

ผลกระทบของการเติมพอตเตอร์ีสโตนในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกล
และสมบัติการหน่วงไฟ

EFFECTS OF POTTERY STONE POWDER ADDITION IN
POLYPROPYLENE ON MECHANICAL AND
FLAME RETARDANT PROPERTIES

วัชร จันญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลกระทบของการเติมพอตเตอรีสโตนในพอลิพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกล
และสมบัติการหน่วงไฟ



วัชร จันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของการเติมพอดเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติ
เชิงกลและสมบัติการหน่วงไฟ
Effects of pottery stone powder addition in polypropylene on
mechanical and flame retardant properties

ชื่อ-นามสกุล นางสาววัชรีย์ จันฎ

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.

ปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.)

..... กรรมการ
(อาจารย์กุลวดี สังข์สนิท, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิรัตน์ เล้าห์บุตรี, ปร.ด.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.)

วันที่..... เดือน...ตุลาคม.... พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของการเติมพอตเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการหน่วงไฟ
ชื่อ-นามสกุล	นางสาววัชรวิ จันภู
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาวสุปรีย์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพอตเตอร์สโตนเป็นแร่ธาตุราคาถูก ที่ได้จากธรรมชาติในประเทศไทย สามารถลดขนาดให้มีอนุภาคเล็กกลงเพื่อให้มีการประยุกต์ใช้งานในสารเติมแต่งพลาสติก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของการเติมพอตเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีนเกรดชนิดต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการหน่วงไฟ

การศึกษาผลของการเติมพอตเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 0, 1, 5, 10 และ 15phr ผสมโดยใช้เครื่องหลอมอัดรีดชนิดสกรูคู่ จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป เพื่อทดสอบสมบัติของวัสดุผสม ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength, ASTM D638) สมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength, ASTM D256) สมบัติความแข็งที่ผิว (Hardness, ASTM D 2240) ค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, ASTM D1238) ค่าความหนาแน่น (Density ASTM D792) การวิเคราะห์การกระจายตัวของพอตเตอร์สโตนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และสมบัติการหน่วงไฟ (UL-94)

ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุดเมื่อเติมพอตเตอร์สโตนลงในพอลิโพรพิลีนคือ 5phr เมื่อนำพอตเตอร์สโตน 5phr เติมลงในพอลิโพรพิลีนไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงมากนัก ส่วนค่าการยึดตัว ณ จุดขาด ค่าดัชนีการไหลมีค่าลดลง ส่วนค่าความทนต่อแรงกระแทก ค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งที่ผิวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพอตเตอร์สโตนเพิ่มขึ้น และพบว่า การเติมพอตเตอร์สโตนสามารถลดอัตราการลามไฟในพอลิโพรพิลีนได้

คำสำคัญ : พอลิโพรพิลีน พอตเตอร์สโตน สมบัติเชิงกล สมบัติการหน่วงไฟ

Thesis Title	Effects of Pottery Stone Powder Addition in Polypropylene on Mechanical and Flame Retardant Properties
Name-Surname	Miss Watcharee Janpoo
Program	Materials Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sorapong Pavasupree, Ph.D.
Academic Year	2013

ABSTRACT

Nowaday, pottery stone is an inexpensive natural mineral in Thailand. Pottery stone can reduce the size to small particles for plastic additive materials applications. The aims of this research were to study the effects of pottery stone powder addition in injection grade polypropylene on some mechanical and flame retardant properties.

Pottery stone was added in polypropylene at the ratio of 0, 1, 5, 10 and 15phr. The mixed samples were prepared by melt-blended using twin screw extruder and compression machine. The properties of mixed samples were tested including tensile strength (ASTM D 638), impact strength (ASTM D 256), material hardness (ASTM), melt flow index (ASTM D 1238), density gradient (ASTM D 792), scanning electron microscope (SEM) and flame retardant (UL-94).

Results of the study found that the suitable amount for the addition of pottery stone in polypropylene was 5phr. No significant effect of pottery stone addition on tensile strength was observed. Elongation at break and melt flow index of the mixed samples was decreased. Impact strength, density and hardness of the mixed samples was increased with increasing of pottery stone content. The results also showed that the addition of pottery stone could reduced flammability of polypropylene.

Keywords : polypropylene, pottery stone, mechanical property, flame retardant

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. ณรงค์ชัย โอเจริญ ดร. กุลวดี สังข์สนิท กรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิรัตน์ เลาห์บุตร ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณความอนุเคราะห์ด้านวัสดุ เครื่องมือในการทำวิจัย และเครื่องมือวิเคราะห์จาก ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณและมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว และคณะครู-อาจารย์ ที่ให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ ส่งเสริมสนับสนุน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ การศึกษาที่ดีตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

วัชร จันฑู



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(10)
บทที่	
1 บทนำ.....	14
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	16
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	16
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย.....	16
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	17
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.2 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene , PP).....	24
2.3 พอตเตอร์สโตน (Pottery Stone).....	27
2.4 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composites).....	30
2.5 สารเติมแต่ง (Additives).....	31
2.6 กระบวนการแปรรูปพลาสติก.....	34
2.7 การวิเคราะห์สมบัติทางกายรูปและทางความร้อนของวัสดุ.....	41
2.8 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	46
2.9 การทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL -94.....	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	54
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	54
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	55
3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	56
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	63
3.5 การทดสอบสมบัติทางกายรูปและสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีนที่ผสมพอตเตอริสโตน.....	66
3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนที่ผสมพอตเตอริสโตน.....	67
3.7 การทดสอบสมบัติการหน่วงไฟของพอลิโพรพิลีนที่ผสมพอตเตอริสโตน.....	71
4 ผลการทดลอง.....	72
4.1 ผลการตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM).....	72
4.2 ผลการทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI).....	76
4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่น.....	77
4.4 ผลการทดสอบเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC).....	78
4.5 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength).....	80
4.6 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength).....	82
4.7 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิวแบบ Shore Drometer.....	83
4.8 ผลการทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ (Flame Retardant) ตามมาตรฐาน UL-94..	87
5 สรุปผลการทดลอง.....	88
5.1 ผลกระทบต่อสมบัติทางกายรูปและสมบัติทางความร้อนของการเติมพอตเตอริสโตนในพอลิโพรพิลีน.....	88
5.2 ผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของการเติมพอตเตอริสโตนในพอลิโพรพิลีน.....	89

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ผลกระทบต่อสมบัติการนำไฟฟ้าของการเติมพอดเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีน	89
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	90
รายการอ้างอิง.....	91
ภาคผนวก.....	96
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบ.....	97
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	101
ประวัติผู้เขียน.....	125



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของหินผุหรือแสดงในรูปสูตรเอ็มไพริคัล (Empirical Formula).....	28
ตารางที่ 2.2 แหล่งที่พบพอตเตอริสโตน (Pottery Stone) ในประเทศไทย.....	29
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดการทดสอบความแข็งแบบ Durometer.....	51
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน.....	53
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางความร้อนของ PP : Pottery Stone.....	78



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างเคมีของพอลิโพรพิลีน.....	24
รูปที่ 2.2 รูปแบบแทกติกของพอลิโพรพิลีน (PP).....	25
รูปที่ 2.3 ลักษณะของตัวเสริมแรง.....	30
รูปที่ 2.4 ลักษณะการจัดเรียงของเส้นใยเสริมแรง.....	31
รูปที่ 2.5 รูปตัดขวางของเครื่องหลอมอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยวและสกรูคู่.....	35
รูปที่ 2.6 ลักษณะพื้นเกลียวและการหมุนสกรูของเครื่องอัดรีด.....	36
รูปที่ 2.7 ลักษณะของเครื่องอัดขึ้นรูป.....	38
รูปที่ 2.8 เบ้าชนิดต่าง ๆ สำหรับการอัด.....	39
รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการอัดและการฉีด.....	40
รูปที่ 2.10 องค์ประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	41
รูปที่ 2.11 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ.....	45
รูปที่ 2.12 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบการกระแทก.....	48
รูปที่ 2.13 เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer แบบ Shore.....	50
รูปที่ 2.14 การทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL -94.....	52
รูปที่ 2.15 การทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL -94V.....	53
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนขึ้นรูปชิ้นงาน.....	55
รูปที่ 3.2 เม็ดพอลิโพรพิลีน.....	57
รูปที่ 3.3 แร่พอตเตอริส โดน.....	57
รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	58
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่.....	58
รูปที่ 3.6 เครื่องอัดขึ้นรูป.....	59
รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	59
รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบการหาค่าดัชนีการไหล.....	60

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความหนาแน่น.....	60
รูปที่ 3.10 เครื่องคิฟเฟอร์เรนเซียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี.....	61
รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบหาค่าการทนต่อแรงดึงแบบยูนิเวอร์เซล.....	61
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก.....	62
รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิว.....	62
รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ.....	63
รูปที่ 3.15 เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่.....	64
รูปที่ 3.16 เม็ดพลาสติกใหม่ที่ได้จากการผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับพอดเทอริสโตน.....	64
รูปที่ 3.17 เครื่องอัดขึ้นรูป.....	65
รูปที่ 3.18 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป.....	65
รูปที่ 3.19 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638.....	67
รูปที่ 3.20 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength).....	68
รูปที่ 3.21 ชิ้นทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256.....	68
รูปที่ 3.22 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก.....	69
รูปที่ 3.23 ชิ้นงานทดสอบความแข็งที่ผิวแบบ Shore Drometer.....	70
รูปที่ 3.24 เครื่องทดสอบความแข็งที่ผิวแบบ Shore Drometer.....	70
รูปที่ 3.25 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุ.....	71
รูปที่ 3.26 เครื่องทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุ.....	71
รูปที่ 4.1 รูปถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า.....	72
รูปที่ 4.3 ค่าความหนาแน่นของ PP : Pottery Stone.....	76
รูปที่ 4.2 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI) ของ PP : Pottery Stone.....	77
รูปที่ 4.4 ค่าจากการทดสอบเทคนิคคิฟเฟอร์เรนเซียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC).....	78
รูปที่ 4.5 ค่าการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของ PP : Pottery Stone....	80
รูปที่ 4.6 ค่าการทดสอบยืดตัว ณ จุดขาด Elongation at Break ของ PP : Pottery Stone.....	80

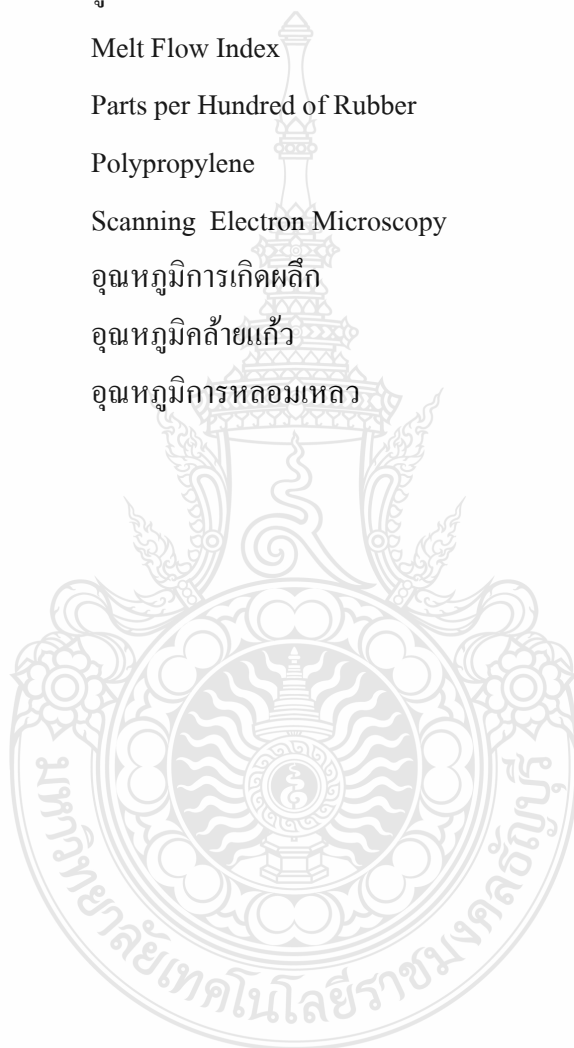
สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 ค่า Young's Modulus ของ PP : Pottery Stone.....	81
รูปที่ 4.8 ค่าการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกของ PP : Pottery Stone.....	82
รูปที่ 4.9 ค่าการทดสอบสมบัติสมบัติความแข็งที่ผิวของ PP : Pottery Stone.....	83
รูปที่ 4.10 รูปถ่าย SEM บริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) 100%.....	84
รูปที่ 4.11 รูปถ่าย SEM บริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ผสมพอดเตอร์สโตน.....	84
รูปที่ 4.12 ค่าการทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ (Flame Retardant) ของ PP : Pottery Stone.....	87



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

°C	องศาเซลเซียส
DSC	Differential Scanning Calorimeter
J	จูล
MFI	Melt Flow Index
phr	Parts per Hundred of Rubber
PP	Polypropylene
SEM	Scanning Electron Microscopy
T_c	อุณหภูมิการเกิดผลึก
T_g	อุณหภูมิคล้ายแก้ว
T_m	อุณหภูมิการหลอมเหลว



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันพลาสติกได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญอย่างหนึ่ง ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สามารถนำมาแทนทรัพยากรธรรมชาติได้หลายอย่าง เช่น ไม้ เหล็ก เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก มีน้ำหนักเบา ทนความชื้นได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่เป็นสนิม มีทั้งชนิดใสและมีสีต่างๆกัน ทำให้มีขอบข่ายการใช้งานค่อนข้างกว้าง ผลที่ตามมาคือ ปริมาณขยะพลาสติกที่นับวันยิ่งเพิ่มจำนวนมากขึ้น ตามอัตราการบริโภคที่มากขึ้นตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม พลาสติกมีการสลายตัวได้ช้ามาก ซึ่งหากปล่อยทิ้งไว้ให้สลายตัวเองตามธรรมชาติ อาจต้องใช้เวลามากกว่า 100 ปี การกำจัดขยะพลาสติกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำไปฝังกลบ (Landfill) การนำไปเผา (Incineration) และการแปรใช้ใหม่ (Recycling) จากข้อมูลทางสถิติพบว่า ปริมาณขยะในประเทศไทยทั้งหมดมีประมาณ 16 ล้านตัน/ปี ในจำนวนนี้เป็นขยะพลาสติกถึง 7.2 ล้านตัน โดยทั่วไปจะกำจัดขยะพลาสติกเหล่านี้ด้วยวิธีฝังกลบหรือเผาเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงาน ปัญหาที่พบจากการกำจัดโดยการฝังกลบคือ ขยะพลาสติกจะใช้น้ำในการฝังกลบมากเนื่องจากมีปริมาณมาก นอกจากนี้ในปัจจุบันยังพบว่า การฝังกลบขยะจะต้องใช้ต้นทุนสูง เพราะขาดแคลนพื้นที่และที่ดิน มีราคาแพงอีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยจะเกิดการปนเปื้อนทั้งในดินและน้ำใต้ดิน และถือว่าการสูญเสียวัสดุพลาสติกเหล่านั้นไปโดยเปล่าประโยชน์ จากเหตุผลดังกล่าว การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ จึงเป็นทางเลือกที่ให้ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทางหนึ่ง ในการแก้ไขปัญหาขยะพลาสติก การนำพลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งโดยการหลอม เพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นวิธีการที่สะดวกและไม่ยุ่งยากซับซ้อน [1] สำหรับพลาสติกที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย มี 4 ชนิด ได้แก่ โพลีเอทิลีน (PE) ทั้งชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีสไตรีน (PS) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) [2]

การพัฒนาพลาสติกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์มีแนวโน้มสูงอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นการพัฒนาจากพลาสติกที่มีการใช้งานอยู่แล้วให้มีศักยภาพสูงสุด โพลีโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและมีปริมาณการใช้งานที่สูงมากชนิดหนึ่ง เช่น บรรจุภัณฑ์ เครื่องใช้สำนักงาน อุปกรณ์การแพทย์และอุตสาหกรรมชิ้นส่วนประกอบยานยนต์ เป็นต้น เนื่องจากมีราคาต่ำ

ความแข็งแรงสูง ทนต่อไขมันและน้ำมัน มีการซึมผ่านของก๊าซต่ำ สามารถทำให้ใสได้ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนประกอบยานยนต์มีการใช้งานพลาสติกพอลิโพรพิลีนอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีกระบวนการแปรรูปไม่ยุ่งยาก สามารถเกิดผลิตภัณฑ์สูงซึ่งระดับการเกิดผลิตภัณฑ์สูงนี้จะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้เกิดการแข่งขันกันในการที่จะพัฒนาให้มีสมบัติต่างๆ เป็นไปตามความต้องการให้มากที่สุด ปัจจุบันแนวทางที่ใช้ปรับปรุงสมบัติของพอลิโพรพิลีนมีหลายแนวทางแต่ที่นิยม เช่น การปรับปรุงโดยใช้สารตัวเติมเสริมแรงเป็นตัวเติมในพลาสติก การทำพลาสติกผสม และพอลิเมอร์คอมโพสิต วัสดุผสมระหว่างพอลิเมอร์และสารตัวเติมจึงได้รับความสนใจอย่างสูง เพราะการรวมตัวกันของสารตัวเติมจะเปลี่ยนแปลงสมบัติทางโครงสร้าง,ทางกล,ทางความร้อน สมบัติเหล่านี้ได้รับผลกระทบจากระดับการกระจายตัวของสารตัวเติมในพอลิเมอร์และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์ [3-5]

การใช้สารเติมแต่งในอุตสาหกรรมพลาสติกได้เป็นที่รู้จักกันมากหลายทศวรรษแล้ว แต่ก็ยังมีความสนใจมากมายในหลากหลายภาคส่วน (สถานศึกษา และ โรงงานอุตสาหกรรม) ที่จะปรับปรุงแร่สารประกอบให้มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะสินค้าที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงจะกระตุ้นให้เกิดการวิจัยวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง (Advanced Composite) ซึ่งต้องการความรู้ที่ครอบคลุมปัจจัยทั้งหมดที่จะช่วยในการตัดสินใจคุณสมบัติของแร่สารประกอบพอลิเมอร์ (Polymeric Composite Material) ในขั้นตอนสุดท้าย [4]

ในงานวิจัยนี้เน้นการปรับปรุงสมบัติของพอลิโพรพิลีนที่มีจำหน่ายทั่วไป โดยการเติมสารตัวเติมเสริมแรงระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนสูง และเพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพการใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์สำหรับสารตัวเติมเสริมแรงที่ใช้ในงานนี้ คือ พอตเตอร์สโตน ซึ่งเป็นแร่ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ประเทศไทยสามารถพบได้ที่ จังหวัดลพบุรี ลำปาง กาญจนบุรีและอุดรธานี เป็นวัตถุดิบที่ใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก [6] มีซิลิกอน ไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณร้อยละ 70 เตรียมโดยการบด ใช้ปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมพอตเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการหน่วงไฟ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาผลของการเติมพอตเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีนที่มีต่อสมบัติเชิงกล
- 1.2.2 ศึกษาผลของการเติมพอตเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีนที่มีต่อสมบัติการหน่วงไฟ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การเตรียมตัวอย่างพอลิโพรพิลีนผสมพอดเทอริส โดน

เตรียม โดยการผสมพอดเทอริส โดน ในพอลิโพรพิลีน ชนิด ไอโซแทกติกเกรด 1100 NK อัตราส่วนดังนี้ คือ 1, 5, 10 และ 15phr ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส แล้วจึงตัดเป็นชิ้นงานทดสอบต่อไป

1.3.2 การวิเคราะห์และทดสอบ

1. ตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)
2. ทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index) ตามมาตรฐาน ASTM D1238
3. วิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค (Differential Scanning Calorimetry)
4. ทดสอบความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D792
5. ทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D638
6. ทดสอบสมบัติด้านการทนแรงกระแทกแบบไอซอด ตามมาตรฐาน ASTM D256
7. ทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิวแบบ Shore Drometer ตามมาตรฐาน ASTM D2240
8. ทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ (Flame Retardant) ตามมาตรฐาน UL -94

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

ได้ทราบผลกระทบการเติมพอดเทอริส โดน ในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการหน่วงไฟเพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิโพรพิลีนโดยใช้พอดเทอริส โดน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 รวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำแผนงานวิจัย
- 1.5.3 เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
- 1.5.4 ทำการทดลองและทดสอบงานวิจัย
- 1.5.5 ปรับปรุงและแก้ไขงานวิจัย
- 1.5.6 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Improved Performance of Isotactic Polypropylene/Titanium Dioxide Composites: Effect of Processing Conditions and Filler Content [3]

Mina และคณะ ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ไอโซแทคติกพอลิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในปริมาณต่างๆ กัน ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single-Extruded) จากนั้นนำไปขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding Machine) พบว่าความแข็งแรงระดับจุลภาคเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิในการหลอมเหลวลดลงเล็กน้อยและอุณหภูมิในการสลายตัวเพิ่มขึ้นอย่างมากตามปริมาณของสารตัวเติม

2.1.2 The Adhesion Phenomena in Polypropylene/Wollastonite Composites [4]

Musil และคณะ ศึกษาการปรับปรุงโพลีโพรพิลีน (Polypropylene – PP) ด้วยสารเติมแต่งวอลลาสโตไนท์ (Wollastonite Filler) ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมสาร PP/Wollastonite แบบไปนารีนั้น ได้มีการใช้สารไซเลน (Silane) ที่เตรียมจากสารเติมแต่งแร่วอลลาสโตไนท์ (Wollastonite Mineral Filler) ที่แตกต่างกัน 3 ประเภทด้วยกัน ตัวอย่างของสารประกอบได้ถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันภายในตู้ Brabender Plasti-Corder และผ่านการอัดเข้าไปในถาดแบบพิมพ์ของห้องปฏิบัติการ การยึดเกาะระหว่างสารเติมแต่งแร่วอลลาสโตไนท์ที่ใช้ในการศึกษานี้ และเมทริกซ์ของ PP ได้ถูกวิเคราะห์ตามฐานการคำนวณจากพารามิเตอร์ของการยึดเกาะ (การทำงานของ การยึดเกาะ พลังงานอิสระบนระหว่างพื้นผิว (Interfacial Free Energy) และสัมประสิทธิ์การกระจายตัวบนพื้นผิว (Spreading Coefficient) ที่ได้จากพลังงานอิสระบนพื้นผิวของแร่บริสุทธิ์ วิธีการทดสอบวัดมุมสัมผัส (Contact Angle Method) ได้ถูกนำมาใช้ในระบุพลังงานอิสระบนพื้นผิวขององค์ประกอบค่าของพารามิเตอร์การยึดเกาะที่ได้จากบริเวณหน้าสัมผัสในสารประกอบได้ถูกทำให้มีความสัมพันธ์ร่วมกับคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) และการสังเกตเชิงสัณฐานวิทยาของสารประกอบที่เหมือนกัน และได้รับการพิสูจน์ว่ามีความสอดคล้องกับการตรวจวัดคุณสมบัติเชิงกลได้เป็นอย่างดี การยึดเกาะที่ทนทานในสารประกอบที่ได้รับการตรวจสอบนี้ได้สะท้อนให้เห็นจากระดับค่าความเค้น (Yield Stress) และค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ก่อนขาดที่สูงขึ้น แต่จะมีค่าการยืดตัวก่อนขาด (Elongation at Break) ที่ต่ำลง

2.1.3 Tensile Properties of Polypropylene/Metal Oxide Nano Composites [7]

Altan และคณะ ศึกษาสมบัติความทนแรงดึงของพอลิโพรพิลีนที่เติมโลหะออกไซด์นาโนคอมโพสิต โดยอนุภาคนาโนที่เติมมี 2 ชนิด คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และ ซิงค์ออกไซด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยปรับปรุงผิวของโลหะออกไซด์ทั้ง 2 ชนิด ด้วยสารเชื่อมประสาน สไตรีน-เอทิลีน-บิวทีลีน-สไตรีน กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (SEBS-g-MA) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะระหว่างโลหะออกไซด์และพลาสติก จากนั้นผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบ สกรูคู่และขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีการฉีด พบว่าค่าความทนแรงดึงของพอลิโพรพิลีนที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์สูงขึ้น ค่าความแข็งและค่าร้อยละของการยืดตัวพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ให้ค่าที่สูงกว่าซิงค์ออกไซด์ เพราะว่าการยึดเกาะระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยสารเชื่อมประสานกับพอลิโพรพิลีนมีค่าสูงกว่า แต่ขณะเดียวกันในส่วนของซิงค์ออกไซด์มีโอกาสที่จะเกิดการเกาะตัวเป็นกลุ่ม (Agglomerated) สูงทำให้ลดประสิทธิภาพของการเป็นสารตัวเติมเสริมแรง

2.1.4 Effects of Crystalline Morphology on the Impact Behavior of Polypropylene [8]

Xu และคณะ ศึกษาผลกระทบของ สารก่อผลึกที่มีต่อสัญญาณวิทยาของผลึกพอลิโพรพิลีนโดยใช้โซเดียมเบนโซเอท เป็นสารก่อผลึก ในอัตราส่วนร้อยละ 0-2 พบว่าสารก่อผลึกจะแสดงบทบาทการเกิดแบบเนื้อผสม ปริมาณการเกิดผลึกจะสูงขึ้นขนาดของสเฟียรูไลต์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารก่อผลึก สารก่อผลึกจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดนิวเคลียสและอัตราการเติบโตของผลึก ทำให้สเฟียรูไลต์มีขนาดสม่ำเสมอและเล็กลง ซึ่งมีดีกรีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลึกเกิดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้มีความทนแรงดึง โมดูลัสและความแข็งเพิ่มขึ้น และยังช่วยลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติในการใช้งานที่ดีขึ้น

2.1.5 Influence of β -Nucleating Agent on the Mechanics and Crystallization Characteristics of Polypropylene [9]

Zhang และคณะ ศึกษาอิทธิพลของสารก่อผลึกกลุ่มอัลคิลามิโน (Acylamino-Nucleating Agent) ที่เตรียมขึ้นเอง โดยการเติมในปริมาณร้อยละ 0.1 ถึง 0.5 โดยน้ำหนัก ในไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน พบว่าที่ร้อยละ 0.3 ของสารก่อผลึก พบว่าสารก่อผลึกส่งผลต่อสัญญาณวิทยาของผลึกสมบัติทางกล คือ ความเหนียว การยืดตัว ณ จุดขาด ของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารก่อผลึก สมบัติการทนแรงกระแทกจะขึ้นอยู่กับขนาดของสเฟียรูไลต์

2.1.6 Mechanical and Morphological Properties of Polypropylene and High Density Polyethylene Matrix Composites Reinforced with Surface Modified Nano Sized TiO₂ Particles [10]

Altan และ Yildirin ศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยการเติมที่ปริมาณร้อยละ 1,3 และ 5 โดยปริมาตร และใช้สไตรีน-เอทิลีน-บิวทิลีน-สไตรีน กราฟต์ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และสารโซลเจน เป็นสารเชื่อมประสาน พบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลต่ออุณหภูมิและความสามารถในการตกผลึกเพียงเล็กน้อย แต่ในกรณีของพอลิเอทิลีนพบว่ามีระดับการเกิดของผลึกสูงขึ้นประมาณร้อยละ 25-30 ทั้งนี้เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์จะเป็นสารช่วยสร้างนิวเคลียสแทนที่จะปล่อยให้พอลิเอทิลีนสร้างนิวเคลียสเอง ส่วนค่าการทนแรงกระแทกของพลาสติกทั้ง 2 ชนิดจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของไทเทเนียมไดออกไซด์

2.1.7 Flame Retardant and Mechanical Properties of Natural Fiber-PP Composites Containing Magnesium Hydroxide [11]

Sain และคณะ ศึกษาความสามารถในการหน่วงไฟและสมบัติเชิงกลของการเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในพอลิโพรพิลีนเกรดเส้นใย โดยทำการศึกษาผลการหน่วงไฟของการผสมพอลิโพรพิลีนกับขี้เลื่อย/แกลบ และศึกษาความสามารถในการหน่วงไฟของการเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการทดสอบการหน่วงไฟในแนวตั้ง จากผลการทดสอบพบว่าพอลิโพรพิลีนที่ผสมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลดอัตราการหน่วงไฟได้เกือบ 50% เนื่องจากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์มีสมบัติการหน่วงไฟและการดูดกลืนความร้อน โดยการเติมสารหน่วงไฟมีผลทำให้สมบัติทางกลลดลงเพียงเล็กน้อย

2.1.8 สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโพลีพอลิสไตรีนผสมสารหน่วงไฟ [12]

มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ และคณะ ศึกษาความสามารถหน่วงไฟของสารเคมี 3 ชนิด Na₂HPO₄, Mg(OH)₂ และ H₃BO₃ ที่ผสมในแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่น 0.3 กรัม/ลบ.ซม. เตรียมแผ่นใยไม้อัดจากการผสมระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับโพลีพอลิสไตรีนเหลือทิ้งในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวต่อโพลีพอลิสไตรีน 85/15 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่ผสมสารหน่วงไฟมีอัตราการเผาไหม้ 1.85 มิลลิเมตรต่อนาที แผ่นใยไม้อัดที่ผสม Mg(OH)₂ หรือ Na₂HPO₄ ที่ 3% สามารถหยุดการเผาไหม้ด้วยตนเองและแผ่นใยไม้อัดที่มี Mg(OH)₂ ผสมกับ Na₂HPO₄ ในปริมาณการผสมอย่างละ 1.5% ไม่เกิดการเผาไหม้

2.1.9 Mechanical and Morphological Behavior of Polyolefin Blends in the Presence of CaCO_3 [13]

Albano และคณะ ศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของ r-HDPE/PP/ CaCO_3 คอมโพลีเมอร์ เปรียบเทียบกับ HDPE/PP/ CaCO_3 คอมโพลีเมอร์ พบว่า การผสมด้วย r-HDPE มีผลให้ค่าการทนต่อแรงกระแทกและค่าการยืดตัวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพลีเมอร์ HDPE นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า CaCO_3 กระจายตัวได้ไม่ดีใน r-HDPE/PP/ CaCO_3 คอมโพลีเมอร์ ค่าการทนต่อแรงกระแทกและค่าการยืดตัวจึงลดลง แต่เมื่อมีการผสม EPR ร่วมด้วย พบว่า ค่าการยืดตัวของ r-HDPE/PP/ CaCO_3 /EPR คอมโพลีเมอร์ สูงกว่าการผสมด้วย HDPE แสดงให้เห็นว่า r-HDPE สามารถเกิดอันตรกิริยากับ EPR โดยทำหน้าที่คล้ายเป็นพลาสติกไซเชอร์ ส่งผลให้คอมโพลีเมอร์สามารถยืดตัวได้มากขึ้น

2.1.10 Mechanical Performance of Wood Fibre-Waste Plastic Composite Materials [14]

Jayaraman และคณะ ศึกษาผลของการผสมไฟเบอร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักในพลาสติก HDPE ที่ผ่านการใช้งานแล้ว เปรียบเทียบกับการผสมในพลาสติกผสมที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยเก็บมาจากบ้านพักอาศัย จากงานวิจัยนี้ พบว่า ค่าการทนต่อแรงดึง และค่าการทนต่อแรงดัดของพลาสติก HDPE ทั้งสองชนิดผสมไฟเบอร์ค่อนข้างใกล้เคียงกันและเมื่อใช้สารช่วยผสมซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดึงของคอมโพลีเมอร์ทั้ง 2 ชนิด เพิ่มขึ้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยมีการผสมไฟเบอร์ จากงานวิจัยนี้ พบว่าการผสมไฟเบอร์ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีส่วนช่วยปรับปรุงสมบัติการทนต่อแรงดึงของพลาสติก HDPE ที่ผ่านการใช้งานแล้ว และพลาสติกผสมที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยเก็บมาจากบ้านพักอาศัยให้มากขึ้น

2.1.11 Dimensional Stability and Mechanical Behaviour of Wood-plastic Composites Based on Recycled and Virgin High Density Polyethylene (HDPE) [15]

Adhikary และคณะ ศึกษาผลของการใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ กราฟต์พอลิโพรพิลีน (MA-g-PP) ปริมาณร้อยละ 3-5 โดยน้ำหนัก ต่อความคงตัวของรูปร่าง สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยาของ HDPE / จีลีโอคอมโพลีเมอร์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้ r-HDPE และ v-HDPE จากงานวิจัยนี้ พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงและค่าการต้านทานแรงดัดของคอมโพลีเมอร์ทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด พบว่า r-HDPE/จีลีโอคอมโพลีเมอร์ มีความคงตัวของรูปร่างดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ v-HDPE/จีลีโอคอมโพลีเมอร์ นอกจากนี้ยังพบว่า การผสมจีลีโอปริมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก โดยมีการผสม MA-g-PP ปริมาณร้อยละ 3-5 โดยน้ำหนักร่วมด้วย ส่งผลให้

ค่าการต้านทานแรงดึงของคอม โพลีตสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ HDPE/ซีลื้อยคอม โพลีตที่ไม่มี การผสม MA-g-PP และเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า การผสมซีลื้อยปริมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก โดยมีการผสม MA-g-PP ร่วมด้วย ช่วยให้บริเวณ ผิวสัมผัสของพอลิเมอร์และซีลื้อยต่อเนื่องกันได้ดียิ่งขึ้นส่งผลให้สมบัติการต้านทานแรงดึงดีขึ้น

2.1.12 Modification of Mechanical Properties of Recycled Polypropylene From Post-consumer Containers [16]

Brachet และคณะ ศึกษาสมบัติเชิงกลของ r-PP/CaCO₃ คอม โพลีตโดยใช้ CaCO₃ ขนาดอนุภาค 3 ไมครอน ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก โดยมีอีลาสโตเมอร์(โคพอลิเมอร์โอเลฟิน ออกเทนและเอทิลีน ; EOR) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม จากงานวิจัยนี้ พบว่าการผสม CaCO₃ ปริมาณร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก เป็นผลให้ค่ามอดูลัสของยังส์เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการผสม EOR มีผลให้ค่ามอดูลัสของยังส์ลดลง ค่าการทนต่อแรงกระแทกและค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า พื้นผิวของ r-PP ที่มีการผสมอนุภาค CaCO₃ ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และ EOR ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีความสม่ำเสมอ แสดงให้เห็นว่า EOR มีส่วนช่วยเพิ่มความเหนียวและปรับปรุงสมบัติดังกล่าวของคอม โพลีต

2.1.13 Blends of HDPE Wastes : Study of the Properties [17]

Soto และคณะ ศึกษาผลของการผสม Talc ขนาด 2 และ 10 ไมครอน ปริมาณร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ต่อสมบัติเชิงกลของ r-HDPE/Talc คอม โพลีตโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้ r-HDPE จากกระบวนการผลิต และ r-HDPE ที่ผสมระหว่างพลาสติกใช้แล้วจากกระบวนการผลิตและ ขวดน้ำดื่มพลาสติก ในอัตราส่วน 80:20 จากงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อผสม Talc ขนาด 2 ไมครอน ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในพลาสติก r-HDPE ทั้งสองชนิด ส่งผลให้ค่ามอดูลัสของยังส์ และค่าความเค้นที่จุดขาดของคอม โพลีตสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การผสมในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

2.1.14 Mechanical and Rheological Properties of Composites Based on Polyolefin and Mineral Additives [18]

Silva และคณะ ศึกษาสมบัติเชิงกลของ PP/CaCO₃ คอม โพลีต โดยเปรียบเทียบปริมาณของ CaCO₃ ที่ใช้ในการผสม จากผลงานวิจัย พบว่า CaCO₃ มีผลให้ค่ามอดูลัสของยังส์ของ PP เพิ่มขึ้น ทุกปริมาณการผสม แต่เมื่อพิจารณาจากค่าการทนต่อแรงกระแทก พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผสม CaCO₃ ในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก อธิบายได้ว่า เมื่ออนุภาคฟิลเลอร์กระจายตัวใน

PP เมทริกซ์ ส่งผลให้พลังงานจากการกระแทกสามารถกระจายตัวได้ดีขึ้น แต่เมื่อผสม CaCO_3 ในปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าการทนต่อแรงกระแทกลดลง เนื่องจาก อนุภาคของ CaCO_3 มีแนวโน้มเกิดการรวมตัวกัน แสดงให้เห็นว่า การทนต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตขึ้นอยู่กับกระจายตัวของอนุภาคฟิลเลอร์ใน PP เมทริกซ์

2.1.15 Effect of Coupling Agent and Morphology on the Impact Strength of High Density Polyethylene / CaCO_3 Composites [19]

Liu และคณะ ศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิว CaCO_3 ด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยา ไอโซโพรพิลไตรไอโซสเตียโรยลิตานเนต (Isopropyltriisostearoyltitanate) โดยเปรียบเทียบปริมาณของสารควบคู่ปฏิกิริยาที่ใช้ระหว่างร้อยละ 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนักของ CaCO_3 ต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและสัณฐานวิทยาของ HDPE/ CaCO_3 คอมโพสิต จากงานวิจัยนี้พบว่า ปริมาณสารควบคู่ปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือร้อยละ 0.050 โดยน้ำหนักของ CaCO_3 ซึ่งให้ค่าการทนต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณสารควบคู่ปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 0.075 โดยน้ำหนักของ CaCO_3 เป็นผลให้ค่าการทนต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตลดลง สอดคล้องกับภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้ปริมาณสารควบคู่ปฏิกิริยาร้อยละ 0.075 โดยน้ำหนักของ CaCO_3 ส่งผลให้อนุภาค CaCO_3 เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน ทำให้ความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการกระแทกของคอมโพสิตลดลง

2.1.16 Effects of Coupling Agents on Mechanical and Morphological Behavior of the PP / HDPE Blend with Two Different CaCO_3 [20]

González และคณะ ศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิว CaCO_3 ที่มีขนาดอนุภาค 1.8 และ 3.0 ไมครอน ด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทิทานเนต (LICA 01, LICA 12) และเซอโคเนต (Zn 12) ต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติก PP/HDPE อัตราส่วน 80:20 โดยเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารควบคู่ปฏิกิริยาที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของ CaCO_3 ซึ่งผสมในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จากงานวิจัยนี้ พบว่า การปรับปรุงพื้นผิว CaCO_3 ด้วย LICA 01 ปริมาณร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก มีผลให้ค่ามอดูลัสของยังส์เพิ่มขึ้น และการปรับปรุงพื้นผิว CaCO_3 ด้วย (Zn 12) มีผลให้ค่าการยึดตัวของคอมโพสิตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่า การปรับปรุงพื้นผิว CaCO_3 ด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยาผสมระหว่าง LICA 01 และ LICA 12 ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก มีผลให้ค่าการทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า สารควบคู่ปฏิกิริยาช่วยปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารควบคู่ปฏิกิริยาซึ่งให้ผลในการปรับปรุงที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาภาพถ่ายจาก

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า สารควบคู่ปฏิกิริยาช่วยลดช่องว่างบริเวณผิวสัมผัสของพอลิเมอร์เมทริกซ์ และฟิลเลอร์ ทั้งขนาด 1.8 และ 3 ไมครอน แสดงให้เห็นว่า สารควบคู่ปฏิกิริยามีส่วนช่วยเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคฟิลเลอร์กับพอลิเมอร์เมทริกซ์ให้มากขึ้น

2.1.17 Morphology and Mechanical Properties of Polypropylene / Calcium Carbonate Nanocomposites [21]

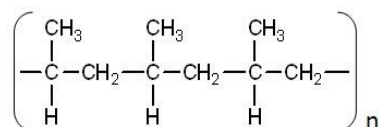
Yang และคณะ ศึกษาผลของการผสม CaCO_3 ขนาดอนุภาค 0.07 ไมครอน ต่อสมบัติเชิงกลและสัญญาณวิทยาของ PP/ CaCO_3 คอมโพสิต โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของการผสมใน PP 3 ชนิด ได้แก่ PP โฮโมพอลิเมอร์ (PP1), PP-PE โคพอลิเมอร์ (PP2) และ PP1 ผสม PP2 อัตราส่วน 1:1 (PP3) จากงานวิจัยนี้ พบว่า เมื่อผสม CaCO_3 ในปริมาณร้อยละ 2-10 โดยน้ำหนักใน PP ทั้ง 3 ชนิด มีผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงของคอมโพสิต สูงกว่าพอลิเมอร์เมทริกซ์ และเมื่อเพิ่มปริมาณการผสมเป็นร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงลดลงต่ำกว่าพอลิเมอร์เมทริกซ์ แต่ค่าการต้านทานแรงดัดและค่ามอดูลัสของแรงดัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ พบว่าค่าการต้านทานแรงกระแทกของ PP2/ CaCO_3 และ PP3/ CaCO_3 คอมโพสิต มีค่าสูงกว่า PP1/ CaCO_3 มาก แสดงให้เห็นว่า PP2/ CaCO_3 และ PP3/ CaCO_3 มีความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการกระแทกได้ดีกว่า PP1/ CaCO_3 นอกจากนี้

2.2 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene , PP) [22-23]

2.2.1 ประวัติของพอลิโพรพิลีน

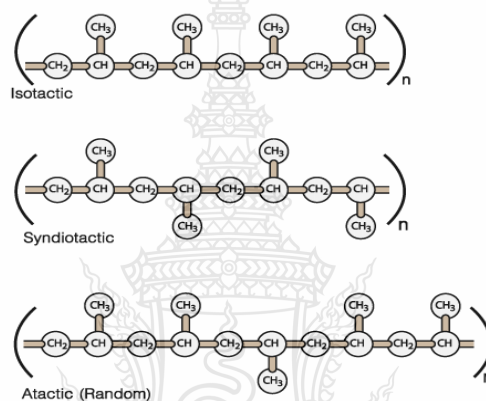
พอลิโพรพิลีน หรือที่เรียกกันสั้นๆว่า PP เป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดย Giulio Natta และนักเคมีชาวเยอรมัน Karl Rehn ในเดือนมีนาคมปี ค.ศ. 1954 ในประเทศสเปน โดย PP ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบผลึกชนิด Isotactic การค้นพบครั้งนี้เป็นการบุกเบิกนำไปสู่การผลิตเพื่อการค้าต่อมาในปี 1957 และ Giulio Natta และผู้ร่วมงานยังได้สังเคราะห์ PP ชนิด Syndiotactic ขึ้นเป็นครั้งแรก

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรพิลีน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเคมีของพอลิโพรพิลีน [24]

พอลิโพรพิลีน (PP) เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) คือพอลิเมอร์พลาสติกที่สามารถขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนซ้ำๆ ได้หลายครั้ง พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงประกอบด้วยโมโนเมอร์ของ Propylene (C_3H_6) หลายๆ ตัว เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของก๊าซ Propylene โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารประกอบพวกโลหะ เช่น ไทเทเนียมคลอไรด์ การใช้ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและสภาวะของการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงโครงสร้างต่างกัน 3 ชนิดคือ Isotactic, Syndiotactic และ Atactic ขึ้นอยู่กับทิศทางการจับของหมู่เมทิลกับอะตอมคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบแทกติกของพอลิโพรพิลีน (PP) [24]

พอลิโพรพิลีนชนิด Isotactic นำมาผลิตเป็นพลาสติกใซ้อยู่โดยทั่วไป เนื่องจากโครงสร้างมีการจัดเรียงของหมู่เมทิลอยู่ด้านเดียวกันอย่างเป็นระเบียบจึงมีความเป็นผลึกสูง ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็ง ทนทาน ตรงข้ามกับชนิด Atactic ที่จะมีความเหนียวมากกว่าเนื่องจากหมู่เมทิลมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) ส่วนชนิด Syndiotactic หมู่เมทิลจัดเรียงตรงข้ามกันมีความแข็งแรงน้อยกว่า แต่จะทนทานมากกว่าชนิด Isotactic

2.2.3 สมบัติของพอลิโพรพิลีน

สมบัติทั่วไปของพอลิโพรพิลีนคือ มีความแข็งแรง ความเปราะและแตกง่ายขึ้นน้อยกว่า HDPE และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า LDPE มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนคงตัวไม่เสีรูปร่างมีความทนทานมากสามารถทำเป็นบานพับในตัวเมื่อไม่ได้ผสมสีมีลักษณะขาวขุ่นไม่ทึบแต่ไม่ใส ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน (PE) แต่ไม่ใสเท่ากับพอลิสไตรีน (PS) มีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยในช่วง $0.855-0.946 \text{ g/cm}^3$ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีนมีจุดหลอมเหลว

สูง 130–171°C จึงสามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization:100°C) ได้เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมากแม้ที่อุณหภูมิสูงมีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี

ทนทานต่อสารเคมีส่วนมากได้แก่ กรด ต่าง แอลกอฮอล์ ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะเกิดการพองตัว อ่อนนิ่มหรือพื้นผิวเป็นรอยได้ในสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็นคลอรีนหรือไฮโดรคาร์บอน ทั้งชนิดอะโรมาติกและอะลิฟาติกเนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีคุณสมบัติไม่มีขั้วสามารถดูดซึมสารที่ไม่มีขั้วได้ดีดังนั้นจึงสามารถทนต่อสารที่มีขั้วได้ดีกว่าและพอลิโพรพิลีนจะพองตัวและสลายตัวได้ในสารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง เช่น ไออครดไนตริก กรดซัลฟิวริกเข้มข้นและร้อน

2.2.4 การสลายตัวของพอลิโพรพิลีน

พอลิโพรพิลีนเกิดการสลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีแรงกระแทกความร้อน ออกซิเจน แสง UV เนื่องจากโครงสร้างมี Tertiary Carbon Atom ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายทำให้ตัดพันธะพอลิเมอร์สายสั้นลงและให้สารกลุ่มอัลดีไฮด์ กรดคาร์บอกซิลิกแลคโตนและเอสเทอร์ออกมาทำให้พอลิเมอร์ไม่คงทน มีรอยแตกและเหลือง ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิโพรพิลีนสำหรับการใช้งานภายนอกอาคารอาจต้องมีการเติม Carbon Black เพื่อป้องกันแสง UV และสารต้านออกซิเดชันเพื่อป้องกันพอลิเมอร์สลายตัว

2.2.5 การใช้งานพอลิโพรพิลีน

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรพิลีนที่พบเสมอคือ ก่อเครื่องมือ กระเป๋า ปกแฟ้มเอกสาร ก่อและตลับเครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือน ก่อบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ ขวดใส่สารเคมี กระจป้องกัน น้ำมันเครื่อง กระจสบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย

พลาสติกสำหรับใช้งานในทางการแพทย์หรือในห้องปฏิบัติการส่วนมากทำจาก PP ซึ่งมีข้อดีคือทนต่อความร้อนสูงได้สามารถนำไปอบฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดความดัน (Autoclave) เมื่อทำเป็นภาชนะบรรจุอาหารก็สามารถนำเข้าเครื่องล้างจานอัตโนมัติและภาชนะบรรจุอาหารสำหรับไมโครเวฟได้

2.2.6 ความปลอดภัยของพอลิโพรพิลีน

การใช้ PP มีความปลอดภัยต่อสุขภาพจากความเป็นพิษของสารเคมี ในโรงงานผลิต PP ที่อุณหภูมิสูงที่ปลดปล่อยไอที่อาจระคายเคืองต่อระบบหายใจและตา ก็ยังไม่มีรายงานถึงความเป็นพิษเมื่อต้องสัมผัสกับพลาสติกชนิดนี้ในระยะยาว ในปี 2008 นักวิจัยทางการแพทย์ในแคนาดาได้อ้างว่ามี การปลดปล่อย Quaternary Ammonium Biocides และ Oleamide ออกมาจากพลาสติกชนิด PP มีผลต่อการทดลองในห้องปฏิบัติการ Quaternary Ammonium Biocides เป็นสารต้านแบคทีเรียที่ผู้ผลิต

ใช้เติมลงในพลาสติก ส่วน Oleamide เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติก เนื่องจากมีการใช้พลาสติก PP เป็นภาชนะสำหรับบรรจุอาหารและเครื่องใช้จำนวนมาก จึงมีโอกาสที่ Oleamide จากพลาสติกจะไปปนเปื้อนอาหารได้ แต่ทั้งนี้ก็ยังไม่ทราบถึงอันตรายต่อสุขภาพ

2.3 พอตเตอร์สโตน (Pottery Stone) [6]

พอตเตอร์สโตน เป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่พบในแหล่งที่มีหินภูเขาไฟ หินแกรนิต เฟลด์สปาร์ หรือในแหล่งดินขาว ซึ่งจากแหล่งที่พบจะมีวัตถุดิบอยู่ 4 ลักษณะคือ

1. ดินขาว ได้แก่ วัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงดินสีขาว
2. พอตเตอร์สโตน ได้แก่ วัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นหินสีขาว มีความแข็งน้อย
3. หินสด ได้แก่ วัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นหินสีขาวที่มีความแข็งมากกว่าพอตเตอร์สโตน
4. หินแข็งชนิดต่างๆ เช่น หินเขียว หินนูน หินทราย และเฟลด์สปาร์

แร่อื่น ๆ หมายถึง ฟลูออไรด์ อะพาไทต์ โปแตสเซียม โซเดียม และซิลิกา โดยมากแล้วพบแร่เหล่านี้ทุกตัวปนอยู่เล็กน้อยเนื่องจากพอตเตอร์สโตนไม่ได้หมายถึงแร่ใดแร่หนึ่งโดยเฉพาะ แต่หมายถึงส่วนผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันของแร่ต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ผลวิเคราะห์ทางเคมีของพอตเตอร์สโตน ไว้ดังต่อไปนี้

สำหรับประเทศไทยพบพอตเตอร์สโตนอยู่หลายแหล่ง แต่แหล่งที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เซรามิกส์ ได้แก่ ที่จังหวัดลำปาง ลพบุรี กาญจนบุรี และเพชรบุรี มีชื่อทางการค้าว่า พอตเตอร์สโตน (Pottery Stone) โดยมีลักษณะเด่นดังต่อไปนี้

1. มีไพไรต์ปริมาณต่ำมาก (Pyrite; Iron Sulphate ; FeS_2) ซึ่งไพไรต์เป็นตัวทำให้เกิดตำหนิสีดำ
2. มีลักษณะเด่นของโครงสร้างทางแร่ดังนี้
 - 1) ในส่วนที่อ่อนจะมีควอร์ตซ์ และไม่กาเป็นส่วนประกอบหลัก มีดินขาวเพียงเล็กน้อย
 - 2) ในส่วนที่แข็งมักจะมีหินพื้นม้าปนอยู่ และเป็นหินพื้นม้าชนิดโซดา เป็นส่วนใหญ่
 - 3) บางครั้งจะพบว่ามิมอนท์มอริลโลไนต์

ตารางที่ 2.1 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของพอตเตอริสโตน หรือแสดงในรูปสูตรเอมไพริคัล (Empirical Formula) ได้ดังนี้

สูตรทางเคมี	ร้อยละ
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	71.10
อลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	16.82
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.16
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	1.60
แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF ₂)	0.50
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.05
โปแตสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	6.57
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	2.29
Loss of ignition (LOI.)	1.25

3. ส่วนที่อ่อนสามารถบดเป็ยกได้ง่าย หรือสามารถทำให้ละเอียดได้ด้วยเครื่องกวนน้ำดินกำลังสูง

4. จะมีเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) ปนอยู่ประมาณร้อยละ 0.5

5. หลังจากบดด้วยหม้อบด (Ball Mill) สามารถนำมาทำเนื้อดินเซรามิกส์สำหรับอุตสาหกรรมกระเบื้องปูพื้นและบุผนังที่ไม่ต้องการความขาวของเนื้อดินมากนัก

6. ในโครงสร้างทางแร่ของเนื้อผลิตภัณฑ์พอร์สเลนที่ทำจากพอตเตอริสโตน ของลพบุรีมากกว่าร้อยละ 90 จะพบผลึกเล็ก ๆ ของมัลไลต์ ที่มีขนาดประมาณ 1 - 2 ไมโครเมตรมากมาย

พอตเตอริสโตน มีจุดหลอมละลายประมาณ 1,150 - 1,300 องศาเซลเซียส ในเนื้อดินเซรามิกส์และน้ำเคลือบจะทำหน้าที่เป็นตัวลดจุดหลอมละลายเช่นเดียวกับ หินฟันม้า แต่พอตเตอริสโตนจะหลอมตัวได้น้อยกว่า และมีโอกาสทำให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวต่ำกว่า จึงนิยมใช้พอตเตอริสโตน ร่วมกับหินฟันม้า ทั้งในน้ำเคลือบและเนื้อเซรามิกส์ เพราะพอตเตอริสโตน เป็นแร่ที่ให้ ซิลิกา อลูมินา และ โปแตส ในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดแก้วคุณภาพดี และช่วยหลอมละลายสารอื่น ๆ ช่วยเพิ่มความหนาแน่นและทำให้ความแข็งแรงหลังเผาสูงขึ้น

ตารางที่ 2.2 แหล่งที่พบพอตเตอร์สโตน (Pottery Stone) ในประเทศไทย

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ลำปาง	ลพบุรี
SiO ₂	76.61	75.88
Al ₂ O ₃	13.09	11.69
Fe ₂ O ₃	0.35	0.81
MgO	0.01	<0.01
CaO	0.15	0.20
Na ₂ O	5.20	3.67
K ₂ O	1.59	4.74
TiO ₂	0.05	0.13
P ₂ O ₅	<0.01	<0.01
MnO ₂	0.02	0.01
Cr ₂ O ₅	0.01	<0.01
LOI	3.92	3.67

2.3.1 ข้อดีในการใช้พอตเตอร์สโตน

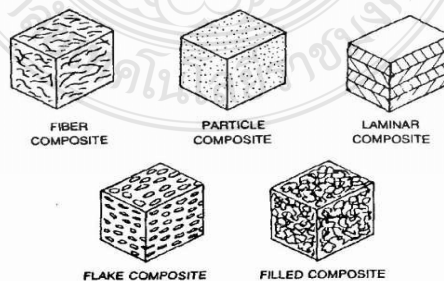
1. เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัวของเนื้อดิน ทำให้สามารถใช้อุณหภูมิในการเผาต่ำลงได้
2. เนื่องจากพอตเตอร์สโตนจะมีความแข็งน้อยกว่าเฟลคสปาร์ ดังนั้นจึงช่วยลดเวลาในการบดลง จึงช่วยลดพลังงานในการบดเนื้อดินลงด้วย
3. พอตเตอร์สโตนจะมีราคาที่ถูกกว่าเฟลคสปาร์อยู่มาก ดังนั้นจึงช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้มาก

2.3.2 การใช้ประโยชน์พอตเตอร์สโตนในอุตสาหกรรม

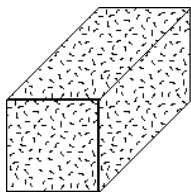
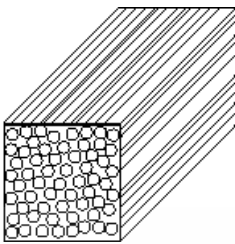
1. อุตสาหกรรมเซรามิกส์ วัดอุณหภูมิในการใช้งานพอตเตอร์สโตนในอุตสาหกรรมเซรามิกส์นั้นเพื่อเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัว (Flux) ในเนื้อดินและในสีเคลือบในอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ ลูกถ้วยไฟฟ้า ถ้วยชาม วัสดุทนไฟ
2. อุตสาหกรรมเกษตรใช้สำหรับเติมลงไปนปุ๋ย ตัวช่วยทำความสะอาดบ่อปลา

2.4 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composite) [23]

วัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุ 2 ประเภทขึ้นไปโดยที่องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันและจะต้องไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดจากการผสมหรือการสร้างพันธะ กรณีการเกิดจากการผสมกันระหว่างวัสดุ องค์ประกอบอยู่ในระดับที่สามารถมองเห็นได้ ตัวอย่างเช่น คอนกรีต ที่ประกอบด้วยซีเมนต์ ทราย หิน และ น้ำ และกรณีการเกิดจากการสร้างพันธะ องค์ประกอบอยู่ในระดับโมเลกุล ถ้าเป็นเหล็กเรียกว่า อัลลอย ถ้าเป็นพลาสติกเรียกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิต จะประกอบด้วยตัวเสริมแรง (Reinforce Phase) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของเส้นใย อนุภาค แผ่นหรือชิ้นเล็กๆ และ/หรือเป็นสารตัวเติม ซึ่งเป็นเฟสกระจาย (Dispersed Phase) ผังตัวอยู่ในเนื้อพื้น (Matrix) ที่อาจเป็นโลหะ เซรามิกส์ หรือ พอลิเมอร์ ตัวเสริมแรงจะช่วยให้สมบัติทางกลโดยรวมของเนื้อพื้นดีขึ้นเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีทั้งข้อดีข้อเสีย เช่น โลหะจะมีความแข็งแรง และความเหนียวสูงแต่เป็นสนิมง่ายและหนัก พอลิเมอร์จะมีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงต่ำ ทนความร้อนไม่ได้ นำไฟฟ้าไม่ได้ เซรามิกส์มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการสึกหรอและการผุกร่อนได้ดี ทนความร้อนได้ดี แต่เปราะ มีความเหนียวต่ำ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาวัสดุต่างชนิดมาผสมกัน เพื่อจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติพิเศษที่ได้จากข้อดีของวัสดุแต่ละชนิด เช่น คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุผสมที่จะให้ทั้งความแข็งแรง (จากสมบัติที่ดีของคอนกรีตซึ่งเป็นเซรามิกส์) และความเหนียว (จากสมบัติที่ดีของเหล็กซึ่งเป็นโลหะ) หรือไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบา (จากสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์) และมีความแข็งแรง (จากสมบัติที่ดีของใยแก้ว) เป็นต้น ประเภทของวัสดุคอมโพสิตอาจถูกแบ่งได้ตามเนื้อพื้นได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีพอลิเมอร์เป็นส่วนผสมหลัก (Fiber-Reinforced Polymers, FRP) กลุ่มที่มีเซรามิกส์เป็นส่วนผสมหลัก (Ceramic-Matrix Composite, CMC) และกลุ่มที่มีโลหะเป็นส่วนผสมหลัก (Metal-Matrix Composite, MMC) นอกจากนี้วัสดุคอมโพสิตอาจจะแบ่งได้ตามลักษณะของตัวเสริมแรง ได้แก่



รูปที่ 2.3 ลักษณะของตัวเสริมแรง

	
Random Fiber (Short Fiber) Reinforced Composites	Continuous Fiber (Long Fiber) Reinforced Composites

รูปที่ 2.4 ลักษณะการจัดเรียงของเส้นใยเสริมแรง

2.5 สารเติมแต่ง (Additives) [26-29]

สารเติมแต่ง คือ สารที่เติมลงในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ โดยส่วนใหญ่มีสถานะเป็นของแข็ง สารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาผสมกับพอลิเมอร์ คือ ฟิลเลอร์

ฟิลเลอร์ เป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นของแข็ง ซึ่งมีโครงสร้างแตกต่างกันไป ฟิลเลอร์ที่ใช้กันทั่วไปมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนแบล็ก แคลเซียมคาร์บอเนต ผงไม้ แป้ง สาเหตุที่มีการผสมฟิลเลอร์ในพอลิเมอร์ มี 2 อย่างสำคัญคือ

1. เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต และสมบัติของพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น การผสม CaCO_3 ในฟิล์ม PE สำหรับผลิตจุกนม เพื่อช่วยให้อากาศถ่ายเทได้ดีขึ้น หรือผสมใน PVC สำหรับผลิตหน้าต่าง เพื่อช่วยปรับปรุงความเหนียวและความคงตัว นอกจากนี้ความสามารถในการนำความร้อนของฟิลเลอร์จะดีกว่าพอลิเมอร์ ทำให้การถ่ายเทความร้อนภายในวัสดุเชิงประกอบขณะผสมเป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งช่วยเพิ่มความเร็วในกระบวนการผลิต และสิ่งสำคัญรองลงมา คือ ฟิลเลอร์มีค่าความร้อนจำเพาะต่ำ หมายความว่า ความร้อนสามารถถ่ายเทออกไปอย่างรวดเร็วเมื่อวัสดุเคลื่อนที่ออกจากแม่แบบทำให้ชิ้นงานสามารถรักษารูปร่างของมันไว้ได้ และมีความกั้นเนื่องจากความร้อนตกค้างน้อย และยังช่วยให้ผิวของชิ้นงานมีความสม่ำเสมอ ลดการงอ และการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน

2. เพื่อลดต้นทุน การพิจารณาหาแนวทางเพื่อช่วยลดต้นทุน ถือว่ามีความสำคัญมากในทางอุตสาหกรรม ทางเลือกหนึ่งคือการเติมสารเติมแต่งประเภทฟิลเลอร์ ซึ่งมีผลช่วยเพิ่มปริมาตรของพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น การใช้ CaCO_3 ในสายเคเบิล PVC

การใช้ฟิลเลอร์ในพลาสติกโดยทั่วไป จะช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น เพิ่มความหนาแน่น เพิ่มมอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) เพิ่มและลดการทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance) เพิ่มความแข็ง (Hardness) และลดการหดตัว (Shrinkage) อย่างไรก็ตามควรมีการพิจารณาถึงลักษณะของฟิลเลอร์ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดังกล่าวด้วย ได้แก่

- 1) รูปร่างและขนาดอนุภาคของฟิลเลอร์
- 2) การกระจายตัวในพอลิเมอร์หลอมเหลว
- 3) สีโดยธรรมชาติของฟิลเลอร์
- 4) การสึกกร่อนของเครื่องจักร (เป็นผลเนื่องจาก รูปร่าง ขนาด และความแข็งของอนุภาคฟิลเลอร์ที่นำมาใช้)
- 5) ความปลอดภัย และการฟุ้งกระจาย (ฝุ่น)
- 6) ราคา

อนุภาคฟิลเลอร์มีรูปร่างหลากหลาย อาจเป็นทรงกลม แผ่น รูปเข็ม หรือ เป็นเส้น รูปร่างและขนาดของฟิลเลอร์มีอิทธิพลต่อพลาสติกคอมโพสิตอย่างมาก ฟิลเลอร์ที่เป็นแผ่นและแท่ง มีค่าแอสเปคเรโชต่ำ (Aspect Ratio) (อัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ; L/D) จึงขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ ฟิลเลอร์ที่เป็นเส้นใยมีค่า Aspect Ratio สูง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และมีสมบัติเป็นแอนไอโซโทรปิก คือ วัสดุจะแสดงสมบัติต่างกันเมื่อได้รับแรงกระทำในแนวแกนที่ต่างกัน ส่วนฟิลเลอร์ทรงกลมไม่มีค่า Aspect Ratio ทำให้คอมโพสิตมีสมบัติเป็นไอโซโทรปิก คือ วัสดุจะแสดงสมบัติเหมือนกันเมื่อได้รับแรงกระทำในแนวแกนที่ต่างกัน ข้อดีของฟิลเลอร์ทรงกลม คือ ไม่ทำให้พอลิเมอร์หลอมเกิดความหนืดเหมือนฟิลเลอร์รูปร่างอื่นๆ และไม่สร้างจุดรวมแรง (Stress Concentration) เมื่อมีแรงมากระทำต่อชิ้นงาน

ฟิลเลอร์ที่นิยมนำมาใช้กับเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เมื่อผสมในพลาสติกมีผลช่วยปรับปรุงความแข็งตึง (Stiffness) มอดูลัสของการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) และลดการหดตัวของพลาสติก ทาล (Talc) เมื่อผสมในพลาสติกมีผลช่วยปรับปรุงความแข็งตึง เพิ่มการต้านทานแรงกัด ส่วนดินขาว (Kaolin) เมื่อผสมในพลาสติกมีผลช่วยปรับปรุงสมบัติการต้านทานต่อสารเคมีและเพิ่มสมบัติการนำไฟฟ้า ไมก้า (Mica) เมื่อผสมในพลาสติกมีผลช่วยปรับปรุงความแข็งตึงอย่างมาก และปรับปรุงความคงตัวของรูปร่างและ

วอลแลสโตไนท์ (Wollastonite) เมื่อผสมในพลาสติกมีผลช่วยปรับปรุงความแข็งแรง และช่วยปรับปรุงสมบัติการทนต่อแรงกระแทก

2.5.1 ฟิลเลอร์ (Fillers)

ฟิลเลอร์ได้แก่ สารเติมแต่งซึ่งเป็นของแข็งที่ใช้ใส่ในพอลิเมอร์ เพื่อลดต้นทุนการผลิตหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ ฟิลเลอร์ที่ใช้กันทั่วไป มีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ แต่ส่วนใหญ่แล้วมักเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งจะมีส่วนใหญ่กับเทอร์โมพลาสติกในขณะที่ฟิลเลอร์อินทรีย์ เช่น ผงไม้ (Wood Flour) จะใช้ในพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต (เช่น ฟีนอลิกเรซิน ยูเรียเรซิน) เป็นส่วนใหญ่

สำหรับฟิลเลอร์ที่ใช้เพื่อเพิ่มเนื้อผลิตภัณฑ์และลดต้นทุนการผลิตเป็นหลัก อาจเรียกชื่อได้อีกอย่างหนึ่งว่า เอกซ์เทนเดอร์ (Extenders) หรือ Inert Fillers อย่างไรก็ตาม การใส่ฟิลเลอร์ประเภทนี้ก็ช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ด้วย ตัวอย่างของฟิลเลอร์ประเภทนี้ ได้แก่ หินปูน (Limestone) ซึ่งก็คือ CaCO_3 ที่ได้จากธรรมชาติ ทัลค์ เคาลิน ผงไม้ เป็นต้น

ส่วนฟิลเลอร์ซึ่งใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลหรือสมบัติอื่นๆ (เช่น การนำไฟฟ้า การนำความร้อน) เรียกว่า ฟังก์ชันแนลฟิลเลอร์ (Functional Fillers) หรือ Active Fillers และมักจะเรียกฟิลเลอร์ที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความทนแรงดึง) ให้กับพอลิเมอร์ว่าฟิลเลอร์เสริมแรง (Reinforcing Fillers or Reinforcements)

อย่างไรก็ตาม ฟังก์ชันแนลฟิลเลอร์ในพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งอาจทำหน้าที่เป็นเอกซ์เทนเดอร์ฟิลเลอร์สำหรับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งก็ได้

ฟิลเลอร์ที่ใช้กับพลาสติกทั่วโลกในปี ค.ศ. 1999 มีปริมาณทั้งสิ้นประมาณ 10 ล้านตัน โดยแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นฟิลเลอร์ที่มีปริมาณการใช้มากเป็นอันดับหนึ่ง

นอกจากนี้ ถึงแม้ว่าพอลิเมอร์เกือบทุกชนิดจะใช้ฟิลเลอร์ก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติปริมาณมากกว่า 90% ของฟิลเลอร์จะใช้ในพอลิเมอร์ต่อไปนี้คือ พอลิไวนิลคลอไรด์ ยางและพอลิโอเลฟินส์

2.5.2 สารควบคู่ปฏิกิริยา (Coupling Agents) [28]

สารควบคู่ปฏิกิริยา คือ สารที่ช่วยปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ ทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อมระหว่างทั้งสองโมเลกุลไว้ โดยส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยากับฟิลเลอร์ และอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดการรวมตัว หรือทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี เมื่อพื้นผิวฟิลเลอร์ได้รับการปรับปรุงด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยา จะช่วยลดแรงดึงผิวของฟิลเลอร์ หรือเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของฟิลเลอร์ ที่มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) เป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ทำให้สามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ ซึ่งไม่เพียงช่วยให้การผสมเกิด

ได้ดีขึ้น แต่ยังคงช่วยปรับปรุงสมบัติโดยรวมของคอมโพสิตอีกด้วย โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. Reactive Coupling Agents เป็นการปรับปรุงพื้นผิวฟิลเลอร์ โดยใช้สารที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมระหว่างสองเฟส ซึ่งช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น โมเลกุลของสารควบคู่ปฏิกิริยาจะประกอบด้วยหมู่ที่ว่องไว เช่น หมู่คาร์บอกซิลิกหรือหมู่อีพอกซี

2. Non-Reactive Coupling Agents เป็นการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำหน้าที่ลดแรงดึงผิว หรือเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของฟิลเลอร์ให้เป็นไฮโดรโฟบิก เพื่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวโดยการสร้างแรงดึงดูดแบบแวนเดอร์วาลส์หรือเกิดพันธะไฮโดรเจน

2.5.3 สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลน (Silane Coupling Agent) [28]

สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลน นำมาใช้เป็นสารควบคู่มานานกว่า 50 ปี สำหรับปรับปรุงพื้นผิวของไฟเบอร์กลาส และฟิลเลอร์ นิยมนำมาใช้กับพลาสติกได้หลายชนิด ซึ่งช่วยให้ฟิลเลอร์สามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์ได้ดียิ่งขึ้น โดยมีโครงสร้างทั่วไปคือ Y-R-Si-X₃ เมื่อ

X = Alkoxy Group (Methoxy, Ethoxy or Acetoxy) เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับพื้นผิวของฟิลเลอร์

Y = Organofunctional Group (Amino, Vinyl, Epoxy or Methacryl etc.) เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์

R = Alkly Group เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับ Si

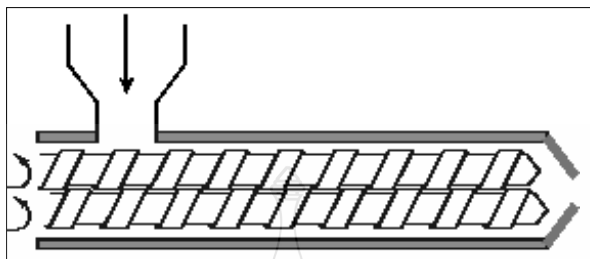
2.6 กระบวนการแปรรูปพลาสติก [30]

ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความจำเป็นสำหรับการใช้งานในหลายรูปแบบ เราจะพบเห็นการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท และเกือบทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน โดยที่ชิ้นงานพลาสติกเหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการแปรรูปพลาสติกต่างๆ การเลือกกระบวนการการแปรรูปให้เหมาะสมกับชนิดพลาสติก ลักษณะและสมบัติของชิ้นงาน จะต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีการแปรรูปพลาสติกแบบต่างๆ และความรู้พื้นฐานอื่นๆ

2.6.1 เครื่องหลอมอัดรีดชนิดสกรูคู่ (Twin Screw Extruder)

เครื่องหลอมอัดรีด เป็นเครื่องผสมสำหรับผสมฟิลเลอร์หรือสารเติมแต่งอื่นๆเข้ากับพอลิเมอร์ในลักษณะแบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สารผสม (Compound) ที่มีคุณลักษณะและสมบัติตาม

ต้องการนิยมนำใช้ชนิดสกรูคู่มากกว่าชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว เนื่องจากเครื่องหลอมอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยวมีประสิทธิภาพของการผสมที่ทำให้การกระจายต่ำ จึงนิยมนำใช้เพื่อการผสมเบื้องต้นเท่านั้น

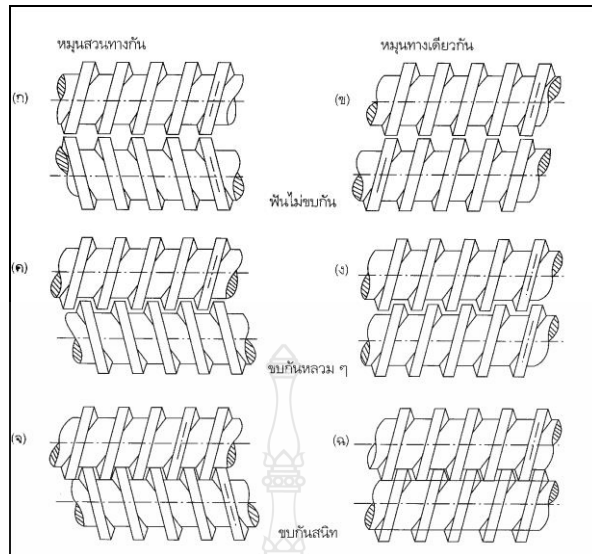


รูปที่ 2.5 ภาพตัดขวางของเครื่องหลอมอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยวและสกรูคู่ [31]

ตามหลักแล้วเทอร์โมพลาสติกทุกชนิดสามารถทำการหลอมอัดรีดได้ แต่มีข้อจำกัด คือพลาสติกนั้นเมื่ออ่อนตัวต้องมีความหนืดสูง เพราะเมื่อพลาสติกผ่านหัวฉีดออกมา ต้องทรงรูปได้ชั่วระยะเวลาหนึ่งไม่ไหลมารวมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของพลาสติกให้เหมาะสม กับงานหลอมอัดรีด พลาสติกที่นิยมนำมาผ่านกระบวนการหลอมอัดรีดส่วนใหญ่ ได้แก่ PVC ทั้งชนิดอ่อนและแข็ง ตามมาด้วย PE และ PP นอกจากนี้เพื่อให้การผสมมีประสิทธิภาพสูงสุด ต้องคำนึงถึงการกำหนดตัวแปรต่างๆของเครื่องผสมด้วย ได้แก่ ความเร็วรอบของสกรู (Screw Speed) อุณหภูมิ (Temperature) ความดัน (Pressure) ขนาดและความยาวของสกรู (Size) โดยนิยมนำแสดงด้วยอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (L/D)

นอกจากนี้ สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ถือเป็นสิ่งจำเป็นต้องพิจารณา โดยคำนึงถึงความคงทนต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการทดสอบ ให้ทราบถึงสมบัติของวัสดุ โดยเฉพาะความแข็งแรงของวัสดุ

ในกลุ่มของสกรูคู่แบ่งออกเป็นสองชนิด คือ แบบสกรูหมุนไปทางเดียวกัน (Co-Rotating) และแบบหมุนสวนทางกัน (Counter Rotating) ทั้งนี้รวมสกรูคู่แบบเรียวยาวด้วย นอกจากนี้ยังแบ่งออกตามลักษณะของการขบกันของฟันเฟือง คือทั้งแบบฟันเกลียวขบกันในร่องและแบบไม่ขบกัน ฟันเกลียวแบบขบกันยังแบ่งออกเป็นแบบขบกันสนิทกับแบบขบกันแบบหลวม ๆ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะฟันเกลียวและการหมุนสกรูของเครื่องอัดรีด [31]

1. เกลียวหนอนคู่หมุนทางเดียวกัน (Co-Rotating Twin Screw Extruder) ทุก ๆ รอบของการหมุนของสกรูคู่แบบหมุนไปทางเดียวกัน ดังรูปที่ 2.4 จะส่งพลาสติกเหลวจากช่องของสกรูตัวหนึ่งไปยังช่องของเกลียวหนอนอีกตัวหนึ่ง ซึ่งกลไกในการส่งพลาสติกและแรงลากจูง (Drag Force) จะเทียบได้กับตัวสกรูเดี่ยว แต่จะมีการเฉือน (Shear Element) กับส่วนที่ทำหน้าที่นวดผสม (Kneading Element) จะรวมอยู่ด้วยกัน สกรูคู่แบบนี้จึงนิยมนำมาใช้งานทำเม็ดผสม (Compounding)

2. เกลียวหนอนคู่หมุนสวนทางกัน (Counter-Rotating Twin Screw Extruder) หลักการของเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่หมุนสวนทางกันนั้นกลไกในการทำงานจะต่างกับสกรูคู่แบบหมุนทางเดียวกัน กล่าวคือสกรูแต่ละส่วนจะปรับสภาพเป็นห้องปิด (Closed Chamber) ดังรูปที่ 2.5 ทำหน้าที่ลำเลียงพลาสติกจากกรวยเติม (Hopper) ไปยังปลายเกลียวโดยไม่มีการส่งผ่านให้กับห้องใกล้เคียง โดยหลักการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แรงลากจูง (Drag Forces) ซึ่งมีผลทำให้การเฉือนต่ำและความร้อนเกิดขึ้นจากการเฉือนน้อย

2.6.2 การอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

1. หลักการทำงาน

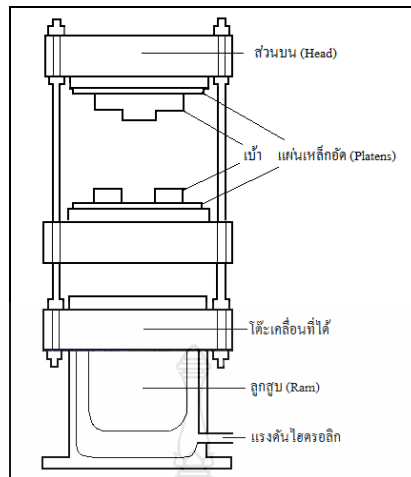
เริ่มจากการยึดติดกับแผ่นเหล็กอัด (Platens) ทั้งสองแผ่นให้ความร้อนโดยตั้งอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อม โยง (Cross-Link Reaction) ตามชนิดของเม็ดพลาสติกที่ใช้ หลังจากนั้นใช้แรงอัดที่เหมาะสม เนื่องจากอุณหภูมิและความดันของการอัดแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนของการอัด ซึ่งความดันของการอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการปิดเบ้า และจะรักษาความดันคงที่ไว้

ระยะเวลาหนึ่งในขณะที่ทำการคงรูปคอมปาวด์ หลังจากนั้นความดันในเบ้าจะลดลงในขณะที่ทำการหล่อเย็น และจะลดลงเท่ากับความดันบรรยากาศเมื่อเปิดเบ้าถอดชิ้นงานออก ส่วนอุณหภูมิภายในเบ้าของการผลิตแผ่นพลาสติก พบว่าอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่เดิมคอมปาวด์ลงในเบ้า เนื่องจากเทคนิคนี้เป็นการเติมคอมปาวด์เย็น หลังจากนั้นอุณหภูมิของเบ้าเริ่มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการให้ความร้อนแก่เบ้าและการคายความร้อนของปฏิกิริยาการเชื่อมโยง อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงขั้นตอนการหล่อเย็นกล่าวคือเมื่อเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่สมบูรณ์

คอมปาวด์จะเกิดการอ่อนตัวและผลจากการใช้แรงอัด ทำให้วัสดุเกิดการไหลเข้าไปช่องว่าง (Cavities) ของเบ้าในขณะที่เดียวกันจะเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงหลังจากปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาเวลาระยะเวลาหนึ่ง จึงเปิดเบ้าเอาชิ้นงานออก แล้วเติมคอมปาวด์ลงในเบ้าเพื่อเริ่มต้นวัฏจักรใหม่ ความดันและอุณหภูมิของการอัดแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนของการอัด การอัดเบ้าปกติกจะเกิดก๊าซหรือไอน้ำเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหา คือ การฟุ้งตัวของก๊าซและไอน้ำไต้น้ำผิวของชิ้นงานทำให้มีรอยบุบเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกที่ไม่ได้ให้ความร้อนก่อนอัด เพื่อแก้ไขปัญหานี้จะต้องมีขั้นตอนการไล่ก๊าซ (Degassing Stage) ซึ่งทำได้โดยการแยกเบ้าออกจากกันในขณะที่ทำการอัดจนความดันภายในเบ้าลดลงถึงความดันบรรยากาศ เมื่อก๊าซหนีออกไปหมดแล้วจึงทำการอัดเบ้าต่อจนพลาสติกแข็งตัว การไล่ก๊าซเป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยประสบการณ์

2. ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดขึ้นรูป

ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัด คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวน 2 ชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลง ได้อีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ ทำให้สามารถทำการปิดและเปิดเบ้าได้ เนื่องจากเบ้าถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่นๆ คือ อุปกรณ์ให้ความร้อนระบบไฮดรอลิก และอาจเป็นอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะเครื่องที่ใช้แปรรูปพลาสติกโดยการอัด แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะของเครื่องอัดขึ้นรูป [32]

1) ระบบขับเคลื่อนเบ้า

เครื่องอัดเบ้ามักจะเคลื่อนแผ่นเหล็กอัดขึ้น โดยใช้แรงขับจากไฮดรอลิก (Hydraulic) แต่มีเครื่องอัดบางชนิดที่เคลื่อนโดยใช้แรงลม (Pneumatically Operation) ทำหน้าที่ให้แผ่นเหล็กเคลื่อนที่ขึ้นลงแล้วระบบขับเคลื่อนยังทำหน้าที่ในการให้แรงดันในการอัด ซึ่งเครื่องอัดขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจะใช้แรงดันอยู่ในช่วง 5-100 ตัน ส่วนเครื่องอัดที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมจะใช้แรงดันอยู่ในช่วง 10-4,000 ตัน ขนาดแรงดันขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นเหล็กมีขนาดอยู่ในช่วง 8 ตารางนิ้ว - 5 ตารางฟุต

2) ระบบการให้ความร้อนและการหล่อเย็น

การให้ความร้อนพลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนอัด และการให้ความร้อนโดยตรงขณะที่ทำการอัด วิธีให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนการอัดมีหลายวิธี เช่น การใช้แผ่นโลหะร้อน การใช้รังสีอินฟราเรด การใช้ตู้อบหรือตู้อไมโครเวฟ สำหรับการใส่ตู้อบหรือตู้อไมโครเวฟ สำหรับการใส่ตู้อบที่มีความถี่สูงเป็นที่นิยมที่สุดเพราะให้ความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ และการให้ความร้อนในเบ้าร้อน ส่วนการให้ความร้อนแก่เบ้าอัดมีหลายวิธี เช่น ระบบน้ำมันร้อน ระบบไฟฟ้า ระบบไอน้ำ และระบบน้ำร้อน นอกจากระบบให้ความร้อนแล้วยังมีระบบหล่อเย็นเพื่อให้ชิ้นงานพลาสติกจากการอัดเบ้าเย็นตัวลง ระบบหล่อเย็นส่วนใหญ่จะใช้น้ำเย็นไหลเวียนเข้าสู่ระบบท่อของเบ้า

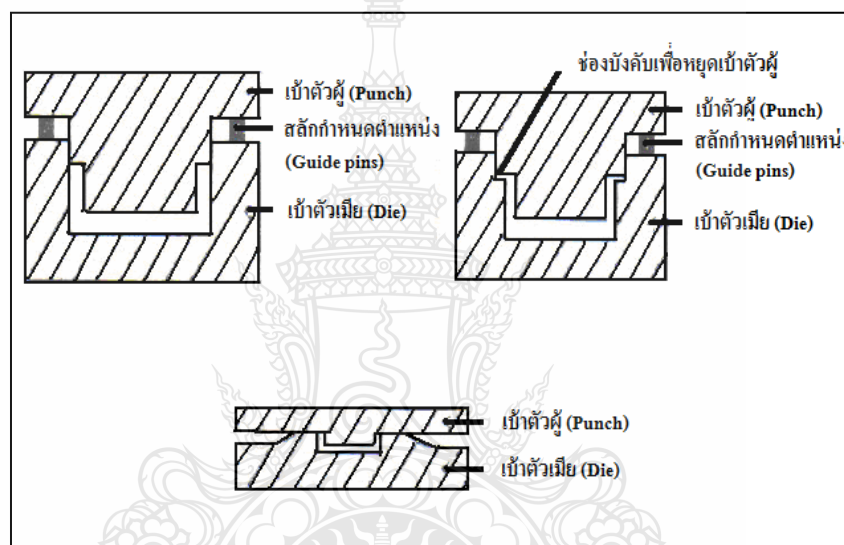
3) ความดันในการอัด

ความดันที่ใช้ในการอัดเบ้าต้องมีค่าน้อยที่สุด แต่ต้องมากพอที่จะทำให้พลาสติกไหลเต็มช่องว่างของเบ้า แต่ไม่ให้สูงเกินไปจนทำให้พลาสติกรั่วไหลออกจากรอยแยกของเบ้า ระดับความ

ดันที่ใช้ขึ้นกับชนิดของเม็ดพลาสติก และความหนาของชิ้นงานที่ทำการแปรรูป โดยทั่วไป ฟีนอลิกเรซินใช้ความดันในการอัดเบ้าอยู่ที่ 5 ถึง 40 MPa ส่วนคอมปาวด์ของยูเรียฟอร์มมาดีไฮด์และ เมลามีนฟอร์มมาดีไฮด์ใช้ความดันอยู่ในช่วง 20 ถึง 40 MPa และ คอมปาวด์เรซินที่มีความแข็งแรงมากกว่านี้จะใช้ความดันในการอัดเบ้า 40 ถึง 55 MPa

4) เบ้า

เบ้าที่ใช้ในการอัดแบ่งได้ 3 แบบ คือ เบ้าแบบบวก (Fully Positive Mold) เบ้าแบบ กึ่งบวก (Semi Positive Mold) และเบ้าแบบบาง (Flash Mold) แสดงดังรูปที่ 2.8

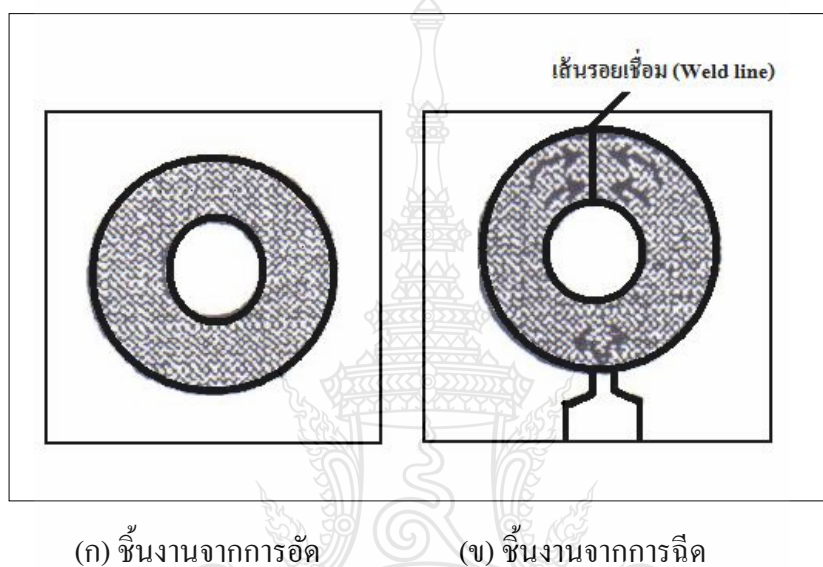


รูปที่ 2.8 เบ้าชนิดต่าง ๆ สำหรับการอัด [32]

3. ข้อดีและข้อเสียของการแปรรูปพลาสติก

โดยการอัดสำหรับการอัดเบ้าเป็นเทคนิคที่ใช้กันมานาน แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนา เทคนิคใหม่ๆ เช่น การฉีดเข้าเบ้าเข้ามาแทนที่ แต่เทคนิคการอัดยังมีความสำคัญในการแปรรูป พลาสติก เนื่องจากข้อได้เปรียบจากการใช้เทคนิคการอัดหลายประการ เช่น เบ้าราคาถูกและผลิตได้ ง่าย มีการสูญเสียวัสดุน้อยกว่าจากการอัดเพียงเล็กน้อยประมาณ 2-5% โมเลกุลของพลาสติกเกิดการ จัดเรียงตัวใหม่ (Orientation) น้อยมาก เนื่องจากในระหว่างการอัดเกิดการไหลเพียงเล็กน้อย การจัดเรียงตัวของ โมเลกุลมีอิทธิพลต่อสมบัติของพลาสติกบางชนิดมาก เครื่องอัดมีราคาถูกกว่า เครื่องแปรรูปพลาสติกชนิดอื่นๆ ไม่เกิดเส้นรอยเชื่อม (Weld Lines) บนชิ้นงานเช่นเดียวกับการเกิดใน

การแปรรูปโดยการฉีดพลาสติกเข้าเบ้า (Injection Molding) เส้นรอยเชื่อมเป็นจุดอ่อนที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักได้ง่าย ตัวอย่างของชิ้นงานที่แตกต่างที่ได้จากการอัดและการฉีดพลาสติกเข้าเบ้าแสดงดังรูปที่ 2.9 เบ้าที่ใช้ในการอัดไม่มีทอวิ่ง (Runners) ที่นำ (Sprue) และประตูเข้า (Gates) จึงทำให้ไม่มีรอยตำหนิ (Scars) บนชิ้นงานในตำแหน่งที่ต้องตัดส่วนประตูเข้าหลังจากถอดชิ้นงานออกจากเบ้า เช่นเดียวกับกรณีการฉีดเข้าเบ้า



รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการอัดและการฉีด [32]

ส่วนข้อเสียของการแปรรูปพลาสติกโดยการอัด เช่น คอมปาวด์ในช่องว่างของเบ้ามีลักษณะเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ดังนั้นในขณะที่ทำการอัดทำให้เกิดความเครียดภายในเบ้าสูงมาก จึงไม่สามารถสอดใส่วัสดุใดๆ ลงในเบ้าได้ เช่น โลหะ ทำให้ไม่สามารถทำผลิตภัณฑ์แบบหุ้มโดยใช้เทคนิคนี้ได้ เนื่องจากโลหะที่ใส่ลงไปบิดเบี้ยว และเบ้าเกิดการเสียหายขณะที่ทำการอัด ไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ ตัวอย่างชิ้นงานที่กล่าวถึงเช่น ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมยาว มีขนาดเล็ก และแท่งทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาดเล็ก เป็นต้น ดังนั้นเทคนิคการอัด ใช้กับการผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงง่ายเท่านั้น เวลาของวัฏจักรของการผลิต (Cycle Time) ค่อนข้างยาว การผลิตชิ้นงานที่หนา ต้องใช้เวลานาน เนื่องจากคอมปาวด์มีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนจึงต้องใช้เวลาในการแปรรูปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ และจำเป็นต้องมีการอัด Flash ที่เสมอ

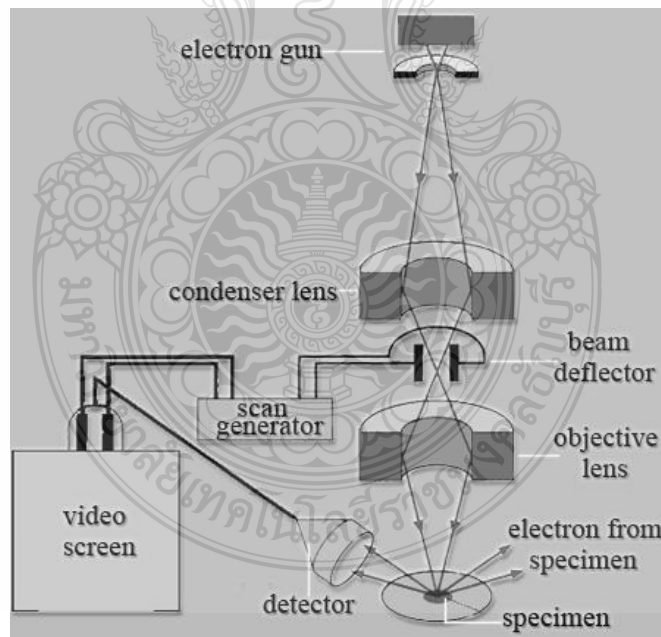
2.7 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของวัสดุ

2.7.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

[33]

หลักการทํางาน

จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอนซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการรูปที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอตทัศน์ได้เลย



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.7.2 การทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก MFI [34]

การทดสอบอัตราการไหลของเม็ดพลาสติกเป็นการทดสอบคุณสมบัติการไหลตัวของพลาสติกเหลวจำพวก Thermoplastics ตามมาตรฐาน DIN 53735 (MFI, Melt Flow Index) ASTM D1238 และ ISO 1133 (MFR, Melt Flow Rate) การทดสอบนี้จะคล้ายกับการ Extrusion คือเป็นการหลอมเหลวพลาสติกในกระบอกทดสอบ (Cylinder) ด้วยอุณหภูมิที่กำหนดแล้วใช้น้ำหนักกดตามค่าที่กำหนดเช่นกันกดลงบนแท่งกด (Piston) โดยให้แท่งกดกระทำกับพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกทดสอบ พลาสติกเหลวก็จะไหลผ่านหัวดายน์ออกมา หลังจากนั้นก็นำพลาสติกที่ไหลออกมาไปชั่งน้ำหนักเทียบกับเวลา 10 นาที เราก็จะได้ค่าของ MFI ของพลาสติก ซึ่งมีหน่วยเป็น กรัม/10 นาที Melt flow index เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นต่อการผลิตปัจจุบันมีการใช้วัสดุสังเคราะห์ประเภทพลาสติกเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดมีโรงงานผลิต (Produce) แปรรูป (Process) และนำกลับมาใช้ (Recycle) ของผลิตภัณฑ์พลาสติกมากขึ้นเช่นกัน ปริมาณสูญเสียของพลาสติกในการผลิตในแต่ละวันก็มีมากเช่นกัน มูลค่าของการสูญเสียหรือมากจนเป็นความเสียหายตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงเครื่องจักรในโรงงาน เหตุผลหนึ่งก็มาจากการไม่ทราบคุณสมบัติที่ถูกต้องหรือความเหมาะสมของ คุณสมบัติของพลาสติกที่นำมาผลิต จึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ ถ้า ใน 1 วันเราต้องใช้พลาสติกเป็นวัตถุดิบในการผลิตฟิล์ม พลาสติกแผ่น ขวด ถ้วย และ อื่นๆ แต่วัตถุดิบซึ่งก็คือ เม็ดพลาสติก มีคุณสมบัติไม่ตรงตามที่เครื่องจักรใช้ผลิตได้ การสูญเสียที่จะเกิดก็คือเราต้องส่งคืนหรือทิ้งเม็ดพลาสติกเหล่านั้น และอาจตามมาด้วยความเสียหาย คือต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อรอเม็ดพลาสติกใหม่หรือถ้าเม็ดพลาสติกที่ใส่เข้าไปในเครื่องจักร หรือ Extruder ทำให้เครื่องจักรเสียหายใช้การไม่ได้ต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อซ่อมแซม ขาดรายได้ ต้นทุนการผลิตเพิ่ม ขาดทุน แต่ด้วยเครื่องทดสอบหาดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Indexer) ความเสี่ยงที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นก็จะน้อยลงหรือหมดไป MFI เป็นการทดสอบคุณสมบัติการไหลตัวของพลาสติกเหลวจำพวก Thermoplastics ตามมาตรฐาน DIN 53735 (MFI, Melt Flow Index) ASTM D1238 และ ISO 1133 (MFR, Melt Flow Rate) การทดสอบนี้จะคล้ายกับการ Extrusion คือเป็นการหลอมเหลวพลาสติกในกระบอกทดสอบ (Cylinder) ด้วยอุณหภูมิที่กำหนดแล้วใช้น้ำหนักกดตามค่าที่กำหนดเช่นกันกดลงบนแท่ง กด (Piston) โดยให้แท่งกดกระทำกับพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกทดสอบ พลาสติกเหลวก็จะไหลผ่านหัวดายน์ออกมา หลังจากนั้นก็นำพลาสติกที่ไหลออกมาไปชั่งน้ำหนักเทียบกับเวลา 10 นาที เราก็จะได้ค่าของ MFI ของพลาสติก ซึ่งมีหน่วยเป็น กรัม /10 นาที เครื่องทดสอบหาอัตราการไหลนอกจากใช้หาค่าอัตราการไหลของพลาสติกแล้วยังใช้เป็น กระบวนการทางอ้อมในการบอกค่าน้ำหนักของโมเลกุลของเม็ดพลาสติก (Molecular Weight) ได้ ถ้าเม็ดพลาสติกที่ทดสอบหา Melt Flow Rate มีค่า สูงก็แสดงว่าเม็ดพลาสติก

นั้น มีค่า Molecular Weight ต่ำ และขณะเดียวกัน Melt Flow Rate ยังบอกถึงความสามารถในการหลอมไหลของวัสดุภายใต้แรงดันด้วย

2.7.3 การทดสอบความหนาแน่น (Density Determination with Electric Balance) [35]

ความหนาแน่น (Density) เป็นสมบัติพื้นฐานของวัสดุ ความหนาแน่นเป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัสดุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีปริมาตรน้อยกว่าวัสดุความหนาแน่นต่ำที่มีมวลเท่ากัน หน่วยเอสไอ ของความหนาแน่น คือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) เครื่องมือที่ใช้ในการหาความหนาแน่นของวัสดุจะอาศัยหลักของอาร์คิมิดีส สามารถใช้ได้กับตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เป็นผง และของเหลว

วิธีการทดสอบความหนาแน่นมีดังนี้

1. กรณีเม็ดพลาสติกที่มีรูพรุน ช่องว่าง หรือขึ้นรูปไม่สมบูรณ์ ใช้ทดสอบด้วยวิธีตาม ASTM D 792 ความหนาแน่นที่แท้จริงของพลาสติกสามารถคำนวณโดยการชั่งน้ำหนักและคำนวณปริมาตรที่แท้จริง

2. กรณีเม็ดพลาสติกอยู่ในรูปเม็ดหรือผง ปริมาตรสามารถคำนวณโดยการวัดปริมาณการแทนที่ของเหลวในพิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) หรือการวัดแบบบอยเอนซี (Buoyancy)

3. วิธีที่ง่ายที่สุดคือการทดสอบการลอย การจมของตัวอย่าง โดยวัดการลอยตัวในของเหลวที่มีความหนาแน่นเดียวกัน ความหนาแน่นของของเหลวคำนวณได้โดยแอโรมิเตอร์ (Aerometer)

4. วิธีที่วัดและมีความแน่นอน คือ Density Gradient

การทดสอบความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำชั่งอากาศ ใช้มาตรฐานอ้างอิง ASTM D792 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างมวลและปริมาตร โดยนำเม็ดพลาสติกที่ต้องการความหนาแน่นมาทำการชั่งน้ำหนักในอากาศ จากนั้น จุ่มในตัวทำละลายอินทรีย์ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ที่ทราบความหนาแน่นแน่นอนคือ 0.8 g/cm^3 จะเกิดการสูญเสียน้ำหนักของพอลิเมอร์ไปแทนที่น้ำหนักของตัวทำละลายอินทรีย์ไอโซโพรพานอล

2.7.4 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) [36]

ในวัสดุหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสภาพจากความเป็นผลึก (Crystalline) ไปสู่รูปอื่นหรือเกิดการทำปฏิกิริยาเคมีกัน มีการดูดหรือคายความร้อน สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) โดยเครื่อง DSC ได้ถูกออกแบบมา

เพื่อช่วยวิเคราะห์ อธิบายการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ โดยการวัดปริมาณความร้อนที่แตกต่างกันของวัสดุ ตัวอย่างกับวัสดุอ้างอิงที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยมีโปรแกรมให้เครื่องทำการวาดกราฟไปตามช่วง อุณหภูมิช่วงหนึ่ง เพื่อให้เห็นข้อมูลละเอียดจนเปรียบเทียบกันได้ และสามารถใช้วัดปริมาณความร้อน การแพร่กระจายความร้อน ความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่าง และแสดงผลเป็นแผนภาพ เฟส ให้ข้อมูล ทางด้านจุลศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลได้

1. หลักการทำงาน

เกี่ยวข้องกับการวัดอัตราการไหลของความร้อนที่ให้แก่สารตัวอย่างเทียบกับสารอ้างอิง เป็นฟังก์ชันกับเวลาหรืออุณหภูมิ ซึ่งสามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงมวล รูปร่างหรือสมบัติทางความร้อนของสาร นอกจากนี้ยังสามารถใช้วัดค่าความจุความร้อนจำเพาะของสาร ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญของ พอลิเมอร์ เนื่องจากในกระบวนการผลิต สมบัติเชิงกล และการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ แสดงถึง ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ การใช้ประโยชน์เครื่อง DSC จะใช้วิเคราะห์เกี่ยวกับพอลิเมอร์ได้หลาย เรื่อง ดังนี้

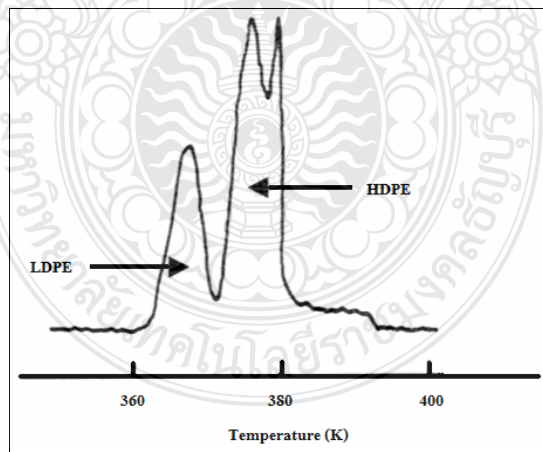
- 1) การหลอมละลาย (Melting Studies)
- 2) ความเป็นผลึก (Crystallinity Studies)
- 3) อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Studies)
- 4) การผสมเข้ากันได้ดี (Blend Analysis and Compatibility)
- 5) ความคงต่อการถูกออกซิไดซ์ (Oxidative Stability Studies)
- 6) การหาความบริสุทธิ์ (Purity Determination)
- 7) การหาความจุความร้อน (Specific Heat Studies)
- 8) การนำความร้อน (Thermal Conductivity Measurements)

สำหรับภาชนะที่ใช้บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) โดยส่วนมากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของ สารตัวอย่างที่ใช้เป็นเป้าหมายของการศึกษาวิเคราะห์ โดยมีข้อระวังคือ หากใช้ภาชนะอลูมิเนียม ไม่ควรใช้อุณหภูมิเกิน 600 องศาเซลเซียส เพราะอลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวที่ 660 องศาเซลเซียส จะหลอมเจือปนหรือทำความเสียหายแก่ตัวครอบภาชนะบรรจุได้ ส่วนการอัดสารตัวอย่าง (Encapsulating Sample) นั้น โดยทั่วไปจะใช้ภาชนะและตัวครอบแบบอลูมิเนียม ในการอัดควรอัดให้ แน่นแต่อย่าให้แน่นจนอากาศเข้าไม่ได้ หากต้องการให้สารเป็นตัวอย่างสัมผัสกับบรรยากาศมากที่สุด ให้เจาะตัวครอบให้เป็นช่องรู หรือใช้ตัวครอบที่เป็นรูแบบร่างแหขนาด 60-100 Mesh Screen

สำหรับขนาดของสารตัวอย่างจะจำกัดปริมาณตรงตามลักษณะภาชนะที่บรรจุที่ใช้ ขนาดสารตัวอย่างและอัตราสแกนจะมีผลต่อคุณภาพข้อมูลที่แสดงออกมา โดยทั่วไปควรอยู่ระหว่าง 5 - 10 มิลลิกรัม ใช้สารตัวอย่างขนาด 1 มิลลิกรัม หรือน้อยกว่า สำหรับศึกษาการระเหย

2. การวิเคราะห์ผล

สำหรับพอลิเมอร์ที่มีพิคการหลอมเหลวหลายค่า เกิดจากปัจจัยหลายประการ คือ การเกิดผลึกที่มีความไวต่อผลทางความร้อนจากการผ่านกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิที่ต่างกัน การเจริญเติบโตของผลึกจะแตกต่างกัน การให้ความร้อนกับพอลิเมอร์ซึ่งมีการเย็นตัวอย่างช้าๆ ทำให้ได้ปริมาณผลึกต่ำที่สุด เนื่องจากการเย็นตัวอย่างช้าๆ ทำให้ผลึกที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์สูง และมีขนาดใหญ่ แต่มีปริมาณผลึกน้อย ขณะที่พอลิเมอร์มีการเย็นตัวโดยทันที ปริมาณการเกิดผลึกมีค่าสูงคือ ปริมาณผลึกมากแต่ผลึกที่ได้มีขนาดเล็กและไม่สมบูรณ์ พิคของการหลอมเหลวหลายค่ามักพบในพอลิเมอร์ผสม เมื่อพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดถูกผสมเข้าด้วยกัน พอลิเมอร์แต่ละชนิดจะรักษาสมบัติความร้อนเอาไว้ แสดงดังรูปที่ 2.11 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ความมีกิ่งก้านสาขาของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ทำให้อัตราเร็วในการตกผลึกลดลง ดังนั้น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำจึงหลอมเหลวหรือตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง อุณหภูมิหลอมเหลวที่วัดได้เป็นอุณหภูมิต่ำที่โมเลกุลส่วนใหญ่อยู่ในลักษณะเส้นตรงเกิดการตกผลึก



รูปที่ 2.11 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

2.8 การทดสอบสมบัติเชิงกล [37-38]

สมบัติเชิงกล คือ พฤติกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุที่แสดงออกมา เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ โดยแรงภายในของวัสดุที่เกิดขึ้นเพื่อต้านทานแรงภายนอกที่มากระทำ เรียกว่า ความเค้น (Stress) วัดเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ และส่วนอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากวัสดุนั้นรับแรงไว้ไม่ไหวต่อความยาวเดิม เรียกว่า ความเครียด (Strain) Single Screw Extruder Twin Screw Extruder ซึ่งความเครียดไม่มีหน่วยระบุกำกับไว้ แต่นิยมบอกเป็น เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ (Elongation) ทั้งความเค้นและความเครียดนี้ เป็นสิ่งที่นำมาใช้พิจารณาถึงสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ความยืดหยุ่น (Flexibility) ความอ่อนตัว (Ductility) ความเปราะ (Brittleness) ความเหนียว (Toughness) ความแข็งเกร็ง (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength)

2.8.1 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) [39-40]

ในการออกแบบส่วนใหญ่ จะใช้ค่าซึ่งได้จากการทดสอบนี้ไปใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน โดยทำการดึงชิ้นงานทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะเดียวกันจะบันทึกแรงที่ใช้ในการดึง และระยะยืดของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องบันทึก การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง ถ้าทำการดึงชิ้นงานที่มีสมบัติแข็งแรงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก ผลจากการวัดแรงที่มากระทำต่อวัสดุ ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหักเรียกว่าความเค้นสูงสุดเนื่องจากแรงดึง (Ultimate Tensile Stress) หรือ ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ตามกฎของฮุก (Hook's law) สำหรับวัสดุอุณหภูมิต่ำที่มีสมบัติยืดหยุ่น ความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด อัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดนี้เป็นค่าคงที่เรียกว่ามอดูลัส (Modulus ; E) สำหรับการให้ความเค้นใดๆกับวัสดุที่มีมอดูลัสต่ำ วัสดุนั้นจะแสดงค่าความเครียดหรือระยะยืด หรือการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานได้สูงกว่าวัสดุที่มีมอดูลัสสูง ดังนั้นมอดูลัสของวัสดุจึงหมายถึง ความสามารถในการต้านทานต่อการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานนั่นเอง ในความเป็นจริงพลาสติกและอีลาสโตเมอร์ส่วนใหญ่จะประพฤติตัวตามแบบฮุกเกียน (Hookean's Behavior) เฉพาะเมื่อทำการทดสอบด้วยอัตราเร็วในการยืดตัวต่ำ บางครั้งเรียกมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นว่า อีลาสติก มอดูลัส (Elastic Modulus) หรือมอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) การวัดมอดูลัสนี้ทำได้โดยการสร้างเส้นตรงสัมผัสกับช่วงต้นของเส้น โคงความเค้น-ความเครียด จากนั้นคำนวณค่าความชันของเส้นสัมผัส

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานที่สุดอย่างหนึ่งที่ใช้ทดสอบสมบัติของวัสดุต่างๆ ปกติการทดสอบแรงดึงจะใช้ชิ้นทดสอบตามแบบมาตรฐาน แต่ขณะเดียวกันก็สามารถใช้ชิ้นทดสอบแบบอื่นที่ทราบค่าพื้นที่หน้าตัดและความยาวเริ่มต้น โดยการทดสอบแรงดึงใช้

ในการตรวจวัดพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยืดในแนวแกน ข้อมูลและการคำนวณในการทดสอบแรงดึงโดยทั่วไปได้แก่ จีดจำกัดการยืดหยุ่น (Elastic Limit) ร้อยละการยืด (Percent Elongation) โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) จีดจำกัดแบบสัดส่วน (Proportional Limit) ร้อยละการลดลงของพื้นที่หน้าตัด (Percent Reduction in Area) ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) จุดจำนน (Yield Point) และความแข็งแรงจำนน (Yield Strength) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการทดสอบแรงดึงแบบพิเศษ คือ การทดสอบการคราก (Creep Test)

การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงขึ้นทดสอบซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบตอกอยู่ได้สภาวะการยืดและเป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียรูป โดยการเสียรูปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นทดสอบจากแรงที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้นทดสอบเทียบกับขนาดเริ่มต้น นั่นคือการเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบ (Gauge Length) ที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบเทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ระยะทดสอบเป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับการยืดหรือการเสียรูปที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ โดยความยาวระยะทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงปกติเท่ากับ 2 นิ้ว

แรงเค้น (Stress) ในการทดสอบแรงดึง น้ำหนักดึงจะแทนด้วยสัญลักษณ์ F ใน หน่วยของ ปอนด์ กิโลกรัม หรือ นิวตัน ความแข็งแรงดึงคิดเป็นน้ำหนักที่ชิ้นทดสอบสามารถทนได้ต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด น้ำหนักเทียบกับพื้นที่หน้าตัดหนึ่งตารางหน่วยเรียกว่า แรงเค้น (Stress, σ)

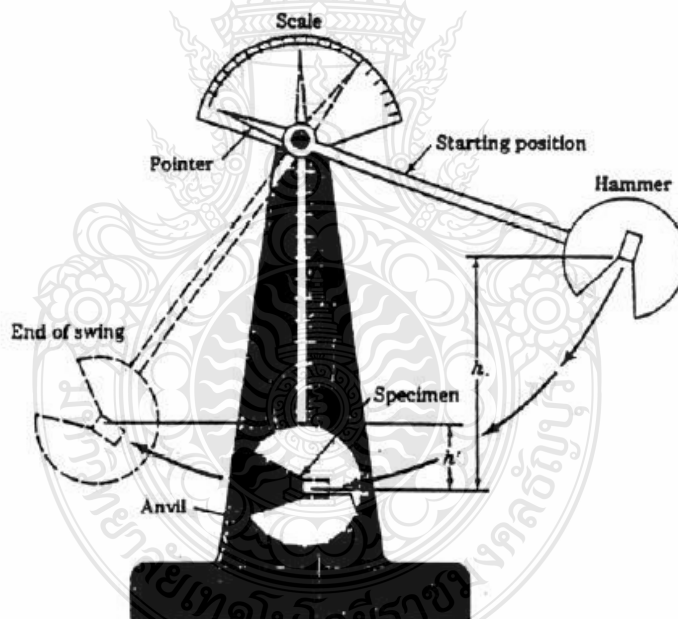
ความเครียด (Strain) เมื่อแท่งโลหะได้รับแรงดึงในทางเดียว เป็นเหตุให้แท่งโลหะเกิดการยืดออกในทิศทางของแรงนั้น การเคลื่อนนี้เรียกว่าความเครียด (Strain) โดยนิยามความเครียดเป็นการยืดอันเนื่องมาจากแรงดึงทางเดียวที่กระทำกับชิ้นทดสอบ ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นทดสอบในทิศทางของแรงนั้นเทียบกับความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ ดังนั้นก่อนทำการทดสอบต้องวัดพื้นที่หน้าตัดและระยะทดสอบ เริ่มต้นของชิ้นทดสอบ โดยระยะทดสอบเริ่มต้นจะทำการเครื่องหมายสองจุดบนชิ้นทดสอบ อุปกรณ์วัดการยืดหรือความเครียดจะใช้ในการวัดระยะยืดของชิ้นทดสอบในระหว่างการทดสอบ หรืออาจวัดจากผลต่างของระยะห่างของสองจุดข้างต้น ผลต่างระหว่างระยะทดสอบ เริ่มต้นกับสุดท้ายเรียกว่าระยะยืด (Elongation) หน่วยของระยะยืดใช้เป็นนิ้วหรือมิลลิเมตร และถ้านำค่าระยะยืดหารด้วยระยะทดสอบเริ่มต้นเรียกว่าความเครียด

2.8.2 ทดสอบสมบัติด้านการทนแรงกระแทกแบบไอซอด [41-42]

การทดสอบการกระแทกเป็นการวัดการส่งถ่ายพลังงานที่จำเป็นในการแตกหักของวัสดุ ค่าความแข็งแรงการกระแทกจะบ่งบอกถึงความสามารถในการรับแรงแบบฉับพลัน (Shock Load) แม้พลังงานไม่สามารถสร้างและทำลาย แต่พลังงานการกระแทกจะสูญเสียไป

ในหลายลักษณะ เช่น ถูกใช้ในการเสียรูปแบบยืดหยุ่นและแบบถาวรของวัสดุ และแรงเสียดทานจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ เป็นต้น โดยการออกแบบโครงสร้างและเครื่องจักร ประการแรกต้องให้ชิ้นงานสามารถดูดซับพลังงานให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในช่วงของการยืดหยุ่น และประการที่สองคืออาศัยการหน่วงบางรูปแบบเพื่อลดการดูดซับพลังงานของเครื่อง ในการทดสอบการกระแทกจะใช้พลังงานของลูกตุ้มกระแทกให้ชิ้นทดสอบแตกหัก โดยพลังงานจะนิยามเป็นงานซึ่งเป็นแรงที่กระทำเป็นระยะทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์การทดสอบการกระแทกคือการวัดงานที่ใช้ในการแตกหักภายใต้การกระแทกอย่างฉับพลัน ซึ่งสามารถหาได้จากการปล่อยลูกตุ้มที่ทราบค่าน้ำหนักแน่นอนลงบนชิ้นทดสอบด้วยความสูงค่าหนึ่ง แล้วทำการคำนวณค่าการดูดซับพลังงานการกระแทกหรือความต้านทานการกระแทกของวัสดุจากผลต่างของระดับพลังงานศักย์ของ ลูกตุ้มก่อนและหลังการกระแทก



รูปที่ 2.12 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบการกระแทก [41]

สมบัติของวัสดุที่สัมพันธ์กับการแตกหักเรียกว่าความแกร่ง (Toughness) โดยสาเหตุของการแตกหักมาจากการกระแทกหรือแรงกระทำแบบฉับพลัน โดยความเหนียวและความ แข็งแรงจะมี

อิทธิพลอย่างมากต่อความแกร่งของวัสดุ และโดยทั่วไปจะใช้การทดสอบการ กระแทกในการวัดความแกร่งของวัสดุ

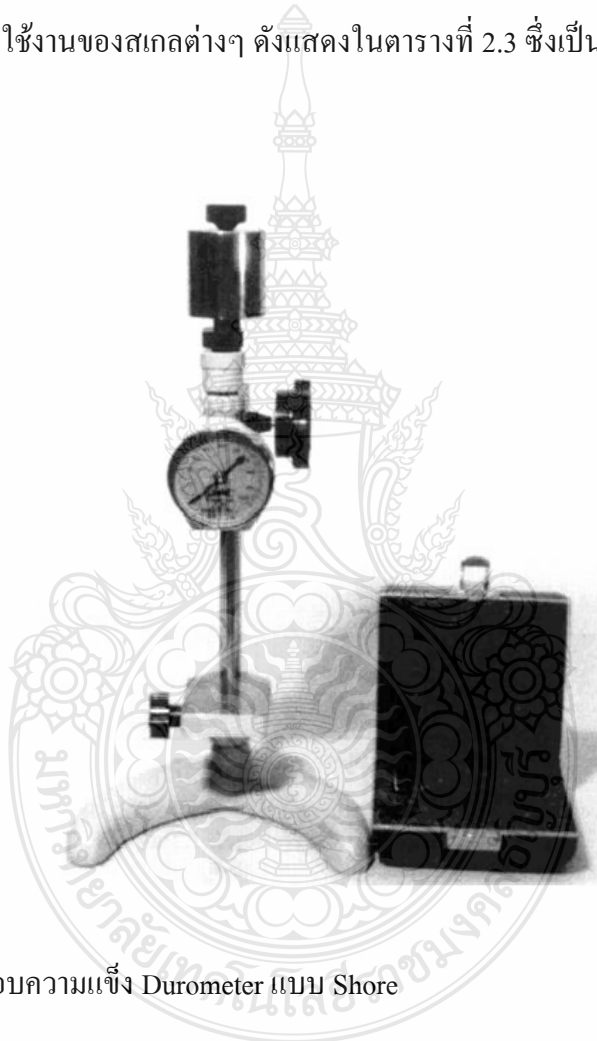
แรงที่กระทำในการทดสอบการกระแทกสามารถทำได้ทั้งในรูปของการค้ำจ่อ การดึง การอัด หรือการบิด แต่ที่นิยมใช้คือแรงค้ำจ่อและที่นิยมใช้น้อยสุดคือแรงดึง ส่วนแรงอัดและ แรงบิด จะใช้เฉพาะกรณีเท่านั้น การตีกระแทกสามารถทำได้ด้วยการปล่อยลูกตุ้มน้ำหนัก การเหวี่ยงลูกตุ้ม หรือการหมุนวงล้อ บางการทดสอบจะเป็นการทดสอบการแตกหักของชิ้น ทดสอบด้วยการกระแทก เพียงครั้งเดียว และบางการทดสอบเป็นการแตกหักชิ้นทดสอบด้วย การกระแทกหลายครั้งด้วย น้ำหนักเดิม โดยเพิ่มความสูงลูกตุ้มขึ้นเรื่อยๆ จนชิ้นงานแตกหัก

อย่างไรก็ตามการทดสอบที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ การทดสอบการกระแทกแบบ ชาร์ปี และแบบไอซอด (Charpy and Izod Impact Tests) โดยการทดสอบทั้งคู่นี้จะทำการใส่ แรงกระทำ ด้วยการเหวี่ยงลูกตุ้มและใช้ชิ้นทดสอบที่มีร่องบากและมีขนาดเล็ก และการ ทดสอบจะเป็นการใส่แรง ด้วยการค้ำจ่อ การทดสอบทั้งสองแบบนี้ต่างกันที่การออกแบบชิ้น ทดสอบและความเร็วของลูกตุ้มในการกระแทกชิ้นทดสอบ ในการทดสอบแบบชาร์ปีชิ้น ทดสอบจะถูกยึดในลักษณะเป็นคานเดี่ยว (Single Beam) แล้วตีกระแทกที่บริเวณด้านหลังของ ร่องบาก ส่วนในการทดสอบแบบไอซอดจะยึด ชิ้นงานในรูปของคานโยก และตีกระแทกที่ ปลายอีกข้างหนึ่งด้านหน้าร่องบาก ในการทดสอบเหล่านี้ การดูดซับพลังงานจะเพิ่มขึ้นในบริเวณร่องบากกึ่งกลางชิ้นทดสอบและมักเกิดการแตกหักแบบเปราะ

2.8.3 การทดสอบความแข็งแบบ Durometer [43]

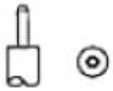







Durometer มีหลายชนิด การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบ โดย หลักการทำงานของเครื่องแต่ละแบบจะเหมือนกัน ต่างกันเฉพาะความคมของปลายแหลมของหัวกด และขนาดของน้ำหนักกดที่ได้จากแรงส่งของสปริงขนาดต่างๆ การวัดค่าความแข็งจะได้จากค่าความ ลึกของรอยกด โดยค่าความแข็งจะเริ่มจาก 100 ที่ความลึกรอยกดเท่ากับศูนย์ จนถึงค่าความแข็งเท่ากับ ศูนย์ที่ความลึกรอยกด 0.1 นิ้ว โดยน้ำหนักกดที่กระทำกับหัวกดจะแปรผกผันกับความลึกรอยกด กล่าวคือวัสดุแข็งที่ให้ความลึกรอยกดน้อยให้เลือกใช้ Durometer ที่มีน้ำหนักกดสูงๆ ส่วนวัสดุอ่อนที่ ให้ความลึกรอยกดมากให้ใช้ชนิดที่มีน้ำหนักกดต่ำๆ ชิ้นทดสอบควรมีความหนาอย่างน้อย 1/4 นิ้ว และในการทดสอบให้เว้นระยะจากขอบชิ้นทดสอบอย่างน้อย 1/2 นิ้ว ผลการทดสอบที่ได้จากการ ทดสอบด้วย Durometer ชนิดหนึ่งไม่สามารถใช้เปรียบเทียบหรือแปลงค่าไปเป็นค่าความแข็ง ของ Durometer อีกชนิดหนึ่งได้ Durometer แบบ Shore เป็นเครื่องทดสอบด้วยมือซึ่งออกแบบให้ใช้ ในการทดสอบความแข็งกับวัสดุอ่อน เช่น ยาง พลาสติก และวัสดุประกอบต่างๆ (composites) รูปที่ 2.13 แสดงเครื่องทดสอบ Durometer แบบ Shore ซึ่งมีสองชนิดพื้นฐานได้แก่ Shore A กับ D

ทั้งสองชนิดนี้มีขั้นตอนการทดสอบเหมือนกัน คือสปริงจะส่งน้ำหนักไปยังหัวกดซึ่งจะกดลงบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบ ความต้านทานต่อการเกิดรอยกดของพื้นผิวชิ้นทดสอบสามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากหน้าปัด Durometer โดยแบบ A จะมีสปริงที่ให้น้ำหนักกดระหว่าง 56-822 กรัม ส่วนแบบ D น้ำหนักกดอยู่ในช่วง 0-10 ปอนด์ ทั้งสองแบบนี้อ่านค่าความแข็งได้จาก 0-100 กล่าวคือวัสดุที่อ่านค่าได้สูงแสดงว่ามีความแข็งมากหรือมีความต้านทานต่อการเกิดรอยกดได้สูง ส่วนการแสดงผลหน่วยจะขึ้นอยู่กับชนิดที่ใช้เช่น 50A หรือ A50 เป็นต้น รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของหัวกด น้ำหนักกดที่ได้จากสปริง ลักษณะการใช้งานของสเกลต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2240



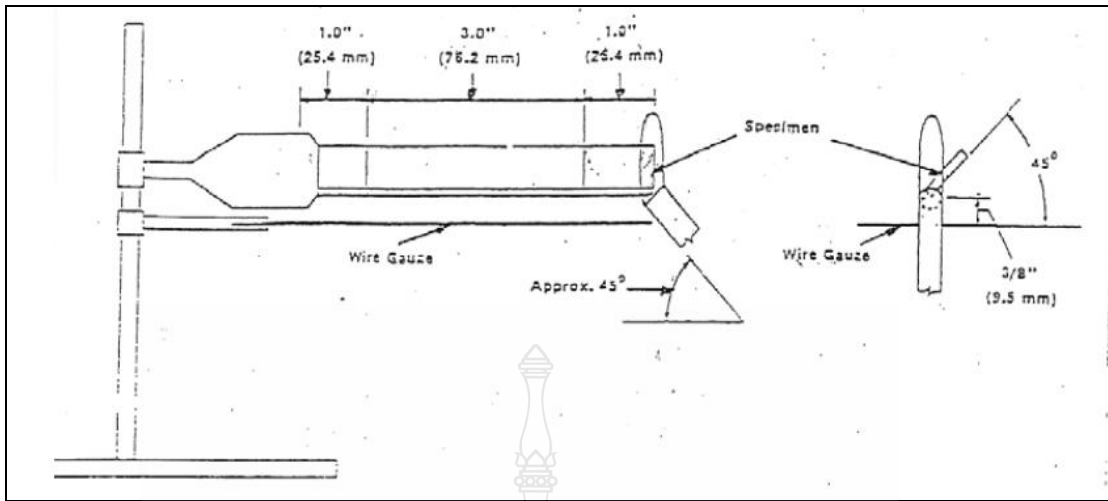
รูปที่ 2.13 เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer แบบ Shore

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดการทดสอบความแข็งแบบ Durometer

สเกล	น้ำหนัก จากสปริง	รายละเอียด หัวกด	รูปหัวกด	ประเภทชิ้นงาน ที่ใช้ในการทดสอบ
A	821 gf 1.81 lbs	กรวยมุม 35° ปลายตัด		ยาง หนังสืเทียม wax หรือวัสดุ กลุ่ม elastomer ที่อ่อนนุ่ม
B	821 gf 1.81 lbs	กรวยมุม 30° ปลายแหลม		ยางหรือ elastomer ที่มีความ แข็งไม่มากนัก
C	4.5 kgf 10 lbs	กรวยมุม 35° ปลายตัด		ยางหรือพลาสติกที่มีความแข็ง ปานกลาง
D	4.5 kgf 10 lbs	กรวยมุม 30° ปลายแหลม		ยางหรือพลาสติกที่มีความแข็ง มาก
DO	4.5 kgf 10 lbs	ครึ่งทรงกลม ขนาด 3/32"		ลูกกลิ้งการพิมพ์หรือตัวกรอง เส้นใยชนิดหนาแน่น
O	821 gf 1.81 lbs	ครึ่งทรงกลม ขนาด 3/32"		ลูกกลิ้งการพิมพ์หรือตัวกรอง เส้นใยชนิดนุ่ม
OOO	113 gf 4.0 oz	ครึ่งทรงกลม ขนาด 1/2"		ยางหรือวัสดุที่อ่อนมาก เช่น open cell foam
SL	142 gf 50 oz	วงกลม ขนาด Ø 0.5"		โฟมพลาสติก หรือโฟมยาง

2.9 การทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL -94

UL 94 คือ วิธีการทดสอบมาตรฐานความสามารถในการติดไฟด้วยวิธี Bunsen Burner Flammability ซึ่งสามารถทดสอบได้ 2 แบบคือ แบบ HB Test และแบบ V Test



รูปที่ 2.14 การทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL -94

HB Test คือ วิธีการทดสอบมาตรฐานความสามารถในการติดไฟของชิ้นงานตามแนวนอน ลักษณะการทดสอบดังรูปที่ 2.14 นำชิ้นงานพลาสติกมาเผาด้วยเปลวไฟเป็นเวลานาน 30 วินาที กำหนดระยะเวลาของชิ้นงานตามแนวนอนห่างจากเปลวไฟไม่เกิน 25.4 มิลลิเมตร

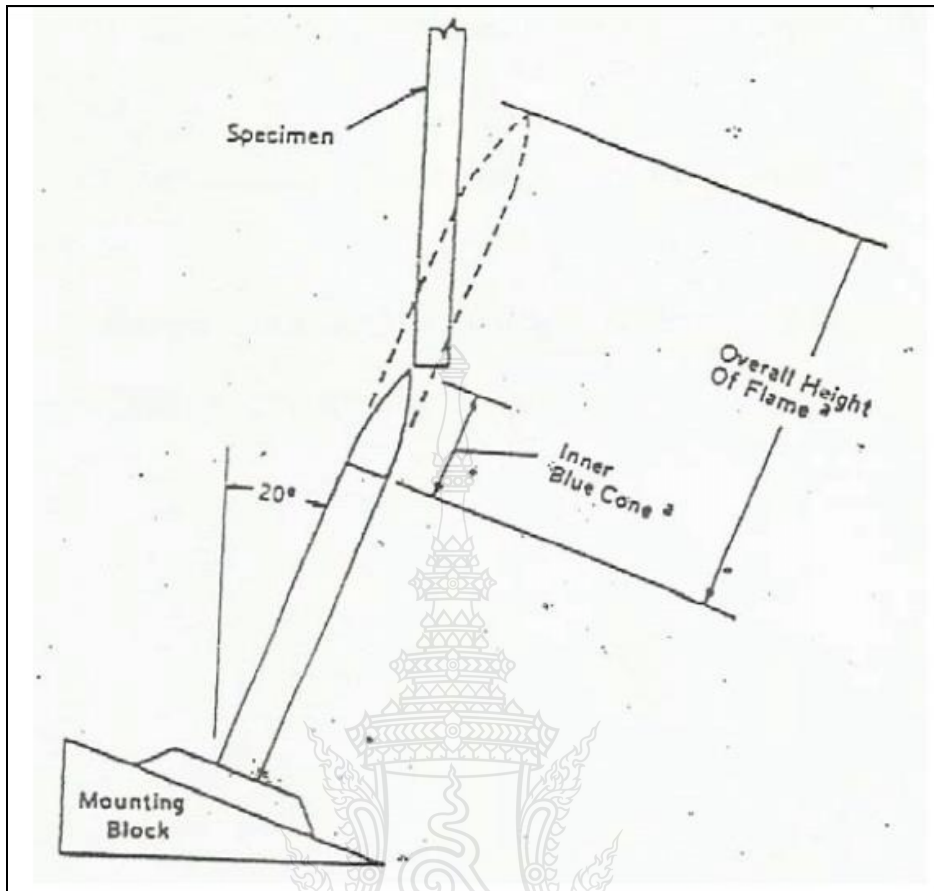
V Test คือ วิธีการทดสอบมาตรฐานความสามารถในการติดไฟของชิ้นงานตามแนวตั้ง ลักษณะการทดสอบดังรูปที่ 2.15 โดยใช้เปลวไฟที่มีความแรงเป็น 2 เท่าของ HB Test สำหรับการทดสอบแบบ V Test จะมีการแปรระดับการติดไฟด้วยดังนี้

V-0 : เปลวไฟที่ติดชิ้นงานจะสามารถดับได้เองภายในระยะเวลา 10 วินาที

V-1 : เปลวไฟที่ติดชิ้นงานจะสามารถดับได้เองภายในระยะเวลา 30 วินาที

V-2 : เปลวไฟที่ติดชิ้นงานจะสามารถดับได้เองภายในระยะเวลา 30วินาที

โดยที่ V-1 และ V-2 จะแตกต่างกันตรงที่ V-2 สำลิต้ตะเกียงจะติดไฟจากหยดพลาสติกที่หล่นลงมาแต่ V-1 ไม่ติดไฟ



รูปที่ 2.15 การทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุตามมาตรฐาน UL-94V



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

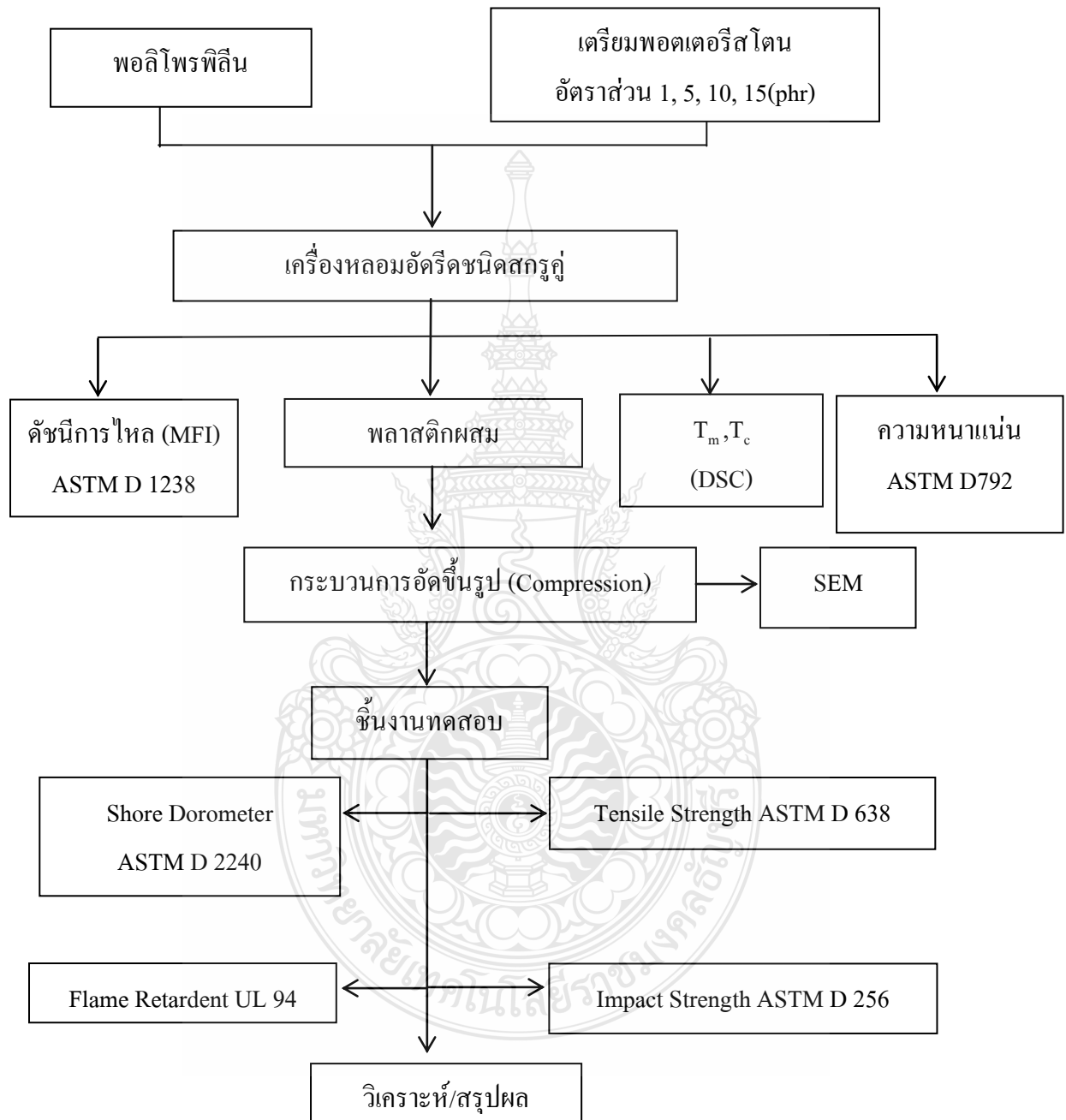
งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการผลกระทบของการเติมพोटเตอริสโตนในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการหน่วงไฟ โดยมีแผนการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน												
ขั้นตอนการดำเนินงาน	2555		2556									
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1. ค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	↔											
2. รวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำแผนวิจัย	↔											
3. สอบหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์			↔									
4. ดำเนินการจัดหาวัสดุอุปกรณ์				↔								
5. ทดลองและทำการทดสอบ							↔					
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง										↔		
8. จัดทำเป็นรูปเล่มวิทยานิพนธ์										↔		

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนขึ้นรูปชิ้นงาน

3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 วัสดุดิบ

1. พอลิโพรพิลีน เกรด 1100 NK บริษัท IRPC ประเทศไทย
 - 1) Melt Flow Index (2.16 kg/230°C) = 11 g/10 min.
 - 2) Tensile Strength at Yield = 36 N/mm²
 - 3) Charpy Notched Impact Strength (at 230 °C) = 2.9 mJ/mm²
 - 4) Rockwell Hardness = 107 R-Scale
2. แร่พอตเตอร์สโตน (Pottery Stone) จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย

3.3.2 อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดตศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler-Toledo PB 303-L ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
2. เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ ยี่ห้อ CHAREON TUT CO.,LTD ประเทศไทย
3. เครื่องอัดขึ้นรูป ยี่ห้อ Lab Tech Engineering ประเทศไทย
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope ยี่ห้อ JEOL JSM-S410LV ประเทศญี่ปุ่น
5. เครื่องทดสอบการหาค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index) ยี่ห้อ CEAST TELEX 220147 ประเทศอิตาลี
6. เครื่องทดสอบความหนาแน่น (Density Determination with Electric Balance) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
7. เครื่องทดสอบการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry) ยี่ห้อ NETZSCH รุ่น DSC 200 F3
8. เครื่องทดสอบหาค่าการทนต่อแรงดึง ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENTS™ รุ่น LR 10K Plus
9. เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก ยี่ห้อ CEAST ประเทศอิตาลี
10. เครื่องทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิว (Shore Dorometer) รุ่น 409
11. เครื่องทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ ยี่ห้อ Ceast รุ่น 151 serial 12385 ประเทศอิตาลี



รูปที่ 3.2 เม็ดพอลิโพรพิลีน



รูปที่ 3.3 แร่พอดเทอริสโตน



รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.5 เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่



รูปที่ 3.6 เครื่องอัดขึ้นรูป



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบการหาค่าดัชนีการไหล



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความหนาแน่น



รูปที่ 3.10 เครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอรีเมทรี



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบหาค่าการทนต่อแรงดึงแบบยูนิเวอร์แซล



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิว



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 การเตรียมเม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน และแร่พอตเตอร์สโตน

การเตรียมพอลิโพรพิลีนที่ผสมพอตเตอร์สโตนที่อัตราส่วน 0, 1, 5, 10 และ 15phr
 ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของพอลิโพรพิลีนและพอตเตอร์สโตนที่อัตราส่วนต่างๆ

PP (phr)	Pottery stone (phr)
100	0
100	1
100	5
100	10
100	15

จากนั้นนำมาผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twins Screw-Extruder) ดังรูปที่ 3.15 ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส จะได้เม็ดพลาสติกใหม่ ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่



รูปที่ 3.16 เม็ดพลาสติกใหม่ที่ได้จากการผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับพอตเตอริสโตน

นำเม็ดพลาสติกที่ได้ไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.17 โดยใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปคือ 230 องศาเซลเซียส ได้ชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 เครื่องอัดขึ้นรูป



รูปที่ 3.18 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป

3.5 การทดสอบสมบัติทางกายรูปและสมบัติทางความร้อนของพอลิพรพิลีนที่ผสมพอตเตอร์สโตน

หลังจากได้เม็ดพลาสติกใหม่ที่ได้จากการผสมระหว่างพอลิพรพิลีนกับพอตเตอร์สโตน ดังรูปที่ 3.16 แล้วนำไปเตรียมการทดสอบตามวิธีการทดสอบต่างๆคือ ตรวจสอบลักษณะพื้นฐาน วิทยาศาสตร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI) ทดสอบความหนาแน่น (Density Determination with Electric Balance) ทดสอบเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

3.5.1 ตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาศาสตร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

SEM เป็นเครื่องมือในการศึกษาลักษณะ โครงสร้างทางกายรูปของพอตเตอร์สโตน โดยทำการทดลองดังนี้

1. นำตัวอย่างมาวางบน Stub ด้วยเทปสองหน้าหรือกาว
2. นำตัวอย่างไปฉาบผิวด้วยทอง โดยเครื่อง Ion Sputter
3. นำตัวอย่างไปส่องดูโครงสร้างทางกายรูปด้วยเครื่อง SEM

3.5.2 ทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI)

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นเม็ด โดยทำการซึ่งเม็ดพลาสติกตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 8 กรัม แล้วนำไปทำการทดสอบ สภาวะในการทดสอบดังนี้

1. อุณหภูมิ : 230 องศาเซลเซียส
2. น้ำหนักกด : 2.16 กิโลกรัม

3.5.3 ทดสอบความหนาแน่น (Density Determination with Electric Balance)

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นเม็ด ประมาณ 10 เม็ด ทำการทดลองดังนี้

1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบตามคู่มือการใช้เครื่อง
2. ตั้งค่าเครื่องซึ่งเป็น 0.000 g
3. วางเม็ดพลาสติก 1 เม็ดบนภาชนะสำหรับชั่งในอากาศ อ่านค่าน้ำหนัก
4. เอาเม็ดพลาสติกออกจากภาชนะ และกด Tare เพื่อตั้งค่าเป็นศูนย์อีกครั้ง นำเม็ดพลาสติกที่ทดสอบก่อนหน้านี้ ทำการหย่อนลงในบีกเกอร์โดยให้ตกลงในตะแกรงลวดที่จมอยู่ในของเหลวที่ทราบค่าความหนาแน่น อ่านค่าน้ำหนัก

5. จำนวนผลการทดสอบ

3.5.4 ทดสอบเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 8 กรัมบรรจุลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan) ทำการอัดแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้ แล้วทำนำไปวางในเครื่อง กำหนดสภาวะการทดสอบดังนี้

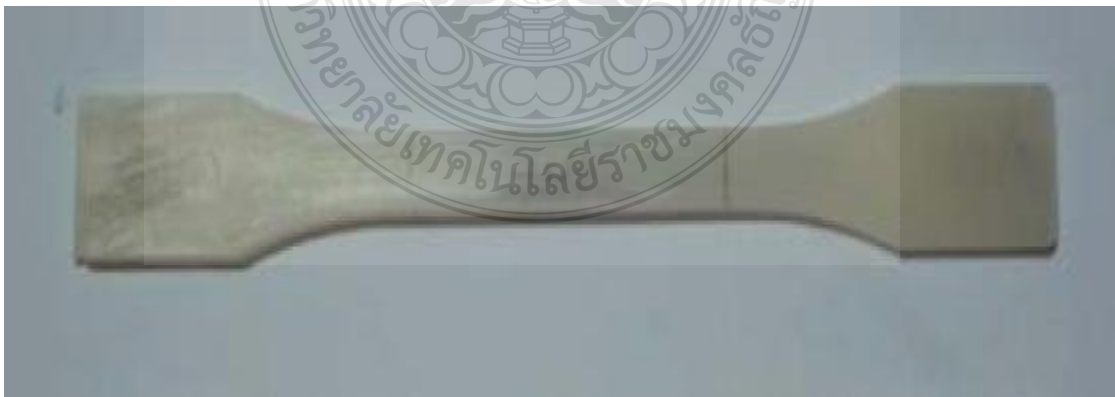
1. ใช้ช่วงอุณหภูมิในการทดสอบที่ 0-230 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน
2. อัตราเร็วในการให้ความร้อน (Heating Rate) เท่ากับ 10 องศาเซลเซียส/นาที
3. อัตราเร็วในการลดอุณหภูมิ (Cooling Rate) เท่ากับ 10 องศาเซลเซียส/นาที

3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนที่ผสมพอตเตอร์ีสโตน

หลังจากได้ชิ้นงานจากการอัดขึ้นรูปดังรูปที่ 3.18 แล้ว นำไปตัดเพื่อเตรียมชิ้นงานทดสอบตามวิธีการทดสอบต่างๆ คือ การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength) การทดสอบความแข็งที่ผิวโดยใช้วิธี Shore Drometer

3.6.1 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

1. ทำการตัดชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป เป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638

2. นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensile Tester ดังรูปที่ 3.20 โดยนำตัวอย่างหนีบที่หัวจับยึดและกดเซตค่าแรงดึงที่เครื่องให้เป็นศูนย์ และกด เริ่ม เพื่อเริ่มการทดสอบ การทดสอบเสร็จสิ้นเมื่อชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน



รูปที่ 3.20 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

3.6.2 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength)

การเตรียมชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปมาทำการตัดให้ได้ขนาดความกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 63.5 มิลลิเมตร และหนา 4 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปทำการบากชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ชิ้นทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256

หลังจากที่ทำการบดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานแล้ว จากนั้นจึงนำไปทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกดังรูปที่ 3.22 โดยมีขั้นตอนการทดสอบคือ

1. ทำการวัดความกว้างและหนาของแต่ละชิ้นทดสอบ
2. เลือกชนิดก้อนที่พลังงานต่ำสุด (2 J) และทำการจับยึดกับเครื่อง
3. ยกก้อนให้แขวนอยู่ในตำแหน่งขึ้น
4. วางชิ้นทดสอบที่มีความลึกของรอยบากตามมาตรฐาน โดยให้ตรงมุมแหลมของรอยตำแหน่งของตัวจับชิ้นงาน
5. กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆกัน
6. อ่านค่าพลังงานที่มาให้ชิ้นงานแตก
7. นำค่าพลังงาน (J) มาคำนวณค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน

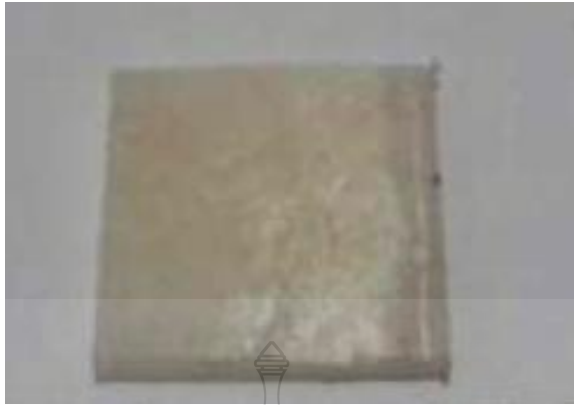
ASTM D256



รูปที่ 3.22 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

3.6.3 การทดสอบความแข็งที่ผิวโดยใช้วิธี Shore Drometer

1. เตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยการตัดชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป จากนั้นเลื่อยเป็นชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ชิ้นงานทดสอบความแข็งที่ผิวแบบ Shore Dorometer

2. ทำการทดสอบความแข็งที่ผิวด้วยเครื่องทดสอบความแข็งที่ผิวแบบ Shore Dorometer ดังรูปที่ 3.24 โดยเลือกใช้การทดสอบแบบ Shore D น้ำหนักกด 5 kg



รูปที่ 3.24 เครื่องทดสอบความแข็งที่ผิวแบบ Shore Dorometer

3. วางชิ้นงานทดสอบบนแท่นวางชิ้นงาน
4. ทำการหมุนแท่นชิ้นงานขึ้นให้หัวทดสอบกดลงบนชิ้นงานและยก Load ขนาด 5 กิโลกรัมขึ้นค้างไว้เป็นเวลา 10 วินาที
5. อ่านค่าที่ได้จากหน้าปัด

3.7 การทดสอบสมบัติการหน่วงไฟของพอลิพรพิลีนที่ผสมพอตเตอร์สโตน

3.7.1 เตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยนำชิ้นทดสอบที่ได้จากอัดขึ้นรูปมาทำการตัดให้มีขนาด กว้าง 12.5 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานการทดสอบ UL -94 ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุ

3.7.2 นำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุดังรูปที่ 3.26 โดยทำการจับยึด ตามมาตรฐานการทดสอบ UL -94



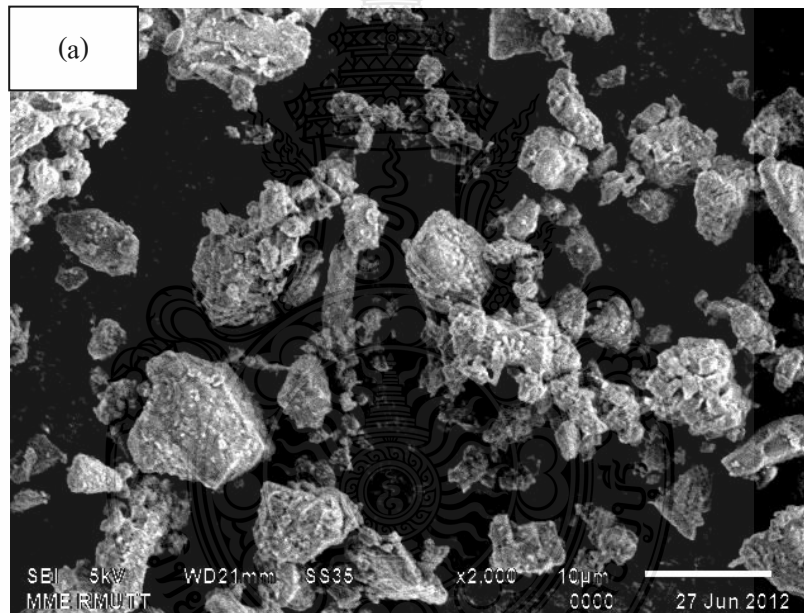
รูปที่ 3.26 เครื่องทดสอบการหน่วงไฟของวัสดุ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

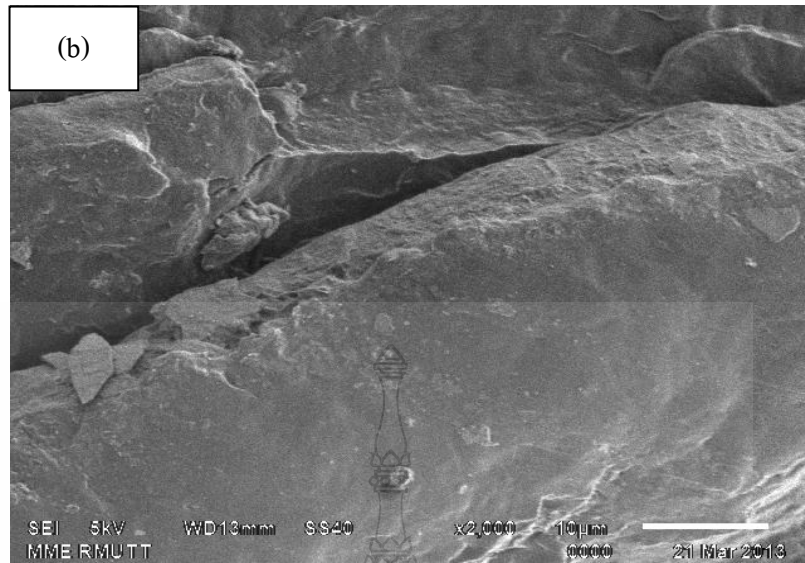
จากการเตรียมพอลิโพรพิลีน (PP) และแร่พอตเตอร์สโตน (Pottery Stone) ที่อัตราส่วนระหว่าง PP/ Pottery Stone (ร้อยละโดยน้ำหนัก phr) ต่างๆดังนี้ คือ 100:0, 100:1, 100:5, 100:10 และ 100:15 ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นทดสอบเพื่อทำการทดสอบสมบัติต่างๆ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1 ผลการตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)



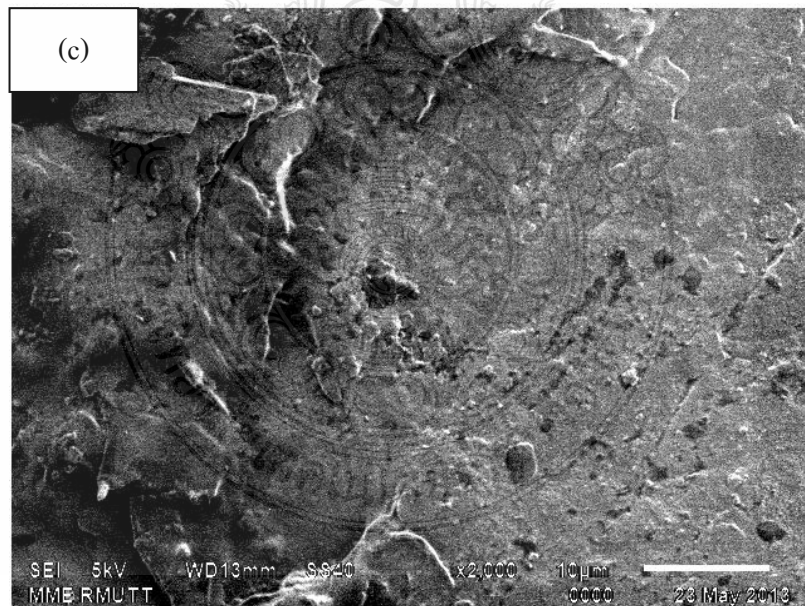
(a) แร่พอตเตอร์สโตน (Pottery Stone)

รูปที่ 4.1 รูปถ่ายSEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า



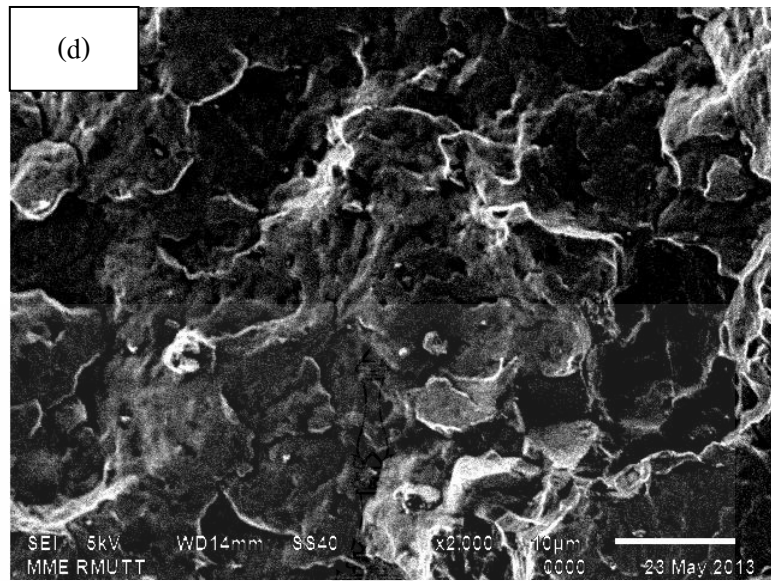
(b) โพลีโพรพิลีน (PP)

รูปที่ 4.1 รูปถ่ายSEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า (ต่อ)



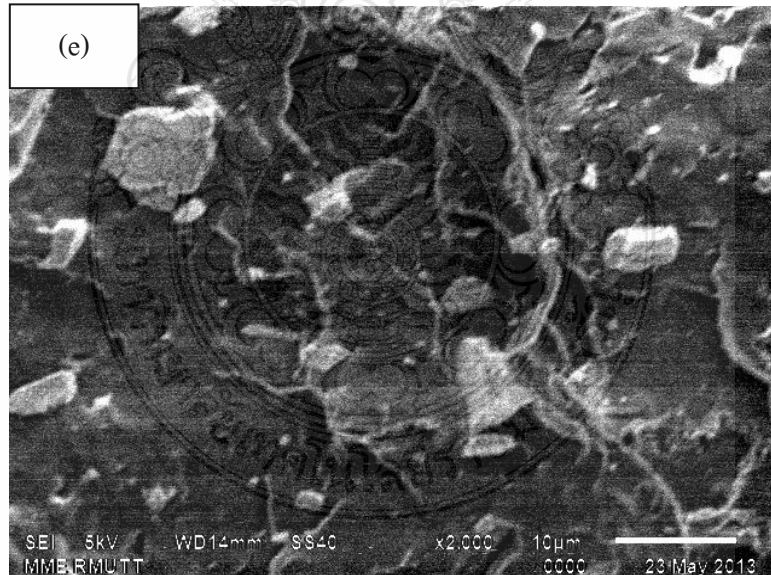
(c) PP : Pottery Stone (1phr)

รูปที่ 4.1 รูปถ่ายSEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า (ต่อ)



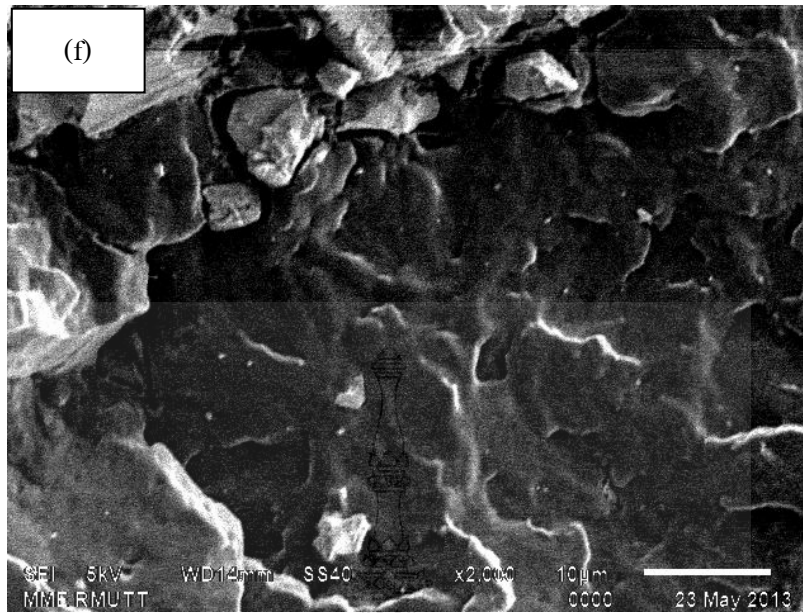
(d) PP : Pottery Stone (5phr)

รูปที่ 4.1 รูปถ่ายSEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า (ต่อ)



(e) PP : Pottery Stone (10phr)

รูปที่ 4.1 รูปถ่ายSEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า (ต่อ)

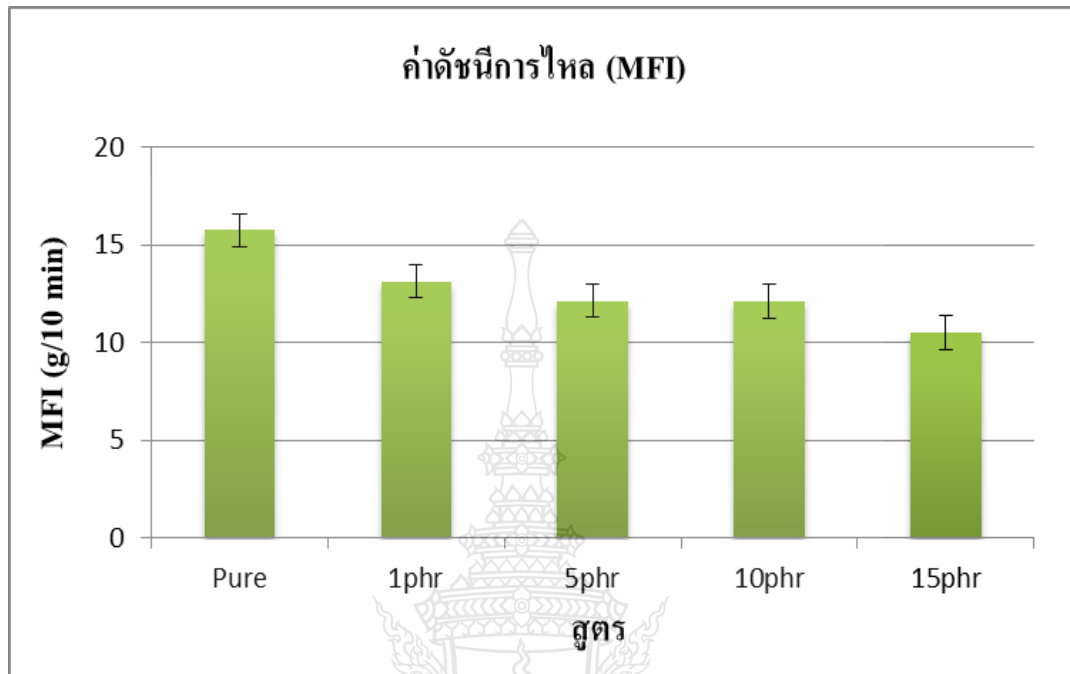


(f) PP : Pottery Stone (15phr)

รูปที่ 4.1 รูปถ่ายSEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า (ต่อ)

รูปที่ 4.1(a-b) เป็นรูปถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่าของแร่พอตเตอริส โตน (Pottery Stone) และพอลิโพรพิลีน (PP) พบว่าลักษณะรูปร่างอนุภาคผลึกของแร่พอตเตอริส โตนมีขนาดประมาณ 10 μm และลักษณะพื้นผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุผสมอื่นๆ [1] รูปที่ 4.1 (c-g) เป็นรูปถ่ายถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่าของ PP : Pottery Stone ที่ 1, 5, 10 และ 15phr ที่ปริมาณพอตเตอริส โตนน้อย(1, 5phr) พบว่าอนุภาคของแร่พอตเตอริส โตนมีการกระจายตัวสม่ำเสมออยู่ในเฟส PP ไม่มีการแยกเฟสระหว่าง PP : Pottery Stone ส่วนรูปที่ 4.1 (e-g) เมื่อปริมาณพอตเตอริส โตนมากขึ้น (10 และ 15phr) พบว่าอนุภาคของพอตเตอริส โตน มีการเกาะตัวกันทำให้ขนาดของพอตเตอริส โตนใหญ่ขึ้นมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ [44]

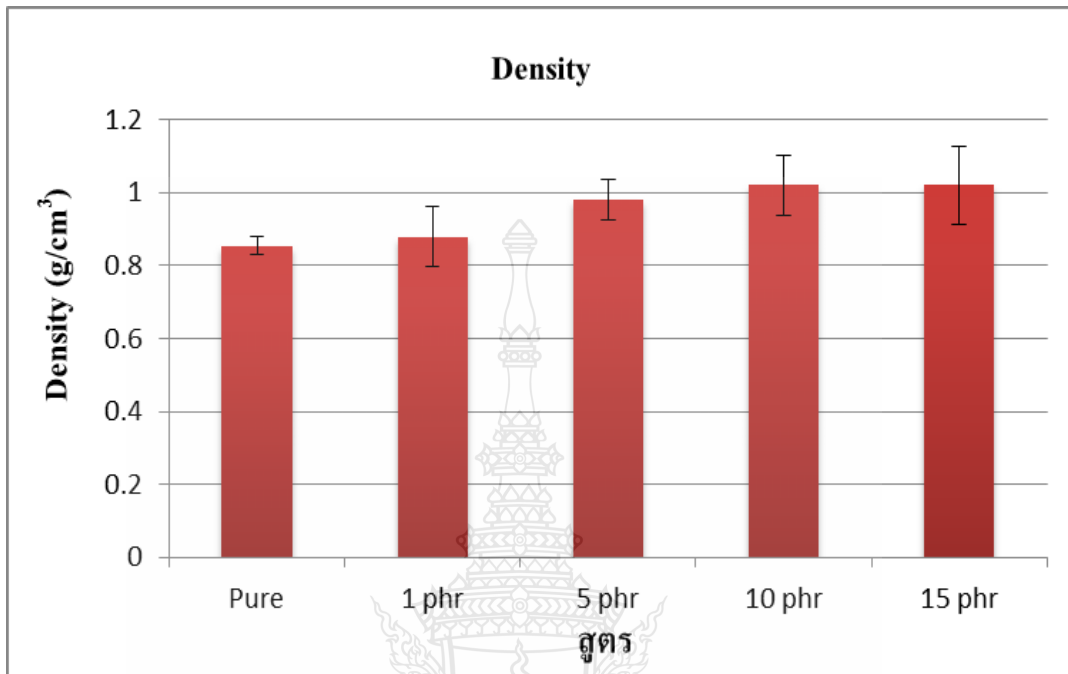
4.2 ผลการทดสอบดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐานASTM D1238



รูปที่ 4.2 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI) ของ PP : Pottery Stone

รูปที่ 4.2 จากการทดสอบค่าดัชนีการไหลของ PP : Pottery Stone เมื่อเติมพอตเตอร์ีสโตนพบว่าส่งผลต่อค่าดัชนีการไหล ทำให้ค่าดัชนีการไหลลดลง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าความหนืด กล่าวคือเมื่อเติมพอตเตอร์ีสโตนในปริมาณมากขึ้นความหนืดเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของพอตเตอร์ีสโตน ทั้งนี้เนื่องจากการที่พอตเตอร์ีเข้าไปแทรกตัวอยู่ในพอลิโพรพิลีน (PP) ซึ่งเข้าไปขัดขวางการไหลของพอลิโพรพิลีน (PP) จึงส่งผลให้มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น [45-46]

4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D792



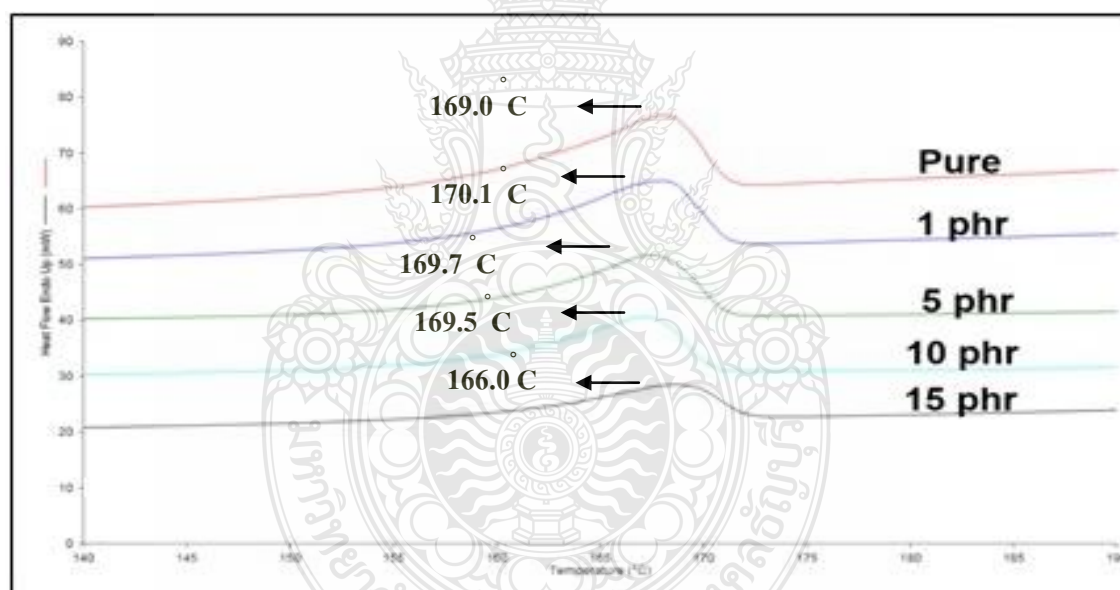
รูปที่ 4.3 ค่าความหนาแน่นของ PP : Pottery Stone

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของ PP : Pottery พบว่าพอตเตอร์สโตนที่เติมลงไป ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ PP ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมของพอตเตอร์สโตนภายในเนื้อพอลิเมอร์ แต่ถือว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากนักแม้ผสมลงไปมากถึง 15phr เนื่องจากค่าความหนาแน่นเป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนั้นๆ และพอตเตอร์สโตนมีความหนาแน่นมากกว่าพอลิโพรพิลีน ดังนั้นในการเติมที่ปริมาณน้อยๆคือ 1phr พอตเตอร์สโตนจะมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของพอลิโพรพิลีนที่เป็นเนื้อหลักเพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้นไม่มาก แต่เมื่อมีปริมาณพอตเตอร์สโตนเพิ่มขึ้นเป็น 5, 10 และ 15phr อิทธิพลของพอตเตอร์สโตนที่ผสมก็จะมามากขึ้นตามไปด้วย [46]

4.4 ผลการทดสอบเทคนิคดีฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

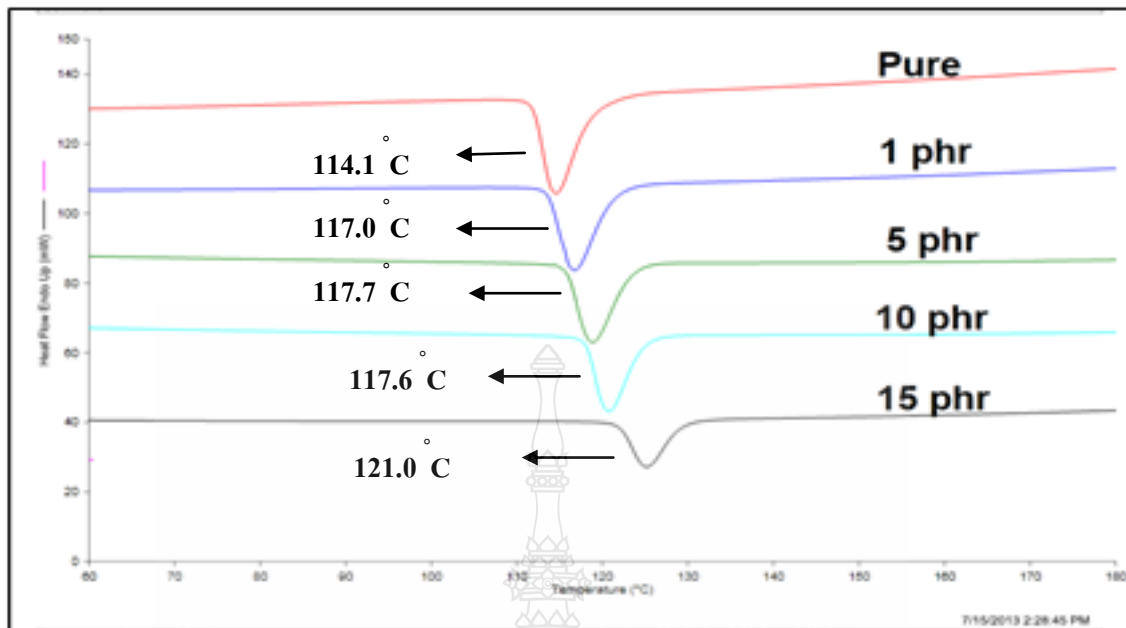
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางความร้อนของ PP : Pottery Stone

PP:Pottery Stone (phr)	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)	% crystallinity
100:0	169.0	114.1	83.13	40
100:1	170.1	117.0	89.34	43
100:5	169.7	117.7	91.53	44
100:10	166.0	117.6	87.43	42
100:15	169.5	121.0	80.96	39



(a) ค่า T_m ของ PP : Pottery Stone

รูปที่ 4.4 ค่าจากการทดสอบเทคนิคดีฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี
(Differential Scanning Calorimetry, DSC)

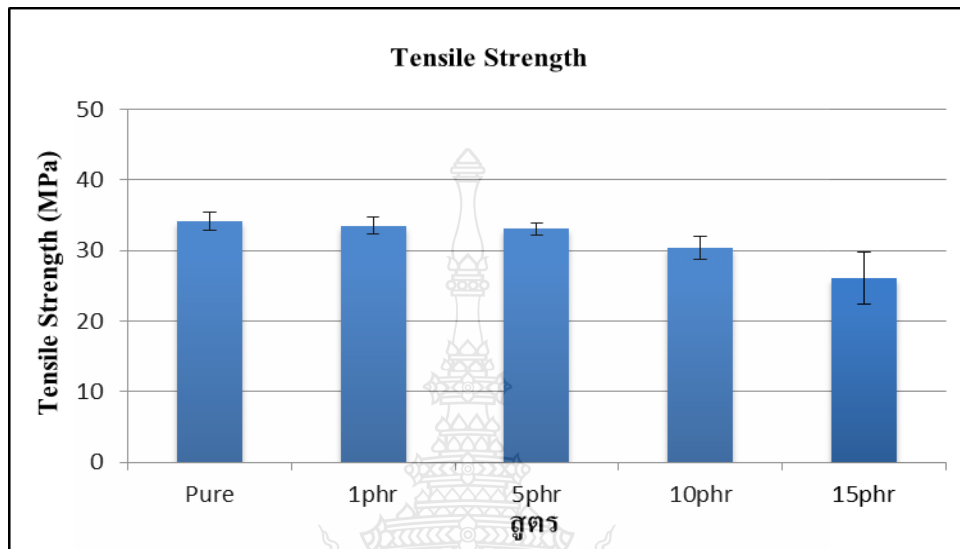


(b) ค่า T_c ของ PP : Pottery Stone

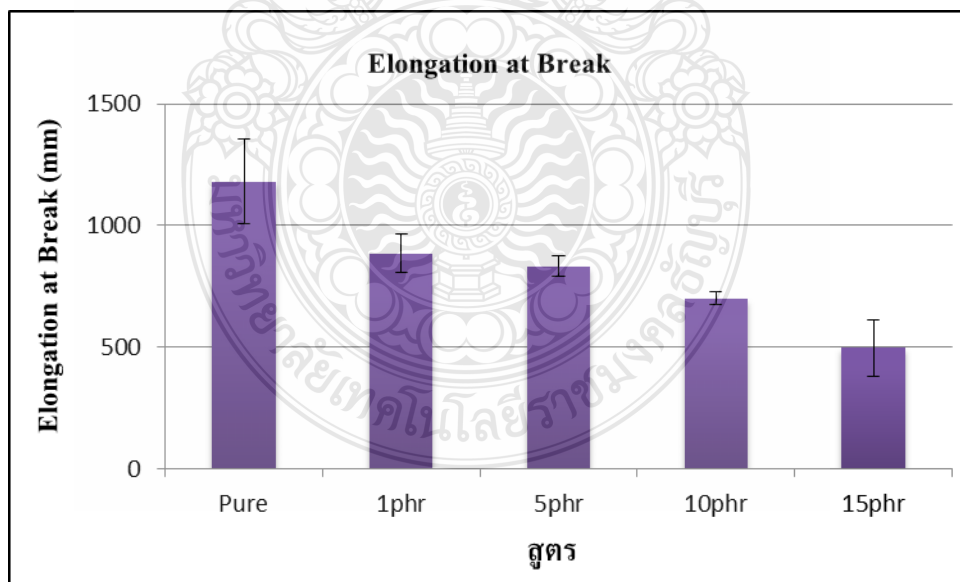
รูปที่ 4.4 ค่าจากการทดสอบเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) (ต่อ)

รูปที่ 4.4 (a) จากผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของการเติมพอตเตอร์สโตน ลงในพอลิโพรพิลีน (PP) นั้นไม่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของ PP มากนัก และจากรูปที่ 4.4 (b) อุณหภูมิในการเกิดผลึก (T_c) สูงขึ้น ตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มมากขึ้นของพอตเตอร์สโตน เนื่องจากพอตเตอร์สโตน ใช้อุณหภูมิในการเกิดผลึกสูงกว่า PP จึงส่งผลทำให้อุณหภูมิการเกิดผลึกสูงตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ยิ่งอัตราส่วนเพิ่มมากขึ้น การเกิดผลึกก็เร็วขึ้นมากตามอัตราส่วนด้วยเมื่อเทียบกับ PP และ การที่มีค่าอุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่ามีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย [44]

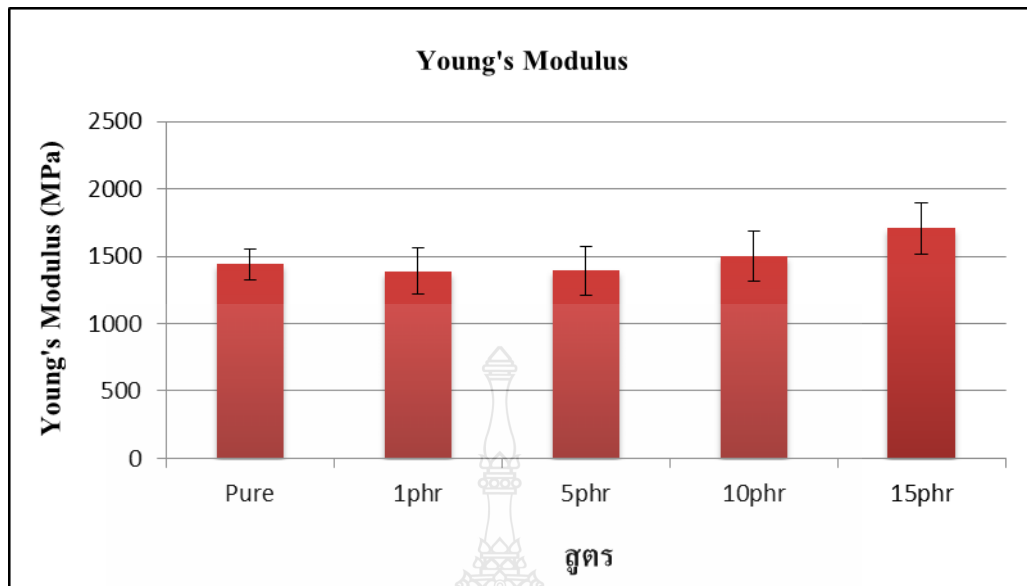
4.5 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D638



รูปที่ 4.5 ค่าการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของ PP : Pottery Stone



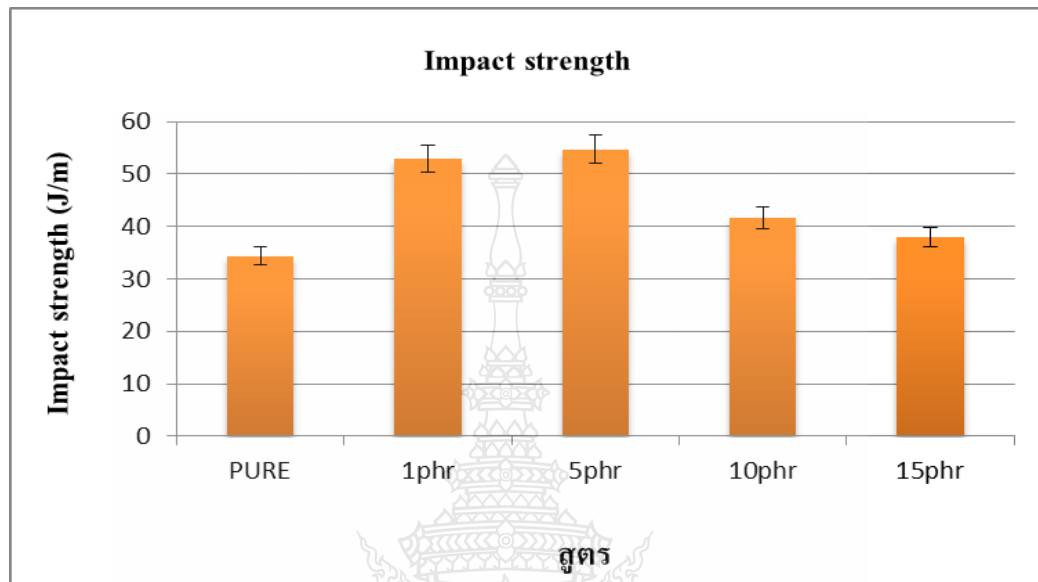
รูปที่ 4.6 ค่าการทดสอบยืดตัว ณ จุดขาด Elongation at Break ของ PP : Pottery Stone



รูปที่ 4.7 ค่า Young's Modulus ของ PP : Pottery Stone

รูปที่ 4.5 พบว่าการเติมพอดเตอร์สโตนลงในพอลิโพรพิลีน (PP) ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) มาก แต่ระยะยืด (Elongation at Break) ของพอลิโพรพิลีนลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เนื่องจากพอดเตอร์สโตนกระจายตัวอยู่ในพอลิโพรพิลีน (PP) และมีแรงดึงคู่ระหว่างเฟสต่ำหรืออาจเกิดจากการแทรกตัวของอนุภาคพอดเตอร์สโตนในเนื้อพอลิโพรพิลีน(PP) สังเกตจากรูปถ่าย SEM การกระจายตัวของพอดเตอร์สโตนที่อัตราส่วน 100 : 0phr เปรียบเทียบกับอัตราส่วน 100 : 15phr พบว่าพอดเตอร์สโตนมีการกระจายตัวแทรกอยู่ เมื่อได้รับแรงดึงจึงทำให้ชิ้นงานขาดง่ายตรงบริเวณระหว่างเฟสพอดเตอร์สโตน กับเนื้อพลาสติก PP ถ้าบริเวณเฟสระหว่างพอลิโพรพิลีนกับพอดเตอร์สโตนนั้นมีช่องว่างจึงไม่สามารถส่งผ่านแรงได้ดี ทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตขาด ส่วนค่า Young's Modulus มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเติมพอดเตอร์สโตนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พอดเตอร์สโตนเข้าไปขวางการเสีรูปร่างของพอลิเมอร์ จึงต้องใช้แรงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตเสีรูปได้ยากมากขึ้น [47] ตามรูปที่ 4.7

4.6 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D256

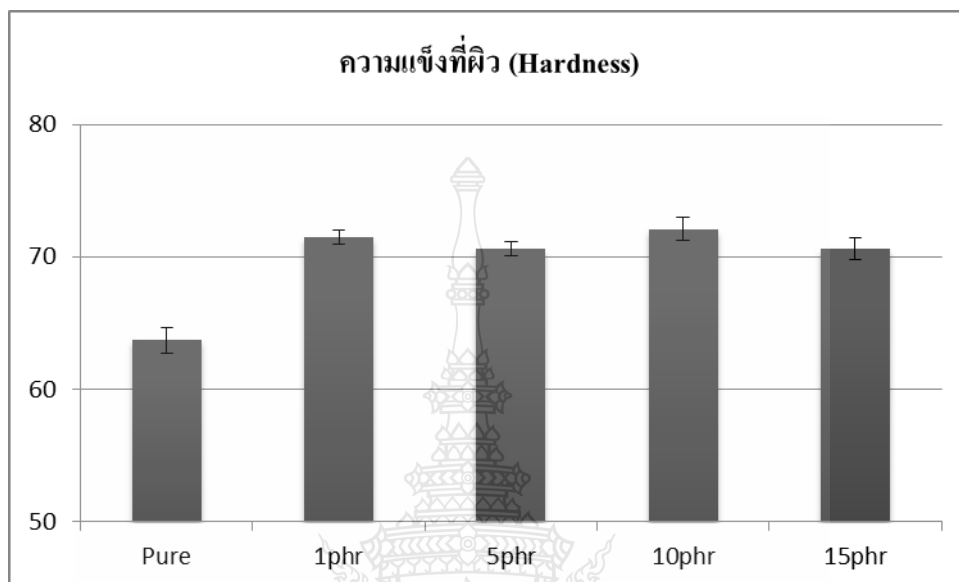


รูปที่ 4.8 ค่าการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength) ของ PP : Pottery Stone

รูปที่ 4.8 พบว่าผลการทดสอบการทนแรงกระแทกของการเติมพอตเตอริสโตนลงใน PP มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้นในช่วงการเติม 1 และ 5phr เนื่องจากพอตเตอริสโตนกระจายตัวใน PP และทำหน้าที่ช่วยในการรับแรงกระแทกในพื้นที่ที่เกิดรอยแตกหัก จึงส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มมากขึ้น [48] และมีแนวโน้มที่ลดลงตามปริมาณการผสมที่เพิ่มขึ้น (10, 15 phr) ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเกาะกลุ่มรวมตัวกันของอนุภาคพอตเตอริสโตน ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง [49]

4.7 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิวแบบ Shore Drometer ตามมาตรฐาน

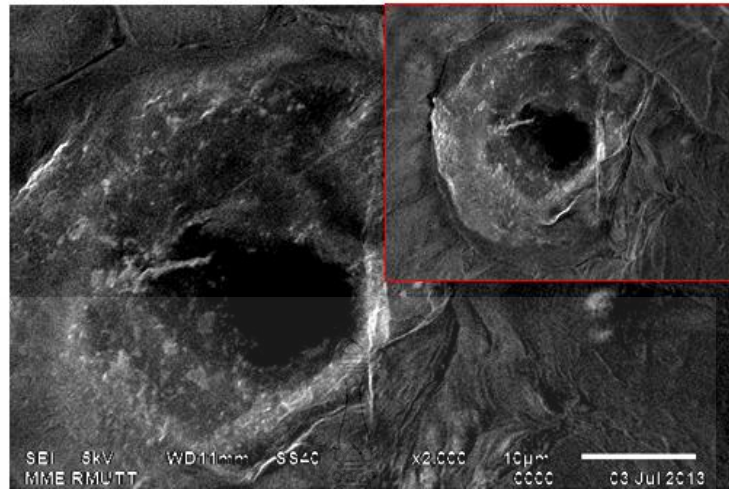
ASTM D2240



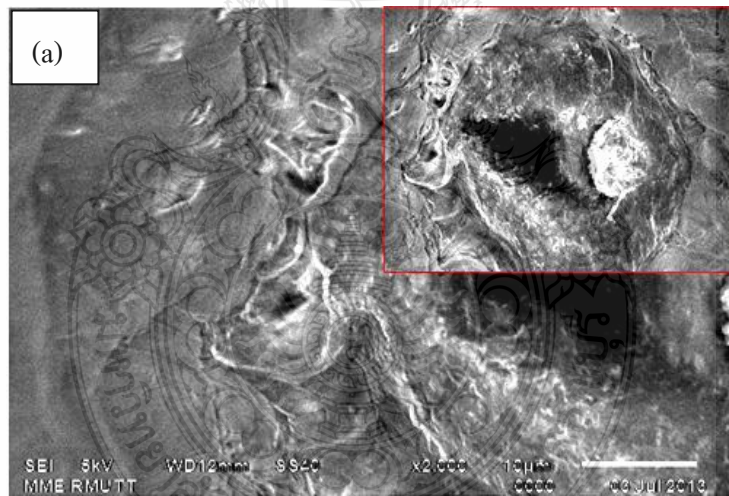
รูปที่ 4.9 ค่าการทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิวของ PP : Pottery Stone

รูปที่ 4.9 เป็นผลการทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิวแบบ Shore Drometer ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ซึ่งเมื่อเติมพอดตเตอร์สโตนลงในพอลิโพรพิลีน (PP) พบว่าส่งผลทำให้พอลิโพรพิลีน (PP) มีความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคพอดตเตอร์สโตนที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) ส่งผลทำให้ค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) เพิ่มมากขึ้น [50]

จากผลการทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิวแบบ Shore Drometer ตามมาตรฐาน ASTM D2240 จึงได้ทำการวิเคราะห์สัณฐานภาพบริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) โดยนำชิ้นงานที่ทำการทดสอบความแข็งที่ผิวมาเป็นชิ้นทดสอบ โดยได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.9–4.10

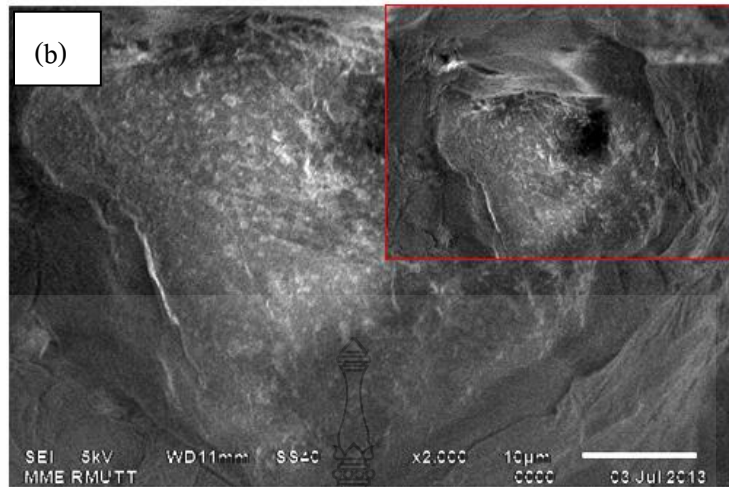


รูปที่ 4.10 รูปถ่าย SEM บริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) 100%



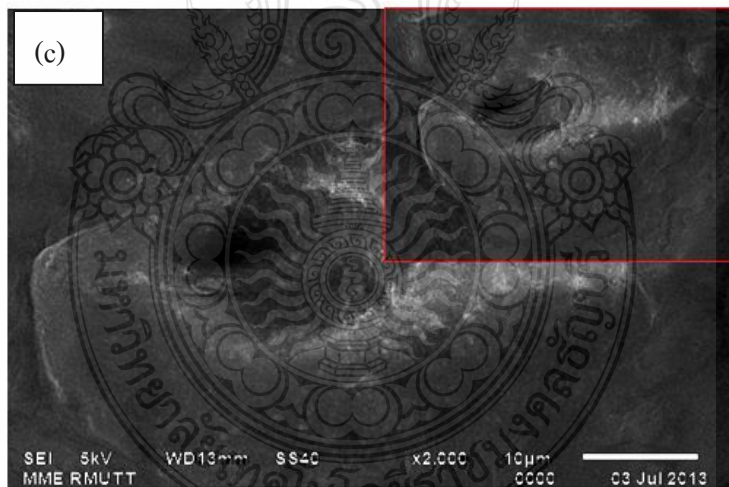
(a) PP : Pottery Stone (1phr)

รูปที่ 4.11 รูปถ่าย SEM บริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ผสมพอดเตอร์สโตน



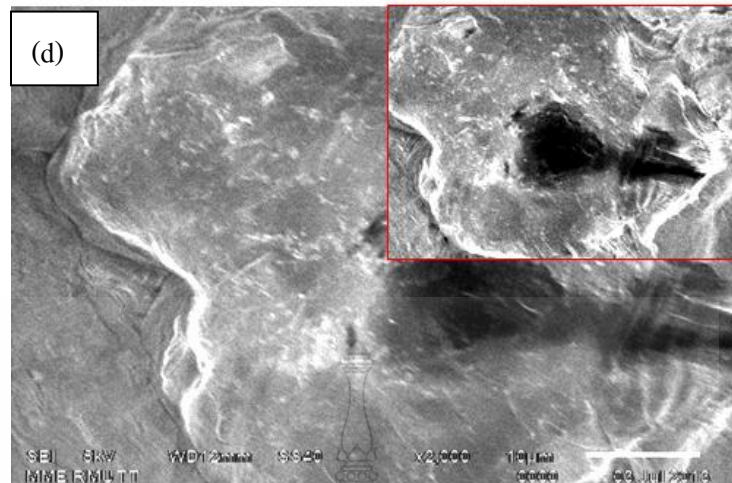
(b) PP : Pottery Stone (5phr)

รูปที่ 4.11 รูปถ่าย SEM บริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ผสมพอตเตอร์ีสโตน (ต่อ)



(c) PP : Pottery Stone (10phr)

รูปที่ 4.11 รูปถ่าย SEM บริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ผสมพอตเตอร์ีสโตน (ต่อ)

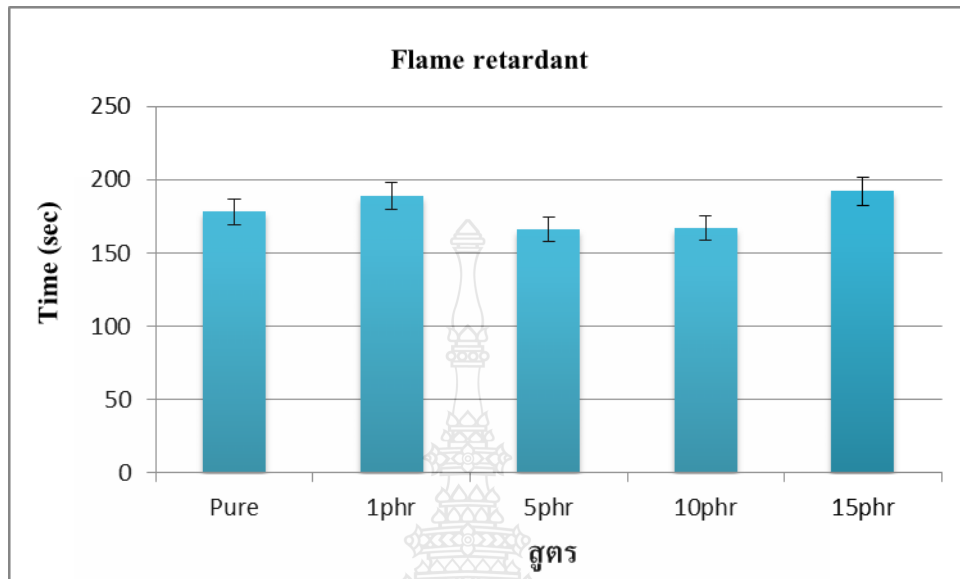


(d) PP : Pottery Stone (15phr)

รูปที่ 4.11 รูปถ่าย SEM บริเวณรอยกุดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ผสมพอตเตอร์สโตน (ต่อ)

จากรูปที่ 4.9-4.10 พบว่ามีการกระจายตัวของอนุภาคพอตเตอร์สโตนบนรอยกุดทดสอบความแข็งที่ผิวส่งผลทำให้หัวกดมีโอกาสกระทบกับอนุภาคของพอตเตอร์สโตนที่เติมลงไป จึงส่งผลให้ค่าความแข็งที่ผิวของวัสดุเพิ่มมากขึ้น

4.8 ผลการทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ(Flame Retardant) ตามมาตรฐาน UL -94



รูปที่ 4.12 ค่าการทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ (Flame Retardant) ของ PP : Pottery Stone

รูปที่ 4.11 พบว่าการเติมพอตเตอร์สโตน ลงไปใน PP นั้นไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ (Flame Retardant) มากนัก จากที่อัตราส่วน 1phr มีปริมาณของอนุภาคของพอตเตอร์สโตนน้อยในเนื้อของ PP จึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เห็นได้ชัดเจนที่ 5 และ 10phr ซึ่งมีอัตราการหน่วงไฟลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีการกระจายตัวของอนุภาคพอตเตอร์สโตนอย่างสม่ำเสมอในเนื้อ PP จึงมีสมบัติเป็นสารช่วยหน่วงไฟ มีผลทำให้อัตราการหน่วงไฟลดลง ส่วนที่อัตราส่วน 15phr มีอัตราการหน่วงไฟเพิ่มมากขึ้นจาก 5 และ 10phr แต่ไม่แตกต่างจาก PP มากนัก เนื่องจากมีอัตราส่วนเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีอนุภาคของพอตเตอร์สโตนอยู่ในเนื้อ ของ PP มากขึ้น แต่มีการกระจายตัวที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอ เพราะอนุภาคของพอตเตอร์สโตนจะเริ่มจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งเมื่อเผาชิ้นงานถึงช่วงที่มีอนุภาคของพอตเตอร์สโตนที่จับกันเป็นกลุ่มก้อนจึงทำให้ใช้เวลาในการเผาไหม้นานขึ้น [11]

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลกระทบของการเติมพอตเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีน ทำการผสมโดยใช้เครื่องหลอมอัดรีดชนิดสกรูคู่ จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป เพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลและสมบัติการหน่วงไฟ ซึ่งได้ผลการทดลองและสรุปดังนี้

5.1 ผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของการเติมพอตเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีน

5.1.1 การตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

จากผลการวิเคราะห์แร่พอตเตอร์สโตน (Pottery Stone) และพอลิโพรพิลีน (PP) พบว่าลักษณะรูปร่าง อนุภาคผลึกของแร่พอตเตอร์สโตนมีขนาดประมาณ 10 μm และลักษณะพื้นผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุผสมอื่นๆ ที่ปริมาณพอตเตอร์สโตนน้อย (1, 5phr) พบว่าอนุภาคของแร่พอตเตอร์สโตนมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ เมื่อปริมาณพอตเตอร์สโตนมากขึ้น (10 และ 15phr) พบว่าอนุภาคของพอตเตอร์สโตนมีการเกาะตัวกันทำให้ขนาดของพอตเตอร์สโตนใหญ่ขึ้น มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ

5.1.2 ผลการทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238

จากผลการทดสอบการเติมพอตเตอร์สโตนลงไปในพอลิโพรพิลีน พบว่าส่งผลต่อค่าดัชนีการไหล ทำให้มีค่าดัชนีการไหลที่ลดลง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าความหนืดเมื่อเติมพอตเตอร์สโตนในปริมาณมากขึ้นความหนืดเพิ่มขึ้น

5.1.3 ผลการทดสอบความหนาแน่น (Density Determination with Electric Balance) ตามมาตรฐาน ASTM D792

จากผลการทดสอบการเติมพอตเตอร์สโตนลงไปในพอลิโพรพิลีน พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ PP แต่ถือว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากนักแม้ผสมลงไปมากถึง 15phr

5.1.4 ผลการทดสอบเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรีของการเติมพอดเทอริสโตนลงไปในพอลิโพรพิลีน (PP) นั้น ไม่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของ พอลิโพรพิลีน (PP) มากนัก อุณหภูมิในการเกิดผลึก (T_c) ของพอลิโพรพิลีน (PP) สูงขึ้น ตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มมากขึ้นของพอดเทอริสโตน

5.2 ผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของการเติมพอดเทอริสโตนในพอลิโพรพิลีน

5.2.1 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 638

จากผลการทดสอบพอลิโพรพิลีนที่มีการเติมพอดเทอริสโตนลงไป พบว่าความทนทานต่อแรงดึงนั้นไม่แตกต่างกับพอลิโพรพิลีนที่ยังไม่ได้เติมพอดเทอริสโตนมากนัก แต่ส่งผลให้ค่า Young's Modulus มีค่าเพิ่มขึ้น

5.2.2 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256

จากผลการทดสอบการเติมพอดเทอริสโตนลงไปในพอลิโพรพิลีน พบว่าค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้นในช่วงการเติม 1 และ 5phr

5.2.3 การทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิวตามมาตรฐาน ASTM D758

จากผลการทดสอบการเติมพอดเทอริสโตนในพอลิโพรพิลีนส่งผลทำให้พอลิโพรพิลีนมีสมบัติความแข็งที่ผิวเพิ่มขึ้น

5.3 ผลกระทบต่อสมบัติการหน่วงไฟของการเติมพอดเทอริสโตนในพอลิโพรพิลีน

5.3.1 การทดสอบสมบัติการหน่วงไฟตามมาตรฐาน UL -94

จากการเติมพอดเทอริสโตนลงไปในพอลิโพรพิลีน ไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติการหน่วงไฟมากนัก แต่จะเห็นได้ชัดเจนที่ 5phr มีอัตราการหน่วงไฟลดลง

5.4 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการศึกษาผลกระทบของการเติมพอตเตอร์สโตนในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการนำไฟฟ้าเป็นหลัก ดังนั้นควรมีการทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของ พอตเตอร์สโตน หรือการเติมสารเชื่อมประสานเพื่อให้พอตเตอร์สโตนและพอลิโพรพิลีนเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น เช่น มาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน (MAgPP) ซึ่งคาดว่าจะส่งผลทำให้มีสมบัติต่างๆ ดีขึ้น



รายการอ้างอิง

- [1] ปิยสวัสดิ์ อัมระนันท์, จ.สมุทรปราการนำร่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก (online), 2550, Available: www.breakingnews.nationchannel.com/read.php (10 January 2013).
- [2] อาทิตยา ชาญชิด. 2548.ผลกระทบจากการจัดตั้งเขตการค้าเสรีอาเซียนต่ออุตสาหกรรมปิโตรเคมี : กรณีศึกษาปิโตรเคมีขั้นปลาย. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,
- [3] F. Mina, S. Seema, R. Matin, J. Rahaman, R.B. Sarker, A. Gafur, A.H. Bhuiyan, “Improved performance of isotactic polypropylene/titanium dioxide composites:effect of processing conditions and filler content,” *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 94, pp. 183–188, 2009.
- [4] I. Svab, V. Musil, M. Leskovic, “The adhesion phenomena in polypropylene/wollastonite composites,” *Scientific Paper*, Vol. 52, pp. 264–271, 2005.
- [5] J. Wang, and Q. Dou, “Crystallization behaviors and optical properties of isotactic polypropylene:comparative study of a trisamideand a rosin-type nucleating agent,” *Colloid and Polymer Science*, Vol. 286, pp. 699–705, 2008.
- [6] คชินท์ สายอินทวงศ์, Pottery Stone (online), 2008, Available: www.Thaiceramic society.com/rm_soil_pottery_stone.php (20 January 2013).
- [7] M. Altan, H. Yildirim, A.Uysal, “Tensile properties of polypropylene/metal oxide nano composites,” *The Online Journal of Science and Technology*, Vol. 1, pp. 25-30, 2011.
- [8] T. Xu, J. Yu, Z. Jin, “Effects of crystalline morphology on the impact behavior of polypropylene,” *Materials and Design*, Vol. 22, pp. 27-31, 2001.
- [9] P. Zhang, X. Liu, Y. Li, “Influence of β -nucleating agent on the mechanics and crystallization characteristics of polypropylene,” *Materials Science and Engineering*, Vol. 434, pp. 310-313, 2006.
- [10] M. Altan, and H. Yildirin, “Mechanical and morphological properties of polypropylene and high density polyethylene matrix composites reinforced with surface modified nano sized TiO₂ particles,” *World Academy of Science*, Vol. 70, pp. 289-294, 2010.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [11] M. Sain, S.H. Park, F. Suhara, S. Law, “Flame retardant and mechanical properties of natural fiber–pp composites containing magnesium hydroxide,” *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 83, pp. 363-367, 2004.
- [12] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์. (2553). สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโพลีพอลิเอทิลีนผสมสารหน่วงไฟ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 2(15) , 57-66.
- [13] C. Albano, J. González, M. Ichazo, C. Rosales, C. Urbina de Navarro, C. Parrac, “Mechanical and morphological behavior of polyolefin blends in the presence of CaCO₃,” *Composite Structures*. Vol. 48, pp. 49-58, 2000.
- [14] K. Jayaraman and D. Bhattacharyya, “Mechanical performance of woodfibre-waste plastic composite materials,” *Conservation and Recycling*. Vol.41, pp. 307-319, 2004.
- [15] K. B. Adhikary, S. Pang, M. P. Staiger. “Dimensional stability and mechanical behaviour of wood–plastic composites based on recycled and virgin high density polyethylene (HDPE),” *Composites Part B : Engineering*. Accepted. 17 October 2007.
- [16] P. Brachet, L.T. Høydal, E.L. Hinrichsen, F. Melum, “Modification of mechanical properties of recycled polypropylene from post-consumer containers,” *Waste Management*. Accepted. 31 October 2007.
- [17] M. S. Soto, A. Rossa, A.J. Sánchez, J. Gámez-Pérez. “Blends of HDPE wastes : study of the properties,” *Waste Management*. Accepted. 18 October 2007.
- [18] A. L. N. da Silva, et al. “Mechanical and Rheological Properties of Composites based on Polyolefin and Mineral Additives.” *Polymer Testing*. Vol.21, pp. 57-60, 2002.
- [19] Z. H. Liu, M.C.G. Rocha, M.A.R. Moraes, C.A.R. Valente, F.M.B. Coutinho. “Effect of coupling agent and morphology on the impact strength of high density polyethylene/CaCO₃ composites,” *Polymer Testing*. Vol. 43, pp. 2501-2506, 2002.
- [20] J. González, C. Albano, M. Ichazo, B. Diaz, “Effects of coupling agents on mechanical and morphological behavior of the PP/HDPE blend with two different CaCO₃,” *European Polymer Journal*. Vol. 38, pp. 2465-2475, 2002.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

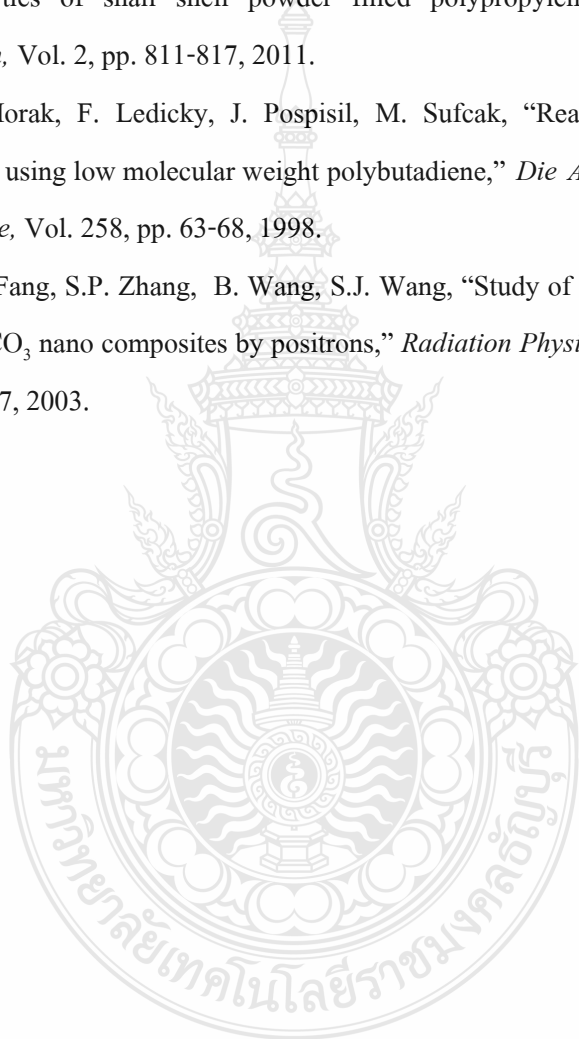
- [21] K. Yang, Q. Yang, G. Li, Y. Sun, D. Feng, “Morphology and mechanical properties of polypropylene/calcium carbonate nanocomposites,” *Materials Letters*. Vol. 60, pp. 805-809, 2006
- [22] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ, พอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) (online), 2012, Available: www.dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/flood/item/107 (20 January 2013).
- [23] ปรีชา พหลเทพ, 2544, โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- [24] Clive Maier, Polypropylene (online), 1984, Available: Polypropylene: the definitive user's guide and databook. (20 January 2013).
- [25] MTEC, พอลิเมอร์คอมโพสิต (online), 2010, Available : www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=169&Itemid=178(25 January 2013).
- [26] อรุษา สรวารี, สารเติมแต่งพอลิเมอร์, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [27] R. Gächter and H. Müller.(1990) Plastic Additives, Germany : Carl Itanser Verlag, pp. 525-556.
- [28] J. M. Adams, “Particle size and shape effects in materials science : examples from polymer and paper systems,” *Clay Minerals*. Vol. 28, pp. 509-530, 1993.
- [29] R. Gächter and H. Müller, (1990) Plastic Additives, Germany : Carl Itanser Verlag, pp. 525-556.
- [30] เจริญ นาคะสรรค์, เทคโนโลยีเบื้องต้นทางพลาสติก, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์โพธิ์เพชร, 2545.
- [31] Davis-standard, Extrusion (online), 2013, Available: www.plastics.com/extrusion-whatisp2.html (25 January 2013).
- [32] Longmold technology Co.,Ltd., Compression Molding (online), 2009, Available: www.Longmold.com/viewnews.php?id=85. (25 January 2013).
- [33] Nano technology, scanning electron microscope(SEM) (online), 2009, Available: www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html. (25 January 2013).
- [34] Sam the kop, การทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก MFI (online), 2552, Available: www.intel-core2-intel.blogspot.com/2009/01/mfi.html. (2 February 2013).

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [35] Wikipedia, ความหนาแน่น (online), 2553, Available: <http://www.th.wikipedia.org/wiki/ความหนาแน่น>.
- [36] R. P. Brown. (1988) Handbook of Plastic Test Method, New York, pp.148-160.
- [37] J. A. Manson and L. H. Sperling, (1976) Polymer Blend and Composite, New York : Plenum Press, pp. 38-41.
- [38] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, Differential Scanning Calorimeter (DSC) (online), 2010, Available: www.mtec.or.th/laboratory/ta/index.php. (10 February 2013).
- [39] ASTM DESIGNATION : D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. (2000).
- [40] ศูนย์รวมตำราเรียนรามคำแหงบนโลกอินเทอร์เน็ต, การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) (online), 2010, Available: [www.e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-6.pdf](http://www.e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-6.pdf). (15 February 2013).
- [41] ศูนย์รวมตำราเรียนรามคำแหงบนโลกอินเทอร์เน็ต, การทดสอบการกระแทก (Impact Testing) (online), 2010, Available: [www.e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-8.pdf](http://www.e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-8.pdf). (15 February 2013).
- [42] ASTM DESIGNATION : D256, Standard Test Method for Izod Impact Testing of Plastics. (2000).
- [43] ศูนย์รวมตำราเรียนรามคำแหงบนโลกอินเทอร์เน็ต, การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing) (online), 2010, Available: [http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-7.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-7.pdf). (15 February 2013).
- [44] H.P. Blom, J.W. The, A. Rudin, "IPP/HDPE blends. II. modification with EPDM and EVA," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 60, pp. 1405-1417, 1996.
- [45] C. Li, and Y. Zhang, "Melt grafting of maleic anhydride onto lowdensity polyethylene/polypropylene blends," *Polymer Testing*, Vol. 22, pp. 191-195, 2003.
- [46] ชีระพงษ์ ไชยเฉลิมวงศ์, อำนวย ลากเกษมสุข, วรณศิริ จักรบุตร, พรรณราย รักษ์งาร. 2548. การปรับปรุงสมบัติของโพลีสไตรีนที่ได้จากกระบวนการหลอมโฟม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 24-25.

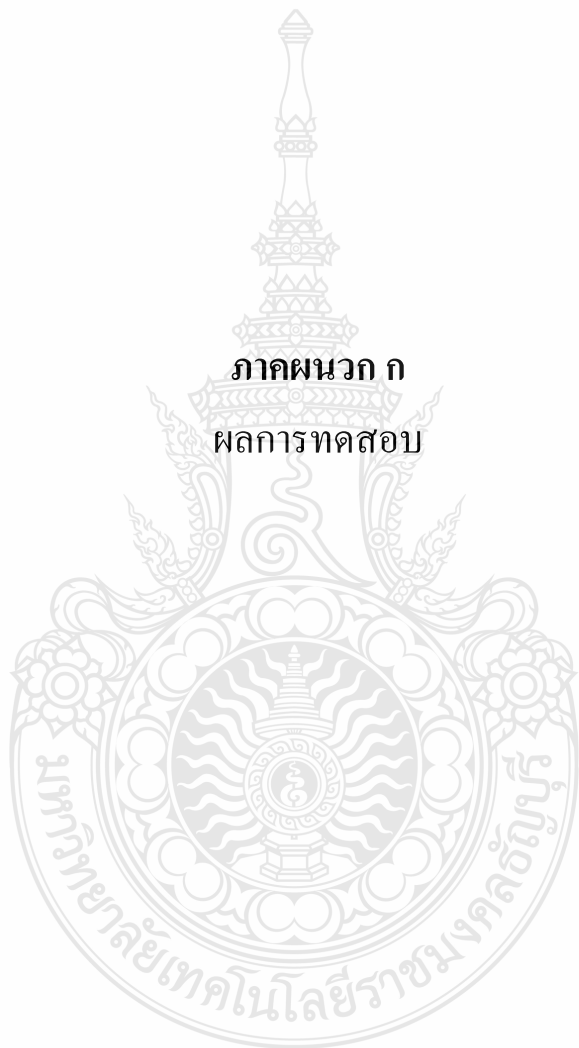
รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [47] S.M. Zebarjad, and S.A. Sajjadi, “On the strain rate sensitivity of HDPE/CaCO₃ nano composites,” *Materials Science Engineering*, Vol. 475, pp. 365–367, 2008.
- [48] C.Genevive, O.Igwe, “The effect filler contents and particle size on the mechanical and end – use properties of snail shell powder filled polypropylene,” *Material Scince and Application*, Vol. 2, pp. 811-817, 2011.
- [49] Z. Krulis, Z. Horak, F. Ledicky, J. Pospisil, M. Sufcak, “Reactive compatibilization of polyolefins using low molecular weight polybutadiene,” *Die Angewandte Makro molekulare Chemie*, Vol. 258, pp. 63-68, 1998.
- [50] M. Zhang, P.F. Fang, S.P. Zhang, B. Wang, S.J. Wang, “Study of structural characteristics of HDPE/CaCO₃ nano composites by positrons,” *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 68, pp. 565–567, 2003.



ภาคผนวก





ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหลเฉลี่ย (Melf Flow Index) ตามมาตรฐาน ASTM D1238

สูตร	ค่าดัชนีการไหล (MFI)
Pure	15.762
1phr	13.152
5phr	12.150
10phr	12.120
15phr	10.536

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นเฉลี่ย ตามมาตรฐาน ASTM D729

สูตร	Density
Pure	0.855
1 phr	0.879
5 phr	0.981
10 phr	1.020
15 phr	1.021

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบค่าความทนทานต่อแรงดึงเฉลี่ย (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D638

สูตร	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (mm)	Young's Modulus (MPa)
Pure	34.14794837	1181.191923	1441.9376
1phr	33.5204767	883.7241723	1387.328592
5phr	33.05271231	831.6395507	1391.696021
10phr	30.35909203	699.2960907	1501.006252
15phr	26.09609053	496.129655	1706.837843

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบค่าความทนทานต่อแรงกระแทกเฉลี่ย (Izod Impact Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D256

อัตราส่วน	ค่า Impact strength (J/m)
Pure	34.31996
1phr	52.94452
5phr	54.73224
10phr	41.53908
15phr	37.98112

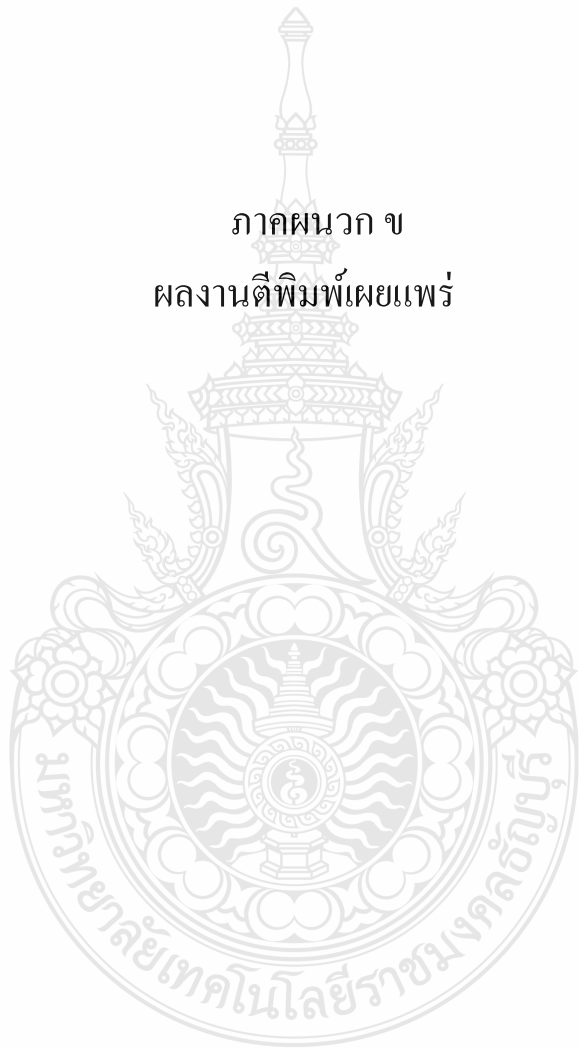
ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวเฉลี่ย ตามมาตรฐาน ASTM D2240

สูตร	ความแข็งที่ผิว (Hardness)
Pure	63.7
1phr	71.5
5phr	70.6
10phr	72.1
15phr	70.6

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบสมบัติการหน่วงไฟ (Flame Retardant) ตามมาตรฐาน UL-94

สูตร	Flame retardant
Pure	171.00
1phr	189.00
5phr	135.00
10phr	212.00
15phr	192.00

ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





Login

Username

Password

MAIN MENU

- [หน้าหลัก](#)
- [หลักการและเหตุผล](#)
- [คณะกรรมการ](#)
- [คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ](#)
- [พิจารณาบทความ](#)
- [ข่าวประชาสัมพันธ์](#)
- [ติดต่อเรา](#)

Paper Submission

- [ระบบลงทะเบียนออนไลน์](#)
- [ศาลงทะเบียน](#)

Destination Guides

- [สาขาวิชาในการประชุม](#)
- [กำหนดการสำคัญ](#)
- [แนวทางการส่งบทความ](#)
- [สถานที่จัดการประชุม](#)

Link

- [Session Welding](#)

Past Conference

- [IE Network 2013](#)
- [Past IE Network](#)

ShinyStat™
Today visits 92
Tot. visits 13291

Green Productivity and Innovation

SHARE

สารจากประธานข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2556

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพจัดการประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2556 (IE Network Conference 2013: IENET 2013) ร่วมกับมหาวิทยาลัยศิลปากร และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ขอเชิญชวนนักวิชาการ นักวิจัย อาจารย์ นักศึกษา และผู้ที่สนใจ เข้าร่วมประชุม เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ ในการทำงานวิจัย อันจะก่อให้เกิดการพัฒนาวิจัยอย่างต่อเนื่อง ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันอย่างยั่งยืน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ กิ่งผดุง
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล



IE Network 2013

ประกาศเลื่อนวันประกาศผลการพิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์
เป็นวันที่ 23 สิงหาคม 2556

egienet2013@mahidol.ac.th

ผู้ทรงคุณวุฒิทางวิศวกรรมอุตสาหการจากมหาวิทยาลัยต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. รศ.ดร.จิตรา ฐิติการพานิช
2. ผศ.ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ
3. ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ผศ. ดร.กรทิพย์ วัชรปัญญาวงศ์ เตชะเมธีกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

1. ผศ.ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน
2. ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง
3. ดร.นัญฐวิภา จันทร์ศรี
4. ดร.เพ็ญสุดา พันฤทธิคำ
5. ดร.จิตติกร พัฒนพิบูล
6. อ.จักรินทร์ กลั่นเงิน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1. รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล
2. รศ.ดร.ชนนาค กฤตวรกาญจน์
3. รศ.ดร.นิวิธ เจริญใจ
4. รศ.ดร.วิมลสิน เหล่าศิริถาวร
5. รศ.ดร.อภิชาติ โสภางแดง
6. ผศ.ดร.ศักดิ์เกษม ระมิงค์วงศ์
7. ผศ.ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ ทิพย์วงศ์

8. ผศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์
9. ผศ.ดร.รุ่งนัตร์ ชมภูอินไหว
10. ผศ.ดร.วัสสนัย วรธนนัจฉริยา
11. ผศ.ดร.อรรถพล สมทกุลปดี
12. ดร.วสวัชร นาคเขียว
13. ดร.วริษา วิสิทธิ์พานิช
14. ดร.อนิรุท ไชยจารุวณิช

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

1. รศ.ดร.จิรัชย์ พุทธกุลสมศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. รศ.ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์
2. รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์
3. รศ.วชิระ มีทอง
4. ผศ.ดร.สุขสันต์ พรหมบัญญัติ
5. ผศ.ดร.อภิรัตน์นา อุดมศักดิ์กุล
6. ผศ.ดร.เจริญชัย โขมพัตราภรณ์
7. ผศ.ดร.ชนัญญา วสุศรี
8. ผศ.ดร.อิศรทัต พึ่งอัน
9. ผศ.เฉลิมเกียรติ จิระรุ่งเสถียร
10. ผศ.เชิดพงษ์ จอมเดช
11. ผศ.เจริญ สุนทราวาณิชย์
12. ดร.ปภัศร ชัยวัฒน์
13. ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์
14. อ.แบงค์ งามอรุณโชติ
15. อ.อาวุช สนใจยุทธ

16. อ.มงคล สีนะวัฒน์

17. อ.ภัทธีรา ม้วนจั่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. ผศ.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์
2. ผศ.ดร.กุศล พิมาพันธุ์ศรี
3. ผศ.ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์
4. ผศ.ดร.นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร
5. ดร.ชนสาร อินทรกำธรชัย
6. ดร.วรพจน์ มีดม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. รศ.ดร.วัลย์ลักษณ์ อัครีรวงศ์
2. รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ
3. รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์
4. รศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต
5. ผศ.ดร.ชุมพล ยวงใย
6. ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล
7. ดร.พลชัย โชติปยายนกุล
8. ดร.พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม
9. ดร.วิภู ศรีสืบสาย
10. ดร.อุดม จันท์จรัสสุข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

1. ผศ.ดร.นนทโชติ อุดมศรี
2. ผศ.จักรินทร์ น่วมทิม

3. ผศ.รำพึง เจริญยศ
4. ดร.สมพงษ์ พิริยานต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุโขทัยธรรมาธิราช

1. รศ.ผกามาศ ผจญแก้ว
2. รศ.สุภาวดี วีระธรรมากร
3. รศ.สุณี ภูสีม่วง
4. รศ.ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ
5. ดร.แหวบบุญ แยมแสงสังข์
6. อ.กรรณิการ์ ยี่ม่นาค
7. อ.จีรานุช บุคดีจัน
8. อ.บุญชัย วลีชรชัพสวัสดิ์
9. อ.ภูมิ เจือศิริภักดี
10. อ.อิทธิเดช มูลมั่งมี

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

1. ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล
2. ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์
3. ดร.สมหญิง งามพรประเสริฐ
4. ดร.สัณฑ์ รัฐวิบูลย์
5. อ.วุฒิกกรณ์ จรรย์ตันติเวทย์
6. อ.อรดี พฤติศรัณยนนท์
7. ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์

มหาวิทยาลัยนครพนม

1. ดร.บัณฑิต บุญขาว
2. ดร.วิชัย พัฒนพล
3. อ.รุจภา นันทโพธิ์เดช

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

1. ดร.วีระยุทธ สุดสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

1. ดร.จิรวัดน์ วิมุตติสุขวิริยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

1. รศ.ดร.วิชัย แหวนเพชร
2. ผศ.ดร.ประณต บุญไชยอภิสิทธิ์
3. ผศ.อวยชัย วงศ์รัตน์
4. ดร.อนันตกุล อินทรผดุง
5. อ.ชาญชัย วัลลิสุต
6. อ.พิเชษฐ รัตนบุญทวี
7. อ.ภาสุระ อังกุลานนท์
8. อ.ลักขณา ฤกษ์เกษม
9. อ.อรมน ปั่นทอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

1. อ.ธณิดา โจนงนุช
2. อ.อลงกรณ์ เมืองไหว

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

1. อ.เปรมชัย มูลหล้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

1. ผศ.ดร.ชูชาติ พยอม
2. ผศ.ดร.ณัฐกานต์ พวงไพบูลย์
3. ผศ.ดร.นิคม สนขุนทด

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

1. อ.ทิวรัตน์ ศรีราตรี
2. อ.วสันต์ พลัวพันธ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิษฐ์

1. ดร.กัณฑ์ อินทวงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. ดร.จงกล ศรีธร

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

1. ผศ.ดร.กฤษดา พิศลยบุตร
2. ผศ.นุกุล อุบลบาน
3. ดร.เลิศเลขา ธาระชัยพันธ์

มหาวิทยาลัยมหิดล

1. รศ.ดร.ดวงพรรณ กริชชาญชัย
2. รศ.สุภชัย นาทะพันธ์



3. ผศ.ดร.กนกวรรณ กิ่งผดุง
4. ผศ.ดร. ดร.ชนกรณ์ แน่นหนา
5. ผศ.ดร.วเรศรา วีระวัฒน์
6. ผศ.ดร.สรนาถ ไร่ภู
7. ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย
8. ดร.จิรพรรณ เลียงโรคาพาธ
9. ดร.มงคล เทียนวิบูลย์
10. ดร.รณชัย ศิโรเวฐนุกุล
11. ดร.ศุภชัย ราษฎร์ศิริ
12. อ.กัญจน์ คณาธารทิพย์
13. อ.ดวงยศ สุภิกิตย์
14. อ.ธนา สาตรา
15. อ.นพกร ภูระย้า
16. อ.พิมพ์วัลย์ สุตะโคตร
17. อ.สิทธิพันธุ์ ตันทาวีรุพห์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

1. ผศ.เสริมสุข บัวเจริญ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

1. รศ.ธนรัตน์ แต้ววัฒนา
2. ผศ.ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์
3. ผศ.ดร.พิลดา หวังพานิช
4. ผศ.รติรัตน์ กิตติปัญญาพัฒน์
5. ดร.ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ
6. ดร.พงษ์เพ็ญ จันทนะ
7. ดร.วราธร ปัญญางาม
8. ดร.สิริเดช ชาตินิยม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

1. ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร
2. ผศ.จันทร์เพ็ญ อนุรักษ์นานนท์
3. ผศ.วันชัย ลีลาทวีวงศ์
4. ดร.กัญจนา ทองสนิท
5. ดร.คณศ พลอยदनัย
6. ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม
7. ดร.สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์
8. อ.กวินธร สัยเจริญ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1. รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
2. รศ.สมชาย ชูโถม
3. รศ.วนิดา รัตนมณี
4. ผศ.ดร.กลางเดือน โพขนา
5. ผศ.ดร.ชเนศ รัตนวิไล
6. ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล
7. ผศ.ดร.รัชชณา สันธวาลัย
8. ผศ.ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์
9. ผศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์
10. ผศ.ดร.อรุณ สังขพงศ์
11. ผศ.เจริญ เจตวิจิตร
12. ผศ.พิเชฐ ตระการชัยศิริ
13. ผศ.สงวน ตั้งโพธิธรรม
14. ผศ.ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุร

มหาวิทยาลัยสยาม

1. รศ.ดร.วันชัย ริจิรวนิช
2. รศ.สันสนีย์ สุภาภา
3. ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี
4. ผศ.ดร.รัฐวุฒิ ฐู่แทนคุณ
5. ผศ.ดร.อาทิตย์ โสทรโยม
6. อ.ณัฐพล พุฒยางกูร
7. อ.รัชฌนท์ แดนเขต
8. อ.ปยุตติศา คีนดี
9. อ.พงศ์พัฒน์ เพชรรุ่งเรือง
10. อ.วิมลพรรณ คงสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

1. รศ.ดร.สถาพร อมรสวัสดิ์วัฒนา
2. ผศ.ดร.กาญจนา กาญจนสุนทร
3. ผศ.ดร.ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์
4. ดร.วันชัย พุกักษ์กานนท์

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

1. ดร.นิตากร สมสุข
2. อ.จิตลดา หมายมั่น
3. อ.วรลักษณ์ เสถียรรังสฤษฏ์
4. อ.อรอุมา กอสนาน

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. รศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส
2. ผศ.ดร.คณิต ภูนิคม
3. ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง
4. ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ
5. ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ
6. ผศ.ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์
7. ดร.จรรยาพร แสนทวีสุข
8. ดร.ธารชуда พันธุ์นิกุล
9. ดร.ฉัตร โอพาพิริยกุล

โรงเรียนนายเรืออากาศ

1. น.อ.สุทธิ ศรีบูรพา
2. น.ท.ปัญญารักษ์ โกศลวัฒน์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

1. ผศ.ดร.ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส
2. ผศ.ดร.พิศุทธิ พงศ์ชัยฤกษ์
3. ผศ.ดร.วราคม เนินน้อย
4. ผศ.ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ
5. ดร.กรกฎ เหมสถาปัตย์
6. ดร.จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์
7. ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

1. ผศ.ดร.สุพัฒตรา เกษราพงศ์
2. ผศ.ชวลิต มณีศรี
3. ดร.อัศวิน วงศ์วิวัฒน์

4. อ.จักรพันธ์ กัณหา
5. อ.ชนิน ศรีวะรมย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

1. ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยู่ชยา
2. อ.ชนกฤต โชติภาวริศ
3. อ.ชนิดา สุনারักษ์
4. อ.พัฒนพงษ์ แสงหัตถวัฒนา
5. อ.พรเทพ แก้วเชื้อ
6. อ.วรินทร์ เกียรติคุณ
7. อ.อรณิชา อนุชิตชาญชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1. รศ.ดร.ณฐา ศุภทัชเชียร
2. ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์
3. ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล
4. ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง
5. ผศ.นฤทธิ์ คชฤทธิ์
6. ผศ.ไพฑูรย์ พูลสุขโข
7. ผศ.ไพบลีย์ เข้มเพื่อน
8. ผศ.ศุภเอก ประมูลมาก
9. ผศ.ศรีโร จารุภิญโญ
10. ผศ.สมศักดิ์ แก่นทอง
11. ผศ.สุรัตน์ ตรีวัฒนพงศ์
12. ดร.กุลชาติ จุลพิณ
13. ดร.ชัยยะ ปราณีตพลกรัง
14. ดร.ระพี กาญจนะ
15. อ.วรญา วัฒนจิตสิริ

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

1. รศ.ดร.ไพโรจน์ เนียมนาค
2. ผศ.วิษณุ บัวเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

1. รศ.นิตยา สวัสดิพงษ์
2. ผศ.สุทัศน์ จันบัวลา
3. ดร.ชาติ ทีฆะ
4. ดร.ชนินทร์ กุลเศรษฐ์ฐิติ
5. ดร.ศิริวัลภ์ เรืองช่วย คู่ประกาย



การประชุมวิชาการรายงานวิศวะกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2556 16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา ชลบุรี
ข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มบทความ

- MAT012 การประยุกต์ใช้พีแอลซีสำหรับการควบคุมเครื่องทดสอบแรงดึง
เตชา สุขมา ประกวด หงษาชาติ เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ และ ศิริพงศ์ ลัมพาภิวัฒน์
- MAT013 การเตรียมวัสดุแผ่นวัสดุผสมที่เตรียมจากต้นธูปฤาษีและพอลิแลคติกแอซิด
เกียรติชัย อัครลงธรรม และ สุเนตร มุลทา
- MAT014 การสร้างตู้เย็นอนุรักษ์พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และแผ่นทำความเย็น
พิทักษ์ พนาวัน ประยูร สุรินทร์ และ เจษฎา วงษ์อ่อน
- MAT015 อิทธิพลของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดและ
พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต
ลลิตา จอมแปง ณรงค์ชัย โอเจริญ นที ศรีสวัสดิ์ และ สุภาภรณ์ ทุมสอน
- MAT016 การพัฒนาสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไตรเมทิลีนเทเรพทาเลทและ
พอลิแลคติกแอซิด
ศิรดา ภาดี ณรงค์ชัย โอเจริญ นที ศรีสวัสดิ์ และสุภาภรณ์ ทุมสอน
- MAT017 เส้นใยสององค์ประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต
เอกตินัย จันท์ศรี ณรงค์ชัย โอเจริญ และ นที ศรีสวัสดิ์
- MAT018 การเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพสายการผลิต ของการประกอบรถยนต์โดยใช้ระบบการผลิต
แบบเพิ่มมูลค่า กรณีศึกษา : โรงงานผลิตรถยนต์สายการผลิตประกอบรถยนต์แห่งหนึ่ง
ชัยพฤกษ์ อากาเวท และ ประยูร สุรินทร์
- MAT019 การใช้รีไซเคิลเพทเป็นสารเพิ่มเนื้อในการขึ้นรูปแบบหมุน
ปริญญา แกมนิล และ ณรงค์ชัย โอเจริญ
- MAT020 ผลกระทบของกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทผสมถ่านกัมมันต์โดยการปั่นเส้นใย
ด้วยไฟฟ้าสถิต สำหรับการดูดซับสารอินทรีย์
วัฒนา กลิ่นสุคนธ์ นที ศรีสวัสดิ์ จุรีรัตน์ ประสาร และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์
- MAT021 ผลกระทบของการเติมพอดเตอร์ สโตนในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ
วัชรวิ จันฎ อำนวย ลาภเกษมสุข และ สรพงษ์ ภาสุปรีย์
- MAT022 การหาวัสดุทำเฟืองที่ผ่านกระบวนการชุบผิวแข็งที่มีขีดจำกัดความล้าสูงสุด
ณรงค์เดช พัฒนไพบูลย์ และ กิตติภักดิ์ รัตน์จันทร์
- MAT023 การศึกษาผลกระทบของเครื่องมือขึ้นรูปต่อความหยาบผิวของแผ่นสแตนเลส SUS 304
ด้วยวิธีขึ้นรูปแบบลูกโซ่
สุนทร สิทธิสกุลเจริญ พัตรพิมล สุวรรณกาญจน์ และ ชลธิชา นุชพงษ์

ผลกระทบของการเติมพอตเตอร์รี่ สโตนในพอลิโพรพิลีน ต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ

Effect of Pottery Stone Powder Addition in Polypropylene on Mechanical and Flame Retardent Properties

วัชร จันเฏ¹ อำนวย ลาภเกษมสุข² สรพงษ์ ภาสุปรีดิ์^{3*}

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

โทรศัพท์: 0 2549 3480, โทรสาร: 0 2549 3483 อีเมล: sorapongp@yahoo.com^{*}

Watcharee Janpoo¹ Amnuoy Laepkasemsuk² Sorapong Pavasupree^{3*}

^{1,2,3}Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

Tel.: 0 2549 3480, fax: 0 2549 3483 E-mail: sorapongp@yahoo.com^{*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการเติมพอตเตอร์รี่ สโตน ในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ ทำการเติมพอตเตอร์รี่ สโตนในพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 0 ,1 , 5 , 10 , 15 และ 20 phr ผสมโดยใช้เครื่องหลอมอัดรีดชนิดสกรูคู่ จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength, ASTM D638) สมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength, ASTM D256) สมบัติความแข็งที่ผิว (Hardness, ASTM D758) ค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, ASTM D1238) การวิเคราะห์การกระจายตัวของพอตเตอร์รี่ สโตนด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และสมบัติการลามไฟ (UL94) ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุดเมื่อเติมพอตเตอร์รี่ สโตนลงในพอลิโพรพิลีนคือ 5 phr เมื่อนำพอตเตอร์รี่ สโตน (5 phr) เติมลงในพอลิโพรพิลีนไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงมากนัก ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ค่าดัชนีการไหลมีค่าลดลง ค่าความทนแรงกระแทกค่าความแข็งที่ผิวเพิ่มขึ้น และพบว่า การเติมพอตเตอร์รี่ สโตนสามารถลดอัตราการลามไฟของพอลิโพรพิลีนได้

คำหลัก พอลิโพรพิลีน พอตเตอร์รี่ สโตน สมบัติการลามไฟ

Abstract

The aims of this research were to study the effect of pottery stone powder addition in polypropylene on some mechanical and flame retardant properties. Pottery stone was added in polypropylene at the ratio of 0,1,5,10,15 and 20 phr. The mixed samples were prepared by melt-blended using twin screw extruder and compression machine. Mechanical properties of mixed samples were tested including tensile strength (ASTM D638), impact strength (ASTM D256), material hardness (ASTM D758), melt flow index (ASTM D1238), scanning electron microscope (SEM) and flame retardant (UL94). Results of the study found that the suitable amount for the addition of pottery stone in polypropylene was 5 phr. No significant effect of pottery stone addition on tensile strength was observed, Impact strength of the mixed samples was increased. Elongation at break and melt flow index of the mixed samples was decreased. Hardness of the mixed samples was increased with increasing of pottery stone content. The results also showed that the addition of pottery stone can reduce flammability of polypropylene.

Keywords: polypropylene pottery stone flame retardent

1. บทนำ

การพัฒนาพลาสติกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์มีแนวโน้มสูงอย่างต่อเนื่องโดยเน้น การพัฒนาจากพลาสติกที่มีการใช้งานอยู่แล้วให้มีศักยภาพสูงสุด พอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย และมีปริมาณการใช้งานที่สูงมากชนิดหนึ่ง เช่น บรรจุภัณฑ์ เครื่องใช้สำนักงาน อุปกรณ์การแพทย์ และ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนประกอบยานยนต์ เป็นต้น เนื่องจากมี ราคาต่ำ ความแข็งแรงสูง ทนต่อไขมันและน้ำมัน มีการซึมผ่านของก๊าซต่ำ สามารถทำให้ใสได้ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมชิ้น ส่วนประกอบยานยนต์มีการใช้งานพลาสติกพอลิโพรพิลีนอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีกระบวนการแปรรูปไม่ยุ่งยาก สามารถเกิดผลิตภัณฑ์สูงซึ่งระดับการเกิดผลิตภัณฑ์สูงนี้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้เกิดการแข่งขันกันในการที่จะพัฒนาให้มีสมบัติต่างๆ เป็นไปตามความต้องการให้มากที่สุด ปัจจุบันแนวทางที่ใช้ปรับปรุงสมบัติของพอลิโพรพิลีนมีหลายแนวทางแต่ที่นิยม เช่น การปรับปรุงโดยใช้สารตัวเติมเสริมแรงเป็นตัวเติมในพลาสติก การทำพลาสติกผสม และพอลิเมอร์คอมโพสิต วัสดุผสมระหว่างพอลิเมอร์และสารตัวเติมจึงได้รับความสนใจอย่างสูง เพราะการรวมตัวกันของสารตัวเติมจะเปลี่ยนแปลงสมบัติทางโครงสร้าง,ทางกล,ทางความร้อน สมบัติเหล่านี้ได้รับผลกระทบจากระดับการกระจายตัวของสารตัวเติมในพอลิเมอร์และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์ [1-3] ในงานวิจัยนี้จะเน้นการปรับปรุงสมบัติของพอลิโพรพิลีนที่มีจำหน่ายทั่วไป โดยการเติมสารตัวเติมเสริมแรงระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีสมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อนสูง และเพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพการใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์ สำหรับสารตัวเติมเสริมแรงที่ใช้ในงานนี้ คือ พอตเตอร์ สโตน ซึ่งเป็นแร่ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ประเทศไทยสามารถพบได้ที่ จังหวัดลพบุรี ลำปาง กาญจนบุรีและอุดรธานี เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในงานในอุตสาหกรรมเซรามิก [4] มีซิลิกอน ไดออกไซด์ เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณร้อยละ70 เตรียมโดยการบด ใช้ปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมพอตเตอร์ สโตนในพอลิโพรพิลีนต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบและการผสม

พอลิโพรพิลีน (PP เกรด1100NK) และแร่พอตเตอร์ สโตน (Pottery Stone)ผสมกันตามอัตราส่วนดังตารางที่ 1

ตารางที่1 แสดงอัตราส่วนของ PP : Pottery Stone ในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต

PP (phr)	Pottery Stone (phr)
100	0
100	1
100	5
100	10
100	15
100	20

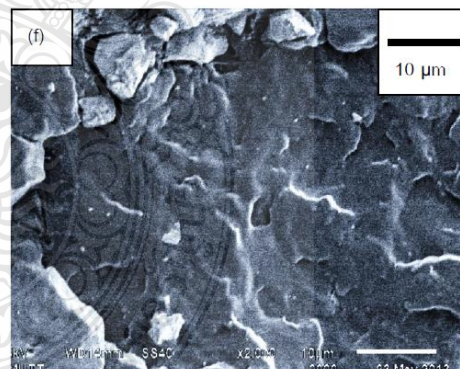
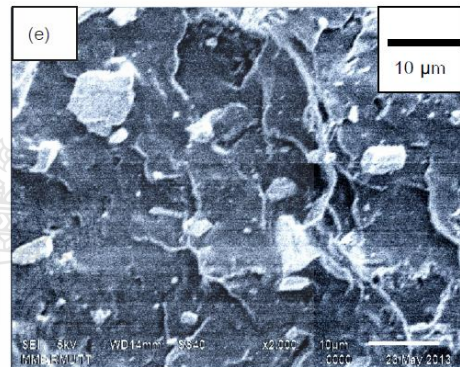
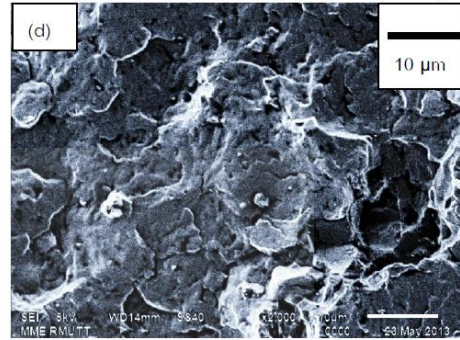
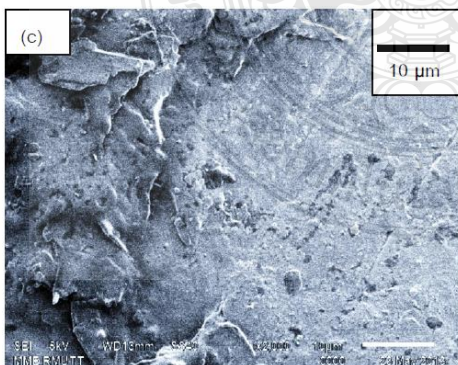
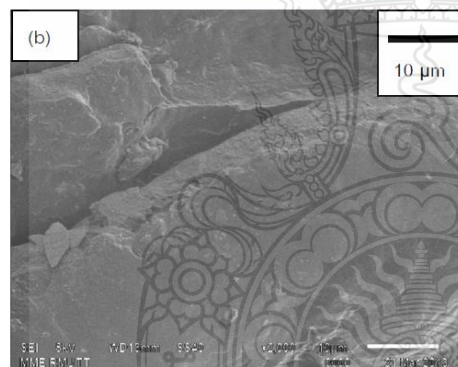
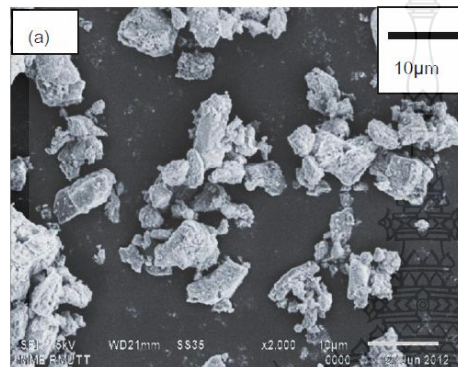
การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twins Screw - Extruder, CHAREON TUT CO.,LTD) ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียสแล้วนำเม็ดพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ไปเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding, CEAST TELEX 220147)

2.2 การวิเคราะห์และการทดสอบ

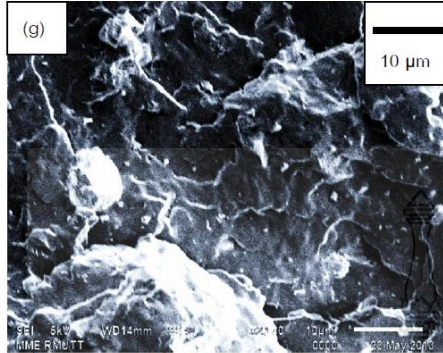
เมื่อได้เม็ดพอลิเมอร์คอมโพสิตและชิ้นงานทดสอบแล้ว นำไปทดสอบสมบัติต่างๆดังนี้ ตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt flow index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238 ทดสอบเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอรีเมทรี (Differential scanning calorimetry, DSC) ทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน ASTM D638 ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 256 ทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิว(Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D758 และทดสอบสมบัติการลามไฟ (Flame retardant) ตามมาตรฐาน UL94

3. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone



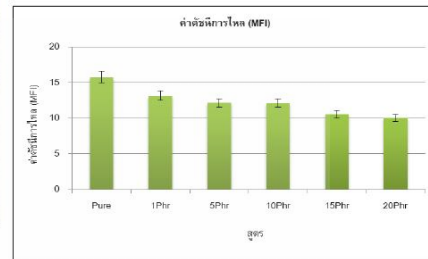
3.2 ผลการทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone



รูปที่ 1 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่าของ

- (a) แร่พอตเตอร์รี่ สโตน (Pottery Stone)
- (b) พอลิโพรพิลีน (PP)
- (c) พอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่าง PP : Pottery Stone (1phr)
- (d) พอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่าง PP : Pottery Stone (5phr)
- (e) พอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่าง PP : Pottery Stone (10phr)
- (f) พอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่าง PP : Pottery Stone (15phr)
- (g) พอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่าง PP : Pottery Stone (20phr)

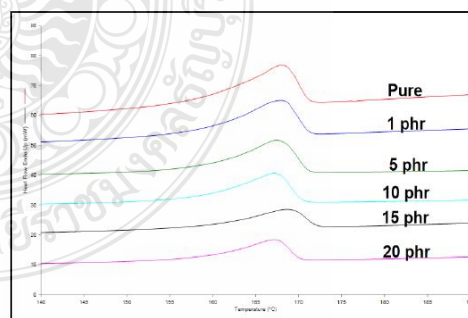
รูปที่ 1 (a-b) แสดงภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่าของแร่พอตเตอร์รี่ สโตน (Pottery Stone) และพอลิโพรพิลีน (PP) พบว่าลักษณะรูปร่าง อนุภาคผลึกของแร่พอตเตอร์รี่ สโตนมีขนาดประมาณ 10 μm และลักษณะพื้นผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุผสมอื่นๆ [1] รูปที่ 1 (c-g) เป็นภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่าของพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่าง PP:Pottery Stone ที่ 1,5,10,15 และ 20 phr ที่ปริมาณพอตเตอร์รี่ สโตนน้อย (1,5 phr) พบว่าอนุภาคของแร่พอตเตอร์รี่ สโตนมีการกระจายตัวสม่ำเสมออยู่ในเฟส PP ไม่มีการแยกเฟสระหว่าง PP:Pottery Stone ส่วนรูปที่ 1(e-g) เมื่อปริมาณพอตเตอร์รี่ สโตนมากขึ้น (10,15 และ 20 phr)พบว่าอนุภาคของพอตเตอร์รี่ สโตน มีการเกาะตัวกันทำให้ขนาดของพอตเตอร์รี่ สโตนใหญ่ขึ้น มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ [5]



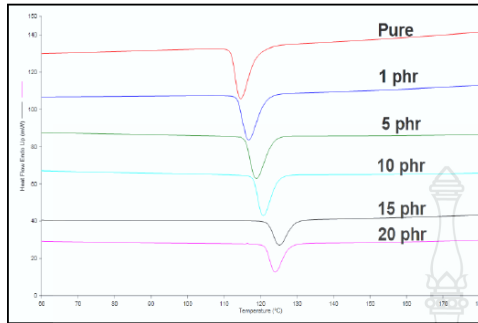
รูปที่ 2 ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt flow index, MFI) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone

รูปที่ 2 จากการทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone เมื่อเติมพอตเตอร์รี่ สโตน พบว่าส่งผลต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์คอมโพสิต ทำให้ค่าดัชนีการไหลลดลง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าความเหนียว กล่าวคือเมื่อเติมพอตเตอร์รี่ สโตนในปริมาณมากขึ้นความเหนียวเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของพอตเตอร์รี่ สโตน ทั้งนี้เนื่องจากการที่พอตเตอร์รี่เข้าไปแทรกตัวอยู่ใน PP เข้าไปขัดขวางการไหลของ PP จึงส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น [6-7]

3.3 ผลการทดสอบเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry, DSC)



(a)

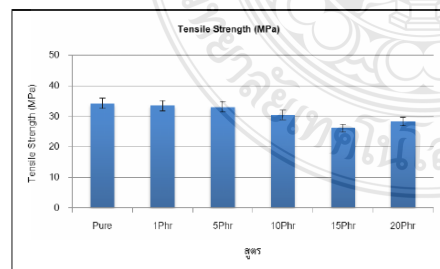


(b)

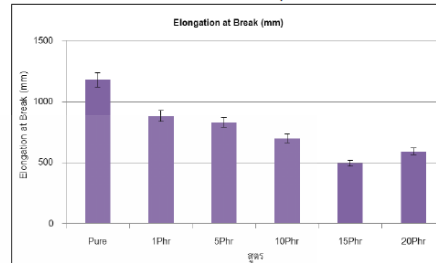
รูปที่ 3 ค่าจากการทดสอบเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry, DSC) (a) ค่า T_m (b) ค่า T_g ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone

รูปที่ 3 (a) จากผลการทดสอบการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของการเติมพอดเตอร์ สโตน ลงใน PP นั้นไม่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของ PP มากนัก และจากรูปที่ 3 (b) อุณหภูมิในการเกิดผลึก (T_c) สูงขึ้น ตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มมากขึ้นของ พอดเตอร์ สโตน เนื่องจากพอดเตอร์ สโตนใช้อุณหภูมิในการเกิดผลึกสูงกว่า PP จึงส่งผลทำให้อุณหภูมิการเกิดผลึกสูงตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ยิ่งอัตราส่วนเพิ่มมากขึ้น การเกิดผลึกก็เร็วขึ้นมากตามอัตราส่วนด้วยเมื่อเทียบกับ PP Pure และ การที่มีค่าอุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่ามีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย [5]

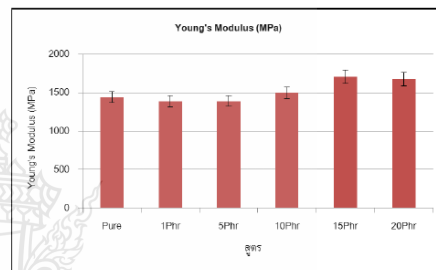
3.4 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone



รูปที่ 4 ค่าการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone



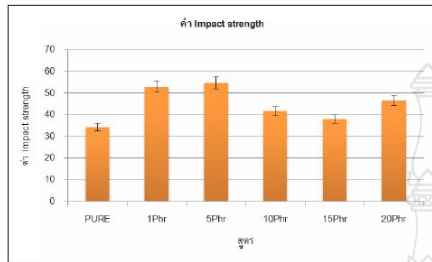
รูปที่ 5 ค่าการทดสอบยืดตัว ณ จุดขาด Elongation at Break ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone



รูปที่ 6 ค่า Young's Modulus ของพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่าง PP : Pottery Stone

รูปที่ 4-5 พบว่าการเติมพอดเตอร์ สโตนลงใน PP ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) มากนัก แต่ค่า Elongation at Break ลดเนื่องจากพอดเตอร์ สโตนกระจายตัวอยู่ใน PP และแรงดึงดูระหว่างเฟสตัว หรืออาจเกิดจากการแทรกตัวของอนุภาคพอดเตอร์ สโตนในเนื้อพอลิเมอร์คอมโพสิตสังเกตจากภาพ SEM การกระจายตัวของพอดเตอร์ สโตนที่อัตราส่วน 100 : 0 phr เปรียบเทียบกับอัตราส่วน 100 : 20 phr พบว่าพอดเตอร์ สโตนมีการกระจายตัวแทรกอยู่ เมื่อได้รับแรงดึงจึงทำให้ชิ้นงานขาดง่ายตรงบริเวณระหว่างเฟสพอดเตอร์ สโตน กับเนื้อพลาสติก PP ถ้าบริเวณเฟสระหว่าง PP กับพอดเตอร์ สโตนนั้นมีช่องว่างจึงไม่สามารถส่งผ่านแรงได้ดี ทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตขาด ส่วนค่า Young's Modulus มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อเติมพอดเตอร์ สโตน ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พอดเตอร์ สโตนเข้าไปขวางการเสียรูปของพอลิเมอร์ จึงต้องใช้แรงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตเสียรูปได้ยากมากขึ้น [8] ตามรูปที่ 6

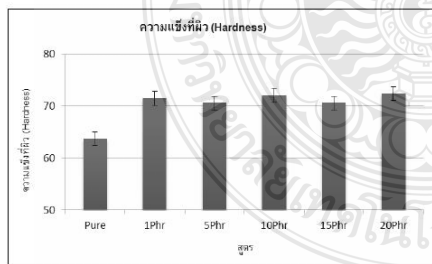
3.5 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) ของ พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone



รูปที่ 7 ค่าการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone

รูปที่ 7 พบว่าผลการทดสอบการทนแรงกระแทกของการเติมพอดเตอร์ สโตนลงใน PP มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้นในช่วงการเติม 1 และ 5 phr เนื่องจากพอดเตอร์ สโตนกระจายตัวใน PP และทำหน้าที่ช่วยในการรับแรงกระแทกในพื้นที่ที่เกิดรอยแตกหัก จึงส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มมากขึ้น [9] และมีแนวโน้มที่ลดลงตามปริมาณการผสมที่เพิ่มขึ้น (10,15 และ 20 phr) ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเกาะกลุ่มรวมตัวกันของอนุภาคพอดเตอร์ สโตน ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง [10]

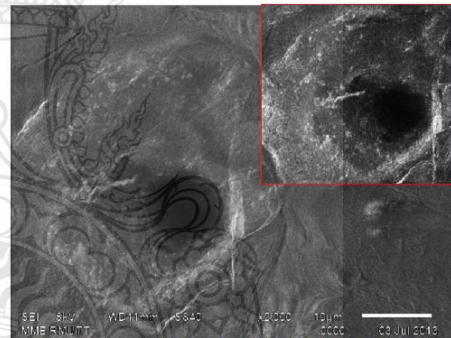
3.6 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิว (Hardness) ของ พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone



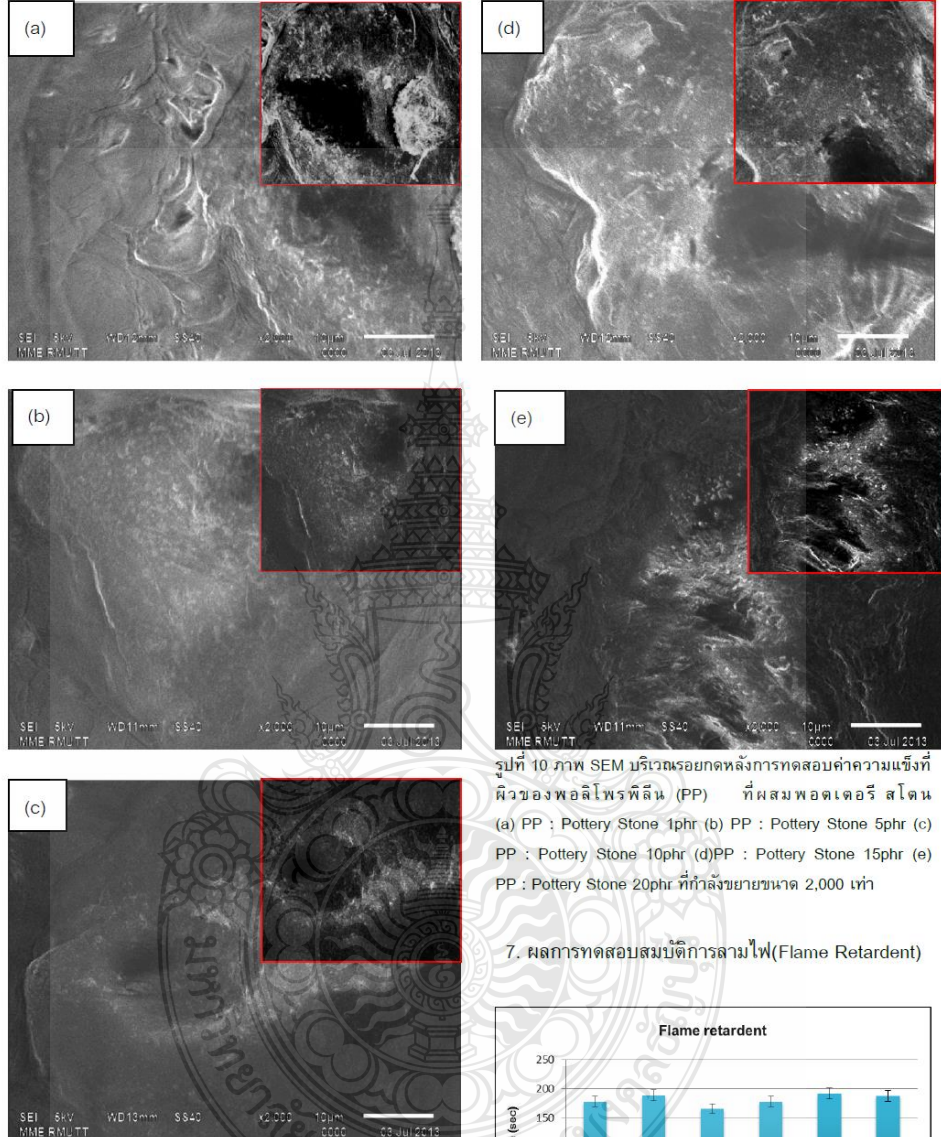
รูปที่ 8 ค่าการทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิว(Hardness) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Stone

รูปที่ 8 เป็นผลการทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิวซึ่งเมื่อเติมพอดเตอร์ สโตนลงในพอลิโพรพิลีน(PP) พบว่าส่งผลทำให้ พอลิโพรพิลีน(PP) มีความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคพอดเตอร์ สโตนที่ผิวของพอลิโพรพิลีน(PP) ส่งผลทำให้ค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน(PP) เพิ่มมากขึ้น [11]

จากผลการทดสอบสมบัติความแข็งที่ผิว จึงได้ทำการวิเคราะห์สภาพบริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) โดยนำชิ้นงานที่ทำการทดสอบความแข็งที่ผิวมาเป็นชิ้นทดสอบโดยผลการทดสอบ พบว่ามีการกระจายตัวของอนุภาคพอดเตอร์ สโตนบนรอยกดทดสอบความแข็งที่ผิว ส่งผลทำให้หัวกดมีโอกาสกระทบกับอนุภาคของพอดเตอร์ สโตนที่เติมลงไป จึงส่งผลให้ค่าความแข็งที่ผิวของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 9-10

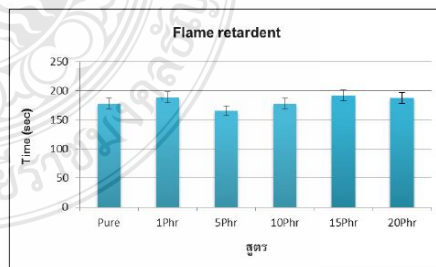


รูปที่ 9 ภาพ SEM บริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) 100% ที่กำลังขยายขนาด 2,000 เท่า



รูปที่ 10 ภาพ SEM บริเวณรอยกดหลังการทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ผสมพอดเดอร์ สโตน (a) PP : Pottery Stone 1phr (b) PP : Pottery Stone 5phr (c) PP : Pottery Stone 10phr (d) PP : Pottery Stone 15phr (e) PP : Pottery Stone 20phr ที่กำลังขยายขนาด 2,000 เท่า

7. ผลการทดสอบสมบัติการลามไฟ(Flame Retardent)



รูปที่ 11 ค่าการทดสอบสมบัติการลามไฟ(Flame Retardent) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง PP : Pottery Ston

รูปที่ 11 พบว่าการเติมพอตเตอร์ สโตน ลงไป ใน PP นั้นไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการทดสอบสมบัติการลามไฟ(Flame Retardent)มากนัก จากที่อัตราส่วน 1 phr มีปริมาณของอนุภาคของพอตเตอร์ สโตนน้อยในเนื้อของ PP จึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เห็นได้ชัดเจนที่ 5 และ 10 phr ซึ่งมีอัตราการลามไฟลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีการกระจายตัวของอนุภาคพอตเตอร์ สโตนอย่างสม่ำเสมอในเนื้อ PP จึงมีสมบัติเป็นสารช่วยหน่วงไฟ มีผลทำให้อัตราการลามไฟลดลง ส่วนที่อัตราส่วน 15 และ 20 phr มีอัตราการลามไฟเพิ่มมากขึ้นจาก 5 และ 10 phr แต่ไม่แตกต่างจาก PP มากนัก เนื่องจากมีอัตราส่วนเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีอนุภาคของพอตเตอร์ สโตนอยู่ในเนื้อ ของ PP มากขึ้น แต่มีการกระจายตัวที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอ เพราะอนุภาคของพอตเตอร์ สโตน จะเริ่มจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งเมื่อเผาขึ้นจนถึงช่วงที่มีอนุภาคของพอตเตอร์ สโตนที่จับกันเป็นกลุ่มก้อนจึงทำให้ใช้เวลาในการเผาไหม้นานขึ้น [12-13]

4. สรุป

การศึกษาผลกระทบของการเติมพอตเตอร์ สโตนในพอลิโพรพิลีน ทำการผสมโดยใช้เครื่องหลอมอัดรีดชนิดสกรูคู่ จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป เพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ ซึ่งได้ผลการทดลองและสรุปดังนี้

จากผลการวิเคราะห์แร่พอตเตอร์ สโตน (Pottery Stone) และพอลิโพรพิลีน (PP) พบว่าลักษณะรูปร่าง อนุภาคผลึกของแร่พอตเตอร์ สโตนมีขนาดประมาณ 10 μm และลักษณะพื้นผิวของพอลิโพรพิลีน (PP) มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุผสมอื่นๆ ที่ปริมาณพอตเตอร์ สโตนน้อย (1,5 phr) พบว่าอนุภาคของแร่พอตเตอร์ สโตนมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ เมื่อปริมาณพอตเตอร์ สโตนมากขึ้น (10,15 และ 20 phr) พบว่าอนุภาคของพอตเตอร์ สโตน มีการเกาะตัวกันทำให้ขนาดอนุภาคของพอตเตอร์ สโตนใหญ่ขึ้น มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อค่าดัชนีการไหลลดลง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าความหนืด เมื่อเติมพอตเตอร์ สโตนในปริมาณมากขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น ใน

ขณะเดียวกันไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติการทนแรงดึงมากนัก

สรุปได้ว่าเมื่อเติมพอตเตอร์ สโตนลงไป ในพอลิโพรพิลีน(PP) ที่ปริมาณ 5 Phr คืออัตราส่วนที่ดีที่สุดส่งผลให้สมบัติการทนต่อแรงกระแทกและความแข็งที่ผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการกระจายตัวของพอตเตอร์ สโตนที่สม่ำเสมอ และพบว่า การเติมพอตเตอร์ สโตนในปริมาณ 5 Phr สามารถลดอัตราการลามไฟของพอลิโพรพิลีนได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mina, F. Seema, S. Matin, R. Rahaman, J. Sarker, R.B. Gafur, A. Bhuiyan, A.H. 2009. Improved Performance of Isotactic Polypropylene / Titanium Dioxide Composites : Effect of Processing Conditions and Filler Content. Polymer Degradation and Stability, 94: 183–188.
- [2] Svab, I. Musil, V. Leskovic, M. 2005. The Adhesion Phenomena in Polypropylene / Wollastonite Composites. Scientific Paper, 52: 264–271.
- [3] Wang, J. Dou, Q. 2008. Crystallization Behaviors and Optical Properties of Isotactic Polypropylene : Comparative Study of a Trisamide and a Rosin-type Nucleating Agent. Colloid and Polymer Science, 286: 699–705.
- [4] www.thaiceramicsociety.com/rm_soil_pottery_stone.php
- [5] Blom, H.P. The, J.W. Rudin, A. 1996. IPP/HDPE Blends. II. Modification with EPDM and EVA. Journal of Applied Polymer Science, 60: 1405-1417.
- [6] Li, C. Zhang, Y. 2003. Melt Grafting of Maleic Anhydride onto Lowdensity Polyethylene / Polypropylene Blends. Polymer Testing, 22: 191-195.

- [7] ชีระพงศ์ ไชยเฉลิมวงศ์, อำนวย ลากเกษมสุข, วรุณเทวี จักรบุตร, พรรณราย รักษ์งาร. 2548. การปรับปรุงสมบัติของโพลีไสตรีนที่ได้จากกระบวนการหลอมโฟม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีธบุรี. หน้า 24-25
- [8] Zebarjad, S.M. Sajjadi, S.A. 2008. On the Strain Rate Sensitivity of HDPE / CaCO₃ Nanocomposites. Materials Science Engineering, 475: 365–367.
- [9] Genevive, C. Onuegbu. Igwe, I.O. 2011. The Effect Filler Contents and Particle Size on the Mechanical and End – Use Properties of Snail Shell Powder Filled Polypropylene. Material Science and Application, 2: 811-817.
- [10] Krulis, Z. Horak, Z. Ledicky, Pospisil, F. Sufak, J. Sufcak, M. 1998. Reactive Compatibilization of Polyolefins Using Low Molecular Weight Polybutadiene. Die Angewandte Makromolekulare Chemie, 258: 63-68.
- [11] Zhang, M. Fang, P.F. Zhang, S.P. Wang, B. Wang, S.J. 2003. Study of Structural Characteristics of HDPE / CaCO₃ Nanocomposites by Positrons. Radiation Physics and Chemistry, 68: 565–567.
- [12] Sain, M. Park, S.H. Suhara, F. Law, S. 2004. Flame Retardant and Mechanical Properties of Natural Fiber – PP Composites Containing Magnesium Hydroxide. Polymer Degradation and Stability. 83: 363-367.
- [13] มาลินี ชัยตุภกิจสินธ์, ทิพย์รัตน์ พิฑูรทัศน์, พนิดา พุทธิชาติสมบัติ, รัชมาลินี สุรังฤทธิ์. 2010. สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโพลีไสตรีนผสมสารหน่วงไฟ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 57-66

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาววัชรีย์ จันญ์
วัน เดือน ปีเกิด	10 พฤษภาคม 2529
ที่อยู่	89/1111 หมู่ 5 ตำบลบางแม่นาง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี 11140
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลาสติก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	08-4346-3944
อีเมล	Pair_gampong@hotmail.com

