxidant	0.25
สารช่วยผสม	0-5 %wt*
MAPE (Fusabond [®] MB226D)	
Silane (Silquest [®] A-174 silane)	
CaCO ₃	0-60
ขนาดอนุภาค 1 ไมครอน	
ขนาดอนุภาค 4 ไมครอน	

หมายเหตุ * %wt เทียบกับน้ำหนักของเส้นใย

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของสูตร ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ในการขึ้นรูปจริง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (kg)
MDPE	50
เส้นใยไม้ยางพารา	20
Antioxidant	0.125
สารช่วยผสม	0.6
CaCO ₃	30

3.4 การทดสอบ [43]

การทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้ทำการทดสอบมาตรฐานดัง ตารางที่ 3.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต

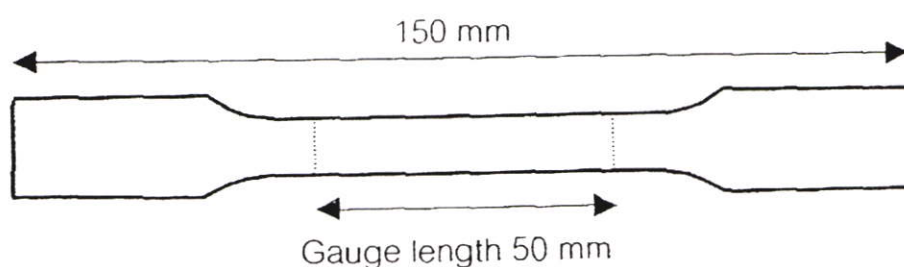
สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยรายงานผล
ความแข็งแรงดึง	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	ASTM D 638	%
ความแข็งแรงกระแทก	ASTM D 256	kJ / m^2
ความแข็งกด	ASTM D 785	Shore D
ความแข็งแรงโค้งงอ	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสโค้งงอ	ASTM D 790	MPa
เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ	ASTM D 570	%
ความหนาแน่น	ASTM D 1505-85	g / cm^3
ความแข็งแรงกดอัด	ASTM D 6108-97	MPa
ความต้านทานการถอนตะปูและสกรู	ASTM D 6117-97	N
ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ	ASTM D 6109-97	MPa

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด

การหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัส (Modulus) และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 [44] ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละครั้ง โดยชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปดัมเบลล์แสดงดังรูปที่ 3.3 และสภาวะการทดสอบเป็นดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 5 kN
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 10 mm / min
- ความยาวเกจ (Gauge length) 50 mm



รูปที่ 3.3 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด [44]

ค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง (Tensile strength); } \sigma = F / A$$

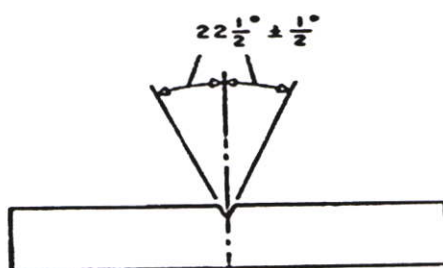
$$\text{โมดูลัส (Tensile modulus); } E = \frac{\text{Difference in stress}}{\text{Difference in corresponding strain}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break); } A_t = \left(\frac{L - L_0}{L_0} \right) * 100$$

เมื่อ	F	คือแรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (N)
	A	คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (mm^2)
	L	คือระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงตัวอย่าง (mm)
	L_0	คือช่วงที่ชิ้นงานแถบที่สุกและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน; Gauge length (mm)

3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก

การหาค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 256 [45] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละครั้ง และลักษณะชิ้นงานตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก [39]

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ	IS	คือค่าความแข็งแรงกระแทก (kJ/m^2)
	W	คือค่าพลังงานกระแทก (kJ)
	A	คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่แตกหัก (m^2)

3.4.1.3 ความแข็งกด

การหาค่าความแข็งกด (Hardness tester, shore D) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 785 [46] โดยใช้มาตรฐานแบบ Shore D ในการทดสอบ ลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงานที่นำมาทดสอบต้องเรียบ และมีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 mm กดเป็นเวลา 15 วินาที จึงอ่านค่า

3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ

การหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 790 [47] โดยลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ แสดงดังรูปที่ 3.5 และสภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell)	5	kN
- ความเร็วในการกด (Compression speed)	10	mm / min
- ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span length)	40	mm

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

$$\text{ความแข็งแรงโค้งงอ; } \sigma_f = \frac{1.5 FL}{Bh^2}$$

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

เมื่อ F คือแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างโค้งงอ (N)

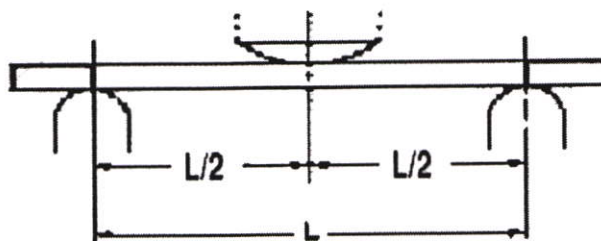
L คือ Span length (40 mm)

B คือความกว้างของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)

h คือความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)

ΔF คือผลต่างของแรงกด ในช่วงความชันเป็นเส้นตรง (N)

Δd คือระยะกดโค้งงอ (mm)



Span length

รูปที่ 3.5 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ [47]

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2.1 การดูดซับน้ำ

การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%Water absorption) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 570 [48] โดยการนำชิ้นงานคอมโพสิตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า น้ำหนัก 2.00-2.50 กรัม มาอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปไว้ในเดซิเคเตอร์เป็นเวลา 30-45 นาที ชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 45 วัน และชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

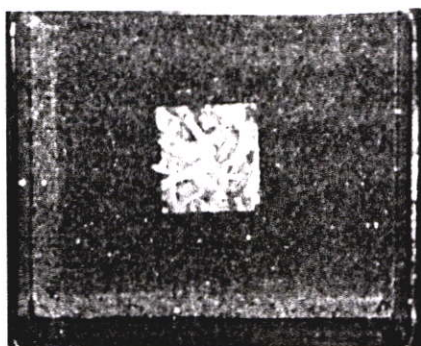
3.4.3.1 Differential Scanning Calorimeter (DSC)

DSC เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวัดอัตราการไหลของความร้อน (Heat flow) ที่ให้แก่สารตัวอย่างเทียบกับสารอ้างอิงเป็นฟังก์ชันกับเวลาหรืออุณหภูมิ ในทางปฏิบัติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์และเคมีจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy; H) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีนี้เราสามารถวัดได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลายชนิด เช่น การเปลี่ยนแปลงมวล รูปร่าง หรือคุณสมบัติทางแสงของสารจะส่งผลต่อการเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิ นอกจากนี้เครื่อง DSC ยังใช้ในการวัดความจุความร้อน (Heat capacity: C_p) ซึ่งเป็นสมบัติที่มีความสำคัญของพอลิเมอร์ เนื่องจากประวัติของกระบวนการผลิต สมบัติเชิงกล และการให้ความร้อนในรูปแบบต่างๆ จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ซึ่งใช้บ่งบอกความเป็นสารนั้นๆ ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย บางครั้งเรียกว่า “เอกลักษณ์ของพอลิเมอร์ (Fingerprint)” นั้นแสดงว่าค่าพลังงานของระบบจะมีค่าเฉพาะเพียงค่าเดียวเท่านั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของ C_p เมื่อเทียบกับสารอ้างอิงสามารถใช้ในการบ่งบอกประวัติที่ผ่านมาของพอลิเมอร์ตัวอย่างนั้นได้ การทดสอบนี้จะใช้สภาวะในการทดลองดังนี้

- อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ = 10 °C / min
- ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ = 50-600 °C

3.4.4 ความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก [49]

ในการทดสอบความทนทานต่อปลวกจะใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยวิธีการทดสอบแบบบังคับ ใช้ชิ้นงานมีขนาด $0.2 \times 2.5 \times 2.5 \text{ cm}^3$ จำนวน 5 ชิ้น และบันทึกน้ำหนักของชิ้นงาน แล้วจึงนำชิ้นงานใส่ลงในบ่อซีเมนต์ที่ได้เพาะเลี้ยงปลวกชนิด *Coptotermes gestroi* ซึ่งในการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะไม่สัมผัสดินใช้เวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ 4 สัปดาห์ ทำการประเมินผลการทดสอบโดยการประเมินความเสียหายบนแผ่นวัสดุทดลองด้วยสายตา (Visual rating) บันทึกน้ำหนักของชิ้นงานหลังการทดสอบและคำนวณหาค่าอัตราการเข้าทำลาย การทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีการทดสอบแบบบังคับแสดงดังรูปที่ 3.6 และมาตรฐานในการทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิตแสดงในตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.6 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีการทดสอบแบบบังคับ [49]

ตารางที่ 3.5 มาตรฐานในการทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิต [49]

ระดับคะแนน ความเสียหาย	อัตราการเข้าทำลาย (%)	ความเสียหายของวัสดุทดลอง	ประสิทธิภาพ
0	0	ไม่พบความเสียหาย	ดีมาก
1	< 10	เสียหายเล็กน้อย	ดี
2	10 – 40	เสียหายปานกลาง	ปานกลาง
3	40 – 80	เสียหายมาก	ไม่ดี
4	> 80	เสียหายใช้ไม่ได้	ใช้ไม่ได้

3.4.5 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดเพื่อศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยไม้กับพอลิเมอร์ การเตรียมตัวอย่างทำได้โดย นำตัวอย่างมาแช่ที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันทีที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทองและนำเข้าเครื่อง SEM เพื่อศึกษาพื้นผิวของชิ้นงาน

3.4.6 การทดสอบสมบัติไม้พลาสติก

3.4.6.1 สมบัติการกดอัด (Compressive properties)

การหาค่า Compressive strength และ ค่า Modulus of Elasticity สามารถทำได้โดยตัดชิ้นงานให้มีความสูงเป็น 2 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง จำนวน 5 ชิ้น ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงกดอัดตามมาตรฐาน ASTM D 6108-97 [50] โดยมีสภาวะในการทดสอบ ดังนี้

- โหลดเซลล์	5	kN.
- อัตราเร็วในการกด	25	mm/min

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

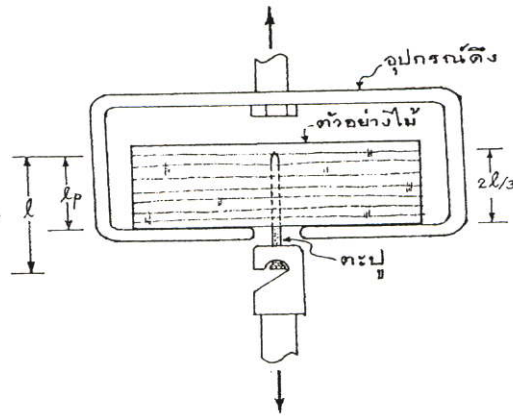
$$\text{ค่า Compressive strength} = \frac{\text{Maximum compressive load}}{\text{Cross section area}} \quad (\text{MPa})$$

$$\text{ค่า Modulus of Elasticity} = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} \quad (\text{GPa})$$

3.4.6.2 สมบัติการต้านทานการถอนตะปูและสกรู (Mechanical fasteners)

การหาค่า แรงที่ใช้ในการถอนตะปู และแรงที่ใช้ในการถอนตะปูเกลียว ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 6117-97 [51] โดยมีวิธีในการทดสอบ ดังนี้

- เตรียมตัวอย่างขนาด 1 x 3 นิ้ว
- นำตะปูตอกลงในตัวอย่างให้จมลงไปในตัวอย่าง 0.5 นิ้ว
(กรณีตะปูควงให้ขันลึกลงไปในตัวอย่างอย่างน้อย 0.75 นิ้ว)
- นำตัวอย่างไปยึดไว้ในอุปกรณ์ทดสอบ ดังรูปที่ 3.7
- ทำการดึงตะปูออกโดยใช้อัตราเร็วในการดึงที่ 25 mm/min
- บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงในหน่วย นิวตัน

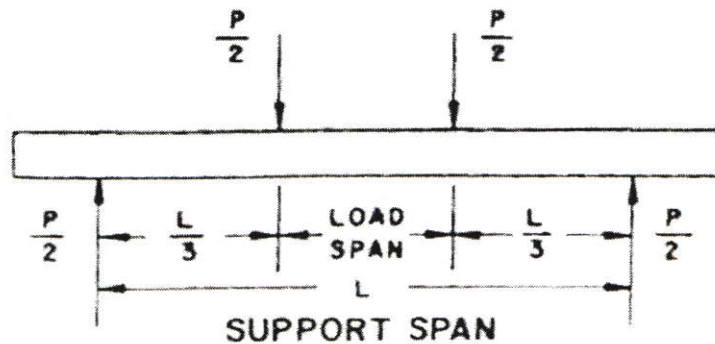


รูปท 3.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบการถอนตะปูและสกรู

3.4.6.3 สมบัติการโค้งงอ (Flexural properties)

การหาค่า Flexural strength และ Flexural modulus สามารถทำได้โดยตัดชิ้นงานให้มีความสูงเป็น 2 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง มาจำนวน 5 ชิ้น ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ตามมาตรฐาน ASTM D 6109-97 [52] โดยมีลักษณะการทดสอบดังรูปที่ 3.8 และมีสถานะในการทดสอบ ดังนี้

- โหลดเซลล์ 5 kN.
- อัตราเร็วในการกด 25 mm/min



รูปที่ 3.8 ลักษณะการทดสอบสมบัติการโค้งงอ [52]

3.4.6.4 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นสามารถทดสอบโดยใช้วิธี Density gradient column ตามมาตรฐาน ASTM D 1505-85 [53] การตรวจสอบความหนาแน่นสารตัวอย่างสามารถทำได้ดังวิธีการต่อไปนี้ เตรียมสารละลายผสมระหว่างไดคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2) และไซลีน (Xylene) ในอัตราส่วน ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 อัตราส่วนของสารละลายผสมในแต่ละกระบอกตวง

หมายเลขสารละลาย	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CH_2Cl_2 (cm^3)	25	22	20	17	14	11	8	5	3	-
Xylene (cm^3)	-	3	5	8	11	14	17	20	22	25

ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวทำละลายทั้งสองผสมกัน แล้วเทตัวทำละลายเหล่านี้ลงในกระบอกตวงขนาด 250 cm^3 โดยเริ่มเทจากหมายเลข 1 การเทต้องให้ไหลผ่านแท่งแก้วและสัมผัสผิวด้านในของกระบอกตวง เมื่อเทครบ 10 หมายเลขแล้วใช้แท่งแก้วคน 1 ครั้งและปล่อยให้ของเหลวอยู่ในสมดุลที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นหย่อนเม็ดพลาสติกมาตรฐานที่ทราบความหนาแน่นลงในกระบอกตวงครั้งละ 1 เม็ด เม็ดพลาสติกจะลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ตามความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกนั้น ๆ วัดระดับความสูงของเม็ดพลาสติกที่ลอยอยู่จากด้านล่างของกระบอกตวงและสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นกับความสูง เมื่อได้กราฟมาตรฐานให้นำชิ้นตัวอย่างตัดให้มีขนาดพอสมควรและหย่อนลงในกระบอกตวงที่เตรียมไว้ วัดระดับความสูงที่พอลิเมอร์ตัวอย่างลอยอยู่และเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วหาความหนาแน่นของพอลิเมอร์ตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาวัดคุณสมบัติแทนไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene: MDPE) และเส้นใยไม้ยางพาราชนิดเชื่อมความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical pulp: TMP) ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาไว้ดังนี้

4.1 การศึกษาผลของเกรด MDPE

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) ที่ใช้ในการทดลองมี 2 เกรด คือ EL-Lene[®] M3204 RWP และ EL-Lene[®] M3804 RWP ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันเล็กน้อย (แสดงดังตารางที่ 3.1) โดย EL-Lene[®] M3804 RWP มีความหนาแน่น และ โมดูลัสโค้งงอสูงกว่า แต่มีความแข็งแรงกระแทกต่ำกว่า EL-Lene[®] M3204 RWP หรือกล่าวได้ว่าเมื่อนำ MDPE ทั้ง 2 เกรดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จะพบว่า EL-Lene[®] M3804 RWP จะมีความแข็งแรงมากกว่าแต่จะเปราะกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก EL-Lene[®] M3204 RWP ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาถึงสมบัติต่างๆ ของ MDPE ทั้ง 2 เกรด เพื่อเลือกนำไปใช้ในการทำวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต โดยการนำเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP ปริมาณ 40 phr (part per hundred of polymer) ผสมกับ MDPE ทั้ง 2 เกรด และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3204 RWP และ EL-Lene[®] M3804 RWP

Properties	Unit	EL-Lene [®] M3204 RWP	EL-Lene [®] M3804 RWP
Tensile strength	MPa	16.80	22.09
Elongation @ break	%	21.73	25.08
Modulus	MPa	255.87	288.76
Impact	kJ/m ²	5.61	5.27
Hardness	shore D	51.7	55.9
Flexural stress	MPa	24.74	30.69
Flexural modulus	MPa	886.34	1030.58

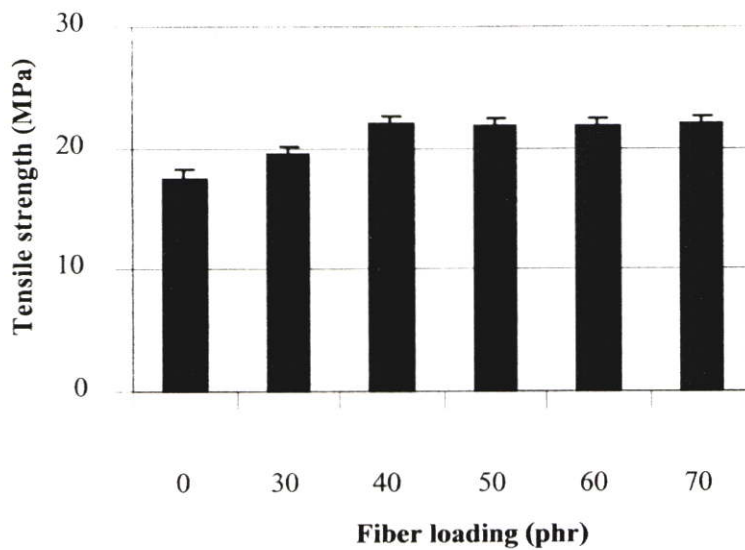
จากการทดลองพบว่า เมื่อผสมเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP กับ MDPE ทั้ง 2 เกรดแล้วจะทำให้สมบัติต่างๆลดลงจากเดิมทั้งหมด เนื่องจากเส้นใยไม้ยางพารามีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซี (-OH) เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว แต่ MDPE มีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งไม่มีขั้วจึงทำให้ความสามารถในการยึดระหว่างวัฏภาคระหว่างวัสดุทั้ง 2 ชนิดได้ไม่ดี กล่าวคือมีการยึดเกาะระหว่างวัฏภาค (Interfacial bonding) มีค่าต่ำ นอกจากนี้เส้นใยไม้ยางพาราทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม (Fillers) ทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์เมทริกซ์ (Matrix) ลดลงด้วย จึงเป็นผลทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆ ลดลง โดยเฉพาะความแข็งแรงที่จุดเสียหาย เช่น เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทก

เมื่อพิจารณาสมบัติต่างๆ ระหว่าง MDPE ทั้ง 2 เกรด เมื่อผสมเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP ปริมาณ 40 phr พบว่า EL-Lene[®] M3804 RWP ให้สมบัติต่างๆสูงกว่า EL-Lene[®] M3204 RWP เช่น ความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัส โค้งงอ ส่วนค่าความแข็งแรงกระแทก ความแข็งกด และ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ไม่แตกต่างกัน คาดว่าเนื่องจากเส้นใยที่ใส่เป็นชนิดและปริมาณเดียวกันดังนั้นสมบัติโดยรวมของวัสดุจึงขึ้นกับสมบัติของเมทริกซ์เป็นหลัก และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลของผลิตภัณฑ์ (Data sheet) พบว่า EL-Lene[®] M3804 RWP มีองศาความเป็นผลึกมากกว่าส่งผลให้ความหนาแน่นมากกว่า เป็นสาเหตุให้วัสดุมีอัตราส่วนของผลึกซึ่งเป็นบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากกว่า ทำให้วัสดุมีความสามารถในการรับแรงได้มากกว่า จากการทดลองนี้ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804 RWP เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไปในการทำการวิจัยวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต เนื่องจากในการใช้งานไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตต้องการความแข็งแรงของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัส โค้งงอ ซึ่ง EL-Lene[®] M3804 RWP มีค่าเหล่านี้สูงกว่า แม้ว่าค่าความแข็งแรงกระแทกจะต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ก็มีค่าที่สูง สำหรับงานวิจัยนี้คาดว่าจะใช้งานวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในรูปแบบ ไม้พื้น (Decking) ไม้กระดาน ไม้กรอบหน้าต่างหรือเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ซึ่งต้องการสมบัติเชิงกลด้านการต้านการ โค้งงอมากกว่าความแข็งแรงกระแทก

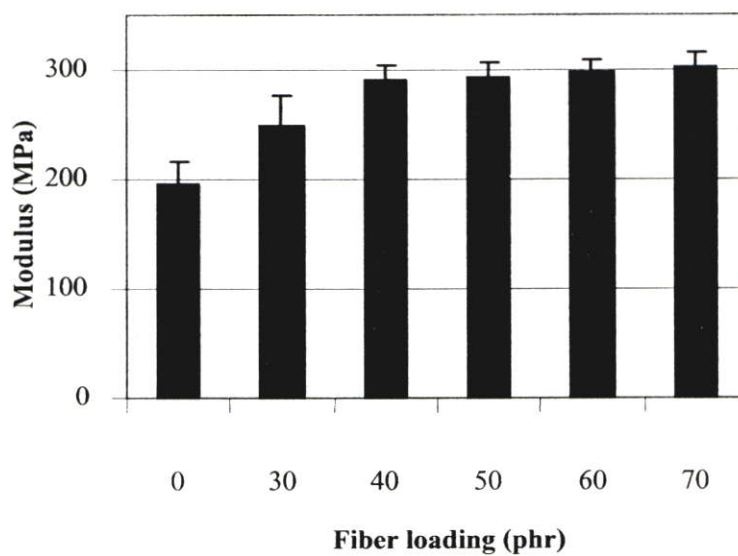
4.2 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา

ตอนต่อไปเป็นการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP ที่เหมาะสมที่สามารถเติมเข้าไปใน MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804 RWP โดยศึกษาปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราที่ 30 40 50 60 และ 70 phr ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่ ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดุลัส ความแข็งแรงกระแทก ความแข็งกด ความแข็งแรงโค้งงอ และ มอดุลัสโค้งงอ โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.7

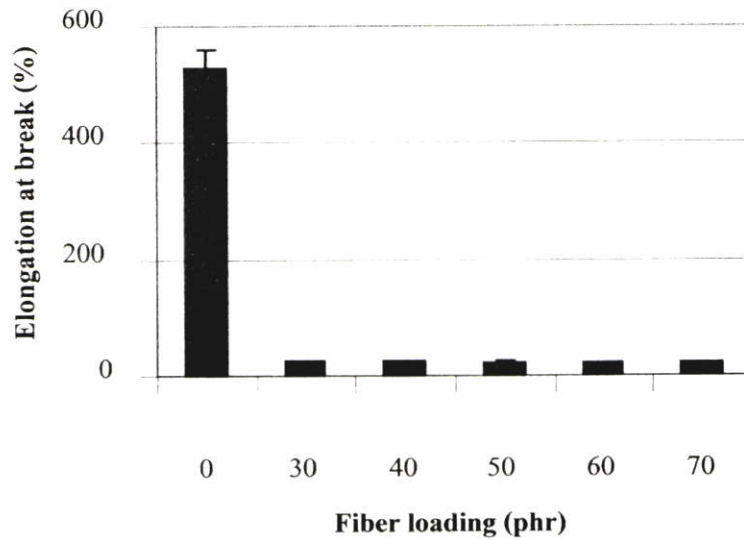
เมื่อพิจารณาสมบัติความแข็งแรงดึงและมอดุลัสกับปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP (รูปที่ 4.1-4.2) พบว่า ปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากฐานฐานวิทยาพบว่าเส้นใยมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างสูง (Aspect ratio: L/d) จึงคาดว่าเส้นใยชนิดนี้จะเป็นเส้นใยที่สามารถช่วยในการเสริมแรง จากกราฟพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะที่ 0 – 40 phr อย่างไรก็ตามเมื่อเส้นใยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีแนวโน้มคงที่ คาดว่าเนื่องจากเส้นใยมีความหนาแน่นรวมต่ำ ดังนั้นการใส่เส้นใยไม้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดความยากในการผสม เนื่องจากในงานวิจัยใช้เครื่องผสมในห้องปฏิบัติการซึ่งมีแรงเฉือนที่ต่ำทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่ดี เกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใย ซึ่งจะเป็นจุดริเริ่มของการเสียหาย ส่งผลให้เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสจึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก



รูปที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ

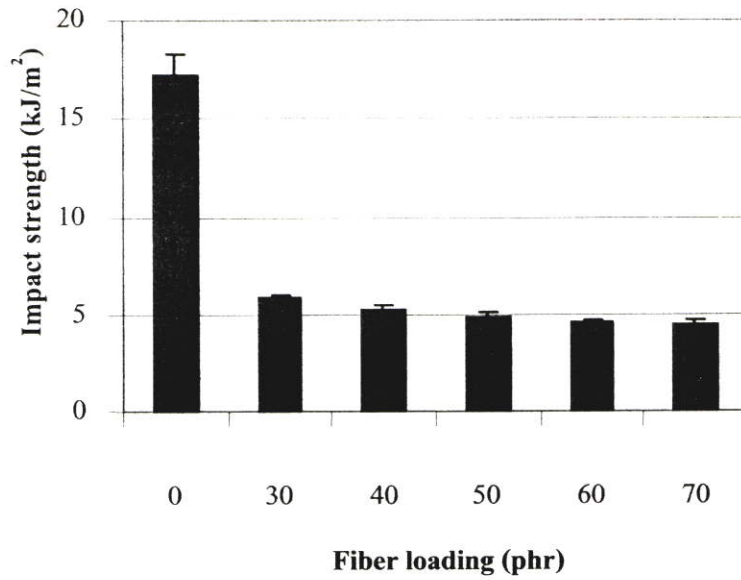


รูปที่ 4.2 ค่ามอดุลัสของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ

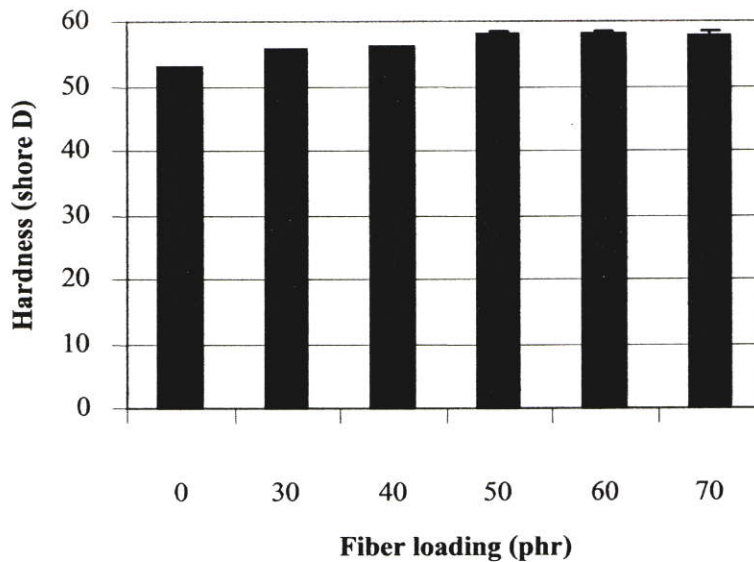


รูปที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ

MDPE เป็นพอลิเมอร์ที่เหนียวเมื่อทำการดึงยืดจะทำให้เกิดคอคออด (Neck) ขึ้น โดยความยาวของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการขาดออกจากกัน (Fracture) ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ของ MDPE ที่ไม่ใส่เส้นใยไม้ยางพารามีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้ยางพารา และพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ยางพารามากขึ้น พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าลดลง (รูปที่ 4.3) เนื่องจากเส้นใยเป็นส่วนที่มีความแข็งและเปลี่ยนรูปร่างยากกว่าพอลิเมอร์ เส้นใยจะแทรกตัวในเนื้อพอลิเมอร์ทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์ลดลง นอกจากนี้ความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ทำให้เกิดจุดบกพร่องบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิว (Interface) ของเส้นใยและพอลิเมอร์ ซึ่งจุดบกพร่องนี้จะเป็นจุดริเริ่มการขาดหรือแยกออกจากกันเมื่อได้รับแรงดึงยืด ทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลง



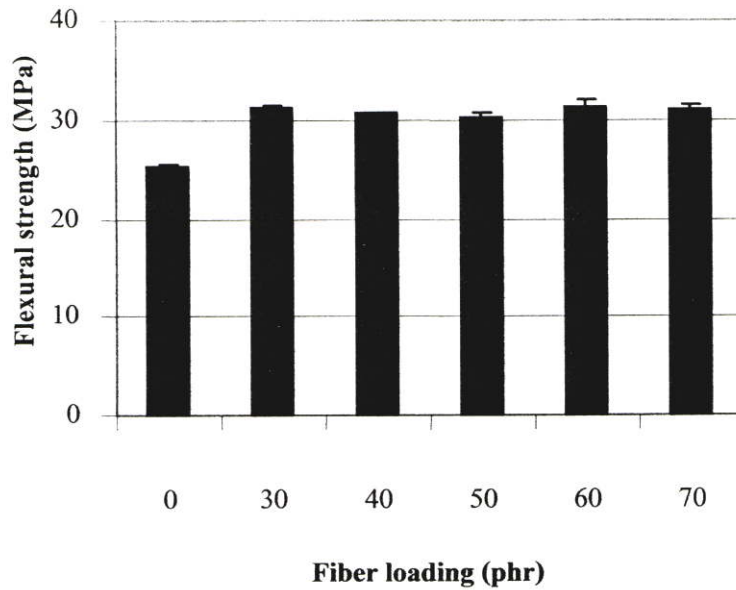
รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ



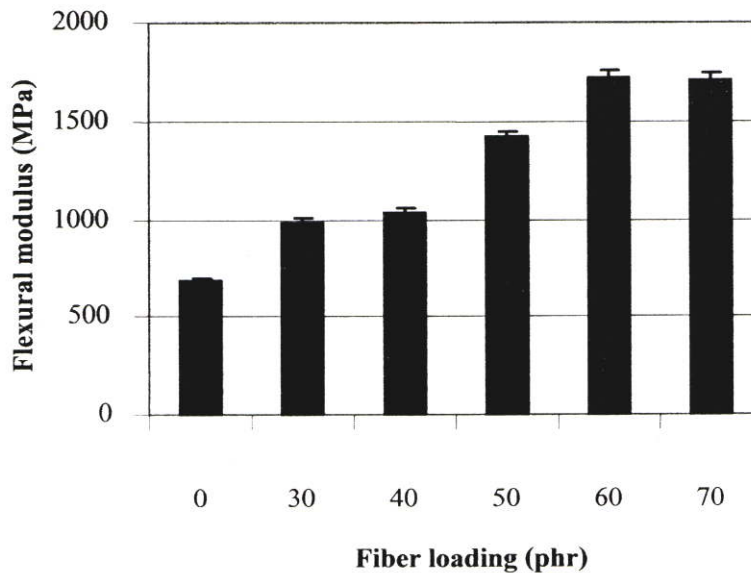
รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งกดของ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ

ค่าความแข็งแรงกระแทกเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.4) พบว่ามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเส้นใยและพอลิเมอร์มีความสามารถเข้ากันได้ไม่ดี เมื่อผสมกันแล้วจะเกิดรอยต่อระหว่างผิวของเส้นใยและพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน และเมื่อปริมาณเส้นใย

มากขึ้นจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจะมากขึ้นด้วยจึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงกระแทกลดลง ส่วนค่าความแข็งแรงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา (รูปที่ 4.5) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการวัดค่าความแข็งแรงเป็นการให้แรงกดบนผิวของวัสดุให้ยุบตัว (Indentation) แต่ไม่ทะลุ ดังนั้นปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงมากนัก



รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ



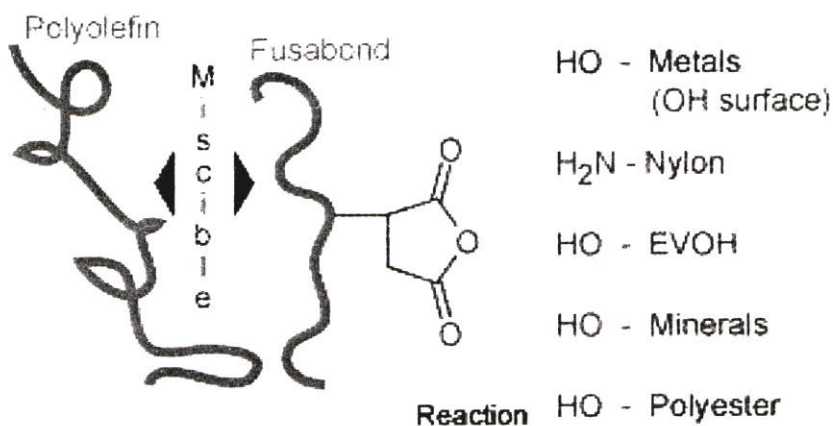
รูปที่ 4.7 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE เกรด EL-Lene® M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณต่างๆ

ค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดุลัสโค้งงอเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยพารา (รูปที่ 4.6-4.7) พบว่าค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยไม้อย่างพาราที่เติมลงไปทำหน้าที่เสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิต และแรงกดที่ให้อาจตั้งฉากกับการจัดเรียงตัวของเส้นใยทำให้เส้นใยสามารถรับและกระจายแรงที่มากระทำได้ ทำให้วัสดุคอมโพสิตรับแรงกดได้มาก และมอดุลัสโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุคอมโพสิต

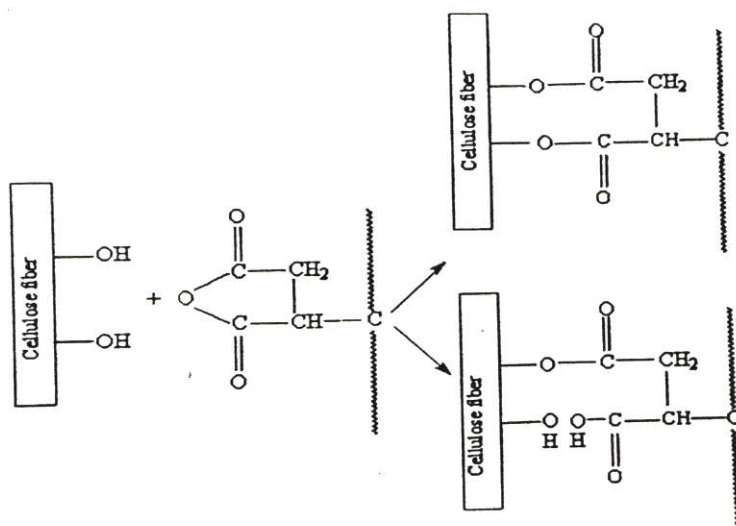
จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตเมื่อทำการเติมเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP ในปริมาณ 30 40 50 60 และ 70 phr พบว่า เส้นใยไม้อย่างพาราสามารถเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิตได้โดยส่งผลต่อสมบัติบางอย่างให้มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ MDPE ที่ไม่ได้ใส่เส้นใย เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอ และส่งผลให้สมบัติบางอย่างลดลง เช่น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงกระแทก เมื่อพิจารณาปริมาณเส้นใยไม้อย่างพาราเพื่อใช้ในการทำการวิจัยในขั้นต่อไป พบว่าปริมาณเส้นใยไม้อย่างพารา 40 phr เหมาะสมที่จะนำไปใช้ เนื่องจากให้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น และการใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณมากจะมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อย ยากต่อการผสมให้เกิดความเข้ากันระหว่าง MDPE กับเส้นใย อาจทำให้เส้นใยเกิดการเปื่อยได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลให้ลดลง

4.3 การศึกษาปริมาณของสารช่วยผสม มาเลอิกแอนด์ไฮดรอกซีไดไฮดรอกซีพอลิเอทิลีน

พอลิเมอร์ที่ในงานวิจัยนี้เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วเมื่อนำมาผสมกับเส้นใยซึ่งเป็นวัสดุที่มีขั้วทำให้เกิดการผสมเข้ากันได้ไม่ดี ระหว่างวัสดุทั้งสอง แต่สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการเติมสารที่เพิ่มสมบัติการเข้ากันได้คือสารช่วยผสม (Compatibilizer) ลงไป ซึ่งสารช่วยผสมจะช่วยให้เกิดการยึดติดระหว่างกันดีขึ้น โดยสารช่วยผสมจะมีปลายด้านหนึ่งเป็นส่วนที่มีขั้ว สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ของเส้นใยไม้ได้ และมีส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกับเมตริกซ์ที่ใช้ ทำให้สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ซึ่งลักษณะและกลไกของสารช่วยผสมที่ทำให้เกิดการยึดเกาะกันของเส้นใยและพอลิเมอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.8 – 4.9



รูปที่ 4.8 ส่วนต่างๆ ของสารช่วยผสมที่ช่วยให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่าง พอลิเมอร์และเส้นใย [54]

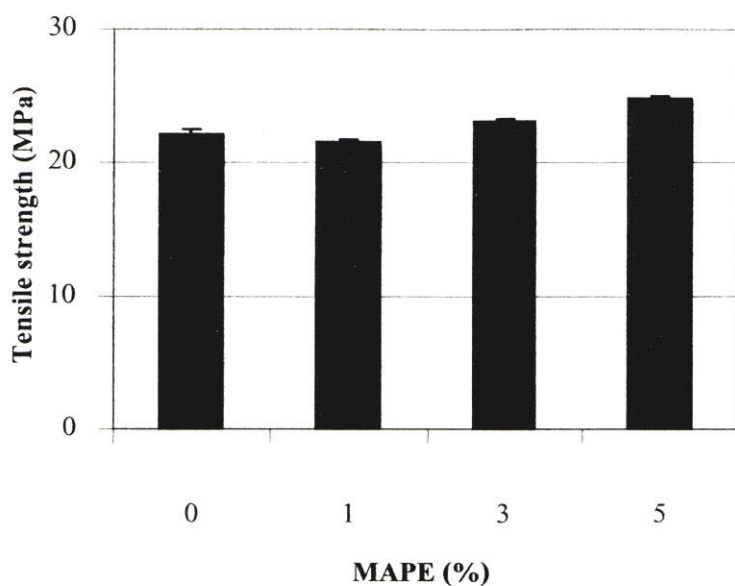


รูปที่ 4.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชัน ระหว่าง หมู่ไฮดรอกซี (-OH) ของ เส้นใยไม้ กับหมู่ แอนด์ไฮดรอยด์ (C₄H₃O₃) ของสารช่วยผสม MAPE [54]

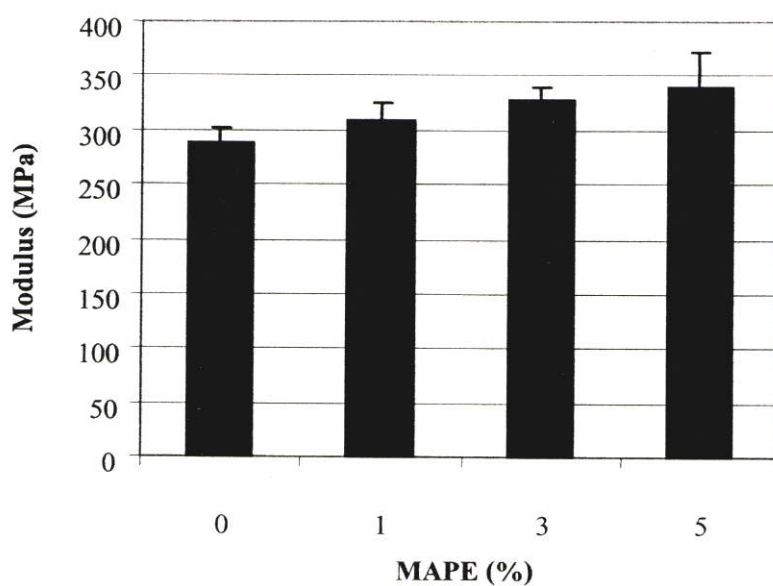
ในการทดลองนี้จะใช้ มาเลอิกแอนด์ไฮดรอยด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride graft polyethylene: MAPE) เกรด Fusabond[®] MB 226D เป็นสารช่วยผสม โดยศึกษาที่ปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยี่ห้อพาราซันิค TMP 40 phr และทำการเปรียบเทียบกับวัสดุคอมโพสิตที่ไม่ได้ผสมสารช่วยผสม โดยศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 – 4.16 พบว่า เมื่อใส่สารช่วยผสม MAPE สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจาก สารช่วยผสมสามารถช่วยให้เส้นใยและพอลิเมอร์เข้ากันได้ดีขึ้น มีความต่อเนื่องมากขึ้น และลดช่องว่างระหว่างพื้นผิวของเส้นใยและเมทริกซ์ ได้ ดังนั้นจึงทำให้สมบัติดังกล่าวเพิ่มขึ้น และพบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่า

มอดูลัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ MAPE เพิ่มขึ้น เนื่องจาก MAPE ที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสของ หมู่ฟังก์ชันที่จะทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เกิดการยึดเกาะกันมากขึ้น พื้นที่ว่างระหว่างพื้นผิวลดลง จึงทำให้สามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ผน จูคขาด และค่าความแข็งแรงกระแทกของไม้ พอลิเมอร์คอมโพสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารช่วยผสม MAPE พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสาร MAPE ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ผน จูคขาด และค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก MAPE เป็นสารช่วยให้เส้นใยพาราและ MDPE สามารถยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง วัสดุมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จึงทำให้การยึดลดลง แต่จะแตกหักง่ายขึ้นเมื่อ ได้รับแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงกดของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่ม ปริมาณสารช่วยผสม ค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดูลัสโค้งงอ เมื่อทำการเพิ่มปริมาณสารช่วย ผสม พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับเหตุผล ข้างต้น ในงานวิจัยนี้ความแข็งแรงโค้งงอและมอดูลัสโค้งงอจะมีความสำคัญต่อการนำไม้พอลิเมอร์ คอมโพสิตไปใช้งาน เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถรับแรงได้ในระดับ หนึ่งโดยไม่เกิดการแตกหัก

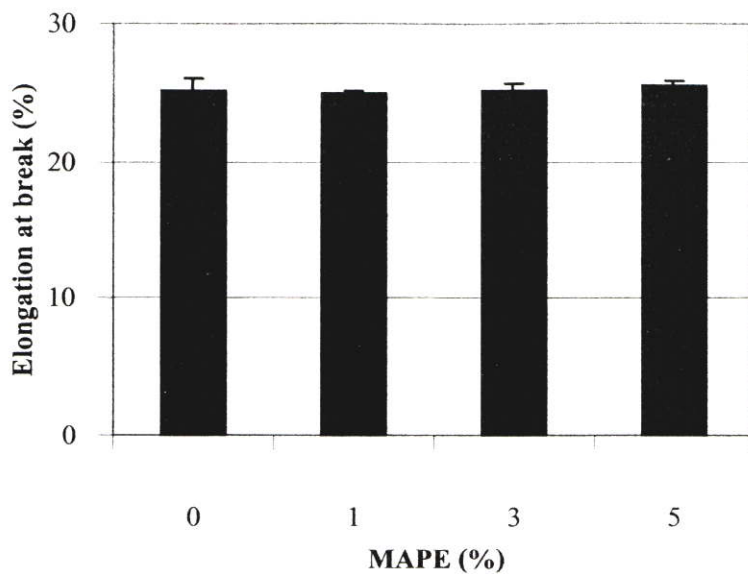
จากการศึกษาปริมาณสารช่วยผสม MAPE ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวิจัยขั้นต่อไปพบว่า MAPE ที่ปริมาณ 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยพารา เหมาะสมที่จะเลือกใช้ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากสารช่วยผสมเป็นสารที่ช่วยให้เส้นใยพาราและ MDPE สามารถเข้ากันได้ดีขึ้นทำให้ สมบัติของวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตดีขึ้น [28] [30] [31] [33] และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณทั้ง 3 แล้วพบว่า สมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ MAPE จาก 1% เป็น 3% มากกว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ MAPE จากปริมาณ 3% เป็น 5% หรือกล่าวได้ว่า สารช่วยผสมควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสมถ้าใส่ ในปริมาณที่มากเกินไปก็ไม่ได้ช่วยเพิ่มสมบัติให้ดีขึ้นมากนัก และจะเป็นการเพิ่มต้นทุนวัตถุดิบอีก ด้วย



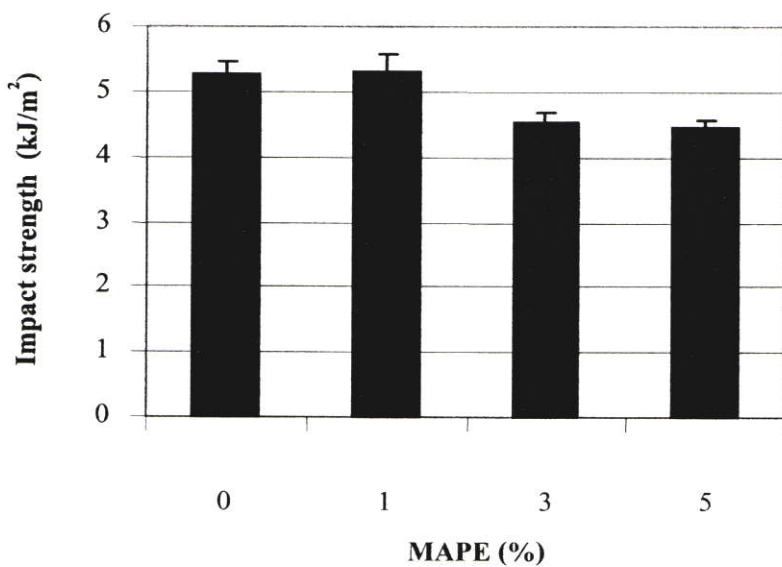
รูปที่ 4.10 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



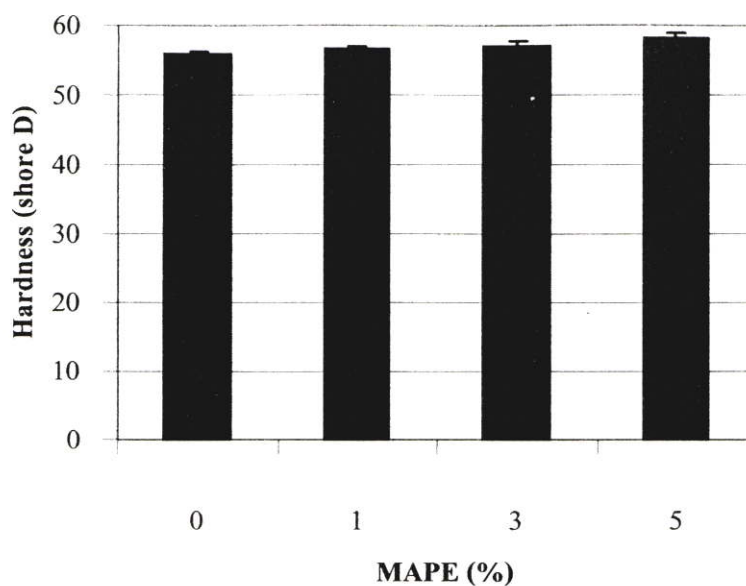
รูปที่ 4.11 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



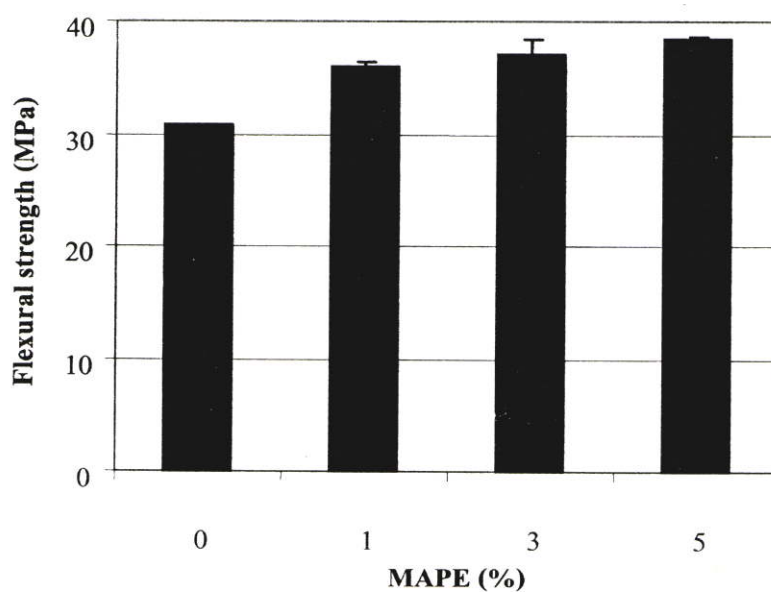
รูปที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของMDPEที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



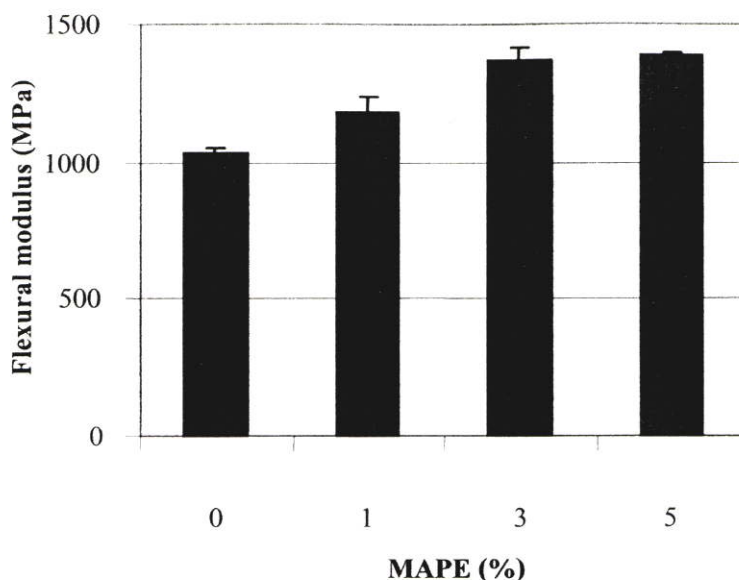
รูปที่ 4.13 ค่าความแข็งแรงกระแทกของMDPEที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



รูปที่ 4.14 ค่าความแข็งกดของMDPEที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



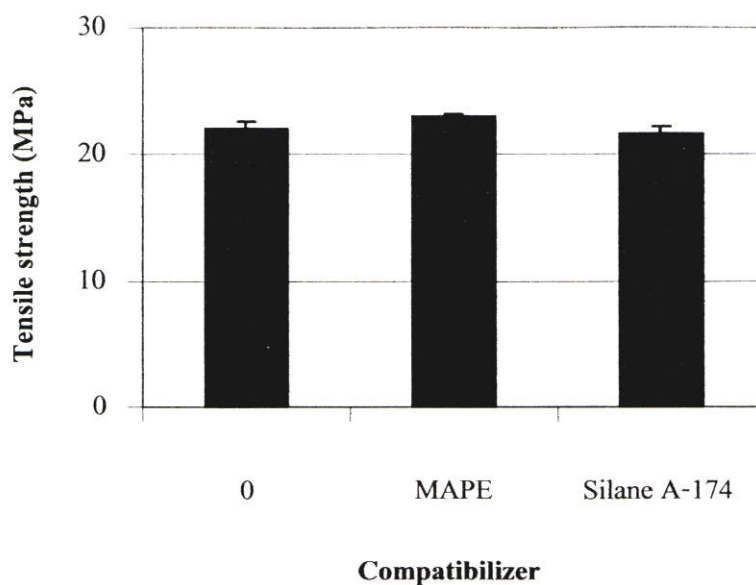
รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



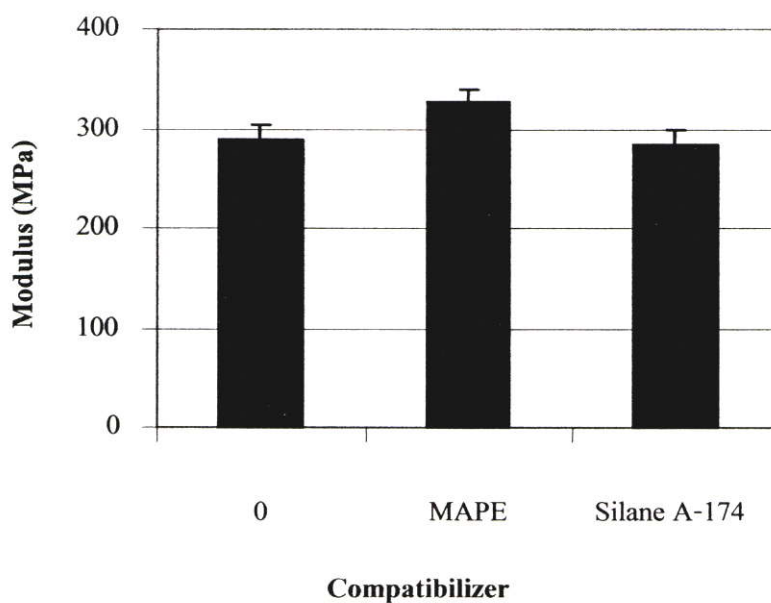
รูปที่ 4.16 ค่ามอดูลัสโค้งงอของMDPEที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr

4.4 การศึกษาชนิดของสารช่วยผสม

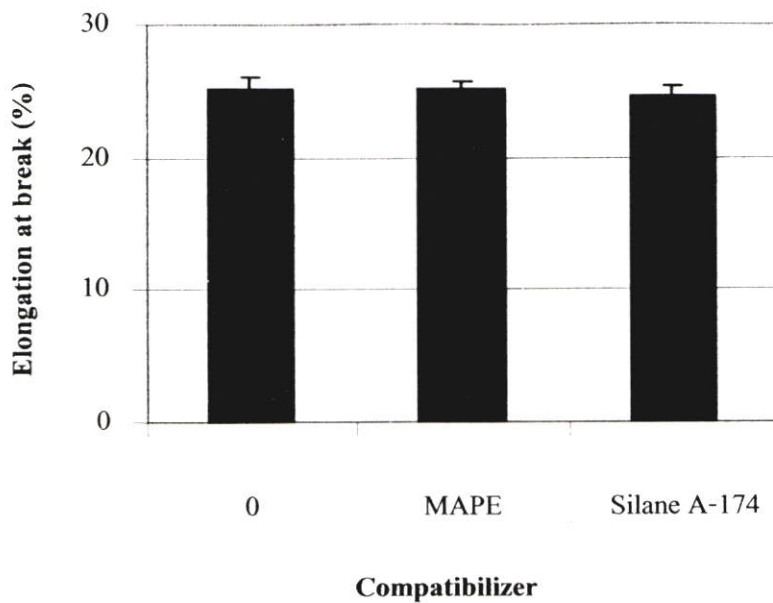
สารช่วยผสมที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับพอลิเมอร์และสารที่ต้องการผสมเข้าไปในพอลิเมอร์ ถ้าเลือกใช้ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง และไม่ช่วยให้เกิดการผสมเข้ากันได้อย่างที่ต้องการ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสารช่วยผสมที่เป็น มาเลอิกแอนด์ไฮดรอกซี กราฟท์พอลิเอทิลีน (MAPE) เกรด Fusabond[®] MB226D และ Silane coupling agent เกรด Silquest[®] A-174 silane โดยการทดลองนี้จะใช้ปริมาณสารช่วยผสมที่ 3% ของน้ำหนักเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และศึกษาเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ เพื่อเลือกสารช่วยผสมที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งผลการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 4.17 – 4.23 จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบชนิดของสารช่วยผสมระหว่าง MAPE และ silane ที่ปริมาณ 3% ของน้ำหนักเส้นใยไม้อย่างพารา พบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมของ MAPE ให้ค่าสูงกว่า silane เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอ นอกจากนั้นกระบวนการเตรียมสารช่วยผสมเพื่อใช้ในงานวิจัยของ MAPE ยังสะดวกและประหยัดเวลาในการเตรียมมากกว่า silane เนื่องจาก MAPE มีลักษณะเป็นเม็ดสามารถผสมรวมในขั้นตอนการผสมได้เลย แต่ silane มีลักษณะเป็นของเหลวจึงต้องเตรียมดังวิธีการเตรียมในบทที่ 3 ซึ่งทำได้ยากและใช้เวลานาน ดังนั้นในการศึกษาชนิดของสารช่วยผสมที่เหมาะสมเพื่อใช้ในงานวิจัยในขั้นตอนต่อไปคือ MAPE



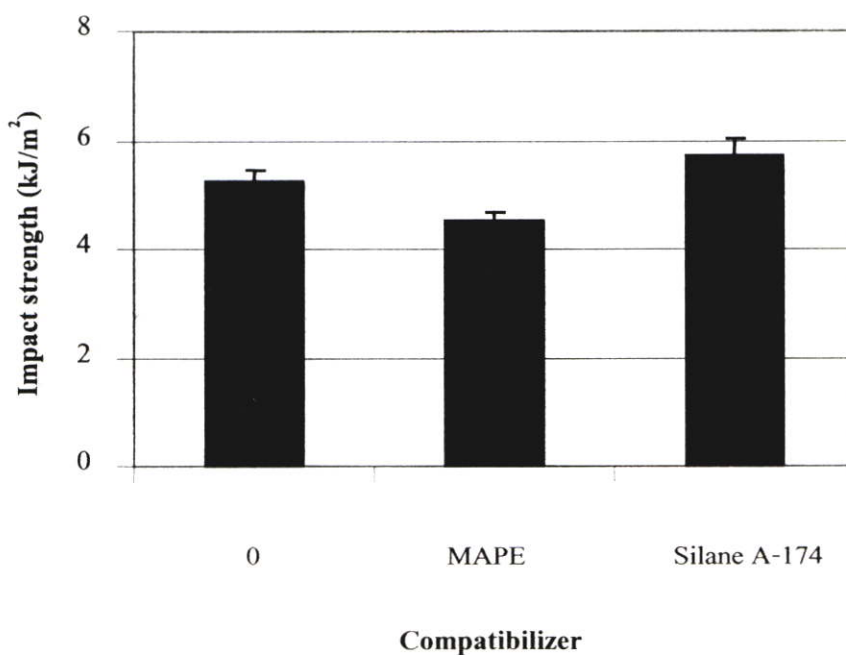
รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราซนิต TMP 40 phr



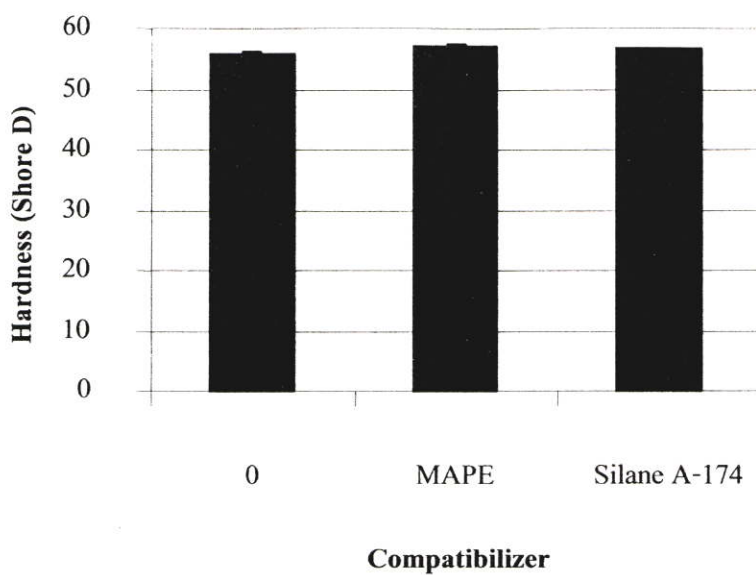
รูปที่ 4.18 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราซนิต TMP 40 phr



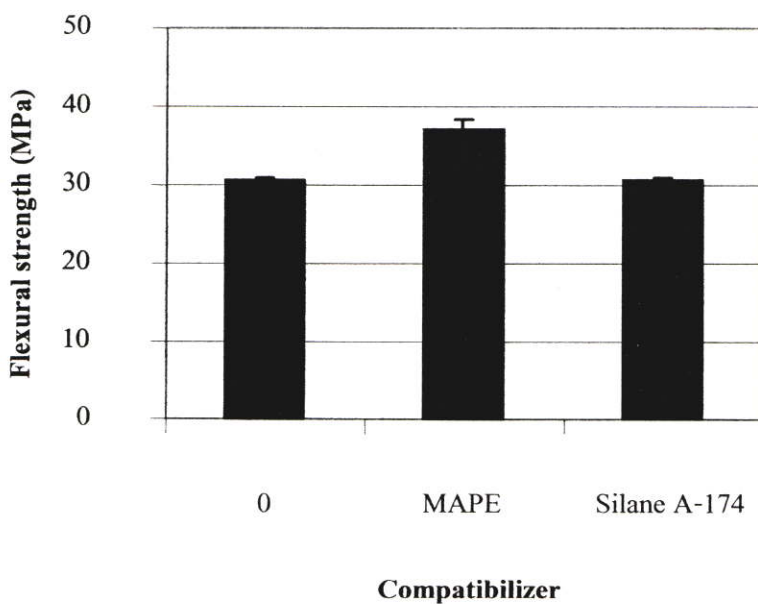
รูปที่ 4.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



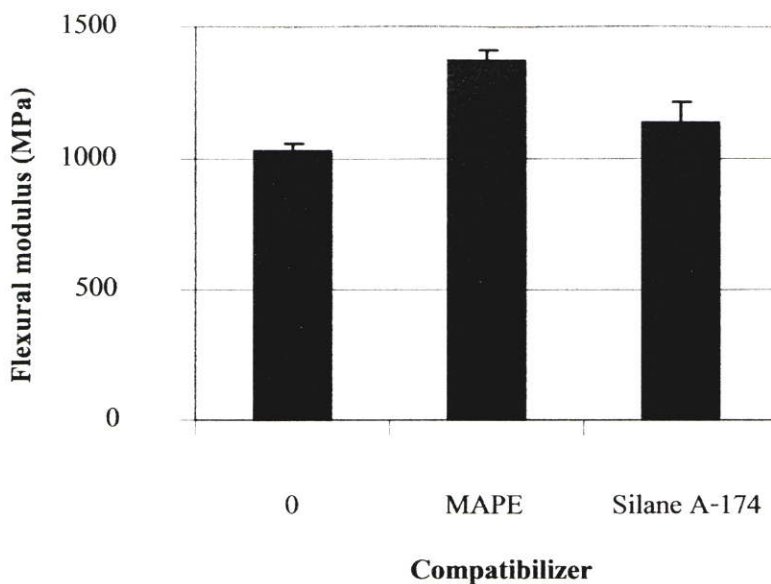
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



รูปที่ 4.21 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ ยางพาราชนิด TMP 40 phr



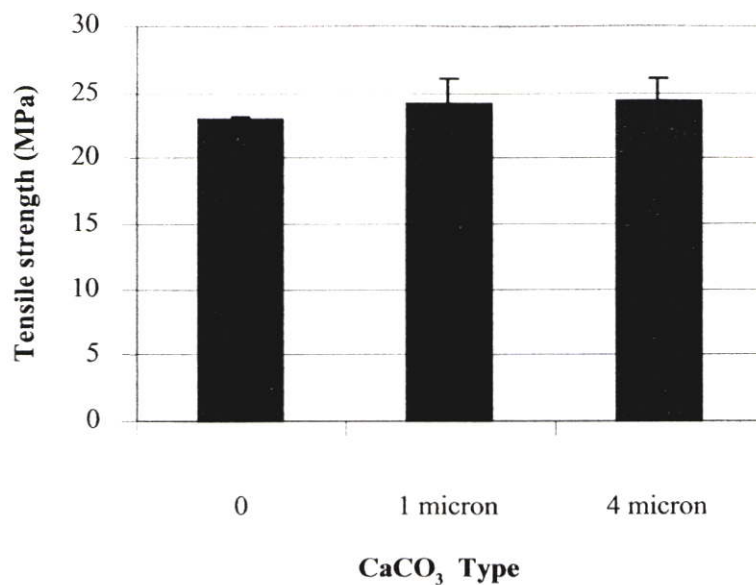
รูปที่ 4.22 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของ เส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr



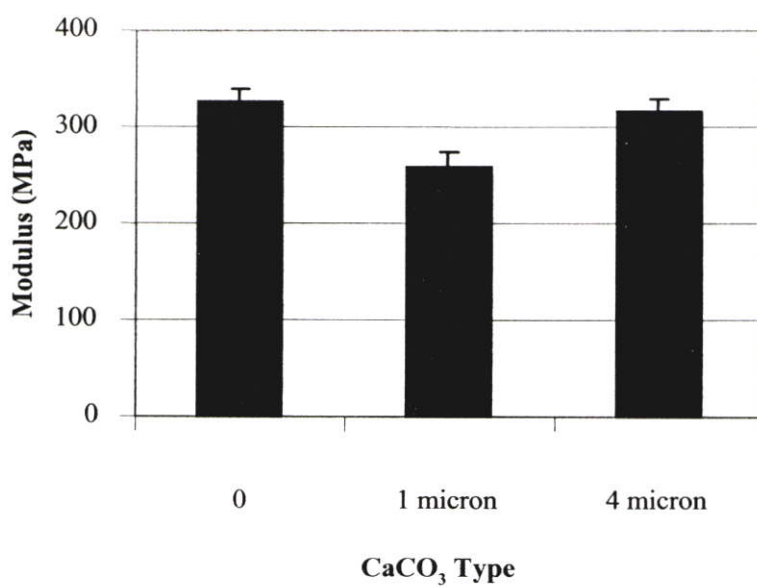
รูปที่ 4.23 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr

4.5 การศึกษาชนิดของสารตัวเติม แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

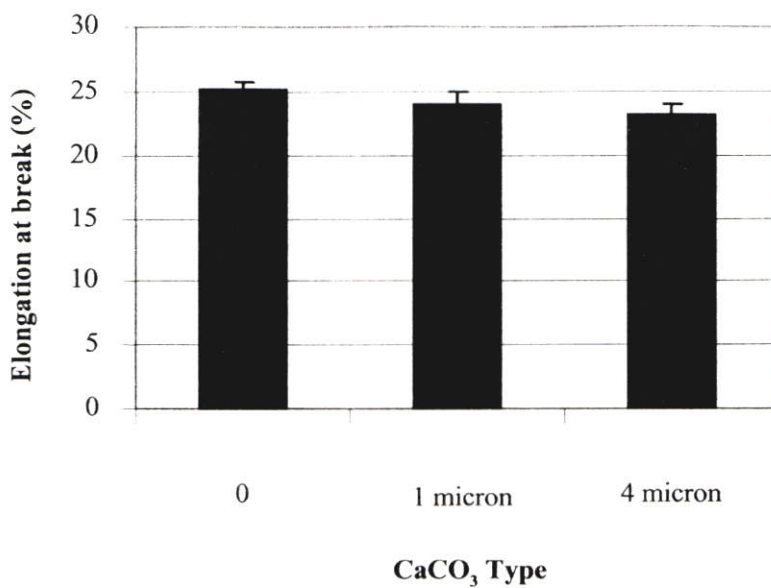
CaCO_3 จัดเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) นิยมนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า CaCO_3 ที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลือบสารช่วยกระจายตัวคือ กรดสเตียริก ปริมาณ 1 % จะทำให้เกิดการกระจายตัวในพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้ดี และลดการจับกันเป็นกลุ่มก้อน ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ CaCO_3 จากบริษัท ควอลิตี้ มิเนอร์ล จำกัด (มหาชน) โดยมี 2 เกรดคือ เกรดขนาดอนุภาค 1 ไมครอน และขนาดอนุภาค 4 ไมครอน ซึ่งทั้ง 2 เกรดนี้ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วย กรดสเตียริก 1 % ดังนั้นงานวิจัยส่วนนี้จะทำการศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคที่เหมาะสม โดยศึกษาที่ปริมาณ 20 phr ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ ดังรูปที่ 4.24 – 4.30 พบว่า CaCO_3 เพิ่มความแข็ง ความต้านทานการเสีรูป และ น้ำหนักให้แก่ชิ้นงาน จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าสมบัติส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน และพบว่า CaCO_3 เกรดขนาดอนุภาค 4 ไมครอน มีแนวโน้มให้ค่าสมบัติต่างๆ สูงกว่า อาจเนื่องจากความสามารถในการกระจายตัวที่ดีกว่าเกรดขนาดอนุภาค 1 ไมครอน ซึ่งมีโอกาสเกิดการจับรวมเป็นกลุ่มก้อนได้มากกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่า ดังนั้น CaCO_3 ขนาดอนุภาค 4 ไมครอนจึงเหมาะสมที่จะใช้ในงานวิจัยขั้นต่อไป



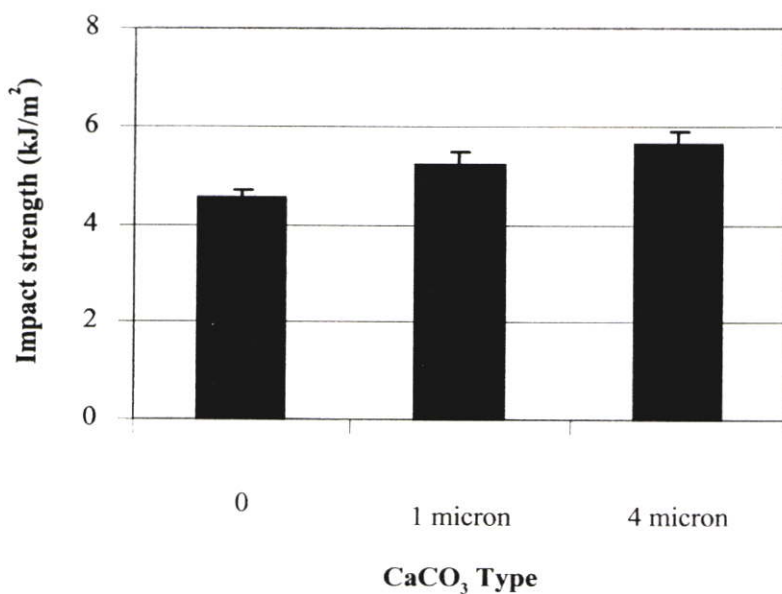
รูปที่ 4.24 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



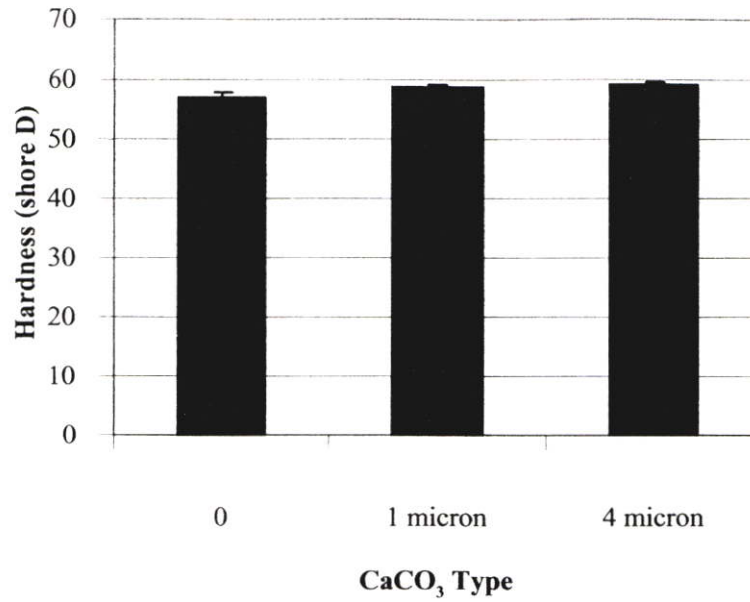
รูปที่ 4.25 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



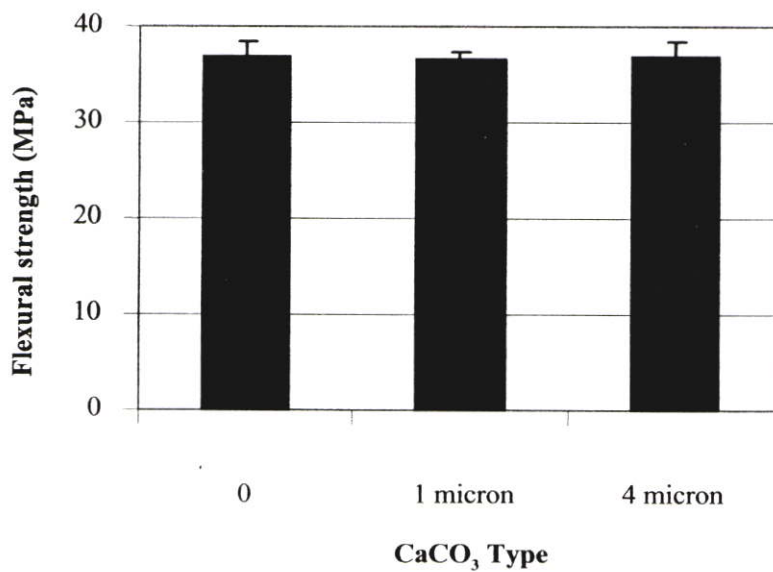
รูปที่ 4.26 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



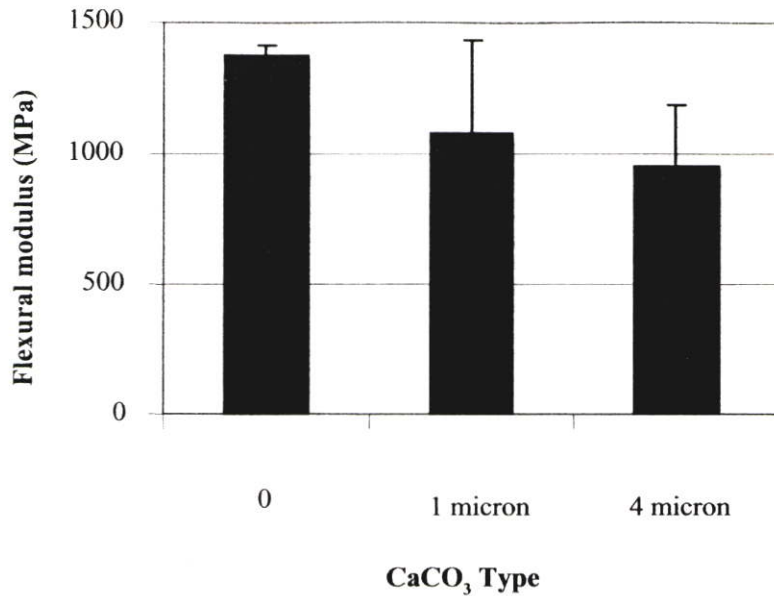
รูปที่ 4.27 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



รูปที่ 4.28 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่ MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



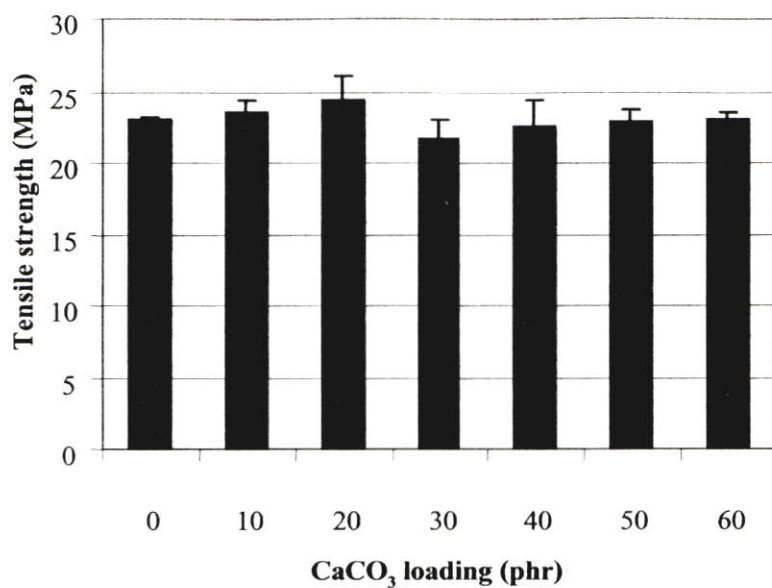
รูปที่ 4.29 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr



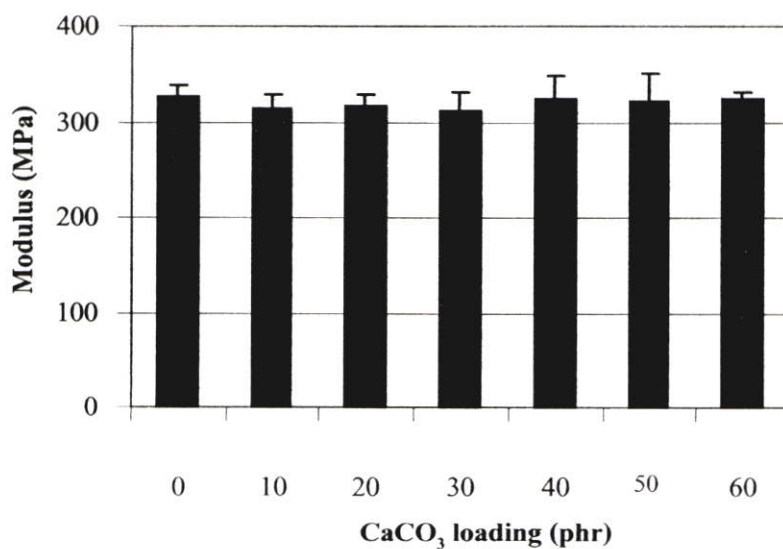
รูปที่ 4.30 ค่ามอดูลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO₃ 20 phr

4.6 ศึกษาปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃)

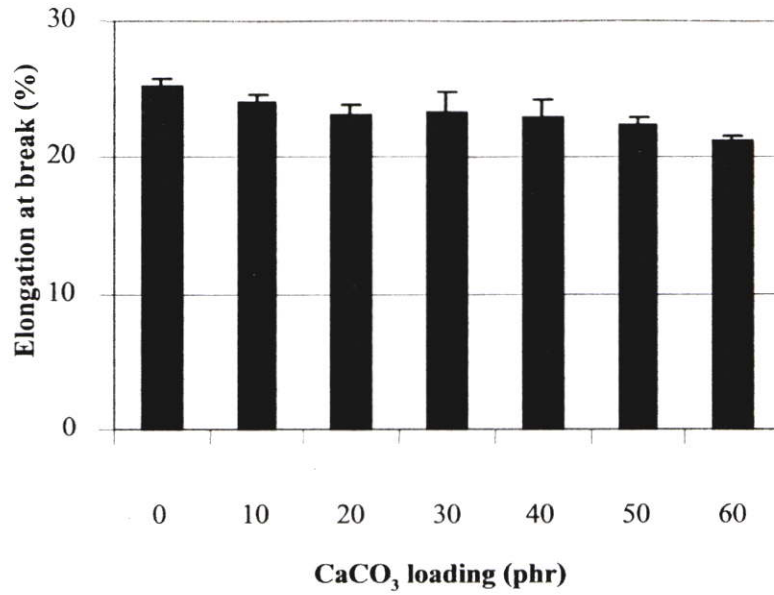
CaCO₃ นำมาใช้กับพลาสติกเพื่อลดต้นทุนในการผลิตและยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลบางอย่างให้ดีขึ้น เช่น มอดูลัส และความทนทานต่อแรงกระแทก นอกจากนั้น CaCO₃ ก็ช่วยปรับปรุงผิวของพลาสติก โดยทำให้พลาสติกมีความเงาหรือความมันเพิ่มขึ้น ความต้านทานไฟฟ้ายิ่งขึ้น ทนทานต่อแรงบีบอัด ควบคุมการหดตัวของพลาสติก ทำให้ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกทนทานต่อสภาพภูมิอากาศมากขึ้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาถึงปริมาณ CaCO₃ ที่เหมาะสมที่สามารถเติมลงในวัสดุคอมโพสิตได้โดยไม่ทำให้สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยศึกษาปริมาณ CaCO₃ ที่ 10 20 30 40 50 และ 60 phr ใช้ CaCO₃ เกรดขนาดอนุภาค 4 ไมครอน ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.31 – 4.37 พบว่า ปริมาณ CaCO₃ ที่เติมลงไปในวัสดุคอมโพสิต ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ใส่ CaCO₃ แต่ถ้าใส่ในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลได้ เนื่องจาก CaCO₃ ที่มากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์เมตริกซ์ไม่สามารถห่อหุ้มสารตัวเติมได้หมด ทำให้ความต่อเนื่องของเมตริกซ์ลดลง เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานทำให้สมบัติเชิงกลลดลง แต่จากการทดลองนี้พบว่า CaCO₃ ที่ปริมาณ 60 phr ยังให้สมบัติเชิงกลที่ไม่ต่ำกว่าสูตรที่ยังไม่ได้ใส่ CaCO₃ หมายความว่า วัสดุคอมโพสิตนี้สามารถใส่ CaCO₃ ได้มากถึง 60 phr โดยไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลมากนัก และยังสามารถลดต้นทุนได้อีกด้วย



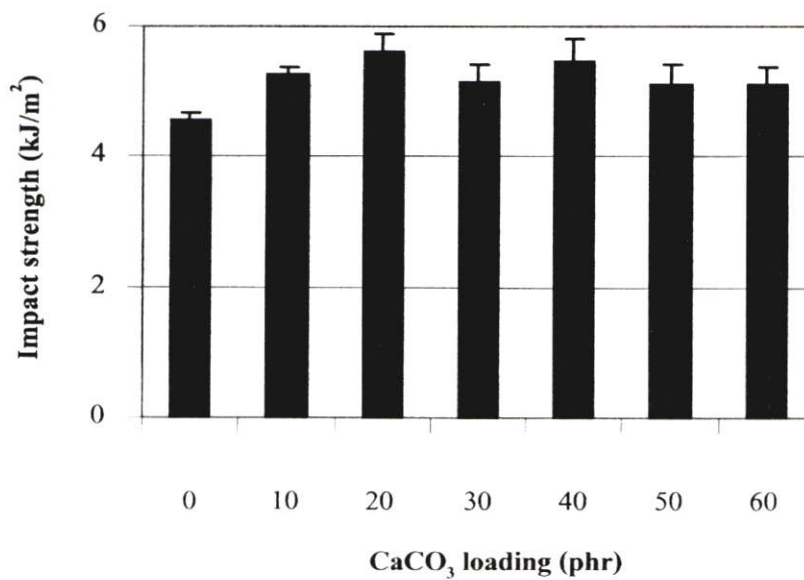
รูปที่ 4.31 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



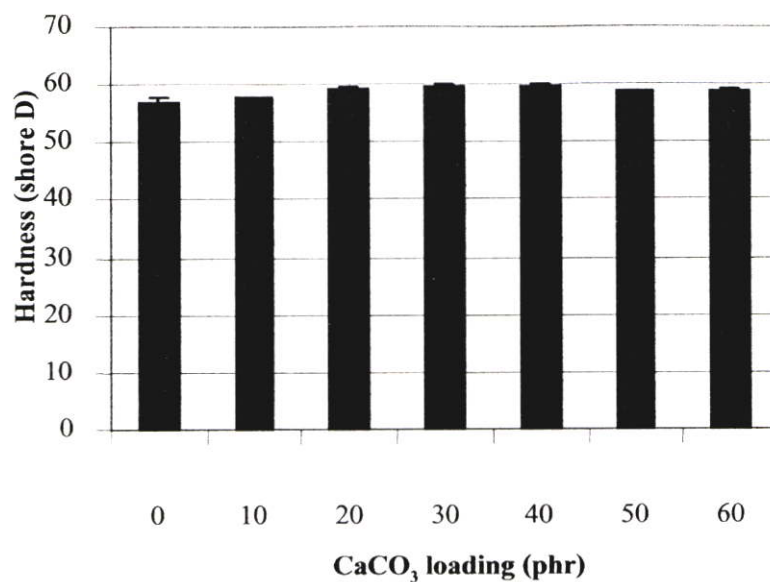
รูปที่ 4.32 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



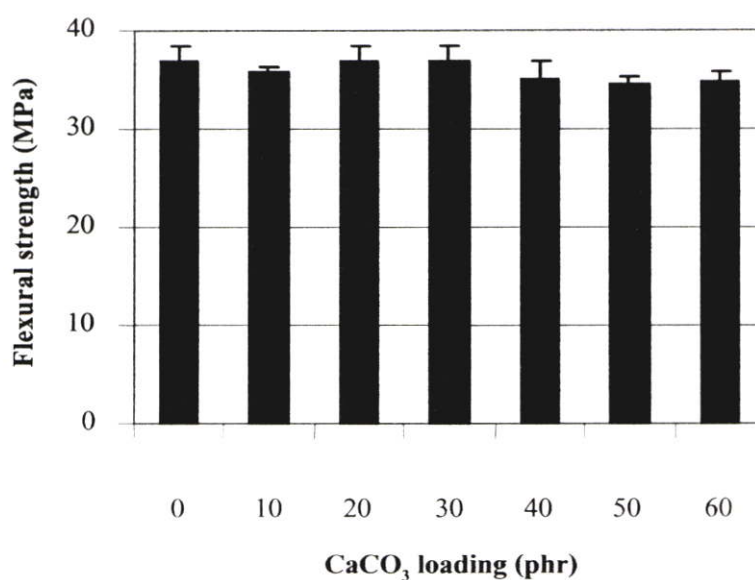
รูปที่ 4.33 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



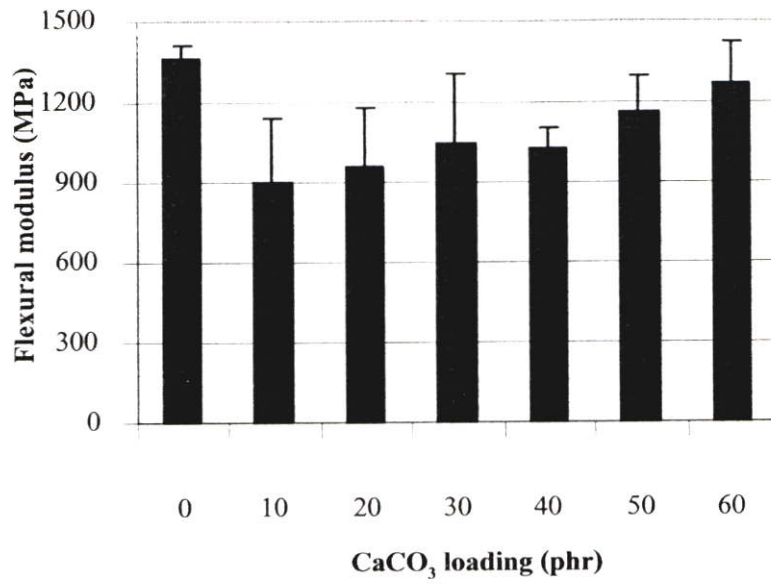
รูปที่ 4.34 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.35 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ

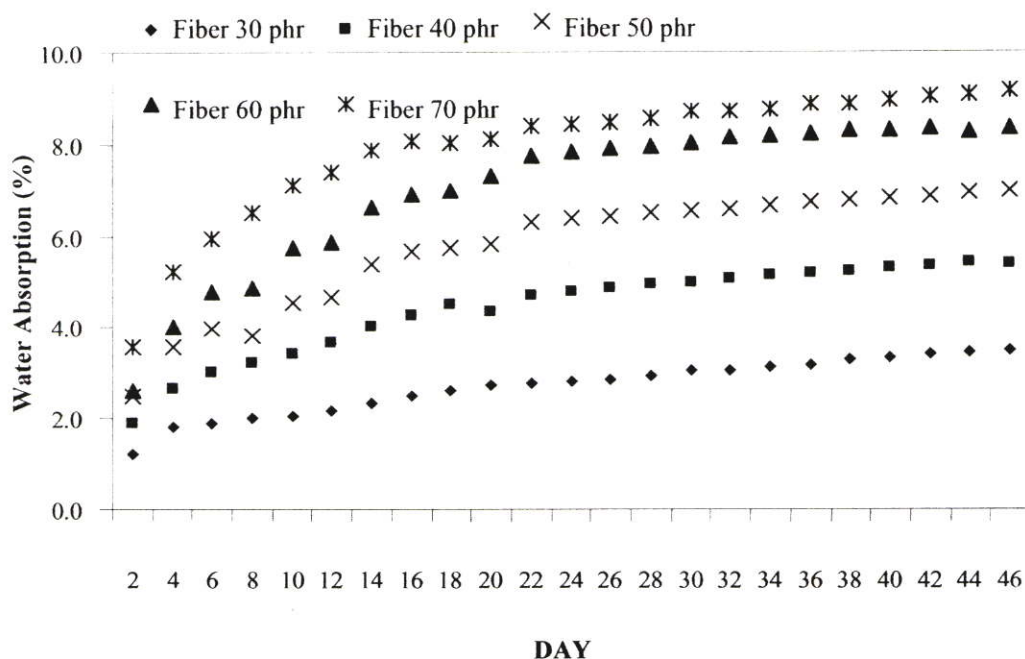


รูปที่ 4.36 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ



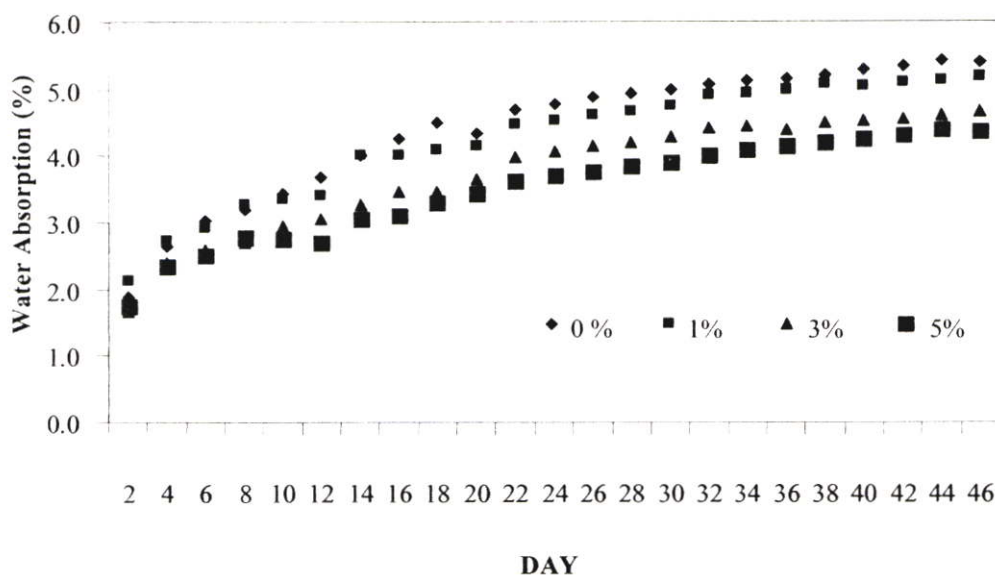
รูปที่ 4.37 ค่ามอดูลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO₃ ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ

4.7 เปรอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ



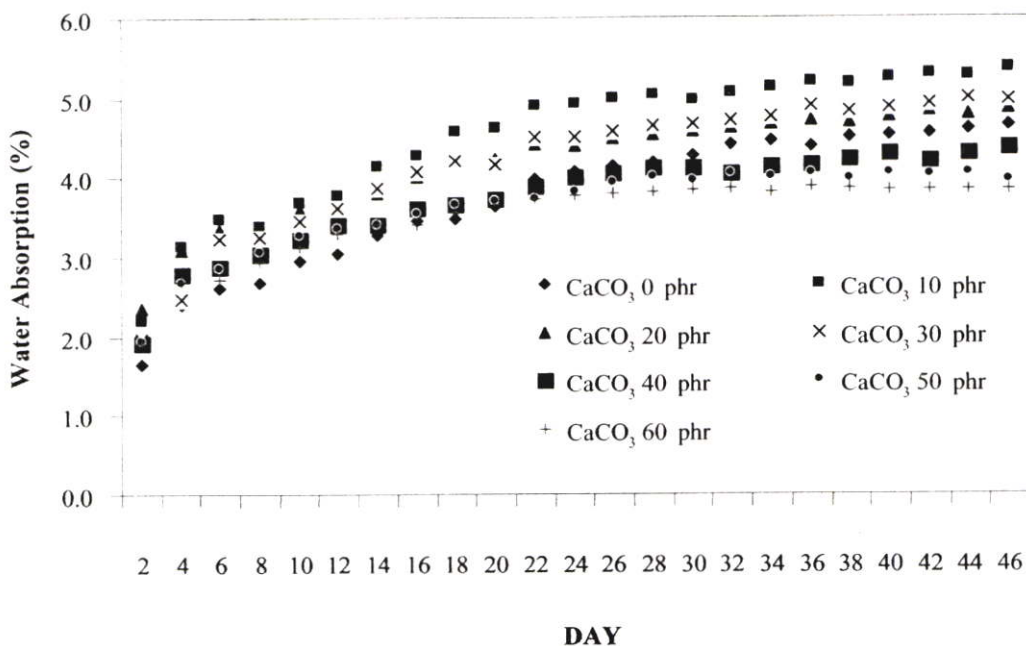
รูปที่ 4.38 เปรอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.38 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นใยเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากเส้นใยไม่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสซึ่งประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ซึ่งมีความเป็นขั้ว หมู่ไฮดรอกซีสามารถดูดซับน้ำได้ดีโดยเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ในวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้เกิดการดูดซับน้ำได้มากขึ้นด้วย แต่เมื่อเวลาผ่านไปการดูดซับน้ำจะมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากมีการดูดซับน้ำจนถึงจุดอิ่มตัวทำให้ไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก



รูปที่ 4.39 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของMDPEที่ใส่เส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณ 40 phr และ MAPE ในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.39 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณ 40 phr และสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณต่างๆ พบว่า MAPE สามารถช่วยให้การดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตลดลงเนื่องจาก MAPE เป็นสารช่วยผสมระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์และเส้นใยโดยด้านหนึ่งสามารถเข้ากับพอลิเมอร์ได้สัดส่วนอีกด้านหนึ่งจะเข้าจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของไม้ ทำให้ปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลลดลง นอกจากนี้ยังช่วยลดช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ ทำให้น้ำเข้าสู่ช่องว่างได้น้อยลง จึงมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตลดลง

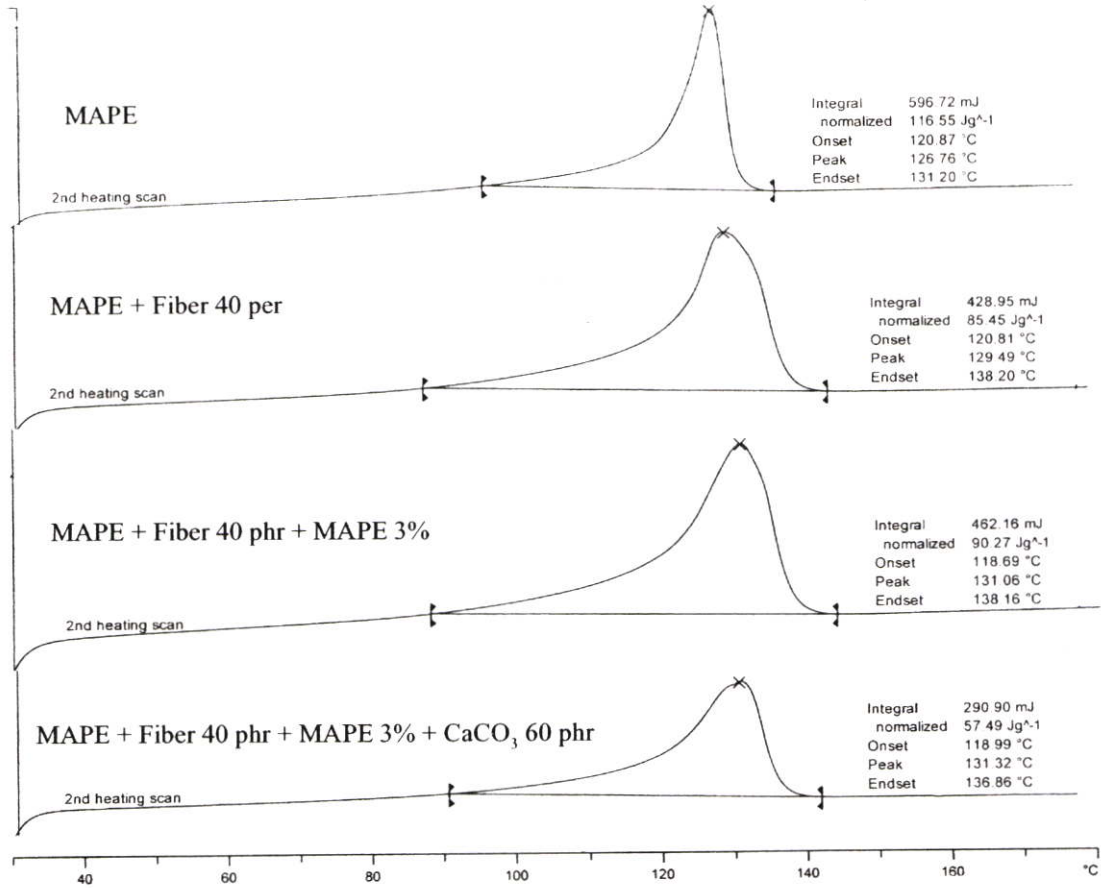


รูปที่ 4.40 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณ 40 phr MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพารา และ แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.40 แสดง เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณ 40 phr สารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพารา และ แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ พบว่าการดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้ปริมาณของเส้นใยไม้ซึ่งเป็นส่วนที่ดูดซับน้ำในวัสดุมีสัดส่วนที่ลดลง

4.8 ผลจากเครื่องทดสอบทางความร้อน DSC

การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC จะทำการศึกษาถึง อุณหภูมิหลอมผลึก (T_m) และองศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) ซึ่งแสดงดัง รูปที่ 4.41 และ ตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.41 ผลการทดสอบทางความร้อน DSC

ตารางที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิหลอมผลึกและองศาความเป็นผลึกของวัสดุคอมโพสิต

สูตร	T_m (°C)	%Crystallinity
MDPE	126.8	39.7
MDPE + Fiber 40 phr	129.5	40.7
MDPE + Fiber 40 phr + MAPE 3%	131.1	42.8
MDPE + Fiber 40 phr + MAPE 3% + CaCO ₃ 60 phr	131.3	38.8

อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิที่ทำให้ผลึกเกิดการหลอมเหลว โดยจะสัมพันธ์กับขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น เช่น ผลึกที่มีขนาดเล็กจะมีค่า T_m ต่ำ เป็นต้น จากการทดลองสมบัติทางความร้อนสามารถแสดงผลดังตารางที่ 4.2 พบว่า อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก นั่นคือเมื่อเติมเส้นใยไม้ยางพารา สารช่วยผสม MAPE และ สารตัวเติม CaCO_3 ไม่ส่งผลต่อขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาจาก T_m อาจกล่าวได้ว่า ขนาดของผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน ค่าองศาความเป็นผลึกซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของผลึกที่เกิดขึ้น จากตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อทำการเติมเส้นใยไม้ยางพารา สารช่วยผสม และ CaCO_3 ในไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ไม่ส่งผลต่อองศาความเป็นผลึกให้มีความเปลี่ยนแปลงมากนัก หรือกล่าวได้ว่าปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังใส่เส้นใยไม้ยางพารา สารช่วยผสม และ CaCO_3 มีปริมาณใกล้เคียงกัน

4.9 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

SEM เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุ ที่เตรียมได้จากการหักที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างแช่ในไนโตรเจนเหลว จากนั้นจึงทำการหักชิ้นงาน ในการทดลองนี้ จะทำการศึกษา SEM ของชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาปริมาณเส้นใยที่เหมาะสม ปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสม และปริมาณสารตัวเติมที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นสูตรผสมที่เลือกเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ซึ่งสามารถศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวเมื่อมีการเติมสารช่วยผสม MAPE และสารตัวเติม CaCO_3 โดยผลการศึกษา SEM แสดงดังรูปที่ 4.42 – 4.44

จากรูปที่ 4.42 แสดงภาพ SEM ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE และเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ภาพ (ก)) และ 1200 เท่า (ภาพ (ข)) ซึ่งจากภาพ (ก) การกระจายตัวของเส้นใยได้ดีในพอลิเมอร์ นอกจากนี้ยังพบช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการหลุดออกของเส้นใยจากพอลิเมอร์ ในขณะที่เตรียมตัวอย่างโดยการหักที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งช่องว่างนี้แสดงให้เห็นว่าเส้นใยกับพอลิเมอร์มีการยึดเกาะกันได้ดีไม่ดีและจากภาพ (ข) เมื่อทำการขยายที่ 1200 เท่า เพื่อศึกษาการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ พบว่า เกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interface) ของพอลิเมอร์กับเส้นใย ซึ่งช่องว่างนี้จะเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงาน โดยจะส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลให้ลดลง และเกิดการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.43 แสดงภาพ SEM ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และสารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 1200 เท่า (แสดงดังภาพ (ก) และ ภาพ (ข) ตามลำดับ) จากภาพ (ก) แสดงการกระจายตัวของเส้นใยที่ดี เมื่อเติมสารช่วยผสม MAPE แต่ยังพบช่องว่างกระจายอยู่ทั่วไป เนื่องจากหุ้มมาเล็ก ของสารช่วยผสมไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซีของเส้นใยได้หมด แต่เมื่อเพิ่มกำลังขยาย ดังภาพ (ข) พบว่าช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์และเส้นใย มีขนาดเล็กลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้นและการดูดซับน้ำลดลง

จากรูปที่ 4.44 แสดงภาพ SEM ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr สารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราและสารตัวเติม CaCO_3 60 phr ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 600 เท่า (แสดงดังภาพ (ก) ภาพ และภาพ (ข) ตามลำดับ) พบว่า CaCO_3 มีการกระจายตัวที่ดี มีอยู่ทั่วไปในพอลิเมอร์ การยึดเกาะกันระหว่างพอลิเมอร์กับ CaCO_3 ไม่ดีเท่าที่ควร และ CaCO_3 บางส่วนเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน แต่จากการศึกษาสมบัติเชิงกล การเติม CaCO_3 ในปริมาณ 60 phr ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก และไม่เพิ่มเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

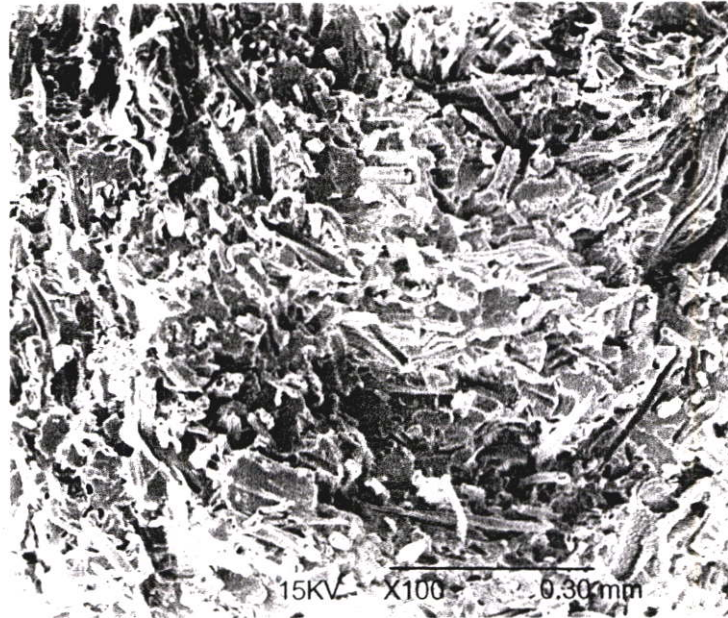


(ก) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า

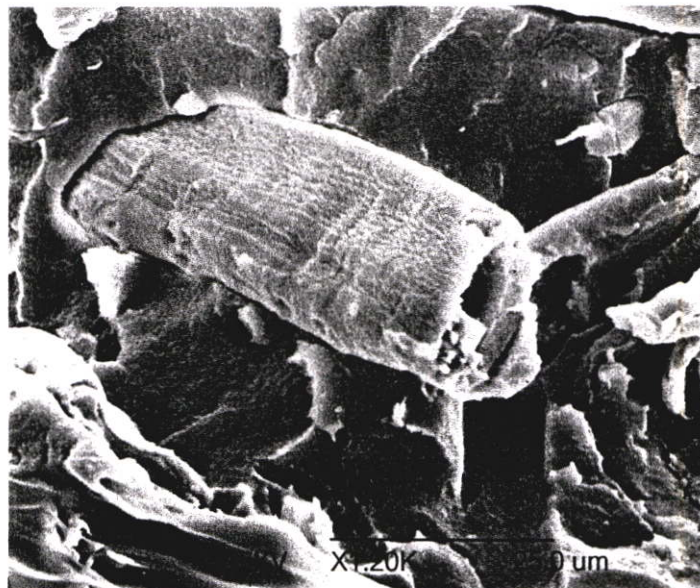


(ข) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 1200 เท่า

รูปที่ 4.42 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE และ เส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr



(ก) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า



(ข) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 1200 เท่า

รูปที่ 4.43 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และสารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพารา



(ก) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า



(ข) ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ขนาดกำลังขยาย 600 เท่า

รูปที่ 4.44 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr สารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา และ สารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ปริมาณ 60 phr

4.10 การศึกษาความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวก

ปลวกเป็นแมลงที่มีความสำคัญในแง่เศรษฐกิจมากโดยเป็นทั้งผู้สร้างและผู้ทำลายในระบบนิเวศน์ ปลวกเป็นแมลงที่ต้องการเซลลูโลสเป็นอาหารหลักในการดำรงชีวิต ซึ่งเซลลูโลสนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อไม้ ดังนั้นเราจึงพบปลวกเข้าทำความเสียหายอย่างรุนแรงให้แก่ไม้หรือโครงสร้างไม้ภายในอาคารบ้านเรือน รวมถึงเครื่องเรือน เครื่องใช้ต่างๆ ที่ทำมาจากไม้ และผลิตภัณฑ์อื่นๆที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกในสูตร MDPE เกรด EL-Lene® M3804RWP ปริมาณ 100 phr เส้นใยไม้อย่างพารา ปริมาณ 40 phr แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดขนาดอนุภาค 4 ไมครอน ปริมาณ 60 phr และ สารช่วยผสม MAPE ปริมาณ 3% ของเส้นใยไม้อย่างพารา ซึ่งเป็นสูตรที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต โดยวิธีการทดสอบได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 และหลักเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพในการทดสอบความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกต้องสามารถป้องกันให้อยู่ในเกณฑ์ ดี หรือ ดีมาก คือพบความเสียหายจากการเข้าทำลายของปลวกบนชิ้นงานทดสอบไม่เกิน 10% จึงถือว่าผ่านการทดสอบ

จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.45 พบว่าแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความเสียหายจากการทำลายของปลวก 0.5% ความเสียหายอยู่ในระดับ 1 คือ เสียหายน้อยกว่า 10% แสดงว่าสามารถทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกได้ดินได้ในเกณฑ์ ดี ในขณะที่ทริทเมนต์ควบคุม (ไม้อย่างพารา) มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายของปลวกสูงกว่า 10% มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง แต่ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต และทรีทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา)

ชนิดของวัสดุทดแทนไม้	ค่าเฉลี่ยความเสียหาย (%)	ระดับความเสียหาย
ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต	0.5	1
ทรีทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา)	12.5	2



รูปที่ 4.45 ลักษณะความเสียหายของแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตกับทรีทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา)

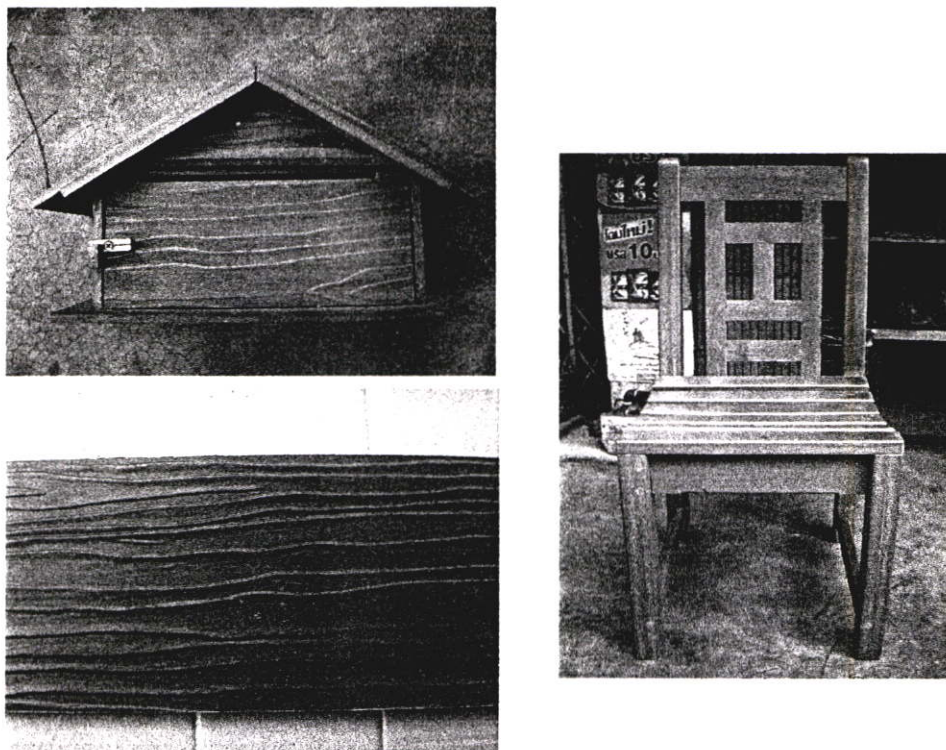
4.11 ศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากการขึ้นรูป

ในงานวิจัยนี้การขึ้นรูปตัวอย่างไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในการทดสอบสมบัติเชิงกล ในตอนแรกจะขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป เพื่อทดลองความเป็นไปได้ของผลงานวิจัยนี้ในการใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ที่สามารถผลิตได้ในเชิงพาณิชย์และสามารถใช้งานได้จริง จึงได้ขอความอนุเคราะห์ไปยัง บริษัท เบสท์ โพลิเมอร์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด เพื่อทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาดใหญ่ด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการขึ้นรูปได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำการขึ้นรูป มีขนาด 380*3000*25 mm และ 380*3000*10 mm แสดงได้ดังรูปที่ 4.46 โดยสูตรผสมที่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ได้เลือกจากผลการทดลองตอนที่ 4.1 – 4.9 สูตรที่ได้คือ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3804RWP ปริมาณ 100 phr เส้นใยไม้ยางพารา ปริมาณ 40 phr สารช่วยผสม MAPE 3%ของน้ำหนักเส้นใย และแคลเซียมคาร์บอเนต ขนาด 4 ไมครอน ปริมาณ 60 phr



รูปที่ 4.46 แผ่นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่น

หลังจากขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตแล้ว ได้นำมาเลื่อยตัดเป็นชิ้นๆ ส่วนหนึ่งนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ตามมาตรฐาน ASTM และอีกส่วนหนึ่งนำไปประกอบเป็นเฟอร์นิเจอร์ตัวอย่าง เพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้งานได้จริง ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เก้าอี้ ตู้จดหมาย ไม้แผ่น

ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตส่วนที่นำมาทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM สามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.4 จากนั้นนำสมบัติที่ทดสอบได้เปรียบเทียบกับไม้จริง และวัสดุทดแทนไม้อื่นๆ ที่มีจำหน่ายในประเทศ ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.4 สมบัติบางประการของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปในงานวิจัยนี้

สมบัติ	หน่วย	ค่าที่วัดได้	ASTM
ความแข็งแรงกดอัด	MPa	23.9	D 6108-97
ความต้านทานการถอน			D 6117-97
- ตะปู	N	483.4	
- สกรู	N	2254.6	
ความแข็งแรงโค้งงอ	MPa	67.7	D 6109-97
โมดูลัสโค้งงอ	MPa	5223.8	D 6109-97
ความหนาแน่น	g/cm ³	1.85	D 1505-58

ตารางที่ 4.5 สมบัติบางประการของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในงานวิจัยนี้กับ ไม้จริงบางชนิด

สมบัติ	หน่วย	ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากงานวิจัย	ไม้ยางพารา
ความแข็งแรงกดอัด	MPa	23.9	51.5
ความต้านทานการถอน			
- ตะปู	N	483.4	-
- สกรู	N	2254.6	-
ความแข็งแรงโค้งงอ	MPa	67.7	187.1
มอดุลัสโค้งงอ	MPa	5224	19663
ความหนาแน่น	g/cm ³	1.85	0.6-0.7

ตารางที่ 4.6 สมบัติของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในงานวิจัยนี้และวัสดุทดแทนไม้จำพวกไม้พลาสติกที่มีจำหน่ายในประเทศ

สมบัติ	หน่วย	ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากงานวิจัย	A	B
ความแข็งแรงกดอัด	MPa	23.9	9	41
ความต้านทานการถอน				
- ตะปู	N	483.4	1440	225
- สกรู	N	2254.6	1070	2894
ความแข็งแรงโค้งงอ	MPa	67.7	1	93
มอดุลัสโค้งงอ	MPa	5223.8	-	5486
ความหนาแน่น	g/cm ³	1.85	1.17	1.08

หมายเหตุ : A บริษัท วิ. พี. วัสดุ จำกัด

B บริษัท เบสท์โพลีเมอร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

จากตารางที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบสมบัติของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตกับ ไม้จริงที่มีขายและใช้งานในท้องตลาด พบว่า สมบัติของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตต่ำกว่า ไม้จริง ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการนำไปใช้งานแล้วอาจกล่าวได้ว่า ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถที่จะผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ได้ หรืออาจผลิตเป็นกรอบหน้าต่าง กรอบประตู ไม้ระแนง เป็นต้น แต่ไม่สามารถใช้ในส่วน of ไม้โครงสร้างซึ่งต้องรับแรงสูง เช่น กาน เสา เป็นต้น และจากตารางที่ 4.6

เป็นการเปรียบเทียบกับวัสดุทดแทนไม้ที่มีจำหน่ายในประเทศ ซึ่งโดยมากจะผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์กรอบประตู หน้าต่าง เป็นต้น สมบัติต่างๆของวัสดุทดแทนไม้ของแต่ละบริษัทมีความแตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้มีความแตกต่างกัน เช่น พอลิเมอร์ที่ใช้ ชนิดของเส้นใย และสารเติมแต่งอื่นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่วัดได้ ทำให้วัสดุทดแทนไม้ของแต่ละบริษัทมีจุดเด่นในผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

4.12 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis)

การวิเคราะห์ต้นทุนเป็นการแจกแจงถึงค่าใช้จ่ายต่างๆในการผลิตวัสดุหนึ่งๆ เพื่อใช้ในการประมาณราคาสินค้าเพื่อขาย และใช้เปรียบเทียบราคากับวัสดุที่ต้องการแข่งขัน ซึ่งการวิเคราะห์ต้นทุนในงานวิจัยนี้จะแยกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบ โดยวิเคราะห์ที่เทียบที่น้ำหนักของวัตถุดิบ 1 กิโลกรัม และ 2. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต โดยวิเคราะห์ที่เทียบกับการผลิตวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตใน 1 รอบการผลิต ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 -4.8

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต 1 กิโลกรัม

รายการ	ปริมาณที่ใช้ (g)	ราคาต่อหน่วย ^a	คิดเป็นเงิน (บาท)
1. MDPE	505	50 บาท/ กก.	20.20
2. เส้นใยไม้อย่างพารา	200	5 บาท/ กก. ^b	2.00
3. CaCO ₃	300	4 บาท/ กก.	3.00
4. MAPE	6	270 บาท/ กก.	1.62
5. Antioxidant	1.2	300 บาท/ กก.	0.60
รวมราคาค่าต้นทุนวัตถุดิบของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต 1 กิโลกรัม			27.42

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต

รายการ	ปริมาณที่ใช้	ราคาต่อหน่วย ^a	คิดเป็นเงิน (บาท)
1. วัตถุดิบ	100 กิโลกรัม	27.50 บาท/ กก.	2750.00
2. ค่าแรง	2.5 ชั่วโมง	180 บาท/ วัน ^c	56.25
3. ค่าไฟฟ้า	10 unit	2.5 บาท/ unit	25.00
4. เบ็ดเตล็ด	-	-	10.00
รวมราคาค่าต้นทุนการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ใน 1 รอบการผลิต (100 กิโลกรัม) ^d			2841.25
ราคาค่าต้นทุนการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต 1 กิโลกรัม			28.41

หมายเหตุ : ^a เป็นราคาโดยประมาณเดือน มีนาคม พ.ศ. 2549

- ^b ค่าแรงและค่าไฟในการผลิตเส้นใยไม้ยางพารา
- ^c ค่าแรงขั้นต่ำเขตกรุงเทพและปริมณฑล
- ^d ราคานี้ไม่รวมต้นทุนเครื่องจักร และ ค่าเสื่อมราคา

จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าต้นทุนการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีราคาประมาณ 28 บาทต่อกิโลกรัม โดยราคาที่ได้เป็นราคาที่เกิดขึ้นจากการทำการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งถ้ามีการผลิตจริงจะทำให้ราคาต้นทุนการผลิตลดลง เนื่องจากปริมาณที่ผลิตได้จะมีปริมาณมากกว่าที่ได้จากการทดลอง

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) และเส้นใยไม้ยางพารา โดยแยกการทดลองเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการศึกษาเพื่อหาสูตรผสมไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เหมาะสมและมีโอกาสที่จะสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตได้ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะทำการผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว จากนั้นนำไปบดแล้วทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป ชิ้นงานที่ได้จะนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การดูดซับน้ำ และสถานะทางวิทยา จากนั้นจะสรุปผลการทดลองที่ได้เป็นสูตรเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเป็นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ตอนที่ 2 เป็นการขึ้นรูปและศึกษาสมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต การขึ้นรูปสามารถทำได้โดยการนำสารตั้งต้นต่างๆ ผสมในเครื่องผสมแบบปิด จากนั้นรีดเป็นแผ่นด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งและขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป จากนั้นศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้โดยทำการทดสอบ สมบัติการรับแรงกดอัด ความแข็งแรงโค้งงอ มอดูลัสโค้งงอและการต้านการถลอกและสึกกร่อน นอกจากนี้จะทำการแปรรูปไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้เป็นเฟอร์นิเจอร์ เพื่อเป็นตัวอย่างการใช้งานได้จริง

จากงานวิจัยนี้พบว่าสูตรผสมของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากตอนที่ 1 สามารถนำไปขึ้นรูปได้จริงและมีสมบัติโดยรวมที่ดีแต่ยังไม่สามารถเทียบเท่ากับไม้จริงได้ ตัวอย่างไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่แปรรูปได้คือ เก้าอี้ ซึ่งจากการทดลองใช้งานพบว่าสามารถใช้งานได้ดี ไม่เกิดการงอหรือแตกหัก นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเป็นไม้ฝา กรอบหน้าต่าง และอื่นๆได้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลของชนิดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง เกรด EL-Lene[®] M3204 และ EL-Lene[®] M3804 (เส้นใยไม้ยางพารา 40 phr)
 - 1.1 สมบัติโดยรวมของวัสดุคอมโพสิตจะขึ้นกับสมบัติของเมทริกซ์เป็นหลัก เนื่องจากใส่เส้นใยในปริมาณที่เท่ากัน
 - 1.2 EL-Lene[®] M3804 ให้สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง มอดูลัส ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอ มีค่าสูงกว่า ส่วนค่า ความแข็งแรงกระแทก ความแข็งกด และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดไม่แตกต่างกัน
 - 1.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางที่เหมาะสมคือ เกรด EL-Lene[®] M384

2. ผลของปริมาณเส้นใยไม้อย่างพารา

- 2.1 เส้นใยไม้อย่างพาราส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมี ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส เพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทก ลดลง
- 2.2 ปริมาณเส้นใยไม้อย่างพาราที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลมากนัก โดยมีแนวโน้มคงที่
- 2.3 ปริมาณเส้นใยไม้อย่างพาราที่เพิ่มขึ้น ทำให้ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตดูดซับน้ำได้มากขึ้น
- 2.4 เส้นใยไม้อย่างพาราไม่ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อน โดยค่า อุณหภูมิหลอมผลึก และ องศาความเป็นผลึกไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
- 2.5 เส้นใยไม้อย่างพารามีการยึดติดกับเมตริกซ์ไม่ดีเท่าที่ควร
- 2.6 ปริมาณเส้นใยไม้อย่างพาราที่เหมาะสมคือ 40 phr

3. ผลของปริมาณสารช่วยผสม (MAPE)

- 3.1 สารช่วยผสมช่วยทำให้สมบัติเชิงกลของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารช่วยผสมทำให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยไม้และเมตริกซ์ ดีขึ้น
- 3.2 เมื่อสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่น ความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัส โค้งงอ
- 3.3 สารช่วยผสมช่วยทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง
- 3.4 สารช่วยผสมไม่ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อน โดยค่า อุณหภูมิหลอมผลึก และองศา ความเป็นผลึกไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
- 3.5 ปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมคือ 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา

4. ผลของชนิดของสารช่วยผสม (MAPE และ Silane ที่ปริมาณ 3%)

- 4.1 MAPE ช่วยทำให้ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัส โค้งงอ สูงกว่า Silane
- 4.2 MAPE สะดวกต่อการนำมาใช้งานมากกว่า Silane

5. ผลของชนิดของสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (เกรดขนาดอนุภาค 1 และ 4 ไมครอน ที่ ปริมาณ 20 phr)

- 5.1 แคลเซียมคาร์บอเนตช่วยเพิ่มความแข็ง ความต้านทานการเสีรูปล และน้ำหนักให้แก่ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต
- 5.2 แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาค 4 ไมครอน มีแนวโน้มการกระจายตัวที่ดีกว่า และเกิดการจับรวมเป็นกลุ่มก้อนน้อยกว่า เป็นผลให้ค่าสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง มอดุลัส สูงกว่า ขนาดอนุภาค 1 ไมครอน

5.3 แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดที่เหมาะสมคือ เกรดขนาดอนุภาค 4 ไมครอน

6. ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต

- 6.1 แคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ถ้าปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลงได้
- 6.2 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ
- 6.3 สมบัติทางความร้อนไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อใส่ แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม
- 6.4 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมและไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลมากนักคือ 60 phr

7. ผลของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้

- 7.1 สูตรผสมของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากการทดลอง คือ MDPE เส้นใยไม้ยางพารา MAPE และ แคลเซียมคาร์บอเนต ในปริมาณ 100 phr 40 phr 3%ของเส้นใยและ 60 phr ตามลำดับ
- 7.2 ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้สามารถ เลื่อย ตอกตะปูและสกรูได้
- 7.3 ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้ มีสมบัติเชิงกลด้อยกว่าไม้จริง แต่มีค่าใกล้เคียงกับ ไม้เทียมที่มีจำหน่ายภายในประเทศ
- 7.4 ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้ สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อใช้งานได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงสมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตให้มีสมบัติใกล้เคียงกับไม้จริง เช่น ศึกษาวิธีการเพิ่มสมบัติความแข็งแรง โค้งงอ เป็นต้น
2. ปรับปรุงน้ำหนักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตให้มีน้ำหนักลดลง หรือให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา และลดปริมาณ CaCO_3 เป็นต้น
3. ปรับปรุงสีของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตให้มีสีสวยงามขึ้น
4. ทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ และทดสอบการใช้งานจริง
5. ศึกษาความเป็นไปได้ของตลาดเพื่อต่อยอดให้เกิดการขยายสู่ภาคธุรกิจ

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสารประกอบการฝึกอบรมและถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักวิจัยเศรษฐกิจและผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ 2546
- [2] MFI retail. 2005. **Rubber wood**. [Online]. Available: http://www.mfi.co.uk/images/HEN2254_tcm3-44319.jpg
- [3] Composites Technology. 2005. **Lumber wood**. [Online]. Available: http://www.compositesworld.com/sections/ct/issues/2003/June/composite_lumber-136.jpg
- [4] NFM welding engineers. 2005. **Wood composite**. [Online]. Available: <http://www.nfm.net/technologies/woodcomposit>
- [5] Moistureshield professional grade decking. 2005. **Wood composite**. [Online]. Available: <http://www.moistureshield.com/images/productInfo/deckPhoto2.jpg>
- [6] อิททิพล แจ่มชัด. **พอลิเมอร์คอมโพสิต**. กรุงเทพฯ. เอกสารประกอบการศึกษา: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [7] สมชาติ รุ่งอินทร์. **ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับงานวิเคราะห์ทดสอบเยื่อและกระดาษ และคำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทดสอบ**. กรุงเทพฯ. ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2528.
- [8] A.K.Bledzki and J.Gassan. "Composites reinforced with cellulose based fibers." **Prog.Polym.Sci.**,vol.24, 1999. pp.221-274
- [9] W.B.Banks and J.M.Lawther. "Derivatization of Wood in Composition in Cellulose." **Polymers Blends and Composites**, Hanser Publishers, New York, 1994. pp 131- 153
- [10] J.I.Kroschwitz. **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**. 2 nd ed. New York: John-Wiley & Sons. 1990.
- [11] สุชาติไทยเพชร. **ไม้: วัสดุจากธรรมชาติ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 2541
- [12] สมศักดิ์ วรรณศิริ. **ยางพารา**. นนทบุรี : ชูานเกษตรกรรม. 2531.
- [13] วิชิต สุวรรณปรีชา. **ยางพารา**. กรุงเทพฯ : อักษรบัณฑิต. 2530.
- [14] PBase Magazine. 2004. **Rubber wood**. [Online]. Available: <http://www.pbase.com/image/32108814>

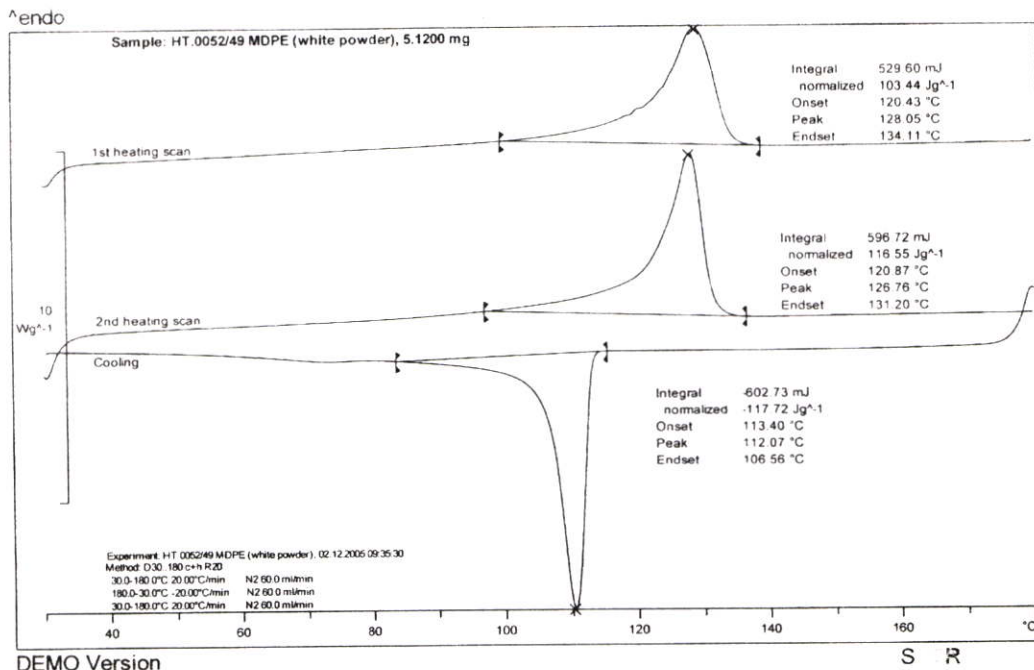
- [15] เอกสารวิชาการป้าไม้, ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ป้าไม้, กรมป้าไม้. 2545.
- [16] สถาบันวิจัยยาง. 2004. **ไม้ยางพารา**. [Online]. Available: <http://www.Rubberthai.com>
- [17] M.R. Sethuraj and N.M. Mathew. **Natural Rubber: Biology, Cultivation and Technology**. Amsterdam: Elsevier. 1992.
- [18] เอกสารวิชาการป้าไม้, สำนักวิจัยเศรษฐกิจและผลิตผลป้าไม้, กรมป้าไม้. 2546.
- [19] E. Jesses. **Plastic Additive and Modifiers Handbook 1**. London: Chapman&Hall. 1996.
- [20] ปรีชา พหลเทพ. **โพลีเมอร์**. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2540.
- [21] เอกสารบริษัท CCC CHEMICAL COMMERCE, LTD. 2547.
- [22] J.I Kim., S.H Ryu and Y.W Chang. **Journal of Apply Polymer Science**. vol. 77, 2000. pp. 2595-2602
- [23] เอกสารบริษัท TOA UNI CHEMICAL MANUFACTURING, LTD. 2546.
- [24] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. **สารปรับแต่งพอลิเมอร์**. กรุงเทพฯ: ภูเก็ต. 2547.
- [25] เอกสารบริษัท ออฟติมอล เทคโนโลยี. 2546.
- [26] วรณิชา ชาญณรงค์. “การศึกษาแนวทางการผลิตไม้เทียมจากพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมเส้นใยยางพารา.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [27] เด่นศักดิ์ แสงพุทธเงินฐานะ. “ไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพีวีซีและเส้นใยธรรมชาติ (ยูคาลิปตัสและหญ้าแฝก).” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [28] ชีรพัฒน์ อุณหโชค และพงษ์ศรี สรรพมณี. “การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเส้นใยผักตบชวา.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [29] รัชดา ขวัญตน. “คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วและเส้นใยอ้อย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.
- [30] ปิยะวรรณ เจียวก๊ก และ พงษ์ศักดิ์ เพ็ญน้อย. “การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตไม้เทียมจากพอลิพรอพิลีนและไม้ยูคาลิปตัส.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.

- [31] ธารทิพย์ เขมะศิริ สุภาวดี ขาวนวล และ อมรา ขวดบา. “วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตของเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิโอฟีนส์ : พีพีและเอชดีพีอี.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [32] นวกรณ์ อนันตชนวนิชย์ นุชรี ปัญจะผลินกุล และพัชรี มณฑาทิพย์. “การศึกษาไม้เทียมคอมโพสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน (พีพี) และเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี).” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [33] พิชัย พันสพัฒนา และศิริพงษ์ โรจน์วีระ. “วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน.” โครงการงานพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2533.
- [34] กมลรัตน์ คุรัตน์ชัชวาล และดวงดาว ปรีชาวงศ์. “บทบาทของมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช่แล้วกับพอลิพรอพิลีนผสมกับชานอ้อย.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.
- [35] J.R.Simpson and S.E.Selke. “Composite Materials from Recycle Multilayer Propylene Bottles and Woods Fibers.” **American Chemical Society.**, 1992. pp. 232-240.
- [36] H.G.B.Premalal, H.Ismail and A.Baharin. “Comparison of The Mechanical Properties of Rice Husk Powder Filled Polypropylene Composites with Talc Filled Polypropylene Composites.” **Polymer Testing.**, vol. 21, 2002. pp. 833-839.
- [37] K.Joseph, S.Thomas and C.Pavethran. “Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites.” **Apply Polymer Science.**, vol. 47, 1993. pp. 1731-1739.
- [38] Li Bin and He Jinmei. “ Investigation of mechanical properties, flame retardancy and thermal degradation of LLDPE-wood-fiber composites.” **Polymer Degradation and Stability**, vol. 83, 2003. pp. 241-246

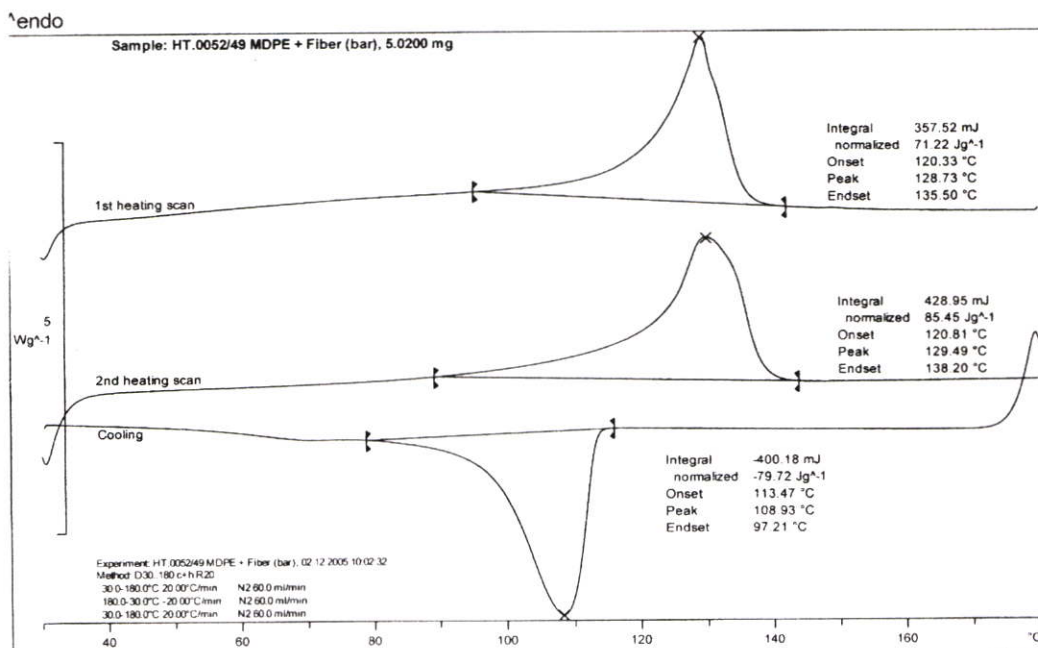
- [49] วรธรรม อุ๋นจิตติชัย. “รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยเรื่องวัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก”. ชุดโครงการวิจัยเรื่องการวิจัยและพัฒนาปฏิสัมพันธ์ของหญ้าแฝกกับปลวกเพื่อสนองพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เพื่อเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม: โครงการที่ 1. 2545.
- [50] ASTM D 6108-97. “Standard Test Methods for Compressive Properties of Plastic Lumber and Shapes.” Philadelphia: **American Society for Testing and Materials**. 2000.
- [51] ASTM D 6108-97. “Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Plastic Lumber and Shapes.” Philadelphia: **American Society for Testing and Materials**. 2000.
- [52] ASTM D 6109-97. “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic Lumber.” Philadelphia: **American Society for Testing and Materials**. 2000.
- [53] ASTM D 1505-85. “Standard Test Methods for Density of Plastic by the Density-Gradient Technique.” Philadelphia: **American Society for Testing and Materials**. 1993
- [54] DuPont. 2005. **Fusabond**. [Online]. Available: <http://www.dupont.com/industrial-polymers/plastics/polymers/fusabond.html>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. กราฟที่ได้จากเครื่อง DSC ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต

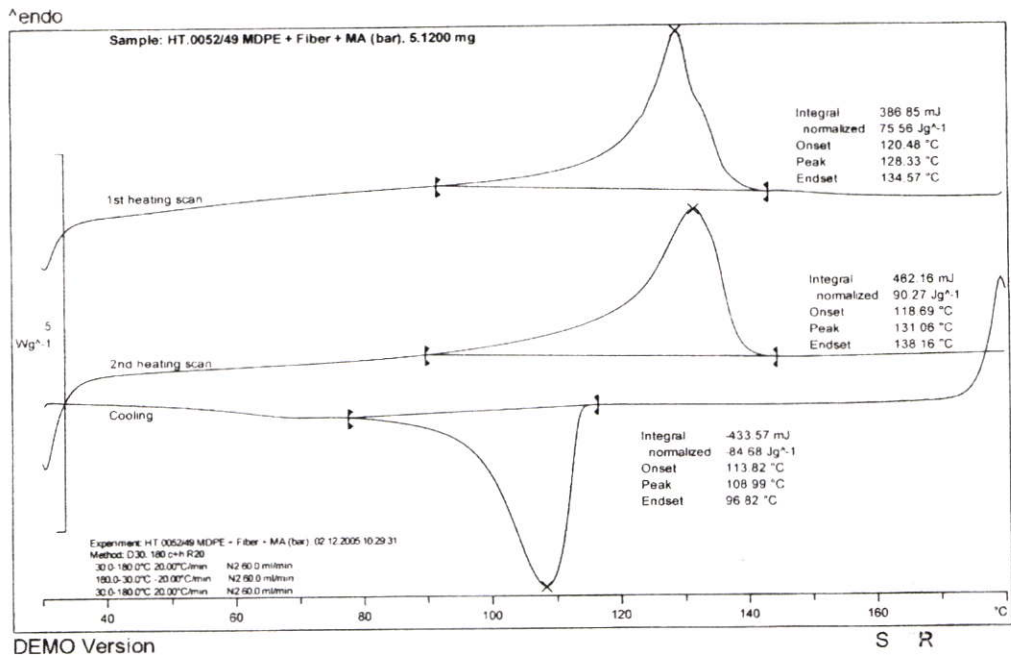


รูปที่ ก-1 กราฟจากเครื่อง DSC ของ MDPE

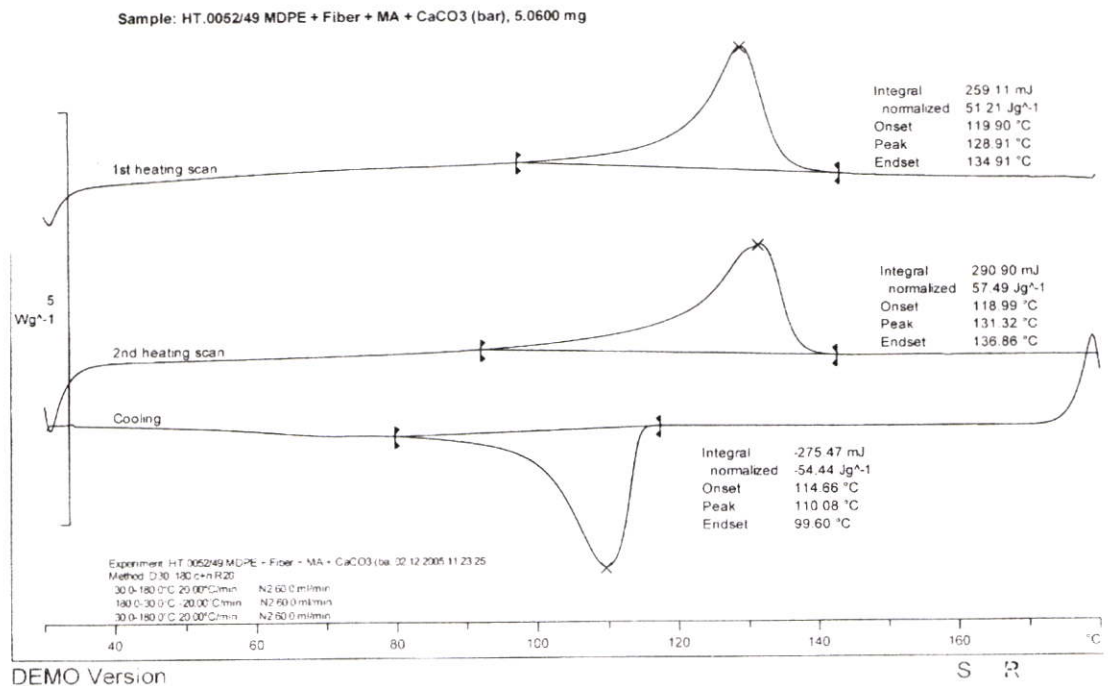


รูปที่ ก-2 กราฟจากเครื่อง DSC ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต เมื่อเติมเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP

40 phr



รูปที่ ก-3 กราฟจากเครื่อง DSC ของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr และสารช่วยผสม MAPE 3% ของเส้นใยไม้ยางพารา



รูปที่ ก-4 กราฟจากเครื่อง DSC ของ ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr สารช่วยผสม MAPE 3% ของเส้นใยไม้ยางพารา และสารตัวเติม CaCO₃, 60 phr

ภาคผนวก ข. การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก

กำหนดให้

ΔH_f คือเอนทาลปีของการหลอมเหลวของผลึก (พื้นที่ใต้พีคจากขั้นตอน Heating)

$\%Cry_f$ คือเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง

ΔH_0 คือเอนทาลปีของการหลอมเหลวของ PE ที่มีความเป็นผลึก 100% = 293.6 J/g

จะได้

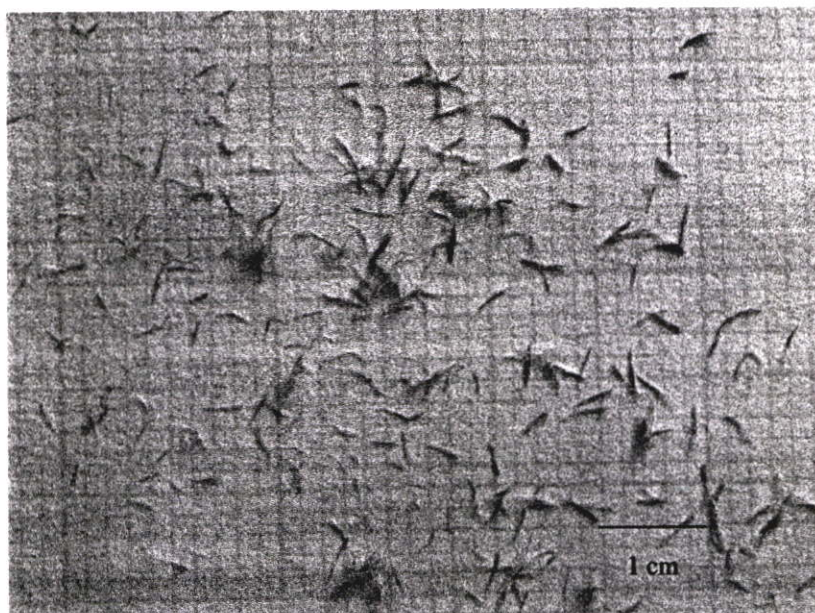
$$\%Cry_f = \frac{\Delta H_f \times 100}{\Delta H_0}$$

แต่การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ตัวอย่างนั้นต้องเปรียบเทียบจากสัดส่วนของ PE ทั้งหมดในพอลิเมอร์ตัวอย่าง

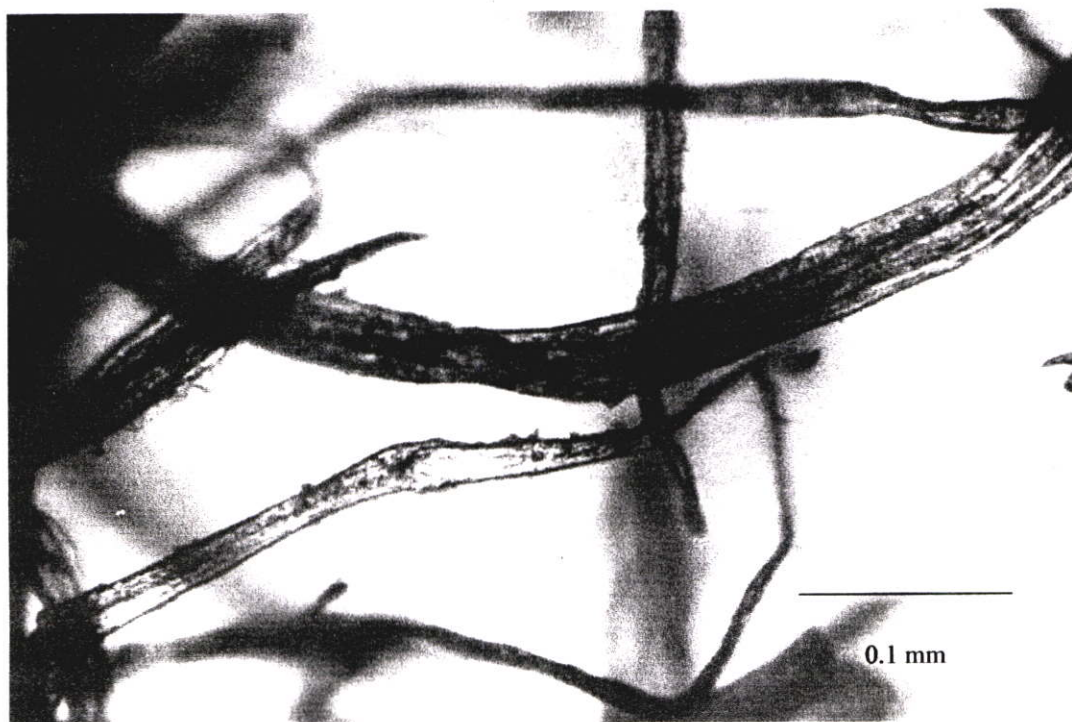
ดังนั้น

$$\%Cry_{f,c} = \frac{\Delta H_{f,c}}{\Delta H_0} \times \frac{100}{(100 - \%PE \text{ ที่มีอยู่จริงสารตัวอย่าง})} \times 100$$

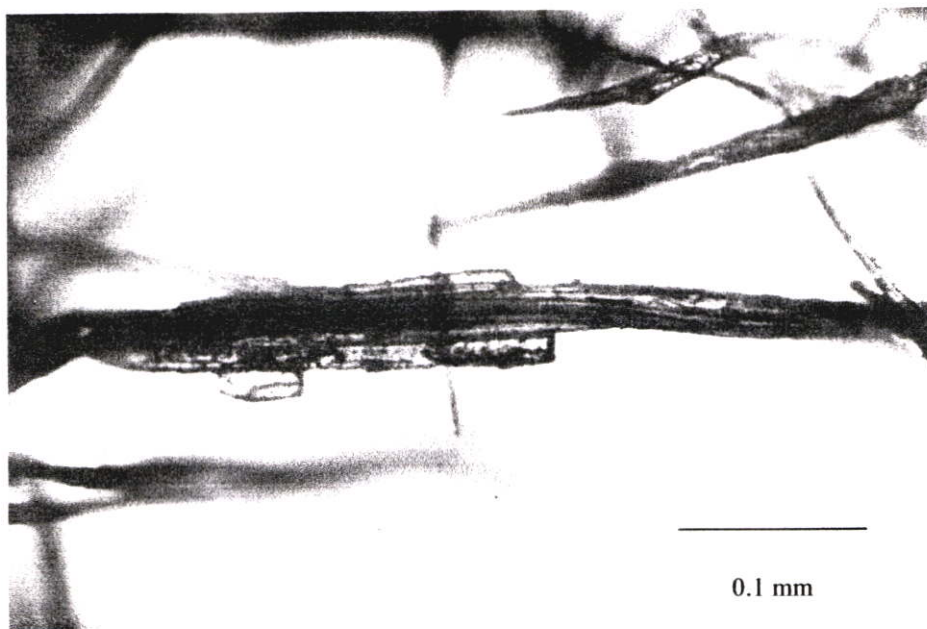
ภาคผนวก ค. ภาพของเส้นใยไม้ยางพารา



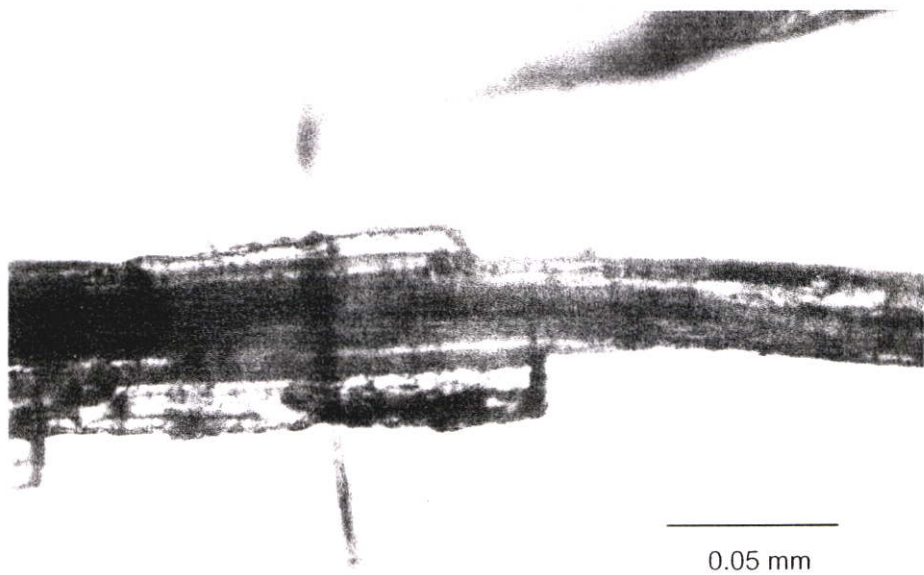
รูปที่ ค-1 ภาพถ่ายแสดงขนาดและความยาวของเส้นใยไม้ยางพารา



รูปที่ ค-2 ภาพจาก Optical microscope ของเส้นใยไม้ยางพารา ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ ค-3 ภาพจาก Optical microscope ของเส้นใยไม้ยางพารา ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ ค-4 ภาพจาก Optical microscope ของเส้นใยไม้ยางพารา ที่กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ ค-5 ภาพจาก Optical microscope ของเส้นใยไม้ยางพารา ที่กำลังขยาย 400 เท่า

จากรูปที่ ค-1 ถึง ค-5 พบว่าเส้นใยไม้ยางพารามีความยาวอยู่ในช่วง 2 – 4 mm และมีความกว้างอยู่ในช่วง 0.01 – 0.04 mm

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง
วันเกิด	19 พฤษภาคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	นครปฐม ประเทศไทย
การศึกษา	- ระดับปริญญาตรี (วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม) จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2540-2544 - ระดับมัธยมจาก โรงเรียนบางกะปิ พ.ศ. 2534-2539
ประวัติการทำงาน	
ปี พ.ศ.2544-2546	ตำแหน่ง นักเคมี บริษัทไทยมิตซูโฮสเปเชียลตีเคมికอล จำกัด