

กระบวนการผสมและวิเคราะห์ผงไม้กับพอลีแลคติกแอซิดคอมโพสิต
Processing and Characterization of Wood Powder and Polylactic Acid
Composites

ปริญญานิพนธ์

ของ

ปฏิพัทธ์ กางหาญ 53010310313

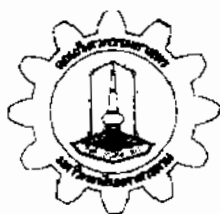
ทิพากร ศรีโคตร 53010310290

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ของ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุตสาคร อินธิเดช)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ยศฐา ศรีเทพ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บพิท บุปผโชติ)

หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก อาจารย์ ดร.ยศฐา ศรีเทพ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาเสียสละเวลาแนะนำให้ คำปรึกษา และช่วยแก้ไขปัญหาดังต่าง ๆ ตลอดจนแนะนำแนวทางทุก ๆ ขั้นตอนของการทำปริญญานิพนธ์ ในการทำการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยอดธง ไบมาก ที่คอยช่วยเหลือและแนะนำให้ คำปรึกษา และช่วยแก้ไขปัญหาดังต่าง ๆ และเพื่อนๆทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุตสาคร อินธิเดช คณาจารย์คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่วิชาการห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ในด้าน ต่างๆ และอนุเคราะห์จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็น อย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่อุปการะเลี้ยงดู และมอบโอกาสทางการศึกษา ซึ่งทำให้ผู้จัดทำ ได้มีวันนี้ได้ และทุกๆท่านที่ไม่ได้กล่าวนาม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วง ไปได้ด้วยดี

ปฏิพัทธ์ กาจหาญ

ทิพากร ศรีโคตร



ชื่อเรื่อง	การผสมและวิเคราะห์ผงไม้กับพอลิแลคติกแอซิดคอมโพสิต
ผู้วิจัย	นายปฏิพัทธ์ กาญหาญ นางสาวทิพากร ศรีโคตร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ยศฐา ศรีเทพ
ปริญญา	วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2557

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เสนอผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและภาพของพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และผงไม้ (Wood powder) ที่มีการปรับปรุงด้วยไฮเลนชนิด 3-APS ในอัตราส่วน 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ วัสดุถูกนำไปผสมในเครื่องผสมภายใน (Internal mixer) และหลังจากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด (Compression Molding) คอมโพสิตที่ได้ถูกนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลและกายภาพ ได้แก่ ทดสอบแรงดึง การทนต่อความร้อน การดูดซึมน้ำ ความหนืด และความหนาแน่น จากการทดสอบพบว่า เมื่อปริมาณผงไม้มากขึ้น คอมโพสิตที่ได้ให้ค่ายังโมดูลัสเพิ่มขึ้น แต่ให้ค่าการทนแรงดึงสูงสุดและระยะยืดน้อยลง อย่างไรก็ตามผงไม้ที่ล้างด้วยไฮเลนให้ค่ายังโมดูลัสและการทนแรงดึงสูงสุดดีกว่าผงไม้ที่ไม่ล้างอาจเนื่องมาจากการยึดเกาะของผงไม้กับ PLA ดีขึ้นนอกจากนี้ค่าการทนความร้อนและความหนืดของคอมโพสิตมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณผงไม้มากขึ้นและความหนาแน่นของคอมโพสิตจะลดลงเมื่อปริมาณผงไม้เพิ่มขึ้น

TITLE	Processing and Characterization of Wood Powder and Polylactic Acid
AUTHOR	Mr.PadipathKadhan Miss.TipakornSeekote
ADVISOR	Dr.YotthaSrithep
DEGREE	B.Eng. (Manufacturing Engineering)
UNIVERSITY	Maharakham University YEAR 2014

ABSTRACT

This paper presents the effect of 3-APS silane treated and untreated wood powder (10, 20 and 30%) on the mechanical and thermal properties of polylactic acid (PLA). The materials were mixed in an internal mixer and then were compressed using a compression molding machine. The results showed that when the amount of wood powder was higher the young's modulus of the biocomposites improved, but the tensile strength and elongation at break were lower. However, silane treated wood powder enhanced young's modulus and tensile strength that might because of the better adhesion at the wood powder and PLA. Finally, as amount of wood powder increased the heat resistance and viscosity of the composites were higher.

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 สถานที่ดำเนินการศึกษา	3
1.6 ระยะเวลาในการศึกษา	3
1.7 งบประมาณ	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลาสติก (Plastic)	5
2.2 พอลิเมอร์ผสมผสาน (polymer blend)	7
2.3 วัสดุผสม (Composite Materials)	7
2.4 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ	9
2.5 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactide หรือ PLA)	17
2.6 Wood Plastic Composite หรือ ไม้สังเคราะห์	21
2.7 ดันยางนา (ผงไม้)	22
2.8 การขึ้นรูปโดยวิธีการอัด (Compression Molding)	25
2.9 การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Testing	26
2.10 Thermal Gravimetric Analysis (TGA)	29
2.11 ความหนืดของพลาสติก (Melt flow Index)	30
2.12 ห่วงโซ่พอลิเมอร์ (Chain Extenders)	31
3 วิธีดำเนินการศึกษา	
3.1 ลารเคมี	32
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	33
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ	33
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	34



สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.5	วิธีการปรับปรุงคุณสมบัติพลาสติก PLA และผงไม้..... 34
3.6	การเตรียมพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ เพื่อใช้ในการทดสอบต่างๆ..... 35
3.7	การขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆ..... 37
3.8	การวิเคราะห์ความสามารถในการดึงของพลาสติก (Tensile strength) 39
3.9	การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน Thermal Gravimetric Analysis (TGA)..... 40
3.10	การวิเคราะห์หาค่าการดูดซึมน้ำ..... 40
3.11	การวิเคราะห์หาความหนืด..... 41
3.12	การวิเคราะห์หาความหนาแน่น..... 42
4	ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง
4.1	ผลการทดสอบความสามารถในการดึงของพลาสติก 44
4.2	ผลการทดสอบการสลายตัวทางความร้อน 48
4.3	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ 49
4.4	ผลการทดสอบหาความหนืด 50
4.5	ผลการทดสอบหาความหนาแน่น 51
5	สรุปผลการทดลอง
5.1	สรุปผลการทดลอง..... 52
5.2	ข้อเสนอแนะ 53
บรรณานุกรม.....	
ภาคผนวก.....	
ประวัติผู้วิจัย.....	

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	ขยะพลาสติก.....	6
2	ลักษณะของตัวเสริมแรง	8
3	เส้นใยเส้นแบบสุ่มและเส้นใยสั้น	9
4	วงจรวัฏจักรพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	11
5	แผนภาพแสดงประเภทและตัวอย่างของพอลิเอสเทอร์	12
6	โครงสร้างทางเคมีของ PLA	18
7	พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid).....	18
8	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก Polylactic acid	19
9	แสดงตัวอย่างการย่อยสลายของพอลิแลคติก	20
10	ตัวอย่างไม้สังเคราะห์	22
11	ลักษณะต้นยางนา	23
12	ลักษณะโครงสร้างของต้นยางนา	24
13	ผงไม้จากยางนา	25
14	ลักษณะการทำงานของเครื่องอัด	26
15	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด	27
16	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุเปราะและวัสดุเหนียว	29
17	เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA	30
18	เม็ดพลาสติก PLA (Polylactic Acid)	33
19	ผงไม้ยางนา.....	33
20	การผสม Chain extender ทำให้สายโซ่ของพลาสติกยาวขึ้น.....	34
21	อุปกรณ์และการคนปรับปรุงผงไม้ที่ผสมไซเลน (Silane)	35
22	เครื่องอบสูญญากาศ.....	36
23	เครื่องบดผสมแบบภายใน (Internal Mixer) และพลาสติกที่ได้จากเครื่องบดผสม ...	37
24	เครื่องย่อยพลาสติก (Plastic Granulator) และเม็ดพลาสติกที่ได้จากเครื่องย่อย.....	37
25	แม่พิมพ์และแผ่นอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปของชิ้นงานขนาดขนาด 20x20x0.1 cm	38
26	เครื่องอัดพลาสติก (Compression Molding).....	38
27	แผ่นชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป.....	39
28	ตัวอย่างชิ้นงานที่ถูกตัดด้วย Die cut ตาม ASTM D638 Type IV	39
29	เครื่องทดสอบแรงดึง Universal testing machine รุ่น LLOYD Instrument	40



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

30	เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ Thermal Gravimetric Analysis (TGA).....	40
31	เครื่องชั่งน้ำหนักพลาสติก.....	41
32	เครื่องทดสอบความหนืด ยี่ห้อ Tinius Olsen	41
33	เครื่องชั่งน้ำหนักของพลาสติกที่ได้จากการทดสอบความหนืด.....	42
34	เครื่องน้ำหนักแบบละเอียด.....	42
35	กราฟแสดงค่า Young's Modulus ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน.....	44
36	กราฟแสดงค่า Tensile strength ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน.....	44
37	กราฟแสดงค่า Extension at break ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน.....	45
38	กราฟแสดงค่า Young's Modulus ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน.....	46
39	กราฟแสดงค่า Tensile strength ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน.....	46
40	กราฟแสดงค่า Extension at break ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน.....	47
41	TGA thermogram ของพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้.....	48
42	ภาพขยาย TGA thermogram ของพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้.....	48
43	กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของผงไม้ที่มีการปรับปรุงและไม่มีการปรับปรุง	49
44	กราฟแสดงค่าความหนืดของผงไม้ที่มีการปรับปรุงและไม่มีการปรับปรุง	50
45	กราฟแสดงค่าความหนืดของพลาสติกที่ผสม Chain extender	50
46	กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของผงไม้ที่มีการปรับปรุงและไม่มีการปรับปรุง	51

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1	แผนการดำเนินการศึกษา.....	3
2	งบประมาณ.....	4
3	พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์พลาสติกแต่ละชนิด	16
4	ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพลาสติกแต่ละชนิด	16
5	สมบัติของ PLA ที่ผลิตเพื่อการค้า	20
6	วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้.....	32
7	แสดงมาตรฐานของสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของเม็ดพลาสติก PLA	32
8	แสดงอัตราส่วนในการผสมพลาสติก PLA กับผงไม้.....	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

พลาสติก PLA (Polylactic Acid) เป็นพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ในดินและแบคทีเรีย (biodegradable plastic) ซึ่งเป็นพลาสติกสังเคราะห์ เป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต ปัจจุบันพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ตลอดจนนักอุตสาหกรรม ทั้งนี้วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตคือ แป้งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ (renewable resource) เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง อีกทั้งเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ โดยสามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดินที่มีแบคทีเรีย พลาสติก PLA ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเช่น สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน ทั้งนี้จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำพลาสติก PLA ปรับปรุงสมบัติโดยการนำผงไม้มาเป็นส่วนผสม โดยการนำผงไม้มาผสมกับพลาสติก PLA ในปริมาณ ผลที่ได้พบว่าสามารถได้พลาสติกที่มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น และผงไม้สามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลายได้ ที่มา : (วารสารวิชาวศัลยกรรม. 2555: วารสาร)

ในโครงการวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของการผสมพลาสติก PLA กับผงไม้ เช่น สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน เพื่อเปรียบเทียบพลาสติกที่มีการผสมผงไม้ในสัดส่วนต่างๆ ทั้งการปรับปรุงผงไม้โดยการล้างผงไม้ด้วยโซลีนและการปรับปรุงพลาสติกโดยการผสม Chain extender ในพลาสติก PLA ด้วย การพัฒนาคอมโพสิตตามแนวทางการวิจัยนี้เป็น วิธีหนึ่งสำหรับการปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิต ซึ่งวัสดุคอมโพสิตที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการพัฒนาสู่อุตสาหกรรมต่อไป ที่มา : (สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย. 2550: หนังสือ)

สำหรับประเทศไทย ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ด้านชีวมวล (biomass) และมีวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการพัฒนาสู่อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ ได้แก่ มันสำปะหลัง และอ้อย ทั้งนี้ในปัจจุบันประเทศไทยผลิตหัวมันสดเป็นอันดับ 3 ของโลก และส่งออกเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยในปี 2548 มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังกว่า 6.6 ล้านไร่ และมีการผลิตหัวมันสดได้กว่า 20 ล้านตันต่อปี นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีการรองรับในการพัฒนาพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ โดยมุ่งเป้าไปที่อุตสาหกรรมพลาสติกผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ถุง กระสอบพลาสติก และแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจ จากการตระหนักถึงประเด็นปัญหาและโอกาสในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ในประเทศไทย คณะอนุกรรมการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจของประเทศ จึงเห็นชอบที่จะให้การ



พัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ รวมทั้งพลังงานทดแทนจากวัสดุชีวมวลบรรจุอยู่ในแผนปฏิบัติการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจอุตสาหกรรมเพื่ออนาคต (New Wave Industries)

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้
- 1.2.2 เพื่อทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนของพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้
- 1.2.4 เพื่อศึกษาพื้นฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่ได้ล้างน้ำ
- 1.3.2 ศึกษาพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ไม่ได้ล้างน้ำ
- 1.3.3 ศึกษาพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ไม่ได้ล้างน้ำ
- 1.3.4 ศึกษาพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ล้างน้ำและล้าง Silane
- 1.3.5 ศึกษาพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ล้างน้ำและล้าง Silane
- 1.3.6 ศึกษาพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ล้างน้ำและล้าง Silane
- 1.3.7 ศึกษาพลาสติก PLA ผสมกับ Chain extender 2 เปอร์เซ็นต์ ล้างน้ำและล้าง Silane
- 1.3.8 ศึกษาพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ และผสม Chain extender 1 เปอร์เซ็นต์ ล้างน้ำและล้าง Silane
- 1.3.9 ศึกษาพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ และผสม Chain extender 2 เปอร์เซ็นต์ ล้างน้ำและล้าง Silane

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 พลาสติก PLA เมื่อผสมกับผงไม้ ได้สมบัติทางกลที่ดีขึ้น
- 1.4.2 สามารถใช้งานได้ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม
- 1.4.3 เป็นการสร้างวัสดุที่มีคุณสมบัติใหม่ขึ้นมารองรับความต้องการของมนุษย์ในปัจจุบัน
- 1.4.4 ได้ความรู้เกี่ยวกับการกระจายตัวของพลาสติก PLA กับผงไม้

1.5 สถานที่ดำเนินการศึกษา

- 1.5.1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- 1.5.2 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- 1.5.3 ห้องสมุด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.6 ระยะเวลาในการศึกษา

ตาราง 1 แผนการดำเนินการศึกษา

รายการ	ระยะเวลา									
	ภาคเรียนที่ 1/ 2556					ภาคเรียนที่ 2/ 2556				
	มิ.ย	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←		→							
2.ศึกษาการผสมพลาสติก			←	→						
3.ทำการผสม PLA ผสมกับผงไม้				←	→					
4.ทำการอัด ขึ้นรูป					←	→				
5.ทดสอบความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของ PLA ผสมกับผงไม้						←	→			
6.ศึกษาลักษณะทางกายภาพของ PLA						←	→			
7.วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล							←	→		
8.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								←	→	

1.7 งบประมาณ

ตาราง 2 งบประมาณ

รายการ	จำนวน (บาท)
1. สารเคมีสำหรับPLA	1,500 บาท
2. ค่าผงไม้	500 บาท
3. ค่าสารเคมีสำหรับล้างเส้นใย silane	500 บาท
4.ค่าใช้เครื่องมือวิเคราะห์	4,000 บาท
5.ค่าวัสดุสำหรับการทดลอง	3,500 บาท
รวม	10,000 บาท

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก (Plastic)

พลาสติกจัดเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวๆแต่ไม่สามารถมองเห็นเป็นสายโซ่ได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งสายโซ่ดังกล่าวประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ ที่เรียกว่ามอนอเมอร์ พอลิเมอร์สามารถสังเคราะห์ได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน(polymerization) ของมอนอเมอร์ โดยใช้แหล่งวัตถุดิบจากปิโตรเคมีเป็นหลัก พลาสติกมีหลายชนิดและสามารถใช้แทนวัสดุธรรมชาติได้หลายอย่าง เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ใช้ผลิตท่อพีวีซีพอลิเอทรีลีนเทเรฟธาเลท (PET) ใช้ผลิตขวดบรรจุน้ำดื่ม และพอลิสไตรีน (PS) ใช้ผลิตภาชนะบรรจุต่างๆ

เมื่อพลาสติกโดนความร้อนจะแสดงคุณสมบัติ 2 แบบหลักคือพลาสติกจะแข็งตัวถาวรไม่ว่าจะถูกร้อนมากแค่ไหนก็ตาม ทำให้ไม่สามารถหลอมเพื่อขึ้นรูปใหม่ตามที่ต้องการได้ ซึ่งจะเรียกพลาสติกกลุ่มนี้ว่า เทอร์โมเซตติง (thermosetting) และพลาสติกจะเกิดการอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อนและจะกลับไปแข็งเมื่อพลาสติกเย็นขึ้นสามารถนำไปหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ ซึ่งจะเรียกพลาสติกแสดงคุณสมบัติแบบนี้ว่า เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ซึ่งพลาสติกที่สามารถนำมารีไซเคิลได้คือพลาสติกประเภท เทอร์โมพลาสติก(Thermoplastic)ที่มา: (ภูมิพัฒน์ รัตนตรัยเจริญ. 2555: เว็บไซต์)

2.1.1 พลาสติกและการแปรใช้ใหม่

พลาสติก ผลิตขึ้นจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และอาจผลิตเพื่อให้มีสีต่าง ๆ สี แข็งหรืออ่อนก็ได้ และยังสามารถหลอมละลายเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้โดยใช้แรงดันและความร้อน พลาสติกเป็นวัสดุที่มีความจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในยุคนี้มาก ดังจะพบว่ามีการใช้พลาสติกในทุกชนิดของอุตสาหกรรม และทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ตัวอย่างการใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติก เช่น ทำถังและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เครื่องใช้สำหรับการเกษตรกรรม ของใช้ในครัวเรือน เฟอร์นิเจอร์ บรรจุภัณฑ์ของยา อาหารและเครื่องดื่ม ทำเครื่องประดับและเครื่องนุ่งห่ม ใช้เป็นอุปกรณ์กีฬา เป็นส่วนประกอบของรถยนต์ เครื่องบิน และยานอวกาศ เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร เป็นชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ส่วนประกอบของเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้อื่น ๆ อีกมากมาย ด้วยสมบัติของพลาสติก คือ น้ำหนักเบา ทำให้สะดวกต่อการถือหิ้ว และการขนส่ง ตลอดจนมีความทนทานอยู่ได้เป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามถึงแม้พลาสติกจะมีประโยชน์แต่ก็มีข้อเสียคือพลาสติกผลิตมาจากทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้เช่น น้ำมัน ถ่านหิน นอกจากนี้ยังยากต่อการนำมาแปรใช้ใหม่ (recycled) และต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง และที่สำคัญเนื่องจากพลาสติกมีหลายชนิด การนำมา

แปรใช้ใหม่ (recycled) และต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง และที่สำคัญเนื่องจากพลาสติกมีหลายชนิด การนำมาผลิตใช้ใหม่จะต้องแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกัน ปัจจุบันจึงมีเพียงถุงพลาสติกเท่านั้นที่สามารถนำมาแปรใช้ใหม่ได้แต่มีการนำถุงพลาสติกที่ใช้แล้วเพียงร้อยละ 3 ของจำนวนถุงพลาสติกที่ผลิตออกมาเท่านั้นที่นำกลับเข้าสู่โรงงานเพื่อการแปรใช้ใหม่

ดังนั้นพลาสติกที่ถูกทิ้งขยะในปัจจุบันจึงคงอยู่ในสภาพแวดล้อมไปอีกนานนับหลายร้อยปี
 ดังภาพประกอบ 1 แสดงถึงขยะพลาสติก



ภาพประกอบ 1 ขยะพลาสติก ที่มา : (ruamthipretech. 2553: เว็บไซต์)

ปัจจุบันพลาสติกที่ใช้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพลาสติกถูกใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมหลายประเภท จากความนิยมใช้พลาสติกอย่างแพร่หลายจึงเกิดเป็นขยะพลาสติกจำนวนมากมาย โดยเฉพาะพวกพลาสติกที่เป็นบรรจุภัณฑ์ ปัจจุบันผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนเราเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงเกิดปัญหาในการกำจัด แนวทางหนึ่งในการกำจัดขยะพลาสติก คือ กระบวนการนำพลาสติกมาแปรใช้ใหม่ (recycling) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 แบบดังนี้

2.1.1.1. Primary recycling การแปรรูปพลาสติกโดยวิธีทางกระบวนการผลิตมาตรฐานไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเฉพาะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมที่ผลิตจากพลาสติกที่ยังไม่เคยถูกใช้งาน

2.1.1.2 Secondary recycling การแปรรูปเศษพลาสติกหรือขยะพลาสติกโดยกระบวนการอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างไปเป็นพลาสติกที่มีลักษณะเฉพาะด้อยกว่าวัสดุดั้งเดิม

2.1.1.3. Tertiary recycling เทคโนโลยีทางกระบวนการของการผลิตสารเคมีและเชื้อเพลิงจากเศษพลาสติกหรือขยะพลาสติก

2.1.1.4. Quaternary recycling เทคโนโลยีทางกระบวนการของการนำพลังงานคืนกลับมาจากเศษพลาสติกหรือขยะพลาสติกโดยการเผาไหม้

2.2 พอลิเมอร์ผสมผสาน (polymer blend)

พอลิเมอร์ผสมผสานเป็นแนวทางปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมากโดยการนำเอาพอลิเมอร์ 2 ชนิดซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (solution) หรือสารหลอมเหลว (molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสมผสาน ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน การเตรียมพอลิเมอร์ผสมผสานนี้จะต้องไม่ทำให้เกิดการเชื่อมพันธะกัน (chemical bonding) ระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ความหมายของพอลิเมอร์ผสมผสานจึงไม่ได้หมายรวมถึง กราฟต์โคพอลิเมอร์ (graft copolymer), บล็อกโคพอลิเมอร์ (block copolymer) และพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างตาข่ายอื่น ๆ ซึ่งบางครั้งเมื่อดูจากโครงสร้างของวัสดุเหล่านี้แล้วจะเหมือนกับการผสมผสานเพราะมีลักษณะเป็นเนื้อผสม (heterogeneity)

พอลิเมอร์ผสมผสานจะมีทั้งเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) หรือเป็นแบบเนื้อผสม (heterogeneous) ในทางการค้าจะเตรียมการผสมผสานโดยเครื่องมือเชิงกล เช่น บนลูกกลิ้ง (mill), เครื่องอัดรีด หรือเครื่องผสมที่เหมาะสม ตามปกติแล้วพอลิเมอร์โดยทั่ว ๆ ไปจะมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพียงหนึ่งค่า พอลิเมอร์ผสมผสานแบบเนื้อเดียวกันก็เช่นกันจะมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพียงหนึ่งค่าซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่างองค์ประกอบทั้งสอง พอลิเมอร์ผสมผสานแบบนี้สามารถที่จะมีลักษณะที่ปรากฏและพฤติกรรมที่เป็นของพอลิเมอร์

องค์ประกอบเดียวความสามารถในการรวมกันได้ของพอลิเมอร์ไม่ได้เกิดจากการผสมกันทางเทอร์โมไดนามิกส์ถึงขั้นระดับโมเลกุล เช่น ในการศึกษาความหนืดของพอลิเมอร์ผสมในสารละลาย และในบัลก์ แล้ววัดค่าความทนแรงดึง (tensile strength) การยืดตัว ณ จุดขาด (elongation at break) และสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ความสามารถในการรวมกันของพอลิเมอร์ 2 ชนิดนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อสมบัติที่กล่าวมานั้น มีความสัมพันธ์กับสมบัติของพอลิเมอร์ที่จะนำมาผสมด้วยว่าพอลิเมอร์ 2 ชนิด สามารถที่จะรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้มากน้อยเพียงใด การผสมผสานพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นเนื้อผสมที่มีโครงสร้างหลายภูมิภาค ผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้จะไม่แยกกันอย่างชัดเจนจะขึ้นกับสัดส่วนการผสมกัน การละลายของพอลิเมอร์ทั้งสองและสัดส่วนการเข้ากันได้ จากสาเหตุที่กล่าวมาทั้งหมดจึงทำให้ยากที่จะคาดเดาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมผสานแบบเนื้อผสมได้

2.3 วัสดุผสม (Composite Materials)

วัสดุคอมโพสิต หรือวัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials) วัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุ 2 ประเภทขึ้นไปโดยที่องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันและจะต้องไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดจากการผสมหรือการสร้างพันธะ

2.3.1. เกิดจากการผสมกันระหว่างวัสดุองค์ประกอบอยู่ในระดับที่สามารถมองเห็นได้

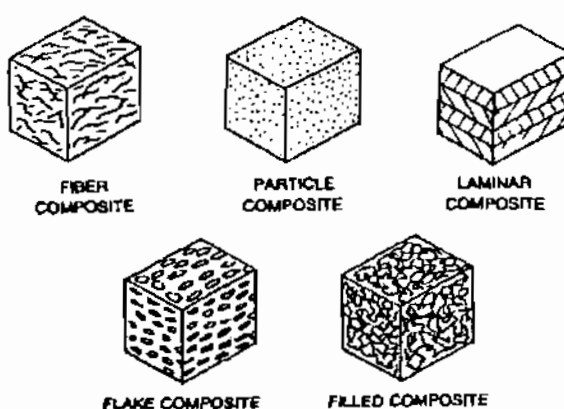
2.3.2. เกิดจากการสร้างพันธะ องค์ประกอบอยู่ในระดับโมเลกุลถ้าเป็นเหล็กเรียกว่า อัลลอย ถ้าเป็นพลาสติกเรียกว่า พอลิเมอร์

2.3.3 ลักษณะของวัสดุคอมโพสิต

วัสดุคอมโพสิตจะประกอบด้วยตัวเสริมแรง (reinforce phase) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของเส้นใย อนุภาค แผ่นหรือชิ้นเล็กๆ หรือเป็นสารตัวเติม ซึ่งเป็นเฟสกระจาย (dispersed phase) ฝังตัวอยู่ในเนื้อพื้น (matrix) ที่อาจเป็นโลหะ เซรามิก หรือพอลิเมอร์ ตัวเสริมแรงจะช่วยให้สมบัติทางกลโดยรวมของเนื้อพื้นดีขึ้นเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีทั้งข้อดีข้อเสีย เช่น โลหะจะมีความแข็งแรง และความเหนียวสูงแต่เป็นสนิมง่ายและหนัก พอลิเมอร์จะมีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงต่ำ ทนความร้อนไม่ได้ นำไฟฟ้าไม่ได้ เซรามิกมีความแข็งแรงสูง ทนต่อการสึกหรอและการผุกร่อนได้ดี ทนความร้อนได้ดี แต่เปราะ มีความเหนียวต่ำ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาวัสดุต่างชนิดมาผสมกันเพื่อจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติพิเศษที่ได้จากข้อดีของวัสดุแต่ละชนิด เช่น คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุผสมที่จะให้ทั้งความแข็งแรง (จากสมบัติที่ดีของคอนกรีตซึ่งเป็นเซรามิก) และความเหนียว (จากสมบัติที่ดีของเหล็กซึ่งเป็นโลหะ) หรือไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบา (จากสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์) และมีความแข็งแรง (จากสมบัติที่ดีของใยแก้ว) เป็นต้น

2.3.3.1 ประเภทของวัสดุคอมโพสิตอาจถูกแบ่งได้ตามเนื้อพื้นได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1) กลุ่มที่มีพอลิเมอร์เป็นส่วนผสมหลัก (fiber-reinforced polymers, FRP)
- 2) กลุ่มที่มีเซรามิกเป็นส่วนผสมหลัก (ceramic-matrix composite, CMC)
- 3) กลุ่มที่มีโลหะเป็นส่วนผสมหลัก (metal-matrix composite, MMC)

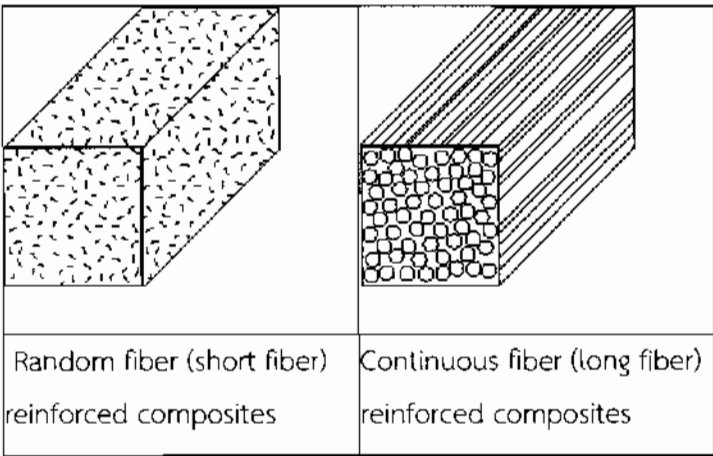


ภาพประกอบ 2 ลักษณะของตัวเสริมแรง

ที่มา : (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2551: เว็บไซต์)

2.3.3.2 วัสดุคอมโพสิตอาจจะแบ่งได้ตามลักษณะของตัวเสริมแรง ได้แก่

- 1) ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นอนุภาค (Particulate Composites)
- 2) ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นชั้นหรือชนิดซ้อนแผ่น (Laminar or Layered Composites)
- 3) ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ (Flake Composites)
- 4) ตัวเสริมแรงเป็นสารตัวเติม (Filled Composites)
- 5) ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous Composites)
 - (1) เส้นใยสั้นแบบสุ่ม (Random/Short Fiber)
 - (2) เส้นใยยาว/เส้นใยต่อเนื่อง (Continuous/Long Fiber)



ภาพประกอบ 3 เส้นใยสั้นแบบสุ่มและเส้นใยสั้น
ที่มา : (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2551: เว็บไซต์)

2.4 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (อังกฤษ: Biodegradable plastic หรือ Compostable) เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ชนิดหนึ่งที่มีกลไกการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ และแบคทีเรียในธรรมชาติ เมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมูลชีวภาพ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตของพืชรวมถึงมันสำปะหลังและข้าวโพด ที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังนั้นวงจรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงมีรูปแบบคือ มีสมบัติในการใช้งานเช่นเดียวกับพลาสติกโดยทั่วไป แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่เมื่อทั้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ไปเป็นขยะ และอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมคือ มีแบคทีเรียและเอนไซม์ พลาสติก

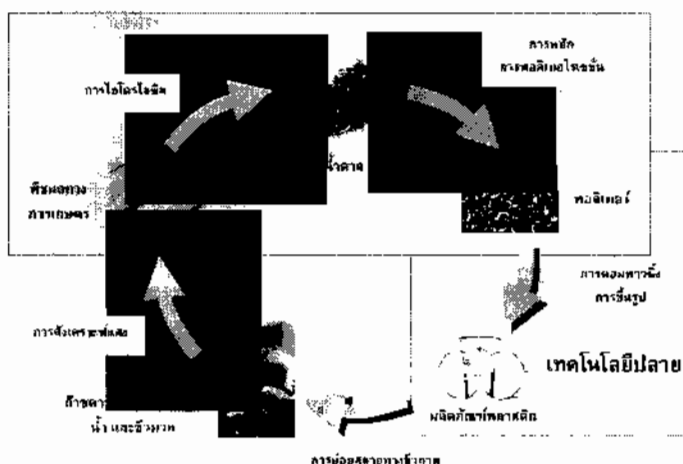
ย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นก็จะเกิดการย่อยสลายได้ ซึ่งผู้บริโภครายหนึ่งที่กล่าวว่าพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้จะเกิดการย่อยสลายไปในขณะที่ใช้งานโดยทำให้อายุการใช้งานสั้น และไม่คุ้มค่าในการใช้งานนั้น ไม่ต้องกังวลในจุดนี้อีกต่อไป เพราะตราใบที่เราไม่ทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ให้เป็นขยะโดยเฉพาะเมื่อถูกฝังกลบ และเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการย่อยสลาย ก็จะไม่เกิดการย่อยสลาย พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีแนวโน้มการทำตลาดที่ดีและมีการผลิต เพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่ Polylactic Acid (PLA) และ Polyhydroxyalkanoates (PHAs) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ได้จากธรรมชาติคือ ใช้กระบวนการทางชีวเคมีในการเปลี่ยนสภาพจากแป้งที่ได้จากมันสำปะหลังและข้าวโพดให้เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นอกจากพลาสติก 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีพลาสติกย่อยสลายอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมในตลาดเช่นกัน นั่นคือ poly (butylene adipate-co-terephthalate) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากวัตถุดิบปิโตรเคมี ผลิตโดยบริษัท BASF ประเทศเยอรมนีมีสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเช่นเดียวกับพลาสติกทั้ง 2 ชนิดข้างต้นซึ่งได้มาจากพืชธรรมชาติ (Shiro Kaza, 2551)

2.4.1 เทคโนโลยีการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ในช่วงแรกของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้มีการนำแป้ง (starch) ชนิดต่างๆ มาใช้เป็นสารผสมร่วมกับพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการปิโตรเคมี เพื่อเป็นการลดสัดส่วนของสารที่ย่อยสลายได้ยากในวัสดุ และเพิ่มคุณสมบัติการสลายตัวของวัสดุให้มากขึ้น เนื่องจากแป้งเป็นวัสดุเพียงชนิดเดียวที่สามารถขึ้นเป็นรูปร่วมกับวัสดุอื่นได้ โดยการใช้ความร้อน แต่วสดุที่ได้จะพบปัญหาในเรื่องของการซึมผ่านของน้ำ และการบวมหรือการคงตัวของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เมื่อได้รับความชื้น โดยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยแป้งนี้มันง่ายและไม่คงรูป จึงทำให้การใช้แป้งเพียงอย่างเดียวไม่ได้ผลเท่าที่ควร

มิติใหม่ของการสรรหาวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หมายถึง การสังเคราะห์โมเลกุลของสารเคมีขึ้นมาใหม่ตลอดกระบวนการซึ่งถือว่ายังไม่มีมีความชัดเจน วัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาจาก 2 แหล่ง คือวัสดุที่มาจากแหล่งธรรมชาติ และวัสดุที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยวัสดุที่มาจากแหล่งธรรมชาติ เช่น Polyhydroxyalkanoates (PHAs) ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ผลิตและสะสมเอาไว้ในเซลล์ ส่วนวัสดุที่ได้จากการสังเคราะห์มักจะเกิดจากผลผลิตของกระบวนการหมัก (fermentation) ได้แก่ สารประกอบโปรตีน หรือสารประกอบเพคตินที่สามารถพัฒนาต่อไปเป็นสารพอลิเมอร์ รวมทั้ง Polylactic Acid (PLA) ซึ่งได้จากการต่อเชื่อมกัน (polymerisation) ของกรดแลคติก

วงจรวัฏจักรพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเริ่มต้นจากพืชผลทางการเกษตรถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตมอนอเมอร์และพอลิเมอร์ ตามลำดับ จากนั้นพอลิเมอร์ที่ได้จะผ่านการปรับปรุงสมบัติและขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ เมื่อหมดอายุการใช้งานหรือไม่เป็นที่ต้องการแล้วการนำไปทิ้งในสภาวะที่เหมาะสม จะทำให้พลาสติกเหล่านี้ถูกย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและมวลชีวภาพซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ดังแสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 วงจรวัฏจักรพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

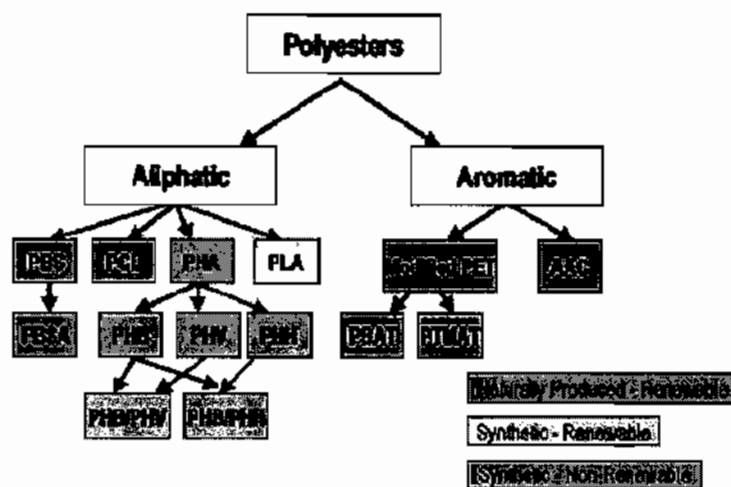
ที่มา : (NIA, 2551: เว็บไซต์)

2.4.2 คุณสมบัติของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่รู้จักกันดี ได้แก่ แป้งเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic starch หรือ TPS) พอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid หรือ PLA) พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (polyhydroxyalkanoates หรือ PHAs) พอลิแคโรแลคโตน (polycaprolactone หรือ PCL) พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (polybutylene succinate หรือ PBS) พอลิบิวทีลีนเทเรพธาลเลต (polybutylene terephthalate หรือ PBT) พอลิไตรเมทีลีนเทเรพธาลเลต (polytrimethylene terephthalate หรือ PTT) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol หรือ PVA) โดยพอลิเมอร์ที่มีการศึกษาวิจัย และนำมาผลิตเพื่อใช้ประโยชน์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ พอลิเมอร์ประเภทที่มีส่วนผสมของ แป้ง (polysaccharide) และพอลิเอสเตอร์ (polyesters) โดยพอลิเมอร์ประเภทแรกเกิดจากการผสม พอลิเมอร์บางชนิด เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์ของแป้งที่เกิดจากการเรียงต่อกันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic โดยใช้อัตราส่วนผสมตั้งแต่ 10 - 90 % ขึ้นอยู่กับ จุดประสงค์ในการใช้งาน หากส่วนผสมของแป้งมากกว่า 60 % จะทำให้พลาสติกผสมสามารถย่อยสลาย ได้ทางชีวภาพ และเมื่อส่วนผสมของแป้งต่ำกว่า 60 % ส่วนผสมที่เป็นแป้งจะทำหน้าที่เป็นจุดที่ทำให้ เกิดการแตกตัวของชิ้นส่วนพอลิเมอร์ผสมทำให้มีขนาดเล็กลง ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกับแป้ง ประกอบด้วย พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ พอลิเอสเตอร์ เป็นต้น โดยก่อนกระบวนการผสมอาจมีการ ปรับปรุงคุณภาพของแป้งที่ใช้โดยกระบวนการทางเคมีก่อน เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม

พอลิเอสเตอร์จัดเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเนื่องจากประกอบด้วยพันธะเอสเตอร์ อยู่ในสายโซ่เป็นจำนวนมาก ซึ่งพันธะนี้มีความแข็งแรงน้อย สามารถแตกตัวได้ง่ายโดยทำปฏิกิริยากับน้ำ

(hydrolysis) ดังนั้นจึงสามารถย่อยสลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงได้ นอกจากนี้ พอลิเอสเตอร์ยังสามารถจำแนกตามส่วนประกอบของสายโซ่เป็น 2 ประเภท คือ aliphatic และ aromatic polyester ในปัจจุบันมีการผลิตพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ในกลุ่มนี้หลายชนิดดังแสดงในภาพประกอบ 5 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ประเภท aliphatic polyester เพราะสายโซ่มีความเหมาะสมต่อการสลายพันธะดีกว่า ในส่วนของ aromatic polyester จะต้องทำการปรับปรุงโครงสร้างให้เหมาะสมขึ้น โดยอาจต่อสายโซ่กับ aliphatic polyester ให้เป็นโคพอลิเมอร์ (aliphatic - aromatic copolyester) ก่อนจึงจะสามารถย่อยสลายได้ ซึ่งสามารถใช้ PET เป็นส่วนประกอบหลักได้



ภาพประกอบ 5 แผนภาพแสดงประเภทและตัวอย่างของพอลิเอสเตอร์
(ปกรณ โสภาประภาสิต และมัทนา โสภาประภาสิต, 2551 : เว็บไซต์)

2.4.3 การใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้

ประโยชน์ของพลาสติกย่อยสลายได้ที่ประสบผลสำเร็จมากที่สุด คือ พลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้ในการผ่าตัด และไหมเย็บแผล ปัจจุบันมักทำจากพลาสติกย่อยสลายได้ที่สามารถละลายในของเหลวของร่างกายได้อย่างช้าๆ ซึ่งจะช่วยให้ไม่ต้องมีการตัดไหม นอกจากนี้ ยังมีการบรรจุยาลงในแคปซูลพลาสติกที่ละลายได้ช้าเพื่อปล่อยตัวยาเข้าสู่กระแสโลหิตในอัตราที่ควบคุมได้ การนำไปใช้ประโยชน์ของพลาสติกย่อยสลายได้ สามารถสรุปได้โดยสังเขปดังนี้คือ

2.4.3.1 การใช้งานทางการแพทย์

ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวน้ำเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้าๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือ ไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรู และแผ่นตามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อย

สลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้นทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

2.4.3.2 สารเคลือบกระดาดหรือโพน

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาดสำหรับห่อแอมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง

2.4.3.3 फिल्मคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืช และรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรงช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ

2.4.3.4 ถุงสำหรับใส่ของ (shopping bag)

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส

2.4.3.5 ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร (food waste film and bags)

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ใส่ขยะเศษอาหารเหมาะสมสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์ ซึ่งกำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆ ทำให้เกิดความสะดวกไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในหลายเมืองของประเทศอิตาลี ได้ใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหารตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 โดยมีบริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรป ทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ดันต่อปี ถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม

2.4.3.6 บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (consumer packaging materials)

ศักยภาพในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อย

สลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้

2.4.3.7 โฟมเม็ดกันกระแทก (loose fill)

โดยผลิตจากพอลิสไตรีน เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดีนอกจากนี้ ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิง แต่ปัญหาคือ พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้ว่าจะนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

2.4.4 ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

เมื่อพิจารณาถึงสมบัติด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การลดอัตราการปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมนับว่าเป็นจุดเด่นที่ทำให้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้รับความสนใจอย่างยิ่ง นอกจากนี้จะสามารถลดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์และขึ้นรูปเพื่อนำมาใช้ประโยชน์แล้ว (เมื่อพิจารณาดังแต่ขั้นตอนเริ่มต้นในกระบวนการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จะเห็นว่าในขั้นการผลิตวัตถุดิบคือ แป้งข้าวโพดนั้น ต้นข้าวโพดจะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมาใช้ในการสังเคราะห์แสงเป็นปริมาณมาก ดังนั้น ผลที่ได้จากทั้งสองปัจจัยนี้จึงสามารถกล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถช่วยลดปริมาณของก๊าซดังกล่าวในชั้นบรรยากาศได้ ซึ่งเป็นที่ทราบดีแล้วว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้เป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) หรือสภาวะที่ทำให้อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโลกสูงขึ้นจุดเด่นในด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกประการหนึ่งของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือสมบัติการย่อยสลายได้เองทางชีวภาพ เนื่องจากพลาสติกดังกล่าวผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยใช้การหมักด้วยจุลินทรีย์ ดังนั้นพอลิเมอร์ชนิดนี้จึงถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์หรือใช้เอนไซม์เฉพาะบางชนิด

ผลจากการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทำให้เกิดการแตกตัวของสายโซ่ยาวได้เป็นสารโมเลกุลเล็กกลับมามีชีวิตเดิม ซึ่งกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดขึ้นได้ทั้งในร่างกายของสิ่งมีชีวิตหรือในสภาวะนอกร่างกาย เช่น ในดินก็ได้ โดยเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายจะแตกต่างกันไป ซึ่งจากสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพนี้เอง จึงมีการนำเอาพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น ทางด้านการแพทย์ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุนำพาและปลดปล่อยยาไปยังอวัยวะเป้าหมาย ซึ่งจะสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือใช้เป็นวัสดุปิดแผล และไหมเย็บแผลที่สลายตัวได้เองโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย การประเมินผล

กระหัดด้านบวกต่อสภาวะแวดล้อมของการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานทดแทนพลาสติกทั่วไปในบางโอกาส สามารถทำได้โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (life cycle assessment : LCA) ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เปรียบเทียบกับพลาสติกทั่วไปที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเพื่อประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมและสภาพแวดล้อมด้านต่างๆ เช่น แหล่งวัตถุดิบ ซึ่งอาจเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ปลูกหรือผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้หรือเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ปริมาณการใช้น้ำและพลังงานในกระบวนการผลิต การใช้สารเคมีในการเพาะปลูกและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หากมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้งาน และมีการกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพแล้วจะก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นๆ ดังต่อไปนี้

2.4.4.1 คอมโพสท์ที่ได้จากการย่อยสลายพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพร่วมกับขยะอินทรีย์อื่นๆ สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยช่วยเพิ่มสารอินทรีย์ ความชื้น และสารอาหารให้แก่ดิน พร้อมทั้งช่วยลดปริมาณการใช้น้ำและลดการเกิดโรคในพืช การหมักพลาสติกย่อยสลายได้ทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุในขณะที่ใช้พลาสติกมักต้องกำจัดด้วยการฝังกลบหรือเผา

2.4.4.2 ลดเนื้อที่การใช้งานของบ่อฝังกลบขยะ โดยการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และถุงที่ย่อยสลายได้ทำให้เพิ่มศักยภาพในการย่อยสลายของเศษอาหารหรือขยะอินทรีย์ในบ่อฝังกลบและเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในกรณีที่บ่อฝังกลบได้ถูกออกแบบมาให้ผลิตและใช้ประโยชน์จากก๊าซมีเทนได้การใช้ฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นวัสดุคลุมหน้าบ่อฝังกลบแทนดินในแต่ละวันเป็นการเพิ่มเนื้อที่ให้บ่อฝังกลบ

2.4.4.3 การใช้พลังงานในการสังเคราะห์และผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพน้อยกว่าการผลิตพลาสติกทั่วไป ดังแสดงในตาราง 3 โดยเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการผลิต HDPE และ LDPE โดยพลังงานที่ใช้ในการผลิต PHAs ใกล้เคียงกับที่ใช้ในการผลิต PE หากการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้โดยใช้สารอาหารน้ำตาลในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้ง กากน้ำตาล ตะกอนจากบ่อน้ำทิ้ง จะทำให้การใช้พลังงานลดลง

2.4.4.4 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่จากการศึกษาโดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่เริ่มการผลิตจนถึงการกำจัดภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน พบว่า พลาสติกย่อยสลายได้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีน ดังตาราง 4 ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีที่พลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของพลาสติกจะถูกนำไปในการเติบโตของพืชที่จะปลูกขึ้นมาใหม่ทำให้เกิดการหมุนเวียนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในธรรมชาติซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรคาร์บอน ทำให้เกิดความสมดุลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

ตาราง 3 พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์พลาสติกแต่ละชนิด ที่มา : (MTEC, 2553: เว็บไซต์)

ชนิดพลาสติก	พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์ (MJ/Kg)
LDPE	81
PHA-fermentation process	81
HDPE	80
PCL	77
PVOH	58
PLA	57
TPS+60% PCL	52
TPS+52.5% PCL	48
TPS	25
TPS+15% PVOH	25

ตาราง 4 ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพลาสติกแต่ละชนิด ที่มา : (MTEC, 2553: เว็บไซต์)

ชนิดพลาสติก	ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก *10 (KgCo ₂ eq./Kg)
PCL	53
LDPE	50
HDPE	49
PVOH	42
TPS+60% PCL	36
TPS+52.5% PCL	33
TPS+15% PVOH	17
Mater Bi TM film grade	12
Thermoplastic starch	11
Mater Bi TM form grade	9
PLA	NA
PLA-ferment	NA

2.5 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactide หรือ PLA)

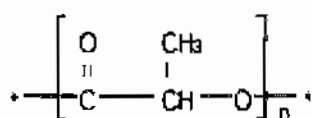
พอลิแลคติกแอซิด (Polylactide หรือ PLA) เป็นพลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการหมักพืชจำพวกแป้ง (ข้าวโพด) ซึ่งกำลังกลายเป็นทางเลือกใหม่มาแทนที่พลาสติกจากปิโตรเลียม PLA เป็นแหล่งคาร์บอนที่ได้จากวัตถุดิบที่สร้างขึ้นทดแทนได้ โดยคาร์บอนที่ดูดซับโดยพืช เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการแพร่ของปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้โลกร้อนขึ้น และ PLA ยังไม่ก่อให้เกิดก๊าซพิษเมื่อถูกเผาเป็นเถ้า กระบวนการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรก โดยนักวิจัยของบริษัท Dupont ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ W.H. Carothers ในปี 1932 โดยการให้ความร้อนแก่กรดแลคติกภายใต้ความดันสุญญากาศ และได้ผลิตภัณฑ์เป็น PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และได้จดสิทธิบัตรไว้ในปี 1954 หลังจากนั้นได้มีการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากราคาที่สูงของ PLA ทำให้การนำไปใช้งานมุ่งเน้นไปทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม บริษัท Cargill, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นหนึ่งในบริษัทผู้ผลิต PLA โดยในปี 1987 ได้เริ่มทำการวิจัยเพื่อผลิตกรดแลคติก แลคไทด์ และ PLA และในปี 1992 ได้เริ่มการผลิตในระดับโรงงานต้นแบบ จากนั้นในปี 1997 ได้ร่วมลงทุนกับบริษัท Dow Chemical Company, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา แล้วสร้างบริษัท Cargill Dow LLC ขึ้นมา เพื่อทำการพัฒนาเทคโนโลยี และผลิตภัณฑ์ PLA เพื่อการค้าอย่างเต็มรูปแบบ และในปี 2001 ได้ส่งผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อทางการค้าว่า Nature Works® ออกมาสู่ตลาดบริษัท ในปี 2005 บริษัท Dow Chemical Company, Inc. ได้ถอนตัวออก จึงมีการเปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท Nature Works® แทน

พอลิแลคติกแอซิดที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีแนวทางหนึ่งที่ได้พัฒนาจนประสบความสำเร็จและได้พอลิเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสมแก่การลงทุน คือ การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด โดยการแยกส่วนของแป้งและน้ำตาลที่เหลือในเศษข้าวโพด น้ำตาลที่สกัดได้จะนำไปเข้ากระบวนการหมักจนกระทั่งได้ผลผลิต คือ กรดแลคติก (lactide acid) (Flieger, M., et al., 2003) แล้วจึงนำไปเข้ากระบวนการอื่นๆ ต่อไป ความปลอดภัยของพอลิแลคติกแอซิดถูกจัดให้เป็น GRAS (generally recognized assafe) โดยสำนักงานอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา

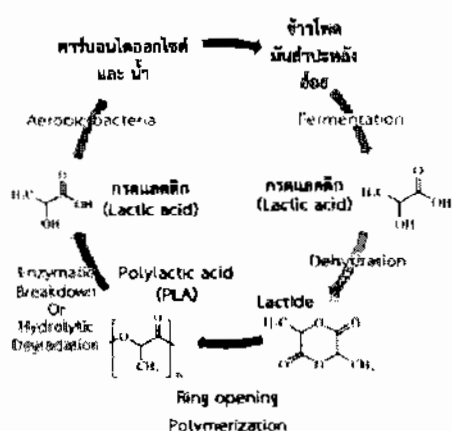
2.5.1 กระบวนการผลิตพอลิแลคติกแอซิด

เริ่มต้นจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยการปลูกข้าวโพดซึ่งใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำเป็นวัตถุดิบ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ได้ผลผลิตเป็นแป้ง จากนั้นจึงนำเอาแป้งข้าวโพดมาผ่านกระบวนการหมักบ่มโดยใช้จุลินทรีย์เฉพาะ เพื่อย่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้งและน้ำตาลเป็นกรดแลคติก (lactide acid, C₃H₆O₃) ซึ่งใช้เป็นมอนอเมอร์ในขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยสามารถจำแนกได้เป็น 2 กระบวนการที่แตกต่างกัน คือ กระบวนการควบแน่นและกระบวนการเปิดวง ถึงแม้ว่าพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากทั้งสองกระบวนการนี้จะมีโครงสร้างและสมบัติต่างๆ เหมือนกันทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 5 แต่ก็มีความละเอียดขั้นตอนของกระบวนการสังเคราะห์ที่ต่างกัน จึง

เป็นที่มาของการเรียกชื่อพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการแรก มักจะเรียกว่า “ พอลิแลคติกแอซิด ” ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการนี้เริ่มต้นจากการใช้กรดแลคติกโดยตรง จนได้พอลิเมอร์ในขั้นตอนสุดท้าย ในกระบวนการที่สองจะมีการเปลี่ยนกรดแลคติกโดยปฏิกิริยารวมตัวของกรดแลคติก 2 โมเลกุล แล้วเกิดเป็นสารประกอบแบบวงที่มีชื่อว่า แลคไทด์ (lactide) ก่อน จากนั้นจึงนำเอาวงแหวนแลคไทด์นี้มาสังเคราะห์เป็นสายโซ่ยาวพอลิเมอร์ในขั้นตอนต่อมา ด้วยเหตุนี้จึงเรียกชื่อผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์จากกระบวนการนี้ว่า “ พอลิแลคไทด์ ”



ภาพประกอบ 6 โครงสร้างทางเคมีของ PLA ที่มา : (NIA, 2551: เว็บไซต์)



ภาพประกอบ 7 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid)

ที่มา : (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์นคร. 2555: เว็บไซต์)

ชื่อทางเคมี (Chemical Name) : Polylactic acid

ชื่อพ้อง2,3 (Synonyms) : พอลิแลคติก, Polylactide, PLA

หมายเลข CAS (CAS Number) : 124-38-9

สูตรเคมีอย่างง่าย2 (Chemical Formula) : $(C_3H_4O_2)_n$

น้ำหนักโมเลกุล2 (Molecular Weight) : ประมาณ 60,000 (ทั้งนี้จำนวน n ประมาณ 30,000)

2.5.2 สมบัติของ PLA

2.5.2.1 ลักษณะของ PLA มีลักษณะใส และมีความแวววาวสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้ PLA มีสมบัติทางกล และสามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไปที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก PLA สามารถกักเก็บกลิ่น และรสชาติได้ดี มีความต้านทานต่อน้ำมัน และไขมันสูง ในขณะที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดีมีความคงทนต่อการกระแทก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ PVC ที่ไม่มีการเติมสารเสริมสร้างพลาสติก มีความแข็ง ความคงทนต่อการกระแทก และความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับ PET นอกจากนี้ PLA ยังมีสมบัติใกล้เคียงกับ PS และสามารถนำไปตัดแปรให้มีสมบัติใกล้เคียงกับ PE หรือ PP ดังนั้น PLA จึงสามารถนำไปปรับปรุงสมบัติพื้นฐานทั้งด้านการขึ้นรูปและการใช้งานได้เช่นเดียวกับพลาสติกโอเลฟินส์

2.5.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี พลาสติก PLA (Polylactic acid) มีช่วงกาหลอมเหลว (Melting range) 173-178 °C แต่อย่างไรก็ตามทนความร้อนได้ไม่เกิน 110 °C มีปริมาณความเป็นผลึก (Crystallinity) ประมาณ 37% และอุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature) อยู่ระหว่าง 60-65 °C มีสมบัติขวางกั้น (Barrier properties) ดี เข้ากับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต (Biocompatibility) คุณสมบัติพิเศษคือมีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เอง เมื่อนำไปฝังกลบในดินที่มีแบคทีเรีย การขึ้นรูปสามารถทำได้ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกทั่วไป เช่น กระบวนการการอัดรีด (Extrusion) กระบวนการฉีด (Injection molding) เป็นต้น

2.5.2.3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์

- 1) ฟิล์มสำหรับหุ้มอาหาร
- 2) ผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร เช่น กล่อง จาน ช้อน มีด ส้อม ตะเกียบ แก้วน้ำ ที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง รวมทั้ง ถังหูหิ้ว ถังใส่กล่อง เป็นต้น
- 3) เส้นใยและสิ่งทอนำมาใช้ในงานด้านการผลิตเป็นเสื้อผ้าและผ้าเบาะรถยนต์



ภาพประกอบ 8 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก Polylactic acid

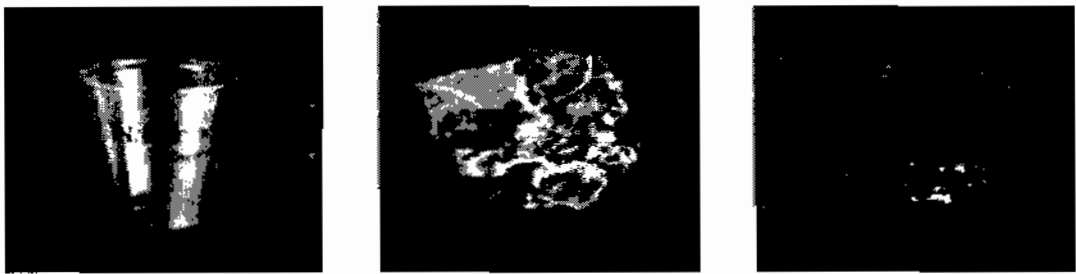
ที่มา : (Greener Package. 2554: เว็บไซต์)

ตาราง 5 สมบัติของ PLA ที่ผลิตเพื่อการค้า ที่มา : (NIA, 2551: เว็บไซต์)

สมบัติ	NatureWork PLA ¹	Biomer L900 ²
ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	1.24	1.25
T _g (°C)	56.7 – 57.9	n/a
T _m (°C)	140 – 152	n/a
HDT (°C)	40 – 45 (amorphous) 135 (crystalline)	n/a
Tensile strength (MPa)	53	70
Elongation (%)	6	2.4
Flexular Modulus (MPa)	350 – 450	3,600

2.5.3 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของ PLA

PLA สามารถย่อยสลายได้ดีในโรงหมักขยะอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่จะไม่ย่อยสลายทันทีที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจาก PLA มีอุณหภูมิการเปลี่ยนเนื้อแก้วใกล้เคียง 60 องศาเซลเซียส โดยขั้นตอนแรก PLA จะถูกย่อยสลายไปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ และกรดแลคติกโดยการไฮโดรไลซิสซึ่งจะเกิดขึ้นภายใน 2 สัปดาห์ สารประกอบและกรดแลคติกที่ได้จะถูกย่อยต่อไปด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ อย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ



ภาพประกอบ 9 แสดงตัวอย่างการย่อยสลายของโพลีแลคติก
ที่มา : (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2556 : เว็บไซต์.)

2.5.4 การนำไปใช้ประโยชน์ของ PLA

2.5.4.1 ด้านการแพทย์ เนื่องจาก PLA เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถเข้ากับเนื้อเยื่อ และสามารถถูกดูดซึม ได้โดยระบบชีวภาพในร่างกายจึงทำให้ PLA เป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงสำหรับงานทางการแพทย์ และถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือทางการแพทย์มานาน เช่น ไหมเย็บแผล ตัวเย็บ วัสดุปิดแผล อุปกรณ์ฝังในร่างกาย อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก วัสดุสำหรับนำพาหรือปลดปล่อยตัวยา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5.4.2 ด้านการเกษตร เช่น ภาชนะปลูกพืช วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง

2.5.4.3 ด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น กล่องโฟม ถังพลาสติก ขวดน้ำ เม็ดโฟมกันกระแทก

2.5.4.4 ด้านเส้นใย และแผ่นผ้าแบบ non-woven เช่น ผลิตภัณฑ์อนามัย ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยสำหรับบรรจุในเครื่องนอน

2.5.4.5 ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์โครงสร้างกระแทก และอุปกรณ์ตกแต่งภายใน

2.5.4.6 ด้านอิเล็กทรอนิกส์ และการสื่อสาร เช่น ชิ้นส่วนประกอบในโทรศัพท์เคลื่อนที่ ชิ้นส่วนประกอบในคอมพิวเตอร์ แผ่นซีดี

2.5.4.7 อื่นๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องเขียน บัตรพลาสติก ผลิตภัณฑ์ใช้ในบ้านเรือน สารเคลือบกระดาษสารยึดติด ห่อพลาสติกชั่วคราว

2.6 Wood Plastic Composite หรือ ไม้สังเคราะห์

Wood Plastic Composite คือ ไม้สังเคราะห์ ที่เป็นแนวความคิดของการสร้างวัสดุก่อสร้างที่มีลักษณะคล้ายไม้ ใช้งานได้เช่นเดียวกับไม้ แถมยังมีคุณลักษณะบางประการที่ดีกว่าไม้ มีธรรมชาติมีความสวยงาม แข็งแรง แต่มิข้อเสีย คือ การเสื่อมสภาพตามอายุและสภาพการใช้งาน ดูดความชื้น ผุพังง่าย ถูกทำลายโดยปลวก มอด แมลง ดินไฟง่าย ยิ่งในปัจจุบันการหาไม้คุณภาพดีก็คงไม่ง่ายเหมือนแต่ก่อน ไม้สังเคราะห์ (WPC) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการใช้วัสดุทดแทนไม้ในปัจจุบัน

ไม้สังเคราะห์ (WPC) คือ วัสดุทดแทนไม้ที่เกิดจากการนำเอาส่วนผสมของผงไม้, ซีเมนต์ไม้ หรือเส้นใยไม้ กับโพลิเมอร์พลาสติก ผสมเข้าด้วยกันแล้วผ่านกระบวนการผลิตและขึ้นรูปด้วยเทคนิคการขึ้นรูปของ พลาสติก ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ไม้สังเคราะห์

2.6.1 ประเภทของไม้สังเคราะห์

ถ้าแบ่งตามลักษณะของรูปร่างก็สามารถแบ่งได้เป็น แบบกลวงและแบบตัน แต่ถ้าหากจะแบ่งประเภทของไม้สังเคราะห์ตามโพลิเมอร์พลาสติกที่ใช้เป็นส่วน ผสม ก็สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.6.1.1 ไม้สังเคราะห์ (WPC) ที่มีส่วนผสมของ PE (Polyethylene) กับผงไม้

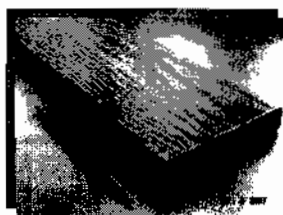
2.6.1.2 ไม้สังเคราะห์ (WPC) ที่มีส่วนผสมของ PP (Polypropylene) กับผงไม้

2.6.1.3 ไม้สังเคราะห์ (WPC) ที่มีส่วนผสมของ PVC (Polyvinyl chloride) กับผงไม้

2.6.2 คุณสมบัติเด่นของไม้สังเคราะห์

- 2.6.2.1 เหมือนไม้จริง
- 2.6.2.2 มีความแข็งแรงกว่าพลาสติก
- 2.6.2.3 ทนทานต่อแสง UV
- 2.6.2.4 ทนปลวก แมลงที่เป็นศัตรูของไม้
- 2.6.2.5 ปรับแต่งได้ทุกความต้องการ
- 2.6.2.6 ขึ้นรูปขึ้นงานได้รวดเร็ว
- 2.6.2.7 ไม่ซึมน้ำ
- 2.6.2.8 ทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ
- 2.6.2.9 ราคาต่ำกว่าไม้จริง

ไม้สังเคราะห์ หรือ wood plastic composite สามารถนำมาประกอบและประยุกต์การใช้งานอย่างไม่จำกัด อาทิเช่น งานไม้พื้น งานศาลา งานระแนง งานฝ้า งานประตู และรั้ว งานหลังคา และงานตกแต่งต่างๆ อีกมากมาย ส่วนข้อเสียของ ไม้สังเคราะห์ก็มีครับโดยเฉพาะทางเชิงกล เช่น ค่าความแข็งแรงดึง เพอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงกระแทก โมดูลัส สมบัติการโค้งงอ จะลดลงตลอดจนอายุการใช้งานก็น้อยกว่าไม้ปกติด้วย



ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างไม้สังเคราะห์ ที่มา : (ชนดล. 2545: เว็บไซต์.)

2.7 ดินยางนา (ผงไม้)

2.7.1 แหล่งที่มาของทรัพยากรไม้ยางนา

ไม้ยางนา ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรม ไม้ปัจจุบันนี้ ล้วนแต่มาจาก สวนยางนาที่มนุษย์เป็นผู้ปลูกสร้างทั้งสิ้น ไม้เหล่านี้เป็นไม้ที่มีอายุมากให้ผลผลิตน้ำยางต่ำ ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ในการกรีดยางน้ำยางอีกต่อไป จึงจำเป็นต้องโค่นออกแล้วปลูกทดแทนใหม่ตามวงจรธรรมชาติในการประกอบอาชีพการทำสวนยาง

ทุกปี สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง เป็นผู้ให้ทุนสงเคราะห์ ในรูปของ ค่าแรงงาน และวัสดุที่จำเป็น ในการสร้างสวนยางพาราใหม่ ทดแทนสวนเดิม ที่โค่นออกไป แก่สวนยาง ที่ครบวงจรประมาณปีละ 3.5 แสนไร่ ดังนั้น ประเทศไทยจึงได้รับ ผลประโยชน์จากไม้ยางพารา ที่โค่น เพื่อการปลูกแทน มาใช้ในอุตสาหกรรมไม้ ประมาณปีละ 14 ล้านลูกบาศก์เมตร ทดแทนไม้ป่า จากธรรมชาติ อันเป็นการช่วยลดการทำลายป่าธรรมชาติ ได้อย่างมีประสิทธิภาพเด่นชัด

2.7.2 ลักษณะไม้ยางนา

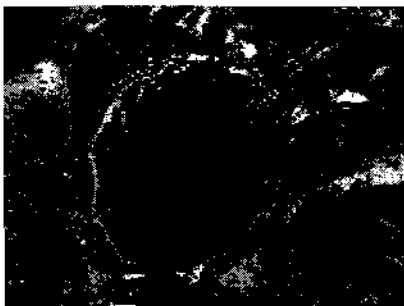
ไม้ยางนาได้จากการแปรรูปต้นยางนาที่มีอายุมากต้นแก่้วยางแล้วมาแปรรูปดัดนั้นขนาดของ ไม้แปรรูปที่ได้จึงมีขนาดโต 70 - 100 ซม. หรือเล็กกว่านั้น ไม้ยางพาราท่อนขนาดยาวที่นำมาแปรรูป ส่วนมากจะยาวไม่เกิน 4 เมตรไม้ยางนาแปรรูปจึงมีขนาดสั้น และแผ่นไม้ค่อนข้างใหญ่และไม่ยาวไม้ยางนา เนื้อไม้มีสีขาวอมครีม หรืออมเหลืองขณะที่ยังสดอยู่ หลังจากแห้งแล้วนำไปไสผิวหน้าออกใหม่ๆจะเป็นสี ขาวแกมน้ำตาลอ่อนหรือแกมชมพูหลังจากทิ้งไว้ให้ถูกอากาศเป็นเวลานานๆสีจะเข้มขึ้นอีกเล็กน้อยมี ความถ่วงจำเพาะ 0.70 ที่ความชื้นในเนื้อไม้ 12 % ลักษณะเนื้อไม้ส่วนที่เป็นกระพี้และแก่นไม้แตกต่างกัน เนื้อไม้ค่อนข้างละเอียดเส้นสนเล็กน้อยถึงมากมักจะพบว่ามีน้ำยาง (latex) ออกมาทางด้านหัวท้าย ของไม้แปรรูป



ภาพประกอบ 11 ลักษณะต้นยางนา ที่มา : (pk-furnituredesign. 2551: เว็บไซต์.)

2.7.3 ลักษณะโครงสร้าง

ไม้ยางนาไม่มีวงเจริญเติบโตให้เห็นเด่นชัดทางด้านหน้าตัดแต่จะเห็นเป็นลายไม้เนื่องจากความ แตกต่างระหว่างความแน่นของไฟเบอร์และปริมาณความหนาแน่นของหมู่เยื่อ Parenchyma ทาง ด้านข้าง pore เตี้ยและแผด 2-3 คละกัน กระจายห่างๆอย่างสม่ำเสมอมี Metatracheal parenchyma (concertric) ติดกับ ray เห็นเป็นลักษณะตาข่ายทางด้านหน้าตัดปริมาณไม้ยางนา



ภาพประกอบ 12 ลักษณะโครงสร้างของต้นยางนา ที่มา : (pk-furnituredesign. 2551: เว็บไซต์.)

2.7.4 คุณสมบัติเด่นของไม้ยางนา

ไม้ยางนา เป็นไม้ที่มีคุณภาพทางกายภาพหลายประการใกล้เคียงกับไม้สัก มีลวดลายที่สวยงาม ย้อมสีได้ ตกแต่งง่าย น้ำหนักเบา ทั้งมีราคาถูก เมื่อเทียบกับไม้ชนิดอื่นด้วยองค์ประกอบด้านคุณสมบัติ อันโดดเด่นหลายประการเช่นนี้ ไม้ยางนาจึงเป็นที่รู้จัก และนิยมใช้แพร่หลายทั่วโลก ในเวลาอันรวดเร็ว

2.7.5 การใช้ประโยชน์ทรัพยากรไม้ยางนา

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาไม้ยางนามีการใช้ประโยชน์ อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นเรื่อยๆ ประมาณ การได้ว่า พื้นที่สวนยาง 1 ไร่ สามารถให้ไม้ยาง ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ขึ้นไป ประมาณ 40 ลูกบาศก์ เมตร ซึ่งสามารถแบ่งประเภท ตามขนาดของไม้ที่ได้ เป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.7.5.1 ไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้วขึ้นไป จำนวน 2 ลูกบาศก์เมตร ไม้ประเภทนี้ นำไปใช้ผลิตไม้อัด(Veneer)

2.7.5.2 ไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 - 8 นิ้ว จำนวน 23 ลูกบาศก์เมตร ไม้ประเภทนี้ นำไปเลื่อยเป็นไม้แปรรูปขนาดต่างๆได้ประมาณ 8 ลูกบาศก์เมตร ส่วนที่เหลือ 15 ลูกบาศก์เมตร เป็นขี้เลื่อย และปึกไม้ ซึ่งนำไปผลิตเป็นไม้แผ่นปาร์ติเกิ้ล (Particle Board) และไม้แผ่นเอ็ม ดี เอฟ หรือแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fibreboard)

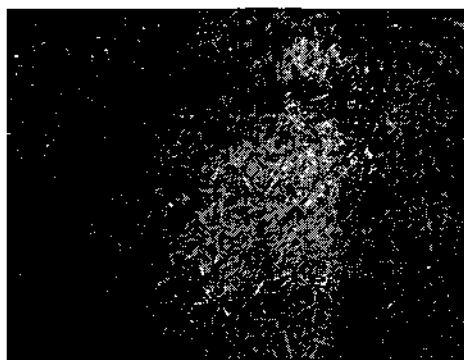
2.7.5.3 ไม้ขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 - 6 นิ้ว จำนวน 15 ลูกบาศก์เมตร ไม้ประเภทนี้ นำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ไม้พื้น และวัสดุอุดบ ในโรงงานผลิตปาร์ติเกิ้ล และ เอ็ม ดี เอฟ

2.7.6 ผงไม้จากยางนา

ผงยาง หรือ ยางผง (Powder Rubber)เป็นยางที่ผลิตออกมาในลักษณะที่เป็นเม็ด เพื่อให้สะดวกในการใช้งานกล่าวคือ สามารถใช้งานในลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่องได้และสามารถใช้ได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านการบดหรือตัดยาง การใช้งาน จะใช้งานในลักษณะเดียวกันกับยางสังเคราะห์ทั่วไปโดยใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งข้อดีของยางผงคือสามารถลดพลังงานและเวลาในการแปรรูปได้ การเตรียมยางผง สามารถเตรียมได้จากน้ำยางและยางแห้งได้ดังนี้

2.7.6.1 เตรียมจากน้ำยาง เตรียมโดย นำน้ำยางชั้นชนิดครีมมาพ่นเป็นฝอย เข้าไปในห้องร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 93 องศาเซลเซียส และมีการพ่นสารป้องกันการติดเข้ามาในห้องนี้ด้วย ส่วนที่เป็นน้ำในเม็ดยางก็จะระเหยออก จะได้ส่วนที่เป็นเม็ดยางดกกลงมา และเข้าสู่กระบวนการทำให้เม็ดยางมีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องแฮมเมอร์มีลจากนั้นก็แยกขนาดเม็ดยางโดยผ่านตะแกรงและมีการเคลือบสารป้องกันการติดบนเม็ดยางอีกครั้งก่อนจะบรรจุลงจำหน่าย

2.7.6.2 เตรียมจากยางแห้งนำยางมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วทำให้ยางมีสภาพแข็งกรอบ โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน จากนั้นใช้ลูกกลิ้งบดยางให้เป็นผงและเคลือบผิวเม็ดยางด้วยสารป้องกันการติด



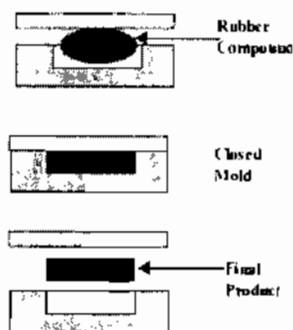
ภาพประกอบ 13 ผงไม้จากยางนา ที่มา : (duangtawantok. 2554: เว็บไซต์.)

2.8 การขึ้นรูปโดยวิธีการอัด (Compression Molding)

เทคนิคการอัด (compression molding) เป็นเทคนิคการแปรรูปพอลิเมอร์ที่เก่าแก่ที่สุด เทคนิคหนึ่ง แต่ก็ยังมีการใช้ในการแปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันก็ยังมีการใช้เทคนิคการอัดพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซต และยาง นอกจากนี้ยังเป็นที่นิยมใช้กับเทอร์โมพลาสติกที่แปรรูปด้วยเทคนิคอื่นไดยาก

สำหรับเครื่องอัดในการแปรรูปพอลิเมอร์นั้นเริ่มประมาณต้นศตวรรษที่ 19 โดยนักอุตสาหกรรม ชื่อ Thomas Hancock ใช้อัดเบายาง กระบวนการแปรรูปนี้ถูกจดลิขสิทธิ์ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปีค.ศ. 1870 โดยนักวิทยาศาสตร์ 2 คน ชื่อ John Wesley Hyatt และ S. Hyatt กระบวนการแปรรูปโดยการอัดประยุกต์ใช้กับพลาสติกครั้งแรกหลังจาก Bakeland คนพบวิธีการสังเคราะห์เรซินฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ในปีค.ศ. 1980 ปัจจุบันกระบวนการแปรรูปนี้ยังใช้กันอย่างแพร่หลาย

ส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (platens) จำนวน 2 ชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อีกแผ่นจะถูกยึดติดกับที่ทำให้สามารถทำการปัดเป่าได้เนื่องจากเบา ถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้ง 2 แผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่นๆ คืออุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิก และอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะเครื่องแสดงดังภาพประกอบ 2.13



ภาพประกอบ 14 ลักษณะการทำงานของเครื่องอัด (Compression Molding)

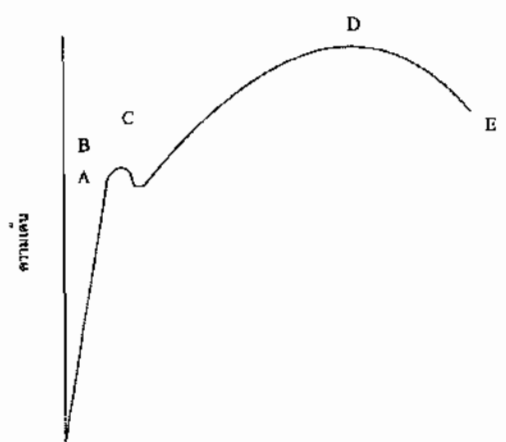
ที่มา : (switchboots. 2554: เว็บไซต์.)

วิธีการขึ้นรูปทำได้โดยนำวัสดุผสมเข้าไปในเบ้า และให้ความร้อนขณะทำการอัด จากนั้นใช้ระบบหล่อเย็นโดยใช้น้ำไหลหมุนวนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของเบ้า ความดันที่ใช้ในการอัดเบ้าต้องให้ให้น้อยที่สุด แต่มากพอที่จะทำให้พลาสติกไหลเต็มช่องว่างของเบ้า แต่ไม่สูงจนทำให้พลาสติกรั่วไหลออกจากรอยแยกเบ้า ระดับความดันที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูป

2.9 การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Testing)

การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D638 (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics)

สมบัติเชิงกลของวัสดุพลาสติกเป็นสมบัติที่สำคัญในการเลือกวัสดุเพื่อใช้งานต่างๆ โดยพิจารณาจากสมบัติเชิงกล เช่น ความทนแรงดึง (tensile strength), โมดูลัส (modulus), การยืดตัว (elongation) เป็นต้น ในขณะที่ดึงวัสดุด้วยแรงภายนอก แรงกระทำจะถ่ายทอดตลอดแนวของชิ้นทดสอบ โดยทิศทางการเคลื่อนที่ภายในแกนตามแนวแรงจะมีการต้านกัน การเกิดแรงต้านนี้เกิดขึ้นได้ทั่วบริเวณของชิ้นทดสอบ จะส่งผลให้เกิดความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ขึ้นภายในวัสดุ โดยความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟแสดง พฤติกรรมเชิงกลของวัสดุได้ เรียกว่ากราฟความเค้น-ความเครียด ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ที่มา : (JP. 2552, เว็บไซต์.)

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด เราพบว่า เมื่อเริ่มดึงขึ้นทดสอบอย่างช้าๆ ชิ้นงานทดสอบจะค่อยๆยืดออก จนถึงจุดจุดหนึ่ง (จุด A) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ ทำให้เราได้กราฟที่เป็นเส้นตรงตามกฎของฮุก (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จุด A นี้เรียกว่าพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นทดสอบจะกลับไปที่มีขนาดเท่าเดิม

เมื่อเราเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อยๆ โค้งออกจากเส้นตรงวัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด ๆ หนึ่ง (จุด B) เรียกว่า พิกัดยืดหยุ่น (elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (permanent deformation or offset) กับวัสดุนั้น เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (plastic deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุในโลหะหลายชนิด เช่น พวงเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low carbon steel) จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น (บางครั้งอาจจะลดลงก็มี) ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่าจุดคราก (yield point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่าความเค้นจุดคราก (yield stress หรือ yield strength)

กราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุจะแสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างหน่วยแรงและความเครียดภายในขอบเขตของความยืดหยุ่น การเพิ่มขึ้นของแรงจะทำให้เพิ่มความเครียดอย่างเป็นสัดส่วน หลักการนี้ค้นพบโดย โรเบิร์ต ฮุก (Robert Hooke) โดยใช้แรงสปริง จึงเรียกชื่อว่า กฎของฮุก (Hooke's law) ซึ่งแสดงในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ คือ

$$\sigma = E\varepsilon$$

โดย E แทนค่าคงที่ของความเป็นสัดส่วน (constant of proportionality) ซึ่งเรียกว่า โมดูลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) หรือ โมดูลัสของยัง (Young's modulus) σ แทนค่าความเค้น และ ε แทนค่าความเครียด เป็นสมการเส้นตรงเป็นการเริ่มต้นของกราฟ ดังนั้นโมดูลัสของความยืดหยุ่นจึงเท่ากับความชัน (slope) ของเส้นกราฟ

ความเครียดเป็นผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอะตอมที่เคลื่อนที่ไปขณะถูกแรงกระทำค่านี้ จะเกิดขึ้นพร้อมกับค่าความเค้น มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร (mm/mm) หรือนิ้วต่อนิ้ว (in/in) บางครั้งอาจใช้หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ การคำนวณค่าความเครียดหาได้จากอัตราส่วนระหว่างส่วนต่างของความยาว (ΔL) ต่อ ความยาวเดิม (L_0) ดังสมการ

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

ความเค้นสามารถคำนวณได้จากแรงภายนอก (F) ที่มากระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (A) และเกิดการต่อต้านขึ้น โดยมีหน่วยการวัดเป็นแรงต่อพื้นที่ เช่น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) นิวตันต่อตารางเมตร (N/m²) หรือ พาสคัล (Pa) โดยแสดงดังสมการ

$$\sigma = F/A$$

ความเค้นดึง คือ ค่าความเค้นที่เกิดจากการดึงโดยแรงภายนอกมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด ซึ่งมีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่

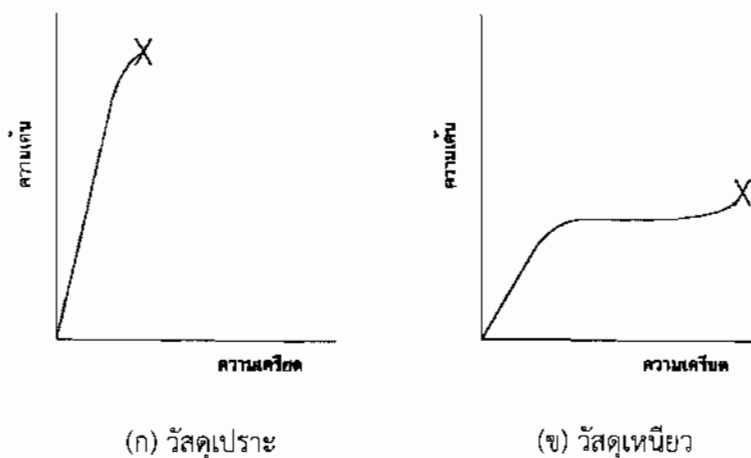
ความเค้นอัด คือ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงอัดหรือกด ซึ่งพยายามให้วัสดุอัดแน่นติดกัน หรือ ทำให้อะตอมของวัสดุอัดแน่น การทดสอบแบบนี้วัสดุจะเกิดแรงต้านจากแรงอัดเพื่อให้เกิดการคืนตัวของวัสดุในการรักษาสภาพของตัวเองให้สมดุล

ความเค้นเฉือน คือ ค่าความเค้นที่เกิดจากการทดสอบการดึงหรือการอัดเพื่อให้วัสดุเลื่อนผ่านกัน ซึ่งพื้นที่จะขนานกับทิศทางของแรงภายนอกที่กระทำ

ความยืด (elongation) เป็นความสามารถของวัสดุในการยืดตัว เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ การทดสอบหาค่าความยืดนี้มักใช้หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อเปรียบเทียบกับความยาวเดิมของวัสดุว่ายืดได้กี่เปอร์เซ็นต์

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความยืด (\% elongation)} = (\Delta L/L_0) \times 100$$

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดสามารถบอกสมบัติของวัสดุได้ว่าเป็นวัสดุประเภทใด เช่น เป็นวัสดุที่เหนียว (ductile) หรือเป็นวัสดุที่เปราะ (brittle) ดังภาพประกอบ 2.15



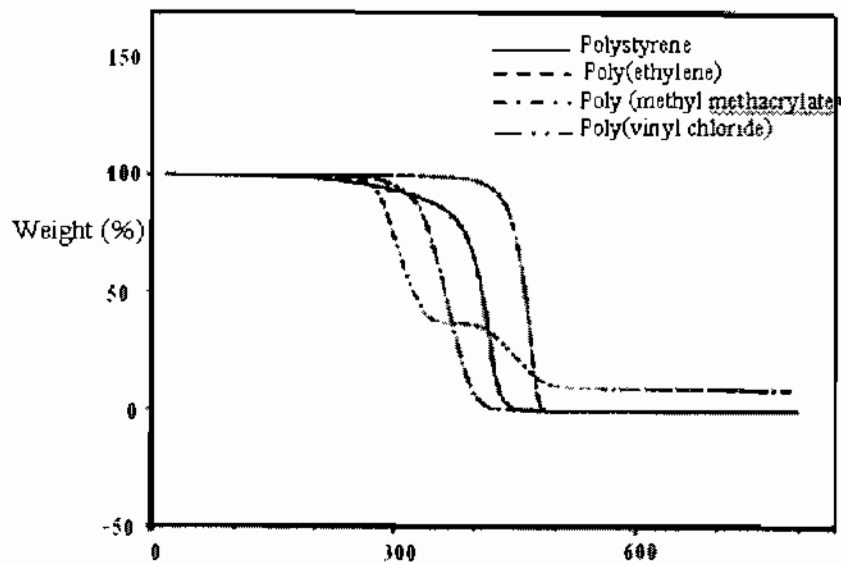
ภาพประกอบ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุเปราะและวัสดุเหนียว

ที่มา : (JP. 2552, เว็บไซต์.)

2.10 Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

ตามมาตรฐาน ASTM D3850 (Standard Test Method for Rapid Thermal Degradation of Solid Electrical Insulating Materials by Thermogravimetric Method ,TGA)

TGA เป็นวิธีเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความเสถียรของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน โดยใช้พื้นฐานการวัดน้ำหนักอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง (thermobalance) ในระหว่างการวิเคราะห์ อุณหภูมิของตัวอย่างซึ่งอยู่ในบรรยากาศปกติ หรือก๊าซเฉื่อยจะถูกทำให้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลการวิเคราะห์จะถูกบันทึกเป็นเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่าง และอุณหภูมิ การสูญเสียน้ำหนักในช่วงแรกของการวิเคราะห์ หรือที่อุณหภูมิต่ำอาจเกิดจากการระเหยของน้ำหรือตัวทำละลาย แต่ที่อุณหภูมิสูงมักเกิดจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ ข้อมูลเหล่านี้ทำให้ทราบเกี่ยวกับความเสถียรต่ออุณหภูมิของพอลิเมอร์ เทคนิคนี้ยังมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์หาสารที่ระเหย หรือสารเติมแต่งที่สลายไปในพอลิเมอร์อีกด้วย



ภาพประกอบ 17 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA
ที่มา : (ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2551: เว็บไซต์)

2.11 ความหนืดของพลาสติก (Melt flow Index)

ตามมาตรฐาน ASTM D 1238 (Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer)

MFI (Melt flow index) คือเครื่องทดสอบคุณสมบัติการไหลตัวของพลาสติกเหลวจำพวก Thermoplastics ตามมาตรฐาน DIN 53735 , ASTM D 1238 , และ ISO 1133 (MFR, Melt Flow Rate) การทดสอบนี้จะคล้ายกับการ Extrusion คือเป็นการหลอมเหลวพลาสติกในกระบอกทดสอบ (BARREL) ด้วยอุณหภูมิที่กำหนดแล้วใช้น้ำหนักกดตามค่าที่กำหนด กดลงบนแท่งกดโดยให้แท่งกดกระทำกับพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกทดสอบ พลาสติกเหลวก็จะไหลผ่านหัวดายน์ออกมา หลังจากนั้นก็นำพลาสติกที่ไหลออกมาไปชั่งน้ำหนักเทียบกับเวลา 10 นาที จะได้ค่าของ MFI ของพลาสติก ซึ่งมีหน่วยคือ g/10 min. MFI เป็นค่าที่บ่งถึงความสามารถในการไหลของพลาสติกหลอม ณ อุณหภูมิหนึ่ง โดยใช้น้ำหนักกดคงที่ (อุณหภูมิและน้ำหนักกดของพลาสติก)แต่ละชนิดจะกำหนดในมาตรฐาน ASTM D1238, ISO 1133 และ JIS K7210) melt flow index แสดงค่าเป็น g/10 min ตามด้วยอุณหภูมิ (OC)/น้ำหนัก (kg))

2.12 หัวโซ่พอลิเมอร์ (Chain Extenders)

หัวโซ่พอลิเมอร์ หรือ ชุดยัดโซ่ (Chain Extenders) ยกน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ polycondensation ผ่านการประมวลผลให้สูงขึ้นละลายความแข็งแรงและช่วยให้การ

2.12.1 สูงกว่าการใช้พลาสติกแบบโมรีไซเคิล / เพื่อต้นทุนวัตถุดิบที่ลดลง

2.12.2 Upgrading ต่ำกว่าพอลิเมอร์ polycondensation น้ำหนักโมเลกุล

2.12.3 Compatibilization ของโลหะผสม polycondensates

2.12.4 เสถียรภาพย่อยสลาย-ปรับปรุง

2.12.5 เพิ่มความยืดหยุ่น-ในการประมวลผลพลาสติกและพอลิเมอร์ย่อยสลายได้อื่น ๆ

การประยุกต์ใช้ Chain Extenders ยัดโซ่พอลิเมอร์ สามารถใช้ในการสร้างโซ่พอลิเมอร์ในการรวมตัวเป็นพอลิเมอร์ในที่สุดการฟื้นฟูความแข็งแรงละลายของพอลิเมอร์ที่เพียงพอสำหรับการประมวลผลที่มีเสถียรภาพและความแข็งแรงทางกลพอลิเมอร์ในการประยุกต์ใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 สารเคมี

วัตถุดิบและสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมพลาสติก PLA และผงไม้ แสดงในตาราง 6 และ ตาราง 7 ดังต่อไปนี้

ตาราง 6 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้

No.	Materials	Type	Manufaturer
1	Plastic	PLA	-
2	wood powder	Rubber	-
3	Chain extender	Joncryl 4368C	BASF
4	Silane	APS	Sigma Aldrich

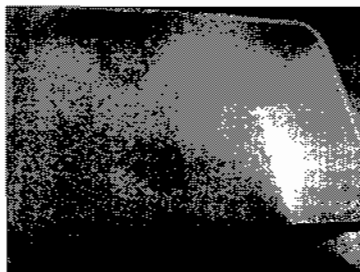
ตาราง 7 แสดงมาตรฐานของสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของเม็ดพลาสติก PLA

No.	Properties	Testing Method	Unit
1	Tensile Testing	ASTM D638	Kg/cm ³
2	TGA	ASTM D3850	MPa
3	Absorption	ASTM D1238	g
4	Melt flow index	ASTM D570	g/10 min
5	Density	ASTM D792	g/cm ³

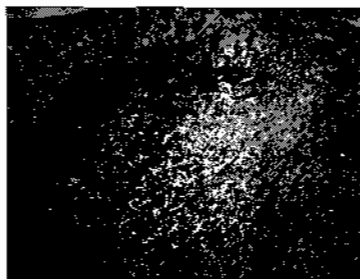
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เม็ดพลาสติก PLA (Polylactic Acid)

3.2.2 ผงไม้ (ยางนา)



ภาพประกอบ 18 เม็ดพลาสติก PLA (Polylactic Acid)



ภาพประกอบ 19 ผงไม้ยางนา

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3.3.2 เครื่องอบสุญญากาศ

3.3.3 เครื่องบดผสมแบบภายใน (Internal Mixer) ยี่ห้อ Haake รุ่น Rheomix

3.3.4 เครื่องย่อยเม็ดพลาสติก (Plastic Granulator)

3.3.5 เครื่องอัดพลาสติก (Compression Molding)

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 3.4.1 เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง Universal testing machine ยี่ห้อ LLOYD Instrument
- 3.4.2 เครื่องทดสอบการสลายตัวทางความร้อน Thermal Gravimetric Analysis (TGA)
- 3.4.3 เครื่องชั่งน้ำหนักพลาสติก สำหรับการวิเคราะห์หาค่าการดูดซึมของน้ำ
- 3.4.4 เครื่องทดสอบความหนืด ยี่ห้อ Tinius Olsen
- 3.4.5 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด สำหรับการวิเคราะห์หาความหนาแน่นของพลาสติก

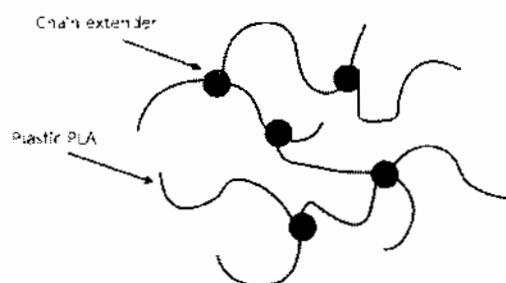
3.5 วิธีการปรับปรุงคุณสมบัติพลาสติก PLA และผงไม้

3.5.1 การปรับปรุงพลาสติก PLA

นำพลาสติก PLA ผสมกับ Chain extender, Joncryl 4368C ในปริมาณอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ในแต่ละชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในตาราง 8

3.5.2 การปรับปรุงผงไม้

- 3.5.2.1 คัดผงไม้ให้มีขนาดเท่าๆกัน ยาวประมาณ 0.5 ถึง 1 เซนติเมตร
- 3.5.2.2 นำผงไม้ที่คัดขนาดแล้วมาล้างด้วยน้ำเปล่า ให้สะอาด
- 3.5.2.3 นำมาตากแห้งและอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
- 3.5.2.4 นำผงไม้ที่ได้หลังจากการอบ มาแช่ในไซเลน (Silane , APS) ในปริมาณเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของผงไม้ที่ผสมเอทานอล (น้ำ 40 เปอร์เซ็นต์และเอทานอล 60 เปอร์เซ็นต์)
- 3.5.2.5 ปรับให้เป็นกรดด้วยกรดน้ำส้มสายชู (อะซิติกแอซิด) ให้ค่า pH มีค่าเท่ากับ 4 ผงไม้ถูกคนและแช่ในไซเลนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- 3.5.2.6 จากนั้นนำผงไม้ที่ล้างแล้ว ไปอบในตู้อบสุญญากาศ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาผสมกับ PLA โดย internal mixer



ภาพประกอบ 20 การผสม Chain extender ทำให้สายโซ่ของพลาสติกยาวขึ้น



ภาพประกอบ 21 อุปกรณ์และการคนปรับปรุงผงไม้ที่ผสมไซเลน (Silane)

3.6 การเตรียมพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ เพื่อใช้ในการทดสอบต่างๆ

3.6.1 นำผงไม้และพลาสติก PLA ที่ได้จากการปรับปรุง ที่เตรียมได้จากข้อ 3.5 ทำการผสมกันในปริมาณที่ต่างกัน ตามอัตราส่วนดังต่อไปนี้

- 3.6.1.1 พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ไม่ได้ล้างน้ำ
- 3.6.1.2 พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ไม่ได้ล้างน้ำ
- 3.6.1.3 พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ไม่ได้ล้างน้ำ
- 3.6.1.4 พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ล้างน้ำและไซเลน
- 3.6.1.5 พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ล้างน้ำและไซเลน
- 3.6.1.6 พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ล้างน้ำและไซเลน
- 3.6.1.7 พลาสติก PLA ผสมกับ Chain extender 2% โดยน้ำหนัก ล้างน้ำและไซเลน
- 3.6.1.8 พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ 30% และผสม Chain extender 1% โดย

น้ำหนัก ล้างน้ำและไซเลน

3.6.1.9 พลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ 30% และผสม Chain extender 2% โดยน้ำหนัก ล้างน้ำและไซเลน

ตาราง 8 แสดงอัตราส่วนในการผสมพลาสติก PLA กับผงไม้

ชิ้นงาน	พลาสติก PLA (%)	ผงไม้ (%)	Chain Extender (%)	Silane	หมายเหตุ
1	90	10	0	ไม่ได้ล้าง	ไม่ได้ล้างน้ำ
2	80	20	0	ไม่ได้ล้าง	ไม่ได้ล้างน้ำ
3	70	30	0	ไม่ได้ล้าง	ไม่ได้ล้างน้ำ
4	90	10	0	ล้าง	ล้างน้ำ
5	80	20	0	ล้าง	ล้างน้ำ
6	70	30	0	ล้าง	ล้างน้ำ
7	98	0	2	ล้าง	ล้างน้ำ
8	69	30	1	ล้าง	ล้างน้ำ
9	68	30	2	ล้าง	ล้างน้ำ

3.6.2 นำเม็ดพลาสติก PLA กับผงไม้ ที่ผสมเตรียมไว้ ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง ในปริมาณ 50 กรัมในแต่ละอัตราส่วน

3.6.3 ทำการเตรียมผสมพลาสติก PLA กับผงไม้ ด้วยเครื่องบดผสมแบบภายใน ใช้อุณหภูมิในการผสม 170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ใช้เวลาประมาณ 4 นาที

3.6.4 จากนั้นนำไปตัดเป็นเม็ดเล็กๆ ด้วยเครื่องย่อยพลาสติก ดังแสดงในภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 22 เครื่องอบสูญญากาศ



ภาพประกอบ 23 เครื่องบดผสมแบบภายใน (Internal Mixer) และพลาสติกที่ได้จากเครื่องบดผสม



ภาพประกอบ 24 เครื่องย่อยพลาสติก (Plastic Granulator) และเม็ดพลาสติกที่ได้จากเครื่องย่อย

3.7 การขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆ

3.7.1 นำเม็ดพลาสติก PLA ที่ผสมกับกับซีลี้อยในอัตราส่วนต่างๆ ที่ผ่านการบดด้วยเครื่องย่อยเม็ดพลาสติกนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding)

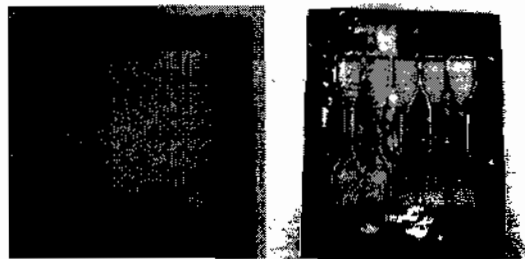
3.7.2 โดยนำมาใส่ลงในแม่พิมพ์และปิดประกบแม่พิมพ์ โดยก่อนการเติมเม็ดพลาสติกที่ผ่านการบดแล้ว ให้นำแผ่นใสชนิดทนความร้อนสูงมาวางระหว่างแม่พิมพ์แผ่นที่ 1 และ 2 เพื่อให้สามารถแกะชิ้นงานได้ง่ายขึ้นและให้ผิวมีความเรียบ

3.7.3 จากนั้นมาทำการขึ้นรูปชิ้นงานเป็นแผ่น Sheet ขนาด 20x20x0.1 เซนติเมตร ในการขึ้นรูปชิ้นงานแต่ละครั้งจะใช้เม็ดพลาสติกปริมาณ 40 กรัม

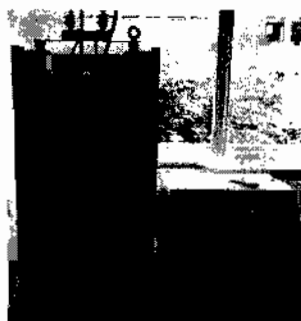
3.7.4 การใช้เครื่อง Compression Molding ในการอัดเข้าแม่พิมพ์มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.7.4.1 ใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส แรงอัด 10 ตัน เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายได้ทั่วถึงและเกิดการไหลทั่วแม่พิมพ์

3.7.4.2 ทำให้เย็นตัวลง โดยผ่านกระบวนการหล่อเย็นเป็นเวลาอีก 10 นาที



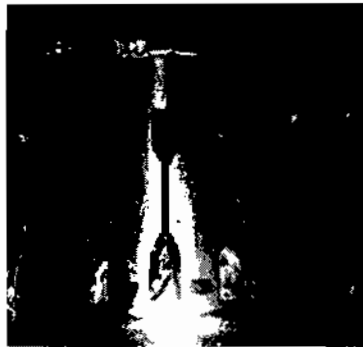
ภาพประกอบ 25 แม่พิมพ์และแผ่นอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปของชิ้นงาน ขนาดขนาด 20x20x0.1 เซนติเมตร



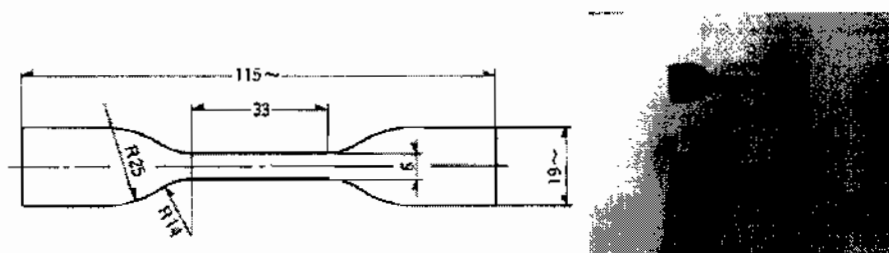
ภาพประกอบ 26 เครื่องอัดพลาสติก (Compression Molding)

3.7.5 หลังจากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่อง Compression Molding และแกะออกจากกัน จะได้แผ่นชิ้นงานตามต้องการ

3.7.6 นำไปตัดด้วย Die cut ดังแสดงในภาพประกอบ 28 เป็นรูป Dumbbell เพื่อนำไปทดสอบตาม ASTM D638 ต่อไป



ภาพประกอบ 27 แผ่นชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป



ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างชิ้นงานที่ถูกตัดด้วย Die cut ตาม ASTM D638 Type IV (Unit : mm)

3.8 การวิเคราะห์ความสามารถในการดึงของพลาสติก (Tensile strength)

- 3.8.1 วัดความกว้างและความหนาของชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบ
- 3.8.2 ทำการวัดความยาวของระยะทดสอบ (Gauge length) ไว้
- 3.8.3 ป้อนค่าความกว้างและความหนาของชิ้นงานลงในเครื่องคอมพิวเตอร์
- 3.8.4 นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปทดสอบแรงดึง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Universal testing machine รุ่น LLOYD Instrument โดยใช้ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที
- 3.8.5 นำชิ้นงานทดสอบที่ดึงขาดแล้ว มาวัดระยะความกว้างของบริเวณที่ขาด
- 3.8.6 บันทึกผลข้อมูลของค่า Tensile strength, Young's Modulus และ Extension at break และทำการทดสอบเช่นเดียวกันนี้กับทุกชิ้นงานทดสอบ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟ หากความสัมพันธ์เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่เตรียมได้ในแต่ละชิ้นงาน



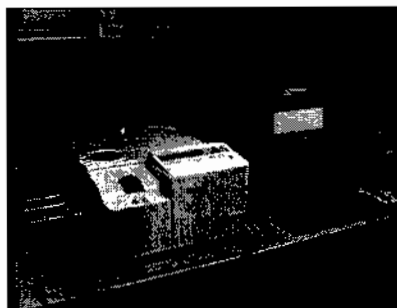
ภาพประกอบ 29 เครื่องทดสอบแรงดึง Universal testing machine รุ่น LLOYD Instrument

3.9 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

3.9.1 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยมีน้ำหนักประมาณ 10 mg

3.9.2 ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส และเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 800 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) เป็น 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.9.3 จดบันทึกค่าและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ % Weight loss



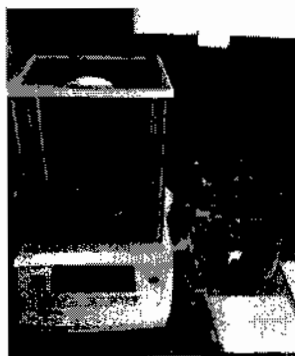
ภาพประกอบ 30 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

3.10 การวิเคราะห์หาค่าการดูดซึมน้ำ

3.10.1 นำชิ้นงานทดสอบ ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.10.2 จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปชั่งหาค่าน้ำหนักแห้งก่อนการทดสอบ จดบันทึกค่าน้ำหนักแห้งที่ได้ เรียกว่า Dry Mass (D) บันทึกค่าน้ำหนักให้มตนิยม 2 ตำแหน่งขึ้นไป

- 3.10.3 นำชิ้นงานทดสอบแช่ไว้ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3.10.4 นำชิ้นงานทดสอบขึ้นจากน้ำแล้วนำมาซับน้ำและนำไปชั่งน้ำหนัก
- 3.10.5 นำข้อมูลไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยการซึมน้ำของพลาสติก



ภาพประกอบ 31 เครื่องชั่งน้ำหนักพลาสติก

3.11 การวิเคราะห์หาความหนืด

3.11.1 เปิดเครื่องทดสอบความหนืดของพลาสติกยี่ห้อ Tinius Olsen และตั้งอุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียส ใส่ค่าน้ำหนัก 2.16 kg ก่อนการทดสอบประมาณ 1 ชั่วโมง

3.11.2 นำเม็ดพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ ที่ยังไม่ได้ขึ้นรูปในกระบวนการอัดพลาสติกใส่ลงไปในท่อของเครื่องทดสอบความหนืดให้เต็ม ใช้เวลาในการใส่ประมาณ 1 นาที และใช้เวลาในการรอพลาสติกหลอมประมาณ 3 นาที

3.11.3 จากนั้นเมื่อครบ 3 นาที พลาสติกที่หลอมจะไหลออกมาให้นำเอาพลาสติกที่ไหลออกมาภายใน 15 วินาที มาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าน้ำหนัก



ภาพประกอบ 32 เครื่องทดสอบความหนืด ยี่ห้อ Tinius Olsen



ภาพประกอบ 33 เครื่องชั่งน้ำหนักของพลาสติกที่ได้จากการทดสอบความหนืด

3.12 การวิเคราะห์หาความหนาแน่น

- 3.12.1 นำชิ้นงานทดสอบไปชั่งน้ำหนักในสภาวะอากาศแห้งบันทึกน้ำหนักเป็น W_{inair}
 3.12.2 นำชิ้นงานทดสอบไปชั่งน้ำหนักในสภาพแขวนลอยในน้ำบันทึกค่าน้ำหนักเป็น $W_{inwater}$
 3.12.3 นำค่า W_{inair} , $W_{inwater}$ และ ρ_{water} มาคำนวณหาความหนาแน่น ดังสมการ

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\rho_{water} \times W_{inair}}{W_{inair} - W_{inwater}}$$

W_{inair} แทน น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ชั่งในอากาศ

$W_{inwater}$ แทน น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ชั่งในน้ำ

ρ_{water} แทน ความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิที่ทำการทดลอง

ทั้งนี้ความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิที่ทำการทดลองนั้นดูได้จากมาตรฐาน ASTM D7921

น้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น 996.8 kg/m^3



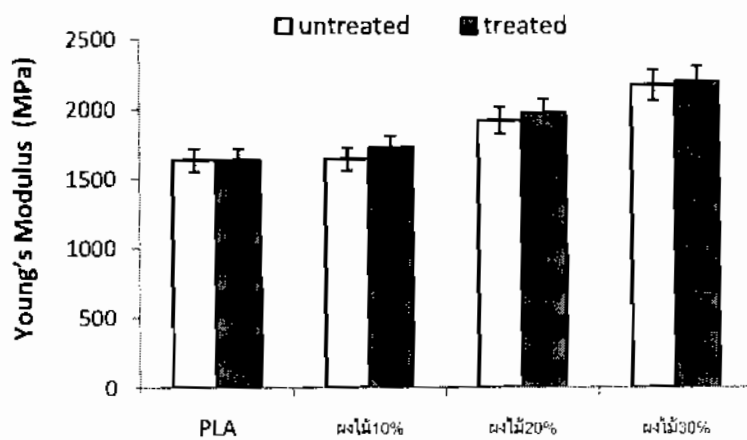
ภาพประกอบ 34 เครื่องน้ำหนักแบบละเอียด

บทที่ 4

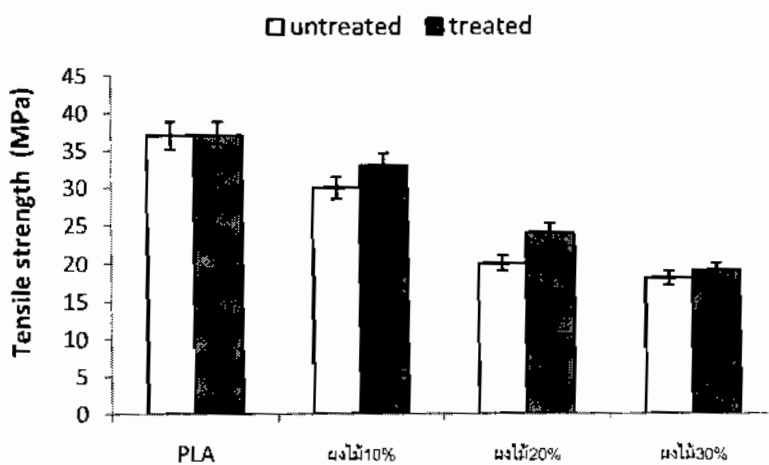
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการดึงของพลาสติก (Tensile Testing)ตาม ASTM D638

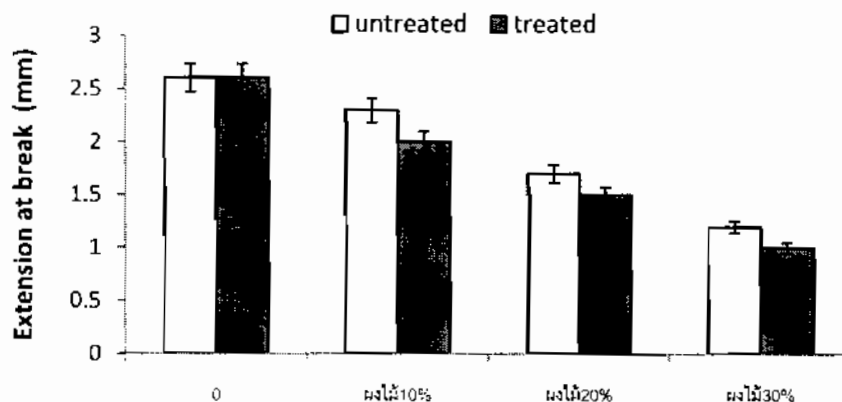
4.1.1กราฟเปรียบเทียบระหว่างพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ที่ไม่ได้มีการปรับปรุง (Untreated) และมีการปรับปรุง (treated)



ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงค่า Young's Modulus ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน



ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงค่า Tensile strength ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน



ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงค่า Extension at break ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน

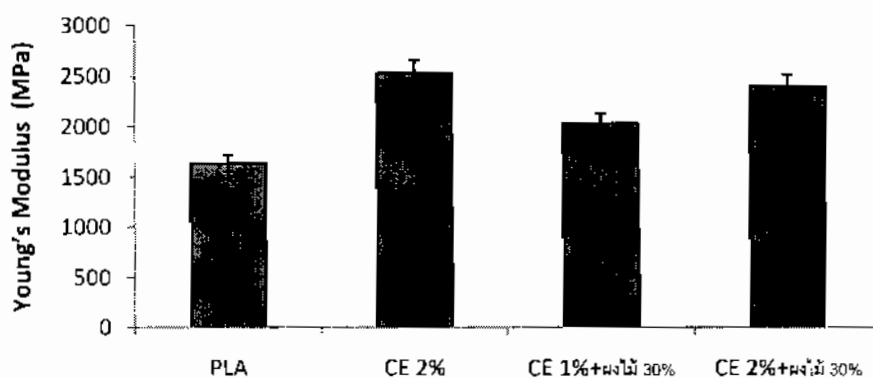
จากภาพประกอบ 35 จะเห็นว่า เมื่อเทียบที่การปรับปรุงผงไม้และการไม่ได้ปรับปรุงผงไม้ในอัตราส่วนที่ไม่ได้ผสมผงไม้ ค่าที่ Young's modulus มีปริมาณเท่ากันมีค่า 1637 MPa ในปริมาณอัตราส่วนผงไม้ 10 เปอร์เซ็นต์ ค่า Young's modulus ของการปรับปรุงมีเท่ากับ 1725 MPa มากกว่าการไม่ได้ปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับ 1643 MPa ปริมาณอัตราส่วนผงไม้ 20 เปอร์เซ็นต์ ค่า Young's modulus ของการปรับปรุงมีเท่ากับ 1972 MPa มากกว่าการไม่ได้ปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับ 1917 MPa และปริมาณอัตราส่วนผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ ค่า Young's modulus ของการปรับปรุงมีเท่ากับ 2195 MPa มากกว่าการไม่ได้ปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับ 2172 MPa แสดงว่า การผสมและเพิ่มผงไม้ที่ผ่านการปรับปรุงหรือผ่านการล้างโซเลน ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Young's modulus มากขึ้นจึงทำให้ผงไม้และพลาสติก PLA มีการยึดเกาะที่ดีขึ้น

จากภาพประกอบ 36 จะเห็นว่า เมื่อเทียบที่การปรับปรุงผงไม้และการไม่ได้ปรับปรุงผงไม้ในอัตราส่วนที่ไม่ได้ผสมผงไม้ ค่าที่ Tensile strength มีปริมาณเท่ากันมีค่า 37 MPa ในปริมาณอัตราส่วนผงไม้ 10 เปอร์เซ็นต์ ค่า Tensile strength ของการปรับปรุงมีเท่ากับ 33 MPa มากกว่าการไม่ได้ปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับ 30 MPa ปริมาณอัตราส่วนผงไม้ 20 เปอร์เซ็นต์ ค่า Tensile strength ของการปรับปรุงมีเท่ากับ 24 MPa มากกว่าการไม่ได้ปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับ 20 MPa และปริมาณอัตราส่วนผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ ค่า Tensile strength ของการปรับปรุงมีเท่ากับ 19 MPa มากกว่าการไม่ได้ปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับ 18 MPa แสดงว่า การผสมและเพิ่มผงไม้ที่ผ่านการปรับปรุงหรือผ่านการล้างโซเลน ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ Tensile strength มีแนวโน้มลดลง แต่การปรับปรุงผงไม้นั้นทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าผงไม้ที่ไม่ได้ปรับปรุงเพียงเล็กน้อย

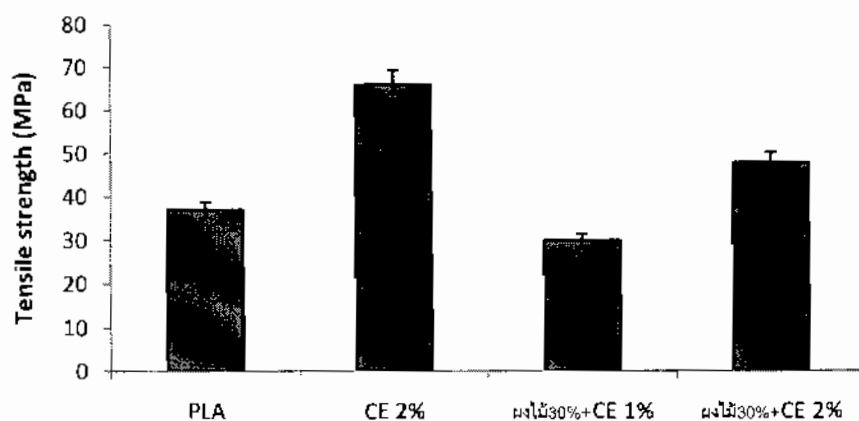
จากภาพประกอบ 37 จะเห็นว่า เมื่อเทียบที่การปรับปรุงผงไม้และการไม่ได้ปรับปรุงผงไม้ในอัตราส่วนที่ไม่ได้ผสมผงไม้ ค่าที่ Extension at break มีปริมาณเท่ากันมีค่า 2.6 มิลลิเมตร ในปริมาณ

อัตราส่วนผงไม้ 10 เปอร์เซ็นต์ ค่าExtension at break ของการปรับปรุงมีเท่ากับ 2 มิลลิเมตรน้อยกว่า การไม่ได้ปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับ 2.3 ปริมาณอัตราส่วนผงไม้ 20 เปอร์เซ็นต์ ค่าExtension at break ของการปรับปรุงมีเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตรน้อยกว่าการไม่ได้ปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับ 1.7 มิลลิเมตรและ ปริมาณอัตราส่วนผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ ค่าExtension at break ของการปรับปรุงมีเท่ากับ 1 มิลลิเมตร น้อยกว่าการไม่ได้ปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตรแสดงว่า การผสมและเพิ่มผงไม้ที่ผ่านการ ปรับปรุงหรือผ่านการล้างไซเลน ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ Extension at break มีแนวโน้มลดลง และการปรับปรุงผงไม้นั้นทำให้มีค่า Extension at break หรือ การยืดตัวของพลาสติกมี ความแข็งแรง น้อยกว่าผงไม้ที่ไม่ได้ปรับปรุงเพียง

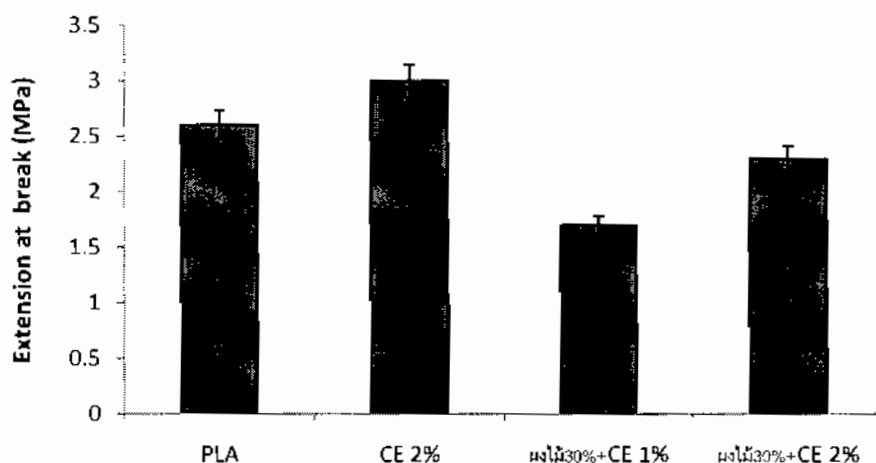
4.2.2กราฟเปรียบเทียบระหว่างพลาสติก PLA ที่ผสมกับ Chain extender (CE) และไม่ได้มี การผสม Chain extender (CE)



ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงค่า Young's Modulus ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน



ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงค่า Tensile strength ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน



ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงค่า Extension at break ของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน

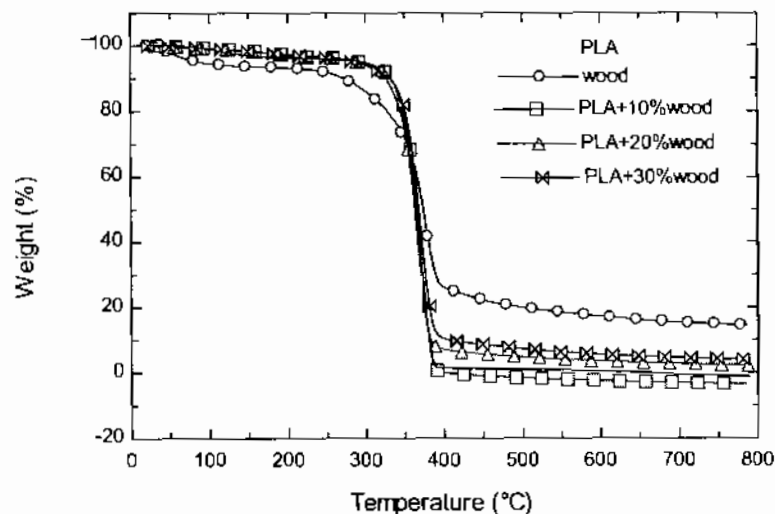
จากภาพประกอบ 38 จะเห็นว่า เมื่อเทียบกับการผสมและไม่ได้ผสม Chain extender พลาสติก PLA Young's Modulus มีค่าเท่ากับ 1637 MPa ในอัตราส่วนของ Chain extender ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ Young's Modulus มีค่าเท่ากับ 2530 MPa อัตราส่วนของ Chain extender ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์กับผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่า Young's Modulus เท่ากับ 2030 MPa และในอัตราส่วนของ Chain extender ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์กับผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ จะมี Young's Modulus เท่ากับ 2400 MPa แสดงว่า ในการผสม Chain extender มีค่า Young's Modulus เพิ่มขึ้นกว่า พลาสติก PLA แต่เมื่อมีการผสมผงไม้ในปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ Young's Modulus มีแนวโน้มสูงขึ้น จึงทำให้พลาสติก PLA ที่มีการผสมผงไม้มีการยืดเกาะที่ดี

จากภาพประกอบ 39 จะเห็นว่า เมื่อเทียบกับการผสมและไม่ได้ผสม Chain extender พลาสติก PLA Tensile strength มีค่า 37 MPa ในอัตราส่วนของ Chain extender ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ Tensile strength มีค่าเท่ากับ 66 MPa อัตราส่วนของ Chain extender ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์กับผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 30 MPa และในอัตราส่วนของ Chain extender ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์กับผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ จะมี Tensile strength เท่ากับ 48 MPa แสดงว่า ในการผสม Chain extender 2% มีค่า Tensile strength เพิ่มขึ้นมากกว่าพลาสติก PLA แต่เมื่อมีการผสมผงไม้ในปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ ค่า Tensile strength มีแนวโน้มสูงขึ้น จึงทำให้พลาสติก PLA ที่มีการผสมผงไม้มีความแข็งแรงมากขึ้น

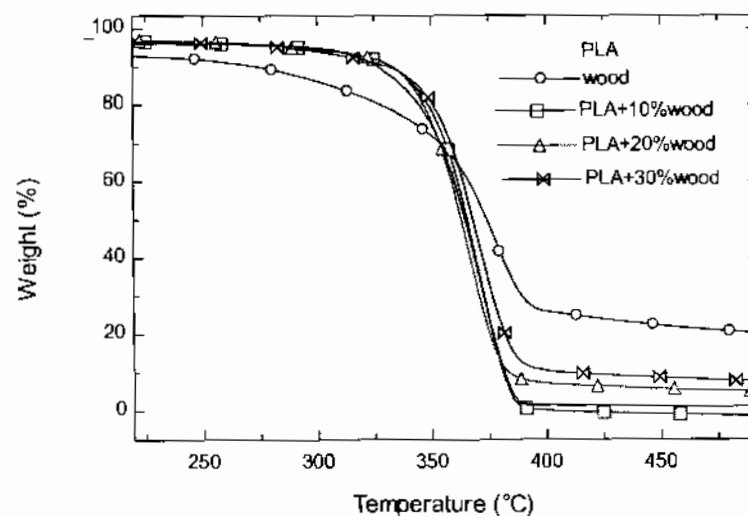
จากภาพประกอบ 40 จะเห็นว่า เมื่อเทียบกับการผสมและไม่ได้ผสม Chain extender พลาสติก PLA Extension at break มีค่าเท่ากับ 2.6 MPa ในอัตราส่วนของ Chain extender ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ Extension at break มีค่าเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์อัตราส่วนของ Chain extender ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์กับผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่า Extension at break เท่ากับ 1.7 MPa และใน

อัตราส่วนของ Chain extender ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์กับผงไม้ 30 เปอร์เซ็นต์ จะมี Extension at break เท่ากับ 2.3 แสดงว่า ในการผสม Chain extender 2% มีค่า Extension at break เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อมีการผสมผงไม้ในปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ ค่า Extension at break มีแนวโน้มสูงขึ้น จึงทำให้พลาสติก PLA ที่มีการผสมผงไม้มีการยืดตัวที่ดีขึ้น

4.2 ผลการทดสอบการสลายตัวทางความร้อน Thermal Gravimetric Analysis (TGA) ตาม ASTM D3850



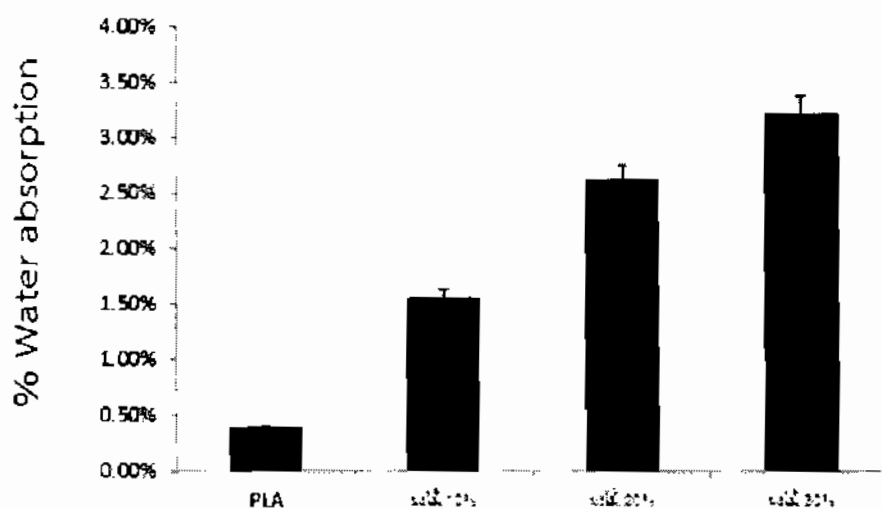
ภาพประกอบ 41 TGA thermogram ของพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้



ภาพประกอบ 42 ภาพขยาย TGA thermogram ของพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้

จากภาพประกอบ 41 และภาพประกอบ 42 แสดง % weight loss ซึ่งได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค TGA จากกราฟ พบว่า ที่อุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature) สูงสุดแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติก PLA ซึ่งจากรูปเห็นได้ชัดว่า ผงไม้ เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส และเกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิประมาณ 375 องศาเซลเซียส และสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้คือขี้เถ้าของผงไม้ ทำให้น้ำหนักของผงไม้ที่เหลือจากการเผาไหม้ประมาณ 18% ของน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติก PLA ผสมกับผงไม้ในแต่ละอัตราส่วน พบว่าในการสลายตัวของชิ้นงานในแต่ละอัตราส่วนนั้น จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ประมาณ 150 องศาเซลเซียส และเกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิประมาณ 375 องศาเซลเซียส ในปริมาณผงไม้ 30% เหลือขี้เถ้ามากที่สุดประมาณ 8% ตามด้วยผงไม้ 20% และ 10% ตามลำดับ ทั้งนี้จะมีสาเหตุมาจากการผสมผงไม้ในปริมาณที่ลดลง ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการสลายตัวของผงไม้เพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่า เมื่อปริมาณผงไม้เพิ่มขึ้นทำให้การสลายตัวช้าลง และมีขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตามมาด้วย

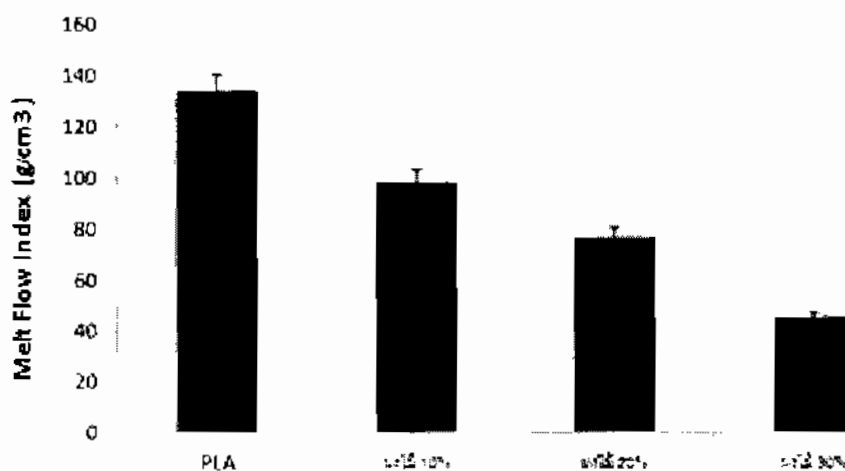
4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM D570



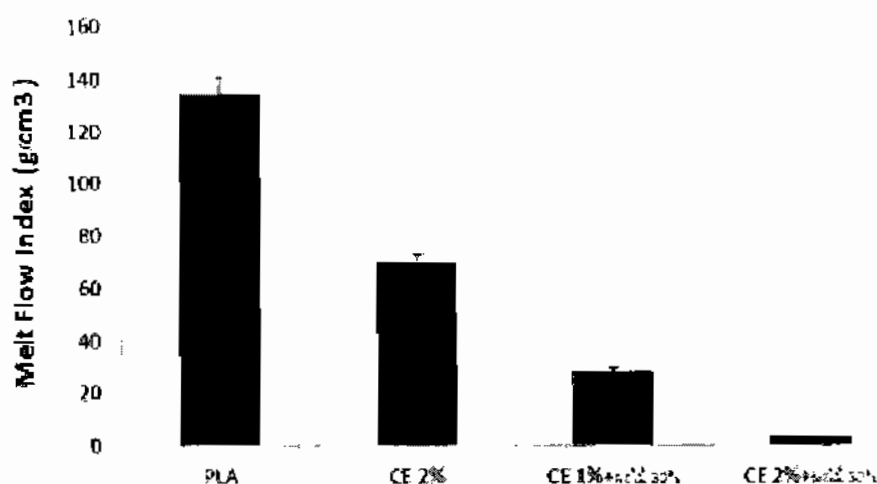
ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของผงไม้ที่มีการปรับปรุงและไม่มีการปรับปรุง

จากภาพประกอบ 43 จะเห็นว่า เมื่อเทียบจากการปรับปรุงผงไม้และการไม่ได้ปรับปรุงผงไม้ ค่าที่ได้ใกล้เคียงกันแต่ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าของการดูดซึมน้ำจะมีแนวโน้มสูงขึ้น แสดงว่า การผสมและเพิ่มผงไม้ ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของพลาสติกผสมผงไม้นั้นสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น

4.4 ผลการทดสอบหาความหนืด (Melt Flow Index) ตามมาตรฐาน ASTM D1238



ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงค่าความหนืดของผงไม้ที่มีการปรับปรุงและไม่มีการปรับปรุง



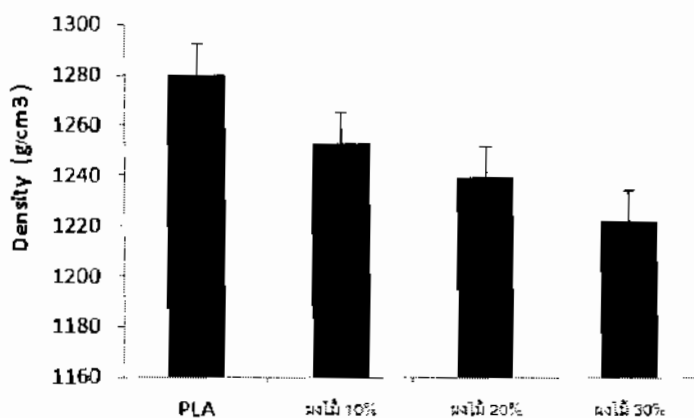
ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงค่าความหนืดของพลาสติกที่ผสม Chain extender

จากภาพประกอบ 44 จะเห็นว่า เมื่อเทียบจากการปรับปรุงผงไม้และการไม่ได้ปรับปรุงผงไม้ ค่าที่ได้นั้นใกล้เคียงกันแต่ ในอัตราส่วนของการผสมผงไม้ที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าของความหนืดมีแนวโน้มลดลง เมื่อเทียบกับพลาสติก PLA 100% แสดงว่า การผสมและเพิ่มผงไม้ ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดของพลาสติกผสมผงไม้นั้นลดลง

ภาพประกอบ 45 จะเห็นว่า เมื่อเทียบกับการผสมและไม่ได้ผสม Chain extender ในอัตราส่วนของ Chain extender ที่เพิ่มขึ้นและในปริมาณผงไม้ 30% พบว่า ค่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงอย่าง

เห็นได้ชัด แสดงว่า การผสมและเพิ่มผงไม้ในปริมาณเท่าเดิม แต่ในอัตราส่วนของ Chain extender ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดของพลาสติกผสมผงไม้นั้นลดลง

4.5 ผลการทดสอบหาความหนาแน่น (Density) ตามมาตรฐาน ASTM D792



ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของผงไม้ที่มีการปรับปรุงและไม่มีการปรับปรุง

ภาพประกอบ 46 จะเห็นว่า เมื่อเทียบจากการปรับปรุงผงไม้และการไม่ได้ปรับปรุงผงไม้ ค่าที่ได้ นั้นใกล้เคียงกันแต่ ในอัตราส่วนของการผสมผงไม้ที่เพิ่มขึ้น 10%, 20% และ 30% พบว่า ความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาก เมื่อเทียบกับพลาสติก PLA 100% แสดงว่า การผสมและเพิ่มผงไม้ ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของพลาสติกผสมผงไม้นั้นเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เสนอผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกายภาพ ตามมาตรฐาน ASTM ของพลาสติก PLA (Polylactic Acid) และผงไม้ (Wood powder) ได้แก่ การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสติก PLA ที่ผสม Chain extender และไม่ผสม Chain extender และเปรียบเทียบคุณสมบัติของผงไม้ที่มีการปรับปรุงและไม่มีการปรับปรุง ซึ่งการผสมพลาสติก PLA และผงไม้ จะผสมในอัตราส่วนที่ต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 สรุปผลจากการทดสอบความสามารถในการดึงของพลาสติก (Tensile Testing)

เมื่อมีการผสมผงไม้ที่มีการปรับปรุงในแต่ละอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติทางด้านของ Young's Modulus หรือความต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างของพลาสติกนั้นดีกว่า Tensile strength และ Extension at break ส่วนการผสม Chain extender ในแต่ละอัตราส่วนของผงไม้และ Chain extender ที่เพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติทางด้านของ Young's Modulus นั้นดีกว่า Tensile strength และ Extension at break

5.1.2 สรุปผลการสลายตัวทางความร้อน Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงในอัตราส่วนปริมาณของผงไม้ 10%, 20% และ 30% ต่ออุณหภูมิด้วยเครื่อง TGA พบว่ามีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งผงไม้จะมีการสลายตัวที่รวดเร็วกว่าชิ้นงานที่มีการผสมอัตราส่วนเข้าไป และสามารถสรุปได้ว่า เวลาที่ใช้ในการทดสอบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบทั้งสอง

5.1.3 สรุปผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

เมื่อมีการผสมผงไม้ในพลาสติก PLA ในแต่ละอัตราส่วน ทำให้ปริมาณการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ใกล้เคียงกันทั้ง 3 อัตราส่วน แสดงว่า การสีกรของพลาสติก PLA ผสมผงไม้มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณอัตราส่วนของการผสมของผงไม้

5.1.4 สรุปผลการทดสอบความเหนียว

ในอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบต่ออัตราการไหลที่พลาสติกทำให้อัตราการไหลที่เหนียวมีแนวโน้มมากขึ้น เมื่อมีการผสมผงไม้ในแต่ละอัตราการไหลของพลาสติกจะมีความเหนียวมากขึ้น โดยอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความดันที่สูงขึ้นทำให้การจัดเรียงตัวสายโซ่เป็นระเบียบมากขึ้น แสดงว่า การผสมผงไม้ในพลาสติกมีผลทำให้พลาสติกนั้นมีความเหนียวมากขึ้นตามอัตราส่วนที่ผสม

5.1.5 สรุปผลการทดสอบความหนาแน่น

คุณสมบัติของความหนาแน่นในผงไม้ นั้น ผงไม้มีความหนาแน่นสูง จึงทำให้ผงไม้ไม่มีผลต่อความหนาแน่นในการผสมกับพลาสติก PLA ในปริมาณอัตราส่วนต่างๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การทดลองนี้ใช้ตัดชิ้นงานทดสอบในรูป Dumbbell ครั้งต่อไปควรเปลี่ยนเป็นรูปทรงอื่นๆ หรือตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I, Type II, Type III, Type IV, Type V เป็นต้น

5.2.2 ผลการทดลองที่ได้อาจจะคลาดเคลื่อน เนื่องจาก

5.2.2.1 ความชำนาญในการทดลอง

5.2.2.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าความละเอียดน้อยไป

5.2.2.3 ควรมีการปรับปรุงเครื่องมือในการใช้งานครั้งต่อไป

5.2.3 ในส่วนของการล้างไซเลน ควรเปลี่ยนใช้ไซเลนชนิดอื่นๆแทนได้

บรรณานุกรม

- แม่น้ำ อมรสิทธิ์ และคณะ. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ: บริษัท ชวนพิมพ์ 50 จำกัด, 2553.
- ปกรณ์ และ มัณฑนา โอภาประกาศิต. พอลิเมอร์กับปัญหาสิ่งแวดล้อม. 5 กรกฎาคม 2551.
<<http://www.vcharkarn.com/varticle/18774/#P6>> 30 ธันวาคม 2556.
- ธนาวดี ลีจากภัย. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ไทย เอพเพคท์สตูดิโอ จำกัด, 2549.
- สุนันท์ สายกระสุน. การวิเคราะห์เชิงความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาสารคาม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย มหาสารคาม, 2553.
- ศูนย์สารสนเทศสิ่งแวดล้อม. วัสดุเคลือบวัสดุพลาสติก. 25 มีนาคม 2556.
<<http://www.vcharkarn.com/varticle/18774/#P6>> 14 มกราคม 2557.
- Ebuild. Wood Plastic Composite. 21 พฤษภาคม 2554. <http://www.ebuild.co.th/article.php?g_id=7&article_id=153> 12 พฤศจิกายน 2556.
- MTEC. พลาสติกย่อยสลายได้. 31 มีนาคม 2553. <www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable/_plastic_envi.html> 20 ธันวาคม 2556.
- NIA. เทคโนโลยีของประเทศผู้นำด้านพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. 19 กรกฎาคม 2551.
<<http://www.nia.or.th/download/document/chapter3.pdf>> 15 มกราคม 2557.
- pk-furnituredesign. คุณสมบัติของยางพารา. 6 เมษายน 2551.
< <http://www.pk-furnituredesign.com/article-th-40331-.html>> 5 มกราคม 2557.

ภาคผนวก



ตาราง 1 การจดบันทึกค่าของการทดสอบ Tensile test

ลำดับที่	ชั้นที่	ความหนา	ความกว้าง	ความกว้าง (ขาด)
ชิ้นงาน 5-1	1	1.115	6.206	5.915
	2	1.104	6.595	5.81
	3	1.047	6.636	7.042
ชิ้นงาน 5-2	1	0.95	6.198	6.726
	2	0.969	6.803	7.48
ชิ้นงาน 5-3	1	1.127	6.666	6.875
	2	1.196	6.562	7.519
	3	1.163	6.684	6.233
ชิ้นงาน 5-4	1	1.123	7.059	7.244
	2	1.025	6.633	6.873
ชิ้นงาน 5-5	1	1.121	6.312	6.331
ชิ้นงาน 5-6	1	1.157	6.971	6.741
	2	1.11	7.371	7.86
ชิ้นงาน 5-7	1	1.178	7.588	7.791
	2	1.104	7.512	8.543
	3	1.76	6.318	6.989
ชิ้นงาน 5-8	1	1.213	7.029	7.137
	2	1.204	6.393	6.475
	3	1.117	7.151	7.693
ชิ้นงาน 5-9	1	1.113	7.277	6.922
	2	1.087	6.754	7.117
	3	1.047	7.005	6.948

ตาราง 2 การจัดบันทึกค่าของการทดสอบการดูดซึมน้ำ

ลำดับชั้นงาน	ชั้นงาน	ก่อนแช่น้ำ (g)	หลังแช่น้ำ (g)	ค่าเฉลี่ย (%)
ชั้นงานที่ 5-1	1	1.2284	1.2479	1.55%
	2	1.1861	1.2032	
	3	1.0409	1.0578	
ชั้นงานที่ 5-2	1	1.1389	1.1687	2.62%
	2	1.0204	1.0462	
	3	0.9054	0.9301	
ชั้นงานที่ 5-3	1	1.3514	1.3997	3.22%
	2	1.5662	1.6084	
	3	1.5074	1.5593	
ชั้นงานที่ 5-4	1	1.1068	1.1287	1.92%
	2	1.2355	1.2596	
	3	0.987	1.0048	
ชั้นงานที่ 5-5	1	1.2283	1.2628	2.45%
	2	1.2267	1.2548	
	3	1.1588	1.1849	
ชั้นงานที่ 5-6	1	1.1155	1.1504	3.04%
	2	1.2734	1.3129	
	3	1.4281	1.4698	
ชั้นงานที่ 5-7	1	1.2625	1.271	0.71%
	2	1.0277	1.0343	
	3	1.2724	1.2827	
ชั้นงานที่ 5-8	1	1.5856	1.6242	2.56%
	2	1.2793	1.3148	
	3	1.2418	1.273	
ชั้นงาน 5-9	1	0.0985	1.345	2.92%
	2	0.0474	1.5185	
	3	0.0854	1.1818	

ตาราง 3 การจัดบันทึกค่าของการทดสอบความหนืด

ลำดับที่	ชั้นงานที่	ปริมาณ (g)	g/10 mill
ชั้นงาน 5-2	1	2.0448	76.6
	2	1.8099	
	3	1.8896	
ชั้นงาน 5-3	1	1.0387	44.9867
	2	1.19	
	3	1.14554	
ชั้นงาน 5-4	1	3.351	44.68
ชั้นงาน 5-5	1	4.2236	56.32
ชั้นงาน 5-6	1	2.4705	69.5867
	2	2.7491	
ชั้นงาน 5-8	1	0.732	28.2533
	2	0.6282	
	3	0.7595	
ชั้นงาน 5-9	1	0.0985	3.08
	2	0.0474	
	3	0.0854	

ตาราง 4 การจดบันทึกค่าของการทดสอบความหนาแน่น

ลำดับที่	weigh in air (g)	weigh in water (g)	density (g/cm ³)
ชิ้นงาน 5-1	1.07	0.18	1198.4
ชิ้นงาน 5-2	0.62	0.12	1236.032
ชิ้นงาน 5-3	0.84	0.2	1308.3
ชิ้นงาน 5-4	0.92	0.18	1239.265
ชิ้นงาน 5-5	1.39	0.31	1282.918
ชิ้นงาน 5-6	1.05	0.21	1246
ชิ้นงาน 5-7	0.76	0.14	1221.884
ชิ้นงาน 5-8	1.02	0.23	1248.273
ชิ้นงาน 5-9	0.68	0.12	1173.971



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายปฏิพัทธ์ กาจหาญ
วันเกิด	วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ.2534
สถานที่เกิด	ศูนย์อนามัยแม่และเด็กเขต ๔ ขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 364 หมู่ 7 ตำบลนาข่า อำเภอเมืองจตุรพักตรพิมาน จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 32110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2550	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมัธยมจตุรพักตรพิมาน จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ.2553	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมัธยมจตุรพักตรพิมาน จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ.2556	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวทิพากร ศรีโคตร
วันเกิด	วันที่ 6 เมษายน พ.ศ.2534
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลศิครณี จังหวัดสุรินทร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 16/1 หมู่ 6 ตำบลหนองขาว อำเภอศีขรภูมิ จังหวัดสุรินทร์ รหัสไปรษณีย์ 32110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2550	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนศีขรภูมิพิสัย จังหวัดสุรินทร์
พ.ศ.2553	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนศีขรภูมิพิสัย จังหวัดสุรินทร์
พ.ศ.2556	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

