

การศึกษาไม้เทียม WPC ชนิดเบาจากเม็ดแก้วกลวง

Study of Light-weight Wood Plastic Composites (WPCs)

by using Glass Bubbles



โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาค้นคว้าหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๕

การศึกษาไม้เทียม WPC ชนิดเบาจากเม็ดแก้วกลวง
Study of Light-weight Wood Plastic Composites (WPCs)
by using Glass Bubbles



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY OF LIGHT-WEIGHT WOOD PLASTIC COMPOSITES
(WPCs) BY USING GLASS BUBBLES**

MR. PHANPONG

MAPEW

MISS SUDARAT

JANTAWONG

MISS SUWARAT

SRISERM



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาไม้เทียม WPC ชนิดเบาจากเม็ดแก้วกลวง
Study of Light-weight Wood Plastic Composites (WPCs) by using
Glass Bubbles

ชื่อนักศึกษา นายพันธ์พงษ์ มาผิว รหัสนักศึกษา 52050208
นางสาวศุภารัตน์ จันทะวงษ์ รหัสนักศึกษา 52050250
นางสาวสุวรรรัตน์ ศรีเสริม รหัสนักศึกษา 52050255



ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. อธิพิล แจ่มชัด

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์วัชรธรรม อุ๋นจิตติชัย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์	
ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน	
รศ.ดร.อธิพิล แจ่มชัด	
อาจารย์วัชรธรรม อุ๋นจิตติชัย	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาไม้เทียม WPC ชนิดเบาจากเม็ดแก้วกลวง			
ชื่อนักศึกษา	นายพันธ์พงษ์	มาผิว	รหัสนักศึกษา	52050208
	นางสาวสุดารัตน์	จันทะวงษ์	รหัสนักศึกษา	52050250
	นางสาวสุวรรรัตน์	ศรีเสริม	รหัสนักศึกษา	52050255
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต			
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม			
ปีการศึกษา	2555			
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. อิทธิพล แจ่มชัด			
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วราธรรม อุ่นจิตติชัย			

บทคัดย่อ

ปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติก (Wood Plastic Composites : WPC) ได้ถูกนำมาใช้งานหลากหลายมากขึ้น ไม้พลาสติกชนิดเบาที่มีข้อได้เปรียบจากการประหยัดต้นทุนโดยการเพิ่มปริมาตรและการใช้งานที่ไม่เน้นการรับแรงแต่จะเน้นน้ำหนักที่เบาเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคอมโพสิตไม้พลาสติกชนิดเบาที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene ; LDPE) ผสมเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในอัตราส่วน 70/30 (โดยน้ำหนัก) และเม็ดแก้วกลวง (Glass bubble) 3 ชนิด คือ S60, W300 และ iM30K เพื่อลดความหนาแน่นของ WPC ผสมวัสดุโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) โดยเน้นศึกษาผลของการใช้สารคู่ควบไซเลนชนิดและปริมาณของเม็ดแก้วกลวง (0-40%) ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของ WPC ได้แก่ ความหนาแน่น สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่าเมื่อเติมสารคู่ควบไซเลนที่ 3% สามารถช่วยให้ WPC มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็งโค้ง โมดูลัสโค้ง และความแข็งแรงกระแทก จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วกลวง 0-40 % ส่งผลให้ความหนาแน่นของวัสดุลดลง แต่ทำให้สมบัติเชิงกลของ WPC ลดลงเช่นกัน ที่ 20% ยังคงสมบัติเชิงกลที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับปริมาณอื่นๆ เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่า เส้นใยหญ้าแฝกและเม็ดแก้วกลวงมีการกระจายตัวที่ดี แต่เม็ดแก้วกลวง W300 เกิดการแตกขณะขึ้นรูป ส่งผลให้ความหนาแน่นลดลงน้อยกว่าเม็ดแก้วกลวงเกรดอื่น เกรด iM30K สามารถลดความหนาแน่นได้มากกว่า และมีสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) มีค่าใกล้เคียงกัน แต่องศาความเป็นผลึกของเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K มีค่ามากกว่าเม็ดแก้วกลวงชนิดอื่นๆ ส่งผลให้ WPC ที่ได้จากเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K มีความแข็งแรงมากกว่าเม็ดแก้วกลวงชนิดอื่น

คำสำคัญ : คอมโพสิตไม้พลาสติก, เม็ดแก้วกลวง, เส้นใยหญ้าแฝก

Special Project Title	Study of Light-weight Wood Plastic Composites (WPCs) by using Glass Bubbles		
Student	Mr. Phanpong Mapew	ID 52050208	
	Miss Sudarat Jantawong	ID 52050250	
	Miss Suwarat Sriserm	ID 52050255	
Degree	Bachelor of Science		
Major Program	Industrial Chemistry		
Academic Year	2012		
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud		
Co-advisor	Mr. Woratham Oonjittichai		

Abstract

Nowadays, Wood Plastic Composites (WPCs) have been used in several applications. Light-weight WPCs have more advantages in terms of cost-saving with less required strength. In this research work, light weight WPC made from Low Density Polyethylene (LDPE), vetiver grass fibers and glass bubbles (GB). LDPE/vetiver grass fibers ratio was fixed at 70/30 (w/w). Composite formulas were mixed and compounded by a two-roll mill and then shaped by an injection molding machine. The samples were then characterized for physical, mechanical, thermal and morphological properties. Parameters affecting WPC properties were investigated, such as, silane coupling agent treatment, types of GB (S60, W300 and iM30K) and %loading of GB. It was found that mechanical properties such as tensile strength, modulus, flexural strength and flexural modulus were increased by adding 3% silane coupling agent. As %GB loading was increased (0-40%), density of WPCs was decreased, however, mechanical properties of WPCs were also decreased. 20% GB loading seemed to be an appropriate amount for WPCs since mechanical properties were deteriorated after 30 % loading. From SEM micrographs, vetiver grass fibers and GB were dispersed well in LDPE matrix. W300 GB seemed to fracture during processing resulting in higher density WPC compared to others. iM30K GB yielded the best overall properties. From DSC results, T_m of LDPE was similar, however, %crystallinity of LDPE with iM30K GB was higher. This might result in higher mechanical properties of the WPC made from iM30K GB.

Keyword : Wood Plastic Composites, Glass bubbles, Vetiver Grass Fibers

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาโครงการพิเศษ คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วราธรรม อุ่นจิตติชัย ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาโครงการพิเศษร่วม คอยให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ และผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่กรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้อง และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่ประจำอาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์เทคโนโลยี ที่คอยอำนวยความสะดวกในการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ บริษัท เอ็ม.บี.เจ. อินเตอร์ไพรส์ ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ บริษัท 3เอ็ม ประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K และเม็ดแก้วกลวงเกรด S60 ตลอดจนคำแนะนำในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ บริษัท เบ็นไมเยอร์ เคมีคอล (ที) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดแก้วกลวงเกรด W300 ตลอดจนคำแนะนำในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ หน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง SEM

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจจนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวถึงอีกมากมาย ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นายพันธ์พงษ์	มาผิว
นางสาวสุดารัตน์	จันทะวงษ์
นางสาวสุวรรรัตน์	ศรีเสริม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการงานพิเศษภาษาไทย	I
บทคัดย่อโครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 วัสดุคอมโพสิต	5
2.1.1 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต	7
2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต	8
2.2 เส้นใยธรรมชาติ	9
2.2.1 เซลลูโลส	9
2.2.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส	11
2.2.2 เฮมิเซลลูโลส	11
2.2.3 ลิกนิน	12
2.3 ไม้และเส้นใยไม้	13
2.3.1 ชนิดของไม้	13
2.4 หญ้าแฝก	14
2.4.1 พันธุ์หญ้าแฝก	15
2.4.1.1 หญ้าแฝกหอมหรือแฝกลุ่ม	15
2.4.1.2 หญ้าแฝกดอน	15

2.4.2	การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก	17
2.4.2.1	การใช้ประโยชน์จากใบหญ้าแฝกสำหรับงาน ศิลปหัตถกรรม	17
2.4.2.2	การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็น วัสดุเพาะเห็ด	17
2.4.2.3	การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็น วัสดุคลุมหลังคา	18
2.5	พอลิเอทิลีน	18
2.5.1	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	19
2.5.1.1	ลักษณะโดยทั่วไปของ LDPE	19
2.5.1.2	สมบัติโดยทั่วไปของ LDPE	19
2.5.1.3	การใช้งาน LDPE ในปัจจุบัน	20
2.6	สารตัวเติม	20
2.6.1	พฤติกรรมของสารตัวเติมและสารเสริมแรง	20
2.7	พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์	21
2.8	ออแกโนไซเลน	22
2.9	เม็ดแก้วและเม็ดเซรามิก	23
2.10	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.1	สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	35
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	38
3.3	วิธีการทดลอง	38
3.3.1	การเตรียมเส้นใยไม้	38
3.3.2	ขั้นตอนการผสม	38
3.3.3	ศึกษาผลและปริมาณของสารคู่ควบไซเลน	39
3.3.4	ศึกษาปริมาณของเม็ดแก้วกลวง	39
3.3.5	ศึกษาชนิดของเม็ดแก้วกลวง	40
3.4	การทดสอบ	40
3.4.1	สมบัติเชิงกล	40
3.4.1.1	ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	40
3.4.1.2	ความแข็งแรงกระแทก	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 ความแข็งแรง โต้้งงอและมอดุลัส โต้้งงอ	42
3.4.1.4 ความแข็งกด	43
3.4.2 สมบัติทางกายภาพ	43
3.4.2.1 ความหนาแน่น	43
3.4.2.2 สัณฐานวิทยา	44
3.4.2.3 สมบัติทางความร้อน DSC	44
3.5 สรุปประเด็นศึกษา	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	46
4.1 ศึกษาผลและปริมาณสารคู่ควบไซเลน	46
4.2 ศึกษาผลและปริมาณเม็ดแก้วกลาง	52
4.3 ศึกษาชนิดของเม็ดแก้วกลาง	58
4.4 ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	63
4.5 Differential Scanning Calorimetry	71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	72
5.1 ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัย	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	78

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะที่แตกต่างของหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน	16
ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของใบหญ้าแฝก	16
ตารางที่ 2.3 สมบัติบางประการของเม็ดแก้วและเม็ดแก้วกลาง	24
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ LDPE เกรด EL-Lene [®] LD1630J ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	36
ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของเม็ดแก้วกลาง S60	36
ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของเม็ดแก้วกลาง iM30K	37
ตารางที่ 3.4 สมบัติบางประการของเม็ดแก้วกลาง W300	37
ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ	39
ตารางที่ 3.6 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต	40
ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก และค่าองศาความเป็นผลึกจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ของ WPC สูตรเบา	71

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 รูปหญ้าแฝก	2
รูปที่ 1.2 ตัวอย่างคอมโพสิตไม้พลาสติคที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นส่วนเสริมแรง	2
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน	6
รูปที่ 2.2 ประเภทคอมโพสิต	7
รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	10
รูปที่ 2.4 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของฟลิกและออสติฐานของเซลลูโลส	10
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	11
รูปที่ 2.6 หน่วยที่ซ้ำกันของโครงสร้างในลิกนิน	12
รูปที่ 2.7 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้	13
รูปที่ 2.8 หญ้าแฝกลุ่ม-หญ้าแฝกคอน	14
รูปที่ 2.9 ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก	17
รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์	22
รูปที่ 2.11 โครงสร้างทั่วไปทางเคมีของ Organofunctionalsilane	22
รูปที่ 2.12 กลไกการทำงานของสารคู่ควบไซเลนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ	23
รูปที่ 2.13 ขนาดและลักษณะการกระจายตัวของเม็ดเซรามิก โดยอนุภาคที่ใหญ่ที่สุด มีขนาด 50 μm	25
รูปที่ 2.14 การแตกของเม็ดเซรามิก โดยเม็ดเซรามิกมีผนังเซลล์หนา 1 μm	25
รูปที่ 3.1 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	41
รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก	42
รูปที่ 3.3 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ	43
รูปที่ 3.4 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ	44
รูปที่ 3.5 แสดงวิธีวัดความกว้าง ความยาวของชิ้นทดสอบ	44
รูปที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง	47
รูปที่ 4.2 มอดุลัส (Modulus) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยปริมาณเม็ดแก้วกลวง	47

รูปที่ 4.3	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยปริมาณเม็ดแก้วกลาง	48
รูปที่ 4.4	ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยปริมาณเม็ดแก้วกลาง	48
รูปที่ 4.5	ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยปริมาณเม็ดแก้วกลาง	49
รูปที่ 4.6	มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยปริมาณเม็ดแก้วกลาง	49
รูปที่ 4.7	ความหนาแน่น (Density) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยปริมาณเม็ดแก้วกลาง	50
รูปที่ 4.8	ค่าความแข็งกด (Hardness, shore D) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยปริมาณเม็ดแก้วกลาง	51
รูปที่ 4.9	ความหนาแน่น (Density) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ	52
รูปที่ 4.10	มอดุลัส (Modulus) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ	53
รูปที่ 4.11	มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ	53
รูปที่ 4.12	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ	54
รูปที่ 4.13	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ	55
รูปที่ 4.14	ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ	55
รูปที่ 4.15	ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไซเลน 3 % ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ	56

รูปที่ 4.16	ค่าความแข็งกด (Hardness, shore D) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไพลีน 3% ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ	57
รูปที่ 4.17	ความหนาแน่น (Density) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยปริมาณของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ	59
รูปที่ 4.18	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยปริมาณของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ	59
รูปที่ 4.19	มอดุลัส (Modulus) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยปริมาณของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ	60
รูปที่ 4.20	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยปริมาณของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ	60
รูปที่ 4.21	ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยปริมาณของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ	61
รูปที่ 4.22	ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยปริมาณของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ	61
รูปที่ 4.23	มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยปริมาณของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ	62
รูปที่ 4.24	ค่าความแข็งกด (Hardness, shore D) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยปริมาณของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ	62
รูปที่ 4.25	ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝกและเม็ดแก้วกลางเกรด S60 ที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด	64
รูปที่ 4.26	ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝกและเม็ดแก้วกลางเกรด iM30K ที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด	66
รูปที่ 4.27	ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝกและเม็ดแก้วกลางเกรด W300 ที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด	68
รูปที่ 4.28	ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝกและเม็ดแก้วกลางเกรด iM30K ที่ปริมาณ 40% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ป่าไม้เป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญของประเทศ เพราะเป็นศูนย์รวมของสรรพชีวิต เป็นที่ก่อกำเนิดสายน้ำ ชีวิตพืช และสัตว์ที่หลากหลายและยังช่วยรักษาสมดุลของธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมควบคุมสภาพดินฟ้าอากาศ รวมทั้งยังช่วยป้องกันบรรเทาอุทกภัยได้อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันป่าไม้มีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการในการใช้ไม้ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการก่อสร้างเฟอร์นิเจอร์ เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ เช่น บานประตู หน้าต่าง เก้าอี้ โครงสร้างของบ้าน ฯลฯ ทั้งนี้เนื่องจากไม้มีความแข็งแรงและสวยงาม จึงทำให้ปริมาณไม้ที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงก่อให้เกิดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการรักษาสมดุลทางธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาฝนไม่ตกตามฤดูกาล ปัญหาอุทกภัย และเกิดปัญหาภาวะโลกร้อน ฯลฯ นอกจากนี้ไม้ยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น มีน้ำหนักมาก ควบคุมความชื้น ผุกร่อนง่าย ถูกทำลายได้โดยมอด ปลวก ไม่ทนต่อสภาวะแวดล้อม ทำให้มีอายุการใช้งานที่จำกัด หายาก และมีราคาแพงขึ้น จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการผลิตไม้เทียม (Artificial woods) จากวัสดุทางธรรมชาติขึ้นมาเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ไม้เทียม คือ วัสดุที่ถูกสร้างเพื่อเลียนแบบธรรมชาติ มีลักษณะภายนอกเหมือนหรือคล้ายกับวัสดุไม้ ไม้เทียมที่ดีควรมีสมบัติคล้ายวัสดุไม้ เช่น น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง เหนียว ความทนทาน ต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้เป็นอย่างดี สามารถดกด้วยตะปู ตัดด้วยเลื่อย และอายุการใช้งานยาวนาน ฯลฯ [1] วัสดุที่นิยมนำมาทำเป็นไม้เทียมคือพอลิเมอร์ เนื่องจากพอลิเมอร์จัดเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือ ผงไม้หรือเส้นใยไม้ (Fiber) เกิดเป็นไม้เทียมชนิดคอมโพสิตไม้พลาสติก (Wood Plastic Composites : WPCs)

หญ้าแฝกนับว่าเป็นเส้นใยธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตเป็นไม้เทียมได้ เนื่องจากหญ้าแฝกเป็นพืชที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแพร่หลายตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชในรัชกาลปัจจุบัน ทรงให้มีการปลูกหญ้าแฝกเพื่อรักษาหน้าดินทำให้ช่วยป้องกันการชะล้างและการพังทลายของหน้าดินได้เป็นอย่างดี จึงควรสนับสนุนให้มีการนำเส้นใยจากหญ้าแฝกมาใช้ผลิตไม้เทียมเพื่อเพิ่มมูลค่าของหญ้าแฝกให้มากขึ้น



รูปที่ 1.1 รูปหญ้าแฝก

ปัจจุบันได้มีการนำไม้เทียม (WPCs) มาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย เช่น นำมาผลิตเป็นวัสดุในการก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ เช่น บานประตู หน้าต่าง โครงสร้างของบ้าน ฯลฯ อีกทั้งยังสามารถนำมาผลิตเป็นเครื่องตกแต่งบ้าน เช่น กรอบรูป คิว บัว ผังกั้น แฟ้มเอกสาร ปกไดอารี่ ฯลฯ ซึ่งผลิตภัณฑ์จำพวกนี้ไม่เน้นการใช้งานด้านการรับแรงแต่จะเน้นให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบาขึ้นเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างคอมโพสิตไม้พลาสติกที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นส่วนเสริมแรง [1]

เม็ดแก้วกลวง (Glass Bubbles) มีลักษณะเป็นเม็ดของแข็งมีความหนาแน่นหลากหลาย จึงสามารถใช้เป็นสารตัวเติมที่ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล ช่วยลดความหนาแน่นทำให้คอมโพสิตที่ได้มีน้ำหนักเบาขึ้น และด้วยความกลวงของเม็ดทรงกลมนี้ทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้มีค่าการนำไฟฟ้าลดลง มีความเป็นฉนวนไฟฟ้ามากขึ้นและยังเป็นฉนวนความร้อนที่ดีด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกชนิดเบา (Light-weight WPCs) เพื่อใช้เป็นวัสดุแผ่นไม้เทียมสำหรับงานบางประเภทที่ใช้เป็นของตกแต่งบ้าน โดยเน้นที่การเตรียมวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกให้มีความหนาแน่นลดลงและมีสมบัติที่ดี เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ โดยทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ทั้งนี้ เสนอที่จะใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ เนื่องจากมีการไหลตัวที่ดี ด้านทานแรงกระแทกดี เป็นฉนวนไฟฟ้า และกันความชื้น และใช้เม็ดแก้วกลางเป็นสารตัวเติมที่ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล และลดความหนาแน่นของคอมโพสิตไม้พลาสติก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเตรียมคอมโพสิตไม้พลาสติก (Wood Plastic Composites ; WPCs) ชนิดเบาจากเส้นใยหญ้าแฝก ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene ; LDPE) และเม็ดแก้วกลาง (Glass bubbles)
2. เพื่อศึกษาผลของปัจจัยบางประการของเม็ดแก้วกลาง (Glass bubbles) เช่น ปริมาณ ชนิด ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิตไม้พลาสติก (Wood Plastic Composites ; WPCs)
3. เพื่อศึกษาผลของสารคู่ควบ (Coupling agents) ที่มีต่อสมบัติของคอมโพสิตไม้พลาสติก (Wood Plastic Composites ; WPCs)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาผลของการใช้สารคู่ควบ (Coupling agents) ไซเลน (3% ของเม็ดแก้วกลาง)
2. ศึกษาผลของปริมาณเม็ดแก้วกลาง (Glass bubble) (0, 10, 20, 30, และ 40%)
3. ศึกษาชนิดของเม็ดแก้วกลาง ได้แก่ s60, W300 และ iM30K
4. ศึกษาสมบัติของคอมโพสิตไม้พลาสติกที่เตรียมได้ ได้แก่
 - ความหนาแน่น
 - สมบัติเชิงกล
 - สันฐานวิทยา

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตคอมโพสิตไม้พลาสติกที่มีน้ำหนักเบาขึ้นเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายได้ เช่น ผนังกัน ไม้กรอบหน้าต่าง กรอบรูปคิ้วบัว เป็นต้น
2. สามารถทราบสูตรที่เหมาะสม สำหรับการผลิต WPC ชนิดเบาจากพลาสติกผสมเส้นใยหญ้าแฝกและเม็ดแก้วกลวง เพื่อให้มีสมบัติตามที่ต้องการได้
3. สามารถผลิตคอมโพสิตไม้พลาสติกที่มีสมบัติความเป็นฉนวน
4. สามารถเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุไม้เหลือใช้จากอุตสาหกรรม ไม้และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้
5. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปเป็นพื้นฐานความรู้ทางการวิจัยโดยประยุกต์ใช้กับพอลิเมอร์คอมโพสิตอื่นๆ



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วัสดุคอมโพสิต (Composite)

วัสดุคอมโพสิต หรือ “วัสดุประกอบ” (Composite) เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างมาก ในปัจจุบันมีการใช้ผลิตภัณฑ์วัสดุคอมโพสิตมากกว่า 10 ล้านตันต่อปี และมีอัตราการใช้เพิ่มขึ้นทุกปีประมาณ 5-10% [2] วัสดุคอมโพสิตจัดเป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering materials) ที่สำคัญชนิดหนึ่ง ปัจจุบันมีการใช้งานวัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุโครงสร้างและรับแรงสำหรับงานวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ เรือ เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีหลายประการ ที่สำคัญที่สุดคือ มีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะหรือเซรามิก ดังนั้น คอมโพสิตจึงมีความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength, σ/p) สูง ดังนั้นเมื่อใช้วัสดุคอมโพสิตเป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง เช่น ยานพาหนะ จะทำให้วัสดุมีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบา เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น มีประสิทธิภาพในการขนส่งมากขึ้น และประหยัดพลังงานมากขึ้น นอกจากนี้คอมโพสิตยังมีสมบัติที่อยู่ในช่วงกว้าง เนื่องจากคอมโพสิตมีหลายชนิดหลายรูปแบบ สามารถเลือกใช้ ออกแบบ และสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ ทำให้มีการประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตอย่างกว้างขวางมากมายหลากหลายการใช้งาน การใช้งานในปัจจุบันมีการเรียกวัสดุคอมโพสิตหลากหลายชื่อ เช่น พลาสติกเสริมแรง (Reinforced plastics, RP) พลาสติกเสริมแรงไฟเบอร์กลาส (Fiberglass reinforced plastics, FRP) แผ่นลามิเนตเสริมแรง (Reinforced plastics laminates) หรือไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) เป็นต้น

วัสดุคอมโพสิต คือ วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อยสองชนิดที่มีสมบัติต่างกัน หรือแตกต่างกันเห็นได้ชัด (Distinct components) อยู่ด้วยกันและเสริมแรงกัน องค์ประกอบสองส่วนหลักของคอมโพสิต คือ

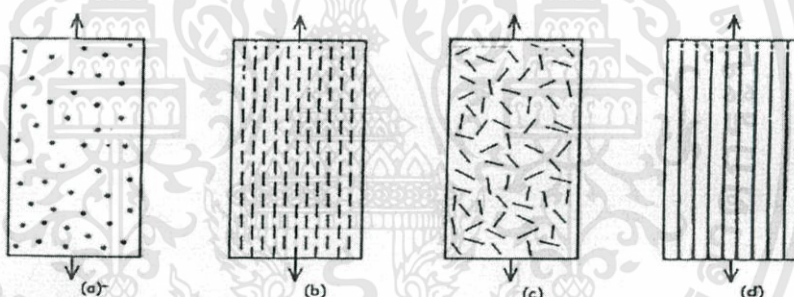
1. เมทริกซ์ (Matrix)

เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ให้อยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด โดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียหายเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น มักมีความแข็งแรงและมอดูลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมทริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ (Load transfer medium) ไปสู่ส่วนเสริมแรง เมทริกซ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่

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

2. ส่วนเสริมแรง (Reinforcement)

ส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิต วัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรงจะมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ตัวอย่างของส่วนเสริมแรงที่สำคัญ ได้แก่ เส้นใย (Fibers) ชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar® fibers) เป็นต้น เส้นใยอาจเป็นเส้นใยเดี่ยวยาว (Continuous fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous หรือ Chopped short fibers) นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยพันกันหรือทอ (Weaves) ให้มีโครงสร้างแบบต่างๆ และมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรงแบบต่างๆ โดยส่วนเสริมแรงทำหน้าที่เป็นส่วนรับแรงหลัก (Principle load-carrying members) ของวัสดุคอมโพสิต



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน [4]

- ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
- ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

2.1.1 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต (Classification of Composites)

มีการแบ่งชนิดวัสดุคอมโพสิตในหลายแบบ อาจแบ่งชนิดคอมโพสิตตามลักษณะส่วนเสริมแรง สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) คือ คอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย (Fiber) อาจเป็นเส้นใยสั้น (Short fibers) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ
2. คอมโพสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar composites) คือ คอมโพสิตที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมทริกซ์ มีลักษณะเป็นเป็นชั้นๆ คล้ายแซนด์วิช (Sandwich) หรือเป็น โครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (Honeycomb)
3. คอมโพสิตแบบก้อน (Particulate composites) คือ คอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (Beads) แผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก (มักมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน)



รูปที่ 2.2 ประเภทของคอมโพสิต [4]

นอกจากนี้ สามารถแบ่งชนิดของคอมโพสิตได้ตามลักษณะการเกิดของคอมโพสิต คือ คอมโพสิตจากธรรมชาติ (Natural composites) คือ วัสดุคอมโพสิตที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ไม้ (Wood) ฟัน (Teeth) และกระดูก (Bone) ไม้เป็นคอมโพสิตของเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนเสริมแรง โดยมีสารจำพวกลิกนิน (Lignin) เป็นเมทริกซ์ยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน ส่วนกระดูกและฟันเป็นคอมโพสิตของผลึกแข็งอนินทรีย์ เช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) อยู่ในเมทริกซ์ของสารอินทรีย์คอลลาเจน (Collagen) ที่เหนียว เป็นต้น

1. คอมโพสิตจากการสังเคราะห์ (Synthetic composites) คือ วัสดุคอมโพสิตที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พลาสติกเสริมแรง วัสดุไฟเบอร์กลาส เป็นต้น

สมบัติของเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้เสริมแรงควรมีลักษณะดังนี้

- เส้นใยควรมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเสริมแรง
- เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
- ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก
- เส้นใยควรจะเสถียรและรับความแข็งแรงขณะจัดเก็บและขึ้นรูปได้
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นผิวของเส้นใยควรมีลักษณะเหมือนกัน

สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นอยู่กับ

- การยึดเกาะระหว่างคอมโพสิตและสารเสริมแรง
- สมบัติของเมทริกซ์และสารเสริมแรง
- ปริมาณสารเสริมแรง
- ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรง
- กระบวนการผลิต
- การจัดเรียงตัว และการกระจายตัวของสารเสริมแรง
- ตำหนิ (Flaws) หรือช่องว่าง (Voids) ภายในวัสดุคอมโพสิต

2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต

ข้อดีของคอมโพสิต

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของคอมโพสิต

- ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือในการขึ้นรูปคอมโพสิต
- มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่กัน หรือมีสมบัติแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรงเป็นสาเหตุให้คอมโพสิตไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัว (Transverse direction)
- การต่อ (Attaching) หรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่นทำได้ยาก
- การตรวจวิเคราะห์สมบัติคอมโพสิตทำได้ยาก
- การทำลายและนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle) ทำได้ยาก

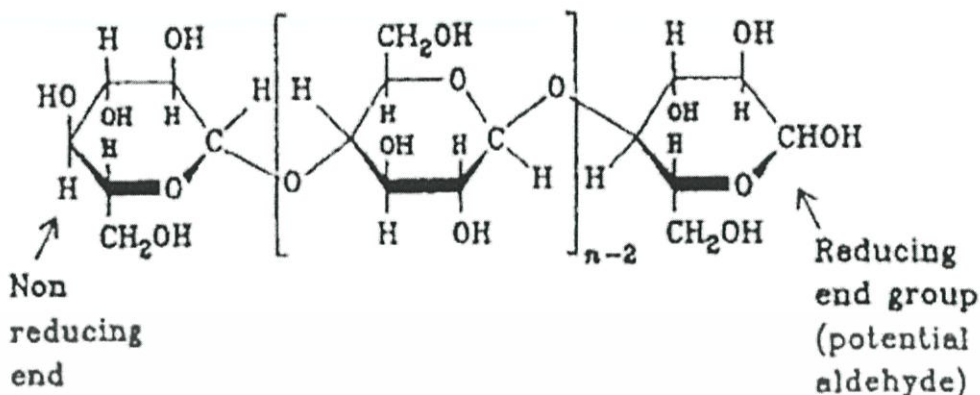
2.2 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) [3]

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญหาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ เส้นใยธรรมชาติจึงสามารถใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติมชนิดเสริมแรงและไม่เสริมแรง ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้

โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่องค์ประกอบที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

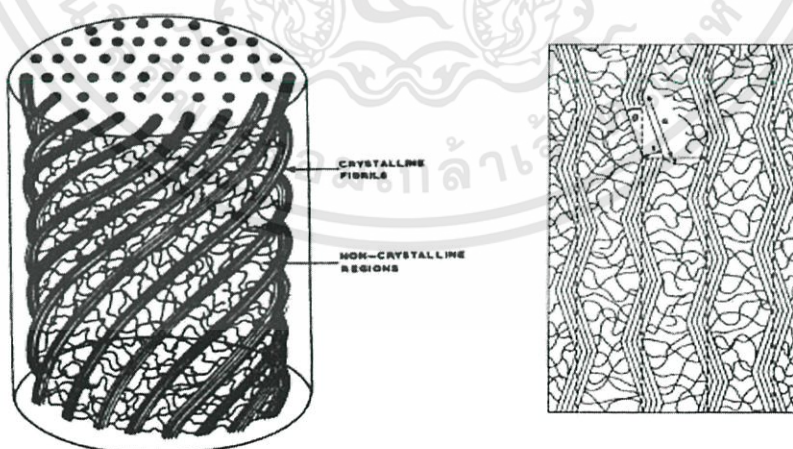
2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose) [4-6]

เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบรวมกับลิกนินเพนโทแซนกันแทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสจะมีหน่วยโมเลกุลยาวและแข็ง โดยเซลลูโลสมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สูตร โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [8]

ในแต่ละหน่วยซ้ำ (Repeating unit) เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมากและโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวสูงจึงเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และเซลลูโลสมีความสามารถในการละลายต่ำแต่สามารถละลายได้ในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก เป็นต้น เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุล โดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด การจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานในโครงสร้างของเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลส [8]

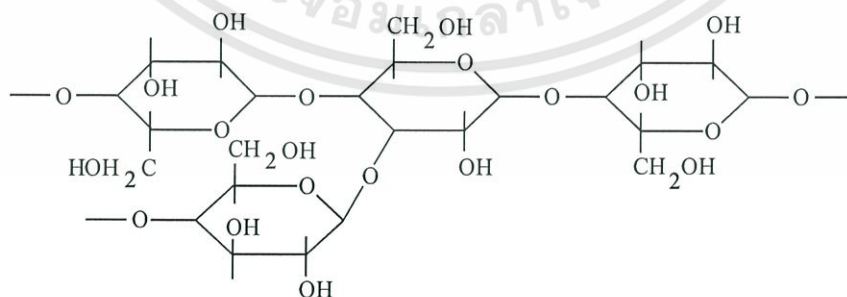
2.2.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

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

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses)

โครงสร้างเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์คล้ายกับเซลลูโลส แต่อย่างไรก็ตาม เฮมิเซลลูโลสยังมีข้อแตกต่างจากเซลลูโลส 3 ประการด้วยกัน คือ ประการที่หนึ่ง เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนสไซโลส รวมทั้งกรดกลูโคนิกและกาแลกทูโรนิก ในขณะที่เซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสชนิดเดียวเป็นส่วนใหญ่ ประการที่สอง สายโซ่พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสายโซ่กิ่ง ในขณะที่สายโซ่พอลิเมอร์ของเซลลูโลสจะมีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง และประการที่สาม ระดับการเกิดพอลิแซคคาไรด์จากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Degree of polymerization) ของเซลลูโลสจะสูงกว่าเฮมิเซลลูโลส

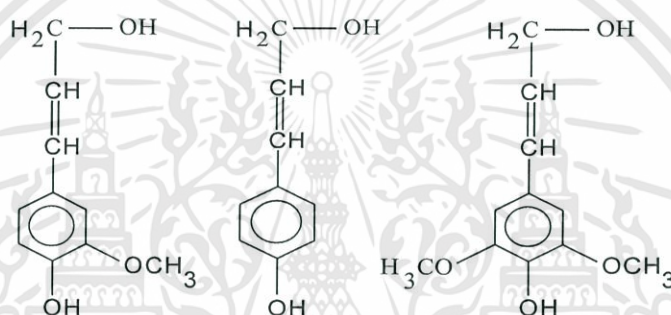
เฮมิเซลลูโลสมีสูตรทางเคมี คือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ โดย n คือ จำนวนหน่วยซ้ำของเฮมิเซลลูโลส โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [8]

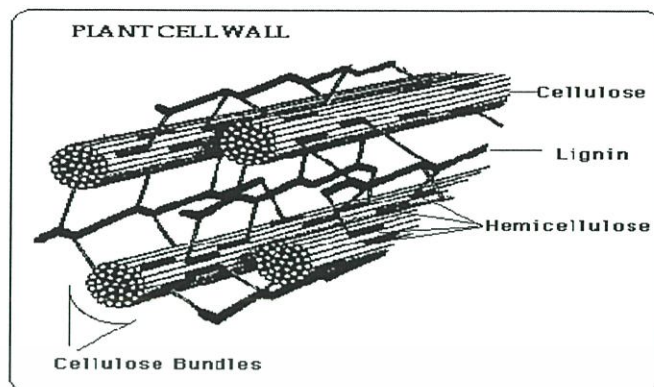
2.2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส โครงสร้างของลิกนินประกอบด้วยสารอะลิฟาติก (Aliphatic) และอะโรมาติก (Aromatic) อยู่รวมกัน สารอะโรมาติกในโครงสร้างของลิกนิน จะทำให้ลิกนินมีเสถียรภาพสูง ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ลิกนินยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้พืชที่มีปริมาณลิกนินอยู่มากมีความแข็งแรง ทนทานต่อดินฟ้าอากาศสูงมากด้วย เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างหน่วยที่ซ้ำกันในโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 หน่วยที่ซ้ำกันในโครงสร้างของลิกนิน [8]

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงสูงและในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินมากเช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้จะเป็นไปตามดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ [8]

2.3 ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and Fibers) [7]

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับทำอาหารให้ความร้อนและผลิตไอน้ำ ซึ่งอาจใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ด้วย นอกจากนี้ยังนำไม้มาใช้เป็นเฟอร์นิเจอร์ เครื่องตกแต่งได้อีกมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก่อให้เกิดเศษไม้ (Wood flake) หรือขี้เลื่อย (Sawdust) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยไม้ (Wood fibers)

2.3.1 ชนิดของไม้

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

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

2.4 หญ้าแฝก (Vetiver grass) [8]



รูปที่ 2.8 หญ้าแฝกลุ่ม-หญ้าแฝกดอน

หญ้าแฝกจัดเป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติกระจายกระจายทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ ในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ทั่วไปจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอนสามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด หญ้าแฝกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveriazizanioides* เป็นพืชในตระกูลหญ้า ขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดยการแตกกออย่างรวดเร็ว เส้นผ่านศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 75 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 8 มิลลิเมตร กอแน่นแข็ง หากนำมาปลูกติดต่อกันเป็นแนวยาวขวางแนวลาดเทของพื้นที่ กอซึ่งอยู่เหนือดินจะแตกกอติดต่อกันเหมือนรั้วต้นไม้ สามารถรองเศษพืชและตะกอนดิน ซึ่งถูกน้ำชะล้างพัดพามาตกทับดินติดอยู่กับกอหญ้าเกิดเป็นคันดินธรรมชาติได้ หญ้าแฝกเป็นหญ้าที่มีระบบรากลึกเจริญเติบโตในแนวตั้งมากกว่าออกทางด้านข้างและมีจำนวนรากมากจึงเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี รากจะประสานติดต่อกันหนาแน่นเสมือนม่านหรือกำแพงใต้ดิน สามารถกักเก็บน้ำและความชื้น ระบบรากแผ่ขยายกว้างเพียง 50 เซนติเมตร โดยรอบกอเท่านั้น ไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียง จัดเป็นมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้ดินมีความชื้นและรักษา หน้าดิน เพื่อใช้สำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งการใช้หญ้าแฝกในการอนุรักษ์ดินและน้ำดังกล่าวเป็นวิธีการที่ง่ายในการปฏิบัติ

2.4.1 พันธุ์หญ้าแฝก

ได้มีการศึกษาหญ้าสกุล *Vetiveria* ในประเทศไทยอย่างเป็นระบบอนุกรมวิธาน ผลการศึกษาปรากฏว่าหญ้าแฝกที่พบในประเทศไทยจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ หญ้าแฝกหอมหรือหญ้าแฝกลุ่ม (*Vetiveriazizanioides Nash*) และแฝกดอน (*Vetiverianemoralis A. Camus*) ในธรรมชาติพบว่า หญ้าแฝกทั้งสองชนิดมีการกระจายทั่วไป ขึ้นได้ดีในสภาพพื้นที่ทั้งที่ลุ่มและที่ดอน ในดินสภาพต่างๆ จากความสูงใกล้ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับประมาณ 800 เมตร

2.4.1.1 หญ้าแฝกหอมหรือแฝกลุ่ม (*Vetiveriazizanioides Nash*)

หญ้าแฝกหอมเป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีและค่อนข้างเร็ว หญ้าแฝกหอมมีใบยาว 40-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร มีหลังใบโค้ง ใบแบนมีสีเขียวเข้ม เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบ (Wax) มาก ทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลังใบ และเมื่อนำไปส่องดูกับแดดเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ (Septum) ค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะพื้นใบบริเวณส่วนโคนและกลางใบ เส้นกลาง (Midrib) ฝังอยู่ในตัวแผ่นใบ ไม่โตหรือเด่นชัดเจน

2.4.1.2 หญ้าแฝกดอน (*Vetiverianemoralis A. Camus*)

หญ้าแฝกดอนหรือแฝกพื้นบ้านมีการกระจายพันธุ์อยู่ในวงแคบๆ ตามธรรมชาติเฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ ประเทศไทย ลาว เขมร เวียดนาม และมาเลเซียเท่านั้น หญ้าแฝกดอนมีใบยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร ใบสีเขียวซีด หลังใบหน้าพบเป็นสันสามเหลี่ยม เนื้อใบหยาบ มีไขเคลือบน้อยทำให้ดูร่วนไม่เหลือมัน ท้องใบสีเดียวกับด้านหลังใบ แต่มีสีซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ เส้นกลางใบสังเกตเห็นได้ชัดเจนมีลักษณะแข็งเป็นแกนนูนทางด้านหลัง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะที่แตกต่างของหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน

หญ้าแฝกหอม	หญ้าแฝกดอน
<p>ลักษณะกอ</p> <p>-เป็นพุ่มใบตั้งตรงขึ้นสูง</p> <p>-สูงประมาณ 150-180 เซนติเมตร</p> <p>-มีการแตกตะเกียงและแตกแขนงข้างลำต้นได้</p>	<p>ลักษณะกอ</p> <p>-เป็นพุ่มใบยาวปลายแผ่โค้งลงคล้ายกอดตะไคร้</p> <p>-ไม่ตั้งมากเหมือนหญ้าแฝกหอม</p> <p>-สูงประมาณ 100-150 เซนติเมตร</p> <p>-ไม่มีการแตกตะเกียงและแขนงลำต้น</p>
<p>ใบ</p> <p>-ยาว 45-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร</p> <p>-ใบสีเขียวเข้ม หลังใบโค้ง ท้องใบออกสีขาวมีรอยกั้นขวางในเนื้อใบ ส่องกับแดดเห็นชัดเจน</p> <p>-เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบมากทำให้ดูนุ่มมัน</p>	<p>ใบ</p> <p>-ยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร</p> <p>-ใบสีเขียวซีด หลังใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม</p> <p>ท้องใบสีเขียวกับหลังใบแต่ซีดกว่าแผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ</p> <p>-เนื้อใบหยาบ มีไขเคลือบน้อย ทำให้ดูกร้านไม่เคลือบมัน</p>
<p>ช่อดอกและดอก</p> <p>-สูง 150-200 เซนติเมตร</p> <p>-ส่วนใหญ่มีสีม่วง</p>	<p>ช่อดอกและดอก</p> <p>-สูง 100-150 เซนติเมตร</p> <p>-มีได้หลายสี ตั้งแต่สีขาว กริม ถึงม่วง</p>
<p>ราก</p> <p>-มีความหอม เนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหย</p> <p>-สามารถหยั่งลึกได้ 100-300 เซนติเมตร</p>	<p>ราก</p> <p>-ไม่มีความหอม</p> <p>-สามารถหยั่งลึกได้ 80-100 เซนติเมตร</p>

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของใบหญ้าแฝก [9]

องค์ประกอบใบหญ้าแฝก	ปริมาณ (%)
Hemicellulose	72.64
Lignin	17.03
Pentosan	28.26
ความสามารถในการละลายน้ำร้อน	10.56
ความสามารถในการละลายน้ำเย็น	7.39
ความสามารถในการละลาย 1% NaOH	39.57
ความสามารถในการละลาย Alcohol-Benzene	9.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก

ประโยชน์จากการใช้หญ้าแฝกซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีมากในประเทศไทยให้มีคุณค่าทางด้านเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น อาจจะมีอีกหลากหลายด้านถ้าได้มีการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งานด้านต่างๆ โดยจุดประสงค์หลักในการปลูกหญ้าแฝกก็เพื่อใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ แต่ส่วนอื่นของหญ้าแฝก เช่น ใบ ลำต้น และรากของหญ้าแฝกยังสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกดังนี้

2.4.2.1 การใช้ประโยชน์จากใบหญ้าแฝกสำหรับงานศิลปหัตถกรรม

หญ้าแฝกที่สามารถนำกลับมาใช้ในงานหัตถกรรม ได้แก่ กลุ่มหญ้าแฝกหอม ซึ่งมีใบมันและยาวเมื่อโดนน้ำจะนิ่ม

งานหัตถกรรมที่ใช้หญ้าแฝกจะเป็นงานประกอบเครื่องจักรสาน เช่น

- ทำเป็นตะกร้าและภาชนะ ได้แก่ กระจาด กระด้ง และภาชนะรองต่างๆ
- ทำเป็นเครื่องตกแต่งบ้าน ได้แก่ นาฬิกาแขวนกรอบรูป โป๊ะไฟ ของตั้งโชว์ ดอกไม้
- ทำเป็นเครื่องประดับ ได้แก่ กระเป๋ากว้าง หมวก เข็มขัด เข็มกลัดติดเสื้อ
- ทำเป็นของใช้สำนักงาน ได้แก่ แฟ้มเอกสาร ปกไดอารี่



รูปที่ 2.9 ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก

2.4.2.2 การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุเพาะเห็ด

ใบของหญ้าแฝกมีองค์ประกอบทางเคมีที่เชื้อราบางชนิดสามารถเจริญเติบโตในกระบวนการของการหมักได้ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับเพาะเห็ดได้ เห็ดที่ขึ้นได้ดี ได้แก่ เห็ดนางฟ้า เห็ดเป๋าฮื้อ และเห็ดหอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคา

คนไทยใช้ส่วนของต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคาเช่นเดียวกับการใช้ใบจากก่อนที่ จะเปลี่ยนมาใช้ใบหญ้าคาซึ่งหาซื้อได้ง่าย แต่หญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคาที่มีคุณสมบัติดีกว่าการใช้ หญ้าคามาก เพราะส่วนลำต้นและใบของหญ้าแฝกมีไขเคลือบ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวและมักจะไม่งุก แผลงทำลาย

2.5 พอลิเอทิลีน (Polyethylene) [10]

พอลิเอทิลีนจัดเป็นพอลิโอเลฟินชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากเอทิลีน อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated aliphatic hydrocarbon) สูตรโครงสร้างของ พอลิเอทิลีน เป็นดังนี้



พอลิเอทิลีนผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกในปี ค.ศ. 1939 เป็นพอลิเอทิลีนที่มีกิ่งก้านสาขา ชนิดความหนาแน่นต่ำ เรียกว่า พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) พอลิเอทิลีนถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1933 โดยเฟาเซตต์และกิบสัน (Fawcett and Gibson) ที่บริษัท ไอซีไอ (Imperial Chemical Industries Ltd. : ICI) ประเทศอังกฤษ โดยการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่มีความดันสูงๆ และได้ค้นพบพอลิเอทิลีนโดยบังเอิญจากปฏิกิริยา ของเอทิลีนกับเบนซาลดีไฮด์ภายใต้บรรยากาศหลายพันบรรยากาศ ปัจจุบันมีการผลิตพอลิเอทิลีน ให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีทั้ง High Density Polyethylene (HDPE) Low Density Polyethylene (LDPE) และ Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) พอลิเอทิลีนสามารถแบ่งตาม ความหนาแน่นตาม ASTM ได้แบ่งไว้มีดังนี้

1. ชนิดความหนาแน่นต่ำ เรียกว่า แอล ดี พี อี (LDPE : Low Density Polyethylene) มีความหนาแน่นช่วง $0.910-0.925 \text{ g/cm}^3$
2. ชนิดความหนาแน่นปานกลาง เรียกว่า เอ็ม ดี พี อี (MDPE : Medium Density Polyethylene) มีความหนาแน่นช่วง $0.926-0.940 \text{ g/cm}^3$
3. ชนิดความหนาแน่นสูง เรียกว่า เอช ดี พี อี (HDPE : High Density Polyethylene) มีความหนาแน่นช่วง $0.941-0.959 \text{ g/cm}^3$

พอลิเอทิลีนจัดเป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และมีอุณหภูมิ เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature : T_g) ประมาณ -130 ถึง 60 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนจึงมีลักษณะทั้งยืดหยุ่นและแข็งที่สภาวะปกติ สำหรับอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting

temperature : T_m) ของพอลิเอทิลีนมีค่าประมาณ 108 ถึง 133 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนยังมีสมบัติที่สำคัญๆ ดังนี้

1. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี เหมาะสำหรับหุ้มสายไฟ
2. การละลาย โดยปกติจะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะเริ่มละลายได้
3. พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมากแต่จะขุ่นเมื่อมีความหนาแน่นสูง
4. ทนทานต่อกรดและเบส
5. ความเหนียวและทนทานต่อแรงดึงปานกลาง
6. ราคาถูก

2.5.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE : Low Density Polyethylene)

2.5.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ LDPE

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เป็นเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดแรกที้นำมาใช้ในทางการค้าเริ่มผลิตครั้งแรกในประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1930 (2473) โดยบริษัท Imperial Chemical Industries (ICI) ขบวนการผลิตโดยทั่วไปของ LDPE มีดังนี้คือ

- ความดันที่ใช้ในขบวนการผลิตจะสูงมาก 1,000-3,000 บรรยากาศ (15,000-45,000 psi)
- อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) 200-400 องศาเซลเซียส
- พอลิเอทิลีนที่ได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.019-0.925 g/cm³ การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง (broad molecular weight distribution) และมีกิ่งก้านสาขาภายในโมเลกุลมาก (highly branched chain molecule)

2.5.1.2 สมบัติโดยทั่วไปของ LDPE

- มีการไหลตัวดี
- ช่วงอุณหภูมิการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจาก LDPE แคบ
- มีค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact strength) ดีพอสมควร
- เป็นตัวกั้นความชื้นได้ดี (good moisture barrier)
- ฟิล์มที่แปรรูปจาก LDPE จะมีความเป็นเงามันดี (high gloss) และความเป็นฝ้าต่ำ (low haze)
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ค่อนข้างดี (good dielectric property)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.3 การใช้งาน LDPE ในปัจจุบัน

LDPE สามารถนำไปใช้แปรสภาพเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น

- ฟิล์มและงานเคลือบหลายๆ ชั้น (lamination) เช่น ฟิล์มหดหุ้ม (shrink wrap)

หรือถุงที่ต้องการความใสมากๆ

- งานฉีดแบบ (injection moulding)
- งานเป่าแบบ (blow moulding)
- อื่นๆ เช่น ฟิล์มหลายชั้น (coextrusion) งานรีดท่อ (pipe extrusion) งานเคลือบ

สายไฟฟ้าและสายเคเบิล (wire and cable coating)

2.6 สารตัวเติม

สารตัวเติม (Filler) ได้แก่ สารจำพวกอนุภาคละเอียดหรือจำพวกเส้นใยที่ใช้เติมใน พอลิเมอร์เพื่อเพิ่มปริมาณ ลดต้นทุนการผลิต และอาจทำให้สมบัติทางกายภาพดีขึ้น เหมาะสำหรับการใช้งาน สารตัวเติมที่ใช้กันทั่วไปเป็นสารที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตลง สารตัวเติมมีทั้งสารที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

2.6.1 พฤติกรรมของสารตัวเติมและสารเสริมแรง

พฤติกรรมของสารตัวเติมแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. สารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing fillers) เมื่อผสมสารตัวเติมประเภทนี้จะทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดพันธะทางเคมีหรือการยึดเกาะอื่นๆ กับวัสดุที่จะทำการเสริมแรง

สมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่ใส่สารตัวเติมชนิดเสริมแรงเทียบกับที่ไม่ใส่สารตัวเติม

- การหดตัวลดลง
- ลดต้นทุนการผลิต
- ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
- ลดอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและกายภาพ
- ปรับปรุงสมบัติการคืบ (Creep behavior) และ Apparent modulus
- ลด Viscoelastic yield เมื่อให้แรง

- โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความแข็งแรงเฉือน (Shear strength) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) และความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) เพิ่มขึ้น

2. สารตัวเติมชนิดเฉื่อย (Inert or Non-reinforcing fillers) ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น การใส่สารตัวเติมชนิดเฉื่อยไม่สามารถทำการเสริมแรงได้เท่ากันทุกส่วน โดยเฉพาะบริเวณระหว่างอนุภาคสารตัวเติมกับผิวพอลิเมอร์จะมีโครงสร้างต่างจากพอลิเมอร์เมทริกซ์ เนื่องจากบางส่วนของ

โซโม่เลกุลพอลิเมอร์เกิดการยึดเกาะกับสารตัวเติม ทำให้โซโม่เลกุลส่วนนั้นเคลื่อนไหวยาก และยังมีผลต่อการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์เมทริกซ์ พอลิเมอร์ที่มีสารตัวเติมชนิดเฉื่อยจะมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการจำกัดการเคลื่อนไหวบริเวณผิวสัมผัสนั่นเอง

สมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่ใส่สารตัวเติมชนิดเฉื่อยเทียบกับที่ไม่ใส่สารตัวเติม

- การหดตัวลดลง
- ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
- ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น
- ลดอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและกายภาพ
- ลดต้นทุนการผลิต
- เพิ่มอุณหภูมิ Heat deflection
- มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) และความแข็งแรง โค้งงอ (Flexural strength) เพิ่มขึ้น

การใช้สารตัวเติมเป็นการลดต้นทุนในการผลิต แต่ในขณะเดียวกันต้องไม่ทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดลงจนเสียคุณภาพ สารเคมีที่ใช้เป็นสารตัวเติมอาจมีความสามารถเป็นสารเสริมแรงหรือกึ่งเสริมแรงก็ได้ และสารตัวเติมชนิดเดียวกันที่มีคุณสมบัติทางกายภาพต่างกันสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ได้ต่างกัน จึงต้องเลือกใช้สารตัวเติมที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติที่ต้องการ

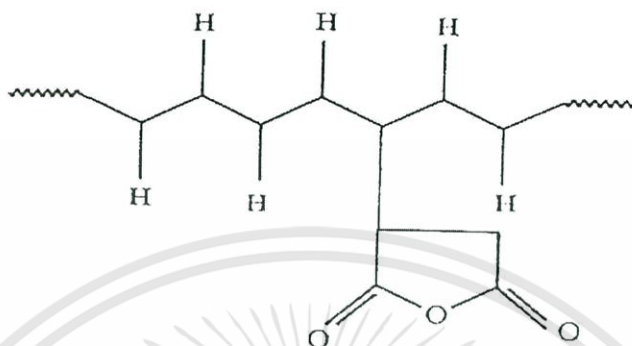
2.7 พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

(Polyethylene grafted maleic anhydride, MAPE)

พอลิเอทิลีนเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว ส่งผลให้เมื่อทำการผสมรวมกับวัสดุอื่นที่มีขั้วมักมีสมบัติด้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวไม่ดี แต่สามารถที่จะทำการแก้ไขได้โดยการเติมสารอีกชนิดลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติการเข้ากันได้ [11]

พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้ว ซึ่งจะช่วยให้สมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเป็นขั้วของพอลิเอทิลีน โดยทำให้ความเป็นบวก (Hydrophilic) เพิ่มขึ้น และความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น พบว่าแอนไฮไดรด์เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อน และเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่น รวมทั้งสารตัวเติม (Fillers) ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ [12]

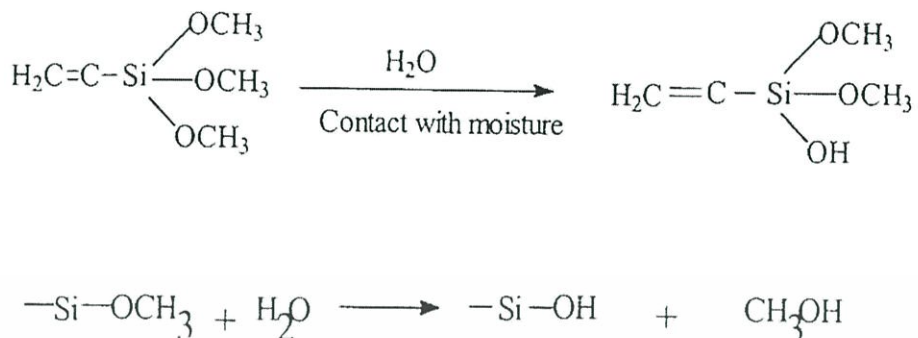
2.8 ออร์แกโนไซเลน (Organosilanes) [13]

ออร์แกโนไซเลนจัดเป็นสารคู่ควบที่นิยมใช้กันมานาน มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทั่วไปทางเคมีของ Organofunctionalsilane [14]

ประกอบด้วยหมู่เมทอกซี 3 กลุ่ม เอทอกซีหรืออะเซทอกซิลอีก 1 กลุ่ม ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ $-OH$ เพื่อเกิดเป็นพันธะ $-O-Si$ ระหว่างเส้นใยและสารคู่ควบ หมู่ Y ซึ่งเป็นสารอินทรีย์สามารถออกแบบพันธะที่เหมาะสมกับเมทริกซ์พอลิเมอร์ที่แตกต่างกันไป เช่น หมู่ไวนิล-เอมีน อีพอกซี เมอร์แคปแทน เป็นต้น หมู่เหล่านี้ทำให้เกิดพันธะโคเวเลนต์หลักจากสารคู่ควบเข้าไปยังเมทริกซ์พอลิเมอร์ประเภทสารอินทรีย์ ด้วยเหตุนี้สารเติม (Filler) สารคู่ควบ และเมทริกซ์พอลิเมอร์ทั้งหมดจึงกลายเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ขนาดใหญ่หนึ่ง โมเลกุล ตัวอย่างกลไกการทำงานของสารคู่ควบไซเลนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กลไกการทำงานของสารคู่ควบไซเลนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ [14]

การใช้สารคู่ควบออร์กาโนไซเลนกับเรซินเทอร์โมพลาสติก การจะกล่าวว่ามีพันธะโคเวเลนต์หลักเกิดขึ้นทำได้ยากจึงควรกล่าวที่เกิดจากความมีขั้วที่เหมือนกัน โดยมีพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวทางเคมีชนิดทุติยภูมิ ระหว่างสารคู่ควบและเมทริกซ์พอลิเมอร์ เพื่ออธิบายการกระทำที่สำเร็จได้ แม้แต่ในเรซินเทอร์โมเซต สารคู่ควบที่ใช้ได้อย่างดีก็ไม่ปรากฏว่าเกิดพันธะโคเวเลนต์ปฐมภูมิ จึงกล่าวว่าการเกิดจากแรงดึงดูดทางเคมีชนิดทุติยภูมิ

2.9 เม็ดแก้วและเม็ดเซรามิก (Glass and Ceramic Spheres) [15]

เม็ดแก้วและเม็ดเซรามิกถูกใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกทั้งเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะเป็นเม็ดของแข็งและกลวง มีความหนาแน่นหลากหลาย ตั้งแต่ 0.1-2.5 g/cm³ มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างปานกลางจึงสามารถใช้เป็นสารตัวเติมที่ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลได้ ช่วยเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิตและเพิ่มเสถียรภาพของรูปร่าง นอกจากนี้ยังช่วยลดความหนาแน่นของคอมโพสิต

กระบวนการผลิตและสมบัติ

เม็ดแก้วผลิตมาจากการเผาแก้วหลังจากนั้นทำการหล่อเย็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ หรือได้มาจากการหลอมแก้วแล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว เพื่อทำให้เกิดการแตกออกเป็นหยดเล็กๆ เม็ดแก้วส่วนใหญ่ที่ผลิตได้มาจากแก้วประเภทเอ (A-Glass) แม้ว่าแก้วประเภทอี (E-Glass) จะหาได้ง่ายกว่าก็ตามแต่การนำมาใช้งานกับพอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะนิยมแก้วประเภทเอมากกว่า ยกเว้นพอลิเมอร์ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับโลหะอัลคาไลน์จะต้องใช้แก้วประเภทอี เช่น พอลิคาร์บอเนต อะซิทัลและพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน การนำมาใช้งานโดยทั่วไปจะเลือกใช้ขนาดอนุภาค 35-200 μm และที่สำคัญจะต้องมีการเคลือบเม็ดแก้วด้วยสารคู่ควบที่เหมาะสมหรือเคลือบด้วยโลหะเพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

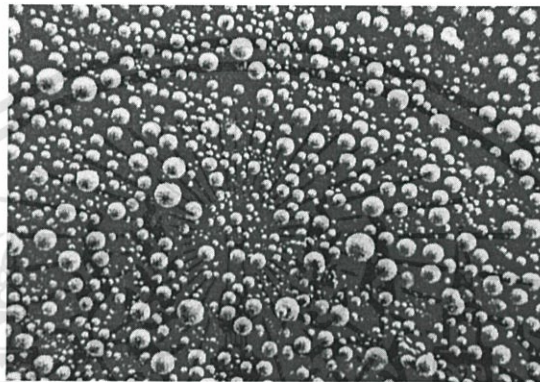
เม็ดแก้วกลวงผลิตมาจากการใช้ความร้อนในการบดแก้ว โดยมีกาใส่สารให้ฟองเข้าไปด้วย ในระหว่างกระบวนการผลิตแก้วจะอยู่ในสถานะของเหลวที่มีแรงตึงผิวสูง ทำให้เกิดเป็นอนุภาคที่มีรูปร่างกลม ก๊าซในกระบวนการผลิตเกิดจากการขยายตัวของสารให้ฟองทำให้เกิดเป็นเม็ดแก้วกลวง ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 20-200 μm ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีที่เลือกใช้ในการผลิตและการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ

ความแข็งแรงต่อการบดของเม็ดแก้วกลวงขึ้นอยู่กับความหนาของผนังเซลล์และความหนาแน่น โดยเม็ดแก้วที่มีความหนาแน่นสูงก็จะทนต่อการบดได้ดี ค่าความหนาแน่นของเม็ดแก้วที่เหมาะสมจะนำมาใช้กับพอลิเมอร์มีค่าอยู่ในช่วง 0.15-0.8 g/cm^3 โดยที่ค่าความหนาแน่นดังกล่าวจะมีค่าความแข็งแรงต่อการบด 1-150 MPa เม็ดแก้วที่มีค่าความหนาแน่นต่ำจะทนแรงเฉือนได้น้อยและแตกได้ง่ายในระหว่างกระบวนการผลิต ดังนั้นในการผลิตจึงต้องใช้ความดันต่ำหรือใช้กระบวนการผลิตที่เป็นของเหลว เช่น ใช้กระบวนการหล่อแบบหรือการเสริมแรงในเทอร์โมเซตแบบแม่พิมพ์เปิด จึงมีการพัฒนาเม็ดแก้วกลวงให้ค่าความแข็งแรงสูง เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่ใช้แรงเฉือนสูงหรือประยุกต์ใช้กับพลาสติกเทอร์โมเซตแบบแม่พิมพ์ปิดได้ และในที่สุดก็สามารถนำมาใช้กับกระบวนการอัดรีดและกระบวนการฉีดขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกได้ เม็ดแก้วกลวงที่มีความหนาแน่น 0.6 g/cm^3 มีค่าความแข็งแรงต่อการบดเพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป ค่าสมบัติเชิงกลบางประการของเม็ดแก้วและเม็ดแก้วกลวง แสดงได้ดังตารางที่ 2.7

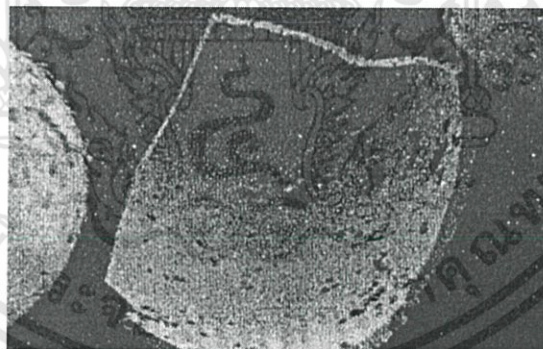
ตารางที่ 2.3 สมบัติบางประการของเม็ดแก้วและเม็ดแก้วกลวง [15]

สมบัติ	เม็ดแก้ว	เม็ดแก้วกลวง
อุณหภูมิอ่อนตัว ($^{\circ}\text{C}$)	700	700
ความหนาแน่น (g/cm^3)	2.3-2.5	0.1-1.1
ความแข็งกด (Mohs)	5.5-6	5
มอดูลัส (GPa)	60-70	200
การนำความร้อน ($\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$)	0.7	0.0084
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (K)	8.6×10^{-6}	8.8×10^{-6}
ค่าคงที่การนำไฟฟ้า (10^4 Hz)	5	1.5

เม็ดเซรามิกกลวงเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกตที่ผลิตมาจากธาตุต่างๆ หรือมีการผลิตมาจากการปรับปรุงส่วนของขี้เถ้า เม็ดเซรามิกมีความหนาแน่นสูงกว่าเม็ดแก้ว และมีราคาถูกกว่า แต่มีความแข็งแรงและรับแรงเชิงกลได้ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากมีความหนาของผนังเซลล์มากกว่าเม็ดแก้วกลวง โดยเม็ดเซรามิกมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง $0.3-0.8 \text{ g/cm}^3$ และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $30-125 \mu\text{m}$ รูปที่ 2.18 และ 2.19 แสดงขนาดและลักษณะของอนุภาคเม็ดเซรามิกที่นิยมใช้ในทางการค้า โดยมีความหนาของผนังเซลล์ประมาณ $1 \mu\text{m}$



รูปที่ 2.13 ขนาดและลักษณะการกระจายตัวของเม็ดเซรามิก โดยอนุภาคที่ใหญ่ที่สุด มีขนาด $50 \mu\text{m}$ [15]



รูปที่ 2.14 การแตกของเม็ดเซรามิก โดยเม็ดเซรามิกมีผนังเซลล์หนา $1 \mu\text{m}$ [15]

หน้าที่และสมบัติของสารตัวเติมเม็ดแก้วและเซรามิก แสดงได้ดังต่อไปนี้

- บางส่วนมีการอัดหรือจับตัวกันสูง ส่งผลต่อความหนืดเล็กน้อย สามารถใส่เป็นสารตัวเติมได้ในปริมาณมาก (มากถึง 50% โดยปริมาตร)
- มีสมบัติการไหลดีกว่าสารตัวเติมที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีการกระจายตัวของความเครียดรอบทรงกลมเท่ากันและมีเสถียรภาพทางรูปร่างที่ดี
- มีสมบัติเท่ากันทุกทิศทาง
- ช่วยลดการหดตัวและการโค้งงอของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการฉีดขึ้นรูป

ผลของสมบัติเชิงกลขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค ปริมาณที่เติม และการเคลือบผิว เนื่องจากเป็นของแข็งทรงกลม จึงมีสมบัติเชิงกลที่ดี เช่น โมดูลัส ความแข็งแรงกดอัด และความแข็งแรงดึง ซึ่งสมบัติดังกล่าวจะตรงข้ามกับสมบัติความเหนียว โดยสังเกตได้จากค่าการยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก โดยสารตัวเติมนี้สามารถใช้ได้กับพอลิโอสไตรีน โพลีเอทิลีน เทฟลอน สไตรีน-อะครีโลไนไตรล์ พอลิคาร์บอเนต พอลิไวนิลคลอไรด์ โดยใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนรถยนต์ โดยผลิตภัณฑ์สามารถต้านทานต่อการขีดข่วนและรอยถลอกได้ การประยุกต์ใช้งานกับเทอร์โมเซต สามารถใช้ได้กับพวกอีพอกไซด์ พอลิเอสเตอร์ พอลิยูรีเทน และซิลิโคน

ในระหว่างกระบวนการผลิตอาจส่งผลต่อรูปร่างของสารตัวเติมทรงกลมที่ใส่ลงไปได้ ซึ่งเป็นหน้าที่หลักในการลดความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับปริมาณที่ใส่และความหนาของผนังเซลล์ ค่าโมดูลัสจะเพิ่มขึ้นแต่ค่าความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทกจะลดลง ลดค่าคงที่การนำไฟฟ้าทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นฉนวนไฟฟ้ามากขึ้น และความกลวงของเม็ดทรงกลมทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีด้วย

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีงานวิจัยต่างๆ ที่จะพยายามประยุกต์ใช้ประโยชน์จากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยที่มีการศึกษา ได้แก่ สน (Pine wood) ปอกระเจา (Jute) ป่านศรนารายณ์ (Sisal) ป่านลินิน (Flax) ป่านรามี่ (Ramie) ปอแอบบาคา (Abaca) เส้นใยอ้อย (Bagasse) เส้นใยมะพร้าว (Coir) เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยมีดังนี้

Sonia และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ผงไม้เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยทำการศึกษาสารคู่ควบปฏิภิกิริยา (Coupling agent) ต่างชนิดกัน คือ ไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane) และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) จากการทดลองพบว่า พอลิพรอพิลีนที่ใช้ไซเลนเป็นสารเชื่อมโยงจะสามารถสร้างคอมโพสิตที่มีความแข็งแรงดึงดีกว่า มีการดูดซับน้ำน้อยกว่าและมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าพอลิพรอพิลีนที่ใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมโยง สำหรับการสลายตัวทางความร้อนของทั้งสองให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

Magnus Bengtsson, Kristiina Oksman [17] ทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณของไซเลน (Silane) ที่ใช้เป็นสารเชื่อมโยงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่เมื่อใส่ไซเลนลงไปปริมาณมากจะเกิดปัญหา

การฝึกขาดที่ขอบและผิวที่ได้จะมีลักษณะขรุขระ ไม่เรียบ ในการทดสอบการโค้งงอ คอมโพลีเมอร์ที่ใส่ไซเลนจะมีการโค้งงอได้ดีกว่าคอมโพลีเมอร์ที่ไม่ใส่ไซเลน ซึ่งผสมไซเลนได้สูงสุด 2-3% w/w ถ้าสูงกว่านี้การโค้งงอของคอมโพลีเมอร์จะลดลง ค่ามอดูลัสโค้งงอของคอมโพลีเมอร์ที่ใส่ไซเลนจะมีค่าต่ำกว่าคอมโพลีเมอร์ที่ไม่ใส่ไซเลน ค่าความแข็งแรงกระแทกของคอมโพลีเมอร์ที่ใส่ไซเลนจะมีค่าสูงกว่าคอมโพลีเมอร์ที่ไม่ใส่ไซเลน

J. George, K. Joseph, S. Thomas, and S.S. Bhagavan [18] ศึกษาสมบัติเชิงกลของคอมโพลีเมอร์ระหว่างเส้นใยสับปะรดกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสดึงเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมปริมาณเส้นใยลงในคอมโพลีเมอร์มากขึ้น แต่จะมีค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษาความยาวของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล โดยเมื่อเส้นใยมีขนาดที่ยาวขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสดึงเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง

B.V. Kokta [19] ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงคอมโพลีเมอร์ระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) กับเส้นใยสน (Aspen) ด้วยวิธีการปรับปรุงทางเคมี พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงคอมโพลีเมอร์ด้วยสารเคมี เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือกรดชนิดต่างๆ จะทำให้สมบัติทางกายภาพดีขึ้นเมื่อเทียบกับคอมโพลีเมอร์ที่ไม่ได้รับการปรับปรุง

Kokta และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่ใส่ไม้สน ซึ่งมีการปรับสภาพผิวในวิธีต่างๆ เพื่อปรับปรุงการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์กับไม้สน โดยใช้ Polymethylene, Polyphenylisocyanate (PMPPIC), Silane coupling agent (Silane A-172, Silane A-174, Silane-A1100) และอีโพลีนแวกซ์ (Epolene wax) เป็นสารปรับสภาพผิวก่อนใส่ในพอลิเมอร์ โดยวิธีการผสมในเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปโดยวิธีการกดอัด พบว่าการใช้อีโพลีนแวกซ์เป็นสารช่วยกระจายเพียงอย่างเดียว สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะเพิ่มค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัส แต่ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์จะลดลง ในขณะที่ใช้ PMPPIC กับอีโพลีนแวกซ์เป็นสารปรับสภาพผิวนั้น ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์มีค่าสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงสุด คือ 20 mesh

Joseph และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาสมบัติด้านความทนต่อแรงดึงของคอมโพลีเมอร์ที่เกิดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึง ได้แก่ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ โดยที่การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยในวิธีการผสมแบบสารละลาย (Solution Mixing) จะทำให้เกิดการเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt Mixing) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป จะมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของคอมโพลีเมอร์เพิ่มขึ้น แต่ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง และเมื่อนำคอมโพลีเมอร์มาฉีด

ขึ้นรูปใหม่จะได้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ฉีด ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปจะทำให้เกิดการสลายตัวที่พื้นผิวของเส้นใย จึงสามารถยึดติดกับพอลิเอทิลีนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้พบว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรงจะให้ค่าความแข็งแรงดึงดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใย ในแนวทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 mm จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด

Jayamol และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและความเป็นวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic) ของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรด โดยสามารถเติมเส้นใยได้สูงถึงร้อยละ 30 คอมโพสิตที่เตรียมจาก 2 วิธี คือ การผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) และการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) จากนั้น นำคอมโพสิตที่เตรียมได้ในแต่ละวิธีมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกลและความเป็นวิสโคอิลาสติก พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยสับปะรดในคอมโพสิต จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่ใส่เข้าไป โดยคอมโพสิตที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีการผสมแบบสารละลายจะให้ค่าสูงกว่า ส่วนค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย และความยาวของเส้นใยมีผลต่อคอมโพสิต คือ เส้นใยที่มีความยาวประมาณ 10 mm จะให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสที่สูงกว่าเส้นใยที่มีขนาด 2 และ 6 mm นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในคอมโพสิตมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัส โดยคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรงจะให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง

Rodeney และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้น (Multi Layer) และเส้นใยไม้ (Wood Fiber) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ และทำการผสมในเครื่องอัดรีดแบบสองลูกกลิ้ง ใช้ปริมาณของเส้นใยไม้ 0, 30, 40, และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนนำกลับมาใช้ใหม่ จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่เตรียมจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ แต่ถ้าเติมเส้นใยไม้มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงและค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากสารเติมแต่งที่มีอยู่ในขวดพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นจะไปช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างส่วนที่เป็นเมทริกซ์กับเส้นใยไม้มากขึ้น

A.Nagaty และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) โดยทำการต่อกิ่ง Methyl Methacrylate (MMA) บนเส้นใยชานอ้อยและใช้ Sodium bisulphate-soda lime เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่าสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของเส้นใยชานอ้อย

Yam และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จากขบวนการและเส้นใยไม้สน โดยศึกษาเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุง นำมาปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต (Acetylate) ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก แต่ถ้าเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่าความแข็งแรงจะลดลง และเส้นใยไม้ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลตจะให้ค่าที่ดีกว่าเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยความร้อน สำหรับค่ามอดุลัส ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก และค่าการยึดติด จะไม่ขึ้นกับการปรับปรุงเส้นใย ค่ามอดุลัสจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยและส่งผลให้ค่าการดึงยึดลดลง ส่วนรูปแบบและอุณหภูมิการผสมจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จะทำให้ลิกนินเริ่มเสื่อมสภาพและถ้าใช้เวลานาน คอมโพสิตที่ได้จะมีสีคล้ำ เนื่องจากการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน

Raj และคณะ [26] ได้ศึกษาการใช้เส้นใยไม้เป็นตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene; MDPE) โดยใช้เส้นใย 3 ชนิด คือ เยื่อเชิงกล (Mechanical pulp) ผงไม้ (Wood flour) และเยื่อเซลลูโลส (Cellulose pulp) และได้มีการปรับปรุงเส้นใยก่อนด้วยสารพวกไซเลน (Silane) และพอลิไอโซไซยานาต (Polyisocyanate) เพื่อเป็นการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ พบว่าค่าความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีการปรับปรุงเส้นใยก่อน แต่จะไม่มีผลต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ค่ามอดุลัสจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการดึงยึดและค่าพลังงานการแตกหักจะลดลง สำหรับวิธีผสม ถ้าผสมด้วยเครื่องอัดรีดจะมีค่าความทนต่อแรงดึงและมอดุลัสสูงกว่าผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง พบว่า MDPE ที่เติมด้วยเยื่อเชิงกลจะมีสมบัติที่ดีกว่าการเติมเยื่อเซลลูโลสและผงไม้

Woodhams และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาพอลิโอฟีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) ประมาณ 100 โดยใช้กรดสเตียริก (Stearic acid) และอีโพลีน (Epolene) เป็นสารช่วยให้เส้นใยกระจายตัวใน HDPE และ PP แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยความแข็งแรงต่อน้ำหนักแล้ว คอมโพสิตจากเยื่อไม้จะมีความแข็งแรงเท่ากับหรือมากกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น เหล็กกล้า อะลูมิเนียม และคอมโพสิตจากเส้นใยแก้ว ในขณะที่ราคาถูกกว่า

อไพพรรณ รัตนพันธ์ [28] ได้ศึกษาสมบัติทางกลและสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักรวม ทำการผสมด้วยเครื่องหลอมอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีการฉีดด้วยเครื่องฉีดพลาสติก จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกล จากการศึกษาพบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงกระแทกและค่าความแข็งของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์มีแนวโน้ม

สูงขึ้นเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และพบว่าสมบัติทางกลของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไซเลน (Silane Coupling Agent) จะมีค่าสูงกว่าเมื่อผสมด้วยผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว การศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาพบว่าพลาสติก PLA กับผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสามารถผสมกันได้ดีกว่าพลาสติก PLA กับผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

ธารทิพย์ เชมะศิริ สุภาวดี ขาวนวล และอมรา ขวดบา [29] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิโอฟีนส์และเส้นใยหญ้าแฝก โดยใช้พอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ทั้งพลาสติกใหม่และพลาสติกที่ใช้แล้วเป็นเมทริกซ์และมีหญ้าแฝกเป็นส่วนเสริมแรง เตรียมโดยนำหญ้าแฝกผสมกับพอลิเมอร์ในเครื่องผสมความเร็วสูงและผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว จากนั้นขึ้นรูปด้วยการอัดขึ้นรูปและการฉีดขึ้นรูป โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ ศึกษาผงหญ้าแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อในพอลิเมอร์โดยเตรียมผงหญ้าแฝกด้วยวิธีเชิงกลและศึกษาเส้นใยหญ้าแฝกเป็นส่วนเสริมแรงในพอลิเมอร์ซึ่งเตรียมหญ้าแฝกด้วยวิธีความร้อนเชิงกล เมื่อเปรียบเทียบสมบัติโดยรวมแล้วพอลิโอฟีนส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกจะมีสมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีกว่าวัสดุผสมพอลิโอฟีนส์กับผงหญ้าแฝก เมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์ใหม่กับพอลิเมอร์ที่ใช้แล้ว พบว่าสมบัติโดยรวมใกล้เคียงกัน เปรียบเทียบระหว่าง PP กับ HDPE พบว่าให้สมบัติโดยรวมใกล้เคียงกัน โดย PP มีสมบัติที่ดีกว่าเล็กน้อย ด้านสัณฐานวิทยา การกระจายตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์มีความสม่ำเสมอมากกว่าผงหญ้าแฝกและการยึดติดกันของเส้นใยหญ้าแฝกและผงหญ้าแฝกกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ดี ทำให้มีช่องว่างระหว่างวัฏภาคน้อย เนื่องจากการเติมสารช่วยผสมในปริมาณ 30% โดยน้ำหนักหญ้าแฝก

เฉลิมพล อธิวิวัฒน์และสกุล บรรจงวุฒิ [30] ได้ทำการศึกษาเส้นใยเซลลูโลส ได้แก่หญ้าสาบหลวง (Typhaangustifolia) เป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน โดยผสมเส้นใยแก้วและสารไซเลน เพื่อเป็นสารเชื่อมโยง (Coupling agent) จากการทดลองพบว่า เส้นใยช่วยเพิ่มความแข็งแรงดึง และค่าความคงทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต แต่มีแนวโน้มที่จะลดค่าความทนทานต่อแรงดึงที่จุดขาด นอกจากนี้ยังทำการศึกษาปรับปรุงสมบัติและการใช้งานอื่นๆ เช่น ใช้ในการทำแผ่น MDF (Medium Density Fiber Board) และใช้เทอร์โมเซต เช่น UF, MF เป็นตัวประสาน

พิชัย จงสกุลชัยและศิริพงษ์ โรจน์วีระ [31] ทำการศึกษาขุยมะพร้าวและฟางข้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ใช้ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิพรอพิลีน (PP) มีค่ามอดุลัสสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ฟางข้าวทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้สารตัวเติมมากกว่า 40 phr จะมีปัญหาในการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิยะวัน ตั้งควรธรวานิช [32] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ (ไผ่สีสุก) กับเอปียีสที่มีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยไผ่ โดยทำการผสมเส้นใยไผ่ 0-40 phr กับเอปียีสโดยใช้เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่และขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการต่อกิ่งกับพอลิเมทิลเมทาไครเลทที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ต่อกิ่งและเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในคอมโพสิตจะพบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตจะมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

รัชดา ขวัญตน [33] ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขูดน้ำดื่มและเส้นใยอ้อย โดยเปรียบเทียบการปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตด้วยสารช่วยยึดติด 2 ชนิด คือ PE-g-AA และ PE-g-MAH จากการทดลองพบว่า การเติมขานอ้อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขูดน้ำดื่มจะทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตแข็งแรงขึ้น แต่การดึงยึดและความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง และขานอ้อยที่ใช้ไม่จำเป็นต้องผ่านการคัดขนาดก่อน เมื่อเปรียบเทียบระบบที่ใช้ PE-g-AA และระบบที่ใช้ PE-g-MAH พบว่าสมบัติของคอมโพสิตที่ได้จากทั้ง 2 ระบบ จะไม่แตกต่างกันเนื่องจากจะเกิดพันธะชนิดเดียวกัน

นวกรณ์ อนันตรนวนิชย์ นุชรี ปัญจะผลินกุลและพัชรี มณฑาทิพย์ [34] ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองตอน คือ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) กับเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีทางเชิงกล (Vetiver mechanical pulp, VMP) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride), PVC) ผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการทางเคมี (Vetiver chemical pulp, VCP) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณหญ้าแฝกและขนาดหญ้าแฝก จากการทดลองพบว่า ปริมาณการเติมผงหญ้าแฝก 30 phr และขนาด 20-50 mesh ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด แต่สมบัติเชิงกลที่ได้มีแนวโน้มไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) ส่วนสมบัติทางความร้อนและเปอร์เซ็นต์การยึด ฉ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกผสมสารช่วยผสม 3% มีการยึดติดกันดีกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ ช่องว่างระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ลดลง ในการศึกษาสมบัติของคอมโพสิต PVC/VCP พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การยึด ฉ จุดขาดมีค่าลดลง ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าคอมโพสิตที่เติมเส้นใย 30 phr และขนาด 20-50 mesh มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และค่าการดูดซึมน้ำของเส้นใยยาวจะน้อยกว่าเยื่อเส้นใยสั้น เนื่องจากเยื่อเส้นใยสั้นมีพื้นที่ผิวในการดูดซึมน้ำมากกว่า จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกมากขึ้น เส้นใยจะมีการกระจายตัวมากขึ้น เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น เป็นผลทำให้พอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่สามารถแทรกตัวระหว่างเยื่อเส้นใยไม้ได้บางส่วน และเกิดช่องว่างภายในชิ้นงานคอมโพสิต โดยที่เส้นใยขนาด 20-50 mesh เยื่อเส้นใย

หญ้าแฝกมีการกระจายตัวดี ช่องว่างระหว่างเส้นใยหญ้าแฝกกับพีวีซีมีน้อย แสดงว่ามีการยึดติดระหว่างเส้นใยหญ้าแฝกกับพีวีซีมีการยึดติดกันดี

วรรณิยา ชาญณรงค์ [35] ได้ทำการศึกษาแนวทางการผลิตไม้เทียมจากวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride), PVC) กับเส้นใยไม้ยางพารา (Natural rubber fibers) โดยเน้นที่จะศึกษาผลของปริมาณเส้นใยและพลาสติกไซเซอร์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตเส้นใยไม้ยางพารากับพีวีซีเส้นใยไม้ยางพาราเตรียมได้จากขบวนการทางความร้อนเชิงกล (Thermomechanical process) วัตถุดิบทั้งหมดถูกผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) จากนั้นผสมแบบหลอมเหลวในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ขึ้นงานตัวอย่างขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) จากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราในวัสดุคอมโพสิตทำให้ค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัสที่ 3% ค่าความแข็งแรงกระแทก ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอสูงขึ้น และจะลดลงเมื่อเกินขีดความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพีวีซีเมทริกซ์กับเส้นใยไม้ยางพารา สำหรับค่าความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ DOP ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัสที่ 3% ความแข็งแรงโค้งงอ มอดูลัสโค้งงอ และความแข็งแรงลดลง ในขณะที่ค่าความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากปรากฏการณ์พลาสติกไซเซชันของ DOP นั้นเอง

สมภพ เลิศลักษณ์กุล [36] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม สามารถเตรียมได้จากพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride), PVC) กับเส้นใยยูคาลิปตัส (Eucalyptus fibers) โดยผสมในเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) แล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) และเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพีวีซีในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว คือ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณไม้ที่เหมาะสมที่สุดคือ 30 phr เส้นใยไม้ขนาด 30-50 mesh (300-500 ไมครอน) เมื่อทำการเพิ่มปริมาณ DOP ที่เติมลงไปในพีวีซีคอมโพสิต พบว่าวัสดุนี้มีความแข็งแรงลดลง พีวีซีคอมโพสิตทนทานต่อความร้อนน้อยลง เมื่อปริมาณ DOP เพิ่มมากขึ้น เปรอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น ปริมาณ DOP ที่เหมาะสมในการผลิตพีวีซีคอมโพสิต คือ 10 phr

ปิยะวรรณ เจริญก๊กและพงษ์ศักดิ์ แพน้อย [37] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยยูคาลิปตัสทั้งที่ได้จากขบวนการทางเคมี (Chemical pulp ; CP) และทางความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp ; TMP) โดยศึกษาผลของสารช่วยผสมมาเลอิกแอนไฮโดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน (MAPP) และอัตราส่วนของเส้นใยที่เหมาะสม โดยพบว่าสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตดีขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยไม้มีมากขึ้นและปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมได้แก่ 20

phr เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม พบว่า คอมโพลีมีสมบัติที่ดีขึ้นและมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลง ปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ 3 % โดยน้ำหนัก เมื่อทำการเปรียบเทียบคอมโพลีจากเส้นใย TMP และ CP พบว่าเส้นใย TMP มีการกระจายตัวที่ดีกว่าและมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า เมื่อพิจารณาองศาความเป็นผลึก พบว่าปริมาณเส้นใยไม่ไม่มีผลต่อองศาความเป็นผลึก แต่ปริมาณสารช่วยผสมมีผลทำให้ค่าองศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ธีรพัฒน์ อุณหโชคและพจนีย์ ศรธรรมลี [38] ได้ทำการศึกษาการผลิตและสมบัติของไม้เทียมจากพอลิเมอร์คอมโพลีระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเส้นใยผักตบชวาที่เตรียมจากการสกัดด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งจะทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของเส้นใยต่อพอลิเมอร์ ผลของสารช่วยผสม ได้แก่ พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene-graft-Maleic Anhydride, PE-g-MA) ต่อปริมาณเส้นใยและขนาดของเส้นใยผักตบชวาโดยผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งและองศาความเป็นผลึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ส่วนค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง จากการศึกษาค่าผลของสารช่วยผสมพบว่า คอมโพลีมีสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อใช้สารช่วยผสม ปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสม คือ 3% โดยน้ำหนักเส้นใยและขนาดของเส้นใยที่เหมาะสม คือ 50-80 mesh ค่าการดูดซับน้ำของคอมโพลีลดลงเมื่อใส่สารช่วยผสมและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น รวมทั้งขนาดเส้นใยลดลง จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดยืนยันผลการทดลองว่า สารช่วยผสม PE-g-MA ช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับพอลิเอทิลีนเมทริกซ์ดีขึ้น

ฉะภัทรพงศ์ สุวรรณชัยและณัฐพร เด่นนินนาท [39] ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบลวงเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยทำการศึกษาสารตัวเติมและสารเชื่อมโยงต่างชนิดกัน คือ Silane A-174 และ MAH ในปริมาณ 0, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิพรอพิลีนคอมโพลี ทั้งที่มีการใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยงจะให้ประสิทธิภาพลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีเส้นใยสลาบลวงเป็นตัวเติม ส่วนผลของแสงอัลตราไวโอเลตต่อการสลายตัวของพอลิเมอร์คอมโพลีพบว่า ปริมาณสารตัวเติมรวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงในพอลิพรอพิลีนคอมโพลี พบว่า ปริมาณสารตัวเติมรวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงในพอลิพรอพิลีนคอมโพลีไม่มีผลในการช่วยป้องกันการสลายตัวของพอลิเมอร์ โดยแสงอัลตราไวโอเลต

สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่ 30 phr และขนาด 20-50 mesh ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด
2. จาก SEM พบว่าการใส่สารช่วยผสม 3% มีการยึดติดกันดีระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับเส้นใย
3. สมบัติเชิงกลของพลาสติกผสมอนุภาคที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไซเลน จะมีค่าสูงกว่าเมื่อผสมอนุภาคที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว อีกทั้งยังผสมกันได้ดีกว่าด้วย
4. คอมโพสิตใส่ไซเลนได้สูงสุด 2-3% w/w จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าคอมโพสิตที่ไม่ใส่ไซเลน



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน

1. ศึกษาผลของการใช้สารคู่ควบไซเลน
2. ศึกษาปริมาณของเม็ดแก้วกลวง
3. ศึกษาชนิดของเม็ดแก้วกลวง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. Low Density Polyethylene (LDPE) บริษัท โกลบอล คอนเน็คชั่นส์ จำกัด (มหาชน) เกรด DNDV-0405R สมบัติบางประการแสดงดังตารางที่ 3.1
2. เส้นใยหยาบflake จากกรมป่าไม้
3. Antioxidant จาก Optimaltech Co.,Ltd.
 - Anox[®] 20 (Phenolic antioxidant)
 - Alkanox[®] 240 (Phosphite antioxidant)
4. สารช่วยผสม (Compatibilizer)
 - พอลิเอทิลีนตอกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ จาก Behn Meyer Chemical (T) Co.,Ltd
5. สารช่วยกระบวนการ (Processing aids) จาก Behn Meyer Chemical (T) Co.,Ltd
 - EnHance[®] เกรด 1473
 - Ultra-Plast[™] เกรด WF101
6. สารคู่ควบ (Coupling agents) จาก Optimal Tech Co., Ltd.
 - Silquest[®] A-151 Silane (Vinyltriethoxy Silane)
7. เม็ดแก้วกลวง (Glass bubble bead)
 - เกรด S60 จาก 3M (Thailand) Co.,Ltd สมบัติบางประการดังตารางที่ 3.2
 - เกรด iM30K จาก 3M (Thailand) Co.,Ltd สมบัติบางประการดังตารางที่ 3.3
 - เกรด W300 จาก Behn Meyer Chemical (T) Co.,Ltd สมบัติบางประการดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ LDPE เกรด DNDV-0405R ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สมบัติ	LDPE เกรด DNDV-0405R	มาตรฐานที่ใช้ ทดสอบ
ดัชนีการหลอมไหล (190 °C/2.16 kg) g/10 min	30	ASTM D1238
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.916	ASTM D1505
ความแข็งแรงดึง (MPa)	90	ASTM D638
การยืด ณ จุดขาด (%)	450	ASTM D638
มอดุลัสโค้งงอ (MPa)	1700	ASTM D790
ความแข็งกด (Shore D)	47	ASTM D785
จุดหลอมเหลว (°C)	105	ASTM D2117

หมายเหตุ ข้อมูลจากผู้ผลิต

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของเม็ดแก้วกลาง S60

สมบัติ	Scotchlite [®] Glass Test Bubbles S60	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ
Isostatic crush strength (MPa)	69	3M QCM 14.1.8
True density (g/cm ³)	0.60	3M QCM 14.24.1
Packing factor (bulk density to true particle density)	63%	
Oil absorption	33.5g oil/100 cc of polymer additive	ASTM D282-84
Softening point	600°C	
Flotation (density<1.0 g/cc)	92% (in volume)	3M QCM 37.2
Diameter (average)	30 microns	3M QCM 193.0

หมายเหตุ ข้อมูลจากผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของเม็ดแก้วกลาง iM30K

สมบัติ	Scotchlite Glass Test Bubbles iM30K	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ
Isostatic crush strength (MPa)	193	3M QCM 14.1.8
True density (g/cm ³)	0.60	3M QCM 14.24.1
Packing factor (bulk density to true particle density)	63%	
Oil absorption	33.5g oil/100 cc of polymer additive	ASTM D282-84
Flotation (density<1.0 g/cc)	90% (in volume)	3M QCM 37.2
Diameter (average)	18 microns	3M QCM 193.0

หมายเหตุ ข้อมูลจากผู้ผลิต

ตารางที่ 3.4 สมบัติบางประการของเม็ดแก้วกลาง W300

สมบัติ	Scotchlite Glass Test Bubbles W300	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ
Isostatic crush strength (MPa)	25	3M QCM 14.1.8
True density (g/cm ³)	0.70-0.80	3M QCM 14.24.1
Bulk volume mL/kg	2174-2778	
Hardness/Mohs	5-6	
Diameter (average)	100–130 microns	3M QCM 193.0

หมายเหตุ ข้อมูลจากผู้ผลิต

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องร่อนแยกขนาด (Sieve shaker) รุ่น 01409023 : Retsch Co.,Ltd. พร้อมกับตะแกรงมาตรฐานขนาด < 20 20-50 50-80 และ > 80 mesh
2. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) รุ่น LRM 110 : Lab Tech Engineering Co.,Ltd.
3. เครื่องบดเม็ดพลาสติก (Grinder) : Bosco Engineering Co.,Ltd.
4. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) : SANDRETTO metalmeccanica รุ่น micron 40
5. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine, UTM) รุ่น LR 5K, LR 30K : Lloyd Instrument Co.,Ltd.
6. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod impact tester) รุ่น 258-PC : Yasuda Seiki Seisakusho Co.,Ltd.
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)
8. เครื่องทดสอบความหนาแน่น
9. ตู้อบ รุ่น UM 400 : MEMERT Co.,Ltd.

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเส้นใยไม้

เตรียมได้โดยนำหญ้าแฝกที่ล้างสะอาด อบให้แห้งแล้วนำมาบดด้วยเครื่องบด ทำการคัดแยกขนาดเส้นใยโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาดที่มีตะแกรงร่อนขนาด 20-50 mesh โดยก่อนการทดลองต้องนำเส้นใยไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการทำให้ความชื้นในผงไม้หมด

3.3.2 ขั้นตอนการผสม

3.3.2.1 ชั่งวัตถุดิบตามสูตรผสม ดังตาราง 3.5

3.3.2.2 ทำการผสมสูตรต่างๆ ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) โดยใช้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

3.3.2.3 นำของผสมแต่ละสูตรที่ได้ไปบดเป็นเม็ด จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) โดยปรับอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสมซึ่งอยู่ในช่วง 140–160 องศาเซลเซียสและ 40–60 หน่วย ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phg)
พอลิเมอร์ – LDPE	100
เส้นใยหยาบ	42.86
Processing aids - EnHance [®]	5
Processing aids – WF101	1.5
Antioxidant - Anox [®] 20	0.05
Antioxidant - Alkanox [®] 240	0.05
สารช่วยผสม - MAPE (Fusabond [®] MB226D)	3%*
Coupling agents - Silane	0, 1, 2, 3 %wt**
Glass bubbles - S60, W300, iM30K	0, 10, 20, 30, 40 %wt***

* เทียบกับน้ำหนักของเส้นใยหยาบ

** เทียบกับน้ำหนักของ Glass bubbles

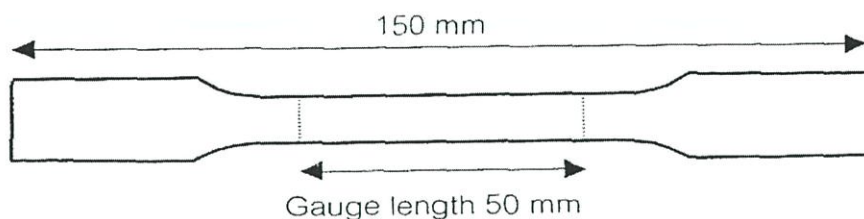
*** เทียบกับน้ำหนักของผสมทั้งหมด

3.3.3 การศึกษาผลและปริมาณของสารก่อกวนไซเลน

ในการทดลองนี้ใช้ไวนิลไซเลน 0% และ 3% ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยหยาบที่อัตราส่วน 70:30 และเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด

3.3.4 การศึกษาปริมาณของเม็ดแก้วกลวง

เราเลือกใช้ไวนิลไซเลนที่ 3% ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยหยาบที่อัตราส่วน 70:30 และเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด



รูปที่ 3.1 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัสและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด [40]

ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break); } At = \frac{L-L_0}{L_0}$$

เมื่อ

F คือแรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (N)

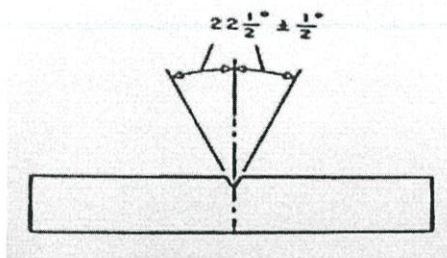
A คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (mm^2)

L คือระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงตัวอย่าง (mm)

L_0 คือช่วงที่ชิ้นงานแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน ; Gauge length (mm)

3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก

การหาค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 256 [41] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้น ในแต่ละครั้งและลักษณะชิ้นงานตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก [41]

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ	IS	คือ	ค่าความแข็งแรงกระแทก (kJ/m ²)
	W	คือ	ค่าพลังงานกระแทก (kJ)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่แตกหัก (m ²)

3.4.1.3 ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ

การหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ตามมาตรฐาน [42] โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาด 50 mm x L mm จำนวน 12 ชิ้น ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ แสดงดังรูปที่ 3.3 โดย L = 15 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ (ไม่น้อยกว่า 150) + 50 mm

สถานะในการทดสอบเป็นดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 5 kN
- ความเร็วในการกด (Compression speed) 10 mm/min
- ระยะห่างระหว่างแท่นรองรับ 15 เท่าของความหนาชิ้นงาน

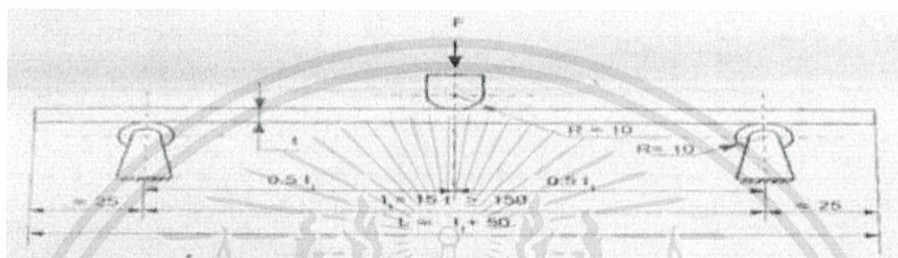
สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ F คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างโค้งงอ (N)
 L คือ Span length
 B คือ ความกว้างของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)
 h คือ ความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)
 ΔF คือ ผลต่างของแรงกดในช่วงความชันเป็นเส้นตรง (N)
 Δd คือ ระยะกดโค้งงอ (mm)



รูปที่ 3.3 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ [42]

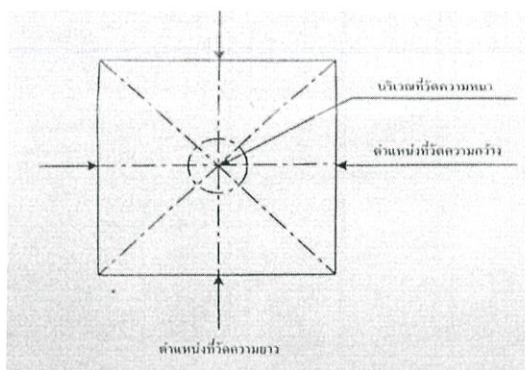
3.4.1.4 ความแข็งกด

การหาค่าความแข็งกด (Hardness tester, shore D) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 785 [43] โดยใช้มาตรฐานแบบ Shore D ในการทดสอบ ลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงานที่นำมาทดสอบต้องเรียบ และมีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 mm กดเป็นเวลา 15 วินาที จึงอ่านค่า

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2.1 ความหนาแน่น (Density)

หาความหนาแน่นตามมาตรฐาน มอก. 966-2547 สามารถทำได้โดยการเตรียมชิ้นงานทดสอบให้มีขนาด 50 mm x 50 mm จำนวน 6 ชิ้น ชั่งชิ้นทดสอบให้ได้มวลที่แน่นอน จากนั้นทำการวัดความหนาตรงจุดกึ่งกลาง ความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบ ตามรูปที่ 3.4 โดยวางเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบประมาณ 45° ตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3.5 แสดงวิธีวัดความกว้าง ความยาวของชิ้นทดสอบ

3.4.2.2 สันฐานวิทยา

การศึกษาสันฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดเพื่อศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยไม้กับพอลิเมอร์ การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำตัวอย่างมาแช่ที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการหักทันทีที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทองและนำเข้าเครื่อง SEM เพื่อศึกษาพื้นผิวของชิ้นงาน

3.4.2.3 สมบัติทางความร้อน

- Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC เป็นเทคนิคการตรวจวัดความแตกต่างของเอนทัลปีของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง โดยมีชุดให้ความร้อน 2 ชุด สำหรับสารตัวอย่างและสารอ้างอิง เมื่อทำการให้ความร้อนแก่สาร ถ้าสารยังไม่เข้าสู่สภาวะทรานสิชัน ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจึงไม่มีความแตกต่างของเอนทัลปีของสารทั้งสอง แต่เมื่อวาร์ตัวอย่างเข้าสู่สภาวะทรานสิชันทำให้มีการดูดหรือคาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนเกิดขึ้น ทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารอ้างอิง ดังนั้น ชุดให้ความร้อนจะทำการให้ความร้อนหรือดึงความร้อนออกจากสารตัวอย่าง เพื่อให้อุณหภูมิของสารทั้งสองเท่ากัน ทำให้ได้เทอร์โมแกรมของการตรวจวิเคราะห์เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT ค่าความจุความร้อน (Heat capacity : C_p) หรือค่าความร้อน (Heat flow) ในแกน y กับอุณหภูมิหรือเวลาในแกน x ซึ่งแสดงให้เห็นว่า DSC สามารถใช้ตรวจวิเคราะห์หรือหาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ คล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) อุณหภูมิการตกผลึก (T_c) และสามารถใช้อาศัยความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ได้จากพื้นที่ใต้พีค (ค่าเอนทัลปี) ที่อุณหภูมิหลอมเหลว แล้วนำไปคำนวณองศาความเป็นผลึก (X_c) ของพอลิเมอร์ โดยสภาวะการทดสอบเป็นดังนี้

อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ	=	10	°C / min
ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ	=	25 – 400	°C

สามารถคำนวณค่าองศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity ; X_c) ได้ดังสมการนี้

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times \frac{100}{\% \text{ ของ PE ในวัสดุ}} \times 100$$

เมื่อ ΔH_f คือ เอนทัลปี (Enthalpy) ของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม
 ΔH_f^0 คือ ค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึก 100% โดยมี ค่า 293 J/g สำหรับ PE [44]

3.5 สรุปประเด็นศึกษา

- ศึกษาผลของสารคู่ควบ (Coupling agents) โดยใช้ไซเลน
- ศึกษาปริมาณของเม็ดแก้วกลวง
- ศึกษาชนิดของเม็ดแก้วกลวง

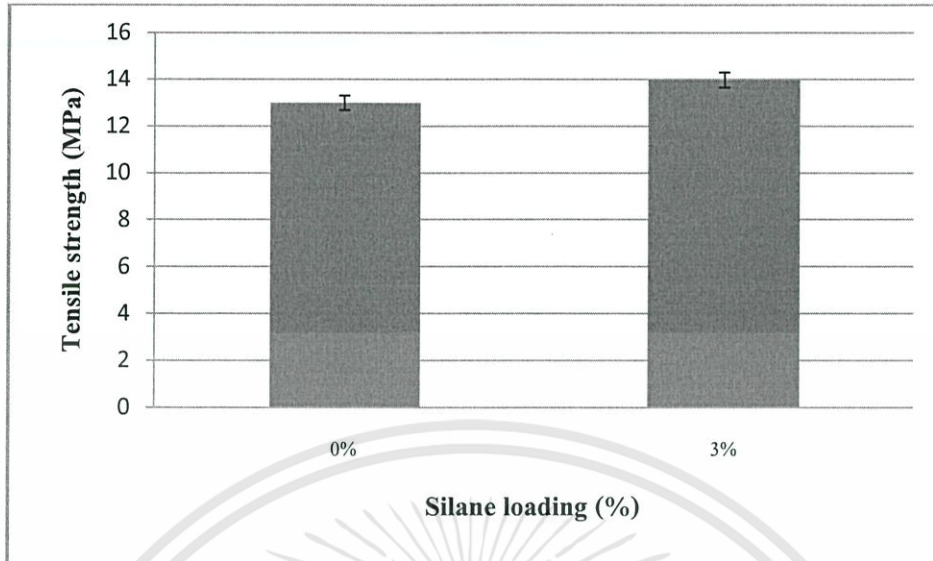
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

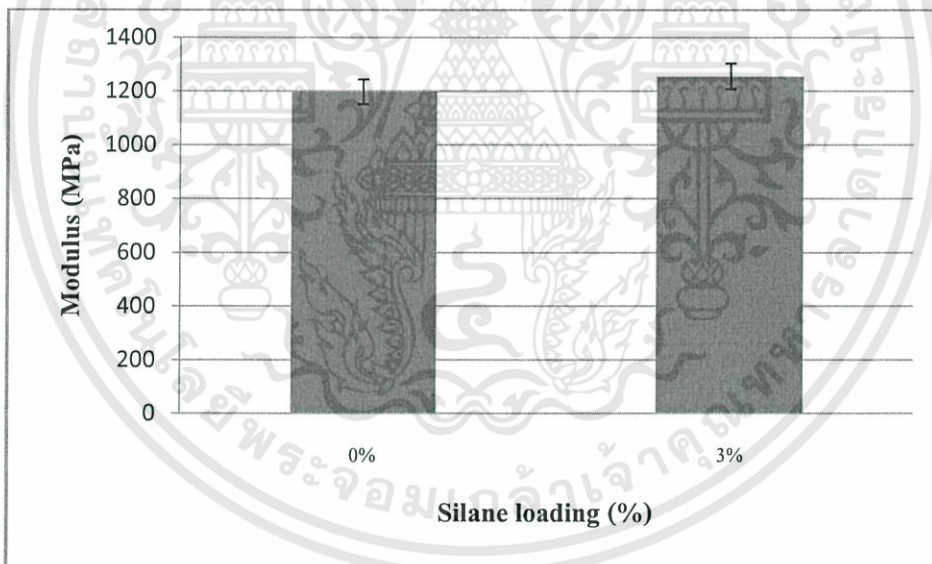
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกชนิดเบา (Light-weight WPC) จากพอลิเอทีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และเส้นใยหญ้าแฝก (Vetiver grass) โดยเป็นการศึกษาเพื่อหาสูตรผสมที่ใช้ในการผลิตวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติก (WPC) โดยศึกษาผลและปริมาณสารคู่ควบโดยใช้ไซเลน ศึกษาผลของปริมาณเม็ดแก้วกลวง ศึกษาชนิดของเม็ดแก้วกลวงที่เหมาะสม เพื่อให้ได้วัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกที่มีน้ำหนักเบาขึ้น โดยยังคงสมบัติเชิงกลที่ยอมรับได้ ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

4.1 การศึกษาผลของการใช้สารคู่ควบไซเลน

พอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง คือ พอลิเอทีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เกรด DNDV-0405R โดยใช้ไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxy silane) เป็นสารคู่ควบ (Coupling agents) โดยเลือกทำการศึกษาที่ปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง (Glass bubbles) และทำการเปรียบเทียบกัน โดยเลือกทำการศึกษาอัตราส่วนของพอลิเมอร์ต่อเส้นใยที่ 70:30 เม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K ที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด ซึ่งมีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติก ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ความแข็งแรงกระแทก (Impact resistance) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) และความแข็งกด (Hardness) โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1-4.8

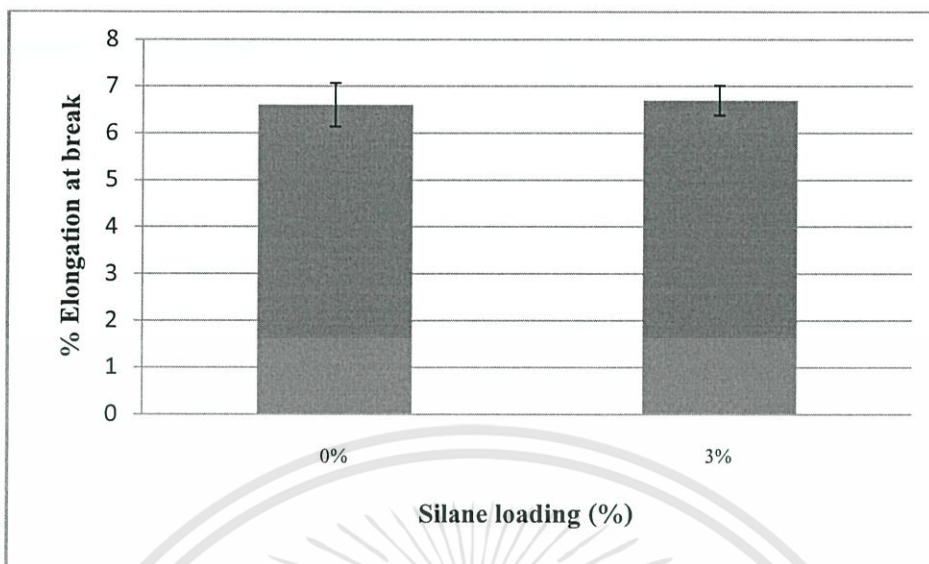


รูปที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง

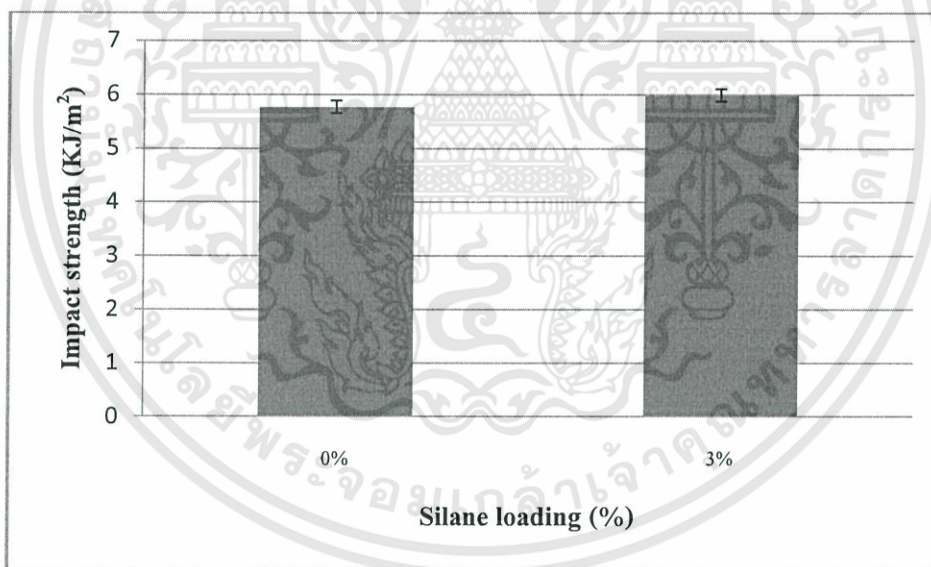


รูปที่ 4.2 โมดูลัส (Modulus) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

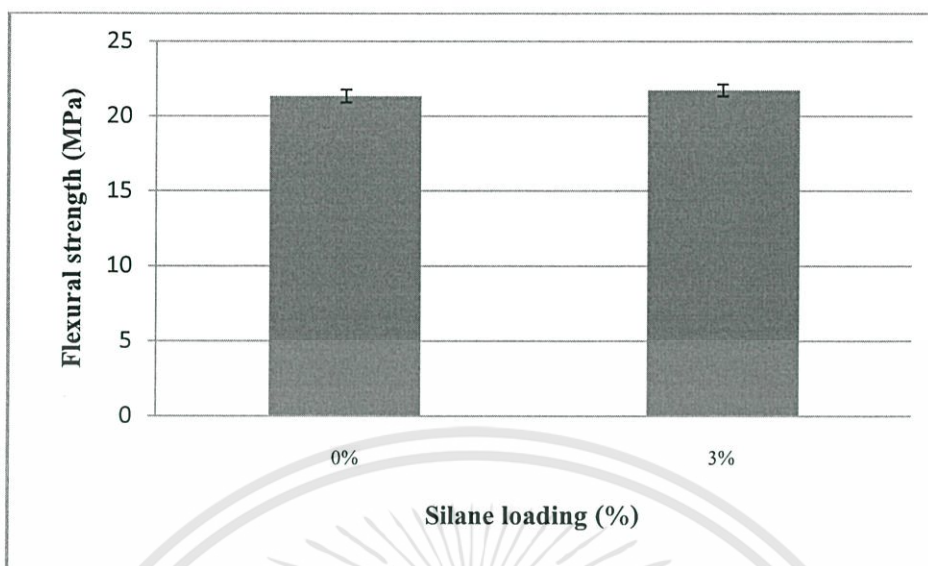


รูปที่ 4.3 เปรอ์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง

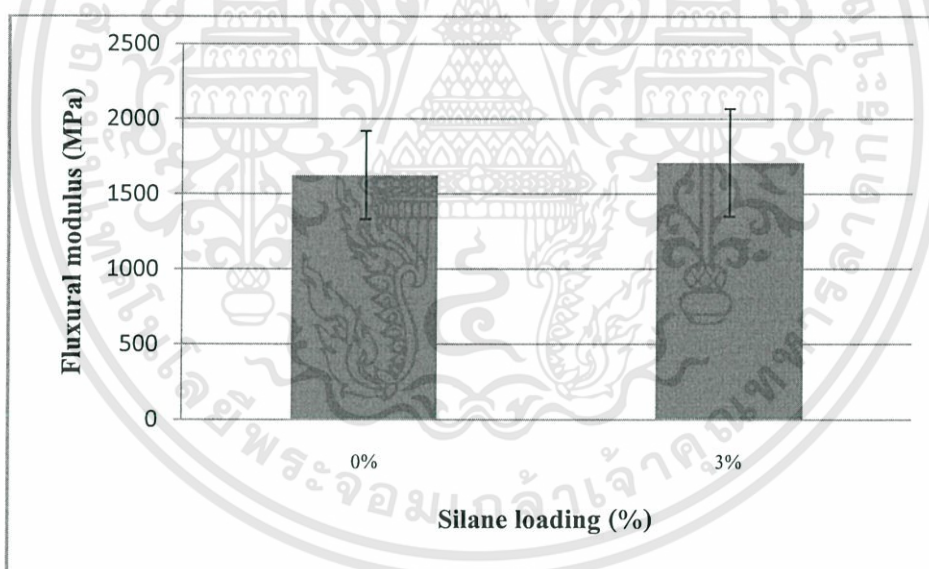


รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

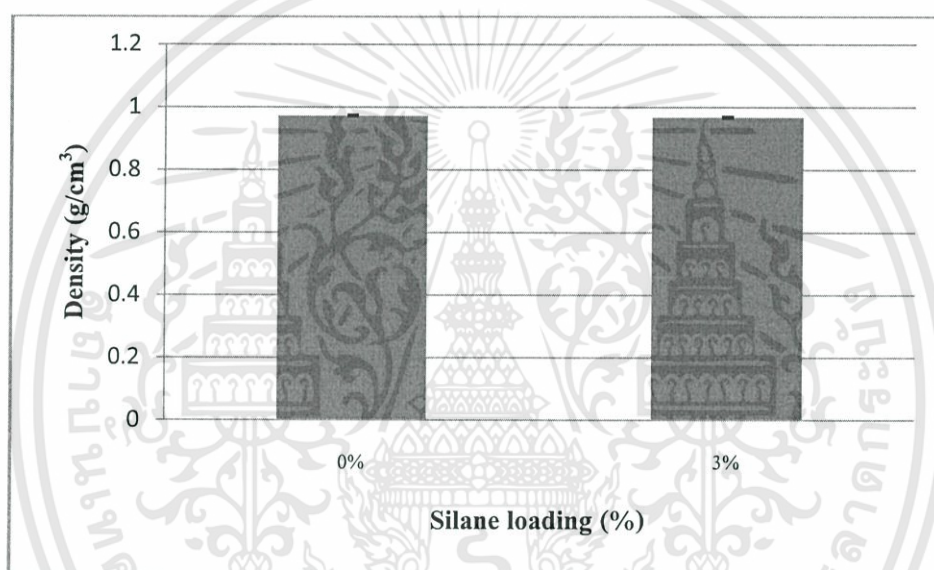


รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งแรง โค้งงอ (Flexural strength) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง

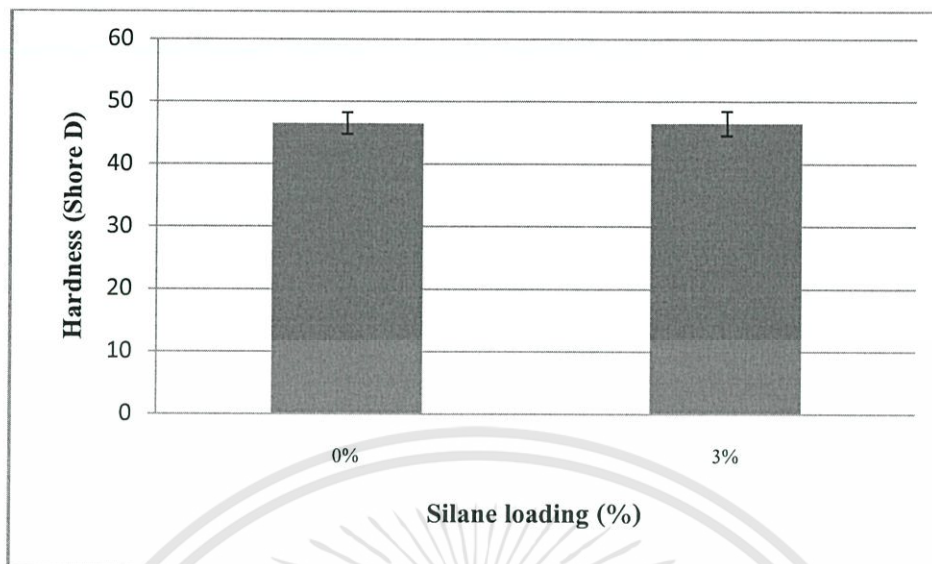


รูปที่ 4.6 มอดุลัส โค้งงอ (Flexural modulus) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง

จากการศึกษาค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดูลัสโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติก พบว่า ที่ปริมาณสารคู่ควบไซเลน 3% จะให้ค่าเหล่านี้สูงกว่าวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกที่ไม่มีการเติมสารคู่ควบไซเลนเล็กน้อย เนื่องจากสารคู่ควบไซเลนเป็นสารที่สามารถช่วยให้การยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับเม็ดแก้วกลวงยึดเกาะกันได้ดีขึ้น โดยสารคู่ควบไซเลนจะมีโครงสร้างที่มีสองหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน ซึ่งปลายหนึ่งเป็นเอทอกซียึดกับผิวไซลานอลของเม็ดแก้วกลวง และอีกปลายเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ทำปฏิกิริยายึดกับพอลิเมอร์ได้ จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดังกล่าวมีค่าดีขึ้น



รูปที่ 4.7 ความหนาแน่น (Density) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง



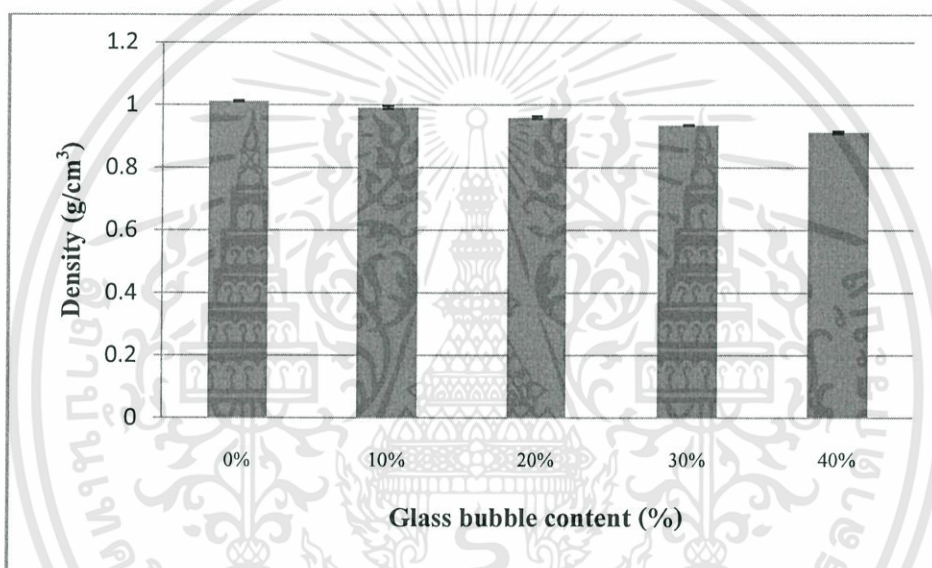
รูปที่ 4.8 ค่าความแข็งกด (Hardness, shore D) ของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝก ที่เติมสารก่อกวนไซเลนในปริมาณ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง

ค่าความหนาแน่นและความแข็งกด (รูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ) พบว่า ที่ปริมาณสารก่อกวนไซเลนทั้งสองเปอร์เซ็นต์ให้ค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าสารก่อกวนไซเลนไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งกดของวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติก

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติก เมื่อทำการเติมสารก่อกวนไซเลนที่ปริมาณ 3% ของเม็ดแก้วกลวงลงไปวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติก ชนิดเม็ดแก้วกลวง iM30K ปริมาณ 20% พบว่า สารก่อกวนไซเลนสามารถเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติก ได้ โดยส่งผลต่อสมบัติให้มีความสูงชันเล็กน้อย เมื่อเทียบกับวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกที่ไม่ได้ทำการเติมสารก่อกวนไซเลน เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอ สำหรับค่าความหนาแน่นจะส่งผลให้มีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน และสารก่อกวนไซเลนไม่ส่งผลใดๆ ต่อค่าความแข็งกด ดังนั้น เมื่อพิจารณาผลของการเติมสารก่อกวนไซเลนที่ 0% และ 3% โดยน้ำหนักเม็ดแก้วกลวง พบว่าการไม่ใส่ไซเลนดีกว่าการใส่ไซเลน เนื่องจากสมบัติเชิงกลของ WPC ที่ได้ให้ค่าที่ไม่ต่างกันมากนัก อีกทั้งการไม่ใส่ไซเลนยังช่วยในการลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

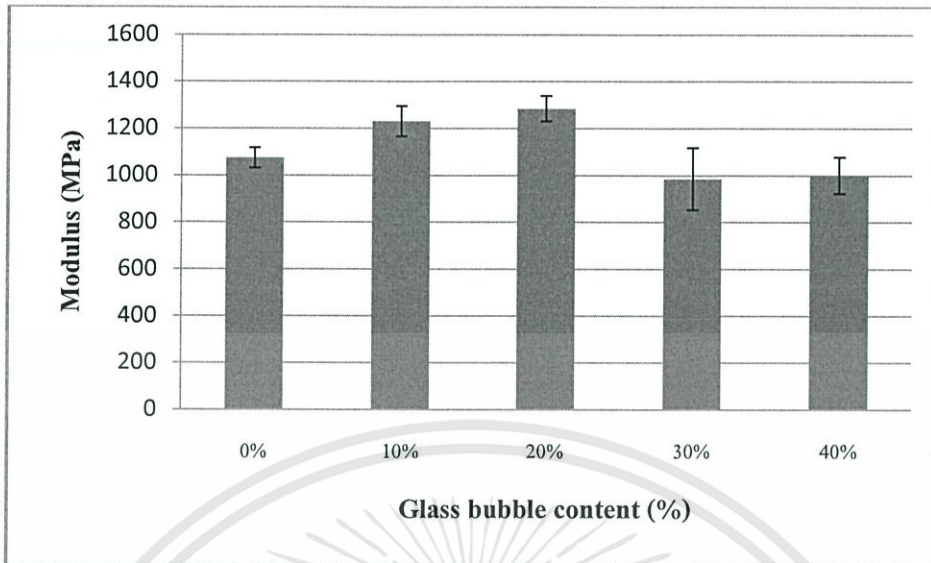
4.2 การศึกษาผลของปริมาณเม็ดแก้วกลาง

ในการทดลองนี้เป็นศึกษา WPC ซึ่งเตรียมจาก LDPE กับเส้นใยหญ้าแฝก ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ผสมเม็ดแก้วกลางเกรด iM30K ในปริมาณต่างๆ (0%, 10%, 20%, 30%, และ 40% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด) โดยศึกษาเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัส (Modulus) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ค่าความแข็งแรง โค้งงอ (Flexural strength) โมดูลัส โค้งงอ (Flexural modulus) และค่าความแข็งกด (Hardness, shore D) ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9-4.16

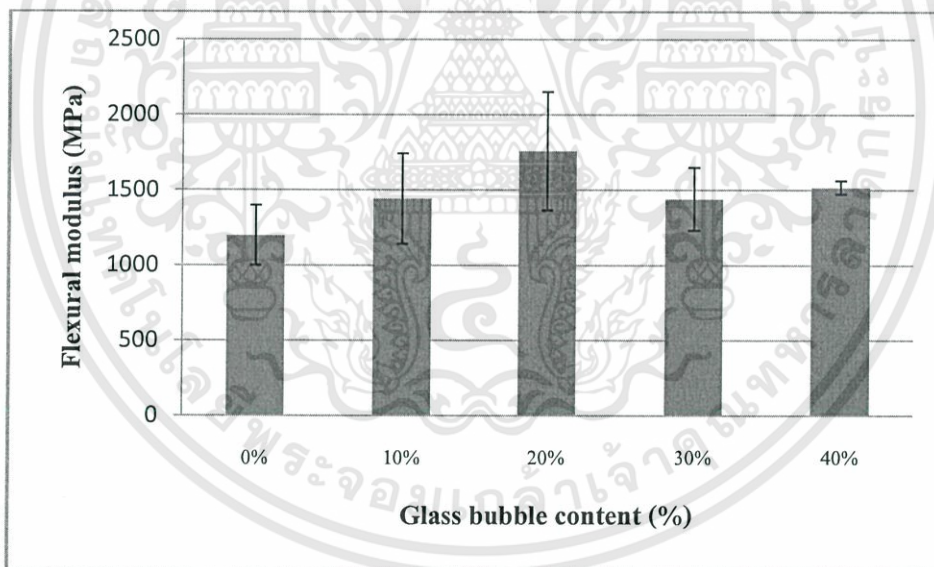


รูปที่ 4.9 ความหนาแน่น (Density) ของ WPC ที่เติมสารแก้ว 3% ผสมเม็ดแก้วกลาง ในปริมาณต่างๆ

ความหนาแน่นของ WPC เมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วกลาง พบว่า ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเม็ดแก้วกลางมีความหนาแน่นน้อยกว่าจึงทำให้ของผสมมีความหนาแน่นลดต่ำลง แต่ลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อใส่ปริมาณเม็ดแก้วกลางในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ของผสมมีความหนืดที่มากขึ้น การฉีดขึ้นรูปจึงต้องใช้ความดันมากขึ้นเพื่อให้ของผสมไหลเติมแม่พิมพ์ จึงอาจทำให้เม็ดแก้วกลางเกิดการแตกระหว่างขึ้นรูปได้ ความหนาแน่นของ WPC จึงลดลงต่างกันไม่มากนัก



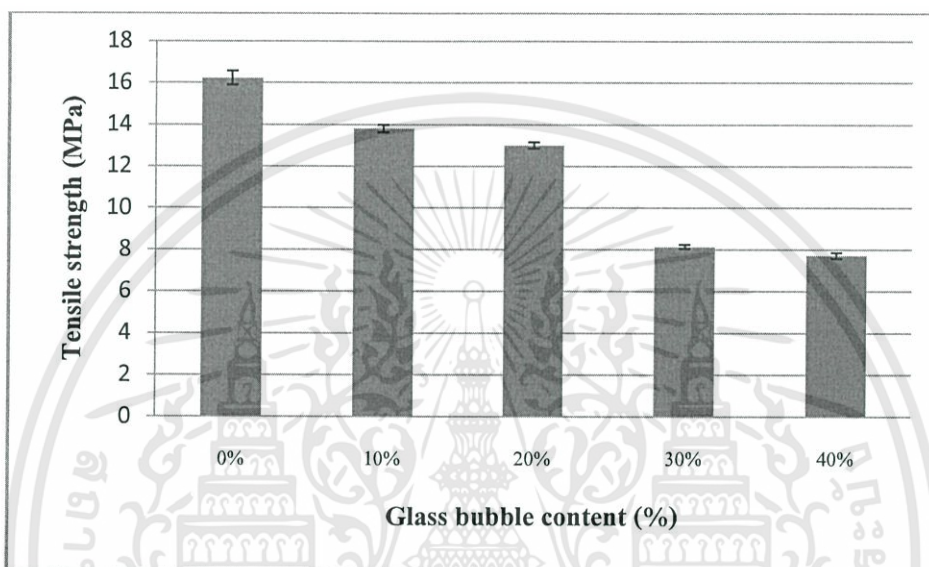
รูปที่ 4.10 มอดุลัส (Modulus) ของ WPC ที่เติมสารกึ่งวบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ



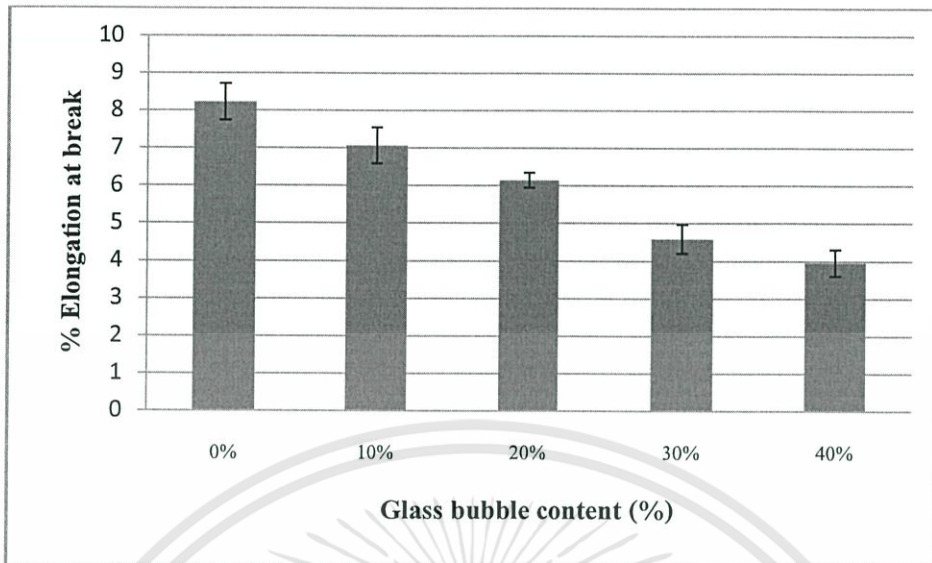
รูปที่ 4.11 มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของ WPC ที่เติมสารกึ่งวบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลางในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

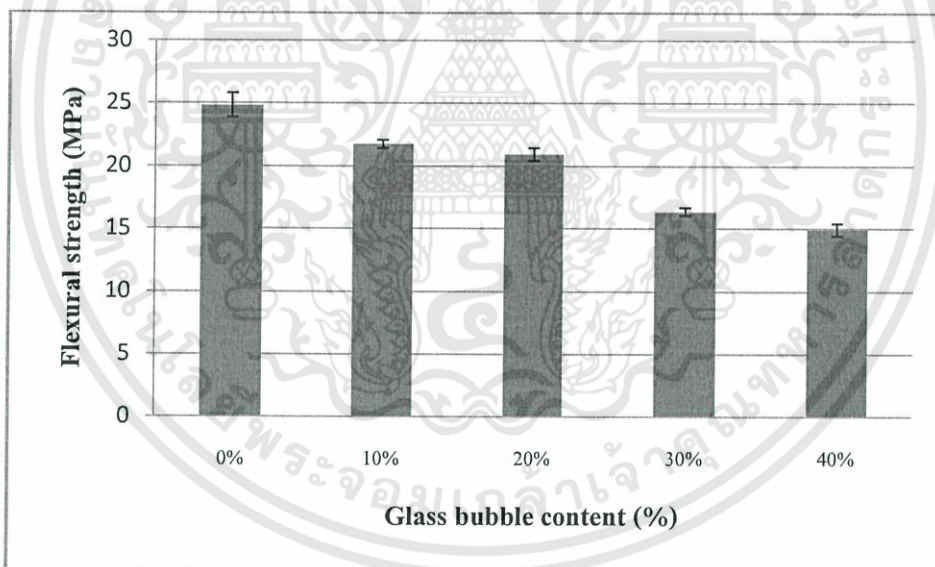
ค่ามอดุลัสและค่ามอดุลัส โค้งงอในช่วงแรกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วกลวง เนื่องจากค่ามอดุลัสที่ได้จะเป็นไปตามกฎของผสม คือยิ่งใส่ของแข็งเข้าไปมาก ค่ามอดุลัสที่ได้จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อใส่เข้าไปเยอะถึงปริมาณหนึ่ง ค่ามอดุลัสจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากชิ้นงานเกิดช่องว่างที่เกิดจากการผสมเข้ากันที่ไม่ดี



รูปที่ 4.12 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของ WPC ที่เติมสารกึ่งวับไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลวงในปริมาณต่างๆ



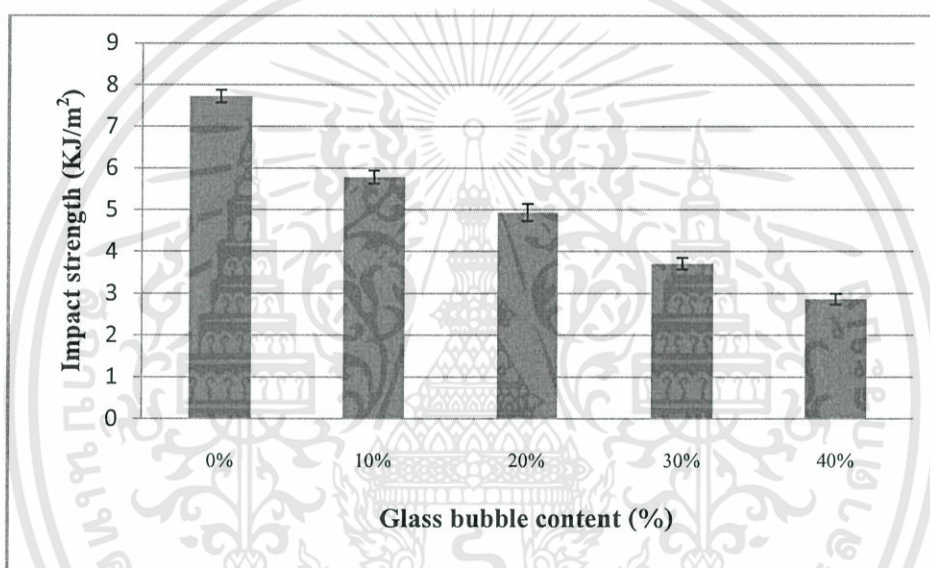
รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลวงในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) ของ WPC ที่เติมสารคู่ควบไซเลน 3% ผสมเม็ดแก้วกลวงในปริมาณต่างๆ

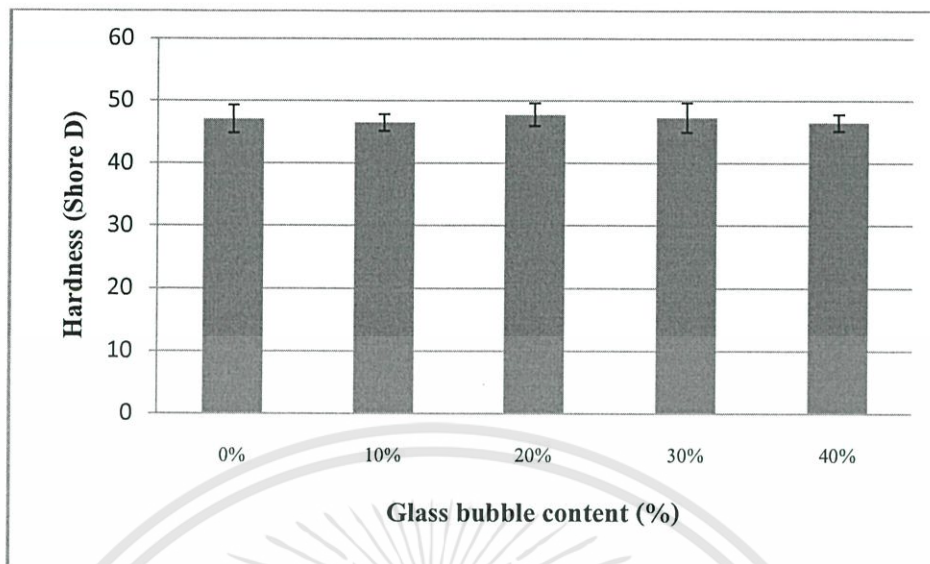
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) เปรอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วกลวง ซึ่งเป็นสารตัวเติมชนิดเพิ่มเนื้อเข้าไปทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์เมทริกซ์ลดลง ส่งผลต่อการกระจายแรงและรับแรงได้ของชิ้นงานได้ไม่ดี รวมทั้งยังขึ้นกับการกระจายตัวของเม็ดแก้วกลวงซึ่งเมื่อมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ความหนืดจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการผสมยาก การกระจายตัวจึงลดลง ซึ่งค่าจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณของเม็ดแก้วกลวงเพิ่มขึ้นถึง 30% โดยน้ำหนักของผสม ปริมาณเม็ดแก้วกลวงที่ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมดจึงให้ค่าสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุดในที่ไม่ทำให้สมบัติเชิงกลลดลงอย่างมาก



รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ของ WPC ที่เติมสารแก้ว 3% ผสมเม็ดแก้วกลวงในปริมาณต่างๆ

ค่าความแข็งแรงกระแทกของ WPC เมื่อเม็ดแก้วกลวงเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วกลวงจะเป็นการลดปริมาณพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่เป็นวัสดุภาคต่อเนื่อง เกิดเป็นรอยต่อระหว่างผิวของเส้นใยและเม็ดแก้วกลวง และเมื่อปริมาณเม็ดแก้วกลวงมากขึ้นรอยต่อที่เกิดขึ้นจะมากขึ้นด้วยจึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงกระแทกลดลง การใส่เม็ดแก้วกลวงปริมาณมากเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ยังทำให้เกิดการผสมยาก นอกจากนี้เม็ดแก้วกลวงอาจเกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งอาจมีบริเวณที่พอลิเมอร์ไม่อาจแทรกตัวเข้าไประหว่างเม็ดแก้วกลวง ทำให้เกิดเป็นช่องว่าง (Voids) หรือรอยตำหนิ (Flaws) อันเป็นจุดริเริ่มของการแตกหัก



รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งกด (Hardness, shore D) ของ WPC ที่เติมสารแก้วขุ่น 3% ผสมเม็ดแก้วกลวงในปริมาณต่างๆ

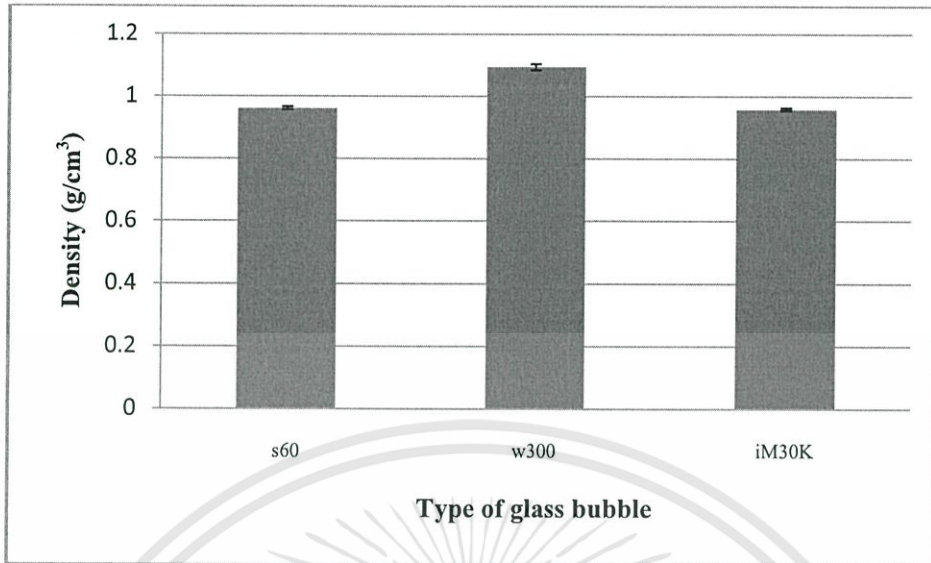
ค่าความแข็งกดของ WPC เป็นการวัดที่พื้นผิวภายนอกของชิ้นงาน เมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วกลวง พบว่า ค่าความแข็งกดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน เนื่องจากเส้นใยและเม็ดแก้วกลวงที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน อีกทั้งกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นกระบวนการฉีดขึ้นรูป พอลิเมอร์ซึ่งไหลง่ายกว่าจึงไหลเต็มเต็มที่ผิวแม่พิมพ์ก่อน โอกาสที่เม็ดแก้วกลวงจะอยู่ภายในชิ้นงานจึงมีสูงกว่า ทำให้ค่าความแข็งกดที่วัดได้มีค่าต่างกันไม่มากนัก แม้ว่า จะเพิ่มปริมาณเม็ดแก้วกลวงเข้าไปมาก

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกที่ทำการเติมเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K ลงไปในปริมาณต่างกัน (0%, 10%, 20%, 30%, และ 40% โดยน้ำหนักของผสม) พบว่า การเติมเม็ดแก้วกลวงที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมดส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด

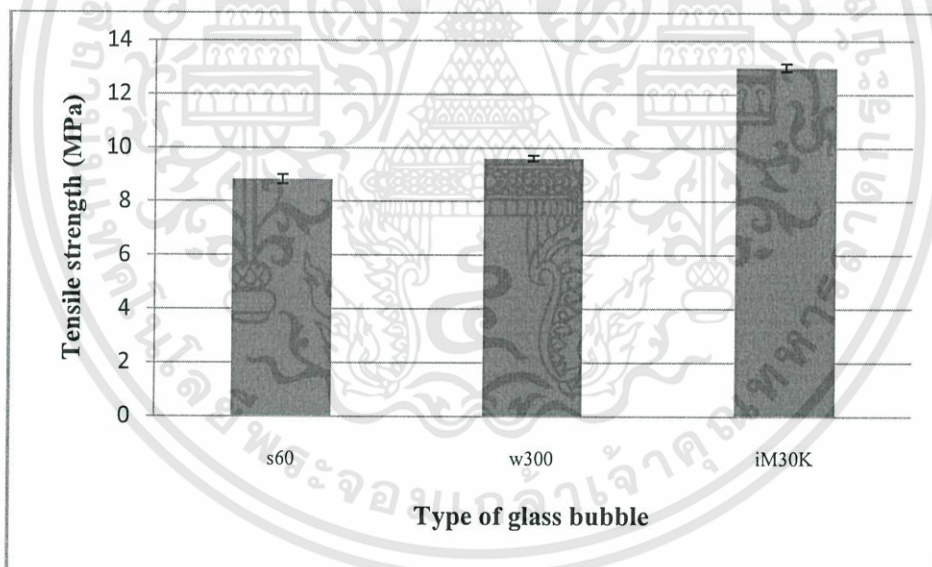
4.3 การศึกษาชนิดของเม็ดแก้วกลวง

เม็ดแก้วกลวง (Glass bubble beads) จัดเป็นสารตัวเติมชนิดเพิ่มเนื้อที่นิยมใช้ทั้งในเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต ซึ่งข้อดีของเม็ดแก้วกลวง คือ มีความหนาแน่นต่ำ มีความเป็นฉนวนทางความร้อนสูง มีขนาดและรูปร่างของอนุภาคที่เหมือนกัน มีความทนทานต่อแรงอัด มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง และมีความทนทานต่อสารเคมีดี และเนื่องจากการใช้เม็ดแก้วกลวงจะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความหนาแน่นต่ำกว่าการใช้สารตัวเติมชนิดอื่นๆ ดังนั้น ผลิตภัณฑ์จึงมีน้ำหนักลดลง

ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์เม็ดแก้วกลวงเกรด S60 จาก 3M (Thailand) Co.,Ltd โดยมีความหนาแน่น 0.60 g/cm^3 ค่า Isostatic crush strength 69 MPa และมีขนาดอนุภาค 30 microns เม็ดแก้วกลวงเกรด W300 จาก Behn Meyer Chemical (T) Co.,Ltd มีความหนาแน่น $0.7-0.8 \text{ g/cm}^3$ ค่า Isostatic crush strength 25 MPa และมีขนาดอนุภาค 100-130 microns และเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K จาก 3M (Thailand) Co.,Ltd มีความหนาแน่น 0.60 g/cm^3 ค่า Isostatic crush strength 193 MPa และมีขนาดอนุภาค 18 microns ในงานวิจัยส่วนนี้ได้ทำการศึกษาผลของชนิดเม็ดแก้วกลวง จากการเติมเม็ดแก้วกลวงปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.17-4.24 พบว่า การเติมเม็ดแก้วกลวงทำให้ความหนาแน่นลดลง โดยการเติมเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K ทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นต่ำที่สุด รองลงมาคือเม็ดแก้วกลวงเกรด S60 และสุดท้ายเป็นเม็ดแก้วกลวงเกรด W300 ทั้งนี้เนื่องมาจากความหนาแน่นของเม็ดแก้วกลวงเกรด S60 และ iM30K มีความหนาแน่นน้อยกว่า W300 และจากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K มีแนวโน้มให้ค่าสมบัติต่างๆ ดีกว่าเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวและการยึดเกาะที่ดีกว่า รองลงมาคือเม็ดแก้วกลวงเกรด S60 และสุดท้ายเป็นเม็ดแก้วกลวงเกรด W300 ดังนั้น เม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K จึงเหมาะที่จะใช้ในการลดความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์มากที่สุด

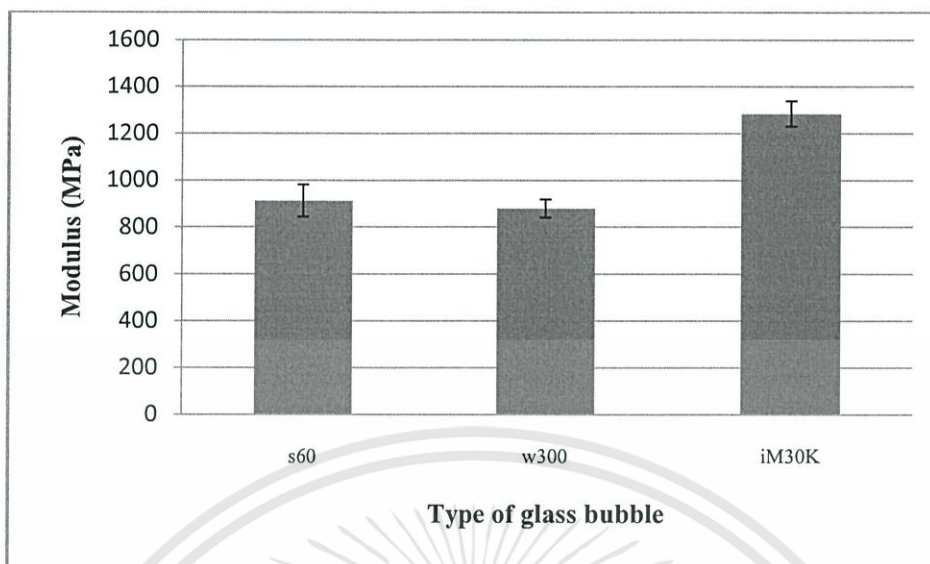


รูปที่ 4.17 ความหนาแน่น (Density) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลวง 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลวงชนิดต่างๆ

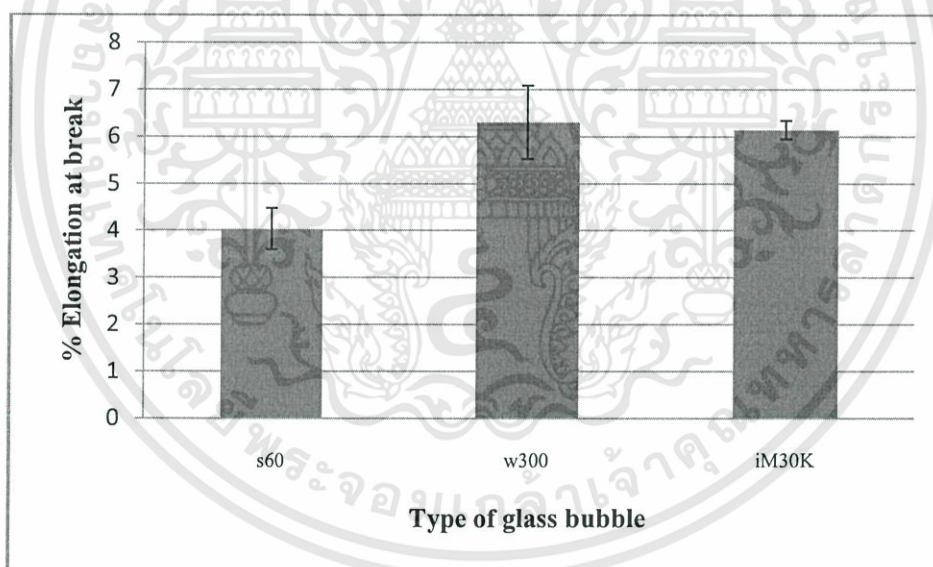


รูปที่ 4.18 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลวง 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลวงชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

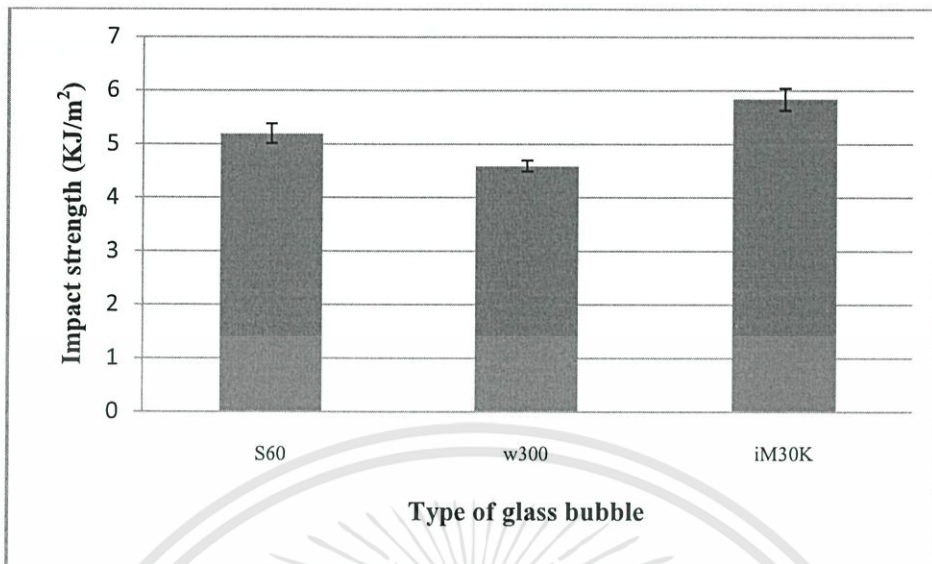


รูปที่ 4.19 มอดุลัส (Modulus) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.20 เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของ WPC ผสม เม็ดแก้วกลาง 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

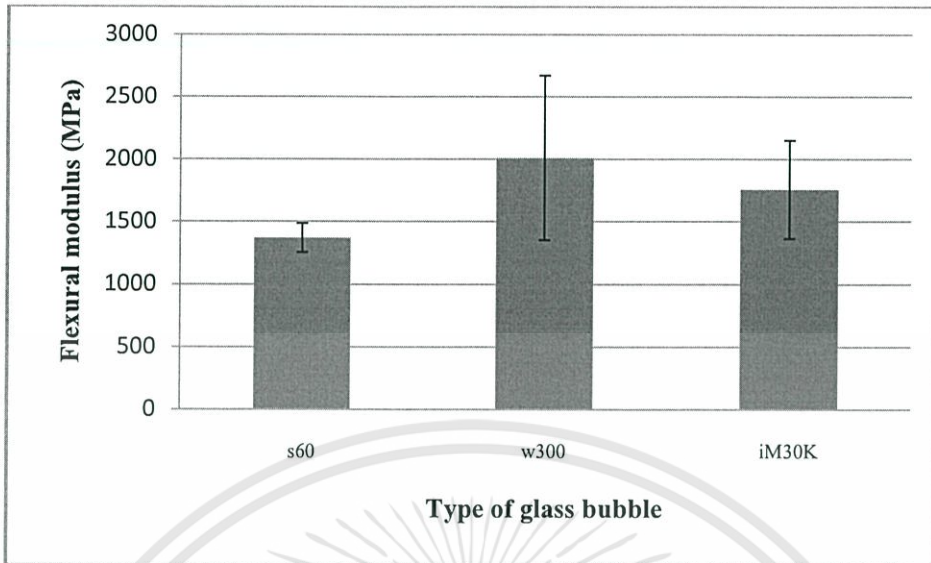


รูปที่ 4.21 ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ

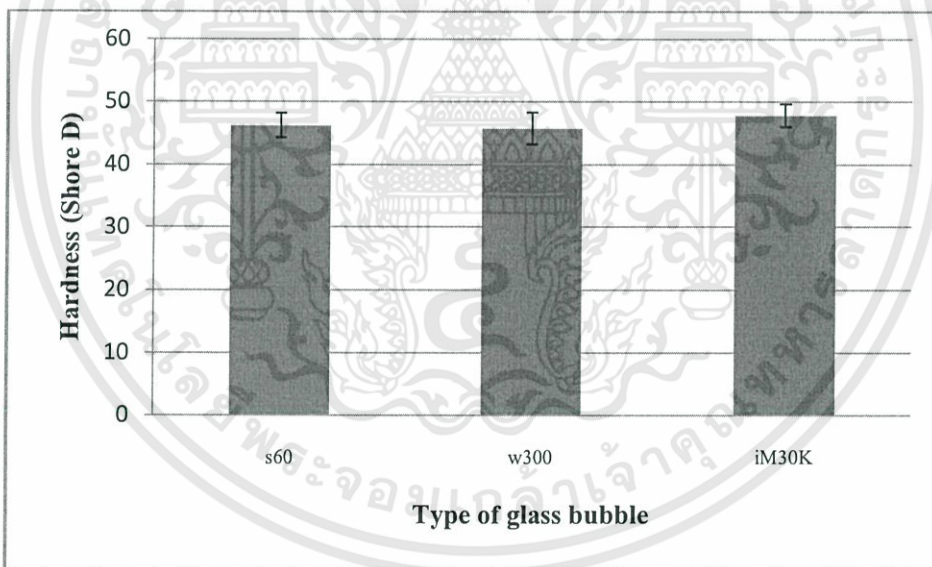


รูปที่ 4.22 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ



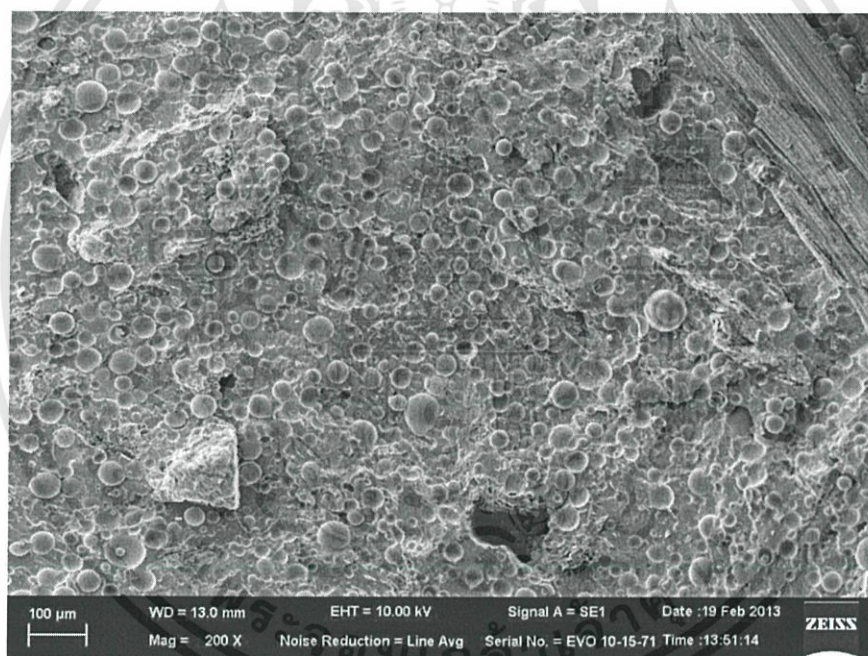
รูปที่ 4.24 ค่าความแข็งกด (Hardness, shore D) ของ WPC ผสมเม็ดแก้วกลาง 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด โดยใช้เม็ดแก้วกลางชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

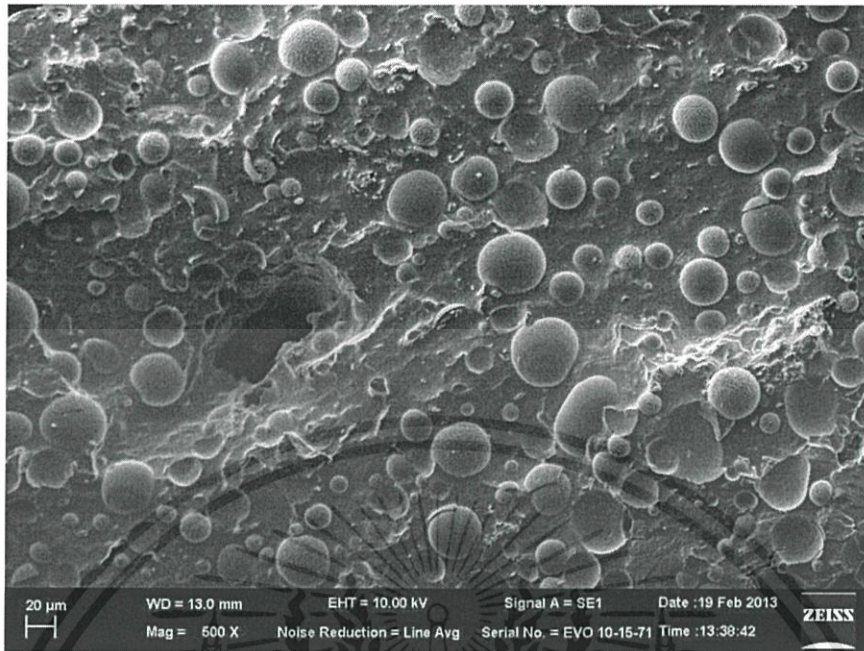
(Scanning electron microscope, SEM)

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียด การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำตัวอย่างมาแช่ที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการหักทันทีที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทอง ในการทดลองนี้จะทำการศึกษา SEM ของชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาปริมาณสารคู่ควบที่เหมาะสม ปริมาณเม็ดแก้วกลวงที่เหมาะสม ซึ่งเป็นสูตรผสมที่เลือกใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป โดยจะศึกษาเปรียบเทียบชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากเม็ดแก้วกลวงต่างชนิดกันและดูการกระจายตัวของเม็ดแก้วกลวง ผลการศึกษา SEM แสดงดังรูปที่ 4.25-4.27

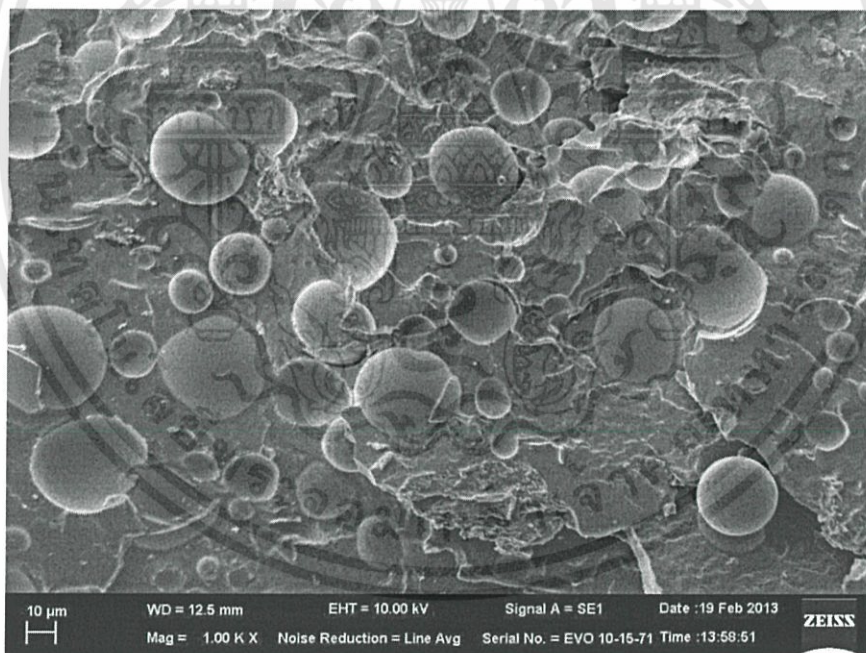


(ก) กำลั้งขยาย 200 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



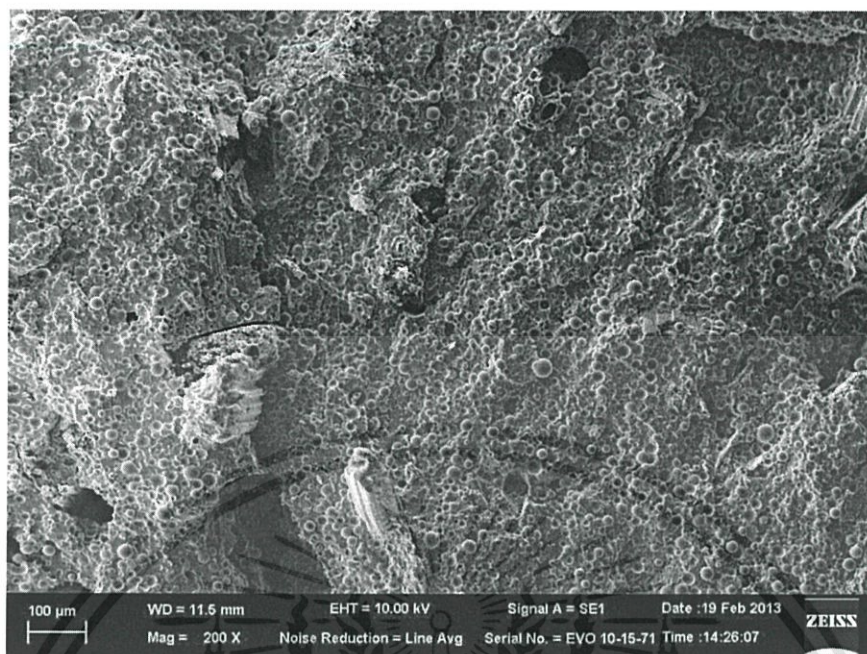
(ข) กำลังขยาย 500 เท่า



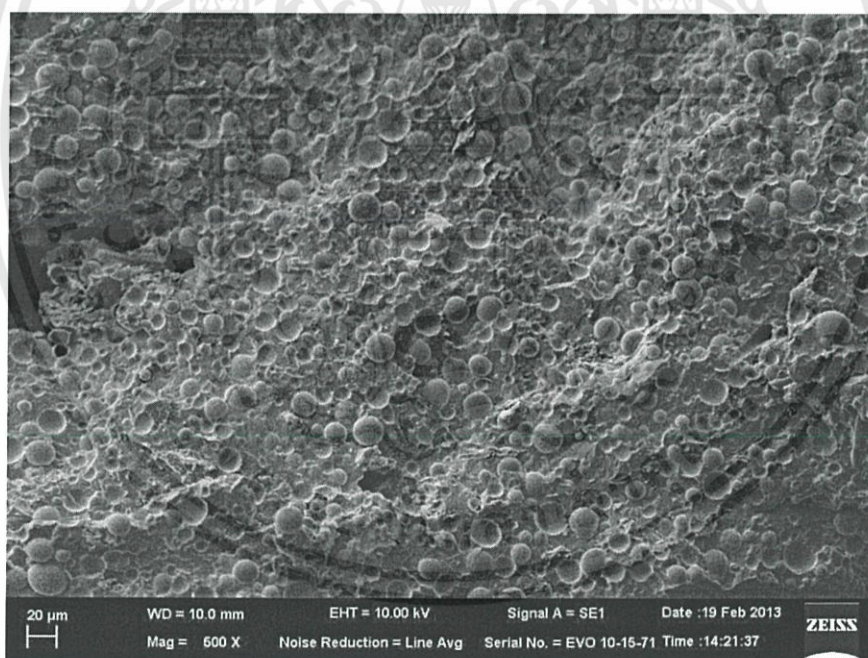
(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า

รูปที่ 4.25 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใย
หญ้าแฝกและเม็ดแก้วลวงเกรด S60 ที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

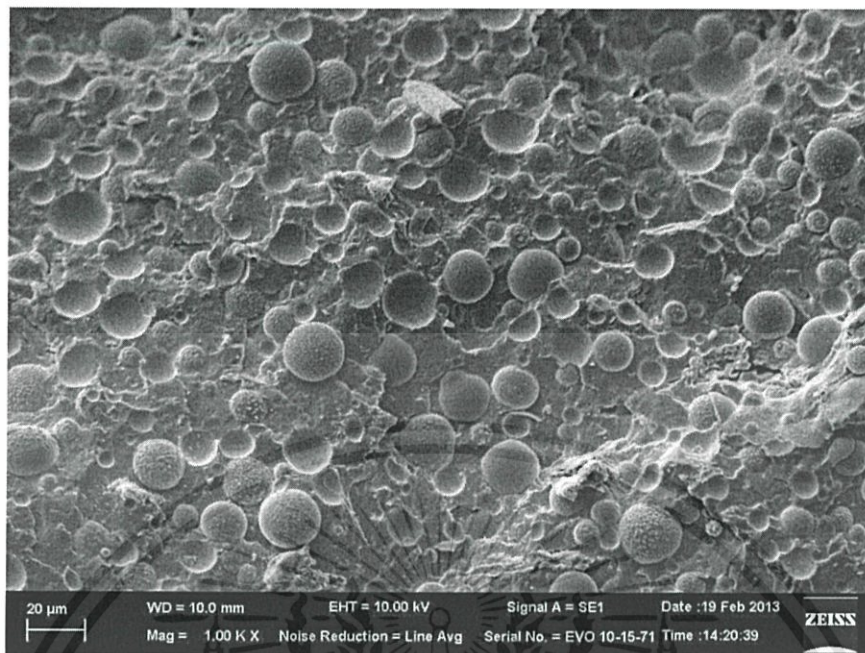


(ก) กำลังขยาย 200 เท่า



(ข) กำลังขยาย 500 เท่า

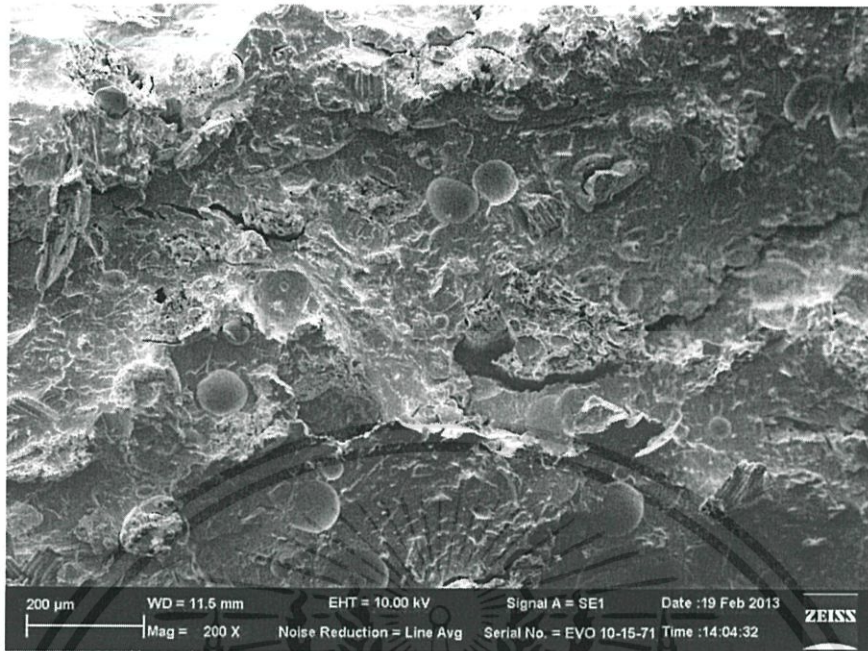
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



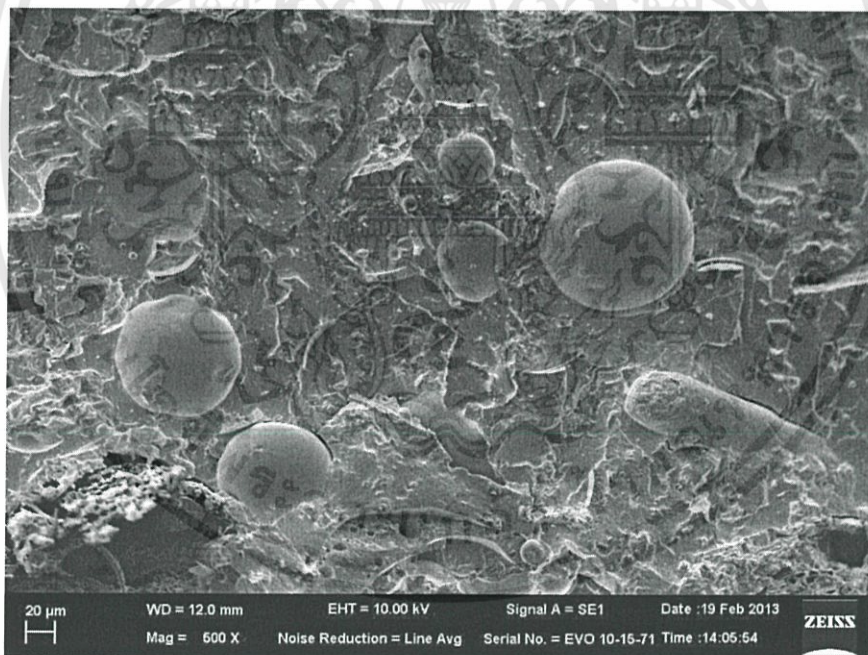
(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า

รูปที่ 4.26 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใย
หญ้าแฝกและเม็ดแก้วลวงเกรด iM30K ที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด

จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดงภาพ SEM ของวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกที่เตรียมได้จาก
LDPE ผสมเส้นใยหญ้าแฝกและเม็ดแก้วลวงเกรด S60 และ iM30K ตามลำดับที่กำลังขยาย 200
เท่า 500 เท่า และ 1,000 เท่า (แสดงตามภาพ (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ) จากภาพพบว่าเม็ด
แก้วลวงมีการกระจายตัวที่ดี สามารถทนแรงเฉือนที่เกิดจากเครื่องฉีดขึ้นรูปได้ ไม่แตก
เม็ดแก้วลวงเกรด S60 และ iM30K จึงสามารถช่วยลดความหนาแน่นของชิ้นงานลงได้ แต่เม็ด
แก้วลวงเกรด iM30K มีขนาดเล็กกว่าเม็ดแก้วลวงเกรด S60 รวมทั้งมีการกระจายตัวและการ
ยึดเกาะที่ดีกว่า ดังนั้น เม็ดแก้วลวงเกรด iM30K จึงช่วยลดความหนาแน่นของชิ้นงานได้มากกว่า
รวมทั้งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่มีประสิทธิภาพดีกว่าด้วย

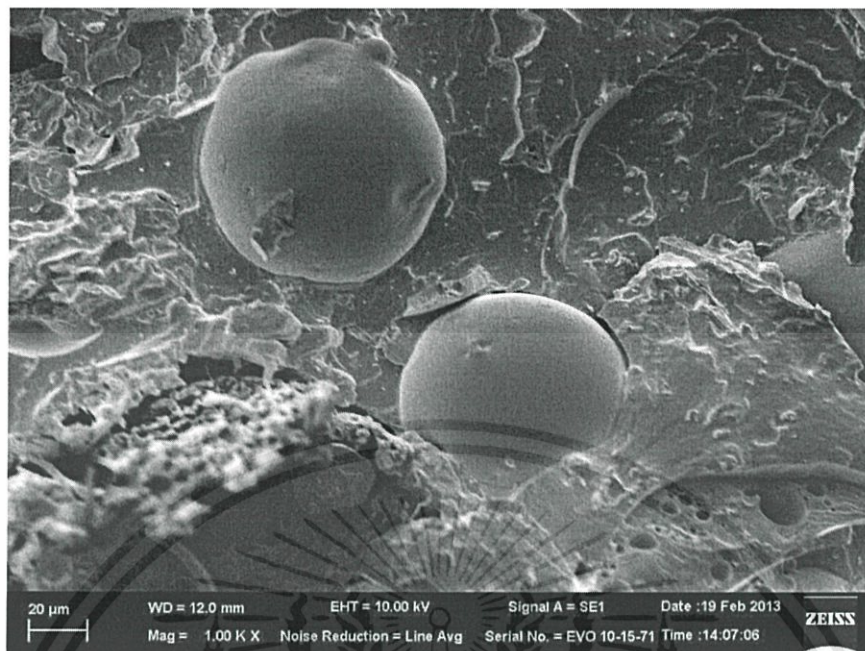


(ก) กำลังขยาย 200 เท่า



(ข) กำลังขยาย 500 เท่า

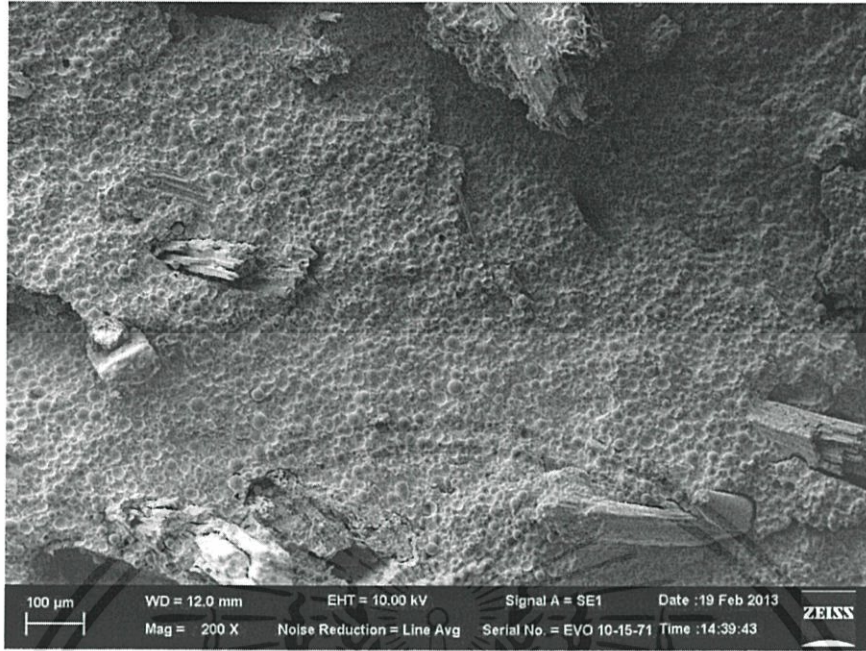
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



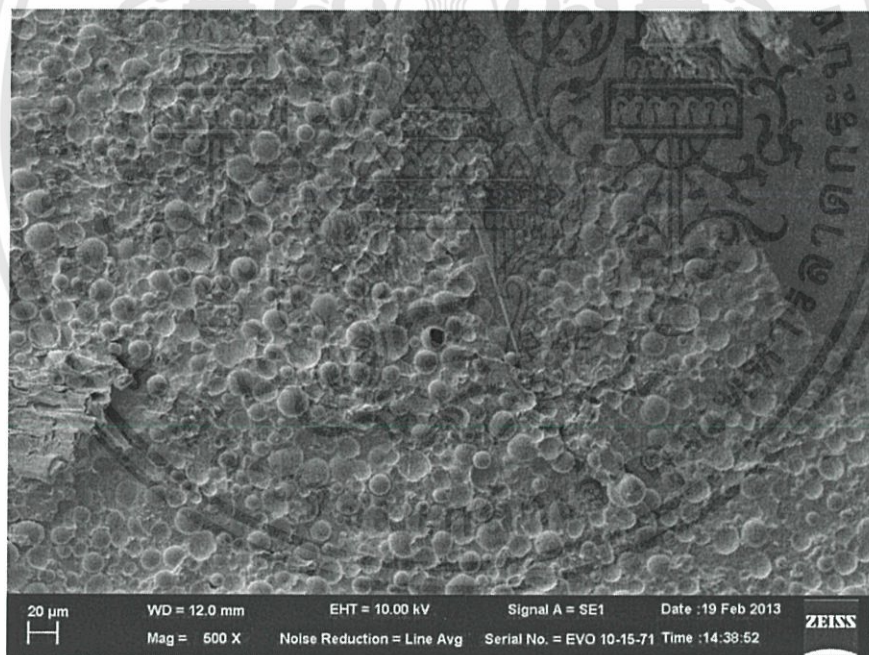
(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า

รูปที่ 4.27 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใย
 ใยแก้วและเม็ดแก้วลวงเกรด W300 ที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด

จากรูปที่ 4.27 แสดงภาพ SEM ของวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกที่เตรียมได้จาก LDPE และ
 เส้นใยใยแก้วและเม็ดแก้วลวงเกรด W300 ที่กำลังขยาย 200 เท่า 500 เท่า และ 1,000 เท่า (แสดง
 ตามภาพ (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ) จากภาพพบว่าเม็ดแก้วลวงมีการกระจายตัวที่ดี แต่ปริมาณ
 เม็ดแก้วลวงที่พบมีปริมาณน้อยกว่าภาพ SEM ที่เติมเม็ดแก้วลวงเกรด S60 และ iM30K (รูปที่
 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าเม็ดแก้วลวงเกรด W300 ไม่สามารถทนแรงเฉือนที่เกิด
 จากเครื่องฉีดขึ้นรูปได้ ทำให้เม็ดแก้วลวงเกรด W300 ส่วนใหญ่แตก จึงส่งผลให้ชิ้นงานลดความ
 แน่นลงได้น้อยกว่าเม็ดแก้วลวงเกรด S60 และ iM30K

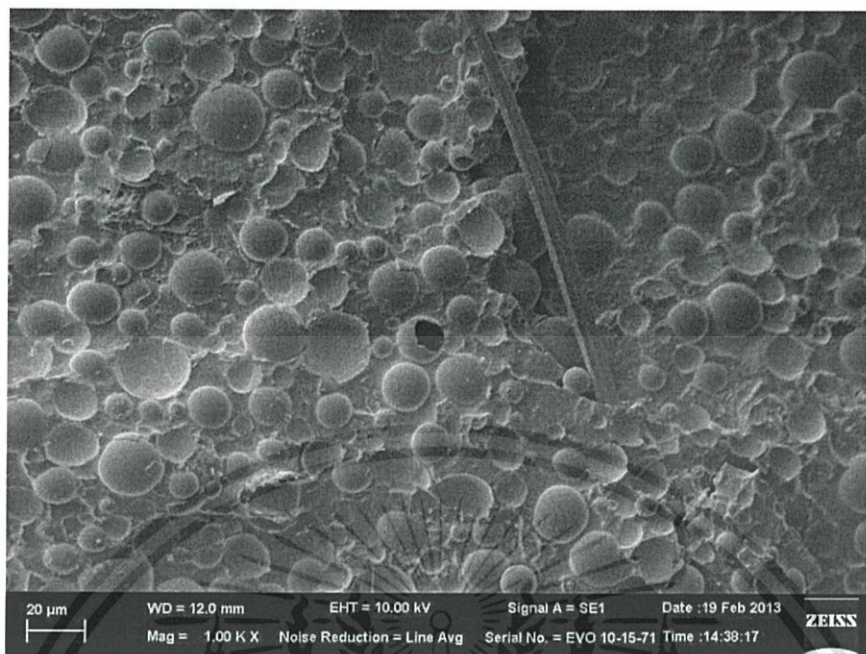


(ก) กำลังขยาย 200 เท่า



(ข) กำลังขยาย 500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า

รูปที่ 4.28 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของ WPC ที่เตรียมจาก LDPE ผสมเส้นใย หนุ่ยแปะและเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K ที่ปริมาณ 40% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด

จากรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.28 แสดงภาพ SEM ที่มีปริมาณเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K ที่ 20% และ 40% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่า จะพบรอยแตกของเม็ดแก้วกลวงที่ 40% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด เนื่องจากปริมาณเม็ดแก้วกลวงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ของผสมมีความเหนียวสูงขึ้น อีกทั้งกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นกระบวนการฉีดขึ้นรูปซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้แรงดันสูงในการขึ้นรูป ทำให้เม็ดแก้วกลวงได้รับแรงเฉือนที่สูงจึงอาจเกิดการแตกระหว่างการขึ้นรูปได้

จากรูป SEM จะสามารถสังเกตเห็นรอยการหลุดออกของเม็ดแก้วกลวงอยู่ทั่วไป แสดงให้เห็นถึงการยึดติดกันที่ไม่ดีระหว่างเม็ดแก้วกลวงกับพอลิเมอร์ ทำให้เม็ดแก้วกลวงสามารถหลุดออกได้ง่าย รวมทั้งจะเห็นถึงโพรงอากาศที่อยู่ภายในชิ้นงาน ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการผลิตที่อาจมีอากาศหลุดลอยอยู่ภายในชิ้นงาน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลบางประการลดลงได้ ดังนั้นเม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K ที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมดจึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปขึ้นรูปเป็น WPC

4.5 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC) จะทำการศึกษาถึงอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และองศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก และค่าองศาความเป็นผลึกจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ของ WPC สูตรเบา

สูตร	Melting Temperature, T_m (°C)	Degree of Crystallinity (%)
iM30K	111.9	45.4
S60	109.0	37.7
W300	110.3	36.3

อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิที่ทำให้ผลึกเกิดการหลอมเหลว โดยจะสัมพันธ์กับขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น เช่น ผลึกที่มีขนาดเล็กจะมีค่า T_m ต่ำ เป็นต้น จากการทดลองสมบัติทางความร้อน พบว่าค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกมีค่าไม่ต่างกันมาก เมื่อพิจารณาจาก T_m อาจกล่าวได้ว่าขนาดของผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน ค่าองศาความเป็นผลึกซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของผลึกที่เกิดขึ้น พบว่า เม็ดแก้วกลวงชนิด iM30K มีปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นมากกว่า S60 และ W300 เนื่องจาก iM30K มีขนาดเล็กที่สุดจึงสามารถเกิดผลึกได้มากกว่าเม็ดแก้วกลวงชนิดอื่นๆ ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลในด้านมีความแข็งแรงกว่าและการรับแรงได้ดี รองลงมาคือเม็ดแก้วกลวงเกรด S60 และสุดท้ายเป็นเม็ดแก้วกลวงเกรด W300

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และเส้นใยหญ้าแฝก โดยเป็นการศึกษาเพื่อหาสูตรผสมไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต (WPC) ที่เหมาะสมและมีโอกาสที่จะสามารถนำไปขึ้นรูปเป็น WPC ได้ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะทำการผสมสูตรด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง นำไปบดและทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเทคนิคแบบฉีดขึ้นรูป ชิ้นงานที่ได้จะนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ความหนาแน่น และสัณฐานวิทยา แล้วจึงสรุปผลที่ได้เป็นสูตรเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเป็น WPC

จากงานวิจัยนี้พบว่าสูตรผสมของ WPC ใช้อัตราส่วนของพอลิเมอร์ LDPE ต่อเส้นใยหญ้าแฝกที่ 70:30 เม็ดแก้วกลวงเกรด iM30K ที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด โดยใช้สารคู่ควบไซเลนที่ 3% ของเม็ดแก้วกลวง สามารถขึ้นรูปได้และมีสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาดังต่อไปนี้ที่มีผลต่อสมบัติของ WPC โดยสามารถสรุปผลวิจัยได้ดังนี้

- ผลของสารคู่ควบไซเลน

- การใช้ปริมาณสารคู่ควบไซเลนที่ 3% ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าไม่ใส่สารคู่ควบไซเลนเล็กน้อย ดังนั้นการไม่ใส่ไซเลนจึงดีกว่าการใส่ไซเลน อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

- เมื่อใส่สารคู่ควบไซเลนทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตไม้พลาสติกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการยึดเกาะที่ดีขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงและความหนาแน่น

- ผลของปริมาณเม็ดแก้วกลวง

- เมื่อปริมาณเม็ดแก้วกลวงเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก ความหนาแน่น องศาความเป็นผลึกลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรง

- เมื่อปริมาณเม็ดแก้วกลวงเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณถึง 30% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด

- ปริมาณของเม็ดแก้วกลวงที่เหมาะสมคือ 20% โดยน้ำหนักของผสมทั้งหมด

- ผลของชนิดเม็ดแก้วกลาง
 - เม็ดแก้วกลางชนิด iM30K เหมาะสมในการผลิตขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถลดความหนาแน่นของชิ้นงานได้มากที่สุดและยังคงสมบัติโดยรวมดีที่สุด โดยที่เม็ดแก้วกลางยังไม่แตก
- ต้นทุนการผลิต
 - เมื่อเติมเม็ดแก้วกลางลงไปชิ้นงาน WPC ด้วยความหนาแน่นที่น้อยกว่า เม็ดแก้วกลางจะช่วยเพิ่มปริมาณของชิ้นงานที่ได้ให้มีจำนวนมากขึ้น ต้นทุนการผลิตจึงลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ปรับปรุงสมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตให้มีสมบัติที่ใกล้เคียงกับไม้จริง และควรมีการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์จริงและทดสอบการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์
- ศึกษาสมบัติอื่นๆ ของไม้เทียมที่ผลิตขึ้นได้เพิ่มเติม เช่น อายุการใช้งาน ความทนทานต่อดินฟ้าอากาศ ความเป็นฉนวน รวมทั้งการแตกและการบวมของเม็ดแก้วกลาง
- ศึกษาไม้เทียมจากเส้นใยหญ้าแฝกโดยใช้พอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] อธิพิพล แจ่มซัด. “ไม้เทียมWPC”. กรุงเทพฯ. เอกสารประกอบการศึกษา : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] อธิพิพล แจ่มซัด. “พอลิเมอร์คอมโพสิต”. กรุงเทพฯ. เอกสารประกอบการศึกษา : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] สมชาติ รุ่งอินทร์. “ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับงานวิเคราะห์ทดสอบเยื่อและกระดาษและคำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทดสอบ”. กรุงเทพฯ. ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษกองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2528.
- [4] A.K. Bledzki and J.Gassan. “Composites reinforced with cellulose based fibers”. Prog.Polym.Sci.,vol.24, 1999. pp.221-274.
- [5] W.B. Banks and J.M.Lawther. “Derivatization of Wood in Composition in Cellulose”. Polymers Blends and Composites, Hanser Publishers, New York, 1994. pp 131-153.
- [6] J.I. Kroschwitz. “Encyclopedia of Polymer Science and Engineering”. 2 nded. New York : John-Wiley & Sons. 1990.
- [7] สุชาติ ไทยพีเชอร์. “ไม้ : วัสดุจากธรรมชาติ”. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 2541.
- [8] วรธรรม อุ่นจิตติชัย. “วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก”. ชุดโครงการวิจัยเรื่องการวิจัยและพัฒนาปฏิสัมพันธ์ของหญ้าแฝกกับปลวกเพื่อสนองพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เพื่อเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม : โครงการที่ 1. 2545.
- [9] WorathamOonjitichai, SongklodJarusomburi, IttipolJangchud, CharatChuayna, and PhornphimolAmornchot. “Biological Composites from Vetiver Grass as Wood Material Substitute”. การประชุมป่าไม้ประจำปี 2545 ด้านวัสดุทดแทนไม้, วันที่ 18-20 กันยายน 2545, หน้า 1-16.
- [10] F.W. Billmeyer, Textbook of Polymer Science, John Willey & Sons, New York, 1984.
- [11] J.I Kim., S.H Ryu and Y.W Chang.J.Apply. Polym. Sci. vol. 77, 2000. pp. 2595-2602.
- [12] เอกสารบริษัท TOA UNI CHEMICAL MANUFACTURING, LTD. 2546.
- [13] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. “สารปรับแต่งพอลิเมอร์”. กรุงเทพฯ : นู๊คเน็ท. 2547.
- [14] เอกสารบริษัท ออฟติมอลเทค จำกัด. 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Sonia, M.B. Nachtigall, Graziela S. Cerveira, Simone M.L. Rosa. **“New polymeric-coupling agent for polypropylene/wood-flour composites”**. Polymer Testing, 26, 2007, 619-628.
- [16] Magnus Bengtsson, Kristiina Oksman. **“Silanecrosslinked wood plastic composites : Processing and properties”**. Composites Science and Technology, 66, 2006, 2177-2186.
- [17] J. George, K. Joseph, S. Thomas, and S.S. Bhagavan. **“Mechanical and Viscoelastic Properties of short Pineapple Fiber Reinforced Low Density Polyethylene Composites”**. PolymSci., 2ed, 1995.
- [18] B.V. Kokta, D. Maldas, C. Daneault, and P. Beland. **“Composites of Poly(vinyl chloride) and Wood Fibers”**. Polym Compos., Vol.11, NO.2, 1990.
- [19] Kokta, B.V. et.al. **“Use of Wood Flour as Filler in Polypropylene : Studies on Mechanical Properties”**. Poly.-Plast.Technol.Eng., 28(3), 1989, 247-259.
- [20] Joseph, K.; Thomas,S.; Pavithran,C. **“Tensile Properties of Shor Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites”**. J.Appl.Polym.Sci.,47, 1993, 1731-1739.
- [21] George, J. et.al. **“Mechanical and Viscoelastic Properties of Shor Pineapple Fiber Reinforced Low-Density Polyethylene Composite”**. Polymer Science Recent Advances, (Bharwaj,I.S.ed.) Allied Publishers Limited, India, 1994.
- [22] Rodney, J.S. et.al. **“Composite Materials from Recycled Miltilayer Polypropylene Bottles and Wood Fiber”**. American Chemistry Society.,1992, 232-240.
- [23] Nagaty, A. et.al.,J.Apply.Polym.Sci., 21, 1983, 715.
- [24] Yam. K.L.,et.al. **“Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled HDPE”**. PolymEng.Sci.,30(11), 1990, 693-700.
- [25] Raj, R.G. et.al. **“Use of Wood Fiber as a Filler in Polyethylene : Studies on Mechanical Properties”** Plastic and Rubber Processing and Application., 11, 1989, 215-221.
- [26] Woodhams, R.T. et.al. **“Wood Fiber as Reinforcing Filler in Polyethylene : Studies on Mechanical Properties”**. Polym. Eng. Sci. 24(15), 77-81.
- [27] อไพพรรณ รัตนพันธ์. **“สมบัติทางกลและสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์”**. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 8 ฉบับที่ 3, กันยายน – ธันวาคม, 2555.

- [28] ชารทิพย์ เขมะศิริ สุภาวดี ขาวนวลและอมรา ขวดบา. “วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและพอลิเอเลฟินส์:พีพีและเอชดีพีอี”. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [29] เฉลิมพล อธิธิวิวัฒน์และสกุล บรรจงวุฒิ. “การใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิเอทิลีน”. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.
- [30] พิชัย จงสกุลชัยและศิริพงษ์ ไรจน์วีระ. “วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน”. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2533.
- [31] ปิยะวัน ตั้งควรรณวานิช. “การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากไผ่ (ไผ่สีสุก)”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
- [32] รัชดา ขวัญตุน. “คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วและเส้นใยอ้อย”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
- [33] นวกรณ์ อนันตรنوانิชย์, นุชรี ปัญจะผลินกุลและพัชรี มณฑาทิพย์. “การศึกษาไม่เทียมคอมโพสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน (PP) และเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)”. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.
- [34] วรณิยา ชาญณรงค์. “ผลของปริมาณไม้และพลาสติกไซเบอร์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตจากเส้นใยไม้อย่างพาราและพีวีซี”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [35] สมภพ เลิศศักดิ์กนกกุล. “ไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) และเส้นใยยูคาลิปตัส”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.
- [36] ปิยะวรรณ เจียวก๊กและพงษ์ศักดิ์ แพน้อย. “การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตไม้เทียมจากพอลิพรอพิลีนและไม้ยูคาลิปตัส”. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.

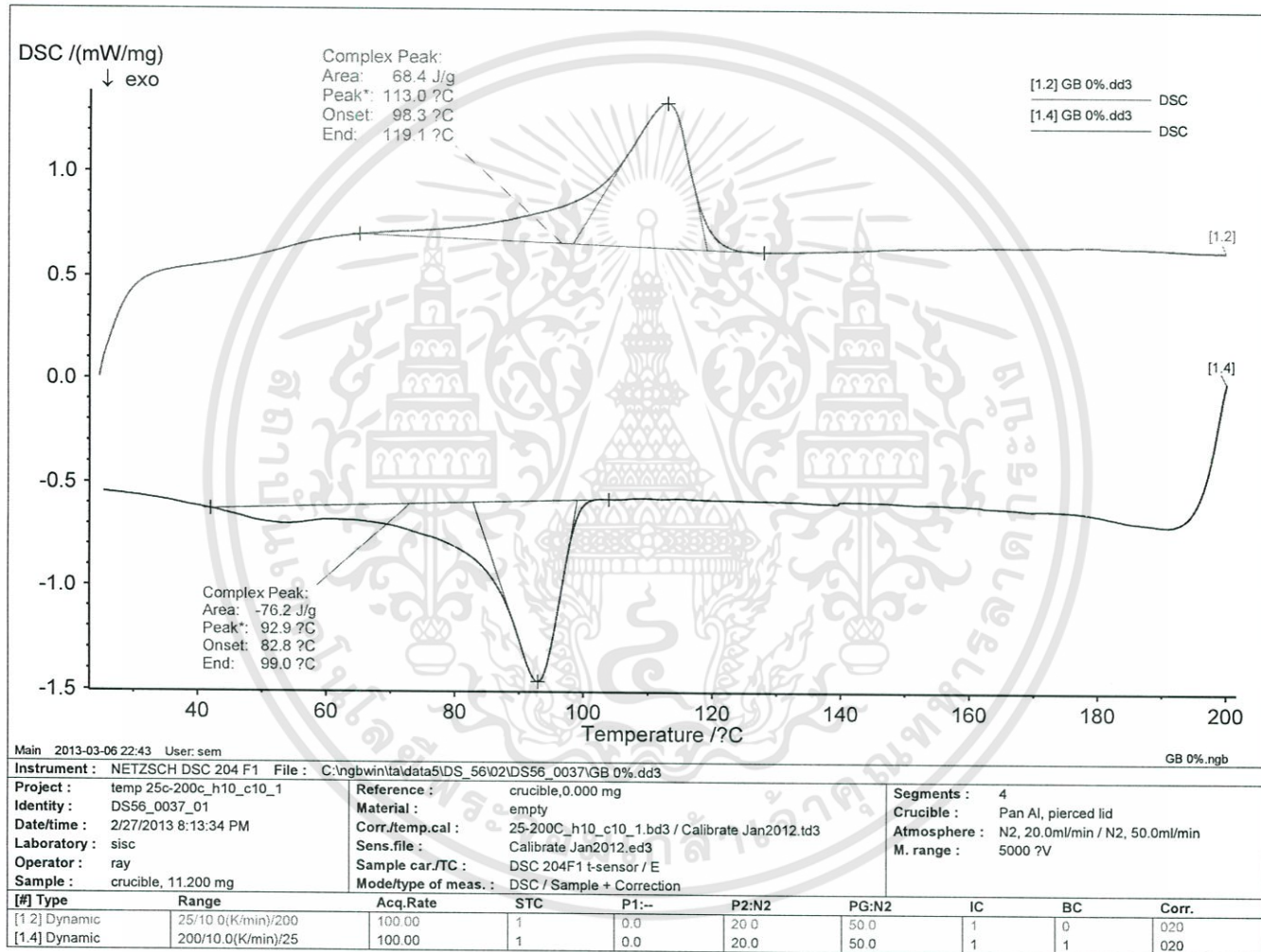
- [37] วีรพัฒน์ อุณหโชคและพจนีย์ ศรธรรมลี. “การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเส้นใยผักตบชวา”. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [38] ฌภัทรพงศ์ สุวรรณชัยและณัฐพร เด่นนินนาท. “การใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบลวงเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน”. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.
- [39] C. Chuai, K. Almdal, Poulsen, L. David and D. Plackett, “**Conifer Fiber as Reinforcing Materials for Polypropylene-Based Composites.**” J.Appl.Polym.Sci., vol. 80, no. 14, 2001. pp. 2833-2840
- [40] ASTM D 638. “Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric).” Philadelphia : **American Society for Testing and Materials.** 1993.
- [41] ASTM D 256. “Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials.” Philadelphia: **American Society for Testing and Materials.** 1993.
- [42] ASTM D 790. “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.” Philadelphia : **American Society for Testing and Materials.** 1993.
- [43] ASTM D 785. “Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastic and Electrical Insulation Materials.” Philadelphia : **American Society for Testing and Materials.** 1993.
- [44] เกตุดาว ชวลิตดำรง สาลิกัก บัวเจริญและสิญาภา เอ็มแฮมม. “การเตรียมวัสดุประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแคลเซียมซิลิเกต”. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.



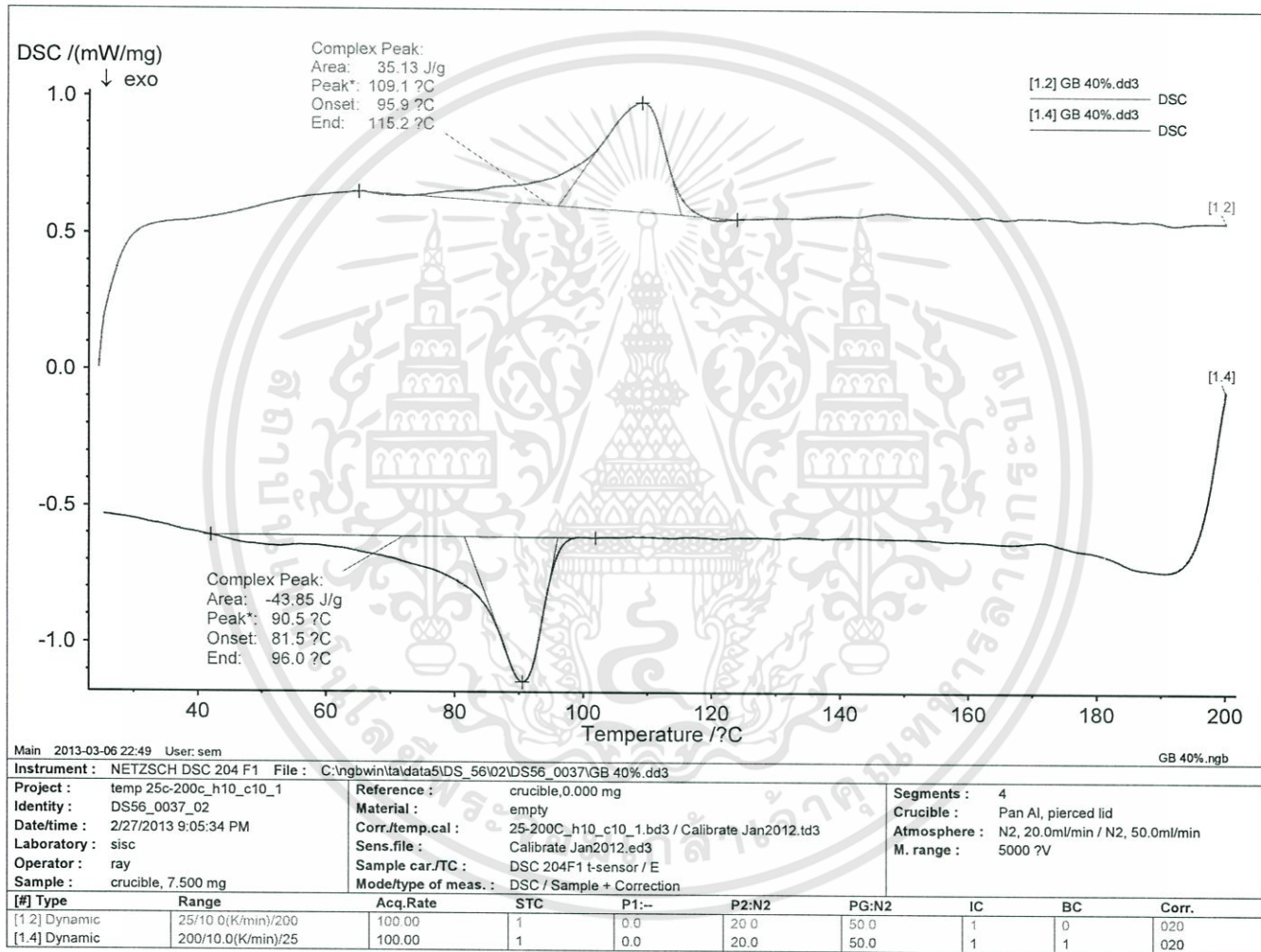
ภาคผนวก ก

กราฟ DSC

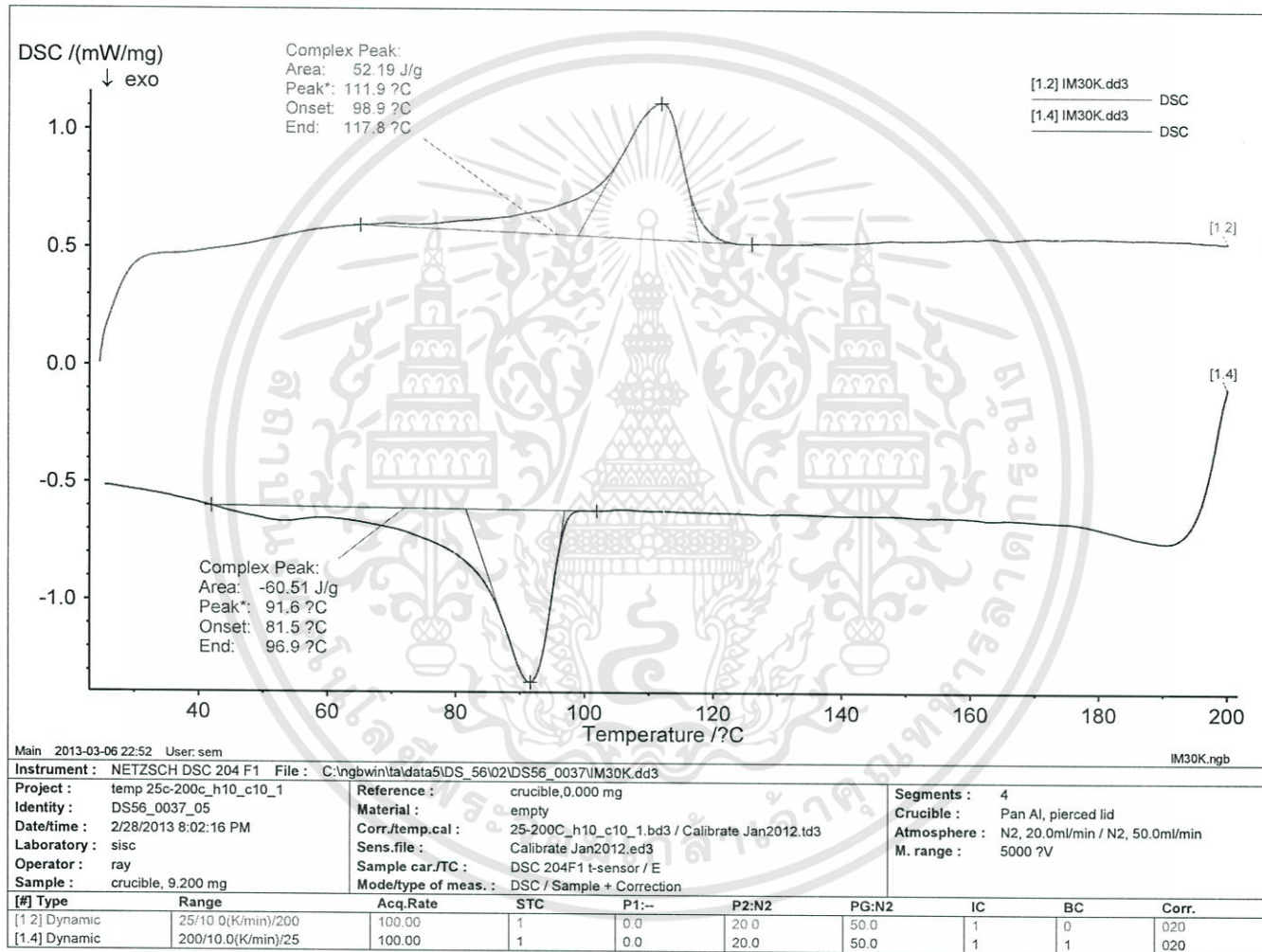
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



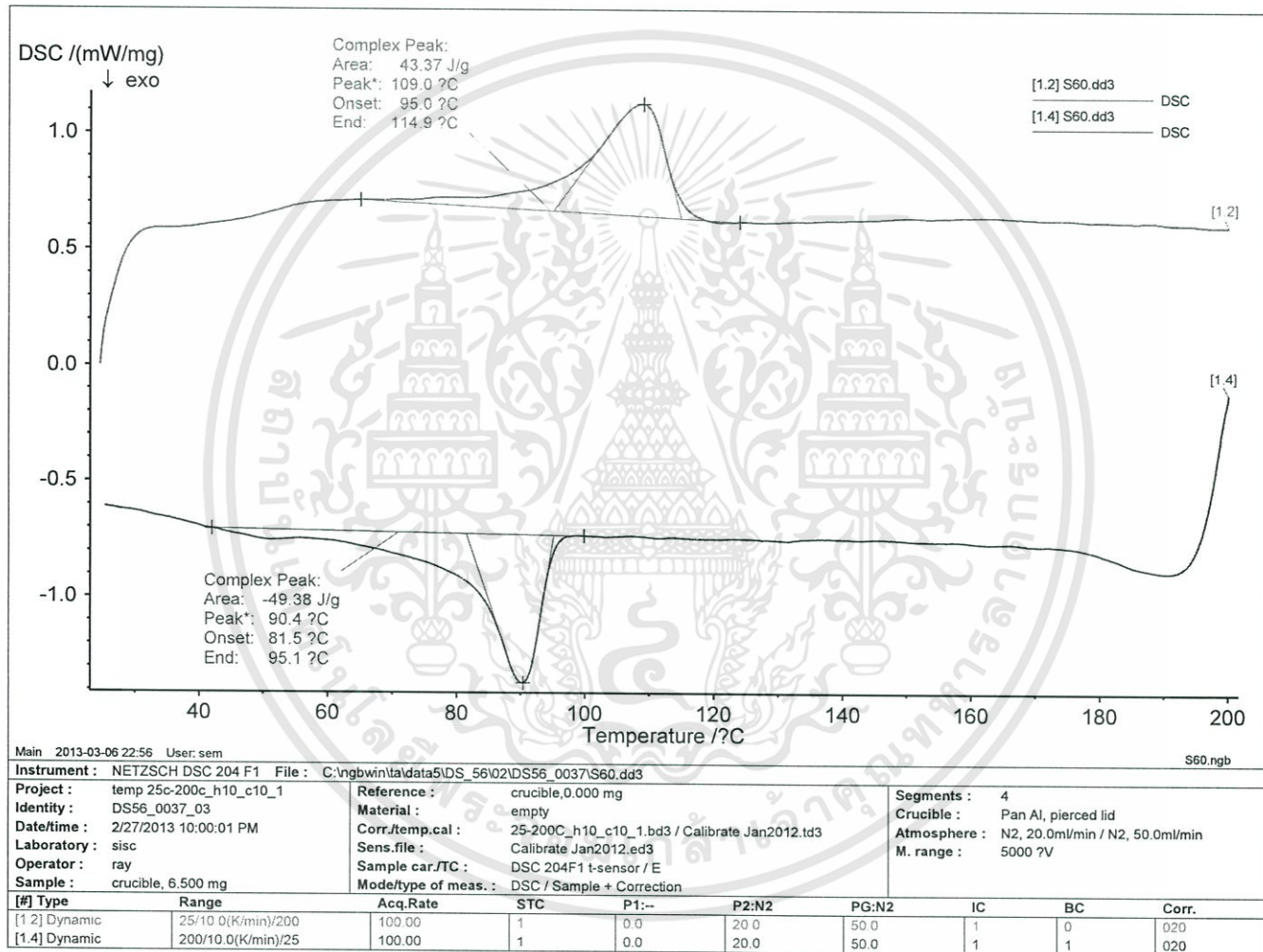
รูปที่ 1 กราฟจากเครื่อง DSC ของ Glass bubble 0%



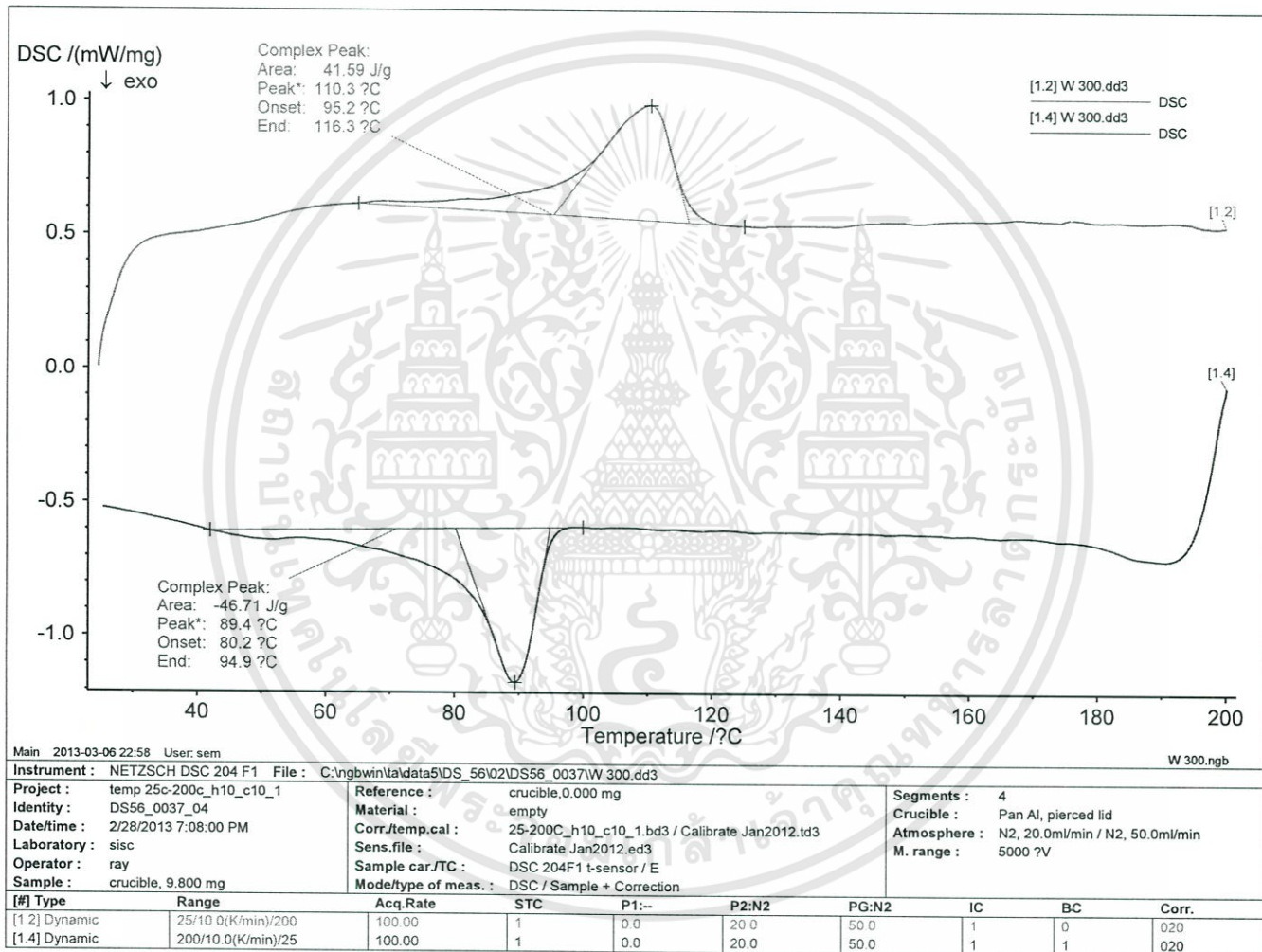
รูปที่ 2 กราฟจากเครื่อง DSC ของ Glass bubble 40%



รูปที่ 3 กราฟจากเครื่อง DSC ของ Glass bubble เกรด iM30K




รูปที่ 4 กราฟจากเครื่อง DSC ของ Glass bubble เกร็ด S60



รูปที่ 5 กราฟจากเครื่อง DSC ของ Glass bubble เกรด W300



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NEW Performance Additives
iM30K

**Product
Information**

INTRODUCTION

3M® Performance Additives iM30K are new, high-strength polymer additives made from a water-resistant and chemically-stable soda-lime-borosilicate glass. These hollow glass microspheres can be used as a low density filler material ideal for plastic and rubber parts created from injection molding, extrusion processes, and/or other vigorous processing equipment (e.g., Banbury mixers, etc.), offering improved processing over many conventional fillers.

3M iM30K additives help to reduce weight, improve abrasion resistance, reduce thermal expansion, increase surface hardness and contribute to material and process cost savings. They are ideal additive materials in the automotive, heavy truck, aerospace, electrical, electronics, appliance and durable goods industries, as well as in construction products such as polymer/wood composites and siding – helping not only to reduce part weight, but also to improve dimensional stability.

MATERIAL DESCRIPTION	Properties	3M® Performance Additives iM30K	
	Shape	Hollow spheres with thin walls	
	Composition	Soda-lime-borosilicate glass	
	Color, Unaided Eye	White, powdery	

TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES <small>Not for specification purposes</small>	Properties	3M® iM30K Additives	Test Method
	Isostatic crush strength (psi)	28,000 psi	3M OCM 14.1.B
	True density	2.60 g/cc	3M OCM 14.24.1
	Packing factor (bulk density to true particle density)	82%	
	Oil absorption	33.5 g oil/100 cc of polymer additive	ASTM D282-84
	Softening point	600°C	
	Flocculation (density < 1.0 g/cc)	90% (in volume)	3M OCM 37.2
	Volatile content	0.5 % max. (by weight)	3M OCM 1.5.7
	Alkalinity	0.5 milliequivalents /gram max.	3M OCM 95.19
	pH	9.5 at 5% loading in water	ASTM D3100-1982
	Diameter (average)	18 microns	3M OCM 193.0

รูปที่ 6 แสดงข้อมูลของเม็ดแก้วกลวง (Glass bubble) เกรด iM30K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3M

Scotchlite™

Glass Bubbles

S60/10000

Product
Information

Introduction

3M™ Scotchlite™ Glass Bubbles S60/10000 are new high-strength, polymer additives made from a water-resistant and chemically-stable soda-lime-borosilicate glass. These hollow glass microspheres can be used as a low density filler material ideal for plastic and rubber parts created from injection molding, extrusion processes, and/or other vigorous processing equipment (Barbury mixers, etc.).

Scotchlite glass bubbles help to reduce weight, reduce noise, vibration, and harmonics; reduce thermal expansion; and contribute to cost savings. They are ideal additive materials in the automotive, truck, rail and aerospace industries.

Material Description

Not for specification purposes	Properties	S60/10000
	Shape	Hollow spheres with thin walls
	Composition	Soda-lime-borosilicate glass
	Color, unaided eye	White, powdery

Typical Physical Properties

Not for specification purposes	Properties	Scotchlite Glass Bubbles S60/10000	Test Method
	Isostatic crush strength (psi)	10,000 psi	3M QCM 14.1.8
	True density	0.60 g/cc	3M QCM 14.24.1
	Packing factor (bulk density to true particle density)	63%	
	Oil absorption	33.5g oil/100 cc of polymer additive	ASTM D282-84
	Softening point	600°C	
	Flotation (density<1.0 g/cc)	92% (in volume)	3M QCM 37.2
	Volatile content	0.5 % max. (by weight)	3M QCM 1.5.7
	Alkalinity	0.5 milliequivalents /gram max.	3M QCM 55.19
	pH	9.5 at 5% loading in water	ASTM D3100-1982
	Diameter (average)	30 microns	3M QCM 193.0

รูปที่ 7 แสดงข้อมูลของเม็ดแก้วกลวง (Glass bubble) เกรด S60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chemical and physical properties	WM	W300	W150	W125	W100
	Colour	light grey	light grey	light grey	light grey
Bulk weight g/L	350 - 420	360 - 460	370 - 440	350 - 450	350 - 450
Bulk volume mL/kg	2361-2657	2174 - 2778	2273 - 2703	2222 - 2857	2222 - 2857
pH-value	7.0 - 9.9	7.0 - 9.9	7.0 - 9.9	7.0 - 9.9	7.0 - 9.9
Density g/cm ³	0.70 - 0.80	0.70 - 0.80	0.70 - 0.80	0.70 - 0.80	0.70 - 0.80
Wall thickness %	10	10	10	10	10
Melting point °C	1500 - 1600	1500 - 1600	1500 - 1600	1500 - 1600	1500 - 1600
Hardness/Mohs	5 - 6	5 - 6	5 - 6	5 - 6	5 - 6
Compression strength MPa	25	25	25	25	25
Specific thermal conductivity Wm ⁻¹ K ⁻¹	<<0,09	<<0,09	<<0,09	<<0,09	<<0,09
Thermal expansion coefficient K ⁻¹	8x10 ⁻⁶	8x10 ⁻⁶	8x10 ⁻⁶	8x10 ⁻⁶	8x10 ⁻⁶
Particle size distribution µm	10 - 300	10 - 300	10 - 160	10 - 150	10 - 125
Average particle size µm	150 - 180	100 - 130	70 - 90	60 - 90	50 - 80
"sinker-rate" volume %	0 - 5	0 - 5	0 - 10	0 - 10	0 - 10
Chemical composition	percentages by mass %	percentages by mass %	percentages by mass %	percentages by mass %	percentages by mass %
SiO ₂	56 - 58	56 - 58	56 - 58	56 - 58	56 - 58
Al ₂ O ₃	34 - 37	34 - 37	34 - 37	34 - 37	34 - 37
Fe ₂ O ₃	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
TiO ₂	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5
Free quartz content	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

<p>OMEGA MINERALS Germany GmbH, Rugenbarg 63a, D-22848 Nordenstedt E-Mail: information@omegaminerals.com, Phone: +49-(0)40-52870770, Telefax: +49-(0)40-52870771 Internet: www.omegaminerals.com</p> <p><i>All this information are from our best knowledge and conscience but without warranty</i></p>

รูปที่ 8 แสดงข้อมูลของเม็ดแก้วกลาง (Glass bubble) เกรด W300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Physical Properties	
	Silquest A-151 Silane
Appearance	Colorless to Light Straw
Specific Gravity at 25/25°C	0.91
Refractive Index n_D 25°C	1.397
Flash Point, Tag Closed Cup, °C (°F)	44 (111)
Boiling Point, °C (°F)	160.5 (321)

รูปที่ 9 แสดงข้อมูลของสารคู่ความไซเลน (Silane Coupling agent) Vinyltriethoxy

Silane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้