

**Artificial Wood from Vetiver Grass-High Impact
Polystyrene Composites**



Mr. Kriangkrai

Areepoonsiri

Mr. Namchoke

Piboonsin

Miss Hataikarn

Sarawan

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ วัสดุทดแทนไม้จากพอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิस्टไตรีนชนิดทนแรง
กระแทกและหญ้าแฝก

นักศึกษา นายเกรียงไกร อารีพูนศิริ
นายนำโชค พิบูลย์ศิลป์
นางสาวหทัยกาญจน์ สรวรรณ

ภาควิชา เคมี

สาขา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คุณวราธรรม อุ่นจิตติชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.ปยุตมา ศิริพันธ์ โนน	
กรรมการ ดร.สุภารัตน์ รักขลธิ์	
กรรมการ ดร.ภัทธวรุช มนต์วิเศษ	


.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	วัสดุทดแทนไม้จากพอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกและหญ้าแฝก		
นักศึกษา	นายเกรียงไกร	อารีพูนสิริ	รหัส 43050064
	นายนำโชค	พิบูลย์ศิลป์	รหัส 43050081
	นางสาวหทัยกาญจน์	สราวรรม	รหัส 43050130
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2546		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณวราธรรม	อุ๋นจิตติชัย	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (High Impact Polystyrene, HIPS) และหญ้าแฝก (Vetiver grass) ซึ่งนำมาแปรรูปเป็นไม้เทียมหรือวัสดุทดแทนไม้ โดยศึกษาพอลิสไตรีน 2 เกรดคือ ชนิดผสมสารหน่วงไฟ (Flame retardant) และไม้ผสมสารหน่วงไฟ เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ โดยมีเส้นใยหญ้าแฝกเป็นสารตัวเติม (Filler) ที่เตรียมด้วยวิธีเชิงกล (Mechanical pulp, MP) ซึ่งปริมาณหญ้าแฝกที่ใช้คือ 0 10 20 30 40 และ 50 phr ขนาด 20-50 mesh และเติมสารคู่ควบ (Coupling agent) สารประกอบไซเลน 2 ชนิด คือ ไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน (Vinyltrimethoxy silane, A-171 Silane) และแกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (γ -Aminopropyltriethoxy silane, A-1100 Silane) ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักหญ้าแฝก ผสมกับพอลิเมอร์ในเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) และผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) แล้วขึ้นรูปด้วยการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ในงานวิจัยจะแบ่งการทดลองเป็น 3 ตอน ตามปัจจัยที่ศึกษาคือ ผลของปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก ชนิดของสารคู่ควบ (Coupling agent) และผลของพอลิเมอร์เมตริกซ์ทั้ง 2 ชนิด ที่มีต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต โดยผลการทดลองตอนที่ 1 พบว่าปริมาณหญ้าแฝก 30 phr ให้สมบัติเชิงกลคือ ความแข็งแรงดึง โมดูลัส ความแข็งแรงโค้งงอ และโมดูลัสโค้งงอ ดีที่สุด ส่วนความแข็งแรงกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การยึด ฉ น จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณหญ้าแฝก การเพิ่มปริมาณหญ้าแฝกไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อน และการติดไฟ

แต่การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความทนทานต่อปลวกเพิ่มขึ้น
 เอกสารนี้ขึ้นชื่อตามที่ลงนามในสภาหารือกับทางโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองตอนที่ 2 พบว่าการผสม A-171 Silane 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักหน้าผูกที่ ปริมาณ 30 phr จะให้ มอดูลัส เปรอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงโค้งงอ สูงกว่าการใช้ A-1100 Silane ส่วนความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกด ของการผสมสารคู่ควบทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนมอดูลัสโค้งงอเมื่อผสม A-1100 Silane มีค่ามากกว่า การใช้สารคู่ควบต่างชนิดกันไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำ ความหนาแน่น และสมบัติทางความร้อน ส่วนการศึกษาทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) พบว่าการยึดติดของวัสดุคอมโพสิตระหว่าง HIPS และหน้าผูกเมื่อใช้ A-171 Silane การยึดติดระหว่างวัสดุภาคติดว่า A-1100 Silane

จากผลการทดลองตอนที่ 3 เมื่อใช้ HIPS เกรดผสมสารหน่วงไฟ (HIPS-FR) เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ของวัสดุคอมโพสิตพบว่า วัสดุผสมมีสมบัติทนทานต่อการติดไฟดีเยี่ยม (ไม่ติดไฟ) แม้ใช้เส้นใยปริมาณมาก แต่โดยรวมมีสมบัติเชิงกลน้อยกว่าไม้เทียมที่เตรียมจาก HIPS เกรดไม่ผสมสารหน่วงไฟ คือความแข็งแรงดึง เปรอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งแรงโค้งงอ ส่วนมอดูลัส และมอดูลัสโค้งงอ มีค่าน้อยกว่า HIPS-FR ที่เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ ส่วนการดูดซับน้ำ และความหนาแน่นของ HIPS-FR มีแนวโน้มสูงกว่า HIPS



Special Project Title	Artificial Wood from Vetiver Grass-High Impact Polystyrene Composites		
Student Names	Mr. Kriangkrai	Areepoonsiri	ID 43050064
	Mr. Namchoke	Piboonsin	ID 43050081
	Miss Hataikarn	Sarawan	ID 43050130
Department	Chemistry, Faculty of Science		
Program	Industrial Chemistry		
Academic Year	2003		
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Ittipol Jangchud		
Special Project Co-advisor	Mr. Woratham	Oonjittichai	

ABSTRACT

In this research work, natural fiber-polymer composites (WPC) used as artificial wood were prepared from vetiver grass and high impact polystyrene (HIPS). Two grades of HIPSs were studied, i.e., HIPS with flame retardant (so called HIPS-FR) and HIPS. The composite samples were prepared from mechanical pulp (20-50 mesh) at fiber loading of 0, 10, 20, 30, 40 and 50 phr. Two silane coupling agents were also studied (vinyltrimethoxy silane (A-171 silane) and γ -Aminopropyltriethoxy silane (A-1100 silane) at 3% by weight of vetiver grass). Polymer composites were prepared by mixing the vetiver grass and the polymer in a high speed mixer then melt-blended by using a single screw extruder. The samples were formed by injection molding technique. The results can be classified into 3 groups : (1) effects of vetiver grass loading (2) effects of coupling agents and (3) effects of HIPS polymer matrices. Properties of the composites were characterized, such as, mechanical, physical, thermal, morphological, flame retardation and termite resistant properties.

It was found that as the fiber loading was increased, mechanical properties were increased to an optimum point (30 phr vetiver grass loading) including tensile modulus, hardness, flexural strength and flexural modulus. However, some properties were deteriorated when the fibers were incorporated such as % elongation and impact strength. By adding vetiver grass, two HIPS matrices showed no effect on thermal properties and flame retardation. Nevertheless, % water uptake, density and termite resistivity were increased as increasing the fiber loading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยทางเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

By studying the effects of silane coupling agents on the composite properties, it was found that the composites with A-171 silane (3%wt) yielded better mechanical properties e.g. modulus, % elongation at break and flexural strength compared to those with A-1100 silane. The coupling agents played no role on % water uptake, density and thermal properties. From morphological study by SEM, good interfacial bonding between vetiver grass with a-171 silane and HIPS matrix was found.

When HIPS-FR was used as the matrix, the composites with excellent flame retardation (self extinguishing) were found compared to those made by community HIPS even at high fiber loadings. However HIPS-FR composites possessed lower mechanical properties.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคลากร และหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่เป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณวรธรรม อุ๋นจิตติชัย นักวิชาการกรมป่าไม้ ผู้เอื้อเฟื้อวัตถุดิบเส้นใยหญ้าแฝก เครื่องมือบดเส้นใย ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ และดร.ภัทราวรุ มนต์วิเศษ คณะกรรมการตรวจสอบ ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์แก่การทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย

ขอขอบคุณ คุณขวัญชัย เจริญกรุง นักวิชาการกรมป่าไม้ ในการทดสอบความทนทานปลวก และเจ้าหน้าที่กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้ สำนักวิจัยเศรษฐกิจและผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุจิต สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และให้การช่วยเหลือแนะนำตลอดการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ บริษัท อีเทอนัล พลาสติก จำกัด ที่เอื้อเฟื้อพอลิस्टไทรเร็นชนิดทนแรงกระแทกทั้งชนิดที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงไฟ เพื่อใช้ในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาเคมี ที่มอบความรู้ คำแนะนำ คำสั่งสอน ในการทำโครงการพิเศษนี้มาตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบุคลากรท่านอื่นๆ ที่มอบความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวไว้ในที่นี้อีกมากมาย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เกรียงไกร อารีพูนศิริ

นำโชค พิบูลย์ศิลป์

หทัยกาญจน์ สรวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	6
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	7
2.1 พอลิเมอร์คอม โพลิต	7
2.1.1 เมทริกซ์	7
2.1.2 ส่วนเสริมแรง	10
2.2 พอลิสไตรีน	12
2.2.1 สมบัติของพอลิสไตรีน	12
2.2.2 การประยุกต์ใช้งาน	13
2.3 สารหน่วงไฟ	15
2.4 เส้นใยธรรมชาติ	16
2.4.1 เซลลูโลส	16
2.4.2 ลิกนิน	17
2.4.3 สารสกัด	18
2.4.4 เล้า	18
2.5 หน้ําแฝก	19
2.6 การปรับสภาพผิวเส้นใย	21
2.7 การศึกษาความทนทานของไม้เทียมต่อการทำลายของปลวกใต้ดิน	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 กระบวนการแปรรูปพลาสติก	25
2.8.1 การอัดรีด	25
2.8.2 การฉีดขึ้นรูป	26
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	35
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	35
3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย	38
3.3 วิธีการทดลอง	39
3.3.1 การศึกษาเส้นใยหุ้มาแฟกเป็นสารตัวเติม (Filler) ใน High Impact Polystyrene (HIPS) ชนิดทั่วไป และ High Impact Polystyrene ชนิดที่มีการเติมสารหน่วงไฟ (HIPS-FR)	39
3.3.1.1 การเตรียมเส้นใยหุ้มาแฟก	39
3.3.1.2 ขั้นตอนการผสม HIPS หรือ HIPS-FR	39
3.3.2 การศึกษาเส้นใยหุ้มาแฟกใน High Impact Polystyrene (HIPS) ชนิดทั่วไป และ High Impact Polystyrene ชนิดที่มีการเติมสารหน่วงไฟ (HIPS-FR) ที่มีการเติม Silane เป็นสารคู่ควบ	41
3.4 การทดสอบ	42
3.4.1 สมบัติเชิงกล	43
3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	43
3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก	43
3.4.1.3 ความแข็งกด	44
3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ	45
3.4.2 สมบัติทางกายภาพ	46
3.4.2.1 ความหนาแน่น	46
3.4.2.2 การดูดซึบน้ำ	47
3.4.3 สมบัติทางความร้อน	47
3.4.4 สันฐานวิทยา	47
3.4.5 การทดสอบความทนทานต่อปลวกของวัสดุคอม โปสิตจากหุ้มาแฟก	47

ในห้องปฏิบัติการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.6 สมบัติการติดไฟ	48
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	51
4.1 การศึกษาปริมาณหุ้ยาแฝกที่เป็นสารตัวเติม (Filler) ใน พอลิเมอร์เมตริกซ์พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก	51
4.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	51
4.1.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	56
4.1.2.1 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	56
4.1.2.2 การศึกษาความหนาแน่น	56
4.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	57
4.1.4 การศึกษาสมบัติความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน	59
4.1.5 การศึกษาสมบัติการติดไฟ	60
4.2 การศึกษาผลการใช้สารก่อกวนไซเลนที่มีต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต	61
4.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	61
4.2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	67
4.2.2.1 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	67
4.2.2.2 การศึกษาความหนาแน่น	68
4.2.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	69
4.3 การศึกษาชนิดของพอลิเมอร์เมตริกซ์ที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุทดแทน ไม้จากพอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกและหุ้ยาแฝก	70
4.3.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	70
4.3.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	75
4.3.2.1 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	75
4.3.2.2 การศึกษาความหนาแน่น	75
4.3.3 การศึกษาสมบัติการติดไฟ	76
4.4 การเปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของวัสดุคอมโพสิตพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก กับหุ้ยาแฝก	77
4.5 การศึกษาสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)	78
4.6 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis)	83
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการทดลอง	85
5.2 ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารอ้างอิง	88
ภาคผนวก ก	93
ภาคผนวก ข	95
ภาคผนวก ค	102
ภาคผนวก ง	112
ภาคผนวก จ	117



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปริมาณการส่งออกและนำเข้าของผลิตภัณฑ์จากป่าไม้	2
3.1 สมบัติบางประการของ HIPS Eporex [®] 827-10	36
3.2 สมบัติบางประการของ HIPS Eporex [®] 855 FR EPA 25A563	36
3.3 ลักษณะของ Silquest [®] A-171 Silane	37
3.4 สมบัติทางกายภาพของ Silquest [®] A-171 Silane	37
3.5 สมบัติทางกายภาพของ Silquest [®] A-1100 Silane	37
3.6 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ	41
3.7 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต	42
3.8 การประเมินอัตราการเข้าทำลายของปลวก	48
4.1 ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจากการทดสอบด้วยเทคนิค DMTA ของพอลิเมอร์คอมโพสิต HIPS และหญาแฝกปริมาณ 0 10 30 และ 50 phr	58
4.2 ผลการทดสอบความทนทานของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญาแฝกต่อการเข้าทำลายของปลวกในห้องปฏิบัติการ	59
4.3 ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจากการทดสอบด้วยเทคนิค DMTA ของพอลิเมอร์คอมโพสิต HIPS และหญาแฝกที่ผสมสารกักواب	69
4.4 เปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของวัสดุคอมโพสิต HIPS และ HIPS-FR กับหญาแฝกปริมาณ 30 phr โดยใช้สารกักواب A-171 Silane และ A-1100 Silane	77
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ HIPS และหญาแฝกที่ผสมสารกักواب A-171 Silane	83
4.6 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ HIPS และหญาแฝกที่ผสมสารกักواب A-1100 Silane	83
4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ HIPS-FR และหญาแฝกที่ผสมสารกักواب A-171 Silane	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงปลูกหญ้าแฝก	5
2.1 การยึดติระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์	8
2.2 ตัวอย่างรูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมเซต	9
2.3 ตัวอย่างรูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมพลาสติก	9
2.4 ประเภทของคอมโพสิต	10
2.5 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน	11
2.6 โครงสร้างทางเคมีของพอลิस्टาไทริน	12
2.7 การกระจายตัวของอนุภาคยางในพอลิस्टาไทริน	14
2.8 การยึดเหนี่ยวระหว่างยางกับพอลิस्टาไทริน	14
2.9 สูตรโครงสร้างของอัลฟา-เซลลูโลส	16
2.10 สูตรโครงสร้างของเบต้า-เซลลูโลส	17
2.11 สูตรโครงสร้างของแกมมา-เซลลูโลส	17
2.12 สูตรโครงสร้างของลิกนิน	18
2.13 รูปถ่ายหญ้าแฝก	19
2.14 ผลึกภัณฑ์จากหญ้าแฝก	21
2.15 สูตรโครงสร้างของไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน	22
2.16 สูตรโครงสร้างของแกมมา-อะมิโน โพรพิล ไตรเอทอกซีไซเลน	22
2.17 แสดงโครงสร้างของสารคู่ควบชนิดต่างๆ	23
2.18 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารคู่ควบ	24
2.19 ลักษณะของปลวก	25
2.20 เครื่องอัดรีด	26
2.21 ลักษณะของเครื่องฉีดขึ้นรูป	27
3.1 เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยกรรมวิธีเชิงกล	39
3.2 ลักษณะตัวอย่างของชิ้นงานที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก	44
3.3 แรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบการโค้งงอ	45
3.4 ชุดทดสอบหาค่าความหนาแน่น โดยใช้เทคนิค Density Gradient Column Technique	46
3.5 เม็ดพลาสติกมาตรฐาน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 ชุดอุปกรณ์การทดสอบอัตราการติดไฟ	50
4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝก ปริมาณต่างๆ	52
4.2 ค่ามอดุลัสของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝก ปริมาณต่างๆ	52
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝก ปริมาณต่างๆ	53
4.4 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝก ปริมาณต่างๆ	53
4.5 ค่าความแข็งกด (Shore D) ของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝก ปริมาณต่างๆ	54
4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝก ปริมาณต่างๆ	54
4.7 ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝก ปริมาณต่างๆ	55
4.8 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝก ปริมาณต่างๆ	56
4.9 ค่าความหนาแน่นของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝก ปริมาณต่างๆ	57
4.10 ตัวอย่างพิกของค่า $\tan \delta$ จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DMTA	58
4.11 ค่าอัตราการติดไฟของ HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 0 10 30 และ 50 phr	60
4.12 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุคอม โพลีต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์ และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ	63
4.13 ค่ามอดุลัสของวัสดุคอม โพลีต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์และ ไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของวัสดุคอม โพลีต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ	64
4.15 ความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอม โพลีต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ	64
4.16 ค่าความแข็งแรงกด (Shore D) ของวัสดุคอม โพลีต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ	65
4.17 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุคอม โพลีต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ	65
4.18 ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุคอม โพลีต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ	66
4.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุคอม โพลีต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ A-171 Silane (บน) เทียบกับชนิดเติมสารคู่ควบ A-1100 Silane (ล่าง) 3 เปอร์เซ็นต์กับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ	67
4.20 ค่าความหนาแน่นของวัสดุคอม โพลีต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ A-171 Silane (บน) เทียบกับชนิดเติมสารคู่ควบ A-1100 Silane (ล่าง) 3 เปอร์เซ็นต์กับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ	68
4.21 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุคอม โพลีตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane	71
4.22 ค่ามอดุลัสของวัสดุคอม โพลีตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane	72
4.23 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของวัสดุคอม โพลีตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane	72
4.24 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอม โพลีตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25 ค่าความแข็งกด (Shore D) ของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกัน ระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเปรียบเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane	73
4.26 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกัน ระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเปรียบเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane	74
4.27 ค่ามอดูลัสโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกัน ระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเปรียบเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane	74
4.28 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ HIPS และ HIPS-FR	75
4.29 ค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกัน ระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเปรียบเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane	76
4.30 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝก ปริมาณ 10 phr กำลังขยาย 100 เท่า	79
4.31 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝก ปริมาณ 30 phr กำลังขยาย 100 เท่า	79
4.32 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝก ปริมาณ 50 phr กำลังขยาย 100 เท่า	80
4.33 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการยึดติดของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝก ปริมาณ 30 phr กำลังขยาย 500 เท่า สังเกตลูกศร แสดงรอยต่อระหว่างภูมิภาคเมตริกซ์และหญ้าแฝกที่ยึดติดกันไม่ดี	80
4.34 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝก ปริมาณ 30 phr ที่ผสมสารคู่ควบ A-171 Silane กำลังขยาย 100 เท่า	81
4.35 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการยึดติดของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝก ปริมาณ 30 phr ที่ผสมสารคู่ควบ A-171 Silane กำลังขยาย 500 เท่า สังเกตลูกศรแสดงรอยต่อระหว่างภูมิภาคเมตริกซ์และหญ้าแฝกที่ยึดติดกันดี	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอม โพลีดีต HIPS และหญ้ําแฝก ปริมาณ 30 phr ที่ผสมสารคู้ควบ A-1100 Silane กําลังขยาย 100 เท่า	82
4.37 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการยึดติดของวัสดุคอม โพลีดีต HIPS และหญ้ําแฝก ปริมาณ 30 phr ที่ผสมสารคู้ควบ A-1100 Silane กําลังขยาย 500 เท่า	
ตั้งเกตุกสรแสดงรอยต่อระหว่างวัฏภาคเมตริกซ์และหญ้ําแฝกที่ยึดติดกันดี	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ประเทศไทยนั้นจัดว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม มีอาชีพเพาะปลูก ทำสวน ทำไร่ ทำนา เกือบทั่วทุกภาคของประเทศ จึงมีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเหลือทิ้งจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเหล่านี้สามารถนำไปแปรรูปเป็นวัสดุใช้สอยได้มากมายหลายหลากตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือทิ้งให้เกิดมีมูลค่าขึ้นได้ เช่น เส้นใยธรรมชาติจากพืช สามารถนำไปผลิตเป็นสารตัวเติม (Fillers) ราคาถูกช่วยในการลดต้นทุนการผลิตพลาสติก และยังสามารถช่วยเพิ่มสมบัติบางประการของพลาสติกให้ดีขึ้น เส้นใยธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติจึงไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม หาง่าย ราคาถูก และสมบัติเชิงกลดี ทำให้มีแนวคิดที่จะนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ประโยชน์มากขึ้นประกอบกับในปัจจุบันทรัพยากรป่าไม้ลดน้อยลง มีกฎหมายควบคุมการตัดไม้ทำลายป่าในประเทศทำให้ไม้ธรรมชาติมีราคาแพงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ หรือเป็นไม้ที่ปลูกขึ้นเพื่อการพาณิชย์เท่านั้น จากตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณการนำเข้าของผลิตภัณฑ์จากป่าไม้จะเห็นว่ามี การนำเข้าที่สูงกว่าการส่งออก โดยเฉพาะการนำเข้าไม้ท่อนจะสูงกว่าการส่งออกถึง 5 พันกว่าล้านบาท เช่นเดียวกับไม้แปรรูป ถ้านำเข้าผลิตภัณฑ์จากป่าไม้ในปริมาณที่มากมูลค่าของการนำเข้าสินค้าก็จะสูงมากขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่ารายได้จากการส่งออกส่วนใหญ่จะมาจากผลิตภัณฑ์ที่มีการแปรรูปหรือเป็นชิ้นงานแล้วไม่ว่าจะเป็นแผ่นชิ้น ไม้อัด แผ่นใย ไม้อัด เครื่องเรือนไม้ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีชิ้นไม้ดิบ ซึ่งมีมูลค่าการนำเข้าน้อยมาก (ประมาณ 6,000 บาท) แต่มีมูลค่าการส่งออกมากกว่าพันล้านบาทถือว่า เป็นปริมาณที่สูงมาก หากเราสามารถที่จะนำเอาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เหลืออยู่อย่างมหาศาล นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ไม่ว่าจะผลิตเป็นแผ่นวัสดุทดแทนไม้ หรือนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่สามารถจะนำไปใช้ได้ ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณแผ่นวัสดุทดแทนไม้ในประเทศให้มากขึ้นไม่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และยังสามารถเพิ่มมูลค่าการส่งออกให้มากขึ้น เป็นการช่วยลดการเสียดุลทางการค้า จากมูลค่าการนำเข้าไม้ท่อนและไม้แปรรูปจากต่างประเทศ [1]

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการส่งออกและนำเข้าของผลิตภัณฑ์จากป่าไม้ พ.ศ. 2543 [1]

ชนิดของผลิตภัณฑ์	หน่วย	การส่งออก	การนำเข้า	ส่วนต่าง ส่งออก - นำเข้า
1. ไม้ท่อน	ลบ.ม.	142	713,601	- 713,459
2. ไม้แปรรูป	ลบ.ม.	378,397	1,143,247	- 764,850
3. แผ่นไม้บาง-ไม้อัด	ลบ.ม.	41,340	65,950	- 24,610
4. แผ่นวัสดุทดแทนไม้*	ตัน	743,453	9,344	734,109
5. แผ่นไม้ปาร์เกต์	ตัน	9,293	249	9,044
6. เครื่องเรือนไม้	หน่วย	105,094,129	914,837	104,179,292
7. เครื่องไม้ เช่น ประตู หน้าต่างไม้พร้อมกรอบ	ตัน	7,927	650	7,277
8. ถ่านไม้และฟืน	ตัน	1,948	23,040	- 21,092
9. ชันไม้สับ	ตัน	585,986	0.12	585,985.88
10. กระดาษ	ตัน	902,656	978,986	- 76,330
11. เยื่อกระดาษ	ตัน	254,484	468,695	- 21,421

ที่มา สถิติการป่าไม้ของประเทศไทย 2543 , กรมป่าไม้

* แผ่นวัสดุทดแทนไม้จริง ได้แก่ แผ่นชั้นไม้อัด และแผ่นใยไม้อัด

จากปริมาณการนำเข้าและส่งออกของผลิตภัณฑ์จากป่าไม้ จึงได้มีการผลิตวัสดุทดแทนไม้ขึ้นมาโดยใช้เส้นใยธรรมชาติผสมเป็นสารตัวเติมกับวัสดุพอลิเมอร์ เป็นการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composites) ซึ่งมีความแข็งแรง และมอดูลัสต่อน้ำหนักสูง มีน้ำหนักเบากว่าไม้ ผลิตง่าย สวยงาม อีกทั้งยังเป็นนวัตกรรมเทคโนโลยีที่ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และช่วยประหยัดพลังงานทำให้วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตมีความสำคัญมากในปัจจุบัน

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงตระหนักถึงสภาพปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน และการสูญเสียหน้าดินที่อุดมสมบูรณ์ จึงทรงศึกษาถึงศักยภาพของ “หญ้าแฝก” (Vetiver grass) ซึ่งเป็นพืชพื้นบ้านของไทยที่มีสมบัติพิเศษในการช่วยป้องกันการชะล้างพังทลายของหน้าดินและอนุรักษ์ความชุ่มชื้นใต้ดิน ซึ่งมีวิธีการปลูกแบบง่าย ๆ เกษตรกรสามารถดำเนินการได้เองโดยไม่ต้องให้การดูแลหลังการปลูกมากนัก ทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าวิธีอื่น ๆ อีกด้วย จึงได้มีพระราชดำริให้ดำเนินการวิจัยศึกษาทดลองเกี่ยวกับหญ้าแฝก หญ้าแฝกมีหลายสายพันธุ์ที่นิยมและมีการสนับสนุนให้ปลูกได้แก่สายพันธุ์เอกสาร เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านกรค้าหญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus) และหญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* Nash) เมื่อกำหนดได้ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นพืชที่มีอายุได้หลายปี ขึ้นเป็นกอแน่น มีใบเป็นรูปขอบขนานแคบปลายสอบแหลม หู้าแฝกจะมีการขยายพันธุ์ที่ได้ผลรวดเร็ว โดยการแตกหน่อ จากลำต้นใต้ดิน ในบางโอกาสสามารถแตกแขนงและรากออกในส่วนของก้านช่อดอกได้ เมื่อหู้าแฝกโน้มลงดินทำให้มีการเจริญเติบโตเป็นกอหู้าแฝกใหม่ได้ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงพระราชทานพระราชดำริทฤษฎีการป้องกันการเสื่อมโทรมและพังทลายของดินโดยหู้าแฝก กำแพงที่มีชีวิตในการอนุรักษ์และคืนธรรมชาติสู่แผ่นดิน

การใช้ประโยชน์จากหู้าแฝกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ [1]

1. การปลูกเป็นแถวตามระดับความลาดชัน เพื่อชะลอความเร็วของน้ำ และดักตะกอนดิน ส่วนน้ำจะไหลซึมลงไปสู่ดินชั้นล่างได้มากขึ้น เป็นการเพิ่ม ความชุ่มชื้นในดิน ส่วนรากหู้าแฝกจะหยั่งลึกลงไปในดินอาจถึง 3 เมตร ซึ่งสามารถยึดดินป้องกันการพังทลายได้
2. การปลูกเพื่อแก้ปัญหาการพังทลายของดินเป็นร่องน้ำลึก
3. การปลูกในพื้นที่ที่มีความลาดชัน โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคใต้ ให้ปลูกหู้าแฝกเป็นแนวรั้วบริเวณคันคูขอบเขา หรือริมชั้นบันไดดินค้ำนอก โดยควรปลูกเป็นแถวตามแนวความลาดเทในต้นฤดูฝน
4. การปลูกเพื่อการอนุรักษ์ความชุ่มชื้นในดิน โดยปลูกแถวหู้าแฝกขนานไปกับแถวของไม้ผล ปลูกแบบวงกลมรอบ ไม้ผล และปลูกแบบครึ่งวงกลมหยากรับน้ำฝน
5. การปลูกเพื่อป้องกันการเสียหายของชั้นบันไดดินหรือคันคูรับน้ำรอบเขา
6. การปลูกเพื่อป้องกันตะกอนดินทับถมลงสู่คลองส่งน้ำ ระบายน้ำ อ่างเก็บน้ำในไร่นา ตลอดจนปลูกรอบสระ หรือปลูกเป็นแถวขนานไปกับแม่น้ำ ลำคลองเพื่อกรองตะกอนดิน
7. การปลูกเพื่อฟื้นฟูที่ดินเสื่อมโทรม
8. การปลูกเพื่อป้องกันการพังทลายของไหล่ถนนที่ลาดชันสูง โดยปลูกหู้าแฝกเพื่อยึดดินและเบี่ยงเบนทางน้ำไหลบริเวณไหล่ทางและปลูกขวางแนวลาดเทเพื่อป้องกันการพังทลายและเลื่อนไหลของดิน
9. การปลูกในพื้นที่ดินดาน รากหู้าแฝกสามารถหยั่งลึกลงไปในดินดาน ทำให้ดินแตก่วนขึ้น และหน้าดินจะมีความชื้นเพิ่มขึ้น
10. การปลูกเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำ รากหู้าแฝกจะเป็นกำแพงกักกันดินและสารพิษที่ปะปนมากับน้ำไม่ให้ไหลลงสู่แหล่งน้ำเบื้องล่างและรากยังมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุโลหะหนักและสารเคมีบางอย่างได้ดีกว่าพืชชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์เนกประสงค์อื่น ๆ ของหญ้าแฝก [1]

- ปลูกหญ้าแฝกบนคันนา เพื่อให้คันนาคงสภาพอยู่ได้นาน
- ปลูกหญ้าแฝกเพื่อใช้ประโยชน์มูลหลังคา ตับหลังคาที่ทำจากหญ้าแฝกสามารถผลิตจำหน่ายได้ ส่วนรากที่มีความหอมนี้คนไทยรุ่นเก่าเคยนำมาแขวนในตู้เสื้อผ้า ทำให้มีกลิ่นหอมและช่วยไล่แมลงที่จะทำลายเสื้อผ้าได้
- หญ้าแฝกมีสรรพคุณช่วยขับลมในลำไส้ แก้อาการท้องอืดเฟ้อ และแก้ไข้ ส่วนรากสามารถนำมาสกัดทำน้ำมันที่มีประโยชน์และคุณค่าทางการค้าได้ เช่นประเทศฝรั่งเศสผลิตน้ำหอมจากรากหญ้าแฝก ชื่อ “Vetiver”

จากการดำเนินงานที่ทุกหน่วยงานได้ร่วมมือกันให้เป็นไปตามพระราชดำริ ทำให้มีผลการศึกษาและการปฏิบัติได้ผลอย่างชัดเจน จนเป็นที่ยอมรับจากธนาคารโลกว่า “ประเทศไทยทำได้ผลอย่างเต็มที่และมีประสิทธิภาพยอดเยี่ยม” เมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2536 International Erosion Control Association (IECA) ได้มีมติถวายรางวัล The International Erosion Control Association’s International Merit Award แต่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ในฐานะที่ทรงเป็นแบบอย่างในการนำหญ้าแฝกมาใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ และเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2536 ผู้เชี่ยวชาญเรื่องหญ้าแฝกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำแห่งธนาคารโลก ได้นำคณะเข้าเฝ้าทูลละอองธุลีพระบาททูลเกล้าฯ ถวายแผ่นเกียรติบัตรเป็นภาพรากหญ้าแฝกชูปสำริด ซึ่งเป็นรางวัลสดุดีพระเกียรติคุณ (Award of Recognition) ในฐานะที่ทรงมุ่งมั่นในการพัฒนาและส่งเสริมการใช้หญ้าแฝกในการอนุรักษ์ดินและน้ำ และผลการดำเนินงานหญ้าแฝกในประเทศไทยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ไปทั่วโลก ความอุดมสมบูรณ์ ของผืนแผ่นดินที่กลับคืนมานี้ เป็นเพราะพระวิริยะอุตสาหะและพระปรีชาญาณอันยาวไกลแห่งองค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวที่ทรงศึกษาวิเคราะห์เพื่อหาหนทางในการแก้ไขปัญหาลี้กแวลล้อม และทรัพยากรธรรมชาติของประเทศไทยที่กำลังถูกทำลายไปอย่างรวดเร็วทั้งนี้เพื่อความมั่งคั่งสมบูรณ์พูนสุขของประชาชนอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีป้องกันการเสื่อมโทรม และพังทลายของดินโดยหญ้าแฝก



รูปที่ 1.1 ทฤษฎีป้องกันการเสื่อมโทรมและพังทลายของดินโดยหญ้าแฝก หนึ่งในโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว [1]

งานวิจัยนี้ เป็นหนึ่งในโครงการเพื่อสนองพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยเสนอที่จะศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตจากพอลิเมอร์ และเส้นใยหญ้าแฝก เพื่อใช้งานเป็นวัสดุไม้เทียม และวัสดุขึ้นรูปแบบพลาสติก โดยเน้นที่การเตรียมวัสดุคอมโพสิตที่มีสมบัติที่ดี เช่น สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ฯลฯ โดยจะทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ให้สามารถประยุกต์ใช้งานในรูปของวัสดุเฟอร์นิเจอร์ เช่น ไม้ปาร์เก้ กรอบประตู หน้าต่าง เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องประดับ วัสดุฝ้าเพดาน ฯลฯ ทั้งนี้เสนอที่จะใช้พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (High Impact Polystyrene , HIPS) เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง มีหดตัวต่ำ คงรูปได้ดี น้ำหนักเบา และดูดซึมน้ำต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากหญ้าแฝกและพอลิสไตรีนที่ผลิตได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก เป็นต้น
 2. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อสมบัติ และการผลิตวัสดุคอมโพสิตหญ้าแฝกพอลิสไตรีน
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะใช้พอลิस्टาไทรีนที่ทนแรงกระแทก โดยที่แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ที่มีส่วนประกอบของสารหน่วงการติดไฟและชนิดที่ไม่มีสารหน่วงการติดไฟนำมาทำคอมโพสิตกับเส้นใยธรรมชาติ คือ กล้วยาแฝก ซึ่งเส้นใยกล้วยาแฝกที่เตรียมได้จากกระบวนการวิธีทางเชิงกล (Mechanical pulp, MP) นอกจากนี้จะเติมสารคู่ควบลงไปคือ สารประกอบซิลาน (Silanes) ช่วยทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยกล้วยาแฝกและพอลิเมอร์ดีขึ้น แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิตที่เตรียมได้ ซึ่งก็ขึ้นกับปริมาณของกล้วยาแฝก ชนิดของพอลิเมอร์เมทริกซ์และสารช่วยผสม รวมถึงสถานะในการผลิตขึ้นรูป โดยจะต้องศึกษาปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ก่อน เพื่อขึ้นรูปพอลิเมอร์คอมโพสิตให้ได้สมบัติสูงสุด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการสนองโครงการในพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช
2. สามารถผลิตวัสดุทดแทนไม้ได้ และสามารถใช้งานได้จริง
3. สามารถเรียนรู้กระบวนการในการผลิตไม้เทียมจากพอลิस्टาไทรีนชนิดทนแรงกระแทก (HIPS) และกล้วยาแฝก ได้โดยทราบถึงสถานะที่เหมาะสมและสูตรที่เหมาะสม
4. เป็นการใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เหลือทิ้งได้อย่างคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composites)

พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composites) หมายถึงวัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อยสองชนิดที่มีสมบัติต่างกัน โดยจะแยกกันอยู่คนละวัฏภาค และทำให้วัสดุที่ได้มีสมบัติดีขึ้น[2] วัสดุประกอบ หรือคอมโพสิต จัดเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมาก ในปัจจุบันเป็นที่นิยม และมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคอมโพสิตมีข้อดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา ความแข็งแรงและค่ามอดูลัสต่อน้ำหนักสูง ขึ้นรูปได้ง่าย มีความเสถียรในรูปร่างสูง และต้นทุนการผลิตต่ำ ทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานแทนวัสดุอื่นได้ เช่น โลหะ เซรามิกส์ ฯลฯ

สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต ขึ้นอยู่กับ

- การยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์และส่วนเสริมแรง
 - คุณสมบัติของเมทริกซ์และส่วนเสริมแรง
 - ปริมาณของส่วนเสริมแรง
 - ขนาดและรูปร่างของส่วนเสริมแรง
 - กระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูป
 - การจัดเรียงตัว และการกระจายตัวของส่วนเสริมแรง
 - รอยตำหนิ (Flaws) หรือช่องว่าง (Voids) ภายในวัสดุคอมโพสิต
- คอมโพสิต ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

2.1.1 เมทริกซ์ (Matrix) [2]

เมทริกซ์ เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน เพื่อให้อยู่ให้ตำแหน่งและจัดเรียงตัวตามทิศทางที่กำหนด โดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียหายเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิสูง ความชื้น ฯลฯ มักมีความแข็งแรงและมอดูลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมทริกซ์เป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่รับ (Load transfer medium) ไปสู่ส่วนเสริมแรง เมทริกซ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

- พอลิเมอร์ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Polymer Composites” สามารถใช้ได้ทั้งพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และเทอร์โมเซต (Thermosets)
- โลหะ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Metal Composites”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

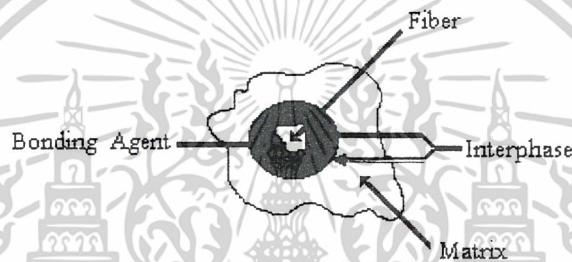
- เซรามิกส์ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Ceramic Composites”

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริกซ์ เป็นส่วนที่ช่วยห่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน โดยทั่วไปเมตริกซ์มักจะมี ความเหนียวสูง ความแข็งแรงและมอดูลัสจะต่ำกว่าส่วนเสริมแรง

หน้าที่ของเมตริกซ์ในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่

- รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุคอมโพสิต
- รักษาการกระจายตัวของเส้นใย และแยกไม่ให้เส้นใยมารวมกัน
- ทำให้วัสดุคอมโพสิตสามารถทนต่อการเสียหายได้ที่อุณหภูมิหรือแรงกระทำระดับหนึ่งๆ
- สามารถกระจายหรือส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใยได้
- ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรในตัวกลางต่างๆ



รูปที่ 2.1 การยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ [3]

พอลิเมอร์เมตริกซ์

โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท [2] ได้แก่

1. เทอร์โมเซต (Thermoset) พอลิเมอร์กลุ่มนี้ เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วจะมีรูปทรงถาวร ผลผลิตที่ได้นำไปหลอมขึ้นรูปใหม่อีกไม่ได้ และไม่ละลายในตัวทำละลาย คือ ไม่เกิดกระบวนการย้อนกลับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าก่อนผ่านกระบวนการ โครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนหรือความดันเข้าไปจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Crosslinking) ระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ มีลักษณะเป็นสามมิติ มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความคงทน ไม่หลอมละลาย ถ้าให้ความร้อนมากๆ จะไหม้เกรียม และสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม

เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมตริกซ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และไวนิลเอสเทอร์ เมื่อเทอร์โมเซตเรซินที่หลอมเหลวเริ่มแข็งตัวจะเกิดการเชื่อมโยงขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดรอยต่อที่แน่นอนของโครงสร้างสามมิติ การเกิดการเชื่อมโยงจะทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานสารละลาย มีเสถียรภาพทางความร้อน และต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเหล่านี้จะสัมพันธ์

โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยง และน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากจะส่งผลให้เมตริกซ์มีความแข็งแรงมาก หรือมีมอดุลัสยืดหยุ่นสูง แต่ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากแล้วน้ำหนักการเชื่อมโยงจะลดลง ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลนั้น เกิดได้ยาก เกิดความเปราะ มีความเครียดต่ำ มีความต้านทานต่อการกระแทกน้อย และไม่เหนียว



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมเซต [4]

2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) พอลิเมอร์ชนิดนี้จะละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ เมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมและแข็งตัวสามารถเกิดได้หลายๆครั้งโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป อาจแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-crystalline Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติกไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดการเชื่อมโยงก่อนการใช้งาน ดังนั้นความแข็งแรงเป็นผลโดยตรงจากสมบัติของหน่วยซ้ำหรือมอนอเมอร์และน้ำหนักโมเลกุลที่สูง เทอร์โมพลาสติกอสัณฐานจะมีการพันกันของสายโซ่โมเลกุลซึ่งจะส่งผลคล้ายกับการเกิดการเชื่อมโยง และในพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้ก็จะมี การจัดเรียงตัวที่ดี ทำให้เมตริกซ์มีความแข็งแรง สมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นกับองศาความเป็นผลึก สัณฐานวิทยา การจัดเรียงตัวของผลึก ซึ่งขึ้นกับสถานะในการผลิต ตัวอย่างเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิเอไมด์ (PA) พอลิสไตรีน (PS) พอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอทิลีน (PE) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างรูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมพลาสติก [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement)[2]

ส่วนเสริมแรง คือส่วนที่เป็น โครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิต จะมีความแข็งแรง และมอดุลัสสูง

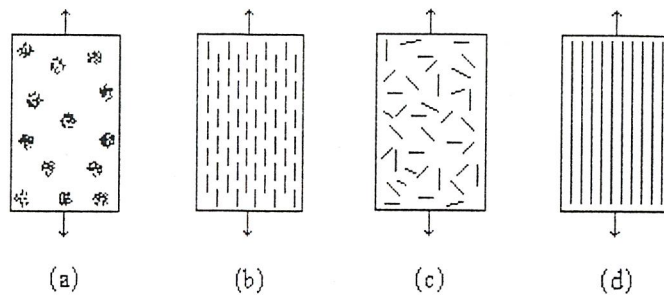
ส่วนเสริมแรง มีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบ ซึ่งคอมโพสิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ใหญ่ๆ ตามชนิดของส่วนเสริมแรง ดังนี้

1. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous Composites) คือ คอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยสั้น (Short fibers) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรง ตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ
2. คอมโพสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar Composites) คือ คอมโพสิตที่ประกอบด้วยชั้น หรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมตริกซ์ มีลักษณะเป็นชั้นๆ คล้ายแซนด์วิช (Sandwich) หรือเป็น โครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (Honeycomb)
3. คอมโพสิตแบบเป็นก้อน (Particulate Composites) คือ คอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็น เม็ด (Beads) แผ่น (Flakes) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก(มักมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน)



รูปที่ 2.4 ประเภทของคอมโพสิต [2]

ตัวเสริมแรงที่นิยมใช้มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibers) เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เส้นใย คาร์บอน (Carbon fibers) ฯลฯ อาจเป็นเส้นใยเดี่ยวยาว (Continuous fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous หรือ Chopped short fibers) นอกจากนี้ยังเป็นเส้นใยพันกันหรือทอ (Weaves) มี โครงสร้างแบบต่างๆ และมีการจัดเรียง (Orientation) ของส่วนเสริมแรงแบบต่างๆ โดยส่วนเสริมแรง จะเป็นส่วนรับแรงหลัก (Principle load-carrying members) ของวัสดุคอมโพสิต



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน [2]

- (a) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค จัดเรียงตัวแบบกลุ่ม
- (b) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
- (c) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- (d) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

สมบัติของเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้เสริมแรง ควรมีลักษณะดังนี้

- เส้นใยควรมีมอดุลลัสยืดหยุ่นสูงเพื่อประสิทธิภาพในการเสริมแรง
- เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
- ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก
- เส้นใยควรจะเสถียร รับความแข็งแรงขณะจัดเก็บและขึ้นรูปได้
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นผิวของเส้นใยควรมีลักษณะเหมือนกัน

ปัจจัยสำคัญของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต ได้แก่

- เส้นผ่านศูนย์กลาง
- ความยาวของเส้นใย
- ปริมาตรของเส้นใย
- ลักษณะรูปร่างของเส้นใย
- การจัดเรียงตัวของเส้นใยในวัสดุคอมโพสิต

โดยทั่วไป เส้นใยที่ใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต สามารถแบ่งเป็น

1. เส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) เส้นใยแก้ว (Glass fiber) เมื่อผสมลงในพอลิเมอร์จะทำให้ได้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์สูงขึ้น
2. เส้นใยธรรมชาติ จะได้พอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรง และสามารถย่อยสลายได้ แต่ความแข็งแรงไม่ดีเท่าเส้นใยสังเคราะห์

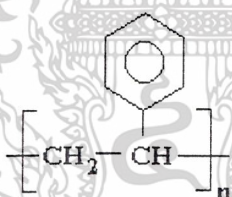
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมเส้นใย ช่วยเพิ่มสมบัติด้านต่างๆให้กับพอลิเมอร์เมตริกซ์ เช่น

- ความแข็งแรง
- ความเหนียว
- ความเสถียรของรูปร่าง
- การคืบ (Creep)
- ความทนทานต่อการใช้งาน

2.2 พอลิสไตรีน (Polystyrene) [5]

พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่มีความแข็ง ใส และมีราคาถูก จึงทำให้เป็นที่นิยมในการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย พอลิสไตรีนถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1830 แต่ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม จนกระทั่ง ในปี ค.ศ.1938 พลาสติกชนิดนี้ก็มีกำลังการผลิตมากที่สุดอีกชนิดหนึ่ง และด้วยความต้องการจะให้มีสมบัติที่พิเศษมากกว่าปกติ ซึ่งต่างไปจากเดิม จึงได้มีการศึกษาและค้นคว้าโดยการผสมเข้ากับวัสดุชนิดอื่นๆ กลายเป็นพลาสติกชนิดใหม่ๆขึ้นมามีในปัจจุบัน เช่น ABS(Acrylonitrile-butadiene-styrene), SAN(Styrene Acrylonitrile), SMM(Styrene Methyl - Methacrylate) [6]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีน

2.2.1 สมบัติของพอลิสไตรีน [7]

- โปร่งใส คล้ายแก้ว
- น้ำหนักเบา
- มีความหดตัวน้อย คงรูปได้ดี
- แข็ง แต่เปราะ
- เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี
- การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ต่ำ ประมาณ 0.04 % (หาโดยใช้แผ่นตัวอย่างหนาขนาด 1/8 นิ้ว ไปอบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง)
- ความหนาแน่น ประมาณ 1.04-1.07 g/ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- อุณหภูมิสถานะกลายแก้ว (Glassy temperature, T_g) = 100 องศาเซลเซียส

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิอ่อนตัว (Softening point, T_s) = 70-115 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) = 240 องศาเซลเซียส
- คัดไฟง่าย ไหม้ในเปลวไฟ ไม่ดับเองเมื่อนำออกมาจากเปลว หลอม และไหม้เป็นฟอง เปลวไฟไม่มีสีจนถึงสีเหลือง มีควันสีดำ มีเขม่ามาก กลิ่นหวานเหมือนผลไม้ (กลิ่นของ Styrene)
- ดัชนีหักเห (Refractive Index, n_D^{20}) = 1.57-1.60
- ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) = 7,000 psi
- ความทนทานต่อแรงอัด (Compressive strength) = 15,000 psi
- ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) = 0.7 lb_f
- ละลายได้ในอะซิโตน (Acetone) เมทิล เอทิล คีโตน (Methyl ethyl ketone, MEK) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbontetrachloride) โทลูอิน (Toluene) เบนซีน (Benzene)
- ไม่ละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ ก๊าซไซลีน กรดและเบสอ่อน

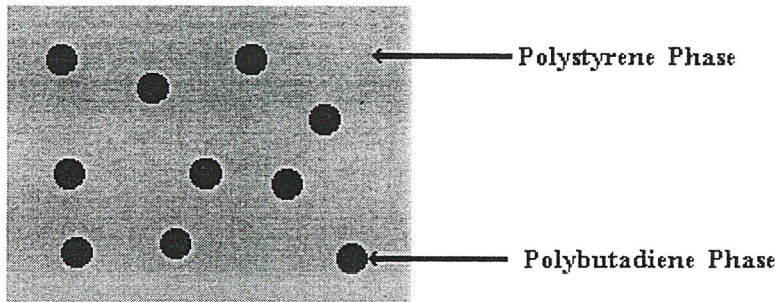
2.2.2 การประยุกต์ใช้งาน

- ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- ทำของเล่นและเครื่องใช้ภายในบ้าน
- ใช้ทำไม้บรรทัดและอุปกรณ์เครื่องเขียนต่างๆ
- ใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์หีบห่อต่างๆ
- ใช้ทำกล่องและแผ่นโฟมต่างๆ

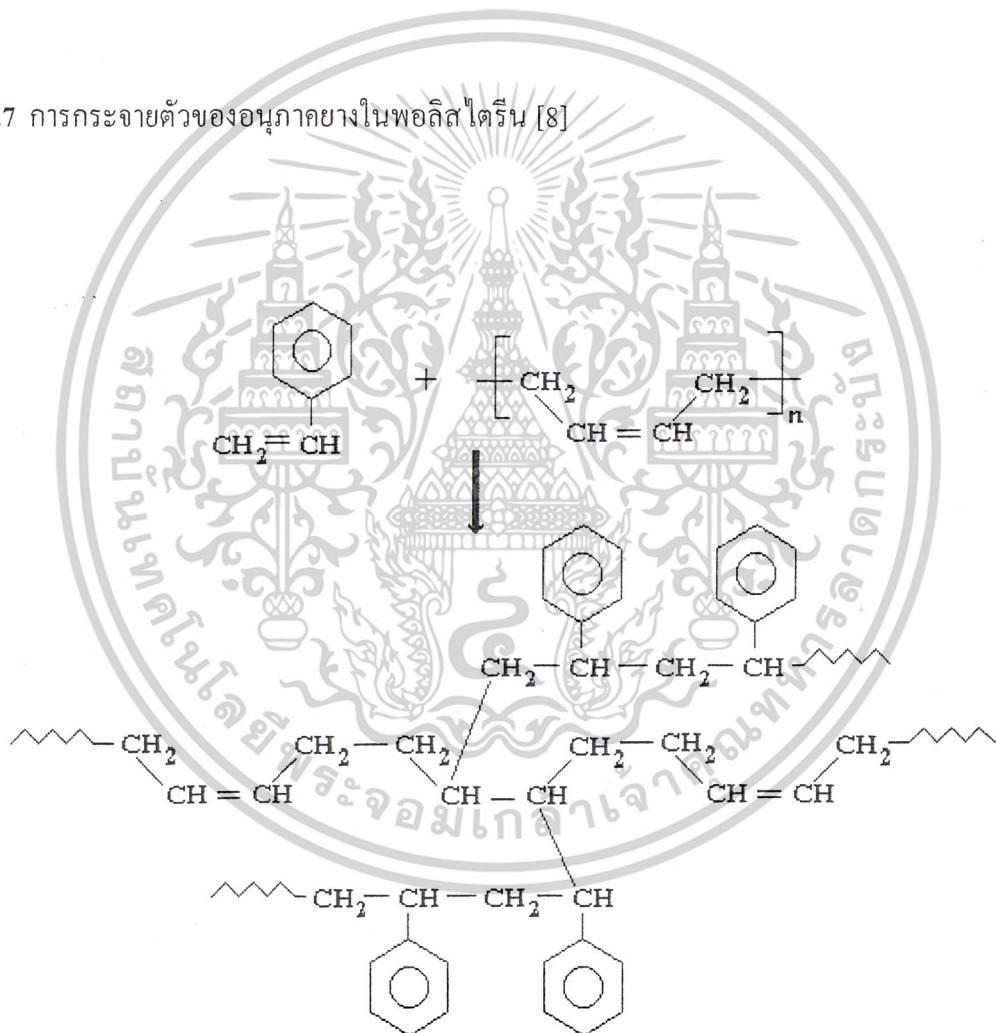
พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (High Impact Polystyrene) [8]

พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก เป็นการรวมกันของพอลิสไตรีนกับวัสดุที่เป็นยาง โดยการละลายอนุภาคยางในสไตรีนมอนอเมอร์ แล้วทำการสังเคราะห์สไตรีนขึ้นมา วัสดุที่เป็นยาง คือ ยางบิวตะไดอิน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $50 \mu m$ ในส่วนที่เป็นยางนี้จะป้องกันการแพร่ของการแตกหักและถ้าขนาดอนุภาคของยางใหญ่ขึ้น จะมีความแข็งแรงดึงที่สูง ป้องกันการแตกหักได้ดี หากอนุภาคเล็กจะเพิ่มสมบัติความมันเงา ความเหนียว และความแข็ง การเลือกแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับนำไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของอนุภาคยางในพอลิสไตรีน [8]



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาระหว่างยางกับพอลิสไตรีน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สารหน่วงไฟ (Flame Retardant) [9]

จุดมุ่งหมายหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คือ การหาส่วนประกอบซึ่งมีสมบัติตามต้องการ โดยมีราคาถูกที่สุด ซึ่งหนึ่งในสมบัติที่ต้องการ คือ สมบัติการหน่วงไฟ เนื่องจากพอลิเมอร์ เป็นวัสดุที่มีสมบัติการติดไฟที่ดี คือ ติดไฟง่าย ทั้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซต (Thermoset) พลาสติกสามารถผสมได้กับส่วนผสมต่างๆ โดยที่ส่วนผสมที่ใส่เข้าไปจะช่วยเพิ่มสมบัติหรือลดปริมาณการใช้พอลิเมอร์ตัวหลักให้น้อยลง กล่าวคือ สารตัวเติมที่ใส่เข้าไปเพื่อเพิ่มสมบัติ หรือลดต้นทุน

สารหน่วงไฟแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Additive และ Reactive โดยจะแตกต่างกันที่การใช้งานกับพอลิเมอร์ กล่าวคือ Additive Flame Retardants จะแค่เกิดการผสมกับพอลิเมอร์เท่านั้น ส่วน Reactive Flame Retardants จะเกิดพันธะเคมีต่อเข้ากับพอลิเมอร์

สารหน่วงไฟมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดได้แก่

- สารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน (Halogen Flame Retardants)
- ฟลวงออกไซด์และอนุพันธ์ (Antimony Oxide and Derivatives)
- โมลิบเดต (Molybdates)
- เกลือของกรดบอริก (Borates)
- อะลูมิเนียม ไตรไฮดรอกไซด์ (Alumina Trihydrate)
- แมกนีเซียม ไฮดรอกไซด์ (Magnesium Hydroxide)
- สารประกอบคลอรีน (Solid-Chlorine)

หลักในการเลือกใช้สารหน่วงไฟ ได้แก่

- ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับ ราคา
- การกระจายตัว หรือ ความสามารถในการผสมเข้ากับพอลิเมอร์
- เสถียรภาพทางความร้อน เนื่องจากสารหน่วงไฟไม่จำเป็นที่จะต้องทนความร้อน ดังนั้น ในการเลือกใช้จะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ด้วย
- ความสามารถในการกัดกร่อน
- ลักษณะทางกายภาพ เช่น สี
- ความเข้ากันได้กับพอลิเมอร์
- ความเป็นพิษ และ ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม
- มีเสถียรภาพทางแสง (Light stability)
- สมบัติทางไฟฟ้า จะต้องมีความต้านทานและ ทนต่อไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) [10]

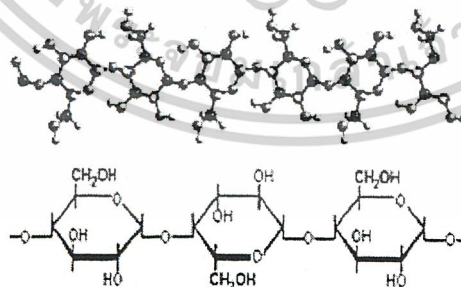
เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัตถุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก โดยอาจเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing fillers) หรือสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers) ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของเส้นใยที่นำมาใช้ โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติประกอบไปด้วย

2.4.1 เซลลูโลส

เซลลูโลส คือ กลุ่มของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด เรียกอีกอย่างว่า โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) สามารถแบ่งออกเป็น

2.4.1.1 อัลฟา-เซลลูโลส (Alpha- Cellulose)

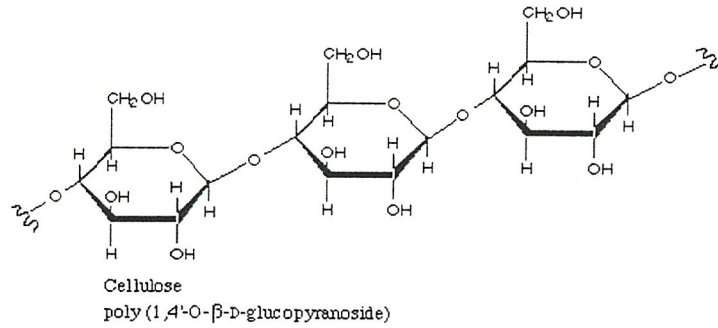
ส่วนของเชื้อที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc. NaOH) 17.5-18.0 % มีโครงสร้างเป็น Homopolymer ของหน่วยซ้ำ D-glucose จับตัวต่อกันตามยาวด้วยพันธะ 1-4 β -glucosidic มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ซึ่งในระหว่างแถวจะมีการยึดเหนี่ยวกันโดย H-bond จนเป็นเส้นใยประมาณ 35°A เรียกว่า Elementary fibril อันเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่ปรากฏในธรรมชาติ โดยทั่วไปมีความเป็นผลึกร้อยละ 60-80 ทนทานต่อสารเคมี ไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ สามารถละลายได้ในกรดซัลฟิวริก (มากกว่า 68 %) กรดไฮโดรคลอริก (มากกว่า 41 %) สังกะสีคลอไรด์ สารประกอบ Quarternary ammonium $\text{CuO-NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ และ $\text{CuO-ethylene diamine-H}_2\text{O}$



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของอัลฟา-เซลลูโลส [11]

2.4.1.2 เบต้า-เซลลูโลส (Beta- Cellulose)

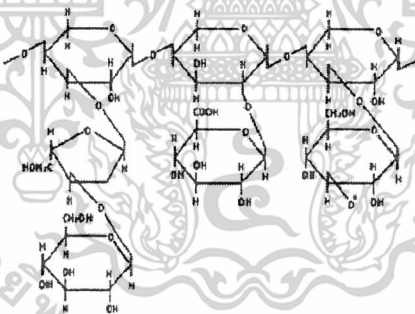
เป็นสารละลายที่แยกเอาอัลฟา-เซลลูโลสออกแล้ว โดยการกรองออกจากสารละลายโซดาไฟเข้มข้นแล้วทำให้เป็นกลาง จะได้ตะกอนอันเป็นส่วนที่เรียกว่า เบต้า-เซลลูโลส ออกมา ซึ่งประกอบไปด้วยเซลลูโลสขนาดสั้นๆ มีหน่วยซ้ำเหมือนกับ อัลฟา-เซลลูโลส แต่การจัดเรียงตัวแตกต่างกันไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของเบต้า-เซลลูโลส [12]

2.4.1.3 แกมมา-เซลลูโลส (Gamma- Cellulose)

ส่วนที่เหลือเป็นสารละลายหลังจากแยกอัลฟา-เซลลูโลสและเบต้า-เซลลูโลส ออกแล้ว รู้จักกันในชื่อของเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) มีองค์ประกอบของหน่วยย่อยเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลคโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส เฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย มีหมู่กรด เช่น อะเซทิล (Acetyl) และยูโรนิก (Euronic) จับอยู่ด้วย มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (Amorphous polymer) สามารถอมน้ำและพองตัวได้ดีเป็นสมบัติที่สำคัญในการทำกระดาษ

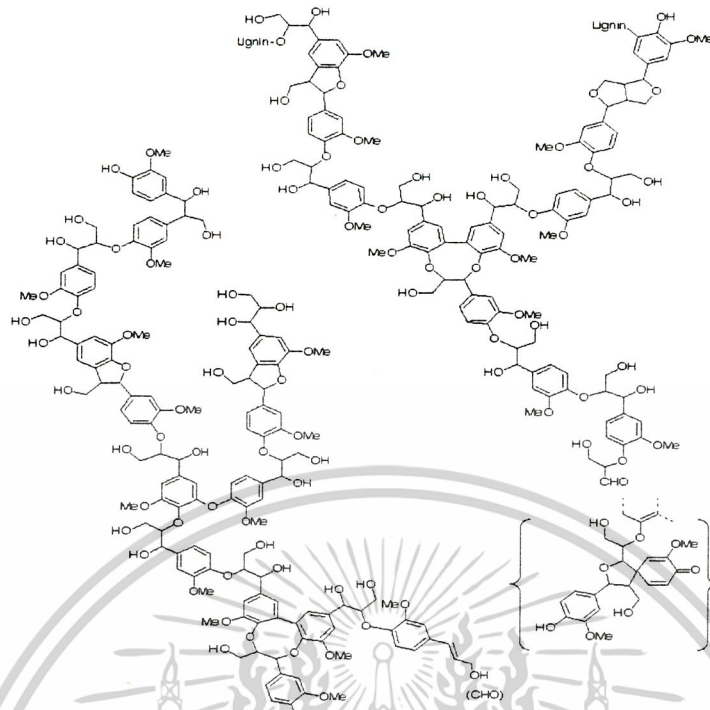


รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของแกมมา-เซลลูโลส [13]

2.4.2 ลิกนิน (Lignin)

เป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous polymer) ประกอบด้วยหน่วยของฟีนิลโพรเพน (Phenyl propane unit) ประมาณ 2,500 หน่วย จับตัวกันเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ด้วยพันธะ อีเทอร์ (Ether bond) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น Phynyl-o-aryl bond และ C-C bond ลิกนินมีความเข้มข้นสูงที่สุดในส่วนเชื่อมต่อระหว่างเส้นใย (Middle lamella) ทำหน้าที่ยึดเส้นใยให้ติดอยู่ด้วยกัน มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก อุณหภูมิที่อ่อนตัวจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนิน [14]

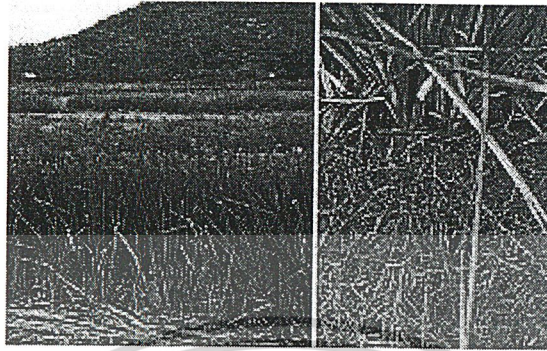
2.4.3 สารสกัด (Extractive)

สารสกัด หมายถึง ส่วนประกอบในพืชที่ละลายออกมาได้ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตน (Acetone) แอลกอฮอล์ (Alcohol) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) ซึ่งอาจมีส่วนของสารประกอบอินทรีย์คัดออกมาด้วยซึ่งไม่ถือเป็นสารสกัด

2.4.4 เถ้า (Ash)

เถ้า คือ ส่วนของเกลือแร่และสารอนินทรีย์ โดยทั่วไปที่มีอยู่ในเส้นใยพืช คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักไม้หรือเยื่อ หาได้โดยวิธีละลายในน้ำกรดเกลือ (HCl) 6 M ซึ่งเป็นการหาปริมาณของซิลิกาอย่างคร่าวๆ

2.5 หญ้าแฝก (Vetiver grass) [15]



รูปที่ 2.13 รูปถ่ายหญ้าแฝก [16]

หญ้าแฝก จัดเป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ กระจายอยู่ทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ ในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ทั่วไปจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอน สามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด หญ้าแฝกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveria zizanioides* เป็นพืชในตระกูลหญ้า ขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดยการแตกกออย่างรวดเร็ว เส้นผ่านศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เมตร ลักษณะใบแคบ ยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 0.8 เซนติเมตร กอนข้างแข็งหากนำมาปลูกเป็นแนวยาวขวางแนวลาดเทของพื้นที่ กอซึ่งอยู่เหนือดินจะแตกกอติดต่อกันเหมือนรั้วต้นไม้ สามารถกรองเศษพืชและตะกอนดิน ซึ่งถูกน้ำชะล้างพัดพามาตกทับถมที่กอหญ้าเกิดเป็นคันดินธรรมชาติได้ หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากลึก เจริญเติบโตในแนวตั้งมากกว่าออกทางด้านข้าง และมีจำนวนรากมากจึงเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี รากจะประสานติดต่อกันแน่นหนาเสมือนม่านหรือกำแพงใต้ดิน สามารถกักเก็บน้ำและความชื้น ระบบรากแผ่ขยายกว้างเพียง 50 เซนติเมตร โดยรอบของกอเท่านั้น ไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่อยู่ข้างเคียง จัดเป็นมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้ดินมีความชื้นและรักษาหน้าดิน เพื่อใช้สำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งการใช้หญ้าแฝกในการอนุรักษ์ดินและน้ำดังกล่าวเป็นวิธีที่ง่ายต่อการปฏิบัติ

พันธุ์หญ้าแฝก [15]

ได้มีการศึกษาหญ้าตระกูล *Vetiveria* ในประเทศไทยอย่างเป็นระบบอนุกรมวิธาน ผลการศึกษาปรากฏว่า หญ้าแฝกที่พบในประเทศไทยจำแนกออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ หญ้าแฝกหอมหรือหญ้าแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* Nash) และหญ้าแฝกดอน (*Vetiveria zizanioides* A. Camus) ในธรรมชาติพบว่าหญ้าแฝกทั้ง 2 ชนิดมีกระจายทั่วไป ขึ้นได้ดีทั้งในสภาพพื้นที่ลุ่มและที่ดอน ในดินสภาพต่างๆ จากความสูงใกล้ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับประมาณ 800 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หญ้าแฝกหอมหรือหญ้าแฝกกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* Nash)

เป็นพืชสวนที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีและค่อนข้างเร็ว หญ้าแฝกหอมมีใบยาว 40-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร มีหลังใบโค้ง ใบแบน มีสีเขียวเข้ม เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบ (Wax) มากทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลังใบ และเมื่อนำไปส่องดูกับแดดจะเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ (Septum) ค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะพื้นใบบริเวณส่วนโคนและกลางใบ เส้นกลาง (Midrib) ฝังอยู่ในตัวแผ่นใบ ไม่โตหรือเด่นชัดเจน

2. หญ้าแฝกคอง (*Vetiveria zizanioides* A. Camus)

หญ้าแฝกคองหรือหญ้าแฝกพื้นบ้าน มีการกระจายพันธุ์อยู่ในวงแคบๆ ตามธรรมชาติ เฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ ประเทศไทย ลาว เวียดนาม กัมพูชา และมาเลเซียเท่านั้น มีใบยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร ใบสีเขียวซีด หลังใบมีหน้าพับเป็นสันสามเหลี่ยม เนื้อใบหยาบ มีไขเคลือบ (Wax) น้อยทำให้ดูร่วนไม่เคลือบมัน ท้องใบมีสีเขียวซีดกับด้านหลังใบแต่มีสีซีดกว่า เมื่อส่องกับแดดจะไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ เส้นกลางใบสังเกตเห็นได้ชัดเจน มีลักษณะแข็งเป็นแกนหนุนทางด้านหลัง

การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝก

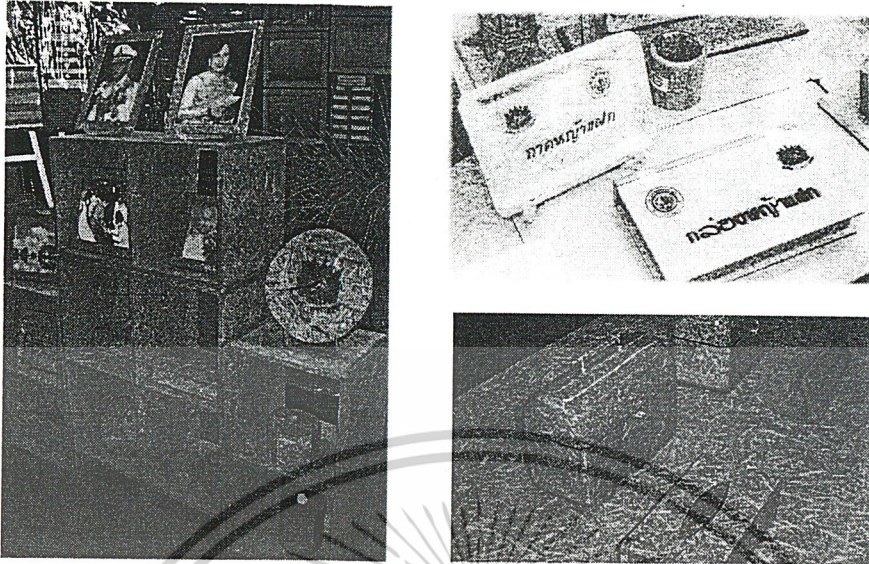
หญ้าแฝกเป็นวัตถุดิบที่มีมากในประเทศไทย ถ้านำมาใช้ประโยชน์ได้จะมีคุณค่าทางเศรษฐกิจอย่างมาก ซึ่งได้มีการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งานด้านต่างๆ โดยจุดประสงค์หลักในการปลูกหญ้าแฝกก็คือ ใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ แต่ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ใบยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์จากใบหญ้าแฝกสำหรับงานศิลปหัตถกรรม

ชนิดที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ กลุ่มของหญ้าแฝกหอม ซึ่งมีใบมัน และยาว เมื่อโดนน้ำจะนิ่ม โดยงานหัตถกรรมที่ใช้หญ้าแฝกจะเป็นงานประกอบเครื่องจักรสานหรืองานฝีมือ เช่น

- ทำเป็นตะกร้าและภาชนะ ได้แก่ กระจาด กระด้ง และภาชนะสำหรับรองต่างๆ
- ทำเป็นเครื่องตกแต่งบ้าน ได้แก่ นาฬิกาแขวนกรอบรูป โป๊ะไฟ ของตั้งโชว์ ดอกไม้
- ทำเป็นเครื่องประดับ ได้แก่ กระเป๋ากว้าง หมวก เข็มขัด เข็มกลัดติดเสื้อ
- ทำเป็นของใช้สำนักงาน ได้แก่ แฟ้มเอกสาร ปกไดอารี แผ่นป้ายชื่อตั้งโต๊ะ กล่องใส่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก [17]

2. การใช้ประโยชน์จากต้น และใบของหญ้าแฝกเป็นวัสดุเพาะเห็ด เนื่องจากใบของหญ้าแฝกมีองค์ประกอบทางเคมีที่เชื้อราบางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในกระบวนการของการหมัก จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับเพาะเห็ดได้ เห็ดที่ขึ้นได้ดี ได้แก่ เห็ดนางฟ้า เห็ดเป๋าฮื้อ และเห็ดหอม
3. การใช้ประโยชน์จากต้น และใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุฝังหลังคา การนำมาใช้จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการใช้ใบจากหรือใบหญ้าคา แต่จะมีคุณสมบัติดีกว่าการใช้ใบหญ้ามามาก เพราะส่วนลำต้นและใบของหญ้าแฝกจะมีไขเคลือบ (Wax) มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และมักจะไม่วิ่งเมลงทำลาย

2.6 การปรับสภาพผิวเส้นใย [9]

ในการออกสูตรส่วนผสมของสารประกอบพอลิเมอร์ (Polymeric composition) ส่วนหนึ่งที่สำคัญ คือการเลือกใช้สารตัวเติม (Fillers) หรือสารเสริมแรง (Reinforcement) ซึ่งต้องมีความสมดุลทั้งกระบวนการขึ้นรูปและสมบัติที่ได้ เหมาะสมกับค่าใช้จ่าย สามารถเลือกได้ แต่สารเหล่านี้อาจก่อให้เกิดลักษณะหรือสมบัติบางประการของชิ้นงานที่ไม่พึงประสงค์ เช่น เปราะ ร่วน หรือเข้ากันไม่ได้ โดยสมบัติของสารประกอบพอลิเมอร์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาดของพื้นที่ผิวสัมผัส ลักษณะโครงสร้าง และความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวของสารตัวเติม

การจะทำให้สารประกอบพอลิเมอร์ที่มีความสมบูรณ์แบบนั้น จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันที่พื้นผิวของสารตัวเติม ซึ่งการเติมสารเติมแต่ง (Additives) ต่างๆ ก็มักใช้วิธีนี้ ซึ่งสารเติมแต่งที่เติมลงไปนั้น ถ้าทำหน้าที่เพียงช่วยให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้อย่างดี แต่ไม่ได้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวที่เกิดขึ้น

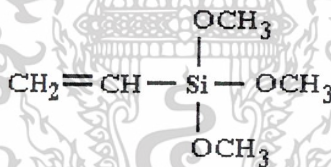
อันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์และสารตัวเติม จะเรียกสารเติมแต่นั้นว่า สารหล่อลื่น (Lubricant) แต่ถ้าช่วยเพิ่มพื้นที่ส่วนที่เกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์และสารตัวเติมให้มากขึ้น จะเรียกสารเติมแต่นั้นว่า สารคู่ควบ (Coupling agent)

สารคู่ควบทำหน้าที่

- เพิ่มพื้นที่ส่วนที่เกิดอันตรกิริยาระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์และสารตัวเติม
- ช่วยทำหน้าที่หล่อลื่นในระหว่างที่ผ่านกระบวนการผลิต
- ทำหน้าที่เสริมแรงให้กับชิ้นงาน

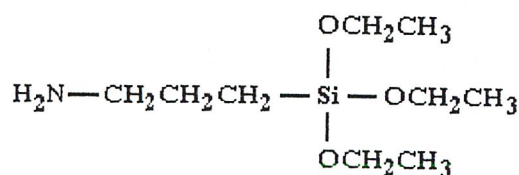
โดยทั่วไปสารคู่ควบมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงการใส่สารประกอบไซเลน (Silane) ซึ่งเลือกใช้เพื่อเปรียบเทียบ 2 ชนิด คือ ไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน (Vinyltrimethoxy silane) และแกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (γ -Aminopropyltriethoxy silane)

สารประกอบไซเลนที่เป็น ไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน (Vinyltrimethoxy silane) จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสที่หมู่เอพอกซี ได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไซลานอล 3 หมู่ (Organofunctional Trisilanol) จากนั้นสารประกอบที่ได้จะเข้าไปทำปฏิกิริยาโดยหันด้านที่ไม่มีขั้วไปทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นบิวทาไดเอน (Butadiene) และหันหมู่ไซลานอลไปเกิดพันธะกับสารอนินทรีย์ (Inorganic substrates) หรือก็คือ ส่วนของเส้นใยหญ้าแฝกนั่นเอง

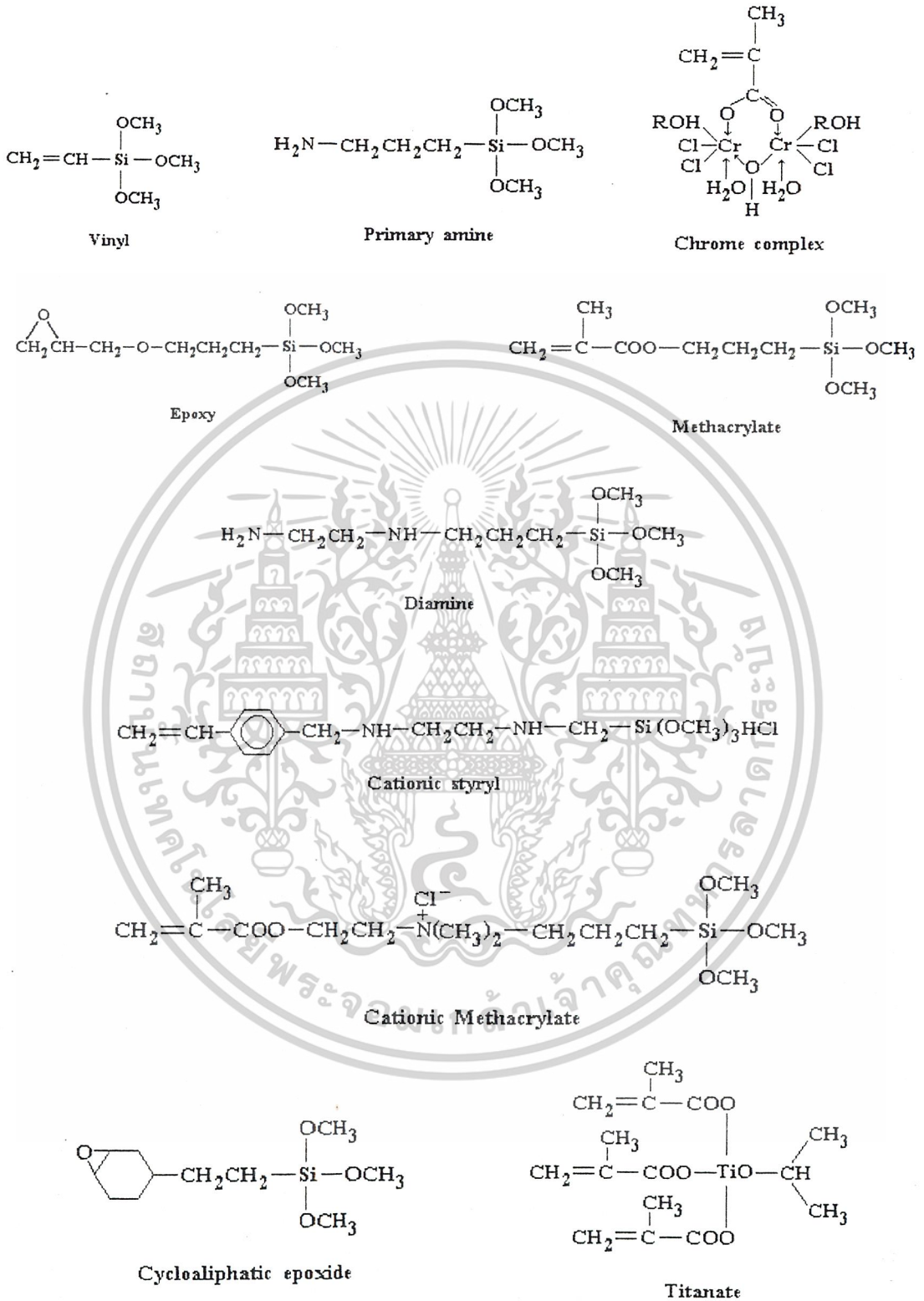


รูปที่ 2.15 สูตรโครงสร้างของไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน (Vinyltrimethoxy Silane) [18]

ส่วนแกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (γ -Aminopropyltriethoxy silane) จะแตกต่างที่จะหันหมู่เอมีนปฐมภูมิ (Primary amine) ซึ่งมีความไม่มีขั้วมากกว่าไปจับกับพอลิเมอร์ แล้วหันด้านหมู่เมทอกซี (Methoxy group) ที่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสไปเกิดพันธะกับสารอนินทรีย์ (Inorganic substrates) เช่นเดียวกัน

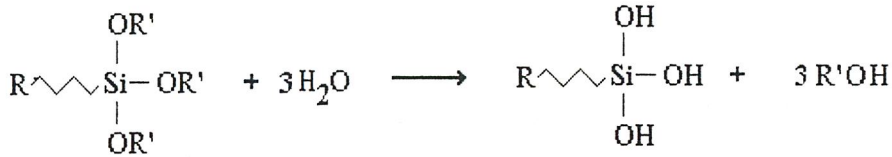


รูปที่ 2.16 สูตรโครงสร้างของแกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า (γ -Aminopropyltriethoxy Silane) [19]
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

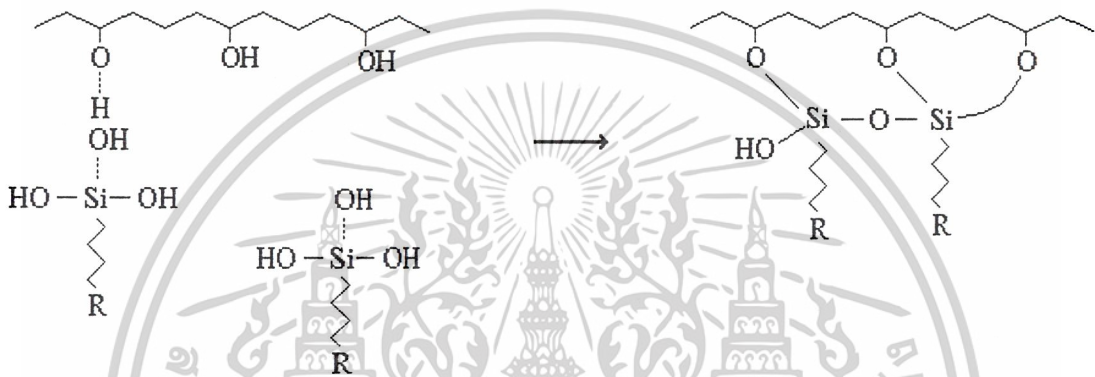


รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของสารก่อกวนชนิดต่างๆ [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Organofunctional Trisilanol



รูปที่ 2.18 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารคู่ควบ [21]

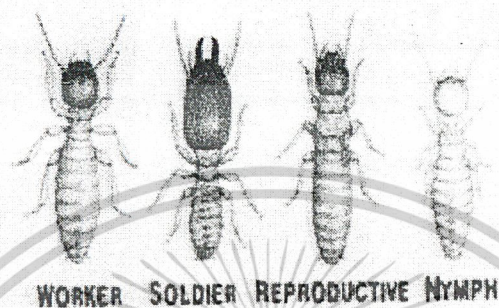
2.7 การศึกษาความทนทานของไม้เทียมต่อการทำลายของปลวกใต้ดิน [15]

ปลวกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ หมายถึง ปลวกที่พบเข้าทำลายความเสียหายให้แก่ไม้ที่ใช้ประโยชน์ในอาคารบ้านเรือนทั้งในเขตเมืองและชนบท สำหรับเขตเมืองตามอาคารบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย หรืออยู่ตามหมู่บ้านจัดสรรต่างๆ พบว่า ปลวกที่เข้าทำลายความเสียหายมากที่สุดกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของที่อยู่อาศัยทั้งหมด ได้แก่ ปลวก *Coptotermes gestroi* Wasmann ซึ่งจัดเป็นปลวกที่อยู่ในวงศ์ Rhinotermitidae ลักษณะเด่นของปลวกชนิดนี้ คือ มีช่องเปิดบริเวณด้านหน้าของส่วนที่เรียกว่า Fontanelle ขนาดใหญ่กว่าปลวกชนิดอื่น ซึ่งปลวกจะผลิตสารเคมีที่เป็นของเหลวสีขาวพุ่งออกมาเพื่อใช้ในการป้องกันตัวเวลามีภัย

วิธีการศึกษาและเปรียบเทียบระดับความทนทานตามธรรมชาติของไม้ หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ อื่นๆ ต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน จะสามารถดำเนินการทดสอบได้ทั้งภายในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการบังคับ (No choice test) ไม้ที่ทดลองจะถูกใส่ไว้ในรังปลวกเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ชนิดของปลวกที่ใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบ คือ ปลวกใต้ดิน *Coptotermes gestroi* ซึ่งจัดเป็นปลวกชนิดที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อไม้ที่ใช้ประโยชน์ในอาคารบ้านเรือนสูงที่สุดในประเทศ

นอกจากนี้เพื่อเป็นการทดสอบหรือศึกษาความทนทานในระยะยาวในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการวิจัยและการศึกษานานาชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หรือเป็นการทดสอบในภาคสนามนี้อาจจะใช้วิธีการเลือกอิสระ (Choice test) โดยปล่อยให้ปลวกในไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาตินานาชนิดในพื้นที่เลือกเข้าทำลายไม้ชนิดต่างๆ ได้อย่างอิสระ ซึ่งอาจจะเลือกใช้วิธีการ บังคับ โดยฝังไม้ทดลองไว้ภายในจอมปลวกชนิดต่างๆ เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน แล้วจึงนำมา ตรวจสอบเช็คผล



รูปที่ 2.19 ลักษณะของปลวก [15]

2.8 กระบวนการแปรรูปพลาสติก

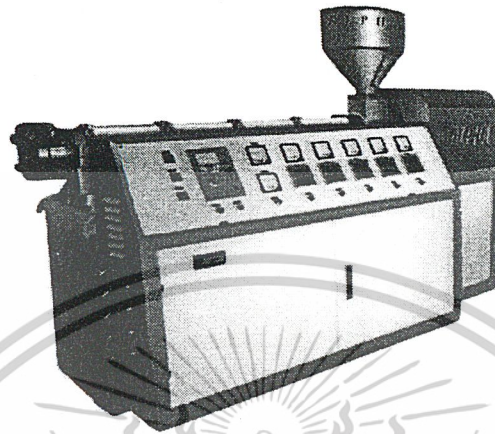
กระบวนการแปรรูปพลาสติกเป็นการทำให้พลาสติกหรือวัสดุประเภทพอลิเมอร์เกิดประโยชน์ใช้สอยมากที่สุด ซึ่งกระบวนการแปรรูปทางอุตสาหกรรมมีหลายกระบวนการ เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การอัดขึ้นรูป (Compression molding) การเป่าขึ้นรูป (Blow molding) การหมุนขึ้นรูป (Rotational molding) การรีด (Calendering) การขึ้นรูปร้อน (Thermoforming) และการหล่อ (Casting) ในงานวิจัยนี้จะใช้เพียง 2 กระบวนการ คือ การอัดรีด และการฉีดขึ้นรูป

2.8.1 การอัดรีด (Extrusion) [22]

การอัดรีดเป็นกระบวนการพื้นฐานที่นิยมใช้ทั้งในการผสมพอลิเมอร์กับสารเติมแต่งต่างๆ และใช้ในการแปรสภาพพอลิเมอร์ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในกระบวนการต่ำกว่ากระบวนการอื่นสามารถผลิตรูปร่างผลิตภัณฑ์ได้หลายแบบตามต้องการ เช่น แท่งกลม พิล์ม แผ่น และท่อ ซึ่งขึ้นกับลักษณะของหัวตาย (Die) ที่ใช้ และเป็นกระบวนการที่ทำได้อย่างต่อเนื่อง เครื่องอัดรีดเป็นเครื่องมือที่มีความหลากหลายในการแปรรูปทางพลาสติกซึ่งมีขั้นตอน คือ เม็ดพลาสติกถูกป้อนเข้ามาในระหว่างเกลียวหนอน (Screw) ของเครื่องอัดรีดและกระบอกใส่เกลียวหนอน (Barrel) เม็ดพลาสติกจะถูกอัด หลอมผสม แล้วไหลไปตามท่อ และออกทางหัวตาย ทั้งนี้โดยอาศัยความแตกต่างของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของเกลียวหนอนและกระบอกใส่เกลียวหนอนทำให้เกิดพลังงานการเฉือน (Shearing energy) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยในการผสมและหลอมเหลว
นำไปผ่านกระบวนการอื่นต่อไป

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการอัดรีดในการผสมพอลิเมอร์ก่อน



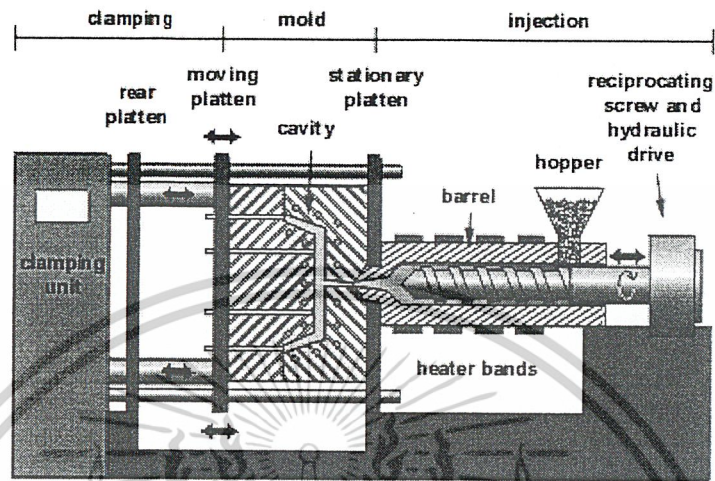
รูปที่ 2.20 เครื่องอัดรีด (Extruder) [23]

2.8.2 การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) [24]

วิธีการนี้เป็นเทคโนโลยีการแปรรูปที่สำคัญ และใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากการฉีดขึ้นรูปมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีอื่นๆ คือ เป็นกระบวนการที่รวดเร็ว สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงที่ค่อนข้างซับซ้อนได้ ผลิตชิ้นงานได้ตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ อีกทั้งทำงานได้กับพลาสติกทั้งที่เป็นเม็ดและเป็นผง ใช้ได้กับพอลิเมอร์ที่เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) เทอร์โมเซต (Thermosets) และอีลาสโตเมอร์ (Elastomers)

การทำงานของเครื่องฉีดขึ้นรูปจัดเป็นกระบวนการที่รวมขั้นตอนแบบอนุกรมเข้าไว้ด้วยกัน กล่าวคือ ขั้นตอนการเติมแบบ (Mold filling phase) ขั้นตอนบรรจุ (Packing phase) ขั้นตอนการย้า (Holding phase) ขั้นตอนการหล่อเย็น (Cooling phase) และขั้นตอนการปลดชิ้นงาน (Part ejection) โดยที่ขั้นตอนการทำงานดังกล่าวจะเริ่มจากระบบขับเคลื่อน (ระบบไฮดรอลิก) ของส่วนการยึดแม่แบบจะดันให้แท่นยึดแม่แบบที่เคลื่อนที่ (Moving platen) วิ่งเข้ามาประกบปิดกับแท่นยึดแม่แบบที่อยู่กับที่ (Stationary platen) ซึ่งขณะที่แม่พิมพ์ปิดอยู่ ส่วนของการฉีดจะเริ่มทำงาน โดยเกลียวหนอน (Screw) จะหมุนเพื่อทำให้เม็ดพลาสติกเกิดการหลอม โดยอาศัยความร้อนทั้งจากการเสียดสีและจากแถบให้ความร้อน ในขณะที่เม็ดพลาสติกเกิดการหลอมจะมีการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าและเกิดความดันขึ้น เนื่องจากเกลียวหนอนมีการหมุนเพื่อขับเคลื่อนให้เม็ดพลาสติกหลอมนั้นเคลื่อนตัวออกมาทางด้านหน้า จากนั้นเมื่อพลาสติกหลอมมีปริมาณที่มากเพียงพอแล้วก็ถึงขั้นตอนการฉีด โดยที่เกลียวหนอนจะทำหน้าที่คล้ายลูกสูบ เพื่อดันให้พลาสติกหลอมนั้นไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ จากนั้นเข้าสู่การทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Cooling) ซึ่งจะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากผลิตภัณฑ์ผ่านไปยังผนังแม่พิมพ์ที่เย็น ทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวและแข็งตัวจนสามารถนำออกมาจากแม่พิมพ์ได้



รูปที่ 2.21 ลักษณะของเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection machine) [25]

ในงานวิจัยนี้ จะใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูปในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อนำมาทดสอบสมบัติของคอมโพสิตที่ผสมได้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจในการศึกษาการค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากเส้นใยธรรมชาตินำมาผสมเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์คอมโพสิต จึงขอสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

ธารทิพย์ เขมะศิริ และคณะ [3] ทำการวิจัยพอลิเมอร์คอมโพสิตของเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิ-โอเลฟินส์ โดยใช้พอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงทั้งชนิดใหม่และชนิดรีไซเคิลเป็นเมทริกซ์ โดยทำการศึกษาผลของปริมาณหญ้าแฝกที่ 0 30 40 50 60 และ 70 phr โดยใช้สารช่วยผสมเป็นพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polypropylene-graft-Maleic Anhydride , PP-g-MA) และพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene-graft-Maleic Anhydride , PE-g-MA) ที่ 3% โดยน้ำหนัก จากการทดลองใช้ผงหญ้าแฝกที่เตรียมวิธีเชิงกล (Mechanical pulp , MP) สมบัติเชิงกลที่ได้จะมีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) แต่การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น จากการศึกษาด้านฐานวิทยาศาสตร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope , SEM) พบว่าการยึดติดระหว่าง

เอกสารที่เป็นเอกสารสืบสวนไว้แล้วสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ไม่อนุญาตให้ดูได้ประโยชน์ด้านการค้า ในขณะทำการใช้เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีความร้อนเชิงกล ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Thermomechanical pulp , TMP) จะทำให้สมบัติความแข็งแรงดึง โมดูลัส ความแข็งแรงโค้งงอ และ โมดูลัสโค้งงอดีขึ้น แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกลดลง โดยปริมาณเส้นใย ที่ 40-60 phr จะทำให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด แต่ถ้ามีปริมาณของเส้นใยมากเกินไปจะทำให้สมบัติเชิงกล ลดลง จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope , SEM) พบว่าการยึดติดของเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ดี และการกระจายตัวของเส้นใยหญ้าแฝกในพอลิเมอร์เมตริกซ์ดีกว่าของผงหญ้าแฝก ส่วนชนิดของพอลิเมอร์ชนิดใหม่และ ชนิดรีไซเคิลจะให้สมบัติโดยรวมที่ใกล้เคียงกัน

นวรณณ์ อนันตชนวนวิชัย และคณะ [26] ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียมโดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองตอนคือ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene , PP) กับเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีเชิงกล (Mechanical pulp , MP) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride , PVC) ผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical pulp , CP) ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของปริมาณหญ้าแฝกและขนาดหญ้าแฝก จากการทดลองพบว่าปริมาณการเติมผงหญ้าแฝกจำนวน 30 phr และมีขนาดของผง 20-50 mesh จะให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด แต่สมบัติเชิงกลที่ได้มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) ส่วนสมบัติทางความร้อนและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกผสมสารช่วยผสม 3% มีการยึดติดกันดีกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ พบว่าช่องว่างระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ลดลง ในการศึกษาสมบัติของคอมโพสิต PVC/CP พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่าโมดูลัสเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าคอมโพสิตที่เติมเส้นใย 30 phr และมีขนาดของผง 20-50 mesh จะให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด และค่าการดูดซึมน้ำของเยื่อเส้นใยขาวจะน้อยกว่าเยื่อเส้นใยสีน้ำตาล เนื่องจากเยื่อเส้นใยสีน้ำตาลมีพื้นที่ผิวการดูดซึมน้ำมากกว่า การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกมากขึ้นเส้นใยจะมีการกระจายตัวมากขึ้น เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น เป็นผลให้พอลิเมอร์เมตริกซ์ไม่สามารถแทรกตัวระหว่างเยื่อเส้นใยไม้ได้ทั่วถึงทุกส่วน ก่อให้เกิดช่องว่างในชิ้นงานคอมโพสิต โดยที่เส้นใยขนาด 20-50 mesh จะมีการกระจายตัวที่ดีและพบช่องว่างระหว่างเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกกับพีวีซีมีน้อย แสดงว่ามีการยึดติดระหว่างเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกกับพีวีซีมีการยึดติดกันดี

วรรณิยา ชาญณรงค์ [27] ทำการศึกษาแนวทางการผลิตไม้เทียมจากวัสดุคอมโพสิต PVC กับเส้นใยไม้ยางพารา (Natural rubber fibers) ที่เตรียมด้วยกระบวนการ TMP โดยการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ซึ่งพบว่าการเพิ่มปริมาณของเส้นใยไม้ยางพาราในวัสดุคอมโพสิตจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัสที่ 3% ค่าความแข็งแรงกระแทก ความแข็งแรงโค้งงอ ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการดูดซึมน้ำมันเพิ่มขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราในวัสดุคอมโพสิตมากเกินไปจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัสที่ 3% ค่าความแข็งแรงกระแทก ความแข็งแรงโค้งงอ ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการดูดซึมน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการดูดซึมน้ำและค่าการดูดซึมน้ำมันของชิ้นงานคอมโพสิตจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราที่เติมเข้าไป อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราในวัสดุคอมโพสิตมากเกินไปจะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการดูดซึมน้ำมันเพิ่มขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการดูดซึมน้ำและค่าการดูดซึมน้ำมันของชิ้นงานคอมโพสิตจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราที่เติมเข้าไป

และ โมดูลัสโค้งงอสูงขึ้น แต่สมบัติดังกล่าวจะลดลงเมื่อเกินขีดความสามารถในการเข้ากันได้ของเส้นใยกับพอลิเมอร์ แต่ในส่วนของค่าความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเส้นใยไม่เพียงพอเพิ่มขึ้นเสมอ ทั้งนี้ ในส่วนของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ไดออกทิลฟทาเลต (Diocetylphthalate , DOP) เมื่อใช้ในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัสที่ 3 % ความแข็งแรงโค้งงอ โมดูลัสโค้งงอ และค่าความแข็งแรงลดลง ในขณะที่ค่าความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากในการเติมพลาสติกไซเซอร์จะทำให้วัสดุคอมโพสิตนิ่มลงและมีความเป็นพลาสติกมากขึ้น

สมภพ เลิศลักษณ์กุล [28] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม สามารถเตรียมได้จาก PVC ผสมกับเส้นใยยูคาลิปตัส (Eucalyptus fibers) โดยทำการผสมในเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนอนเดี่ยว (Single screw extruder) แล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสม PVC ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนอนเดี่ยวคือ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณไม้ที่เหมาะสมที่สุดคือ 30 phr และมีขนาดของเส้นใย 30-50 mesh (300-500 ไมครอน) เมื่อทำการเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งใช้ DOP เป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่ได้มีขึ้นและมีความแข็งแรงลดลง ทนทานต่อความร้อนน้อยลง เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณของ DOP ที่เหมาะสมในการทำพิวซีคอมโพสิตคือ 10 phr

ปิยะวรรณ เจริญกัก และ พงศ์ศักดิ์ แพ้น้อย [29] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตไม้เทียมจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยยูคาลิปตัส ทั้งที่ได้จากกระบวนการ CP และทางความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp ,TMP) โดยศึกษาผลของสารช่วยผสมโดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อกิ่งด้วยพอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride graft polypropylene, PP-g-MA) และอัตราส่วนผสมของเส้นใยที่เหมาะสม (10 20 30 และ 40 phr) จากการทดลองพบว่าคอมโพสิตมีสมบัติความแข็งแรงดึง และค่าโมดูลัสดีขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทก และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง โดยคอมโพสิตที่เติมเส้นใย 20 phr มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม พบว่าคอมโพสิตมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลง และเส้นใย TMP มีการกระจายตัว และสมบัติเชิงกลดีกว่าแบบ CP

ธีรพัฒน์ อุณหโชค และ พงนิษฐ์ ศรธรรมลี [30] ได้ศึกษาการผลิตและสมบัติของไม้เทียมจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเส้นใยผักตบชวาที่เตรียมจากการสกัดด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณเส้นใยกับพอลิเมอร์ ผลของสารช่วยผสมต่อปริมาณเส้นใย และขนาดของเส้นใยผักตบชวา โดยเปรียบเทียบจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลอง พบว่าค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส ความแข็ง และองศาความเป็นผลึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ส่วนค่าร้อยละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง จากการศึกษาผลของสารช่วยผสม ซึ่งใช้พอลิเอทิลีนตอกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene-graft-Maleic Anhydride, PE-g-MA) พบว่าคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารช่วยผสมเท่ากับ 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และขนาดของเส้นใยที่เหมาะสม คือ 50-80 mesh ค่าการดูดซับน้ำของคอมโพสิตจะลดลงเมื่อใส่สารช่วยผสม เนื่องจากสารช่วยผสมจะช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับพอลิเอทิลีนเมทริกซ์ดีขึ้น โดยสามารถยืนยันได้จากการศึกษาด้วย SEM

จิรพรรณ หน่ยคอน และ มาริสา ตันติลักษณ์ [31] ทำการศึกษาการนำเส้นใยอ้อยมาเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งได้จากขูดน้ำพลาสติกที่เหลือใช้ โดยเส้นใยอ้อยจะถูกปรับสภาพผิวให้มีสมบัติการยึดติดในพอลิเมอร์ผสม โดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์ 60 ในปริมาณ 0 10 20 และ 30 กิโลเกรย์ และใช้มัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ช่วยในการตอกิ่ง แล้วนำมาผสมกับพอลิเมอร์ผสมในเครื่องผสมเกลียวหนอนเดี่ยว จากนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก จากการทดลองพบว่าคอมโพสิตที่ทำการฉายรังสีในปริมาณ 10 กิโลเกรย์ มีแนวโน้มที่จะมีสมบัติด้านต่างๆ ดีที่สุด กล่าวคือ พอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถทนทานต่อแรงดึง แรงกระแทก และ ทนต่อการขูดขีด ได้ดีที่สุด ส่วนสมบัติทางด้านอื่นๆ ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อทำการเปรียบเทียบคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยเก่า และ เส้นใยใหม่ พบว่าในเส้นใยใหม่จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า และ ดูดซับน้ำได้น้อยกว่าคอมโพสิตที่ทำจากเส้นใยเก่า

รัชดา ขวัญคุณ [32] ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขูดน้ำดื่ม และเส้นใยอ้อย โดยเปรียบเทียบการปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตด้วยสารช่วยยึดติด 2 ชนิดคือ PE-g-AA และ PE-g-MA จากการทดลองพบว่า การเติมขานอ้อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขูดน้ำดื่มจะทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตแข็งแรงขึ้น แต่การดึงยืดและความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง และขานอ้อยที่ใช้ไม่จำเป็นต้องผ่านการคัดขนาดก่อน เมื่อเปรียบเทียบระบบที่ใช้ PE-g-AA กับระบบที่ใช้ PE-g-MA พบว่าสมบัติของคอมโพสิตที่ได้จากทั้ง 2 ระบบจะไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากมีพันธะที่เกิดขึ้นเป็นพันธะชนิดเดียวกัน

ปิยะวัน ตั้งสุวรรณวนิช [33] ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติคือ ใผ่สีสุก กับอะครีโลไนไตรล์-บิวตะไดอิน-สไตรีน โคพอลิเมอร์ (Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS) ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยใผ่ โดยทำการผสมเส้นใยใผ่ 0-40 phr กับเอบีเอส โดยใช้เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) และขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการตอกิ่งกับพอลิเมทิลเมทาครีเลท (PMMA) มีสมบัติเชิงกลดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตแบบไม่ตอกิ่ง และเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตจะมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กมลรัตน์ กุรัตนัชชาวล และคุณดาว ปรีชาวงศ์ [34] ได้ทำการศึกษาผลของชานอ้อยที่เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิเมอรัสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีนโดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิว และชานอ้อยที่ปรับสภาพผิวด้วยการฉายรังสีแล้วต่อกึ่งด้วยมอนอเมอร์ชนิดหลายหมู่ฟังก์ชัน (Multifunctional monomer) แล้วนำชานอ้อยที่ได้มาผสมกับพอลิเมอรัสมในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหอนอนเดี่ยว แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการดูดซับน้ำ จากการทดลองพบว่า คอมโพลิตที่มีชานอ้อยทั้งที่มีการปรับและไม่ปรับสภาพพื้นผิวนั้นมีแนวโน้มทำให้สมบัติด้านต่างๆดีขึ้น กล่าวคือพอลิเมอรัสมคอมโพลิตสามารถทนทานต่อแรงดึง ความคงรูป และเสถียรภาพต่อความร้อนดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณมอนอเมอร์พบว่าเมื่อใช้ที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะทำให้สมบัติต่างๆดีขึ้นมากที่สุด

ฉะลัทรพงษ์ สุวรรณชัย และฉัฐพร เคนนินนาท [35] ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบลวง (*Typha angustifolia*) เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยทำการศึกษาสารตัวเติมและสารเชื่อมโยงต่างชนิดกันคือ Silane A-174 และ MAH ในปริมาณ 0.4 และ 6% โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิพรอพิลีนคอมโพลิต ทั้งที่มีการใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยงจะให้ประสิทธิภาพลดลง เมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีเส้นใยสลาบลวงเป็นตัวเติม ส่วนผลของแสงอัลตราไวโอเล็ตต่อการสลายตัวของพอลิเมอรัสมคอมโพลิตพบว่าปริมาณสารตัวเติมรวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงในพอลิพรอพิลีนคอมโพลิตไม่ส่งผลในการช่วยป้องกันการสลายตัวของพอลิเมอรัสมโดยแสงอัลตราไวโอเล็ต

เฉลิมพล อิทธีวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ [36] ได้ทำการศึกษาการนำเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งใช้หญ้าสลาบลวง (*Typha angustifolia*) เป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน โดยผสมเส้นใยแก้ว และสารคู่ควบ (Coupling agent) ซึ่งใช้ Silane เป็นสารเชื่อมโยง จากการทดลองพบว่า เส้นใยจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงดึงและค่าความคงทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอรัสมคอมโพลิตที่เตรียมได้ แต่จะมีแนวโน้มที่จะลดลงของค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด นอกจากนี้ยังทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติและการใช้งานอื่นๆ เช่น ทำเป็นแผ่น MDF (Medium Density Fiber Board) โดยใช้เทอร์โมเซต เช่น UF (Urea formaldehyde), MF (Melamine formaldehyde) เป็นตัวประสาน (Binder)

Joseph และคณะ [37] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางด้านความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพลิตที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านสรนารายณ์ (Sisal fiber) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึง ได้แก่ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอรัสม ความยาวของเส้นใย ปริมาณของเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอรัสม โดยที่การผสมเส้นใยกับพอลิเมอรัสมโดยวิธีการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) จะทำให้เกิดความเสียหายต่อเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป จะมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของคอมโพลิตเพิ่มขึ้น แต่ค่าร้อยละของการดึงยึด ณ จุดขาดจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ฉีด ทั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป จะทำให้เกิดการสลายตัวที่พื้นผิวของเส้นใย จึงทำให้สามารถยึดติดกับพอลิเอทีนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรง จะให้ค่าความแข็งแรงดึงดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 ไมโครเมตร จะให้ค่าความแข็งแรงดึงที่มีค่าสูงสุด

Rodney และคณะ [38] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้น (Multi-layer) และเส้นใยไม้ (Wood fiber) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ (Virgin) และทำการผสมในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ โดยที่ใช้ปริมาณเส้นใยไม้ที่ 0 30 40 และ 50 % โดยน้ำหนัก เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จากเม็ดพลาสติกของขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้น (Multi-layer) ที่นำมาใช้ใหม่ จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ แต่ถ้าเติมเส้นใยไม้มากกว่า 30 % โดยน้ำหนัก จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากสารเติมแต่งที่มีอยู่ในขวดพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นจะไปช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างส่วนที่เป็นเมตริกซ์กับเส้นใยไม้มากขึ้น

Yam และคณะ [39] ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของพอลิเอทีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จากขวดบรรจุภัณฑ์นมกับเส้นใยไม้สน โดยศึกษาเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุง นำมาปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต (Acetylate) โดยทำการผสมในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก แต่ถ้าเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลง และเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต (Acetylate) จะให้ค่าที่ดีกว่าเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุง สำหรับค่ามอดูลัส ค่าความแข็งแรงกระแทก และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง ส่วนรูปแบบและอุณหภูมิการผสมจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิการผสมมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จะทำให้ลักษณะเริ่มเสื่อมสภาพ และถ้าใช้เวลานาน คอมโพสิตที่ได้จะมีสีคล้ำเนื่องจากการเสื่อมสภาพโดยความร้อน

Raj และคณะ [40] ได้ทำการศึกษาการใช้เส้นใยไม้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) โดยใช้เส้นใย 3 ชนิด คือ เยื่อเชิงกล (Mechanical pulps) ผงไม้ (Wood flour) และเยื่อเซลลูโลส (Cellulose pulps) และได้มีการปรับปรุงเส้นใยก่อนด้วยสารประกอบจำพวกไซเลน และพอลิไอโซไซยานาต (Polyisocyanate) เพื่อเป็นการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีการปรับปรุงเส้นใยก่อน แต่จะไม่มีผลต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ค่ามอดูลัสจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณเส้นใยมากขึ้น ส่วนค่าการดึงยืดและค่าพลังงานการแตกหักจะลดลง สำหรับวิธีการผสม ถ้าทำการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดจะมีค่าความทนทานแรงดึงและมอดูลัสสูงกว่าที่ผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง อีกทั้งยังพบว่า MDPE ที่เติมด้วยเยื่อเชิงกลจะมีสมบัติที่ดีกว่าการเติมเยื่อเซลลูโลสและผงไม้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sain และคณะ [41] ได้ทำการศึกษาถึงการใส่ Magnesium hydroxide เป็นสารหน่วงไฟ ของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับพอลิพรอพิลีน เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ คือ กล้วย กับ ข้าวเปลือก โดยแยกศึกษาทั้ง กับพอลิพรอพิลีน แล้วทำการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่า Magnesium hydroxide สามารถลดสมบัติการติดไฟได้ มากกว่า 50 % เมื่อเทียบกับคอมโพสิตที่ไม่เติม แต่การเติมสารหน่วงไฟนี้ทำให้สมบัติเชิงกล คือ ค่าความแข็งแรงดึง และสมบัติการโค้งงอลดลง จากการทดลองพบว่า คอมโพสิตระหว่าง กล้วยกับ พอลิพรอพิลีน จะให้ค่าความแข็งแรงดึง และ สมบัติการโค้งงอที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ การคอมโพสิตระหว่างกล้วยกับพอลิพรอพิลีน ส่วนการทดสอบความแข็งแรงกระแทกนั้นจะไม่มีผลเท่าไรนัก เมื่อเติมสารหน่วงไฟ

Ismail และคณะ[42] ได้ศึกษาการเตรียมคอมโพสิตจากเส้นใยไผ่กับยาง โดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมกับไม่เติม Bonding agent โดยทำการเชื่อมโยงยางที่อุณหภูมิ 150 °C โดยใช้การกดร้อน (Hot press) โดยทำการวัดค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัสการดึงยึด ความแข็งแรงฉีกขาด ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด และความแข็งแรงกด พบว่าความแข็งแรงต่างๆดัง กล่าวของคอมโพสิตจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไผ่และมีการใช้ Bonding agent อีกทั้งเมื่อทำการจากการศึกษาด้วย SEM พบว่าการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของยางและเส้นใยไผ่ก็จะดีขึ้นเมื่อใช้ Bonding agent

Oksman และ คณะ [43] ทำการศึกษาถึงคอมโพสิตระหว่าง Polylactic acid กับ โยป่าน โดยใช้ Triacetin เป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมในเครื่องอัลทริคัลยวหนอนคู่ แล้วขึ้นรูปโดยการอัดขึ้นรูปร้อน ซึ่งจะใช้โยป่าน 30 และ 40 % โดยน้ำหนัก (phr) พบว่า ความแข็งแรงของ Polylactic acid กับ โยป่าน จะแข็งแรงกว่า 50 % เมื่อเทียบกับ พอลิพรอพิลีนกับโยป่าน ความแข็งแรงของ Polylactic acid จะมากขึ้น จาก 3.4 – 8.4 GPa เมื่อเติม 30 phr ของโยป่าน การเติม Triacetin (พลาสติกไซเซอร์) ลงไปนั้นไม่สามารถปรับปรุงสมบัติทนแรงกระแทกของคอมโพสิตได้ นอกจากนี้ยังทำให้สมบัติเชิงกลลดลง เพราะ Triacetin จะเปลี่ยนโครงสร้างของเส้นใยให้เปราะมากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงลดลง สมบัติเชิงกลจึงลดลง

Jana และ Prieto [44] ทำการศึกษาถึงการพัฒนาเส้นใยธรรมชาติที่เป็นคอมโพสิตของเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งพอลิเมอร์ คือ พอลิฟีนิลีนอีเทอร์ (Polyphenylene ether , PPE) คอมโพสิต กับ เส้นใยไม้ไผ่ พบว่าอุณหภูมิในกระบวนการของ PPE คือ 280 – 320 °C และอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไผ่ คือ 200 °C โดยจะมีการเติม Reactive solvent คือ อีพอกซีที่เป็น Thermosetting liquid resin ที่สามารถละลายผสมกับ PPE ได้ ทำให้ความหนืดในระบบลดลงอย่างมาก และ อุณหภูมิในขบวนการจะต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไม้ไผ่ ซึ่งในระหว่างการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) อีพอกซีจะไปสะสมอยู่รอบๆ อนุภาคเส้นใยไม้ไผ่ด้วย สมบัติของคอมโพสิตชนิดนี้จะมีสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ ที่ดีกว่าเส้นใยที่ไม่ได้พัฒนา ซึ่งจะใช้เป็นพอลิ-

เมอร์คอมโพสิตในทางอุตสาหกรรมด้านรถยนต์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pickering และคณะ [45] ทำการศึกษาถึงผลของสารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) ที่มีต่อคอมโพสิตระหว่างเส้นใยต้นสนกับพอลิเอทิลีน ซึ่งชนิดของสารประกอบไซเลนที่ใช้ คือ แกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (γ -Aminopropyltrimethoxy silane) จะทำหน้าที่ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยต้นสน โดยจะเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ปรับปรุงก่อนด้วย 2% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้วค่อยปรับปรุงด้วยไซเลน กับเส้นใยที่ทำการปรับปรุงด้วยไซเลนทันที พบว่าจาก X-ray photoelectron spectroscopy และ NMR ที่ใช้ศึกษาลักษณะของเส้นใยที่ปรับปรุงจะได้ว่า ไซเลนจะทำหน้าที่ช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของคอมโพสิตโดยเป็นตัวช่วยทำให้เกิดพันธะเชื่อมต่อกัน ในขณะที่ NaOH จะช่วยทำให้เกิดการประสานได้ดีขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

Miller และ Berg [46] ทำการศึกษาถึงผลของสารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) ที่เคลือบบนเม็ดดูดซับที่เป็นแก้วที่มีต่อการยึดติดกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ คือ Polyvinylbutyral โดยฝังเม็ดแก้วที่ปรับปรุงผิวด้วยไซเลนลงบนพอลิเมอร์ ซึ่งไซเลนนั้นแบ่งเป็นชนิดโมโนอัลคอกซีไซเลน (Monoalkoxy silane) ไดอัลคอกซีไซเลน (Dialkoxo silane) และไตรอัลคอกซีไซเลน (Trialkoxy silane) จากการผลการทดสอบพบว่า โมโนอัลคอกซีไซเลน (Monoalkoxy silane) จะมีสมบัติการยึดติดที่ผิวพอลิเมอร์ต่ำสุด ทำให้มีสมบัติทนต่อแรงกระแทกต่ำสุด ในขณะที่ไดอัลคอกซีไซเลน (Dialkoxo silane) และไตรอัลคอกซีไซเลน (Trialkoxy silane) จะมีการยึดติดที่แข็งแรงมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากมีพันธะที่มั่นคงแข็งแรงระหว่างวัฏภาคของพื้นผิวแก้วกับพอลิเมอร์เมตริกซ์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. High Impact Polystyrene (HIPS) เกรด Eporex[®] 827-10 บริษัท อีเทอนัล พลาสติก จำกัด สมบัติบางประการของ HIPS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.1
2. High Impact Polystyrene ชนิดที่มีการเติมสารหน่วงไฟ (HIPS-FR) เกรด Eporex[®] 855FR EPA25A563 บริษัท อีเทอนัล พลาสติก จำกัด สมบัติบางประการของ HIPS-FR ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.2
3. หญ้าแฝก(Vetiver)-แฝกคอน พันธุ์ราชบุรี ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้
4. สารคู่ควบ (Coupling agent)
 - 4.1 Silquest[®] A-171 Silane (Vinyltrimethoxy silane)
มีสูตรโครงสร้าง $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ สมบัติบางประการแสดงได้ดังตารางที่ 3.3 และ 3.4
 - 4.2 Silquest[®] A-1100 Silane (γ -Aminopropyltrimethoxy silane)
มีสูตรโครงสร้าง $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_3$ สมบัติบางประการแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ HIPS Eporex[®] 827-10

สมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ (ASTM)	หน่วย	ค่า
ความแข็งแรงดึง	D-638	Kgf/cm ²	239
การดึงยืด ณ จุดขาด	D-638	%	44.4
ความแข็งแรงกระแทกไอซอด (1/4" Thick, Notched)	D-256	Kgf.cm/cm	12.9
จุดอ่อนตัวไวเคาท (Vicat Softening Point)	D-1525	°C	99.9
ดัชนีการหลอมไหล	D-1238	g /10min	8.6
ความสามารถในการติดไฟ	UL 94	Class	HB

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ HIPS Eporex[®] 855FR EPA25A563

สมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ (ASTM)	หน่วย	ค่า
ความแข็งแรงดึง	D-638	Kgf/cm ²	225
การดึงยืด ณ จุดขาด	D-638	%	44.8
ความแข็งแรงกระแทกไอซอด (1/4" Thick, Notched)	D-256	Kgf.cm/cm	7.1
จุดอ่อนตัวไวเคาท (Vicat Softening Point)	D-1525	°C	96
ดัชนีการหลอมไหล	D-1238	g /10min	11.6
ความสามารถในการติดไฟ	UL 94	Class	V-0

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ลักษณะของ Silquest[®] A-171 Silane

ลักษณะ	ข้อดี
หมู่ฟังก์ชัน ไวนิล	- สามารถเกิดปฏิกิริยาผ่านอนุมูลอิสระ (Free radical) - หมู่ไวนิลช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไซเลน
หมู่ฟังก์ชัน ไตรเมทอกซีไซเลน	- ยึดติดกับพื้นผิวอินทรีย์ทำให้เกิดการยึดเกาะที่ดีทั้งสภาวะเปียกและแห้ง - ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยง (Crosslinker) - ทำหน้าที่เป็นตัวกำจัดความชื้น (Moisture scavenger)

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.4 สมบัติทางกายภาพของ Silquest[®] A-171 Silane

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะ	ค่า
ไม่มีสีถึงสีเหลืองอ่อน	
ความถ่วงจำเพาะ ที่ 25/25 °C	0.97
ดัชนีหักเห (n_D 25 °C)	1.3905
จุดควบไฟ (Tag Close Cup), °C(°F)	28 (82)
จุดเดือด, °C(°F)	122 (252)

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.5 สมบัติทางกายภาพของ Silquest[®] A-1100 Silane

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพ	ค่า
สี	ของเหลว
	เหลืองอ่อน
ความถ่วงจำเพาะ ที่ 25/25 °C	0.946
จุดเดือด, °C(°F)	217 (423)
ดัชนีหักเห (n_D 25 °C)	1.420
จุดควบไฟ (Pensky-Martens Close Cup), °C(°F)	96 (205)

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) “Thermo Haake PolyDrive”
2. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) รุ่น 0023 บริษัท Lab Tech Engineering Co. Ltd.
3. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น 0012 บริษัท Lab Tech Engineering Co. Ltd.
4. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) “Cosmo” รุ่น TTI 220/80 : บริษัท ประทานกิจถาวร จำกัด
5. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Tensile tester) : LLOYD INSTRUMENTS LTD.
6. เครื่องทดสอบสมบัติแรงกระแทก (Impact tester) : Yasuda 199311
7. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Hardness tester, shore D) : SOCIETA PER AZION รุ่น Alasfaar
8. เครื่องทดสอบสมบัติความร้อน DMTA (Dynamic mechanical thermal analyzer) :
RHEOMETRIC SCIEN TI FIC รุ่น DMTA-V บริษัทดับบลิวดับบลิว แอช โซซิเอท จำกัด
9. SEM (Scanning eletron microscope) รุ่น LeO 1455 VP (LeO Electron Microscopy Ltd.) with EDAX
10. เครื่องร่อนแยกขนาด (Sieve shaker) รุ่น 01409023 บริษัท Retsch Co. Ltd.
11. ตะแกรงมาตรฐาน ขนาด 20 และ 50 mesh
12. ชุดอุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น
13. ชุดอุปกรณ์ทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ
14. เครื่องชั่ง
15. เครื่องบดพลาสติก (Grinding machine) บริษัท Bosco Engineering Co. Ltd.
16. เคซิเคเตอร์
17. ตู้อบแบบอากาศร้อน : MEMERT รุ่น UM 400
18. ไมโครมิเตอร์ และเวอร์เนีย
19. ถู่มือกันความร้อน
20. เต้าไฟฟ้า
21. เครื่องเคลือบตัวอย่าง (Sputter Coater-Polaron Range SC7620)
22. เกรียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาเส้นใยหญ้าแฝกเป็นสารตัวเติม (Filler) HIPS ชนิดทั่วไป และ HIPS-FR

เส้นใยหญ้าแฝกที่เป็นสารเพิ่มเนื้อในการทดลองนี้เตรียมมาได้จากกรรมวิธีทางเชิงกล (Mechanical pulp, MP) แล้วนำเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมได้จากกรรมวิธีเหล่านี้มาผสมกับ High Impact Polystyrene ทั้ง 2 ชนิด แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติทางเชิงกล สมบัติทางกายภาพ เป็นต้น โดยสามารถทำการทดลองได้ดังนี้

3.3.1.1 การเตรียมเส้นใยหญ้าแฝก

การเตรียมเส้นใยหญ้าแฝกที่ได้จากกรรมวิธีทางเชิงกล เตรียมได้โดยนำหญ้าแฝกที่ล้างสะอาดไปบดด้วยเครื่องบดเชิงกล จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้นทำการแยกขนาดหญ้าแฝกด้วยเครื่องร่อน และใช้ตะแกรงขนาด 20 และ 50 mesh ซึ่งจะใช้เส้นใยหญ้าแฝกที่มีขนาดอยู่ระหว่าง 20-50 mesh เป็นสารเพิ่มเนื้อในการทดลองนี้



รูปที่ 3.1 เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยกรรมวิธีเชิงกล ขนาด 20-50 mesh

3.3.1.2 ขั้นตอนการผสม HIPS หรือ HIPS-FR

1. ชั่งสูตรผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.1
2. ทำการผสมระหว่าง HIPS หรือ HIPS-FR กับ หญ้าแฝก โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง เป็นเวลา 5 นาที
3. นำของผสมที่ได้มาผสมกันในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยเลือกใช้อุณหภูมิที่ 200°C
4. นำของผสมที่ได้มาบดให้เป็นเม็ด
5. นำเม็ดที่ได้มาฉีดขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลังงานวิจัยที่บริการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำคอมโพสิตที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

สมบัติทางกายภาพ

- ความหนาแน่น (Density) โดยวิธี Density Gradient Column Technique ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1505
- การดูดซับน้ำ (%Water absorption) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 570

สมบัติเชิงกล

- ทดสอบสมบัติแรงดึงด้วย Universal tensile tester ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 ได้ค่า Tensile strength , %Elongation at break และ Modulus
- ทดสอบสมบัติความแข็งแรงโค้งงอด้วย Universal tensile tester ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 790 ได้ค่า Flexural strength และ Flexural modulus
- ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength; ASTM D 256 (kJ/m²)) แบบไอซอด (Izod)
- ความแข็งกด (Hardness; ASTM D 785) Shore D

สมบัติทางความร้อน

- Dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) ใช้หาค่า T_g

สัณฐานวิทยา

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope , SEM)
- การทดสอบความทนทานต่อปลวกของวัสดุผสมพอลิเมอร์กับผงหญ้าแฝกในห้องปฏิบัติการ
- ดำเนินการตามแผนปฏิบัติการชุดโครงการวิจัยเรื่อง การวิจัยและพัฒนาปฏิสัมพันธ์ของหญ้าแฝกกับปลวกเพื่อสนองพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ

สมบัติการติดไฟ

- หาค่าการเผาไหม้ในแนวนอน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 635

ตารางที่ 3.6 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ

องค์ประกอบ	ปริมาณ (phr)	
	1	2
HIPS (HIPS-FR)	100	100
หญาแฝก	0 ,10 ,20 ,30 ,40 ,50	0 ,10 ,20 ,30 ,40 ,50
Silquest [®] A-171 Silane	0 ,3 %wt *	-
Silquest [®] A-1100 Silane	-	0 ,3 %wt *

หมายเหตุ * %wt เทียบกับน้ำหนักของเส้นใย

3.3.2 การศึกษาเส้นใยหญาแฝกใน High Impact Polystyrene (HIPS) ชนิดทั่วไป และ High Impact Polystyrene ชนิดที่เติมสารหน่วงไฟ (HIPS-FR) ที่มีการเติม Silane เป็นสารคู่ควบ ศึกษาเกี่ยวกับผลที่เติม Silane ลงไป 3 %wt ซึ่งมีการเติมสารคู่ควบ (Silane) อยู่ 2 ชนิด คือ Silquest[®] A-171 Silane และ Silquest[®] A-1100 Silane มีการแสดงอัตราส่วนผสม เช่นเดียวกับส่วนผสมในตารางที่ 3.6

3.4 การทดสอบ

การทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ทำการทดสอบมาตรฐาน ดังตาราง 3.7 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.7 มาตรฐานต่างๆในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยรายงานผล
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Tensile modulus)	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)	ASTM D 638	%
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)	ASTM D 256	kJ/m^2
ความแข็งกด (Hardness)	ASTM D 785	Shore D
ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa
อัตราการเผาไหม้ในตำแหน่ง แนวนอน	ASTM D 635	mm/s
ความหนาแน่น (Density)	ASTM D 1505	g/cm^3
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ	ASTM D 570	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มอดุลัส (Tensile modulus) และเปอร์เซ็นต์การยืด

ณ จุดขาด (%Elongation at break)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 โดยในการทดสอบจะทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) แต่ละครั้งใช้ตัวอย่าง 8 ชิ้น โดยตัวอย่างเป็นรูปดัมเบลล์ และสภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell)	5	กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการดึง (Test speed)	100	mm/min
- Cell class	0.5	
- Gauge length	70	mm

ค่า Tensile strength , %Elongation at break และ Modulus สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength); } \sigma &= F/A \\ \text{\%การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break); } At &= [(L-L_0)/L_0] \times 100 \\ \text{มอดุลัส (Tensile modulus); } E &= (\sigma_1 - \sigma_2) / (At_1 - At_2) \end{aligned}$$

F คือ แรงที่ใช้ในการยืดตัวอย่างจนกระทั่งขาด (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

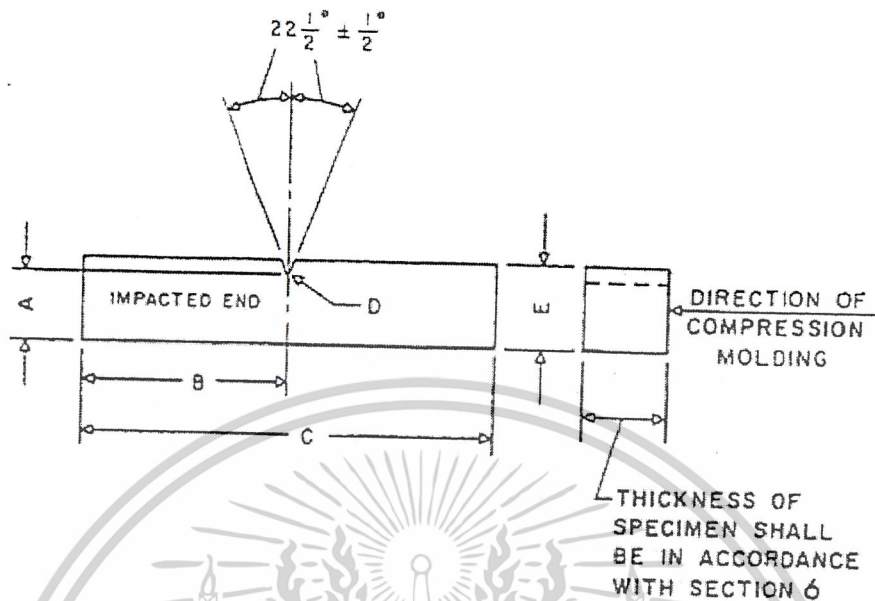
A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร; mm²)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงตัวอย่าง (มิลลิเมตร; mm)

L₀ คือ ช่วงที่ขึ้นงานแถบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน; Gauge length (มิลลิเมตร; mm)

3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 256 โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) และแต่ละครั้งใช้ตัวอย่าง 8 ชิ้น โดยตัวอย่างเป็น ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะตัวอย่างของชิ้นงานที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก [47]

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

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

W คือ ค่าพลังงานกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูล; kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางเมตร; m^2)

3.4.1.3 ความแข็งกด (Hardness)

การทดสอบหาค่าความแข็งกด (Hardness) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 785 โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบ Shore D ลักษณะของชิ้นงานที่นำมาทดสอบต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า $\frac{1}{4}$ นิ้ว และมีความเรียบ กดเป็นเวลา 5 วินาที จึงสามารถอ่านค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และ โมดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และ โมดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยลักษณะในการทดสอบเป็น ดังรูปที่ 3.3 และ สภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 5 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการกด (Compression speed) 10 มิลลิเมตร/นาที
- ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span length) 40 มิลลิเมตร

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural modulus) และ โมดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus) มีดังนี้

$$\text{ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ; } \sigma_f = [(3/2)FL] / bh^2$$

$$\text{โมดูลัสโค้งงอ ; } E_f = (L^3/4bh^3) \times (\Delta F/\Delta d)$$

F คือ แรงกด (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

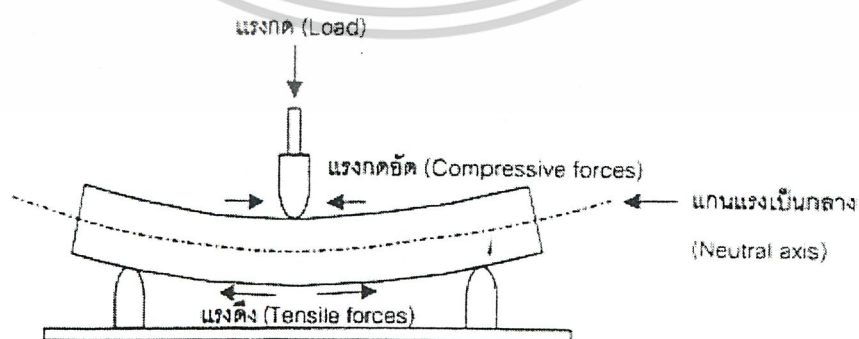
L คือ Span length (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

b คือ ความกว้างของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

h คือ ความหนาของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

ΔF คือ ผลต่างของแรงดึง (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

Δd คือ ระยะกดโค้งงอ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

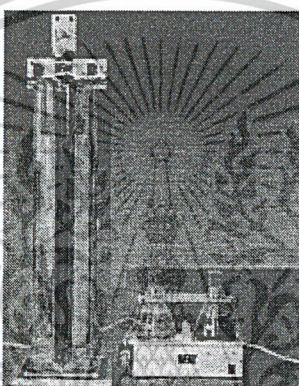


รูปที่ 3.3 แรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบการโค้งงอ [47]
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

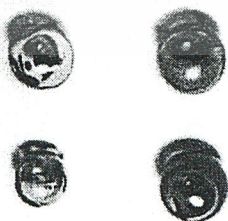
3.4.2.1 ความหนาแน่น (Density) [48]

สามารถทดสอบโดยใช้เทคนิค Density Gradient Column Technique ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และใช้เครื่องมือง่ายๆ โดยอาศัยหลักการที่ว่าพอลิเมอร์แต่ละชนิดมีความหนาแน่นต่างกัน ในการเตรียมคอลัมน์ จะเตรียมโดยใช้ของเหลวหรือตัวทำละลาย 2 ชนิด ที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและมีความหนาแน่นต่างกัน หรือตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน โดยในการทดสอบได้เลือกใช้ตัวกลางที่ 1 คือ Chloroform ($D = 1.489 \text{ g/cm}^3$) และตัวกลางที่ 2 คือ m-Xylene ($D = 0.864 \text{ g/cm}^3$)



รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบหาค่าความหนาแน่นโดยใช้เทคนิค Density Gradient Column Technique [49]

ในการทดสอบจะต้องมีเม็ดพลาสติกมาตรฐาน (Calibrate float) เพื่อใช้ในการเทียบหาความหนาแน่นในแต่ละระดับความสูง แล้วนำค่าความหนาแน่นกับค่าความสูงมาพล็อตเป็นกราฟมาตรฐาน เมื่อนำพลาสติกที่ไม่ทราบความหนาแน่นมาทดสอบ โดยนำค่าความสูงที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน ก็จะได้ค่าความหนาแน่นของพลาสติกนั้นๆ



รูปที่ 3.5 เม็ดพลาสติกมาตรฐาน (Calibrate float) [49]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

เป็นไปตาม ASTM D 570 โดยการนำชิ้นงานไปอบให้แห้ง 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 30 วัน และทำการวัดปริมาณน้ำที่ดูดซับเป็นเวลาต่างๆกัน 5 ช่วงเวลา และนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำโดยสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

ใช้เทคนิค Dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) โดยเลือกวิธี Three point bend ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบขนาดความยาว 40 mm ความกว้าง 8 mm หนา 3 mm ทำการทดสอบที่ช่วงอุณหภูมิ 25-150 °C เพื่อศึกษาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g)

3.4.4 สัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดเพื่อศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยไม้ กับ พอลิเมอร์ การเตรียมตัวอย่างทำโดยนำตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิติดลบและทำการหักทันทีที่อุณหภูมิติดลบ จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทองและนำเข้าเครื่อง SEM โดยเลือกความละเอียดที่กำลังขยาย 100 เท่าเพื่อศึกษาการกระจายตัวและความละเอียดที่กำลังขยาย 500 เท่า เพื่อศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิเมอร์

3.4.5 การทดสอบความทนทานต่อปลวกของวัสดุผสมพอลิเมอร์กับหญ้าแฝกในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝก ได้ดำเนินการตามแผนปฏิบัติการชุดโครงการวิจัยเรื่อง การวิจัยและพัฒนาปฏิสัมพันธ์ของหญ้าแฝกกับปลวกเพื่อสนองพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ

การทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกในห้องปฏิบัติการ

- การทดสอบคอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกเพื่อศึกษาความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก โดยชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีขนาด 2.5 x 2.5 x 0.5 เซนติเมตร ซึ่งศึกษาผลของปริมาณของหญ้าแฝกในช่วง 0-50 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบในห้องปฏิบัติการใช้วิธีการทดสอบแบบบังคับ (No choice test) โดยนำชิ้นงานใส่ลงในบ่อซีเมนต์ที่ได้เพาะเลี้ยงปลวกชนิด *Coptotermes gestroi* ซึ่งในการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะไม่สัมผัสดิน ใช้เวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ 4 สัปดาห์
- การบันทึกและการประเมินผลการทดสอบ โดยการประเมินความเสียหายบนแผ่นวัสดุโดยเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเป็นเปอร์เซ็นต์ และบันทึกอัตราการเข้าทำลายเป็นเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลาย ดังตารางที่ 3.8
- วิเคราะห์ข้อมูลในการทดสอบความทนทานของวัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกในด้านระดับความเสียหายของแผ่นประกอบหญ้าแฝก

ตารางที่ 3.8 การประเมินอัตราการเข้าทำลายของปลวก

ระดับความเสียหาย	อัตราการเข้าทำลาย (%)	ความเสียหายของวัสดุทดลอง	ประสิทธิภาพ
0	0	ไม่พบการเข้าทำลาย	ดี (Good)
1	1-20	ทำลายผิววัสดุทดลอง	น่าพึงพอใจ (Satisfactory)
2	21-40	ทำลายภายในวัสดุทดลองน้อย	ยอมรับ (Acceptable)
3	41-60	ทำลายภายในวัสดุทดลองปานกลาง	ไม่ยอมรับ (Unacceptable)
4	61-80	ทำลายภายในวัสดุทดลองมาก	ไม่ยอมรับ (Unacceptable)
5	81-100	ทำลายภายในวัสดุทดลองอย่างรุนแรง	ไม่ยอมรับ (Unacceptable)

3.4.6 สมบัติการติดไฟ

เป็นการทดสอบตามมาตรฐานวิธีการทดสอบสำหรับอัตราการเผาไหม้และขอบเขตเวลาในขณะที่เผาไหม้ของพลาสติกในตำแหน่งแนวนอน ตามมาตรฐาน ASTM D 635 โดยเป็นการหาอัตราการเผาไหม้หรือเวลาเผาไหม้ของพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

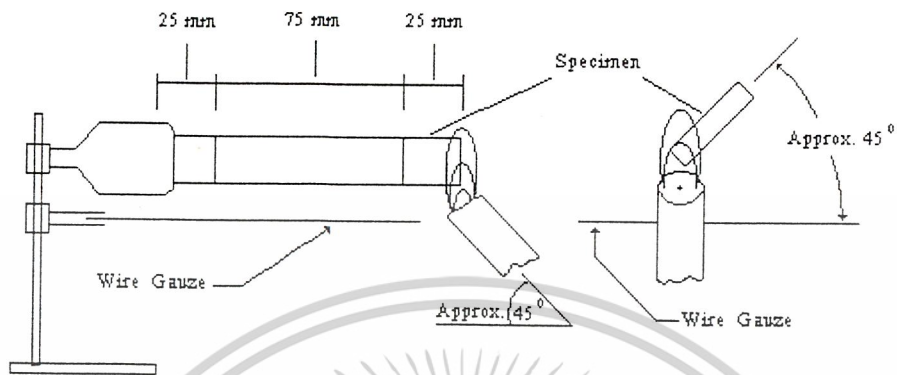
วิธีการทดสอบ

1. เตรียมชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบขนาดความยาว 125 mm กว้าง 13 mm และหนา 3 mm (แต่ไม่เกิน 3.2 mm) ตัดชิ้นงานและขจัดเศษเล็กๆ ที่ผิวชิ้นงานภายนอก หรือใช้กระดาษทรายขัดให้เรียบจำนวน 10 ชิ้น
2. ทำสัญลักษณ์ที่ตำแหน่ง 25 mm และที่ 100 mm โดยวัดจากจุดปลายที่ทำการเผา
3. การทดสอบการเผาไหม้สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ
 - 3.1 ตั้งชิ้นงานขนานกับพื้น นำเปลวไฟเข้ามาทำการทดสอบโดยตั้งเปลวไฟให้ทำมุม 45° กับชิ้นงาน
 - 3.2 ตั้งเปลวไฟในแนวตั้งฉากกับพื้น นำชิ้นงานทดสอบโดยตั้งชิ้นงานให้ทำมุม 45° กับเปลวไฟ ทั้งนี้เปลวไฟทดสอบต้องสูงไม่เกิน 20 mm โดยทำการปรับไว้ก่อนทดสอบอย่างน้อย 5 นาที
4. ถ้าชิ้นงานมีความยืดหยุ่นหรือห้อยตัวเมื่อทำการเผา จะต้องมีการใช้ชุดอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงาน (Flexible specimen support fixture) เพื่อไม่ให้ขยับไปติดหรือสัมผัสกับตะแกรงลวดในขณะที่เผา (Wire gauze)
5. ในการทดสอบต้องทำการเผาบริเวณแกนกลางคือ ณ ตำแหน่งความกว้างประมาณ 6 mm ให้ความร้อนด้วยเปลวไฟที่บริเวณ 25 mm แรกที่ทำสัญลักษณ์ไว้เป็นเวลานาน 30 วินาที จากนั้นเริ่มจับเวลาที่ชิ้นงานเกิดการเผาไหม้ตั้งแต่ตำแหน่ง 25 mm จนถึงตำแหน่ง 100 mm บันทึกค่าเวลา (t) เป็นวินาทีที่ใช้ในการเผาไหม้ชิ้นงานในช่วงความยาว (L) คือ 75 mm ถ้าเปลวไฟเผาไม่ถึง 100 mm ให้บันทึกเวลา (t) และวัดค่าช่วงความยาว (L) ที่เกิดการเผาไหม้ได้
6. ในขณะที่ทำการทดสอบต้องมีตะแกรงลวด (Wire gauze) คอยรับชิ้นงานที่ย้อยหล่นลงมาขณะทดสอบ โดยตั้งให้อยู่ต่ำกว่าระดับที่จับชิ้นงาน 10 mm ซึ่งถ้ามีส่วนใดส่วนหนึ่งตกลงบนตะแกรงลวดจะต้องทำการเผาไหม้หมดก่อนทำการทดสอบชิ้นต่อไป
7. นำค่าความยาวที่เกิดการเผาไหม้ (L) และค่าเวลาที่ใช้เผาไหม้ (t) มาคำนวณหาอัตราการเผาไหม้ได้จากสมการ

$$V = 60 L/t$$

เมื่อ V คือ อัตราการเผาไหม้	หน่วยเป็น mm/min
L คือ ช่วงความยาวที่เกิดการเผาไหม้	หน่วยเป็น mm
t คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้	หน่วยเป็น sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์การทดสอบอัตราการติดไฟ [50]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

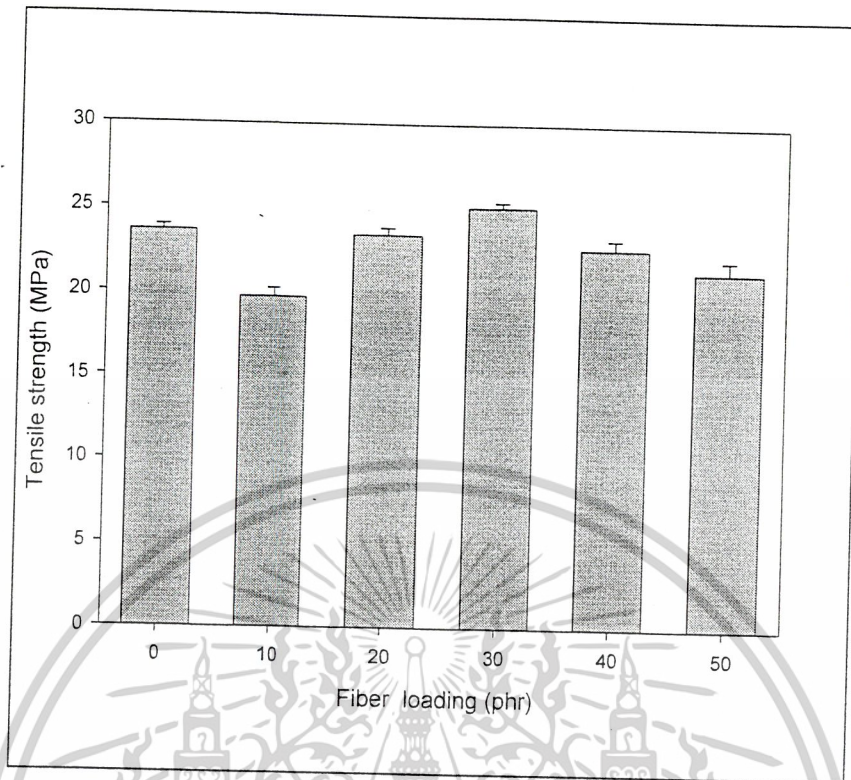
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาปริมาณหัวน้ำแผลกที่เป็นสารตัวเติม (Fillers) ในพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก

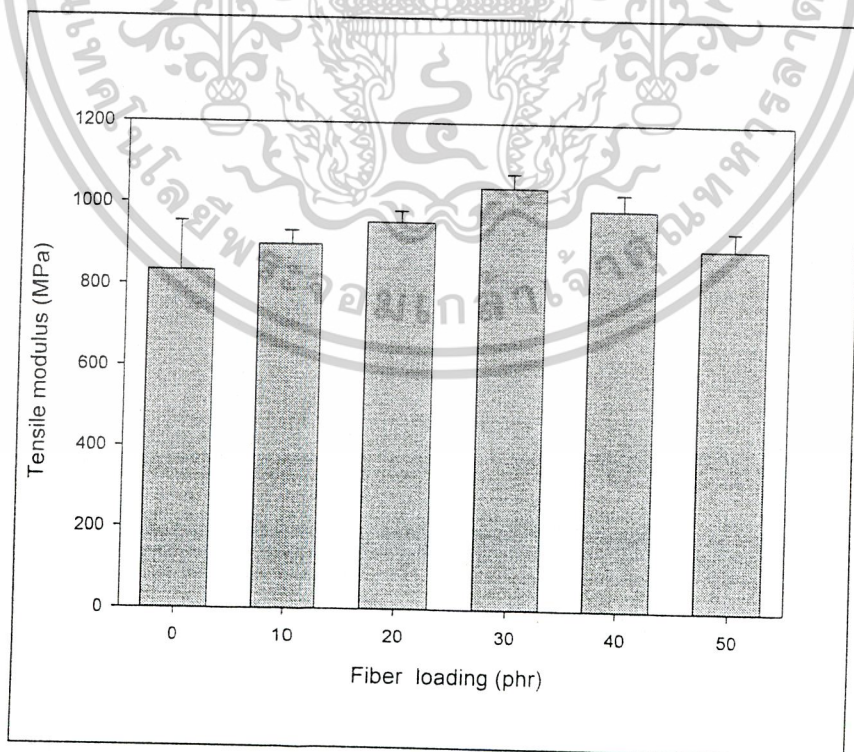
ในการทดลองนี้ทำการศึกษาปริมาณเส้นใยหัวน้ำแผลกที่ใช้เป็นสารตัวเติม (Fillers) ในพอลิเมอร์เมตริกซ์พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (High Impact Polystyrene, HIPS) โดยเตรียมเส้นใยด้วยกรรมวิธีทางเชิงกล (Mechanical pulp, MP) ขนาด 20-50 mesh ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหัวน้ำแผลก 0 10 20 30 40 และ 50 phr เพื่อหาปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมที่สุดในการผสมในพอลิเมอร์เมตริกซ์แล้วทำให้สมบัติโดยรวมอยู่ในระดับที่ดี

4.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากรูปที่ 4.1-4.7 เมื่อวิเคราะห์ผลของปริมาณเส้นใยหัวน้ำแผลกที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตโดยมีพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกเป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ สมบัติดังกล่าวได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัส (Modulus) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และโมดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหัวน้ำแผลกมากขึ้นค่าความแข็งแรงดึง และโมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่อยๆ ลดลง แต่จะมีค่ามากที่สุดที่หัวน้ำแผลกปริมาณ 30 phr เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้นเป็นการเพิ่มส่วนรับแรงมากขึ้นเพราะลักษณะในองค์ประกอบของหัวน้ำแผลกมีความแข็ง [14] เมื่อเติมในพอลิเมอร์เมตริกซ์ทำให้วัสดุมีความแข็งแรง ด้านทานแรงดึงได้สูง แต่ถ้าเส้นใยมากเกินไป (เช่น ที่ปริมาณเส้นใยมากกว่า 30 phr) อาจทำให้เกิดรอยต่อระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์กับเส้นใยหัวน้ำแผลกมาก ทำให้เกิดตำหนิ เกิดความเปราะร่วนของวัสดุ อีกทั้งการกระจายตัวของเส้นใยไม่ดีทำให้สมบัติดังกล่าวมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะทำให้เส้นใยเกิดการแทรกตัวในเนื้อพอลิเมอร์มากขึ้น ทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเมตริกซ์ลดลง ความยืดหยุ่นลดลง แข็งเปราะมากขึ้นจึงทำให้สมบัติดังกล่าวมีค่าลดลง ส่วนค่าความแข็งกดเมื่อเพิ่มปริมาณหัวน้ำแผลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณหัวน้ำแผลกและค่อยๆ ลดลง เมื่อปริมาณหัวน้ำแผลกเพิ่มขึ้นแต่จะมีค่ามากที่สุดที่ปริมาณเส้นใย 30 phr เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยเหมาะสมต่อปริมาณพอลิเมอร์ทำให้กระจายการรับแรงได้ดี ความแข็งแรงสูง ด้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดี จึงมีความแข็งแรงโค้งงอสูง และโมดูลัสโค้งงอที่ปริมาณเส้นใย 30 phr จะมีค่าสูงเนื่องจาก มีปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมต่อปริมาณพอลิเมอร์ทำให้มีความแข็งแรง

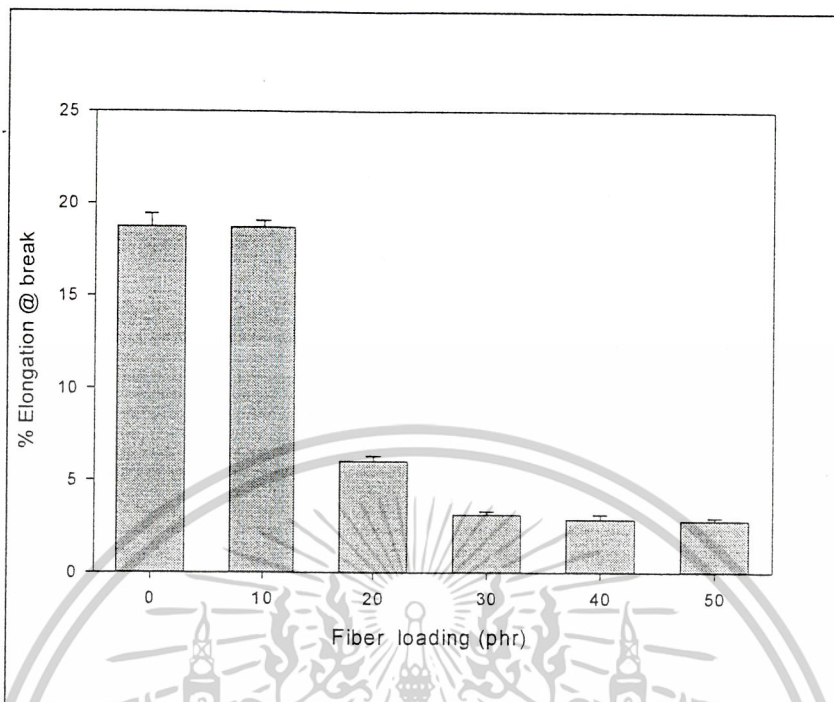


รูปที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุคอม โพลีต HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ

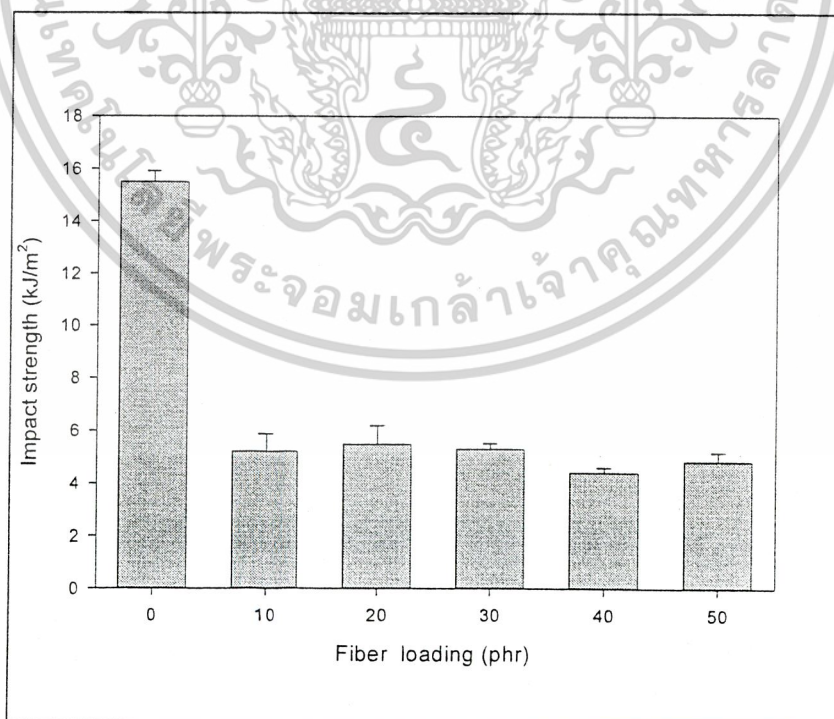


รูปที่ 4.2 ค่ามอดุลัสของวัสดุคอมโพลีต HIPS กับ เส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

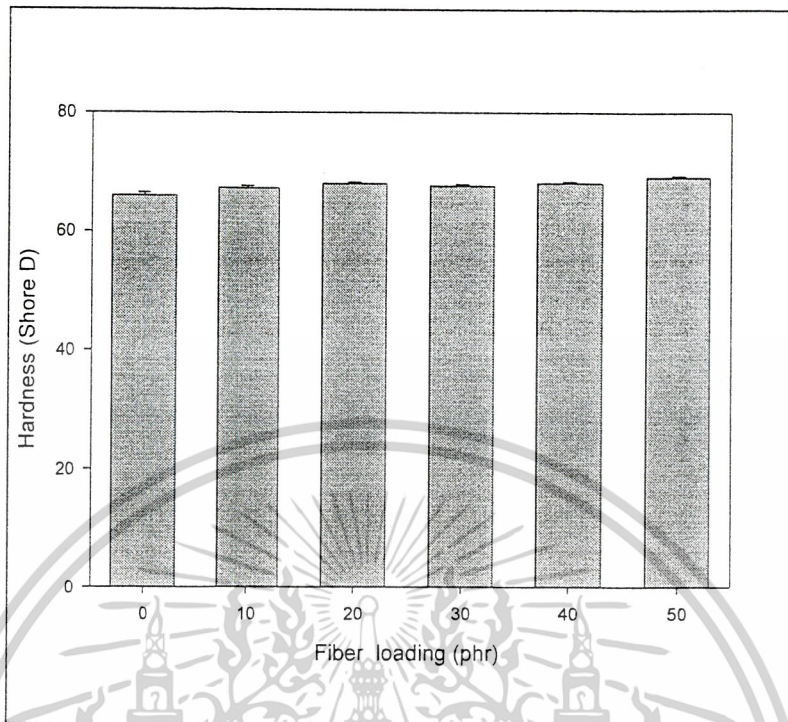


รูปที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของวัสดุคอมโพสิต HIPS กับ เส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ ปริมาณต่างๆ

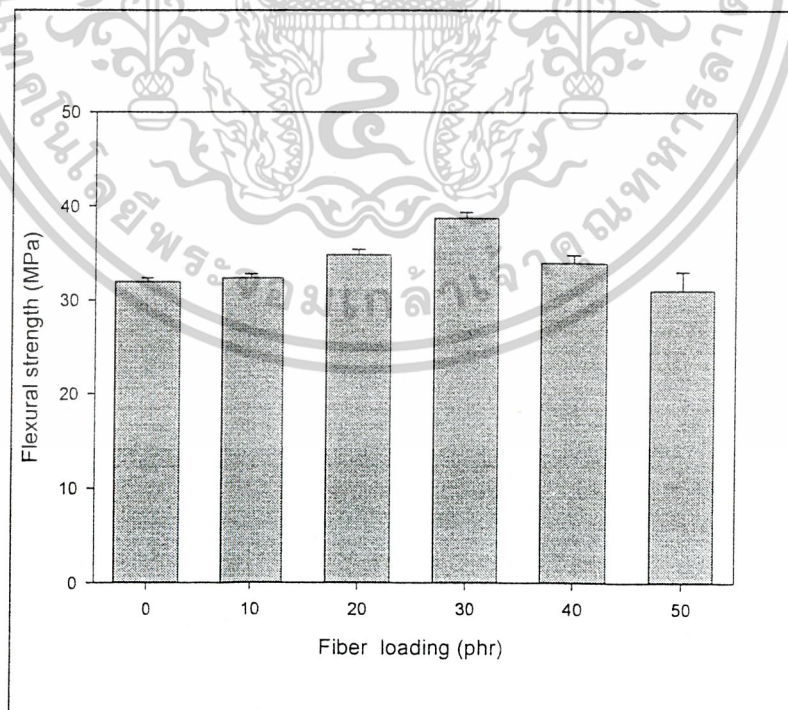


รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HIPS กับ เส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

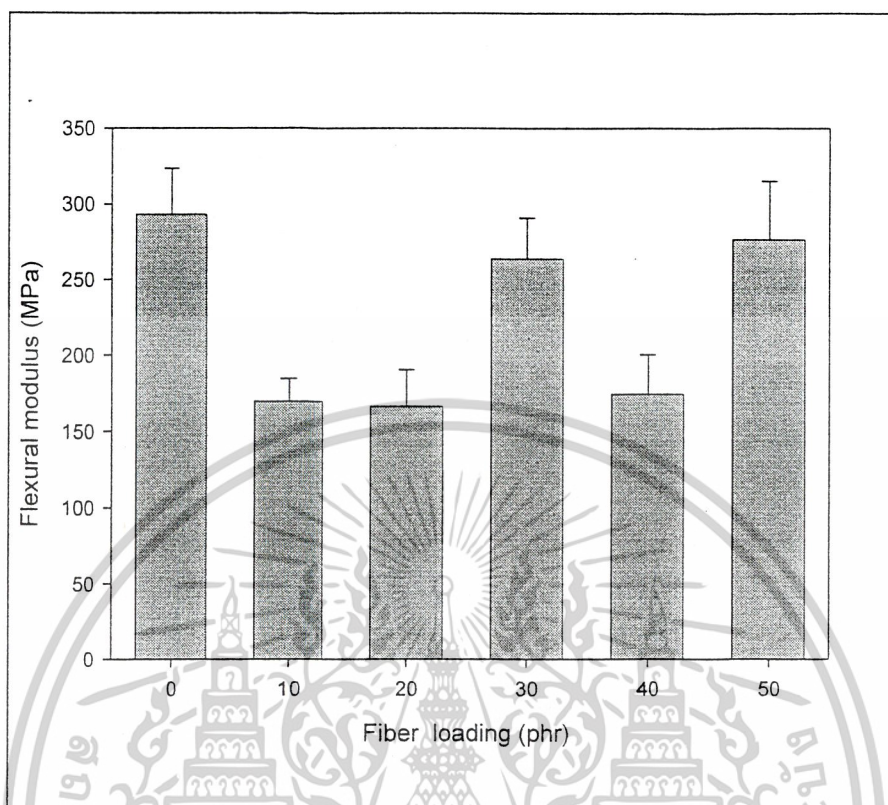


รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งกด (Shore D) ของวัสดุคอมโพสิต HIPS กับ เส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุคอมโพสิต HIPS กับ เส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



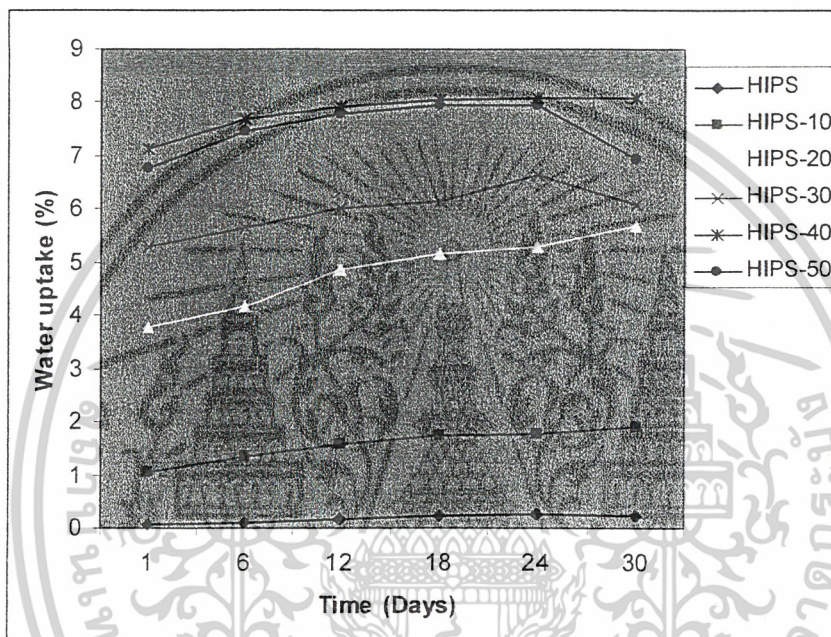
รูปที่ 4.7 ค่ามอดูลัสโค้งงอของวัสดุคอมโพสิต HIPS กับ เส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.1.2.1 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

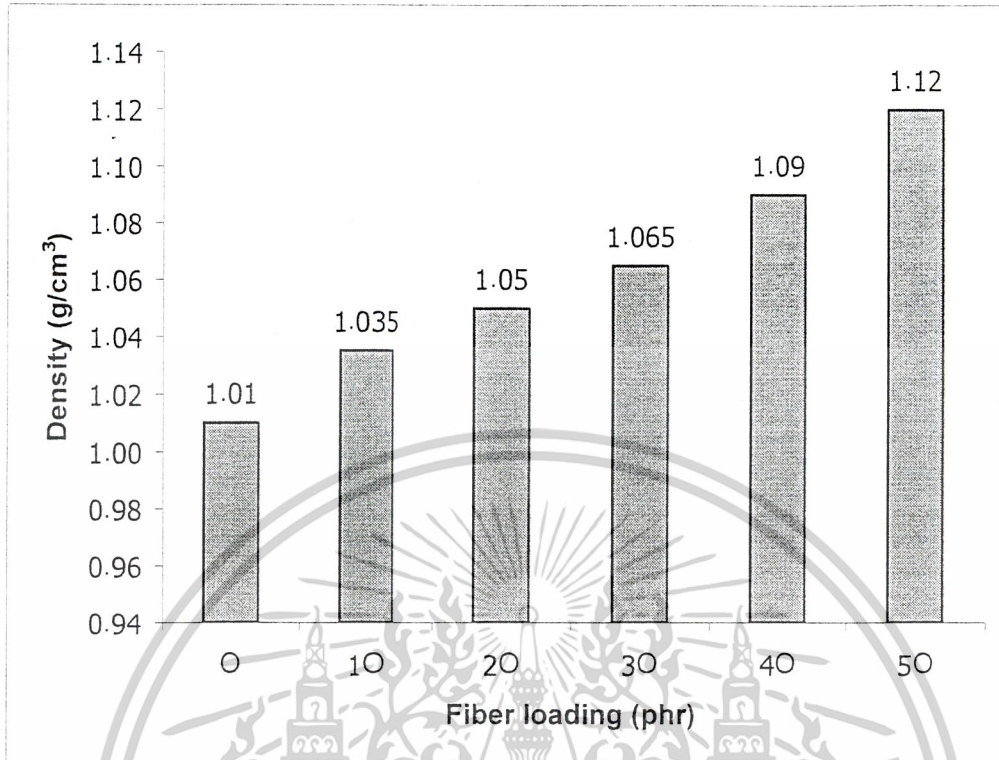
จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก แต่จะมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเส้นใยหยาบเปลือกมีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลส ดังนั้นจึงมีหมู่ไฮดรอกซิลทำให้ผิวเส้นใยมีขั้วจึงเกิดการดูดซับน้ำได้ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำจึงดูดซับน้ำได้มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุคอม โพลีดีฟอสฟอไรต์ ไดรีนชนิดทนแรง กระแทก (HIPS) กับเส้นใยหยาบเปลือกปริมาณ 0 10 20 30 40 และ 50 phr

4.1.2.2 การศึกษาความหนาแน่น

ในการศึกษาความหนาแน่นของพอลิเมอร์คอม โพลีดีฟอสฟอไรต์มีจุดประสงค์เพื่อพิสูจน์ให้เห็นว่าวัสดุทดแทนไม้ที่ผลิตจากพอลิเมอร์คอม โพลีดีฟอสฟอไรต์ HIPS และเส้นใยหยาบเปลือกมีน้ำหนักเบาว่าไม้จริงและดังรูปที่ 4.9 พบว่าความหนาแน่นของวัสดุคอม โพลีดีฟอสฟอไรต์มีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย เนื่องจากเส้นใยหยาบเปลือกมีความหนาแน่นมากกว่าพอลิเมอร์คอม โพลีดีฟอสฟอไรต์ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหยาบเปลือกมากขึ้นจะทำให้วัสดุผสมมีความหนาแน่นมากขึ้นตามกฎของผสม (Rule of mixture)



รูปที่ 4.9 ค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนชนิดทนแรงกระแทก (HIPS) กับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 0 10 20 30 40 และ 50 phr

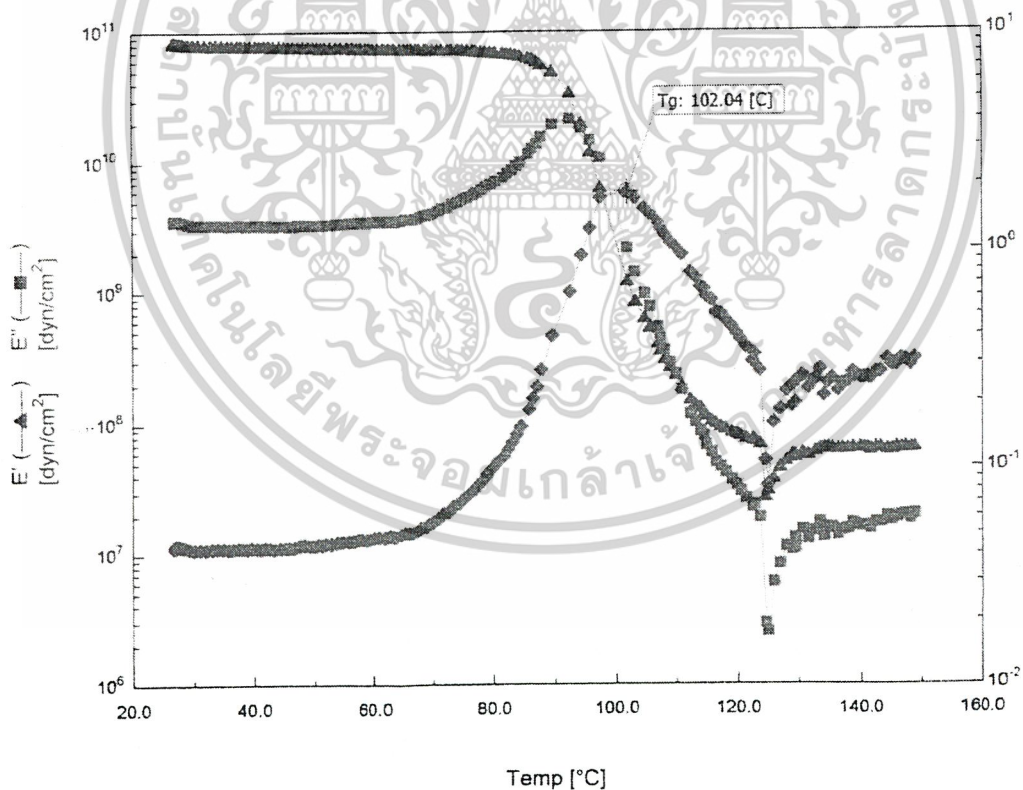
4.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

จากการทดลองเป็นการพิสูจน์ว่าวัสดุคอมโพสิตมีอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ (HIPS) กับหญ้าแฝก ซึ่งบ่งบอกถึงการยึดติดระหว่างวัฏภาคได้จากการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของ HIPS และหญ้าแฝกในปริมาณ 0 10 30 และ 50 phr ด้วยเครื่อง DMTA รายงานผลออกมาเป็นกราฟระหว่างค่า $\tan \delta$ และอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) โดยจากยอดพีก $\tan \delta$ ได้ค่า T_g ซึ่งบ่งบอกถึงการยึดติดระหว่างวัฏภาคพอลิเมอร์และหญ้าแฝก หากค่า T_g เพิ่มขึ้นแสดงว่าปริมาตรอิสระ (Free volume) ลดลงเกิดการยึดติดที่ตีระหว่างวัฏภาคมากขึ้น แต่ในการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณหญ้าแฝกค่า T_g ของ HIPS มีค่าใกล้เคียงกัน หญ้าแฝกที่ผสมใน HIPS ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว หรือความสามารถในการเคลื่อนไหวสายโซ่โมเลกุลของ HIPS อาจกล่าวได้ว่าปริมาณของหญ้าแฝกไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ HIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว จากการทดสอบด้วยเทคนิค DMTA ของพอลิเมอร์คอมโพสิต HIPS และหนุ้าแฝกปริมาณ 0 10 30 และ 50 phr

สูตร	Tg (°C)
HIPS	102
HIPS + 10 phr	96
HIPS + 30 phr	100
HIPS + 50 phr	98



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างพิกของค่า $\tan \delta$ จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของ HIPS ด้วยเทคนิค DMTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การศึกษาสมบัติความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน

ในการทดลองนี้มีการศึกษาความทนทานของวัสดุไม้เทียมที่ได้จากงานวิจัยต่อการเข้าทำลายของปลวก เนื่องจากต้องการทดสอบว่ามีความทนทานต่อปลวกมากกว่าไม้จริง ซึ่งเป็นข้อดีในการนำไปผลิตเป็นวัสดุทดแทนไม้ที่มีสมบัติในการทนต่อปลวกดีกว่าไม้จริง ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบระหว่างวัสดุคอมโพสิตกับไม้ยางพาราซึ่งเป็นตัวควบคุม (Control) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกจะมีแนวโน้มการเข้าทำลายของปลวกมากขึ้นดังนี้ ปริมาณเส้นใย 0 phr พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายอยู่ในช่วง 0-1 % ที่ปริมาณเส้นใย 10 และ 20 phr อยู่ในช่วง 1-2 % ที่ปริมาณเส้นใย 30 40 และ 50 phr อยู่ในช่วง 4-6 % แต่ไม้ยางพาราพบถึง 22.90 % เนื่องจากปลวกจะเข้าไปทำลายส่วนที่เป็นหญ้าแฝก แต่ไม่สามารถย่อยทำลายพอลิเมอร์ได้ ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่าความเสียหายของวัสดุทดลองนั้นเป็นแค่การทำลายผิววัสดุทดลอง ดังนั้น ประสิทธิภาพในความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกอยู่ในระดับที่ “น่าพึงพอใจ”

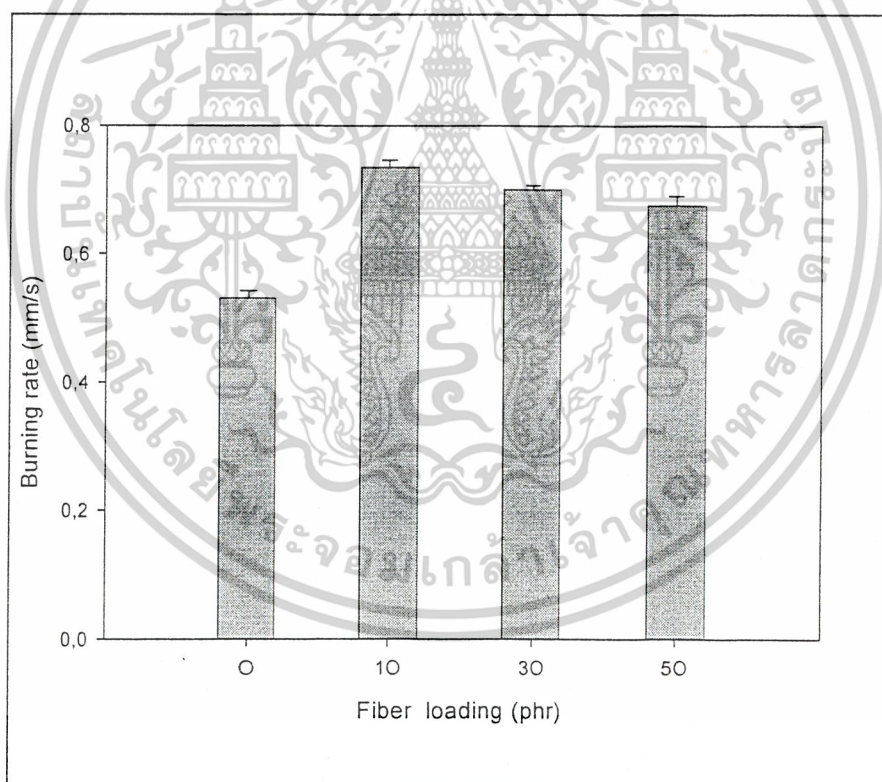
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความทนทานของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝกต่อการเข้าทำลายของปลวก *Coptotermes gestroi* ในห้องปฏิบัติการ

ปริมาณเส้นใย (phr)	เปอร์เซ็นต์การเข้าทำลาย (%)
0	0.25
10	1.66
20	1.85
30	4.02
40	5.21
50	4.01
ยางพารา (Control)	22.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การศึกษาสมบัติการติดไฟ

จากการทดลองนี้มีการศึกษาสมบัติการติดไฟเนื่องจากวัสดุทดแทนไม้จะต้องนำไปใช้งานในบ้านเรือนโดยนำไปแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ ประตู ขอบหน้าต่าง เป็นต้น ซึ่งเมื่อเกิดอัคคีภัยแล้วมีโอกาสเสี่ยงจากการติดไฟโดยอาจเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี จากรูปที่ 4.11 สภาวะในการทดสอบคือการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกจาก 0 10 30 และ 50 phr พบว่าเมื่อมีเส้นใยหญ้าแฝกที่ผสมใน HIPS จะทำให้อัตราการติดไฟเร็วขึ้น แต่ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกไม่มีผลต่ออัตราการติดไฟกล่าวคืออัตราการติดไฟที่ได้ของวัสดุคอมโพสิตมีค่าใกล้เคียงกัน (ประมาณ 0.68-0.73 mm/s) แต่ปริมาณ 0 phr จะมีอัตราการติดไฟช้าที่สุด (0.53 mm/s) เนื่องจากหญ้าแฝกเป็นวัสดุจำพวกเซลลูโลสมีความสามารถในการติดไฟดีกว่า (เร็วกว่า) วัสดุพอลิเมอร์จำพวกพอลิสไตรีน



รูปที่ 4.11 ค่าอัตราการติดไฟของ HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 0 10 30 และ 50 phr

จากผลการทดสอบที่แสดงข้างต้น พบว่าปริมาณหญ้าแฝก 30 phr ให้ค่าความแข็งแรงดึง มอดคูลัส และความแข็งแรงโค้งงอดีที่สุดในส่วนของสมบัติทางความร้อน และอัตราการติดไฟ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณหญ้าแฝกจะทำให้ความแข็งแรง ความหนาแน่น ค่าการดูด ออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นน้ำ และอัตราการทำลายของปลวกเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยึด ผน จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกลดลง

4.2 การศึกษาผลการใช้สารคู่ควบไซเลนที่มีต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต

จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 พบว่าสมบัติโดยรวมที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี เนื่องจากการยึดติดระหว่างภูมิภาค HIPS และหยู้าแฝกน้อย จึงต้องศึกษาผลของสารคู่ควบ (Coupling agent) 2 ชนิด คือ Silquest[®] A-171 Silane (Vinyltrimethoxy Silane) และ Silquest[®] A-1100 Silane (γ -Aminopropyltriethoxy Silane) ปริมาณ 3 % ต่อน้ำหนักเส้นใยหยู้าแฝก โดยใช้ปริมาณเส้นใย 10 20 30 40 และ 50 phr ใช้ HIPS เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ สารคู่ควบคาดว่าจะช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างภูมิภาคทั้งสองดีขึ้น ซึ่งมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุคอมโพสิต

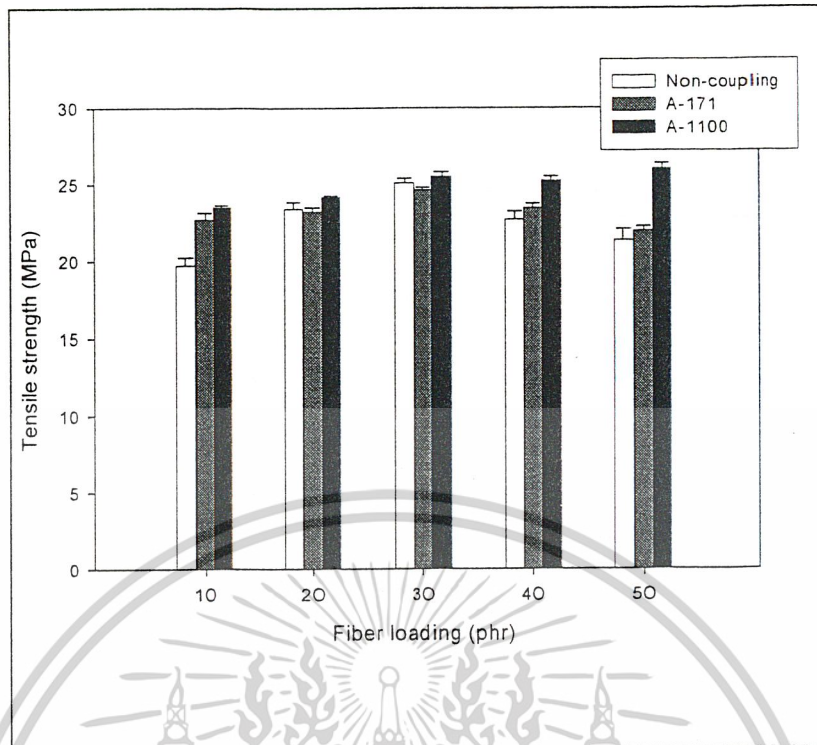
4.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากรูปที่ 4.12-4.18 เมื่อวิเคราะห์ผลของชนิดของสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต ได้แก่ ความแข็งแรงดึง มอดูลัส เบอร์เซนต์การยึด ผน จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก ความแข็งกด ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอ ตามลำดับ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารคู่ควบ A-171 Silane มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการเติมสารคู่ควบ A-1100 Silane โดยที่ปริมาณเส้นใย 30 phr มีค่าสูงที่สุดเนื่องจากสารคู่ควบชนิด A-171 Silane จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสที่หมู่เอพิออกซี ได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไซลันอล 3 หมู่ (Organofunctional Trisilanol) จากนั้นสารประกอบนี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยา โคะหั่นค่านที่ไม่มีขั้วไปทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นบิวทอะไดเอิน (Butadiene) และหันหมู่ไซลันอลไปเกิดพันธะกับสารอนินทรีย์ (Inorganic substrates) หรือก็คือส่วนของเส้นใยหยู้าแฝก ส่วนสารคู่ควบชนิด A-1100 Silane จะแตกต่างที่จะหันหมู่เอมิเนปฐบญุญิ (Primary amine) ซึ่งมีความไม่มีขั้วมากกว่าไปจับกับพอลิเมอร์ แล้วหันด้านหมู่เมทอกซี (Methoxy group) ที่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสไปเกิดพันธะกับสารอนินทรีย์ (Inorganic substrates) เช่นเดียวกัน [20] ทำให้เกิดการยึดติดกันระหว่างภูมิภาค HIPS และหยู้าแฝกดีขึ้นความแข็งแรงมากขึ้นการต้านแรงดึงจึงสูง ส่วนค่ามอดูลัสของวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารคู่ควบ A-171 Silane มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยโดยปริมาณ 30 phr จะให้ค่ามากที่สุดเนื่องจากที่ปริมาณดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อปริมาณพอลิเมอร์ทำให้การยึดติดดีขึ้นความแข็งแรงสูงขึ้น การต้านการเปลี่ยนรูปร่างสูงทำให้มอดูลัสสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อปริมาณเส้นใยมากเกินไปกว่า 30 phr ทำให้เกิดจุดอ่อน (Weak point) เกิดการกระจุกตัวของเส้นใยทำให้ความแข็งแรงลดลงจึงต้านการเปลี่ยนรูปร่างได้น้อย ส่วนมอดูลัสของการเติมสารคู่ควบ A-1100 Silane มีแนวโน้มใกล้เคียงกันเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้น ส่วนค่าเบอร์เซนต์การยึด ผน จุดขาดของการเติมสารคู่ควบ A-171 Silane ที่ปริมาณเส้นใย 10 phr มีค่ามากกว่าเมื่อเติมสารคู่ควบ A-1100 Silane ที่ปริมาณเส้นใยเดียวกัน อาจเนื่องมาจากในระหว่างกระบวนการ

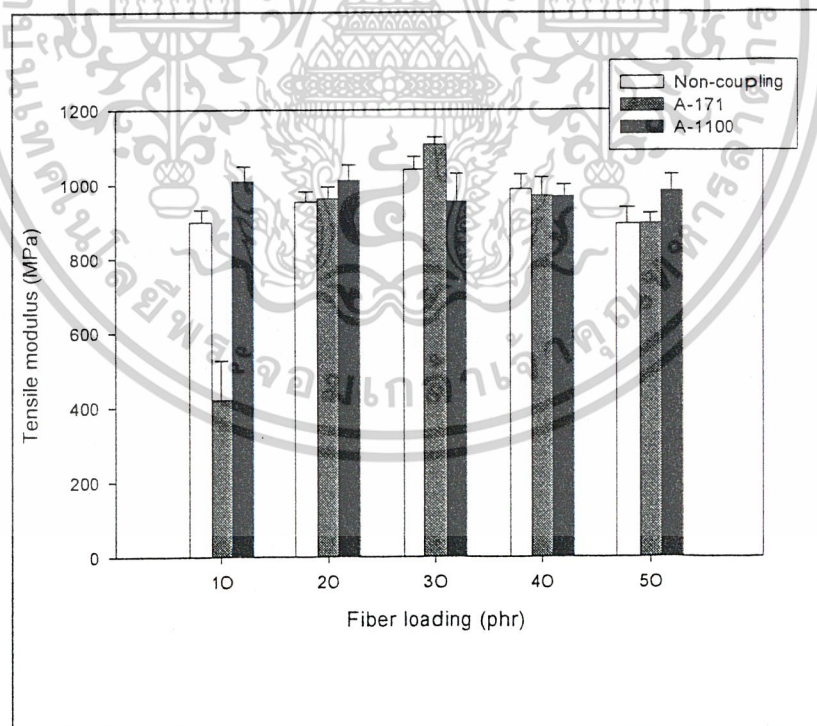
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตที่เติมสารคู่ควบ A-1100 Silane อาจเกิดการสลายตัวของหมู่อะมิโน (Amino) จากความร้อนส่งผลถึงการยึดติดที่น้อยลง ทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเมตริกซ์ลดลง มีเปอร์เซ็นต์การยึด ผน จุดขาค้นน้อยกว่าการใช้สารคู่ควบ A-171 Silane แต่เมื่อปริมาณหน้าแฟกเพิ่มขึ้น (มากกว่า 10 phr) เปอร์เซ็นต์การยึด ผน จุดขาค้นของวัสดุที่เติมสารคู่ควบแต่ละชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความแข็งแรงกระแทกเมื่อเทียบกันระหว่างวัสดุที่เติมสารคู่ควบทั้ง A-171 Silane และ A-1100 Silane ให้ค่าใกล้เคียงกันคือเมื่อปริมาณหน้าแฟกเพิ่มขึ้นความแข็งแรงกระแทกจะลดลง เนื่องจากความแข็งของวัสดุมากขึ้น โดยมาจากทั้งตัวพอลิเมอร์เมตริกซ์และลิกนินที่เป็นองค์ประกอบในหน้าแฟก ทำให้ความแข็งเปราะมากขึ้นความแข็งแรงกระแทกจึงลดลง ส่วนความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบทั้ง A-171 Silane และ A-1100 Silane ให้ค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความแข็งแรงโค้งงอของทั้งสารคู่ควบ A-171 Silane และ A-1100 Silane มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มปริมาณหน้าแฟกแต่ละลดลงทันทีที่ปริมาณหน้าแฟกมากกว่า 40 phr เนื่องจากเมื่อหน้าแฟกเพิ่มขึ้นส่งผลถึงความแข็งที่มากขึ้น ทำให้ต้านทานต่อแรงกดได้ดี แต่ถ้าปริมาณหน้าแฟกมากเกินไปจะกระจายตัวในพอลิเมอร์เมตริกซ์ลดลงเกิดจุดอ่อนในวัสดุคอมโพสิตจึงมีความแข็งแรงโค้งงอที่ต่ำลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามการใช้สารคู่ควบ A-171 Silane มีแนวโน้มความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ A-1100 Silane เมื่อเพิ่มปริมาณหน้าแฟกเนื่องจากการสลายตัวของหมู่อะมิโนในกระบวนการผลิตดั่งที่กล่าวไว้ข้างต้น และส่วนค่ามอดูลัสโค้งงอของการใช้สารคู่ควบ A-171 Silane มีแนวโน้มน้อยกว่าการใช้ A-1100 Silane มากเพราะว่า A-1100 Silane จะให้ความแข็งแรงของวัสดุคอมโพสิตมากกว่า A-171 Silane เนื่องจากการยึดติดที่ต่อยกว่าดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีความแข็งแรงสูง ด้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มาก เมื่อเพิ่มปริมาณหน้าแฟกพบว่าความแข็งแรงโค้งงอจะเพิ่มขึ้นเพราะเป็นการเพิ่มความแข็งให้กับวัสดุเนื่องจากหน้าแฟกมีองค์ประกอบของลิกนิน จึงเป็นการเพิ่มความแข็งทำให้ความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

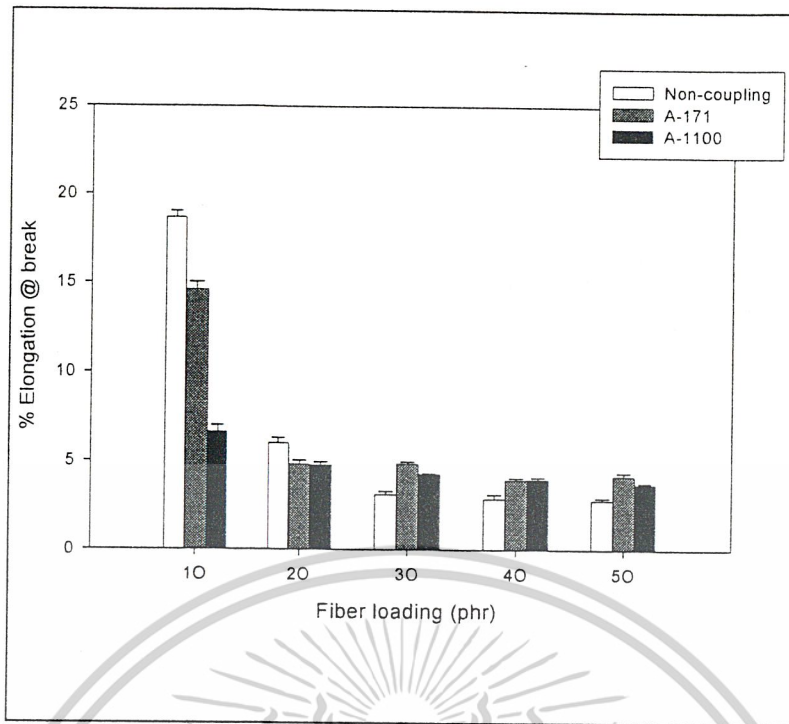


รูปที่ 4.12 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยแก้วเส้นใยปริมาณต่างๆ

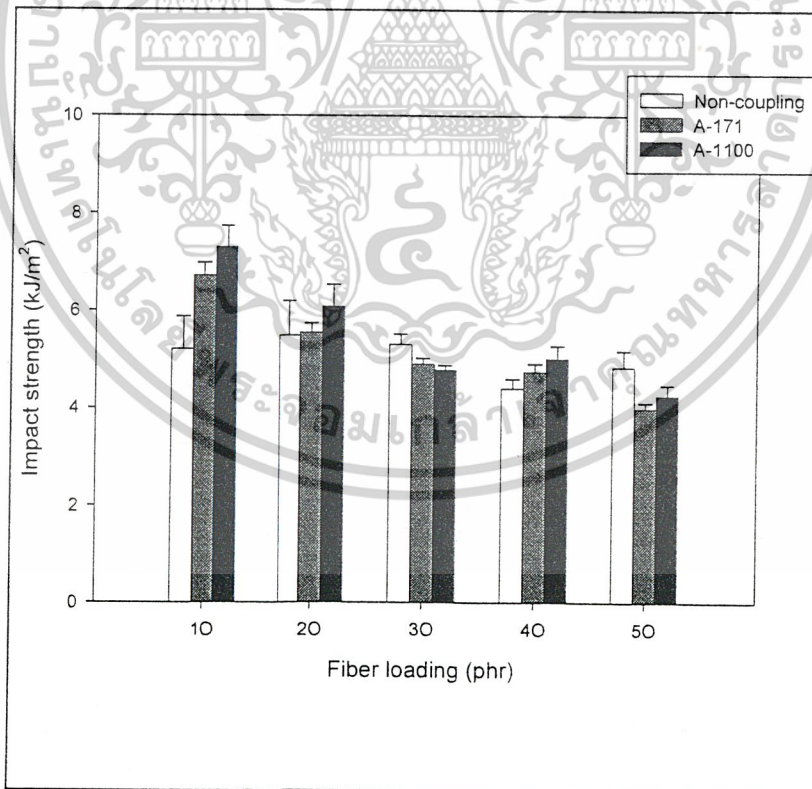


รูปที่ 4.13 ค่ามอดุลัสของวัสดุคอมโพสิต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยแก้วเส้นใยปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

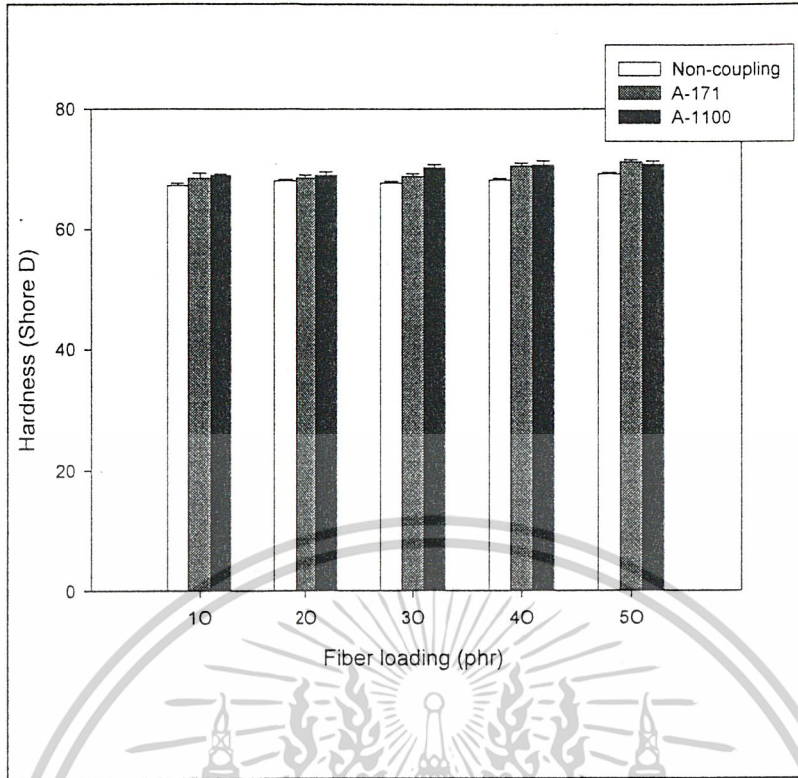


รูปที่ 4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของวัสดุคอมโพสิต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซนต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ

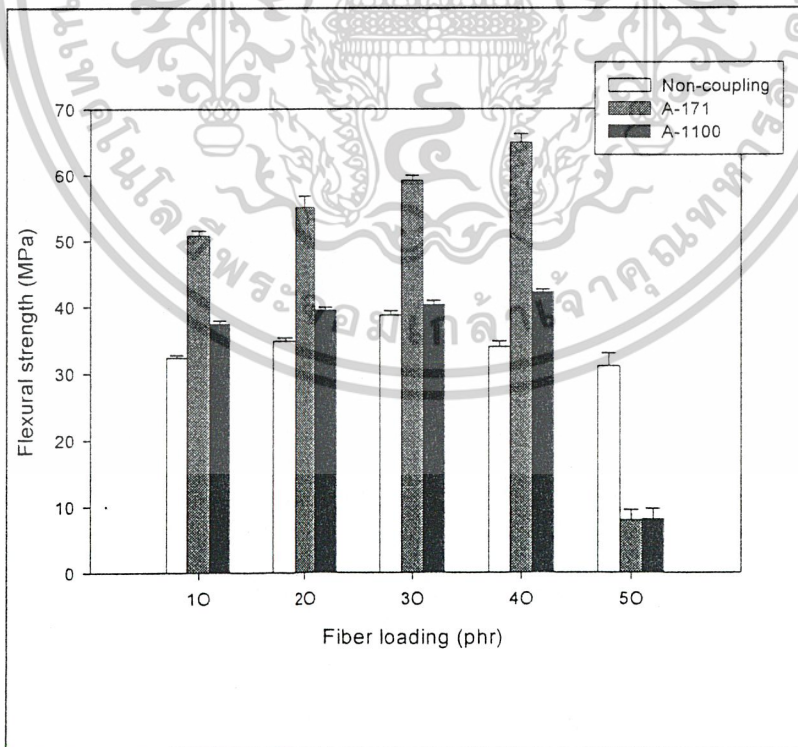


รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซนต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

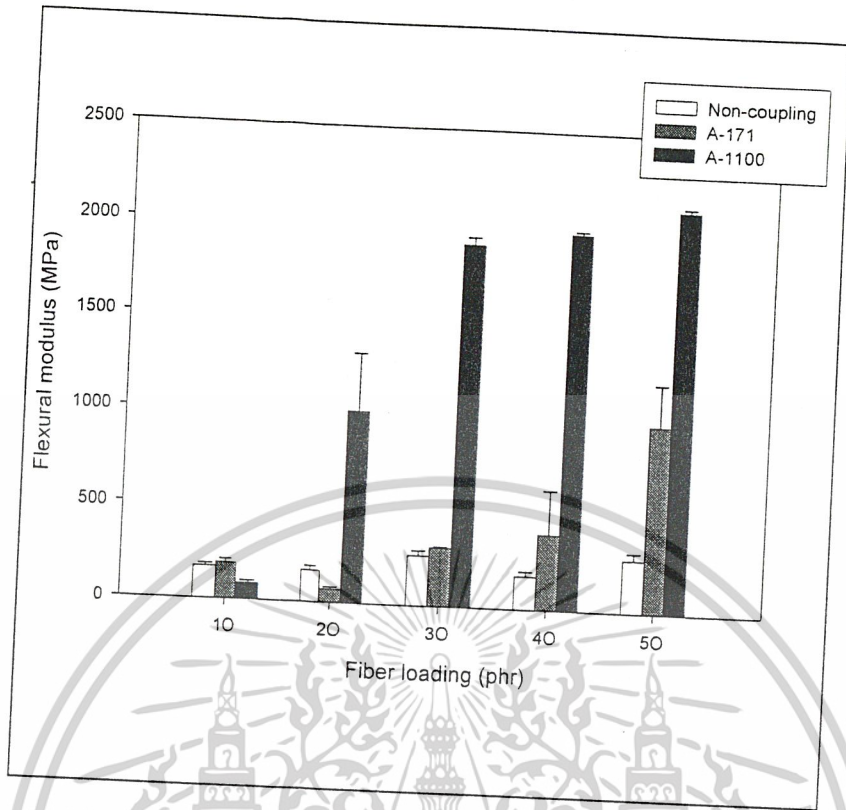


รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งกด (Shore D) ของวัสดุคอมโพสิต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซนต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุคอมโพสิต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซนต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



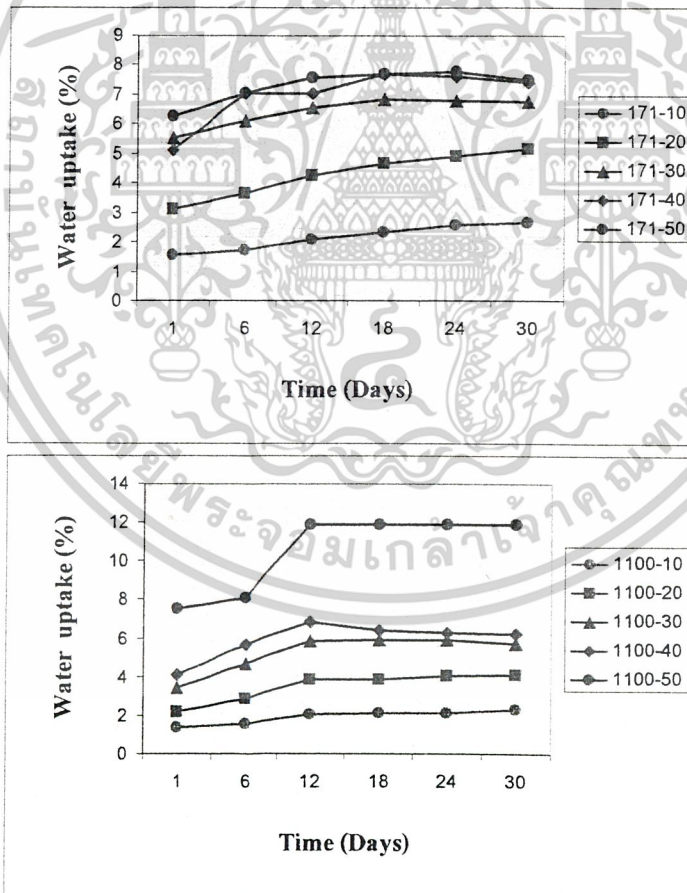
รูปที่ 4.18 ค่ามอดุลัส โค้งงอของวัสดุคอมโพสิต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปอร์เซ็นต์และไม่เติมสารคู่ควบกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.2.2.1 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

จากรูปที่ 4.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตทั้งสองชนิดที่ใช้สารคู่ควบต่างชนิดกันคือ A-171 Silane และ A-1100 Silane พบว่าเมื่อปริมาณหน้าแผลมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อเวลาผ่านไปค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในแต่ละปริมาณของหน้าแผล มีแนวโน้มคงที่ การดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตได้เนื่องจากหน้าแผลมีองค์ประกอบของเซลล์โลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีที่มีความเป็นขั้วจึงสามารถดูดซับน้ำได้และเมื่อปริมาณหน้าแผลเพิ่มมากขึ้น เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำจึงดูดซับน้ำได้มากยิ่งขึ้น แต่หากพิจารณาในแง่ผลของชนิดสารคู่ควบที่ผสมลงไปวัสดุคอมโพสิตโดยเปรียบเทียบวัสดุคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยหน้าแผลในปริมาณเท่ากัน พบว่าคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบ A-171 Silane มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำใกล้เคียงกับคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบ A-1100 Silane ยกเว้นที่ปริมาณการผสมหน้าแผล 50 phr อาจกล่าวได้ว่าชนิดของสารคู่ควบไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำของไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิต

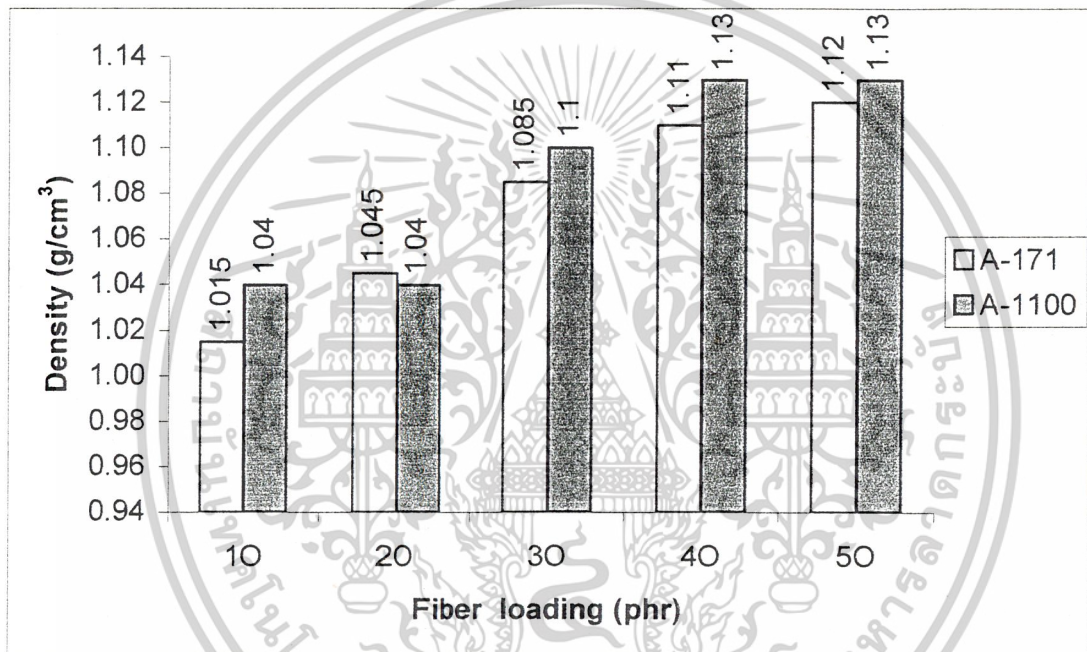


รูปที่ 4.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ A-171 Silane (บน) เทียบกับชนิดเติมสารคู่ควบ A-1100 Silane (ล่าง) 3 เปอร์เซ็นต์กับเส้นใยหน้าแผลปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 การศึกษาความหนาแน่น

จากรูปที่ 4.20 พบว่าค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้สารคู่ควบที่มีหมู่ฟังก์ชันไวนิล ไตรเมทอกซีไซเลน (Vinyltrimethoxy Silane) หรือ A-171 Silane มีค่าใกล้เคียงกับสารคู่ควบที่มีหมู่ฟังก์ชันแกมมาอะมิโน โพรพิล ไตรเอทอกซีไซเลน (γ -Aminopropyltriethoxy Silane) หรือ A-1100 Silane โดยมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อปริมาณหัวน้ำแฝกเพิ่มขึ้นเนื่องจากหัวน้ำแฝกมีความหนาแน่นมากกว่า พอลิเมอร์เมตริกซ์ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณหัวน้ำแฝก ความหนาแน่นจึงมากขึ้นตามกฎของของผสม (Rule of mixture) แต่การใช้สารคู่ควบ A-1100 ให้ความหนาแน่นมากกว่า A-171 เล็กน้อย



รูปที่ 4.20 ค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิต HIPS ชนิดเติมสารคู่ควบ Silane 3 เปรอร์เซ็นต์กับ เส้นใยหัวน้ำแฝกปริมาณต่างๆ

4.2.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ในการทดลองนี้วิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ใช้หยุ่้าแฝกปริมาณ 30 phr ทำการผสมสารคู่ควบ A-171 Silane และ A-1100 Silane พบว่าค่า T_g มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจากการทดสอบด้วยเทคนิค DMTA ของพอลิเมอร์คอมโพสิต HIPS และหยุ่้าแฝกที่ผสมสารคู่ควบ

สูตร	T_g ($^{\circ}\text{C}$)
HIPS + A-171 Silane	100
HIPS + A-1100 Silane	99

จากผลการทดสอบที่แสดงข้างต้น พบว่าเมื่อใช้สารคู่ควบ A-171 Silane ให้ค่ามอดุลัสเปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาด และความแข็งแรงโค้งงอดีกว่าการใช้สารคู่ควบ A-1100 Silane ยกเว้นค่ามอดุลัสโค้งงอ แต่ในส่วนของความแข็งแรงดึง ความแข็งกด ความแข็งแรงกระแทก และสมบัติทางความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณหยุ่้าแฝกจะทำให้ค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับสารคู่ควบทั้งสองชนิด

4.3 การศึกษาชนิดของพอลิเมอร์เมตริกซ์ที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุทดแทนไม้จากพอลิเมอร์

คอมโพสิตพอลิไตรีนชนิดทนแรงกระแทกและหล้าแฝก

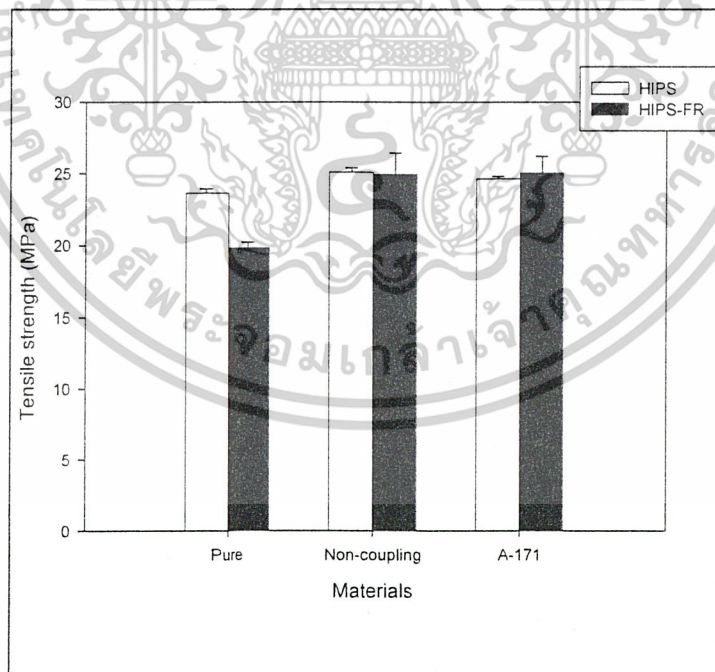
วัสดุคอมโพสิตในงานวิจัยนี้สามารถแปรรูปเป็นวัสดุทดแทนไม้ที่ใช้ในชีวิตประจำวันได้ เช่น เฟอร์นิเจอร์ ก่อถังใส่ของ แต่มีสมบัติบางประการที่ด้อยกว่าไม้จริง เช่น ความคงทนแข็งแรง จึงมีแนวคิดที่จะทำให้อายุของคอมโพสิตมีข้อดีด้านอื่นที่เหนือกว่าไม้จริง คือการทำเป็นวัสดุทนต่อการติดไฟ ซึ่งไม้จริงไม่มีข้อดีในด้านนี้ โดยทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิไตรีนชนิดทนแรงกระแทกที่ผสมสารหน่วงไฟ (HIPS-FR) เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ผสมเส้นใยหล้าแฝกปริมาณ 30 phr ขนาด 20-50 mesh แล้วนำผลการทดสอบที่ได้เปรียบเทียบกับการใช้ HIPS เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ดูว่าชนิดใดจะให้สมบัติโดยรวมดีกว่ากัน

4.3.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากรูปที่ 4.21-4.27 เมื่อวิเคราะห์ผลของการใช้ HIPS-FR เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ผสมกับหล้าแฝกแล้วศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง มอดุลัส เปรอร์เซ็นต์การยืด ฌ จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก ความแข็งกด ความแข็งแรงโค้งงอ และ มอดุลัสโค้งงอ ตามลำดับ นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับหัวข้อ 4.1.1 และ 4.2.1 พบว่าความแข็งแรงดึงของ HIPS มีค่ามากกว่า HIPS-FR ในสถานะที่ไม่ผสมหล้าแฝกซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 3.1 และ 3.2 ของบทที่ 3 แต่เมื่อผสมหล้าแฝกลงไปพบว่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเมื่อเทียบกับการใช้ HIPS เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ในสถานะเดียวกันจะให้ความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกันเนื่องจากมีหล้าแฝกเป็นสารตัวเติมเสริมแรง ทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น ส่วนการผสมสารคู่ควบ A-171 Silane ลงในพอลิเมอร์คอมโพสิตพบว่าทั้ง HIPS-FR และ HIPS ที่เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนมอดุลัสของ HIPS-FR โดยไม่เติมหล้าแฝกมีค่าสูงกว่า HIPS ในสถานะเดียวกันเมื่อเติมหล้าแฝกจะมีค่ามอดุลัสที่เพิ่มขึ้นซึ่งถ้าผสมสารคู่ควบ A-171 Silane ยิ่งทำให้มอดุลัสเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความแข็งให้กับวัสดุคอมโพสิตเพราะหล้าแฝกมีองค์ประกอบของลิกนินที่มีความเป็นอสัณฐาน [11] จึงเพิ่มความแข็งมากขึ้น ด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดี และถ้าผสมสารคู่ควบ A-171 Silane ทำให้หล้าแฝกยึดติดกับ HIPS-FR มากขึ้นความแข็งยิ่งมากขึ้นที่ ส่วน HIPS เมื่อเติมหล้าแฝกและสารคู่ควบก็ทำให้ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่โดยรวมแล้วมีค่ามอดุลัสน้อยกว่าการใช้ HIPS-FR เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์เนื่องจาก HIPS-FR มีองค์ประกอบของสารหน่วงไฟ (Flame retardant) อาจเป็นสารจำพวกฮาโลเจน (Halogen Flame Retardant) หรือฟอสฟอรัส (Phosphorus) [10] ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่อาจทำให้ความแข็งประาะเพิ่มขึ้นจึงต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ฌ จุดขาด พบว่า HIPS-FR มีค่าน้อยกว่า HIPS ซึ่งเมื่อเติมหล้าแฝกและสารคู่ควบ A-171 Silane ยิ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ฌ จุดขาดลดลงเรื่อยๆ ตามลำดับเมื่อเทียบกับ HIPS ในสถานะเดียวกัน

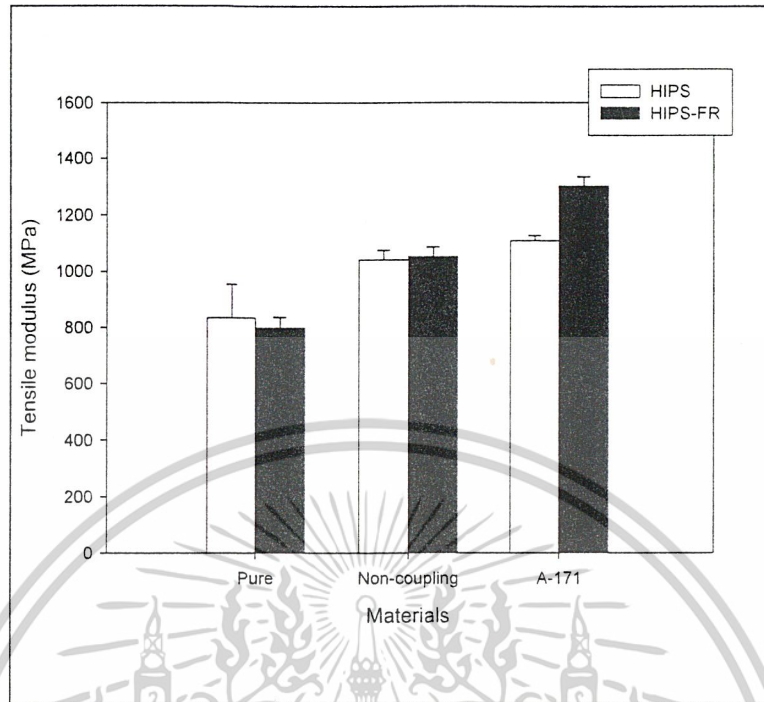
เอ Silane ยิ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ฌ จุดขาดลดลงเรื่อยๆ ตามลำดับเมื่อเทียบกับ HIPS ในสถานะเดียวกัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกัน เนื่องจากความต่อเนื่องของพอลิเมอร์เมตริกซ์ลดลง เพราะมีเส้นใยหญ้าแฝกแทรกตัวขัดขวางความเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ ความยืดหยุ่นลดลง เปรอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดจึงลดลง ส่วนความแข็งแรงกระแทกของ HIPS-FR มีค่าน้อยกว่า HIPS เนื่องจาก HIPS-FR มีความแข็งแรงเปราะมากกว่า จึงทนต่อแรงกระแทกได้น้อยกว่า HIPS และยังเติมหญ้าแฝกทำให้ความแข็งแรงกระแทกลดลง แต่เมื่อเติมสารคู่ควบ A-171 Silane ทำให้ความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากรับแรงกระแทกได้มากเพิ่มขึ้นเพราะหญ้าแฝกยึดติดกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้มากขึ้น ส่วนความแข็งแรงกดพบว่าทั้ง HIPS-FR และ HIPS มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งเมื่อเติมหญ้าแฝกและสารคู่ควบลงไปค่าความแข็งแรงกดก็ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนความแข็งแรงโค้งงอพบว่า HIPS-FR มีค่าน้อยกว่า HIPS เนื่องจาก HIPS-FR มีความแข็งแรงน้อยกว่าเพราะมีองค์ประกอบของสารหน่วงไฟทำให้ความแข็งแรงโค้งงอน้อยกว่า HIPS ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [40] และเมื่อเติมหญ้าแฝกและสารคู่ควบ A-171 Silane ลงไปค่าความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝกจะให้ความแข็งแรงโค้งงอมากกว่า เนื่องจากแข็งแรงกว่ารับแรงกดได้มาก และส่วนค่ามอดุลัสโค้งงอ HIPS-FR จะมีค่ามากกว่า HIPS เนื่องจากมีความแข็งแรงที่อาจมาจากองค์ประกอบของสารหน่วงไฟทำให้ต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มาก และถ้าเติมหญ้าแฝกและสารคู่ควบจะยังทำให้ความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เพราะหญ้าแฝกมีองค์ประกอบของลิกนินเป็นการเพิ่มความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

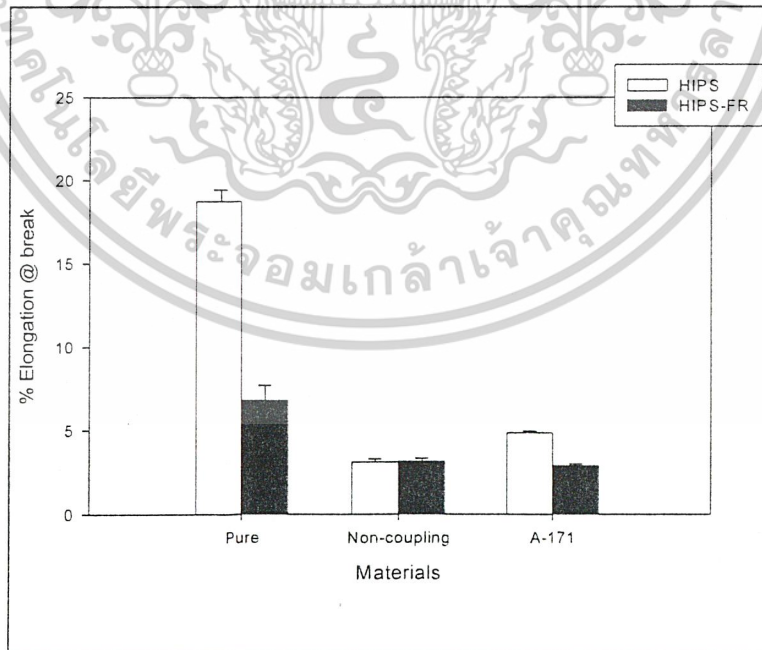


รูปที่ 4.21 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

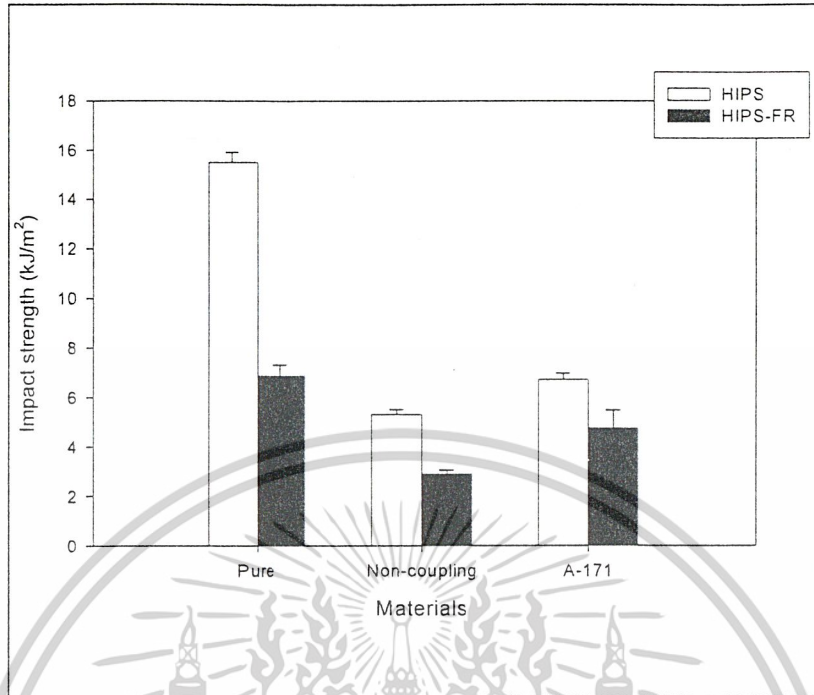


รูปที่ 4.22 ค่ามอดูลัสของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane

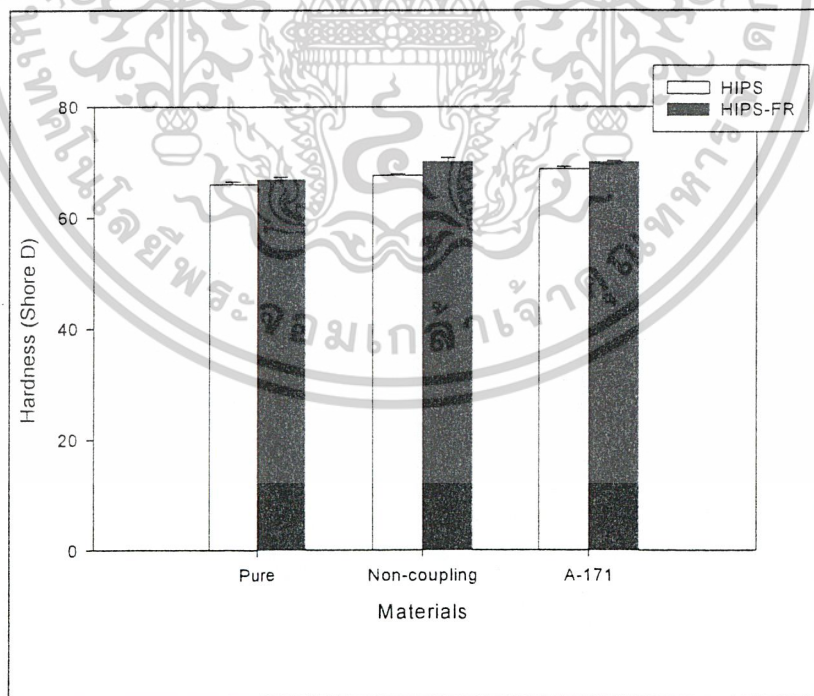


รูปที่ 4.23 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารคู่ควบและผสมสารคู่ควบ A-171 Silane เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



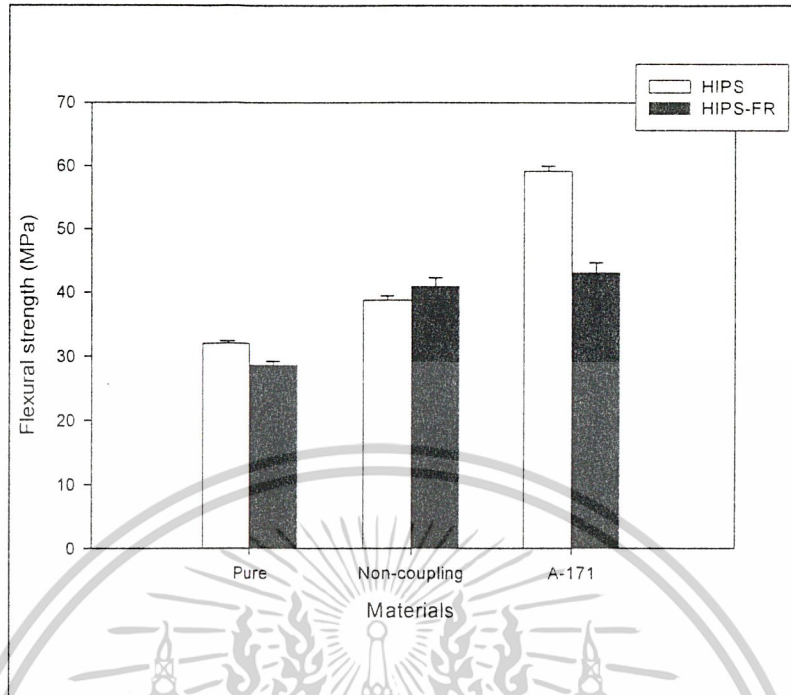
รูปที่ 4.24 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกัน ระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเทียบระหว่างสภาวะไม่เติมหน้าแฟก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane



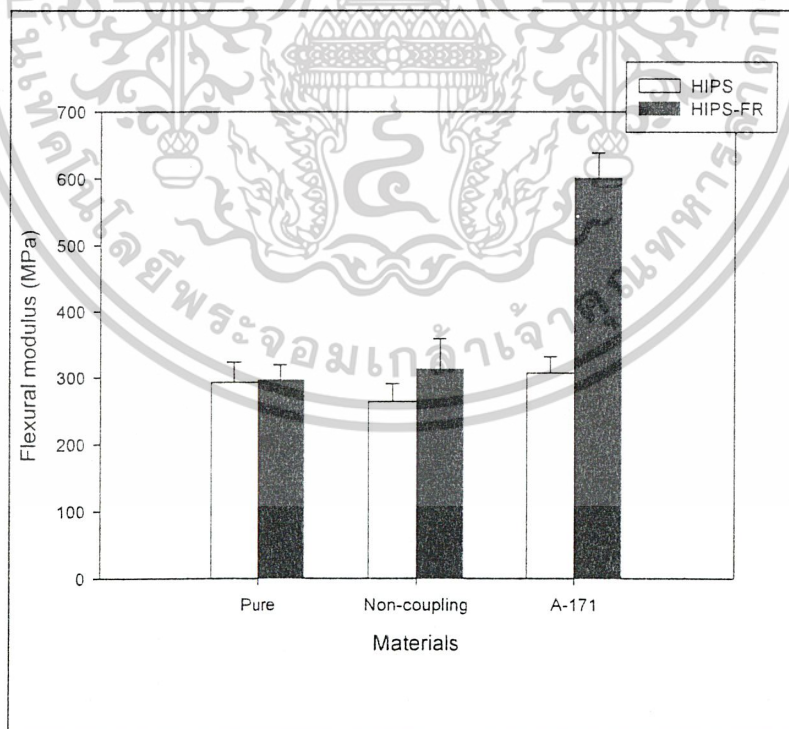
รูปที่ 4.25 ค่าความแข็งกด (Shore D) ของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกัน ระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเทียบระหว่างสภาวะไม่เติมหน้าแฟก ไม่ผสม

สารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ค่าความแข็งแรงโค้งของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane



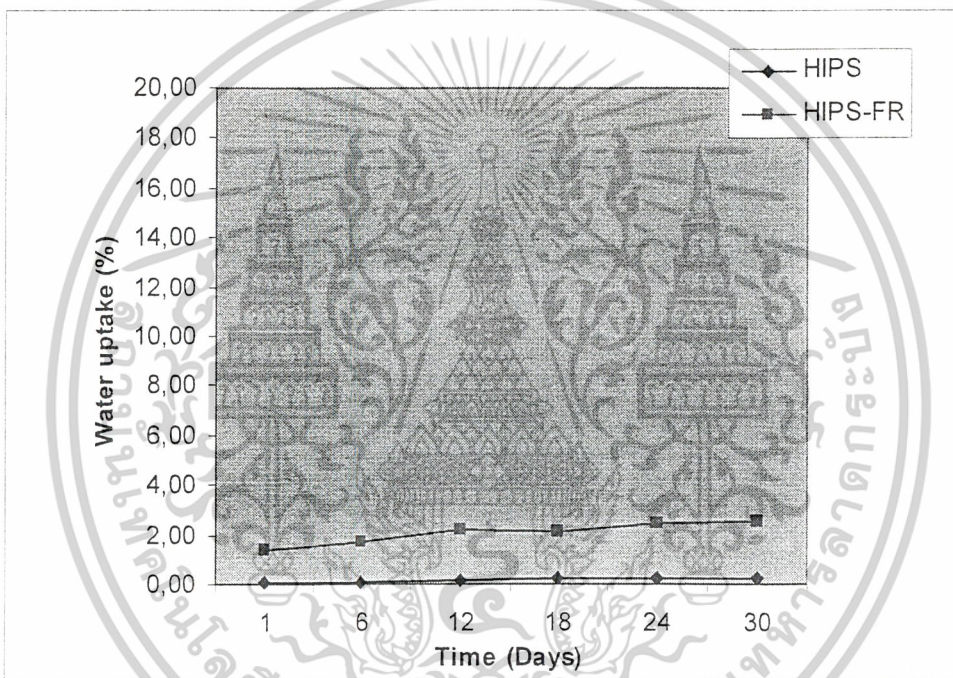
รูปที่ 4.27 ค่ามอดูลัสโค้งของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ

และผสมสารคู่ควบ A-171 Silane เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.3.2.1 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

จากรูปที่ 4.28 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ HIPS-FR มีแนวโน้มสูงกว่า HIPS อาจเนื่องมาจาก HIPS-FR มีองค์ประกอบของสารหน่วงไฟอาจเป็นสารจำพวกฮาโลเจน หรือฟอสฟอรัส เป็นต้น จึงมีขั้วสามารถดูดซับน้ำได้สูงกว่า HIPS อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์เมตริกซ์ทั้งสองชนิดที่ไม่มีการเติมเส้นใยแก้วแฟกจะมีเปอร์เซ็นต์ต่ำเพราะพอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่ดูดซับน้ำต่ำมาก

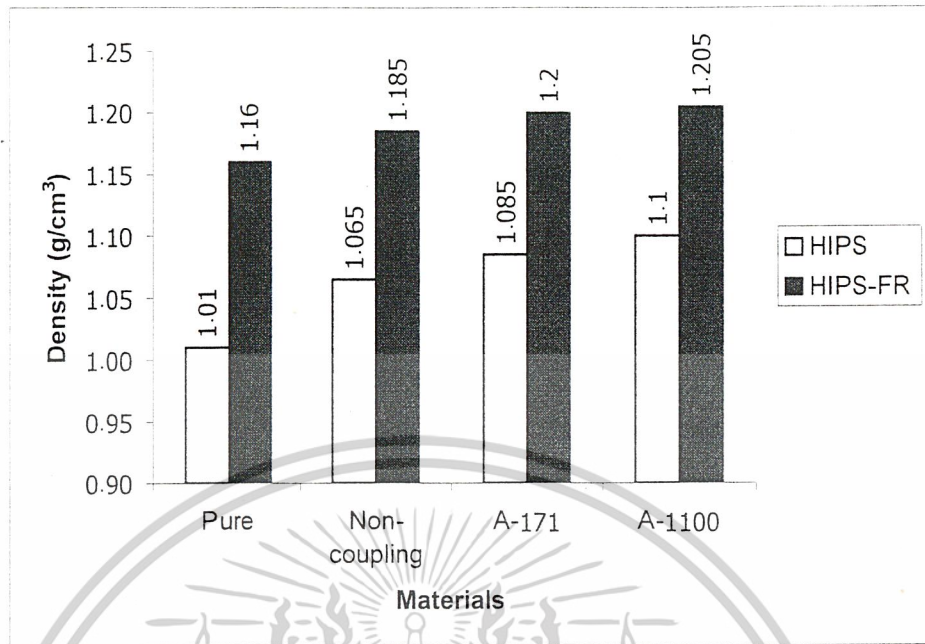


รูปที่ 4.28 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ HIPS และ HIPS-FR

4.3.2.2 การศึกษาความหนาแน่น

จากรูปที่ 4.29 พบว่า HIPS-FR จะให้ค่าความหนาแน่นมากกว่า HIPS เนื่องจาก HIPS-FR มีองค์ประกอบของสารหน่วงไฟอยู่ในโมเลกุล ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ทำให้ความหนาแน่นมากขึ้น เมื่อเติมเส้นใยแฟกกลงไปจะทำให้ความหนาแน่นมากยิ่งขึ้นเพราะเส้นใยแฟกมีความหนาแน่นมากกว่าทั้ง HIPS และ HIPS-FR เมื่อผสมในพอลิเมอร์เมตริกซ์ทำให้ความหนาแน่นมากขึ้นตามกฎการผสม ส่วนการผสมสารคู่ควบทั้ง A-171 Silane และ A-1100 Silane ลงในวัสดุคอมโพสิต จะให้ค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน อาจวิเคราะห์ได้ว่าชนิดของสารคู่ควบไม่มีผลต่อความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างชนิดกันระหว่าง HIPS และ HIPS-FR โดยเทียบระหว่างสถานะไม่เติมหญ้าแฝก ไม่ผสมสารคู่ควบ ผสมสารคู่ควบ A-171 Silane และผสมสารคู่ควบ A-1100 Silane

4.3.3 การศึกษาสมบัติการติดไฟ

จากการทดสอบสมบัติการติดไฟพบว่า HIPS-FR จะไม่ติดไฟเพียงแค่หลอมในตอนแรกแล้วดับไฟด้วยตัวเอง เนื่องจากมีองค์ประกอบของสารหน่วงไฟอาจเป็นสารจำพวกฮาโลเจน หรือฟอสฟอรัส ในพอลิเมอร์เมตริกซ์ทำให้เวลาเกิดการเผาไหม้ของสารหน่วงไฟที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะบดบังออกซิเจน (Oxygen) ในอากาศทำให้ไม่สามารถติดไฟได้แม้ว่าจะมีการเติมเส้นใยหญ้าแฝก 30 phr ลงไปในพอลิเมอร์ก็ตาม ซึ่งเป็นข้อดีของการใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดนี้

จากการทดสอบที่แสดงข้างต้น พบว่าการใช้ HIPS เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์จะให้ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก ความแข็งแรงโค้งงอ และอัตราการติดไฟ มากกว่าการใช้ HIPS-FR ยกเว้น ค่ามอดูลัส มอดูลัสโค้งงอ ความหนาแน่น และการดูดซับน้ำ ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อใช้ HIPS-FR เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ ส่วนค่าความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงกด มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของวัสดุคอมโพสิตพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกกับหญ้าแฝก

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของวัสดุคอมโพสิต HIPS และ HIPS-FR กับ หญ้าแฝก

ปริมาณ 30 phr โดยใช้สารคู่ควบ A-171 Silane และ A-1100 Silane

สมบัติเชิงกล	HIPS + เส้นใยหญ้าแฝก 30 phr		HIPS-FR + เส้นใยหญ้าแฝก 30 phr	
	A-171 Silane	A-1100 Silane	A-171 Silane	A-1100 Silane
Tensile strength (MPa)	24.6	25.5	25.0	24.5
Tensile modulus (MPa)	1107.7	954.7	1302.0	1242.1
% Elongation at break	4.9	4.3	2.9	3.0
Impact strength (kJ / m^2)	4.9	4.8	4.8	4.8
Hardness (shore D)	68.8	70.3	70.0	70.1
Flexural strength (MPa)	59.2	40.3	43.0	40.4
Flexural modulus (MPa)	307.0	1903.0	600.7	1583.3
สมบัติทางกายภาพ				
ความหนาแน่น (g / cm^3)	1.09	1.10	1.20	1.21
การดูดซับน้ำ (%)	5-7	3-6	n/a	n/a

หมายเหตุ n/a คือ ไม่มีข้อมูล (Not available)

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติโดยรวมของวัสดุคอมโพสิตตามปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก ชนิดของสารคู่ควบ และชนิดของพอลิเมอร์เมตริกซ์ สามารถวิเคราะห์ได้ ดังนี้คือ เมื่อเทียบที่ปริมาณเส้นใยที่ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุดคือ 30 phr ใช้ HIPS เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ พบว่าหากผสมสารคู่ควบ A-171 Silane มีสมบัติเชิงกลคือ ความแข็งแรงดึง โมดูลัส เปรอร์เซ็นต์การยืด อด จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งแรงโค้งงอมีค่าสูงกว่าการใช้สารคู่ควบ A-1100 Silane เนื่องจากสารคู่ควบ A-171 Silane ทำให้เกิดการยึดติดที่ดีของหญ้าแฝกและพอลิเมอร์ช่วยเพิ่มความแข็งแรงที่รอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interphase) ทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น รับแรงได้ดีจึงมีสมบัติเชิงกลที่สูง ส่วนค่าความแข็งกด และโมดูลัสโค้งงอ มีค่าต่ำกว่าการใช้สารคู่ควบ A-1100 Silane เพราะสารคู่ควบชนิดนี้จะทำให้เกิดความแข็งเปราะอาจเนื่องจากการสลายตัวของหมู่อะมิโนทำให้การยึดติดที่หญ้าแฝกพอลิเมอร์เมตริกซ์ลดลงจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างวัฏภาค มีความเปราะร่วน ความต้านทานต่อการเปลี่ยน แปลงรูปร่างจึงสูงทำให้ต้องใช้แรงในการ โค้งงอมาก เมื่อเปรียบเทียบการใช้ HIPS-FR เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

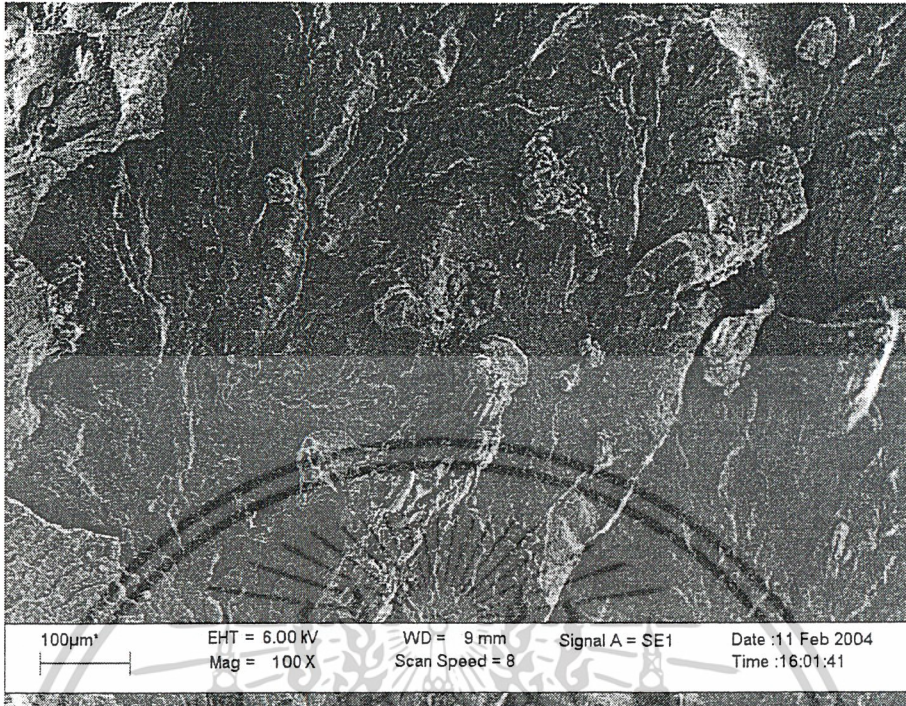
เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์พบว่า หากผสมสารคู่ควบ A-171 Silane ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ มากกว่าการใช้สารคู่ควบ A-1100 Silane เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นคล้ายกับการใช้ HIPS ส่วนมอดุลัสโค้งงอเมื่อใช้ A-171 Silane มีค่าต่ำกว่าการใช้ A-1100 Silane เนื่องจากสารคู่ควบ A-1100 Silane ชนิดนี้จะทำให้เส้นใยเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ไม่ติดจากเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ทำให้เกิดความแข็งแรงและการมีลิกนินจะทำให้แข็งแรงมากขึ้น จึงด้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างทำให้มอดุลัสโค้งงอมีค่าสูง ส่วนเปอร์เซ็นต์การยึด ฉ จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งแรงกมมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าจะใช้สารคู่ควบชนิดใด ส่วนสมบัติทางกายภาพคือ ความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตนั้นพบว่า การใช้สารคู่ควบชนิดใดก็ตามจะทำให้ค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของวัสดุคอมโพสิต โดยพิจารณาที่ตัวพอลิเมอร์เมตริกซ์ระหว่าง HIPS และ HIPS-FR พบว่า HIPS ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่า HIPS-FR อาจเนื่องมาจาก HIPS-FR มีองค์ประกอบของสารหน่วงไฟที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เกาะก่ทำให้เกิดความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลถึงสมบัติเชิงกลที่ด้อยลง ส่วนค่าความหนาแน่นพบว่า HIPS-FR มีความหนาแน่นมากกว่า HIPS เพราะมีองค์ประกอบของสารหน่วงไฟแทรกตัวในโมเลกุลทำให้ความหนาแน่นสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาลักษณะการติดไฟพบว่า HIPS-FR มีความสามารถต่อการต้านทานการติดไฟได้ดี ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นตัวดับไฟในการผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ

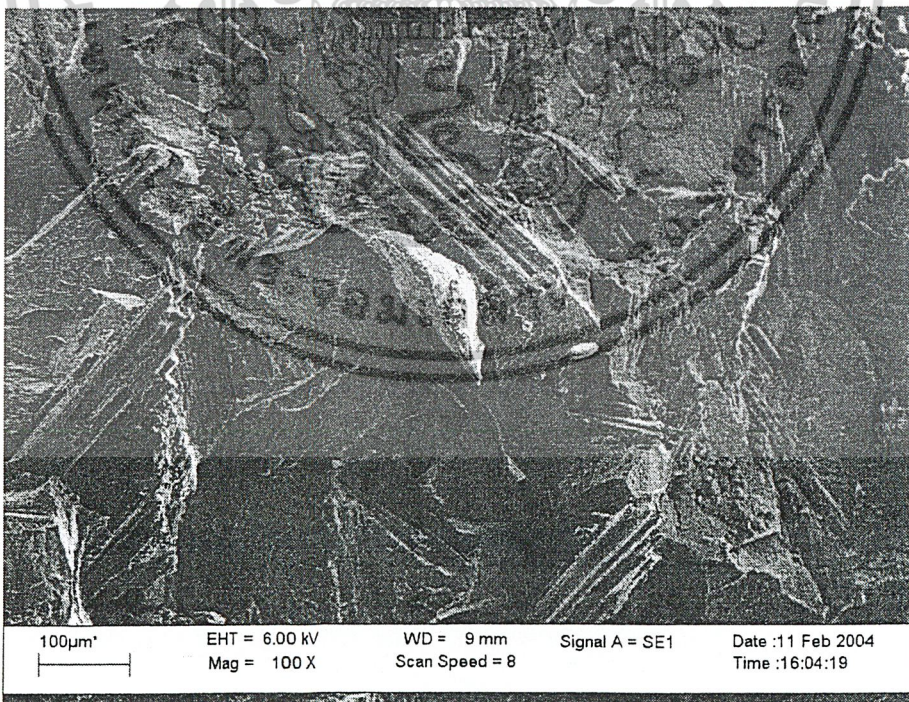
4.5 การศึกษาพื้นฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุ โดยศึกษาพื้นผิวของชิ้นงานที่ทำการแตกหักที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้กำลังการขยาย 100 และ 500 เท่า จากรูปที่ 4.30-4.32 ที่กำลังขยาย 100 เท่าของวัสดุคอมโพสิต HIPS ที่เติมปริมาณหน้ำแฝก 30 phr มีการกระจายตัวของเส้นใยดีกว่าที่ปริมาณหน้ำแฝก 10 phr เนื่องจากมีปริมาณที่เหมาะสมไม่น้อยเกินไปต่อปริมาณพอลิเมอร์เมตริกซ์ดังรูปที่ 4.30 และไม่มากเกินไปจนเกิดการกระจุกตัวของหน้ำแฝกเมื่อเติมลงไปปริมาณ 50 phr ดังรูปที่ 4.32 ส่วนรูปที่ 4.33 แสดงถึงการยึดติดของหน้ำแฝกและ HIPS ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่ามีช่องว่างที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคอยู่เนื่องจากการยึดติดที่ไม่ดี ส่วนรูปที่ 4.34 ที่กำลังขยาย 100 เท่าของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหน้ำแฝกปริมาณ 30 phr ที่เติมสารคู่ควบ A-171 Silane พบว่าการกระจายตัวอยู่ในลักษณะที่ดีและเมื่อเพิ่มกำลังขยาย 500 เท่า ดังรูปที่ 4.35 เพื่อดูการยึดติดของ HIPS และเส้นใยหน้ำแฝก พบว่าการยึดติดที่ดีสังเกตจากบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคน้อยลงเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.33 ส่วนรูปที่ 4.36 ที่กำลังขยาย 100 เท่า ของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหน้ำแฝกปริมาณ 30 phr ที่เติมสารคู่ควบ A-1100 Silane พบว่าการกระจายตัวดีสม่ำเสมอ เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 500 เท่า ดังรูปที่ 4.37 พบว่าการยึดติดดีกว่ารูปที่ 4.33 แต่ยึดติดได้ไม่ดีเท่ารูปที่ 4.35 สังเกตจากการที่ยังมีบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคอยู่บ้าง ซึ่งอาจเนื่องมาจากเหตุผลดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.1

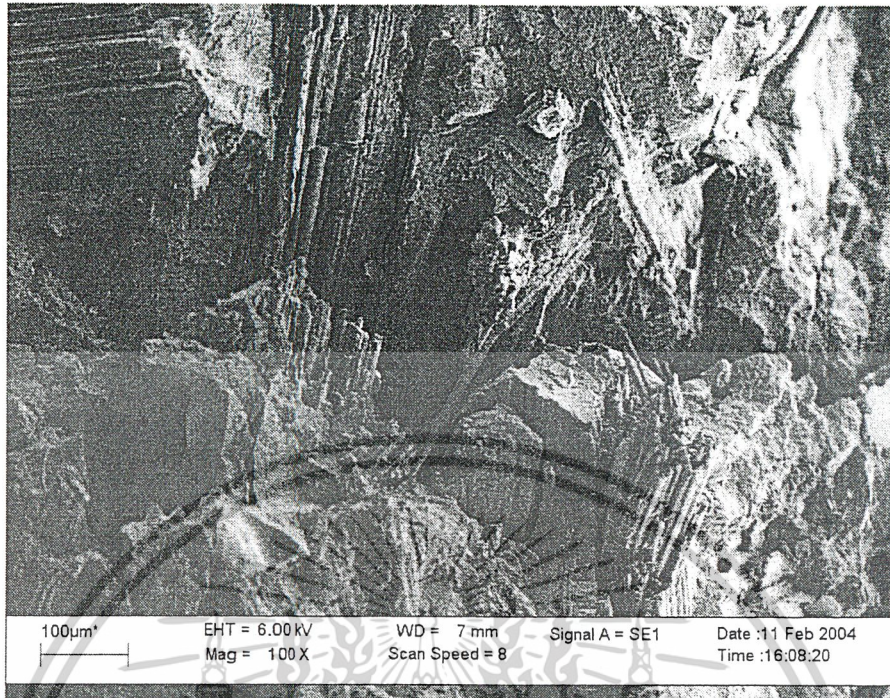
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



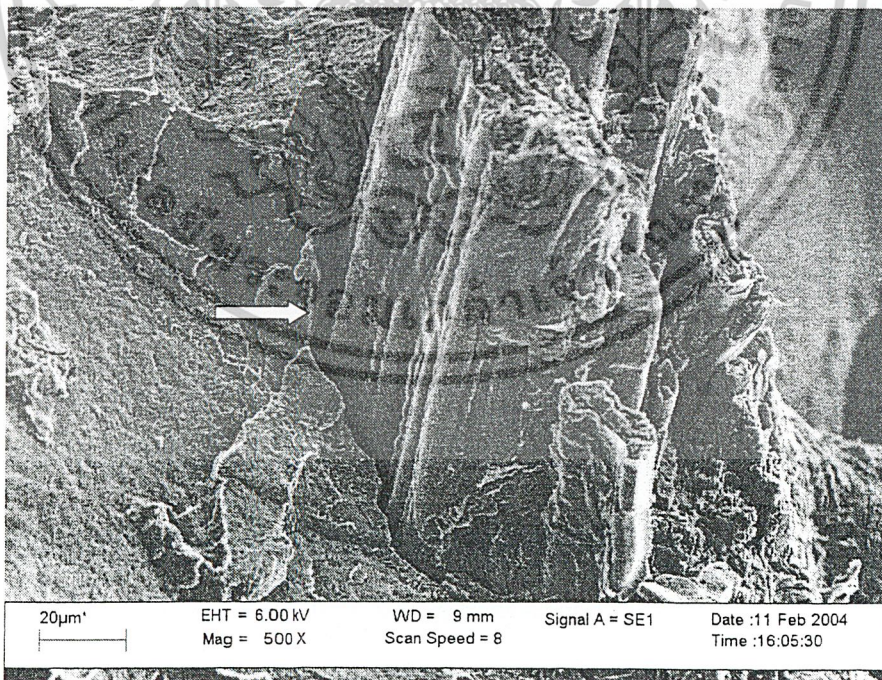
รูปที่ 4.30 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญาแฝก ปริมาณ 10 phr โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.31 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญาแฝก ปริมาณ 30 phr โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

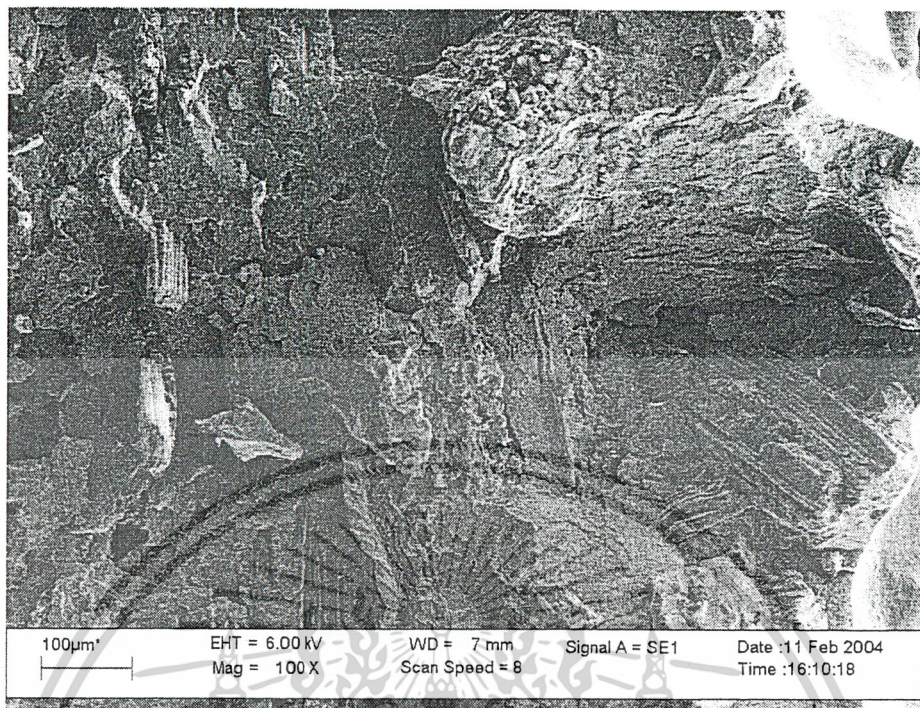


รูปที่ 4.32 รูป SEM แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญาแฝก ปริมาณ 50 phr โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า

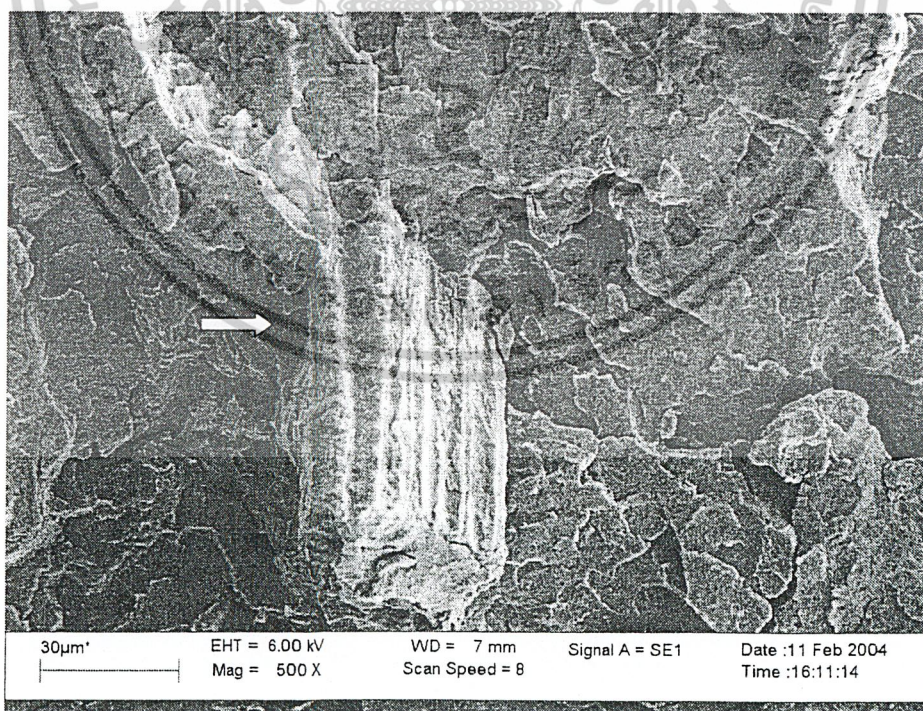


รูปที่ 4.33 รูป SEM แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาการยึดติดของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญาแฝก

ปริมาณ 30 phr โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 500 เท่า สังเกตลักษณะ
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญาตเหนาเปเซบะยะขนดานการค้ำ
แสดงรอยต่อระหว่างวัฏภาคเมตริกซ์และหญาแฝกที่ยึดติดกันไม่ดี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

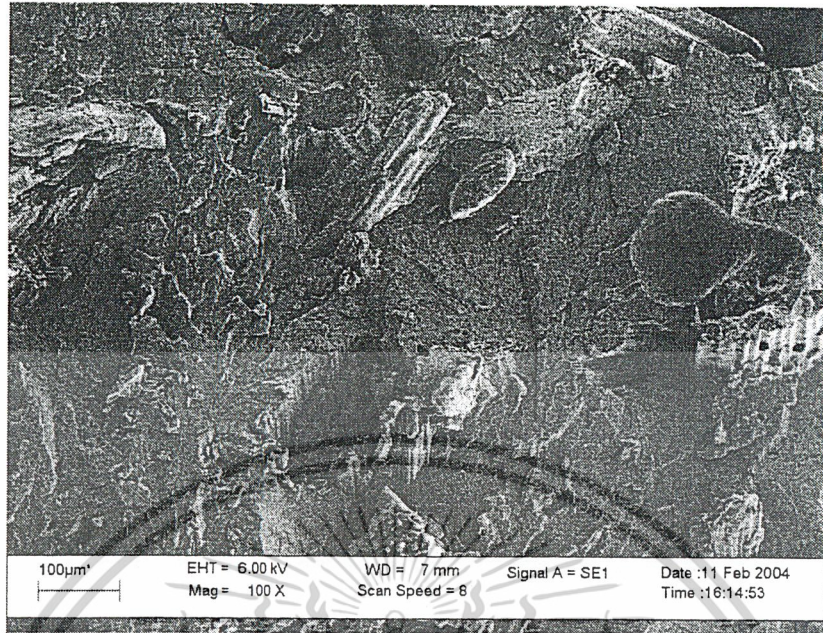


รูปที่ 4.34 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝก ปริมาณ 30 phr ที่ผสมสารคู่ควบ A-171 Silane โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า

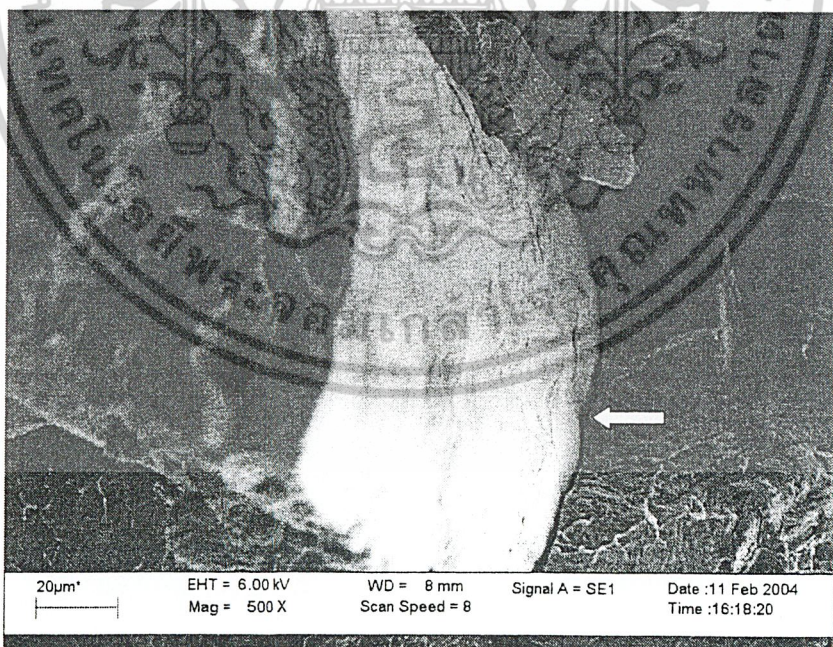


รูปที่ 4.35 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการยึดติดของวัสดุคอมโพสิต HIPS และหญ้าแฝกปริมาณ 30 phr ที่ผสมสารคู่ควบ A-171 Silane โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย

500 เท่า สังเกตดูที่รอยต่อระหว่างวัฏภาคเมตริกซ์และหญ้าแฝกที่ยึดติดกันดี
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุคอมโพสิต HIPS และใยแก้วแปรก ปริมาณ 30 phr ที่ผสมสารก่อกวน A-1100 Silane โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.37 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการยึดติดของวัสดุคอมโพสิต HIPS และใยแก้วแปรกปริมาณ 30 phr ที่ผสมสารก่อกวน A-1100 Silane โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 500 เท่า ดังเกิดลูกศรแสดงรอยต่อระหว่างวัฏภาคเมตริกซ์และใยแก้วแปรกที่ยึดติดกันดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผิดลิขสิทธิ์หากนำไปเผยแพร่ซึ่งเป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis)

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของวัสดุทดแทนไม้พอลิโอสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกและหญ้าแฝก น้ำหนัก 1 กิโลกรัม เลือกใช้อัตราส่วนผสมที่ใช้ปริมาณหญ้าแฝก 30 phr สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ HIPS และหญ้าแฝกที่ผสมสารคู่ควบ

A-171 Silane

รายการ	ปริมาณที่ใช้	ราคาต่อหน่วย ^a	คิดเป็นเงิน (บาท)
1.HIPS	765 กรัม	45 บาท/กก.	34.43
2. หญ้าแฝก	229.5 กรัม	8 บาท/กก. ^b	1.84
3. A-171 Silane	6.89 มิลลิลิตร	600 บาท/ลิตร	4.13
4. ค่าแรง	1 ชั่วโมง	165 บาท/วัน ^c	6.87
5. ค่าไฟฟ้า	10 หน่วย	2.5 บาท/หน่วย	25.00
6. เบ็ดเตล็ด	-	-	5.00

รวมต้นทุนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ HIPS และหญ้าแฝก 1 กิโลกรัม^d คือ 77.27 บาท

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ HIPS และหญ้าแฝกที่ผสมสารคู่ควบ

A-1100 Silane

รายการ	ปริมาณที่ใช้	ราคาต่อหน่วย ^a	คิดเป็นเงิน (บาท)
1.HIPS	765 กรัม	45 บาท/กก.	34.43
2. หญ้าแฝก	229.5 กรัม	8 บาท/กก. ^b	1.84
3. A-1100 Silane	6.89 มิลลิลิตร	1200 บาท/ลิตร	8.27
4. ค่าแรง	1 ชั่วโมง	165 บาท/วัน ^c	6.87
5. ค่าไฟฟ้า	10 หน่วย	2.5 บาท/หน่วย	25.00
6. เบ็ดเตล็ด	-	-	5.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมต้นทุนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ HIPS และหญ้าแฝก 1 กิโลกรัม^d คือ 81.41 บาท

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ HIPS-FR และหญ้าแฝกที่ผสมสารกักควบคุม

A-171 Silane

รายการ	ปริมาณที่ใช้	ราคาต่อหน่วย ^a	คิดเป็นเงิน (บาท)
1.HIPS-FR	765 กรัม	63 บาท/กก.	48.20
2. หญ้าแฝก	229.5 กรัม	8 บาท/กก. ^b	1.84
3. A-171 Silane	6.89 มิลลิลิตร	600 บาท/ลิตร	4.13
4. ค่าแรง	1 ชั่วโมง	165 บาท/วัน ^c	6.87
5. ค่าไฟฟ้า	10 หน่วย	2.5 บาท/หน่วย	25.00
6. เบ็ดเตล็ด	-	-	5.00

รวมต้นทุนการผลิตวัสดุทดแทนไม้ HIPS และหญ้าแฝก 1 กิโลกรัม^d คือ 91 บาท

หมายเหตุ^a เป็นราคาโดยประมาณ ณ เดือนมีนาคม 2547

^b ค่าแรงการเกี่ยวไถหญ้าแฝกและการขนส่ง

^c คิดค่าแรงตามค่าแรงขั้นต่ำ

^d ราคานี้ไม่รวมต้นทุน เครื่องจักร และค่าเสื่อมของเครื่องจักร

จากตารางที่ 4.5 4.6 และ 4.7 แสดงถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุคอมโพสิตทดแทนไม้จาก HIPS และ HIPS-FR กับหญ้าแฝก พบว่าต้นทุนการผลิตวัสดุคอมโพสิตหญ้าแฝกจาก HIPS-FR มีราคาสูงกว่าวัสดุคอมโพสิตจาก HIPS อีกทั้งการใช้สารกักควบคุม A-1100 Silane จะมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเนื่องจากมีราคาแพงกว่า A-171 Silane อย่างไรก็ตามการที่จะเลือกใช้สารชนิดใดขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการในการนำไปใช้งานและต้นทุนในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก (HIPS) และเส้นใยหญ้าแฝก (Vetiver grass) เป็นสารตัวเติม (filler) ซึ่งเตรียมเป็นวัสดุคอมโพสิตโดยนำเส้นใยหญ้าแฝกที่ผ่านกรรมวิธีทางเชิงกล (Mechanical pulp, MP) ในงานวิจัยนี้จะแบ่งศึกษาตามปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุคอมโพสิตดังนี้คือ ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เหมาะสม ตอนที่ 2 ศึกษาผลของชนิดของสารคู่ควบทั้งสองชนิดคือ ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันไวซิลไตรเมทอกซีไซเลน (A-171 Silane) และชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันแกมมา-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (A-1100 Silane) และ ตอนที่ 3 ศึกษาผลของชนิดของพอลิเมอร์เมทริกซ์ระหว่าง พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงไฟ

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุทดแทน ไม่สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เหมาะสมในการเติมลงในพอลิเมอร์เมทริกซ์

จากงานวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เป็นสารตัวเติมมากขึ้น ความแข็งแรงดึง มอดูลัส และความแข็งแรงโค้งงอ มีแนวโน้มตอนแรกจะเพิ่มขึ้น และค่อยๆ ลดลงที่ปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มมากขึ้น แต่จะมีค่ามากที่สุดที่ปริมาณเส้นใย 30 phr ส่วนเปอร์เซ็นต์การยึด ฉ. จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ส่วนความแข็งแรง และมอดูลัสโค้งงอกลับมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย

ส่วนผลการดูดซึมน้ำพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกจะทำให้การดูดซึมน้ำมากขึ้น รวมทั้งความหนาแน่นก็จะมากขึ้น การทำวัสดุคอมโพสิตระหว่าง HIPS กับเส้นใยหญ้าแฝกพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ผลการทดสอบสมบัติการติดไฟพบว่า หากเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกจะไม่มีผลต่ออัตราเร็วในการติดไฟแต่การมีหญ้าแฝกในพอลิเมอร์ จะทำให้ติดไฟได้เร็วกว่าการเผาพอลิเมอร์อย่างเดียว วัสดุทดแทนไม้ไม่มีความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกได้ดินได้ดีกว่าไม้จริง ซึ่งเมื่อปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกมากขึ้นการเข้าทำลายของปลวกก็มากขึ้น แต่การเข้าทำลายนี้น้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับไม้จริง ผลที่ได้อยู่ในระดับที่ “น่าพอใจ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของชนิดของสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติของวัสดุทดแทนไม้

จากงานวิจัยพบว่า เมื่อใช้สารคู่ควบ A-171 Silane พบว่า ค่ามอดูลัส เปรอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงโค้งงอดีกว่าการใช้สารคู่ควบ A-1100 Silane ยกเว้นค่ามอดูลัสโค้งงอ เมื่อใช้ปริมาณเส้นใยที่เท่ากัน คือ 30 phr แต่ในส่วนของค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด ความแข็งแรงกระแทก และสมบัติทางความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ การเปลี่ยนชนิดของสารคู่ควบจะไม่มีผลต่ออุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และเมื่อเพิ่มปริมาณหญ้าแฝกจะทำให้ค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างใกล้เคียงกันในแต่ละชนิดของสารคู่ควบ

ตอนที่ 3 ศึกษาผลของชนิดของพอลิเมอร์เมตริกซ์ระหว่างพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกที่ผสมและไม่ผสมสารหน่วงไฟ

จากงานวิจัยพบว่า การใช้ HIPS ทั้งชนิดที่เติมสารคู่ควบ A-171 Silane และ A-1100 Silane ที่ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก 30 phr จะให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีกว่าการใช้ HIPS-FR เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ คือ ความแข็งแรงดึง เปรอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งแรงโค้งงอ ส่วนมอดูลัส และมอดูลัสโค้งงอจะมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้ A-1100 Silane เป็นสารคู่ควบ และความแข็งแรงกดมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างการใช้สารคู่ควบทั้งสองชนิด การใช้ HIPS-FR เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์แนวโน้มการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นมากกว่าการใช้ HIPS เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ในสถานะที่ไม่เติมหญ้าแฝก ส่วน HIPS-FR ไม่สามารถติดไฟได้แม้ว่าจะเติมหญ้าแฝกลงไปในพอลิเมอร์ก็ตามแต่ HIPS สามารถติดไฟได้และถ้าเติมเส้นใยหญ้าแฝกจะทำให้อัตราการติดไฟเร็วขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณหญ้าแฝกจะไม่มีผลต่ออัตราการติดไฟ

ตอนที่ 4 ฐานฐานวิทยา

การกระจายตัวของเส้นใยหญ้าแฝกในพอลิเมอร์เมตริกซ์ที่ปริมาณ 30 phr จะมีการกระจายตัวดีที่สุดในกรณีเติมสารคู่ควบที่มีหมู่ฟังก์ชันไวนิล ไตรเมทอกซีไซเลน (A-171 Silane) จะทำให้การยึดติดระหว่างภูมิภาคพอลิเมอร์และหญ้าแฝกดียิ่งขึ้น ส่วนสารคู่ควบที่มีหมู่ฟังก์ชันแกมมา-อะมิโนโพรพิลไดรเอทอกซีไซเลน (A-1100 Silane) มีประสิทธิภาพในการยึดติดน้อยกว่าเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์เมทริกซ์ เช่น ABS เพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุคอมโพสิตให้ดีขึ้น
2. ควรเพิ่มชนิดของสารเติมแต่งอื่นๆ เช่น สารช่วยการกระจายตัว (Dispersing agent) สารเพิ่มเนื้อ (Fillers) เช่น CaCO_3 เพื่อปรับปรุงวัสดุคอมโพสิตให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น
3. ควรปรับปรุงสีของพอลิเมอร์คอมโพสิตให้มีสีสันสวยงามขึ้น
4. ทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวัน เช่น กล่องใส่ของ กรอบรูป เฟอ์นเจอร์ต่างๆ แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงาน โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2546. **ทฤษฎีป้องกันการเสื่อมโทรมและพังทลายของดินโดยหญ้าแฝก**. [Online]. Available : <http://www.rdpb.go.th/home/detailH.asp?ang=TH&file=concept&subject=005>
2. อิทธิพล แจ่มชัด. **พอลิเมอร์คอมโพสิต**. กรุงเทพฯ : เอกสารประกอบการสอนวิชาพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
3. ชารทิพย์ เชมะศิริ สุภาวดี ขาวนวล และ อมรา ขวดบา. 2545. “วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตของเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิโอดีฟีนีส : พีพีและเอชดีพีอี”. *โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.
4. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์. **เคมีพอลิเมอร์**. โครงการตำรา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
5. The University of Southern Mississippi. 1995. **Polystyrene**. [Online]. Available : <http://www.psrc.usm.edu/macrog/styrene.htm>.
6. Thaibuild. 2004. **พลาสติก**. [Online]. Available : <http://www.thaibuild.com/syler/plasticforlife.doc>.
7. AQUIRE Database, ERL-Duluth, U.S. EPA. 1989. **Polystyrene**. [Online]. Available : <http://www.ejnet.org/plastics/polystyrene/styrene.html>.
8. Department of Chemistry, Elmhurst College. 2004. **Polystyrene**. [Online]. Available : <http://www.elmhurst.edu/~chm/onlcourse/chm110/outlines/images/polystyrene.GIF>.
9. Edenbaum , J. . “Plastics and Modifiers Handbook”. **Chapman 4 Hall. London**. 1996.
10. สมชาติ รุ่งอินทร์. **ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับงานวิเคราะห์ทดสอบเยื่อและกระดาษ และคำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทดสอบ**. ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพฯ 2528.
11. Gambit, P.L.. 1999. **Alpha-cellulose**. [Online]. Available : http://www.louisenthal.de/ger/products/02/index.php4?product_id=475.
12. MIT Biology Hypertextbook. 2004. **Beta-cellulose**. [Online]. Available : <http://web.mit.edu/esgbio/www/lm/sugars/sugars.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. BioBran MGN-3. 2001. **Gamma-cellulose**. [Online]. Available :
<http://www.biobran.org/overview/>
14. Department of chemistry University of Itelsinki. 2002. **Lignin**. [Online]. Available :
http://www.helsinki.fi/~orgkm_w/lignin_structure.html.
15. วรธรรม อุ๋นจิตติชัย. 2545. รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง “วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก” . ชุดโครงการวิจัยเรื่องการวิจัยและพัฒนาปฏิสัมพันธ์ของหญ้าแฝกกับปลวกเพื่อสนองพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เพื่อเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม : โครงการที่ 1
16. สุภชัย คล้ายเชียงราก. 2547. **หญ้าแฝก**. [Online]. Available :
<http://www.doae.go.th/library/html/detail/grass/grass1.htm>.
17. ทรงกลด จารุสมบัติ. 2545. **ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก**. [Online]. Available :
<http://www.ku.ac.th/e-magazine/february45/agri/plant.html>.
18. OSi Specialties. “Silquest A-151, Silquest A-171 and Silquest A-2171 Silanes”. Thailand Distributor Optimal Tech. Co.,Ltd. , Bangkok. 2003.
19. OSi Specialties. “Silquest A-1100 Silane”. Thailand Distributor Optimal Tech. Co.,Ltd. , Bangkok. 2003.
20. Jones, F.R. . “Handbook of Polymer-Composites.” **Longman Scientific & Technical . London**. 1994.
21. GE Silicones. 2004. **Coupling agent**. [Online]. Available :
http://www.specialchem4polymers.com/sf/Osi/index.aspx?id=filler_treatment.
22. สมศักดิ์ วรมงคลชัย , **เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1** , ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
23. ENTEX Extruders. 2003. **Extruder**. [Online]. Available :
<http://www.entek - mfg.com/home.html>.
24. สมศักดิ์ วรมงคลชัย , **เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2** , ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
25. Industrial Designers Society of America Materials and Processes Section. 2002. **Injection machine**. [Online]. Available :
http://www.idsamp.org/proc/plastic/injection/injection_process.htm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26. นวภรณ์ อนันตชนวนิชย์ นุชรี ปัญจะผลินกุล และพัชรี มณฑาทิพย์. 2544. “การศึกษาไม้เทียมคอมโพสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน(พีพี) และเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี)”. *โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
27. วรณิยา ชาญรงค์. 2545. “ผลของปริมาณไม้และพลาสติกไซเซอร์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตจากเส้นใยไม้อย่างพาราและพีวีซี”. *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
28. สมภพ เลิศลักษณ์กุล. 2544. “ไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) และเส้นใยยูคาลิปตัส”. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
29. ปิยะวรรณ เจียวก๊ก และ พงศ์ศักดิ์ แพน้อย. 2543. “การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตไม้เทียมจากพอลิพรอพิลีนและไม้ยูคาลิปตัส”. *โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
30. ชिरพัฒน์ อุณหโชค และ พงษ์นิตย์ ศรธรรมดี. 2543. “การศึกษาไม้เทียมจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเส้นใยผักตบชวา”. *โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
31. จิรพรรณ หน่ายคอน และ มาริสา ต้นดีลักษณ์. 2541. “วัสดุคอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยอ้อย”. *โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
32. รัชดา ขวัญตน. 2541. “คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วและเส้นใยอ้อย”. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
33. ปิยะวัน ตั้งควรธรวานิช. 2541. “การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากไผ่ (ไผ่สีสุก)”. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
34. กมลรัตน์ คุรัตน์ชัชวาล และคุณดาว ปรีชาวงศ์. 2541. “บทบาทของมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล และความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วกับพอลิพรอพิลีนผสมกับชานอ้อย”. *โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

35. ณะภัทรพงศ์ สุวรรณชัย และณัฐพร เต๋นนินนาท. 2538. “การใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบ หลวงเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน”. *โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
36. เฉลิมพล อธิธิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ. 2537. “การใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้ว เพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิเอทิลีน”. *โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
37. Joseph, K. and Kabai, P.. 1993. “Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Rienforced Polyethylene Composites.” **J.Appl.Polym.Sci.49** : 1731-1739.
38. Rodney, J.S. , Burke, R.L. and Merigan, T.C.. 1992. “Composite Materials from Recycled Multilayer Polypropylen Bottles and Wood Fiber.” **American Chemical Society.** 232-240.
39. Yam, K.L. , Alden, C.L. and Hard, G.C..1990. “Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled HDPE.” **Polym. Eng. Sci.** 30(11) : 693-700.
40. Raj, R.G. and Bowman, R.. 1989. “Use of Wood Fiber as a Filler in Polyethylene : Studies on Mechanical Properties.” **Plastic and Runber Processing and Application** 11 : 215-221.
41. Sain, M. , Park, S.H. , Suhara, F. and Law, S.. “Flame retardant and Mechanical properties of natural fibre-PP composites containing Magnesium hydroxide.” **Polymer Degradation and Stability.**2003.
42. Ismail, H. , Edyham, M.R. and Wirjosentono, B.. “Bamboo fibre filled natural rubber composites : the effects of filler loading and bonding agent” . **Polymer Testing** , 2002
43. Oksman, K. , Skrifvars, M. and Selin, J.F.. “Natural fibres as reinforcement in polylactic acid composites.” **Composites science and technology**, 2003.
44. Jana, S.C. and Prieto, A.. “On the Development of Natural Fiber Composites of High-Temperature Thermoplastic Polymer.” **Journal of Applied Polymer Science.** 2002.
45. Pickering, K.L. , Abdalla, A. , Mcdonald, A.G. and Franich, R.A.. “The effect of silane coupling agents on radiata pine fibre for use in thermoplastic matrix composites. **Composites Part A : applied science and manufacturing**, 2003
46. Miller, A.C. and Berg, J.C.. “Effect of silane coupling agent adsorbate structure on adhesion performance with a polymeric matrix. . **Composites Part A : applied science and manufacturing**, 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

47. อิทธิพล แจ่มชัด. การวัดพอลิเมอร์: เอกสารประกอบการศึกษา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
48. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ และภัทรารุช มนต์วิเศษ .ปฏิบัติการณ์พอลิเมอร์. โครงการตำรา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
49. RAY-RAN POLYTEST. 2004. **Density**. [Online]. Available :
http://www.ray-ran.com/uploads/3_column_density_gradient.jpg.
50. มาตรฐานการทดสอบการติดไฟของพลาสติก, เอกสารแปล, ภาควิชาวิศวกรรมพลาสติก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตคลองหก.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สถานะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding

TIME PROGRAMING

DIE CLS/OPN TIME	: 40	MELTING TIME	: 15
SID-COR ACT TIME	: 20	DECOMPRS TIME	: 1
1 ST STG INJ TIME	: 20	COOLING TIME	: 60
2 ND STG INJ TIME	: 0	EJECTOR COUNT	: 1
3 RD STG INJ TIME	: 0	SCW FWD TIME	: 0
EJECT FWD DLY TIME	: 0	SCW BWD TIME 1:	0
MELTING DLY TIME	: 0	SCW BWD TIME 2:	0
EJE BKD DLY TIME	: 0	ALARM TIME	: 400

PRESSURE PROGRAMING

DIE CLSPRESR	: 40	DECOMP PRESR	: 20
CLS LOW PRESR	: 50	PLUNGER PRESR	: 15
CLS HI PRESR	: 50	EJECTOR PRESR	: 10
DIE OPN PRESR	: 15	SCW-IN PRESR	: 40
1 ST INJ PRESR	: 75	DIE ADJ PRESR	: 40
2 ND INJ PRESR	: 75		
3 RD INJ PRESR	: 75		

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD	:	20	1 ST STG INJ SPD	:	50
HIGHT CLS SPD	:	25	2 ND STG INJ SPD	:	50
CLAMING SPD	:	20	3 RD STG INJ SPD	:	50
DIE OPN SPD	:	15	MELTING SPD	:	15
RAPID OPN SPD	:	20	DECOMP SPD	:	20
DIE OPN SLW 2	:	15	EJECTOR SPD	:	5
PLUNGER SPD	:	20	SCREW IN SPD	:	0
DIE ADJ SPD	:	25	DIE CHANG SPD	:	50

PROGRAMING TEMPERATURES

PROGRAMED TEMP		CURRENT TEMP	
		HIPS	HIPS-FR
NOZZLE	:	190	190
ZONE 1	:	180	180
ZONE 2	:	170	170
ZONE 3	:	0	0
ZONE 4	:	0	0
ZONE 5	:	0	0
ZONE 6	:	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตอนที่ 1 การศึกษาปริมาณหน้าผงเป็นสารตัวเติม (Filler) ในพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก

ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุคอมโพสิตพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกกับหน้าผงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณหน้าผงต่อปริมาณพอลิเมอร์

ตารางที่ ข 1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

Tensile strength

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS	22.39	22.48	23.57	24.62	24.35	23.15	24.42	23.95	23.62	0.87
HIPS + MP 10 phr	17.61	21.85	19.69	21.14	20.51	18.43	20.12	18.21	19.70	1.50
HIPS + MP 20 phr	21.31	22.26	24.59	24.31	24.85	23.78	23.22	22.89	23.40	1.22
HIPS + MP 30 phr	24.71	25.89	23.78	25.37	25.76	25.13	26.09	23.87	25.08	0.89
HIPS + MP 40 phr	23.02	21.01	22.49	22.55	19.81	24.29	24.14	23.98	22.66	1.59
HIPS + MP 50 phr	19.96	23.28	20.96	22.51	23.63	18.31	18.91	23.02	21.32	2.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensile modulus

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS	15.00	861.50	989.00	1004.50	1056.00	985.00	789.00	969.00	833.63	341.62
HIPS + MP 10 phr	840.50	850.00	931.50	873.50	1016.50	1011.50	735.50	927.50	898.31	93.76
HIPS + MP 20 phr	935.50	929.00	1016.00	936.50	1085.00	921.00	815.50	989.00	953.44	79.08
HIPS + MP 30 phr	998.00	1094.50	811.50	1089.00	1095.00	1071.00	1111.50	1048.00	1039.81	98.93
HIPS + MP 40 phr	1092.50	843.50	907.00	1108.00	1098.50	952.00	1046.00	850.50	987.25	112.46
HIPS + MP 50 phr	832.50	990.50	857.00	949.50	900.50	966.00	628.50	1022.00	893.31	125.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%Elongation @ break

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS	20.16	21.01	18.25	20.62	18.76	19.25	15.21	16.30	18.70	2.06
HIPS + MP 10 phr	18.62	18.61	17.35	20.21	18.30	20.06	17.53	18.72	18.68	1.03
HIPS + MP 20 phr	5.00	4.98	6.12	7.06	5.98	6.54	7.01	5.36	6.01	0.84
HIPS + MP 30 phr	4.26	2.80	3.21	3.22	2.81	2.52	2.80	3.21	3.10	0.48
HIPS + MP 40 phr	4.00	2.00	2.00	3.21	3.02	2.60	2.50	3.58	2.86	0.72
HIPS + MP 50 phr	2.60	2.50	2.67	3.01	2.79	3.62	3.01	2.06	2.78	0.46

Impact strength

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS	14.75	17.34	14.80	14.12	16.29	16.02	16.47	14.12	15.49	1.20
HIPS + MP 10 phr	7.40	3.68	3.46	7.94	3.47	4.50	4.26	6.91	5.20	1.89
HIPS + MP 20 phr	5.11	5.86	6.20	1.38	4.22	6.67	8.05	6.36	5.48	2.00
HIPS + MP 30 phr	4.67	6.08	4.82	5.77	5.37	4.40	5.59	5.68	5.30	0.60
HIPS + MP 40 phr	3.50	4.07	4.02	4.80	4.15	4.56	5.09	5.03	4.40	0.56
HIPS + MP 50 phr	5.75	4.46	4.34	4.30	4.60	3.58	5.01	6.69	4.84	0.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hardness

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS	68.00	66.00	65.00	64.00	67.00	65.00	65.00	68.00	66.00	1.51
HIPS + MP 10 phr	69.00	69.00	67.00	68.00	66.00	67.00	66.00	66.00	67.25	1.28
HIPS + MP 20 phr	67.00	68.00	68.00	68.00	69.00	68.00	69.00	67.00	68.00	0.76
HIPS + MP 30 phr	67.00	68.00	68.00	69.00	68.00	68.00	67.00	66.00	67.63	0.92
HIPS + MP 40 phr	68.00	67.00	67.00	69.00	69.00	69.00	68.00	68.00	68.13	0.83
HIPS + MP 50 phr	70.00	69.00	70.00	69.00	68.00	68.00	69.00	70.00	69.13	0.83

Flexural strength

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS	31.86	32.40	31.77	29.28	32.55	32.95	33.21	31.42	31.93	1.23
HIPS + MP 10 phr	34.43	32.75	31.57	30.91	32.14	31.84	31.30	33.74	32.33	1.23
HIPS + MP 20 phr	35.14	35.98	32.39	34.82	32.93	37.44	34.92	34.95	34.82	1.60
HIPS + MP 30 phr	38.00	39.04	40.02	35.13	41.47	39.24	37.62	39.10	38.70	1.87
HIPS + MP 40 phr	38.16	31.74	31.76	35.83	35.22	34.39	33.51	31.06	33.96	2.47
HIPS + MP 50 phr	31.57	21.23	36.38	32.60	33.04	36.15	33.82	23.34	31.02	5.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flexural modulus

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS	323.41	183.04	355.16	173.65	364.52	220.17	373.75	351.74	293.18	84.47
HIPS + MP 10 phr	203.50	182.14	151.47	122.26	165.89	114.35	174.97	243.01	169.70	44.64
HIPS + MP 20 phr	265.85	190.74	61.84	123.65	110.88	152.12	189.25	236.96	166.49	67.82
HIPS + MP 30 phr	225.99	190.65	204.95	371.45	352.53	305.83	168.92	290.28	263.82	77.92
HIPS + MP 40 phr	154.48	214.06	254.31	240.47	22.52	166.21	196.63	146.98	174.46	72.90
HIPS + MP 50 phr	382.96	442.49	243.43	293.71	88.88	232.18	207.45	321.22	276.54	111.71

ตารางที่ ข 2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ
เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

สูตร	1 วัน	6 วัน	12 วัน	18 วัน	24 วัน	30 วัน
HIPS	0.06	0.09	0.17	0.22	0.25	0.24
HIPS + MP 10 phr	1.05	1.36	1.57	1.73	1.79	1.92
HIPS + MP 20 phr	3.78	4.19	4.85	5.17	5.28	5.68
HIPS + MP 30 phr	5.30	5.65	6.03	6.15	6.64	6.09
HIPS + MP 40 phr	7.11	7.70	7.91	8.04	8.07	8.09
HIPS + MP 50 phr	6.78	7.46	7.79	7.96	7.96	6.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่น

สูตร	ความหนาแน่น (g/cm ³)
HIPS	1.01
HIPS + 10 phr	1.04
HIPS + 20 phr	1.05
HIPS + 30 phr	1.07
HIPS + 40 phr	1.09
HIPS + 50 phr	1.12

ตารางที่ ข 3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน DMTA

สูตร	T _g (°C)
HIPS	102.04
HIPS + 10 phr	96.41
HIPS + 30 phr	100.22
HIPS + 50 phr	97.55

ตารางที่ ข 4 ผลการทดสอบความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน

สูตร	การเข้าทำลาย (%)
HIPS	0.25
HIPS + MP 10 phr	1.66
HIPS + MP 20 phr	1.85
HIPS + MP 30 phr	4.02
HIPS + MP 40 phr	5.21
HIPS + MP 50 phr	4.01
Control	22.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 5 ผลการทดสอบสมบัติการตีไฟ

สูตร	การหน่วงไฟ (mm/s)
HIPS	0.53
HIPS + MP 10 phr	0.73
HIPS + MP 30 phr	0.70
HIPS + MP 50 phr	0.68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตอนที่ 2 การศึกษาผลการใช้สารคู่ควบไซเลนที่มีต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต

ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอมโพสิตพอลิโอสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกกับหญ้าแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารคู่ควบ

ตารางที่ ค 1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

Tensile strength

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-171	19.57	23.73	22.77	22.97	22.88	23.32	23.78	22.49	22.69	1.31
HIPS + MP 20 phr + A-171	23.50	24.14	22.73	23.30	24.18	23.53	21.70	22.51	23.20	1.03
HIPS + MP 30 phr + A-171	25.37	23.84	24.79	24.26	24.77	24.56	24.27	25.12	24.62	0.6
HIPS + MP 40 phr + A-171	23.84	22.39	22.64	24.92	22.80	24.34	23.21	23.29	23.43	0.86
HIPS + MP 50 phr + A-171	22.05	21.72	23.21	21.76	22.28	22.55	21.24	20.55	21.92	0.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensile strength (ต่อ)

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-1100	23.23	23.82	23.80	24.25	23.25	23.01	23.29	23.33	23.50	0.52
HIPS + MP 20 phr + A-1100	23.97	23.87	23.91	24.62	24.14	24.65	23.84	24.19	24.15	0.46
HIPS + MP 30 phr + A-1100	26.81	25.69	24.88	25.88	25.49	26.45	24.77	23.95	25.49	0.90
HIPS + MP 40 phr + A-1100	26.42	25.28	24.95	24.23	25.06	26.16	24.27	25.47	25.23	0.78
HIPS + MP 50 phr + A-1100	26.77	26.51	25.50	25.91	26.77	25.29	24.04	27.03	25.98	1.10

Tensile modulus

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-171	34.50	23.00	129.50	657.50	592.50	708.00	600.00	609.50	419.31	299.52
HIPS + MP 20 phr + A-171	893.50	899.00	839.50	929.00	1069.50	1104.00	1012.50	951.00	962.25	91.92
HIPS + MP 30 phr + A-171	1199.00	1131.00	1066.50	1051.00	1114.00	1141.00	1116.00	1043.00	1107.69	52.36
HIPS + MP 40 phr + A-171	796.00	1250.50	977.50	958.00	884.50	851.00	1047.50	997.50	970.31	140.10
HIPS + MP 50 phr + A-171	768.00	806.50	920.00	960.00	882.00	925.00	998.00	898.50	894.75	76.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensile modulus (ต่อ)

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-1100	825.00	1082.50	1116.00	1121.00	994.50	991.50	1083.00	857.50	1008.88	106.4
HIPS + MP 20 phr + A-1100	981.00	832.50	838.50	1116.00	1063.50	1119.50	1058.50	1087.50	1012.13	103.4
HIPS + MP 30 phr + A-1100	555.50	1009.00	1004.50	1175.50	1106.50	1083.00	714.00	989.50	954.69	211.40
HIPS + MP 40 phr + A-1100	1110.00	879.00	885.50	998.00	940.00	1064.50	1007.50	858.50	967.88	91.32
HIPS + MP 50 phr + A-1100	1018.00	796.50	1154.50	890.50	1143.00	948.00	1020.50	886.00	982.13	125.47

%Elongation @ break

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-171	13.40	16.00	14.05	14.50	13.28	16.51	15.30	13.78	14.6	1.28
HIPS + MP 20 phr + A-171	4.31	5.77	4.34	4.79	4.45	4.62	5.87	4.30	4.81	0.46
HIPS + MP 30 phr + A-171	4.64	5.17	5.53	4.60	4.65	4.67	4.69	4.86	4.85	0.44
HIPS + MP 40 phr + A-171	3.83	3.98	3.22	4.24	3.79	4.15	4.39	3.87	3.93	0.52
HIPS + MP 50 phr + A-171	3.46	3.41	3.73	4.70	4.71	4.44	3.99	4.85	4.16	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%Elongation @ break (ต่อ)

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-1100	6.27	7.90	8.21	5.89	6.81	5.10	7.02	6.11	6.66	1.11
HIPS + MP 20 phr + A-1100	5.63	4.50	4.53	4.36	4.00	4.80	5.05	5.30	4.77	0.84
HIPS + MP 30 phr + A-1100	4.20	4.45	4.09	4.22	4.43	4.29	4.10	4.37	4.27	0.20
HIPS + MP 40 phr + A-1100	4.31	3.60	4.07	4.45	3.86	4.17	3.74	3.53	3.97	0.33
HIPS + MP 50 phr + A-1100	3.93	3.34	3.81	3.72	3.96	3.51	3.60	3.84	3.71	0.37

Impact strength

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-171	6.57	7.25	6.30	6.70	6.15	8.15	6.90	5.68	6.71	0.76
HIPS + MP 20 phr + A-171	5.94	6.49	5.22	4.97	5.54	6.01	5.24	4.93	5.54	0.56
HIPS + MP 30 phr + A-171	4.74	4.63	4.60	5.57	4.99	5.03	4.59	5.05	4.90	0.30
HIPS + MP 40 phr + A-171	4.30	5.09	4.29	4.34	5.30	4.84	4.31	5.46	4.74	0.62
HIPS + MP 50 phr + A-171	3.62	3.65	3.51	4.36	4.12	4.05	4.46	4.18	4.00	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impact strength (ต่อ)

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-1100	6.63	7.44	7.70	7.30	6.21	7.05	10.04	6.00	7.30	1.30
HIPS + MP 20 phr + A-1100	6.72	6.24	8.19	5.96	7.04	4.88	4.14	5.43	6.08	1.27
HIPS + MP 30 phr + A-1100	5.03	5.10	4.62	4.89	4.51	5.05	4.39	4.67	4.78	0.26
HIPS + MP 40 phr + A-1100	4.57	4.92	6.52	4.48	5.83	4.23	4.64	4.91	5.01	0.83
HIPS + MP 50 phr + A-1100	4.79	5.11	4.00	3.50	3.49	4.88	4.32	4.02	4.26	0.63

Hardness

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-171	65.00	65.00	70.00	70.00	71.00	71.00	68.00	68.00	68.50	2.23
HIPS + MP 20 phr + A-171	69.00	68.00	68.00	67.00	66.00	70.00	70.00	70.00	68.50	1.51
HIPS + MP 30 phr + A-171	69.00	68.00	66.00	68.00	70.00	69.00	70.00	70.00	68.75	1.49
HIPS + MP 40 phr + A-171	73.00	71.00	68.00	71.00	70.00	71.00	70.00	70.00	70.50	1.27
HIPS + MP 50 phr + A-171	70.00	71.00	72.00	70.00	72.00	73.00	70.00	71.00	71.13	1.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hardness (ต่อ)

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-1100	69.00	68.00	69.00	69.00	70.00	70.00	69.00	68.00	69.00	0.76
HIPS + MP 20 phr + A-1100	67.00	68.00	70.00	70.00	69.00	68.00	68.00	72.00	69.00	1.60
HIPS + MP 30 phr + A-1100	69.00	69.00	69.00	69.00	72.00	70.00	71.00	73.00	70.25	1.58
HIPS + MP 40 phr + A-1100	72.00	69.00	69.00	68.00	69.00	73.00	73.00	72.00	70.63	2.06
HIPS + MP 50 phr + A-1100	69.00	70.00	70.00	69.00	73.00	73.00	72.00	70.00	70.75	1.58

Flexural strength

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-171	50.45	49.23	50.47	46.62	53.48	51.99	50.47	53.48	50.77	2.27
HIPS + MP 20 phr + A-171	46.90	56.21	49.79	57.07	56.29	59.92	61.21	52.91	55.04	4.79
HIPS + MP 30 phr + A-171	58.64	60.78	59.34	57.00	63.90	58.28	56.76	58.53	59.15	2.36
HIPS + MP 40 phr + A-171	69.06	68.27	64.53	67.84	66.01	57.95	62.84	62.66	64.90	3.25
HIPS + MP 50 phr + A-171	1.74	3.68	5.17	6.97	8.68	10.88	12.38	14.20	7.96	4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flexural strength (ต่อ)

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-1100	38.26	36.18	40.02	36.12	38.45	36.69	37.11	36.88	37.46	1.49
HIPS + MP 20 phr + A-1100	38.62	41.01	37.95	38.93	38.85	39.56	41.06	39.91	39.49	1.12
HIPS + MP 30 phr + A-1100	36.62	39.70	39.15	42.52	41.37	40.06	42.18	40.71	40.29	1.88
HIPS + MP 40 phr + A-1100	43.92	41.94	44.10	42.62	41.03	40.69	41.41	41.44	42.15	1.36
HIPS + MP 50 phr + A-1100	1.77	3.63	5.28	7.16	8.86	10.68	12.81	14.75	8.12	4.54

Flexural modulus

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-171	179.82	170.47	255.85	254.62	120.43	159.15	255.85	120.43	189.58	58.70
HIPS + MP 20 phr + A-171	91.47	3.48	110.81	71.47	92.72	83.39	56.55	48.37	69.78	33.41
HIPS + MP 30 phr + A-171	760.30	123.20	333.71	356.54	233.08	220.02	142.65	249.14	307.00	201.94
HIPS + MP 40 phr + A-171	1414.03	56.45	18.54	20.29	100.96	72.52	1477.83	12.95	396.70	645.04
HIPS + MP 50 phr + A-171	282.89	1375.76	177.04	1462.49	1466.15	235.55	1398.53	1421.58	977.50	619.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flexural modulus (ต่อ)

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS + MP 10 phr + A-1100	103.77	91.01	20.26	113.58	120.23	31.36	96.98	110.26	85.93	37.42
HIPS + MP 20 phr + A-1100	1731.73	132.36	1755.99	1886.83	1818.43	130.76	112.40	461.34	1003.73	854.53
HIPS + MP 30 phr + A-1100	1667.17	1855.10	1893.40	2014.29	1963.58	1940.18	1964.26	1926.01	1903.00	106.72
HIPS + MP 40 phr + A-1100	1991.24	1936.71	2034.16	1962.23	1956.87	1927.81	1966.78	2033.45	1976.16	36.82
HIPS + MP 50 phr + A-1100	2168.48	2037.11	2054.16	2118.56	2086.83	2151.80	2091.01	2184.55	2111.56	56.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

สูตร	1 วัน	6 วัน	12 วัน	18 วัน	24 วัน	30 วัน
HIPS + MP 10 phr + A-171	1.56	1.70	2.09	2.34	2.58	2.67
HIPS + MP 20 phr + A-171	3.12	3.64	4.25	4.67	4.90	5.14
HIPS + MP 30 phr + A-171	5.54	6.09	6.54	6.84	6.81	6.77
HIPS + MP 40 phr + A-171	5.11	7.04	7.02	7.68	7.59	7.42
HIPS + MP 50 phr + A-171	6.26	7.05	7.58	7.71	7.77	7.50
HIPS + MP 10 phr + A-1100	1.40	1.55	2.04	2.10	2.15	2.29
HIPS + MP 20 phr + A-1100	2.17	2.84	3.83	3.85	4.03	4.09
HIPS + MP 30 phr + A-1100	3.43	4.68	5.86	5.93	5.94	5.75
HIPS + MP 40 phr + A-1100	4.11	5.66	6.86	6.38	6.26	6.20
HIPS + MP 50 phr + A-1100	7.56	8.07	11.92	11.91	11.91	11.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่น

สูตร	ความหนาแน่น (g/cm ³)
HIPS + MP 10 phr + A-171	1.02
HIPS + MP 20 phr + A-171	1.05
HIPS + MP 30 phr + A-171	1.09
HIPS + MP 40 phr + A-171	1.11
HIPS + MP 50 phr + A-171	1.12
HIPS + MP 10 phr + A-1100	1.04
HIPS + MP 20 phr + A-1100	1.04
HIPS + MP 30 phr + A-1100	1.10
HIPS + MP 40 phr + A-1100	1.13
HIPS + MP 50 phr + A-1100	1.13

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน DMTA

สูตร	T _g (°C)
HIPS + 30 phr + Silane 171	99.83
HIPS + 30 phr + Silane 1100	99.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตอนที่ 3 การศึกษาชนิดของพอลิเมอร์เมตริกซ์ที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุทนแทนไม้จากพอลิเมอร์
คอมโพสิตพอลิไทรีนชนิดทนแรงกระแทกและหยุ้าแฝก

ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุคอมโพสิตพอลิไทรีนชนิดทนแรงกระแทกกับ
'หยุ้าแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของพอลิเมอร์เมตริกซ์

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

Tensile strength

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS-FR	20.12	21.19	20.49	20.08	20.33	18.52	20.15	17.50	19.80	1.13
HIPS-FR + MP 30 phr	27.88	15.85	26.01	28.60	27.35	24.74	22.31	26.76	24.94	4.21
HIPS-FR + MP 30 phr + A-171	26.65	26.49	27.88	23.14	26.87	26.78	24.65	17.69	25.02	3.26
HIPS-FR + MP 30 phr + A-1100	24.89	23.11	23.46	24.42	25.81	25.10	24.34	25.10	24.53	0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensile modulus

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS-FR	712.00	730.50	886.00	835.50	834.50	597.00	919.00	864.50	797.38	105.92
HIPS-FR + MP 30 phr	139.50	183.50	194.00	131.00	202.00	330.50	412.00	275.56	233.50	95.18
HIPS-FR + MP 30 phr + A-171	206.00	449.50	418.00	466.50	439.00	494.50	476.50	427.00	422.13	93.60
HIPS-FR + MP 30 phr + A-1100	444.50	456.00	450.50	345.00	500.50	479.50	454.00	477.50	421.13	46.60

%Elongation @ break

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS-FR	6.12	10.50	3.99	4.52	5.37	10.71	6.82	6.56	6.82	2.60
HIPS-FR + MP 30 phr	3.74	2.37	3.23	3.60	3.31	3.57	2.49	3.00	3.16	0.65
HIPS-FR + MP 30 phr + A-171	3.30	3.02	3.23	2.58	3.10	2.94	2.70	2.16	2.88	0.35
HIPS-FR + MP 30 phr + A-1100	3.18	2.72	2.75	2.98	3.03	3.13	2.81	3.00	2.97	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impact strength

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS-FR	6.78	8.42	7.33	8.83	6.77	5.43	5.40	6.02	6.87	1.29
HIPS-FR + MP 30 phr	2.75	2.60	2.83	2.82	2.33	2.61	3.27	3.87	2.89	0.60
HIPS-FR + MP 30 phr + A-171	2.56	4.10	2.58	3.33	5.17	8.82	5.98	5.47	4.75	2.19
HIPS-FR + MP 30 phr + A-1100	5.61	7.02	4.89	3.31	4.87	2.84	4.60	5.45	4.44	1.37

Hardness

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS-FR	66.00	69.00	65.00	66.00	68.00	68.00	67.00	66.00	66.88	1.35
HIPS-FR + MP 30 phr	72.00	68.00	68.00	68.00	73.00	71.00	69.00	72.00	70.13	1.96
HIPS-FR + MP 30 phr + A-171	69.00	70.00	69.00	70.00	70.00	72.00	70.00	70.00	70.00	0.92
HIPS-FR + MP 30 phr + A-1100	69.00	73.00	70.00	66.00	72.00	68.00	70.00	73.00	70.13	2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flexural strength

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS-FR	26.36	28.31	26.50	28.19	28.80	31.21	30.56	28.48	28.54	1.65
HIPS-FR + MP 30 phr	43.84	44.30	43.98	40.00	40.19	40.53	32.15	42.10	40.88	3.72
HIPS-FR + MP 30 phr + A-171	38.00	36.67	49.77	42.25	41.88	43.00	47.21	46.00	43.03	4.14
HIPS-FR + MP 30 phr + A-1100	38.08	42.08	39.07	42.06	39.75	36.32	43.00	41.25	40.43	2.36

Flexural modulus

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย	sd
HIPS-FR	187.66	402.60	150.67	143.91	516.13	275.28	396.14	350.71	296.00	135.40
HIPS-FR + MP 30 phr	0.00	2144.73	12.74	20.96	13.60	2.58	23.84	284.41	312.86	746.33
HIPS-FR + MP 30 phr + A-171	0.00	0.00	2258.94	159.78	134.37	0.00	2179.46	73.00	600.69	1001.10
HIPS-FR + MP 30 phr + A-1100	1676.80	1896.85	39.26	1864.22	1765.08	1629.92	1967.81	1826.63	1583.32	591.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ความหนาแน่น

สูตร	ความหนาแน่น (g/cm ³)
HIPS-FR	1.16
HIPS-FR + MP 30 phr	1.19
HIPS-FR + MP 30 phr + A-171	1.20
HIPS-FR + MP 30 phr + A-1100	1.21

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

สูตร	1 วัน	6 วัน	12 วัน	18 วัน	24 วัน	30 วัน
HIPS-FR	1.43	1.73	2.22	2.15	2.50	2.51

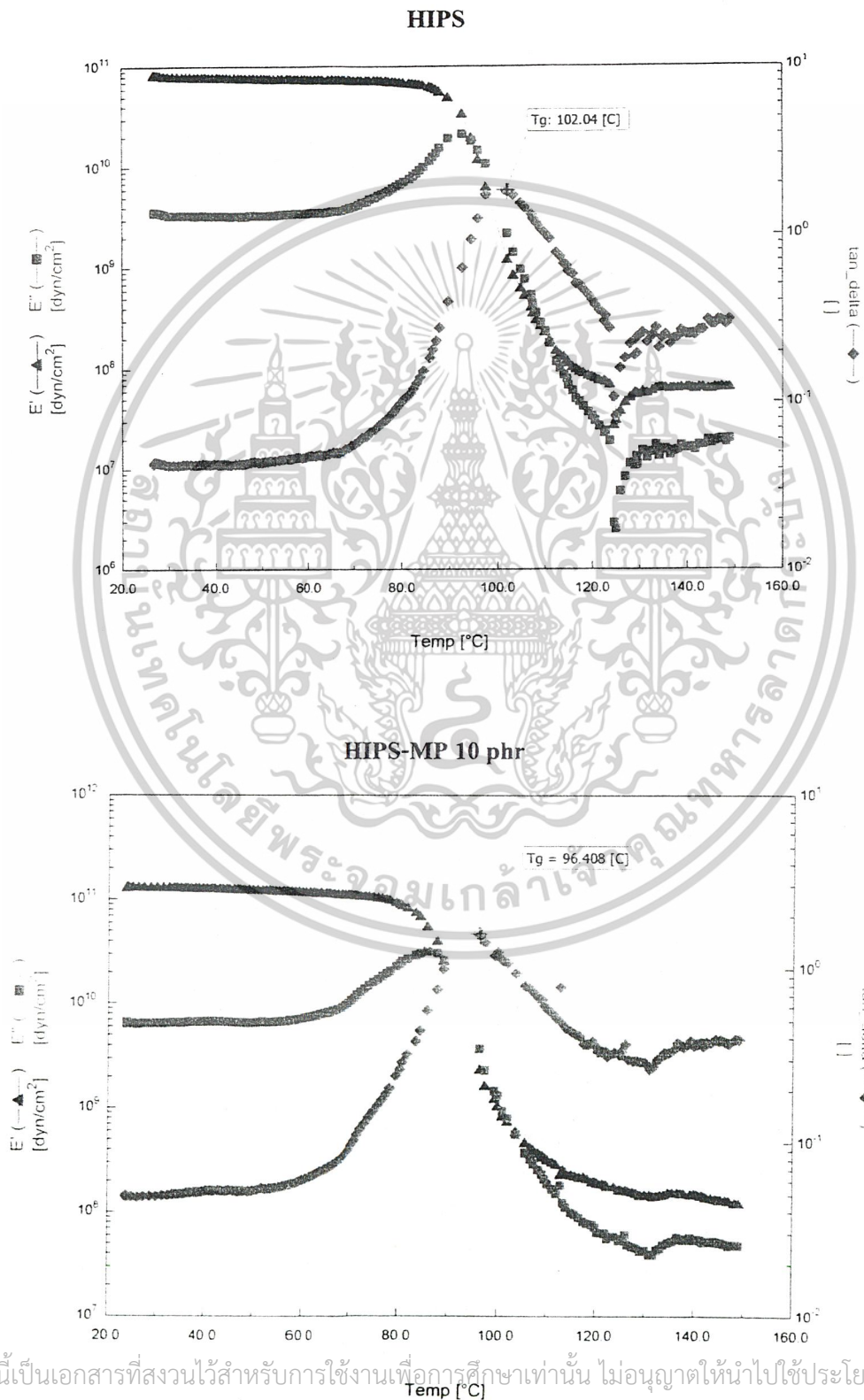
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมบัติการติดไฟ

สูตร	การหน่วงไฟ (mm/s)
HIPS-FR	0.00
HIPS-FR + MP 30 phr	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

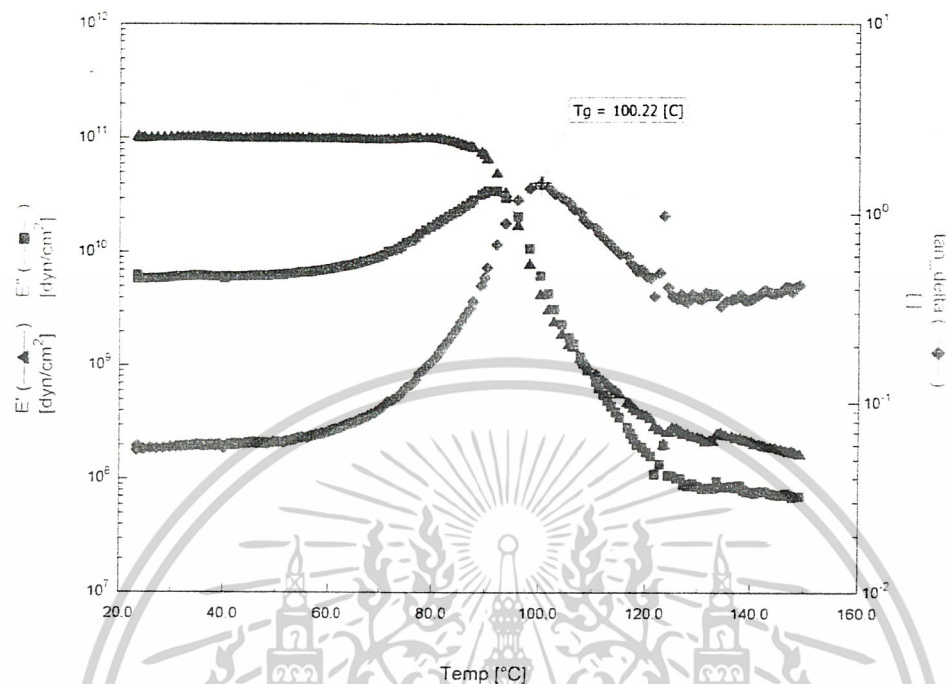
ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน (Dynamic Mechanical Thermal Analyzer: DMTA)

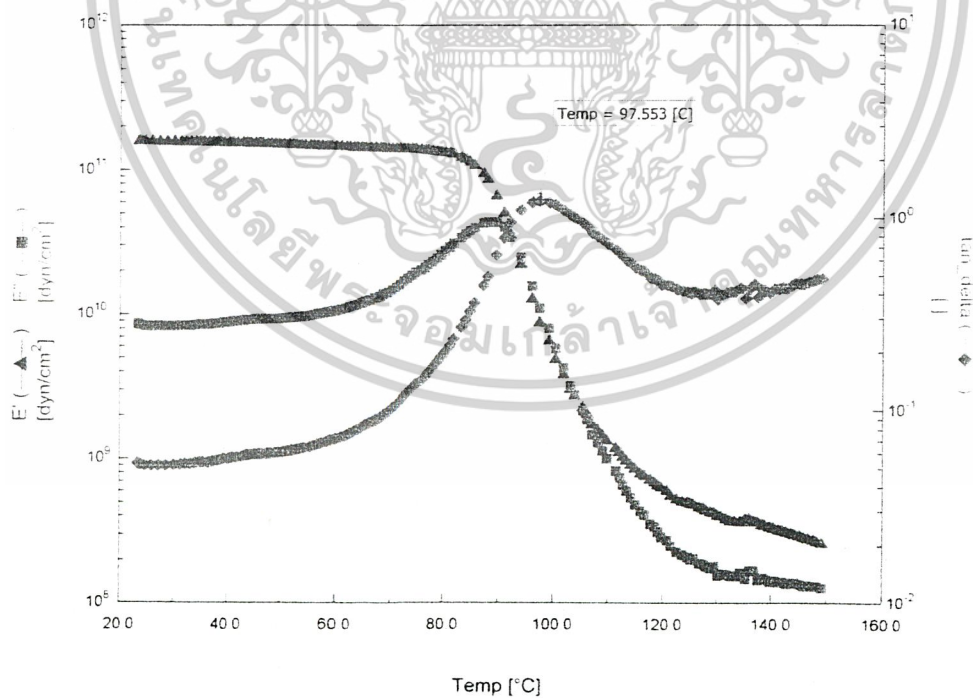


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIPS-MP 30 phr

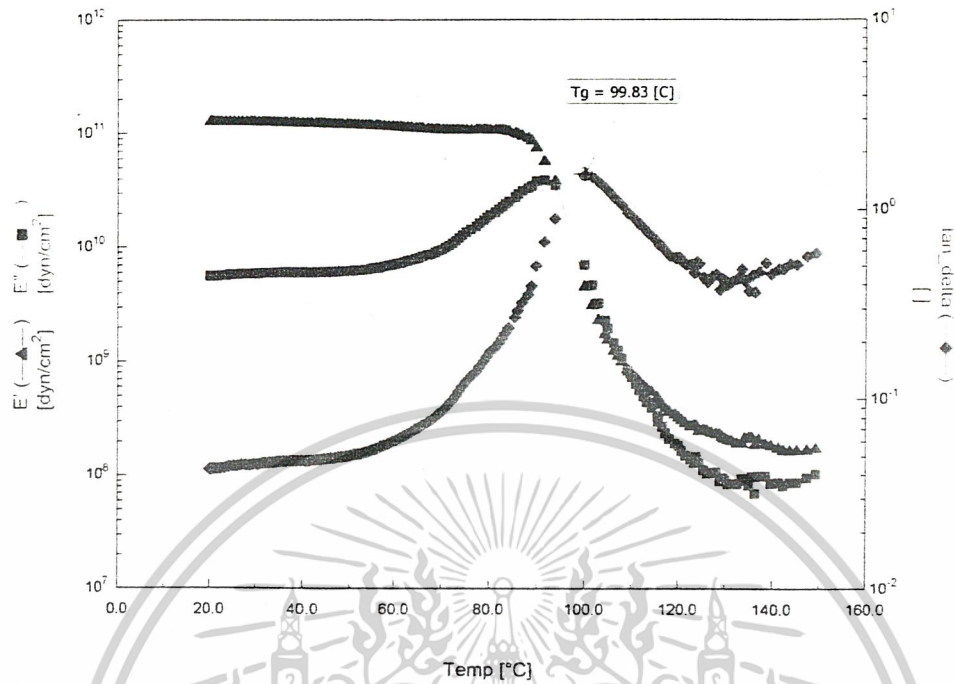


HIPS-MP 50 phr

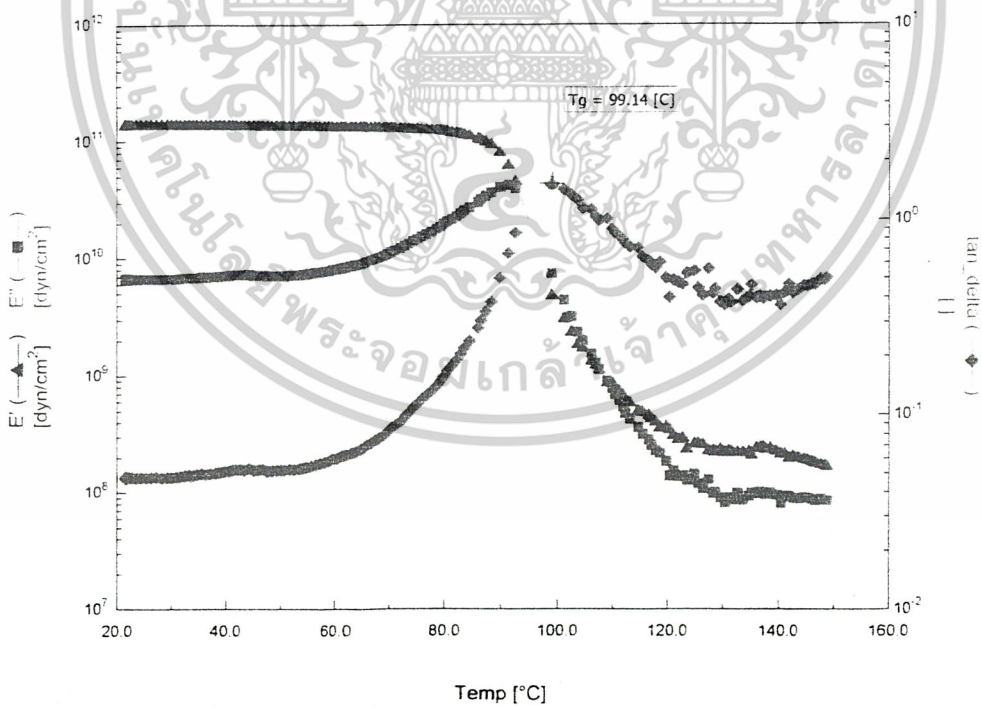


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIPS-MP 30 phr + A-171 Silane



HIPS-MP 30 phr + A-1100 Silane



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้