



การปรับปรุงความแข็งแรงของไม้พลาสติกจากไม้ปาล์ม

The Strength Improvement of Wood Plastic Composites from Oil Palm Wood

ณัฐชญาภา ธนวัฒนาศิริกุล

Natchayapa Thanawattanasirikul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering
Prince of Songkla University**

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงความแข็งแรงของไม้พลาสติกจากไม้ปาล์ม
ผู้เขียน นางสาวณัฏฐ์ชญาภา ธนวัฒนาศิริกุล
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ รัตนวิไล)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ รัตนวิไล)

.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กลางเดือน โพนนา)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กลางเดือน โพนนา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล)

.....กรรมการ

(ดร.พรรณนิภา เชาวนะ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
อุตสาหกรรมและระบบ

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงความแข็งแรงของไม้พลาสติกจากไม้ปาเลียม
ผู้เขียน นางสาวณัฏฐ์ชญาภา ธนวัฒนาศิริกุล
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและผลิตวัสดุไม้พลาสติกจากไม้ปาเลียมและพลาสติกเหลือใช้ เพื่อเพิ่มคุณค่าของวัสดุเหลือใช้ซึ่งนับได้ว่าเป็นการช่วยประหยัดทรัพยากรในทางอ้อม อีกทั้งไม้ปาเลียมยังเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น โดยจะนำผงไม้ปาเลียมมาผสมกับเศษผงพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งได้มาจากขวดน้ำดื่มขาวขุ่นใช้แล้วและมีการใช้สารเติมแต่งคือ มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (MA) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารช่วยผสม โดยวัตถุดิบทั้งหมดจะถูกผสมกันในอัตราส่วนระหว่างผงไม้กับ HDPE และ MA ที่ 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 2500 psi แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานของ ASTM โดยจะใช้ตัวอย่างในการทดสอบจำนวน 5 ชิ้นตัวอย่างต่อการหนึ่งการทดสอบ จากผลการทดลองพบว่า ความแข็ง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของเศษพลาสติกและอุณหภูมิในการขึ้นรูป ซึ่งแสดงถึงการปรับปรุงและเพิ่มความแข็งแรงให้กับไม้พลาสติก โดยที่สัดส่วน 30:67:03 ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้าพบว่า ไม้พลาสติกมีความแข็งแรงดึงและการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงกว่าไม้เทียมทางการค้า แต่ความแข็งและความแข็งแรงกดย่นกว่าไม้เทียมทางการค้า ส่วนความแข็งแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับไม้เทียมทางการค้า จากนั้นได้ทำการสร้างผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด แล้วทดสอบชิ้นงานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพบว่า ชิ้นงานผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม และมีต้นทุนค่าวัสดุและค่าไฟฟ้าเท่ากับ 54.35 บาทต่อชิ้น โดยชิ้นงานไม้พลาสติกมีขนาด 20 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร

Thesis Title The Strength Improvement of Wood Plastic Composites from Oil Palm Wood
Author Miss Natchayapa Thanawattanasirikul
Major Program Industrial and Systems Engineering
Academic Year 2011

Abstract

The purpose of this research was to study and produce wood plastic composites material from palm wood and waste plastic to increase the value of excessive material which could save resource indirectly. Palm wood is a local material which is easy to obtain. Palm wood flour was combined with high density polyethylene (HDPE) dust from waste drinking water bottles and maleic anhydride (MA), used as an additive for a compatibilizer. Various weight ratios of wood flour, HDPE and MA were 50:47:03, 40:57:03 and 30:67:03. The mixed materials were manufactured by a hot-press method at temperatures 130, 150 and 170 °C pressure of 2,500 psi and investigated the mechanical properties of the composites material according to the american society for testing and materials (ASTM) method with 5 replications. The experimental results were found that hardness, flexural strength, tensile strength, compressive strength and impact energy absorption were increased with an increasing of the ratio of HDPE and forming temperature which mean to increase the strength and improvement of wood plastic. The best mechanical property of wood plastic was 30:67:03 at 170 °C. By comparing the best mechanical properties with the commercial wood plastic (CWP), it was found that the value of tensile strength and impact energy absorption of wood plastic was higher than that of CWP but the value of hardness and compressive strength was lower. However, the value of flexural strength was similar to CWP. Subsequently, the example product was produced and tested according to the thai industrial standard (TIS) method which passed. The materials cost and electric energy cost was 54.35 bath per piece and size of wood plastic was 20 mm x 60 mm x 300 mm.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณยิ่งสำหรับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ รัตนวิไล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กลางเดือน โภชนา ผู้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งทำให้การเขียนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และดร.พรพรรณนิภา เขาวณะ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาแนะนำท้วงติงและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์เพิ่มเติม อันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย พร้อมให้คำแนะนำที่ดีในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณความดีทั้งหมดจากการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้แต่บิดา มารดา และครอบครัวที่ให้การดูแลเลี้ยงดูเป็นอย่างดี ครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้วิชาความรู้และปลูกฝังคุณธรรม จริยธรรม นักศึกษาปริญญาโท รวมทั้งบุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่าน สำหรับคำแนะนำและกำลังใจจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

ณัฐชญาภา ชนวัฒนาศิริกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการรูปภาพ	(11)
สารบัญคำย่อ	(14)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์	11
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	11
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	12
2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	13
2.1 วัสดุคอมโพสิต	13
2.1.1 องค์ประกอบของวัสดุคอมโพสิต	14
2.1.2 ชนิดของวัสดุคอมโพสิต	15
2.1.3 คอมโพสิตจากไม้	16
2.2 ไม้ปาเล่	16
2.3 เส้นใยธรรมชาติ	17
2.3.1 องค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติ	19
2.3.2 ตัวอย่างเส้นใยธรรมชาติ	21
2.4 พลาสติก	22
2.4.1 คุณสมบัติของพลาสติก	23
2.4.2 ประเภทของพลาสติก	23
	(6)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2.1 Thermosetting plastics	23
2.4.2.2 Thermoplastics	24
2.4.3 ขยะพลาสติก	31
2.5 สารเติมแต่ง	36
2.6 ไม้พลาสติก	40
2.6.1 ข้อดีของไม้พลาสติก	41
2.6.2 ข้อด้อยของไม้พลาสติก	42
2.6.3 กระบวนการขึ้นรูปของไม้พลาสติก	42
2.6.3.1 Compression molding	43
2.6.3.2 Injection molding	46
2.6.3.3 Extrusion molding	47
2.7 แม่พิมพ์หรือแบบพิมพ์ (Molding)	49
2.7.1 Open flash mold	49
2.7.2 Positive mold	49
2.7.3 Semi positive mold	50
3. วิธีการวิจัย	51
3.1 วัสดุ และสารเคมี	51
3.1.1 วัสดุ	51
3.1.2 สารเคมี	52
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	53
3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย	58
3.3.1 กระบวนการดำเนินงานวิจัย	59
3.3.2 การเตรียมวัสดุ	60
3.3.3 การขึ้นรูปชิ้นงานไม้พลาสติก	62
3.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	63
3.3.4.1 ความแข็ง	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4.2 ความแข็งแรงดัด	64
3.3.4.3 ความแข็งแรงดึง	65
3.3.4.4 ความแข็งแรงกด	66
3.3.4.5 การดูดซับพลังงานแรงกระแทก	67
3.3.5 การสร้างไม้พลาสติกต้นแบบ	67
3.3.6 การทดสอบชิ้นงานไม้พลาสติกต้นแบบ	70
3.3.6.1 ความหนาแน่น	70
3.3.6.2 การดูดซับน้ำ	70
3.3.6.3 การพองตัวตามความหนา	71
3.3.6.4 ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว	72
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ	73
4. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	75
4.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	75
4.1.1 ผลของสมบัติความแข็ง	75
4.1.2 ผลของสมบัติความแข็งแรงดัด	83
4.1.3 ผลของสมบัติความแข็งแรงดึง	86
4.1.4 ผลของสมบัติความแข็งแรงกด	89
4.1.5 ผลของสมบัติการดูดซับพลังงานแรงกระแทก	91
4.2 ผลการสร้างไม้พลาสติกต้นแบบ	96
4.3 ผลการทดสอบชิ้นงานไม้พลาสติกต้นแบบ	97
4.3.1 ความหนาแน่น	98
4.3.2 การดูดซับน้ำ	99
4.3.3 การพองตัวตามความหนา	100
4.3.4 ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว	101
4.4 ต้นทุนการผลิต	102
5. บทสรุป	107

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผล	107
5.2 ข้อเสนอแนะ	109
5.2.1 ปัญหาในการทดลอง	109
5.2.2 งานวิจัยในอนาคต	109
บรรณานุกรม	110
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ	115
ภาคผนวก ข การคำนวณความแข็ง	143
ประวัติผู้เขียน	146

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สัดส่วนของปริมาณผงไม้ปาล์ม: เศษพลาสติก HDPE: MA	11
2.1	ลักษณะการใช้งานของพลาสติก และสัญลักษณ์ที่ใช้แทนพลาสติกแต่ละชนิด	25
2.2	ปริมาณร้อยละขององค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนในระดับภูมิภาค	33
2.3	ร้อยละของพลาสติกในองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชนใน กรุงเทพฯ และปริมณฑล	34
2.4	ตัวอย่างการใช้งานพลาสติกในบรรจุภัณฑ์	36
3.1	สัดส่วนและปริมาณของผงไม้ปาล์ม เศษพลาสติก HDPE และ MA	62
4.1	ผลการทดสอบความแข็ง	76
4.2	ผลการทดสอบความแข็งแรงคัต	83
4.3	ผลการทดสอบความแข็งแรงคิง	86
4.4	ผลการทดสอบความแข็งแรงกด	89
4.5	ผลการทดสอบการดูดซับพลังงานแรงกระแทก	92
4.6	การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกกับไม้เทียมทางการค้า	95
4.7	ความหนาแน่นของไม้พลาสติกต้นแบบ	98
4.8	การแบ่งประเภทของไม้ตามความหนาแน่น (g/cm^3)	98
4.9	การดูดซับน้ำของไม้พลาสติกต้นแบบ	99
4.10	การพองตัวตามความหนาของไม้พลาสติกต้นแบบ	100
4.11	ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียวของไม้พลาสติกต้นแบบด้านผิวหน้าและด้านขอบ	101
4.12	การเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของไม้พลาสติกต้นแบบกับมาตรฐาน มอก.876-2547 และไม้พลาสติกทางการค้า	102
4.13	ต้นทุนวัสดุของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ	103
4.14	ต้นทุนพลังงานของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ	104
4.15	ต้นทุนรวมของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ	105

รายการรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	การแบ่งประเภทของวัสดุ	13
2.2	ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน	15
2.3	โครงสร้างของไม้	18
2.4	โครงสร้างของเซลลูโลส	19
2.5	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	20
2.6	โครงสร้างของลิกนิน	20
2.7	โครงสร้างของ MA	38
2.8	ปฏิกิริยาแอนไฮโดรระหว่าง MAPP กับหมู่ไฮดรอกซิล	39
2.9	การจับตัวกันของ PP บน MAPP กับเมทริกซ์ PP	39
2.10	กระบวนการผลิตไม้พลาสติกโดยวิธีการอัดร้อน	44
2.11	ลักษณะของเบ้าและการอัดวิธี Compression molding	44
2.12	ลักษณะของเบ้าและการอัดวิธี Injection molding	46
2.13	ลักษณะของเบ้าและการอัดวิธี Extrusion molding	48
2.14	แม่พิมพ์แบบ Open flash mold	49
2.15	แม่พิมพ์แบบ Positive mold	50
2.16	แม่พิมพ์แบบ Semi positive mold	50
3.1	เศษผงพลาสติก HDPE	52
3.2	ผงไม้ปาล์ม	52
3.3	มาเลอิก แอนไฮไดรด์	53
3.4	ตู้อบ	54
3.5	เครื่องหลอม	55
3.6	เครื่องเจียรขัดผิว	55
3.7	เครื่องร่อน (Testing sieve shaker)	55
3.8	เครื่องปั่นผสม (Mixer)	56
3.9	เครื่องอัดแม่พิมพ์ไฮดรอลิก (Compression molding machine)	56
3.10	เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness testing machine)	56
3.11	เครื่องทดสอบเชิงกล (Mechanical testing machine)	57

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	เครื่องทดสอบไม้ (Universal wood testing machine)	57
3.13	แม่พิมพ์เหล็ก	58
3.14	เครื่องชั่งดิจิตอล	58
3.15	ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย	59
3.16	ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ	61
3.17	กระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อน (Hot pressing)	62
3.18	ชิ้นงานไม้พลาสติก สัดส่วนผงไม้ปาล์ม : HDPE :MA ที่ 50:47:03	63
3.19	การทดสอบความแข็ง	64
3.20	การทดสอบความแข็งแรงคัต	65
3.21	ชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบความแข็งแรงคิง	65
3.22	การทดสอบความแข็งแรงคิง	66
3.23	การทดสอบความแข็งแรงกด	66
3.24	การทดสอบการดูดซับพลังงานแรงกระแทก	67
3.25	ไม้พลาสติกก่อนการขัดแต่งผิว	68
3.26	ไม้พลาสติกหลังการขัดแต่งผิว	68
3.27	แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบผิวหน้าเรียบ	69
3.28	แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบมีร่อง	69
3.29	การทดสอบการดูดซับน้ำ	71
3.30	การทดสอบความยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว (ด้านผิวหน้า)	72
3.31	การทดสอบความยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว (ด้านขอบ)	72
4.1	ความแข็งของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียม ทางการค้า	77
4.2	การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ	79
4.3	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลจากกราฟพระฆังคว่ำ	79
4.4	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลจากค่า P-Value ของตัวแบบทางสถิติ	80
4.5	การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ	80

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ตาราง ANOVA	82
4.7	ความแข็งแรงดัดของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า	84
4.8	ความแข็งแรงดึงของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า	87
4.9	ปฏิกิริยาแอนไฮไดรระหว่าง MAPP กับหมู่ไฮดรอกซิล	88
4.10	ความแข็งแรงกดของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า	90
4.11	การดูดซับพลังงานแรงกระแทกของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า	93
4.12	แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบผิวหน้าเรียบ	97
4.13	แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบมีร่อง	97
4.14	ไม้ปูพื้นที่วางขายตามท้องตลาด	106

สารบัญย่อ

ABS	=	Acrylonitrile-butadiene-styrene
ASTM	=	American society for testing and materials
BS	=	British standard
CCA	=	Chromated copper arsenate
CWP	=	Commercial wood plastic
EVA	=	Ethylene vinyl acetate
HDPE	=	High density polyethylene
LDPE	=	Low density polyethylene
MA	=	Maleic anhydride
MAPP	=	Maleated polypropylene
MOE	=	Modulus of elasticity
MOR	=	Modulus of rupture
MPa	=	Mega-Pascal
N	=	Newton
PC	=	Polycarbonate
phr	=	Parts per hundred of rubber
PMMA	=	Polymethyl methacrylate or Acrylic
PP	=	Polypropylene
PS	=	Polystyrene
PVC	=	Polyvinyl chloride
TIS	=	Thai industrial standard

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ไม้พลาสติก (Wood plastic composites) คือ วัสดุคอมโพสิตที่ประกอบขึ้นจากไม้และพลาสติกเป็นวัสดุหลัก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในวงการอุตสาหกรรมไม้และพลาสติกในต่างประเทศมานานแล้ว แต่ค่อนข้างที่จะใหม่ในประเทศไทย โดยไม้พลาสติกเป็นการนำเอาความรู้ของวงการไม้และวงการพลาสติกมารวมกันทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งถือได้ว่าเป็นวัสดุทางวิศวกรรมได้อีกชนิดหนึ่ง เมื่อพิจารณาในด้านวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ (1) โครงสร้าง (Structure) โครงสร้างของไม้เป็นส่วนที่ไม่สามารถควบคุมคุณสมบัติให้เป็นไปตามต้องการได้ ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อของต้นไม้แต่ละชั้นมีความหนาแน่นและการกระจายตัวของเซลล์รูปร่างต่าง ๆ ไม่เหมือนกันจึงทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันไป ด้วย การควบคุมให้เนื้อไม้ของต้นไม้มีสมบัติเหมือนกันทุกประการจึงไม่สามารถเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เพียงแต่สามารถควบคุมคุณสมบัติต่าง ๆ กับไม้พลาสติกได้ เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน ในการเลือกใช้ต้องคำนึงถึงสมบัติที่ต้องการ ความเป็นไปได้ในการผลิต และความเข้ากันได้กับไม้ (2) กระบวนการผลิต (Processing) รายละเอียดและขั้นตอนในการผลิตไม้พลาสติกตลอดจนการเตรียมวัตถุดิบ และชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการขึ้นรูปที่เลือกใช้ เนื่องจากในการขึ้นรูปแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดแตกต่างกันไป เช่น บางวิธีอาจสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดไม้ไม่ต้องละเอียดมาก แต่บางวิธีจำเป็นต้องเตรียมวัตถุดิบให้มีความละเอียดสูง เป็นผลทำให้มีขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบแตกต่างกัน (3) คุณสมบัติ (Properties) เนื่องจากไม้พลาสติกเป็นวัสดุที่นำไม้และพลาสติกมารวมกัน เป็นผลทำให้คุณสมบัติของไม้และพลาสติกเปลี่ยนไป สัดส่วนของไม้และพลาสติกต่างมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของไม้พลาสติก ถ้าปริมาณของวัตถุดิบตัวใดตัวหนึ่งมาก คุณสมบัติโดยรวมของไม้พลาสติกก็จะมีแนวโน้มเอียงไปทางวัสดุที่มีปริมาณมากกว่า (4) สมรรถนะ (Performance) เนื่องจากประเภทของวัตถุดิบที่หลากหลายทำให้มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันส่งผลให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทำให้การกล่าวถึงสมรรถนะการใช้งานหากมองในภาพรวมแล้วการเพิ่มไม้ลงไปพลาสติกเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวพลาสติก แต่ก็ทำให้มีความเปราะเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม สมบัติด้านอื่น ๆ ก็จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภท

ของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และสารเติมแต่งที่เลือกใช้ ทั้งนี้ จึงควรทำให้สอดคล้องกับการนำไปใช้งานจริง (ธนดล สัตตบงกช, 2546) ซึ่งไม้พลาสติกนั้นสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ เช่น มีการต้านทานการดูดซับน้ำมากขึ้น ไม่มีปัญหาเรื่องการฟุ้งกระจายจากปลวกและแมลง ทนทานต่อการแตกหักเมื่อตอกตะปู เป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้น และมีน้ำหนักเบาขึ้น เป็นต้น (Markarian, 2005) นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติได้ง่าย โดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น (เพ็ญศรี พูลผล และคณะ, 2548; Clemons, 2002)

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งของโลกที่มีศักยภาพในการผลิตปาล์ม น้ำมันและน้ำมันปาล์ม โดยภาคเอกชนเริ่มทำการปลูกปาล์มน้ำมันขึ้นเพื่อการค้าครั้งแรกในพื้นที่เริ่มต้นไม่กี่หมื่นไร่ เมื่อประมาณ 36 ปีที่ผ่านมา ต่อมาเกษตรกรรายย่อยอื่น ๆ จึงหันมาสนใจปลูกปาล์มน้ำมันกันมากขึ้น ทำให้ปัจจุบันพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทยมีประมาณ 2 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 0.02% ของพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตของโลก และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกปี โดยคาดการณ์ว่าจะเพิ่มผลผลิตได้ใกล้เคียงกับประเทศมาเลเซียในอีก 3-6 ปีข้างหน้า ซึ่งมาเลเซียเป็นแหล่งปลูกปาล์มน้ำมันหลักของโลกที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 21.1 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 31.3% ของพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตของโลก (วาริ ชวนรักธรรม, 2548) จึงนับได้ว่า ปาล์มน้ำมันเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องตลอดมา สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศปีหนึ่ง ๆ นับหมื่นล้านบาท นอกจากนี้ ผลการสำรวจพบว่า ประเทศไทยยังมีพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกปาล์ม น้ำมันอีกนับสิบล้านไร่ ซึ่งหากประเทศไทยมีการพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม น้ำมันและน้ำมันปาล์มกันอย่างจริงจังและถูกต้องตามความเหมาะสมจะทำให้ประเทศไทยมีรายได้เพิ่มขึ้นนับแสนล้านบาท โดยเกือบทุกส่วนของปาล์มน้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ทะลายปาล์มน้ำมันที่เอาผลออกแล้วเกษตรกรนำไปเพาะเห็ดฟาง ทางปาล์มนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตพาร์ติเคิลบอร์ด ผลปาล์มใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช โดยปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตได้จนถึงอายุ 25 ปี (ธีระพงศ์ จันทนิยม และคณะ, 2550) หลังจากนั้นจะโค่นทิ้งหรือขายเพื่อนำไปตกแต่งสนามกอล์ฟ หรือตกแต่งบริเวณรอบบ้าน จะเห็นว่า ส่วนของไม้ปาล์มนั้นไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร อีกทั้งเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจ เช่น ไม้ยางพารา พบว่า ไม้ยางพาราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก อาทิเช่น ไม้อัด (Plywood) ซึ่งมีกำลังการผลิต 231,000 ตันต่อปี แผ่นใยไม้อัดแข็ง (Hardboard) มีกำลังการผลิต 210,000 ตันต่อปี พาร์ติเคิลบอร์ด (Particleboard) มีกำลังการผลิต 950,000 ตันต่อปี และแผ่นเอ็มดีเอฟ (Medium density fiberboard) มีกำลังการผลิต 563,000 ตันต่อปี

ดังนั้น กำลังการผลิตไม้แผ่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ภายในระยะเวลาหนึ่งปีรวมทั้งสิ้น 1,954,000 ต้นต่อปี (ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ, 2549) ซึ่งในปี 2540-2544 ไม้ยางพาราสามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศไทย 7,947-28,081 ล้านบาท (ทรงพล อูระพันธ์มาศ และปณรรณ เลขานุกิจ, 2550) เห็นได้ว่า ความต้องการใช้ไม้ยางพาราสูงจนปริมาณไม้ยางพาราไม่เพียงพอสำหรับผู้ผลิต/ส่งออก และใช้ภายในประเทศ ดังนั้นจึงเห็นควรที่จะนำไม้ปาล์มมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น และยังช่วยเพิ่มทางเลือกการใช้ไม้ปาล์มนอกเหนือจากไม้ยางพาราอีกด้วย ประกอบกับในปัจจุบันมีการใช้พลาสติกอย่างแพร่หลาย เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำมันพืช ถุงพลาสติก เป็นต้น ซึ่งขยะพลาสติกส่วนใหญ่มาจากขยะชุมชน โดยรวมขยะจากบ้านเรือน และธุรกิจขนาดย่อม ส่งผลให้พลาสติกดังกล่าวหลังจากเลิกใช้งานแล้วจะกลายเป็นขยะจำนวนมาก จากการศึกษาพบว่า เมื่อปี 2542 ประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 14 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด หรือคิดเป็น 1.9 ล้านตันต่อปี และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด หรือคิดเป็น 2.3 ล้านตันต่อปี เมื่อปี 2544 และปี 2546 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 17.6 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด หรือคิดเป็น 2.5 ล้านตันต่อปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2548ข.) จะเห็นได้ว่า ปริมาณขยะพลาสติกมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในทุก ๆ ปี ส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา โดยชนิดของพลาสติกที่ตกค้างอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชนที่สำคัญ ได้แก่ พลาสติกชนิด High density polyethylene (HDPE) Low density polyethylene (LDPE) และ Polypropylene (PP) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 39.54 ร้อยละ 29.20 และ ร้อยละ 16.10 ของปริมาณขยะพลาสติกที่พบในขยะมูลฝอย ตามลำดับ ดังนั้น การที่จะลดปริมาณขยะพลาสติกในขยะมูลฝอยชุมชนควรมุ่งเน้นไปในขยะพลาสติกประเภท HDPE LDPE และ PP (กรมควบคุมมลพิษ, 2548ก.)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและผลิตวัสดุไม้พลาสติกจากไม้ปาล์มและเศษพลาสติกเหลือใช้ พร้อมทั้งพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติกที่ได้ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือใช้ ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติก เพิ่มการใช้ประโยชน์จากไม้ปาล์มให้มากขึ้น และเป็นการเพิ่มทางเลือกอีกทางหนึ่งของการใช้ไม้พลาสติก ซึ่งเป็นวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนไม้ได้

1.2 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพยายามนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น โดยสามารถนำผงไม้มาผสมกับเศษพลาสติกเหลือใช้เป็นวัสดุผสมเพื่อต้องการลดขยะที่เกิดจากพลาสติก และเป็นการใช้ประโยชน์จากเศษไม้เพิ่มมากขึ้น ทั้งยังนำสมบัติด้าน

ความยืดหยุ่นของพลาสติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่างๆ ตามคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งแสดงได้ดังต่อไปนี้

คมกฤต เล็กสกุล และอรรรพพล สมุทรบุปดี (2547) ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตและผลสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก โดยวิธีการฉีดเข้าไปในแบบ ด้วยการใช้ขี้เลื่อยไม้ยาวพาราจากการขัดผิวไม้มาผสมกับผงพลาสติก PP ซึ่งแบ่งออกเป็น 50:50, 60:40 และ 70:30 ตามลำดับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ คือ 50:50 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทำให้ไม้พลาสติกมีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด และ 50:50 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้ไม้พลาสติกมีค่าความโค้งงอสูงที่สุด และส่วนผสม 60:40 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทำให้ไม้พลาสติกมีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด แต่ในส่วนผสม 70:30 ไม่สามารถขึ้นรูปขึ้นงานได้ในทุกอุณหภูมิที่ทำการศึกษานี้เนื่องจากการไหลของวัสดุในการฉีดขึ้นรูปไม่ดี

สัญญา แก้วเกตุ และคณะ (2544) ศึกษาการผสมแลกเปลี่ยนพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว และทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่เตรียมได้ เพื่อลดปริมาณการใช้พลาสติก และเพิ่มคุณค่าของวัสดุเหลือใช้ ซึ่งนับได้ว่าเป็นการช่วยประหยัดพลังงานในทางอ้อม ซึ่งพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวได้จากการสังเคราะห์พอลิ (พรอพิลีน มาลิเอท พทาเลต) ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรอพิลีนไกลคอล กับ มาเลอิก แอนไฮไดรด์ และพทาลิก แอนไฮไดรด์ แล้วนำมาผสมแลกเปลี่ยนขนาด 0.25, 0.18 และ 0.125 มิลลิเมตร ในอัตราส่วนแลกเปลี่ยนต่อพอลิเอสเทอร์ 70:30, 60:40, 50:50 และ 40:60 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีการอัดรีด และพบว่า วัสดุผสมที่ได้มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ความแข็งแรงดึง และความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มสูงสุดเมื่อมีส่วนผสมของแลกเปลี่ยนพอลิเอสเทอร์เป็น 50:50

เพ็ญศรี พูลผล และคณะ (2548) ศึกษาการใช้ผงไม้และเศษ PVC ที่เหลือจากกระบวนการผลิตในโรงงานมาศึกษาการผลิตไม้เทียม ซึ่งคุณสมบัติทางไม้เทียมที่ได้นี้จะมีค่าความแข็งแรง ความหนาแน่น และค่าของการทดสอบการยึดตัวมีค่าสูงกว่าไม้จริง แต่มีค่าความทนต่อแรงดึงและแรงกระแทกน้อยกว่าไม้จริง ดังนั้น ประโยชน์ใช้สอยของไม้เทียมที่ได้จึงเหมาะกับงานตกแต่งภายในบ้านและได้ซายคามากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไม้เทียมกับไม้จริง พบว่า ความทนต่อสภาพแวดล้อม ทนปลวก สารเคมี ไม่ดูดซึมน้ำ ไม่ผุกร่อนเหมือนไม้ มีอายุการใช้งานยาวนาน เป็นฉนวนกันความร้อน ที่สำคัญไม่เป็นเชื้อเพลิงติดไฟอีกด้วย ส่วนคุณสมบัติงานช่างก็ใช้สอยง่ายสามารถตอก เลื่อย เจาะ หรือทากาวได้ ไม่แตกร้าว หรือเป็นเสี้ยน

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ (2543) ได้นำขี้เลื่อยไม้มาผสมกับ PVC ได้สูตรส่วนผสมที่ทำให้ไม้พลาสติกมีสมบัติทนทานต่อสภาวะอากาศเหมือน PVC โดยกระบวนการอัดรีดเกลียว

หนอน (Screw Extruder) ที่ถูกอัดผ่านแม่พิมพ์ขึ้นรูป ซึ่งได้จดสิทธิบัตรที่สัดส่วน PVC: จีลีโอ เป็น 60:40

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ (2547) ได้นำผงจีลีโอไม้อย่างพารา มาผสมกับ PVC และแคลบ เพื่อเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้เทียม ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการเพิ่มปริมาณ จีลีโอไม้อย่างพาราและแคลบให้สูงขึ้นถึง 50% โดยน้ำหนัก และทำการปรับปรุงสมบัติการดูดซับ พลังงานแรงกระแทกของวัสดุผสม PVC กับเส้นใยธรรมชาติ ได้ข้อสรุปว่า สามารถเพิ่มปริมาณ จีลีโอไม้อย่างพาราได้จาก 33.33% เป็น 50% โดยน้ำหนัก โดยใช้สารคู่ควบชนิด Saline และพบว่า สารคู่ควบในปริมาณ 0.99-1.48% โดยน้ำหนักของจีลีโอไม้อย่างพาราเหมาะสมกับวัสดุผสม PVC ที่ 33.33% และ 50% โดยน้ำหนักของจีลีโอไม้อย่างพารา และต้องใช้ร่วมกับสารหล่อลื่น 0.89% โดย น้ำหนัก แคลบเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้เป็นสารตัวเติมในวัสดุผสม PVC ซึ่งให้สมบัติความ แข็งแรงดึงที่ดีกว่า สารปรับปรุงสมบัติการดูดซับพลังงานแรงกระแทกชนิด CPE และ Acrylic พบว่า CPE ปริมาณ 7.41% และ Acrylic ปริมาณ 3.85% โดยน้ำหนัก เหมาะกับการใช้สำหรับวัสดุ ผสม PVC ที่ปริมาณจีลีโอไม้อย่างพารา 33.33% และ 50% โดยน้ำหนัก

กิตติศักดิ์ อินทร์แก้ว และนายไภษัชย์ พานิชย์ (2549) ได้ศึกษาและผลิตวัสดุไม้ พลาสติกจากเศษไม้อย่างพารา โดยใช้จีลีโอไม้อย่างพาราผสมกับขบวนการเคลือบ (LDPE) ด้วยวิธีการอัด ร้อน และมีปัจจัยที่ศึกษา 3 อย่าง คือ ความดัน อุณหภูมิ และอัตราส่วน ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้ของไม้ พลาสติกมาเปรียบเทียบกับไม้อัดความหนาแน่นปานกลางพบว่า อัตราส่วนพลาสติก:จีลีโอ 70:30 โดยน้ำหนัก จะมีสมบัติความหนาแน่นและความแข็งแรงดึงสูงกว่าอัตราส่วนพลาสติก:จีลีโอ 50:50 และ 60:40 โดยน้ำหนัก และไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง และพบว่า ที่ความดันสูง ๆ จะทำให้ไม้ พลาสติกมีสมบัติด้านความหนาแน่นและความแข็งแรงดึงสูง ไม้พลาสติกที่มีส่วนผสมของ พลาสติกสูงจะทำให้มีคุณสมบัติด้านความหนาแน่นและความแข็งแรงดึงสูงกว่าไม้พลาสติกที่มี ส่วนผสมของพลาสติกต่ำกว่า และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการทำไม้พลาสติก มากกว่า 110 องศาเซลเซียส

วีระชาติ จันทร์แจ่มแสง และชาวลิต อิทธิธีรรัชย์ (2540) ได้เปรียบเทียบคุณสมบัติ ระหว่างไม้ประกอบกับไม้จริง โดยนำไม้เต็งมาเลเซียและไม้อย่างพารามาทำการทดสอบหาค่า คุณสมบัติมาตรฐาน ASTM D143-94 โดยทำการทดสอบที่สภาพความชื้นและขนาดตามการใช้งาน ของท้องตลาด สำหรับในส่วนของไม้ประกอบจะทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติโดยอาศัยมาตรฐาน BS 373:1957 พบว่า ค่าคุณสมบัติที่ทำการทดสอบทั้งหมดของไม้ประกอบมีค่าน้อยกว่าค่า คุณสมบัติของไม้เต็งมาเลเซียและไม้อย่างพาราเป็นอย่างมาก จึงเห็นว่าเป็นการไม่เหมาะสมที่จะนำ ไม้ประกอบมาใช้ในลักษณะงานที่ต้องอาศัยการรับกำลังแทนไม้เต็งมาเลเซียและไม้อย่างพารา

สมภพ เลิศลักษณ์กุล (2544) ได้ศึกษาวัสดุคอมโพสิตจาก PVC และเส้นใยยูคาลิปตัส ซึ่งทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะที่ใช้ในการผลิต ผลของปริมาณและขนาดของเส้นใย ปริมาณของสารเพิ่มเนื้อแคลเซียมคาร์บอเนต และวิธีการเตรียมเส้นใยที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูป PVC คอมโพสิตในเครื่องอัดขึ้นรูป คือ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ส่วนผลของปริมาณเส้นใยไม้ พบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้จะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตสูงขึ้น แต่จะลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยไม้สูงมากเกินไป และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น ปริมาณไม้ที่เหมาะสมที่สุด คือ 30 phr จากการศึกษาผลของขนาดของเส้นใยพบว่า PVC คอมโพสิตที่มีเส้นใยยาวจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า PVC คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยสั้น โดยสมบัติทางความร้อนและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ขนาดของเส้นใยไม้ที่ทำให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด คือ เส้นใยขนาด 35-50 Mesh (300-500 ไมโครเมตร) ในการศึกษาชนิดของเส้นใยที่ใช้ในการผลิต PVC คอมโพสิตที่เตรียมจากวิธีการที่แตกต่างกัน พบว่าเส้นใยที่ได้จากการเตรียมด้วยขบวนการความร้อนเชิงกลจะมีสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนที่ดีกว่า PVC คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยที่ได้จากขบวนการทางเคมี

ไกรสร ไทยแท้ และคณะ (2551) ได้นำเศษเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) จากกระบวนการผลิตพื้นรองเท้ากีฬาและสารประสานไซเลนมาใช้ประโยชน์เป็นสารปรับปรุงการรับแรงกระแทกและการโค้งงอของผลิตภัณฑ์ไม้เทียมที่ผลิตขึ้นจาก PVC ที่นำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ และผงไม้ โดยเศษ EVA ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด คือ EVA ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ สารผสมระหว่าง EVA และ PE ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ และโพลี EVA ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้ว โดยทำการเตรียมตัวอย่างวัสดุผสมระหว่าง PVC ที่นำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ ผงไม้ สารเติมแต่งอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิตไม้เทียม โดยแปรปริมาณเศษ EVA และสารประสานไซเลน (ในอัตราส่วน 0-30 phr) ใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งจากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนและทำการศึกษาผลของชนิดของ EVA และอัตราส่วนที่เติมต่อสมบัติการรับแรงกระแทกและการโค้งงอของแผ่นไม้เทียม พบว่า การเติม EVA ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ปริมาณ 10 phr ให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกที่สูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสารประสานไซเลนมีผลทำให้สมบัติการโค้งงอของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ไพศาล นาคพิพัฒน์ และอมรรัตน์ สุนทรพงศ์ (2548) ได้ทำการสังเคราะห์วัสดุไม้ประกอบ โดยใช้ขูดน้ำ PE ที่ใช้แล้วเป็นโครงสร้างและเศษหนังสัตว์ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในโรงงานฟอกหนังมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง และใช้ยางรีเคลมซึ่งเป็นยางที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ยางที่เสียมาใช้เป็นสารเติมแต่ง โดยทำการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุประกอบจากขูดน้ำพลาสติก PE ที่ใช้แล้วและผงหนังที่อัตราส่วนขูดน้ำพลาสติก PE ที่ใช้แล้วเป็น 100 phr เศษผง

หน้า 10 30 50 70 และ 90 phr ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุประกอบเมื่อใช้ยางรีเคลมเป็นสารเติมแต่ง 5 10 และ 15 phr และปรับปรุงผงหนังด้วยสารยึดเหนี่ยวไวโนลไซเลนความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก ผสมวัสดุด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปงานโดยการอัดในแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่า เมื่อใส่ยางรีเคลมเป็นสารเติมแต่งจะเพิ่มความทนแรงกระแทกของวัสดุประกอบ และการปรับปรุงผงหนังด้วยสารยึดเหนี่ยวไวโนลไซเลนที่อัตราส่วนของผงหนังมากกว่า 50 phr จะช่วยลดการดูดซับน้ำของวัสดุประกอบ เนื่องจากเกิดการควบแน่นของหมู่ไฮดรอกซิล โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุประกอบคือ เศษผงหนังที่ปรับปรุงด้วยสารยึดเหนี่ยวไวโนลไซเลน 90 phr และยางรีเคลม 15 phr

จันทนา เทศเจริญ และไพศาล นาคพิพัฒน์ (2549) ได้ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุประกอบจากขวด PE ใช้แล้วกับเศษผงหนังสัตว์จากอุตสาหกรรมฟอกหนังเพื่อใช้ทดแทนไม้หมอนรางรถไฟ โดยศึกษาผลกระทบจากขนาดและปริมาณของผงหนัง รวมทั้งปริมาณยางรีเคลมที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบ จากการทดลองใช้ขนาดผงหนัง 5 และ 20 Mesh โดยแปรเปลี่ยนปริมาณผงหนัง 10 30 50 70 และ 90 phr และยางรีเคลมที่ 5 10 15 20 และ 25 Mesh ผสมวัสดุด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปขึ้นงานโดยการอัดในแม่พิมพ์ ผลการทดลองพบว่า ผงหนังขนาด 5 Mesh ปริมาณผงหนัง 70 phr และยางรีเคลม 20 phr เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนนี้ในการศึกษาผลของการปรับปรุงสภาพพื้นผิวผงหนังโดยเลือกใช้สารกู่ควบไซเลน คือ 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (3-aminopropyltriethoxysilane) และเอ็น-อะมิโนเอทิล-3-อะมิโนโพรพิลเมทิลไดเมทอกซีไซเลน (N-aminoethyl-3-aminopropylmethyldimethoxysilane) ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยหนังเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะของเนื้อวัสดุ พบว่า 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลนเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุด ขณะที่เอ็น-อะมิโนเอทิล-3-อะมิโนโพรพิลเมทิลไดเมทอกซีไซเลนทำงานได้ดีที่ความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนัก

สมควร วัฒนกิจไพบูลย์ และจิตตกร ทรงต่อศรีสกุล (2548) ได้ผลิตวัสดุทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง เปลือกทุเรียน และผักตบชวา โดยกำหนดความชื้นของเศษวัสดุไม่เกิน 5% ทำการอัดด้วยเครื่องอัดร้อน แรงอัดจำเพาะ 150 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร อุณหภูมิอัด 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอัด 10 นาที ทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.876-2532 พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นวัสดุทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัด โดยผสมปริมาณของเศษวัสดุประมาณ 80-85% และผสมปริมาณของกาวยูเรียฟอรั่มัลดีไฮด์ประมาณ 15-20% วัสดุทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตได้มีคุณสมบัติด้านการตัดเนื้อด้วยเครื่องมือกลได้เป็นอย่างดี สามารถทำการเลื่อยตัด เจาะรู ตอกตะปู

ตลอดจนการขัดผิวเรียบด้วยกระดาษทรายโดยไม่ทำให้เกิดการแตกร่อน สามารถใช้ทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากวัตถุดิบที่เป็นเนื้อไม้ได้เป็นที่น่าพอใจ แต่ยังมีจุดอ่อนในด้านคุณสมบัติด้านทานแรงยึดเหนี่ยวสกรูเกลียว การดูดซึมน้ำ การพองตัว และกลิ่นจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้งานจึงเหมาะกับงานที่ไม่สัมผัสกับสภาพความชื้นสูง แต่ถ้าหากมีการใช้สารเคลือบผิวหรือวัสดุเคลือบผิว เช่น แล็กเกอร์หรือฟอไมกาก็จะเป็นการแก้ไขจุดอ่อนดังกล่าวได้

ทรงพล อูระพันธ์ และปณรรณ เลขานุกิจ (2550) ศึกษาผลกระทบของวัตถุดิบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกสำหรับไม้โครงสร้างที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ที่แตกต่างกัน ซึ่งไม้ที่นำมาใช้เป็นวัสดุในท้องถิ่นซึ่งประกอบไปด้วยไม้ยางพารา ลำต้นปาล์ม และกะลาปาล์ม โดยนำมาผสมกับพลาสติก PVC ที่อัตราส่วนระหว่างไม้กับพลาสติกที่ 60:40 50:50 และ 40:60 จากนั้นขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ความดัน 2500 psi แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติการดัดสลับ ความเค้นอัดขนานเสี้ยน ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและ British standard แล้วนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติกับไม้ประกอบที่ได้จากไม้ยางพารา ลำต้นปาล์ม และกะลาปาล์ม ที่นำมาผสมกับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่อัตราส่วนไม้กับยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 80:20 85:15 และ 90:10 พบว่า ไม้พลาสติกส่วนใหญ่จะมีค่าสมบัติเชิงกลสูงกว่าไม้ประกอบยกเว้นการดูดซึมน้ำ และไม้พลาสติกที่มีวัตถุดิบเป็นไม้ยางพาราจะมีค่าสมบัติต่าง ๆ มากกว่าไม้ชนิดอื่น ๆ ชนิดและสัดส่วนของไม้พลาสติกต่างมีผลกระทบต่อสมบัติของไม้พลาสติก ถ้าปริมาณของวัตถุดิบตัวใดตัวหนึ่งมากสมบัติโดยรวมของไม้พลาสติกก็จะมีแนวโน้มเอียงไปทางวัสดุที่มีปริมาณมากกว่า เช่น อัตราส่วนที่มีไม้มากจะมีโมดูลัสของความเป็นอิลาสติก (MOE) และโมดูลัสของความแตกร้าว (MOR) มาก ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบไม้โครงสร้าง ซึ่งไม้พลาสติกยังถือเป็นไม้เนื้ออ่อนยังไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นไม้โครงสร้างเพื่อรับแรงดัดหรือด้านการโก่งงอ แต่สามารถนำมาทำเป็นไม้โครงสร้างเพื่อรับแรงอัดขนานเสี้ยนได้

Matuana และคณะ (1997) ได้กล่าวว่าความแข็งแรงที่ลดลงของวัสดุคอมโพสิตนั้นเกิดขึ้นจากความเข้ากันไม่ได้ของเส้นใยไม้และพอลิเมอร์ ซึ่งส่งผลให้แรงดึงดูระหว่างผิวหน้าของเส้นใยและเมตริกซ์มีความอ่อนแอ และการกระจายตัวของเส้นใยภายในเมตริกซ์ไม่ค่อยดี เพราะการเกิดแรงกระทำต่อกันของเส้นใยซึ่งเป็นผลมาจากพันธะไฮโดรเจน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ (DOP) และการปรับปรุงผิวของเส้นใยที่มีต่อสัดส่วนของโพรงในวัสดุคอมโพสิต โฟม PVC/เส้นใยไม้ พบว่า ในกรณีที่เส้นใยปราศจากการปรับปรุงผิวการเปลี่ยนแปลงปริมาณพลาสติกไซเซออร์จะไม่มีผลกระทบต่อสัดส่วนของโพรงอากาศในวัสดุ

คอมพอลิเมอร์ ทั้งนี้เป็นเพราะเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวจะมีแรงยึดเกาะกับ PVC ไม่ค่อยดี ซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นทำให้แก๊สสามารถแพร่จากวัสดุคอมพอลิเมอร์ไปสู่สิ่งแวดล้อมได้

Kamdern และคณะ (2004) ศึกษาคุณสมบัติของไม้พลาสติกจาก HDPE ที่ใช้แล้วกับผงไม้ที่ได้จากต้นสนที่อายุมากกว่า 21 ปีและผ่านการ Treat ด้วย Chromated copper arsenate (CCA) นำมาทำให้เป็นผงไม้ จากนั้นผสมด้วยรีไซเคิล HDPE ที่อัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก แล้วขึ้นรูปด้วยวิธีอัดด้วยความดัน (Compression molding) นำมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ไม้พลาสติกที่ได้มีคุณสมบัติด้านแรงดึงที่สูงกว่าไม้สนที่ไม่ได้ผ่านการ Treat ด้วย CCA และพาร์ติเคิลบอร์ดที่ใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวผสม อีกทั้งไม้พลาสติกที่ได้ยังมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสแตกร้าวสูงกว่าด้วย

Bengtsson และคณะ (2005) พบว่า ผลของการยึดเกาะกันระหว่างพันธะ (Crosslinking) ในวัสดุผสม PE กับผงไม้ ด้วยการผสม Vinyltrimethoxy silane กับ HDPE และผงไม้ผลิตโดยใช้การอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) ทำให้สมบัติเชิงกลด้านความต้านแรงดึงสูงขึ้น ส่วนการอุ้มน้ำนั้นเมื่อเกิดการยึดเกาะกันระหว่างพันธะของวัสดุผสมจะทำให้มีการอุ้มน้ำน้อยกว่าแบบไม่เกิดการยึดเกาะกันของพันธะ (Noncrosslinking) และเมื่อทำการสแกนด้วยเครื่อง Scanning electron microscopy พบว่า มีการยึดเกาะกันที่ติระหว่างพลาสติกกับไม้หากเกิดการยึดเกาะกันระหว่างพันธะคอมพอลิเมอร์

Nunez และคณะ (2002) ได้ศึกษาวัสดุผสมระหว่าง PP กับผงขี้เลื่อย ทั้งผงขี้เลื่อยบริสุทธิ์ ผงขี้เลื่อยผสมกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) และผงขี้เลื่อยบริสุทธิ์ที่ใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ (Maleic anhydride PP copolymer) เป็นสารช่วยยึดเกาะ แล้วทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า ผงขี้เลื่อยที่ผสมกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์จะมีสมบัติทางกลด้อยกว่าวัสดุที่เติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยยึดเกาะ รวมถึงตัวอย่างที่เติมขี้เลื่อยบริสุทธิ์น้อยกว่า 40% โดยน้ำหนัก ก็มีสมบัติเชิงกลด้อยกว่าวัสดุผสมที่เติมสารช่วยยึดเกาะ แต่ขี้เลื่อยที่ผสมด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์เมื่อผสมกันจะเข้ากันได้ดีกว่าตัวอย่างอื่น

Coutinho และ Costa (1999) ทำการศึกษาวัสดุผสมระหว่าง PP และไม้มีการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมกรดมาเลอิก (Maleic acid) โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมกรดมาเลอิก ผลการทดลองพบว่า วัสดุผสมที่มีการเติมกรดมาเลอิกจะมีสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และลักษณะทางกายภาพดีกว่าวัสดุที่ไม่ได้เติมกรดมาเลอิก

Ichazo และคณะ (2001) ได้ศึกษาวัสดุผสมระหว่าง PP กับผงขี้เลื่อยบริสุทธิ์ และผงขี้เลื่อยที่ผสมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์กับ Vinyl-tris-(2-methoxyethoxy)-silane และมีการใช้ MAPP (Maleated polypropylene) เป็นตัวช่วยยึดเกาะ และนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติ

ทางความร้อน และดัชนีหักเห พบว่า วัสดุที่ผสมขี้เลื่อยบริสุทธิ์จะมีการดูดซึมน้ำมากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อีกทั้งยังใช้อุณหภูมิในการเกิดผลึกสูงแต่ไม่ส่งผลต่อดัชนีหักเห ในขณะที่วัสดุที่ผสมขี้เลื่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์กับ Vinyl-tris-(2-methoxietoxi)-silane จะมีสมบัติการกระจายตัวที่ดีกว่า

Costa และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาวัสดุผสมระหว่าง PP และไม้ โดยใช้ไซเลน (Silane) เป็นตัวประสาน และทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่าง PP บริสุทธิ์กับ PP ที่มีการเติมกรดมาเลอกลงไป จากผลการทดลองพบว่า การใช้ PP ผสมจะทำให้สมบัติต่าง ๆ ดีขึ้นกว่าการใช้ PP บริสุทธิ์

Clemons (2002) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ได้จาก PP กับ 40% ของผงไม้ และ PP กับ 40% ของผงไม้ กับ 3% ของสารช่วยยึดเกาะ พบว่า คอมโพสิตที่ได้จาก PP กับ 40% ของผงไม้ กับ 3% ของสารช่วยยึดเกาะ มีความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงดัด และความทนแรงกระแทก สูงกว่าคอมโพสิตที่ได้จาก PP กับ 40% ของผงไม้ ที่ไม่มีการเติมสารช่วยยึดเกาะ เห็นได้ว่า สารช่วยยึดเกาะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต

Ratanawilai และคณะ (2006) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากสมบัติเชิงกลของไม้ปาล์มเพื่ออุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ โดยการเปรียบเทียบจาก 3 ส่วนของไม้ต้นปาล์ม คือ ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายต้นปาล์ม ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ส่วนโคนของต้นปาล์มจะมีค่าโมดูลัสของความเป็นออสติก โมดูลัสของการแตกหัก ความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงสูงสุด อีกทั้งส่วนปลายต้นจะมีค่าแรงกดขานสั้นและแรงกระแทกสูงสุด จากผลของสมบัติเชิงกลที่ได้ทำให้ทราบว่า ไม้ปาล์มมีค่าสมบัติเชิงกลน้อยกว่าไม้สักและไม้ยางพาราประมาณ 2-3 เท่าจากทุกค่าที่ทดสอบ ดังนั้นจึงไม่ควรนำไม้ปาล์มมาใช้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ที่รับแรงมาก แต่ไม้ปาล์มมีความแข็งแรงระดับหนึ่งที่สามารถแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ตกแต่งที่ไม่ต้องรับแรงมาก เช่น กรอบรูป ส่วนประกอบเฟอร์นิเจอร์โลหะ โคมไฟไม้ และแจกัน เป็นต้น โดยการเลือกใช้ส่วนของไม้ปาล์มมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์นั้นสำคัญ เนื่องจากแต่ละส่วนของไม้ปาล์มมีความแข็งแรงและคุณสมบัติต่าง ๆ กัน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ให้สอดคล้องกับหน้าที่และการใช้ประโยชน์ของชิ้นงานเฟอร์นิเจอร์นั้น ๆ

จากการสำรวจเอกสารข้างต้น ทำให้ทราบว่า ไม้พลาสติกเข้ามามีบทบาทมากในปัจจุบัน โดยสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลากหลาย และยังปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ตามต้องการได้ ซึ่งการผลิตวัสดุคอมโพสิตอย่างเช่น ไม้พลาสติกนั้น ผู้วิจัยส่วนใหญ่ใช้พลาสติก PVC PP HDPE และ LDPE เป็นส่วนประกอบของวัสดุไม้พลาสติก โดยมีสัดส่วนไม้ต่อพลาสติกที่ 30:70 40:60 50:50 และ 60:40 และมีช่วงอุณหภูมิในการขึ้นรูปประมาณ 110-200 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่เลือกใช้ เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลวที่ต่างกัน ดังนั้น จึง

ควรใช้ช่วงอุณหภูมิให้เหมาะสมกับพลาสติกชนิดนั้น ๆ ทั้งยังมีกระบวนการขึ้นรูปที่หลากหลาย เช่น Injection molding Compression molding และ Extrusion molding เป็นต้น และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ได้โดยสารเติมแต่งที่เลือกใช้ อาทิ การใช้มาเลอิก แอนไฮไดรด์เป็นสารช่วยยึดเกาะระหว่างผงซีลีออยกับพลาสติก PP/PE พลาสติกไซเซออร์ (DOP) เป็นสารปรับปรุงผิวของเส้นใยในวัสดุคอมโพสิตโพลี PVC/เส้นใยไม้ เป็นต้น นอกจากนี้ การนำซีลีออยมาประยุกต์ใช้งานทำเป็นผลิตภัณฑ์ยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า และเสริมแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์อีกด้วย ทำให้เป็นแนวทางในการศึกษาทำผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติกในลำดับต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

ศึกษาส่วนประกอบ และอุณหภูมิที่เหมาะสมของวัสดุผสมที่ได้จากไม้ปาล์มกับเศษพลาสติกเหลือใช้ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของไม้พลาสติก โดยการเปรียบเทียบจากค่าสมบัติเชิงกลที่ได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ ผงไม้ปาล์มจากสวนปาล์ม เศษพลาสติกจากวัสดุเหลือใช้ คือ ขวดน้ำโพลาลิส ซึ่งเป็นพลาสติกชนิด HDPE (High density polyethylene) และสารเติมแต่งที่ใช้ คือ มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride: MA) ซึ่งสัดส่วนของปริมาณผงไม้ปาล์ม: เศษพลาสติก HDPE: MA ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สัดส่วนของปริมาณผงไม้ปาล์ม: เศษพลาสติก HDPE: MA

Oil palm wood	HDPE	MA
30	67	3
40	57	3
50	47	3

2. ทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติกโดยใช้วิธีการอัดร้อน (Hot pressing) ที่อุณหภูมิ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถขึ้นรูปเป็นไม้พลาสติกได้ (ธนดล สัตตบงกช, 2546)

3. ทดสอบสมบัติของไม้พลาสติกที่ได้ โดยการวัดสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D143

3.2 ความแข็งแรงคด (Flexural strength) ตามมาตรฐาน ASTM D6109

3.3 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน ASTM D638

3.4 ความแข็งแรงกด (Compressive strength) ตามมาตรฐาน ASTM D6108

3.5 การดูดซับพลังงานแรงกระแทก (Impact energy absorption) ตามมาตรฐาน ASTM D256

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ เนื่องจากไม้ปาล์มและเศษพลาสติกไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง

2. เพิ่มทางเลือกให้กับอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในการเลือกใช้วัสดุได้มากขึ้น

3. ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทดแทนไม้ได้

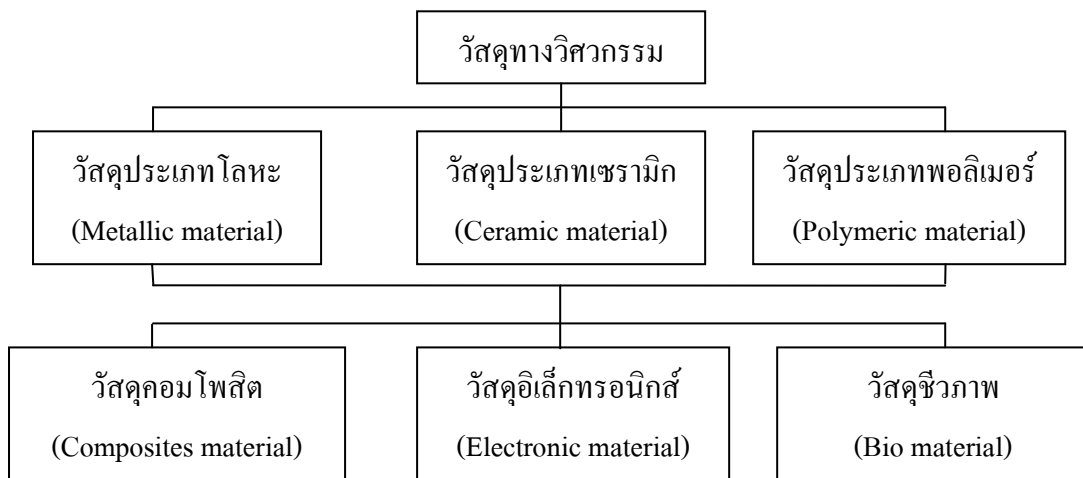
4. ได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีคุณสมบัติเด่นกว่าไม้ทั่วไป

5. เพื่อสนองนโยบายการประหยัดทรัพยากรและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

วัสดุทางวิศวกรรมคือ วัสดุจำพวกของแข็ง ของเหลว ก๊าซ โลหะ อโลหะ อินทรีย์ และอนินทรีย์ ซึ่งสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภท คือ วัสดุประเภทโลหะ วัสดุประเภทเซรามิก และ วัสดุประเภทพอลิเมอร์ โดยวัสดุประเภทโลหะและวัสดุประเภทพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ วัสดุคอมโพสิต วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุชีวภาพ ดังรูปที่ 2.1 โดยในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติกจากวัสดุผสมระหว่างผงไม้ปาล์มกับเศษผงพลาสติก ซึ่งไม้พลาสติกเป็นวัสดุคอมโพสิตประเภทหนึ่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจในส่วนของวัสดุคอมโพสิตเป็นหลัก



รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทของวัสดุ
ที่มา : มาวิน สุประดิษฐ์ ณ อรุรยา (2550)

2.1 วัสดุคอมโพสิต (Composites material)

วัสดุคอมโพสิต เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อยสองชนิดที่มีสมบัติต่างกัน เมื่อผสมเป็นคอมโพสิตแล้วจะมีความแข็งแรงมากกว่าแต่ละองค์ประกอบย่อยที่มาประกอบกัน วัสดุคอมโพสิตจัดเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมาก ในปัจจุบันเป็นที่นิยมและมีปริมาณการ

ใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคอมโพสิตมีข้อดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา ความแข็งแรง และโมดูลัสต่อน้ำหนักสูง ขึ้นรูปได้ง่าย และต้นทุนการผลิตต่ำ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานแทนวัสดุอื่นได้ เช่น โลหะ และเซรามิก ซึ่งสมบัติของวัสดุคอมโพสิตขึ้นอยู่กับ

- (1) การยึดเกาะระหว่างคอมโพสิตและสารเสริมแรง
- (2) คุณสมบัติของเมตริกซ์และสารเสริมแรง
- (3) ปริมาณสารเสริมแรง
- (4) ขนาดและรูปร่างสารเสริมแรง
- (5) กระบวนการผลิต
- (6) การจัดเรียงตัว และการกระจายตัวของสารเสริมแรง
- (7) ตำแหน่งหรือช่องว่างภายในวัสดุคอมโพสิต

2.1.1 องค์ประกอบของวัสดุคอมโพสิต

วัสดุคอมโพสิตสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

(1) ส่วนเมตริกซ์ (Matrix phase) ซึ่งส่วนนี้จะป็นองค์ประกอบหลักของคอมโพสิต จัดเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) เมตริกซ์ที่นิยมใช้ได้แก่ พอลิเมอร์ โลหะ และเซรามิก เมตริกซ์เป็นส่วนที่ช่วยห่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน โดยทั่วไปเมตริกซ์มักจะมีความเหนียวสูง ความแข็งแรง และโมดูลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรง

หน้าที่ของเมตริกซ์ในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่

- รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดวัสดุคอมโพสิต
- รักษาการกระจายตัวของส่วนเสริมแรง และแยกไม่ให้เป็นส่วนเสริมแรงมารวมกัน
- ทำให้วัสดุคอมโพสิตสามารถทนต่อการเสียหายภายใต้อุณหภูมิหรือแรงกระทำ
- สามารถกระจายหรือส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังส่วนเสริมแรงได้
- ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรในตัวกลางต่าง ๆ

(2) ส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) เป็นวัสดุที่ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงมักเป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous phase) ซึ่งมีลักษณะรูปร่างหลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย (Fiber) หรืออนุภาคเล็ก ๆ โดยตัวเสริมแรงที่นิยมใช้มีลักษณะเป็นเส้นใย อาจเป็นเส้นใยต่อเนื่อง หรือเส้นใยสั้น เส้นใยที่ใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่ เส้นใยแก้ว เส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น

2.1.2 ชนิดของวัสดุคอมโพสิต

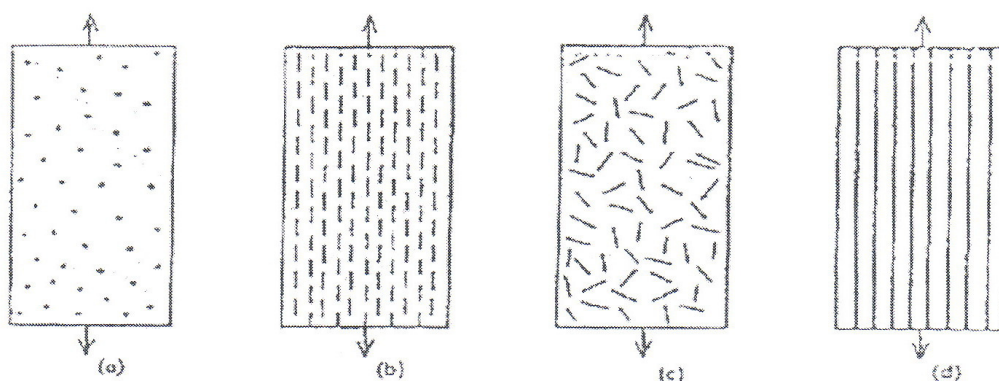
วัสดุคอมโพสิต แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ดังนี้

(1) คอมโพสิตแบบอนุภาค (Particular composite) เป็นคอมโพสิตที่เกิดจากการกระจายอนุภาคในเมตริกซ์ ซึ่งอนุภาคจะมีรูปร่างการจัดเรียงตัวและขนาดต่าง ๆ กัน อาจเป็นผง เม็ด หรือผลึก

(2) คอมโพสิตแบบลาร์มินาร์ (Larminar composite) เป็นคอมโพสิตที่เกิดจากการยึดติดระหว่างแผ่นวัสดุกับเมตริกซ์ในลักษณะคล้ายแซนวิช อัดด้วยความดันสูงซึ่งจะได้เป็นชั้น ๆ

(3) คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composite) เกิดจากเส้นใยเสริมแรงในเมตริกซ์ ซึ่งเส้นใยอาจเป็นเส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยอินทรีย์ (Organic fibers) เส้นใยแก้ว (Glass fibers) และเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) (ชลิตา กลิ่นพูล และนาวิน สังขรัตน์, 2546)

นอกจากนี้ คอมโพสิตสามารถเตรียมได้ในลักษณะต่าง ๆ กันตามลักษณะ และการจัดเรียงตัวของสารเสริมแรง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน (a) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาคจัดเรียงตัวแบบสุ่ม; (b) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน; (c) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นจัดเรียงตัวแบบสุ่ม; (d) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาวจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

ที่มา : ชลิตา กลิ่นพูล และนาวิน สังขรัตน์ (2546)

2.1.3 คอมโพสิตจากไม้

คอมโพสิตของไม้ในทางการค้า แบ่งออกได้หลายประเภท เช่น Plywood, Flake board, Particle board และ Hardboard เป็นต้น โดยแต่ละประเภทมีลักษณะและการผลิตแตกต่างกันไป ดังนี้

- Plywood หรือไม้อัด ผลิตจากไม้แผ่นบาง ๆ ที่ถูกนำมาวางซ้อนกันโดยใช้กาวเป็นตัวประสาน โดยวางแผ่นไม้ให้ทิศทางของเกรนในแต่ละแผ่นตั้งฉากกัน และส่วนใหญ่จะทำให้มีจำนวนชั้นเป็นเลขคี่ เพื่อให้ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการหดตัวอยู่ที่ชั้นกลาง และเพื่อให้มีการโค้งงอน้อยที่สุด

- Particle board มีลักษณะเป็นแผ่นไม้ที่ผลิตจากเศษไม้ที่ได้จากการเลื่อย ไซ หรือ เจาะ โดยเศษไม้ถูกนำมาอัดรวมกันโดยใช้เรซินเป็นตัวประสาน เรซินที่นิยมใช้ คือ Phenol-formaldehyde และ Isocyanate resin

- Flake board มีกรรมวิธีในการผลิตเหมือนกับ Particle board แต่มีลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ต่างกัน โดยที่โครงสร้างของ Flake board ทำมาจากแผ่นไม้ขนาดเล็ก ๆ มาอัดรวมกันและยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ Wafer board และ Oriented strandboard ซึ่งมีความแตกต่างกันที่ Wafer board จะใช้แผ่นไม้ที่กว้าง แต่ Oriented strandboard จะใช้แผ่นไม้ที่แคบและยาว

- Hardboard มีลักษณะเป็นแผ่นไม้ที่ผลิตจากเส้นใยลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic fiber) นำมาอัดรวมกันภายใต้ความร้อนและความดันให้มีความหนาแน่น 31 ปอนด์ต่อคิวบิกฟุต (Pound per cubic foot) หรือมากกว่าและอาจใส่วัสดุอื่นเติมลงไปเพื่อปรับปรุงให้ได้สมบัติตามต้องการ เช่น ความแข็ง หรือความต้านทานการขีดถู เป็นต้น

2.2 ไม้ปาล์ม (Oil palm wood)

ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูลปาล์ม (Palmae) เช่นเดียวกับ มะพร้าว ตาล จาก และระกำ น้ำมันถูกสกัดได้จากส่วนของผลในของเปลือก (Mesocarp) และเนื้อใน (Kernel) ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ชอบดินดี ฝนตกหนักและสม่ำเสมอตลอดปี ความชื้นอากาศสูง และแสงแดดจัด (ธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ, 2550) ดังนั้น ปาล์มน้ำมันจึงเจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของประเทศไทย บริเวณพื้นที่ที่ปลูกมากที่สุด คือจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง โดยจังหวัดกระบี่ ปลูกมากที่สุดจำนวน 537,637 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 39.40 และรองลงมาได้แก่

จังหวัดสุราษฎร์ธานี 405,213 ไร่ และจังหวัดชุมพร 216,798 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 29.70 และ 15.89 ของพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ ตามลำดับ หลังการปลูกแปลงแล้ว 3 ปี ก็สามารถให้ผลผลิตได้ไปจนถึงอายุ 25 ปี ผลผลิตจากปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่จะเน้นไปในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ซึ่งส่วนแบ่งการผลิตน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันพืชของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วจากร้อยละ 117 ในช่วงปี 2519-2543 เพิ่มขึ้นร้อยละ 27.5 ในช่วงปี 2544-2548 และคาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 312 ในช่วงปี 2559-2563 โดยมีประเทศผู้ผลิตที่สำคัญคือ มาเลเซีย และอินโดนีเซีย โดยน้ำมันปาล์มสามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ทำสบู่ เนยเทียม และน้ำมันทอดกรอบ เป็นต้น ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจะมีวัสดุเหลือใช้จากการสกัด ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

- ทะลายปาล์ม ใช้คลุมดินในสวนปาล์ม รักษาความชื้น เพิ่มเนื้อดิน และนำมาใช้เพาะเห็ด โดยทะลายปาล์มไม่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากความชื้นที่สูงหลังการถูกนึ่งด้วยไอน้ำในกระบวนการผลิต

- เส้นใยแห้ง ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 13.9 MJ/kg

- กะลาปาล์ม ใช้ผสมกับเส้นใย เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ โดยกะลาปาล์มมีค่าความร้อนประมาณ 15.8 MJ/kg ซึ่งปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงาน อีกทั้งยังสามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ใช้ในการกรองน้ำ และของเสีย หรือนำมาใช้ปลูกต้นไม้ เช่น กล้วยไม้ เป็นต้น

- น้ำเสีย ใช้รดน้ำในสวนปาล์ม เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง หรือ ใช้ผลิตก๊าซมีเทน เพื่อหุงต้ม โดยผ่านกระบวนการก๊าซชีวภาพ (Bio gas)

- กากของเสีย ใช้ทำปุ๋ย

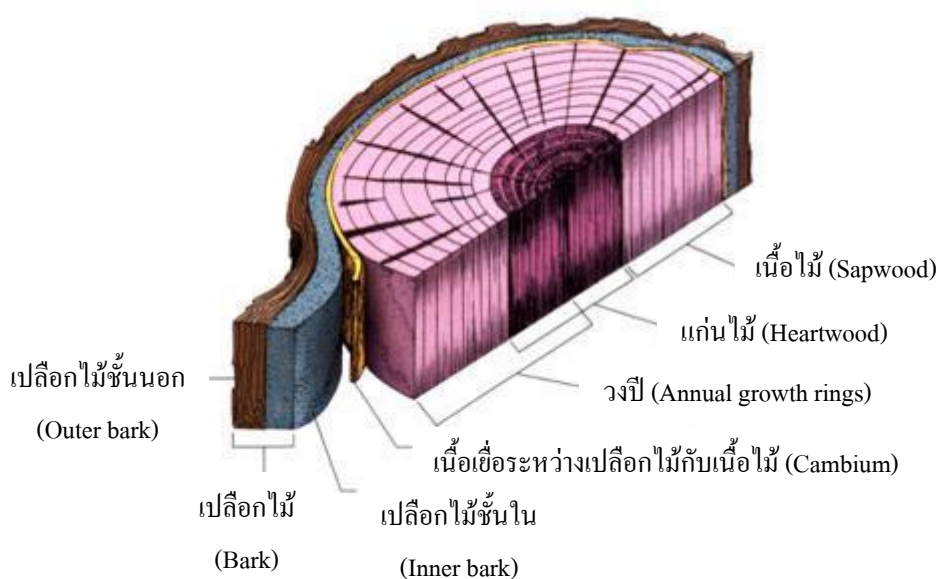
ส่วนของลำต้นและใบปาล์มนั้น เมื่อต้นปาล์มอายุครบ 25 ปี จะหมดอายุการให้ผลผลิต ชาวสวนจึงต้องตัดทิ้งแล้วปล่อยให้ย่อยสลายไปเอง บ้างก็เผาทิ้ง โดยที่ไม่ได้นำไปทำประโยชน์อย่างอื่น ทั้งที่ลำต้นและใบของปาล์มมีประโยชน์มหาศาล (พรรณนีย์ วิชชาญ, 2552) ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำลำต้นไม้ปาล์มมาใช้ประโยชน์ต่อไป

2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)

เส้นใยธรรมชาติจัดเป็นสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงประเภทสารอินทรีย์เกิดขึ้นและหาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงในสารอื่น ๆ เช่น พลาสติก เพื่อเป็นการลด

ต้นทุน ปรับปรุงความสามารถในการขึ้นรูป และสมบัติของผลิตภัณฑ์ โดยทำหน้าที่เสริมแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งสมบัติของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้ รวมถึงองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ความชื้น องค์ประกอบส่วนใหญ่ของเส้นใยธรรมชาติมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารประกอบอื่น ๆ ตัวอย่างเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ผงไม้ เส้นใยฝ้าย เส้นใยจากปาล์ม เส้นใยมะพร้าว เป็นต้น (ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ, 2549)

เส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของไม้ ซึ่งจะเป็นวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-homogeneous) เนื่องจากโครงสร้างของไม้ประกอบขึ้นจากเซลล์เนื้อไม้ที่มีรูปร่างหลากหลายกระจายเรียงตัวอยู่เป็นชั้น ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น หลัก ๆ คือ แก่นไม้ ส่วนเนื้อไม้ และเปลือกไม้ ซึ่งอยู่นอกสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แต่ละชั้นมีสมบัติต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ ความอุดมสมบูรณ์ของน้ำ อาหาร แสงแดด และภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ที่ต้นไม้ได้รับขณะทำการสร้างเซลล์นั้น ๆ และเนื่องจากเนื้อเยื่อของต้นไม้แต่ละชั้นมีความหนาแน่นและการกระจายตัวของเซลล์รูปทรงต่าง ๆ ไม่เหมือนกันจึงทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันไปด้วย การควบคุมให้เนื้อไม้ของต้นไม้มีสมบัติเหมือนกันทุกประการจึงไม่สามารถเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เพราะแม้แต่เนื้อไม้ที่มาจากต้นไม้ต้นเดียวกันแต่เป็นคนละส่วนกันยังยากที่จะทำให้สมบัติเหมือนกัน (ธนดล สัตตบงกช, 2546)

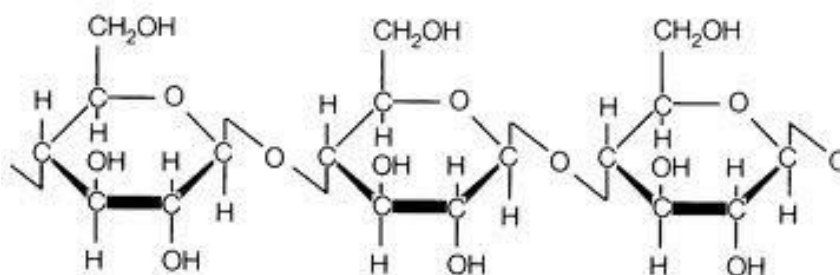


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไม้
ที่มา : ไม้กลายเป็นหิน (2553)

2.3.1 องค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติ

องค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติ ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

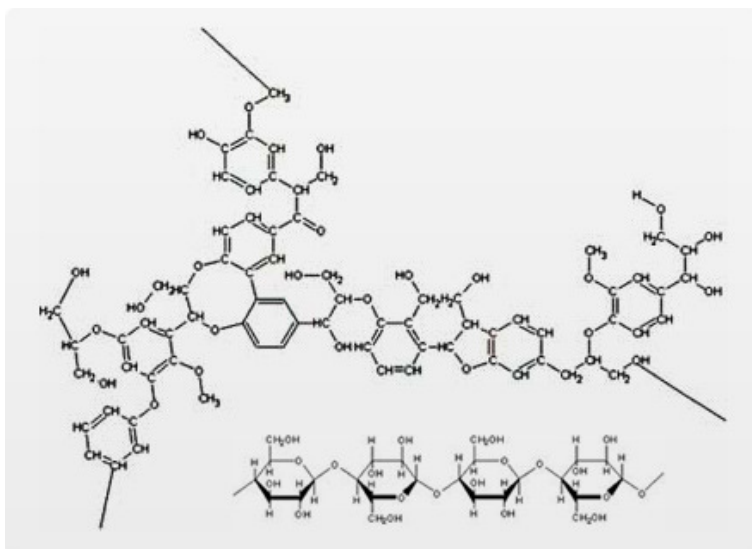
เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) ประกอบด้วย Anhydroglucopyranose เป็นหน่วยของโครงสร้าง มีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช โดยพบร่วมกับลิกนิน เพนโตแซน กัม แทนนิน ไซมัน เชื่อมต่อกันด้วย Glycosidic bond จัดเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.4 เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก โครงสร้างของเซลลูโลสจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวสูงมาก จึงมักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิการหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส

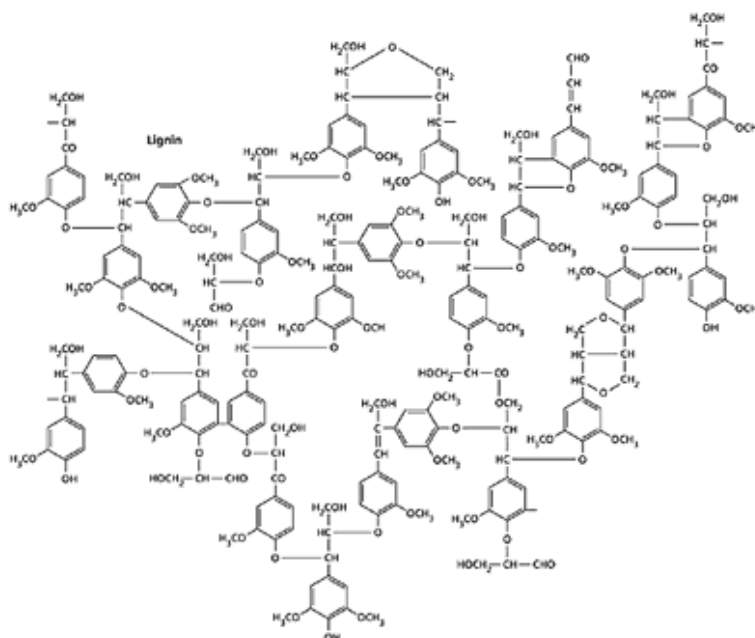
ที่มา : Ashton and Rau (2553)

เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาล คล้ายเซลลูโลส แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลคโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลคทูโรนิก มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบกิ่งดังรูปที่ 2.5 สายโซ่ของโมเลกุลจะสั้นกว่าเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่น ๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นต้น โดยเฮมิเซลลูโลสเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ ซึ่งพบมากในเกลบ และซังข้าวโพด



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส
ที่มา : Electregy (2553)

ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีโครงสร้างที่ซับซ้อนจัดเรียงตัวแบบสามมิติ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนทั้งแบบ Aromatic และ Aliphatic ดังรูปที่ 2.6 ทำให้ลิกนินมีความแข็ง และมักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของลิกนิน
ที่มา : Plant Physiology (2553)

2.3.2 ตัวอย่างเส้นใยธรรมชาติ

ตัวอย่างเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ผงไม้ ป่านศรนารายณ์ ฝ้าย และเส้นใยเซลลูโลส เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. ผงไม้ (Wood flour) ผงไม้ส่วนใหญ่ได้มาจากไม้เนื้ออ่อนพวกตระกูลสนและปาล์ม ซึ่งผงขี้เลื่อย เศษไม้ มีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้ง ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 180-600 ไมโครเมตร (30-80 Mesh) สามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือสารเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก โดยมีข้อดีคือ ช่วยลดการหดตัว เพิ่มโมดูลัสและเพิ่มความแข็งให้ผลิตภัณฑ์ แต่ก็มีข้อเสียคือ ทำให้กระบวนการขึ้นรูปทำได้ยากขึ้น ไม่สามารถขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส เสถียรภาพทางความร้อน ความทนทานต่อสภาพอากาศ และความสามารถในการรับแรงกระแทกลดลง โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ประโยชน์จากต้นปาล์มที่หมักอายุการให้ผลผลิตจากสวนปาล์ม ซึ่งโดยทั่วไปต้นปาล์มจะให้ผลผลิตได้จนถึงอายุ 25 ปี หลังจากนั้นจะโค่นทิ้งหรือขายเพื่อนำไปตกแต่งสนามกอล์ฟ หรือตกแต่งบริเวณรอบบ้าน (ธีระพงศ์ จันทรมนิยม และคณะ, 2550) ผู้วิจัยเล็งเห็นว่า ส่วนของไม้ปาล์มยังไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร จึงนำส่วนของต้นปาล์มที่หมักอายุการให้ผลผลิตจากสวนปาล์มมาเลื่อยให้มีขนาดเล็กกลง โดยขี้เลื่อยที่ได้จะมีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กปะปนกัน จากนั้นนำมาร่อนแยกขนาดที่ใหญ่ออก แล้วจะได้ขี้เลื่อยที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งมีอนุภาคเล็กมาก คือ ประมาณ 212-600 ไมโครเมตร (30-70 Mesh) เมื่อเทียบกับขี้เลื่อยทั่วไป (ขี้เลื่อยจากการแปรรูปไม้ยางพารา มีลักษณะเป็นเส้นความยาวตั้งแต่ 1-5 มิลลิเมตร ความกว้าง 1-25 มิลลิเมตร) (กฤตวุฒิ พรสวรรค์, 2548) ดังนั้น ในงานวิจัยจึงเรียกว่า “ผงไม้ปาล์ม” แทนที่จะเรียก “ขี้เลื่อยไม้ปาล์ม” ที่เป็นเช่นนี้เพราะเนื่องด้วยอนุภาคที่เล็กมาก

2. ป่านศรนารายณ์ เป็นเส้นใยที่แข็งแรง ได้จากส่วนของใบต้นป่านศรนารายณ์ ลักษณะของเส้นใยหยาบ หนา องค์กรประกอบหลักทางเคมีประกอบด้วยเซลลูโลส 49.62-60.95% ลิกนิน 3.75-4.40% เส้นใยมีความยาว 1-1.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 100-300 ไมโครเมตร ประกอบด้วยเส้นใยย่อยเป็นจำนวนมาก นิยมใช้ทำเป็นเชือกในอุตสาหกรรมการเกษตรและประมง

3. ฝ้าย (Cotton) เป็นเส้นใยของพืชที่ถูกใช้เพื่อเป็นสารเสริมแรงสำหรับพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถูกใช้กับพวกเทอร์โมเซต ในพลาสติกเส้นใยฝ้ายถูกเตรียมและถูกใช้ในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น ผ้าทอ ก้อนฝ้าย เศษผ้า เส้นใยเหล่านี้อาจจะปรับปรุงความสามารถในการขึ้นรูปให้ดีขึ้น ลดต้นทุน เพิ่มสมบัติการทนแรงกระแทก และสมบัติเชิงกลอื่น ๆ

4. เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibers) เป็นเส้นใยที่ได้จากเส้นใยของพืช โดยใช้วิธีการทางเชิงกลและวิธีการทางเคมีในการแยก และกำจัดลิกนินและสารประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ใน

เส้นใยพืชออกจากเซลลูโลส เส้นใยเซลลูโลสที่ถูกใช้โดยทั่วไปมาจากเส้นใยของฝักซึ่งผ่านกระบวนการกำจัดลิกนินและสารประกอบอื่น ๆ ออกจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเซลลูโลสอยู่ประมาณ 99% หรือมากกว่านั้น (ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ, 2549)

2.4 พลาสติก (Plastic)

ปัจจุบันความนิยมในการนำพลาสติกมาใช้ในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้นโดยนำมาใช้แทนวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้ หนัง โลหะต่างๆ พลาสติกจึงมีส่วนร่วมในผลิตภัณฑ์เกือบทุกประเภทเสมอ เช่น อุตสาหกรรมการบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ในบ้าน อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมของเด็กเล่น เนื่องจากมีข้อดี คือ น้ำหนักเบา มีความทนทาน สามารถทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย สีสดใสสวยงาม และราคาถูก

พลาสติกเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ชนิดหนึ่ง ทั้งนี้เพราะพลาสติกส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ มีพลาสติกหลายชนิดที่มีเฉพาะธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนล้วน ๆ ผสมอยู่ แต่พลาสติกส่วนมากยังประกอบด้วยธาตุชนิดอื่น ๆ อีก เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ฟลูออรีน ฟอสฟอรัส กำมะถัน เป็นต้น พลาสติกมีแหล่งกำเนิดจาก 5 แหล่งใหญ่ คือ

- (1) ผลิตผลทางการเกษตร เช่น Cellulose nitrate, Cellulose acetate-butyrate, Shellac, Shellac, Ethyl cellulose, Casein เป็นต้น
- (2) ผลิตผลทางการเกษตรและน้ำมัน เช่น Furan เป็นต้น
- (3) น้ำมันและถ่านหินเป็นแหล่งที่ใช้ผลิตเม็ดพลาสติกชนิดต่างๆ ได้มากที่สุด เช่น Polyethylene, Polypropylene, Polystyrene, Phenol-formaldehyde, Melamine-formaldehyde, Nylon, Polyester, Epoxy เป็นต้น
- (4) น้ำมันและสินแร่ เช่น Polyvinyl butyrate cabazole, Polyvinyl acetate, Polyvinyl alcohol, Silicone, Polyvinyl acetate-chloride, Polyvinyl chloride เป็นต้น
- (5) สินแร่ เช่น Calcium-aluminum silicate เป็นต้น

2.4.1 คุณสมบัติของพลาสติก

พลาสติกมีโครงสร้างพิเศษ เรียกว่า High molecular weight คือ โมเลกุลที่เชื่อมต่อกันยาวกว่าสารชนิดอื่นมากมายนับเป็นพันเท่า จึงทำให้พลาสติกมีสมบัติหลาย ๆ อย่างไปพร้อมกัน คือ

- (1) สมบัติทางกล (Mechanical) มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น ทนแรงกระแทกได้ดี มีความทนทานทางกลสูง (Mechanical strength)
- (2) สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical) เป็นฉนวนไฟฟ้า
- (3) สมบัติทางเคมี (Chemical) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีจุดหลอมเหลวตั้งแต่ 80 ถึง 250 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิต่ำจะแข็ง ส่วนใหญ่มีความถ่วงเฉพาะต่ำจึงมีน้ำหนักเบา ทนกรดต่างและสารเคมีอื่น ๆ โดยมากไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์

2.4.2 ประเภทของพลาสติก

พลาสติกที่ใช้กันทั่วไปในชีวิตประจำวันที่สำคัญมีอยู่ประมาณ 40-50 ประเภท แต่สามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท ได้แก่

2.4.2.1 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastics)

เทอร์โมเซตติงพลาสติก เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก พลาสติกแบบนี้เมื่อหลอมตัวเป็นรูปแบบใด จะเป็นรูปแบบนั้นอย่างถาวร หมายความว่า เอามาหลอมใช้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ไม่ได้ (รีไซเคิลไม่ได้) กล่าวคือ เกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Cross linking among polymer chains) ด้วยเหตุนี้หลังจากพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน แต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงถึงระดับจุดหลอมเหลวของพลาสติกชนิดนั้น ๆ การทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูงและโดยมากต้องการแรงอัดด้วย ได้แก่ พลาสติกจำพวกที่เป็นจานเข็ญหูหรี ซุ้ดถ้วยชาม จานพลาสติกชนิดพิเศษที่เรียกว่า เมลามีน (Melamine) ซึ่งมีสมบัติทนการแตกแตกและความร้อนได้ดีมาก เวลาถูกประกายไฟจะไม่ลุกไหม้ ที่พบเห็นกันทั่วไปเป็นผลิตภัณฑ์ภาชนะที่ใช้ในครัวเรือน เช่น จาน ชาม ถาด ถ้วยและช้อน เทอร์โมเซตติงพลาสติก ได้แก่

(1) **เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde)** มีสมบัติทางเคมี ทนแรงดันได้ 7,000 – 135,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงอัดได้ 25,000-50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงกระแทกได้ 0.25 –0.35 ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทนความร้อนได้ถึง 140 องศาเซลเซียส และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนยาก เมลามีนใช้ทำ ภาชนะ บรรจุอาหารหลายชนิด และนิยมใช้กันมาก มีทั้งที่เป็นสีเรียบและลวดลายสวยงาม ข้อเสียคือ น้ำส้มสายชูจะซึมเข้าเนื้อพลาสติกได้ง่าย ทำให้เกิดรอยต่าง แต่ไม่มีพิษภัยเพราะไม่มีปฏิกิริยากับพลาสติก

(2) **ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde)** มีความต้านทานต่อตัวทำละลาย สารละลายเกลือ และน้ำมัน แต่พลาสติกอาจพองบวมได้เนื่องจากน้ำหรือแอลกอฮอล์ พลาสติกชนิดนี้ใช้ทำฝาจากขวดและหม้อ โดย 1 พอลิเมอร์ คือ การนำมอนอเมอร์ซึ่งเป็นสารโมเลกุลเดี่ยวมาผ่านกระบวนการทางเคมี ทำให้มอนอเมอร์หลาย ๆ มอนอเมอร์มาเกาะตัวกัน ซึ่งจะให้คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีเหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น (บริษัท Bio-Plast จำกัด, 2551)

(3) **อีพ็อกซี (Epoxy)** มีความทนทานทางเคมีดี รับแรงดึงได้ดีมากและยังรับแรงอัดได้ดี รับแรงกระแทกได้ดีพอควร โดย Epoxy รู้จักกันดีแพร่หลายในลักษณะของ ๆ เหลว ที่มีคุณสมบัติหรือสามารถติดแนบได้ดีกับวัตถุอื่น ๆ หดตัวน้อย เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทนไฟอาร์ตได้ดี ทนกรด ด่าง และสารละลายได้ดี ใช้ทำการติดตั้งโครงสร้างฝังในเครื่องบิน วัสดุเคลือบผิวหล่อทำแม่พิมพ์ชนิดทดลอง ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องบินหรือรถยนต์

(4) **พอลิเอสเตอร์ (Polyester)** วัสดุนี้เป็นฉนวน ทนไฟที่ดี ทนกรดหรือด่างชนิดอ่อนได้ ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ เช่น ระเบิด ซึ่งเบาและมีความทนทานพอสมควร ทำชิ้นส่วนของเครื่องบิน ทำถุงบรรจุของเหลว เครื่องเขียน ส่วนของอาคาร เช่น หลังคา แผงกันแดด และยังใช้งานหล่อต่าง ๆ เช่น หล่อพระพุทธรูป หรือตุ๊กตา เป็นต้น (ทองคำ ชุมพล, 2550)

2.4.2.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

เทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกที่เมื่อขึ้นรูปแล้วสามารถนำกลับมาหลอม และใช้ใหม่ได้ (รีไซเคิลได้) เทอร์โมพลาสติกที่สำคัญ และพบมากในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภทของไทย อาจแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- พลาสติกเชิงพาณิชย์ (Commodity plastic) เช่น PP, PE และ PVC
- พลาสติกเชิงวิศวกรรม (Engineering plastic) เช่น ABS, PMMA และ PC เป็นต้น

สำหรับเทอร์โมพลาสติกที่สำคัญ และใช้มากในประเทศไทยมีอยู่ 7 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ได้แก่ พอลิเอทิลีน(PE) พอลิโพรพิลีน (PP) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) พอลิสไตรีน (PS) เอบีเอส (ABS) อะคริลิก (PMMA) พอลิอะซีทัล (Polyacetal) และพอลิคาร์บอเนท (PC) ซึ่งแต่ละประเภทจะมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะการใช้งานของพลาสติก และสัญลักษณ์ที่ใช้แทนพลาสติกแต่ละชนิด

สัญลักษณ์	ชื่อของพลาสติก	ลักษณะทั่วไป	จุดหลอมเหลว	ความถ่วงจำเพาะ	การใช้งาน
	พอลิเอทิลีนเทอริฟาเลต (Polyethylene terephthalate, PET)	เป็นพลาสติกที่ใส มองทะลุได้ มีความแข็งแรง ทนทาน และเหนียว ป้องกันการผ่านของก๊าซได้ดี	250 °C	1.38-1.39	นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำปลา ขวดน้ำมันพืช ไซส์สังเคราะห์ใส่ในถุงนอนหรือหมอนเส้นใยผ้า เป็นต้น
	พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene, HDPE)	เป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูง ค่อนข้างนึ่ง มีความเหนียว ไม่แตกง่าย มีสีขาว หรือเป็นสีอื่น ๆ	130 °C	0.94-0.96	นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น ขวดแชมพู ขวดน้ำยาซักผ้า ขวดน้ำดื่ม ขวดร้อนชนิดขุน ขวดนม เข็อกน้ำดื่ม เป็นต้น
	พอลิไวนิล คลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC)	เป็นพลาสติกที่มีลักษณะแข็ง สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ มีสีสวยงาม	210 °C	1.18-1.35	นิยมใช้มาก เช่น ท่อพีวีซี สายยาง เป็นต้น
	พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low-density polyethylene, LDPE)	เป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำ มีความนุ่มกว่า HDPE เหนียว ยืดตัวได้ในระดับหนึ่ง ใส มองเห็นได้	110 °C	0.92-0.94	นิยมใช้ทำแผ่นฟิล์มห่ออาหาร และห่อของ
	พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)	เป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ มีความแข็งแรงและเหนียว คงรูปดี ทนต่อความร้อน และสารเคมี	170 °C	0.90-0.91	นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารในครัวเรือน เช่น ถุงร้อนชนิดใส งาน ชาม ถ้วยนมเปรี้ยว กระจ่ป้องกันเย็บ กระจ่ป้องกันฝรั่งทอด เป็นต้น
	พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS)	เป็นพลาสติกที่มีความใส แข็ง แต่เปราะแตกง่าย สามารถทำเป็นโฟมได้	90 °C	1.04-1.08	นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ เช่น กล่องไอศกรีม กล่องโฟม เป็นต้น
	พลาสติกอื่นๆ (Multilayered plastic materials, other)	เป็นพลาสติกที่นอกเหนือจากพลาสติกทั้ง 6 กลุ่ม	-	-	นิยมใช้ทำวัสดุหลายรูปแบบ เช่น อะคริลิก (Acrylic) ไนลอน (Nylon) เป็นต้น

ที่มา : เสรีชัย คุ้มประกาย และคณะ (2548)

(1) พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE)

โดยทั่วไป พอลิเอทิลีน มีสีขาวขุ่น (Milky white) ลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่เกาะติดน้ำ สามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ มีน้ำหนักเบามาก พอลิเอทิลีนมีปริมาณการใช้สูงสุดในประเทศไทยขณะนี้ นิยมใช้ทำเครื่องใช้เครื่องเรือนทั่วไป ของเล่นเด็ก ดอกไม้พลาสติก ภาชนะบรรจุต่าง ๆ เช่น ถู ก๊อบแก๊ป เป็นต้น พอลิเอทิลีนมีหลายชนิด เช่น Low density polyethylene (LDPE) High density polyethylene (HDPE) และที่ได้พัฒนาใหม่ให้มีคุณสมบัติยิ่งขึ้น นิยมใช้มากคือ Linear low density polyethylene (LLDPE) กับ Ultra-high molecule weigh polyethylene (UHMW PE) สำหรับพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้มากในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกัน 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- **HDPE (High density polyethylene)** เป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติเหนียว แข็ง มีสีขุ่น ทนต่อสารเคมี รักษารูปทรงได้ดีและสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 125 องศาเซลเซียส พลาสติก HDPE ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตสินค้าพลาสติกชนิดต่าง ๆ ในหลายรูปแบบ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทดังนี้

(1) งานแผ่นฟิล์ม (Film grade) HDPE ในรูปของฟิล์ม มีลักษณะเหนียว ทนแรงกระแทกสูง สามารถทำให้เป็นแผ่นบางได้ง่าย จึงนิยมใช้ผสมกับ LDPE/LLDPE เพื่อผลิตเป็นถุงชนิดใช้งานหนัก เช่น ถุงใช้งานอุตสาหกรรม ทำเป็นถุงบรรจุสินค้าที่ต้องการความแข็งแรงและการทรงตัวอย่างกระดาก เช่น ถุงใส่ของแบบมีหูหิ้วที่ใช้ตามห้างสรรพสินค้า HDPE ที่ใช้ในงานแผ่นฟิล์มมีส่วนสำคัญมากที่สุด

(2) งานเป่าเข้าแบบ (Blow molding) HDPE ชนิดเป่าเข้าแบบ มีลักษณะเนื้อแข็ง ทนต่อแรงบิด เข้าแบบง่าย รักษารูปทรงได้ดี จึงใช้ในการผลิตงานที่ต้องการความคงทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เช่น ขวดบรรจุน้ำยาซักล้าง น้ำยาฟอกสี ขวดบรรจุน้ำมันเบรก น้ำมันเครื่อง ขวดเครื่องสำอางและแชมพู ขวดน้ำดื่ม ขวดนม ขวดน้ำกลั่น ถังน้ำ ถังน้ำมันเชื้อเพลิงและเคมี ฯลฯ HDPE ที่ใช้ในการเป่าเข้าแบบมีสูงเป็นอันดับสองรองจากงานแผ่นฟิล์ม

(3) งานฉีดเข้าแบบ (Injection molding) HDPE ชนิดการขึ้นรูปแบบฉีดมีลักษณะเนื้อแข็ง ทนต่อแรงบิดและแรงกระแทกสูง ค่าหดตัวต่ำ สามารถนำไปใช้ในการผลิตชิ้นงานเล็ก ๆ เช่น สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในบ้าน และภาชนะขนาดเล็ก และผลิตภัณฑ์ในงานอุตสาหกรรมที่ต้องรับน้ำหนักและแรงกระแทกบ่อย การใช้งาน HDPE ในงานนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

(3.1) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น Palette (กระดานรอง) ภาชนะบรรจุหรือถังบรรจุเครื่องดื่ม ถังบรรจุผลไม้ เป็นต้น

(3.2) เครื่องใช้ในบ้าน เช่น ถาด ชั้นวางของ เป็นต้น

(3.3) ผลิตภัณฑ์ประเภทภาชนะขนาดเล็ก

(4) Mono-filament ได้แก่ แห อวน เชือก

(5) อื่น ๆ ได้แก่ ใช้ในการผลิตท่อ เนื่องจากมีลักษณะเนื้อเหนียวเป็นพิเศษ ทนต่อแรงบิดและแรงอัดสูง เหมาะกับการทำท่อน้ำ ท่อน้ำมัน ท่อแก๊สและท่อที่มีแรงดันอัดภายใน อีกทั้งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปแบบหมุน ซึ่งผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้ทำรางสำหรับแข่งแข่ง เพื่อการขนส่งสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปู ปลา เป็นต้น

- **LDPE (Low density polyethylene)** มีความทนทานต่อสารเคมี กรดและด่าง อีกทั้งยังแปรรูปได้ง่าย เป็นฉนวนได้ออย่างดี และไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ มีความสามารถในการรับแรงกระแทก และมีความยืดหยุ่น แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- Homopolymer ได้แก่ พลาสติก LDPE ทั่วไปแบ่งตามการใช้งานได้ดังนี้

(1) งานแผ่นฟิล์ม ได้แก่ ถุงขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดเล็กที่ใช้บรรจุสินค้าทั่วไป ตลอดจนถึงขนาดใหญ่ที่ต้องการแบกรับน้ำหนักมาก เช่น ถุงน้ำแข็ง ถุงบรรจุอาหารแช่เย็น ถุงซ้อปิ้ง ใช้ทำวัสดุกันกระแทก ได้แก่ Air bubble sheet นอกจากนี้ แผ่นฟิล์มยังใช้งานในการรัดสินค้าให้อยู่ในสภาพทรงตัว เช่น ฟิล์มรัดกล่อง ฟิล์มรัดสินค้าบนไม้พาเลท เพื่อการขนส่งไปจนกระทั่งแผ่นฟิล์มขนาดใหญ่ ๆ ใช้ในด้านเกษตรกรรม เช่น แผ่นฟิล์มรองพื้นปูบ่อน้ำเพื่อการเก็บกักน้ำ เรือนเพาะชำ (Green house) เป็นต้น

(2) งานเป่าเข้าแบบ ได้แก่ การเป่าทำขวดต่าง ๆ เช่น ขวดน้ำเกลือ ขวดยาหยอดตา ขวดน้ำดื่ม และเป่าเพื่อทำกระป๋องและกล่อง

(3) งานฉีดเข้าแบบ ได้แก่ ภาชนะ ของเล่นที่ต้องการลักษณะชิ้นงานที่นูนเล็กน้อย งานจัดของสวยงาม เช่น ดอกไม้พลาสติก ใบไม้พลาสติก รวมทั้งเครื่องใช้ในบ้านอื่น ๆ เช่น ตะกร้า ถัง ขาม อ่าง เป็นต้น

(4) งานแผ่นเคลือบ หรือแผ่นประกบ ได้แก่ งานเคลือบบนผิวฟิล์ม บนผิวแผ่น อลูมิเนียมฟอยล์ เช่น ซองบรรจุอาหารแห้งประเภทบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป อาหารเสริมเด็กอ่อน ซึ่งต้องการคุณสมบัติการป้องกันความชื้นและการซึมผ่านของก๊าซต่าง ๆ

(5) งานเคลือบผิวโลหะ ได้แก่ การเคลือบลดเอนกประสงค์ เช่น ตะแกรงวางสินค้า ชั้นวางของ ตะกร้า รถจักรยาน ตลอดจนงานเคลือบพิเศษ เช่น สายเคเบิล สายโทรศัพท์ สายไฟฟ้า เป็นต้น

- Copolymer มีคุณสมบัติพิเศษกว่า LDPE ชนิดธรรมดา คือ มีความอ่อนนุ่ม มีความยืดหยุ่นสูง ใช้ผลิตหนังเทียมแทน PVC ชนิดอ่อน พื้นรองเท้า และรองเท้ากีฬา

- **LLDE (Linear low density polyethylene)** เป็นพลาสติก PE ที่ใหม่กว่าสองประเภทแรก ปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นกว่า LDPE ในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็น การต้านแรงกระแทก การต้านแรงดันทะลุ การต้านแรงดึงขาด การทรงรูป ความแข็งแรงของรอยเชื่อม ความมันเงา และความยืดตัว

การนำ LLDPE ไปใช้ประโยชน์มีด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ ลักษณะแรกเป็นการนำมาผสมกับ LDPE หรือ HDPE ในสัดส่วนต่าง ๆ กันเพื่อปรับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะในด้านความเหนียว ซึ่งการนำมาใช้ในลักษณะนี้ผู้ผลิตไม่จำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องจักรแต่อย่างใด ส่วนการนำมาใช้ในอีกลักษณะเป็นการนำเอา LLDPE มาเป่าเป็นฟิล์มเดี่ยว ส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตเป็นถุงบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักสูง เช่น ถุงข้าวสาร ถุงขยะ ถุงบรรจุอาหารสัตว์ เป็นต้น

(2) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP)

พอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับพลาสติกชนิด HDPE และ LDPE จึงสามารถใช้ทดแทนกันได้ระดับหนึ่ง แต่สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 150 องศาเซลเซียส เหนียว แข็งแกร่ง ทนต่อแรงอัดและแรงกระแทก ไม่สึกกร่อนง่าย ทนต่อสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- Homopolymer polypropylene เป็นพอลิโพรพิลีนที่มีคุณสมบัติแข็งแรงกว่าพอลิเอทิลีน ขึ้นรูปง่าย ใช้ในงานฉีดทั่วไป งานที่ใช้พลาสติกประเภทนี้ ได้แก่

- งานฉีดขึ้นรูป เช่น ถัง กะละมัง ตะกร้า ของเด็กเล่น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ทางการแพทย์ ภาชนะบรรจุทั่วไป เป็นต้น

- แผ่นฟิล์ม ใช้ทำฟิล์มใส ถุงร้อน ถุงเย็น ซองใส่เสื้อเชิ้ต ฟิล์มห่อหุ้มบรรจุอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน

- งานเป่า เช่น เป่าขวด ที่นำมาใช้งานเช่นเดียวกับ HDPE

- งานสิ่งทอ ทำเส้นใย กระสอบสาน เชือก แห อวน เป็นต้น

- Block copolymer polypropylene เป็นพอลิโพรพิลีนที่รับแรงกระแทกสูงกว่าประเภท Homopolymer ขึ้นรูปง่าย งานที่ใช้เช่นเดียวกับ Homopolymer polypropylene แต่ต้องรับแรงกระแทกสูงที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิต่ำเช่น Toplevel ในตู้เย็น ชิ้นส่วนเครื่องซักผ้า อุปกรณ์รถยนต์ เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะบรรจุที่ต้องการรับแรงกระแทกสูง แบตเตอรี่ แก้วอีสานาม เป็นต้น

- Random copolymer polypropylene เป็นพอลิโพรพิลีนที่มีความใสเป็นสมบัติพิเศษ ใช้ในงานฉีดเป็นส่วนใหญ่ งานที่ใช้ได้แก่ กล่องบรรจุอาหารทั่ว ๆ ไป

(3) พอลิไวนิล คลอไรด์ (Polyvinyl chloride: PVC)

Polyvinyl chloride (PVC) มีคุณสมบัติทนต่อสารเคมี ก๊าซและน้ำซึมผ่านเข้าไม่ได้ ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศได้ดี มีน้ำหนักเบา และมีราคาค่อนข้างถูก ซึ่งจากคุณสมบัติที่ดีเหล่านี้ PVC จึงถูกนำมาใช้ในงานอย่างกว้างขวาง เช่น รางน้ำ วงกบหน้าต่าง ท่อน้ำ สายเคเบิลไฟฟ้า ใช้ในการบรรจุหีบห่อสินค้า และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม PVC ที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ท่อน้ำ PVC ขวด PVC หนังสืเยม ฯลฯ ไม่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจาก PVC ผงอย่างเดียว แต่จะผสมสารเติมแต่งอื่น ๆ อีกหลายชนิด เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามความต้องการ อาทิ สารปรับปรุงแรงกระแทก สารเสริมสภาพพลาสติก สารคงสภาพ เป็นต้น

(4) พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS)

พอลิสไตรีนมีความหดตัวน้อยมาก มีความแข็งแรง คงทนดี แต่เปราะ สามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ ผิวเรียบและใส ไม่มีรสและกลิ่น เป็นฉนวนไฟฟ้าดี ความดูดซึมน้ำต่ำ ไม่เหมาะกับการใช้ภายนอก ทนความร้อนได้พอสมควร พอลิสไตรีนใช้ทำกล่องบรรจุอาหารชนิดใส กล่องบรรจุของใช้อื่น ๆ เช่น แปรงสีฟัน ถังบรรจุเครื่องดื่ม ของเด็กเล่น แผงและตู้โทรทัศน์วิทยุ ไฟท้ายรถ ไม้บรรทัด ฯลฯ ในรูปโฟม ซึ่งเรารู้จักในชื่อ สไตโรโฟม (Styrofoam) ใช้ทำป้ายและสิ่งประดับในงานต่าง ๆ วัสดุกันแตกในกล่องบรรจุของ แผ่นฉนวนกันความร้อนและเสียง ฯลฯ พอลิสไตรีนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- พอลิสไตรีนชนิดธรรมดา (GPPS) แข็ง แต่เปราะ พอลิสไตรีนชนิดนี้ที่ใช้ในประเทศไทย สามารถแบ่งตามอุตสาหกรรมการผลิตได้ดังนี้

- อุตสาหกรรมของเด็กเล่นพลาสติกต่าง ๆ
- อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เช่น เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ชิ้นส่วนใส่ในตู้เย็น หน้ากากแอร์ เป็นต้น

- อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ ส่วนใหญ่ไม่นิยมใช้ เนื่องจากทนแรงกระแทกได้น้อย ที่พบในตลาด ได้แก่ ไฟท้ายรถ

- อุตสาหกรรมเครื่องใช้ครัวเรือน ได้แก่ สุขภัณฑ์ ภาชนะบรรจุอาหาร กล่องใส่คุกกี้ ถาด ช้อน ส้อมพลาสติก เป็นต้น

- อุตสาหกรรมงานแผ่นและฟิล์ม ใช้ในงานตกแต่งสถาปัตยกรรม งานขึ้นรูปเป็น Packing ได้แก่ ถ้วยใส่ไอศกรีม ถ้วยน้ำ กล่องใส่ของเด็กเล่น เป็นต้น

- พอลิสไตรีนชนิดพิเศษ เช่น High impact copolymer (HIPS) จะแข็งแรงกว่ามาก และไม่เปราะ ลักษณะของการใช้งานจะคล้ายกับแบบ GPPS แต่จะใช้งานที่ต้องการคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกเพิ่มขึ้นและชิ้นงานที่ไม่โปร่งแสง

(5) อะคริโลไนไตรล บิวทาไดอีน สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene: ABS)

อะคริโลไนไตรล บิวทาไดอีน สไตรีน มีคุณสมบัติรับแรงกระแทกได้ดีมาก ทนความร้อนสูงถึง 212 องศาฟาเรนไฮต์ ทนกรดและด่างได้ดีพอสมควร เป็นฉนวนไฟฟ้าดี คุณสมบัติพิเศษที่สามารถนำไปหุบเคลือบผิวได้ดี เช่น หุบโครเมียม นิยมนำไปทำปุ่มหมุนวิทยุโทรทัศน์ ABS จะใช้ในอุตสาหกรรมหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมของเด็กเล่น ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการส่งออกจำนวนมาก
- อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์และรถจักรยานยนต์ เช่น กระจกมองข้าง กระจกหน้ารถยนต์ Console box เป็นต้น ซึ่ง ABS จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมนี้มากที่สุด
- อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น ชิ้นส่วนหม้อหุงข้าว เตารีด เตอบไมโครเวฟ โทรศัพท์ พัดลม เครื่องซักผ้า โทรทัศน์ หูจับตู้เย็น นาฬิกา หน้ากากแอร์ ปลั๊กไฟ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น
- อุตสาหกรรมเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น จาน ชาม ตะเกียบ เป็นต้น

(6) อะคริลิก (Acrylic)

พลาสติก PMMA (Polymethyl methacrylate) หรือที่รู้จักกันดีในนาม “อะคริลิก” เป็นพลาสติกที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายด้วยคุณสมบัติโดดเด่นในด้านความใสเทียบเคียงกระจก มีความมันเงา และทนทานต่อสภาพแวดล้อม PMMA สามารถนำมาใช้ทั้งในงานฉีดขึ้นรูป (Injection) และงานอัดรีด (Extrusion) ได้เป็นอย่างดี โดยชิ้นงานที่เห็นกันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นรถยนต์ หน้าปัทม์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ฝาครอบไฟ ก้อนน้ำคริสตัล เครื่องใช้ในครัวเรือนที่คล้ายเครื่องแก้ว เลนส์ ครอบแว่นตา ฯลฯ ล้วนแต่ทำจาก PMMA ทั้งสิ้น

(7) พอลิอะซีทัล (Polyacetal)

พอลิอะซีทัลจัดเป็น Engineering plastics ตัวหนึ่ง ที่ใช้แทนชิ้นส่วนโลหะที่หล่อโดยวิธี Die casting นอกจากนี้ยังใช้ทำชิ้นส่วนในรถยนต์และเครื่องจักรกล เช่น คาบูเรเตอร์ เกียร์ แบริง บูช ลูกกลิ้ง ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวและเสียดทาน นอกจากนี้ยังใช้ทำเป็นขวดบรรจุสเปร์ยได้อีกด้วย

(8) พอลิคาร์บอเนท (Polycarbonate)

พอลิคาร์บอเนทเป็นเทอร์โมพลาสติกเรซิน (Thermoplastic resin) มีคุณสมบัติที่สำคัญหลายด้าน ได้แก่

- ทนต่อแรงกระแทกสูง
 - มีความใสทำให้นำมาประยุกต์ใช้ในงาน Optic ได้อย่างกว้างขวาง (แสงผ่านได้ 90%)
 - มีขนาดคงที่ในระหว่างการขึ้นรูป และมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กน้อยหลังจากผ่านการขึ้นรูปแล้ว นั่นคือ มีการหดตัวเมื่อผ่านการขึ้นรูปต่ำ ดังนั้น Polycarbonate จึงเป็นพลาสติกที่มีขนาดคงที่เมื่อผ่านการขึ้นรูป
 - ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้างตั้งแต่ - 40 องศาเซลเซียส จนถึง + 120 องศาเซลเซียส
 - เมื่อเกิดการลุกไหม้สามารถดับได้เอง จึงถูกนำมาใช้งานในสถานที่ที่การลุกไหม้เป็นสิ่งอันตราย
 - มีความทนทานต่อสภาวะอากาศ และโอโซนได้ดีมาก สามารถนำมาใช้กับงานภายนอกอาคารได้
 - ไม่เป็นพิษ จึงนำมาใช้เป็นภาชนะในการบรรจุอาหารและยา
 - มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม จึงนำมาใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า
- พอลิคาร์บอเนต จึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตสินค้าได้หลายประเภท เช่น ทำแว่นตานิรภัย Compact Disc กระจกหน้าต่าง Housing ของคอมพิวเตอร์ ฝาครอบไฟฟ้านำรถยนต์ และขวด เป็นต้น

2.4.3 ขยะพลาสติก

ความทนทานของพลาสติกก็กลับเป็นข้อเสียในการกำจัด กล่าวคือพลาสติกย่อยสลายได้ยากในกระบวนการทางธรรมชาติ พลาสติกที่ใช้แล้วอาจก่อให้เกิดปัญหาอย่างต่อเนื่องสู่สิ่งแวดล้อมถ้าขาดการจัดการที่เหมาะสม เช่น เกิดการตกค้างของพลาสติกในสิ่งแวดล้อม ตามพื้นดินและในแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น เกิดการอุดตันในท่อระบายน้ำ การใช้พื้นที่ในการฝังกลบมาก นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งมลภาวะทางสายตา โดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยพลาสติกคิดเป็นร้อยละ 142 ของมูลฝอยทั้งหมด ขยะพลาสติกที่ใช้แล้วมีแหล่งกำเนิดมาจากหลาย ๆ แหล่งดังนี้

- ขยะชุมชน ส่วนใหญ่ของปริมาณขยะพลาสติกทั้งหมดมาจากขยะชุมชน ซึ่งรวมถึงขยะจากบ้านเรือนและขยะจากธุรกิจขนาดเล็ก

- ขยะจากโรงงานอุตสาหกรรม และการจัดจำหน่าย รวมถึง ถุง ถัง สำหรับอุตสาหกรรมอาหารและสารเคมี ลัง อุปกรณ์ในโรงงานที่ไม่ใช้แล้ว เป็นต้น พลาสติกที่ใช้ส่วนใหญ่คือ PE, PP, PS และ PVC

- ขยะจากรถยนต์ ส่วนประกอบของรถยนต์ ร้อยละ 15-20 ของส่วนประกอบทั้งหมด มีส่วนประกอบของวัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก ได้แก่ แก้ว พลาสติก ยาง เป็นต้น พลาสติกบางชนิดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

- ขยะจากการก่อสร้าง

- ขยะจากการกสิกรรม พลาสติกที่ใช้ในการกสิกรรมได้แก่ พลาสติก PE PP และ PVC แบ่งเป็นพลาสติกที่มีช่วงชีวิตสั้นจนถึงปานกลาง ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีช่วงอายุการใช้งานสั้น ได้แก่ ฟิล์มพลาสติก สำหรับคลุมโรงเรือนและกองปุ๋ย ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีช่วงอายุการใช้งานปานกลาง ได้แก่ ท่อ วาล์ว แทงก์ ถัง เป็นต้น

- ขยะจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ เช่น สถานพยาบาล ซึ่งขยะประเภทนี้จัดเป็นขยะอันตรายต้องการวิธีการกำจัดเป็นพิเศษ การนำขยะประเภทนี้กลับมาใช้ใหม่ต้องมีกระบวนการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคที่เหมาะสม (บริษัท Bio-Plast จำกัด, 2551)

ปริมาณขยะพลาสติก

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน และมีแนวโน้มปริมาณการใช้เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมีสมบัติพิเศษคือไม่สลายตัวและเสื่อมสภาพโดยง่าย ทำให้ขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกคงอยู่ในสภาพแวดล้อมได้เป็นเวลานาน เป็นภาระในการจัดการและกำจัดเป็นอย่างมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณร้อยละขององค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนในระดับภูมิภาค

พื้นที่	องค์ประกอบของขยะมูลฝอย (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)								
	เศษอาหาร/ อินทรีย์สาร	กระดาษ	พลาสติก	แก้ว	โลหะ	ไม้	ยาง/หนัง	ผ้า	อื่น ๆ
ภาคเหนือ									
ครั้งที่ 1	67.91	6.59	15.56	3.19	1.74	0.74	0.44	1.26	2.57
ครั้งที่ 2	59.71	7.77	21.48	3.03	1.44	0.96	0.20	1.19	4.23
รวมเฉลี่ย	63.81	7.18	18.52	3.11	1.59	0.85	0.32	1.22	3.40
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ									
ครั้งที่ 1	71.58	6.25	14.46	2.50	1.50	0.37	0.37	0.75	2.23
ครั้งที่ 2	67.53	5.77	16.05	3.87	2.11	0.51	0.60	1.25	2.32
รวมเฉลี่ย	69.55	6.01	15.26	3.19	1.81	0.44	0.49	1.00	2.28
ภาคกลาง									
ครั้งที่ 1	66.42	6.77	15.22	2.39	1.60	2.00	0.40	1.64	3.56
ครั้งที่ 2	62.56	7.85	20.01	1.41	1.48	0.60	0.32	1.37	4.41
รวมเฉลี่ย	64.49	7.31	17.62	1.90	1.54	1.30	0.36	1.51	3.99
ภาคตะวันออก									
ครั้งที่ 1	59.00	9.39	18.30	2.98	2.42	1.04	0.54	1.48	4.85
ครั้งที่ 2	59.68	7.41	18.85	3.63	2.78	0.77	0.59	2.29	4.01
รวมเฉลี่ย	59.34	8.40	18.58	3.31	2.60	0.91	0.57	1.89	4.43
ภาคใต้									
ครั้งที่ 1	60.55	8.69	17.82	4.77	2.26	0.61	0.77	1.51	3.02
ครั้งที่ 2	57.65	11.78	18.46	3.96	2.27	0.25	0.49	1.28	3.85
รวมเฉลี่ย	59.10	10.24	18.14	4.37	2.27	0.43	0.63	1.40	3.44

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2548ก.)

จากการสำรวจปริมาณมูลฝอยประเภทพลาสติกของกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ. 2542 พบว่า ปริมาณมูลฝอยประเภทพลาสติกมีประมาณร้อยละ 14 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือคิดเป็นปริมาณ 1.9 ล้านตันต่อปี ปริมาณมูลฝอยประเภทพลาสติกเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16 หรือ 2.3 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2544 และในปี พ.ศ.2546 พบว่า ปริมาณมูลฝอยประเภทพลาสติกมีประมาณร้อยละ 17.6 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือคิดเป็นปริมาณ 2.5 ล้านตันต่อปี

ขยะพลาสติกมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญ ได้แก่ ร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงพยาบาล และ โรงเรียน คราวเรือนในฐานะผู้บริโภคก็แหล่งขยะมูลฝอยพลาสติกที่สำคัญ จากการสำรวจและวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศโดยศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล พบว่า องค์ประกอบมูลฝอยที่เป็นพลาสติกมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 15.43 โดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยของชุมชน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ร้อยละของพลาสติกในองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชนในกรุงเทพฯและปริมณฑล

จังหวัด	ชนิดของพลาสติก								รวม (ร้อยละ)
	พีพี	พีอีที	พีวีซี	พีเอส	อีพีเอส	เอชดีพีอี	แอลดีพีอี	ถุงขนม พลาสติก	
นครปฐม	3.90	0.11	0.04	0.68	0.00	7.73	1.19	0.00	13.65
นนทบุรี	3.74	0.64	0.96	0.28	0.56	7.14	1.12	0.48	14.92
สมุทรปราการ	0.99	0.21	0.10	0.08	0.12	0.12	12.13	0.00	13.75
ปทุมธานี	2.18	0.09	0.18	0.27	0.40	0.58	8.02	2.23	13.95
สมุทรสาคร	3.47	0.07	0.24	1.56	0.30	7.09	1.74	0.00	14.47
กรุงเทพฯ : อ่อนนุช	2.27	0.17	0.07	0.92	0.47	9.98	6.13	0.78	20.79
หนองแขม	2.02	0.61	0.69	1.05	0.44	7.81	2.26	0.76	15.64
ท่าแร้ง	1.30	0.23	0.06	0.52	0.97	8.36	3.46	1.37	16.27
เฉลี่ยรายชนิดพลาสติก	2.48	0.27	0.29	0.67	0.41	6.10	4.51	0.70	15.43

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2548ข.)

ชนิดของพลาสติกที่ตกค้างอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชนที่สำคัญ ได้แก่ พลาสติกชนิด HDPE LDPE และ PP ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 39.54 ร้อยละ 29.20 และ ร้อยละ 16.10 ของปริมาณขยะพลาสติกที่พบในขยะมูลฝอย ตามลำดับ ดังนั้นการที่จะลดปริมาณขยะพลาสติกในขยะมูลฝอยชุมชน ควรมุ่งเน้นไปในมูลฝอยพลาสติกประเภท HDPE, LDPE และ PP (กรมควบคุมมลพิษ, 2548 ข.) จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทำให้ผู้ทำวิจัยสนใจและเลือกพลาสติกชนิด HDPE มาใช้ในการทำวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นพลาสติกที่ตกค้างอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชนมากที่สุด และ HDPE ยังเป็นชนิดของพลาสติกที่สามารถนำมาผลิตเป็นไม้พลาสติกได้ (ชนคล สัตตบงกช, 2546) อีกทั้งคุณสมบัติที่ดีของ

HDPE ที่มีความเหนียว แข็ง มีสีขุ่น ทนต่อสารเคมี รักษารูปทรงได้ดี และสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 125 องศาเซลเซียส ซึ่งจะส่งผลให้ไม้พลาสติกที่ได้มีคุณสมบัติที่ต่าง ๆ ด้วย

ขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกในกองขยะมูลฝอย ส่วนใหญ่เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร แสดงดังตารางที่ 2.4 โดยแยกเป็นชนิดได้ดังนี้

(1) **ถุงพลาสติกชนิดของ** (นิยมเรียก “ถุงร้อน”) ส่วนใหญ่เป็นถุงที่ใช้บรรจุอาหาร นำกลับบ้าน ใช้ในร้านอาหารทั่วไป ถุงพลาสติกชนิดนี้มีสองประเภท คือ ชนิดโปร่งใส ผลิตจากพอลิโพรไพลีน หรือ PP และ ชนิดโปร่งแสง ผลิตจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง หรือ HDPE ถุงพลาสติกชนิดนี้มักถูกทิ้งเป็นขยะมูลฝอยทันทีหลังการใช้งาน เนื่องจากส่วนใหญ่มีเศษอาหารปนเปื้อน จึงมีข้อจำกัดในการนำกลับไปหลอมใช้ใหม่ แม้พลาสติกชนิด PP และ HDPE จะเป็นเทอร์โมพลาสติก

(2) **ถุงหิ้ว (T-shirt bag)** ส่วนใหญ่เป็นถุงที่ผลิตจากพอลิเอทิลีน มีทั้งชนิดเนื้อบางใสผลิตจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง หรือ HDPE และชนิดหนาทึบ ผลิตจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ หรือ LDPE ถุงหิ้วชนิดนี้ประชาชนส่วนใหญ่มีการใช้ซ้ำ โดยนำไปใส่ของ และสุดท้ายใช้เป็นถุงขยะมูลฝอยในครัวเรือน ซึ่งในที่สุดถุงพลาสติกจะถูกทิ้งพร้อมขยะมูลฝอยอื่นๆ ไปสู่กองขยะมูลฝอยและสิ่งแฉะล้น ส่วนใหญ่จึงสกรปรก เก่า ฉีกขาด มีข้อจำกัดในการนำกลับไปหลอมใช้ใหม่

(3) **ถุงลามิเนต (Laminated bag หรือ Multi-layer bag)** ส่วนใหญ่เป็นถุงที่ผลิตจากวัสดุหลายชนิดซ้อนกัน แต่ละชนิดหรือแต่ละชั้นจะมีสมบัติเด่นแตกต่างกันไป นิยมใช้บรรจุสินค้าอุปโภคบริโภค เช่น น้ยาล้างจาน น้ยารับฟ้านุ่ม รวมทั้งขนมขบเคี้ยว ถุงเหล่านี้ประกอบด้วยวัสดุหลากหลายชนิด ในปัจจุบันจึงเป็นขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกที่จัดการยาก ไม่มีการนำถุงลามิเนตที่เป็นขยะมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่

(4) **หลอดบีบลามิเนต (Laminated collapsible tube)** เป็นหลอดที่ผลิตจากวัสดุหลายชนิดซ้อนกัน แต่ละชนิดหรือแต่ละชั้นจะมีสมบัติเด่นแตกต่างกันไป นิยมใช้บรรจุสินค้าอุปโภคบริโภค เช่น ยาสีฟัน โฟมล้างหน้า แชมพู ครีมนวดผม ฯลฯ หลอดบีบลามิเนตเป็นขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกที่จัดการยาก และทั้งหมดถูกทิ้งอยู่ในกองขยะมูลฝอย ไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

(5) **กล่องลามิเนต (Laminated box)** เป็นกล่องที่ผลิตจากวัสดุหลายชนิดซ้อนกัน แต่ละชนิดหรือแต่ละชั้นจะมีสมบัติเด่นแตกต่างกันไป นิยมใช้บรรจุนมสด น้ยผลไม้ กล่องลามิเนตเป็นขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกที่จัดการยาก ทั้งหมดจึงถูกทิ้งทันทีและตกค้างอยู่ในกองขยะมูลฝอย

(6) กล่องโฟม/ถาดโฟม ผลิตจากพลาสติกพอลิสไตรีน ชนิด PSP ส่วนใหญ่บรรจุอาหารเมื่อใช้เสร็จจะถูกทิ้งทันทีและมีการสะสมอยู่ในกองขยะมูลฝอย

(7) สำหรับบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด ไม่ว่าจะเป็นขวดแก้วหรือขวดพลาสติกไม่พบในกองขยะมูลฝอย เนื่องจากขวดใช้แล้วเหล่านี้มีมูลค่า จึงมีการรับซื้อ เพื่อรวบรวมนำกลับสู่กระบวนการรีไซเคิล (กรมควบคุมมลพิษ, 2548ก.)

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการใช้งานพลาสติกในบรรจุภัณฑ์

ชนิดพลาสติก	ตัวอย่างการใช้งาน
PET (Polyethylene-terephthalate)	ขวดเครื่องดื่มที่ไม่ใช่แอลกอฮอล์ ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำมันพืช
HDPE (High-density polyethylene)	ขวดบรรจุนม ขวดน้ำดื่ม ขวดเครื่องสำอาง ขวดแชมพู ขวดสบู่เหลว ถุง Shopping หรือ Retail bags
PVC (Polyvinyl chloride)	พลาสติกห่อเนื้อสัตว์ อุปกรณ์การแพทย์ (Medical tubing)
LDPE (Low-density polyethylene)	ถุงบรรจุอาหารแช่แข็ง ขวดน้ำยาซักแห้ง
PP (Polypropylene)	ขวดซอสมะเขือเทศ ภาชนะบรรจุเนยเทียม ขวดยา อุปกรณ์ การแพทย์ (Medical tubing)
PS (Polystyrene)	กล่องใส่ CD กล่องอาหารสะดวกซื้อ รวมทั้งกล่องโฟม ถ้วยน้ำ จานอาหาร ภาชนะบรรจุไข่

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2548ก.)

2.5 สารเติมแต่ง (Additive)

นอกเหนือจากวัสดุไม้และพลาสติกที่จะเป็นส่วนผสมในตัววัตถุดิบแล้ว ยังมีสารเติมแต่งอื่นๆ อีกมากมายที่ช่วยในการปรับแต่งคุณสมบัติบางประการที่ทำให้ไม้พลาสติกมีสมรรถนะในการใช้งานที่ดีขึ้น โดยสารเติมแต่งที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกได้หลายประเภท ซึ่งขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ของผู้ผลิตให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต สามารถแสดงได้ดังนี้

พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดความแข็งแรงแรงของพลาสติกลง ทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้มีความยืดหยุ่นและนุ่ม

สารคงสภาพ (Stabilizer) เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในวัสดุ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป และระหว่างการใช้งาน

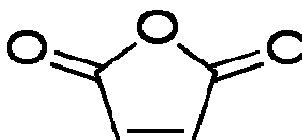
สารตัวเติม (Filler) เป็นสารที่ใช้ผสมกับวัสดุเพื่อช่วยเสริมแรง (Reinforcement) ให้กับผลิตภัณฑ์ หรือเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต สารตัวเติมที่ช่วยเสริมแรงจะเรียกว่า สารเสริมแรง (Reinforcing filler) ซึ่งจะเป็นสารที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก (มีพื้นที่ผิวสูง) ได้แก่ ผงเขม่าดำ (Carbon black) เกรดต่างๆ และผงเขม่าขาวหรือ ซิลิกา เป็นต้น ส่วนสารตัวเติมที่ไม่ช่วยเสริมแรง (Inert filler or non-reinforcing filler) แต่นิยมใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต ได้แก่ ดินขาว (Clay) แป้ง แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

สารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids) สารกลุ่มนี้ทำหน้าที่เฉพาะตัวต่างๆ กัน เช่น สารที่ช่วยให้การขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์พลาสติกทำได้ง่าย ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการลื่นไหล สารที่ช่วยให้ยางนุ่มในระหว่างการบดผสม ได้แก่ พวกน้ำมัน (Oils) และสารเคมีย่อยยาง (Peptizer) เช่น Pepton 22 สารบางตัวช่วยควบคุมไม่ให้ยางมีความหยุ่นตัว (Nerve) สูงมากเกินไปเพราะจะทำให้สารเคมีที่เป็นผงเข้าเนื้อยางได้ยากในระหว่างการบดผสม เพราะยางจะพันลูกกลิ้งยาก สารพวกนี้ ได้แก่ Factice เป็นต้น

สารช่วยผสม (Compatibilizer) เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในวัสดุ เพื่อทำให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างวัสดุเกิดได้ง่ายขึ้น ทำให้วัสดุผสมเข้ากันได้ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ซึ่งที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน คือ มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) (เพ็ญศรี พูลผล และคณะ, 2548) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้สารช่วยผสมตัวนี้เป็นสารเติมแต่ง โดยสามารถอธิบายและแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมของมาเลอิก แอนไฮไดรด์ ไว้ในลำดับถัดไป สารช่วยผสมที่ดีต้องมีคุณสมบัติเข้ากันได้ดีกับส่วนที่เป็นเนื้อสารและส่วนที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง โดยสารที่จะมาทำเป็นสารช่วยผสมนั้นต้องทำการค้นคว้าและวิจัยว่าสารเคมีที่ใช้แล้วสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพได้ดีกว่าสารเคมีบางตัวที่เมื่อเติมลงไปแล้วจะเกิดผลเสียต่อวัสดุผสมนั้น เช่น เกิดการดูดซับน้ำสูงขึ้นทำให้พอลิเมอร์เกิดการบวมตัว เป็นต้น เพราะฉะนั้น จึงควรเลือกสารช่วยผสมให้มีความเหมาะสมกับส่วนประกอบทั้งหมด (ชลิตา กลิ่นพูล และนาวิน สังขรัตน์, 2546)

มาเลอิก แอนไฮไดรด์เป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นสารช่วยผสม ซึ่งปัจจุบันมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง MA เป็นกรดอินทรีย์จำพวกแอนไฮไดรด์ โดยในระยะแรกได้มีการนำ MA มาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเอสเตอร์ (Polyester) และ แอลคิเดเรซิน (Alkyd resins) เนื่องจากเป็นสารที่ให้ความแข็งแรง น้ำหนักเบา และทนทานต่อการกัดกร่อน ต่อมาได้มีการนำ MA มาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแลคเกอร์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติใน

การยึดเกาะของแลคเกอร์ให้ดีขึ้น และใช้เป็นส่วนผสมในสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร เช่น ยาปราบศัตรูพืช นอกจากนี้ กรดฟูมาริก (Fumaric acid) และกรดมาเลอิก (Maleic acid) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่สำคัญของ MA ยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเครื่องเค็มที่มีกรดเป็นส่วนประกอบ โดยโครงสร้างของ MA แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ MA

ที่มา : Wikimedia Commons (2552)

ข้อมูลทั่วไป

ชื่ออื่นที่ใช้เรียก : Cis-butenediolic, 2,5-furandione, Toxic anhydride, Dihydro

2,5-dioxofuran, Lytron 810, Lytron 820, NCI-C54660

สูตรโมเลกุล : $C_4H_2O_3$

ข้อมูลทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพ : เป็นของแข็ง มีสีอ่อน ๆ หรือสีขาว มีกลิ่นรุนแรง

จุดหลอมเหลว : 53 องศาเซลเซียส

จุดเดือด : 201 องศาเซลเซียส

ความหนาแน่นของไอ : 3.4 (Air=1)

ความดันไอ : 0.16 mmHg ที่ 20 องศาเซลเซียส

ความหนาแน่น : 1.43 g/cm^3

จุดวาบแสง : 102 องศาเซลเซียส

การละลายน้ำ : ละลายได้

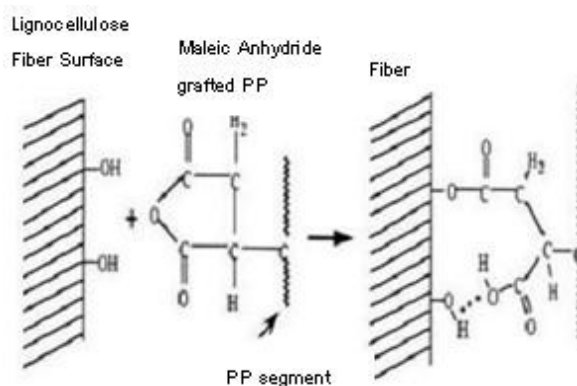
ความเสถียรภาพของตัวสาร

มีความคงตัว ติดไฟได้ ละลายน้ำ แต่จะไม่เข้ากับ Oxidizing agent, โลหะอัลคาไลน์, เบสแก่, เอมีน, โลหะส่วนมาก และตัวเร่งปฏิกิริยา Polymerization (ชลิตา กลิ่นพุด และนาวิน สังขรัตน์, 2546)

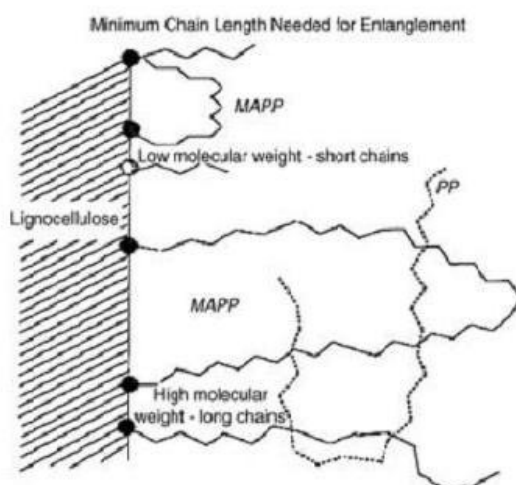
กลไกการทำงานของ MA มี 2 ขั้นตอน คือ

(1) MA จะทำให้เกิดปฏิกิริยาแอนไฮไดรด์ระหว่างพอลิเมอร์กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ผนังเซลล์ของผนังไม้ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลเปลี่ยนเป็นพันธะเอสเทอร์ (Ester bond)

(2) ผลของปฏิกิริยาแอนไฮไดรด์ทำให้โครงข่ายของพอลิเมอร์ PP/PE หลวมละลาย และจับตัวกันเป็นรูปสามเหลี่ยม (Intertangles) ด้วยพันธะเอสเทอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.9 ซึ่ง MA จะทำให้การสร้างพันธะระหว่างผนังไม้กับเมทริกซ์เกิดได้ง่ายขึ้น (Caulfield และคณะ, 2003)



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาแอนไฮไดรด์ระหว่าง MAPP กับหมู่ไฮดรอกซิล
ที่มา : Caulfield และคณะ (2003)



รูปที่ 2.9 การจับตัวกันของ PP บน MAPP กับเมทริกซ์ PP
ที่มา : Caulfield และคณะ (2003)

สารกลุ่มอื่นๆ (Miscellaneous ingredients) สารกลุ่มนี้โดยทั่วไปแล้วไม่จำเป็นต้องใช้ในการออกสูตร แต่ในบางกรณีที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติพิเศษบางประการจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีบางตัวเข้าช่วย เช่น

(1) สารหน่วง (Retarder) จะใช้เมื่อต้องการชะลอไม่ให้ยางที่กำลังบดผสมคงรูปเสียก่อน (Scorch) หรือที่เรียกว่า ยางตาย ตัวอย่างของสารหน่วงได้แก่ Benzoic acid หรือ Salicylic acid เป็นต้น

(2) สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) เป็นสารเติมแต่งที่ถูกเติมลงในผลิตภัณฑ์ เพื่อให้โครงสร้างเกิดเป็นช่องว่างเล็ก ๆ (Foam) เช่น การทำให้ยางฟูในการทำยางฟองน้ำ ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ได้แก่ สาร Sodium bicarbonate หรือ Dinitrosopentamethylene tetramine เป็นต้น

(3) สารทำให้เกิดสี (Pigments) อาจเป็นสีอนินทรีย์ เช่น Cadmium sulphide (ให้สีแดงเข้ม-ส้มและเหลือง) Chromium oxide (ให้สีเขียวขุ่น) และ Titanium dioxide (ให้สีขาว มีความสว่าง หรือช่วยให้ผลิตภัณฑ์สีต่างๆ มีสีที่สดขึ้น) ส่วนสีที่เป็นสีอนินทรีย์ จะให้สีสด ทนต่อความร้อนได้ดีกว่าสีอนินทรีย์ (เทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย, 2546)

(4) สารหล่อลื่น (Lubricants) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุกับเครื่องจักรและไค ขณะทำการขึ้นรูปชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานไม่ติดแม่แบบ และไหลได้ง่ายขึ้น เช่น PE-WAX เป็นต้น (เพ็ญศรี พูลผล และคณะ, 2548)

2.6 ไม้พลาสติก (Wood plastic composites)

ไม้พลาสติกเป็น วัสดุที่นำไม้และพลาสติกมารวมกัน เป็นผลทำให้คุณสมบัติของไม้และพลาสติกเปลี่ยนไป สัดส่วนของไม้และพลาสติกต่างมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของไม้พลาสติก ถ้าปริมาณของวัตถุดิบตัวใดตัวหนึ่งมาก คุณสมบัติโดยรวมของไม้พลาสติกก็จะมีแนวโน้มเอียงไปทางวัสดุที่มีปริมาณมากกว่า ซึ่งสามารถกล่าวได้ดังนี้

2.6.1 ข้อดีของไม้พลาสติก

ข้อดีของไม้พลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับไม้

- (1) ทนทานต่อความชื้นได้ดีกว่า เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้วไม้ชอบน้ำ และคุณน้ำทำให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมา แต่เนื่องจากไม้พลาสติกมีส่วนผสมของพลาสติกด้วยจึงทำให้ลดปริมาณการดูดซึมน้ำลงไปได้มาก
- (2) ต้านทานต่อเชื้อราและแมลงที่เป็นศัตรูของไม้ได้ดีกว่าไม้ เพราะส่วนผสมของพลาสติกนี้เองที่ทำให้แมลงและเชื้อราไม่สามารถเข้าถึงตัวเนื้อไม้ได้
- (3) ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้นานกว่า เพราะส่วนผสมของพลาสติกทำให้เกิดการเน่าเปื่อยผุพังช้ากว่าไม้ตามธรรมชาติ
- (4) สามารถผลิตให้มีรูปร่างต่าง ๆ ได้ โดยไม่ทำให้เกิดเศษเหลือใช้ เพราะไม้พลาสติกนั้นเป็นการขึ้นรูปขึ้นงาน
- (5) สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ได้

ข้อดีของไม้พลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติก

- (1) สามารถรับแรงได้มากขึ้น เพราะเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักแล้วไม้จะมีความแข็งแรงมากกว่าพลาสติก ดังนั้น ไม้จึงทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงให้กับพลาสติก
- (2) มีความทนทานต่อแสง UV ได้ดีกว่าพลาสติก เพราะแสง UV ทำลายพันธะในสายโมเลกุลของพลาสติก แต่ไม้เป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อแสง UV จึงทำให้ไม้พลาสติกมีสมบัติที่เด่นกว่าพลาสติกในการใช้งานกลางแจ้ง
- (3) มีการขยายตัว (เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ) น้อยกว่าพลาสติก เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของไม้มีค่าต่ำกว่าพลาสติกมาก หากใช้งานที่อุณหภูมิสูงจะมีความคงทนกว่า
- (4) ในปริมาณที่เท่ากัน ไม้พลาสติกจะมีน้ำหนักเบากว่าพลาสติก (แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตด้วย) ทำให้การนำมาใช้งานสะดวกมากขึ้น

2.6.2 ข้อดีของไม้พลาสติก

ข้อดีของไม้พลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับไม้

(1) สมบัติทางกลจะดีกว่าไม้ เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ที่มีขนาดเท่ากัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากสาเหตุ 2 ประการคือ พลาสติกมีสมบัติทางกลดีกว่าไม้ และ ไม้ที่นำมาผสมกับพลาสติกนั้นก็เป็อนุภาคขนาดเล็กทำให้มีสมบัติเชิงกลลดลงไปด้วย

(2) มีความหนาแน่นมากกว่าไม้จริง น้ำหนักจึงมากกว่าไม้จริง ดังนั้น จึงต้องอาศัยการออกแบบรูปทรงที่จะทำให้มีน้ำหนักเบาขึ้นเข้ามาช่วยลดข้อดีข้อนี้

(3) มีการหดและขยายตัวมากกว่าไม้ ดังนั้น ในการใช้งานจริงจึงต้องคำนึงถึงจุดนี้ด้วย

ข้อดีของไม้พลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติก

(1) เกิดการขยายตัวเมื่อได้รับความชื้นมากกว่าพลาสติก จึงอาจไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องโดนความชื้นตลอดเวลา

(2) ขั้นตอนการผลิตชิ้นงานซับซ้อนกว่า เนื่องจากผลกระทบจากการผสมไม้ลงไป ในปริมาณมากทำให้มีปัญหาอื่น ๆ ตามมา

(3) อายุการใช้งานสั้นกว่าพลาสติก เพราะมีไม้ผสมอยู่ แต่ก็นับว่าเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม เพราะย่อยสลายตัวได้เร็วกว่าพลาสติก

จะเห็นได้ว่าไม้พลาสติกมีสมบัติทั้งข้อดีและข้อเสียอยู่ตรงกลางระหว่างไม้และพลาสติก ในการทดสอบค่าสมบัติด้านต่าง ๆ ของไม้พลาสติกนั้นต้องคำนึงถึงการนำไปใช้งานเป็นหลักว่า ตั้งใจจะนำไปใช้งานแทนไม้หรือพลาสติก และนำไปใช้งานในส่วนไหน เช่น นำไปใช้ในส่วนโครงสร้างของอาคารก็ย่อมต้องมีความแข็งแรงสูงกว่าการนำไปใช้ทำเฟอร์นิเจอร์เครื่องเรือน เป็นต้น

2.6.3 กระบวนการขึ้นรูป (Shaping process) ของไม้พลาสติก

กระบวนการขึ้นรูป รายละเอียด และขั้นตอนในการผลิตไม้พลาสติก ตลอดจนการเตรียมวัตถุดิบและชนิดของสารเติมแต่งพลาสติกที่ใช้ นั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการขึ้นรูปที่เลือกใช้ ทั้งนี้เนื่องจากการขึ้นรูปแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดแตกต่างกันไป เช่น การขึ้นรูปบางวิธีสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดไม้ไม่ต้องละเอียดมาก แต่บางวิธีจำเป็นต้องเตรียมวัตถุดิบให้มีความละเอียดสูง

เป็นผลทำให้มีขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบแตกต่างกัน และการขึ้นรูปไม้พลาสติกสามารถขึ้นรูปได้หลายวิธีเช่นเดียวกับการขึ้นรูปพลาสติกทั่วไป เช่น การอัดรีดในแบบ (Extrusion molding) การฉีดเข้าไปในแบบ (Injection molding) และการบีบอัดในแบบ (Compression molding) เป็นต้น (ธนดล สัตตบงกช, 2546) ซึ่งการขึ้นรูปไม้พลาสติกเป็นกระบวนการขึ้นรูปวัสดุผสมอย่างหนึ่งที่ต้องอาศัยวิธีการขึ้นรูปด้วยแบบพิมพ์ โดยทั่วไปมีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ

2.6.3.1 การบีบอัดในแบบ (Compression molding)

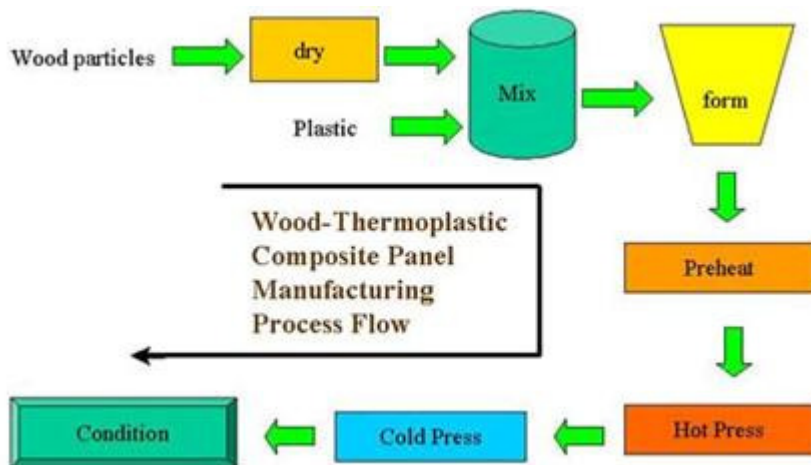
Compression molding เป็นการอัดขึ้นรูปที่ใช้กันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีอื่น ๆ ซึ่งการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จะอาศัยการอัด (Pressing) เป็นหลัก โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 3 วิธีย่อย ดังนี้

- การอัดแห้ง (Dry pressing) การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ วัตถุดิบที่ใช้ในการขึ้นรูปมีลักษณะเป็นผงและมีน้ำอยู่เพียงเล็กน้อย (1-7%) หรืออาจใช้สารยึดอินทรีย์ (Organic binder) ช่วยให้ผงวัสดุยึดเกาะติดกันได้แน่นขึ้น เมื่อถูกอัดในแม่แบบ

- การอัดแบบไอโซสแตติก (Isostatic pressing) ในกระบวนการนี้จะใส่ผงวัสดุเข้าไปในแม่แบบที่มีความยืดหยุ่น (มักทำจากยาง) ซึ่งอากาศเข้าไม่ได้ (เรียกว่า Bag) วางอยู่ในช่องซึ่งบรรจุ Hydraulic fluid ชิ้นงานจะถูกอัดด้วยความดันผ่านของไหลนี้ทำให้สามารถอัดผงวัสดุได้ทุกทิศทางอย่างสม่ำเสมอ (ทองคำ ชุมพล, 2550)

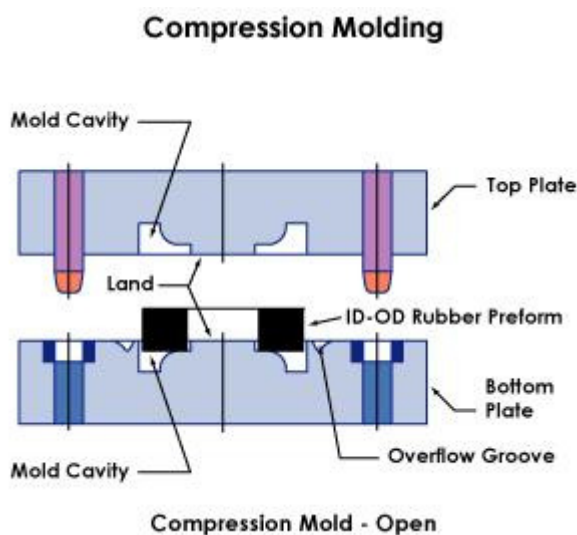
- การอัดร้อน (Hot pressing) เป็นกระบวนการขึ้นรูปจากวัสดุผง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นและสมบัติเชิงกลสูงขึ้น โดยรวมขั้นตอนการอัดและการเผาเข้าด้วยกัน (ให้ทั้งความร้อนและความดันสูง) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมไว้ในลำดับถัดไป

การผลิตไม้พลาสติกด้วยวิธีการอัดร้อน เป็นกระบวนการนำจีเล็อยไม้มาสวมกับพลาสติกให้เข้ากันแล้วเทใส่ในแม่พิมพ์ หลังจากนั้นก็ใช้แรงดันและความร้อนทำให้ขึ้นรูปเป็นแท่งแล้วตามด้วยการกดให้ความดันที่อุณหภูมิห้องอีกครั้ง เพื่อเป็นการทำให้แข็งขึ้นสามารถนำไปปรับสภาพได้ โดยไม้ที่นำมาใช้จะอยู่ในรูปของอนุภาค ซึ่งผ่านการไล่ความชื้นในเครื่องอบลมร้อนจนกระทั่งปราศจากความชื้นตกค้าง ส่วนพลาสติก เช่น PE จะถูกแปรให้อยู่ในรูปแป้งละเอียด โดยสัดส่วนที่ใช้เทียบโดยน้ำหนักทั้งพลาสติกและไม้วรรวมถึงตัวผสม (ตามความเหมาะสม) ซึ่งขั้นตอนในการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กระบวนการผลิตไม้พลาสติกโดยวิธีการอัดร้อน
ที่มา : Wood Composite Panel Manufacture (2550)

การขึ้นรูปด้วยวิธี Compression molding จะมีส่วนประกอบของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ อีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ ส่วนประกอบอื่นๆ คืออุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิก และอาจมีอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 2.11 ซึ่งมีอุปกรณ์ประกอบชนิดต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 2.11 ลักษณะของแป้นและการอัดวิธี Compression molding
ที่มา : Compression molding (2552)

(1) ระบบการขับเคลื่อนเบ้า เครื่องอัดเบ้าส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่แผ่นเหล็กอัด ขึ้นลง โดยใช้แรงขับเคลื่อนจากไฮดรอลิกแต่มีเครื่องอัดบางชนิดที่เคลื่อนที่โดยใช้แรงลม (Pneumatically operation) นอกจากทำหน้าที่ให้แผ่นเหล็กอัดจะเคลื่อนที่ขึ้นลงแล้ว ระบบขับเคลื่อนจะทำหน้าที่ในการให้แรงดันในการอัดซึ่งเครื่องขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ จะให้แรงดันอยู่ในช่วง 5-100 ตัน ส่วนเครื่องที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมจะให้แรงดันอยู่ในช่วง 10-400 ตัน ขนาดของแรงดันจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นเหล็กอัดมีขนาดอยู่ในช่วง 8 ตารางนิ้ว ถึง 5 ตารางฟุต

(2) ระบบให้ความร้อนและหล่อเย็น การให้ความร้อน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนอัด และการให้ความร้อนแก่เบ้าโดยตรงขณะที่อัดการให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนอัดเป็นการลดระยะเวลาในการอัด โดยวิธีการให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนทำการอัดมีหลายวิธี เช่น

- การใช้แผ่นโลหะร้อน
- การใช้รังสีอินฟราเรด
- การใช้ตู้อบชนิดความถี่สูง
- การให้ความร้อนในเบ้าร้อน

เมื่อนำคอมปาวด์เข้าเบ้าจะต้องให้ความร้อนต่อ โดยแหล่งความร้อนที่ให้แก่เบ้าโดยตรงขณะทำการอัด ดังนั้นระบบให้ความร้อนแก่เบ้าของเครื่องอัด มีหลายชนิด สรุป ได้ดังนี้

- ระบบไฟฟ้า นิยมใช้กันมากเนื่องจากออกแบบและติดตั้งได้ง่าย และมีความสะดวกในการซ่อมบำรุง

- ระบบไอน้ำ มีข้อดี คือ ให้ความร้อนที่สม่ำเสมอมาก แต่ให้ความร้อนเกิน 180 องศาเซลเซียส ไม่ได้

- ระบบน้ำร้อนไหลเวียน เป็นเทคนิคใหม่ที่ได้รับคามนิยมมากในปัจจุบัน ทำโดยการใช้การเผาพอน้ำด้วยเปลวจากก๊าซหุงต้มแล้วให้ไหลเวียน เพื่อให้ความร้อนแก่เบ้า

นอกจากระบบให้ความร้อนแล้วยังอาจจะมีระบบหล่อเย็น เพื่อให้ชิ้นงานจากการอัดเบ้าเย็นตัวลง ระบบหล่อเย็นไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของเบ้า หรืออาจใช้ระบบน้ำร้อนที่สามารถสลับจากการให้ความร้อนเป็นการหล่อเย็นได้

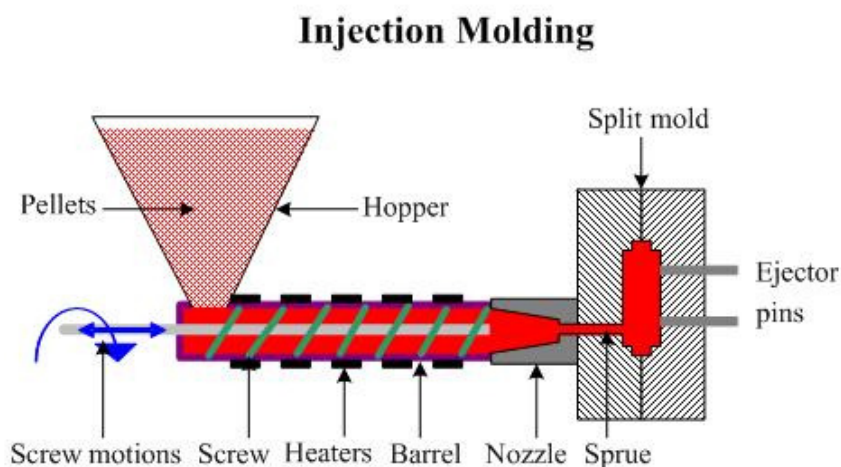
2.6.3.2 การฉีดเข้าไปในแบบ (Injection molding)

Injection molding เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีดวัสดุที่กำลังหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยความดันสูง เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่และเป็นที่นิยมแพร่หลายดัง

รูปที่ 2.12 ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ คือ

- ฮอปเปอร์ (Hopper) อุปกรณ์ส่วนนี้มีลักษณะเป็นกรวยขนาดใหญ่ เป็นส่วนที่ใช้บรรจุวัสดุที่ต้องการขึ้นรูปและสารเติมแต่ง เพื่อป้อนเข้าเครื่องฉีดขึ้นรูป

- กระบอกลัดและสกรู (Injector and screw) เป็นส่วนสำคัญของเครื่องฉีดขึ้นรูป ทำหน้าที่หลอมเหลว และสร้างแรงดันเพื่อฉีดวัสดุหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ ประกอบด้วยกระบอกลัดติดต่อกับที่ ส่วนต้นของกระบอกลัดเป็นที่ติดตั้งฮอปเปอร์ ตรงส่วนกลางและส่วนปลายของกระบอกลัดมีเครื่องให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ปลายของกระบอกลัดจะต่อเข้ากับหัวฉีดภายในของกระบอกลัดนี้เป็นสกรูที่มีความยาวสั้นกว่ากระบอกลัดเล็กน้อย มีลักษณะเป็นเกลียวหยาบหมุนป้อนส่วนผสมของยางให้เคลื่อนที่เข้าสู่กระบอกลัด สามารถเคลื่อนถอยหลังและดันกลับเพื่อเพิ่มแรงดันให้วัสดุหลอมเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์



รูปที่ 2.12 ลักษณะของบ่้าและการอัดวิธี Injection molding

ที่มา : Injection molding (2552)

- หัวฉีด (Nozzle) เป็นส่วนต่อปลายกระบอกลัดเข้ากับช่องทางไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์หัวฉีดมีรูขนาดเล็ก เพื่อให้วัสดุหลอมเหลวไหลผ่านเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์ด้วยความรวดเร็ว

- มอเตอร์ขับเคลื่อน (Driven motor) มอเตอร์ขับเคลื่อน อาจเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า หรือมอเตอร์ไฮดรอลิก สำหรับหมุนสกรูและขับเคลื่อนสกรู เพื่อฉีดวัสดุที่กำลังหลอมเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์

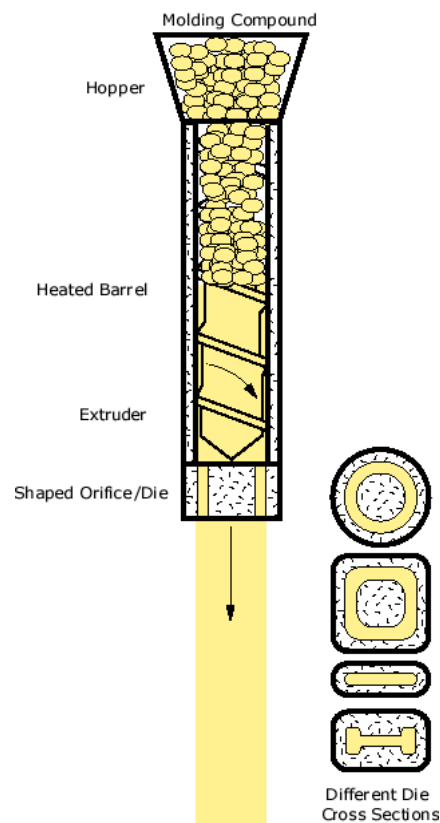
- แม่พิมพ์ (Mold) เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นช่องว่างที่มีรูปร่างตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต แม่พิมพ์ โดยทั่วไปมักออกแบบให้มี 2 ชิ้น เพื่อให้สะดวกต่อการถอดผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ นอกจากนี้ ต้องมีช่องทางไหลของวัสดุหลอมเหลวต่อจากหัวฉีดเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์ เรียกว่า สปรู (Sprue) ในแม่พิมพ์ที่มีหลายช่อง (เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ครั้งละหลายชิ้น) จะต้องมีช่องทางแยกจากสปรูเข้าสู่แม่พิมพ์แต่ละช่อง เรียกว่า รันเนอร์ (Runner)

- ตัวหนีบยึดแม่พิมพ์ (Hydraulic clamp unit) มักเรียกกันว่า แคลมป์ เป็นกลไกสำหรับเปิดและปิดฝาแม่พิมพ์ขับเคลื่อนด้วยกำลังไฮดรอลิก อุปกรณ์ส่วนนี้ยังรวมทั้งอุปกรณ์ทำความร้อนเพื่ออุ่นแม่พิมพ์ก่อนฉีด และอุปกรณ์ทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัวก่อนถอดออกจากแม่พิมพ์

- ชุดควบคุมกลาง (Central control) เป็นชุดควบคุมเครื่องจักรรวมทุกส่วน ได้แก่ อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์วัด และควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์ควบคุมความดัน และอุปกรณ์ตั้งเวลา

2.6.3.3 การอัดรีดในแบบ (Extrusion molding)

เครื่องจักรที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยการอัดรีดนี้ มีลักษณะคล้ายกับวิธี Injection molding ดังรูปที่ 2.13 โดยมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ฮอปเปอร์ (Hopper) สกรู (Screw) หัวฉีด (Nozzle) และมอเตอร์ขับเคลื่อน (Driven motor) แต่ต่างกันตรงที่การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ไม่มีส่วนแม่พิมพ์ และอุปกรณ์ควบคุมสำหรับแม่พิมพ์ ตรงปลายของกระบอกลัดจะติดตั้งได (Die) ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องรีดออกมาเป็นเส้น หรือแผ่นที่มีรูปหน้าตัดตามรูปใด การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้สามารถประยุกต์เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ได้มากมาย เช่น ท่อหรือเส้นยาง ถุงยาง ฟิล์ม แผ่น หรือแท่งยางที่มีรูปหน้าตัดพิเศษ (คู่มือปฏิบัติการเรียนการสอนเรื่องยาง, 2548)



รูปที่ 2.13 ลักษณะของเบ้าและการอัดวิธี Extrusion molding
ที่มา : Extrusion molding (2552)

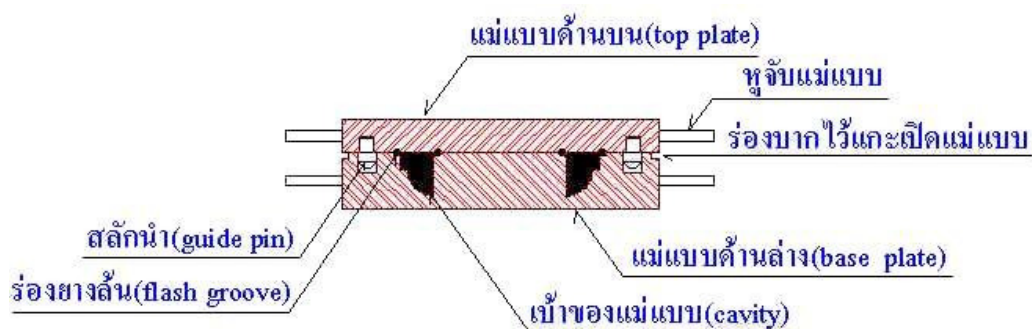
กระบวนการขึ้นรูปทั้ง 3 วิธีนี้ Compression molding ใช้เครื่องจักรและแบบพิมพ์ที่มีราคาถูกที่สุด และใช้เวลาผลิตต่อชิ้นนานที่สุด ส่วน Injection molding จะใช้เครื่องจักรและแบบพิมพ์ที่มีราคาสูง แต่ใช้เวลาผลิตต่อชิ้นสั้นที่สุดด้วย กรณี Extrusion molding จะมีราคาของเครื่องจักรและหัวใดที่สูงมาก อีกทั้งเวลาจะอยู่ในช่วงระหว่าง Compression molding กับ Injection molding และในการขึ้นรูปแบบ Compression molding จะใส่วัสดุผสมลงในช่องว่างของแบบพิมพ์และปิดแบบพิมพ์ วัสดุผสมให้เต็มช่องว่างของแบบพิมพ์ โดยการอัดจะใช้ระบบไฮดรอลิกเป็นหลัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีแบบ Compression molding เพื่ออัดชิ้นงาน เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ต้องลงทุนทางด้านเครื่องจักรสูง ทั้งแม่พิมพ์และเครื่องอัดมีราคาไม่สูงมากนัก และใช้การอัดแบบอัดร้อน (Hot pressing) ซึ่งเป็นการอัดวัสดุผงโดยอาศัยการให้ความร้อนและความดันสูงเป็นหลัก

2.7 แม่พิมพ์หรือแบบพิมพ์ (Molding)

แม่พิมพ์ในการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี Compression molding สามารถแบ่งได้ 3 ชนิด ดังนี้

2.7.1 Open flash mold

Open flash mold เป็นแม่พิมพ์แบบธรรมดา ราคาถูก และนิยมใช้กันทั่วไปดังรูปที่ 2.14 ข้อดีคือ สร้างง่าย ราคาถูก สึกหรอน้อย เป็นแม่พิมพ์แบบง่าย อากาศในแบบพิมพ์ไหลออกได้ง่ายและถ่ายเทความร้อนได้ดี ส่วนข้อเสียคือ ต้องคอยระวังให้สลักนำตรงกัน ความดันในการอัดต่ำ และวัสดุไหลออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย

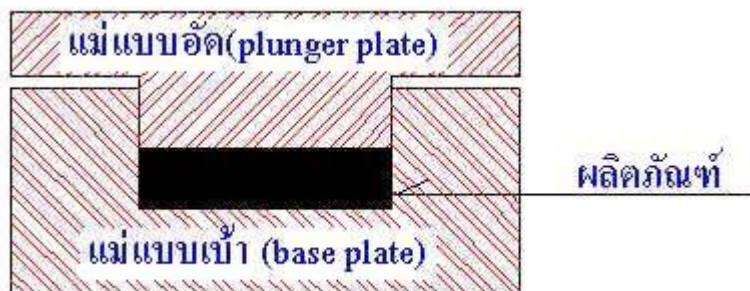


รูปที่ 2.14 แม่พิมพ์แบบ Open flash mold

ที่มา : ชนิดแบบแม่พิมพ์ (2550)

2.7.2 Positive mold

Positive mold ไม่นิยมใช้กับงานผลิตภัณฑ์ยาง แต่ใช้กับวัสดุที่เป็นผง แม่พิมพ์ชนิดนี้จะสามารถอัดตัวได้ดีเมื่อมีความดัน ดังรูปที่ 2.15 ข้อดี คือ แม่พิมพ์ไม่ต้องมีสลักนำ ความดันในแม่พิมพ์สูงและไม่เกิดการไหลย้อนกลับ (Backrinding) ส่วนข้อเสีย คือ อากาศไหลออกยาก อาจมี Air trap ซึ่งต้องกำจัดออก สึกหรอง่าย บำรุงรักษายาก ต้องควบคุมขนาดของวัสดุที่อัด และการถ่ายเทความร้อนไม่ดี

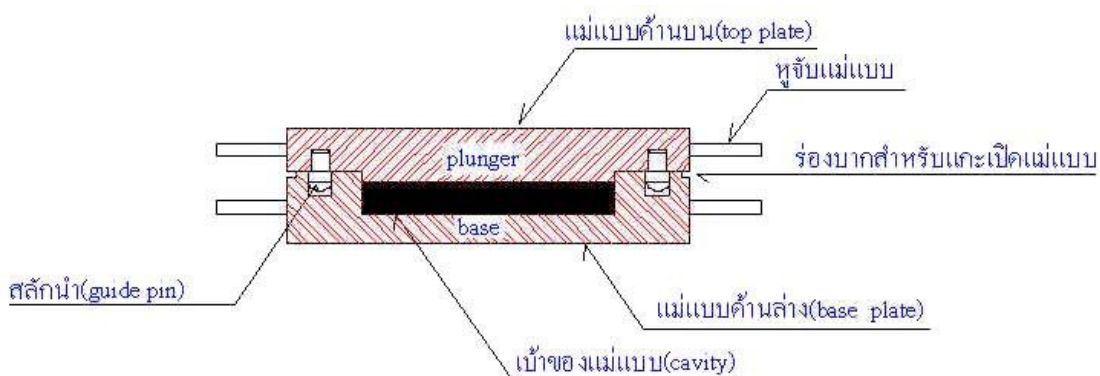


รูปที่ 2.15 แม่พิมพ์แบบ Positive mold
ที่มา : ชนิดแบบแม่พิมพ์ (2550)

ในงานวิจัยนี้เป็นการใช้แม่พิมพ์แบบ Positive mold ซึ่งเหตุผลที่เลือกแม่พิมพ์ชนิดนี้เพราะว่าวัสดุผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นผง และสามารถใช้ในการขึ้นรูปที่มีความดันสูง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้การอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนและความดันเป็นหลัก

2.7.3 Semi positive mold

Semi positive mold เป็นแม่พิมพ์ที่มีรูปแบบแม่พิมพ์ผสมกันระหว่าง Open flash mold กับ Positive mold ดังรูปที่ 2.16 (ชนิดแบบแม่พิมพ์, 2550)



รูปที่ 2.16 แม่พิมพ์แบบ Semi positive mold
ที่มา : ชนิดแบบแม่พิมพ์ (2550)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัย เป็นการอธิบายทางด้านวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีในการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ โดยประกอบด้วย 4 หัวข้อหลัก คือ (1) วัสดุและสารเคมี (2) เครื่องมือและอุปกรณ์ (3) ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย และ (4) การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

3.1 วัสดุ และสารเคมี

การวิจัยแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ วัสดุ และสารเคมี

3.1.1 วัสดุ

วัสดุในการวิจัยประกอบด้วยดังต่อไปนี้

(1) เศษผงพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) ทำหน้าที่เป็นส่วนเมตริกซ์ให้กับวัสดุคอมโพสิต ซึ่งได้จากขวดน้ำดื่มขวดพลาสติกแล้ว โดยนำมาหลอมให้เป็นแท่ง จากนั้นนำมาย่อยให้มีขนาดเล็กลง แล้วนำมาร่อนด้วยเครื่องร่อน ซึ่งจะมีขนาดอยู่ในช่วง 106 มิลลิเมตร – 425 ไมโครเมตร (40-140 Mesh) ดังรูปที่ 3.1

(2) ผงไม้ปาล์ม ทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิต ซึ่งได้จากไม้ปาล์มที่หมดอายุการให้ผลผลิต (ประมาณ 25 ปี) จากสวนปาล์ม แล้วนำมาเลื่อยให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งใบเลื่อยจะคายผงขี้เลื่อยออกมา จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำมาร่อนด้วยเครื่องร่อน ซึ่งจะมีขนาดอยู่ในช่วง 212 ไมโครเมตร – 600 ไมโครเมตร (30-70 Mesh) ดังรูปที่ 3.2

3.1.2 สารเคมี

สารเคมีในการวิจัยนี้จะใช้ มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (MA) จัดจำหน่ายโดยบริษัท วิทยาศาสตร์ จำกัด ซึ่งเป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติเป็นสารช่วยผสม โดยจะนำมาบดให้ละเอียดก่อนนำไปใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 เศษผงพลาสติก HDPE



รูปที่ 3.2 ผงไม้ปาล์ม



รูปที่ 3.3 มาเลอิก แอนไฮไดรด์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย แสดงดังต่อไปนี้

- (1) ตู้อบ ยี่ห้อ Heraeus รุ่น IEML 21-002 ดังรูปที่ 3.4 เป็นเครื่องมือที่ใช้อบซีลีเนียมปาล์ม เพื่อไล่ความชื้นออกจากเนื้อไม้
- (2) เครื่องหลอม ผลิตโดยบริษัท Progress electronic รุ่น Salser SD-80 ดังรูปที่ 3.5 เป็นเครื่องมือที่ใช้หลอมพลาสติก HDPE ให้เป็นแท่ง เพื่อนำไปเจียรให้เป็นผงพลาสติกในขั้นต่อไป
- (3) เครื่องเจียรชนิดผิว ยี่ห้อ Toshiba รุ่น JIS C4004 ดังรูปที่ 3.6 เป็นเครื่องมือเพื่อใช้เจียรแท่งพลาสติก HDPE ให้เป็นผงพลาสติก ทั้งยังใช้ขัดผิวชิ้นงานไม้พลาสติกที่ได้หลังการขึ้นรูป
- (4) เครื่องร่อน (Testing sieve shaker) ยี่ห้อ Octagon ผลิตโดยบริษัท W.S. Tyler รุ่น 21939 RO-TAP ดังรูปที่ 3.7 เป็นเครื่องมือเพื่อใช้ร่อนผงไม้ปาล์ม และเศษผงพลาสติก HDPE ให้มีขนาดอยู่ในช่วง 212 ไมโครเมตร – 600 ไมโครเมตร และ 106 มิลลิเมตร – 425 ไมโครเมตร ตามลำดับ
- (5) เครื่องปั่นผสม (Mixer) ยี่ห้อ Imarflex ขนาดความจุ 3 กิโลกรัม ความเร็ว 5 ระดับ ดังรูปที่ 3.8 ใช้สำหรับปั่นผสมผงไม้ปาล์ม เศษผงพลาสติก HDPE และ MA ให้เข้ากันจนเป็นวัสดุผสมเพื่อนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นไม้พลาสติกต่อไป
- (6) เครื่องอัดแม่พิมพ์ไฮดรอลิก (Compression molding machine) ผลิตโดยบริษัท Tang Master รุ่น LCC 140 ดังรูปที่ 3.9 ใช้ระบบไฮดรอลิกให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า ความดันสูงสุด 3,000 psi เป็นเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปไม้พลาสติก

(7) เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness testing machine) ยี่ห้อ Brinell รุ่น MET 014 ขนาดความจุ 3000 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3.10 เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness) ของชิ้นงาน ตามมาตรฐาน ASTM D143

(8) เครื่องทดสอบเชิงกล (Mechanical testing machine) ยี่ห้อ Instron รุ่น 5582 ดังรูปที่ 3.11 เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมบัติความแข็งแรงดัด (Flexural strength) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และความแข็งแรงกด (Compressive strength) ของชิ้นงาน ตามมาตรฐาน ASTM D6109 D638 และ D6108 ตามลำดับ

(9) เครื่องทดสอบไม้ (Universal wood testing machine) ยี่ห้อ Amster ขนาดความจุ 4000 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3.12 เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมบัติการดูดซับพลังงานแรงกระแทก (Impact energy absorption) ของชิ้นงาน ตามมาตรฐาน ASTM D256

(10) แม่พิมพ์เหล็ก ดังรูปที่ 3.13 มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำจากเหล็กหล่อ ประกอบด้วยเบ้าสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 60 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร และหนา 20 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กรองพื้น 1 แผ่น และแผ่นเหล็กสำหรับกด 1 แผ่น

(11) เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Adventurer ขนาดความจุ 2100 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม ดังรูปที่ 3.14 ใช้ชั่งน้ำหนักของสารและวัสดุผสม



รูปที่ 3.4 ตู้อบ



รูปที่ 3.5 เครื่องหลอม



รูปที่ 3.6 เครื่องเจียรขัดผิว



รูปที่ 3.7 เครื่องร่อน (Testing sieve shaker)



รูปที่ 3.8 เครื่องปั่นผสม (Mixer)



รูปที่ 3.9 เครื่องอัดแม่พิมพ์ไฮดรอลิก (Compression molding machine)



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness testing machine)



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบเชิงกล (Mechanical testing machine)



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบไม้ (Universal wood testing machine)



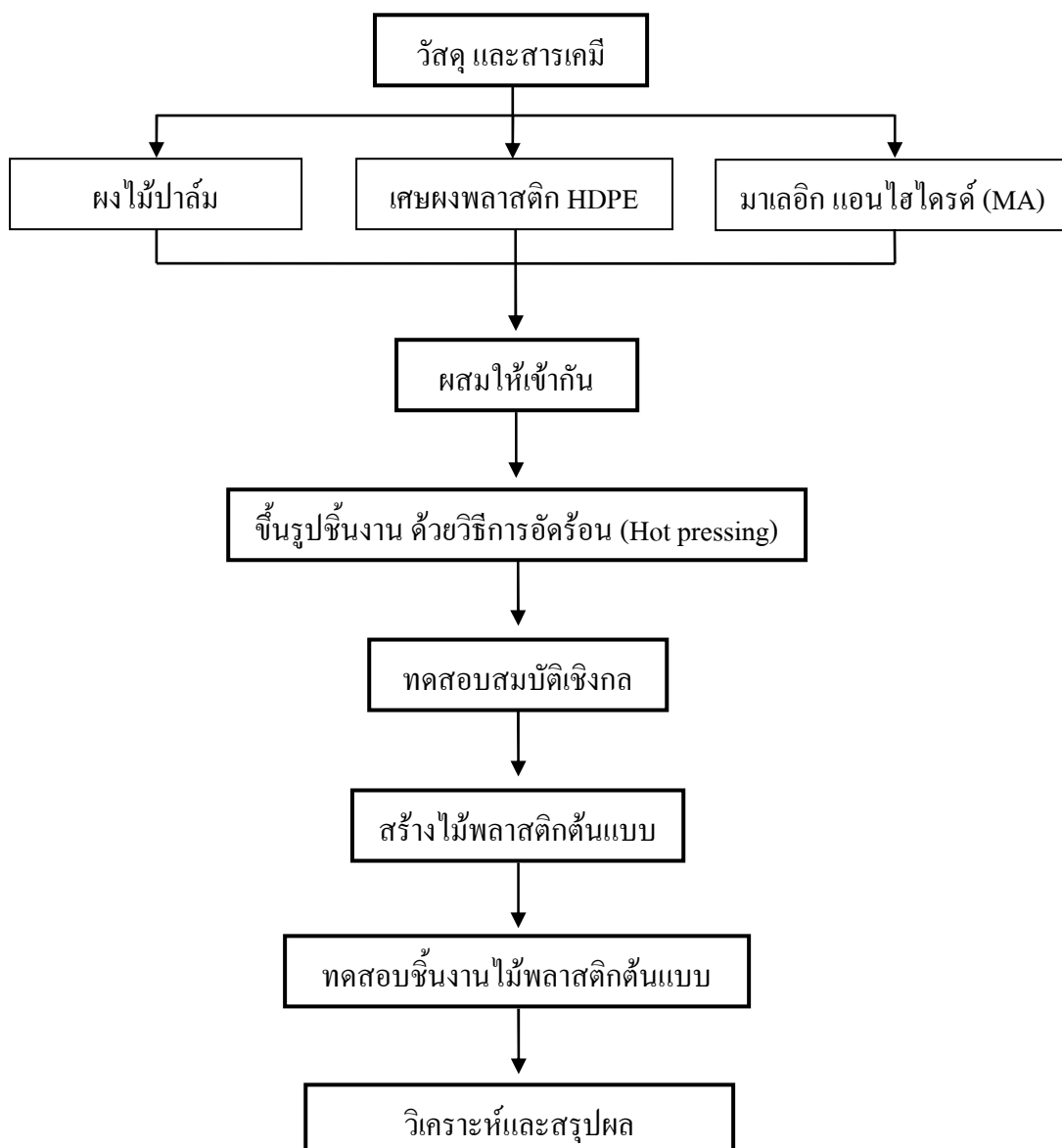
รูปที่ 3.13 แม่พิมพ์เหล็ก



รูปที่ 3.14 เครื่องชั่งดิจิตอล

3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

โดยมีรายละเอียดตามขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3.15 อย่างพอสังเขป



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- (1) การเตรียมวัสดุและการขึ้นรูปชิ้นงานไม้พลาสติก
 - เตรียมผงไม้ปาล์ม เศษผงพลาสติก HDPE และ MA ให้พร้อม

- ผสมวัสดุทั้ง 3 ชนิดให้เข้ากันที่ 3 สัดส่วนคือ ผงไม้ปาล์ม :เศษผงพลาสติก HDPE :MA ที่ 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ซึ่งเป็นช่วงสัดส่วนที่ได้จากการสำรวจเอกสาร

- ขึ้นรูปชิ้นงานไม้พลาสติกที่ 3 อุณหภูมิ คือ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถขึ้นรูปเป็นไม้พลาสติกได้

(2) การทดสอบสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก

- ทดสอบชิ้นตัวอย่างไม้พลาสติกตามมาตรฐานการทดสอบดังนี้

Hardness	ASTM D143	ใช้เครื่อง Hardness testing machine
Flexural strength	ASTM D6109	ใช้เครื่อง Mechanical testing machine
Tensile strength	ASTM D638	ใช้เครื่อง Mechanical testing machine
Compressive strength	ASTM D6108	ใช้เครื่อง Mechanical testing machine
Impact energy absorption	ASTM D256	ใช้เครื่อง Universal wood testing machine

(3) การสร้างไม้พลาสติกต้นแบบและการทดสอบชิ้นงานไม้พลาสติกต้นแบบ

- นำค่าสัดส่วนและอุณหภูมิที่ดีที่สุดจากผลของสมบัติเชิงกลที่ได้มาสร้างไม้พลาสติกต้นแบบ

- นำไม้พลาสติกต้นแบบมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง เพื่อเป็นแบบอย่างในการนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน

- ทดสอบสมบัติของไม้พลาสติกต้นแบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความหนาแน่น ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547

การดูดซับน้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 876-2532

การพองตัวตามความหนา ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547

ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547

ซึ่งสำหรับการทดสอบความยืดหยุ่นของตะปูเกลียวจะใช้เครื่อง Mechanical testing machine เป็นเครื่องมือในการทดสอบ

(4) การศึกษาต้นทุนผลิตภัณฑ์

- เปรียบเทียบและวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้น

3.3.2 การเตรียมวัสดุ

การเตรียมวัสดุในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

(1) เศษพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งได้จากขวดน้ำดื่มขาวุ่นใช้แล้ว โดยนำมาหลอมให้เป็นแท่ง จากนั้นนำมาย่อยให้มีขนาดเล็กลง แล้วนำมาร่อนด้วยเครื่องร่อน ซึ่งจะมีขนาดอยู่ในช่วง 106 มิลลิเมตร – 425 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.16

(2) ผงไม้ปาล์ม ซึ่งได้จากไม้ปาล์มที่หมดอายุการให้ผลผลิตจากสวนปาล์ม แล้วนำมาเลื่อยให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งใบเลื่อยจะคายผงขี้เลื่อยออกมา จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำมาร่อนด้วยเครื่องร่อน ซึ่งจะมีขนาดอยู่ในช่วง 212 ไมโครเมตร – 600 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.16

(3) มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (MA) ซึ่งเป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติเป็นสารช่วยผสม โดยจะนำมาบดให้ละเอียดก่อนนำไปใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ

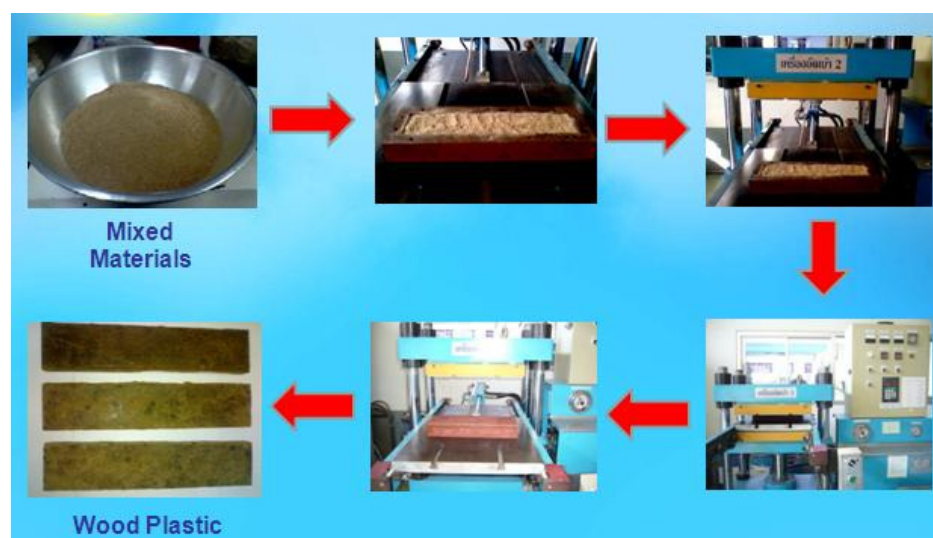
จากนั้น ทำการผสมวัสดุทั้ง 3 ชนิดเข้าด้วยกัน ในแต่ละสัดส่วน คือ ผงไม้ปาล์ม : เศษพลาสติก HDPE : MA ที่ 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 โดยคิดเทียบกับ 300 กรัม ของวัสดุผสมทั้ง 3 ชนิด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนและปริมาณของผงไม้ปาล์ม เศษพลาสติก HDPE และ MA

Proportion	Oil palm wood (g)	HDPE (g)	MA (g)	Total (g)
50:47:03	150	141	9	300
40:57:03	120	171	9	300
30:67:03	90	201	9	300

3.3.3 การขึ้นรูปชิ้นงานไม้พลาสติก

การขึ้นรูปชิ้นงานไม้พลาสติกสามารถทำได้โดยนำวัสดุผสมที่เตรียมได้จากตารางที่ 3.1 มาใส่ในแม่พิมพ์ และนำเข้าเครื่องอัดแม่พิมพ์ไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส โดยทำการอุ่น (Pre-heating) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้วัสดุผสมละลาย จากนั้นทำการอัด (Pressing) ที่ความดัน 2500 psi เป็นเวลา 50 นาที นำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัดไฮดรอลิกแล้วทำการหล่อเย็น (Cooling) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เปิดแม่พิมพ์ออกแล้วจะได้ชิ้นงานไม้พลาสติกที่ต้องการ โดยกระบวนการขึ้นรูปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.17 และตัวอย่างชิ้นงานไม้พลาสติกที่ได้สามารถแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 กระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อน (Hot pressing)



รูปที่ 3.18 ชิ้นงานไม้พลาสติก สัดส่วนผงไม้ปาล์ม : HDPE :MA ที่ 50:47:03

(a) อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส (b) อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (c) อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

3.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกล เป็นการนำไม้พลาสติกที่ได้จากการทดลองมาทดสอบสมบัติเชิงกล ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความแข็ง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM โดยทำ 5 ซ้ำการทดลอง ซึ่งมีวิธีการทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ดังนี้

3.3.4.1 ความแข็ง (Hardness)

การทดสอบความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D143 โดยวางชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 70 มิลลิเมตร บนฐานรองกด กดขึ้นตัวอย่างด้วยลูกบอลเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.19 จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบวมที่เกิดบนผิวชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการที่ 3.1 โดยรายละเอียดการคำนวณความแข็งได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ข

$$\text{Hardness}(kg / mm^2) = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.1)$$

เมื่อ P = น้ำหนักที่กดขึ้นงาน (kg)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอลเหล็ก (mm)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋มที่เกิดจากการกดของลูกบอลเหล็ก (mm)



รูปที่ 3.19 การทดสอบความแข็ง

3.3.4.2 ความแข็งแรงดัด (Flexural strength)

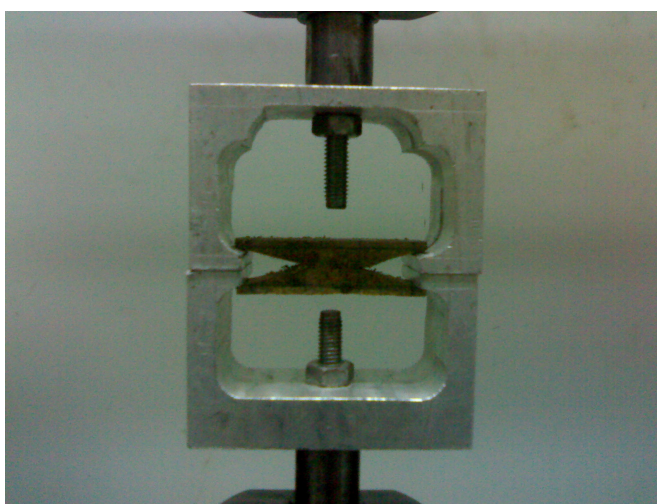
การทดสอบความแข็งแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM D6109 โดยวางชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร บนที่รองรับของเครื่องทดสอบ ซึ่งที่รองรับมีระยะห่างกัน 200 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.20 เดินเครื่องเพื่อเลื่อนลิ้มกดลงบนชิ้นตัวอย่างทดสอบที่กึ่งกลางพอดี ออกแรงกดจนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกร้าว อ่านและบันทึกค่าแรงกดสูงสุด



รูปที่ 3.20 การทดสอบความแข็งแรงดัด

3.3.4.3 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

การทดสอบความแข็งแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยวางชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 70 มิลลิเมตร ที่ปลายทั้งสองข้างบากเป็นรูปตัววี เข้าไประหว่างมือยึดตัวบนและตัวล่างของเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.21 เติมน้ำอย่างช้า ๆ เพื่อดึงแยกตัวอย่างออกเป็นสองส่วน ดังรูปที่ 3.22 บันทึกค่าแรงดึงสูงสุด



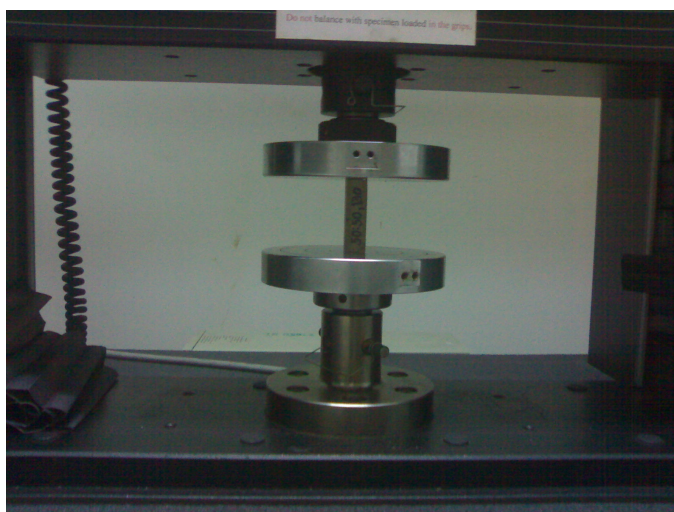
รูปที่ 3.21 ชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบความแข็งแรงดึง



รูปที่ 3.22 การทดสอบความแข็งแรงดึง

3.3.4.4 ความแข็งแรงกด (Compressive Strength)

การทดสอบความแข็งแรงกด ตามมาตรฐาน ASTM D6108 โดยวางชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 15 มิลลิเมตร x 15 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร บนฐานรองกด โดยให้ด้านยาวอยู่ในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.23 แล้วออกแรงกดโดยเคลื่อนตัวกดลงบนชิ้นตัวอย่าง อย่างช้า ๆ จนกระทั่งตัวอย่างแตกร้าวและไม่สามารถรับแรงกดเพิ่มได้อีก บันทึกค่าแรงกดสูงสุด



รูปที่ 3.23 การทดสอบความแข็งแรงกด

3.3.4.5 การดูดซับพลังงานแรงกระแทก (Impact energy absorption)

การทดสอบการดูดซับพลังงานแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D256 โดยวางชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร บนที่รองรับตัวอย่างของเครื่องทดสอบ ซึ่งที่รองรับห่างกัน 240 มิลลิเมตร ยกตุ้ม (pendulum) ให้ค้างอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 3.24 แล้วปลดสลักให้ตุ้มตกเหวี่ยงกระแทกตัวอย่างทดสอบจนหัก อ่านค่าที่ได้จากสเกลของเครื่องทดสอบ



รูปที่ 3.24 การทดสอบการดูดซับพลังงานแรงกระแทก

3.3.5 การสร้างไม้พลาสติกต้นแบบ

การสร้างไม้พลาสติกต้นแบบเป็นการผลิตไม้พลาสติกจากสัดส่วนและอุณหภูมิที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด คือ สัดส่วนผงไม้ปาล์มต่อเศษผงพลาสติก HDPE ต่อ MA ที่ 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไม้พลาสติกต้นแบบที่ได้มาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

- (1) จัดเตรียมวัตถุดิบผงไม้ปาล์ม เศษผงพลาสติก HDPE และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ให้พร้อมแก่การขึ้นรูป
- (2) ผสมวัตถุดิบที่สัดส่วนที่ดีที่สุดจากผลของสมบัติเชิงกลที่ได้ คือ สัดส่วนผงไม้ปาล์มต่อเศษผงพลาสติก HDPE ต่อ MA ที่ 30:67:03

(3) ทำการขึ้นรูปวัสดุผสมที่ได้จากข้อ (2) ที่อุณหภูมิที่ต่ำที่สุด จากผลของสมบัติเชิงกลที่ได้ คือ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

(4) นำไม้พลาสติกที่ได้ดังรูปที่ 3.25 มาทำการขัดผิวให้เรียบและขัดแต่งให้สวยงาม แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 ไม้พลาสติกต้นแบบก่อนการขัดแต่งผิว



รูปที่ 3.26 ไม้พลาสติกต้นแบบหลังการขัดแต่งผิว

(5) นำไม้ที่ได้จากข้อ (4) มาประกอบขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ของผลิตภัณฑ์นั้นจากผลของสมบัติเชิงกล ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกที่จะสร้างแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูป โดยใช้ไม้พลาสติก 4 ชิ้นต่อแผ่น และยึดติดให้เป็นแผ่นด้วยตะปูเกลียว ดังรูปที่ 3.27

(6) แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปจากข้อ (5) เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง ซึ่งเหมาะสำหรับงานตกแต่งทั้งภายในและภายนอกอาคาร ผู้วิจัยเห็นควรว่า ถ้าทำให้แผ่นไม้มีร่องก็จะช่วยเพิ่มแรงเสียดทานในระหว่างการใช้งาน ทำให้ไม่ลื่นล้มได้ง่าย และเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างพื้นผิวผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นการเพิ่มทางเลือกในการใช้งานผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพัฒนาแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบมีร่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.27 แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบผิวหน้าเรียบ



รูปที่ 3.28 แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบมีร่อง

3.3.6 การทดสอบชิ้นงานไม้พลาสติกต้นแบบ

การทดสอบชิ้นงานไม้พลาสติกต้นแบบเป็นการนำไม้พลาสติกต้นแบบที่ผลิตจาก สักส่วนและอนุภูมิที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด คือ สักส่วนผง ไม้ป่าส้มต่อเศษผงพลาสติก HDPE ต่อ MA ที่ 30:67:03 อนุภูมิ 170 องศาเซลเซียส มาทำการทดสอบสมบัติความหนาแน่น การดูดซับน้ำ การพองตัวตามความหนา และความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว แสดงได้ดังต่อไปนี้

3.3.6.1 ความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นจะใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.876-2547 โดย ทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างทดสอบ แล้ววัดขนาดของชิ้นงาน ซึ่งวัดเพียงครั้งเดียวของทั้ง 3 ด้าน คือ ความกว้าง ความยาว และความหนา จากนั้นคำนวณค่าความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่าง ทดสอบจากสมการที่ 3.2

$$D = \frac{m}{v} \quad (3.2)$$

เมื่อ D = ความหนาแน่น (g/cm³)

m = มวลของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (g)

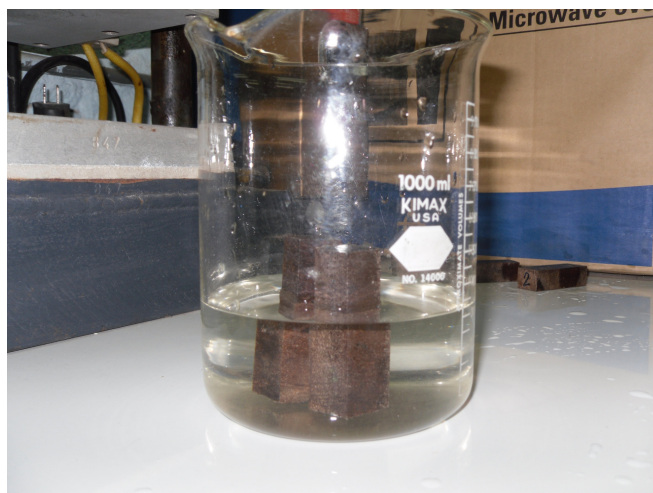
v = ปริมาตรของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (cm³)

3.3.6.2 การดูดซับน้ำ

การทดสอบการดูดซับน้ำจะใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.876-2532 โดยใช้ชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 60 มิลลิเมตร ทำการชั่งน้ำหนักของชิ้น ตัวอย่างทดสอบก่อนและหลังแช่น้ำ โดยแช่ชิ้นงานตัวอย่างในภาชนะที่บรรจุให้นิ่งและสะอาดที่ อนุภูมิห้อง จัดวางชิ้นตัวอย่างทดสอบให้ตั้งฉากกับระดับผิวน้ำ โดยให้ขอบบนอยู่เหนือระดับผิวน้ำประมาณ 2.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.29 แช่ไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักทันที แช่น้ำต่ออีก 22 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง นำน้ำหนักที่ได้เมื่อแช่ครบ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจากสมการที่ 3.3

$$\text{การดูดซับน้ำ (\%)} = \frac{(w_2 - w_1)}{w_1} \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ $w_1 =$ น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g)
 $w_2 =$ น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)



รูปที่ 3.29 การทดสอบการดูดซับน้ำ

3.3.6.3 การพองตัวตามความหนา

การทดสอบการพองตัวตามความหนาจะใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.876-2547 โดยวัดความหนาของชิ้นตัวอย่างทดสอบก่อนและหลังแช่น้ำ โดยแช่ชิ้นงานตัวอย่าง ในภาชนะที่บรรจุน้ำนิ่งและสะอาดที่อุณหภูมิห้อง จัดวางชิ้นตัวอย่างทดสอบให้ตั้งฉากกับระดับผิวน้ำ โดยให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละชิ้นงานต้องห่างจากกัน แช่น้ำไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยให้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซับน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ เป็นต้น ปล่อยให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบไว้ อีก 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบขึ้นมา วัดความหนาเป็นความหนาหลังแช่น้ำ นำค่าความหนาที่วัดได้ทั้งก่อนและหลังแช่น้ำไปคำนวณหา ค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวตามความหนาจากสมการที่ 3.4

$$\text{การพองตัวตามความหนา (\%)} = \frac{(t_2 - t_1)}{t_1} \times 100 \quad (3.4)$$

เมื่อ $t_1 =$ ความหนาก่อนแช่น้ำ (cm)
 $t_2 =$ ความหนาหลังแช่น้ำ (cm)

3.3.6.4 ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว

การทดสอบความยืดหยุ่นของตะปูเกลียวจะใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.876-2547 โดยใช้ชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร เจาะรู นำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ลึก 6 มิลลิเมตร แล้วขันตะปูเกลียวขนาด 4.1 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร ลงในชิ้นงานทดสอบจนกระทั่งส่วนเกลียวที่สมบูรณ์จมลึกลงไป 13 มิลลิเมตร ไม่นับความยาวส่วนปลายเรียวของตะปูเกลียว จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างทดสอบไปเข้าเครื่องดึง ดังรูป ที่ 3.30 และ 3.31 โดยดึงให้ตะปูเกลียวถอนออกจากชิ้นงานทดสอบ แรงที่ใช้ดึงจะต้องอยู่ในแนว เดียวกับตะปูเกลียวและตั้งฉากกับผิวหน้าหรือผิวขอบของชิ้นงานทดสอบ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้อง เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และมีความเร็วในการดึงประมาณ 2 มิลลิเมตรต่อนาที อ่านและบันทึกค่าที่ ได้จากเครื่องทดสอบ



รูปที่ 3.30 การทดสอบความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว (ด้านผิวหน้า)



รูปที่ 3.31 การทดสอบความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว (ด้านขอบ)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ การวิเคราะห์ ANOVA และการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ

(1) ความเป็นอิสระ ข้อมูลแต่ละตัวต้องเป็นอิสระต่อกันเนื่องจากความสุ่ม ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลไม่สุ่มแล้วทำให้เกิดการวิเคราะห์ไม่ได้ โดยเฉพาะการหาค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหมายของตัวแปรตอบสนอง ดังนั้น ถ้าหากข้อมูลไม่สุ่มแล้วแสดงว่าข้อมูลมีความลำเอียง จำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

(2) ความเป็นปกติ ข้อมูลแต่ละตัวที่เป็นตัวแปรสุ่มต้องมีแนวโน้มที่เข้าหาค่าคงที่ค่าหนึ่ง แล้วมีการกระจายรอบค่าในลักษณะสมมาตร ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลมิได้มีรูปแบบปกติแล้วไม่สามารถจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ดังนั้นถ้าข้อมูลมิได้เป็นตัวแปรสุ่มปกติแล้ว แสดงว่าข้อมูลได้มาจากกระบวนการที่มีได้กำหนดเป็นมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

(3) ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน คือ ข้อมูลต้องมีการเก็บมาจากกระบวนการที่ได้มีการจัดทำเป็นมาตรฐานแล้ว จึงทำให้เกิดความแตกต่างของข้อมูล เกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระบบที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเท่านั้น ดังนั้น ถ้าหากข้อมูลมีความแปรปรวนที่ไม่มีเสถียรภาพแล้ว แสดงว่าข้อมูลเกิดจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้แต่ไม่ได้รับการควบคุม จึงมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.2 การวิเคราะห์ ANOVA

เป็นการหาความแปรปรวนโดยรวม แล้วแยกวิเคราะห์ออกเป็น ความแปรปรวนเนื่องจากทรีตเมนต์ (Treatment) และความแปรปรวนเนื่องจากสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุม ซึ่งหมายถึง รีพีทะบิลิตี (Repeatability) แล้วพิจารณาความแปรปรวนเนื่องจากทรีตเมนต์ว่า มีปริมาณมากหรือไม่เมื่อเทียบกับผลจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขการทดลองหรือรีโพรดูซิบิลิตี (Reproducibility)

3.4.3 การพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of determination)

การตัดสินใจ โดยอาศัยตัวแบบจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับข้อมูลที่แสดงผลว่า ความผันแปรในตัวแปรตอบสนองสามารถอธิบายได้ด้วยข้อมูลตามตัวแบบนั้นมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ดังสมการที่ 3.5 โดยผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่คาดหวังที่จะได้ค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1.00

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \quad (3.5)$$

เมื่อ $R^2 =$ สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of determination)

$SS_E =$ ผลรวมของกำลังสองที่เกิดเนื่องจากความผิดพลาด (Error corrected sum of squares)

$SS_T =$ ความแปรปรวนทั้งหมด (Total corrected sum of squares)

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองเป็นการพิจารณาผลการทดลองของไม้พลาสติกที่อัตราส่วน 3 ระดับ (ไม้:พลาสติก:สารช่วยผสม) 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส โดยทำการทดสอบเป็น 3 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกเป็นการทดสอบสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก ซึ่งประกอบด้วย ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรงดัด (Flexural strength) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความแข็งแรงกด (Compressive strength) และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก (Impact energy absorption) พร้อมกับการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบประกอบด้วย ความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล ส่วนที่สองเป็นการนำไม้พลาสติกต้นแบบที่อัตราส่วน (ไม้:พลาสติก:สารช่วยผสม) 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มาทดสอบสมบัติของชิ้นงาน ซึ่งประกอบด้วย ผลการทดสอบความหนาแน่น (Density) การดูดซับน้ำ (Water absorption) การพองตัวตามความหนา (Thickness swelling) และความยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว (Tensile of a screw) และส่วนที่สามเป็นการวิเคราะห์ต้นทุน โดยมีการพิจารณาครอบคลุมสองส่วนคือ ต้นทุนทางด้านวัสดุ และต้นทุนทางด้านพลังงาน จากนั้นทำการหาค่าต้นทุนรวมในลำดับถัดไป

4.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลประกอบด้วย การทดสอบทั้งหมด 5 สมบัติเชิงกลที่ได้ดำเนินการทดสอบ คือ ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ผลของสมบัติความแข็ง

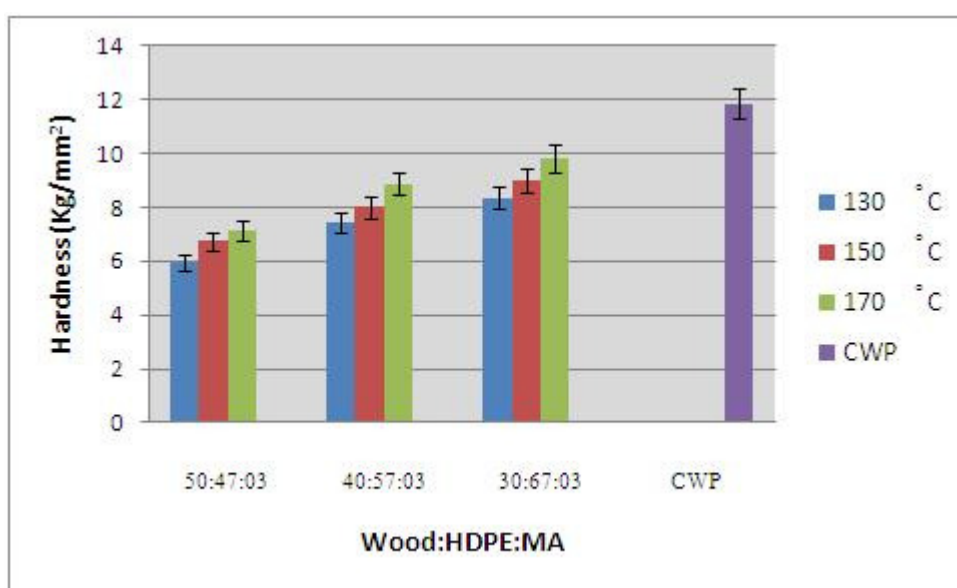
ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็ง 5 ชั่วโมงทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความแข็ง

No.	Wood: HDPE:MA	Temperature (°C)	Hardness (kg/mm ²)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
1	50:47:03	130	6.301	5.601	5.498	6.213	6.041	5.930	0.361
2		150	6.589	7.006	6.500	6.635	6.911	6.728	0.218
3		170	7.393	7.957	8.037	5.440	6.888	7.143	1.059
4	40:57:03	130	7.518	7.319	6.935	8.227	7.053	7.410	0.510
5		150	7.696	8.562	8.172	7.826	7.748	8.000	0.364
6		170	8.337	7.125	9.689	9.184	10.089	8.884	1.181
7	30:67:03	130	7.904	7.270	7.543	10.021	8.942	8.336	1.135
8		150	10.543	7.722	9.339	8.912	8.421	8.987	1.057
9		170	9.657	11.021	8.764	9.401	10.261	9.820	0.859
10	Commercial wood plastic (CWP)		10.651	11.250	14.509	11.848	11.059	11.863	1.540

จากการศึกษาและเปรียบเทียบวัสดุไม้พลาสติกที่สัดส่วนผงไม้ปาล์ม: เศษ HDPE: MA ทั้ง 3 สัดส่วน คือ 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 มีความแข็งอยู่ในช่วง 5.930-7.143 kg/mm² ที่สัดส่วน 40:57:03 มีความแข็งอยู่ในช่วง 7.410-8.884 kg/mm² และที่สัดส่วน 30:67:03 มีความแข็งอยู่ในช่วง 8.336-9.820 kg/mm² ดังรูปที่ 4.1 จะเห็นว่า ความแข็งจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองและปริมาณเศษพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของกิตติศักดิ์ อินทร์แก้ว และ ไภย์ชัย พานิชย์ (2549) ได้ศึกษาและผลิตวัสดุไม้พลาสติกจากเศษไม้ยางพารา กับพลาสติก LDPE พบว่า วัสดุไม้พลาสติกที่สัดส่วนไม้:พลาสติก 30:70 มีความแข็งสูงกว่าที่สัดส่วน 40:60 และ 50:50 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกในปริมาณที่มากจะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากขึ้น เพื่อส่งถ่ายและกระจายแรงไปสู่บริเวณอื่น ๆ ภายในวัสดุคอมโพสิต ดังนั้นเมื่อให้แรงกระทำจึงสามารถรับแรงได้ดีกว่าสัดส่วนที่มีผงไม้เป็นส่วนประกอบสูง อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงจะช่วยให้ HDPE หลอมละลายได้ง่ายขึ้น และสามารถรวมตัวกับผงไม้และ MA ได้ดีขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากผลการทดลองของความแข็งที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งมากที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิ 150 และ 130 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบผลที่ได้กับไม้เทียมทางการค้า

(CWP) เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกกับไม้ทางการค้า และไม้เทียม เป็นไม้ประกอบคอมโพสิตอย่างหนึ่งที่สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาด อีกทั้งส่วนประกอบของ ไม้เทียมยังใกล้เคียงกับไม้พลาสติกคือ มีส่วนผสมของผงไม้ พลาสติก ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ ทรายซิลิกา ดังนั้น ผู้วิจัยจึงใช้ไม้เทียมเป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งพบว่า ความแข็งของไม้เทียมทาง การค้าที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 11.863 kg/mm^2 เห็นได้ว่า ความแข็งของไม้พลาสติกที่ได้มีค่า น้อยกว่าไม้เทียมทางการค้า ทั้งนี้เนื่องจากไม้เทียมทางการค้ามีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงส่งผลให้มีความแข็งสูงกว่าไม้พลาสติก



รูปที่ 4.1 ความแข็งของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ การวิเคราะห์ ANOVA และการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วยความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ของข้อมูล โดยทำการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบทางสถิติของสมบัติความแข็ง ความแข็งแรง คัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก ได้ผลการวิเคราะห์ไปในทิศทางเดียวกัน คือ ข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน

เพื่อให้เป็นการเข้าใจในการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติจึงยกตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์เฉพาะความถูกต้องตัวแบบทางสถิติของสมบัติความแข็งเพียงอย่างเดียว ส่วนสมบัติความแข็งแรงคัต ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก ได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก

(1) ความเป็นอิสระของข้อมูล

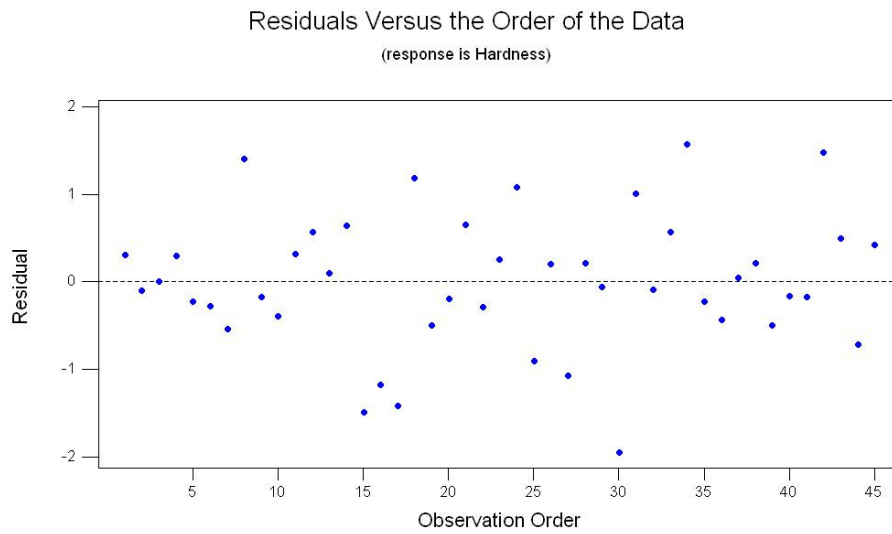
ความเป็นอิสระ การที่ว่าข้อมูลเป็นอิสระนั้นให้พิจารณากราฟว่ามีการกระจายตัวที่ไม่สามารถทำนายหรือคาดเดาได้ว่ามีทิศทางหรือแนวโน้มเป็นอย่างไร จากรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ข้อมูลแต่ละค่าที่นำมาทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากกราฟที่ได้ไม่สามารถที่คาดเดาหรือทำนายทิศทางของตัวข้อมูลได้แน่นอน

(2) ความเป็นปกติของข้อมูล

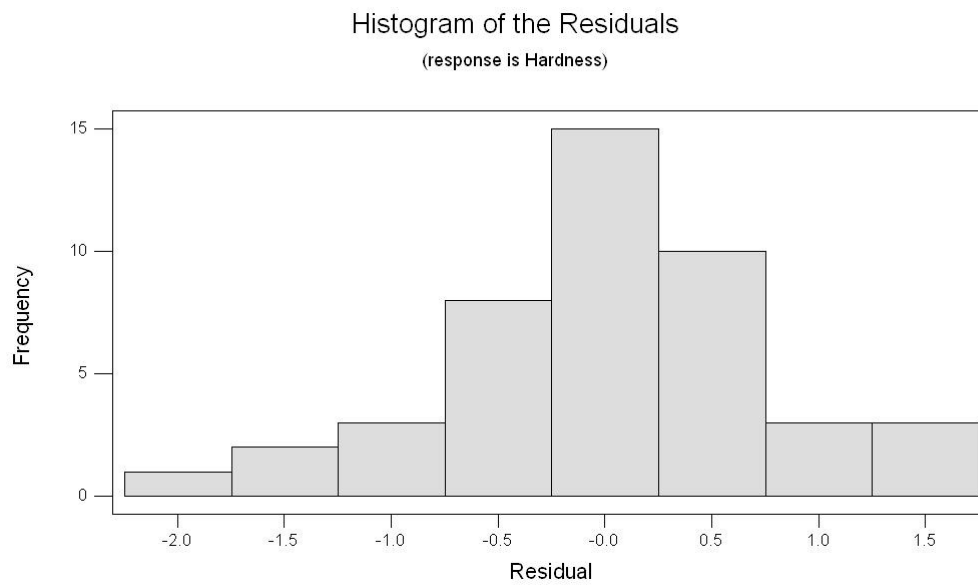
ความเป็นปกติของข้อมูล เป็นการพิจารณาว่าข้อมูลมีการเก็บมาแบบปกติหรือไม่ โดยพิจารณากราฟว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรงกรณีข้อมูลไม่เกิน 30 ข้อมูล แต่หากข้อมูลเกิน 30 ข้อมูลให้พิจารณากราฟว่ามีลักษณะเป็นระฆังคว่ำหรือไม่ จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นโค้งปกติ (Normal) แต่เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูล จึงทำการทดสอบ Normal probability ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่า ค่า P-Value ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.745 แสดงว่ามีค่ามากเมื่อเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$ และข้อมูลมีการกระจายตัวในแนวเส้นตรง ดังนั้นข้อมูลจึงมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ สรุปได้ว่า ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ

(3) ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนข้อมูล

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนเป็นการสังเกตค่าความแปรปรวนของข้อมูลว่ามีค่าการกระจายตัวรอบค่าศูนย์กลางคลื่อนสม่ำเสมอมากขึ้นหรือไม่ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.5 ข้อมูลมีการกระจายตัวแปรผันสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์กลาง ดังนั้นข้อมูลจึงมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน

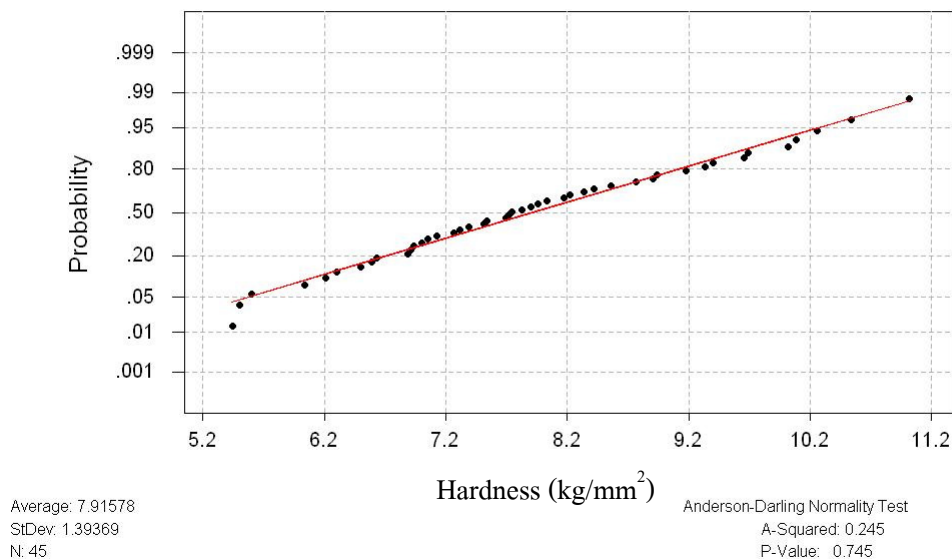


รูปที่ 4.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ

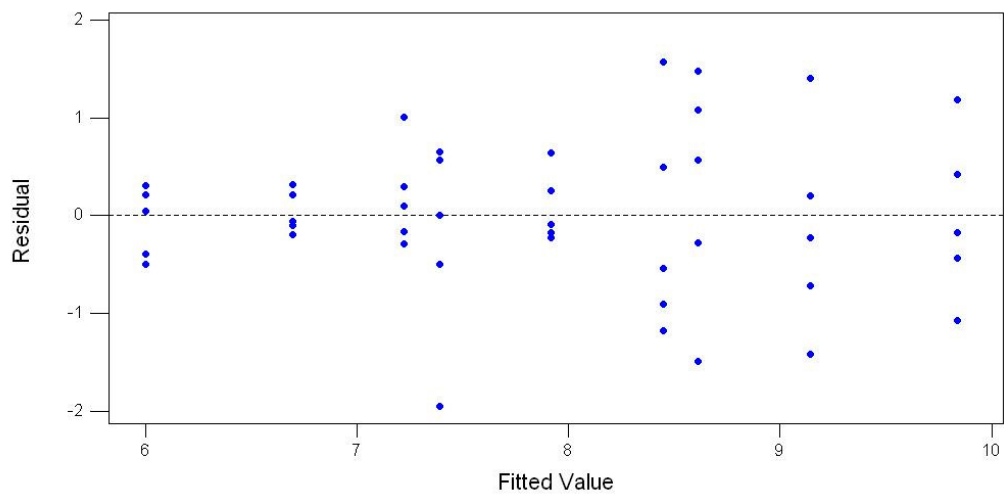


รูปที่ 4.3 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลจากกราฟพระนั่งคว่ำ

Normal Probability Plot



รูปที่ 4.4 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลจากค่า P-Value ของตัวแบบทางสถิติ

Residuals Versus the Fitted Values
(response is Hardness)

รูปที่ 4.5 การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ

2. ผลการวิเคราะห์ ANOVA

ผลการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อให้เป็นการเข้าใจในการวิเคราะห์จึงยกตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์เฉพาะสมบัติความแข็งเพียงอย่างเดียว ส่วนสมบัติความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก ได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก

สมมติฐานสำหรับการทดลอง คือ

(1) H_0 : สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกไม่มีผลต่อค่าสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก

H_1 : สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกมีผลต่อค่าสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก

(2) H_0 : อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก

H_1 : อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีผลต่อค่าสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก

(3) H_0 : สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก

H_1 : สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีผลต่อค่าสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก

2.1 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 4.6) Reject H_0 เนื่องจากค่า P - Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

2.2 ผลการทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 4.6) Reject H_0 เนื่องจากค่า P - Value = 0.001 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

2.3 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 4.6) Accept H_0 เนื่องจากค่า P - Value = 0.978 ซึ่งมีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความแข็งของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

General Linear Model: Hardness (kg/mm2) versus Blocks, Wood:HDPE:MA, Temp (C)

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1 2 3 4 5
Wood:HDPE:MA	fixed	3	306703 405703 504703
Temp	fixed	3	130 150 170

Analysis of Variance for Hardness, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	0.6042	0.6042	0.1510	0.20	0.937
Wood:HDPE:MA	2	45.6783	45.6783	22.8391	30.03	0.000
Temp (C)	2	14.5043	14.5043	7.2521	9.53	0.001
Wood:HDPE:MA*Temp (C)	4	0.3383	0.3383	0.0846	0.11	0.978
Error	32	24.3394	24.3394	0.7606		
Total	44	85.4644				

รูปที่ 4.6 ตาราง ANOVA

3. ผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

ผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ เพื่อให้เป็นการเข้าใจในการคำนวณจึงยกตัวอย่างวิธีการคำนวณเฉพาะสมบัติความแข็งเพียงอย่างเดียว ส่วนสมบัติความแข็งแรง ดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก ได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of determination)

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \times 100$$

$$R^2 = 1 - \frac{24.3394}{85.4644} \times 100$$

$$R^2 = 71.52\%$$

จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 71.52% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คือ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 71.52 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) คือ สภาพบรรยากาศโดยรอบในระหว่างทำการวิจัย เช่น ความชื้นและแสงแดด 28.48 ส่วน โดยจากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่า ผลความผันแปรของค่าความแข็งที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงมากเมื่อเทียบกับปัจจัยที่ไม่

สามารถควบคุมได้และมีค่าเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถตัดสินใจโดยอาศัยตัวแบบนี้ได้

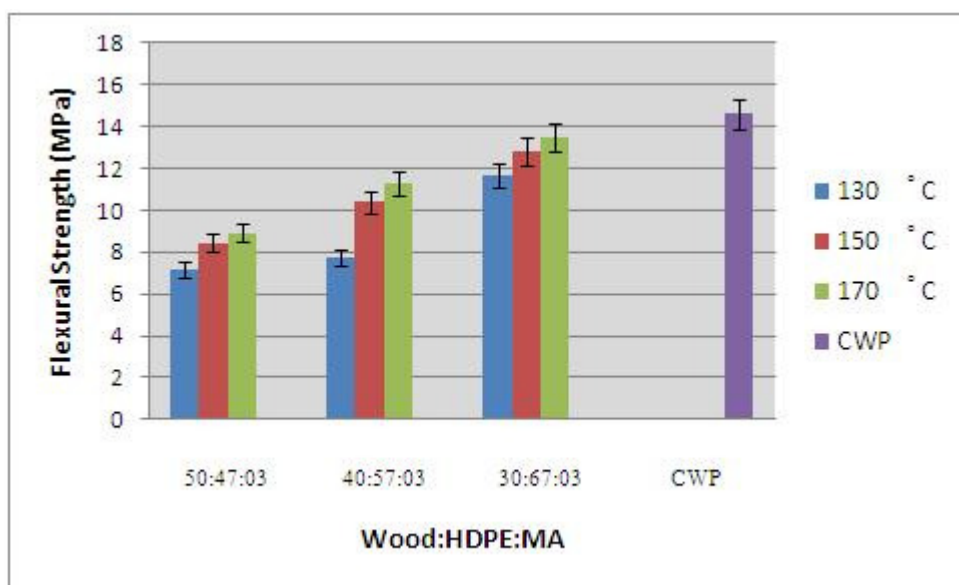
4.1.2 ผลของสมบัติความแข็งแรงดัด

ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงดัดทั้ง 5 ซ้ำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยจากผลการทดลอง พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิในการทดลอง 130 150 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดัดอยู่ในช่วง 7.15-8.93 7.76-11.27 และ 11.69-13.48 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และเมื่อเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า พบว่าความแข็งแรงดัดของไม้เทียมทางการค้าที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 14.59 MPa ซึ่งเห็นได้ว่า ค่าความแข็งแรงดัดสูงสุดของไม้พลาสติกที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับไม้เทียมทางการค้า โดยมีค่าต่างกันประมาณ 1 MPa หรือคิดเป็น 7.61 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากไม้พลาสติกมีพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยพลาสติกจะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ระหว่างผงไม้กับพลาสติกได้ดี จึงส่งผลให้มีความแข็งแรงดัดสูงเกือบเทียบเท่าไม้เทียมทางการค้าซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสม

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงดัด

No.	Wood: HDPE:MA	Temperature (°C)	Flexural strength (MPa)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
1	50:47:03	130	6.50	7.78	6.21	9.24	6.04	7.15	1.35
2		150	8.40	10.43	9.44	4.63	9.27	8.43	2.24
3		170	8.93	9.05	7.64	8.43	10.59	8.93	1.08
4	40:57:03	130	8.36	8.61	7.24	8.42	6.18	7.76	1.03
5		150	10.74	10.77	9.72	10.55	10.30	10.41	0.43
6		170	10.12	11.15	11.81	12.07	11.21	11.27	0.75
7	30:67:03	130	11.47	12.83	12.30	10.74	11.15	11.69	0.85
8		150	12.45	14.56	14.52	11.73	10.82	12.81	1.67
9		170	14.29	12.22	13.34	14.12	13.46	13.48	0.81
10	Commercial wood plastic (CWP)		15.29	11.47	15.27	15.38	15.54	14.59	1.74

และเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับไม้ทางการค้าคือปวี๊วู้ด (CopyWood) ซึ่งมีความแข็งแรงตัดเท่ากับ 24 MPa เห็นได้ว่า ไม้พลาสติกที่ได้มีความแข็งแรงคดน้อยกว่าไม้ทางการค้าคือปวี๊วู้ด เนื่องจาก ไม้ทางการค้าคือปวี๊วู้ดมีพลาสติกชนิด PP เป็นส่วนประกอบ ซึ่งพลาสติกชนิดนี้มีคุณสมบัติที่แข็งแรง และทนทานกว่า HDPE ที่ใช้ในการทดลอง ทำให้ได้พอลิเมอร์เมทริกซ์ระหว่างผงไม้กับ PP ที่ดี ซึ่งส่งผลให้มีค่าสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า อีกทั้งไม้ทางการค้าคือปวี๊วู้ดยังมีกระบวนการและกรรมวิธีในการขึ้นรูปที่ดีกว่า ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อค่าสมบัติเชิงกลได้



รูปที่ 4.7 ความแข็งแรงคดของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงคดเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองและปริมาณสัดส่วนพลาสติกที่เพิ่มขึ้น โดยความแข็งแรงคดที่มากที่สุด คือ สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจาก พลาสติกในปริมาณที่มากจะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากขึ้น เพื่อส่งถ่ายและกระจายแรงไปสู่บริเวณอื่น ๆ ภายในวัสดุคอมโพสิต ดังนั้น เมื่อให้แรงกระทำจึงสามารถรับแรงได้ดีกว่าสัดส่วนที่มีผงไม้เป็นส่วนประกอบสูง และเนื่องจากว่า ผงไม้ในปริมาณสูงจะทำให้เกิดการกระจายตัวได้ไม่ดี จึงเกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน และเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหัก เมื่อให้แรงกระทำจึงไม่สามารถรับแรงได้ดีเท่าที่ควร ซึ่งสัมพันธ์กับบรรจุภัณฑ์ สมบัติสมภพ และคณะ (2547) ที่กล่าวว่า ผงไม้ในปริมาณที่สูงจะส่งผลให้

ความแข็งแรงดัดมีค่าลดลงในผลิตภัณฑ์ไม้พีวีซีจากผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา อีกทั้งคมกุด เล็กสกุล และอรรถพล สมุทรกุล (2547) ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตและสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติก พบว่า สัดส่วนไม้:พลาสติกที่ 50:50 มีความแข็งแรงดัดสูงกว่าที่สัดส่วน 60:40 อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ HDPE หลอมละลายและเกิดเป็นผลึกได้ง่ายขึ้น โดยสามารถรวมตัวกับ ผงไม้และ MA ได้ดีขึ้น สังกัดได้จากผลการทดลองของความแข็งแรงดัดที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดัดมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ 150 และ 130 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ การวิเคราะห์ ANOVA และการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ

จากผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วย ความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล โดยพบว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน

2. ผลการวิเคราะห์ ANOVA

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก และปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดของไม้พลาสติก ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนปัจจัยของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

3. ผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

จากผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 80.29% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ คือ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 80.29 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ คือ สภาพบรรยากาศโดยรอบในระหว่างทำการวิจัย เช่น ความชื้นและแสงแดด 19.71 ส่วน โดยจากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่า ผลความผันแปรของค่าความแข็งแรงดัดที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของ

สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงมากเมื่อเทียบกับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้และมีค่าเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถตัดสินใจโดยอาศัยตัวแบบนี้ได้

4.1.3 ผลของสมบัติความแข็งแรงดึง

ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงดึงทั้ง 5 ซ้ำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.3

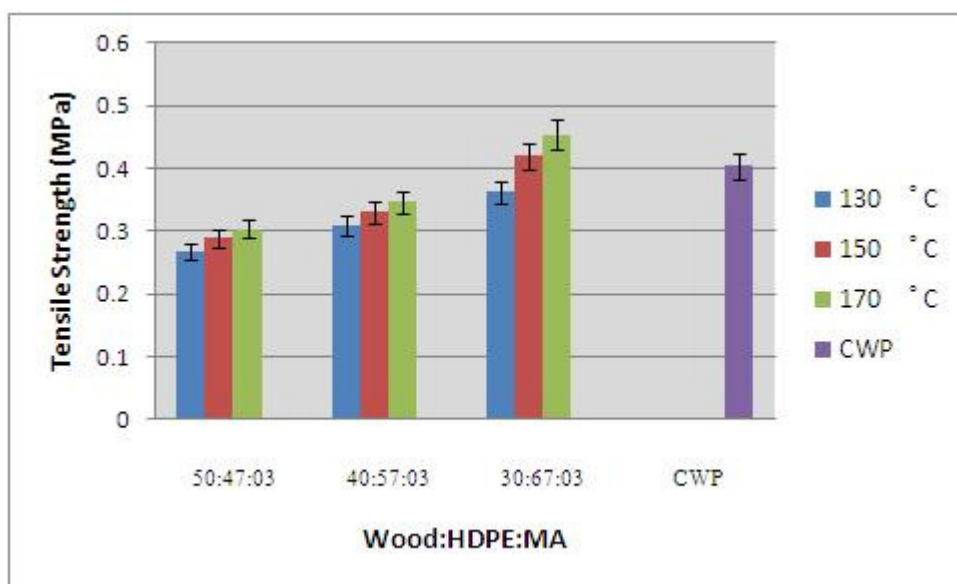
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึง

No.	Wood: HDPE:MA	Temperature (°C)	Tensile strength (MPa)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
1	50:47:03	130	0.238	0.226	0.231	0.315	0.325	0.267	0.048
2		150	0.307	0.277	0.258	0.278	0.325	0.289	0.026
3		170	0.421	0.315	0.324	0.235	0.227	0.304	0.078
4	40:57:03	130	0.325	0.277	0.315	0.260	0.369	0.309	0.042
5		150	0.258	0.342	0.286	0.343	0.421	0.330	0.062
6		170	0.276	0.424	0.384	0.325	0.324	0.347	0.057
7	30:67:03	130	0.366	0.230	0.334	0.397	0.484	0.362	0.092
8		150	0.511	0.395	0.351	0.369	0.473	0.420	0.069
9		170	0.445	0.466	0.510	0.425	0.424	0.454	0.035
10	Commercial wood plastic (CWP)		0.318	0.349	0.538	0.402	0.413	0.404	0.084

จากการทดลอง พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิในการทดลอง 130 150 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดึงอยู่ในช่วง 0.267-0.304 0.309-0.347 และ 0.362-0.454 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยสัดส่วน 30:67:03 จะมีความแข็งแรงดึงมากกว่าสัดส่วน 50:47:03 และ 40:57:03 ในทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงดึงจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณสัดส่วนของพลาสติกเพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับผลของ Caulfield และคณะ (2003) ที่กล่าวว่า ความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงดัดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณสัดส่วนของพอลิเมอร์เพิ่มสูงขึ้นในวัสดุผสมระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใย

ธรรมชาติ อีกทั้ง ธรรมชาติ สมบัติสมบัติ และคณะ (2547) กล่าวว่า ปริมาณผงไม้ที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ความแข็งแรงดิ่งมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผงไม้ในปริมาณสูงจะทำให้เกิดการกระจายตัวไม่ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน เมื่อให้แรงกระทำจึงไม่สามารถรับแรงได้ดีเท่าที่ควร

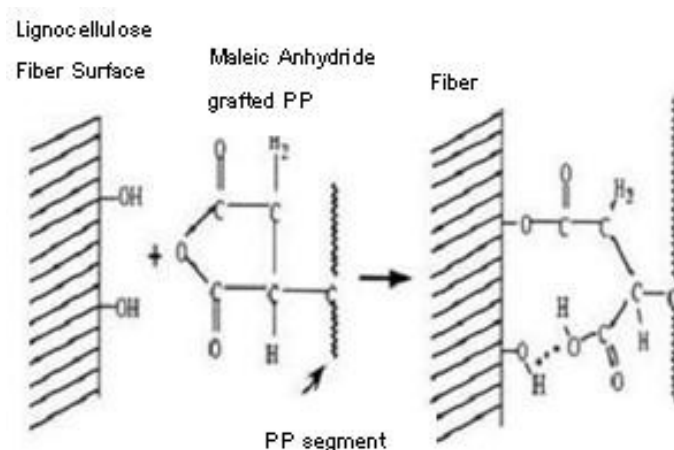
จากการเปรียบเทียบไม้พลาสติกที่ได้กับไม้เทียมทางการค้า พบว่า ความแข็งแรงดิ่งของไม้เทียมทางการค้าที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.404 MPa ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความแข็งแรงดิ่งสูงสุดของไม้ที่ได้มีค่ามากกว่าไม้เทียมทางการค้า ทั้งนี้เนื่องจากไม้พลาสติกมีพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยพลาสติกจะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี จึงส่งผลให้มีความแข็งแรงดิ่งสูงกว่าไม้เทียมทางการค้าซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสม



รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงดิ่งของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า

จากการทดลองที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดิ่งสูงกว่าอุณหภูมิ 150 และ 130 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติศักดิ์ อินทร์แก้ว และไภษัชย์ พานิชย์ (2549) ที่พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปไม้พลาสติกที่ 150 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงดิ่งสูงกว่าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจาก อุณหภูมิสูงจะช่วยให้ HDPE หลอมละลายได้ง่ายขึ้น และสามารถรวมตัวกับผงไม้และ MA ได้ดีขึ้น โดย MA จะทำให้เกิดปฏิกิริยาแอนไฮไดรด์ระหว่างพอลิเมอร์กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ผนังเซลล์ของผงไม้ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลเปลี่ยนเป็น

พันธะเอสเทอร์ (Ester bond) จากนั้น พอลิเมอร์ PP/PE จะจับและรวมตัวกับพันธะเอสเทอร์กลายเป็นร่างแห ดังรูปที่ 4.9 ซึ่ง MA จะทำให้การสร้างพันธะระหว่างผนังกับเมทริกซ์เกิดได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4.9 ปฏิกิริยาแอนไฮไดรระหว่าง MAPP กับหมู่ไฮดรอกซิล

ที่มา : Caulfield และคณะ (2003)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ การวิเคราะห์ ANOVA และการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ

จากผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วย ความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล โดยพบว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน

2. ผลการวิเคราะห์ ANOVA

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำตันปาล์มต่อเศษพลาสติก และปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึงของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนปัจจัยของสัดส่วนของผงลำตันปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

3. ผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

จากผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 77.09% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ คือ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอนุหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 77.09 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ คือ สภาพบรรยากาศโดยรอบในระหว่างทำการวิจัย เช่น ความชื้นและแสงแดด 22.91 ส่วน โดยจากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่า ผลความผันแปรของค่าความแข็งแรงดึงที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอนุหภูมิระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงมากเมื่อเทียบกับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้และมีค่าเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถตัดสินใจโดยอาศัยตัวแบบนี้ได้

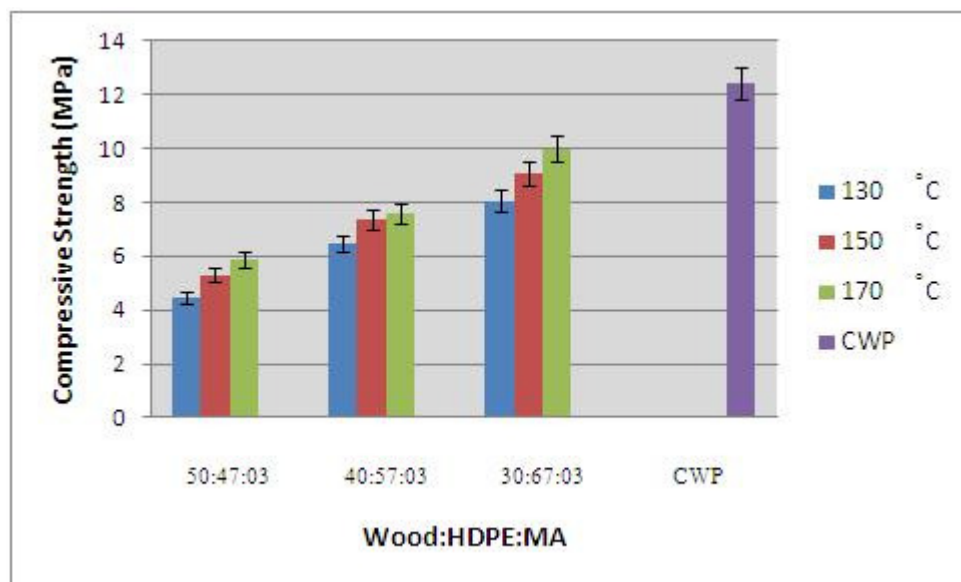
4.1.4 ผลของสมบัติความแข็งแรงกด

ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงกดทั้ง 5 ซ้ำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงกด

No.	Wood: HDPE:MA	Temperature (°C)	Compressive strength (MPa)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
1	50:47:03	130	6.29	2.77	4.87	3.29	5.05	4.45	1.42
2		150	7.43	4.27	3.59	5.36	5.83	5.29	1.48
3		170	6.12	7.41	6.83	5.14	4.03	5.90	1.34
4	40:57:03	130	7.11	6.48	3.83	6.20	8.73	6.47	1.77
5		150	7.06	6.22	9.24	9.35	4.95	7.36	1.91
6		170	6.32	9.07	5.54	7.70	9.46	7.61	1.69
7	30:67:03	130	8.73	6.92	6.27	9.49	8.81	8.04	1.37
8		150	9.60	7.09	8.94	11.28	8.62	9.10	1.52
9		170	9.34	8.49	10.94	9.86	11.32	9.99	1.15
10	Commercial wood plastic (CWP)		11.60	11.88	11.92	14.74	11.98	12.42	1.30

จากการทดลอง พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิในการทดลอง 130 150 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงกดอยู่ในช่วง 4.45-5.90 6.47-7.61 และ 8.04-9.99 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เห็นได้ว่า ที่สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงกดสูงที่สุดในทุกสัดส่วนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง และมีค่าใกล้เคียงกับผลงานวิจัยของณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ (2547) ซึ่งมีความแข็งแรงกดเท่ากับ 9 MPa ของไม้พีวีซีจากผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยพลาสติกในปริมาณที่มากจะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากขึ้น เพื่อส่งถ่ายและกระจายแรงไปสู่บริเวณอื่น ๆ ภายในวัสดุคอมโพสิต ดังนั้น เมื่อให้แรงกระทำจึงสามารถรับแรงได้ดีกว่าสัดส่วนที่มีผงไม้เป็นส่วนประกอบสูง อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ HDPE หลอมละลายและเกิดเป็นผลึกได้ง่ายขึ้น โดยสามารถรวมตัวกับผงไม้และ MA ได้ดีขึ้น สังกเกตได้จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงกดมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ 150 และ 130 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า พบว่า ความแข็งแรงกดของไม้เทียมทางการค้าที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 12.42 MPa เห็นได้ว่า ความแข็งแรงกดของไม้พลาสติกที่ได้มีค่าน้อยกว่าไม้เทียมทางการค้า ทั้งนี้เนื่องจากไม้เทียมทางการค้ามีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จึงส่งผลให้มีความแข็งแรงกดสูงกว่าไม้พลาสติก



รูปที่ 4.10 ความแข็งแรงกดของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ การวิเคราะห์ ANOVA และการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ

จากผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วย ความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล โดยพบว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน

2. ผลการวิเคราะห์ ANOVA

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก และปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกดของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนปัจจัยของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกดของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

3. ผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

จากผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 74.29% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ คือ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 74.29 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ คือ สภาวะบรรยากาศโดยรอบในระหว่างทำการวิจัย เช่น ความชื้นและแสงแดด 25.71 ส่วน โดยจากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่า ผลความผันแปรของค่าความแข็งแรงกดที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงมากเมื่อเทียบกับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้และมีค่าเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถตัดสินใจโดยอาศัยตัวแบบนี้ได้

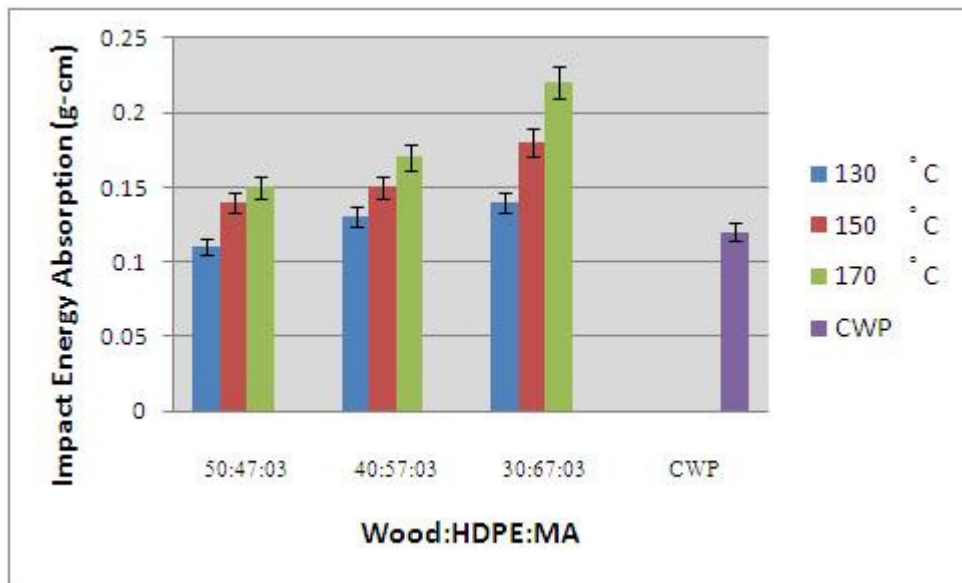
4.1.5 ผลของสมบัติการดูดซับพลังงานแรงกระแทก

ผลที่ได้จากการทดสอบการดูดซับพลังงานแรงกระแทก 5 ซ้ำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ไม้พลาสติกที่สัดส่วน 50:47:03 40:57:03 และ 30:67:03 ที่อุณหภูมิในการทดลอง 130 150 170 องศาเซลเซียส มีการดูดซับพลังงานแรงกระแทกอยู่ในช่วง

0.11-0.15 0.13-0.17 และ 0.14-0.22 g-cm ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดย ฌ อุ่นภูมิเดียวกัน สัดส่วน 50:47:03 จะมีการดูดซับพลังงานแรงกระแทกน้อยกว่า สัดส่วน 40:57:03 และ 30:67:03 โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของเพ็ญศรี พูลผล และคณะ (2548) ได้ศึกษาการผลิตไม้เทียมจากเศษ โฟมพีวีซีและผงไม้ พบว่า สูตรที่มีปริมาณผงไม้ 40 phr. จะมีการดูดซับพลังงานแรงกระแทกน้อยกว่าสูตรที่มีปริมาณผงไม้ 30 phr. อีกทั้งผลงานวิจัยของณรงฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ (2547) พบว่า ปริมาณผงไม้ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานแรงกระแทกลดลง นั่นเป็นเพราะ ผงไม้ในปริมาณมากจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าลดลง เนื่องจาก ผงไม้เป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ดังนั้น ผงไม้จึงสามารถดูดซับน้ำได้ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปและการทดสอบสมบัติเชิงกล ความชื้นสามารถเข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสในผงไม้ได้ แทนที่การสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของเซลลูโลสด้วยกันเอง จึงมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการดูดซับพลังงานแรงกระแทก

No.	Wood: HDPE:MA	Temperature (°C)	Impact energy absorption (g-cm)						
			1	2	3	4	5	Mean	SD
1	50:47:03	130	0.11	0.15	0.10	0.12	0.11	0.11	0.01
2		150	0.12	0.14	0.14	0.10	0.20	0.14	0.03
3		170	0.20	0.18	0.16	0.10	0.15	0.15	0.03
4	40:57:03	130	0.12	0.11	0.17	0.09	0.19	0.13	0.04
5		150	0.14	0.13	0.18	0.12	0.18	0.15	0.02
6		170	0.18	0.15	0.19	0.17	0.20	0.17	0.01
7	30:67:03	130	0.13	0.14	0.18	0.10	0.17	0.14	0.03
8		150	0.18	0.16	0.20	0.13	0.23	0.18	0.03
9		170	0.21	0.19	0.27	0.15	0.30	0.22	0.06
10	Commercial wood plastic (CWP)		0.10	0.15	0.08	0.13	0.18	0.12	0.03



รูปที่ 4.11 การดูดซับพลังงานแรงกระแทกของวัสดุไม้พลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า

เมื่อเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า พบว่า การดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้เทียมทางการค้าที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.12 g-cm เห็นได้ว่า เกือบทุกค่าของการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกที่ได้มีค่ามากกว่าไม้เทียมทางการค้า เนื่องจากไม้พลาสติกมีพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยพลาสติกจะช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี จึงส่งผลให้มีการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงกว่าไม้เทียมทางการค้าซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ การวิเคราะห์ ANOVA และการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ

จากผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วย ความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่า

ความแปรปรวนของข้อมูล โดยพบว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน

2. ผลการวิเคราะห์ ANOVA

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก และปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนปัจจัยของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

3. ผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

จากผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 75.36% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ คือ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 75.36 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ คือ สภาพบรรยากาศโดยรอบในระหว่างทำการวิจัย เช่น ความชื้นและแสงแดด 24.64 ส่วน โดยจากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่า ผลความผันแปรของค่าการดูดซับพลังงานแรงกระแทกที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงมากเมื่อเทียบกับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้และมีค่าเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถตัดสินใจโดยอาศัยตัวแบบนี้ได้

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สรุปได้ว่า วัสดุไม้พลาสติกที่มีปริมาณผงไม้ปาล์ม: เศษ HDPE: MA ที่สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็ง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงที่สุดในทุกสัดส่วนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้น จึงเป็นสถานะที่ดีที่สุดที่ผู้วิจัยเลือกนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติกต้นแบบต่อไป และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงและการดูดซับพลังงานแรงกระแทกมีค่าสูงกว่าไม้เทียมทางการค้า ค่าความแข็งและความแข็งแรงกดมีค่าน้อยกว่าไม้เทียมทางการค้า ส่วนค่าความแข็งแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับไม้เทียมทางการค้า ซึ่งสามารถแสดงดังตารางที่ 4.6 ทั้งนี้เป็นเพราะไม้เทียมทางการค้ามีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงส่งผลให้มีความแข็งและความแข็งแรงกดสูงกว่าไม้พลาสติก แต่ก่อนข้างเพราะ ซึ่งเห็นได้จากค่าความแข็งแรงดึงและการดูดซับพลังงานแรงกระแทกน้อยกว่าไม้พลาสติก เนื่องจากไม้พลาสติกมีพลาสติกเป็นตัวช่วยให้มีการยึดติดกันของพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีกว่าและ

พอลิเมอร์จะทำให้มีการส่งผ่านและกระจายแรงระหว่างเส้นใยได้ดี อีกทั้งยังช่วยให้เส้นใยทำงานเป็นกลุ่มในการต้านแรงได้ดีกว่า เห็นได้ว่า พลาสติกที่เป็นส่วนผสมในไม้พลาสติกส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงดึงและการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงกว่าไม้เทียมทางการค้าซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นส่วนผสม และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดัดของไม้พลาสติกที่ได้กับไม้ทางการค้าคือปวีวู้ด (CopyWood) พบว่า ไม้พลาสติกที่ได้จากการทดลองมีค่าความแข็งแรงดัดน้อยกว่าไม้ทางการค้าคือปวีวู้ด ทั้งนี้เนื่องจาก ไม้ทางการค้าคือปวีวู้ดมีพลาสติกชนิด PP เป็นส่วนประกอบ ซึ่งพลาสติกชนิดนี้มีคุณสมบัติที่แข็งแรง และทนทานกว่า HDPE ที่ใช้ในการทดลอง ทำให้ได้พอลิเมอร์เมทริกซ์ระหว่างผงไม้กับ PP ที่ดี ซึ่งส่งผลให้มีค่าสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า อีกทั้งไม้ทางการค้าคือปวีวู้ดยังมีกระบวนการและกรรมวิธีในการขึ้นรูปที่ดีกว่า ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อค่าสมบัติเชิงกลได้

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกกับไม้เทียมทางการค้า

Mechanical properties	Wood plastic product	Commercial wood plastic
Hardness (kg/mm ²)	9.820 (<)	11.863
Flexural strength (MPa)	13.48 (<)	14.59
Tensile strength (MPa)	0.454 (>)	0.404
Compressive strength (MPa)	9.99 (<)	12.42
Impact energy absorption (g-cm)	0.22 (>)	0.12

จากผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วย ความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล โดยทำการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบทางสถิติของสมบัติความแข็งแรง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก ได้ผลการวิเคราะห์ไปในทิศทางเดียวกัน คือ ข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน พร้อมทั้งผลของการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก และปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนปัจจัยของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรง

ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และจากผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ พบว่า สามารถตัดสินใจโดยอาศัยตัวแบบที่ใช้ทดสอบได้ เนื่องจากมีความถูกต้องของตัวแบบค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับ 100 เปอร์เซนต์ คือ มีค่าเข้าใกล้ 100 และเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ความแข็งแรงดัดมีสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมากที่สุด รองลงมา คือ ความแข็งแรงดึง การดูดซับพลังงานแรงกระแทก ความแข็งแรงกด และความแข็ง ตามลำดับ ซึ่งทำให้ทราบว่า ความผันแปรของความแข็งแรงดัดสามารถอธิบายได้ด้วยข้อมูลตามตัวแบบได้มากกว่าความแข็งแรงดึง การดูดซับพลังงานแรงกระแทก ความแข็งแรงกด และความแข็ง ตามลำดับ

4.2 ผลการสร้างไม้พลาสติกต้นแบบ

จากผลสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสร้างไม้พลาสติกต้นแบบจากสัดส่วนและอุณหภูมิที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด คือ สัดส่วนผงไม้ปาล์มต่อเศษผงพลาสติก HDPE ต่อ MA ที่ 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จากนั้น สร้างผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากไม้พลาสติกต้นแบบที่ได้ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกที่จะสร้างแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูป เนื่องจาก ผลจากค่าสมบัติเชิงกลที่ได้สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น ไม้ระแนง รั้วบ้าน โตะเอนกประสงค์ แผ่นปูรองพื้นเก้าอี้ ชั้นวางหนังสือ และที่วางกระดาษต้น ไม้ เป็นต้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดไม้พลาสติกต้นแบบทำให้ไม่สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกสร้างแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยใช้ไม้พลาสติก 4 ชั้นต่อแผ่น และยึดติดให้เป็นแผ่นด้วยตะปูเกลียว ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งการใช้งานจริงของแผ่นไม้ปูพื้นนั้นเหมาะสำหรับงานตกแต่งทั้งภายในและภายนอกอาคาร และเพื่อเพิ่มทางเลือกในการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยเล็งเห็นว่า ถ้าทำให้แผ่นไม้มีร่องก็จะช่วยเพิ่มแรงเสียดทานในระหว่างการใช้งาน ทำให้ไม่ลื่นล้มได้ง่าย และเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างพื้นผิวผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงทำการสร้างแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบมีร่อง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.13 โดยไม้พลาสติกที่ได้หลังการขึ้นรูปจะต้องนำมาขัดเจียรผิวให้เรียบสม่ำเสมอก่อนนำมายึดติดกับแผ่นพลาสติกด้วยตะปูเกลียว สำหรับไม้พลาสติกแบบมีร่องนั้นจะนำไม้พลาสติกมาเจาะให้เป็นร่องแล้วขัดผิวในแต่ละร่องด้วยกระดาษทรายเนื้อละเอียดจนกว่าผิวเรียบสม่ำเสมอ จากนั้นนำมายึดติดกับแผ่นพลาสติกด้วยตะปูเกลียว



รูปที่ 4.12 แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบผิวหน้าเรียบ



รูปที่ 4.13 แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบบมีร่อง

4.3 ผลการทดสอบชิ้นงานไม้พลาสติกต้นแบบ

ผลการทดสอบชิ้นงานไม้พลาสติกต้นแบบ เป็นการนำไม้พลาสติกต้นแบบที่ได้มาทำการทดสอบค่าต่าง ๆ คือ ความหนาแน่น การดูดซับน้ำ การพองตัวตามความหนา และความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว เพื่อให้ทราบว่า ไม้พลาสติกที่ใช้สร้างผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีค่าสมบัติต่าง ๆ อย่างไร พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าสมบัติที่ได้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (Flat pressed particle boards): มอก. 876-2547 และมอก. 876-2532 ทั้งยังเปรียบเทียบกับไม้ทางการค้าคือป๊อปปี้วู้ด (CopyWood)

4.3.1 ความหนาแน่น

ผลที่ได้จากการทดสอบความหนาแน่นของไม้พลาสติกต้นแบบ แสดงดังตารางที่ 4.7 โดยจากการทดลอง พบว่า ความหนาแน่นของไม้พลาสติกต้นแบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.820 g/cm^3 ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องตามมาตรฐาน มอก.876-2547 คือ ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง $0.40\text{-}0.90 \text{ g/cm}^3$ และจัดได้ว่าเป็นไม้ที่มีความหนาแน่นสูง สามารถพิจารณาจากตารางที่ 4.8 จากนั้น เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับไม้ทางการค้าคือปื้วู้ด ซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.20 g/cm^3 พบว่า ค่าความหนาแน่นของไม้พลาสติกต้นแบบมีค่าน้อยกว่าไม้ทางการค้าคือปื้วู้ดอยู่ประมาณ 0.38 g/cm^3 หรือคิดเป็น 31.67 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.7 ความหนาแน่นของไม้พลาสติกต้นแบบ

No.	Weight (g)	Length (cm)	Width (cm)	Thickness (cm)	Density (g/cm^3)
1	13.156	5.612	1.770	1.625	0.815
2	12.724	5.600	1.741	1.605	0.813
3	15.020	5.752	1.845	1.686	0.839
4	13.913	5.711	1.818	1.633	0.820
5	12.796	5.608	1.753	1.601	0.813
Mean	13.521	5.656	1.785	1.630	0.820
SD	0.961	0.070	0.044	0.034	0.011

ตารางที่ 4.8 การแบ่งประเภทของไม้ตามความหนาแน่น (g/cm^3)

Low density wood	Medium density wood	High density wood
< 0.5	0.5-0.8	> 0.8

ที่มา : ทรงพล อูระพันธ์มาส และปณรรม เลขานุกิจ, 2550

4.3.2 การดูดซับน้ำ

ผลที่ได้จากการทดสอบการดูดซับน้ำของไม้พลาสติกต้นแบบ แสดงดังตารางที่ 4.9 โดยจากการทดลอง พบว่า การดูดซับน้ำของไม้พลาสติกต้นแบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.503 % ที่เวลา 2 ชั่วโมง หลังการแช่น้ำ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.279 % ที่เวลา 24 ชั่วโมง หลังการแช่น้ำ โดยเป็นค่าที่สอดคล้องตามมาตรฐาน มอก.876-2532 คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่ 24 ชั่วโมง หลังการแช่น้ำ ต้องไม่เกิน 80 % เห็นได้ว่า ไม้พลาสติกต้นแบบมีการดูดซับน้ำที่น้อยมากเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากไม้พลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีพลาสติกเป็นส่วนประกอบจึงทำให้สามารถทนทานต่อการดูดซับน้ำได้มากกว่าไม้ทั่วไป และเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับไม้ทางการค้าคือปื้ดูด ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 1.40 % พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของไม้พลาสติกต้นแบบมีค่ามากกว่าไม้ทางการค้าคือปื้ดูด ทำให้ทราบว่า ไม้พลาสติกต้นแบบมีความทนทานต่อการดูดซับน้ำได้น้อยกว่าไม้ทางการค้าคือปื้ดูด

ตารางที่ 4.9 การดูดซับน้ำของไม้พลาสติกต้นแบบ

No.	Weight (g)	Weight after 2 hr. (g)	Weight after 24 hr. (g)	Absorption at 2 hr. (%)	Absorption at 24 hr. (%)
1	12.692	13.088	13.839	3.120	9.037
2	15.020	15.280	15.797	1.731	5.173
3	13.913	14.191	14.737	1.998	5.922
4	12.796	13.127	13.750	2.586	7.455
5	12.724	13.116	13.845	3.080	8.810
Mean	13.429	13.760	14.393	2.503	7.279
SD	1.025	0.969	0.881	0.626	1.713

4.3.3 การพองตัวตามความหนา

ผลที่ได้จากการทดสอบการพองตัวตามความหนาของไม้พลาสติกดันแบบ แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การพองตัวตามความหนาของไม้พลาสติกดันแบบ

No.	Thickness (cm)	Thickness after soak (cm)	Swelling (%)
1	5.824	5.832	0.137
2	5.801	5.807	0.103
3	5.917	5.924	0.118
4	5.953	5.961	0.134
5	5.926	5.933	0.118
Mean	5.884	5.891	0.122
SD	0.067	0.068	0.013

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่า การพองตัวตามความหนาของไม้พลาสติกดันแบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.122 % ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องตามมาตรฐาน มอก.876-2547 คือ การพองตัวตามความหนาเฉลี่ยต้องไม่เกิน 12 % และเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ทางการค้าที่อปปี๊วูด ซึ่งมีค่าการพองตัวตามความหนาเท่ากับ 0.40 % พบว่า เฟอร์เซนต์การพองตัวตามความหนาของไม้พลาสติกดันแบบมีค่าน้อยกว่าไม้ทางการค้าที่อปปี๊วูด เห็นได้ว่า ไม้พลาสติกดันแบบมีการพองตัวตามความหนาน้อยมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานและไม้ทางการค้าที่อปปี๊วูด ด้วยเหตุนี้ ไม้พลาสติกดันแบบจึงสามารถนำไปใช้ในพื้นที่มีน้ำท่วมขัง หรือพื้นที่อับชื้นได้ ซึ่งไม่ทำให้ไม้เปลี่ยนรูปร่างเหมือนไม้ทั่วไป ทั้งยังไม่เป็นเชื้อรา หรือผุกร่อน

4.3.4 ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว

ผลที่ได้จากการทดสอบความยืดหยุ่นของตะปูเกลียวของไม้พลาสติกต้นแบบ แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียวของไม้พลาสติกต้นแบบด้านผิวหน้าและด้านขอบ

No.	Tensile at surface (N)	Tensile at edge (N)
1	873.93	610.79
2	844.46	627.23
3	859.33	625.28
4	866.77	541.15
5	833.88	548.05
Mean	855.67	590.50
SD	16.35	42.44

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่า ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียวของไม้พลาสติกต้นแบบด้านผิวหน้าและด้านขอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 855.67 N และ 590.50 N ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องตามมาตรฐาน มอก.876-2547 คือ ความยืดหยุ่นของตะปูเกลียวทั้งด้านผิวหน้าและด้านขอบเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 360 N เห็นได้ว่า ไม้พลาสติกต้นแบบมีความยืดหยุ่นของตะปูเกลียวสูงมากเมื่อเทียบกับมาตรฐาน จึงเหมาะกับการนำไปใช้ที่ต้องการการจับยึดด้วยตะปูเกลียวเป็นอย่างมาก

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่า ไม้พลาสติกต้นแบบมีสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทั้งความหนาแน่น การดูดซับน้ำ การพองตัวตามความหนา และความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว อีกทั้งเมื่อนำค่าสมบัติเชิงกลที่ได้ คือ ความแข็งแรงดัด 13.48 MPa และความแข็งแรงดึง 0.454 MPa มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พบว่า มีค่าสอดคล้องกับมาตรฐาน มอก.876-2547 คือ ความแข็งแรงดัด ต้องไม่น้อยกว่า 13 MPa และความแข็งแรงดึง ต้องไม่น้อยกว่า 0.35 MPa เห็นได้ว่า ไม้พลาสติกต้นแบบมีสมบัติที่ดีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับไม้ทางการค้าก็อปปีวูด พบว่า ไม้พลาสติกต้นแบบมีความหนาแน่น ความแข็งแรงดัด และเปอร์เซ็นต์การพองตัวตามความหนาน้อยกว่าไม้

ทางการค้าก็อปปีวู้ด และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากกว่าไม้ทางการค้าก็อปปีวู้ด ซึ่งสามารถแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของไม้พลาสติกต้นแบบกับมาตรฐาน มอก.876-2547 และไม้ทางการค้าก็อปปีวู้ด

Properties	Wood plastic product	TIS. 876	CopyWood
Density (g/cm ³)	0.820	0.4-0.9	1.2
*Water absorption (%)	7.279	<80	1.4
Thickness swelling (%)	0.122	<12	0.4
Tensile of a screw (N)			
- Surface	855.67	>360	-
- Edge	590.50	>360	-
Flexural strength (MPa)	13.48	>13	24
Tensile strength (MPa)	0.454	>0.35	-

* หมายเหตุ: เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำทำการทดสอบและเปรียบเทียบที่มาตรฐาน มอก.876-2532

4.4 ต้นทุนการผลิต

วัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนในการผลิต เพื่อต้องการทราบต้นทุนวัตถุดิบทางตรง โดยในงานวิจัยนี้จะแบ่งต้นทุนการผลิตออกเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนวัสดุ และต้นทุนพลังงาน แต่จะไม่รวมไปถึงค่าจ้างแรงงาน โดยแสดงวิธีการคำนวณต้นทุนได้ดังต่อไปนี้

(1) การคำนวณราคาต้นทุนวัสดุ

วัสดุหลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด ด้วยกันคือ ผงไม้ปาล์ม เศษผงพลาสติก HDPE และ MA

- ผงไม้ปาล์ม เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากปาล์มที่หมดอายุการให้ผลผลิตแล้ว จากสวนปาล์มจังหวัดกระบี่ สามารถคำนวณได้จากไม้ปาล์ม 30 กิโลกรัม มีต้นทุนการขนส่งวัสดุเท่ากับ 480 บาท ดังนั้น ผงไม้ปาล์มปริมาณ 90 กรัม ที่ใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปไม้พลาสติก จะมี

ต้นทุนวัสดุเท่ากับ $(480 \times 90) / 30000 = 1.44$ บาท สำหรับปริมาณและสัดส่วนอื่น ๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปแสดงได้ดังตารางที่ 4.13

- เศษผงพลาสติก HDPE เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากขยะชุมชน ซึ่งสามารถจัดซื้อได้จากโรงรับซื้อของเก่าคิดเป็นราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้น เศษผงพลาสติก HDPE ปริมาณ 201 กรัม ที่ใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปไม้พลาสติก จะมีต้นทุนวัสดุเท่ากับ $(30 \times 201) / 1000 = 6.03$ บาท สำหรับปริมาณและสัดส่วนอื่น ๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปแสดงได้ดังตารางที่ 4.13

- ส่วน MA ปริมาณ 9 กรัม ที่ใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปไม้พลาสติก มีต้นทุนวัสดุ เท่ากับ 13.50 บาท ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก MA ปริมาณ 1000 กรัม มีราคา 1500 บาท ดังนั้น MA ปริมาณ 9 กรัม ก็จะมีราคา $(1500 \times 9) / 1000 = 13.50$ บาท

ตารางที่ 4.13 ต้นทุนวัสดุของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ

Oil palm wood: HDPE:MA	Oil palm wood: HDPE:MA (300 g.)	Oil palm wood (Bath)	HDPE (Bath)	MA (Bath)	Materials cost (Bath)
30:67:03	90:201:9	1.44	6.03	13.50	20.97
40:57:03	120:171:9	1.92	5.13	13.50	20.55
50:47:03	150:141:9	2.40	4.23	13.50	20.13

(2) การคำนวณราคาต้นทุนพลังงาน

- ค่าไฟฟ้าของการอบผงไม้ปาล์มด้วยเครื่องอบ โดยใช้กำลังไฟฟ้า 5.6 Kw เวลาในการอบ 300 นาที จะใช้พลังงานเท่ากับ $5.6 \times 5 = 28$ หน่วย ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 5 บาท ดังนั้น จะเสียค่าไฟฟ้า $28 \times 5 = 140$ บาทต่อ 10,000 กรัม เพราะฉะนั้น ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.014 บาทต่อกรัม และสามารถแสดงต้นทุนพลังงานของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.14

- ค่าไฟฟ้าของการร่อนผงไม้ปาล์มด้วยเครื่องร่อน โดยใช้กำลังไฟฟ้า 2 Kw เวลาในการร่อน 5 นาที จะใช้พลังงานเท่ากับ $2 \times 0.083 = 0.166$ หน่วย ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 5 บาท ดังนั้น จะเสียค่าไฟฟ้า $0.166 \times 5 = 0.83$ บาทต่อ 1,000 กรัม เพราะฉะนั้น ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.00083 บาทต่อกรัม และสามารถแสดงต้นทุนพลังงานของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.14

- ค่าไฟฟ้าของการหลอมพลาสติกด้วยเครื่องหลอม โดยใช้กำลังไฟฟ้า 9 Kw เวลาในการหลอม 30 นาที จะใช้พลังงานเท่ากับ $9 \times 0.50 = 4.50$ หน่วย ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 5 บาท ดังนั้น

จะเสียค่าไฟฟ้า $4.50 \times 5 = 22.50$ บาทต่อ 8,000 กรัม เพราะฉะนั้น ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.00281 บาทต่อกรัม และสามารถแสดงต้นทุนพลังงานของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.14

- ค่าไฟฟ้าของการเจียรพลาสติกด้วยเครื่องเจียรชนิดผิว โดยใช้กำลังไฟฟ้า 3.3 Kw เวลาในการเจียร 10 นาที จะใช้พลังงานเท่ากับ $3.3 \times 0.16 = 0.528$ หน่วย ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 5 บาท ดังนั้น จะเสียค่าไฟฟ้า $0.528 \times 5 = 2.64$ บาทต่อ 2,000 กรัม เพราะฉะนั้น ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.00132 บาทต่อกรัม และสามารถแสดงต้นทุนพลังงานของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.14

- ค่าไฟฟ้าของการร่อนเศษผงพลาสติกด้วยเครื่องร่อน โดยใช้กำลังไฟฟ้า 2 Kw เวลาในการร่อน 5 นาที จะใช้พลังงานเท่ากับ $2 \times 0.083 = 0.166$ หน่วย ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 5 บาท ดังนั้น จะเสียค่าไฟฟ้า $0.166 \times 5 = 0.83$ บาทต่อ 1,000 กรัม เพราะฉะนั้น ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.00083 บาทต่อกรัม และสามารถแสดงต้นทุนพลังงานของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.14

- ค่าไฟฟ้าของการอัดขึ้นรูปชิ้นงานไม้พลาสติกด้วยเครื่องอัดเบ้า โดยใช้กำลังไฟฟ้า 7.46 Kw เวลาในการอัด 50 นาที จะใช้พลังงานเท่ากับ $7.46 \times 0.83 = 6.21$ หน่วย ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 5 บาท ดังนั้น จะเสียค่าไฟฟ้า $6.21 \times 5 = 31.05$ บาทต่อชิ้น และสามารถแสดงต้นทุนพลังงานของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ต้นทุนพลังงานของ ไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ

Oil palm wood: HDPE:MA	Oil palm wood: HDPE:MA* (300 g.)	Oil palm wood (Bath)		HDPE (Bath)			Compression (Bath)	Electric energy cost (Bath)
		Oven	Panning	Melt	Grind	Panning		
30:67:03	90:201:9	1.26	0.0747	0.5648	0.2653	0.1668	31.05	33.38
40:57:03	120:171:9	1.68	0.0996	0.4805	0.2257	0.1419	31.05	33.67
50:47:03	150:141:9	2.10	0.1245	0.3962	0.1861	0.1170	31.05	33.97

*หมายเหตุ: ไม่มีต้นทุนพลังงานของมาเลอิก แอนไฮไดรด์

**ค่าไฟฟ้ามีการขึ้นลงตามราคาน้ำมัน

***การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ 5 บาท/ หน่วยคำนวณเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2553

****ค่าไฟฟ้า 1 หน่วย = กิโลวัตต์/ชั่วโมง

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผล

วัสดุที่ใช้ในการผลิตไม้พลาสติก คือ ผงไม้ปาล์ม ซึ่งได้จากไม้ปาล์มที่หมดอายุการให้ผลผลิตจากสวนปาล์ม ผลิตพลาสติกชนิด HDPE ที่ได้จากขบวนการอัดขึ้นรูปแล้ว และมาเติมอีกแอนไฮไดรด์ ซึ่งเป็นสารช่วยผสม โดยทำการทดลองที่อัตราส่วน (ไม้:พลาสติก:สารช่วยผสม) 50:47:03 40:57:03 30:67:03 อุณหภูมิในการขึ้นรูป คือ 130 150 170 องศาเซลเซียส เวลาในการขึ้นรูป 50 นาที และใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอัดรีด โดยในการทดลองมีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบทางสถิติประกอบด้วย ความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล การวิเคราะห์พบว่าข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มปกติ คือ มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 และข้อมูลมีการกระจายตัวแปรผันสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ ส่วนการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก และปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็ง ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนปัจจัยของสัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความแข็ง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ พบว่า สามารถตัดสินใจโดยอาศัยตัวแบบที่ใช้ทดสอบได้ ในส่วนการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า วัสดุไม้พลาสติกที่มีปริมาณผงไม้ปาล์ม: HDPE: MA ที่สัดส่วน 30:67:03 อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็ง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทกสูงที่สุดในทุกสัดส่วนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นจึงเป็นสถานะที่ดีที่สุดที่ผู้วิจัยเลือกนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติกต้นแบบ ทั้งยังทำให้ทราบว่าสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองและปริมาณสัดส่วนพลาสติกที่เพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ สมบัติเชิงกลของไม้พลาสติกมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณสัดส่วนของผงไม้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง

และปริมาณสัดส่วนพลาสติกที่เพิ่มขึ้นเป็นการปรับปรุงและเพิ่มความแข็งแรงให้กับไม้พลาสติก โดยสังเกตได้จากผลของสมบัติเชิงกลที่ใช้ทดสอบ คือ ค่าความแข็ง ความแข็งแรงดัด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกด และการดูดซับพลังงานแรงกระแทก ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองและปริมาณสัดส่วนพลาสติกที่เพิ่มขึ้น และเมื่อนำไม้พลาสติกมาเปรียบเทียบกับไม้เทียมทางการค้า (CWP) พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงและการดูดซับพลังงานแรงกระแทกมีค่าสูงกว่าไม้เทียมทางการค้า ค่าความแข็งและความแข็งแรงกดมีค่าน้อยกว่าไม้เทียมทางการค้า ส่วนค่าความแข็งแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับไม้เทียมทางการค้าและมีค่าน้อยกว่าไม้เทียมทางการค้าที่ออปปีวูด (CopyWood) จากนั้นเมื่อนำไม้พลาสติกต้นแบบมาทดสอบชิ้นงาน พบว่า ไม้พลาสติกต้นแบบมีสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทั้งความหนาแน่น การดูดซับน้ำ การพองตัวตามความหนา และความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว อีกทั้งเมื่อนำค่าสมบัติเชิงกลที่ได้ คือ ความแข็งแรงดัด และความแข็งแรงดึง มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พบว่า มีค่าสอดคล้องกับมาตรฐาน มอก.876-2547 และมอก.876-2532 เห็นได้ว่า ไม้พลาสติกต้นแบบมีสมบัติที่ดีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทั้งยังนำไม้พลาสติกต้นแบบมาเปรียบเทียบกับสมบัติความหนาแน่น การดูดซับน้ำ การพองตัวตามความหนา และความแข็งแรงดัด กับไม้เทียมทางการค้าที่ออปปีวูด โดยพบว่า ไม้พลาสติกต้นแบบมีความหนาแน่น ความแข็งแรงดัด และเปอร์เซ็นต์การพองตัวตามความหนาน้อยกว่าไม้พลาสติกทางการค้า และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมากกว่าไม้เทียมทางการค้าที่ออปปีวูด

จากผลสมบัติเชิงกลและสมบัติต่าง ๆ ของไม้พลาสติกต้นแบบที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสร้างแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปจากไม้พลาสติกต้นแบบที่ได้ ซึ่งแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปเหมาะสำหรับงานตกแต่งทั้งภายในและภายนอกอาคาร และเพื่อเพิ่มทางเลือกในการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงสร้างแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบผิวหน้าเรียบและแบบมีร่อง จากนั้นทำการพิจารณาต้นทุนการผลิตไม้พลาสติก โดยแบ่งพิจารณาเป็นสองส่วน ในส่วนแรก คือ ต้นทุนวัสดุ พบว่า ไม้พลาสติกมีต้นทุนวัสดุใกล้เคียงกันในทุกสัดส่วนที่ทดลอง ส่วนที่สองต้นทุนพลังงาน พบว่า ในทุกสัดส่วนที่ทดลองไม้พลาสติกมีต้นทุนพลังงานใกล้เคียงกัน ดังนั้น เมื่อทำการคำนวณต้นทุนรวมของไม้พลาสติกจึงทำให้ได้ต้นทุนรวมใกล้เคียงกันในทุกสัดส่วนที่ทดลอง และเมื่อสร้างเป็นแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปจะมีต้นทุนรวมเท่ากับ 217.40 บาทต่อแผ่น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติกับแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปที่วางขายตามท้องตลาด จะพบว่า แผ่นไม้ปูพื้นที่ได้จากการทดลองมีน้ำหนักเบากว่า มีความสามารถในการทนฝนดีกว่า ปราศจากคาใจและรุมอดในชิ้นงาน สีของไม้มีความสม่ำเสมอ สวยงาม ซึ่งแผ่นไม้ปูพื้นที่วางขายตามท้องตลาดจะมีสีที่ไม่สม่ำเสมอในแต่ละชิ้นงาน ทั้งยังมีเสียงไม้ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเมื่อนำไปใช้งาน และไม่เหมาะสมกับพื้นที่อับชื้น อากาศไม่ถ่ายเท หรือพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง เนื่องจากอาจทำให้ไม้เป็นเชื้อรา หรือผุร่อนได้ จะเห็นว่า

เมื่อพิจารณาคูณสมบัติโดยรวมแล้วแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติที่เด่นกว่าแผ่นไม้ปูพื้นที่วางขายตามท้องตลาด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหาในการทดลอง

1. ระยะเวลาในการขึ้นรูปค่อนข้างนาน ส่งผลให้มีต้นทุนด้านพลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้น ควรเปลี่ยนกรรมวิธีในการขึ้นรูปให้มีระยะเวลาน้อยลงหรือหาวิธีลดเวลาในการขึ้นรูป
2. ควรออกแบบแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับกรรมวิธีการขึ้นรูปที่เลือกใช้และแม่พิมพ์นั้นควรถอดออกได้ง่าย เพื่อสะดวกแก่การนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปออกจากแม่พิมพ์
3. การเติมปริมาณสัปดาห์ผงไม้ปาล์มมาก ๆ จะส่งผลให้การขึ้นรูปขึ้นงานยากและต้องใช้เวลาในการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์
4. ชิ้นงานไม้พลาสติกที่ได้ส่วนใหญ่มีปัญหาเกี่ยวกับการติดกับแม่พิมพ์ภายหลังการขึ้นรูปทำให้ได้ไม้พลาสติกที่มีผิวไม่เรียบ ดังนั้นจึงต้องนำไม้พลาสติกมาทำการขัดผิวให้เรียบอีกครั้งซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเวลาและต้องทำงานหลายขั้นตอน

5.2.2 งานวิจัยในอนาคต

1. ชิ้นงานไม้พลาสติกที่ได้ยังสามารถพัฒนา และประยุกต์ใช้กับงานชนิดอื่น ๆ ได้ ยกเว้นไม้โครงสร้างเนื่องจากยังขาดคุณสมบัติของการเป็นไม้โครงสร้าง
2. งานวิจัยนี้ไม่ได้ทดสอบอายุการใช้งานถ้าต้องการนำไปใช้งานจริงต้องมีการทดสอบอายุการใช้งาน
3. งานวิจัยนี้ยังศึกษาแค่พลาสติกชนิด HDPE เพียงอย่างเดียว ดังนั้นผู้สนใจยังสามารถประยุกต์ใช้ผงไม้ปาล์มกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ ได้อีก เช่น PP PVC และ PS เป็นต้น
4. ชิ้นงานไม้พลาสติกที่ได้ยังมีค่าความแข็งและความแข็งแรงกคค่อนข้างน้อย ดังนั้น จึงควรหาวิธีปรับปรุงสมบัติดังกล่าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพไม้พลาสติกให้ดียิ่งขึ้น
5. ยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของไม้พลาสติกได้อีกโดยการปรับเปลี่ยนสารเติมแต่งที่เลือกใช้ เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น ซึ่งสามารถเลือกให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ได้ตามต้องการ

(3) การคำนวณราคาค่าต้นทุนรวม

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนรวม} &= \text{ต้นทุนวัสดุ} + \text{ต้นทุนพลังงาน} \\ &= 20.97 + 33.38 = 54.35 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ดังนั้น ไม้พลาสติกมีต้นทุน 54.35 บาทต่อชิ้น สำหรับไม้พลาสติกที่สัดส่วนผงไม้ปาล์มต่อเศษผงพลาสติก HDPE ต่อ MA 30:67:03 สำหรับที่สัดส่วนอื่น ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ต้นทุนรวมของไม้พลาสติกที่สัดส่วนต่าง ๆ

Oil palm wood: HDPE:MA	Materials cost (Bath)	Electric energy cost (Bath)	Total cost (Bath)
30:67:03	20.97	33.38	54.35
40:57:03	20.55	33.67	54.22
50:47:03	20.13	33.97	54.10

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า ทุกสัดส่วนที่ใช้ในการทดลองมีต้นทุนรวมใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลทางด้านสมบัติเชิงกล พบว่า ที่สัดส่วนผงไม้ปาล์มต่อเศษผงพลาสติก HDPE ต่อ MA 30:67:03 ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 170 องศาเซลเซียส เป็นสัดส่วนและอุณหภูมิที่ได้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด ทำให้ผู้ทำการวิจัยเลือกสถานะนี้มาใช้ในการผลิตแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูป โดยการสร้างแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปจะใช้ไม้พลาสติก 4 ชิ้นต่อแผ่น โดยแต่ละแผ่นมีขนาด 300 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร x 200 มิลลิเมตร ดังนั้น แผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปมีราคา $54.35 \times 4 = 217.40$ บาทต่อแผ่น และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติกับไม้ปูพื้นสำเร็จรูปที่วางขายตามท้องตลาด (ดังรูปที่ 4.14) พบว่า แผ่นไม้ปูพื้นที่ได้จากการทดลองมีน้ำหนักเบากว่า มีความสามารถในการทนฝนดีกว่า เนื่องจากมีพลาสติกเป็นส่วนประกอบ อีกทั้งแข็งแรง ทนทาน ปราศจากตาไม้ และรูมอดในชิ้นงาน สีของไม้มีความสม่ำเสมอ สวยงาม ซึ่งแผ่นไม้ปูพื้นที่วางขายตามท้องตลาดจะมีสีที่ไม่สม่ำเสมอในแต่ละชิ้นงาน ทั้งยังมีเสี้ยนไม้ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเมื่อนำไปใช้งาน เช่น อาจมีเสี้ยนไม้ตำเท้าได้ เมื่อเดินบนพื้นไม้ด้วยเท้าเปล่า เป็นต้น และไม่เหมาะกับพื้นที่อับชื้น อากาศไม่ถ่ายเท หรือพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง เนื่องจากอาจทำให้ไม้เป็นเชื้อรา หรือผุกร่อนได้ จะเห็นว่า เมื่อพิจารณาคูณสมบัติโดยรวมแล้วแผ่นไม้ปูพื้นสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติที่เด่นกว่าแผ่นไม้ปูพื้นที่วางขายตามท้องตลาด



รูปที่ 4.14 ไม้ปูพื้นที่วางขายตามท้องตลาด

บรรณานุกรม

- กิตติศักดิ์ อินทร์แก้ว และ ไกษย์ชัช พานิชย์. 2549. การศึกษาและผลิตวัสดุไม้พลาสติกจากเศษไม้ยางพารา. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กฤตวุฒิ พรสวรรค์. 2548. การศึกษาคณะสมบัติของซีลียผสมกาว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ไกรยร ไทยแท้, พศวรรธน์ ชัยวุฒินันท์, มนชัย ทาจันทร์, วรรัตน์ กังสัมฤทธิ์ และชนาวดี ลีจากภัย. 2551. ผลของเศษเอทิลีนไวนิลอะซิเตดและสารประสานไซเลนต่อสมบัติการรับแรงกระแทกและการโค้งงอของวัสดุผสมพีวีซีที่นำกลับมาใช้ใหม่และผงไม้. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6. ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 8-9 พฤษภาคม 2551.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548ก. รายงานโครงการลดการใช้พลาสติกและโฟม (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://infofile.pcd.go.th/wasteproject_pasaticRpt.pdf (18 กุมภาพันธ์ 2551)
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548ข. รายงานโครงการศึกษาแนวทางการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกและโฟม (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://infofile.pcd.go.th/wasteWaste_PlasExecuT.pdf (18 กุมภาพันธ์ 2551)
- คมกฤต เล็กสกุล และอรุณพล สมุทคุปดี. 2547. การศึกษากรรมวิธีการผลิตและคุณสมบัติเชิงกลของไม้พลาสติก. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 13. ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- คู่มือปฏิบัติการเรียนการสอนเรื่องยาง. 2548. สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- จันทนา เทศเจริญ และไพศาล นาคพิพัฒน์. 2549. การสังเคราะห์วัสดุประกอบจากขวดพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วกับเศษผงหนังสือเพื่อใช้ทดแทนไม้หอมรารงไฟ. วิศวกรรมลาดกระบัง. 23 : 42-47.
- ชนิดแบบแม่พิมพ์ (ออนไลน์). 2550. สืบค้นจาก : <http://mec.ssktc.ac.th/project/proj6.doc> (3 มกราคม 2551)
- ชลิตา กลิ่นพุด และนาวัน สังขรัตน์. 2546. วัสดุพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่าง PP กับไม้. ปรินญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ. 2543. กล้วยไม้ผสมกับพีวีซี. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 15-22.

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, จักริน พรหมจรัสสุข, เสกสรร อินทร์ฤทธิ์, เอกชัย วิมลมาลา และชัชวาลย์

กันทะลา. 2547. การผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์หลังคาอย่างธรรมชาติและไม้พีวีซีจากผงซี

ลีโอไม้อย่างพารา. การประชุมวิชาการพื่นยางไทยให้ยั่งยืน. ณ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 53-60.

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, จักริน พรหมจรัสสุข, เสกสรร อินทร์ฤทธิ์, เอกชัย วิมลมาลา และชัชวาลย์

กันทะลา. 2549. โครงการการผลิตและทดสอบหลังคาอย่างพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติ

กับซีลีโอไม้อย. กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 21-56.

เทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย (ออนไลน์). 2546. สืบค้นจาก :

<http://contact.doae.go.th/cts/resultDtl.jsp?id=1685> (2 มีนาคม 2550)

ทรงพล อูระพันธ์มาศ และปณรรณ เลขานุกิจ. 2550. ผลกระทบของวัตถุคิบัติต่อสมบัติเชิงกลของไม้

พลาสติกสำหรับไม้โครงสร้าง. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทองคำ ชุมพล. 2550. บทที่ 9 วัสดุโลหะ. โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เอกสารการสอน

(ออนไลน์). สืบค้นจาก :

http://www.crma.ac.th/orddept/Text_Online/IE2302/IE2302_CH9.doc (17 กันยายน 2550)

ชนคล สัตตบงกช. 2546. ไม้ประกอบและไม้ประกอบพลาสติก. วิศวกรรมสาร มก. 49 : 1-10

ธีระพงษ์ จันทร์นิคม, ประกิจ ทองคำ, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2550. การจัดการ

สวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะ

ทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

บริษัท Bio-Plast จำกัด (ออนไลน์). 2551. สืบค้นจาก :

http://intranet.dip.go.th/bocDownloadExample_Business_Plan010%20Destroy%20Plastic
(18 กุมภาพันธ์ 2551)

เพ็ญศรี พูลผล, ไกรสร ไทยแท้, ชัยวัฒน์ สัมฤทธิ์วิณิชชา, ชาลิต แสงสวัสดิ์ และอนินท์ มีมนต์.

2548. การผลิตไม้เทียมจากเศษโฟมพีวีซีกับผงไม้. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร

มหาบัณฑิต (วิศวกรรมวัสดุและโลหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

พรรณนีย์ วิชชาญ. 2552. ปาล์มน้ำมัน จากน้ำมันพืชถึงไบโอดีเซล (ออนไลน์). สืบค้นจาก :

<http://roiet.doae.go.th/phonthong/re22.htm> (23 มิถุนายน 2552).

ไพศาล นาคพิพัฒน์ และอมรรัตน์ สุนทรพงศ์. 2548. การสังเคราะห์วัสดุประกอบพอลิเอทิลีนและ
เศษผงหนัง. วิศวกรรมลาดกระบัง. 22 : 19-23.

มาวิน สุประดิษฐ์ ณ ออยุธยา. 2550. วัสดุพอลิเมอร์ (ออนไลน์). สืบค้นจาก :

<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~psuvanch/111-07.pdf> (10 พฤศจิกายน 2550).

แม่น อมรสิทธิ์, สมชัย อัครทิวา และสุพจน์ รัตนพันธ์. 2544. วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-
ฮิล.

ไม้กลายเป็นหิน (ออนไลน์). 2553. สืบค้นจาก :

http://www.nrru.ac.th/web/ancient/wood/index3_02.htm (2 พฤษภาคม 2553)

วารี ชวนรักธรรม. 2548. ปาล์มน้ำมัน (ออนไลน์). สืบค้นจาก :

<http://teenet.tei.or.th/Knowledge/palmoil.html> (17 มีนาคม 2552)

วีระชาติ จันทร์แจ่มแสง และเชาว์ลิต อธิธิธีรรัชย์. 2540. การเปรียบเทียบคุณสมบัติไม้ประกอบและ
ไม้จริง. ปรินญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ.

สัญญา แก้วเกตุ, นิภารัตน์ อัครเมธากุล, ศิริศาสตร์ เอื้อใจ, ณรงค์ ผังวิวัฒน์ และวลัยพร ปฤษณารุณ.

2544. การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมเคลือบกับพอลิเอสเทอร์. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (อุตสาหกรรมเคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ.

สมควร วัฒนกิจไพบูลย์ และจิตตกร ทรงต่อศรีสกุล. 2548. การผลิตวัสดุทดแทนแผ่นขึ้นไม้อัดจาก
เศษวัสดุเหลือใช้. ว. Engineering Today. 132-138.

สมภพ เลิศลักษณ์ากุล. 2544. ไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิไวนิลคลอไรด์
(พีวีซี) และเส้นใยคาไลปัดส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เสรีย์ ตู้อู่ประกาย, สิริวัลภ์ เรื่องช่วย และศิริโรตม์ เกตุแก้ว. 2548. กระบวนการคัดแยกพลาสติกเชิง
ไฟฟ้าสถิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ.

Ashton, L. and Rau, C. 2553. Food Preference of *Gromphadorhina portentosa* (ออนไลน์). สืบค้น

จาก : <http://webspace.ship.edu/gspaul/animal%20behavior/cockroach/index.html>

(28 พฤษภาคม 2553)

- Bengtsson, M., Gatenholm, P. and Oksman, K. 2005. The effect of crosslinking on the properties of polyethylene/wood flour composites. *Composites Science and Technology* : 1468-1479.
- Caulfield, D. F., Clemons, C., Jacobson, R. E. and Rowell, R. M. 2003. Wood Thermoplastic Composites. In *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites* : 365-378.
- Clemons, C. 2002. Wood-Plastic Composites in the United States, *Forest Products Journal*. 52 : 10-18.
- Compression molding (ออนไลน์). 2552. สืบค้นจาก :
<http://www.medplastgroup.com/graphics/compress.gif> (20 พฤศจิกายน 2552)
- CopyWood GmbH (ออนไลน์). 2554. สืบค้นจาก :
http://timber.fordaq.com/fordaq/news/WoodPlasticComposite_Gartenholz_Strandex_Copywood_11119.html (17 พฤษภาคม 2554)
- Costa, T.H.S., Carvalho, D.L., Souza, D.C.S, Coutinho, F.M.B., Pinto, J.C. and Kokta, B.V. 2000. Statistical Experimental Design and Modeling of Polypropylene-Wood Fiber Composites, *J. Polymer Testing*. 19 : 419-428.
- Coutinho, F.M.B. and Costa, T.H.S. 1999. Performance of Polypropylene-Wood Fiber Composites, *J. Polymer Testing*. 18 : 581-587.
- Electregy (ออนไลน์). 2553. สืบค้นจาก : <http://www.electregy.com/what-is-cellulosic-ethanol.php>
 (28 พฤษภาคม 2553)
- Extrusion molding (ออนไลน์). 2552. สืบค้นจาก :
http://www.efunda.com/processes/plastic_molding/molding_extrusion.cfm
 (20 พฤศจิกายน 2552)
- Ichazo, M.N., Albano, C., Gonzalez, J., Perera, R. and Candal, M.V. 2001. Polypropylene/Wood Flour Composites : Treatments and Properties, *J. Composite Structures*. 54 : 207-214.
- Injection molding (ออนไลน์). 2552. สืบค้นจาก : <http://www.substech.com> (20 พฤศจิกายน 2552)
- Kamdern, D.P., Jiang, H., Cui, W., Freed, J. and Matuana, L.M. 2004. Properties of Wood Plastic Composites made of Recycled HDPE and Wood Flour from CCA-Treated Wood Removed from Service, *J. Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*. 35 : 347-355.

- Markarian, J. 2005. Wood-plastic composites: current trends in materials and process.
Plastics Additives & Compounding : 20-26.
- Matuana, L.M., Park, C.B. and Balatinecz, J.J. 1997. Processing and Cell Morphology Relationships for Microcellular Foamed PVC/Wood-Fiber Composites, J. Polymer Engineering and Science. 37 : 1137-1147.
- Nunez, A. J., Kenny, J. M., Reboredo, M. M., Aranguren, M. I. and Marcovich, N. E. 2002. Thermal and Dynamic Mechanical Characterization of Polypropylene-wood flour Composites, J. Polymer Engineering and Science. 42 : 733-742.
- Plant Physiology (ออนไลน์). 2553. สืบค้นจาก : <http://4e.plantphys.net/article.php?ch=t&id=24>
(28 พฤษภาคม 2553)
- Ratanawilai, T., Chumthong, T. and Kirdkong, S. 2006. An Investigation on the Mechanical Properties of Trunks of Palm Oil Trees for the Furniture Industry, J. Oil Palm Research : 114-121.
- Wikimedia Commons (ออนไลน์). 2552. สืบค้นจาก :
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maleic_anhydride_structure.svg (15 พฤษภาคม 2552)
- Wood Composite Panel Manufacture (ออนไลน์). 2550. สืบค้นจาก :
<http://forest.mtu.edu/research/woodprotection/research/pilotplant.html> (9 มีนาคม 2551)

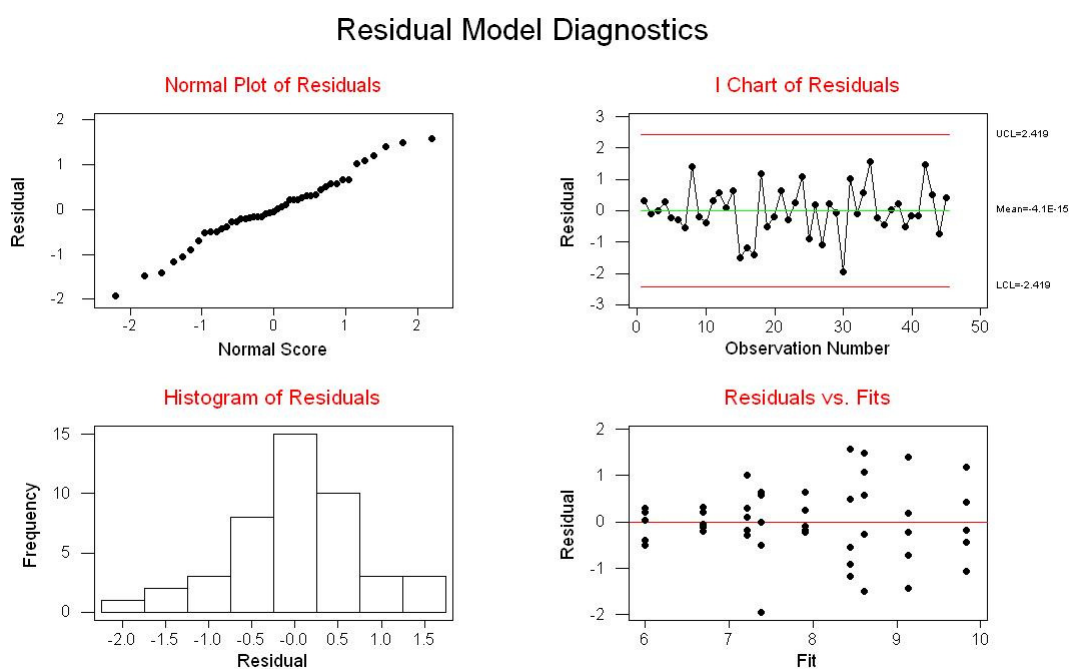
ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

จากผลที่ได้จากการทดสอบค่าสมบัติเชิงกลทั้ง 5 ค่า สามารถคำนวณค่าต่างๆ ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งได้ผลการคำนวณต่างๆ ดังนี้

1. ความแข็ง

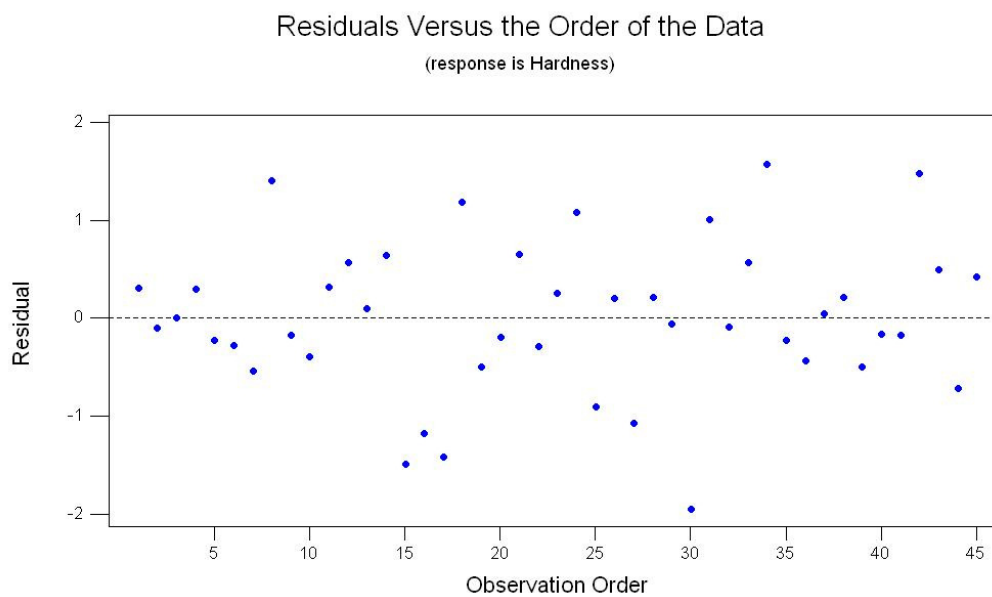
จากผลการทดสอบค่าความแข็ง โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาได้จากกราฟ Residual plot for yield ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 Residual plot for yield

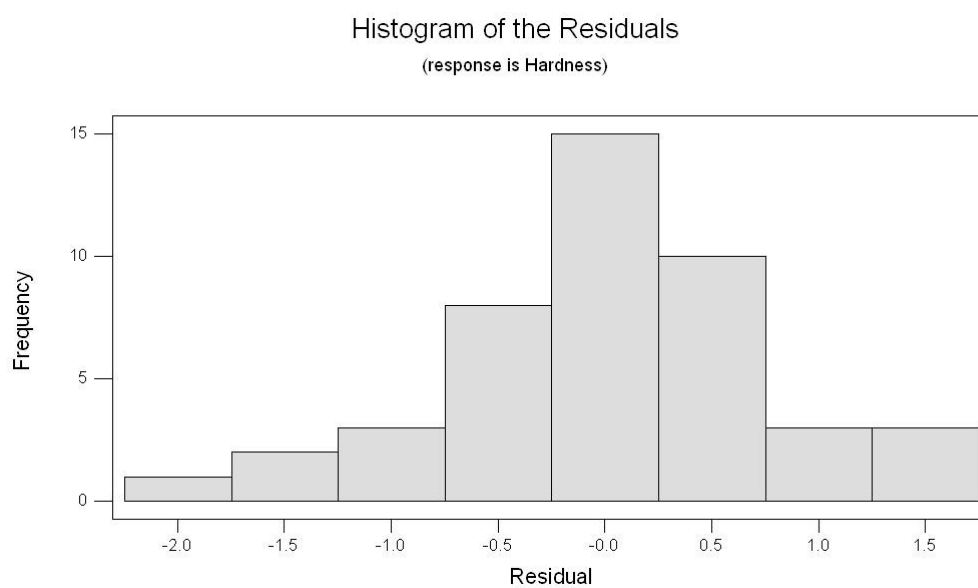
จากรูปที่ 1 สามารถแยกพิจารณาในแต่ละรูปกราฟ ได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูกราฟ Residuals versus the order of the data ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่า ไม่พบความผิดปกติของเส้นกราฟ ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบ สุ่ม



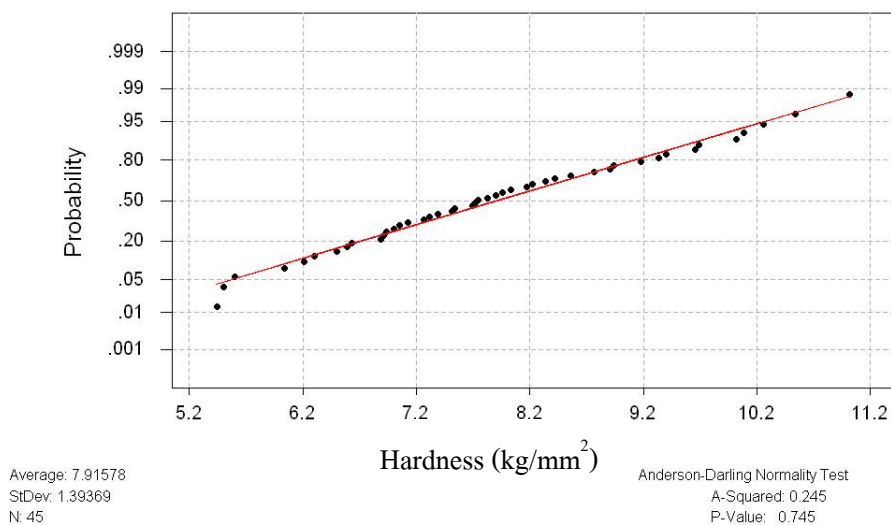
รูปที่ 2 Residuals versus the order of the data

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals แสดงในรูปที่ 3 จะเห็นว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็น โคนึงปกติ (Normal) แต่เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูล จึงทำการทดสอบ Normal probability ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 Histogram of the residuals

Normal Probability Plot



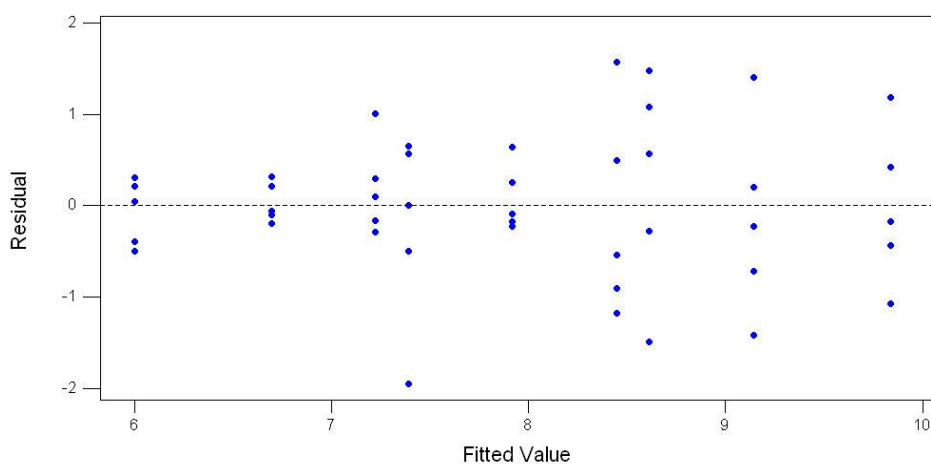
รูปที่ 4 Normal probability plot

จากข้อกำหนด Alpha (α) = 0.05 จากกราฟได้ค่า P - Value = 0.745 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

และเมื่อพิจารณากราฟ Residuals versus the fitted values ดังรูปที่ 5 พบว่า ข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกัน คือ มีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์

Residuals Versus the Fitted Values

(response is Hardness)



รูปที่ 5 Residuals versus the fitted values

General Linear Model: Hardness (kg/mm2) versus Blocks, Wood:HDPE:MA, Temp (C)

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1 2 3 4 5
Wood:HDPE:MA	fixed	3	306703 405703 504703
Temp	fixed	3	130 150 170

Analysis of Variance for Hardness, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	0.6042	0.6042	0.1510	0.20	0.937
Wood:HDPE:MA	2	45.6783	45.6783	22.8391	30.03	0.000
Temp (C)	2	14.5043	14.5043	7.2521	9.53	0.001
Wood:HDPE:MA*Temp (C)	4	0.3383	0.3383	0.0846	0.11	0.978
Error	32	24.3394	24.3394	0.7606		
Total	44	85.4644				

รูปที่ 6 ตาราง ANOVA

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง

พิจารณา Main effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 6) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 6) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.001 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

พิจารณา Interaction effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ for all } i, j$ ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 6) Accept H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.978 ซึ่งมีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย A และ B ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of determination)

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \times 100$$

$$R^2 = 1 - \frac{24.3394}{85.4644} \times 100$$

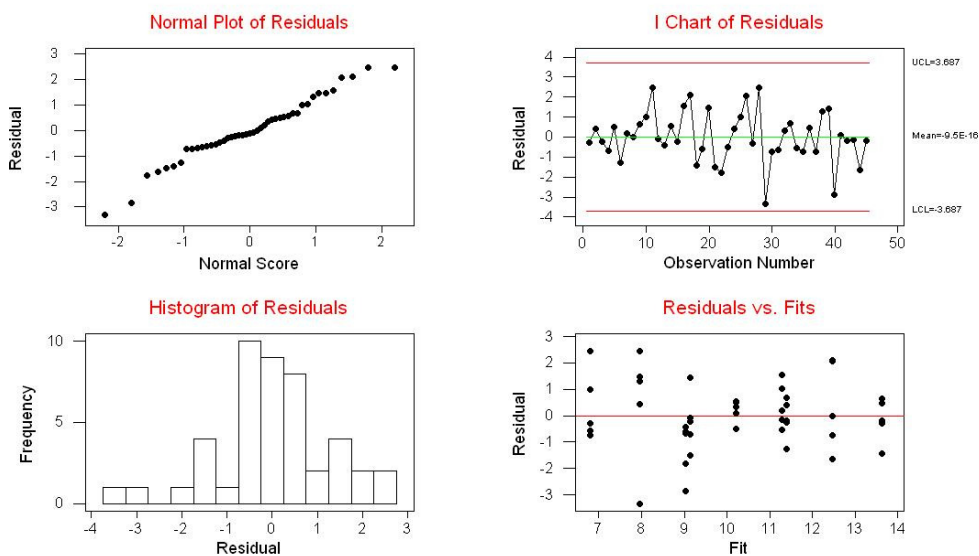
$$R^2 = 71.52\%$$

จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 71.52% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คือ สัดส่วนของผงถ่านปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 71.52 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 28.48 ส่วน

2. ความแข็งแรงตัด

จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงตัด โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาได้จากกราฟ Residual plot for yield ดังแสดงในรูปที่ 7

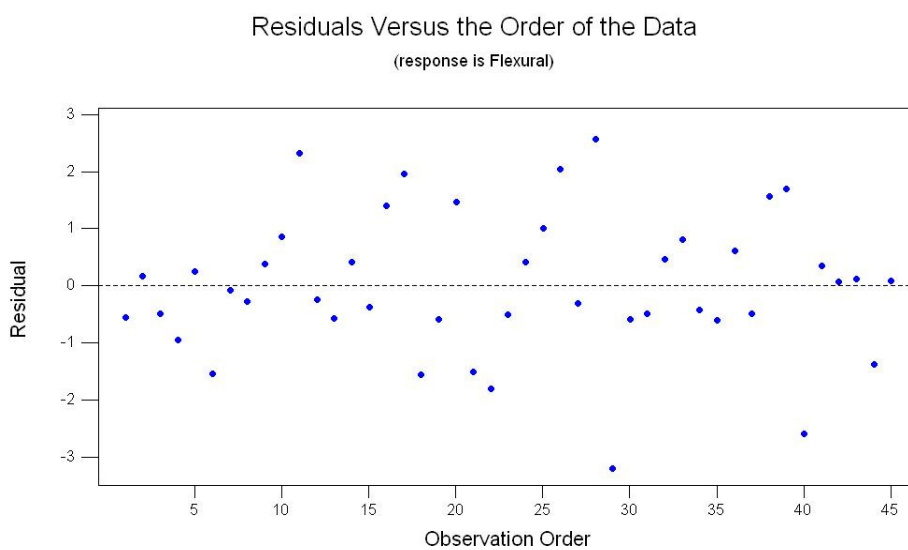
Residual Model Diagnostics



รูปที่ 7 Residual plot for yield

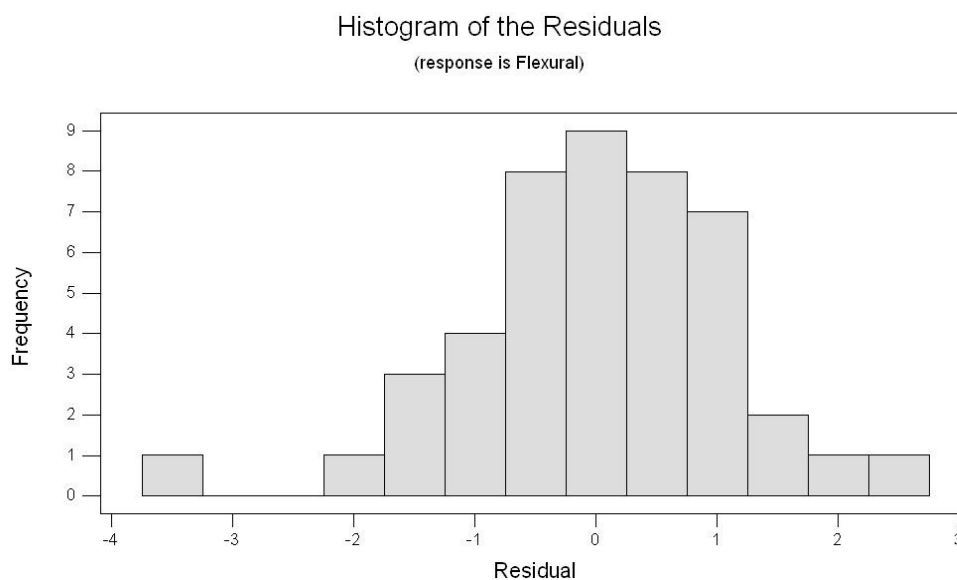
จากรูปที่ 7 สามารถแยกพิจารณาในแต่ละรูปกราฟ ได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูกราฟ Residuals versus the order of the data ดังรูปที่ 8 พบว่า ไม่พบความผิดปกติของเส้นกราฟ ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม

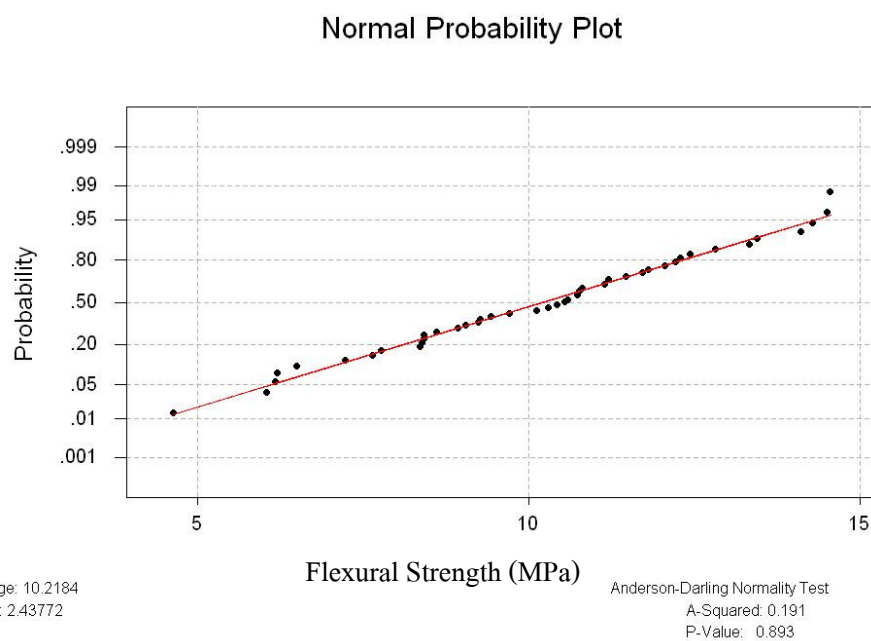


รูปที่ 8 Residuals versus the order of the data

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals ดังรูปที่ 9 จะเห็นว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นโค้งปกติ (Normal) แต่เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูล จึงทำการทดสอบ Normal probability แสดงดังรูปที่ 10



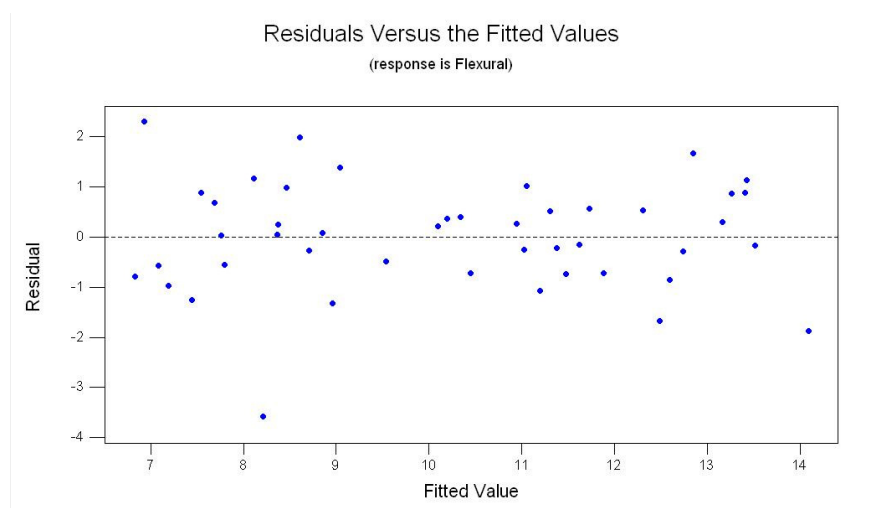
รูปที่ 9 Histogram of the residuals



รูปที่ 10 Normal probability plot

จากข้อกำหนด Alpha (α) = 0.05 จากกราฟได้ค่า P - Value = 0.893 ทำให้สันนิษฐานได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

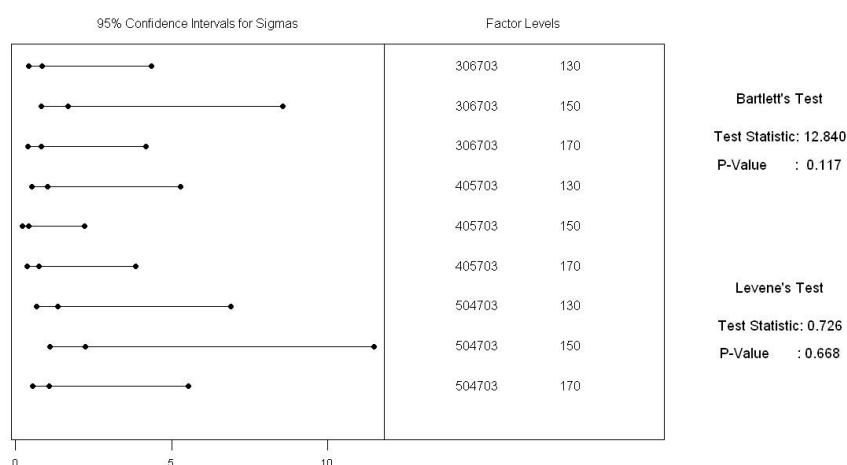
และเมื่อพิจารณากราฟ Residuals versus the fitted values ดังรูปที่ 11 พบว่า ข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกัน คือ มีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ 11 Residuals versus the fitted values

จากรูปที่ 11 มีบางค่าที่กระจายตัวออกห่างจากจุดศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่มั่นใจในความแปรปรวนของเงื่อนไขในการทดลอง จึงมีการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน แสดงได้ในรูปที่ 12

Test for Equal Variances for Flexural Strength



รูปที่ 12 Test for equal variances for flexural strength

จากรูปที่ 12 ช่วงความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดในเงื่อนไขต่างๆ จะเห็นว่ามีลักษณะเหลื่อมกัน แสดงว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดลองทั้ง 9 ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถทดสอบได้ดังนี้

ตั้งสมมติฐาน

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_{16}^2 \quad \text{ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 เท่ากัน}$$

$$H_1 = \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_{16}^2 \quad \text{ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 ไม่เท่ากัน}$$

ทดสอบสมมติฐาน ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

จากผลการคำนวณที่ได้ค่า P - Value (Bartlett's test) = 0.117 ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) แสดงว่า Accept H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 การทดลองนั้นมีค่าเท่ากันหรือ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

General Linear Model: Flexural Strength versus Blocks, Wood:HDPE:MA, Temp (C)

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1 2 3 4 5
Wood:HDPE:MA	fixed	3	306703 405703 504703
Temp (C)	fixed	3	130 150 170

Analysis of Variance for Flexural, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	4.768	4.768	1.192	0.74	0.571
Wood:HDPE:MA	2	155.147	155.147	77.574	48.18	0.000
Temp (C)	2	44.231	44.231	22.116	13.74	0.000
Wood:HDPE:MA*Temp (C)	4	5.805	5.805	1.451	0.90	0.475
Error	32	51.518	51.518	1.610		
Total	44	261.470				

รูปที่ 13 ตาราง ANOVA

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง

พิจารณา Main effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของสัดส่วนผงลำดันปาล์มต่อเศษพลาสติก (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำดันปาล์มต่อเศษพลาสติก ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำดันปาล์มต่อเศษพลาสติกแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 13) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำตันปาล์มต่อเศษพลาสติกมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 13) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

พิจารณา Interaction effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ for all } i, j$ ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 13) Accept H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.475 ซึ่งมีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย A และ B ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดัดของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of determination)

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \times 100$$

$$R^2 = 1 - \frac{51.518}{261.470} \times 100$$

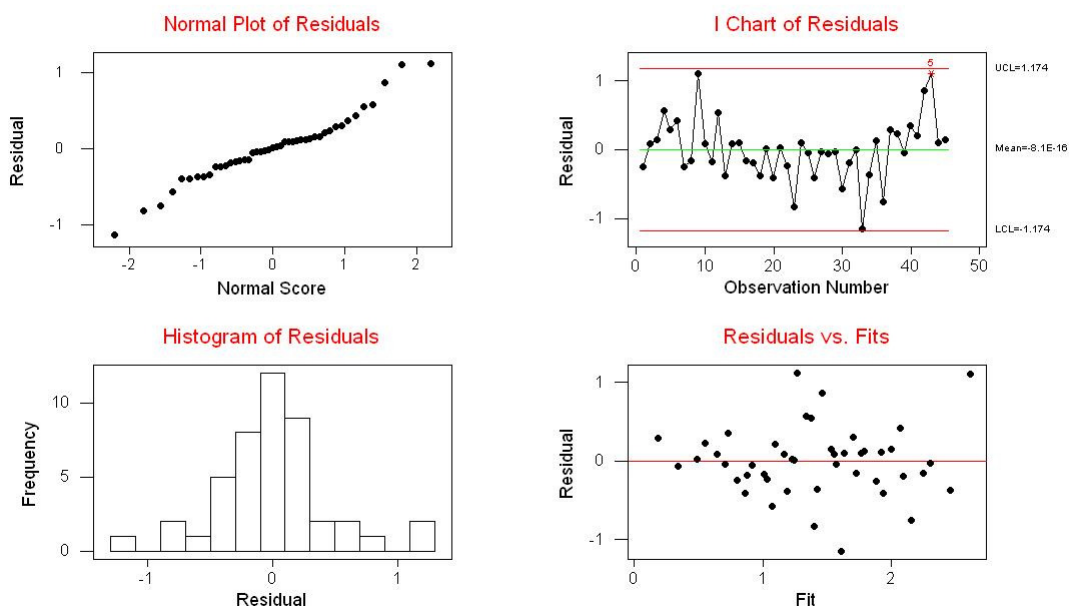
$$R^2 = 80.29\%$$

จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 80.29% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คือ สัดส่วนของผงลำตันปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป 80.29 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 19.71 ส่วน

3. ความแข็งแกร่ง

จากผลการทดสอบค่าความแข็งแกร่ง โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาได้จากกราฟ Residual plot for yield ดังแสดงในรูปที่ 14

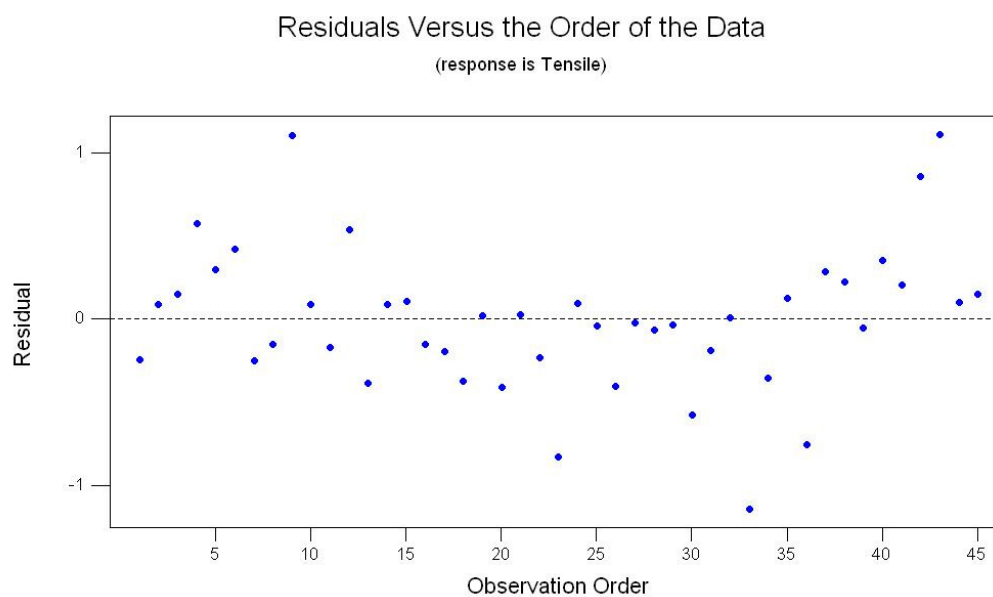
Residual Model Diagnostics



รูปที่ 14 Residual plot for yield

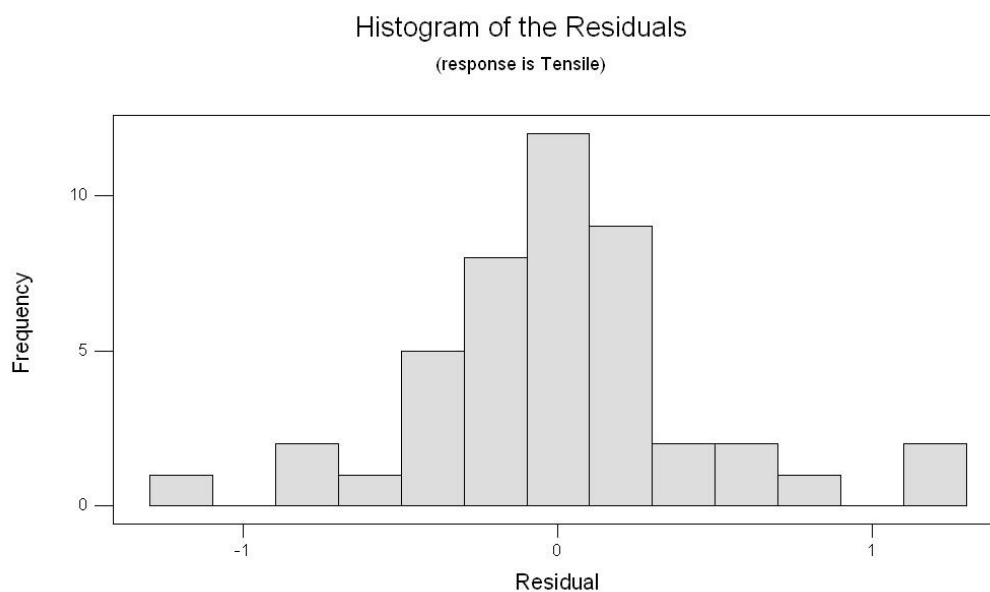
จากรูปที่ 14 สามารถแยกพิจารณาในแต่ละรูปกราฟ ได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูกราฟ Residuals versus the order of the data แสดงดังรูปที่ 15 พบว่า ไม่พบความผิดปกติของเส้นกราฟ ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม



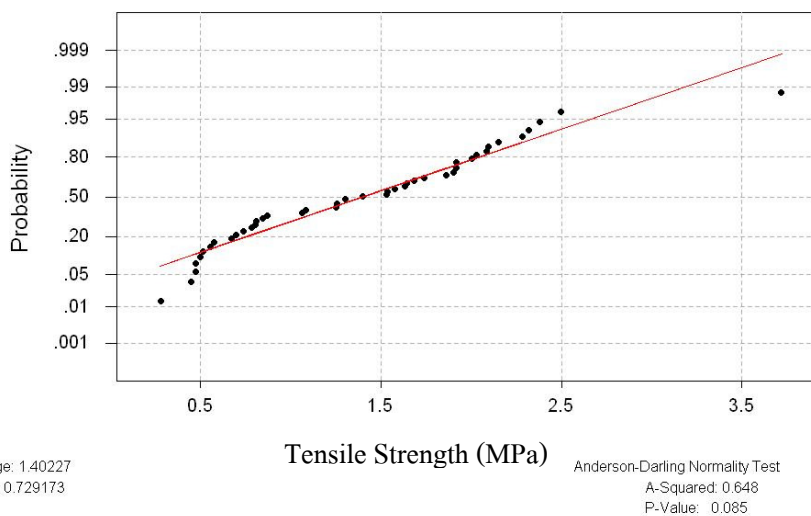
รูปที่ 15 Residuals versus the order of the data

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals ดังรูปที่ 16 จะเห็นว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นโค้งปกติ (Normal) แต่เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูล จึงทำการทดสอบ Normal probability แสดงได้ในรูปที่ 17



รูปที่ 16 Histogram of the residuals

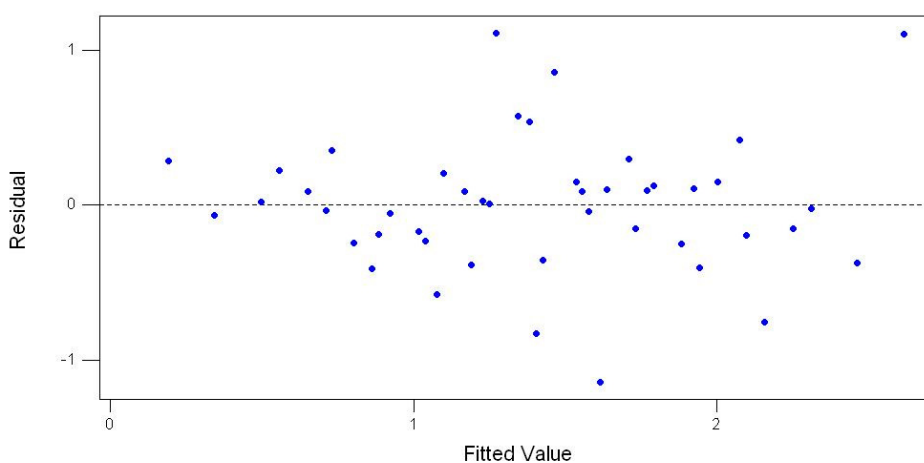
Normal Probability Plot



รูปที่ 17 Normal probability plot

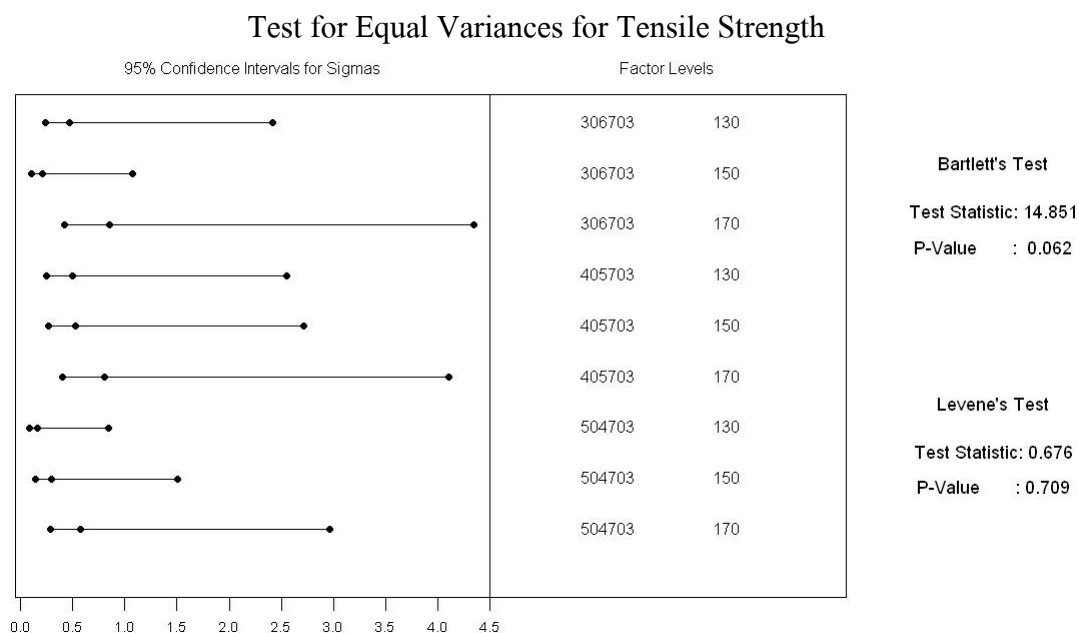
จากข้อกำหนด $\alpha = 0.05$ จากกราฟได้ค่า $P - \text{Value} = 0.085$ ทำให้สนับสนุนได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

และเมื่อพิจารณากราฟ Residuals versus the fitted values ดังรูปที่ 18 พบว่า ข้อมูลมี ลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกัน คือ มีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์

Residuals Versus the Fitted Values
(response is Tensile)

รูปที่ 18 Residuals versus the fitted values

จากรูปที่ 18 มีบางค่าที่กระจายตัวออกห่างจากจุดศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่มั่นใจในความแปรปรวนของเงื่อนไขในการทดลอง จึงมีการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน แสดงได้ในรูปที่ 19



รูปที่ 19 Test for equal variances for tensile strength

จากรูปที่ 19 ช่วงความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงในเงื่อนไขต่างๆ จะเห็นว่ามีลักษณะเหมือนกัน แสดงว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดลองทั้ง 9 ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถทดสอบได้ดังนี้

ตั้งสมมุติฐาน

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_{16}^2 \quad \text{ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 เท่ากัน}$$

$$H_1 = \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_{16}^2 \quad \text{ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 ไม่เท่ากัน}$$

ทดสอบสมมุติฐาน ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

จากผลการคำนวณที่ได้ค่า P - Value (Bartlett's test) = 0.062 ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) แสดงว่า Accept H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 การทดลองนั้นมีค่าเท่ากันหรือ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

General Linear Model: Tensile Strength versus Blocks, Wood:HDPE:MA, Temp (C)

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1 2 3 4 5
Wood:HDPE:MA	fixed	3	306703 405703 504703
Temp (C)	fixed	3	130 150 170

Analysis of Variance for Tensile, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	5.0916	5.0916	1.2729	7.60	0.000
Wood:HDPE:MA	2	8.7864	8.7864	4.3932	26.23	0.000
Temp (C)	2	4.1407	4.1407	2.0703	12.36	0.000
Wood:HDPE:MA*Temp (C)	4	0.0171	0.0171	0.0043	0.03	0.999
Error	32	5.3588	5.3588	0.1675		
Total	44	23.3945				

รูปที่ 20 ตาราง ANOVA

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง

พิจารณา Main effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของสัดส่วนผงลำดันปาล์มต่อเศษพลาสติก (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำดันปาล์มต่อเศษพลาสติก ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำดันปาล์มต่อเศษพลาสติกแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 20) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำดันปาล์มต่อเศษพลาสติกมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึงของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 20) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึงของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

พิจารณา Interaction effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$ for all i, j ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 20) Accept H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.999 ซึ่งมีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย A และ B ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึงของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of determination)

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \times 100$$

$$R^2 = 1 - \frac{5.3588}{23.3945} \times 100$$

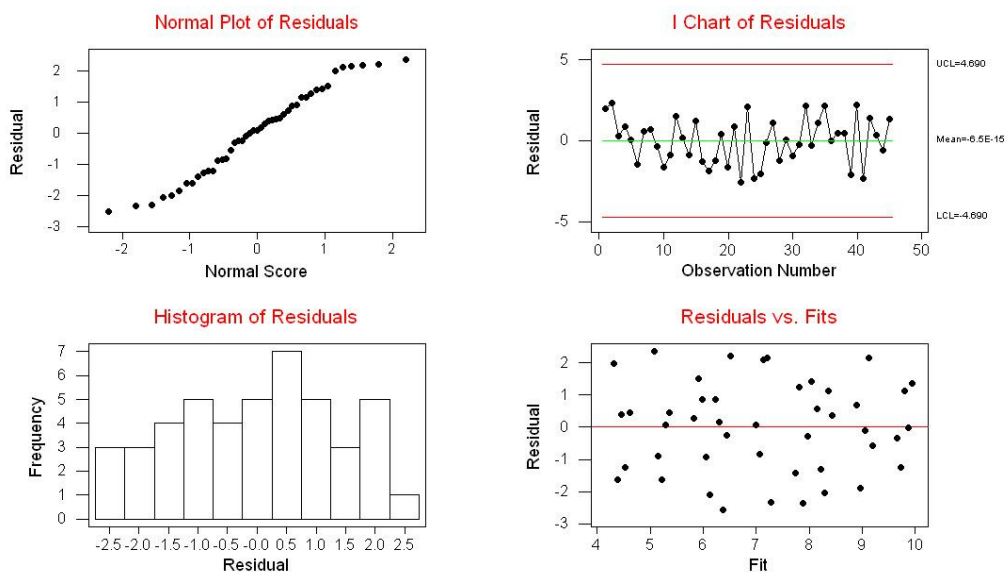
$$R^2 = 77.09\%$$

จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 77.09% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คือ สัดส่วนของผงถ่านปาล์มต่อเศษพลาสติกและอนุภูมิ 77.09 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 22.91 ส่วน

4. ความแข็งแรงกด

จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกด โดยนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาได้จากกราฟ Residual plot for yield ดังแสดงในรูปที่ 21

Residual Model Diagnostics



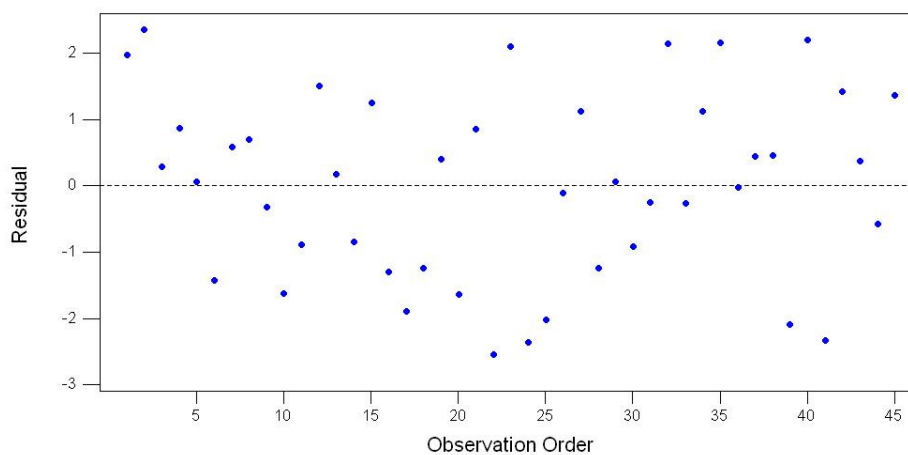
รูปที่ 21 Residual plot for yield

จากรูปที่ 21 สามารถแยกพิจารณาในแต่ละรูปกราฟ ได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูกราฟ Residuals versus the order of the data แสดงดังรูปที่ 22 พบว่า ไม่พบความผิดปกติของเส้นกราฟ ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม

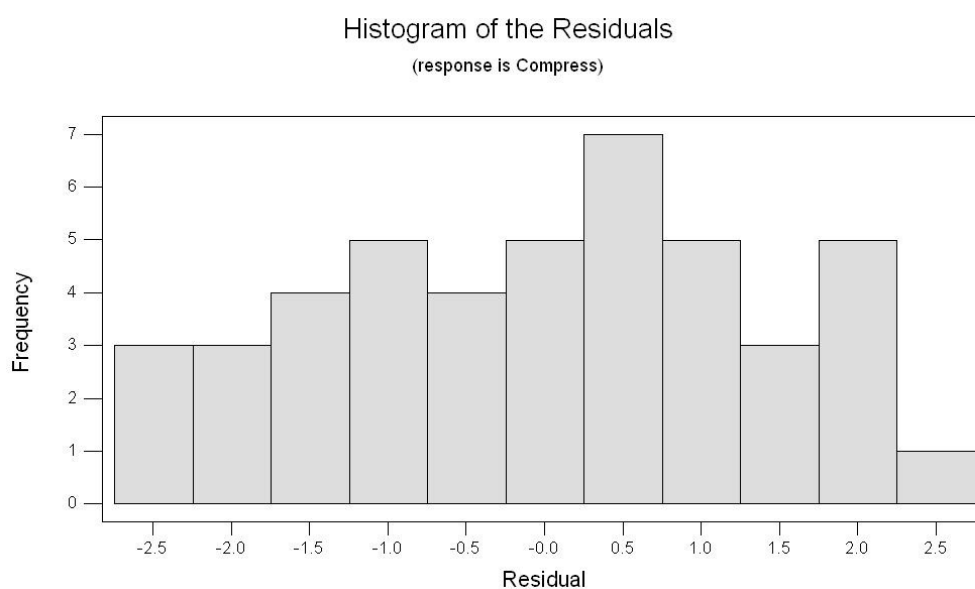
Residuals Versus the Order of the Data

(response is Compress)

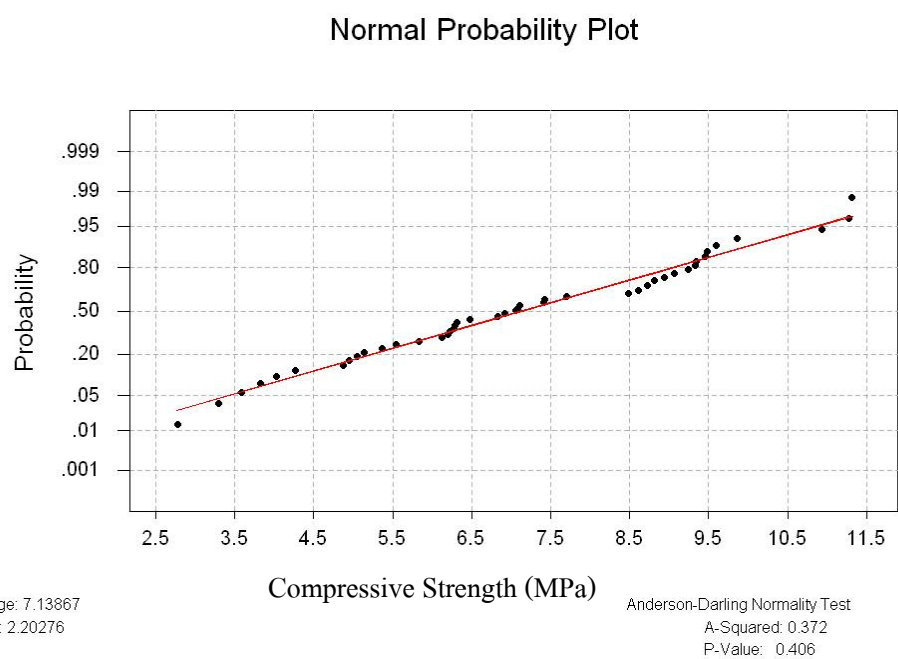


รูปที่ 22 Residuals versus the order of the data

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals ดังรูปที่ 23 จะเห็นว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นโค้งปกติ (Normal) แต่เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูล จึงทำการทดสอบ Normal probability แสดงได้ในรูปที่ 24



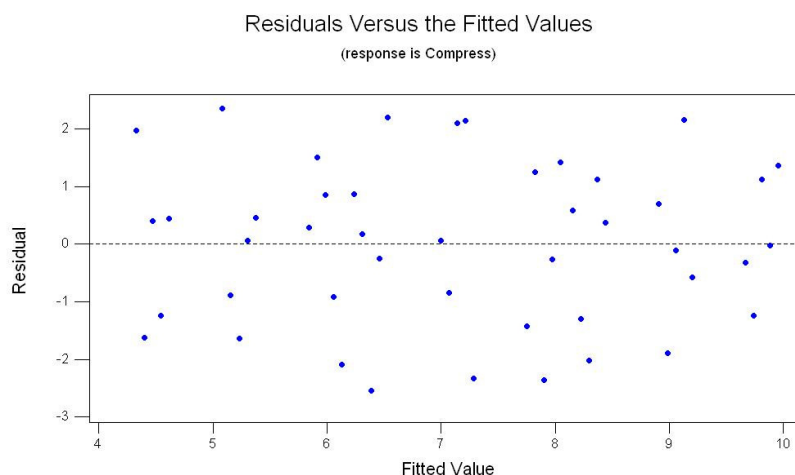
รูปที่ 23 Histogram of the residuals



รูปที่ 24 Normal probability plot

จากข้อกำหนด Alpha (α) = 0.05 จากกราฟได้ค่า P - Value = 0.406 ทำให้สันนิษฐานได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

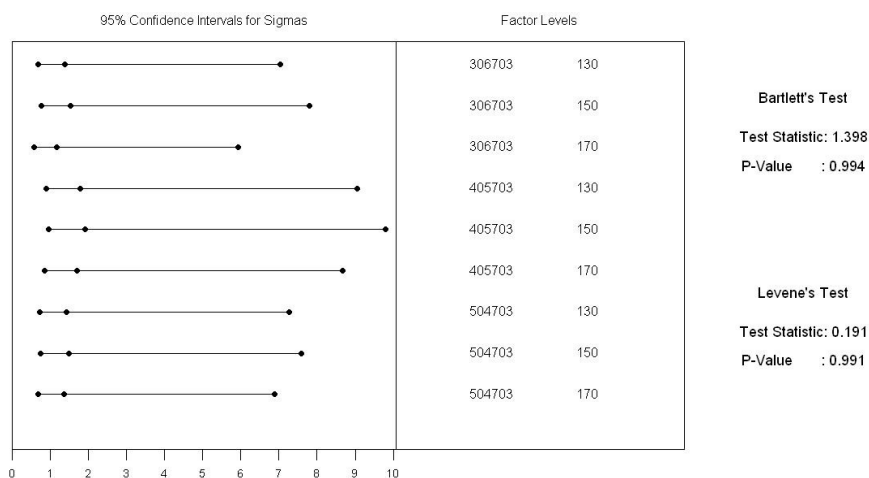
และเมื่อพิจารณากราฟ Residuals versus the fitted values ดังรูปที่ 25 พบว่า ข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกัน คือ มีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ 25 Residuals versus the fitted values

จากรูปที่ 25 มีบางค่าที่กระจายตัวออกห่างจากจุดศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่มั่นใจในความแปรปรวนของเงื่อนไขในการทดลอง จึงมีการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน แสดงได้ในรูปที่ 26

Test for Equal Variances for Compressive Strength



รูปที่ 26 Test for equal variances for compressive strength

จากรูปที่ 26 ช่วงความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกดในเงื่อนไขต่างๆ จะเห็นว่าไม่มีลักษณะเหลื่อมกัน แสดงว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดลองทั้ง 9 ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถทดสอบได้ดังนี้

ตั้งสมมติฐาน

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_{16}^2 \quad \text{ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 เท่ากัน}$$

$$H_1 = \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_{16}^2 \quad \text{ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 ไม่เท่ากัน}$$

ทดสอบสมมติฐาน ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

จากผลการคำนวณที่ได้ค่า P - Value (Bartlett's test) = 0.994 ซึ่งมีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) แสดงว่า Accept H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 การทดลองนั้น มีค่าเท่ากันหรือ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

General Linear Model: Compressive Strength versus Blocks, Wood:HDPE:MA, Temp (C)

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1 2 3 4 5
Wood:HDPE:MA	fixed	3	306703 405703 504703
Temp (C)	fixed	3	130 150 170

Analysis of Variance for Compress, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	8.942	8.942	2.236	0.94	0.454
Wood:HDPE:MA	2	189.905	109.905	54.953	23.08	0.000
Temp (C)	2	17.528	17.528	8.764	3.68	0.036
Wood:HDPE:MA*Temp (C)	4	3.917	0.917	0.229	0.10	0.983
Error	32	76.202	76.202	2.381		
Total	44	296.495				

รูปที่ 27 ตาราง ANOVA

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง

พิจารณา Main effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของสัดส่วนผงลำตันปาล์มต่อเศษพลาสติก (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำตันปาล์มต่อเศษพลาสติก ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำตันปาล์มต่อเศษพลาสติกแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 27) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำตันปาล์มต่อเศษพลาสติกมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกดของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 27) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.036 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกดของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

พิจารณา Interaction effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ for all } i, j$ ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 27) Accept H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.983 ซึ่งมีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย A และ B ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกดของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of determination)

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \times 100$$

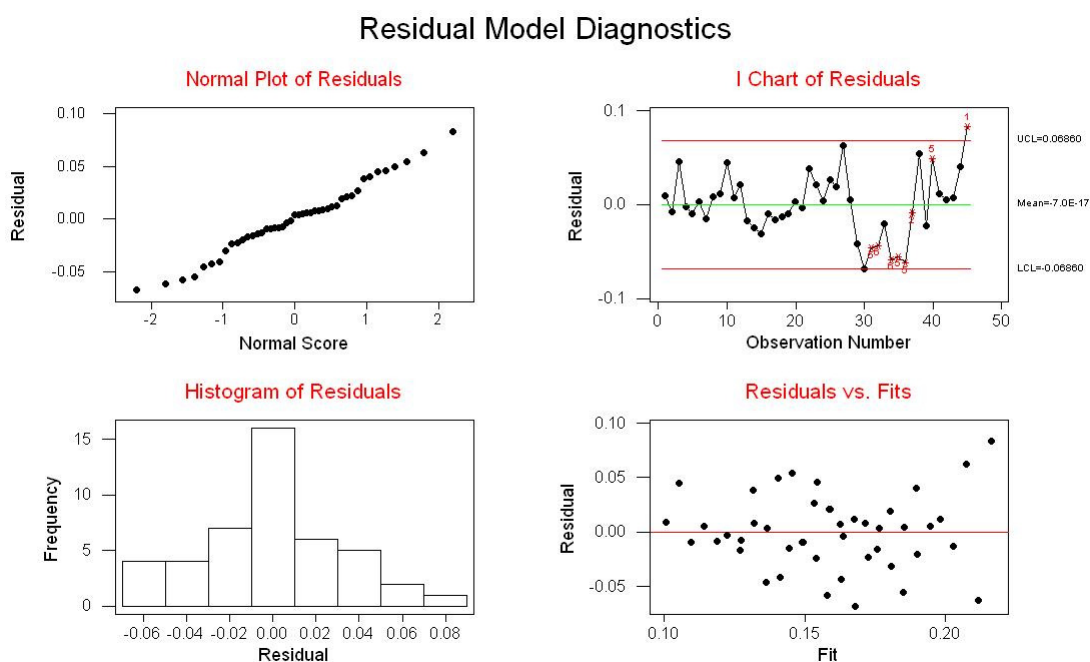
$$R^2 = 1 - \frac{76.202}{296.495} \times 100$$

$$R^2 = 74.29\%$$

จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 74.29% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คือ สัดส่วนของผงลำตันปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิ 74.29 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 25.71 ส่วน

5. การดูระดับพลังงานแรงกระแทก

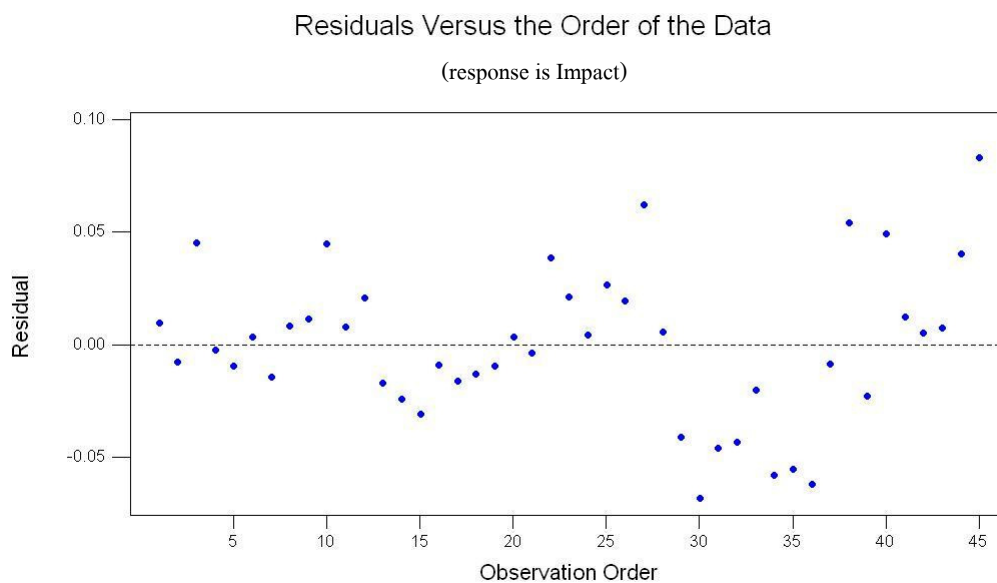
จากผลการทดสอบค่าการดูระดับพลังงานแรงกระแทก โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งจะพิจารณาได้จากกราฟ Residual plot for yield ดังแสดงในรูปที่ 28



รูปที่ 28 Residual plot for yield

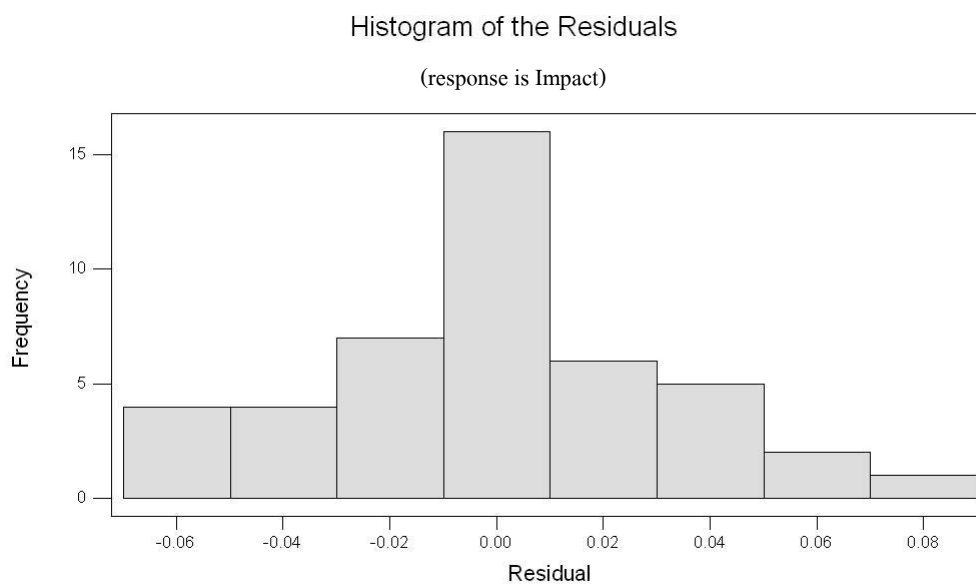
จากรูปที่ 28 สามารถแยกพิจารณาในแต่ละรูปกราฟ ได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูกราฟ Residuals versus the order of the data แสดงได้ในรูปที่ 29 พบว่า ไม่พบความผิดปกติของเส้นกราฟ ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม

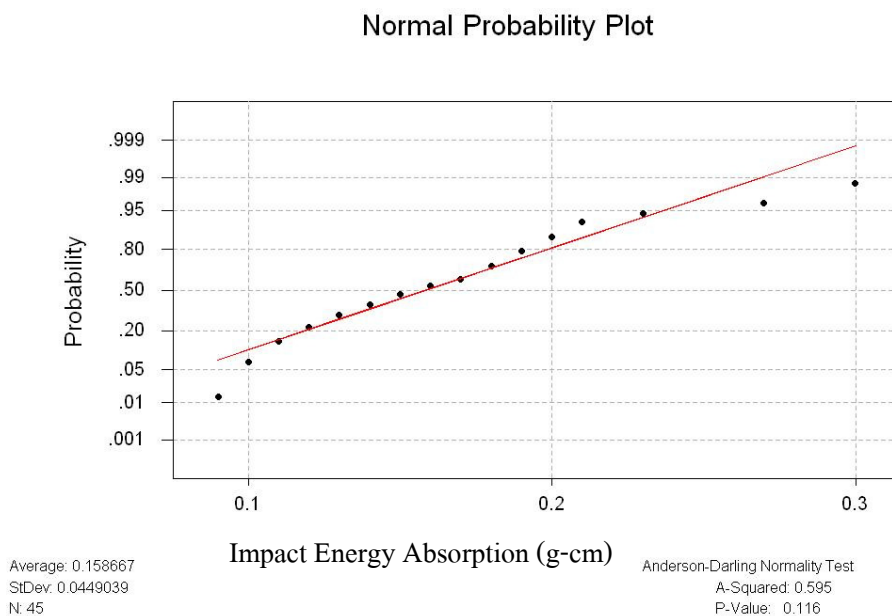


รูปที่ 29 Residuals versus the order of the data

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Histogram of the residuals ดังรูปที่ 30 จะเห็นว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นโค้งปกติ (Normal) แต่เพื่อให้มั่นใจในการกระจายตัวของข้อมูล จึงทำการทดสอบ Normal probability ซึ่งแสดงได้ในรูปที่ 31



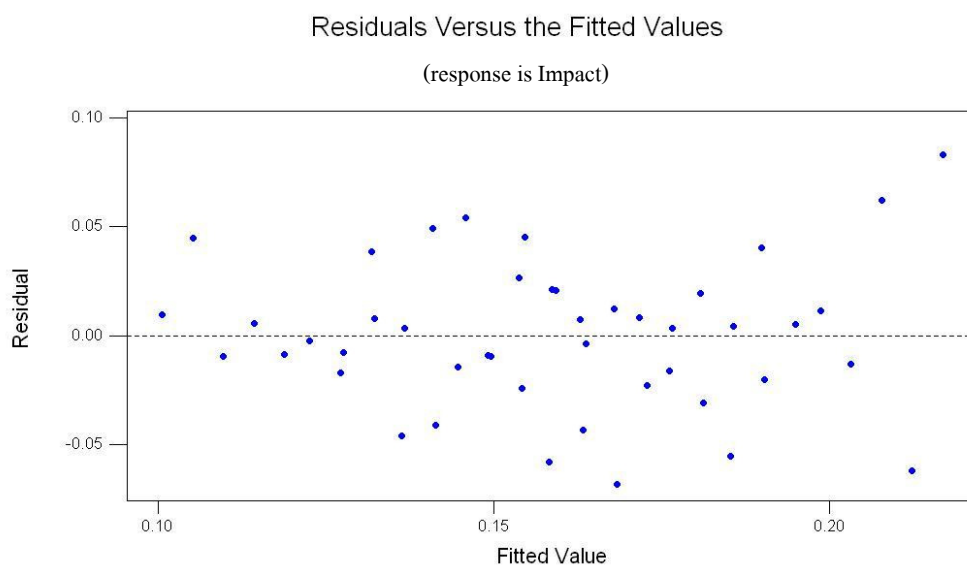
รูปที่ 30 Histogram of the residuals



รูปที่ 31 Normal probability plot

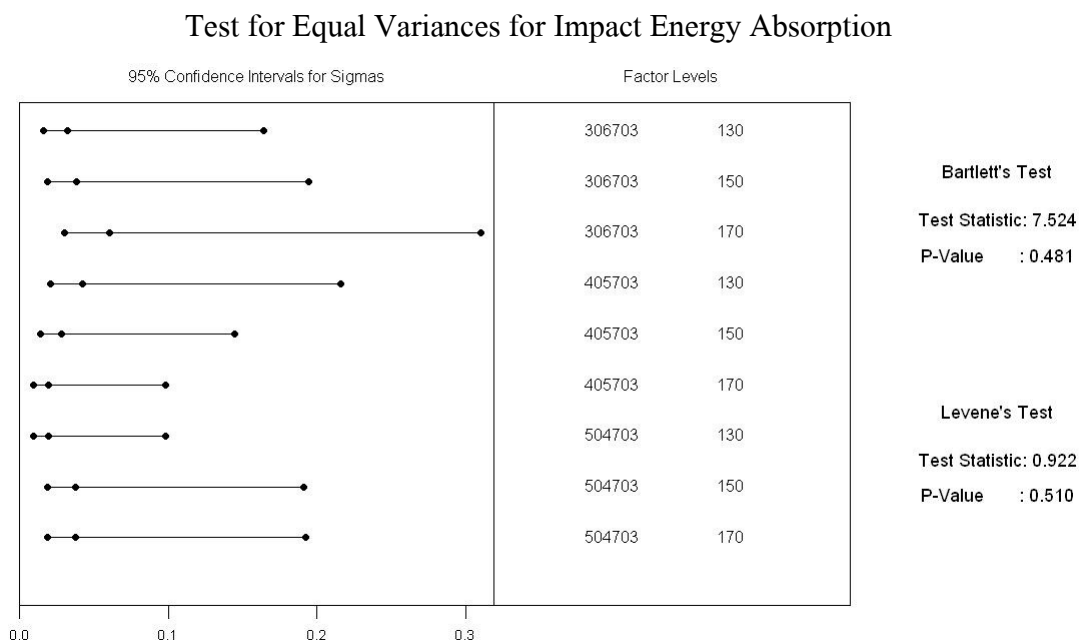
จากข้อกำหนด Alpha (α) = 0.05 จากกราฟได้ค่า P – Value = 0.116 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบ Normal อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

และเมื่อพิจารณากราฟ Residuals versus the fitted values ดังรูปที่ 32 พบว่า ข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกัน คือ มีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์



รูปที่ 32 Residuals versus the fitted values

จากรูปที่ 32 มีบางค่าที่กระจายตัวออกห่างจากจุดศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่มั่นใจในความแปรปรวนของเงื่อนไขในการทดลอง จึงมีการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน ซึ่งแสดงได้ในรูปที่ 33



รูปที่ 33 Test for equal variances for impact energy absorption

จากรูปที่ 33 ช่วงความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซับพลังงานแรงกระแทกในเงื่อนไขต่างๆ จะเห็นว่ามีลักษณะเหมือนกัน แสดงว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดลองทั้ง 9 ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถทดสอบได้ดังนี้

ตั้งสมมุติฐาน

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_{16}^2 \quad \text{ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 เท่ากัน}$$

$$H_1 = \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_{16}^2 \quad \text{ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 ไม่เท่ากัน}$$

ทดสอบสมมุติฐาน ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

จากผลการคำนวณที่ได้ค่า P - Value (Bartlett's test) = 0.481 ซึ่งมีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) แสดงว่า Accept H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 9 การทดลองนั้นมีค่าเท่ากันหรือ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

General Linear Model: Impact Energy Absorption versus Blocks, Wood:HDPE:MA, Temp (C)

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1 2 3 4 5
Wood:HDPE:MA	fixed	3	306703 405703 504703
Temp (C)	fixed	3	130 150 170

Analysis of Variance for Impact , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	0.0273422	0.0273422	0.0068356	10.01	0.000
Wood:HDPE:MA	2	0.0148800	0.0148800	0.0074400	10.89	0.000
Temp (C)	2	0.0219600	0.0219600	0.0109800	16.07	0.000
Wood:HDPE:MA*Temp (C)	4	0.0026800	0.0026800	0.0006700	0.98	0.432
Error	32	0.0218578	0.0218578	0.0006831		
Total	44	0.0887200				

รูปที่ 34 ตาราง ANOVA

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง

พิจารณา Main effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก (Factor A)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติก ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : at least one \tau_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 34) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของสัดส่วนผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกมีอิทธิพลต่อค่าการดูดซับพลังงานแรงกระแทกของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูป (Factor B)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปไม่แตกต่างกัน

$H_1 : at least one \beta_j \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ อุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 34) Reject H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า ปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าการดูดซับพลังงานแรงกระทำของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

พิจารณา Interaction effect

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ for all } i, j$ ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ Interaction

จากข้อมูลในตาราง ANOVA (รูปที่ 34) Accept H_0 เนื่องจากค่า P – Value = 0.432 ซึ่งมีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่า Alpha ($\alpha = 0.05$) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่า อิทธิพลของ Interaction ระหว่างปัจจัย A และ B ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการดูดซับพลังงานแรงกระทำของไม้พลาสติกที่ระดับ $\alpha = 0.05$

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of determination)

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \times 100$$

$$R^2 = 1 - \frac{0.0218578}{0.0887200} \times 100$$

$$R^2 = 75.36\%$$

จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 75.36% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มาจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยที่สนใจ (Treatment) คือ สัดส่วนของผงลำต้นปาล์มต่อเศษพลาสติกและอุณหภูมิ 75.36 ส่วน และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) 24.64 ส่วน

ภาคผนวก ข
การคำนวณความแข็ง

การคำนวณความแข็ง

ความแข็งของไม้พลาสติกสามารถทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143 โดยวางชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 70 มิลลิเมตร บนฐานรองกด กดขึ้นตัวอย่างด้วยลูกบอลเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋มที่เกิดบนผิวชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการข้างล่างนี้

$$\text{Hardness}(kg / mm^2) = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

เมื่อ P = น้ำหนักที่กดขึ้นงาน (kg)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอลเหล็ก (mm)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋มที่เกิดจากการกดของลูกบอลเหล็ก (mm)

ตัวอย่างการคำนวณความแข็ง

ความแข็งของไม้พลาสติกที่อัตราส่วน (ไม้: พลาสติก: สารช่วยผสม) 50:47:03 อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ซ้ำการทดลองที่ 1 สามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อ P = 500 kg, D = 10 mm, d = 8.69 mm จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{Hardness}(kg / mm^2) &= \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \\ &= \frac{2(500)}{\pi 10(10 - \sqrt{10^2 - 8.69^2})} \\ &= \frac{1000}{\pi 10(10 - 4.948)} \\ &= 6.301 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความแข็งของไม้พลาสติกที่อัตราส่วน (ไม้: พลาสติก: สารช่วยผสม) 50:47:03 อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ซ้ำการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6.301 กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร²

ตารางแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋มที่เกิดจากการกดของลูกบอลเหล็ก (มิลลิเมตร)

No.	Wood: HDPE:MA	Temperature (°C)	Diameter of dented trace from iron ball (mm)				
			1	2	3	4	5
1	50:47:03	130	8.69	9.02	9.07	8.73	8.81
2		150	8.56	8.38	8.60	8.54	8.42
3		170	8.22	8.00	7.97	8.11	8.43
4	40:57:03	130	8.17	8.25	8.41	7.90	8.36
5		150	8.10	7.78	7.92	8.05	8.08
6		170	7.86	8.33	7.41	7.57	7.29
7	30:67:03	130	8.02	8.27	8.16	7.31	7.65
8		150	7.16	8.09	7.52	7.66	7.83
9		170	7.42	7.03	7.71	7.50	7.24
10	Commercial wood plastic (CWP)		7.13	6.97	6.25	6.82	7.02

ตารางแสดงผลการทดสอบความแข็ง

No.	Wood: HDPE:MA	Temperature (°C)	Hardness (kg/mm ²)					Mean	SD
			1	2	3	4	5		
1	50:47:03	130	6.301	5.601	5.498	6.213	6.041	5.930	0.361
2		150	6.589	7.006	6.500	6.635	6.911	6.728	0.218
3		170	7.393	7.957	8.037	5.440	6.888	7.143	1.059
4	40:57:03	130	7.518	7.319	6.935	8.227	7.053	7.410	0.510
5		150	7.696	8.562	8.172	7.826	7.748	8.000	0.364
6		170	8.337	7.125	9.689	9.184	10.089	8.884	1.181
7	30:67:03	130	7.904	7.270	7.543	10.021	8.942	8.336	1.135
8		150	10.543	7.722	9.339	8.912	8.421	8.987	1.057
9		170	9.657	11.021	8.764	9.401	10.261	9.820	0.859
10	Commercial wood plastic (CWP)		10.651	11.250	14.509	11.848	11.059	11.863	1.540

