


สมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพลีเอทิลีนส์และถ่านไม้ไผ่



นายวรวัฒน์ สุธรรมน้อย

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

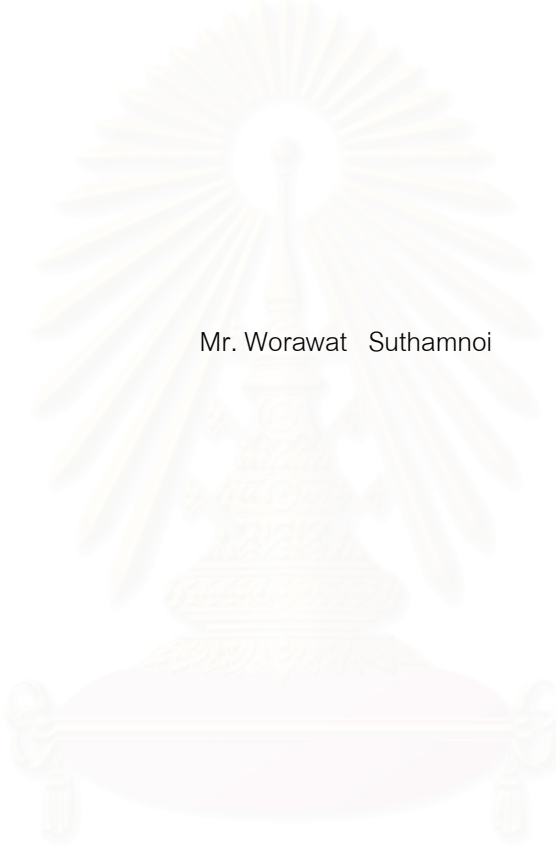
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYSICAL PROPERTIES OF POLYOLEFINS/BAMBOO CHARCOAL COMPOSITES



Mr. Worawat Suthamnoi

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007


Copyright of Chulalongkorn University


หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอเลฟินส์และถ่านไม้ไผ่
โดย นายวรวัฒน์ สุธรรมน้อย
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

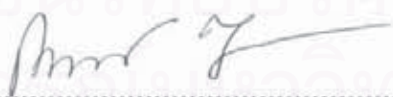

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ นารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์เสาวรณ ช่วยจุลจิตร์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. กนกทิพย์ บุญเกิด)

วรวัฒน์ สุธรรมน้อย: สมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบพอลิโอเลฟินส์และถ่านไม้ไผ่
(PHYSICAL PROPERTIES OF POLYOLEFINS/BAMBOO CHARCOAL COMPOSITES)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์, 82 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ กับวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ โดยปริมาณถ่านไม้ไผ่ที่ใช้เป็น 0, 5, 10, 15 และ 20 ส่วน ต่อพอลิเมอร์ 100 ส่วน โดยการผสมพอลิโอเลฟินส์กับถ่านไม้ไผ่ด้วยวิธีที่ 1 ใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งเพียงอย่างเดียว และการผสมด้วยวิธีที่ 2 ใช้เครื่องบดผสมแบบภายในตามด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบ พบว่าการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในตามด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ให้ค่าสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ดีกว่า โดยเมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้นค่าความต้านแรงดึงและยังสัมมอดูลัสจะเพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด จะลดลง ซึ่งสมบัติความต้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบของพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่จะดีกว่าของพอลิโพรพิลีนที่ไม่ได้ผสมผงถ่านไม้ไผ่ แต่สำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ จะมีสมบัติความต้านแรงดึงน้อยกว่าของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ไม่ผสมถ่านไม้ไผ่ หลังจากนั้นศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำ และสมบัติการต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากเครื่องบดผสมแบบภายในตามด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง พบว่าสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบทั้งสองดีขึ้น และเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านไม้ไผ่ ส่วนสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบทั้งสองดีขึ้นบ้างเล็กน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต.....วรวัฒน์ สุธรรมน้อย
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ศิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์

4872600223 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: POLYOLEFINS, BAMBOO CHARCOAL, COMPOSITES

WORAWAT SUTHAMNOI : PHYSICAL PROPERTIES OF POLYOLEFINS/BAMBOO
CHARCOAL COMPOSITES. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. SIRIWAN
KITTINAOVARAT, Ph.D., 82 pp.

Two kinds of polyolefins/bamboo charcoal composites were studied in their physical properties. One is polypropylene (PP)/bamboo charcoal composites and the other is low density polyethylene (LDPE)/bamboo charcoal composites. The amount of bamboo charcoal added in the composite materials were 5, 10, 15, 20 phr. Polyolefins/bamboo charcoal composites were prepared by using two different processes of mixing and then formed the composited material by using compressing method. The first process of mixing polyolefin and bamboo charcoal was to use only two-roll mill, the second process of mixing polyolefin and bamboo charcoal was to use both internal mixer and two-roll mill. According to results of mechanical properties, it could be concluded that the mixing process by using both of internal mixer and two-roll mill provided the better results of mechanical properties than those obtained from only two-roll mill mixing process. Tensile strength and modulus increased and elongation at break decreased, while the amount of bamboo charcoal in the composite materials increased. The tensile strength of PP/bamboo charcoal composites was better than that of original polypropylene but the tensile strength of LDPE/bamboo charcoal composites was a little bit lower than that of LDPE. In addition, water absorption of polyolefins/bamboo charcoal material was much better than those of original polyolefins. Electrical resistance of polyolefins/bamboo charcoal materials decreased comparing with that of pure PP and LDPE.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Materials Science

Student's Signature : *Worawat Suthamnoi*

Field of Study : Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's Signature : *Sirawan Kittinawat*

Academic Year : 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาของท่านผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน คือ ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างตั้งตรงตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงแนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ รศ.สรวรจณี ช่วยจุลจิตร์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา และอาจารย์ ดร. กนกทิพย์ บุญเกิด คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อบรมและให้ความรู้ต่างๆ อันมีค่าให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี และการทดสอบ ดังรายนามต่อไปนี้

1. บริษัท HMC Polymer จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพอลิโพรพิลีน
2. บริษัท ไทยโพลีเอททีลีน (1993) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพอลิเอททีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
3. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร
4. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องตัดชิ้น specimen
5. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องบดผสมแบบภายใน
6. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคลากรทุกท่าน

สุดท้ายนี้ ต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาและน้องสาว ที่ให้การสนับสนุนและคอยให้กำลังใจผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกคนสำหรับความช่วยเหลือและความปรารถนาดีแก่ผู้วิจัยตลอดมาโดยเฉพาะยิ่ง นางสาว ศีลียา หลิมโต ประเสริฐ นาย ชีราวุฒิ เพชรเย็น และนาย วรศักดิ์ เพชรวโรทัย สำหรับคำปรึกษาและการแนะนำต่างๆ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทรรศน์.....	3
2.1 พอลิโพลีเมอร์.....	3
2.1.1 พอลิโพรพิลีน.....	3
2.1.1.1 การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีน.....	3
2.1.1.2 โครงสร้างและสมบัติพอลิโพรพิลีน.....	5
2.1.1.3 พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์.....	9
2.1.2 พอลิเอทิลีน.....	11
2.1.2.1 กระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	13
2.1.2.2 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	14
2.2 ถ่านไม้ไฟ.....	16
2.3 วัสดุเชิงประกอบ.....	19
2.3.1 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบ.....	19
2.3.2 ปฏิกริยาระหว่างพอลิเมอร์และตัวเติม.....	20
2.3.3 วัสดุเชิงประกอบที่ผสมระหว่างพอลิเมอร์กับตัวเติมชนิดเป็นอนุภาค....	21

2.3.3.1	อิทธิพลของตัวเติมชนิดเป็นอนุภาคต่อสมบัติด้าน ความแข็งแรงและพฤติกรรมความเค้น-ความเครียด.....	21
2.3.3.2	อิทธิพลของตัวเติมชนิดเป็นอนุภาคที่มีต่อสมบัติด้าน ความต้านทานแรงกระทำของพอลิเมอร์.....	25
2.3.3.3	อิทธิพลของตัวเติมชนิดเป็นอนุภาคที่มีต่อสมบัติด้าน ความแข็งและการขัดสีของพอลิเมอร์.....	26
2.3.4	ตัวเติม.....	26
2.4	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	31
3.1	วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	31
3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบ.....	31
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	31
3.4	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	32
3.5	ขอบเขตการทดลอง.....	32
3.6	วิธีการทดลอง.....	32
3.6.1	การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่.....	32
3.6.1.1	ขั้นตอนการผสม.....	32
3.6.1.2	ขั้นตอนการขึ้นรูป.....	35
3.6.2	การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและ ถ่านไม้ไผ่.....	37
3.6.2.1	ขั้นตอนการผสม.....	37
3.6.2.2	ขั้นตอนการขึ้นรูป.....	38
3.6.3	การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ.....	40
3.6.3.1	การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ.....	40
3.6.3.2	การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ.....	42

3.6.3.3 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบ.....	43
3.6.3.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	45
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	46
4.1 ลักษณะชี้ นงานของวัสดุเชิงประกอบ.....	46
4.1.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่.....	46
4.1.2 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่.....	47
4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	49
4.2.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่.....	49
4.2.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่.....	52
4.3 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ.....	56
4.3.1 การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่.....	56
4.3.2 การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่.....	57
4.4 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า.....	58
4.4.1 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่.....	58
4.4.2 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่.....	59
4.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา.....	60
4.5.1 สัณฐานวิทยาของถ่านไม้ไผ่.....	60
4.5.2 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่.....	61
4.5.3 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่.....	64

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	67
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	67
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	68
รายการอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	71
ภาคผนวก ก.....	72
ภาคผนวก ข.....	78
ภาคผนวก ค.....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	82



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	สมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน.....	7
ตารางที่ 2.2	ลักษณะทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดต่าง.....	12
ตารางที่ 2.3	ขนาดอนุภาคที่มีต่อสมบัติด้านความเค้น-ความเครียด ของวัสดุเชิงประกอบ.....	24
ตารางที่ 3.1	อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่..	33
ตารางที่ 3.2	อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่.....	37
ตารางที่ 4.1	สมบัติความต้านแรงดึง ยังมอดคูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วย เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่อง บดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2).....	49
ตารางที่ 4.2	สมบัติความต้านแรงดึง ยังมอดคูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และ เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบ สองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2).....	52
ตารางที่ 4.3	สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่.....	58
ตารางที่ 4.6	สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และถ่านไม้ไผ่.....	59

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิโพรพิลีน.....	3
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาสังเคราะห์แบบRadical Polymerization.....	3
รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตพอลิโพรพิลีนทางอุตสาหกรรม.....	5
รูปที่ 2.4 โครงสร้างแทกติกซิตีของพอลิโพรพิลีนแต่ละชนิด.....	6
รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบคละ.....	9
รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบบล็อก.....	10
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของพอลิเอทิลีน.....	11
รูปที่ 2.8 ภาพการเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในเครื่องปฏิกรณ์ ที่ความดันสูง.....	14
รูปที่ 2.9 โครงสร้างสเฟียรูไลต์.....	15
รูปที่ 2.10 กระบวนการผลิตถ่านไม้ไผ่.....	16
รูปที่ 2.11 แผนผังกระบวนการ Carbonization.....	17
รูปที่ 2.12 แผนผังกระบวนการ Finishing process.....	17
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเติมเกลือหิน (rock salt) ที่มีต่อค่าร้อยละการยืดตัว และความเค้นของยางพอลิยูรีเทน.....	22
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเติมที่มีต่อค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของ พอลิเมอร์ผสมตัวเติมตามทฤษฎีเมื่อแรงยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์และตัวเติม	22
รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะปรากฏในวัสดุเชิงประกอบเมื่อให้แรงดึง (ก) เมื่อพอลิเมอร์มีค่ามอดุลัสต่ำกว่าตัวเติม จะเกิดการแยก ณ ผิวสัมผัส ระหว่างเฟสของตัวเติมกับพอลิเมอร์ในทิศทางของแรงดึง (ข) เมื่อพอลิเมอร์มีค่ามอดุลัสสูงกว่าตัวเติม จะเกิดการร้าวในแนวเส้นผ่าน ศูนย์กลางของอนุภาคตั้งฉากกับทิศทางแรงดึง.....	25
รูปที่ 3.1 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) รุ่น LAB TECH.....	33
รูปที่ 3.2 เครื่องบดผสมแบบภายใน (Internal mixer) ยี่ห้อ BRABENDER รุ่น W30 EHT.....	34
รูปที่ 3.3 เครื่องบดหยาบ (grinder) ยี่ห้อ Momunda.....	35

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.4 เครื่องอัดแบบ (compression molding) รุ่น LAB TECH.....	35
รูปที่ 3.5 ชั้นตอนการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่.....	36
รูปที่ 3.6 ชั้นตอนการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่.....	39
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างชั้นทดสอบ.....	40
รูปที่ 3.8 เครื่องตัดชิ้น specimen ยี่ห้อ Wallace test equipment.....	41
รูปที่ 3.9 เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD LR 100.....	41
รูปที่ 3.10 ชั้นตอนการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของวัสดุเชิงประกอบ.....	42
รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร โดยจะใช้เครื่อง Resistivity Adapter รุ่น Keithley 6105 (1) ร่วมกับเครื่อง High Voltage Supply รุ่น Keithley 247 (2) และเครื่อง Electrometer รุ่น Keithley 617 (3).....	43
รูปที่ 3.12 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร.....	44
รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JEOL JSM-6400.....	45
รูปที่ 4.1 ลักษณะชั้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนต่างๆ...	46
รูปที่ 4.2 ลักษณะชั้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	47
รูปที่ 4.3 ลักษณะชั้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	48
รูปที่ 4.4 ลักษณะชั้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	48
รูปที่ 4.5 ค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสม	

ภาพประกอบ	หน้า
	แบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)..... 50
รูปที่ 4.6	ค่ายังส์มอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2).... 51
รูปที่ 4.7	ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)..... 52
รูปที่ 4.8	ค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)..... 53
รูปที่ 4.9	ค่ายังส์มอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)..... 54
รูปที่ 4.10	ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)..... 55
รูปที่ 4.11	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่อัตราส่วนต่างๆ..... 56
รูปที่ 4.12	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่อัตราส่วนต่างๆ..... 57
รูปที่ 4.13	สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่..... 58

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.14 สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไฟ.....	59
รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของถ่านไม้ไฟ ที่กำลังขยาย(a)×500, (b) ×10000.....	60
รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไฟ ที่กำลังขยาย 500 เท่า และที่ กำลังขยาย 10000 เท่า ที่อัตราส่วนต่างๆดังนี้ (a) 0 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (b) 0 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (c) 5 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (d) 5 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (e) 10 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (f) 10 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (g) 15 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (h) 15 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (i) 20 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (j) 20 phr กำลังขยาย 10000 เท่า	61
รูปที่ 4.17 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไฟ ที่กำลังขยาย 500 เท่า และที่ กำลังขยาย 10000 เท่า ที่อัตราส่วนต่างๆดังนี้(a) 0 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (b) 0 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (c) 5 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (d) 5 phr กำลังขยาย 10000เท่า (e) 10 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (f) 10 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (g) 15 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (h) 15 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (i) 20 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (j) 20 phr กำลังขยาย 10000 เท่า.....	64

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเมอร์สังเคราะห์มีสมบัติโดยรวมดีกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในเกือบทุกด้าน อาทิ ด้านบรรจุภัณฑ์ ของใช้ในครัวเรือน เครื่องนุ่งห่ม อุปกรณ์ทางการแพทย์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่อยู่อาศัย ยานพาหนะ เป็นต้น โดยเฉพาะพอลิโอเลฟินส์ นับเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สำคัญและนิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความคงทนแข็งแรง ไม่เป็นสนิม มีน้ำหนักเบา สามารถแต่งเติมสีส่นได้ สามารถทำให้เป็นรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย ราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องตลาด โดยพอลิโอเลฟินส์ส่วนใหญ่นิยมนำมาผลิตเป็นวัสดุพวก ฟิล์ม ภาชนะพลาสติก บรรจุภัณฑ์ เส้นใยสิ่งทอและของเล่น เป็นต้น พอลิโอเลฟินส์ที่นิยมนำมาใช้คือ พอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน

อย่างไรก็ตาม พอลิโอเลฟินส์ยังมีสมบัติบางประการที่เป็นข้อเสียคือ ไม่สามารถนำไฟฟ้า ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และความชื้นต่ำ จึงทำให้มีความพยายามในการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงสมบัติทางด้านเหล่านี้ เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสมบัติเหล่านี้ สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยการใช้ผงเขม่าดำ จึงมีแนวความคิดที่จะนำเอาถ่านไม้ไผ่ที่เป็นวัสดุดิบที่ได้จากธรรมชาติมาทดแทนผงเขม่าดำ โดยถ่านไม้ไผ่ที่ใช้เกิดจากการนำไม้ไผ่ไปเผาแบบไพโรลิสซิส ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส โครงสร้างของถ่านไม้ไผ่ที่ได้จะมีความพรุนตัวสูงมาก มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะสูง (specific-surface area) 300 ถึง 700 ตารางเมตรต่อกรัม มีคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ มีสารระเหยง่ายต่ำ มีความสามารถในการดูดซึมน้ำดีเยี่ยม และความต้านทานไฟฟ้าต่ำ

นอกจากนี้ ยังพบว่าในประเทศจีนและญี่ปุ่น นิยมนำถ่านไม้ไผ่มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ เพราะมีการวิจัยมาแล้วว่าถ่านไม้ไผ่มีสมบัติพิเศษ สามารถให้กำเนิดและปลดปล่อยประจุลบ (negative ions) และ อินฟราเรดยาว (far infrared ray) ส่งผลดีต่อระบบการไหลเวียนโลหิตในร่างกายและระบบหายใจ

จากสมบัติของถ่านไม้ไผ่ที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ถ่านไม้ไผ่มีประโยชน์มากมายจึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะนำมาใช้แทนผงเขม่าดำ ซึ่งการเติมถ่านไม้ไผ่อาจช่วยในการเสริมสมบัติของพอลิโอเลฟินส์ ในด้านการนำไฟฟ้า และการดูดซึมน้ำ และอาจช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงของพอลิโอเลฟินส์ได้อีกด้วย

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล การดูดซึมน้ำ และการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพลีเอทิลีนส์ละถ่านไม้ไผ่ โดยใช้เครื่องบด ผสมแบบภายใน (internal mixer) และ เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) ช่วยในการ ผสมวัสดุเชิงประกอบ และอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบด้วยวิธีการอัดเข้าแบบ แล้วนำวัสดุเชิง ประกอบที่ได้ไปวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆเหล่านั้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

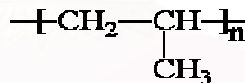
วารสารปริทรรศน์

2.1 พอลิโอเลฟินส์ (polyolefin) [1]

พอลิโอเลฟินส์ หมายถึง กลุ่มของมอนอเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนแบบไม่มีอิมิตัว มีพันธะคู่อยู่ 1 คู่ใน 1 โมเลกุล มาทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดเป็นพอลิเมอร์ โดยกลุ่มของพอลิโอเลฟินส์ส่วนใหญ่จะเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากปิโตรเคมี ได้แก่ พอลิเอทิลีน, พอลิโพรพิลีน เป็นต้น

2.1.1 พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) [2-7]

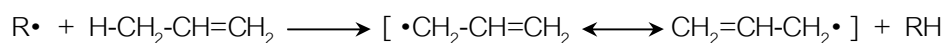
พอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน มีสมบัติเฉพาะตัวคือ ความถ่วงจำเพาะต่ำ ความแข็งเปราะสูง (brittleness) อุณหภูมิอ่อนตัวสูง ความทนทานต่อสารเคมีดี มีสมบัติต้านไฟฟ้าดี จึงมีการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ หลายชนิด เช่น ภาชนะบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ในครัวเรือน ของเด็กเล่น ตลอดจนชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น พอลิโพรพิลีนมีหน่วยย่อยซ้ำ (repeating unit) คือ โพรพิลีนมอนอเมอร์ (propylene monomer) มีโครงสร้างทั่วไปคือ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิโพรพิลีน [3]

2.1.1.1 การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีน

เนื่องจากพอลิโพรพิลีนไม่สามารถเตรียมได้จากกระบวนการสังเคราะห์แบบ Radical Polymerization เพราะ free radical ที่เกิดขึ้นจะไปดึงเอาไฮโดรเจนบน α -carbon ออกแล้วเกิดเป็นมอนอเมอร์เรดิคัล (monomer radical) ที่มีเสถียรภาพโดยเรโซแนนซ์ (resonance) ดังนี้



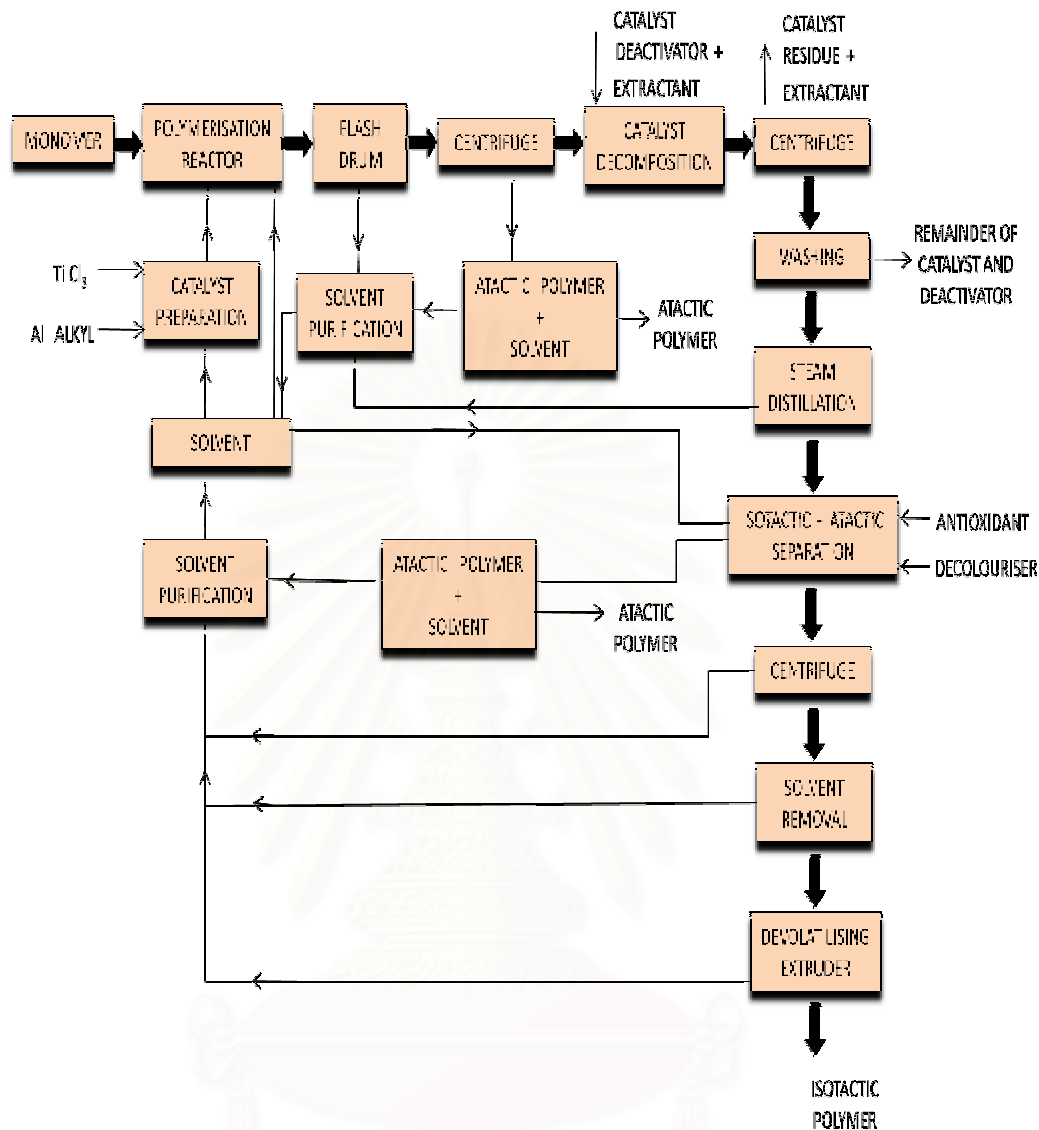
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาสังเคราะห์แบบ Radical Polymerization [4]

การเกิดเสถียรภาพแบบนี้ ทำให้เรดิคัลไม่ว่องไวพอที่จะทำปฏิกิริยาต่อไปแบบ propagation จึงทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเท่านั้น

นอกจากนี้ โพลีโพรพิลีนยังไม่สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยา Ionic Polymerization แต่จะสามารถสังเคราะห์โพลีโพรพิลีน ได้จากปฏิกิริยา Coordination Polymerization เท่านั้น จากโพรพิลีนมอนอเมอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทซีเกลอร์-แนตตา (Ziegler-Natta catalyst) ซึ่งเป็นสารเชิงซ้อนเกิดจากการผสมอัลคิลของโลหะ (organometallic) กับ เฮไลด์ (halides) หรืออนุพันธ์อื่นๆของโลหะทรานซิชัน สมบัติและโครงสร้างของพอลิเมอร์จะต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับ ชนิด โครงสร้างทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนของคู่สารที่นำมาผสม ซึ่งตัวเร่งที่ใช้บ่อยที่สุด ได้แก่ ตัวเร่งที่เป็นสารเชิงซ้อนของ R_3Al และ เฮไลด์ของ $TiCl_3$ ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์นั้น โพรพิลีนมอนอเมอร์จะถูกบรรจุลงในถังสังเคราะห์พอลิเมอร์ (polymerization vessel) ภายใต้ ความดัน โดยที่สารละลายของตัวเร่งปฏิกิริยาและสารร่วมเกิดปฏิกิริยา (reaction diluent) ซึ่งมักจะเป็นแนพทา จะแยกอยู่อีกส่วนหนึ่ง สำหรับในกระบวนการแบบเดี่ยว (batch process) จะทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-4 ชั่วโมง โดยมอนอเมอร์ จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้พอลิเมอร์ ประมาณร้อยละ 80-85

เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป ภายในถังสังเคราะห์พอลิเมอร์ จะประกอบด้วยสารต่างๆ ได้แก่ โพลีโพรพิลีนที่มีโครงสร้างแบบไอโซแทกติก (isotactic) และพอลิโพรพิลีนที่มีโครงสร้างแบบ อะแทกติก (atactic) ตัวทำละลาย (solvent) มอนอเมอร์ และตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งต้องทำการแยก ส่วนผสมต่างๆ ออกจากกัน โดยผ่านสารทั้งหมดเข้าสู่ถังแยก (flash drum) เพื่อแยกมอนอเมอร์ที่ ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาออกไปก่อน และนำกลับไปใช้อีกภายหลังจากทำให้บริสุทธิ์ โดยพอลิโพรพิลีนที่มี โครงสร้างแบบอะแทกติก ซึ่งละลายอยู่ในแนพทาจะถูกแยกออกจากส่วนผสมโดยการเซนตริ ฟิวก (centrifugal separation) นำส่วนผสมที่เหลือไปทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่สามารถละลายตัวเร่ง ปฏิกิริยาได้ เช่น เมทานอลผสมกรดไฮโดรคลอริกเล็กน้อย ทำการแยกพอลิโพรพิลีนที่มีโครงสร้าง แบบไอโซแทกติกออกอีกครั้ง โดยกรเซนตริฟิวก ล้างพอลิเมอร์ที่ได้ และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นำพอลิเมอร์ที่ได้ไปผสมกับสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน แล้วนำไปทำการอัดรีด (extrude) และตัดออกเป็นเม็ดต่อไป

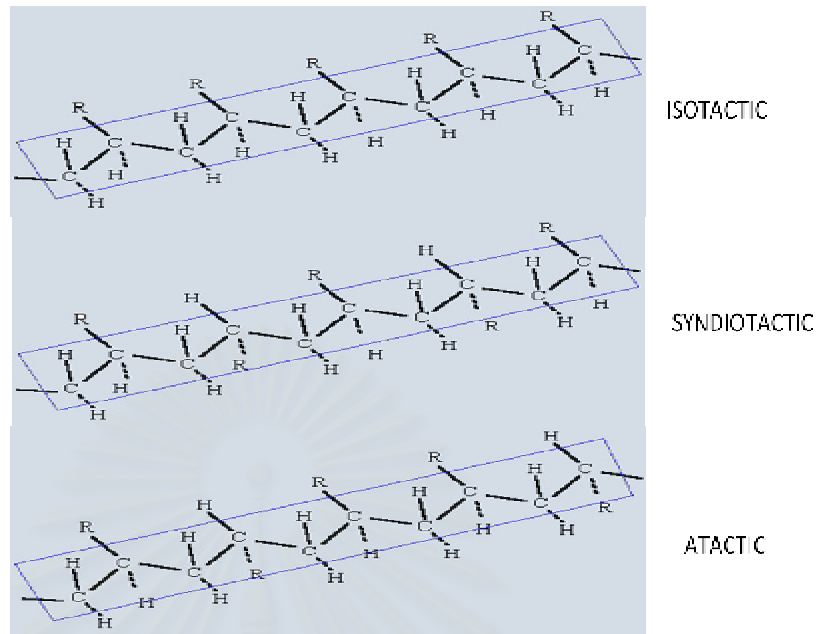
การผลิตพอลิโพรพิลีนทางอุตสาหกรรม มีส่วนละเอียดปลีกย่อยอีกมากมายทั้ง ขั้นตอน พิเศษ เพื่อลดปริมาณอะแทกติกพอลิโพรพิลีนให้เหลือน้อยที่สุด แผนผังการผลิตพอลิโพรพิลีน โดยทั่วไป แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภูมิกระบวนการผลิตพอลิโพรพิลีนทางอุตสาหกรรม [2]

2.1.1.2 โครงสร้างและสมบัติพอลิโพรพิลีน

พอลิโพรพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนพอลิเมอร์ ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและประกอบด้วยโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated) น้อยมากหรือไม่มีเลย การสลับที่ของหมู่เมทิล (methyl group) ไปตามคาร์บอนอะตอมบนสายโซ่โมเลกุลทำให้สมบัติต่างๆของพอลิเมอร์แตกต่างกันไปมากมาย โดยหมู่เมทิลนี้ จะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างแทกติกซิตี (tacticity) ของพอลิเมอร์ที่ได้ โดยเป็น แบบไอโซแทกติก (isotactic) เมื่อหมู่เมทิลทั้งหมดอยู่ด้านเดียวกันของสายโซ่โมเลกุล แบบซินดิโอแทกติก (syndiotactic) เมื่อหมู่เมทิลอยู่สลับกันบนสายโซ่โมเลกุล และเป็นแบบอะแทกติก (atactic) เมื่อหมู่เมทิลอยู่ไม่เป็นระเบียบแบบแผนบนสายโซ่โมเลกุล



รูปที่ 2.4 โครงสร้างแทกติกซีตี ของพอลิโพรพิลีนแต่ละชนิด[5]

โครงสร้างแทกติกซีตี นี้ จะมีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิโพรพิลีนไม่เกิดโครงสร้างผลึกในระนาบแบบพอลิเอทิลีนได้ เนื่องจากหมู่เมทิลเกาะกะอยู่ แต่จะเกิดผลึกในลักษณะเกลียว (helix) พอลิโพรพิลีนทางการค้ามักจะถูกประกอบด้วยพอลิโพรพิลีนที่มีโครงสร้างแบบไอโซแทกติก ประมาณร้อยละ 90-95

เนื่องจากอะแทกติกพอลิโพรพิลีน มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous) จึงมีลักษณะคล้ายยาง ในขณะที่ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนมีความเป็นผลึกมากกว่า มีจุดหลอมเหลวและสมบัติเชิงกลสูงกว่า เช่น ความต้านทานแรงดึง โมดูลัสและความแข็งที่ผิว (hardness) เป็นต้น พอลิโพรพิลีนเมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น จะมีจุดหลอมเหลวและความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น แต่สมบัติด้านความแข็งแรง ความแข็งตึง (stiffness) อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (glass transition temperature) จะลดลง ซึ่งสันนิษฐานว่า เมื่อพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะเกิดลักษณะเป็นผลึกได้ยากกว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และปริมาณความเป็นผลึก (degree of crystallization) จะมีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ โดยที่อัตราการไหล (melt flow rate) จะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่เป็นแบบไอโซแทกติกแล้ว ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ านักโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วย ตารางที่.1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของพอลิโพรพิลีนทางการค้า ซึ่งทำการผลิตจากแหล่งเดียวกัน ทดสอบวิธีเดียวกัน และมีปริมาณโครงสร้างไอโซแทกติกใกล้เคียงกันมาก แต่นี้ านักโมเลกุลแตกต่างกัน ปรากฏว่าเมื่อนี้ านักโมเลกุลเพิ่มขึ้น คือ เมื่อดัชนีการไหล (melt flow index) ลดลง พลาสติกจะมีความต้านทานแรงดึงขาด ความแข็งดึง ความแข็งลดลง ในขณะที่ความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน[2]

สมบัติ	วิธีการทดสอบ	โพลิโพรพิลีน		
ดัชนีการไหล	(ก)	3.0	0.7	0.2
ความต้านทานแรงดึงขาด (ปอนด์/ตารางนิ้ว) (เมกะพาสคาล)	(ข)	5000	4000	4200
ร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด	(ข)	34	30	29
มอดุลัสการบิดโค้ง (ปอนด์/ตารางนิ้ว)($\times 10^5$) (เมกะพาสคาล)	-	350	115	175
จุดอ่อนตัวไวแคท(vicat softening point) (องศาเซลเซียส)	BS	1.9	1.7	1.6
ความแข็งตามสเกลรีคเวล (สเกล อาร์)	-	1310	1170	1100
ความต้านทานแรงกระแทก (ฟุต-ปอนด์) (จูล)	2782 (ค)	145 ถึง 150	148	148
	-	95	90	90
	(ค)	10	25	34
		13.5	34	46

- (ก) ใช้พอลิโพรพิลีน เกรดมาตรฐาน : ซี นูรูปครั้งลง 2.16 กิโลกรัม อุณหภูมิการขึ้น นูรูป 230 องศาเซลเซียส
- (ข) อัตราเร็วในการดึง (straining rate) 18 นิ้ว/นาที
- (ค) ทดสอบโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 นิ้ว ทดสอบที่ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

การผลิตพอลิโพรพิลีนให้มีโครงสร้างเป็นแบบไอโซแทกติกเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องการ เพราะจะทำให้พอลิโพรพิลีนมีสมบัติเชิงกลที่ดี ได้แก่ความแข็งแรง ความแข็งตึง และความทนทานต่อความร้อน แต่อย่างไรก็ตามพอลิโพรพิลีนก็มีข้อเสีย คือ จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 0 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ ยังมีเสถียรภาพต่อแสงอัลตราไวโอเล็ตและออกซิเจนต่ำ จึงไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานกลางแจ้ง เนื่องจากแสงอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้เปราะ แตกร้าว สีซีดจางได้ง่าย ดังนั้น ก่อนนำพอลิโพรพิลีนไปใช้งานต้องใส่สารแอนติออกซิแดนซ์ (antioxidant) สารเพิ่มเสถียรภาพยูวี (UV stabilizer) และสารเพิ่มเสถียรภาพ (stabilizer) อื่นๆ สำหรับการผสมสารให้สีลงในพอลิโพรพิลีน ต้องใช้ความระมัดระวังมาก เนื่องจากเมื่อผสมสารเหล่านี้ แล้ว ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปสูงขึ้น และความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชันลดลง

ส่วนอะแทกติกพอลิโพรพิลีน สามารถทำการผลิตได้โดยตรงหรือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ตามปกติพอลิโพรพิลีนชนิดอะแทกติกอย่างสมบูรณ์จะมีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน แต่ในทางการค้ายังคงมีส่วนที่เป็นผลึกหลงเหลืออยู่บ้าง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย อยู่ในช่วง 20,000 - 80,000 และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.86 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

อะแทกติกพอลิโพรพิลีน มีลักษณะอยู่กึ่งกลางระหว่างไข (wax) และยาง สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เช่นเดียวกับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน แต่อะแทกติกพอลิโพรพิลีนจะเกิดการบวมตัว (swell) อย่างมากในสารไฮโดรคาร์บอนทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และรวมตัวได้ดีกับตัวเติมจำพวกแบริทิวมินัส (bituminous) และเรซินต่างๆ

ในอดีตอะแทกติกพอลิโพรพิลีน เป็นผลพลอยได้ที่ไม่เป็นที่ปรารถนาในการผลิต แต่ปัจจุบันเริ่มมีการนำมาใช้งานต่างๆมากขึ้น ในยุโรปใช้ผสมบิทูมินัสเพื่อใช้ทารอยต่อต่างๆ เช่น กระเบื้อง มุมหลังคา เป็นต้น การผสมพลาสติกชนิดนี้ จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ยังใช้กับงานโครงสร้างถนน เพื่อช่วยให้ผิวถนนที่เป็นแอสฟัลต์มีความคงทนมากขึ้น สำหรับในสหรัฐอเมริกานิยมใช้ในงานเคลือบผิวหน้ากระดาด เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเหนียวดี โดยมักจะผสมกับเรซินชนิดอื่น เป็นต้น

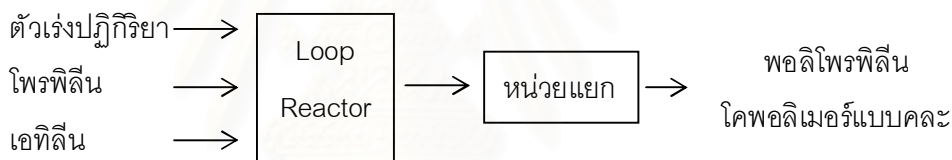
สงวนลิขสิทธิ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1.3 พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ (polypropylene copolymer) [6-7]

พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ ที่สำคัญทางการค้ามีอยู่ 4 ชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีเอทิลีนเป็นโคมอนอเมอร์ ซึ่งวิธีการผลิต ปริมาณเอทิลีน และสมบัติของพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ดังนี้

1. พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบคละ (polypropylene random copolymer)

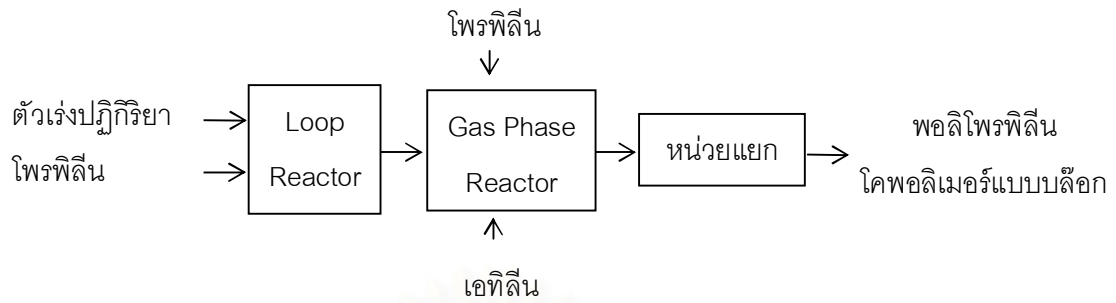
พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบคละ ได้จากการใส่เอทิลีนปริมาณเล็กน้อย(2-5%) เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์สำหรับการพอลิเมอร์ไรเซชัน ผลที่ได้จะเป็นโคพอลิเมอร์แบบคละ ซึ่งยังคงสมบัติเด่นของพอลิโพรพิลีนไว้ครบถ้วน โดยสามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส และสูงสุดไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส จุดเด่นของโคพอลิเมอร์ชนิดนี้ คือ จะมีความเป็นอสัณฐานมากกว่า จึงมีความใส ความเหนียว ความมันเงา ความทนแรงกระแทกมาก แต่จะมีจุดหลอมเหลวต่ำลงและความแข็งตึงลดลงทำให้เหมาะสำหรับงานฉีดแบบและงานผลิตฟิล์ม นิยมนำมาใช้งานเป็นภาชนะใส่อาหารในตู้เย็น หรือ ใช้กับเตาไมโครเวฟหรือกล่องใส่ของ



รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบคละ [7]

2. พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบบล็อก (polypropylene block copolymer)

พอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบบล็อก หรือที่เรียกว่า Impact Copolymer โดยพอลิโพรพิลีนจะถูกผสมกับ 25% ของ เอทิลีน-โพรพิลีนโคพอลิเมอร์ ผลิตภัณฑ์นี้ จะถูกผลิตโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 เครื่อง โดยพอลิโพรพิลีนโฮโมพอลิเมอร์จะถูกผลิตขึ้นภายในloop reactor แล้วจึงถูกป้อนเข้าสู่ gas phase reactor พร้อมกับโพรพิลีน และเอทิลีน ซึ่งโพรพิลีนและเอทิลีนจะโคพอลิเมอร์ร่วมกันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังคงมีอยู่ในอนุภาคของพอลิโพรพิลีนโฮโมพอลิเมอร์ จนกลายเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยางแทรกตัวอยู่ในพอลิโพรพิลีนโฮโมพอลิเมอร์อย่างสม่ำเสมอ และสามารถผสมกับโฮโมพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า “polypropylene impact copolymer” โดยจะมีความเป็นผลึกมากกว่าพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบคละ ทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตโพลีโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบบล็อก [7]

เอทิลีนในโพลีโพรพิลีนโคพอลิเมอร์แบบบล็อก จะช่วยทำให้ใช้งานโพลีเมอร์ผสมได้ที่อุณหภูมิต่ำลงมากกว่าโพลีโพรพิลีนโฮโมโพลีเมอร์ ซึ่งอาจต่ำถึง -45 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ เอทิลีนยังช่วยเพิ่มความเหนียว และความทนแรงกระแทก จึงทำให้โพลีโพรพิลีนบล็อกโคพอลิเมอร์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ (กันชนรถยนต์ ซี น ส่วนมอเตอร์ไซค์ เปลือกแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมไฟฟ้า (เครื่องซักผ้า โทรทัศน์) และผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กที่เน้นด้านความปลอดภัย นอกจากนี้สมบัติดังกล่าวมาแล้วโพลีโพรพิลีนบล็อกโคพอลิเมอร์ ยังไม่มีปัญหาเรื่องการหดตัว การแฉ่นตัว จึงเหมาะสำหรับงานฉีด และแผ่นพลาสติก เป็นต้น

3. ยางเอทิลีน-โพรพิลีน (ethylene-propylene rubber, EPR)

ยางเอทิลีน-โพรพิลีน เป็นโคพอลิเมอร์แบบคละของโพรพิลีนและเอทิลีน โดยโอเลฟินส์แต่ละชนิดจะมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยยางเอทิลีน-โพรพิลีน ในทางการค้าจะประกอบด้วยโพรพิลีนคิดเป็นร้อยละประมาณ 35 โดยโมล โคลิเมอร์ที่ผลิตได้เป็นโคพอลิเมอร์แบบคละและไม่มีบล็อกยาวๆของทั้ง เอทิลีน และโพรพิลีน ดังนั้น จึงเป็นอสังฐานอย่างสมบูรณ์

ยางเอทิลีน-โพรพิลีน เป็นโคพอลิเมอร์ที่ไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล ดังนั้น การวัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์จึงไม่สามารถทำได้ ซึ่งอาจแก้ไขได้ด้วยการใส่ส่วนที่ไม่มีตัวเข้าไปในโพลีเมอร์ในกระบวนการโคพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยมอนอเมอร์ตัวที่สามนี้ จะมีลักษณะเป็น non-conjugated diene ซึ่งพันธะคู่หนึ่งจะถูกใช้ในกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน ส่วนพันธะคู่ที่เหลือจะอยู่ในหมู่ด้านข้างของโมเลกุล เพื่อทำให้เกิดวัลคาไนเซชันต่อไปได้

4. เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (thermoplastic elastomer)

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ คือ วัสดุที่เมื่ออยู่ ณ อุณหภูมิปกติจะมีสมบัติเป็นอีลาสโตเมอร์ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถทำให้ไหลได้ ทำให้สามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการที่ใช้กับเทอร์โมพลาสติกทั่วไปได้ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จะประกอบด้วย 2 เฟสอยู่ร่วมกัน

ได้แก่ soft phase และ hard phase ทั้งนี้ เนื่องจากแต่ละเฟสมีจุดอ่อนตัวแตกต่างกัน และที่อุณหภูมิการใช้งาน ส่วนที่เป็น hard phase จะทำหน้าที่ยึดสายโซ่โมเลกุลของ soft phase เอาไว้ ทำให้วัสดุที่ได้มีสมบัติเป็นอิลาสโตเมอร์ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเหนือจุดอ่อนตัวของ hard phase จะทำให้ hard phase หายไปและวัสดุจะกลายเป็นของเหลวหนืด (viscous liquid) และเมื่อทำให้เย็นตัวลงส่วนที่เป็น hard phase จะเกิดขึ้นได้อีกครั้ง ทำให้วัสดุคืนกลับเป็นอิลาสโตเมอร์เช่นเดิม

การนำพอลิโพรพิลีนมาผสมร้อยละ 65 ของยางเอทิลีน-โพรพิลีน จะทำให้เกิดเป็นเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ ได้เช่นกัน โดยส่วนของบล็อกโพรพิลีนในยางเอทิลีน-โพรพิลีนจะเข้าร่วมในการเกิดสายโซ่โมเลกุลของโพรพิลีน โดยบริเวณที่เป็นผลึกเล็กๆ จะทำหน้าที่เชื่อมโยงส่วนที่เป็นยางกับส่วนของโพรพิลีน โดยยางจะมีลักษณะที่เป็นอนุภาคเล็กๆกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิโพรพิลีน

2.1.2 พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) [7-11]

พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกสังเคราะห์ประเภทเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ที่มีปริมาณการใช้งานมากที่สุด คือประมาณ 32% ของพลาสติกทั้งหมด เพราะมีสมบัติเด่นหลายประการได้แก่ ราคาถูก มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าดีเยี่ยม มีความทนทานต่อสารเคมีดีมาก ขึ้นรูปง่าย มีความเหนียว และยืดหยุ่น เป็นต้น โดยโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเอทิลีนเกิดจากเอทิลีนมอนอเมอร์ (ethylene monomer) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาว โครงสร้างของพอลิเอทิลีนแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของพอลิเอทิลีน [9]

พอลิเอทิลีนในทางการค้าส่วนใหญ่ได้จากการพอลิเมอไรซ์เอทิลีนมอนอเมอร์ ด้วยกระบวนการแบบรวมตัว (addition polymerization) เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นไปได้อันทั้งแบบเชิงเส้น (linear) และแบบกิ่งก้านสาขา (branched) ขึ้นกับกระบวนการผลิต การมีกิ่งก้านสาขาจะลดความสามารถในการเกิดผลึก ซึ่งมีผลไปถึงความหนาแน่น, จุดหลอมเหลว, ความแข็งตึง (stiffness) ความแข็งของพื้นผิว (surface hardness) และจุดอ่อนตัว (softening point) ต่ำกว่า แต่จะยอมให้แก๊สหรือไอน้ำ ซึมผ่านได้มากกว่า ซึ่งสมบัติเหล่านี้ ขึ้นกับ การมีกิ่งก้านสาขาของโมเลกุล แต่สมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ยังต้องคำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลอีกด้วย พอลิเอทิลีนมีความหนาแน่น 0.91-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถยืดตัวได้สูงถึง 5 เท่า ฉีกขาดยาก มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่เกาะติดน้ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ทนความร้อนได้น้อย แต่ทนความเย็นได้ถึง -70 องศาเซลเซียส โดยไม่ทำให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป ทนกรดและด่างอ่อน แต่เกิดปฏิกิริยา

ซ้ํากับ oxidizing acids ไม่ทนน้ำ ามันและไขมัน โดยเฉพาะน้ำ ามันก้าด น้ำ ามันเบนซิน สามารถสกัดกั้นน้ำ ามันและไอน้ำ ามันได้ดี แต่สกัดกั้นแก๊สไม่ดี จึงเหมาะสำหรับบรรจุอาหารสด เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อ เป็นต้น นิยมใช้ทำถุงบรรจุอาหารและเสื้อผ้า ตุ๊กตาเด็กเล่น ดอกไม้พลาสติก ภาชนะบรรจุเครื่องใช้ในครัว ถาดน้ำ แข็งในตู้เย็น ภาชนะบรรจุของเหลว พลาสติกคลุมโรงเพาะชำ ขวด และของใช้ราคาถูกอีกมากมาย

หากจะแบ่งประเภทของพอลิเอทิลีนตามความหนาแน่น อาจแบ่งได้เป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) มีความหนาแน่น 0.91-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (medium density polyethylene, MDPE) มีความหนาแน่น 0.925-0.926 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) มีความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ลักษณะทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ[10]

สมบัติ	LDPE	MDPE	HDPE
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.91-0.925	0.925-0.926	0.941-0.965
ปริมาตร (in ² /lb)	30.25	29.8	29.2
ความต้านแรงดึง (psi)	1,000-2,300	1,200-3,500	3,100-5,500
ความทนแรงกระแทก	ไม่ฉีกขาด	0.5-16.0	0.8-20
ทนความร้อน (°F)	180-220	220-250	250
ความสามารถดูดความชื้น 24 ชม. (%)	0.015	0.01	0.01
ความง่ายต่อการตีไฟ (in/min)	1.04	1.02	1.02
ทนแสงแดด	พอใช้	พอใช้	พอใช้
ทนกรดอ่อน	ไม่ดี	ได้	ได้
ทนกรดแก่	ไม่ทน oxidizing acids	ถูกทำลายอย่างช้าๆ จาก oxidizing acids	ถูกทำลายอย่างช้าๆ จาก oxidizing acids
ทนด่างอ่อน-แก่	ได้	ได้	ได้
ทนสารละลายอินทรีย์	ได้ต่ำกว่า 140°C	ได้ต่ำกว่า 140°C	ได้ต่ำกว่า 170°C

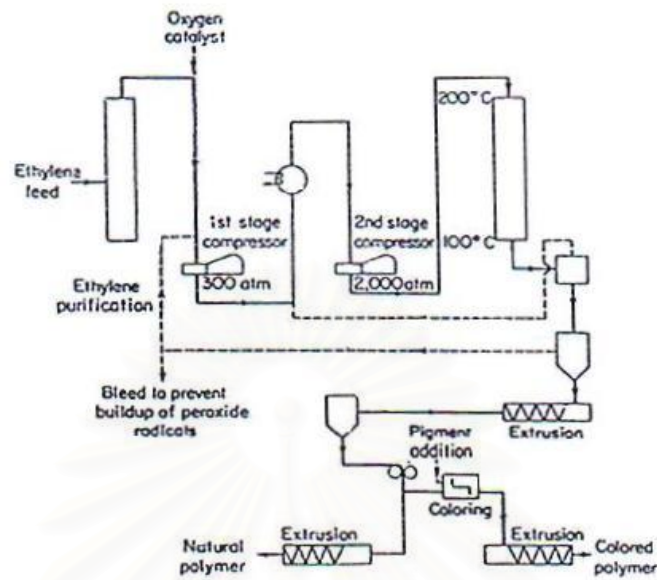
2.1.2.1 กระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [7]

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่ถูกผลิตขึ้นในทางการค้าในปี ค.ศ. 1939 โดยบริษัทอิมพีเรียลเคมีคัลอินดัสตรี (ICI) ประเทศอังกฤษ ในการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะใช้กระบวนการความดันสูง (high pressure process) ปกติใช้ความดัน 1,000-3,000 บรรยากาศ อุณหภูมิ 80-300 องศาเซลเซียส กระบวนการพอลิเมอไรเซชันเริ่มจากการใส่เอทิลีนมอนอเมอร์ และตัวเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งแตกตัวให้ฟรีเรดิคัล (free-radical) ได้แก่ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide, BPO) อะโซบิสไอโซบิวไทโรไนไตรล์ (azo-di-isobutyronitrile, AIBN) เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ (reactor) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนที่สูงมาก จึงต้องมีการระบายความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพสูง เช่น ใช้น้ำหรือของเหลวเฉื่อย (inert liquid) เช่น เบนซีนไหลผ่านท่อเพื่อช่วยระบายความร้อน มอนอเมอร์จะเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ในอัตราส่วนร้อยละ 10-30 แล้วแยกพอลิเอทิลีนออกจากเอทิลีนมอนอเมอร์ แล้วนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ได้มาอัดรีด และตัดเป็นเม็ดต่อไป

ลักษณะเฉพาะของการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำภายใต้ความดันสูงคือ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนสูงมาก ปฏิกิริยานี้ จะขึ้นกับความเข้มข้นของมอนอเมอร์จึงกล่าวได้ว่าการใช้มอนอเมอร์ที่มีความเข้มข้นสูงๆ ทำปฏิกิริยาที่ความดันสูง ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีกิ่งก้านสาขา ซึ่งกิ่งก้านสาขาที่เกิดขึ้น จะไม่ยาวนักมีคาร์บอนเพียง 2-4 อะตอม

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความดัน ชนิดของตัวเริ่มปฏิกิริยา ตัวย้ายโซ่ (chain transfer agent) และการใส่ตัวเริ่มปฏิกิริยาเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่ตำแหน่งต่างๆกัน ทำให้ได้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีลักษณะแตกต่างกัน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ได้จะมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา ทำให้เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ความหนาแน่นต่ำ รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพการเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในเครื่องปฏิกรณ์ที่ความดันสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

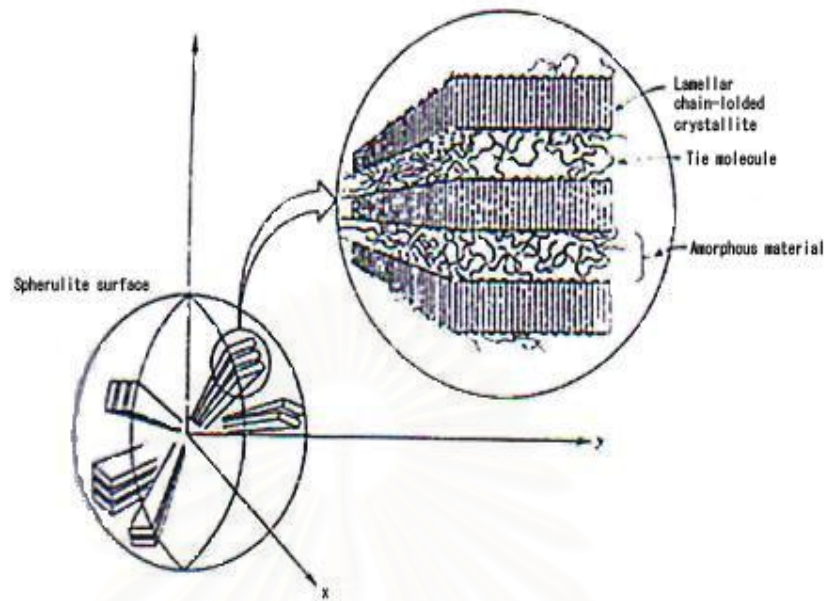


รูปที่ 2.8 ภาพการเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในเครื่องปฏิกรณ์ที่ความดันสูง[11]

2.1.2.2 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขาแยกออกจากสายโซ่โมเลกุลหลักมากมาย ซึ่งมีทั้งกิ่งสั้น (short chain branch, SCB) และกิ่งยาว (long chain branch, LCB) กระจายปนกันอย่างไม่เป็นระเบียบตลอดความยาวของสายโซ่โมเลกุล ทำให้มีความหนาแน่นต่ำ โมเลกุลจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ และไม่สม่ำเสมอ จึงมีลักษณะค่อนข้างใส และมีความเหนียวพอสมควร นอกจากนี้ สมบัติต่างๆ ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (average molecular weight) ปริมาณการเกิดผลึก (crystallinity) และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight distribution) อีกด้วย

เมื่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำอยู่ในสถานะของแข็ง จะมีโครงสร้างสเฟียรูไลต์ (spherulite) โดยโมเลกุลของพอลิเมอร์จะพับไปพับมาในบริเวณที่เกิดผลึกและมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ (platelet) ซ้อนเป็นชั้นๆ (lamellar) บริเวณอสัณฐานซึ่งเกิดจากกิ่งก้านสาขาสั้นๆ ไปรบกวนการพับไปพับมาของโมเลกุล โครงสร้างสเฟียรูไลต์แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างสเฟียรูไลต์ [12]

นอกจากนี้ ขนาดของผลึกและการกระจายขนาดของผลึก ยังมีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์อีกด้วย กล่าวคือ พอลิเมอร์ที่มีสเฟียรูไลต์ขนาดเล็กจะมีความต้านแรงกระทำสูงกว่าขาดยากและเหนียวกว่าพอลิเมอร์ที่มีสเฟียรูไลต์ขนาดใหญ่

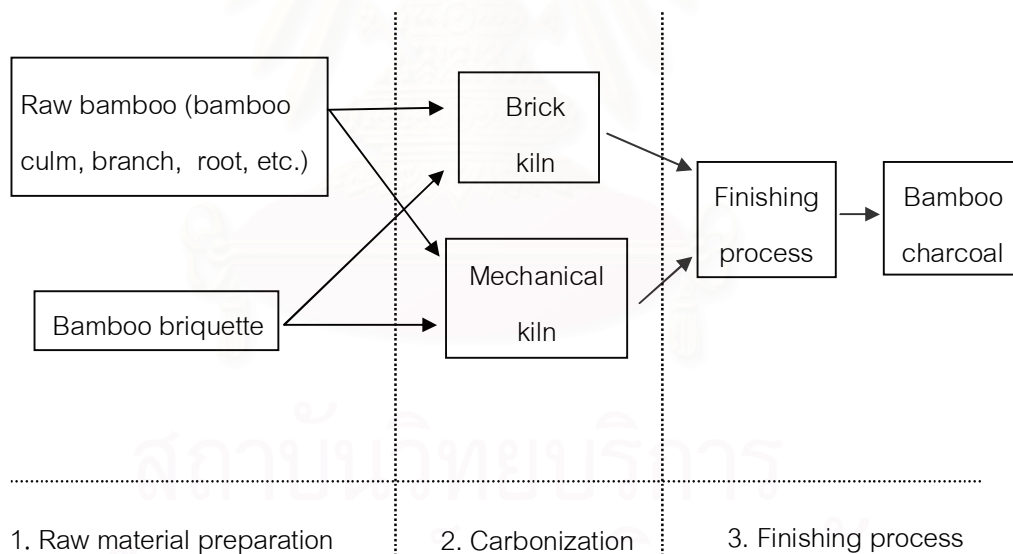
กิ่งยาวๆ ของพอลิเมอร์ชนิดความหนาแน่นต่ำมีอิทธิพลต่อการเกิดผลึกและความหนาแน่นน้อยมาก แต่จะมีผลทำให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์มีค่าสูง ทั้งนี้ เพราะกิ่งยาวๆ จะเพิ่มการพันกันของสายโซ่โมเลกุล (entanglement) ซึ่งเมื่อนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีกิ่งยาวๆ จำนวนมากไปผ่านกระบวนการเป่าฟิล์มจะทำให้เสถียรภาพของลูกโป่ง (bubble stability) เพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีกิ่งยาวๆ จำนวนน้อย กล่าวคือ ลูกโป่งไม่แตกง่ายขณะเป่าฟิล์ม

โดยสรุปสมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ คือ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.91-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง มีกิ่งก้านสาขาภายในโมเลกุลมาก เป็นพอลิเมอร์ออสฐาน มีความใส ความอ่อนตัว สามารถต้านแรงดึงและแรงกระทำพอสมควร มีการไหลตัวดี พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสามารถนำไปทำฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ถุงพลาสติก ฝาพลาสติกที่ทำของใช้ในบ้านในครัว ของเด็กเล่น ใช้หุ้มลวดไฟฟ้า และใช้ในงานก่อสร้าง เป็นต้น

2.2 ถ่านไม้ไผ่ (Bamboo Charcoal) [13-14]

ในประเทศไทยได้มีการผลิตถ่านไม้ไผ่ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงมาเป็นเวลานานมาแล้ว ซึ่งวิธีการผลิตถ่านไม้ไผ่ที่ใช้กันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันที่หลายคนคงเคยพบเห็นคือ การที่ชาวบ้านจะตัดต้นไม้ไผ่ทั้งที่อยู่ในที่ของตนเองและในป่าไม้ธรรมชาติมาเผา โดยการนำท่อนไม้มาวางเรียงแล้วจุดไฟ จากนั้นจึงใช้ดินหรือแกลบกลบ ปล่อยให้ลุกไหม้แล้วนำถ่านออกมาดับด้วยน้ำ และมักจะย้ายที่ผลิตไปเรื่อยๆ ตามแต่ที่ที่ไหนจะมีไม้ให้เผา เมื่อไม้หมดก็จะย้ายไปผลิตที่อื่นต่อ การผลิตถ่านไม้ไผ่จึงถูกมองว่าเป็นการตัดไม้ทำลายป่าและสร้างมลพิษ เมื่อการผลิตถ่านไม้ไผ่ถูกมองว่าเป็นการตัดไม้ทำลายป่า อีกทั้งกฎระเบียบต่างๆที่เกี่ยวกับป่าไม้ก็ไม่เอื้ออำนวยให้เกิดแรงจูงใจในการพัฒนาวิธีการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้น การศึกษาทำความเข้าใจ การวิจัยพัฒนาคุณภาพและผลผลิตของถ่านไม้ไผ่รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ จึงมีน้อยมาก

การผลิตถ่านไม้ไผ่เพื่อสุขภาพในประเทศไทย อาจกล่าวได้ว่าเป็นแบบก้าวกระโดด คือแตกต่างจากการเผาถ่านที่คนไทยทั่วไปรู้จักเป็นอย่างมาก เนื่องจากการผลิตถ่านไม้ไผ่เพื่อสุขภาพนั้น เป็นการนำเทคโนโลยีจากประเทศญี่ปุ่นมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถเผาถ่านไม้ไผ่ในอุณหภูมิที่สูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียสได้ โดยกรรมวิธีการผลิตทำถ่านไม้ไผ่ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.10

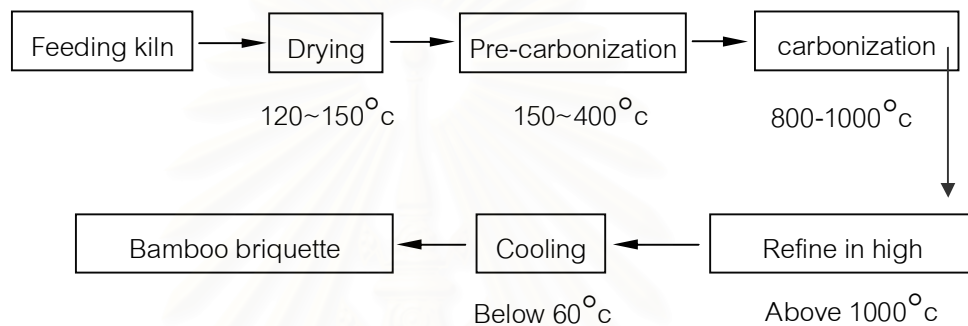


รูปที่ 2.10 กระบวนการผลิตถ่านไม้ไผ่ [14]

โดยกระบวนการผลิตถ่านไม้ไผ่แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

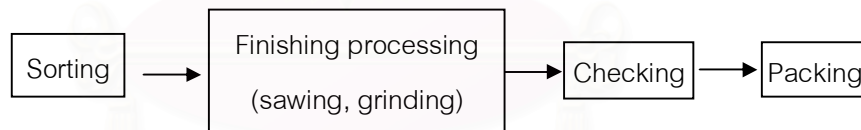
1) Raw material preparation เป็นการเตรียมวัตถุดิบในการทำถ่านไม้ไผ่ โดยวัตถุดิบที่ใช้จะใช้ส่วน ลำต้น กิ่ง หรือรากของต้นไผ่ที่มีอายุ 4 ปีขึ้นไป โดยนำไปอบให้ปริมาณความชื้น น้อยอยู่ในช่วง 15-20 เปอร์เซ็นต์

2) Carbonization เป็นขั้นตอนที่นำไม้ไผ่ที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้เกิดคาร์บอน ซึ่งกระบวนการทำ carbonization แสดงไว้ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แผนผังกระบวนการ Carbonization [14]

3) Finishing process เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการทำถ่านไม้ไผ่โดยแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แผนผังกระบวนการ Finishing process [14]

โดยจีนและญี่ปุ่น ได้ทำการวิจัยถ่านไม้ไผ่ ที่ผ่านการผลิตด้วยอุณหภูมิภายในเตามากกว่า 1,000 องศาเซลเซียส พบว่ามีคุณสมบัติสามารถให้กำเนิดและปลดปล่อยประจุลบ (negative ions) และอินฟราเรดยาว (far infrared ray) ซึ่งประจุลบมีผลดีต่อร่างกายคือสามารถที่จะเปลี่ยนอนุมูลอิสระให้กลายเป็นออกซิเจนได้ โดยการเข้าไปจับตัวกับอนุมูลนี้ ๆ ซึ่งหากเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ขึ้น ภายในร่างกายของเราจะทำให้ออกซิเจนภายในร่างกายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมองปลอดโปร่งขึ้น ระบบการไหลเวียนโลหิตในร่างกายดีขึ้น ทำให้ร่างกายสามารถขับสารตกค้างต่างๆออกไปได้ง่าย สุขภาพร่างกายดีขึ้น

นอกจากนี้ ยังพบว่าถ่านไม้ไผ่ที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตด้วยอุณหภูมิภายในเตามากกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จะแตกต่างจากถ่านทั่วไปคือ สามารถไล่สารก่อมะเร็งออกหมด และเป็นการเผาแบบไล่ความชื้น ออกหมด ทำให้ได้ถ่านไร้ควันและมีลักษณะพิเศษดังนี้ มีรูพรุนมากกว่า หากนำมาแผ่กระจายออกเป็นพื้นที่จะได้พื้นที่มากถึง 300 ถึง 700 ตารางเมตรต่อกรัม (ถ่านไม้ทั่วไปจะได้พื้นที่ประมาณ 50 ตารางเมตรต่อกรัม) มีค่าความต้านทานไฟฟ้า (resistance) ต่ำ (ไม่เกิน 100 โอห์ม) และมีคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) สูงมากกว่า ร้อยละ 85

จากสมบัติดังกล่าว ถ่านไม้ไผ่ จึงถูกนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพในหลากหลายรูปแบบเป็นที่นิยมมากในประเทศญี่ปุ่นและมีราคาแพงเช่น

1. ใช้เป็นวัสดุตกแต่งบ้านเรือน ช่วยฟอกอากาศ ดูดกลิ่น ความชื้น
2. ทิ้งลงในแม่น้ำ ลำคลองลดการเน่าเสียของน้ำ ช่วยบำบัดน้ำเสีย เพิ่มแร่ธาตุแคลเซียม โฟสเฟตเซียม แมกนีเซียม ฯลฯ
3. แช่น้ำดื่ม ช่วยดูดซับคลอรีน และสิ่งที่มีพิษ เพิ่มแร่ธาตุ
4. ใส่หม้อหุงข้าวขณะหุงข้าว ช่วยดูดซับกลิ่นเหม็นอับของข้าวสารเก่า และสิ่งที่มีพิษ เพิ่มแร่ธาตุ เพิ่มรสและความนุ่ม
5. ใส่ในอ่างอาบน้ำ ช่วยดูดซับคลอรีน และสิ่งที่มีพิษ เพิ่มแร่ธาตุ ซึ่งมีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ ขำระล้างผิวหนัง กระตุ้นการไหลเวียนของเลือด ช่วยให้ร่างกายสดชื่น
6. ใส่ไว้ในที่นอน ได้เตียง ในห้องนอน ช่วยฟอกอากาศ ดูดกลิ่น ความชื้น กระตุ้นการไหลเวียนของเลือด จิตใจสงบในขณะที่พักผ่อนและช่วยให้นอนหลับได้ดี ร่างกายสดชื่น
7. ดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (absorption of electromagnetic wave) ช่วยดูดซับและลดการแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจาก ทีวี คอมพิวเตอร์ จอมอนิเตอร์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆที่เปิดใช้งานอยู่ภายในบ้านและสถานที่ทำงาน
8. ฟอกและปรับอากาศ ได้เตียงนอน และได้อาคารบ้านเรือน ช่วยดูดซับความชื้นในฤดูที่มีความชื้นสูง และคลายความชื้นในฤดูที่มีความแห้งแล้ง
9. ใช้ผสมอาหารสัตว์ ช่วยเพิ่มแร่ธาตุ ดูดซับสารพิษ กำจัดแบคทีเรียในระบบทางเดินอาหาร ลดกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์
10. ใช้ผสมดินเพื่อการเพาะปลูก ช่วยปรับสภาพของดิน เพิ่มแร่ธาตุที่พืชต้องการ
11. ใส่ในตู้เย็น ช่วยดูดกลิ่น ช่วยให้ผักสดเก็บไว้ได้นานวันขึ้น ถ่านไม้ไผ่จะดูดซับก๊าซที่ผักและผลไม้คายออกมาซึ่งมีผลให้ผักและผลไม้เน่าเสีย
12. ใส่ในถังข้าวสาร ช่วยดูดกลิ่น ความชื้น ป้องกันมอด และแมลงต่างๆ
13. ใส่ไว้ในแจกันหรือกระถางดอกไม้ ทำให้เกิดออกไซด์ เพิ่มออกซิเจนและแร่ธาตุ แคลเซียม โฟสเฟตเซียม แมกนีเซียม ฯลฯ ให้กับน้ำในแจกันหรือกระถางดอกไม้

14. ใส่ในตู้กระจกหรืออ่างล้างจาน ช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำ เพิ่มแร่ธาตุ ทำให้น้ำใสสะอาด ช่วยเร่งการตกตะกอนของฝู่ นละองในน้ำ

15. ทำห้องบำบัดสุขภาพ ช่วยฟอกอากาศภายในห้อง ดูดกลิ่น ความชื้น ปลอดภัย ประจุลบ และ อินฟราเรดยาว ซึ่งมีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ

จะเห็นได้ว่าประโยชน์ของท่านไม้ไฟในด้านสุขภาพมีมากมาย แต่ยังไม่เคยมีการนำเอามาประยุกต์ใช้กับพอลิเมอร์จึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะนำเอาข้อดีของท่านไม้ไฟ ในด้านการมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำและโครงสร้างที่เป็นรูพรุนสูง มาใช้ปรับปรุงสมบัติพอลิโพลีเอทิลีนที่มีจุดด้อยในด้านความต้านทานไฟฟ้าสูง และการดูดซับน้ำ ได้น้อยมาก

2.3 วัสดุเชิงประกอบ (composite material) [2,12]

วัสดุเชิงประกอบ หมายถึงวัสดุที่ประกอบด้วยส่วนผสมที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มีเฟสที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 เฟส (phase) ขึ้นไป และสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างเฟสได้ แม้ในระดับจุลภาค (microscopic)

2.3.1 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. วัสดุเชิงประกอบที่ผสมด้วยตัวเติมชนิดเป็นอนุภาค (particulate filled composite) ประกอบด้วยเฟสต่อเนื่อง ซึ่งเป็นเฟสส่วนใหญ่ของระบบและเฟสของตัวเติมซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาค เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง

2. วัสดุเชิงประกอบที่ผสมด้วยตัวเติมชนิดเส้นใย (fiber filled composite)

3. วัสดุเชิงประกอบแบบประสานเป็นโครงร่างแห (interpenetrating network composite) ประกอบด้วยเฟสที่ต่อเนื่อง 2 เฟส

วัสดุที่ผลิตขึ้นจากสารพอลิเมอร์เพื่อใช้ในการการค้า ส่วนมากจะเป็นประเภทวัสดุเชิงประกอบ เช่น พอลิเมอร์ผสม (polyblend) สารอะครีโลไนไตรล์ บิวตาไดอีน สไตรีน (acrylonitrile butadiene styrene: ABS) โฟม พอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมสารเติมแต่งต่างๆ ตามประเภทการใช้งาน ยางผสมสารเติมแต่ง เทอร์โมเซตติงเรซินผสมตัวเติม และพลาสติกผสมเส้นใยแก้ว เป็นต้น

สาเหตุที่นิยมใช้วัสดุเชิงประกอบมากกว่าพอลิเมอร์เนื้อเดียว เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบของสารพอลิเมอร์มีข้อดีเหนือกว่าพอลิเมอร์เนื้อเดียวหลายประการ เช่น

- เพิ่มความแข็งตึง ความแข็งแรง และคงรูปร่างได้ดีกว่า
- เพิ่มความเหนียว และความต้านทานแรงกระแทก
- ทำให้อุณหภูมิการบิดตัวสูงขึ้น
- ลดการซึมผ่านของแก๊ส และไอน้ำ
- ปรับปรุงสมบัติด้านไฟฟ้า
- ลดต้นทุนการผลิต เป็นต้น

วัสดุเชิงประกอบชนิดหนึ่งๆ อาจมีทั้งข้อดีบางประการดังกล่าว ขณะเดียวกันอาจมีข้อเสียด้วย ดังนั้น ในการใช้งานต้องพิจารณาทั้งข้อดีและข้อเสียของวัสดุแต่ละชนิดเสียก่อน ข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบ เช่น ความหนืดเพิ่มขึ้น การขึ้นรูปยากและอาจทำให้สมบัติทางกลและทางฟิสิกส์บางประการลดลง เป็นต้น สมบัติของวัสดุประกอบขึ้นอยู่กับสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ เช่น ลักษณะตัวเติม ลักษณะของสัณฐานวิทยา (morphology) ของระบบ และลักษณะผิวสัมผัสระหว่างเฟสที่แตกต่างกัน เป็นต้น

2.3.2 ปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์และตัวเติม (polymer-filler interaction)

ปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์และตัวเติม มี 4 แบบ คือ

1. อนุภาคเดี่ยวและอนุภาคที่รวมตัวเป็นกลุ่มของตัวเติม อยู่ในเนื้อพอลิเมอร์โดยไม่เกิดปฏิกริยาใดๆ ลักษณะนี้ ตัวเติมจะทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ลดลง
2. อนุภาคของตัวเติมกระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์จะเคลือบที่ผิวของตัวเติม ลักษณะแบบนี้ จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการยึดตัวลดลง ซึ่งเป็นลักษณะการผสมตัวเติมเพื่อลดต้นทุนการผลิต
3. เกิดการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์และผิวของอนุภาคตัวเติม ด้วยแรงอ่อนๆโดยทำให้มีความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น ซึ่งในกรณีนี้ ตัวเติมจะมีลักษณะเป็นวัสดุเสริมแรง
4. เกิดพันธะทางเคมีระหว่างพอลิเมอร์และผิวของอนุภาคตัวเติม ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น ซึ่งกรณีนี้ ตัวเติมจะมีลักษณะเป็นวัสดุเสริมแรง

2.3.3 วัสดุเชิงประกอบที่ผสมระหว่างพอลิเมอร์กับตัวเติมชนิดเป็นอนุภาค (particulate-filled composite)

วัสดุเชิงประกอบที่ผสมระหว่างพอลิเมอร์กับตัวเติมชนิดเป็นอนุภาคนี้ จะมีเฟสต่อเนื่องเป็นพอลิเมอร์ผสมกับตัวเติมซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคแข็ง โดยอิทธิพลของตัวเติมที่มีลักษณะเป็นอนุภาคต่อสมบัติของพอลิเมอร์มีหลายประการ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก ความแข็ง การหดตัว เป็นต้น

2.3.3.1 อิทธิพลของตัวเติมชนิดเป็นอนุภาคต่อสมบัติด้านความแข็งแรงและพฤติกรรมความเค้น-ความเครียด (stress-strain behavior) ของพอลิเมอร์

ตัวเติมชนิดเป็นอนุภาคแข็ง เมื่อผสมในพอลิเมอร์จะทำให้ค่ามอดุลัสซึ่งวัดจากความชัน (slope) ในช่วงแรกของกราฟความเค้น-ความเครียดเพิ่มขึ้น โดยจะปรากฏเพิ่มขึ้น อย่างเด่นชัดเมื่อมีการยึดเกาะระหว่างผิวสัมผัสของเฟสที่แตกต่างกันดี โดยปกติการผสมตัวเติมจะทำให้ค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของวัสดุเชิงประกอบ และความต้านทานแรงดึงลดลง เมื่อปริมาณตัวเติมเพิ่มขึ้น แต่อาจมีข้อยกเว้นได้สำหรับความต้านทานแรงดึง เช่น กรณีผสมผงเขม่าดำในยางจะทำให้ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น เป็นต้น รูปแบบกราฟความเค้น-ความเครียดของยางพอลิยูรีเทนผสมเกลือหิน (rock salt) แสดงในรูปที่ 2.13 ปรากฏว่าเมื่อปริมาณตัวเติมเพิ่มขึ้น ร้อยละการยืดตัวและความเค้นจะลดลง

ค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด (ϵ_B) ของวัสดุประกอบจะลดลง เมื่อปริมาณตัวเติมชนิดอนุภาคแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดที่เกิดขึ้นเป็นการยืดตัวของพอลิเมอร์ทั้งหมด ซึ่งถ้าหากการยึดเกาะระหว่างเฟสแข็งแรง และรอยแตกมีทิศทางที่จะวิ่งจากอนุภาคหนึ่งไปสู่อีกอนุภาคหนึ่ง ทำให้ผิวรอยแตกที่เกิดขึ้นมีลักษณะหยาบ (rough fracture surface) จะสามารถคำนวณค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมตัวเติมชนิดแข็งได้จากสมการ 2.1

$$\epsilon_B = \epsilon_B^0 (1 - \phi_2^{1/3}) \quad (2.1)$$

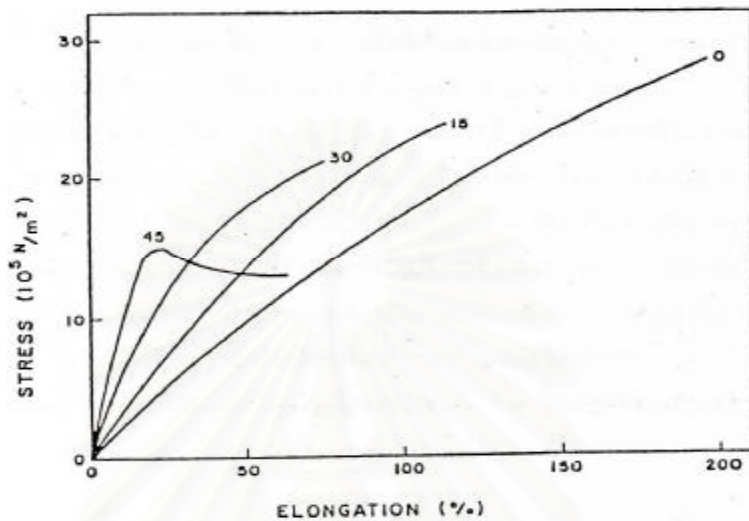
เมื่อ ϵ_B คือ ค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมตัวเติมชนิดแข็ง

ϵ_B^0 คือ ค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของพอลิเมอร์

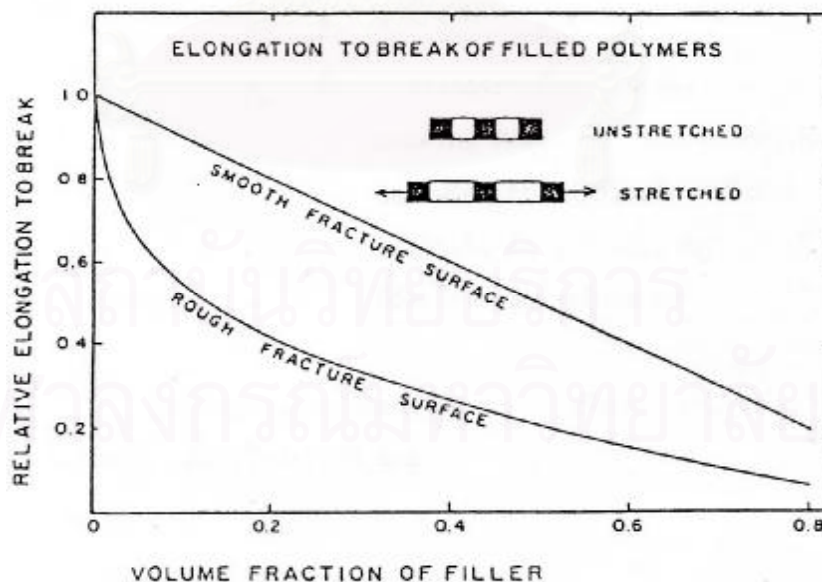
ϕ_2 คือ สัดส่วนของตัวเติมโดยปริมาตร (volume fraction of filler)

สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเติมกับค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดจากสมการ 2.1 ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมตัวเติมจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เมื่อปริมาณตัวเติมเพิ่มขึ้น นิดหน่อย แต่ถ้าหากการยึดเกาะระหว่างเฟสไม่ดีหรือผิวรอยแตกเรียบ (smooth fracture surface) แล้วค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดจะ

ลดลงที่ละน้อยสม่ำเสมอกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการ 2.1 ในบางกรณีตัวเติมอาจเป็นสาเหตุให้เกิดรอยแตกบนผิว (craze) และหยุดรอยแตกได้ ซึ่งในกรณีนี้ พอลิเมอร์ที่ผสมตัวเติมชนิดอนุภาคแข็งจะมีค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดเท่ากับหรือสูงกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมตัวเติมได้



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเติมเกลือหิน (rock salt) ที่มีต่อค่าร้อยละการยืดตัวและความเค้นของยางพอลิยูรีเทน (หมายเลขบนกราฟ หมายถึงปริมาณสัดส่วนตัวเติมโดยปริมาตร) [2]



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเติม ที่มีต่อค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมตัวเติมตามทฤษฎี เมื่อแรงยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์และตัวเติมดี [2]

สำหรับในกรณีของยางหรือพอลิเมอร์ประเภทเหนียว (ductile polymer) การผสมตัวเติม จะทำให้เกิดแรงดึง ณ จุดคราก (yield point) ในกราฟความเค้น-ความเครียดขึ้น ปรากฏการณ์ ณ จุดครากนี้ อาจเกิดจากอิทธิพลของรอยแตกบนผิวหรืออิทธิพลของการแยกออกจากกัน ณ ผิวสัมผัสระหว่างเฟส (dewetting effect) ทำให้ค่ามอดุลัสของสารลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกัน ก็เกิดช่องว่าง (void) ขึ้นในตัวอย่างด้วย การเกิดจุดครากเมื่อปริมาณตัวเติมเพิ่มมากขึ้น ได้แสดงในรูปที่ 2.13 จุดครากหรือพฤติกรรมการแยกตัวระหว่างเฟสจะขึ้นอยู่กับการที่ผิวของตัวเติมในพอลิเมอร์และเป็นฟังก์ชันของสัดส่วนโดยปริมาตรของตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบ (ϕ_2)^{2/3} ถ้าหากในวัสดุเชิงประกอบเมื่อได้รับแรงดึงแล้วเกิดช่องว่างเล็กๆ ขึ้นมาเพียงพอ ก่อนที่จะเกิดการแตก จะสามารถคำนวณความเค้น ณ จุดคราก ได้จากสมการ 2.2

$$\sigma_y = \sigma_y^0 [1 - (\phi_2 / \phi_m)^{2/3}] \quad (2.2)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น ณ จุดครากของพอลิเมอร์ผสมตัวเติมชนิดแข็ง

σ_y^0 คือ ความเค้น ณ จุดครากของพอลิเมอร์

ϕ_2 คือ สัดส่วนของตัวเติมโดยปริมาตร

ϕ_m คือ สัดส่วนการรวมตัวสูงสุด (maximum packing fraction) ของอนุภาคตัวเติมโดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณที่แท้จริงของตัวเติม กับ ปริมาตรปรากฏของตัวเติมที่อัดแน่น เมื่อนำหนักเท่ากัน

พฤติกรรมด้านความเค้น-ความเครียด ของพอลิเมอร์ผสมตัวเติมสามารถปรับปรุงได้ โดยการใส่สารช่วยให้เกิดการยึดเกาะระหว่างเฟส ประเภทซิลเลน (silane coupling agent) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับทั้ง 2 เฟส ช่วยให้การยึดเกาะระหว่างผิวสัมผัสของเฟสดีขึ้น และเพิ่มความต้านทานแรงดึง

ถึงแม้ว่าขนาดของอนุภาคจะมีอิทธิพลต่อค่ามอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบน้อยมาก โดยเฉพาะเมื่ออนุภาคไม่รวมตัวเป็นกลุ่ม แต่ขนาดอนุภาคจะมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงมาก โดยที่ความต้านทานแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง สาเหตุของปรากฏการณ์นี้ ยังคลุมเครืออยู่ แต่มีเหตุผลบางประการที่สนับสนุนปรากฏการณ์นี้ เช่น พื้นที่ผิวสัมผัสต่อหน่วยของตัวเติมจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง และเมื่อผิวสัมผัสระหว่างเฟสแยกตัวออกจากกันจะเกิดช่องว่างขึ้น ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่ เมื่อแยกตัวออกจากเฟสของพอลิเมอร์ จะปรากฏเป็นช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่าการแยกตัวของอนุภาคขนาดเล็กกว่า ช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ความ

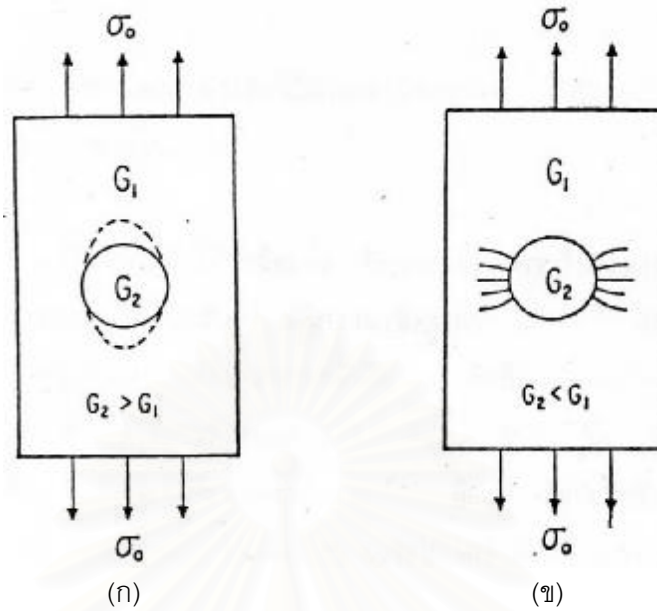
แข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบลดลงมากขึ้น อิทธิพลของขนาดอนุภาคที่มีต่อสมบัติด้านความเค้น-ความเครียดของวัสดุเชิงประกอบแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขนาดอนุภาคที่มีต่อสมบัติด้านความเค้นความเครียดของวัสดุเชิงประกอบ [2]

ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละโดยปริมาตร)	ความต้านทานแรงดึง (ปอนด์/ตารางนิ้ว)	ร้อยละ การยึดตัวเมื่อขาด
33-40	41	12.6	106
50-60	41	12.1	104
90-105	42	11.4	73
210-300	42	4.8	42
300-480	42	3.8	36

การรวมตัวเป็นกลุ่มของอนุภาคเป็นสาเหตุให้ความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบลดลง เนื่องจากสามารถแตกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำ และจะมีลักษณะเป็นจุดรวมความเครียด (stress concentration) ในวัสดุเชิงประกอบ ดังนั้น ถ้าหากตัวเติมรวมตัวเป็นกลุ่มที่มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคที่แท้จริงในวัสดุเชิงประกอบแล้ว ตัวเติมเหล่านี้ จะทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบลดลง การผสมตัวเติมที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดกับพอลิเมอร์หลอมเหลวที่มีความหนืดสูงให้เป็นเนื้อเดียวกันนั้นทำได้ยากมาก วัสดุเชิงประกอบทั่วไปมักมีอากาศแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคของตัวเติม ที่รวมตัวเป็นกลุ่มอยู่ในพอลิเมอร์ ทำให้ความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบต่ำกว่าที่คาดหมาย และมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบ โดยที่ความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบจะลดลง เมื่อปริมาณอากาศที่แทรกอยู่ในกลุ่มของตัวเติมเพิ่มขึ้น ดังนั้นการผสมตัวเติมกับพอลิเมอร์ให้ได้วัสดุที่มีสมบัติที่ดีต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญ ประการคือ ผสมให้ตัวเติมที่รวมตัวเป็นกลุ่มอยู่แตกตัวและกระจายตัวได้ดีในเฟสของพอลิเมอร์ รวมทั้งทำให้อากาศที่แทรกอยู่ระหว่างตัวเติมออกไปจากวัสดุเชิงประกอบให้มากที่สุด

การให้แรงดึงกับวัสดุเชิงประกอบของพอลิเมอร์ผสมตัวเติม ที่มีค่ามอดุลัสแตกต่างกันจะเกิดปรากฏการณ์ที่ต่างกัน คือ กรณีพอลิเมอร์ที่มีค่ามอดุลัสต่ำกว่าตัวเติม เมื่อให้แรงดึงปรากฏว่าจะเกิดการแยก ณ ผิวสัมผัส ระหว่างเฟสของตัวเติมกับพอลิเมอร์ในทิศทางของแรงดึง และเกิดเป็นช่องว่างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก) แต่ถ้าในกรณีที่พอลิเมอร์มีค่ามอดุลัสสูงกว่าตัวเติมแล้ว เมื่อให้แรงดึงจะเกิดการร้าว ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคตั้งฉากกับทิศทางแรงดึง ดังรูปที่ 2.15 (ข)



รูปที่ 2.15 ลักษณะปรากฏในวัสดุเชิงประกอบเมื่อให้แรงดึง[2]

- (ก) เมื่อพอลิเมอร์มีค่ามอดุลัสต่ำกว่าตัวเติม จะเกิดการแยก ณ ผิวสัมผัสระหว่างเฟสของตัวเติมกับพอลิเมอร์ในทิศทางของแรงดึง
- (ข) เมื่อพอลิเมอร์มีค่ามอดุลัสสูงกว่าตัวเติม จะเกิดการร้าวในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคตั้งฉากกับทิศทางแรงดึง

2.3.3.2 อิทธิพลของตัวเติมชนิดเป็นอนุภาคที่มีต่อสมบัติด้านความต้านทานแรงกระทำของพอลิเมอร์

ตัวเติมชนิดแข็งที่ผสมในพอลิเมอร์ที่แข็ง (rigid polymer) มักจะทำให้ความต้านทานแรงกระทำของพอลิเมอร์ลดลง ซึ่งความต้านทานแรงกระทำนี้ จะขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์ ๒ ประการ คือ การแยกตัว ณ ผิวสัมผัสระหว่างเฟสที่แตกต่างกันและการร้าว แต่ถ้าหากผสมพอลิเมอร์ที่แข็งกับตัวเติมประเภทซิลิกาไดออกไซด์ เช่น ยางและเกิดการยึดเกาะที่ติระหว่างเฟสแล้ว จะทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความต้านทานแรงกระทำสูงขึ้น

2.3.3.3 อิทธิพลของตัวเติมชนิดเป็นอนุภาคที่มีต่อสมบัติด้านความแข็งและการขัดสี (wear) ของพอลิเมอร์

เนื่องจากตัวเติมชนิดแข็ง มีความแข็งสูงกว่าพอลิเมอร์มาก เมื่อนำมาผสมเป็นวัสดุเชิงประกอบจึงได้วัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งสูงกว่าพอลิเมอร์ สมบัติที่สอดคล้องกับความแข็งของวัสดุเชิงประกอบ อีกประการหนึ่งคือ การขัดสี ซึ่งสมบัติด้านการขัดสีนี้ มีความสำคัญมากในการนำไปใช้งานลักษณะต่างๆ เช่น ทำยางปูพื้น น ผลิตเป็นยางล้อรถยนต์ เป็นต้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขัดสี คือ สัมประสิทธิ์ ความเสียดทาน (coefficient of friction) และลักษณะของอนุภาคตัวเติม เช่น พอลิเอสเตอร์ฟลูออโรเอทิลีนผสมอลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งอนุภาคมีลักษณะผิวขรุขระ จะมีอัตราการสึกหรอสูงกว่าพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันที่มีลักษณะกลม การผสมตัวเติมที่มีลักษณะอนุภาคขรุขระร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก กับพอลิเมอร์ จะได้วัสดุเชิงประกอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมตัวเติมชนิดมีอนุภาคกลมประมาณ 2 เท่า เป็นต้น

2.3.4 ตัวเติม (filler)

ตัวเติม หมายถึง สารเติมแต่งซึ่งเป็นของแข็งที่ถูกใช้ผสมในพลาสติก เพื่อลดต้นทุนการผลิตหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพลาสติก ตัวเติมที่นิยมใช้อุตสาหกรรมพลาสติกมีหลายชนิด ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เช่น ทัลค์ แคลเซียมคาร์บอเนต ผงเขม่าดำ ไมกา ดินขาว เยื่อไม้ แก้ว เป็นต้น

ชนิดตัวเติม แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ตัวเติมชนิดไม่ทำปฏิกิริยา (inert filler) หรือสารเพิ่มเนื้อ (extender) ใช้สำหรับลดต้นทุนการผลิต สมบัติที่เปลี่ยนแปลงในเทอร์โมพลาสติกที่ผสมตัวเติมชนิดนี้ มีหลายประการ เช่น ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มอดูลัสการยืดตัว ความต้านทานการกดทับ (compressive strength) ความต้านทานแรงบิดโค้ง (flexural strength) เพิ่มขึ้น ลดการหดตัว ความแข็งเพิ่มขึ้น อุณหภูมิบิดตัว (heat deflection temperature) เพิ่มขึ้น ลดต้นทุนการผลิต เป็นต้น

2. ตัวเติมชนิดเสริมแรง (reinforcing filler) เป็นตัวเติมชนิดที่สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของพลาสติกผสมให้ดีขึ้นได้ สมบัติที่เปลี่ยนแปลงในเทอร์โมพลาสติก เมื่อผสมตัวเติมชนิดเสริมแรง มีหลายประการ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกดทับ และมอดูลัสการยืดตัวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการบิดตัวเพิ่มขึ้น ลดการหดตัว เป็นต้น

การนำตัวเติมไปใช้งาน ต้องพิจารณาสมบัติที่สำคัญหลายประการ เช่น

1. ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยและการกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) ตัวเติมแต่ละชนิด จะมีขนาดอนุภาคไม่เท่ากันขึ้น กับแหล่งที่ได้มา ซึ่งตัวเติมที่จะนำมาใช้งานได้ดี ควรมีขนาดอนุภาคเล็ก โดยทั่วไปแล้วตัวเติมยังมีขนาดอนุภาคเล็กและละเอียด ก็ยิ่งทำให้พลาสติกมีความแข็งแรงสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การมีอนุภาคเล็กและละเอียดจะทำให้ความหนืดของระบบสูงขึ้น และการขึ้นรูปทำได้ยากขึ้น ส่วนตัวเติมที่มีอนุภาคใหญ่และหยาบมักทำให้ความแข็งแรงของพลาสติกลดลงกว่ากรณีที่ไม่ได้ใส่ตัวเติม

2. รูปร่างของอนุภาคและความพรุน (particle shape and porosity) รูปร่างของอนุภาคของตัวเติมมีผลอย่างมากต่อสมบัติต่างๆของพลาสติกได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติที่ผิวเช่น ความเงา และสภาพให้ซึมได้ (permeability) โดยทั่วไป ตัวเติมที่มีค่า aspect ratio (อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างหรือความหนา) สูง เช่น ตัวเติมที่มีรูปร่างของอนุภาคเป็นเส้นใยหรือแผ่น จะทำให้เกิดลักษณะที่มีสมบัติแอนไอโซโทรปิก (anisotropic) แต่ในทางตรงกันข้าม ตัวเติมที่มีรูปร่างกลม (spherical) จะทำให้เกิดลักษณะพลาสติกที่มีสมบัติไอโซโทรปิก (isotropic)

3. พื้นที่ผิว (surface area) เนื่องจากการยึดเกาะระหว่าง 2 เฟส คือ ตัวเติมและพอลิเมอร์ จะเกิดขึ้นที่ผิว ดังนั้น ถ้าหากพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น การยึดเกาะกันระหว่างพาส์ก็จะมากขึ้น จึงทำให้สมบัติทางเชิงกลของวัสดุประกอบสูงขึ้นด้วย

4. การจัดเรียงตัวของอนุภาค (particle packing) เป็นความสามารถในการจัดเรียงของอนุภาคในวัสดุเชิงประกอบ โดยพิจารณาในรูปของสัดส่วนการรวมตัว (packing fraction) ซึ่งคือ ปริมาตรทั้งหมดที่ตัวเติมใช้ในการจัดเรียงตัวในเฟสของพอลิเมอร์ เมื่อปริมาณตัวเติมที่ใช้สูงที่สุด ดังนั้น ตัวเติมที่มีค่าสัดส่วนการรวมตัวสูง แสดงว่ามีพอลิเมอร์แทรกอยู่ระหว่างอนุภาคของตัวเติมมาก การสัมผัสกันระหว่างอนุภาคตัวเติมต่ำ จะทำให้วัสดุประกอบมีสมบัติทางกลดี

5. สารเจือปน (impurity) สารเจือปนในตัวเติมทำให้เกิดผลเสียต่อสมบัติของพอลิเมอร์อย่างยิ่ง ตัวอย่างเช่น กววดทราย จะทำให้เกิดจุดบกพร่อง (defect point) ในเนื้อพอลิเมอร์ ดังนั้น เมื่อได้รับความเค้น พอลิเมอร์จะฉีกขาดหรือแตกหักได้ง่าย เป็นต้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Omastova และคณะ [15] ได้เตรียมวัสดุเชิงประกอบของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าโดยใช้ Polypyrrole (PPy) และ ผงเขม่าดำ (CB) มาผสมกับพอลิโพรพิลีน (PP) โดยใช้วิธีที่ต่างกัน 3 วิธี แล้วนำมาเปรียบเทียบสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางเชิงกล โดยวิธีที่ 1 PP/PPy composites เตรียมโดยการตัดแปรทางเคมี วิธีที่ 2 PP/PPy composites เตรียมแบบผสมร้อนของ PP บริสุทธิ์ กับ PPy ที่สังเคราะห์ขึ้น และวิธีที่ 3 PP/CB composites เตรียมแบบผสมร้อน หลังจากนั้นนำวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ไปขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเข้าแบบ เพื่อศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่า PP/PPy composites จากวิธีที่ 1 ที่มีการเตรียมโดยการตัดแปรทางเคมี จะให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น มากกว่าวิธีที่ 2 ที่เตรียมโดยการผสมร้อน เนื่องจากมีการกระจายตัวได้ดีกว่า และเกิดปรากฏการณ์ Percolation threshold ได้ดีกว่า วิธีที่ 1 จะมีการใส่ปริมาณ PPy ตั้งแต่ 1-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดถึง 10^2 S/cm อย่างไรก็ตามวิธีที่ 2 ถึงแม้จะใส่ปริมาณ PPy สูงถึง 34.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักยังให้ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10^{-3} S/cm ส่วนวิธีที่ 3 ซึ่งเป็นการเตรียมแบบผสมร้อนของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงเขม่าดำพบว่า ค่าการนำไฟฟ้า มีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับวิธีที่ 1 และเริ่มเกิดปรากฏการณ์ Percolation threshold เมื่อมีปริมาณผงเขม่าดำอยู่ระหว่าง 5 กับ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในส่วนที่ 2 ของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าและค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ที่ขึ้นอยู่กับการผสมผงเขม่าดำของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนและผงเขม่าดำ ที่เตรียมด้วยวิธีการฉีดเข้าโมลพบว่า เมื่อปริมาณผงเขม่าดำเพิ่มขึ้น ผงเขม่าดำจะไปแทรกภายในเมทริกซ์ เกิดการเชื่อมโยงในเมทริกซ์ แล้วทำให้เกิดปรากฏการณ์ Percolation threshold ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามอนุภาคผงเขม่าดำที่ไปแทรกตัวนี้ จะทำให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ลดลง เนื่องจากอนุภาคผงเขม่าดำ จะกระจายตัวไปทั่วเมทริกซ์ ทำให้สายโซ่ภายในเมทริกซ์เกิดความไม่เสถียร และความเป็นผลึกน้อยลง ทำให้สายโซ่โมเลกุลขาดจากกันง่ายมากขึ้น

Ching-Wen Loua และคณะ [16] ได้นำเอา PP 2 เกรด คือ เกรด extrusion และเกรด injection มาผสมกับ PET บริสุทธิ์ เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล โดยที่อัตราส่วนการใช้ PET ร้อยละ 10 และ 20 พบว่า สมบัติเชิงกลต่างๆของ วัสดุเชิงประกอบที่ผสม PET กับ PPext (เกรด extrusion) จะมีค่ามากกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ผสม PET กับ PPinj (เกรด injection) และหลังจากผ่านกระบวนการ Extrusion แล้ว 3 รอบ วัสดุเชิงประกอบที่ผสม PET กับ PPext (เกรด extrusion) จะมีค่าความต้านแรงดึง, ค่าความทนแรงกระแทก, โมดูลัสการดัดโค้งคงที่ อยู่ที่ 30 เมกะปาสคาล 35 จูลต่อเมตร, 2000 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ขณะที่อัตราส่วนการใช้ PET ร้อยละ 30 จะเกิด

การแยกเฟสกันระหว่าง PET และ PP และให้ค่าสมบัติเชิงกลต่ำ ในช่วงที่สองของงานวิจัยนี้ มีการเติมผงถ่านไม้ไผ่ลงไปในส่วนร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, และ 12 โดยใช้วัสดุเชิงประกอบระหว่าง PPinj (เกรด injection) กับ PET ที่มีปริมาณของ PET อยู่ร้อยละ 20 เป็นตัวศึกษา พบว่าวัสดุเชิงประกอบ เมื่อผ่านการอัดขึ้นรูป (Extrusion) รอบแรก สมบัติเชิงกลที่ได้จะมีค่าลดลงเนื่องจากผงถ่านไม้ไผ่จะไปลดสัดส่วน PP Matrix ในวัสดุเชิงประกอบ ทำให้ค่าความเค้นของการดึงลดลง แต่พอผ่านการอัดขึ้นรูป (Extrusion) รอบที่ 2 จะได้ค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น ในวัสดุเชิงประกอบที่มีผงถ่านไม้ไผ่มากกว่า ร้อยละ 8 เนื่องจากผงถ่านไม้ไผ่จะไปกระจายและชักนำให้เกิดการจัดเรียงผลึกใน PP Matrix สำหรับค่า modulus ความตึงของวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณผงถ่านไม้ไผ่ในทุกอัตราส่วนจะไม่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความทนแรงกระแทก การเติมผงถ่านไม้ไผ่ลงไปจะทำให้ค่าลดลง ในการอัดขึ้นรูป (extrusion) รอบแรก แต่การเพิ่มปริมาณผงถ่านไม้ไผ่และการอัดขึ้นรูปรอบที่ 2 และ 3 ไม่มีผลทำให้ค่าความทนแรงกระแทกลดลง

Hiroshi Yui และคณะ [17] ได้นำเอาผงเขม่าดำมาผสมกับพอลิโพรพิลีนในเครื่อง injection-molding แล้วเติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงลงไป โดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเปลี่ยนชนิดผงเขม่าดำ และชนิดของพอลิโพรพิลีน เพื่อศึกษาพื้นฐานวิทยาและความสามารถในการนำไฟฟ้า พบว่าความสามารถในการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพิ่มขึ้น และความสามารถในการนำไฟฟ้าจะลดลง เมื่อเปลี่ยนชนิดของพอลิโพรพิลีนให้มีความหนืดสูงขึ้น สารประกอบที่เติมด้วยผงเขม่าดำที่มีโครงสร้างละเอียด ขนาดอนุภาคที่เล็ก ค่า DBP absorption number สูง และมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ความสามารถในการนำไฟฟ้าก็จะสูง ส่วนการศึกษาศูนย์ฐานวิทยา พบว่าช่วงแรก HDPE domains บริเวณผิวของสารประกอบจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เนื่องจากการถูกแรงเฉือน คือ free-HDPE domain และ HDPE-KB complex domain หลังจากนั้น โครงสร้างของ free-HDPE domain จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ปริมาณผงเขม่าดำ และโครงสร้างของผงเขม่าดำ

Siriwit Buajareern และ คณะ [18] ได้นำถ่านไม้ไผ่มาเป็นตัวดูดซับโลหะไอออนที่ใช้ในการผลิตน้ำ มั่นใจโอดีเซลโดยพบว่าเมื่อนำถ่านไม้ไผ่ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส จะไม่มีการดูดซับโลหะไอออนเกิดขึ้น ในขณะที่ถ่านไม้ไผ่ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ถ่านไม้ไผ่มีความสามารถในการดูดซับโลหะโดยเฉพาะโลหะอลูมิเนียม (Al^{3+}) นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิไม่เกิน 800 องศาเซลเซียส ความสามารถในการดูดซับโลหะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและในช่วงอุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส จะมีความสามารถในการดูดซับโลหะที่ดีกว่า ทั้งนี้ เนื่องจากมีขนาดช่องว่างภายในมากกว่า

Kei Mizuta และ คณะ [19] ได้นำผงถ่านไม้ไผ่มาหาประสิทธิภาพการดูดซับ nitrate-nitrogen ในน้ำ ดื่มเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำที่มีในทางการค้า พบว่าประสิทธิภาพของผงถ่านไม้ไผ่สูงกว่า ผงเขม่าดำที่มีในทางการค้า (โดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นของ nitrate-nitrogen ในช่วง 0-10 มิลลิกรัมต่อลิตร) และศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับของผงถ่านไม้ไผ่ในช่วง 10-20 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับของผงถ่านไม้ไผ่ขึ้นต่ออุณหภูมิน้อยกว่า ผงเขม่าดำที่มีในทางการค้า แสดงให้เห็นว่าผงถ่านไม้ไผ่มีความน่าสนใจที่นำมาใช้ในการดูดซับ nitrate-nitrogen ที่ปนเปื้อนบริเวณได้น้ำ และผิวน้ำ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

- เม็ดพอลิโพรพิลีน (PP) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท HMC Polymer จำกัด โดยมีค่า Melt flow rate 2.1 dg/min และ ความหนาแน่น 0.90 g/cm³
- เม็ดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยโพลิเอททีลีน (1993) จำกัด โดยมีค่า Melt flow rate 2.0 g/min และ ความหนาแน่น 0.919 g/cm³
- ถ่านไม้ไผ่ (Bamboo charcoal) จากบริษัท ชาร์โคล โฮม จำกัด โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 mesh ความละเอียดของถ่านไม้ไผ่ที่ได้น้อยกว่า 48 ไมครอน

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบ

- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- ช้อนตักสาร
- ตู้อบสาร
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- เวอร์เนีย

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

- เครื่องบดผสมแบบภายใน (internal mixer) ยี่ห้อ BRABENDER รุ่น W30EHT (ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร)
- เครื่องบดหยาบ (grinder) ยี่ห้อ Momunda (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)
- เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) รุ่น LAB TECH (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)
- เครื่องอัดแบบ (compression molding) รุ่น LAB TECH (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)

- เครื่องตัดชิ้น specimen ยี่ห้อ Wallace test equipment (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง (Universal Testing Machine) รุ่น LLOYD model LR 100K Plus (ภาควิชาวัสดุศาสตร์)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JEOL JSM-6400 (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ)
- เครื่องทดสอบความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรจะใช้เครื่อง Resistivity Adapter รุ่น Keithley 6105 ร่วมกับ เครื่อง High Voltage Supply รุ่น Keithley 247 และเครื่อง Electrometer รุ่น Keithley 617 (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ)

3.5 ขอบเขตการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

- การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่
- การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่
- การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.6.1.1. ขั้นตอนการผสม

การผสมด้วยวิธีที่ 1 (ใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง)

นำเม็ดพอลิโพรพิลีนผสมกับถ่านไม้ไผ่ ในอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.1 ไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยเริ่มจากการเทเม็ดพอลิโพรพิลีน เข้าไปในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ทั้งสองปรับความเร็วของลูกกลิ้ง ลูกหน้าให้เร็วกว่าลูกหลัง เพื่อให้พอลิเมอร์หลอมมาติดที่ลูกกลิ้งหน้า (ลูกกลิ้งลูกหน้าความเร็ว 8 รอบ/นาที, ส่วนลูกกลิ้งลูกหลังความเร็ว 6 รอบ/นาที) รวมทั้งปรับความกว้างของช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง เพื่อให้บีบพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านไป เมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่าน

ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ได้ประมาณ นาที่ จะเริ่มเกาะติดเป็นแผ่นเดียวกันและสามารถพันรอบ ลูกกลิ้ง จึงค่อยๆ เติมห่านไม้ไผ่ลงไป หลังจากนั้น เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในเนื้อของของผสม จะต้องให้ผ่านลูกกลิ้งซ้ำ ๆ ไปมาหลายครั้ง โดยใช้มีดตัดของผสมที่พันรอบลูกกลิ้ง ลูกหน้าไปตามยาว ประมาณ 3/4 ของความยาวลูกกลิ้ง ขณะเดียวกันใช้มีดม้วนของผสมที่ถูกตัดเข้ามา จนส่วนผสม ต่างๆ เข้ากันได้ดี จากนั้น ตัดแผ่นฟิล์มวัสดุเชิงประกอบที่ได้ออกจากลูกกลิ้ง เพื่อนำไปขึ้น รูปขึ้น งานต่อไป

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

สูตร	พอลิโพรพิลีน (กรัม)	ถ่านไม้ไผ่ (กรัม)
1	100	0
2	100	5
3	100	10
4	100	15
5	100	20



รูปที่ 3.1 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) รุ่น LAB TECH

การผสมด้วยวิธีที่ 2 (ใช้เครื่องบดผสมแบบภายในร่วมกับเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง)

เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่มีการผสมด้วยวิธีที่แตกต่างกันจึงนำเม็ดพอลิโพรพิลีนกับถ่านไม้ไฟ ในอัตราส่วนต่างๆดังแสดงในตารางที่ 3.1 ไปผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายใน (internal mixer) ก่อน ดังรูปที่ 3.2 ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 60 รอบต่อนาที โดยเริ่มจากการเทของผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไฟลงไปภายใน hopper โดยมีแท่งกวดอัดและตุ้มน้ำหนักเป็นตัวกวดอัดให้ของผสมถูกดันลงไปใน สกรู หลังจากนั้น สกรูที่อยู่ภายในจะหมุนวนเพื่อให้เกิดการกระจายตัวจนสารทั้งสองเริ่มหลอมและเป็นเนื้อเดียวกัน สังเกตได้จากค่าแรงทอร์กที่ทำให้สกรูหมุนเริ่มคงที่โดยใช้เวลาประมาณ 10 นาที จึงนำออกมา

หลังจากนั้น ของผสมที่ได้จากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในจะมีลักษณะเป็นก้อนแข็งไม่สามารถนำไปบดในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งได้ จึงต้องมีการนำไปบดย่อยให้เป็นเม็ดหยابก่อน โดยใช้เครื่องบดหยاب ดังแสดงในรูปที่ 3.3 หลังจากนั้น จึงนำไปเข้าเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เพื่อทำให้เป็นแผ่นเหมาะแก่การนำไปอัดขึ้นรูป โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (ภาวะอื่นๆเหมือนวิธีที่ 1)



รูปที่ 3.2 เครื่องบดผสมแบบภายใน (internal mixer) ยี่ห้อ BRABENDER รุ่น W30 EHT



รูปที่ 3.3 เครื่องบดหยาบ (grinder) ยี่ห้อ Momunda

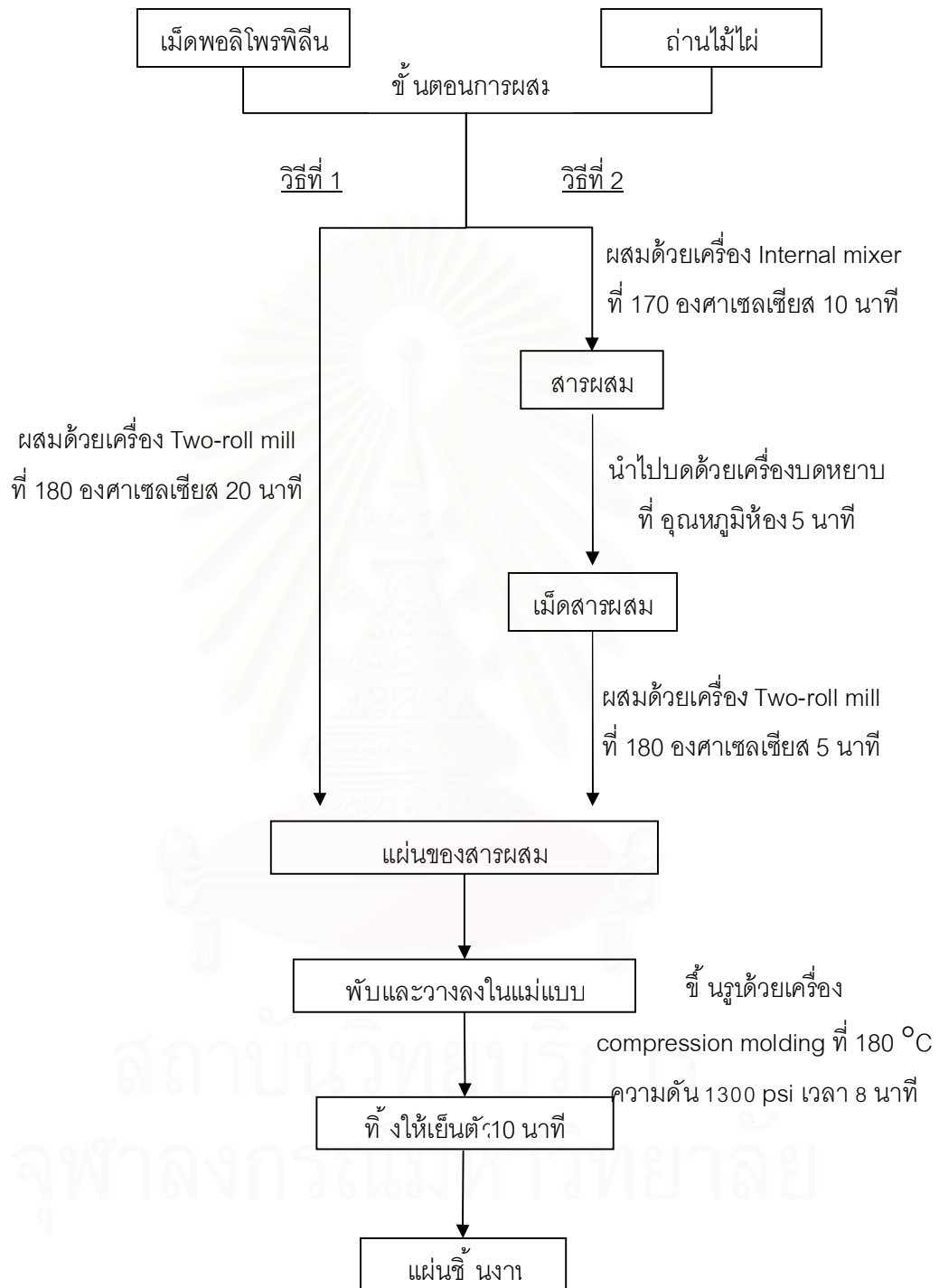
3.6.1.2. ขั้นตอนการขึ้นรูป

หลังจากทำการผสมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ด้วยวิธีที่ 1 หรือ 2 แล้ว จะนำไปขึ้นรูปในภาวะเดียวกัน ซึ่งขั้นตอนนี้ นำแผ่นวัสดุเชิงประกอบ ที่ได้จากเครื่องบดผสม แบบสองลูกกลิ้งมาพับและวางลงบนแม่แบบขนาด 6x6 ตารางนิ้วเพื่อเตรียมกดอัดเป็นแผ่นให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดแบบ (compression molding) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความดัน 1300 psi โดยใช้เวลาสำหรับอุณหภูมิช่วงแรก (pre-heating time) 3 นาที จากนั้น หนี้อัดได้ฟองอากาศเป็นเวลา 10 วินาที แล้วจึงกดอัดในช่วงสุดท้าย (final-pressing time) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้น ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิ (cooling time) เป็นเวลา 10 นาที เมื่อชิ้นงานเย็นตัวลงให้นำชิ้นงานออกจากแม่แบบแล้วจึงตัดเป็นชิ้นทดสอบตามรูปร่างและขนาดที่ต้องการเพื่อใช้ทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดแบบ (compression molding) รุ่น LAB TECH

สรุปขั้นตอนในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ แสดงไว้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

3.6.2 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่

แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.6.2.1 ขั้นตอนการผสม

การผสมด้วยวิธีที่ 1 (ใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง)

นำเม็ดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาผสมกับถ่านไม้ไผ่ ในอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.2 ไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยเริ่มจากการเทเม็ดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เข้าไปในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ทั้งสอง ปรับความเร็วของลูกกลิ้ง ลูกหน้าให้เร็วกว่าลูกกลิ้ง ลูกหลัง เพื่อให้พอลิเมอร์หลอมเป็นแผ่นมาติดที่ลูกกลิ้ง หน้า (ลูกกลิ้ง ลูกหน้าความเร็ว 8 รอบ/นาที, ส่วนลูกกลิ้ง ลูกหลังความเร็ว 6 รอบ/นาที) รวมทั้งปรับความกว้างของช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง เพื่อให้บีบพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านไปได้ เมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ได้ประมาณ 2 นาที จะเริ่มเกาะติดเป็นแผ่นเดียวกันและสามารถพันรอบลูกกลิ้ง จึงค่อยๆ เติมถ่านไม้ไผ่ลงไป หลังจากนั้น เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในเนื้อของของผสม จะต้องให้ผ่านลูกกลิ้ง ซ้ำไปมาหลายครั้ง โดยใช้มีดตัดของผสมที่พันรอบลูกกลิ้ง ลูกหน้าไปตามยาวประมาณ 3/4 ของความยาวลูกกลิ้ง ขณะเดียวกันใช้มือหมุนของผสมที่ถูกตัดเข้ามา จนส่วนของผสมต่างๆ เข้ากันได้ดี จากนั้น ตัดแผ่นฟิล์มของวัสดุเชิงประกอบที่ได้ ออกจากลูกกลิ้ง เพื่อนำไปขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่

สูตร	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (กรัม)	ถ่านไม้ไผ่ (กรัม)
1	100	0
2	100	5
3	100	10
4	100	15
5	100	20

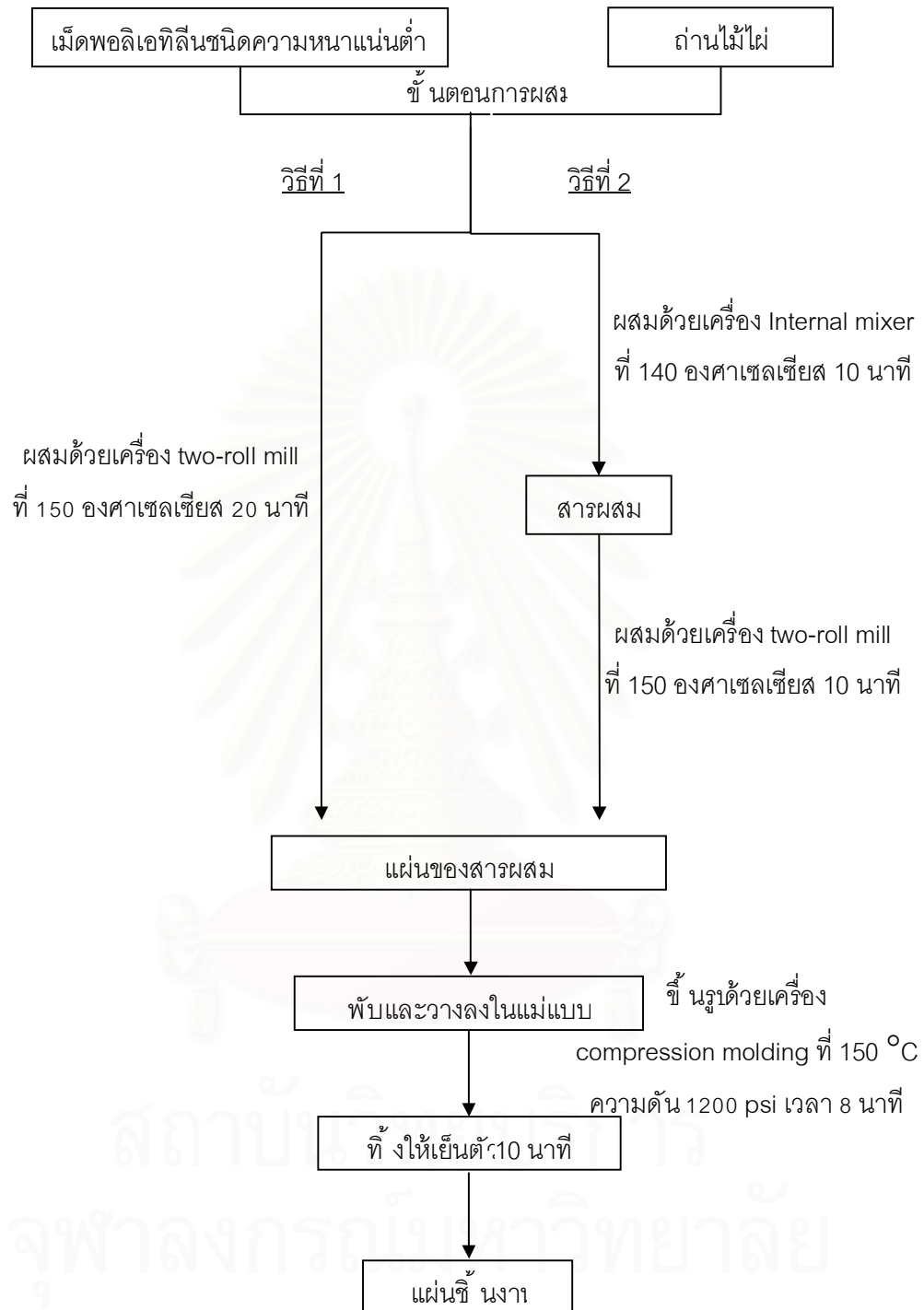
การผสมด้วยวิธีที่ 2 (ใช้เครื่องบดผสมแบบภายในร่วมกับเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง)

นำเม็ดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับถ่านไม้ผง ในอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.2 มาผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายใน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสามารถหลอมตัวได้ง่ายทำให้ไม่จำเป็นต้องไปผ่านเครื่องบดหยาบ) ต่อจากนั้นนำไปเข้าเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (ภาวะอื่นๆเหมือนวิธีที่ 1)

3.6.2.2. ขั้นตอนการขึ้นรูป

หลังจากทำการผสมวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ผง ด้วยวิธีที่ 1 หรือ 2 แล้วจะนำไปขึ้นรูปในภาวะเดียวกันซึ่งขั้นตอนมีดังนี้ นำแผ่นวัสดุเชิงประกอบ ที่ได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง มาพับและวางลงบนแม่แบบขนาด 6x6 ตารางนิ้วเพื่อเตรียม กดอัดเป็นแผ่นให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดแบบ (compression molding) ที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 1200 psi โดยใช้เวลาสำหรับอุณหภูมิช่วงแรก (pre-heating time) 3 นาที จากนั้น กดอัดไล่ฟองอากาศเป็นเวลา 0 วินาที แล้วจึงกดอัดในช่วงสุดท้าย (final-pressing time) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้น ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิ (cooling time) เป็นเวลา 10 นาที เมื่อขึ้นงานเย็นตัวลง ให้นำชิ้นงานออกจากแม่แบบ แล้วจึงตัดเป็นชิ้นทดสอบตาม รูปร่างและขนาดที่ต้องการเพื่อใช้ทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

โดยขั้นตอนในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ผง แสดงไว้ในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไฟ

3.6.3 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

3.6.3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

ในงานวิจัยได้ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ โดยการทดสอบความต้านแรงดึง (tensile strength) โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile strength)

ทำการทดสอบความต้านแรงดึง ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD LR 100K ดังรูปที่ 3.9 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยใช้เครื่องตัดชิ้น specimen ยี่ห้อ Wallace test equipment ดังรูปที่ 3.8
2. วัดความกว้างและความหนาของชิ้นทดสอบในบริเวณ gage length ที่ตำแหน่งต่างๆ 3 แห่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
3. เลือกตัวจับ (grip) ที่ใช้ยึดชิ้นทดสอบ โดยคำนึงถึงลักษณะและความหนาของชิ้นทดสอบ
4. ตั้งค่าความหนาและความกว้างของชิ้นทดสอบลงในเครื่อง กำหนดให้ระยะระหว่างหัวจับ (gage length) เท่ากับ 25 มิลลิเมตร และความเร็วในการดึงเท่ากับ 50 มิลลิเมตร/นาที โดยน้ำหนักเซลล์ (load cell) ที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 1000 นิวตัน
5. ยึดปลายทั้งสองของชิ้นทดสอบไว้กับตัวจับ ทำการดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างชิ้นทดสอบ



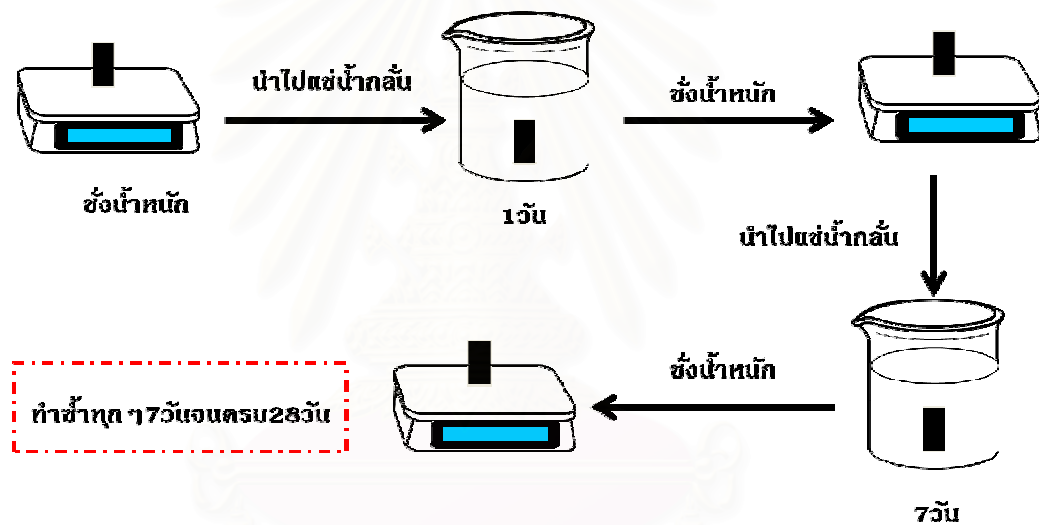
รูปที่ 3.8 เครื่องตัดชิ้น specimen ยี่ห้อ Wallace test equipment



รูปที่ 3.9 เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD LR 100

3.6.3.2 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ

การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบเป็นการวัดปริมาณน้ำที่วัสดุเชิงประกอบสามารถดูดซึมได้ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D570 ซึ่งชิ้นทดสอบจะถูกตัดให้มีขนาด 2×1.5 เซนติเมตร แล้วนำไปอบในตู้อบ ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำชิ้นทดสอบไปแช่ในน้ำ ากล้นชิ้นทดสอบจะถูกนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อจดบันทึกค่าไว้ก่อน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ต่อจากนั้น ชิ้นทดสอบจะถูกแช่ในน้ำ ากล้นเป็นเวลา 1 วัน แล้วนำมาบันทึกค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป หลังจากนั้นก็นำชิ้นทดสอบไปแช่ในน้ำ ากล้นและนำชิ้น มาวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปอีกทุกๆ 7 วัน จนถึง 28 วัน หรือจนกว่าน้ำหนักของชิ้นทดสอบเริ่มคงที่โดยขั้นตอนการทดสอบการดูดซึมน้ำ ้าแสดงได้ในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทดสอบการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ

โดยการหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ้าสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

W_1 : น้ำหนักชิ้นงานก่อนแช่น้ำ

W_2 : น้ำหนักชิ้นงานหลังแช่น้ำ

3.6.3.3 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบ

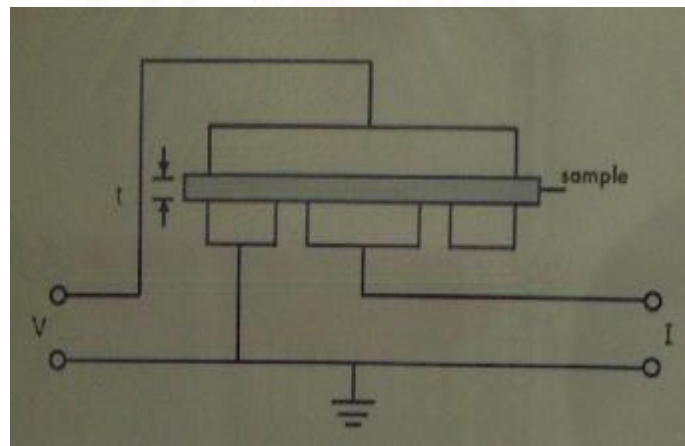
ในงานวิจัยนี้ จะวัดสมบัติการต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบ โดยจะวัดหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (volume resistivity) โดยใช้เครื่อง Resistivity Adapter ร่วมกับเครื่อง High Voltage Supply ซึ่งจะทำหน้าที่ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้า และ Electrometer ซึ่งจะทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้า ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.11 โดยจะวัดตามมาตรฐาน ASTM D257 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดซี นทดสอบให้มีขนาด 3×3 นิ้ว
2. หลังจากนั้น นำซี นทดสอบมาควบคุมอุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
3. วัดความหนาของซี นทดสอบ
4. ความต่างศักย์ 500 โวลต์จะถูกจ่ายให้กับซี นทดสอบเป็นเวลา 1 นาที
5. วัดค่ากระแสไฟฟ้าและนำไปคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร โดยจะใช้เครื่อง Resistivity Adapter รุ่น Keithley 6105 (1) ร่วมกับเครื่อง High Voltage Supply รุ่น Keithley 247 (2) และ เครื่อง Electrometer รุ่น Keithley 617 (3)

โดยหลักการคือ จะให้ความต่างศักย์ผ่านวัสดุที่จะทำการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรและวัดกระแสไฟฟ้าที่ผ่านวัสดุนั้น หลักจากนั้นนำค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า มาคำนวณเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร



รูปที่ 3.12 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร

จากสูตร

$$\rho = (A \times V) / (I \times t) \quad \Omega\text{-cm}$$

ρ : ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร

A : พื้นที่ของอิเล็กโทรด ; ในที่นี้ จะใช้ค่าคงที่= 22.9

V : ความต่างศักย์ไฟฟ้า

I : กระแสไฟฟ้าที่วัดได้

t : ความหนาเฉลี่ยของวัสดุที่ทำการวัด

3.6.3.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JEOL JSM-6400 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยเป็นการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของภาคตัดขวางของซีเมนต์ทดสอบ โดยตัดซีเมนต์ทดสอบขนาด 4×4 เซนติเมตร ไปจุ่มในไนโตรเจนเหลว แล้วหักซีเมนต์ทดสอบ หลังจากนั้นนำซีเมนต์ทดสอบไปเคลือบผิวด้วยทองคำ ก่อนทำการตรวจสอบภาคตัดขวางของซีเมนต์ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 10000 เท่า



รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JEOL JSM-6400

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

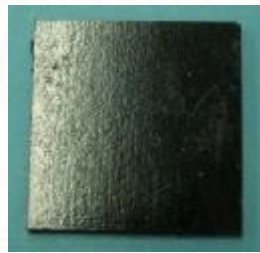
4.1 ลักษณะชิ้นงานของวัสดุเชิงประกอบ

4.1.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

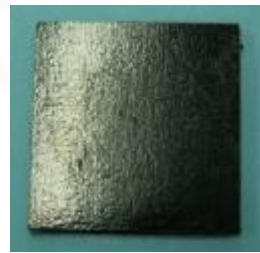
รูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะชิ้นงานของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่ทำการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 (ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง) และวิธีที่ 2 (ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง) ตามลำดับ แล้วอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาด 6×6 นิ้ว และความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดแบบ โดยนำพอลิโพรพิลีนมาผสมกับถ่านไม้ไผ่ ในปริมาณ 5, 10, 15 และ 20 ส่วนต่อพอลิโพรพิลีน 100 ส่วน (phr)



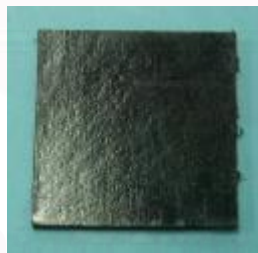
0 phr



5 phr



10 phr



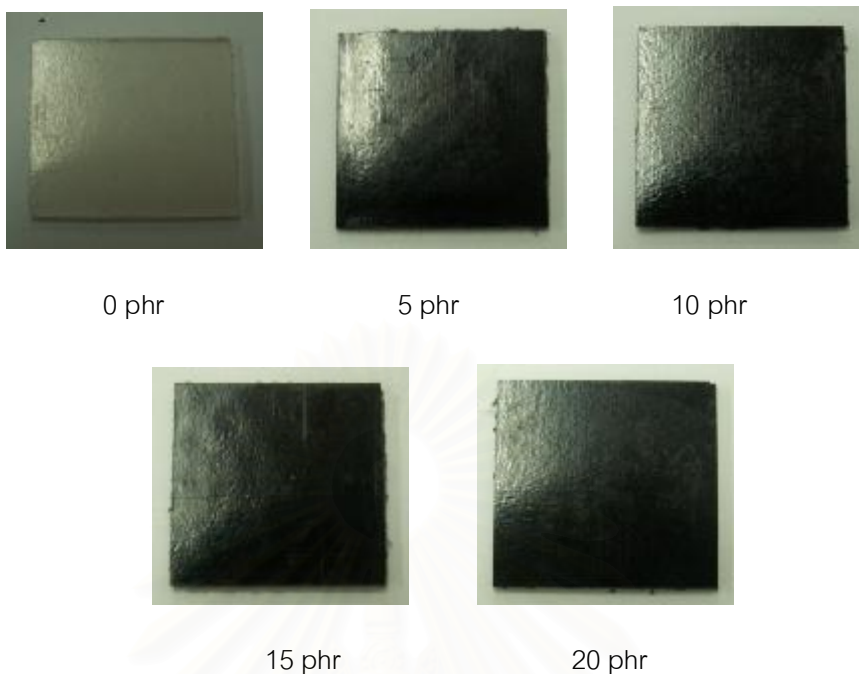
15 phr



20 phr

รูปที่ 4.1 ลักษณะชิ้นงานของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงานของพอลิโพรพิลีน ที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีลักษณะของชิ้นงานที่เงา มันวาว โปร่งแสงและพื้นผิวที่เรียบแต่เมื่อผสมถ่านไม้ไผ่เข้าไป พบว่า ผิวของชิ้นงานที่เตรียมได้มีความหยาบมากขึ้น แต่ยังคงมีความมันวาวและสะท้อนแสงดั้งเดิม พร้อมทั้งชิ้นงานที่เตรียมได้ยังมีความแข็งแรงสูงขึ้น

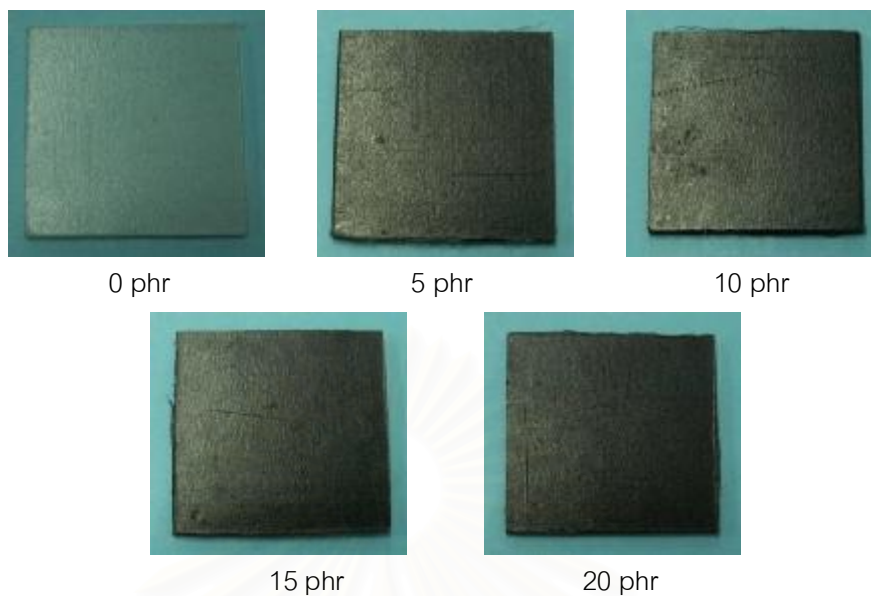


รูปที่ 4.2 ลักษณะสี ำงานของวัสดุเชิงประกอบโพลีโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า สี ำงานของโพลีโพรพิลีน ที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 มีลักษณะคล้ายวิธีที่ 1 และเมื่อผสมถ่านไม้ไผ่เข้าไป พบว่า สี ำงานที่ได้มีความละเอียดมากกว่าการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 และยังคงมีความมันวาว และสะท้อนแสง ประกอบกับสี ำงานี้ มีลักษณะแข็งขึ้น

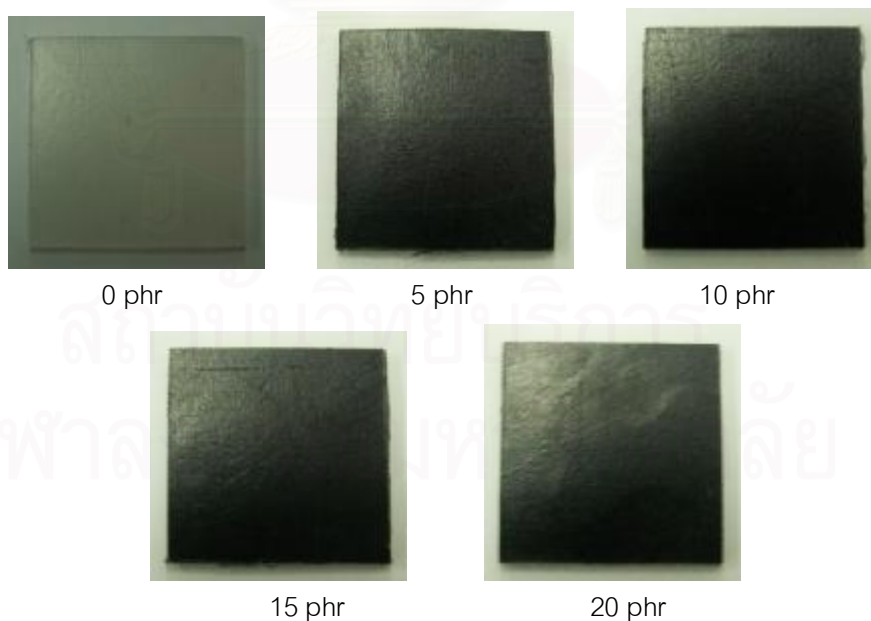
4.1.2 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่

รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4. แสดงลักษณะสี ำงานของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่ทำการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 (ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง) และวิธีที่ 2 (ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง) ตามลำดับ แล้วอัดขึ้น รูปเป็นแผ่นขนาด 6×6 นิ้ว และ ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดแบบ โดยนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาผสมกับถ่านไม้ไผ่ในปริมาณ 5, 10, 15 และ 20 ส่วนต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 100 ส่วน (phr)



รูปที่ 4.3 ลักษณะสี ใช้งานของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า สี ใช้งานของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีลักษณะค่อนข้างอ่อนนิ่ม ผิวมันวาวเหมือนพอลิโพรพิลีน แต่โปร่งแสงน้อยกว่า และเมื่อผสมถ่านไม้ไผ่เข้าไป พบว่าสี ใช้งานมีความเข้มขึ้น ผิวมีลักษณะหยาบ มันวาวและสะท้อนแสงน้อยลง



รูปที่ 4.4 ลักษณะสี ใช้งานของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ชี้นานของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีลักษณะค่อนข้างอ่อนนิ่ม และผิวมันวาวแต่เมื่อผสมผงถ่านไม้ไฟเข้าไป พบว่า ชี้นางแข็งขึ้น ผิวมีความละเอียดและมันวาวสะท้อนแสงมากกว่าชี้นางที่ทำการเตรียมด้วยวิธีที่

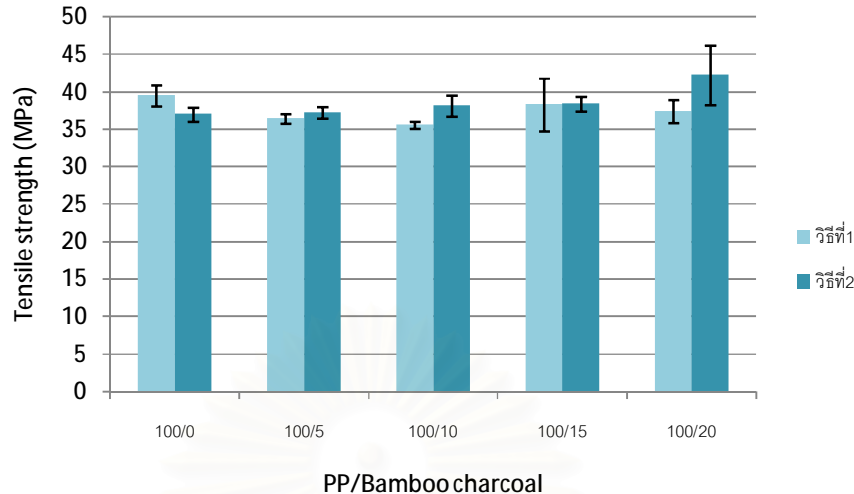
4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

4.2.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไฟ

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติด้านความต้านแรงดึง ยั่งส์มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไฟ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)

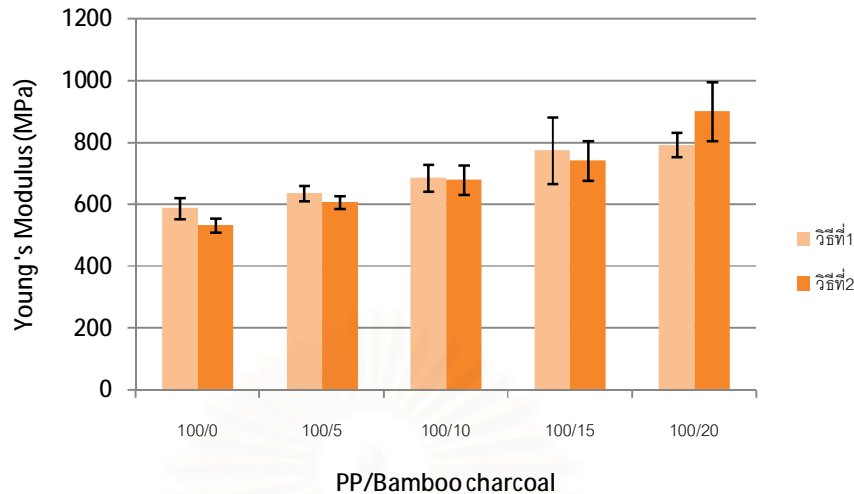
สูตร	ความต้านแรงดึง (MPa)		ยั่งส์มอดุลัส (MPa)		การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2
PP	39.50	36.98	586.65	532.34	64.97	43.13
100 PP/5 Bamboo charcoal	36.41	37.20	635.84	606.37	44.67	28.01
100 PP/10 Bamboo charcoal	35.58	38.12	685.24	679.69	30.93	21.62
100 PP/15 Bamboo charcoal	38.25	38.36	773.88	741.31	25.03	19.02
100 PP/20 Bamboo charcoal	37.41	42.24	792.25	900.30	22.88	15.89

โดยในรูปที่ 4.5-4.7 จะแสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไฟ ที่เตรียมจากการผสมด้วยวิธีที่ 1 และ วิธีที่ 2 ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยการตรวจจสอบค่าความต้านแรงดึง ยั่งส์มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ค่าความต้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)

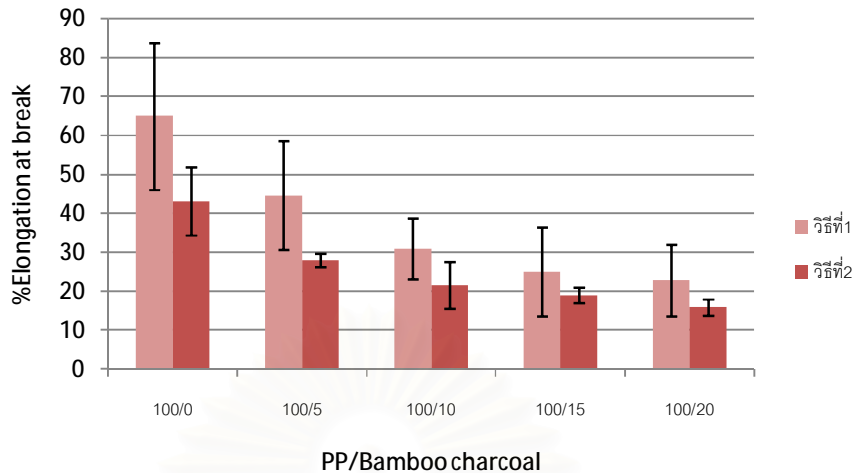
จากรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาพอลิโพรพิลีนจากการผสมด้วยวิธีที่ 1 พบว่ามีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าการผสมด้วยวิธีที่ 2 เนื่องจากในระหว่างการผสมด้วยวิธีที่ 2 จะเกิดแรงเฉือนสูงกว่า ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิโพรพิลีนถูกตัดสั้นลง และสายโซ่โมเลกุลเกาะกันอย่างหลวมๆ และอยู่ห่างกันมากขึ้น ดังนั้นเมื่อมีแรงดึงเกิดขึ้น จึงใช้แรงที่ใช้ดึงน้อยกว่าวิธีที่ 1 แต่เมื่อมีการใส่ถ่านไม้ไผ่ลงไป ค่าความต้านแรงดึงของการผสมด้วยวิธีที่ 1 ลดลง เพราะการผสมด้วยวิธีที่ 1 เกิดแรงเฉือนระหว่างผสมน้อยทำให้ถ่านไม้ไผ่ที่ใส่ลงไปกระจายตัวไม่ดีและเกิดการจับกลุ่มก้อนกันภายในเมทริกซ์ เมื่อมีแรงดึงมากกระทำจึงทำให้บริเวณที่ถ่านไม้ไผ่จับกลุ่มก้อนกันนั้น เป็นจุดบกพร่อง (defect) ส่งผลให้แรงดึงที่ใช้ลดลง ส่วนการผสมด้วยวิธีที่ 2 สังเกตเห็นว่าเมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้น ค่าความต้านแรงดึงจะเพิ่มสูงขึ้น เพราะการผสมด้วยวิธีที่ 2 ถ่านไม้ไผ่สามารถกระจายตัวและแทรกเข้าไปอยู่ภายในสายโซ่ของพอลิโพรพิลีนได้ดี ส่งผลให้ถ่านไม้ไผ่ไปช่วยขัดขวางการเคลื่อนผ่านกันของสายโซ่พอลิโพรพิลีนทำให้ค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าความต้านแรงดึงสูงขึ้น โดยการผสมด้วยวิธีที่ 2 ให้ค่าความต้านแรงดึงที่สูงกว่าและแสดงแนวโน้มที่ดีกว่าการผสมด้วยวิธีที่ 1



รูปที่ 4.6 ค่ายังส์มอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)

จากรูปที่ 4.6 พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากการผสมที่ ๒ วิธี มีค่ายังส์มอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบในลักษณะที่คล้ายกันคือ ค่ายังส์มอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่มากขึ้น ทั้งนี้ เพราะถ่านไม้ไผ่เข้าไปขัดขวางการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้การเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์เกิดได้ยากขึ้น นอกจากนี้ การผสมถ่านไม้ไผ่ลงในพอลิโพรพิลีนมีผลทำให้ชั้นทดสอบมีความแข็งขึ้น เพราะถ่านไม้ไผ่มีความแข็งเปราะเมื่อเข้าไปแทรกอยู่ใน พอลิโพรพิลีนที่มีความยืดหยุ่นกว่าจึงทำให้วัสดุแข็งขึ้น โดยเห็นได้จากค่ายังส์มอดุลัสที่เพิ่มขึ้น และการที่ถ่านไม้ไผ่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงจึงเกิดการยึดเกาะกับพอลิโพรพิลีนได้ดี เมื่อมีแรงดึง ผิวสัมผัสระหว่างถ่านไม้ไผ่กับพอลิโพรพิลีนจะเกิดแรงเสียดทาน ซึ่งนั่นหมายความว่าความแข็งตึง (stiffness) ของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น และการที่ความแข็งตึงของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้นนี้เอง จึงส่งผลให้ความสามารถในการดัดยัดของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อเกิดการขาดลดลง ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)

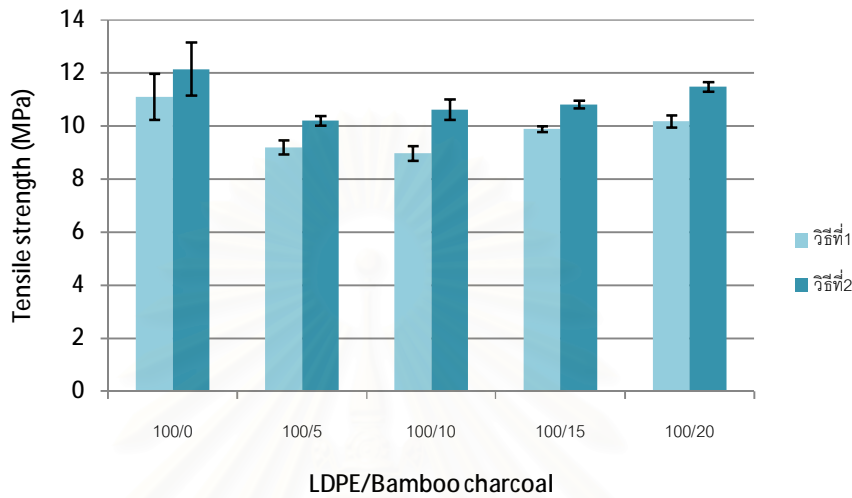
จากรูปที่ 4.7 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ที่เตรียมจากการผสมทั้ง 2 วิธี มีค่าลดลงเมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับค่ายังส์มอดุลัส เนื่องจากถ่านไม้ไผ่จะไปขัดขวางการยืดตัวของสายโซ่พอลิโพรพิลีน ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบยืดตัวได้น้อยลง

4.2.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่

ตารางที่ 4.2 สมบัติด้านความต้านแรงดึง ยังส์มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)

สูตร	ความต้านแรงดึง (MPa)		ยังส์มอดุลัส (MPa)		การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2
LDPE	11.10	12.15	118.12	122.47	859.76	862.46
100 LDPE/5 Bamboo charcoal	9.19	10.19	133.75	151.58	221.94	463.46
100 LDPE/10 Bamboo charcoal	8.96	10.62	156.46	170.70	157.58	156.92
100 LDPE/15 Bamboo charcoal	9.89	10.81	157.82	190.36	99.62	86.76
100 LDPE/20 Bamboo charcoal	10.17	11.47	183.00	194.43	64.35	65.55

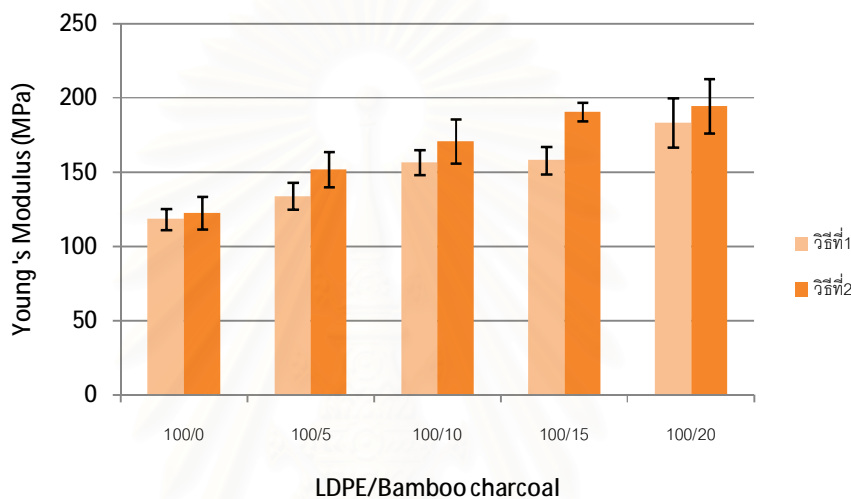
รูปที่ 4.8-4.10 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยวิธีที่ 1 และ วิธีที่ 2 ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยการตรวจสอบค่าความต้านแรงดึง ยังสัมผัสดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ค่าความต้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)

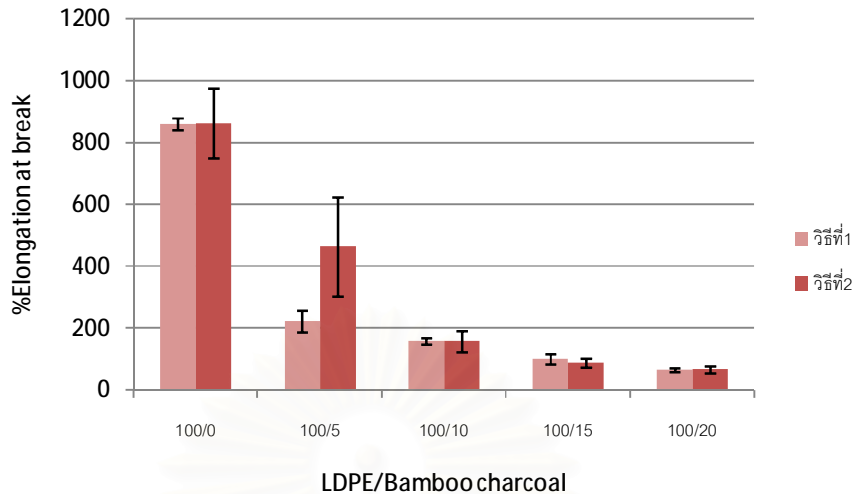
จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมที่ 2 วิธีมีแนวโน้มค่าความต้านแรงดึงลดลงและกลับมาเพิ่มอีกครั้งเมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้น โดยในทุกอัตราส่วนมีค่าความต้านแรงดึงน้อยกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่ไม่มีการเติมถ่านไม้ไผ่ แต่เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้น เหตุผลที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าทุกอัตราส่วนที่มีการใส่ถ่านไม้ไผ่ เพราะโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีลักษณะเป็นสายโซ่โมเลกุลที่มีกิ่งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเมื่อมีแรงดึงกระทำกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสายโซ่ภายในโครงสร้างจะเกิดการเลื่อนไหล เมื่อถึงจุดๆหนึ่ง กิ่งระหว่างสายโซ่จะเกิดการเกี่ยวพันกัน (interlock) ทำให้ต้องใช้แรงดึงเพิ่มสูงขึ้นในการทำให้สายโซ่ขาดจากกัน ดังนั้นเมื่อมีการใส่ถ่านไม้ไผ่ อนุภาคของถ่านไม้ไผ่จะทำให้เกิดการเกี่ยวพันกันน้อยลง พร้อมทั้งยังช่วยให้เกิดการคลายตัวออกของกิ่งสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ จึงทำให้ค่าต้านแรงดึงมีค่าลดลง แต่เมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มมากขึ้น จะมีค่าต้านแรงดึงสูงขึ้นเป็นเพราะว่าถ่านไม้ไผ่มีลักษณะแข็งเปราะและมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ดังนั้นเมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นการไปเพิ่มความแข็งให้วัสดุเชิงประกอบและทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสของถ่านไม้ไผ่กับพอลิเมอร์มากขึ้น ด้วย ทำให้อนุภาคของถ่าน

ไม้ไผ่เกิดการยึดเกาะกับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำได้มากขึ้น จึงทำให้ค่าความต้านแรงดึง กลับมาสูงขึ้น แล้วเหตุผลที่ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเดียวกัน เป็นเพราะว่าพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ มีค่าความหนืดไม่สูงมากนัก ประกอบกับภายในโครงสร้างมีการเกาะ ตัวอย่างหลวมๆเพราะโครงสร้างมีกิ่งเป็นจำนวนมาก ทำให้ภายในสายโซ่มีช่องว่างที่อนุภาคของ ถ่านไม้ไผ่ สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ง่ายจึงไม่ค่อยเกิดการจับกลุ่มก้อนทำให้ค่าที่ได้มีแนวโน้ม เดียวกันแต่วิธีที่ 2 จะให้ค่ามากกว่าเพราะกระจายตัวได้ดีกว่า



รูปที่ 4.9 ค่ายังส์มอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วย เครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)

จากรูปที่ 4.9 จะแสดงค่ายังส์มอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่น ต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมจากการผสมที่ ๒ วิธีพบว่าค่ายังส์มอดุลัสจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณถ่านไม้ ไผ่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีแนวโน้มเหมือนกันที่ ๒ วิธีเนื่องจากอนุภาคถ่านไม้ไผ่มีความแข็งเปราะสูง และ มีความละเอียด ดังนั้น เมื่อใส่ไปในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความยืดหยุ่นกว่าและมี โครงสร้างเกาะตัวหลวมๆอนุภาคจึงเข้าไปแทรกภายในโครงสร้างได้ดีจึงช่วยเพิ่มความหนาแน่น ภายในโครงสร้างพอลิเมอร์ ส่งผลให้ค่ายังส์มอดุลัสสูงขึ้น เมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่มากขึ้น



รูปที่ 4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/ผงถ่านไม้ไฟ ที่เตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 1) และเตรียมจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมร้อนแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (วิธีที่ 2)

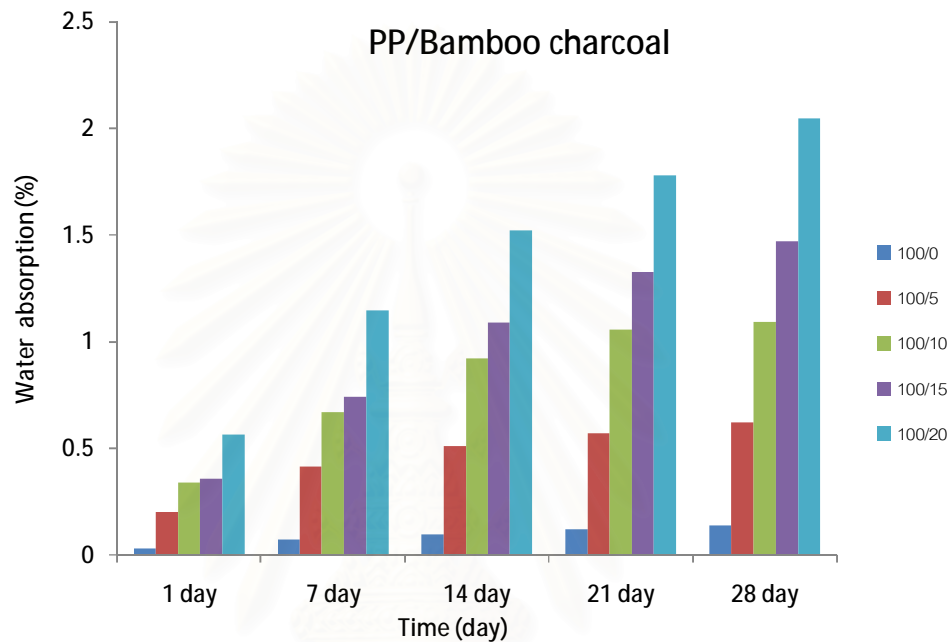
จากรูปที่ 4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ลดน้อยลง เช่นเดียวกับในวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไฟ เมื่อปริมาณถ่านไม้ไฟเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เพราะอนุภาคของถ่านไม้ไฟจะเป็นตัวขัดขวางการยืดตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

ดังนั้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการเตรียมวัสดุเชิงประกอบโดยการผสมที่ 2 วิธีทั้งในพอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จะพบว่าการเตรียมโดยการผสมด้วยวิธีที่ 2 จะให้ค่าสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบดีกว่าการผสมด้วยวิธีที่ 1 ทั้งนี้ เพราะการผสมด้วยวิธีที่ 2 ใช้เครื่องบดผสมแบบภายใน และเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ช่วยในการบดผสม ทำให้มีแรงเฉือนในระหว่างทำการผสมสูง จึงทำให้อนุภาคของถ่านไม้ไฟสามารถกระจายตัวเข้าไปในพอลิเมอร์ได้ดีกว่า สำหรับการเตรียมวัสดุเชิงประกอบโดยการผสมด้วยวิธีที่ 1 จะใช้แต่เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง อย่างเดียวอาจทำให้เกิดแรงเฉือนไม่มากพอที่จะทำให้ถ่านไม้ไฟแทรกและกระจายเข้าไปในสายโซ่พอลิเมอร์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้ถ่านไม้ไฟมีการกระจายตัวที่ไม่ดีและเกิดการจับกลุ่มก้อนเอง จึงทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆของวัสดุเชิงประกอบมีค่าต่ำกว่าการเตรียมวัสดุเชิงประกอบโดยการผสมด้วยวิธีที่ 2 ดังนั้น เห็นว่าการเตรียมโดยการผสมด้วยวิธีที่ 2 มีความน่าสนใจมากกว่าจึงขอเสนอการทดสอบการดูดซึมน้ำ สมบัติทางไฟฟ้าและลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากการผสมด้วยวิธีที่ 2 เท่านั้น ซึ่งน่าจะให้ผลที่เด่นชัดกว่า

4.3 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ

4.3.1 การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่อัตราส่วนต่างๆ

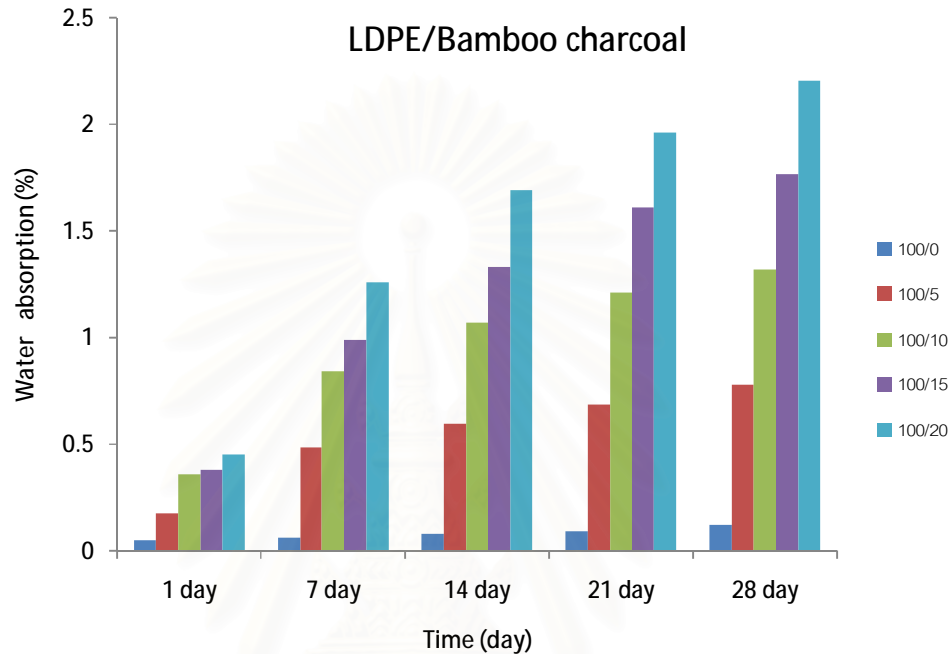


รูปที่ 4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่อัตราส่วนของการผสมถ่านไม้ไผ่ที่ 5, 10, 15 และ 20 ส่วนต่อพอลิโพรพิลีน 100 ส่วน (phr) ตามลำดับ พบว่าพอลิโพรพิลีนมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำมาก เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว โครงสร้างมีแต่คาร์บอนกับไฮโดรเจน ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ จึงมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) แต่เมื่อทำการเติมถ่านไม้ไผ่ลงไปก็จะทำให้ดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เนื่องจาก ความพรุนตัวและพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรวมมากขึ้น ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้เองเป็นผลทำให้วัสดุซึมผ่านและแทรกตัวเข้าไปในถ่านไม้ไผ่ที่อยู่ในวัสดุเชิงประกอบได้โดยง่าย ปัจจัยดังกล่าวจึงส่งผลต่อวัสดุเชิงประกอบที่มีปริมาณของถ่านไม้ไผ่มากขึ้น ก็สามารถดูดซึมน้ำและความชื้นได้มากขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไปค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ก็เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

4.3.2 การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่

รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่อัตราส่วนต่างๆ

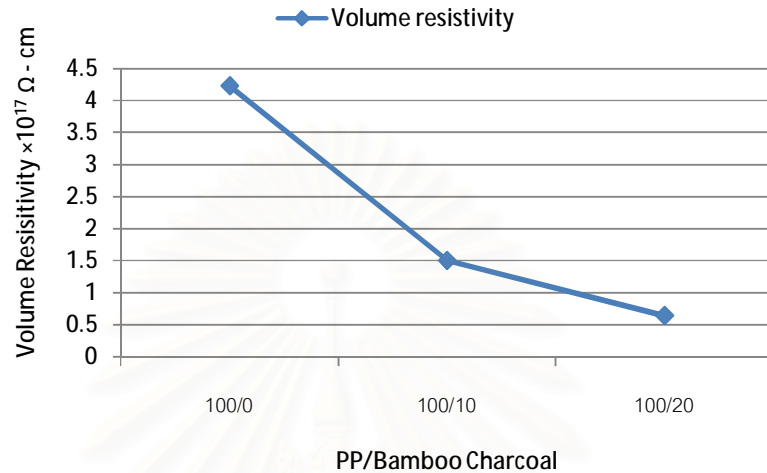


รูปที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่อัตราส่วนของการผสมถ่านไม้ไผ่ที่ 5, 10, 15 และ 20 ส่วนต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 100 ส่วน (phr) พบว่ามีค่าแนวโน้มเช่นเดียวกับวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ แต่จะให้ค่าสูงกว่า เนื่องจากภายในสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะประกอบด้วยโซ่กิ่งจำนวนมากทำให้โครงสร้างมีการแผ่ตัวอย่างหลวมๆทำให้อนุภาคของถ่านไม้ไผ่สามารถแทรกตัวเข้าไปภายในได้ง่ายและมากกว่า จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ มีค่าสูงมากกว่า

4.4 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า

4.4.1 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่



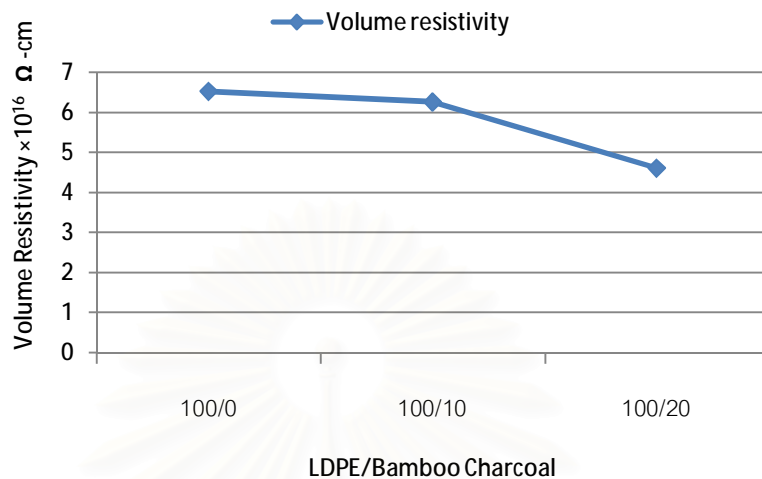
รูปที่ 4.13 สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

สูตร	Volume Resistivity (Ω - cm)
100 PP/ 0 Bamboo charcoal	4.23×10^{17}
100 PP/ 10 Bamboo charcoal	1.50×10^{17}
100 PP/ 20 Bamboo charcoal	6.39×10^{16}

จากรูปที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่ 0, 10, 20 phr ตามลำดับ พบว่าวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ มีสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรลดลง เมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเติมถ่านไม้ไผ่ลงในพอลิโพรพิลีน ช่วยทำให้สมบัติการนำไฟฟ้าดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของวัสดุเชิงประกอบจากปริมาณถ่านไม้ไผ่ที่เติมลงไปนั้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรยังมีค่าสูงอยู่ในช่วง 10^{16} - 10^{17} Ω-cm วัสดุเชิงประกอบที่ได้ยังคงเป็นมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า

4.4.2 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่



รูปที่ 4.14 สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่

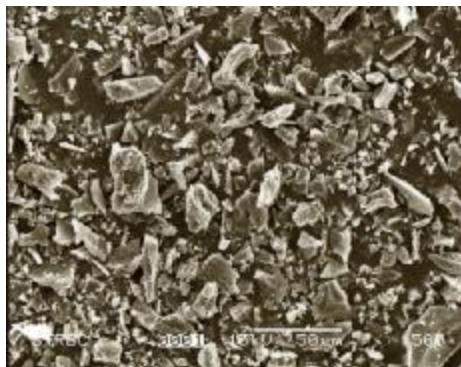
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่

สูตร	Volume Resistivity (Ω - cm)
100 LDPE/ 0 Bamboo charcoal	6.52 × 10 ¹⁶
100 LDPE/ 10 Bamboo charcoal	6.26 × 10 ¹⁶
100 LDPE/ 20 Bamboo charcoal	4.61 × 10 ¹⁶

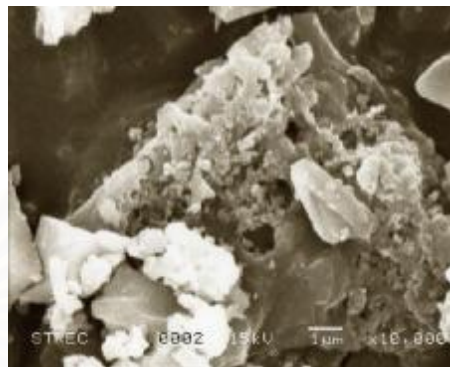
ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ สอดคล้องกับ วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผงถ่านไม้ไผ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และ ตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่ 0, 10, 20 phr ตามลำดับ พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับของพอลิโพรพิลีน คือมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้นจัดว่าวัสดุเชิงประกอบที่ได้ยังเป็นฉนวนไฟฟ้า

4.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา

4.5.1 สัณฐานวิทยาของถ่านไม้ไผ่



(a)



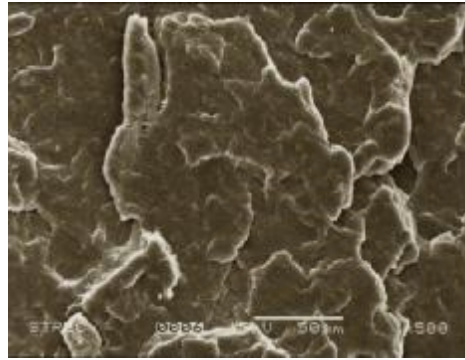
(b)

รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของถ่านไม้ไผ่ที่กำลังขยาย (a) x500, (b) x10000

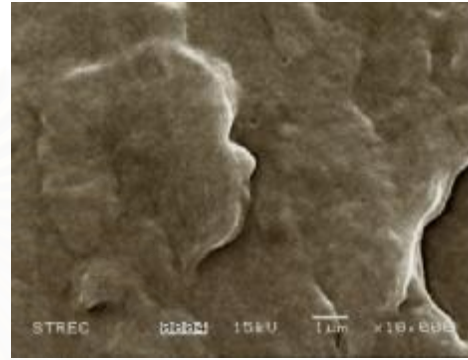
จากรูปที่ 4.15 (a) แสดงสัณฐานวิทยาของถ่านไม้ไผ่ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าลักษณะของถ่านไม้ไผ่ มีขนาดและรูปร่างที่หลากหลายต่างกันไป เนื่องจากอนุภาคของถ่านไม้ไผ่จะถูกบดแล้วผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 เมช ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 48 ไมครอน ดังนั้นอนุภาคของถ่านไม้ไผ่ขนาดต่างๆที่น้อยกว่า 48 ไมครอน จะสามารถลอดผ่านรูลงมาได้ จึงทำให้อนุภาคมีขนาดไม่แน่นอน และเมื่อทำการตรวจสอบสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 10000 เท่า รูปที่ 4.15 (b) จะเห็นโครงสร้างที่เกิดจากการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนกันเองของอนุภาคของถ่านไม้ไผ่และจะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างมีความพรุนตัวสูงและรูพรุนมีจำนวนมากทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสโดยรวมของถ่านไม้ไผ่สูงด้วยเช่นกัน

4.5.2 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

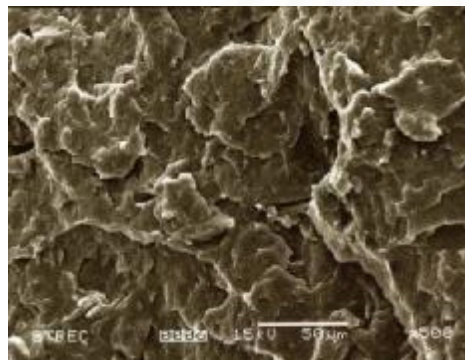
รูปที่ 4.16 แสดงผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยตรวจสอบจากพื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นงาน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 10000 เท่า



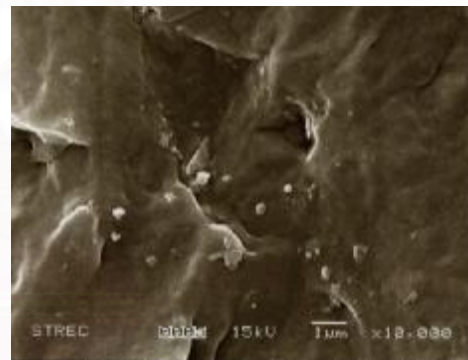
(a)



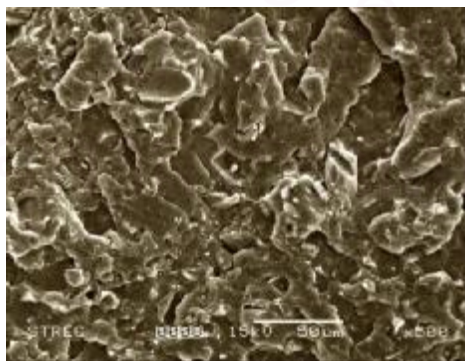
(b)



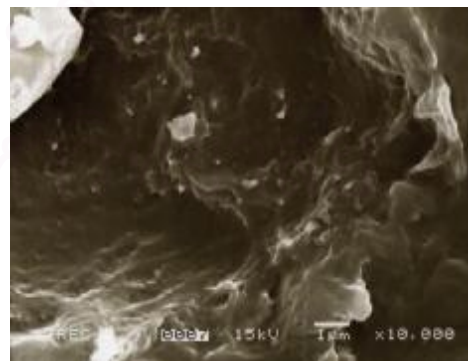
(c)



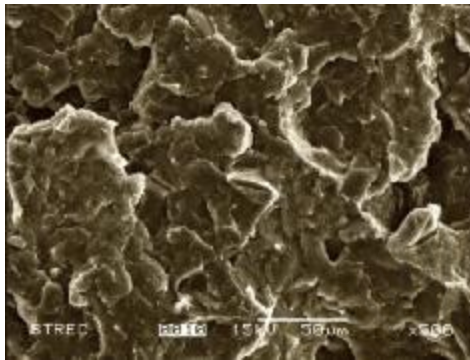
(d)



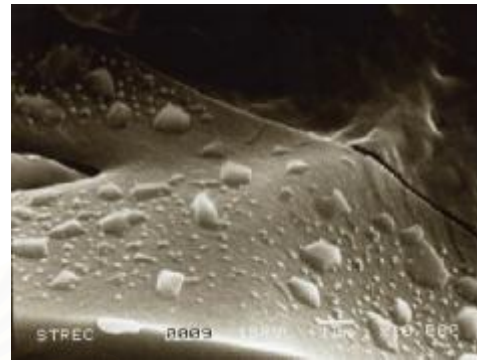
(e)



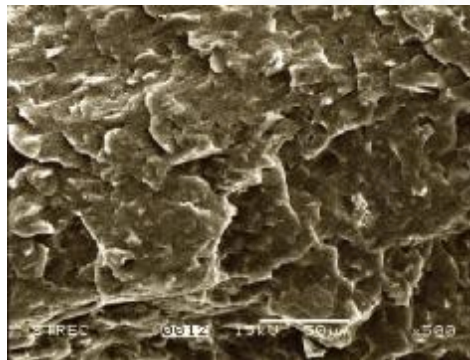
(f)



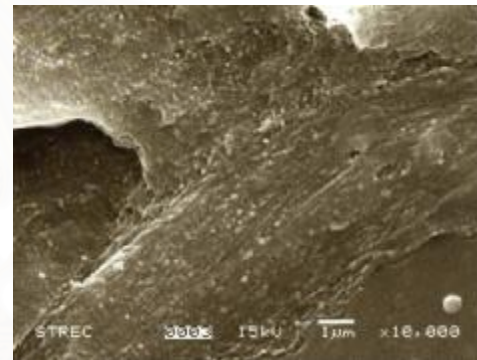
(g)



(h)



(i)



(j)

รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไฟที่กำลังขยาย 500 เท่า และที่กำลังขยาย 10000 เท่า ที่อัตราส่วนต่างๆดังนี้

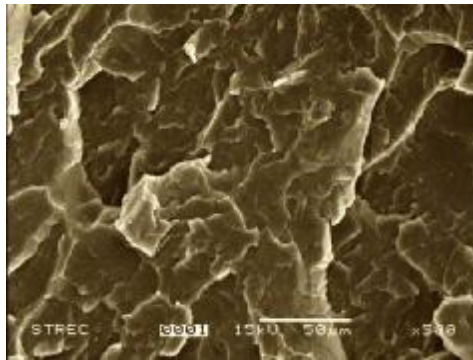
- (a) 0 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (b) 0 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (c) 5 phr กำลังขยาย 500 เท่า
 (d) 5 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (e) 10 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (f) 10 phr กำลังขยาย 10000 เท่า
 (g) 15 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (h) 15 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (i) 20 phr กำลังขยาย 500 เท่า
 (j) 20 phr กำลังขยาย 10000 เท่า

จากรูปที่ 4.16 (a) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิโพรพิลีนที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าเนื้อพอลิโพรพิลีนมีผิวเรียบและมีความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนเมื่อเพิ่มกำลังขยายสูงขึ้นที่ 10000 เท่า ดังรูปที่ 4.16 (b) และเมื่อมีการเติมถ่านไม้ไผ่ลงไปปริมาณ 5 phr ดังแสดงในรูปที่ 4.16 (c) จะสังเกตเห็นว่าผิวของวัสดุเชิงประกอบเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเกิดการแทรกตัวของอนุภาคถ่านไม้ไผ่เข้าไปในเนื้อของวัสดุเชิงประกอบ โดยเมื่อดูที่กำลังขยายสูงขึ้น รูปที่ 4.16 (d) จะเริ่มสังเกตเห็นอนุภาคของถ่านไม้ไผ่ภายในเมทริกซ์ แต่ยังคงกระจายตัวไม่ทั่วเมทริกซ์ เนื่องจากถ่านไม้ไผ่ยังมีปริมาณน้อยอยู่และเมื่อเราเพิ่มปริมาณถ่านไม้ไผ่สูงขึ้น รูปที่ 4.16 (e-f-g-h) สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่พบคือ ผิวเริ่มมีความขรุขระและเนื้อจะเริ่มหยาบขึ้นตามปริมาณถ่านไม้ไผ่ที่เพิ่มขึ้น เพราะการกระจายตัวของอนุภาคถ่านไม้ไผ่มีมากขึ้น โดยสังเกตจากอนุภาคสีขาวขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้นในเมทริกซ์ แต่การกระจายตัวยังไม่สม่ำเสมอและขนาดอนุภาคยังไม่แน่นอน แต่จะพบว่าที่ปริมาณถ่านไม้ไผ่ 20 phr รูปที่ 4.16 (i) ผิวของวัสดุเชิงประกอบจะมีความขรุขระน้อยลงแต่เนื้อหยาบขึ้นและเห็นอนุภาคสีขาวน้อยลงเนื่องจากอนุภาคของถ่านไม้ไผ่สามารถแทรกแล้วกระจายตัวเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ได้อย่างสม่ำเสมอโดยจะสามารถเห็นได้ชัดเจนเมื่อดูจากกำลังขยายสูงขึ้นใน รูปที่ 4.16 (j) ซึ่งอนุภาคถ่านไม้ไผ่จะกระจายไปทั่วทั้งเมทริกซ์ มีความหนาแน่นของถ่านไม้ไผ่สูงขึ้นและขนาดของอนุภาคของถ่านไม้ไผ่ ซึ่งในที่นี้คือจุดสีขาวๆจะเล็กลงและมีขนาดเท่าๆกัน จึงทำให้ไม่ค่อยเห็นจุดสีขาว ที่กำลังขยายต่ำ เหตุผลเมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่สูงแล้วเป็นเช่นนี้ อาจเกิดจากพอลิโพรพิลีนที่ใช้มีความหนืดสูง ดังนั้นเมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่ต่ำ แรงเฉือนที่ทำการผสมกระจายตัวในเมทริกซ์ได้มาจากเครื่องผสมแบบภายในและเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งเท่านั้น ซึ่งทำให้มันกระจายตัวได้ระดับหนึ่งเพราะความหนืดในเมทริกซ์สูง แต่พอถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงเฉือนในการผสมสูงกว่าเดิม เนื่องจากอนุภาคถ่านไม้ไผ่เกิดการเชื่อมกันเองเนื่องจากภายในเมทริกซ์มีความหนาแน่นของอนุภาคถ่านไม้ไผ่สูง ทำให้เกิดแรงเสียดทานกันระหว่างอนุภาคในขณะผสม จึงเกิดการบิดตัวกันเอง ประกอบกับมีความร้อนภายในระหว่างการผสมเกิดสูงขึ้น ความหนืดภายในเมทริกซ์จึงลดลง ถ่านไม้ไผ่จึงสามารถกระจายตัวในเมทริกซ์ได้ดีขึ้น

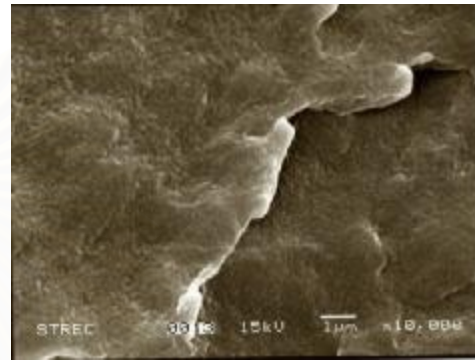
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3 สันฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่

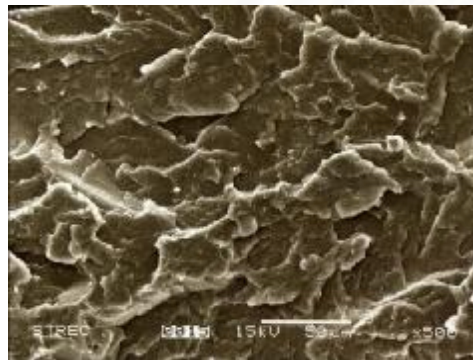
รูปที่ 4.17 แสดงผลการตรวจสอบสันฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยตรวจสอบจากพื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 10000 เท่า



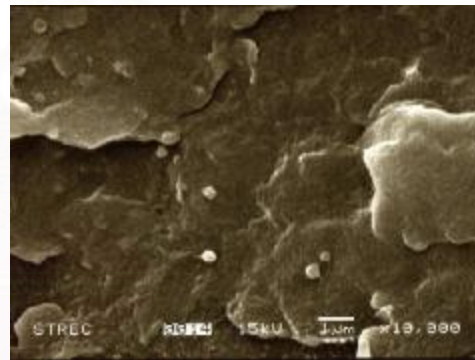
(a)



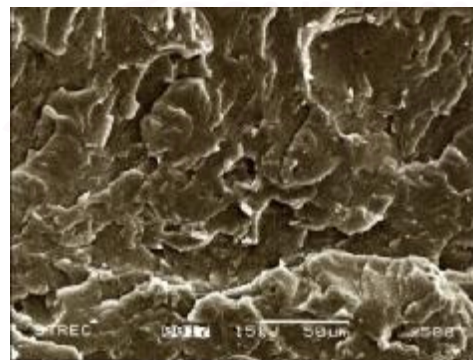
(b)



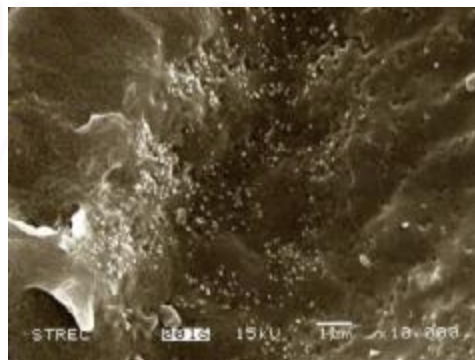
(c)



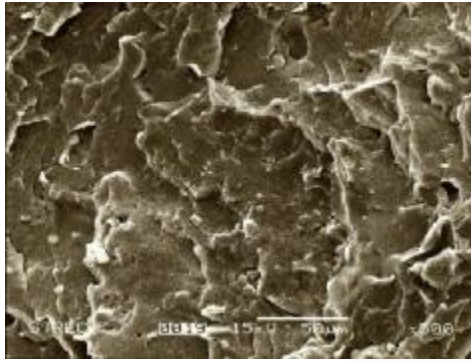
(d)



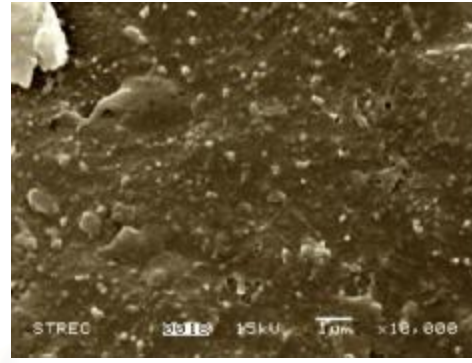
(e)



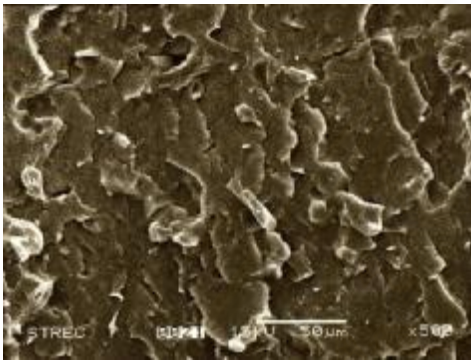
(f)



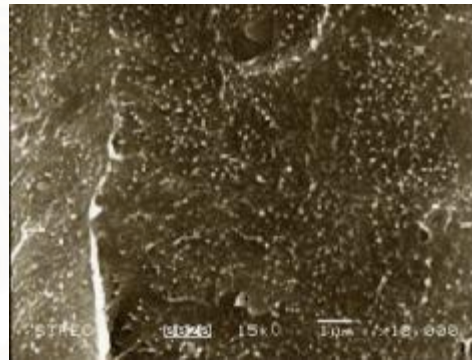
(g)



(h)



(i)



(j)

รูปที่ 4.17 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ที่กำลังขยาย 500 เท่าและที่กำลังขยาย 10000 เท่า ที่อัตราส่วนต่างๆดังนี้

- (a) 0 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (b) 0 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (c) 5 phr กำลังขยาย 500 เท่า
 (d) 5 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (e) 10 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (f) 10 phr กำลังขยาย 10000 เท่า
 (g) 15 phr กำลังขยาย 500 เท่า, (h) 15 phr กำลังขยาย 10000 เท่า, (i) 20 phr กำลังขยาย 500 เท่า
 (j) 20 phr กำลังขยาย 10000 เท่า

จากรูปที่ 4.17 (a-b) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่กำลังขยาย 500 เท่าและ 10000 เท่า พบว่ามีลักษณะพื้นผิวและเนื้อวัสดุคล้ายพอลิโพรพิลีน แต่มีขนาดแผ่นผลึกที่เล็กกว่าและจำนวนมากกว่า เมื่อมีการเติมถ่านไม้ไผ่ลงไป ในเมทริกซ์ โดยพิจารณาที่กำลังขยาย 500 เท่าทุกอัตราส่วน ดังรูปที่ 4.17 (c-e-g-i) จะสังเกตเห็นว่าจุดขาวๆ ภายในเมทริกซ์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะเล็กกว่าและอาจน้อยกว่าในวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนที่ได้กล่าวไปข้างต้น เหตุผลเป็นเพราะขนาดของอนุภาคถ่านไม้ไผ่ สามารถกระจายตัวเข้าไปในสายโซ่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำได้มากกว่าเนื่องจากโครงสร้างของพอลิ

เอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีการแพ็คตัวอย่างหลวม และมีความหนีดน้อยกว่าพอลิโพรพิลีน เมื่อโดนแรงเฉือนจากเครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง อนุภาคถ่านไม้ไผ่จึงสามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างได้ง่ายและไม่ค่อยเกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนที่ใหญ่ ดังนั้นเมื่อส่องด้วยกำลังขยายต่ำจึงเห็นจุดขาวๆมีขนาดเล็กและมีจุดขาวๆในเมทริกซ์น้อยกว่า และเมื่อส่องที่กำลังขยาย 10000 เท่า ดังรูปที่ 4.17 (d-f-h-j) จะพบว่าอนุภาคของถ่านไม้ไผ่มีการกระจายตัวได้ดี สม่ำเสมอ โดยมีปริมาณและความหนาแน่นสูงขึ้นตามปริมาณถ่านไม้ไผ่ที่เพิ่มขึ้น และดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การผสมพอลิโพลีเอทิลีนและถ่านไม้ไผ่ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน เพื่อเตรียมขึ้นรูปเป็นวัสดุเชิงประกอบมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพลีเอทิลีนและถ่านไม้ไผ่ จากผลการทดลองที่ได้ การผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในร่วมกับเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง จะได้วัสดุเชิงประกอบ ที่มีสมบัติทางกายภาพที่เห็นแนวโน้มทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดีกว่าของการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

5.1.2 วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในร่วมกับเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง มีความต้านแรงดึง ค่ายังส์มอดุลัส ที่เพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ที่ลดลง เมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่ในวัสดุเชิงประกอบเพิ่มมากขึ้น แต่สำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ ทุกอัตราส่วนที่เตรียมด้วยเครื่องบดผสมแบบภายในร่วมกับเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง จะมีความต้านแรงดึงที่น้อยกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แต่เมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้น ค่าความต้านแรงดึงในวัสดุเชิงประกอบก็จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านไม้ไผ่ที่เพิ่มขึ้น ส่วนผลของค่ายังส์มอดุลัสและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ให้ผลในแนวทิศทางเดียวกันกับของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

5.1.3 การดูดซึมน้ำ ของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 2 ชนิดมีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่มากขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำ ของวัสดุเชิงประกอบก็มีค่าสูงขึ้น โดยวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่ จะให้ค่าสูงกว่า

5.1.4 ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 2 ชนิดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณถ่านไม้ไผ่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมถ่านไม้ไผ่ลงในพอลิเมอร์นี้ ก็ไม่ช่วยเสริมสมบัติการนำไฟฟ้าได้มากนัก เพราะค่าที่ได้ยังแสดงสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้า

5.1.5 ผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 2 ชนิด ด้วยเทคนิค SEM พบว่า ถ่านไม้ไผ่มีการกระจายตัวในเมทริกซ์ของพอลิโพลีเอทิลีนได้ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาวิธีการเตรียมและชี้ นรูปวัสดุเชิงประกอบพอลิโพลีเอทิลีนส์ละถ่านไม้ไฟ ด้วยวิธีอื่น ๆ ว่ามีผลต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบแตกต่างกันอย่างไร

5.2.2 ศึกษาวิธีการตัดแปะถ่านไม้ไฟให้เข้ากับพอลิโพลีเอทิลีนส์ให้ดียิ่งขึ้น

5.2.3 ลองเปลี่ยนชนิดของถ่านเพื่อศึกษาผลต่อสมบัติทางกายภาพและความเข้ากันได้กับวัสดุเชิงประกอบ

5.2.4 ควรเตรียมวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณถ่านไม้ไฟมากกว่า 20 phr เพื่อศึกษาคูสมบัติต่างๆว่ายังคงอยู่ในแนวโน้มที่ดีขึ้นหรือไม่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] อำนาจ สิทธิตตระกุล. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี, เอกสารประกอบการสอน, ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร,(ม.ป.ป.).
- [2] นางเยาว์ ชูดิวนิชกุล. อิทธิพลของทัลด์และไมกาที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีนวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2533.
- [3] Structure Polypropylene[ออนไลน์]. แหล่งที่มา :<http://pslc.ws/macrog/pp.htm> [2550]
- [4] สุณิสสา ปานบุญ และ จิราพร อ่อนชมจันทร์. พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างขยะพลาสติกพอลิโพรพิลีนและเส้นใยมะพร้าว. โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [5] Tacticity Structure of Polypropylene[ออนไลน์]. แหล่งที่มา :http://www.ppsolutions.com.tw/english/about_pp/aboutpp_frame_eng.htm [2550]
- [6] นันทินีภา สมถวิล และ ประนอม โททอง การศึกษาและพัฒนาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2543.
- [7] เสาวรจณี ช้วยจุลจิตร์. Commodity Plastics, เอกสารประกอบการสอน, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [8] นิทัศน์ จิระอรุณ. วัสดุพอลิเมอร์1, เอกสารประกอบการสอน, ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2536.
- [9] Structure Polyethylene[ออนไลน์]. แหล่งที่มา :<http://pslc.ws/macrog/pe.htm> [2550]
- [10] พิษิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : 2532.
- [11] ธนพัทธ์ ชัยปลาทอง พอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแอลดีพีอีอียูเอสนีเอ็กซ์/แป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

- [12] อรุษา สรวารี. สารเติมแต่งพอลิเมอร์. เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [13] ผงถ่านไม้ไฟ[ออนไลน์]. แหล่งที่มา :<http://www.tarad.com/bamboocharcoal/> [2550]
- [14] Mingjie, G. Manual for Bamboo Charcoal Production and Utilization [online]. Available from: http://www.inbar.int/Econo_devep/doc/01-771/Production%20Manual.doc [2007, Jun 23]
- [15] Omastova, M., Chodak, I., Pionteck, J., “Electrical and mechanical properties of conducting polymer composites”, Synthetic Metals 102 (1999): 1251-1252.
- [16] Lou, C.W., Lin, C.W., Lei, C.W., “PET/PP Blend with Bamboo Charcoal to Produce Functional Composites”, Journal of Materials Processing Technology 192 (2007): 428-433.
- [17] Yui, H., Wu, G., Sano, H., Sumita, M., Kino, K. “Morphology and electrical conductivity of injection-Molded polypropylene/carbon black composites with addition of high-density polyethylene”, Polymer 47 (2006): 3599–3608.
- [18] Buajareern, S., Boonyuen, S., Chaimanon, N., “ Metal sorption behaviours of bamboo charcoals in catalyst based transesterification of fatty acid” [monograph on the Internet].Thailand: Thammasat University ; 2007.Available from: http://www.scisoc.or.th/stt/32/sec_i/paper/stt32_I_10024.pdf
- [19] Mizuta, K., Matsumoto, T., Hatate, Y., Nishihara, K., Nakanishi, T. “Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using”, Bioresource Technology 95 (2004): 255–257.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ค่าสมบัติความต้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 (ใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งในการผสม)

สูตร	ชิ้นงาน	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังสัมผัสดูลัส (MPa)
PP	1	39.62	42.00	543.26
	2	41.08	91.75	626.97
	3	41.27	49.20	594.29
	4	38.22	81.66	619.95
	5	38.63	61.84	579.96
	6	38.21	63.40	555.48
	average	39.51±1.39	64.97±18.89	586.65±33.74
100 PP/5 Bamboo charcoal	1	36.94	40.96	609.46
	2	37.36	33.88	621.29
	3	36.41	28.82	639.10
	4	35.75	65.18	682.25
	5	36.02	57.64	625.14
	6	36.01	41.55	637.81
	average	36.41±0.62	44.67±14.00	635.84±25.26
100 PP/10 Bamboo charcoal	1	35.81	27.94	648.30
	2	35.17	32.61	735.60
	3	35.60	19.33	625.07
	4	36.15	42.89	722.46
	5	34.90	28.71	700.02
	6	35.85	34.08	680.00
	average	35.58±0.46	30.93±7.80	685.24±42.78

สูตร	ชิ้นงาน	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังส์มอดุลัส (MPa)
100 PP/15 Bamboo charcoal	1	35.36	17.52	709.30
	2	34.36	20.10	725.70
	3	36.00	20.76	621.53
	4	40.41	47.08	881.24
	5	43.34	27.49	809.74
	6	40.06	17.25	895.79
	average	38.25±3.53	25.03±11.42	773.88±107.12
100 PP/20 Bamboo charcoal	1	36.399	41.217	752.481
	2	36.409	20.271	770.571
	3	35.803	20.259	800.668
	4	37.221	15.477	805.772
	5	39.55	18.757	860.024
	6	39.091	21.292	763.986
	average	37.41±1.55	22.88±9.21	792.25±39.24

ตารางที่ ก-2 ค่าสมบัติความต้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 (ใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ในการผสม)

สูตร	ชิ้นงาน	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังส์มอดุลัส (MPa)
LDPE	1	9.73	847.60	117.04
	2	11.63	880.56	118.78
	3	12.04	878.02	116.66
	4	10.91	855.57	128.85
	5	11.20	837.05	109.30
	average	11.10±0.88	859±19.02	118.12±7.01

สูตร	ชิ้นงาน	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังส์มอดุลัส (MPa)
100 LDPE/5 Bamboo charcoal	1	9.11	240.91	132.68
	2	9.53	243.66	135.34
	3	9.31	194.56	138.28
	4	8.85	209.85	132.51
	5	9.39	173.38	118.12
	6	8.95	269.26	145.57
	average	9.19±0.26	221.94±35.57	133.75±9.05
100 LDPE/10 Bamboo charcoal	1	8.4349	142.33	168.914
	2	8.9533	165.85	156.483
	3	9.2851	149.13	150.581
	4	8.9621	153.35	151.852
	5	9.0694	169.38	163.513
	6	9.0459	165.45	147.449
	average	8.96±0.28	157.58±10.88	156.47±8.27
100 LDPE/15 Bamboo charcoal	1	9.7816	119.35	173.388
	2	9.8479	77.139	156.804
	3	10.021	92.309	153.396
	4	9.8672	95.611	154.291
	5	9.7837	95.966	146.365
	6	10.016	117.33	162.693
	average	9.89±0.11	99.62±16.07	157.82±9.28
100 LDPE/20 Bamboo charcoal	1	9.8487	57.699	187.359
	2	10.202	55.408	164.775
	3	10.14	65.752	206.181
	4	10.237	67.768	169.959
	5	10.066	69.194	172.345
	6	10.544	70.262	197.351
	average	10.17±0.29	64.35±6.27	183.00±16.60

ตารางที่ ก-3 ค่าสมบัติความต้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 (ใช้เครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ในการผสม)

สูตร	ชิ้นงาน	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังสัมมอดุลัส (MPa)
PP	1	35.28	33.76	512.19
	2	37.24	44.64	572.79
	3	37.28	(error)	510.46
	4	37.67	51.00	542.88
	5	37.74	(error)	526.88
	6	36.68	(error)-	528.86
	average	36.98±0.92	43.13±8.72	532.34±23.12
100 PP/5 Bamboo charcoal	1	37.22	25.47	639.64
	2	37.90	27.02	617.22
	3	36.12	27.77	580.60
	4	36.59	28.31	588.18
	5	37.31	30.58	604.83
	6	38.11	28.90	607.79
	average	37.20±0.76	28.01±1.73	606.37±21.09
100 PP/10 Bamboo charcoal	1	39.57	23.16	645.07
	2	37.37	17.56	670.31
	3	38.88	30.95	630.61
	4	38.29	21.92	722.87
	5	35.69	13.15	657.10
	6	38.94	23.00	752.19
	average	38.12±1.40	21.62±5.99	679.69±47.60

สูตร	ชิ้นงาน	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังส์มอดุลัส (MPa)
100 PP/15 Bamboo charcoal	1	37.86	17.06	687.00
	2	37.69	18.05	705.13
	3	38.58	21.50	688.80
	4	37.34	21.19	722.57
	5	38.70	19.17	829.41
	6	40.01	17.17	814.98
	average	38.36±0.96	19.03±1.95	741.31±64.12
100 PP/20 Bamboo charcoal	1	40.03	15.23	856.17
	2	37.46	15.03	781.93
	3	38.68	14.48	859.77
	4	45.41	14.79	998.95
	5	45.07	15.75	1030.40
	6	46.78	20.04	874.56
	average	42.24±3.98	15.89±2.08	900.30±94.79

ตารางที่ ก-4 ค่าสมบัติความต้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และถ่านไม้ไผ่ ที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 (ใช้เครื่องบดผสมแบบภายในและเครื่องบดผสมแบบสอง ลูกกลิ้ง ในการผสม)

สูตร	ชิ้นงาน	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังส์มอดุลัส (MPa)
LDPE	1	12.925	882.62	120.156
	2	12.98	974.46	123.569
	3	11.837	886.83	142.079
	4	10.295	649.79	122.939
	5	12.605	855.72	108.21
	6	12.252	925.32	117.848
	average	12.15±1.00	862.46±112.04	122.47±11.10

สูตร	ชิ้นงาน	ความต้านแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ยังส์มอดุลัส (MPa)
100 LDPE/5 Bamboo charcoal	1	10.13	390.57	164.365
	2	10.061	311.12	163.357
	3	10.072	296.92	151.846
	4	10.252	688.73	145.243
	5	10.106	486.57	132.549
	6	10.524	606.85	152.115
	average	10.19±0.18	463.46±160.06	151.58±11.87
100 LDPE/10 Bamboo charcoal	1	10.22	199.20	154.10
	2	10.18	123.72	152.41
	3	10.82	175.01	184.94
	4	10.94	138.90	173.85
	5	11.10	185.26	186.77
	6	10.50	119.41	172.11
	average	10.63±0.38	156.91±33.92	170.70±14.71
100 LDPE/15 Bamboo charcoal	1	10.80	111.21	190.33
	2	10.68	90.25	187.13
	3	10.70	82.99	198.69
	4	10.79	67.33	192.94
	5	11.07	85.77	180.22
	6	10.82	82.98	192.85
	average	10.81±0.14	86.75±14.26	190.36±6.25
100 LDPE/20 Bamboo charcoal	1	11.46	69.03	196.44
	2	11.68	56.70	205.20
	3	11.19	54.26	171.28
	4	11.64	66.20	220.53
	5	11.34	63.00	176.65
	6	11.54	84.14	196.50
	average	11.47±0.19	65.55±10.68	194.43±18.21

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนและถ่านไม้ไผ่

สูตร	ชิ้นงาน	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ				
		1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
PP	1	0.0349	0.1046	0.1395	0.1395	0.1395
	2	0.03606	0.0361	0.0721	0.1082	0.1803
	3	0	0.0351	0.0702	0.0702	0.1053
	4	0.0350	0.0701	0.0701	0.1051	0.1051
	5	0.0739	0.1109	0.1109	0.1848	0.1848
	6	0	0.0745	0.1118	0.1118	0.1118
	average	0.0300	0.0719	0.0958	0.1199	0.1378
100 PP/5 Bamboo charcoal	1	0.1697	0.4072	0.5090	0.5090	0.5769
	2	0.1691	0.3383	0.3721	0.5074	0.5751
	3	0.3061	0.4762	0.5442	0.6122	0.64623
	4	0.1735	0.4164	0.4858	0.5552	0.6593
	5	0.1727	0.4834	0.6215	0.6215	0.6215
	6	0.2329	0.3661	0.5324	0.6323	0.6656
	average	0.2040	0.4146	0.5109	0.5729	0.6241
100 PP/10 Bamboo charcoal	1	0.4083	0.7486	1.0208	1.1228	1.1228
	2	0.3794	0.8624	1.0348	1.1728	1.2763
	3	0.3438	0.5156	0.9625	1.1000	1.1000
	4	0.3425	0.7534	0.9589	1.0616	1.0959
	5	0.3686	0.5697	0.7373	0.8043	0.8378
	6	0.2039	0.5776	0.8155	1.0873	1.1213
	average	0.3411	0.6712	0.9216	1.0582	1.0924
100 PP/15 Bamboo charcoal	1	0.3725	0.8127	1.1852	1.3207	1.5239
	2	0.3766	0.7874	1.1298	1.4721	1.6433
	3	0.5861	0.7164	0.9769	1.3025	1.3676
	4	0.3844	0.8008	1.2172	1.3133	1.5054
	5	0.2631	0.7563	1.1181	1.2825	1.4140
	6	0.1711	0.5820	0.9241	1.2667	1.3694
	average	0.3590	0.7426	1.09191	1.3263	1.4706

สูตร	ชั้นงาน	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ				
		1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
100 PP/20 Bamboo charcoal	1	0.4359	1.0060	1.4755	1.6767	2.0121
	2	0.4229	1.0410	1.4639	1.6591	1.9519
	3	0.9321	1.4786	1.7036	1.8965	2.1858
	4	0.6649	1.0971	1.4960	1.9282	2.0944
	5	0.4320	1.1299	1.4955	1.7281	2.0273
	6	0.48634	1.1349	1.4916	1.7834	2.0104
	average	0.5624	1.1479	1.5210	1.7787	2.0470

ตารางที่ ข-2 การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและถ่านไม้ไผ่

สูตร	ชั้นงาน	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ				
		1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
LDPE	1	0.0354	0.0708	0.0708	0.1062	0.1416
	2	0.0708	0.0708	0.0708	0.1062	0.1062
	3	0	0.0358	0.0717	0.0717	0.1075
	4	0.0723	0.0723	0.0723	0.0723	0.0723
	5	0.0359	0.0359	0.0718	0.0718	0.1077
	6	0.0731	0.0731	0.1096	0.1096	0.1827
	average	0.0480	0.0598	0.0778	0.0896	0.1197
100 LDPE/5 Bamboo charcoal	1	0.2088	0.5569	0.6265	0.7658	0.8702
	2	0.2784	0.4523	0.6611	0.6611	0.7307
	3	0.1721	0.4818	0.5506	0.6538	0.7915
	4	0.1776	0.5682	0.6037	0.7102	0.7813
	5	0.0351	0.3858	0.5261	0.6314	0.6664
	6	0.1761	0.4577	0.5986	0.6690	0.8099
	average	0.1747	0.4838	0.5944	0.6819	0.7750

สูตร	ชั้นงาน	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ				
		1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
100 LDPE/10 Bamboo charcoal	1	0.415	0.9350	1.1427	1.2119	1.3850
	2	0.3466	0.8666	1.0399	1.2132	1.3172
	3	0.3435	0.8588	1.0993	1.2367	1.3741
	4	0.2614	0.7841	1.0454	1.1107	1.3068
	5	0.48890	0.8475	1.0756	1.2712	1.2712
	6	0.2959	0.7561	1.0191	1.2163	1.24912
	average	0.3586	0.8413	1.0703	1.2100	1.3172
100 LDPE/15 Bamboo charcoal	1	0.3233	0.9670	1.2286	1.5842	1.7135
	2	0.3602	0.9496	1.3425	1.5062	1.7354
	3	0.3539	0.9330	1.2227	1.4801	1.7053
	4	0.3578	0.9109	1.366	1.5290	1.7892
	5	0.4213	1.1017	1.4258	1.7822	1.8795
	6	0.4512	1.0635	1.3858	1.7725	1.7725
	average	0.3779	0.9881	1.32860	1.6090	1.7659
100 LDPE/20 Bamboo charcoal	1	0.4393	1.1923	1.7258	1.9768	2.1964
	2	0.5148	1.2227	1.6731	1.9627	2.2201
	3	0.2165	0.9898	1.4538	1.6703	2.0105
	4	0.5838	1.4921	1.8813	2.2381	2.4002
	5	0.5607	1.3084	1.7134	1.9626	2.2118
	6	0.3844	1.3453	1.6976	1.9539	2.1781
	average	0.4499	1.2584	1.6908	1.9607	2.2029

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร

Sample	:	Plastic Sheet
Instrument used	:	Resistivity Adapter (Keithley Model 6105) High Voltage Supply (Keithley 247) Electrometer (Keithley 617)
Test method	:	Volume Resistivity
Measuring conditions:		Temperature 23°C Relative humidity 50% Voltage 500 V (dc) ASTM standard D 257

Sample preparation and measurement procedures :

- The specimens were left at the temperature of $23^{\circ}\text{C} \pm 0.26^{\circ}\text{C}$ and $50\% \pm 2\%$ relative humidity for 48 hrs.
- The specimen thickness was measured.
- The voltage of 500 volt (dc) was applied to the specimen placed in the Resistivity Adapter Chamber for 1 minute.
- The current was read and then the volume resistivity was determined.

Results :

Sample Name	Thickness \pm SD (cm)	Volume Resistivity \pm SD (W - cm)
PP 0 phr	0.0986 ± 0.0010	$(4.23 \pm 0.27) \times 10^{17}$
PP 10 phr	0.1032 ± 0.0011	$(1.50 \pm 0.10) \times 10^{17}$
PP 20 phr	0.1037 ± 0.0007	$(6.39 \pm 0.67) \times 10^{16}$
LDPE 0 phr	0.1068 ± 0.0015	$(6.52 \pm 0.19) \times 10^{16}$
LDPE 10 phr	0.1088 ± 0.0013	$(6.26 \pm 0.35) \times 10^{16}$
LDPE 20 phr	0.1112 ± 0.0014	$(4.61 \pm 0.13) \times 10^{16}$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรวัฒน์ สุธรรมน้อย เกิดเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ.2524 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ จากภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2546 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคปลาย ในปีการศึกษา พ.ศ.2548 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ.2550 รวมระยะเวลาในการศึกษา 2 ปี 1 เทอม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย