

สมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่าง พอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และ พอลิโพรพิลีน

**MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTIC TERTIARY
BLENDS HIGH DENSITY POLYETHYLENE, LOW DENSITY
POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE**

นางสาวประทุมมา สุใส
PRATUMMA SUSO

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

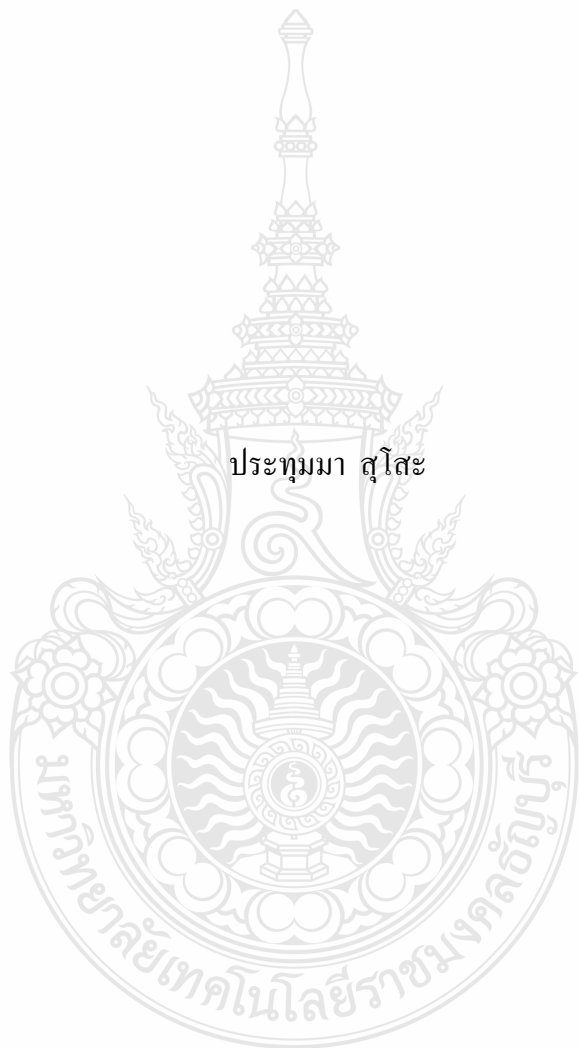
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

การศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่าง พอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และ พอลิโพรพิลีน

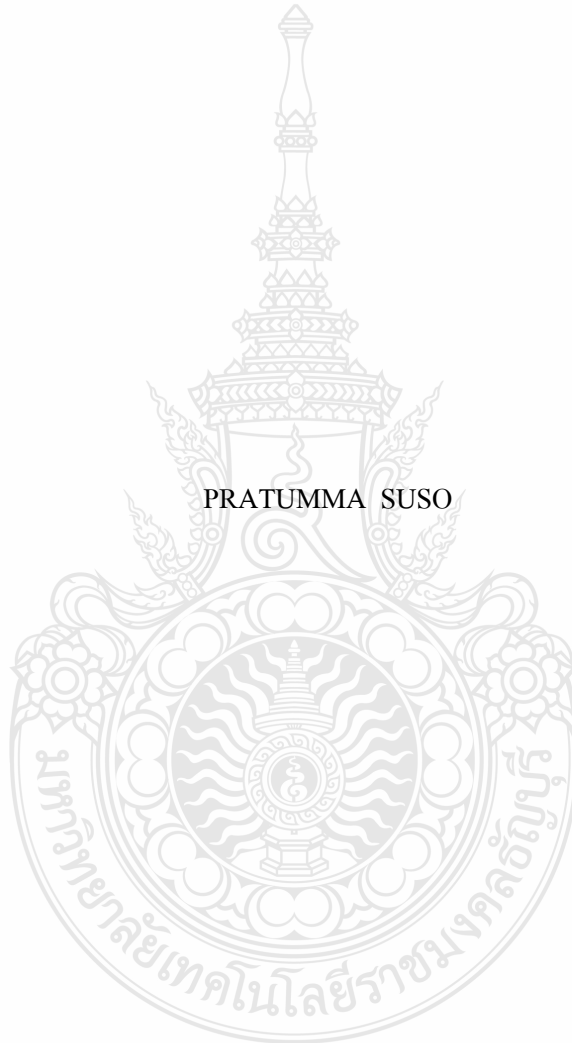


ประทุมมา สุโสะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2554

**MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTIC TERTIARY
BLENDS HIGH DENSITY POLYETHYLENE, LOW DENSITY
POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE**

PRATUMMA SUSO



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN MANUFACTURING ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นางสาวประทุมมา สุโสะ



หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และ พอลิโพรพิลีน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวประทุมมา สุโสะ
รหัสประจำตัว	115270440116-3
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.ศิริชัย ต่อสกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิดเพื่อให้ได้พลาสติกผสมที่มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยการผสมระหว่างพลาสติก 3 ชนิดคือ HDPE, LDPE, และ PP หาอัตราส่วนที่เหมาะสมและทำการเติมสารก่อผลึกเพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

กระบวนการในการเตรียมพลาสติกผสมในงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการอัดรีดขึ้นรูป เพื่อให้พลาสติกผสมเข้ากันแล้วนำไปผ่านการฉีดขึ้นรูปเพื่อนำไปทดสอบ สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของพลาสติกผสม

ผลการทดลองพบว่า **ขั้นตอนที่ 1** ผสมพลาสติก 2 ชนิด ระหว่าง HDPE กับ LDPE ผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลและเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของพลาสติกผสม ใน **ขั้นตอนที่ 2** อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ HDPE20% : LDPE80% นำพลาสติกผสมดังกล่าวไปผสมกับ PP ตามอัตราส่วนที่กำหนด ทดสอบสมบัติเชิงกล ทดสอบสมบัติทางกายภาพซึ่งจะได้อัตราส่วนของพลาสติกผสมคือ(HDPE+LDPE)50% + PP50% เนื่องจากเมื่อนำพลาสติกผสมไปดูโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction จะมีโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความสมมาตรสูง **ขั้นตอนที่ 3** นำพลาสติกผสม (HDPE+LDPE)50% + PP50% ผสมกับ Nucleating Agent ตามอัตราส่วนที่กำหนด อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ (HDPE+LDPE)50% + PP50% ผสมกับ Nucleating Agent 0.2%wt เนื่องจากทดสอบสมบัติทางกายภาพดูโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction พบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal นำพลาสติกผสม ทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเติมสารก่อผลึก (Nucleating Agent) จะพบได้ว่าค่า Resistance, Hardness, Tensile Strength มีค่าสูงกว่า HDPE+LDPE+PP ที่ไม่เติม Nucleating Agent

คำสำคัญ : สารก่อผลึก, เฮกซะโกนอล, พลาสติกผสม, เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

Thesis Title: MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTIC TERTIARY
BLENDS HIGH DENSITY POLYETHYLENE, LOW DENSITY
POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE

Student Name: Miss Pratumma Suso

Student ID : 115270440102-3

Degree Award : Master of Engineering

Study Program : Manufacturing Engineering

Academic Year : 2010

Thesis Advisor: Dr. Sirichai Torsakul

ABSTRACT

This research presents experimental results of the mechanical properties study of 3 types of plastic mixtures such as HDPE, LDPE and PP. The processes for mixing of plastic are as follows.

Process for preparing plastic mixed in this research, extrusion molding process. Plastic to be mixed together and through injection molding in order to test Mechanical and physical properties of the plastic mixture

Step 1, the mixing of HDPE and LDPE was performed by a given ratio and then the specimens of the mixed plastic were prepared and mechanically tested, respectively. The optimum ratio of the Step 1 was 20%HDPE by 80%LDPE. Step 2, the mixed ratio of optimum ratio of step 1 was mixed with PP by various ratios and found that the optimum ratio was 50%PP because the XRD result showed the hexagonal crystal structure that was higher symmetrical structure. Step 3, the optimum ratio of step 2 was mixed with a nucleating agent by various ratios and found that the optimum ratio of this step was 0.2%wt nucleating agent. The XRD result of the plastic mixture reported that the crystal structure of the mixed plastic of step 3 was also hexagonal type. The addition of nucleating agent also increased a hardness and tensile strength of the mixture reported when compared to the mixture of HDPE+LDPE+PP with no nucleating agent.

Keywords : Nucleating Agents, Hexagonal, Polymer Blend, X-Ray Diffraction

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาสมบัติของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง, พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และ พอลิโพรพิลีน” สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือของบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ขอขอบคุณคณาจารย์และหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ดังนี้

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเป็นอย่างดีระหว่างการทำวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะกรรมการทุกท่านที่สละเวลาเพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบและให้คำแนะนำแนวคิดที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้จัดทำ

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้การสนับสนุนสารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก ตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ที่มีได้กล่าวนาม ตลอดจนเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ รวมทั้งเป็นแรงจูงใจให้ผู้จัดทำสามารถทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ประทุมมา สุโสะ

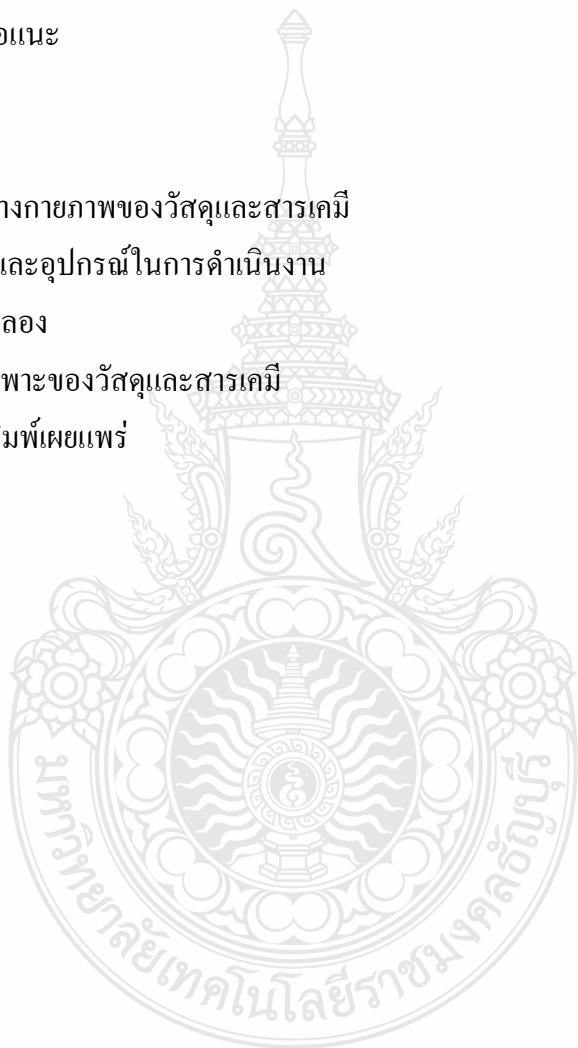
7 พฤษภาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พอลิเมอร์	3
2.2 ชนิดของพลาสติก	6
2.3 สารเติมแต่ง	11
2.4 โครงสร้างของผลึก	12
2.5 กระบวนการแปรรูปพลาสติก	15
2.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล	20
2.7 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	32
3.1 แผนการดำเนินงาน	32
3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	33
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	33
3.4 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล	40
3.5 วิธีการทดสอบสมบัติทางกายภาพ	45
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	48
4.1 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE	48
4.2 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง LDPE, HDPE และ PP ที่เหมาะสมเมื่อเติมสารก่อผลึก	56
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	59
5.1 สรุป	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	
ก ลักษณะทางกายภาพของวัสดุและสารเคมี	62
ข เครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงาน	65
ค ผลการทดลอง	71
ง ลักษณะเฉพาะของวัสดุและสารเคมี	81
จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	85
ประวัติผู้เขียน	98



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างของการจัดกลุ่มแลตทิซ	14
2.2 เทคนิคการทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์ประเภทต่างๆ ในการทดสอบพลาสติก	24
3.1 แผนการดำเนินงานของโครงการ	32
3.2 สภาวะการขึ้นรูปพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที	34
3.3 อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	34
3.4 สภาวะการขึ้นรูปพลาสติกผสมที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 1 กับพอลิโพรพิลีน (PP) ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที	36
3.5 อัตราส่วนผสมระหว่างพลาสติกผสมในขั้นตอนที่ 1 กับ พอลิโพรพิลีน (PP)	36
3.6 สภาวะการขึ้นรูปพลาสติกกับสารเติมแต่งระหว่าง(HDPE+LDPE+PP)+NA มาผสมกับ ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที	38
3.7 แสดงอัตราส่วน โดยการเลือกสูตรจากทั้งขั้นตอนที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการทดสอบที่เหมาะสม ผสมกับ Nucleating Agent ในอัตราส่วนต่างๆ	38
4.1 ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance : IR) ของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE	48
4.2 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ Shore D Hardness ของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE	49
4.3 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE	50
4.4 ผลการทดสอบ DSCของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE	52
4.5 ผลของการทดสอบหาโครงสร้างผลึกโดยใช้ XRD ของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP	53
4.6 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP	53
4.7 แสดงผลการทดสอบ Impact Resistanceของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP	54
4.8 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP	56

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ผลการทดสอบ XRD พลาสติกผสมระหว่าง LDPE, HDPE และ PP ที่เหมาะสมเมื่อเติมสารก่อผลึก	57
4.10 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง (HDLD+LDPE+PP) กับ (HDPE+LDPE+PP) + Nucleating Agent 0.2 %	58



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน่วยเล็กๆ ของพอลิเมอร์	3
2.2 โครงสร้างแบบโซมอลิเมอร์	3
2.3 โครงสร้างแบบเฮเทอโรพอลิเมอร์	4
2.4 โครงสร้างแบบเส้น	4
2.5 โครงสร้างแบบกิ่ง	4
2.6 โครงสร้างแบบร่างแห	5
2.7 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ LDPE	6
2.8 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ HDPE	7
2.9 รูปแบบที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันของ PP	9
2.10 แสดงความยาวของแกน และมุมให้ x, y, z ความยาวของแต่ละแกน (a, b, c) และมุม α, β และ γ ในหนึ่งหน่วยเซลล์	13
2.11 ภาพตัดขวางของเครื่องหลอมอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวและเกลียวหนอนคู่	15
2.12 ลักษณะการหมุน และขบกันของเกลียวหนอนคู่	16
2.13 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่หมุนทิศทางเดียวกันฟันเกลียวขบกันสนิท	16
2.14 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่หมุนสวนทางกันฟันเกลียวขบกันสนิท	17
2.15 เครื่องอัดแบบอัด โนมัตที่ใช้ในการอัดขึ้นงานทรงแบนและการจับยึดแม่พิมพ์บนเครื่องอัด	18
2.16 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง	19
2.17 กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง	21
2.18 รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้น และ ความเครียด	21
2.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น- ความเครียด	22
2.20 กราฟการทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่าง ๆ กัน	22
2.21 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบความแข็งแบบคูโรมิเตอร์	25
2.22 หัวกดของคูโรมิเตอร์	26
2.23 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก	27
2.24 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบระนาบของผลึก	28
3.1 แผนการทำงานในขั้นตอนที่ 1 ผสมระหว่าง HDPE) กับ LDPE	35
3.2 แผนการทำงานในขั้นตอนที่ 2ระหว่างพลาสติกผสมในขั้นตอนที่ 1 กับ PP	37
3.3 แสดงการทำงานของขั้นตอนที่ 3ระหว่าง(HDPE+LDPE+PP) กับ NA	39
3.4 ขึ้นทดสอบรูปครัมเบลล์	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		
3.5	ชิ้นงานทดสอบสมบัติการทนแรงกระแทก	41
3.6	เครื่องบดชิ้นงาน	42
3.7	เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก	42
3.8	ชิ้นงานทดสอบความแข็ง แบบร็อกเวลล์	44
3.9	เครื่องทดสอบความแข็ง แบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test) รุ่น DXT-1	44
3.10	เครื่องตรวจวัดความแตกต่างของพลังงาน Perkins-Elmer DSC TAC	46
3.11	ลักษณะการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ	47
4.1	แสดงผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกของการเตรียมพลาสติกผสม ระหว่าง HDPE กับ LDPE	49
4.2	แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ Shore D Hardnessของการเตรียมพลาสติกผสม	50
4.3	แสดงผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของการเตรียมพลาสติกผสม ระหว่าง HDPE กับ LDPE	51
4.4	แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของการเตรียมพลาสติกผสม จาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP	54
4.5	แสดงผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกของการเตรียมพลาสติกผสม จาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP	55
4.6	ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของการเตรียมพลาสติกผสม จาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการใช้พลาสติกกันอย่างแพร่หลาย ทำให้มีการพัฒนาสมบัติของผลิตภัณฑ์พลาสติกทั้งทางเชิงกลและทางเคมีให้ตรงกับความต้องการมากขึ้น ซึ่งการปรับปรุงอาจทำได้ตั้งแต่กระบวนการสังเคราะห์ การใส่สารเติมแต่ง ตลอดจนการนำพลาสติกหลายชนิดมาผสมกัน เพื่อให้ได้สมบัติที่หลากหลายมากขึ้น และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกตามความต้องการของท้องตลาดหรือผู้บริโภค

การพัฒนาสมบัติของผลิตภัณฑ์พลาสติกวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้กันคือการทำพลาสติกผสมซึ่งสามารถทำให้พลาสติกมีสมบัติหลากหลายขึ้นได้ประโยชน์ของการทำพลาสติกผสมก็คือ สามารถนำพลาสติกชนิดใดก็ได้ที่เราต้องการสมบัติเด่นของพลาสติกตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มาผสมกันเพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ ในงานวิจัยนี้เพื่อให้ได้พลาสติกที่มีสมบัติด้านความแข็ง น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการคงรูปแต่สมบัติเด่นของพลาสติกแต่ละตัวที่นำมาผสมกันอาจลดลงไปตามอัตราส่วนของการผสม ในบางกรณีพลาสติกที่นำมาทำ พลาสติกผสม กันอาจมีสมบัติที่หักล้างกันเองก็ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติไม่ตรงกับความต้องการเท่าที่ควรจึงต้องมีการศึกษาการใช้สารเติมแต่งเพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการเพื่อพัฒนาสมบัติพลาสติกผสมได้ตามต้องการ

โดยในงานวิจัยนี้จะใช้พลาสติกชนิด HDPE ผสมกับ LDPE และ PP โดยการใช้สารเติมสาร Nucleating Agent (NU-100) เป็นการเติมเพื่อกระตุ้นให้ Copolymer เกิดโครงสร้างผลึกและการจัดเรียงตัวได้ดีขึ้นและมีการทนแรงกระแทกของพลาสติกสูงขึ้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้เพื่อต้องการศึกษาว่าพลาสติกที่ได้จากการ Copolymer ดังกล่าวจะมีสมบัติเชิงกลดีกว่าพลาสติกชนิด HDPE ผสม LDPE และ PP ที่ไม่ได้ผ่านการทำ Copolymer

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพลาสติกผสมระหว่าง HDPE, LDPE และ PP

1.2.2 เพื่อพัฒนาสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสมเพื่อเปรียบเทียบกับ HDPE, LDPE และ PP

1.2.3 เพื่อศึกษาลักษณะของโครงสร้างของพลาสติกผสมระหว่าง HDPE, LDPE และ PP

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่าง HDPE, LDPE และ PP

1.3.2 ศึกษาโครงสร้างความเป็นผลึกของพลาสติกเมื่อเติม Nucleating Agent (NU-100)

1.3.3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของพลาสติกทั้ง 3 ชนิด ระหว่างการเติม Nucleating Agent (NU-100) กับไม่ผสม Nucleating Agent (NU-100)

1.3.4 นำผลที่ทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่าง HDPE, LDPE และ PP ที่ผสมกับ Nucleating Agent (NU-100) เทียบกับพลาสติกผสมที่ไม่มีการเติม Nucleating Agent (NU-100)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงผลในการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสมทั้ง 3 ชนิด นำไปใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์

1.4.2 ได้ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของพลาสติกผสมเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้

1.4.3 นำอัตราส่วนที่เหมาะสมไปพัฒนาสมบัติที่ค่าให้สูงขึ้น โดยการใช้สารเติมแต่งเป็นตัวช่วย

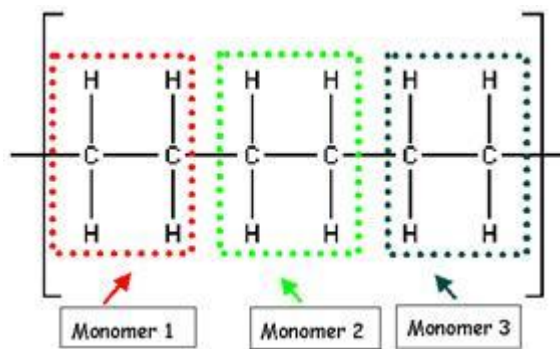
1.4.4 สามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อเป็นการลดต้นทุนพลาสติกบางชนิดที่มีราคาแพงเพื่อให้ต้นทุนในการผลิตลดลง

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์ (Polymer) คือสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีมวลโมเลกุลมาก ประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ของสารที่อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันมาเชื่อมต่อกันด้วย พันธะโควาเลนต์มอนอเมอร์ (Monomer) คือ หน่วยเล็ก ๆ ของสารในพอลิเมอร์ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หน่วยเล็กๆ ของพอลิเมอร์ [1]

ประเภทของพอลิเมอร์ แบ่งตามเกณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

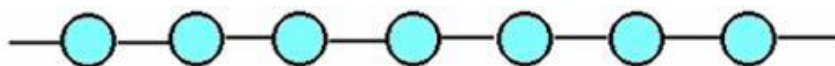
1) แบ่งตามการเกิดเป็นเกณฑ์ เป็น 2 ชนิด คือ

ก . พอลิเมอร์ธรรมชาติ เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น โปรตีน แป้ง เซลลูโลส ไกโคเจน กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ (พอลิไอโซพรีน)

ข . พอลิเมอร์สังเคราะห์ เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์เพื่อใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น พลาสติก ไนลอน ดาครอน และลูไซต์ เป็นต้น

2) แบ่งตามชนิดของมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ เป็น 2 ชนิด คือ

ก . โฮมโพลิเมอร์ (Homopolymer) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียวกัน เช่น แป้ง (ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่เป็นกลูโคสทั้งหมด) พอลิเอทิลีน PVC (ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่เป็นเอทิลีนทั้งหมด)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างแบบโฮมโพลิเมอร์ [1]

ข. เฮเทอโรพอลิเมอร์ (Heteropolymer) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ต่างชนิดกัน เช่น โพรตีน (ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่เป็นกรดอะมิโนต่างชนิดกัน) พอลิเอสเทอร์ พอลิเอไมด์ เป็นต้น



รูปที่ 2.3 โครงสร้างแบบเฮเทอโรพอลิเมอร์ [1]

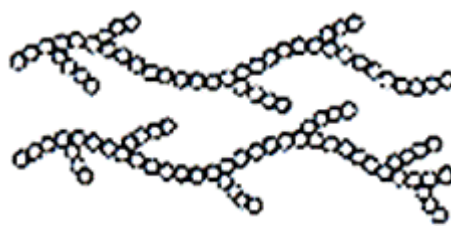
3) แบ่งตามโครงสร้างของพอลิเมอร์ แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

ก. พอลิเมอร์แบบเส้น (Chain Length Polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์สร้างพันธะต่อกันเป็นสายยาว โซ่พอลิเมอร์เรียงชิดกันมากกว่าโครงสร้างแบบอื่น ๆ จึงมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวสูง มีลักษณะแข็ง ขุ่นเหนียวกว่าโครงสร้างอื่นๆ ตัวอย่าง PVC พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน ดังภาพ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างแบบเส้น [1]

ข. พอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched Polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ยึดกันแตกกิ่งก้านสาขา มีทั้งโซ่สั้นและโซ่ยาว กิ่งที่แตกจาก พอลิเมอร์ของโซ่หลัก ทำให้ไม่สามารถจัดเรียงโซ่พอลิเมอร์ให้ชิดกันได้มาก จึงมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่ำยืดหยุ่นได้ ความเหนียวต่ำ โครงสร้างเปลี่ยนรูปได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตัวอย่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ดังภาพ



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแบบกิ่ง [1]

ค. พอลิเมอร์แบบร่างแห (Cross-linking Polymer) เป็น พอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ต่อเชื่อมกันเป็นร่างแห พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแรง และเปราะหักง่าย ตัวอย่างเบกาไลต์ เมลามีนใช้ทำถ้วยชาม ดังภาพ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างแบบร่างแห [1]

หมายเหตุ พอลิเมอร์บางชนิดเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากสารอนินทรีย์ เช่น ฟอสฟาซีน ซิลิโคน

รูปแบบการใช้งานของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ที่เรามีการใช้งานในชีวิตประจำวันนั้น สามารถแบ่งออกตามลักษณะทางกายภาพได้ออกมากว้าง ๆ ได้ 4 แบบ ก็คือ

1) เส้นใย เป็นพอลิเมอร์กลุ่มที่แข็งแรงที่สุด เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยนั้นมีขนาดเล็กมาก ตัวพอลิเมอร์เองจึงจำเป็นต้องรับแรงในแนวแกนเส้น ใยให้ได้สูงสุด เส้น ใยจึงมีลักษณะทางกายภาพที่ดูเบาบาง แต่มีความแข็งแรงสูง

2) พลาสติก มีความแข็งแรงรองจากเส้นใย แม้ว่าการใช้งานพลาสติกนั้น จะมีมิติความกว้างยาว สูง มากกว่าเส้นใยหลายเท่า ทำให้ดูเหมือนว่าแข็งแรงกว่าเส้นใย แต่ถ้าลองนำพลาสติกไปฉีกให้มีความบางเท่าเส้นใย จะพบว่ามันแข็งแรงน้อยกว่ามาก

3) ยาง มีจุดเด่นคือความยืดหยุ่นสูง เราจึงไม่เปรียบเทียบเรื่องความแข็งแรง แต่มักจะคำนึงถึงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนขาด (Elongation at Break) และแรงดึงที่จุดขาด (Load at Break) แทน นอกจากนี้พอลิเมอร์ในกลุ่มนี้จำเป็นต้องมีการคืนตัวกลับ ได้ดีด้วย (Recovery Property) จึงต้องมีการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโซ่โมเลกุลด้วยการเชื่อมขวาง (Crosslink) ซึ่งจุดที่เชื่อมขวางนี้ควรจะอยู่ห่างกันในระยะที่เหมาะสม เนื่องจากหากถี่เกินไป ยางที่ได้จะมีลักษณะแข็ง ไม่ยืดหยุ่น ในขณะที่ถ้าห่างเกินไป ก็จะได้ยางที่มีลักษณะนิ่มเกินไป

4) สารละลายและลาเทกซ์ ใช้งานในรูปของพอลิเมอร์ที่กระจายตัวในของเหลวอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นตัวทำละลายของพอลิเมอร์เอง หรือกระจายตัวเป็นอิมัลชันในน้ำ ลักษณะการใช้งานคือเป็นกาว สีทาบ้าน เซลล์เยลลี่ หรือ สารเคลือบผิวอื่น ๆ พอลิเมอร์ในกลุ่มนี้ควรจะกระจายตัวได้ดี และมี

ความสามารถในการเชื่อมขวางได้ในสภาวะที่มีแสง หรือแก๊ซออกซิเจนได้ หรือ ไม่ก็สามารถที่จะนำตัวเองไปเกี่ยวพัน (Entanglement) กับวัสดุอื่น ๆ ได้

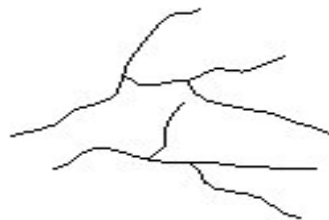
พลาสติกเป็นสารเคมีที่ถูกผลิตขึ้น เพื่อใช้ทดแทนวัสดุจากธรรมชาติ เช่น ไม้ เหล็ก หรือ โลหะต่างๆ เนื่องจากการสูญสิ้นไปของวัสดุจากธรรมชาติ นอกจากนี้พลาสติกสามารถให้ความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการไม่เป็นสนิม มีน้ำหนักเบาและง่ายต่อการเคลื่อนย้ายหรือแม้แต่ด้านการผลิตเพื่อให้ได้รูปลักษณะต่างๆ ได้ง่าย และยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Reused) หรือแปรรูปใหม่ได้อีก (Recycle) [1]

พลาสติกสามารถนำไปผลิตเป็นชิ้นงานเพื่อการประยุกต์ใช้กับลักษณะต่างๆ ได้หลายลักษณะมาก ตั้งแต่สิ่งของเครื่องใช้เครื่องประดับ อุปกรณ์เครื่องใช้ในครัวเรือนในสำนักงาน ทำเป็นวัสดุภัณฑ์ เป็นอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆ ในงานทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ งานทางการแพทย์ งานด้านการก่อสร้างและอื่นๆ อีกหลายลักษณะ

2.2 ชนิดของพลาสติก

2.2.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE: Polyethylene Low Density)

1) โครงสร้าง มีสายโซ่โมเลกุลแบบกิ่ง ดังรูปที่ 2.7



LDPE

รูปที่ 2.7 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ LDPE [2]

2) ประวัติ ถูกค้นพบโดยบริษัทไอซีไอ ประเทศอังกฤษ และถูกผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1939 เป็นพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่ถูกผลิตขึ้นในทางการค้า มีความหนาแน่นต่ำ ($0.910-0.925 \text{ g/cm}^3$) เนื่องจากโครงสร้างมีกิ่งก้านสาขาแยกออกมามาก ทำให้โมเลกุลจัดตัวอยู่อย่างหลวม ๆ และไม่เป็นระเบียบ LDPE มีลักษณะค่อนข้างใส มีความเหนียวพอสมควร (ไม่มากนัก) และมีผิวหน้ามันคล้ายขี้ผึ้งหรือเทียนไข

3) การสังเคราะห์ LDPE ในทางการค้าถูกผลิตด้วยกระบวนการความดันระดับสูง (High Pressure Process) ประมาณ $150-350 \text{ MPa}$ และอุณหภูมิ $80-300^\circ\text{C}$ ใช้ตัวริเริ่มชนิดอนุมูลอิสระ หรือถ้าใช้ออกซิเจน (ประมาณ $0.03 - 0.1\%$) จะใช้ความดันประมาณ $1,500$ บรรยากาศ อุณหภูมิ 200°C การพอลิเมอไรเซชันทำโดยผ่านมอนอเมอร์และตัวริเริ่มเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ซึ่ง

ปฏิกิริยา การเกิด LDPE จะคายความร้อนออกมาสูงมาก จึงต้องมีระบบทำความเย็นอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้มอนอเมอร์ความเข้มข้นมาก ๆ และความดันสูงทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล และได้พอลิเมอร์ที่มีกิ่งก้านสาขา ภายหลังจากที่ความดันลดลง พอลิเมอร์จะถูกแยกออกจากเอทิลีนที่ไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยา (ซึ่งจะนำกลับมาใช้ใหม่) และพอลิเมอร์จะถูกอัดรีดเป็นเส้นและถูกตัดให้เป็นเม็ดต่อไป

4) สมบัติทั่วไปของ LDPE นอกเหนือจากที่กล่าวไปข้างต้น LDPE มีจุดเด่นในการใช้งานทั่วไปที่อุณหภูมิต่ำได้ดีคือมีจุดหลอมเหลวประมาณ 110°C และจุดอ่อนตัว $40\text{-}50^{\circ}\text{C}$ จึงไม่ควรใช้งานที่อุณหภูมิสูง จึงไม่เหมาะสมที่จะทำถึงร้อน

5) การใช้งาน ประมาณ 65% ใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์โดยนำไปแปรรูปเป็นฟิล์ม เช่น ใช้ทำถุงเย็น ถุงสินค้าทั่วไป ฟิล์มหดรัดรูป (Shrink Film) และฟิล์มยืด (Stretch Film) เป็นต้น ประมาณ 13% ใช้ในงานผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการฉีด ได้แก่ ขวด ถ้วย ถาดบรรจุอาหารและยา ของเล่นเด็ก และของใช้ภายในบ้าน เป็นต้น ประมาณ 22 % ใช้ทำฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิล วัสดุเคลือบผิว การเป่าขวด พลาสติกอ่อนชนิดบีบได้

2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE: Polyethylene High Density)

1) โครงสร้าง สายโซ่โครงสร้างโมเลกุลจะมีความเป็นเส้นตรงค่อนข้างสูง และมีกิ่งเป็นสายโซ่โมเลกุลสั้น ๆ เพียงเล็กน้อยดังรูปที่ 2.8



HDPE

รูปที่ 2.8 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ HDPE [2]

2) ประวัติ HDPE ถูกพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 โดย Karl Ziegler ประเทศเยอรมัน โดยบริษัท Standard Oil และ Philips Petroleum ประเทศสหรัฐอเมริกา การผลิตเริ่มขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1957 ในประเทศเยอรมัน อิตาลี และสหรัฐอเมริกา [2]

3) การสังเคราะห์ กระบวนการซีเกลอร์ (Ziegler Process) ในทางการค้าจะทำได้ความดันสูงกว่าบรรยากาศเล็กน้อย ($0.2\text{-}0.4\text{ MPa}$ หรือ 2-4 บรรยากาศ) อุณหภูมิ $50\text{-}75^{\circ}\text{C}$ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์แคตตา ซึ่งได้แก่ ไททานเนียมเตตระคลอไรด์/อะลูมิเนียมอัลคิล (เช่น ไดเอทิลอะลูมิเนียมคลอไรด์ อะลูมิเนียมไตรเอทิล) ส่วน Diluents ที่ใช้ได้แก่ น้ำมันดีเซล (Diesel Oil) เฮป

เทน (Heptane) หรือโทลูอีน ปฏิกิริยาจะเกิดภายใต้บรรยากาศเฉื่อย (ปกติภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน) ต้องไม่มีความชื้นและออกซิเจนเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงหรือแม้แต่ทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้โดยเอทิลีน ตัวเร่งปฏิกิริยาและ Diluents จะถูกป้อนอย่างต่อเนื่องเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ พอลิเมอร์ที่ได้จะละลายใน Diluents เล็กน้อย โดยอยู่ในรูปของสารขุ่นหนืด (Slurry) และถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วด้วยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล โลหะจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกแยกออกด้วยกรดเกลือ ถ้าต้องการฉนวนไฟฟ้า ต้องทำให้บริสุทธิ์หลาย ๆ ครั้ง แล้งจึงเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง ทำให้เกลือ อัดรีด และตัดเป็นเม็ด HDPE ที่ได้มีความหนาแน่นประมาณ 0.945g/cm^3

กระบวนการฟิลลิปส์ (Philips Process) ใช้ความดัน 3 - 4 MPa (30-40 บรรยากาศ) อุณหภูมิ $90-160^\circ\text{C}$ และใช้โครเมียมออกไซด์ (CrO_3) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดเนเอทิลีนจะถูกผ่านเข้าไปในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน(ไวโคลเฮกเซน) ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาแขวนลอยอยู่ PE ที่ได้อาจอยู่ในรูปของสารละลายหรือสารขุ่นหนืดขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ ถ้าเป็น Solution process จะกระทำที่อุณหภูมิ $120 - 160^\circ\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่พอลิเมอร์ละลายได้ใน Diluents สารละลายที่ร้อนจะถูกดึงออกจากเครื่องปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง เอทิลีนที่ไม่ทำปฏิกิริยาจะถูกล้างออก พอลิเมอร์ที่ได้จะตกตะกอนออกมาเมื่อสารละลายถูกทำให้เย็นลง และถูกแยกออกด้วยการหมุนเหวี่ยง ส่วน Slurry Process จะทำที่อุณหภูมิ $90-100^\circ\text{C}$ ซึ่งพอลิเมอร์ที่ละลายใน Diluents ได้น้อยในอุณหภูมินี้ HDPE ที่ได้มีความหนาแน่นสูงที่สุด (ประมาณ 0.69g/cm^3) โดยที่โมเลกุลเกือบเป็นเส้นตรงอย่างสมบูรณ์

กระบวนการสแตนดาร์ดคอยล์ (Standard Oil Process) วิธีนี้จะคล้ายกับกระบวนการฟิลลิปส์ ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยโลหะออกไซด์ เช่น โมลิบดีนัม ไดออกไซด์บนอะลูมินา และผสมกับสารที่เป็นตัวช่วยรีดิวซ์ เช่น โลหะหมู่ IA IIA หรือพวกไฮโดรคาร์บอนเป็นตัวช่วยกระตุ้นให้ไวต่อปฏิกิริยา โดยใช้ความดัน 4-10 MPa ที่อุณหภูมิ $200-300^\circ\text{C}$ และใช้ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน HDPE ที่มีความหนาแน่น 0.96g/cm^3 ซึ่งเท่ากับที่ได้จากกระบวนการ ฟิลลิปส์ อีกทั้งน้ำหนักโมเลกุลก็ใกล้เคียง

กระบวนการยูเนียนคาร์ไบด์ (Union Carbide Process) กระบวนการนี้เอทิลีนจะถูกพอลิเมอร์ไรซ์ในเฟสที่เป็นแก๊ส (Gas Phase) ด้วยความดัน 0.7 - 0.2 MPa (7-20 บรรยากาศ) ที่อุณหภูมิประมาณ 100°C ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย Organochromium Compound เช่น Chromacene กระบวนการนี้ Fluidized Bed ที่มีเอทิลีนเป็น Fluidizing Gas (เป็นตัวทำปฏิกิริยาด้วย) พอลิเมอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นเม็ด (ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ได้ถูกกำจัดออกไป) และสามารถใช้ได้โดยตรง เนื่องจากไม่มีตัวทำละลายมาเกี่ยวข้องทำให้ Gas Phase Process ควบคุมได้ง่าย และใช้พลังงานน้อยกว่ากระบวนการอื่น ๆ

4) สมบัติทั่วไป ความหนาแน่น $0.94-0.965\text{g/cm}^3$ มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาว ๆ มีกิ่งก้านสาขาน้อยหรือประปราย ทำให้โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบและความเป็นผลึกสูงกว่า

LDPE มีความแข็งตึง ความเหนียว ความทนแรงดึง ความแข็งความทนทานต่อความร้อนและสารเคมีมากกว่าด้วยอีกทั้งมีสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี HDPE มีจุดหลอมเหลวประมาณ 135 °C และจุดอ่อนตัวประมาณ 125°C

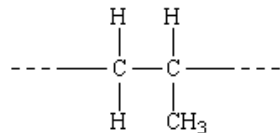
5) การใช้งาน งานฉีดแบบ (Injection Molding) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ทั่วไปเช่น ถังน้ำ กระดมั่ง กระจกน้ำ ถาดน้ำแข็ง และเครื่องใช้ในสำนักงาน เป็นต้น สำหรับงานฉีดขึ้นงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะที่ต้องใช้กับงานกลางแจ้ง ได้แก่ แท่นรองสินค้า ถังน้ำอัดลม เป็นต้น

งานเป่าทั่วไป (Blow Molding) ตั้งแต่ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่และงานที่ต้องการความทนต่อสารเคมีสูง เช่น ขวดน้ำยาทำความสะอาด ขวดเครื่องสำอาง ภาชนะใส่น้ำมันเครื่อง น้ำมันเบรก รวมทั้งภาชนะบรรจุอาหารและยา เช่น ขวดนม ขวดน้ำดื่ม และขวดยา เป็นต้น

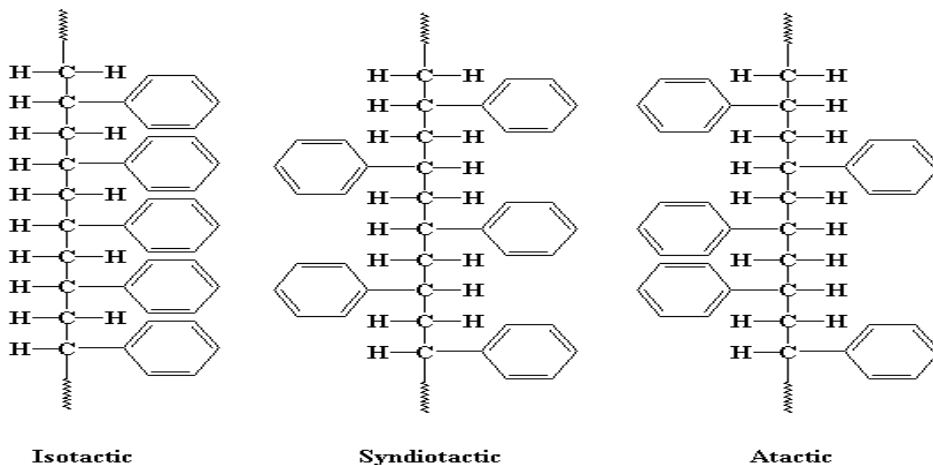
งานอัดรีด (Extrusion) เหมาะกับการอัดรีดเป็นท่อ เช่น ท่อน้ำประปา ท่อระบายน้ำ ท่อน้ำเพื่อการเกษตร ทำในอุตสาหกรรมเคมี และท่อร้อยสายไฟ สายโทรศัพท์หรือใช้งาน เป่าฟิล์ม (blown film) เพื่อทำถุงประเภทต่าง ๆ เช่น ถุงหิ้ว เนื่องจากมีความเหนียวและความแข็งแรงสูง ทำความร้อน เป็นต้น

2.1.3 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene , PP) [2]

1) โครงสร้างทางเคมี



PP เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีโครงสร้างแบบเชิงเส้น ปราศจากกิ่งก้านสาขาแยกจากลำตัว เนื่องจากโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนมีหมู่เมทิล (-CH₃) ต่อกับอะตอมของคาร์บอนตรงพันธะคู่ ดังนั้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน จึงอาจเกิดผลิตภัณฑ์ได้ 3 แบบ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รูปแบบที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ PP [2]

การผลิต PP ให้มีโครงสร้างแบบไอโซแทกติก เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องการเพราะจะทำให้ PP มีสมบัติเชิงกลที่ดี ได้แก่ ความแข็งแรง ความแข็งตึง และความทนความร้อนเป็นต้น

2) ประวัติ Natta แห่งอิตาลีได้ศึกษาของ Ziegler ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความดันและความร้อนต่ำ ในการสังเคราะห์ HDPE เข้าพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาบางตัวสามารถทำให้แก๊สโพรพิลีน (C_3H_6) ซึ่งหนักกว่าแก๊สเอทิลีน (C_2H_4) กลายเป็นพอลิโพรพิลีน (PP)

3) การสังเคราะห์ การสังเคราะห์โดยกระบวนการ “สเฟียร์โพล” (Spheripol) ของโสมอนท์ สหรัฐอเมริกาเป็นเทคโนโลยีที่สามารถควบคุมอัตราการเกิดและกำจัดตัวให้ได้ PP ที่มีแทกติกซิตี (tacticity) สูง ทั้งนี้เนื่องจากความสำเร็จในการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอแนตตา (Ziegler-Natta Catalyst) นอกจากนี้ PP ที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดกลม จึงไม่ต้องผ่านการตัดเม็ด

การผลิต PP ด้วย “Gas Phate Process” จากเทคโนโลยีของ Union Carbide และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของบริษัท Shell จะใช้ขั้นตอนน้อย และไม่จำเป็นต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาหลังการสังเคราะห์ เนื่องจากใช้ตัวเร่งทำปฏิกิริยาที่มีความไวสูงมาก

4) สมบัติทั่วไป PP มีความหนาแน่น 0.90 g/cm^3 หมูเมทิลทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน แต่ยังคงมีความแข็งแรงสูง จุดอ่อนของ PP คือ จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 0°C) และเสถียรภาพของ PP ต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต และออกซิเจนต่ำกว่า PE จึงไม่เหมาะที่จะใช้กลางแจ้งเนื่องจากแสงอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้เปราะ แตกร้าว สีซีดจางได้ง่าย ดังนั้นก่อนนำ PP ไปใช้งาน ต้องใส่สารแอนติออกซิแดนต์ (Anti-Oxidant) สารเพิ่มเสถียรภาพ UV (UV Stabilizer) และสารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizer) อื่น ๆ จุดเด่นของ PP คือ มีสมบัติเชิงกลดีมาก เช่น มีความทนแรงดึงสูง จุดหลอมเหลวสูงกว่า PE จึงเหมาะกับใช้งานที่อุณหภูมิสูง ทนอุณหภูมิน้ำเดือดได้ ใช้ทำถุงน้ำร้อนนอกจากนี้ PP ยังทนไขมันและน้ำมันได้ดี ส่วนไอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำกว่า PE และยังใสกว่า PE

5) การใช้งานของ PP งานฉีดแบบ (Injection Molding) ใช้ทำกล่องแบตเตอรี่ ถังน้ำมันในรถยนต์ กันชนรถยนต์ ลังใส่ขวด กระจาดต้นไม้ ของเด็กเล่น ด้ามแปรงสีฟัน ฝาจุกลาสติคเฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ทางการแพทย์ เช่นกระบอกฉีดโดยใช้ครั้งเดียวทิ้ง

งานเป่าแบบ (Blow Molding) ใช้ทำผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับ HDPE เช่น ขวด ถัง หรือภาชนะที่ต้องการความทนทานสูง

งานสิ่งทอ (Textile) ซึ่งต้องการความแข็งแรงสูง แต่ยืดน้อย รับแรงได้มาก ๆ ได้ใช้ทำเส้นใยกระสอบสาน เชือกฟาง แห อวน ผ้าใบป้องกันพืชสวน

งานเป่าถุง (Blown Film) งานเป่าถุงระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำให้ได้ฟิล์มใส เนื่องจากเย็นตัวอย่างรวดเร็วจึงมีส่วนที่เป็นอสัณฐานมากเกิดผลึกน้อย แต่ความแข็งแรงจะเสียไปบ้างใช้ทำพลาสติกหุ้มซองบุหรี่ ซองเนื้อแข็ง ถุงร้อน ถุงเย็น งานเป่าถุงระบายความร้อนด้วยอากาศจะค่อนข้างทึบแสง ขุ่นเล็กน้อย เนื่องจากโมเลกุลมีโอกาสจัดเรียงตัวได้มากกว่า ในระหว่างที่อุณหภูมิผ่าน T_m และ T_g จึงมีความแข็งแรง และความทนแรงดึงสูง

2.3 สารเติมแต่ง (Additive)

2.3.1 สารก่อผลึก (Nucleating Agents) [3]

พอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกึ่งผลึก (Semi-crystalline) กล่าวคือมีลักษณะของความเป็นผลึกอยู่ด้วยไม่มากนัก ซึ่งความเป็นผลึกมีอยู่เล็กน้อยเพียงใด เรียกว่า ดีกรีของความเป็นผลึก (Degree of Crystallinity) โดยพอลิเมอร์จะมีดีกรีของความเป็นผลึกสูงหรือต่ำขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล และโครงสร้างของพอลิเมอร์ พันระทุติยภูมิระหว่างโซ่พอลิเมอร์ และกรรมวิธีทางฟิสิกส์ที่กระทำต่อพอลิเมอร์นั้น ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนมีดีกรีของความเป็นผลึกสูงเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและสม่ำเสมอ ทำให้สามารถจัดตัวเป็นระเบียบได้ง่าย ในขณะที่พอลิโอไมด์มีความเป็นผลึกสูงเนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่พอลิเมอร์ปริมาณสูง นอกจากนี้ กรรมวิธีทางฟิสิกส์ เช่น การดึงออก (Stretching) จะช่วยเพิ่มความเป็นผลึกให้กับพอลิเมอร์

2.3.2 สารก่อผลึกสำหรับพอลิโพรพิลีน (Nucleating Agent for Polypropylene)

ถึงแม้ว่าพอลิโพรพิลีนจะมีโครงสร้างแบบสเตอริโอ (Stereo Configurations) ได้ 3 แบบ คือ แบบไอโซแทกติก (Isotactic) แบบซินดิโอแทกติก (Syndiotactic) และแบบอะแทกติก (Atactic) แต่แบบที่มีการนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวางคือ แบบไอโซแทกติก โดยไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) สามารถเกิดผลึกได้ 4 รูปแบบที่แตกต่างกันตามการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล ได้แก่ รูปผลึกแบบแอลฟา (α -form), แบบบีตา (β -form), แบบแกมมา (γ -form) และแบบสมกติก (Smectic) ซึ่งรูปแบบผลึกแต่ละแบบจะมีลักษณะเฉพาะ เช่น ความหนาแน่น รูปแบบการหลอมเหลว และรูปแบบการกระเจิงหรือเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction Pattern) ที่แตกต่างกัน โดยโครงสร้างผลึกใน iPP จะประกอบด้วยผลึกแบบแอลฟาเป็นส่วนใหญ่ และอาจมีผลึกแบบบีตาบ้างเป็นส่วนน้อย ซึ่ง iPP ที่มีรูปผลึกส่วนใหญ่เป็นแบบแอลฟา จะมีมอดูลัสและความทนแรงดึงสูง แต่มีความทนแรงกระแทกปานกลาง ในขณะที่ iPP ที่มีรูปผลึกแบบบีตาเป็นส่วนใหญ่ จะมีมอดูลัสและความทนแรงดึงต่ำกว่า แต่มีความทนแรงกระแทกและสมบัติการยืด ๓ จุดขาดสูงกว่า

การใช้สารก่อผลึกกับพอลิโพรพิลีนจะทำให้เกิดแต่ผลึกแบบแอลฟาและแบบบีตาเท่านั้น ในขณะที่รูปผลึกแบบแกมมาและแบบสมกติกจะเกิดได้จากการลดอุณหภูมิของพอลิเมอร์หลอมเหลวอย่างรวดเร็วเท่านั้น

1) สารก่อผลึกแบบแอลฟา (Nucleating Alpha Crystalline Form)

การเกิดผลึกแบบแอลฟาของ iPP หลอมเหลว จะเพิ่มขึ้นได้โดยการใส่สารที่เป็น heterogeneous nuclei ทำให้ผลึกสเฟียรูไลต์มีขนาดเล็กลง ซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่มีขนาดเล็กไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแม้แต่ฟองแก๊ส ล้วนสามารถกระตุ้นให้เกิดนิวเคลียสของการเกิดผลึกได้ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า สารที่มีประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบแอลฟาสำหรับ iPP มีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมที-บิวทิลเบน-โซเอต (Sodium-t-Butyl Benzoate) โซเดียมพาราเมทิลเบนโซเอต (Sodium p-Methyl Benzoate) โซเดียมเบนโซเอต (Sodium

Benzoate) โมโนไฮดรอกซิลอะลูมิเนียม พารา-ที-บิวทิล เบนโซเอต (Monohydroxylaluminium p-t-Butyl Benzoate) อะลูมิเนียมเบนโซเอต (Aluminium Benzoate) ไดเบนซิลิดีนซอร์บิทอล (Dibenzylidene Sorbitol, DBS) ทัลค์ เคาติน ฯลฯ โดยสารอินทรีย์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าสารอนินทรีย์ และสารที่นิยมใช้เป็นสารก่อผลึกแบบแอลฟามากที่สุดคือ โซเดียมเบนโซเอต เนื่องจากมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง สารชนิดนี้มีลักษณะเป็นผงสีขาวทึบแสง

เมื่อนำสารก่อผลึกแบบแอลฟาที่ได้จาก DBS และอนุพันธ์ของมันมาใช้กับ PP พบว่า สเฟียรูไลต์ที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กมาก (เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้) แสงจึงผ่านได้ดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความใส ดังนั้น สารก่อผลึกประเภทนี้จึงจัดเป็นสารทำให้ใส (Clarifying Agent) และกำลังได้รับความนิยมในการนำมาใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ต้องการความใส เช่น หลอดเข็มฉีดยา บรรจุภัณฑ์อาหาร แก้วน้ำดื่ม และเครื่องมือเครื่องใช้ภายในบ้าน เป็นต้น

2) สารก่อผลึกแบบบีตา (Nucleating Beta Crystalline Form)

สารก่อผลึกแบบบีตาสำหรับ iPP มีหลายชนิด ได้แก่ ผงสีควินาคริโดน (Quinacridone Pigment) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Permanent Red E3B ไตรฟีนอลไดไตรแอสซีน (Triphenol Ditrizine) แคลเซียมไพเมเลต (Calcium Pimelate) แคลเซียมฟทาเลต (Calcium phthalate) ไดโซเดียมฟทาเลต (Disodium Phthalate) สารผสมระหว่างกรดไพเมลิก (Pimelic Acid) และแคลเซียมเสเตียเรต (Calcium Searate) ฯลฯ ซึ่งในการทำให้ iPP เกิดผลึกแบบบีตาจากการใช้สารก่อผลึก พบว่า ผลึกที่เกิดขึ้นจะมีผลึกแบบแอลฟาอยู่ร่วมด้วยเสมอไม่มากก็น้อย โดยสารที่มีประสิทธิภาพทำให้ iPP เกิดผลึกแบบบีตาได้ปริมาณสูงคือ ผงสีควินาคริโดน อย่างไรก็ตาม การใช้สารก่อผลึกชนิดนี้มีข้อจำกัด คือ ผลิตภัณฑ์จะมีสีชมพู (เนื่องจากผงสีมีสีแดง)

สำหรับการใช้สารก่อผลึกที่เป็นสารอินทรีย์ จะนิยมนำไปบดด้วยเครื่องบอลล์ มิลล์ (Ball Mill) ก่อน เพื่อให้ขนาดของอนุภาคเท่ากับ 5 ไมโครเมตร แล้วจึงนำไปผสมกับผงพอลิโพรพิลีน โดยปริมาณที่ใช้กันทั่วไปจะไม่เกิน 0.5%

การใช้สารก่อผลึกกับพอลิโพรพิลีนทั้งชนิดโฮโมพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดเข้าแม่แบบจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการได้ถึง 30%

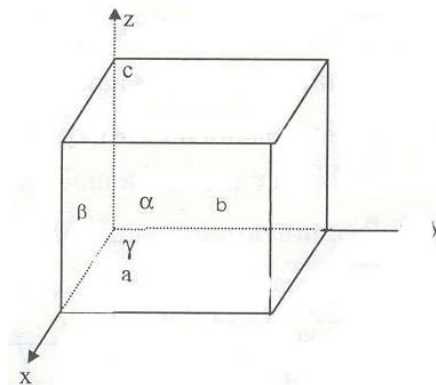
2.4 โครงสร้างของผลึก (Crystal Structure)

ในทางวิทยาแร่ และ ผลึกศาสตร์ (Crystallography) โครงสร้างผลึก (Crystal Structure) คือการจัดเรียงกันของอะตอมเป็นการเฉพาะตัวในผลึก โครงสร้างผลึกประกอบด้วย หน่วยเซลล์ (Unit Cell) ซึ่งเป็นกลุ่มของ อะตอม ที่จัดเรียงกันในทางเฉพาะเป็นโครงสร้างสามมิติ แบบ แลตทิซ โดยที่ว่างระหว่างหน่วยเซลล์ในทิศทางต่างๆ จะถูกเรียกว่า แลตทิซ พารามิเตอร์ (Lattice Parameters) คุณสมบัติความสมมาตร (Symmetry) ของผลึกจะปรากฏในกรุปปริภูมิ (Space Group) ของมัน

โครงสร้างของผลึกและความสมมาตรจะแสดงหน้าที่ของมันในการหาคุณสมบัติหลายๆ อย่าง เช่น การแตกร้า, แถบโครงสร้าง (Band Structure) ทางอิเล็กทรอนิกส์ และคุณสมบัติทางแสง (Crystal Optics) ของผลึก

2.4.1 เพื่อความเข้าใจยิ่งขึ้นเกี่ยวกับเรื่องระบบผลึกของสมมุติปัจจัย ที่เกี่ยวข้องดังนี้

ให้ a, b, c เป็นระยะระหว่างอะตอมในแนวแกน x, y, z , α, β, γ เป็นมุมระหว่างแกน $y-z, z-x$ และ $x-y$ ตามลำดับความยาว a, b และ c ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างอะตอม เรียกว่า สเตปแลตทิซ (Space Lattice) มีหน่วยเป็นอังสตรอม (Angstrom) (A°) $1\text{A}^\circ = 10^{-8}$ มิลลิเมตร ค่าของ Space Lattice เรียกว่า แลตทิซ พารามิเตอร์ (Lattice Parameters)



รูปที่ 2.10 แสดงความยาวของแกน และมุมให้ x, y, z ความยาวของแต่ละแกน (a, b, c) และมุม α, β และ γ ในหนึ่งหน่วยเซลล์ [4]

สเตปแลตทิซหลายๆ อันจะประกอบกันเป็น 1 หน่วยเซลล์ ในความเป็นไปได้หน่วยเซลล์สามารถมีรูปแบบต่าง ๆ กัน ได้มากถึง 230 แบบ โดยจะจัดอยู่ใน 7 ระบบรูปแบบ และใน 7 ระบบดังกล่าวยังอาจแบ่งออกเป็น 14 รูปแบบด้วยกัน

2.4.2 สเตปแลตทิซของผลึกทั้ง 7 ระบบรูปแบบ มีดังนี้ [4]

- 1) Cubic System มีความยาวของแกนทั้ง 3 เท่ากันและทำมุมตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยให้ $a = b = c$ และ $\alpha = \beta = \gamma = 90$ องศา
- 2) Tetragonal System มีความยาวแกนเท่ากัน 2 แกน แต่ละแกนทำมุม ตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยให้ $a = b \neq c$ และ $\alpha = \beta = \gamma = 90$ องศา
- 3) Orthorhombic System มีความยาวแกนแต่ละแกนไม่เท่ากัน แต่ทำมุมซึ่งกันและกันเป็นมุมฉาก โดยให้ $a \neq b \neq c$ และ $\alpha = \beta = \gamma = 90$ องศา
- 4) Rhombohedral System (Trigonal System) มีความยาวแกนทั้ง 3 เท่ากัน ทำมุมซึ่งกันและกันเท่ากัน แต่ไม่เท่ากัน โดยให้ $a = b = c$ และ $\alpha = \beta = \gamma = 90$ องศา

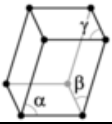
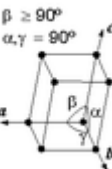
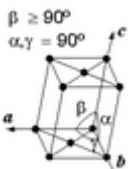
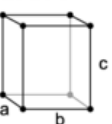
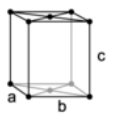
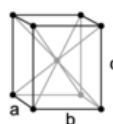
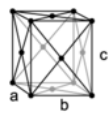
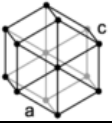
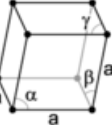
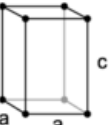
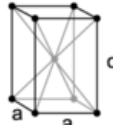
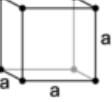
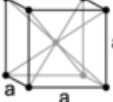

5) Hexagonal System ความยาวแกน 2 แกนเท่ากันและอยู่ในระนาบเดียวกัน ทำมุมซึ่งกันและกัน = 120 ความยาวของแกนทั้ง 3 จะต่างออกไป และตั้งได้จากกันแกนในแนวระนาบทั้ง 2 โดยให้ $a = b \neq c$ และ $\alpha = \beta = 90, \gamma = 120$ องศา

6) Monoclinic System ความยาวของแกนทั้ง 3 ไม่เท่ากัน มุมเท่ากัน เท่ากับ 90 แต่จะไม่เท่ากับ โดยที่ $a \neq b \neq c$ และ $\alpha = \gamma = 90$ องศา $\neq \beta$

7) Triclinic System ความยาวของแต่ละแกนจะไม่เท่ากัน มุมทั้ง 3 ก็ไม่เท่ากันและไม่เท่ากับ 90 โดยที่ $a \neq b \neq c$ และ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90$ องศา

2.4.3 การจัดกลุ่มแลตทิซ

ตารางที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของการจัดกลุ่มแลตทิซ [4]

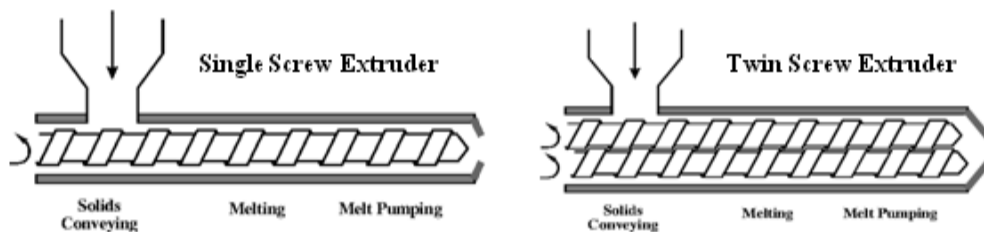
ระบบผลึก	Simple	Base-Centered	Body-Centered	Face-Centered
Triclinic	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 			
Monoclinic	$\beta \geq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 		$\beta \geq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 
Hexagonal	$a \neq c$ 			
Rhombohedral Trigonal	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 			
Tetragonal	$a \neq c$ 		$a \neq c$ 	
Isometric				

2.5 กระบวนการแปรรูปพลาสติก

ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความจำเป็นสำหรับการใช้งานในหลายรูปแบบ เราจะพบเห็นการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท และเกือบทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน โดยที่ชิ้นงานพลาสติกเหล่านี้ จะต้องผ่านกระบวนการแปรรูปพลาสติกต่างๆ การเลือกกระบวนการการแปรรูปให้เหมาะสมกับชนิดพลาสติก ลักษณะและสมบัติของชิ้นงาน จะต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีการแปรรูปพลาสติกแบบต่างๆ และความรู้พื้นฐานอื่นๆ

2.5.1 เครื่องหลอมอัดรีดชนิดเกลียวหอนคู่ (Twin Screw Extruder)

เครื่องหลอมอัดรีด เป็นเครื่องผสมสำหรับผสมฟิลเลอร์หรือสารเติมแต่งอื่นๆเข้ากับพอลิเมอร์ในลักษณะแบบต่อเนื่อง เพื่อให้ได้สารผสม (Compound) ที่มีคุณลักษณะและสมบัติตามต้องการ นิยมใช้ชนิดเกลียวหอนคู่มากกว่าชนิดเกลียวหอนเดี่ยว โดยแสดงภาพตัดขวางของเครื่องหลอมอัดรีด ดังรูปที่ 2.11 เนื่องจากเครื่องหลอมอัดรีดชนิดเกลียวหอนเดี่ยวมีประสิทธิภาพของการผสมที่ให้การกระจายต่ำ จึงนิยมใช้เพื่อการผสมเบื้องต้นเท่านั้น

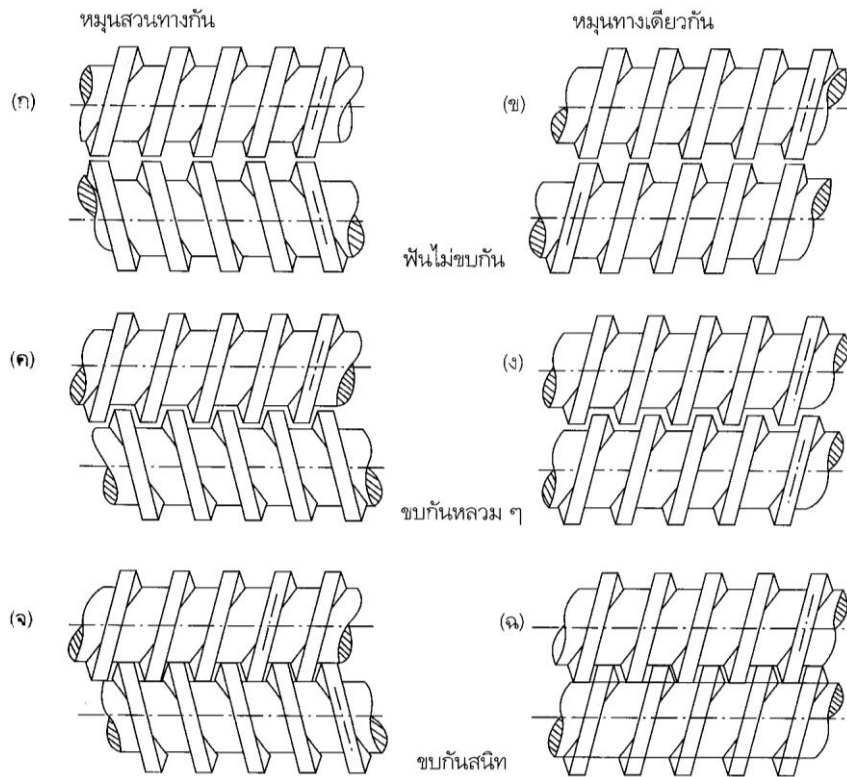


รูปที่ 2.11 ภาพตัดขวางของเครื่องหลอมอัดรีดชนิดเกลียวหอนเดี่ยวและเกลียวหอนคู่ [5]

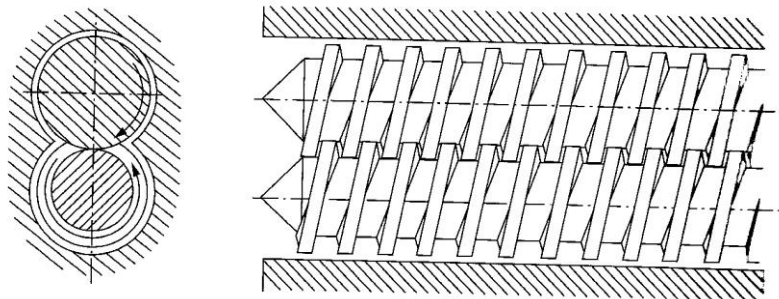
ตามหลักแล้วเทอร์โมพลาสติกทุกชนิดสามารถทำการหลอมอัดรีดได้ แต่มีข้อจำกัดคือ พลาสติกนั้นเมื่ออ่อนตัวต้องมีความหนืดสูง เพราะเมื่อพลาสติกผ่านหัวฉีดออกมา ต้องทรงรูปได้ชั่วระยะเวลาหนึ่งไม่ไหลมารวมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของพลาสติกให้เหมาะสมกับงานหลอมอัดรีด พลาสติกที่นิยมนำมาผ่านกระบวนการหลอมอัดรีดส่วนใหญ่ ได้แก่ PVC ทั้งชนิดอ่อนและแข็ง ตามมาด้วย PE และ PP นอกจากนี้เพื่อให้การผสมมีประสิทธิภาพสูงสุด ต้องคำนึงถึงการกำหนดตัวแปรต่างๆของเครื่องผสมด้วย ได้แก่ ความเร็วรอบของสกรู (Screw Speed) อุณหภูมิ (Temperature) ความดัน (Pressure) ขนาดและความยาวของสกรู (Size) โดยนิยามแสดงด้วยอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (L/D)

นอกจากนี้ สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ถือเป็นสิ่งจำเป็นต้องพิจารณา โดยคำนึงถึงความคงทนต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการทดสอบให้ทราบถึงสมบัติของวัสดุ โดยเฉพาะความแข็งแรงของวัสดุ

ในกลุ่มของเกลียวหนอนคู่แบ่งออกเป็นสองชนิด คือ แบบสกรูหมุนไปทางเดียวกัน (Co - rotating) และแบบหมุนสวนทางกัน (Counter Rotating) ทั้งนี้รวมเกลียวหนอนคู่แบบเรียวยาว นอกจากนี้ยังแบ่งออกตามลักษณะของการขบกันของฟันเฟือง คือทั้งแบบฟันเกลียวขบกันในร่องและแบบไม่ขบกัน ฟันเกลียวแบบขบกันยังแบ่งออกเป็นแบบขบกันสนิทกับแบบขบกันแบบหลวมๆ ดังรูปที่ 2.12

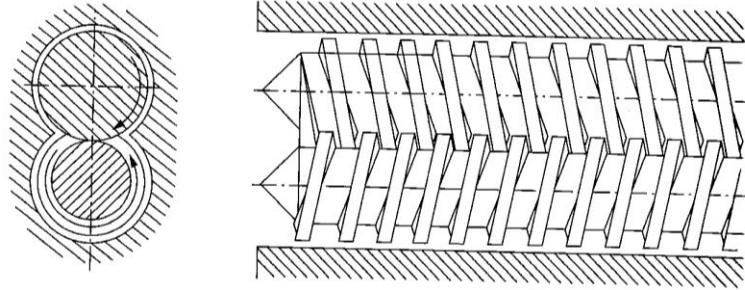


รูปที่ 2.12 ลักษณะการหมุน และขบกันของเกลียวหนอนคู่ [5]



รูปที่ 2.13 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่หมุนทิศทางเดียวกันฟันเกลียวขบกันสนิท [5]

1) เกลียวหนอนคู่หมุนทางเดียวกัน (Co-rotating Twin Screw Extruder) ทุก ๆ รอบของการหมุนของเกลียวหนอนคู่แบบหมุนไปทางเดียวกัน ดังรูปที่ 2.14 จะส่งพลาสติกเหลวจากร่องของเกลียวหนอนตัวหนึ่งไปยังร่องของเกลียวหนอนอีกตัวหนึ่ง ซึ่งกลไกในการส่งพลาสติกและแรงลากจูง (Drag Force) จะเทียบได้กับตัวเกลียวหนอนเดี่ยว แต่จะมีการเฉือน (Shear Element) กับส่วนที่ทำหน้าที่นวดผสม (Kneading Element) จะรวมอยู่ด้วยกัน เกลียวหนอนคู่แบบนี้จึงนิยมนำมาใช้ในงานทำเม็ดผสม (Compounding)



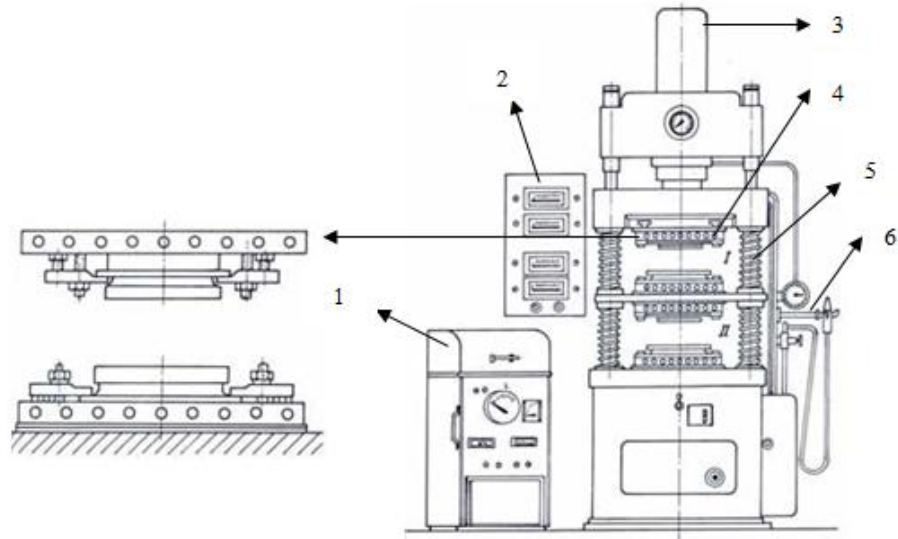
รูปที่ 2.14 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่หมุนสวนทางกันฟันเกลียวขบกันสนิท [5]

2) เกลียวหนอนหมุนสวนทางกัน (Counter-rotating Twin Screw Extruder) หลักการของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่หมุนสวนทางกันนั้นกลไกในการทำงานจะต่างกับเกลียวหนอนคู่แบบหมุนทางเดียวกัน กล่าวคือสกรูแต่ละส่วนจะปรับสภาพเป็นห้องปิด (Closed Chamber) ดังรูปที่ 2.15 ทำหน้าที่ลำเลียง พลาสติกจากกรวยเติม (Hopper) ไปยังปลายเกลียวโดยไม่มีการส่งผ่านให้กับห้องใกล้เคียง โดยหลักการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แรงลากจูง (Drag Forces) ซึ่งมีผลทำให้การเฉือนต่ำและความร้อนเกิดขึ้นจากการเฉือนน้อย

2.5.2 การอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

- การใช้แผ่นโลหะร้อน
- การใช้รังสีอินฟราเรดกระบวนการอัด (Compression Molding)

1) การอัดขึ้นรูป (Compression Molding) หมายถึง การทำงานพลาสติก เช่น ทำเป็นงาน ชาม สวิตช์ไฟ ฯลฯ โดยเติมพลาสติกลงในแบบเปิด แล้วใช้ความดันอัดปิดแม่แบบพร้อมทั้งให้ความร้อน ให้พลาสติกไหลเข้าไปแทนที่ช่องว่างรูปทรงของชิ้นงาน พลาสติกที่ผลิตออกมาจำหน่ายส่วนมากจะอยู่ในรูปผง เป็นเม็ด หรือเหลวเป็นแป้งเปียกซึ่งถ้าอยู่ในสภาพนี้สามารถนำเข้ากระบวนการผลิตโดยงานอัดและอัดฉีดได้ดี แต่ถ้าต้องการผสมสารปรับปรุงคุณภาพจะต้องเข้ากระบวนการเตรียมวัสดุก่อน ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 กรรมวิธีคือ กรรมวิธีหลอมเหลว และกรรมวิธีผสมโดยเติมของเหลว [5]



รูปที่ 2.15 เครื่องอัดแบบอัตโนมัติที่ใช้ในการอัดชิ้นงานทรงแบนและการจับยึดแม่พิมพ์บนเครื่องอัด 1. เครื่องให้ความร้อนพลาสติกแบบไฮฟริควอนซี 2. เครื่องมี้อัดและควบคุมอุณหภูมิ 3. ปัมไฮดรอลิก 4. ฮีทเตอร์ 5. สปริง 6. หัวเป่าลมอัดเพื่อทำความสะอาดแม่พิมพ์ [5]

2) เครื่องจักรที่ใช้ในการอัด ส่วนประกอบของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ อีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ ส่วนประกอบอื่นๆ คืออุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิก และอาจมีอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะเครื่องใช้แปรรูปพลาสติกโดยการอัดแสดงดังรูปที่ 2.9

3) ระบบการขับเคลื่อนเบ้า เครื่องอัดเบ้าส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่แผ่นเหล็กอัด ขึ้นลงโดยใช้แรงขับจากไฮดรอลิกแต่มีเครื่องอัดบางชนิดที่เคลื่อนที่โดยใช้แรงลม (Pneumatically Operation) นอกจากทำหน้าที่ให้แผ่นเหล็กอัดจะเคลื่อนที่ขึ้นลงแล้ว ระบบขับเคลื่อนจะทำหน้าที่ในการให้แรงดันในการอัดซึ่งเครื่องขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ จะให้แรงดันอยู่ในช่วง 5 ถึง 100 ตัน ส่วนเครื่องที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม จะให้แรงดันอยู่ในช่วง 10 ถึง 400 ตัน ขนาดของแรงดันจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นเหล็กอัดมีขนาดอยู่ในช่วง 8 ตารางนิ้ว ถึง 5 ตารางฟุต

4) ระบบให้ความร้อนและหล่อเย็น การให้ความร้อนแก่พลาสติก แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนอัด และการให้ความร้อนแก่เบ้าโดยตรงขณะที่อัด การให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ ก่อนอัดเป็นการลดระยะเวลาในการอัด เนื่องจากเทอร์โมเซตเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี ดังนั้นการเติมคอมปาวด์ที่เย็นในเบ้าโดยตรง ทำให้เสียเวลาในการทำคอมปาวด์มีอุณหภูมิถึงจุดที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง วิธีการให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนทำการอัดมีหลายวิธี เช่น

- การใช้ตู้อบชนิดความถี่สูง
- การให้ความร้อนในเบ้าร้อน

เมื่อนำคอมพิวเตอร์เข้าเบ้า จะต้องให้ความร้อนต่อ โดยแหล่งความร้อนที่ให้แก่เบ้า โดยตรงขณะทำการอัดดังนั้นระบบให้ความร้อนแก่เบ้าของเครื่องอัด มีหลายชนิด สรุป ได้ดังนี้

ก. ระบบไฟฟ้า นิยมใช้กันมากเนื่องจากออกแบบและติดตั้งได้ง่าย และมีความสะดวกในการซ่อมบำรุง

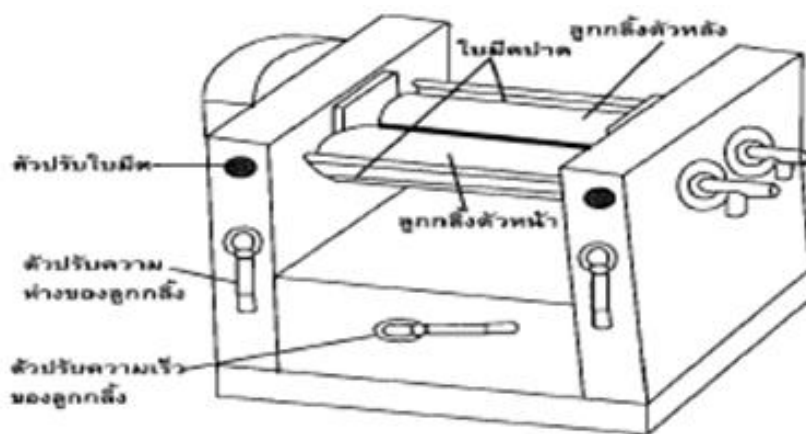
ข. ระบบไอน้ำ มีข้อดี คือ ให้ความร้อนที่สม่ำเสมอมาก แต่ให้ความร้อนเกิน 180 องศาไม่ได้

ค. ระบบน้ำร้อนไหลเวียน เป็นเทคนิคใหม่ที่ได้รับคามนิยมนมากในปัจจุบัน ทำโดยการใช้การเผาพอน้ำด้วยเปลวจากก๊าซหุงต้ม แล้วให้ไหลเวียน เพื่อให้ความร้อนแก่เบ้า

นอกจากระบบให้ความร้อนแล้วยังอาจจะมีระบบหล่อเย็น เพื่อให้ชิ้นงานพลาสติกจากการอัดเบ้าเย็นตัวลง ระบบหล่อเย็นไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของเบ้า หรืออาจจะใช้ระบบน้ำร้อนที่สามารถสลับจากการให้ความร้อนเป็นการหล่อเย็นได้

2.5.3 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mill) [5]

เครื่องบดสองลูกกลิ้ง ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกซึ่งหมุนตรงข้ามกัน แสดงดังรูปที่ 2.10 เป็นเครื่องผสมที่ทำให้องค์ประกอบกระจายตัวได้ดี แต่กระบวนการผสมมักจะค่อนข้างช้า ต้องควบคุมโดยผู้ปฏิบัติงานทำให้อาจมีปัญหาทางสุขภาพ ด้วยข้อจำกัดนี้ เครื่องบดสองลูกกลิ้งจึงนิยมใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น



รูปที่ 2.16 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง [5]

2.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties Testing)

สมบัติทางกลของวัสดุมีความสำคัญเป็นอย่างสูงต่อการนำวัสดุไปใช้งาน เนื่องจากไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้งานพลาสติกในการทำผลิตภัณฑ์ใดก็ตาม ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นย่อมที่จะต้องมีการรับแรงกระทำไม่มากก็น้อย ซึ่งการที่ผู้ออกแบบทราบถึงสมบัติทางกลของพลาสติกที่นำมาใช้งาน จะช่วยให้สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเลือกนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย [6]

การทดสอบสมบัติเชิงกล คือ การตรวจวัดสมบัติของพลาสติกในการรับภาระหรือแรงกระทำในลักษณะต่าง ๆ ในเชิงปริมาณ เพื่อที่ผู้ใช้งานสามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้เพื่อประโยชน์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบคุณภาพ การเปรียบเทียบ หรือการจัดลำดับ ดังนั้น ผลทดสอบที่ได้จะต้องสามารถเปรียบเทียบกันได้แม้จะทดสอบจากห้องปฏิบัติการที่แตกต่างกัน

2.6.1 การทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Testing) ASTM D638

ในการออกแบบส่วนใหญ่ จะใช้ค่าซึ่งได้จากการทดสอบนี้ไปใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน โดยทำการดึงชิ้นงานทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะเดียวกันจะบันทึกแรงที่ใช้ในการดึง และระยะยืดของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องบันทึก การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง ถ้าทำการดึงชิ้นงานที่มีสมบัติแข็งเปราะอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก ผลจากการวัดแรงที่มากกระทำต่อวัสดุ ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหักเรียกว่าความเค้นสูงสุดเนื่องจากแรงดึง (Ultimate Tensile Stress) หรือความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)

ตามกฎของฮุก (Hook's Law) สำหรับวัสดุอุคมคติที่มีสมบัติยืดหยุ่น ความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด อัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดนี้เป็นค่าคงที่ เรียกว่ามอดูลัส (Modulus : E) สำหรับการให้ความเค้นใดๆกับวัสดุที่มีมอดูลัสต่ำ วัสดุนั้นจะแสดงค่าความเครียดหรือระยะยืดหรือการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานได้สูงกว่าวัสดุที่มีมอดูลัสสูง ดังนั้น มอดูลัสของวัสดุจึงหมายถึงความสามารถในการต้านทานต่อการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานนั่นเอง ในความเป็นจริงพลาสติกและอีลาสโตเมอร์ส่วนใหญ่จะประพฤติตัวตามแบบฮุกเกียน (Hookean's Behavior) เฉพาะเมื่อทำการทดสอบด้วยอัตราเร็วในการยืดตัวต่ำ บางครั้งเรียกมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นว่า อีลาสติคมอดูลัส (Elastic Modulus) หรือมอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) การวัดมอดูลัสนี้ทำได้โดยการสร้างเส้นตรงสัมผัสกับช่วงต้นของเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด จากนั้นคำนวณค่าความชันของเส้นสัมผัส ดังสมการที่ 2.1 [6]

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

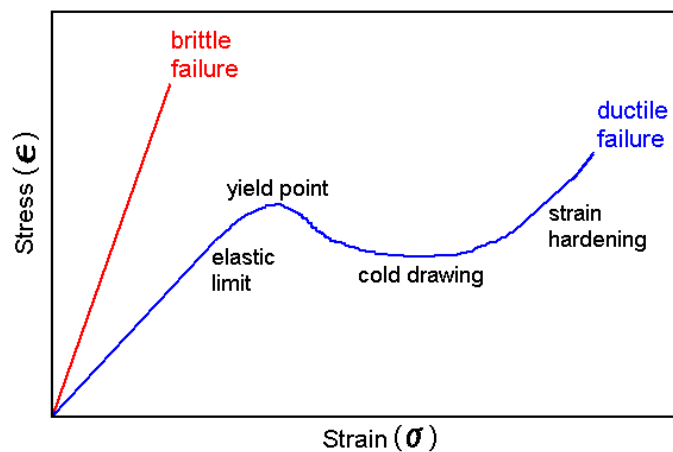
(2.1)

ϵ = มอดูลัส (Pa)

$\Delta\sigma$ = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

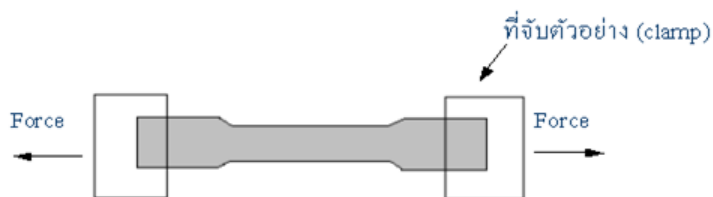
$\Delta\epsilon$ = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแรงดึงของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ไม่ว่าจะเป็นเทอร์โมพลาสติกเทอร์โมเซต พอลิเมอร์ผสม พอลิเมอร์คอมโพสิต และอีลาสโตเมอร์ จะแตกต่างกันตามลักษณะการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ สมบัติด้านความเป็นผลึก และความแข็งแรงในการยึดติดกันระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดกับวัสดุผสม (Adhesive Strength of Interface) ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างจากกราฟความเค้น-ความเครียด ดังรูปที่ 2.17



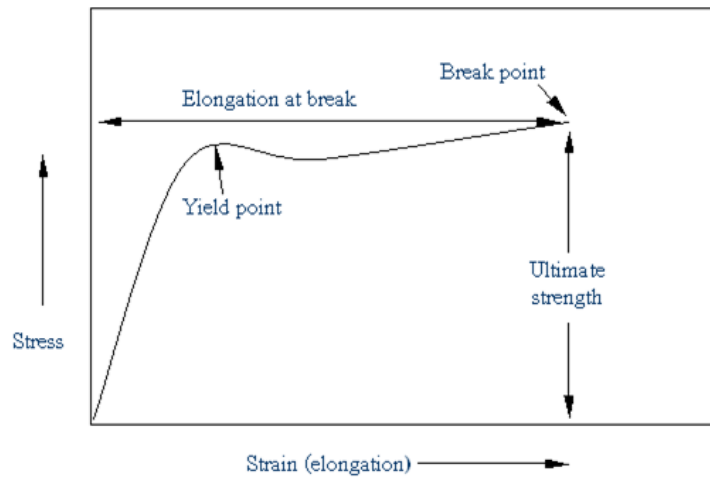
รูปที่ 2.17 กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง [6]

เนื่องจากพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็วที่ความเค้นหรือแรงถูกให้กับตัวอย่างจึงมีผลต่อการยึดของตัวอย่าง หรือความเครียดเป็นอย่างมาก เช่น เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยขาดออกโดยง่ายแต่เมื่อใช้แรงขนาดเดิมแต่ดึงอย่างช้า ๆ จะทำให้เส้นใยยืดออกและทนต่อแรงดึงอยู่ได้นานก่อนที่จะขาด ในทางปฏิบัติทั่วไปการทดสอบความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์ มักใช้ตัวอย่างดังรูปที่ 2.18

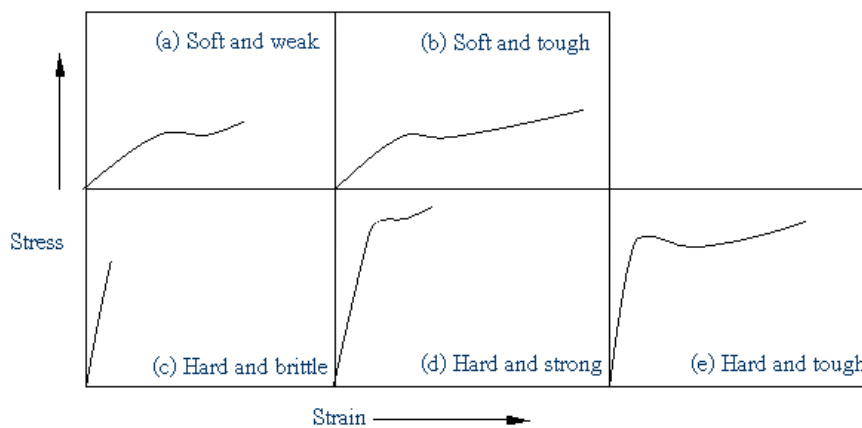


รูปที่ 2.18 รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้น และ ความเครียด [6]

ปลายของตัวอย่างถูกยึดด้วยที่จับ และจะถูกดึงให้ยืดออกด้วยแรงที่รู้ขนาดแน่นอน จากนั้นจึงนำข้อมูลไปพลอตกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-strain Curve) สำหรับพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยาง (Elastomer) ซึ่งเกิดการยืดออกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดึง กราฟที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 2.19 นอกจากความเค้นและความเครียด แล้วยังมีเทอมที่แสดงสมบัติเชิงกลประเภทอื่นของพอลิเมอร์ อีก เช่น Modulus หรือ Stiffness ซึ่งแสดงโดยค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด (หรือความชันในช่วงแรกของเส้นกราฟ) และ Toughness ซึ่งแสดงความต้านทานต่อการขาด



รูปที่ 2.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น- ความเครียด [6]



รูปที่ 2.20 กราฟการทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่าง ๆ กัน [6]

2.6.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) [6]

การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) ถือเป็นวิธีการทดสอบสมบัติเชิงกลที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

1) การทดสอบแบบร็อกเวลล์ (Rockwell Test) การวัดความแข็งแบบร็อกเวลล์ถูกริเริ่มนำมาใช้งาน โดย Stanley P. Rockwell ในช่วงปี ค.ศ. 1920 และจากนั้นเป็นต้นมาถือได้ว่าเป็นเทคนิคการทดสอบที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในการใช้งานเนื่องจากการทดสอบที่ง่ายต่อการปฏิบัติ รวดเร็วและมีหลายสเกลให้เลือกใช้งานครอบคลุมเกือบทุกประเภทของวัสดุ อีกทั้งผลการวัดที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับผู้ทดสอบมากนักเนื่องจากการวัดจะเป็นการทำงานของเครื่องมือตั้งแต่ต้นจบจนหลักการของการวัดความแข็งแบบร็อกเวลล์ตั้งอยู่บนปริมาณของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับแรงกดด้วยหัวกด โดยในการทดสอบจะเริ่ม โดยมีขั้นตอนดังนี้

ก. ให้แรงกดเริ่มต้น (Minor Load) แก่ชิ้นงานทดสอบ ซึ่งความลึกที่หัวกดทะลุลงไปเมื่อชิ้นงานจะถูกบันทึกไว้ ขั้นตอนนี้จะช่วยในการปรับสภาพเครื่องทดสอบให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน และเป็นการลดความผิดพลาดของผลการทดสอบจากความไม่สมบูรณ์ของพื้นผิวชิ้นงาน เพราะแรงกดเริ่มต้นนี้จะทำให้หัวทดสอบกดลงไปเมื่อชิ้นงานที่ความลึกหนึ่ง ดังนั้นผลกระทบจากความขรุขระของผิวชิ้นงานที่ต่างกันหรือเศษสิ่งสกปรกหรือวัสดุที่หลงเหลือบนผิวงานก็จะถูกขจัดออกไปได้

ข. จากนั้นเพิ่มแรงกดเพิ่มเติมเพื่อให้แรงกดรวมมีค่าเท่ากับแรงกดเต็ม (Major Load) จึงถูกกดผ่านหัวกดลงบนชิ้นงานทดสอบบริเวณเดิมโดยไม่มีการเลื่อนชิ้นงานทดสอบ

ค. หลังจากกดแช่เป็นระยะเวลาที่กำหนด แรงกดเพิ่มเติมนั้นจะถูกนำออกคงเหลืออยู่แต่แรงกดเริ่มต้นเท่านั้น

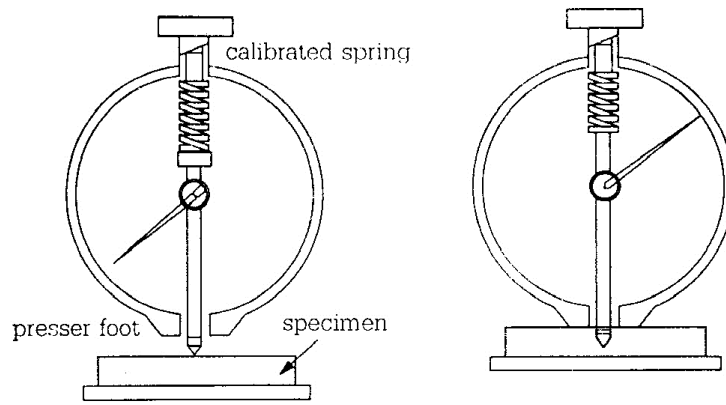
ค่าความแข็งร็อกเวลล์นี้จะเป็นค่าที่ไม่มีหน่วยเนื่องจากการเปรียบเทียบเท่านั้นว่าวัสดุที่ถูกกดลงไปแล้วคืนตัวได้มากหรือน้อย ถ้ามีการคืนตัวต่ำจะเป็นวัสดุที่มีความแข็งต่ำ แต่ถ้าถูกกดลงไปและคืนตัวได้มากจะมีค่าความแข็งสูงกว่า วัสดุสำหรับการทดสอบความแข็งนี้โดยปกติแล้วควรที่จะเป็นแผ่น แต่อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ ก็สามารถใช้เทคนิคนี้ในการทดสอบได้เช่นกัน รวมไปถึงชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นผิวโค้ง แต่ต้องมีการเพิ่มแพดเตอร์เข้าไปเพื่อชดเชยในการคำนวณค่าความแข็ง หัวกดที่ใช้ในงานทดสอบแบบร็อกเวลล์จะมีอยู่ 2 แบบ ได้แก่ หัวกดทรงกรวยมุม 120 องศาโดยมีปลายกรวยรูปร่างมนรัศมี 0.2 มิลลิเมตร และลูกบอลขนาดต่างๆ โดยทั่วไปแล้วหัวกดทรงกรวยจะทำมาจากเพชรจึงเหมาะต่อการทดสอบวัสดุที่มีความแข็งสูง ในขณะที่หัวกดบอลจะทำจากเหล็กชุบแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์ เหมาะสำหรับวัสดุที่มีความแข็งต่ำกว่า ในกรณีของการทดสอบพลาสติก จะเป็นการใช้หัวกดที่เป็นลูกบอลเท่านั้น และมีการใช้งานอยู่ด้วยกัน 5 สเกล R, L, M, E และ K ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เทคนิคการทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์ประเภทต่างๆ ในการทดสอบพลาสติก [6]

สเกล	ลักษณะหัวกด	แรงกดเริ่มต้น (กิโลกรัม)	แรงกดเต็ม (กิโลกรัม)	ช่วงการวัด	ระดับความแข็งของพลาสติก
R	ลูกบอลขนาด 1/2 นิ้ว	10	60	$115 \geq \text{HRR} \geq 0$	ต่ำ
L	ลูกบอลขนาด 1/4 นิ้ว	10	60	$115 \geq \text{HRR} \geq 0$	ต่ำ
M	ลูกบอลขนาด 1/4 นิ้ว	10	60	$115 \geq \text{HRR} \geq 0$	ต่ำ
E	ลูกบอลขนาด 1/8 นิ้ว	10	60	$115 \geq \text{HRR} \geq 0$	สูง
K	ลูกบอลขนาด 1/8 นิ้ว	10	60	$115 \geq \text{HRR} \geq 0$	สูง
∞	ลูกบอลขนาด 1/2 นิ้ว	10	60	$120 \geq \text{HRR} \geq 0$	ต่ำ

การเลือกใช้สเกลในการทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์จะขึ้นอยู่กับระดับความแข็งของพลาสติกที่จะต้องทำการวัดความแข็ง โดยสเกล E และ K จะใช้ทดสอบพลาสติกที่มีความแข็งมาก และใช้สเกล M, L และ R ในการทดสอบพลาสติกที่มีความนิ่มลดลงไปตามลำดับ นอกจากนี้การทดสอบความแข็งร็อกเวลล์แบบนี้แล้ว ยังมีวิธีทดสอบความแข็งร็อกเวลล์อีกประเภทซึ่งกำหนดอยู่ในวิธี B ของ ASTM D785 ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่คำนึงถึงสมบัติทางวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic) ของพลาสติก ซึ่งมีผลทำให้สมบัติของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไปกับเวลาในการ

2) ชอร์คูโรมิเตอร์ (Shore Durometer) [6] ความแข็งแบบคูโรมิเตอร์เป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าความแข็งแบบชอร์ (Shore Hardness) เป็นการทดสอบที่นิยมสำหรับวัสดุที่มีความแข็งไม่สูงมาก เช่น ยาง และ พลาสติก การทดสอบแบบนี้มีด้วยกันหลายประเภทซึ่งการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะนำมาทดสอบ แรงกด และลักษณะของหัวกด ในการทดสอบนั้นจะให้แรงกดผ่านอุปกรณ์ลงไปยังชิ้นงานทดสอบและจะ ใช้ความแข็งของสปริงกดเป็นส่วนที่ทำให้แรงแทนที่จะเป็นน้ำหนักกด โดยหัวทดสอบจะติดอยู่กับสปริงเชิงเส้นซึ่งมีค่าความแข็งที่ผ่านการสอบเทียบและมาตรวัดแล้ว เมื่อทำการทดสอบโดยให้แรงกดแก่อุปกรณ์ทดสอบลงยังชิ้นงานทดสอบ แรงจากสปริงจะส่งไปยังหัวทดสอบ ความลึกที่หัวทดสอบเจาะลงไปนชิ้นงานจะมีค่าแปรผกผันกับค่าความแข็งของวัสดุบนมาตรวัด ความแข็ง 1 ชอร์จะมีค่าเท่ากับระยะการเคลื่อนที่ในเนื้อชิ้นงาน 0.025 มิลลิเมตร ค่าความแข็งบนหน้าปัดมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยวัสดุที่มีความแข็งมากจะแสดงค่าที่สูงกว่าวัสดุที่มีความแข็งต่ำกว่า โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้อ่านค่าทดสอบที่ประมาณ 1 วินาที หรือ 15 วินาทีหลังการกด และต้องมีการระบุเวลาที่ใช้ในการอ่านผลในรายงานผลการทดสอบด้วย



รูปที่ 2.21 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบความแข็งแบบดูโรมิเตอร์ [6]

โดยทั่วไปค่าความแข็งแบบชอร์ในแต่ละสเกลจะไม่ใช้งานจนเต็มค่าในมาตรวัด ค่าความแข็งที่ต่ำกว่า 20 และสูงกว่า 90 ถือว่าเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือต่ำ ซึ่งควรจะเปลี่ยนไปใช้การทดสอบความแข็งในสเกลอื่นที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าถัดไป นอกจากนี้ในการดำเนินการทดสอบนั้นสามารถที่จะใช้มือจับอุปกรณ์ทดสอบโดยตรงหรืออาจใช้แท่นทดสอบ (Operating Stand) ช่วยในการทำงานของอุปกรณ์ก็ได้ โดยแท่นทดสอบนั้นแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

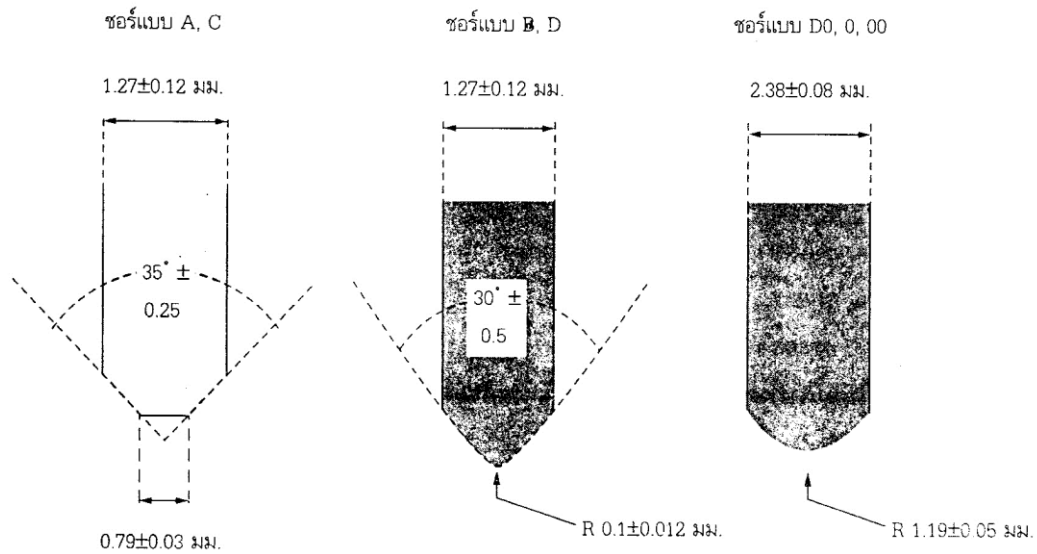
ก. แบบแท่นวางชิ้นงานเคลื่อนที่ที่หัวทดสอบไม่เคลื่อนที่ (Specimen to Indenter) แท่นชิ้นงานที่มีชิ้นงานวางอยู่จะสามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งไปยังหัวทดสอบเพื่อสร้างแรงกดอย่างนุ่มนวล ปราศจากแรงกระแทก

ข. แบบแท่นวางชิ้นงานไม่เคลื่อนที่ที่หัวทดสอบเคลื่อนที่ (Indenter to Specimen) หัวทดสอบจะสามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งลงไปยังชิ้นงานทดสอบที่วางอยู่บนแท่นทดสอบที่ยึดแน่นอยู่กับที่เพื่อสร้างแรงกดอย่างนุ่มนวล โดยสามารถควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ได้ในระดับที่ไม่เกิน 3.20 เมตรต่อวินาที

ค. แบบแท่นวางชิ้นงานไม่เคลื่อนที่ที่หัวทดสอบเคลื่อนที่ (Indenter to Specimen) มีลักษณะเช่นเดียวกับแท่นทดสอบแบบที่สอง หากแต่เพิ่มระบบดูดซับแรงและความสั่นสะเทือนด้วยระบบแรงดันน้ำมัน ระบบลม หรือระบบไฟฟ้าเชิงกล และสามารถควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ได้ในระดับที่ไม่เกิน 3.20 เมตรต่อวินาที

โดยทั่วไปในการทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอนและมีความแปรปรวนต่ำ ควรจะต้องมีการใช้แท่นทดสอบในการทดสอบ โดยเฉพาะในการทดสอบประเภท M ที่ระบุว่าต้องใช้แท่นทดสอบประเภทที่ 3 ในการทดสอบเท่านั้น เนื่องจากการทดสอบในระดับจุลภาค และใช้แรงต่ำ ทำให้ต้องมีการควบคุมการสั่นสะเทือนที่อาจจะส่งผลต่อการทดสอบได้ นอกจากนี้ในการให้แรงกดแก่ชิ้นงานทดสอบ การใช้ตุ้มน้ำหนักที่ติดตั้งบนอุปกรณ์ทดสอบความแข็งแบบชอร์ จะทำให้ค่าที่ได้มีความแน่นอนมากขึ้นและแปรปรวนต่ำลง โดยตุ้มน้ำหนักนี้จะต้องมีน้ำหนักสูงกว่าแรง

ด้านจากสปริงเชิงเส้นในอุปกรณ์ทดสอบแต่ละประเภท ตัวอย่างของน้ำหนักค้อนน้ำหนักสำหรับการทดสอบแบบชอร์ A ได้แก่ 1 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม สำหรับการทดสอบแบบชอร์ D



รูปที่ 2.22 หัวค้อนของคูโรมิเตอร์ [6]

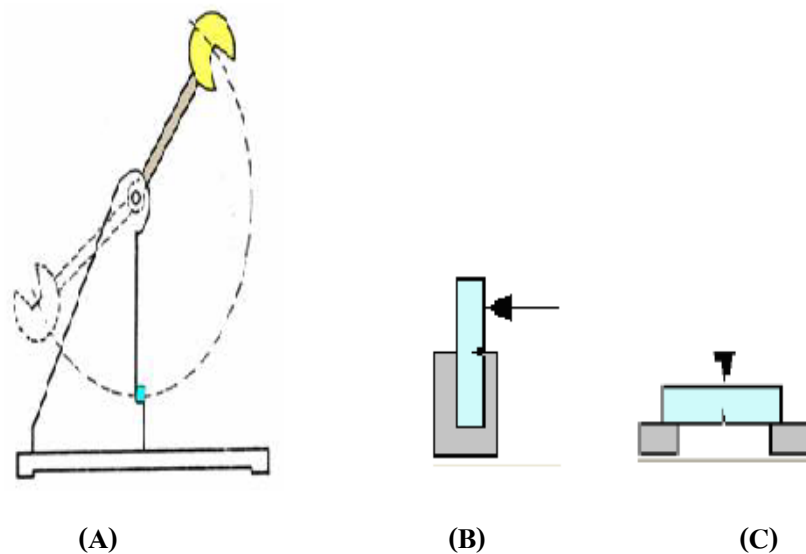
2.6.3 การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก (Impact Testing) [6]

การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก เป็นการใช้แรงกระทำเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว กระแทกขึ้นทดสอบให้แตกหักในเวลาอันสั้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกแรงกระแทก ซึ่ง การทดสอบแรงกระแทกตามมาตรฐานสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธีการ คือ การทดสอบโดยใช้ เครื่องมือที่มีค้อนน้ำหนักซึ่งทราบพลังงานในการพุ่งเข้าชนชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆตาม มาตรฐาน วิธีการนี้เรียกว่าการทดสอบแรงกระแทกแบบลูกตุ้มเหวี่ยง (Pendulum Impact Test) อีกวิธี หนึ่งเป็นการทดสอบโดยใช้น้ำหนักหรือหัวกระแทก (Impactor Test) ซึ่งปล่อยให้ตกอย่างอิสระจาก ความสูงที่ทราบค่าลงสู่ชิ้นงาน แล้วนำมาคำนวณความเค้นกระแทกสูงสุด หรือความแกร่งต่อการ กระแทก (Impact Strength) การทดสอบแบบนี้เรียกว่าการทดสอบแรงกระแทกแบบอาศัยการตกของ น้ำหนัก (Falling Weight Impact Testing)

การทดสอบแรงกระแทกแบบลูกตุ้มเหวี่ยง เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 แสดงความสามารถของวัสดุ ในการต้านทานแรงกระแทกจากการตีด้วยค้อน ซึ่งอยู่ในรูปของ พลังงานจลน์ทั้งหมดที่จำเป็นเพื่อให้วัสดุเริ่มเกิดการแตกหัก (Initiate Fracture) และดำเนินต่อไป จนกระทั่งวัสดุขาดออกจากกัน การทดสอบนี้สามารถทำได้อย่างรวดเร็วเป็นการตรวจสอบคุณภาพ ของวัสดุที่ง่ายสำหรับเปรียบเทียบความเหนียวของวัสดุ ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการ

ทดสอบนั้น จะทำการบากชิ้นงานก่อนการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากรอยบากบนชิ้นงานจะทำหน้าที่เป็นจุดที่แรงกระทำมาสะสมกัน (Stress Concentration) ทำให้การเปลี่ยนรูป (Deformation) ของชิ้นงานเกิดขึ้นได้ยาก เพราะการแตกขาดของชิ้นงานจะเกิดที่บริเวณรอยบากเท่านั้น ตามปกติค่าการทนต่อแรงกระแทก จะรายงานในหน่วยของพลังงานต่อความกว้างของชิ้นงาน เนื่องจากค่าการทนต่อแรงกระแทกขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานเช่นกัน ในการเปรียบเทียบค่าการทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานจากวัสดุที่ต่างกัน นิยมรายงานในหน่วยของจุดต่อตารางเมตร

การทดสอบการทนแรงกระแทกชิ้นงานที่มีรอยบากมี 2 วิธีคือ การทดสอบแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Test) และการทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy Impact Test) ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างในแง่ของการปฏิบัติ กล่าวคือ วิธีของชาร์ปีนั้น รอยบากจะอยู่ตรงข้ามกับทางเดินของค้อนตี และจะวางตัวอย่างในแกนนอน ส่วนวิธีของไอซอด รอยบากจะอยู่ด้านเดียวกับค้อนตี และตัวอย่างจะอยู่ในแกนตั้ง แสดงดังรูปที่ 2.23



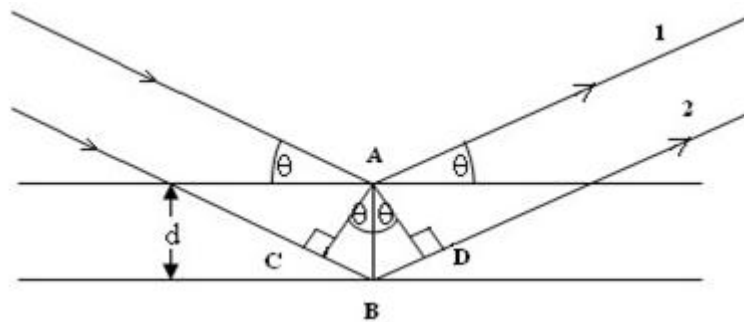
รูปที่ 2.23 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก [6] (A) ลักษณะการเหวี่ยงของค้อนตี (B) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบ Izod (C) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบ Charpy

2.7 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.7.1 X-ray Diffractometer (XRD)

การวิเคราะห์รูปแบบการหักเหของรังสีเอ็กซ์เป็นขบวนการที่ยุ่งยากสำหรับผลึกที่มีความสมมาตรต่ำอย่างไรก็ตามหลักการวิเคราะห์ต่างๆสามารถช่วยทำให้ดูง่ายขึ้นพอสำหรับในกรณีของผลึกที่มีความสมมาตรสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลึกลูกบาศก์ (Cubic Crystals) [7]

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการศึกษาโครงสร้างของผลึก ความเครียดของโลหะ ขนาดของอนุภาคและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งในผลึกแต่ละชนิดมีขนาดของหน่วยเซลล์ไม่เท่ากันและประกอบด้วยสารที่แตกต่างกัน แพทเทอร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการเลี้ยวเบนกับความเข้มสัมพัทธ์ของพิก การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับขนาดของหน่วยเซลล์ คือมีขนาดตั้งแต่ประมาณ 0.1-100 อังสตรอม จึงสามารถเลี้ยวเบนได้ดีจากผลึก เช่นเดียวกับแสงที่สามารถเลี้ยวเบนจากดิฟแฟรคชันเกรตติง



รูปที่ 2.24 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบระนาบของผลึก [7]

จากรูปที่ 2.18 จะพบว่ารังสีขนานตกลงบนผลึกที่จุด A และ B ตามลำดับโดยทำมุม d กับระนาบของผลึก การเลี้ยวเบนของรังสีจะเกิดขึ้นเมื่อระยะทางที่รังสีเอ็กซ์ 1 และ 2 เดินทางต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น จะได้ว่าสมการที่ (2.2) [7]

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.2)$$

โดยกฎข้อนี้เรียกว่ากฎของแบรกก์ (Bragg's Law) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ้ารังสีเอ็กซ์ตกกระทบมีความยาวคลื่นที่คงที่แล้ว มุมของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จะเกิดขึ้นกับระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก ผลึกแต่ละชนิดมีขนาดของหน่วยเซลล์ไม่เท่ากัน และประกอบด้วยอะตอมที่แตกต่างกัน เมื่อรังสีเอ็กซ์ความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic) ตกลงบนผลึกจะเกิดการเลี้ยวเบน pattern การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction Pattern) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์กับความเข้มสัมพัทธ์ของพิกการเลี้ยวเบนของสารประกอบแต่ละชนิดจึงมีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Pattern การเลี้ยวเบนของสารมาตรฐานที่เก็บรวบรวมไว้แล้ว จะสามารถจำแนกชนิดของสารประกอบนั้นได้ไม่ว่าสารนั้นจะอยู่ในรูปสารประกอบตัวเดียวหรือของผสมก็ตาม ในปี 1936 Hanawalt ได้รวบรวม Pattern ของสารมาตรฐานต่างๆ ประมาณ 1,000 ชนิด

เนื่องจากมุมของการเลี้ยวแปรตามความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ตกกระทบ เขาจึงจัดเก็บข้อมูลโดยใช้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบ (d) ซึ่งมีความเข้มสูงสุด 3 ค่าแรกแทน และเรียงลำดับค่าระยะห่างระหว่างระนาบจากเส้นเลี้ยวเบนที่มีค่าความเข้มสัมพัทธ์มากไปหาน้อย ต่อมาภายหลัง American Society for Testing Material (ASTM) ได้ปรับปรุงเพิ่มข้อมูลของ Hanawalt โดยใช้ค่า d ที่มีความเข้มสูงสุด 8 ค่าแรก แบ่งเป็นสารประเภท Inorganic Phases และ Organic Phases แต่ละประเภทได้จัดทำเพิ่มข้อมูลเป็นสองชุด คือ จัดเรียงตามลำดับตัวอักษร หรือ Alphabetical Indexes (ชื่อสารประกอบ) และจัดเรียงตามลำดับตัวเลข หรือ Hanawalt Search Manual (ตามค่า d) และยังได้จัดทำบัตรข้อมูลของสารประกอบแต่ละตัวซึ่งแสดงข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของสารนั้นด้วย สำหรับข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ประกอบด้วยชื่อของระนาบ ระยะระหว่างระนาบและความเข้มสัมพัทธ์

ปัจจุบันนี้มี Pattern การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่เก็บรวบรวมไว้กว่า 30,000 ตัวอย่าง ที่เป็นสารประกอบ Inorganic และมากกว่า 10,000 ตัวอย่าง สำหรับสารประกอบ Organic อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ก. X-Ray Diffractometer ของ Philips Model PW 1830

ข. หลอด X-ray ให้กำเนิดรังสีเอกซ์ของทองแดงความยาวคลื่น $\text{Cu (K}\alpha\text{) } 1.542 \text{ \AA}$

ค. Proportional counter ของ Philips Model PW1965/60

ง. Channel Control ของ Philips Model PW 1390

จ. Single-Pen Recorder ของ Philips Model PM8203

ฉ. J.C.P.D.S. files (Joint Committee on Powder Diffraction Standards)

ช. สารตัวอย่าง NaCl และ สาร Unknown ประมาณ 2 กรัม

2.5.2 การทดสอบ DSC (Differential Scanning Calorimeter)

ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ หรือที่เรียกกันย่อ ๆ ว่าเครื่อง DSC เป็นเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Transition) ของสารตัวอย่าง (เช่น พอลิเมอร์) ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิ ในบรรยากาศที่ถูกควบคุม

1) หลักพื้นฐานของ DSC ก็คือ นำถาด 2 ถาด ถาดแรกเป็นถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) ถาดที่สองเป็นถาดอ้างอิง (Reference Pan) ซึ่งเป็นถาดเปล่า ไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Furnace) ชนิดเดียวกัน ซึ่งวางอยู่ข้าง ๆ กัน เมื่อเริ่มการทดลอง Furnace จะเริ่มให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10 องศาเซลเซียสต่อ 1 นาที) แต่ที่สำคัญที่สุดก็คือ เครื่อง DSC จะควบคุมให้ Furnace ทั้งสอง (Furnace ของ Sample Pan และของ Reference Pan) เพิ่มอุณหภูมิถาดทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง [7]

สาเหตุที่ความร้อนของถาดทั้งสองจะเพิ่มด้วยอัตราที่ไม่เท่ากันก็คือ ถาดทั้งสองมีความแตกต่างกัน นั่นคือ Sample Pan มีตัวอย่างพอลิเมอร์อยู่ข้างใน แต่ Reference Pan ไม่มี การมีสารตัวอย่างอยู่ข้างในทำให้ Sample Pan มีสสารในปริมาณที่มากกว่า Reference Pan นั้นหมายความว่า Furnace ต้องให้ความร้อน Sample Pan มากกว่าที่ให้ Reference Pan เพื่อที่จะคงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้เท่ากัน ดังนั้น Furnace ที่อยู่ใต้ Sample Pan จะต้องทำงานหนักกว่า Furnace ที่อยู่ใต้ Reference Pan คือมันต้องให้ความร้อนมากกว่า และการวัดความแตกต่างของปริมาณความร้อนจาก Furnace ทั้งสองนี้ ก็คือหน้าที่หลักของเครื่อง DSC และเพื่อให้เห็นภาพได้ง่าย เราจะสร้างกราฟ โดยมี แกน X เป็นค่าของอุณหภูมิ และแกน Y เป็นค่าของความแตกต่างของปริมาณความร้อนของ Furnace ทั้งสอง ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง

โดยปกติแล้ว การทดสอบสารตัวอย่างทำโดยการเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิสารตัวอย่างด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่คงที่ (เช่น 10°C ต่อ 1 นาที โดยเริ่มต้นที่ 25°C และสิ้นสุดการทดลองที่ 300°C) หรือการรักษาอุณหภูมิสารตัวอย่างไว้คงที่ (Isothermal) เป็นระยะเวลาหนึ่ง (เช่น 200°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง) และสำหรับการทดลองส่วนใหญ่แล้ว บรรยากาศก็มีบทบาทสำคัญต่อผลการทดลองเช่นเดียวกับอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ โดยส่วนใหญ่แล้วบรรยากาศที่ใช้ในการทดลองมีสองแบบคือ บรรยากาศเฉื่อย (Inert Atmosphere เช่น แก๊สไนโตรเจน) และบรรยากาศ ที่มีแก๊สออกซิเจน (Oxidizing Atmosphere เช่น แก๊สออกซิเจน หรืออากาศ)

ความร้อนที่ให้สารตัวอย่าง (Heat Flow) มีค่าสอดคล้องกับพลังงานที่ให้สารตัวอย่าง และถูกวัดในหน่วยมิลลิวัตต์ (Milliwatts, mW) เมื่อนำค่าพลังงานมาคูณด้วยเวลา ผลลัพธ์ที่ได้คือปริมาณพลังงานที่ถูกแสดงในหน่วย มิลลิวัตต์วินาที (mW.s) หรือ มิลลิจูลล์ (mJ) พลังงานที่ให้สารตัวอย่างมีค่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy) ของสารตัวอย่าง เมื่อสารตัวอย่างดูดพลังงาน เราเรียกว่า Enthalpy มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Endothermic และเมื่อสารตัวอย่างคายพลังงาน เราเรียกว่า Enthalpy มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Exothermic

เมื่อสารตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหลอมเหลว (Melting) Furnace ต้องให้ความร้อน Sample Pan มากกว่าที่ให้ Reference Pan เพื่อที่จะคุมอุณหภูมิของ Sample Pan และ Reference Pan ให้เท่ากัน ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยัง Sample Pan มากกว่าหรือน้อยกว่าที่ถูกส่งผ่านไปยัง Reference Pan นั้น ขึ้นอยู่กับว่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแบบ Exothermic หรือแบบ Endothermic

DSC เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ตั้งแต่ในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อากาศยาน ไปจนถึงอาหารและยา โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้ ทั้งสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และสำหรับงานวิจัย ตัวอย่างของข้อมูลที่สามารถวัดได้จากการใช้เครื่อง DSC เช่น Melting Point (จุดหลอมเหลว) Glass Transition Temperature (T_g , อุณหภูมิ

การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว) Oxidation Stability (ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน) Reaction Kinetics (จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา) หรือ Purity (ความบริสุทธิ์)

ซึ่งพอลิเมอร์แต่ละชนิด จะมีข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าเฉพาะตัว เช่น Low Density Polyethylene (LDPE) มี Melting Point อยู่ที่ประมาณ 110°C และเกิดการตกผลึก (Crystallization) ที่ประมาณ 293°C ในขณะที่ Polyethylene Terephthalate (PET) มี Tg ที่ประมาณ 69°C และมี Melting Point อยู่ที่ประมาณ 256°C และเกิด Crystallization ที่ประมาณ 140°C ภาพด้านล่างแสดงตัวอย่างกราฟ DSC (DSC Thermogram) ของ PET ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตขวดน้ำอัดลม (เรียกกันว่าขวดเพต) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนถึง 3 ลักษณะ โดยที่ Glass Transition และ Melting เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดพลังงาน (Endothermic) ในขณะที่ Crystallization เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน (Exothermic)

3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: Polene HDPE R1760; IRPC Public Co., Ltd.)
- 2) เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: Polene LDPE JJ4324; IRPC Public Co., Ltd.)
- 3) เม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP: Polene PP 1100NK; IRPC Public Co., Ltd.)
- 4) สารก่อผลึก (Nucleating Agents): NU-100
- 5) เครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง (Analytical Balance Overting) ของบริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
- 6) เวอร์เนียร์ แคลลิเปอร์ (Vernier Slide Calipers)

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

- 1) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ (Twin Screw Extruder) ยี่ห้อ BRABENDER
- 2) เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) ยี่ห้อ Elite 80
- 3) เครื่องบากชิ้นงาน (Notching Machine) ยี่ห้อ CEAST

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 1) เครื่องทดสอบค่าการทนต่อแรงดึง ใช้เครื่องทดสอบ ยี่ห้อ Hounsfield Serial 120 รุ่น Model H 50 KS
- 2) เครื่องทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact-Pendulum) ยี่ห้อ CEAST
- 3) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ (Rockwell Hardness) ยี่ห้อ MATSUZAWA
- 4) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ (Shore Hardness) ยี่ห้อ PTC[®] INSTRUMENTS
- 5) เครื่องทดสอบการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) ยี่ห้อ PERKIN ELMER
- 7) เครื่องทดสอบเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ X-Ray Diffractions

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

โครงการวิจัยนี้จะแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

- 3.3.1 การทำงานของขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพลาสติกสมระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

1) นำอัตราส่วนผสมระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ตามตารางที่ 3.3 ซึ่งนำหนักให้ได้เปอร์เซ็นต์การผสมที่ได้จากการคำนวณอัตราส่วนไปผสมผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ โดยใช้อุณหภูมิสถานะของเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ในการขึ้นรูปเม็ดพลาสติกผสมดังตารางที่ 3.2

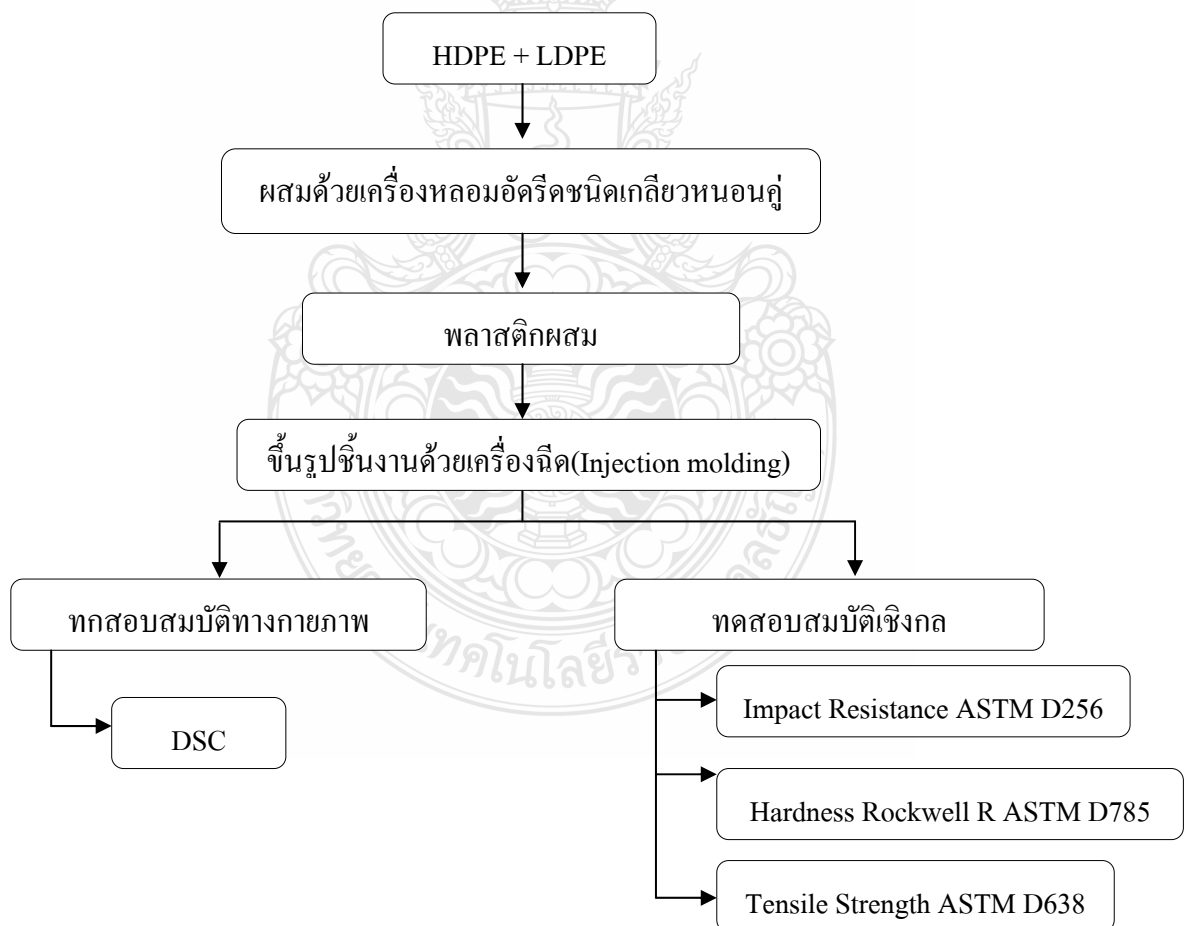
ตารางที่ 3.2 สภาวะการขึ้นรูปพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ความเร็วรอบ 60 รอบ/ นาที

ช่วงของสกรู	1	2	3	4	5	6
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	165	170	175	180	185	190

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

สูตร	พลาสติกผสม A (%wt)	
	HDPE	LDPE
A 1	0	100
A 2	10	90
A 3	20	80
A 4	30	70
A 5	40	60
A 6	50	50
A 7	60	40
A 8	70	30
A 9	80	20
A 10	90	10
A 11	100	0

- 2) นำพลาสติกผสมที่ผ่านการตัดเม็ดที่ได้ไป ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding)
- 3) เตรียมตัวอย่างแต่ละสูตรเพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการเตรียมโดยการฉีดด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) ให้เป็นรูปของครัมเบลล์ ขนาดของชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638, สมบัติการทนต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D256 และสมบัติการทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D 785
- 4) นำชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการเตรียมมาทดสอบสมบัติเชิงกล ทางด้านการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก การทดสอบความแข็ง และการทดสอบสมบัติทางกายภาพ Differential Scanning Calorimetry (DSC) วัดอุณหภูมิ และ Heat Flow จากการเปลี่ยนแปลงความร้อน
- 5) วิเคราะห์ผลการทดสอบในแต่ละสูตร โดยดูค่าการทดสอบความแข็ง และการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก เพื่อหาสูตรที่มีความคงรูปมากที่สุด



รูปที่ 3.1 แผนการทำงานในขั้นตอนที่ 1 ผสมระหว่าง HDPE) กับ LDPE

3.3.2 การทำงานของขั้นตอนที่ 2 การเตรียมพลาสติกผสมจากขั้นตอนที่ 1 (สูตรที่เหมาะสม) โดย ทำการผสมกับ โพลีโพรพิลีน

1) นำพลาสติกผสมโดยเลือกสูตรที่เหมาะสม จากขั้นตอนที่ 1 (HDPE+LDPE) ที่มีค่าการทดสอบความแข็ง และการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกที่ดี โดยเทียบอัตราส่วนดังตารางที่ 3.4 จากนั้นทำตามข้อ 2-5 เหมือนในขั้นตอนที่ 1

ตารางที่ 3.4 สภาวะการขึ้นรูปพลาสติกผสมที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 1 กับพอลิโพรพิลีน (PP) ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที

ช่วงของสกรู	1	2	3	4	5	6
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	195	200	205	210	215	220

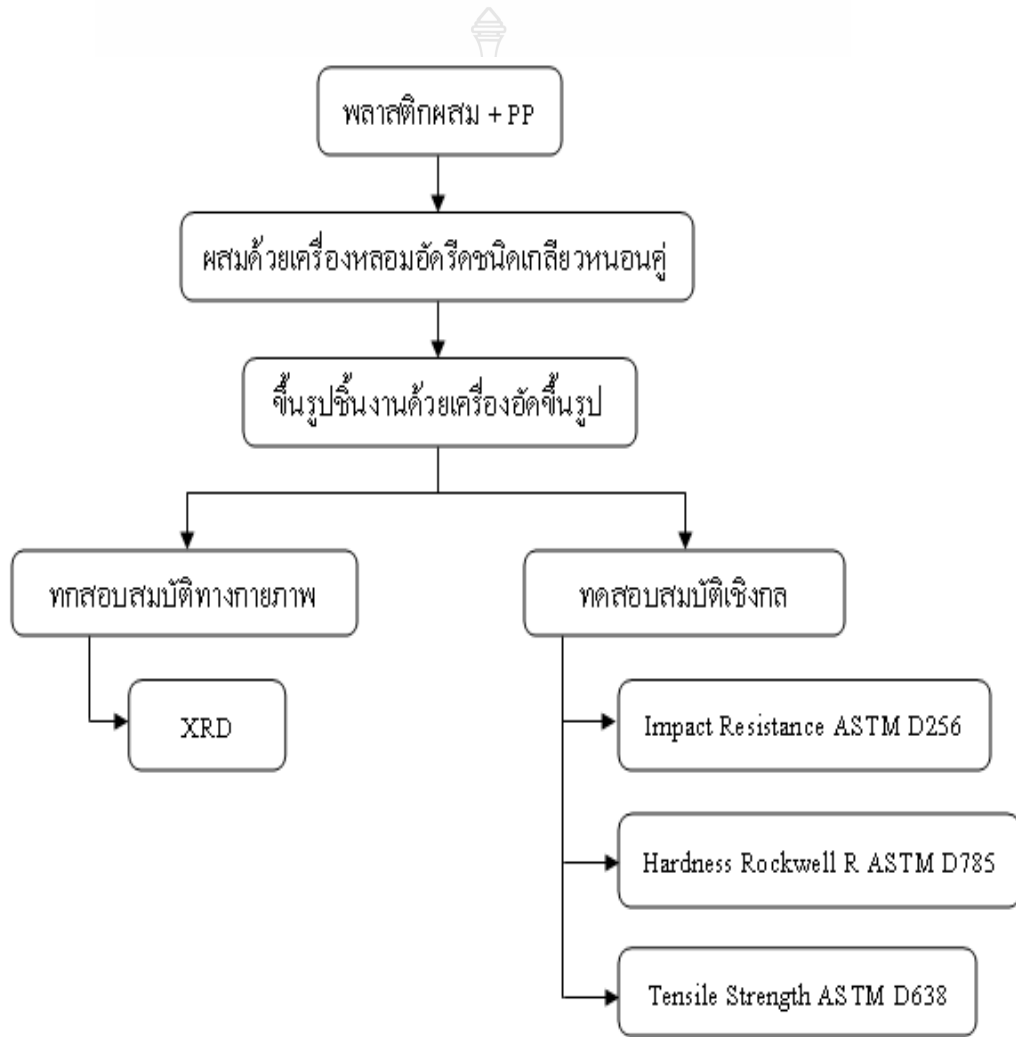
ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนผสมระหว่างพลาสติกผสมในขั้นตอนที่ 1 กับ พอลิโพรพิลีน (PP)

สูตร	พลาสติกผสม B	
	HDPE + LDPE (สูตรที่เหมาะสม)	PP
B1	0	100
B2	10	90
B3	20	80
B4	30	70
B5	40	60
B6	50	50
B7	60	40
B8	70	30
B9	80	20
B10	90	10

2) นำพลาสติกผสมที่ตัดได้ไป ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding)

3) เตรียมตัวอย่างแต่ละสูตรเพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการเตรียมโดยการฉีดด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) ให้เป็นรูปของครัมเบลล์ ขนาดของชิ้นงานทดสอบ

- 4) การทดสอบสมบัติเชิงกล ทางด้านการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก การทดสอบความแข็ง และการทดสอบสมบัติทางกายภาพ Differential Scanning Calorimetry (DSC) วัตอุณหภูมิ และHeat Flow จากการเปลี่ยนแปลงความร้อน
- 5) วิเคราะห์ผลการทดสอบในแต่ละสูตร โดยดูค่าการทดสอบความแข็ง และการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก เพื่อหาสูตรที่มีความคงรูปมากที่สุด



รูปที่ 3.2 แผนการทำงานในขั้นตอนที่ 2 ระหว่างพลาสติกผสมในขั้นตอนที่ 1 กับ PP

3.3.3 การทำงานของขั้นตอนที่ 3 เลือกสูตรจากขั้นตอนที่ 2 มา ซึ่งมีการผสมระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และ พอลิโพรพิลีน เลือกสูตรจากขั้นตอนที่ 2 มา ซึ่งมีการผสมระหว่าง HDPE, HDPE และ PP

1) นำสูตรที่เลือกได้จากขั้นตอนที่ 2 (HDPE+LDPE) และ PP มาผสมกันโดยที่ต้องผสม HDPE กับ LDPE ก่อน แล้วจึงนำไปผสมกับ PP ตามอัตราของสูตรที่เลือกด้วยเครื่อง Twin Screws

2) นำสูตร (HDPE+LDPE)+PP มาผสมกับ Nucleating Agent ซึ่งสารก่อผลึกเป็นวิธีการพัฒนาพลาสติกให้มีความใสมากขึ้น และมีความแข็งแรง ทนความร้อนได้มากขึ้นนั้นสามารถทำได้ด้วยการเติมสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่มีชื่อว่า Nucleating Agent ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติพิเศษในการเหนี่ยวนำให้พอลิเมอร์เหลวตกผลึกได้อย่างรวดเร็ว ผลึกที่ได้ก็มีขนาดเล็กกว่าปกติ และจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีความใสมากขึ้น เนื่องจากแสงผ่านโมเลกุลได้ดีกว่าเดิม มีความทรงรูปดีขึ้น และทนความร้อนดีขึ้นด้วย โดยส่วนใหญ่นิยมเติม Nucleating Agent ลงในพลาสติกจะพวกพีพี หรือพีพีโคพอลิเมอร์ ตามอัตราส่วนที่กำหนด ดังตารางที่ 3.7 โดยการใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mill) ให้อุณหภูมิที่ 180 องศาเซลเซียส

3) นำสูตร (HDPE+LDPE)+PP มาผสมกับ Nucleating Agent ตามอัตราส่วนที่กำหนด ดังตารางที่ 3.7 โดยการใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mill) ให้อุณหภูมิที่ 180 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.6 สภาวะการขึ้นรูปพลาสติกกับสารเติมแต่งระหว่าง(HDPE+LDPE+PP)+NA มาผสมกับด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที

ช่วงของสกรู	1	2	3	4	5	6
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	195	200	205	210	215	220

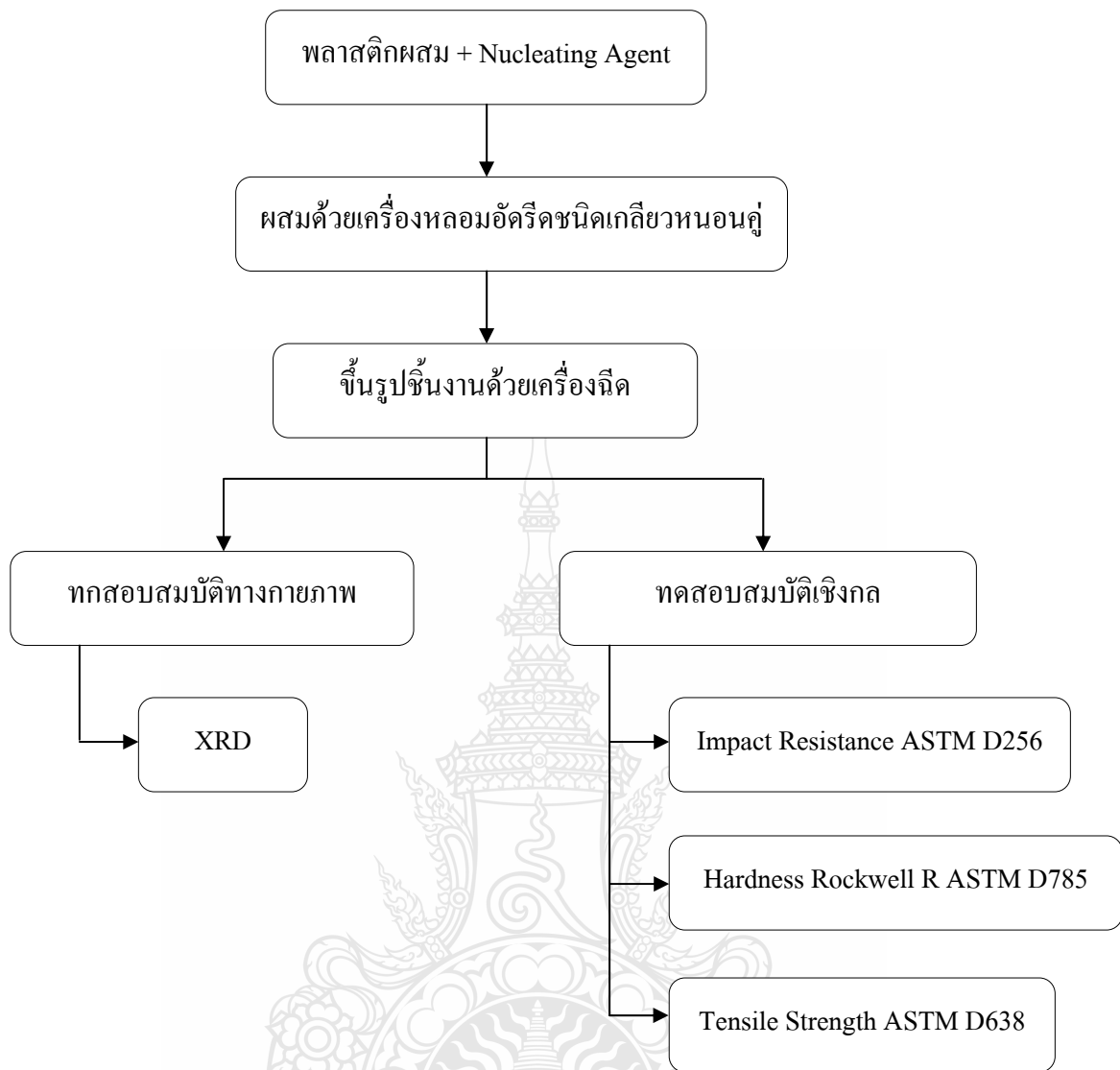
ตารางที่ 3.7 แสดงอัตราส่วนโดยการเลือกสูตรจากทั้งขั้นตอนที่ 1 และ 2 ที่ผ่านการทดสอบที่เหมาะสม ผสมกับ Nucleating Agent ในอัตราส่วนต่างๆ

สูตร	HDPE + LDPE + PP	Nucleating Agents
C1	สูตร B ที่เหมาะสม	0 %
C2	สูตร B ที่เหมาะสม	0.1 %
C3	สูตร B ที่เหมาะสม	0.2 %
C4	สูตร B ที่เหมาะสม	0.3 %
C5	สูตร B ที่เหมาะสม	0.4 %
C6	สูตร B ที่เหมาะสม	0.5 %

หมายเหตุ สูตร A คือ อัตราส่วนผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

สูตร B คือ อัตราส่วนผสมระหว่าง HDPE, LDPE และ PP

สูตร C คือ อัตราส่วนที่เหมาะสม สูตร A+B ผสมกับ Nucleating Agents



รูปที่ 3.3 แสดงการทำงานของขั้นตอนที่ 3 ระหว่าง(HDPE+LDPE+PP) กับ NA

3) นำพลาสติกผสมที่ตัดได้ไป ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding)

4) เตรียมตัวอย่างแต่ละสูตรเพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการเตรียมโดยการฉีดด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) ให้เป็นรูปของครัมเบลล์ ขนาดของชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638, สมบัติการทนต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D256 และสมบัติการทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D 785

5) การทดสอบสมบัติเชิงกล ทางด้านการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก การทดสอบความแข็ง และการทดสอบสมบัติทางกายภาพ Differential Scanning Calorimetry (DSC) วัดอุณหภูมิ และ Heat Flow จากการเปลี่ยนแปลงความร้อน

6) วิเคราะห์ผลการทดสอบในแต่ละสูตรในการทดลองขั้นตอนที่ 3 โดยดูค่าการทดสอบความแข็ง และการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก เพื่อหาสูตรที่มีความคงรูปมากที่สุด

3.4 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.1 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

1) หลักการ การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง เป็นการทดสอบเพื่อหาความทนทานของวัสดุเมื่อได้รับแรงคงที่หรือได้รับแรงอย่างช้าๆ ซึ่งจะบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง (ความแข็งแรงของการยึดเกาะระหว่างผนังไม้กับพอลิโอฟีน) ขั้นตอนทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปดรัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D 638 ความยาวเกจ (Gauge Length) 115 มิลลิเมตร ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที รายงานผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength เป็นเปอร์เซ็นต์ของการยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at Break) และค่ายังมอดูลัส (Young's Modulus) [13]

2) สภาพที่ใช้ทดสอบ

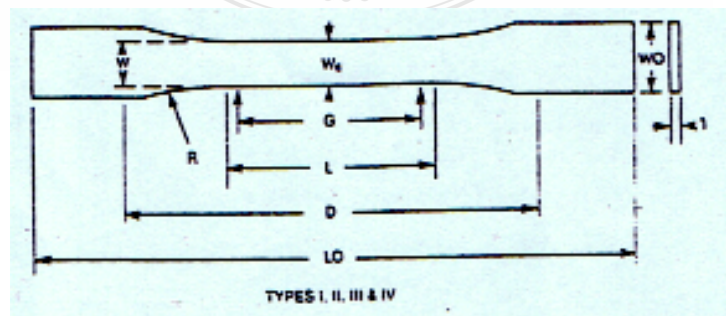
ควบคุมอุณหภูมิที่ $23 \pm 2^{\circ} \text{C}$

แรงดึงที่ใช้สำหรับตรวจสอบ 2,000 นิวตัน

อัตราเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที

ระยะในการดึง 250 มิลลิเมตร

3) การเตรียมชิ้นงาน ชิ้นงานทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงเตรียมได้โดยกระบวนการอัดขึ้นรูปให้มีขนาด $13 \times 180 \times 2$ มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 ชิ้นทดสอบรูปดรัมเบลล์

4) ขั้นตอนการทดสอบ

ก. ตั้งสถานะที่ใช้สำหรับการทดสอบ (จากหัวข้อ ข)

ข. ใส่ชิ้นงานทดสอบเข้าที่หัวจับของเครื่องทดสอบยัดให้แน่น เพื่อป้องกันการเลื่อนของชิ้นงานขณะทำการทดสอบ

ค. ตรวจสอบความพร้อมของสภาพเครื่อง และเริ่มทำการทดสอบ

ง. บันทึกข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และสรุปผล

3.4.2 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

1) หลักการ การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงกระแทก เป็นการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการดูดซับพลังงานของวัสดุจากแรงกระแทกที่ได้รับทดสอบโดยใช้ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตามมาตรฐาน ASTM D256 แบบ Izod

2) การเตรียมชิ้นงาน เตรียมชิ้นงานทดสอบโดยกระบวนการอัดขึ้นรูป จากนั้นนำไปทำการกัดให้ได้ขนาดได้วัดด้วย เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์หนา 6 มม. ยาว 60 มม. กว้าง 12.7 มม. รอยบากลึก 2.54 มม.

3) สภาพที่ใช้ทดสอบ ฐานใช้ตั้งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทดสอบตมุน้ำหนัก แขนเหวี่ยง และส่วนที่ใช้ตีกระแทกตำแหน่งที่แขวนและปล่อยตมุน้ำหนัก ควรอยู่ในตำแหน่งสูงประมาณ 610 ± 2 มม. กลไกการปล่อยตมุน้ำหนักต้องไม่ทำให้เกิดความเร่งและการสั่นของตมุน้ำหนักมีความเร็วในการเคลื่อน ตกกระทบประมาณ 3.46 ม./วินาที ที่ปากกาจับชิ้นงานไว้จับชิ้นงานทดสอบในแนวตั้ง ใช้กับชิ้นงานทดสอบที่มีความหนาดำสุด 3.17 มม.

4) ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256 [11]

การเตรียมชิ้นทดสอบขนาดความกว้าง 12.7 มม. ยาว 63.5 มม. และหนา 3.17, 6.35 มม. และ 12.7 มม. ดังรูปที่ 3.43 จากนั้นนำไปทำการบากชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ด้วยเครื่องบากชิ้นงานดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานทดสอบสมบัติการทนแรงกระแทก



รูปที่ 3.6 เครื่องบากชิ้นงาน

โดยมีขั้นตอนในการเตรียมคือ

ก. วางชิ้นงานในแนวนอน บนที่ใส่ชิ้นงานแล้วจับชิ้นงานด้วยตัวยึดและให้ชิ้นงานสัมผัสกับใบมีด

ข. เปิดเครื่อง ใบมีดจะเลื่อนขึ้นลงด้วยความเร็ว 0.3-0.7 ม./วินาที

ค. หมุนแท่นที่วางชิ้นงาน เพื่อให้ชิ้นงานเคลื่อนไปข้างหน้าใบมีดจะบากชิ้นงานตามที่ต้องการ (2.54 มม.)

หลังจากทำการบากชิ้นทดสอบตามมาตรฐานแล้วต้องพักชิ้นทดสอบไว้ 1 วัน จากนั้นจึงทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทกดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

โดยขั้นตอนการทดสอบคือ

- ก. ทำการวัดความกว้างและหนาของแต่ละชิ้นทดสอบ
 - ข. เลือกชนิดค้อนที่พลังงาน 2 จูล และทำการจับยึดกับเครื่อง
 - ค. ยกค้อนให้แขวนอยู่ในตำแหน่งขึ้น
 - ง. วางชิ้นทดสอบที่มีความลึกของรอยบากตามมาตรฐาน โดยให้ตรงมุมแหลมของรอยอยู่ตรงตำแหน่งของตัวจับชิ้นงาน
 - จ. กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆ กัน
 - ฉ. ถ้าตัวอย่างไม่เกิดการแตกหัก ให้เปลี่ยนค้อนที่มีค่าพลังงานสูงขึ้น จนกว่าจะทำให้ตัวอย่างแตกหัก
 - ช. ถ้าเกิดการแตกหัก อ่านค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตก
 - ซ. นำค่าพลังงาน (J) มาคำนวณ ตามมาตรฐาน ASTM D 256
- นำค่าพลังงานมาคำนวณตามสมการที่ (3.1) เพื่อหาค่าการทนแรงกระแทกของชิ้นงาน

$$IP = \frac{E}{An} \quad (3.1)$$

- โดยที่ IP คือ ค่าความทนต่อแรงกระแทก หน่วยเป็นจูลต่อตารางเมตร
- E คือ ค่าพลังงานดูดซับที่ชิ้นงานรับได้ หน่วยเป็นจูล
- An คือ พื้นที่ของชิ้นงาน n ตำแหน่งรอยบาก หน่วยเป็นตารางเมตร

3.4.3 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็ง แบบ Rockwell Hardness ASTM D785 การเตรียมชิ้นงาน การทดสอบ จะเตรียมตามมาตรฐาน ASTM D 785 ซึ่งชิ้นงานจะมีขนาด กว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร วิธีการทดสอบจะให้แรงกระทำมีตั้งแต่ 60-100 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับขนาด และชนิดของหัวกด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบด้วย

การทดสอบความแข็ง แบบ Shore Hardness ASTM D 2240 เป็นการวัดความแข็ง แบบ Shore Hardness โดยแท่ง Steel เตรียมชิ้นงานแบบเดียวกับ Rockwell Hardness ทดสอบโดยใช้หัวกด ชนิด Shore D ตาม เป็นหัวกดแหลม ใช้น้ำหนักกด 5 กิโลกรัม นำชิ้นงานทดสอบวางลงบนแท่นทดสอบใต้เครื่องมือวัดที่มีตุ้มน้ำหนักวางอยู่ด้านบน แล้วดันชิ้นงานขึ้นไปติดกับหัวกดจนตุ้มน้ำหนักยกขึ้นประมาณ $\frac{1}{4}$ นิ้ว จึงอ่านค่าที่ได้จากสเกล แล้วบันทึกผล Hardness D ณ ตำแหน่งการทดสอบเป็นวิธีวัดความแข็งของโลหะที่นิยมใช้มากที่สุด โดยจะวัดความแข็งจาก "ความลึก" ระยะกดที่ถูกหัวกดกดด้วยแรงลงที่ ซึ่งจะแตกต่างจากแบบ Brinell และ Vicker ที่วัดจากแรงกดต่อหนึ่งหน่วย

การทดสอบความแข็งแรงโดยใช้วิธี Rockwell Hardness

ก. เตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยกระบวนการ Compression Moulding ให้มีผิวเรียบ ทั้งพื้นผิว และมีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มม. จากนั้นปล่อยให้ได้ชิ้นงานขนาด 25x25 มม. ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ชิ้นงานทดสอบความแข็ง แบบร็อกเวลล์

ทำการทดสอบความแข็ง โดยวิธี Rockwell Hardness ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงแบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test) รุ่น DXT-1 ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็ง แบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test) รุ่น DXT-1

- ค. กดปุ่มเลือกขนาดของหัวกด และน้ำหนักกดทับหลัก (Major Load)
- ง. ข้อจำกัดในการเลือกช่วงสเกล คือ ถ้าสเกลที่อ่านได้มีค่ามากกว่า 115 หมายความว่าชิ้นงานนั้นมีพื้นผิวแข็งเกินไปที่จะอ่านค่าได้ ซึ่งความผิดพลาดสำหรับค่าที่เกินช่วงนี้จะมีอยู่สูงเพราะฉะนั้นควรเลือกหัวกดให้มีขนาดเล็กลง หรือเลือกน้ำหนักกดทับหลัก (Minor Load) ให้มีค่ามากขึ้น
- จ. กำหนดค่า LDT เป็นเวลา 15 นาที และกดปุ่ม PLT ซึ่งเครื่องจะกำหนดโดยอัตโนมัติเป็น 15 วินาที สำหรับพลาสติก
- ฉ. กดปุ่ม Load ซ้ำอีกครั้งเพื่อให้หน้าปัดแสดงค่าสเกลช่วงที่อ่านแบบ HRF หรือ HRC พร้อมทั้ง SET ศูนย์ไปโดยอัตโนมัติ
- ช. จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบมาวางบนแท่นรอง (Anvil)
- ซ. หมุนก้านส่งน้ำหนัก โดยสังเกตจากไฟสีแดงจะขึ้นจากตำแหน่งต่ำสุดจนถึงตำแหน่ง SET แล้วจึงหยุดหมุน
- ฅ. ไฟตำแหน่ง Set จะเลื่อนไปที่ตำแหน่ง Start แล้วเครื่องจะทำการอ่านค่าความแข็งโดยขณะที่ไฟ Start ติดอยู่เครื่องทดสอบก็จะวางน้ำหนักกรอนไฟที่ตำแหน่ง Start กับ จึงอ่านค่าที่ได้บนหน้าปัดและรอเวลาในการให้น้ำหนักตามที่ได้ตั้งไว้

3.5 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

3.5.1 การทดสอบ Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Differential Scanning Calorimetry หรือเรียกย่อๆว่า DSC ซึ่งวัดอุณหภูมิ และ Heat Flow จากการเปลี่ยนแปลงความร้อน (thermal transition) ของวัสดุเปรียบเทียบกับ อุณหภูมิหรือเวลา ทำให้ได้ข้อมูลทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณ (Qualitative and Quantitative) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดหรือคายความร้อน (Endothermic or Exothermic Processes) หรือการเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน (Heat Capacity changes) จึงนำมาใช้เพื่อศึกษาสมบัติที่เป็น ลักษณะพิเศษของวัสดุต่างๆ ทดสอบโดยการนำชิ้นบรรจุลงภาชนะบรรจุ (Pan) โดยใช้สภาวะการ

อุณหภูมิเริ่มต้น	40 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสูงสุด	300 องศาเซลเซียส
อัตราการเพิ่มขึ้น	20 องศาเซลเซียส / นาที

หาอุณหภูมิการหลอมตัว (Melting Temperature; T_m) ของพลาสติกผสมโดยใช้เครื่อง DSC มีขั้นตอน การวิเคราะห์ดังนี้

- ก. เตรียมตัวอย่าง โดยการตัดเส้นใยเป็นชิ้นเล็กๆ ให้ได้น้ำหนักประมาณ 10-15 มิลลิกรัม

ข. นำมาทดสอบโดยเครื่อง DSC ดังรูปที่ 3.10 โดยให้ความร้อนในอัตรา 20°C/min จากอุณหภูมิ 40-300°C



รูปที่ 3.10 เครื่องตรวจวัดความแตกต่างของพลังงาน Perkins-Elmer DSC TAC

3.5.2 การทดสอบ X-ray Diffractometer (XRD)

XRD เป็นเครื่องมือที่ใช้ ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ สารประกอบและแร่ ทำ สามารถแยกแยะประเภท และชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติ ว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด หรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสี ที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูล มาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิด มีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม ที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ ก็แตกต่างกันไปด้วย ขึ้นอยู่กับขนาดและประจุของอะตอม สารประกอบแต่ละชนิด จะมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัว . จากหลักการทำงานของ XRD มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์วัสดุที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เหล็ก สูตรทางเคมีคือ Fe แต่มีโครงสร้างผลึกหลายรูปแบบ เช่น Body Center Cubic (BCC), Face Center Cubic (FCC)

วิเคราะห์วิฤภาค โครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐาน ข้อมูลมาตรฐาน (Phase Analysis) และขั้นตอนการเตรียมคือ

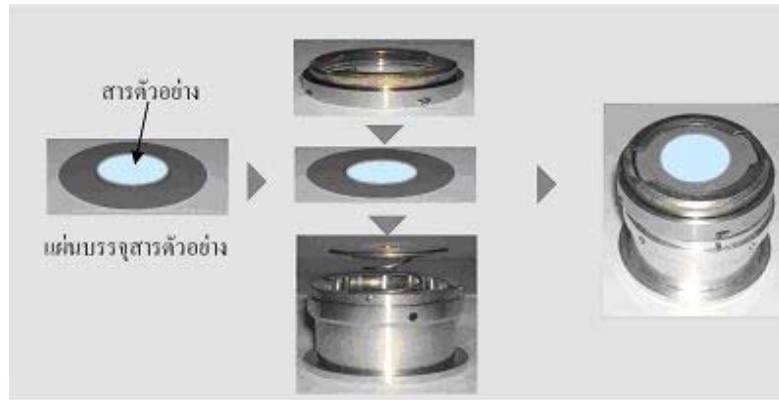
ก. บดตัวอย่างงานกระเบื้อง ให้ละเอียดเป็นผงแล้วอัดลง Sample Holder ใช้กระจกอัดให้แน่น ปาดด้วย Spatula ให้เรียบ นำตัวอย่างเข้าเครื่องวัด

ข. เข้าโปรแกรม XRD Wizard เพื่อตั้งค่าการวัดตัวอย่าง

ค. เข้าสู่โปรแกรม XRD Comm Ander

ง. เข้าโปรแกรม EVA เพื่อทำการตัด Background และการตัด K

จ. ทำการ Search/Match ของสารตัวอย่างที่ทำการวัดหลังจากการตัด Background



รูปที่ 3.11 ลักษณะการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

งานวิจัยศึกษาการศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และ พอลิโพรพิลีน โดยในการทดสอบพลาสติกผสมโดยผ่านกระบวนการอัดรีดสกรูคู่ โดยขั้นตอนกระบวนการทดสอบเป็น 3 ขั้นตอน และเมื่อมีการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพพลาสติกผสม เมื่อได้พลาสติกผสมที่มีคุณสมบัติเหมาะสมแล้วมีการเติมสารก่อผลึกเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล โดยได้ผลการทดสอบเป็นไปดังนี้

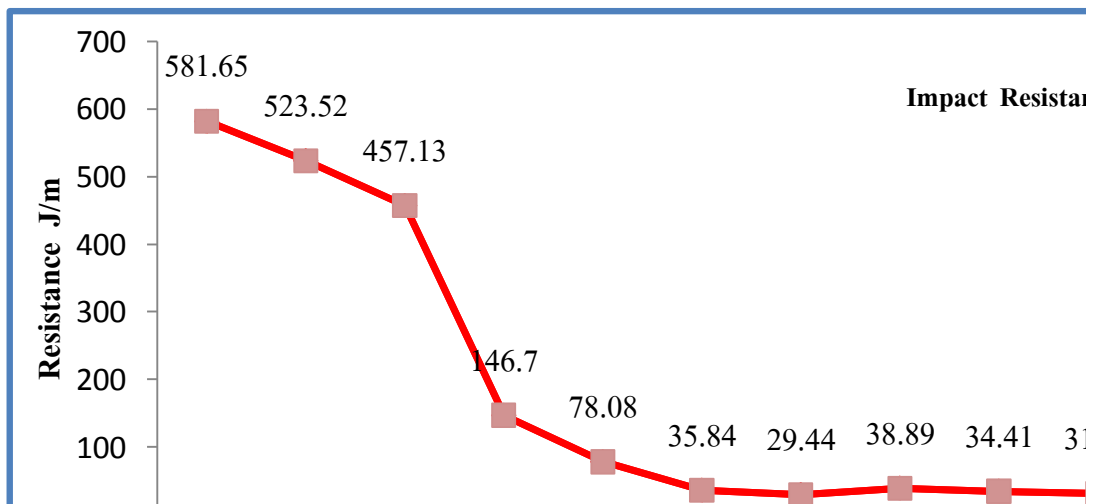
4.1 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

4.1.1 จากการทดสอบเมื่อได้พลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE ตามสูตร A1–A11 ดังตารางที่ 3.3 โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ผลจากการทดลองเมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่ามีสีขาวขุ่น มันวาว ไม่มีความแตกต่างจากเม็ดพลาสติกเดิมมากนัก มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบแฟลชตีกรอบ ขนาด 20x20 ซม. ความหนา 3 มม. และ 6 มม. ลักษณะชิ้นงานที่ได้ สังเกตได้พบว่าเป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกล

4.1.2 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance) ของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance : IR) ของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

สูตร	อัตราส่วน HDPE:LDPE	IR (J/m)	สูตร	อัตราส่วน HDPE:LDPE	IR (J/m)
A1	0:100	581.65	A7	60:40	29.44
A2	10:90	523.52	A8	70:30	38.9
A3	20:80	457.13	A9	80:20	36.41
A4	30:70	146.7	A10	90:10	31.36
A5	40:60	78.08	A11	100:0	30.01
A6	50:50	35.84			



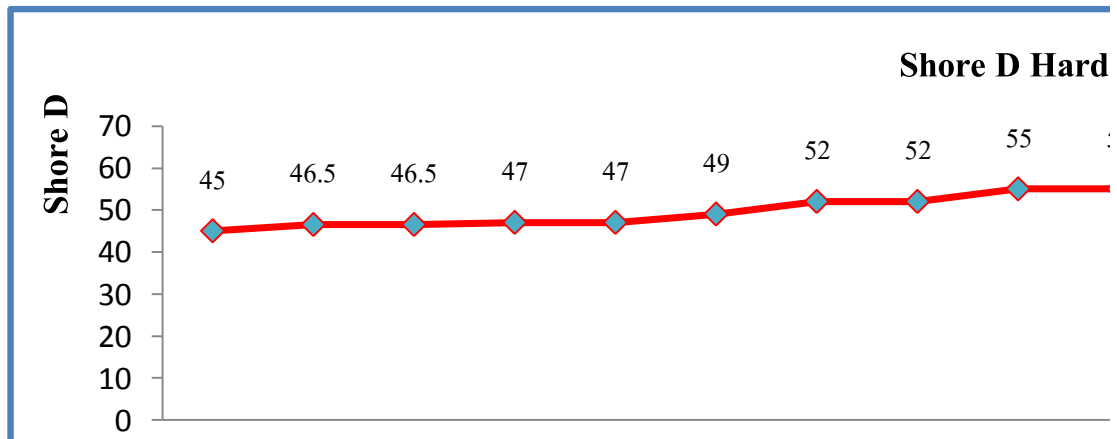
รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

จากผลการทดสอบจะพบว่า LDPE 100% มีความทนแรงกระแทก 531.65 J/m และ HDPE 100% มีความทนแรงกระแทก 30.01 J/m ในระยะแรกจนถึง A5 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วน HDPE มีอิทธิพลต่อสมบัติการทนแรงกระแทกของพลาสติกผสมให้ตกลงมากขึ้นตามอัตราส่วน HDPE ที่มากขึ้น จนกระทั่งที่อัตราส่วน HDPE 50% คือ A 6 จนถึง HDPE เป็น 100% พบว่าค่าการทนแรงกระแทกมีความแตกต่างกันน้อยมากถือได้ว่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนของ HDPE เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้โครงสร้างของพลาสติกผสมมีความใกล้เคียงกับโครงสร้างของ HDPE มาก จึงทำให้การเพิ่มอัตราส่วน HDPE ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป ไม่ส่งผลต่อสมบัติการทนแรงกระแทกของพลาสติกผสม

4.1.3 ผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ (Shore D Hardness) ของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ Shore D Hardness การเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

สูตร	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
ค่าความแข็ง (Shore D)	45	46.5	46.5	47	47	49	52	52	55	55	60



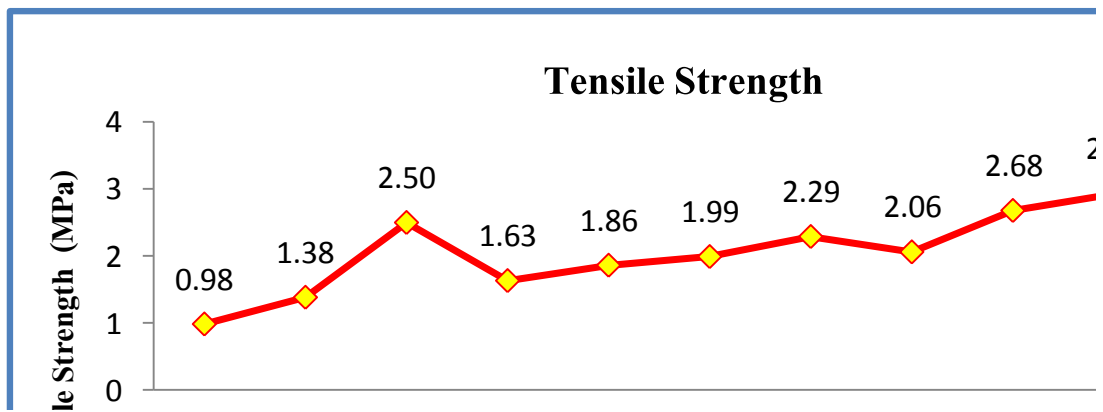
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ Shore D Hardness
ของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน LDPE 100% ได้ค่าความแข็ง 45 Shore D และ HDPE 100% ได้ค่าความแข็ง 60 Shore D และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ HDPE ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของ LDPE มีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบจึงทำให้มีค่าความแข็งน้อยกว่า HDPE ที่โครงสร้างจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบ เมื่อนำวัสดุทั้งสองมาผสมกัน การจัดเรียงตัวจะมีความเป็นระเบียบมากกว่า LDPE 100% เมื่อปริมาณของ HDPE เพิ่มขึ้น โครงสร้างก็จะมีความเป็นระเบียบมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

4.1.4 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Properties) ของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

สูตร	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A10
Tensile Strength(MPa)	0.98	1.38	2.50	1.63	1.86	1.99	2.29	2.06	2.68	2.93	3.06



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

จากการทดลองพบว่า เมื่อพิจารณาจากกราฟโดยรวมตั้งแต่สูตร A1-A11 ค่า Tensile Strength จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก 0.98 MPa ไปจนถึง 3.06 MPa ที่เป็นเช่นนี้เพราะในสูตร A1 เป็น LDPE 100% ค่าการทนแรงดึงจึงต่ำเนื่องจาก LDPE มีการจัดเรียงตัวแบบ Amorphous สูตรถัดไป จำนวนของ LDPE จะลดลงตามอัตราส่วนและจำนวนเปอร์เซ็นต์ของ HDPE จะเพิ่มขึ้นกราฟ Tensile Strength จะค่อย ๆ สูงขึ้นเพราะ HDPE จะมีโครงสร้างที่เป็น Semi-Crystalline จึงสามารถทนแรงดึงได้มากกว่า LDPE ที่มีโครงสร้างแบบ Amorphous ยิ่งเปอร์เซ็นต์ของ HDPE เพิ่มขึ้น การทนต่อแรงดึงก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่สำหรับค่าในสูตร A3 ที่เป็น HDPE 20% และ LDPE 80% ค่าการทนแรงดึงสูงถึง 2.50 MPa เนื่องจากการทดสอบ DSC จะพบว่าในสูตร A3 ลักษณะของ Peak เป็น 2 Peak ซึ่งแสดงว่าในสูตรนี้เกิดการแยกเฟสของพลาสติกผสม ทำให้อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ HDPE ส่งผลให้ค่าการทนแรงดึงสูงขึ้น โดยได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวว่าโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่มีการแยกเฟส คุณสมบัติที่ได้จากโครงสร้างเฟสที่เตรียมโดยวิธีดังกล่าวนี้ ยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนและข้อสรุปไม่อยู่ในแนวทางเดียวกัน แต่การเตรียมโครงสร้างเฟสที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ รวมถึงอัตราส่วนในการผสม เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างเฟสและคุณสมบัติทางกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงของการดึงของสารที่เตรียมได้โครงสร้างที่เกิดการแยกเฟสจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม [6] ซึ่งดูจากตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ DSCของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

สูตร	เป็นเนื้อเดียวกัน	อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature)		
		Peak 1	Peak 2	Peak 3
A1	√	112.57	-	-
A2	√	143.56	-	-
A3	x	106.59	128.98	-
A4	x	105.55	127.91	-
A5	√	135.01	-	-
A6	√	133.68	-	-
A7	√	133.16	-	-
A8	√	132.87	-	-
A9	√	136.85	-	-
A10	√	138.87	-	-
A11	√	130.59	-	-

4.2 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

4.2.1 เมื่อได้พลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE ที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 โดยเลือกสูตร A3 มาผสมกับ PP โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ดังตารางที่ 3.4 ผลจากการทดลองเมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่าไม่มีสีขาวขุ่น มันวาว ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบพลาสติกกรอบ ขนาด 20x20 ซม. ความหนา 1 มม., 3 มม. และ 6 มม. ลักษณะชิ้นงานที่ได้ สังเกตได้พบว่าเป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกล โดยทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก ความแข็ง การทนต่อแรงดึง และสมบัติทางกายภาพโดยวัด DSC และ XRD โดยค่าการทดสอบ XRD ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลของการทดสอบหาโครงสร้างผลึกโดยใช้ XRD ของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

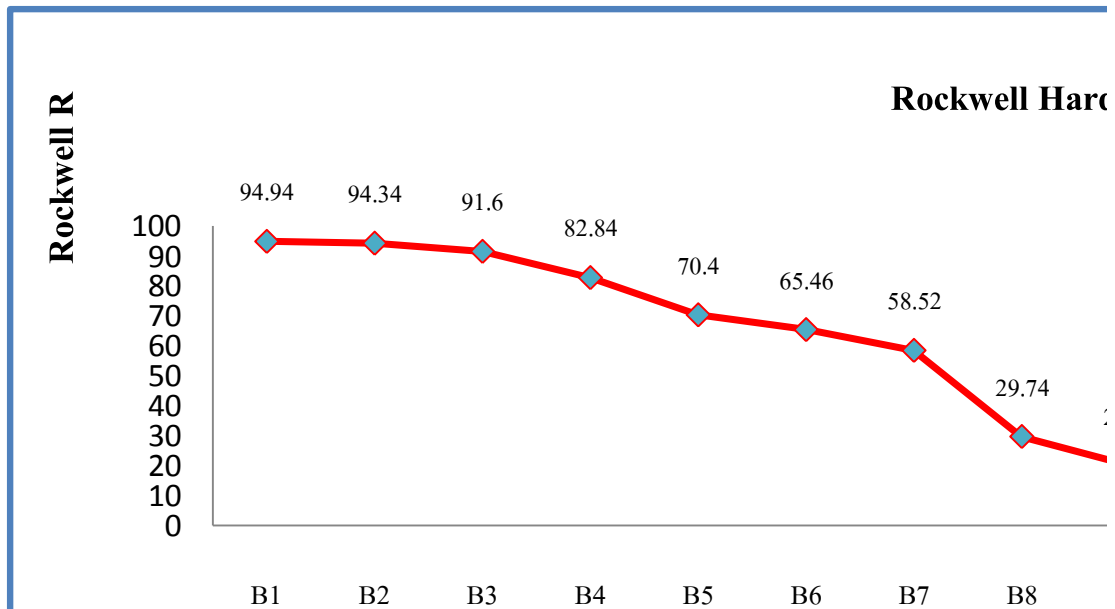
สูตร	อัตราส่วน	โครงสร้างผลึก
B1	PP 100 %	Rhombohedral
B2	(HDPE80% :LDPE 20%) 10% : PP 90 %	Tetragonal
B3	(HDPE80% :LDPE 20%) 20% : PP 80 %	Orthorhombic
B4	(HDPE80% :LDPE 20%) 30% : PP 70 %	Tetragonal
B5	(HDPE80% :LDPE 20%) 40% : PP 60 %	Orthorhombic
B6	(HDPE80% :LDPE 20%) 50% : PP 50 %	Hexagonal
B7	(HDPE80% :LDPE 20%) 60% : PP 40 %	Rhombohedral
B8	(HDPE80% :LDPE 20%) 70% : PP 30 %	Tetragonal
B9	(HDPE80% :LDPE 20%) 80% : PP 20 %	Orthorhombic
B10	(HDPE80% :LDPE 20%) 90% : PP 10 %	Orthorhombic
B11	(HDPE80% :LDPE 20%) 100 %	Rhombohedral

4.2.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ Rockwell Hardness ของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

การทดสอบค่าความแข็งในขั้นตอนที่ 2 ใช้การทดสอบแบบ Rockwell Hardness เนื่องจาก เมื่อวัดการค่าความแข็งแบบ Shore D Hardness ค่าความแข็งสูงเกินที่กำหนดจึงเปลี่ยนเป็นการทดสอบความแข็งแบบ Rockwell Hardness

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

สูตร	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B 10
ค่าความแข็ง	94.94	94.34	91.6	82.84	70.4	65.46	58.52	29.74	20.16	20.12



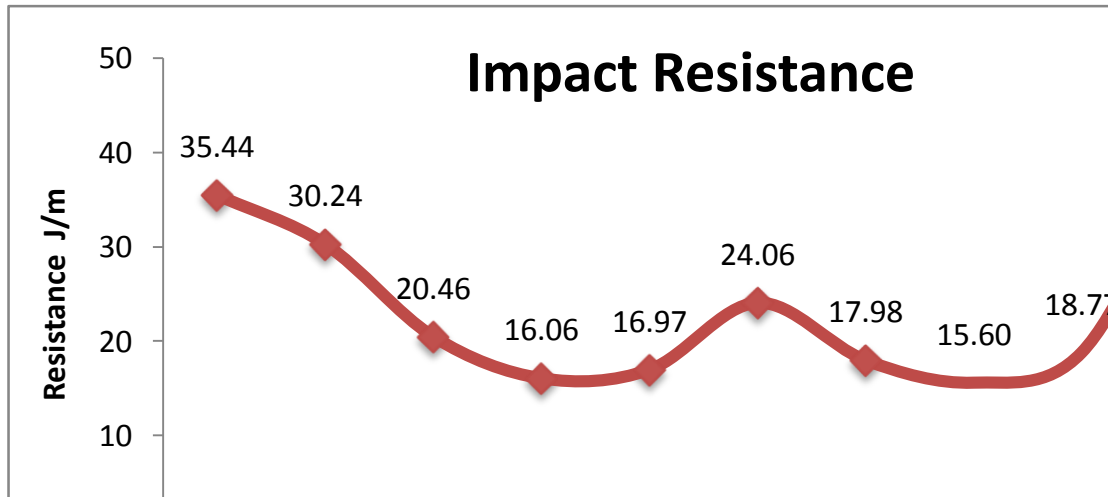
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าความแข็งของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

จากการทดลองจะพบได้ว่า สูตร B1 (PP 100%) จะมีค่าความแข็งมากเพราะ PP มีโครงสร้างเป็นแบบเชิงเส้น ปราศจากกิ่งก้านสาขาแยกจากสายโซ่หลักของโมเลกุลและมีหมู่เมทิล (-CH₃) ต่อกับอะตอมของคาร์บอนจึงทำให้ความแข็งสูง ดังนั้นจึงมีความแข็งมากกว่า HDPE+LDPE เมื่อนำ HDPE+LDPE ไปผสมกับ PP ในเปอร์เซ็นต์ของ HDPE+LDPE ที่มากขึ้นจึงทำให้ค่าความแข็งของพลาสติกผสมลดลง เพราะ HDPE+LDPE มีค่าการยึดตัวที่สูงแต่ความแข็งต่ำจึงทำให้ความแข็งแรงของ PP ลดลงแต่การยึดตัวของ PP ผสมกับ HDPE+LDPE จะเพิ่มมากขึ้น

4.2.3 ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance) ของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบ Impact Resistanceของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

สูตร	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B 10
IR (J/m)	35.44	30.24	20.46	16.06	16.97	24.06	17.98	15.6	18.77	39.28



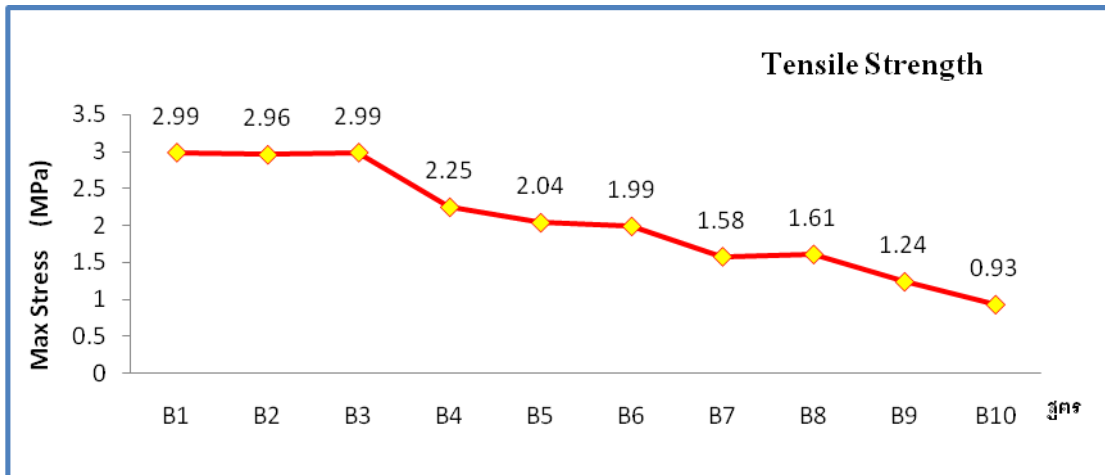
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าในสูตร B1 ถึง B5 มีค่าการทนต่อแรงกระแทกแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เพราะว่าปริมาณของ PP มากกว่า A3 ทำให้อิทธิพลของ PP ส่งผลต่อค่าการทนแรงกระแทกเมื่อ PP ลดลง ค่าการทนต่อแรงกระแทกก็ลดลง ที่สูตร B6 ค่าการทนต่อแรงกระแทก สูงขึ้น เนื่องจาก ปริมาณของ สูตร A3 เท่ากับ ปริมาณของ PP จากผลการทดสอบ XRD พบว่าสูตร B6 มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะ โกนอลที่พบในสูตร B6 ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกที่มีความสมมาตรมาก ส่งผลให้สมบัติความทนแรงกระแทกของพลาสติกผสมสูงขึ้น สูตร B7 ถึง B9 ค่าการทนแรงกระแทก มีแนวโน้มสูงขึ้นเพราะ อิทธิพลของ สูตร A3 เริ่มมีบทบาทมากขึ้น เนื่องจากภายใต้แรงเฉือนในกระบวนการอัดรีด พอลิเมอร์ผสมสามารถเกิดการแยกเฟสหรือเกิดการผสมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันมากขึ้นก็ได้พฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์ผสมภายใต้การอัดรีดในอัตราส่วนที่แตกต่างกันของแต่ละอัตราส่วนการแยกเฟสจึงต่างกัน โดยจะทำการศึกษาในส่วนศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิง โมเลกุล (Molecular Characteristics) ของพอลิเมอร์ผสมกับความไม่สม่ำเสมอของการไหล [7]

4.2.4 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Properties) ของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

สูตร	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9	B 10
Max Stress (MPa)	2.99	2.96	2.99	2.25	2.04	1.99	1.58	1.61	1.24	0.93



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

จากการทดลองจะพบได้ว่า B1 มีค่าการทนแรงดึงสูงเนื่องจากโครงสร้าง PP เป็นลักษณะเชิงเส้นปราศจากกิ่งก้าน มีหมู่เมทิลอยู่ภายในโครงสร้างจึงทนแรงดึงสูง ในสูตรของ B2 และ B3 PP ยังมีอิทธิพลเหนือกว่าจึงทำให้ค่าใกล้เคียงกัน เมื่อ เปอร์เซ็นต์ของ A3 เพิ่มขึ้นเป็น 30% ขึ้นไปอิทธิพลของ A3 มีบทบาทเข้ามาเพิ่มขึ้นทั้งนี้เพราะ โครงสร้างเริ่มอยู่กันอย่างหลวมๆ เพราะสายโซ่โมเลกุลจาก A3 ที่มีกิ่งก้านสาขาจึงทำให้ค่าการทนแรงดึงลดลง

4.3 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง LDPE, HDPE และ PP ที่เหมาะสมเมื่อเติมสารก่อผลึก

4.3.1 อัตราส่วนของพลาสติกผสมระหว่าง LDPE, HDPE และ PP โดยการเติมสารก่อผลึก (Nucleating Agent) ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.5 โดยการผสมพลาสติกทั้ง 3 ชนิดด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ผลจากการทดลองเมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่า มีสีขาวขุ่น มันวาว ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก จากนั้นนำพลาสติกผสมมาเติมสารก่อผลึก (Nucleating Agent) โดยวิธีการใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งจะได้พลาสติกผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นขาวขุ่นทึบแสง เมื่อนำไปผ่านกระบวนการ

อัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบแฟลชดีกรอบ ขนาด 20x20 ซม. ความหนา 1 มม., 3 มม. และ 6 มม. ลักษณะชิ้นงานที่ได้ สังเกตได้พบว่าเป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกล โดยทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก ความแข็ง การทนต่อแรงดึง และสมบัติทางกายภาพโดยวัด XRD

4.3.2 ผลการทดสอบเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction)

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบ XRD พลาสติกผสมระหว่าง LDPE, HDPE และ PP ที่เหมาะสมเมื่อเติมสารก่อผลึก

สูตร	อัตราส่วน	โครงสร้างผลึก
C1	(HDPE 20%+LDPE80%) 50% +PP 50%	Hexagonal
C2	(HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.1%	Orthorhombic
C3	(HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.2%	Hexagonal
C4	(HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.3%	Orthorhombic
C5	(HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.4%	Orthorhombic
C6	(HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.5%	Orthorhombic

หมายเหตุ สูตร C1 คือสูตร B6 ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เพื่อนำมาเปรียบเทียบ

จากการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction) พบว่า สูตร C3 คือการสารก่อผลึก ในปริมาณ 0.2% มีโครงสร้าง แบบ Hexagonal จึงเลือกสูตรนี้มาทำทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อเปรียบเทียบกับสูตร C1

4.3.3 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสมบัติระหว่าง C1 (HDPE+LDPE+PP) กับ C3 (HDPE+LDPE+PP) + Nucleating Agent 0.2

ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง (HDLD+LDPE+PP) กับ
(HDPE+LDPE+PP) + Nucleating Agent 0.2 %

สมบัติของพลาสติกผสม	HDLD+LDPE+PP	(HDLD+LDPE+PP) + Nucleating Agent 0.2%
Notched Izod at RoomTemp. (J/m)	24.06	32.19
Hardness Rockwell R	58.52	70.4
Tensile Strength σ (Mpa)	1.58	15.75
Volume of Cell 10^6 pm^3	143.42	1492.17

จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่าที่ได้จากการเติม สารก่อผลึก (Nucleating Agent) 2% สมบัติของพลาสติกผสมจะเพิ่มขึ้น ดังตารางซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย ของ Xu *et al.* (2003) ได้ศึกษาผลกระทบของ Nucleating Agent ที่มีผลต่อโครงสร้างของผลึกของโพลิโพรพิลีนพบว่าเมื่อเติม โซเดียมเบนโซเอต (Nucleating Agent) ลงไปจะมีผลทำให้อุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึก (Crystallin temperature) สูงขึ้น ปริมาณของผลึกเพิ่มมากขึ้น และอัตราเร่งในการเกิดผลึกเร็วขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพลาสติกเพิ่มสูงขึ้นในการศึกษาทางด้าน โครงสร้างผลึกหรือ โครงสร้าง โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ผ่านมา เป็นการศึกษาโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัด เช่น X-ray Diffraction โดยที่ โดยนำเทคนิคดังกล่าวนี้ไปใช้ในการศึกษาทางด้านพอลิเมอร์ด้วย คือ (1) การเปลี่ยน จากสาร โมเลกุลเล็กเป็นสาร โมเลกุลใหญ่หรือพอลิเมอร์ของผลึกเดี่ยวของ Diethyl *trans*-*cis*- muconate ภายใต้การกระตุ้นจากลำแสง X-ray (2) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก Orthorhombic Phase เป็น Hexagonal Phase ของ *trans*-*cis*-alkane และ Polyethylene โดยที่ Hexagonal Phase จะเกิด ณ อุณหภูมิ ใกล้จุดหลอมเหลวของสารดังกล่าว ด้านการเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ [9]

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

จากการศึกษาพัฒนาสมบัติของพลาสติกผสม ให้มีสมบัติที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ HDPE, LDPE และ PP โดยอาศัยทฤษฎีทางด้านสมบัติของพลาสติกทั้งสามชนิดที่เป็นพลาสติกในกลุ่มโพลีเอทิลีนที่มีไฮโดรคาร์บอน ที่จะเกิดการสร้างพันธะกันเองได้และมีการเติมสารก่อผลึก เพื่อเพิ่มความเป็นผลึกที่จะส่งผลให้สมบัติของพลาสติกดีขึ้น ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่า

5.1.1 ขั้นตอนของการเลือกพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE ของขั้นตอนที่ 1 สามารถเลือกสูตร A3 (HDPE 20% + LDPE 80%) เนื่องจากเมื่อได้พิจารณาจากพลาสติกผสมของแต่ละสูตรพบว่าสูตร A3 มีสมบัติที่เหมาะสมโดยที่ค่าการทนต่อแรงกระแทกเท่ากับ 457.13 J/m, การทนต่อแรงดึง 2.50 MPa และค่าความแข็ง 46.5 Shore D มีความเหมาะสมกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ

5.1.2 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสมกับ PP ของขั้นตอนที่ 2 สามารถเลือกสูตร B6 (HDPE + LDPE) 50% +PP 50%) เมื่อพิจารณาจากการทดสอบ X-Ray Diffraction ดูโครงสร้างผลึกที่เป็น Hexagonal ซึ่งมีความสมมาตรมากจึงส่งผลให้สมบัติการทนแรงกระแทกของพลาสติกผสมสูงขึ้นด้วยคือ 65.46 Rockwell R

5.1.3 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง LDPE, HDPE และ PP ที่เหมาะสมเมื่อเติมสารก่อผลึก ของขั้นตอนที่ 3 สามารถเลือกสูตร C3 (HDPE + LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.2% ทั้งนี้เพราะว่า ในการเติมสารก่อผลึกที่ 0.2% พลาสติกผสมจะมีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal เมื่อพิจารณาจากการทดสอบ X-Ray Diffraction ในการเลือกโครงสร้างผลึกจากนั้นนำสูตรที่เลือกทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อเปรียบเทียบค่าของสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสมระหว่าง (HDPE + LDPE) 50% +PP 50%) และ (HDPE + LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.2 % จะพบว่าในการเติมสารก่อผลึกมีผลทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้นคือจาก 1.58 MPa เป็น 15.75 MPa

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาในส่วนของการเข้ากันได้ของพลาสติกผสม โดยมีการทดสอบ SEM เพื่อเป็นการยืนยันผล

5.2.2 ควรเพิ่มสารประสาน (Coupling Agent) ในกระบวนการผลิตเพื่อช่วยในการผสมให้เข้ากันได้มากขึ้น

5.2.3 ควรใช้เทคนิคใหม่ ๆ ในการผสมสารเติมแต่งกับพลาสติกผสมเพื่อให้ค่าความเคลื่อนน้อยลง



เอกสารอ้างอิง

- [1] บรรณเลข ศรีนิล, 2546. เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 19. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี
- [2] ชลธิชา นุ่มหอม, 2538. พอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : พรสิวกการพิมพ์.
- [3] อรุษา สรวารี, 2546. สารเติมแต่งพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] มานพ ต้นตระกูล, 2548. วัสดุวิศวกรรม (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ : สสท.
- [5] เจริญ นาคะสรรค์, 2542. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. กรุงเทพฯ : โฟร์เพช.
- [6] จินตมัย สุวรรณประทีป, 2547. การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)
- [7] ทองใหญ่, สุภกนก, เหมะจันทร์ เข้มชัย, Thongyai S, Hemachandra K. 2004. โครงสร้างและสมบัติพอลิเมอร์ผสมที่มีการแยกเฟส
- [8] ดีประเสริฐกุล, จันทิมา, Deeprasertkul C. 2005. การศึกษาความไม่สม่ำเสมอของการไหลของพอลิเมอร์ผสมในกระบวนการอัดรีด.
- [9] ซอบีเราะห์ การ์โย, 2543. การศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์โดยการวัด X-ray และ Raman Scattering ในเวลาเดียวกัน
- [10] แม้น อมรสิทธิ์, 2552. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ม.ป.ท.
- [11] J. González, et al. "Effects of Coupling Agents on Mechanical and Morphological Behavior of the PP/HDPE Blend with Two Different CaCO₃." Polymer. 38 (2002) : 2465-2475.
- [12] S. Kwon, et al. "Tensile Property and Interfacial Dewetting in the Calcite filled HDPE, LDPE, and LLDPE Composites." Polymer. 43 (2002) : 6901-6909.
- [13] ASTM DESIGNATION : D638-93, Standard test method for tensile properties of plastic.
- [14] ASTM DESIGNATION : D256, Standard test method for determining the pendulum impact resistance of notched.
- [15] ASTM DESIGNATION : D1706 , Standard test method for tensile property-Durometer Hardness.
- [16] Moffatt , W. G. ,The Structure and Properties of Materials,Vol I , John wiley and Sons ,Inc.,1967



ภาคผนวก ก

ลักษณะทางกายภาพของวัสดุและสารเคมี



รูปที่ ก.1 เม็ดโพลีโพรพิลีน



รูปที่ ก.2 เม็ดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ ก.3 เม็ดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ ก.4 สารก่อผลึก (Nucleating Agents) NU-100

ภาคผนวก ข
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงาน





รูปที่ ข.1 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง



รูปที่ ข.2 เครื่องอัดขึ้นรูป



รูปที่ ข.4 เครื่องทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก



รูปที่ ข.5 เครื่องบากชิ้นทดสอบการทนต่อแรงกระแทก



รูปที่ ข.6 เครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง



รูปที่ ข.7 เครื่องอัดขึ้นรูปแบบสกรูคู่



รูปที่ ข.8 เครื่อง XRD (X-ray Diffractometer)



รูปที่ ข.9 เครื่องทดสอบ Shore Hardness

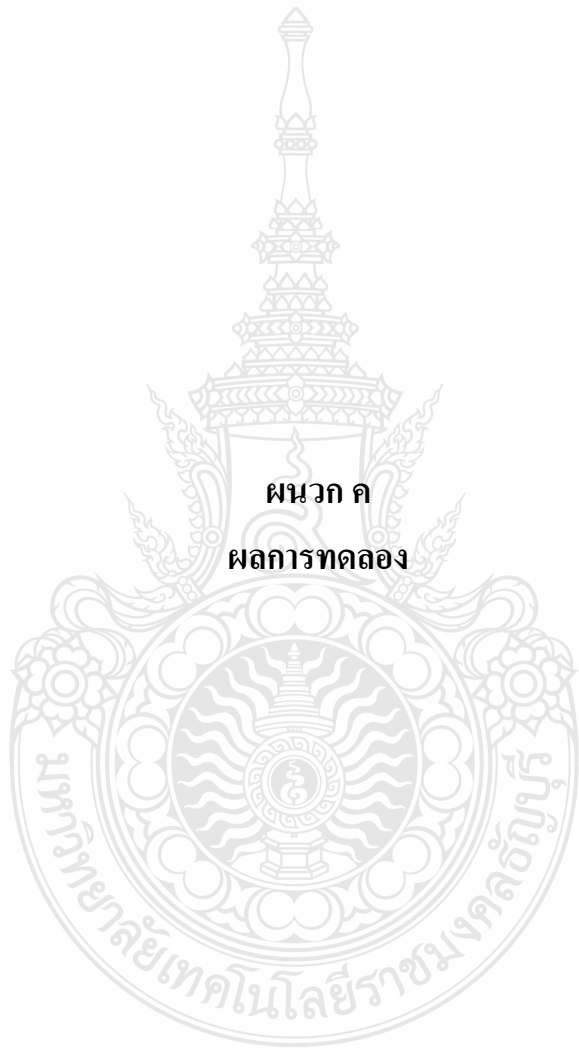


รูปที่ ข.10 เครื่องทดสอบ Hardness Rockwell R

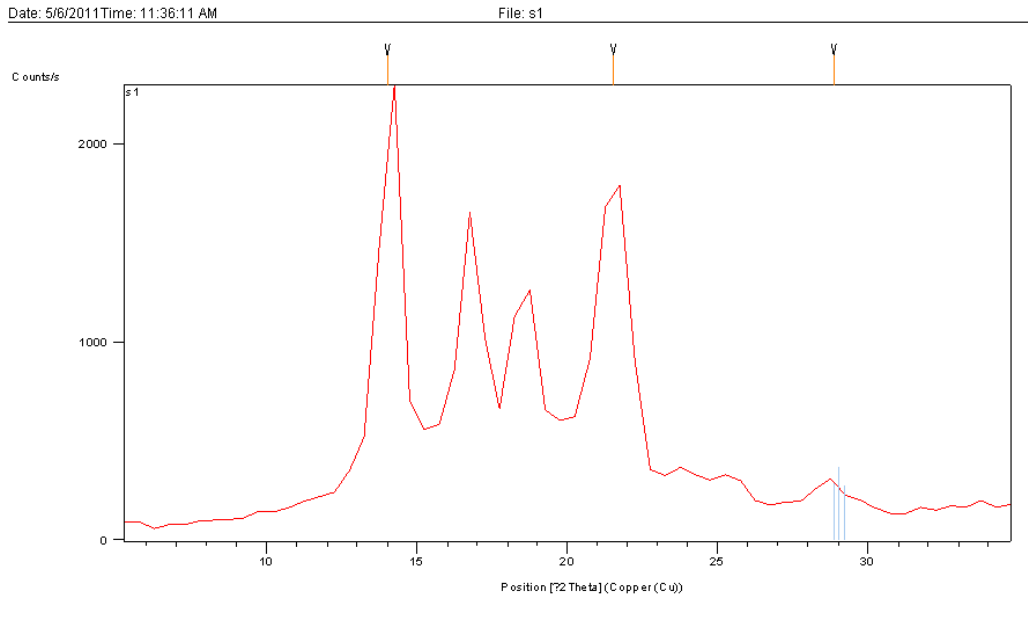


รูปที่ ข.11 เครื่องทดสอบ Differential Scanning Calorimeter

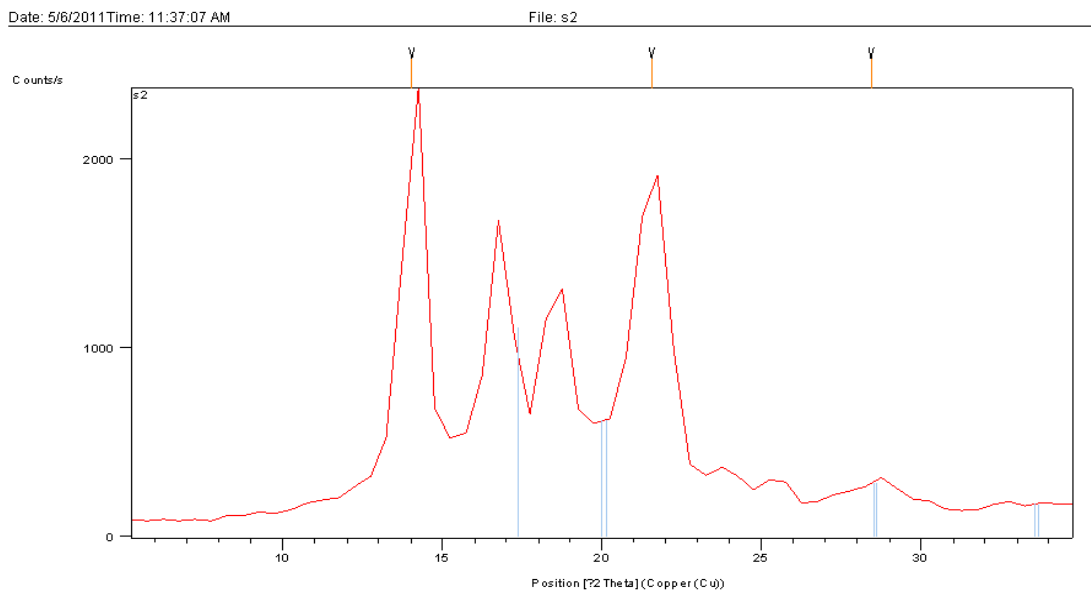
ผนวก ค
ผลการทดลอง



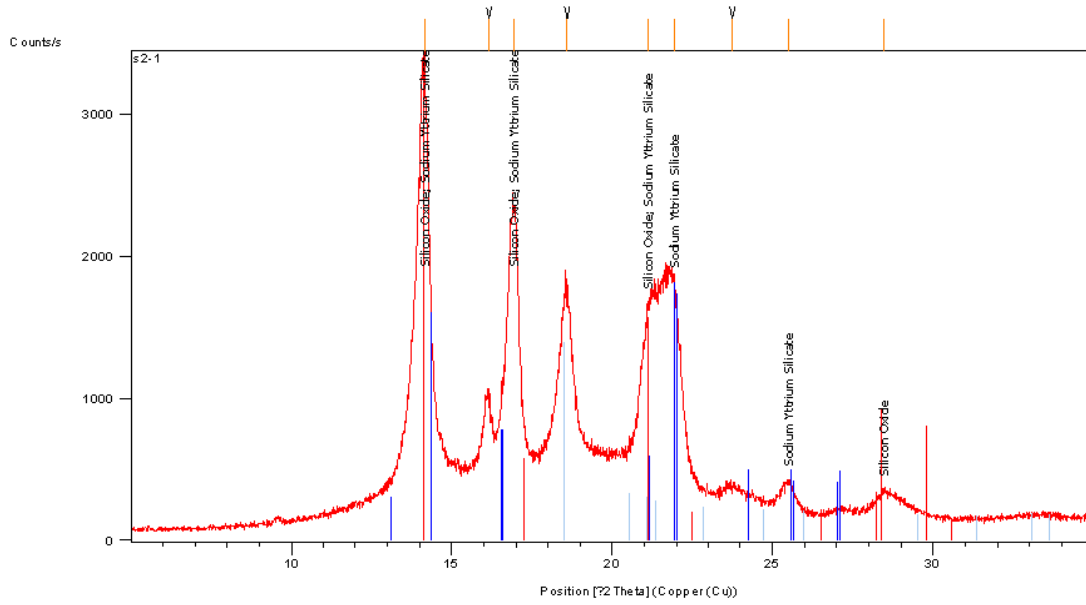
ผลของการทดสอบหาโครงสร้างผลึกโดยใช้ XRD ของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP



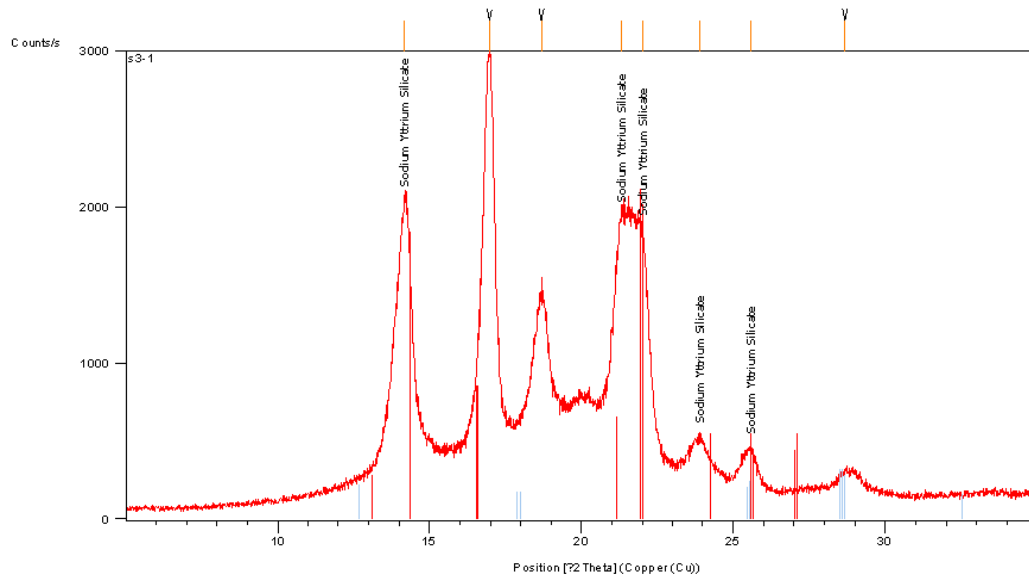
รูปที่ ค.1 การทดสอบ XRD ของการสุตร B1 PP 100%



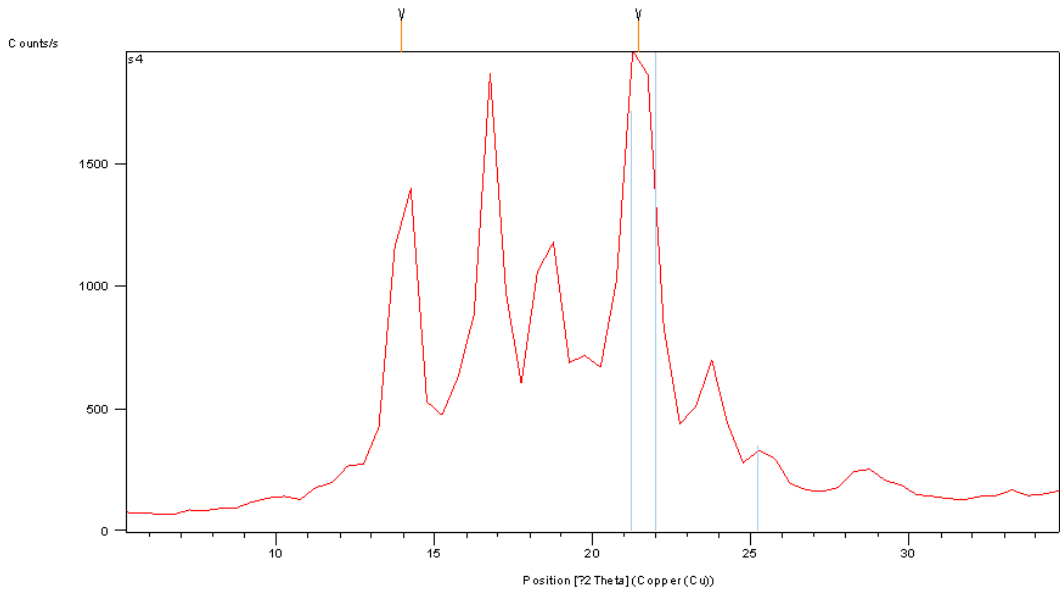
รูปที่ ค.2 การทดสอบ XRD ของการสุตร B2 (HDPE80% :LDPE 20%) 10% : PP 90 %



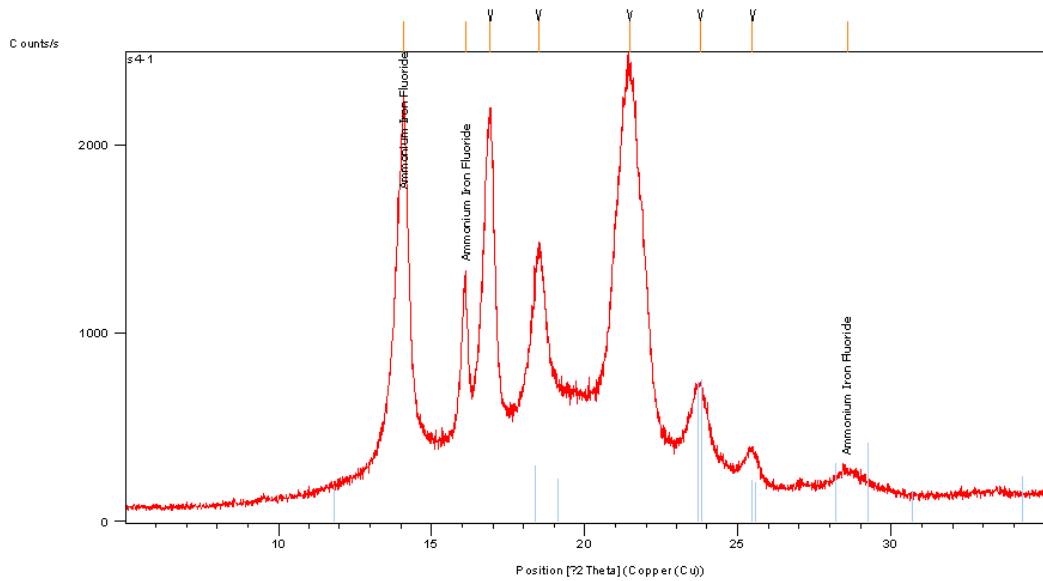
รูปที่ ค.3 การทดสอบ XRD ของการสุตร B3 (HDPE80% :LDPE 20%)20% : PP 80 %



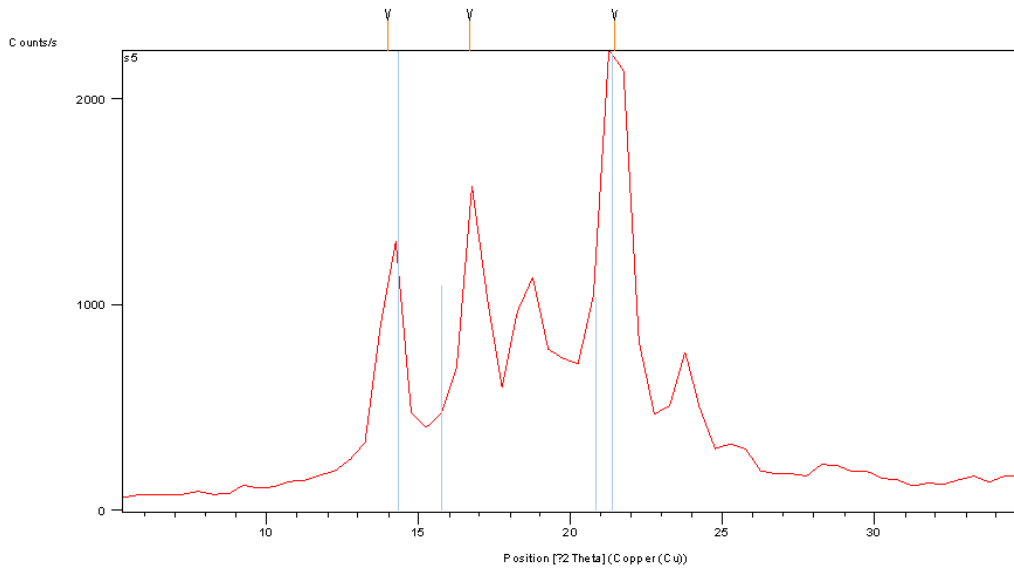
รูปที่ ค.4 การทดสอบ XRD ของการสุตร B4 (HDPE80% :LDPE 20%)30% : PP 70 %



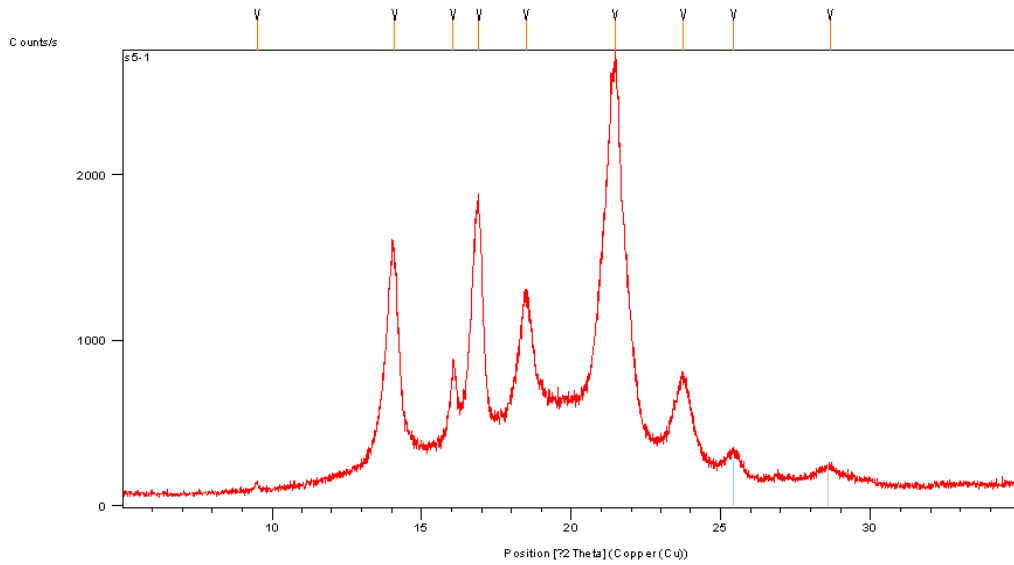
รูปที่ ค.5 การทดสอบ XRD ของการสุตร B5 (HDPE80% :LDPE 20%)40% : PP 60 %



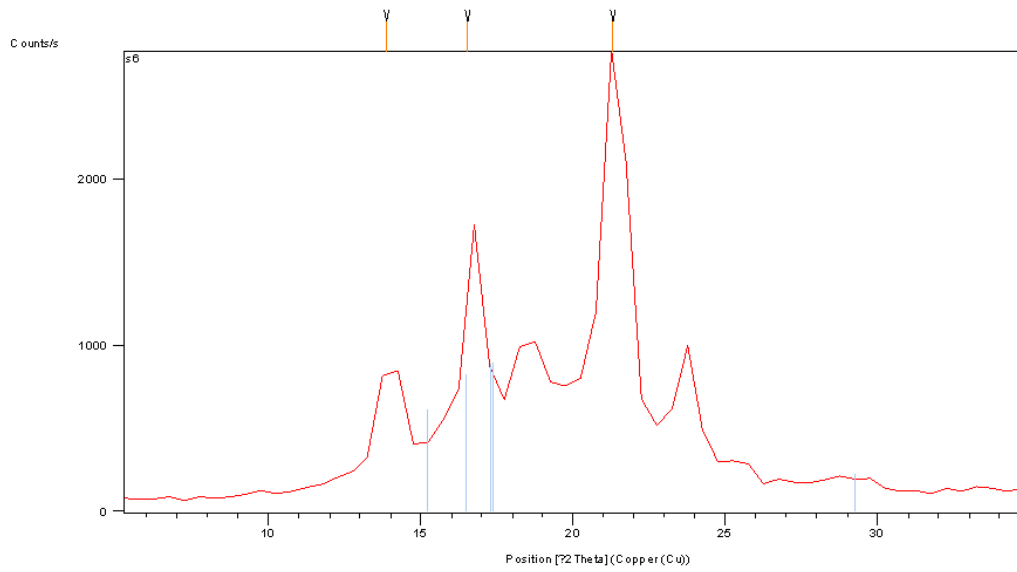
รูปที่ ค.6 การทดสอบ XRD ของการสุตร B6 (HDPE80% :LDPE 20%)50% : PP 50 %



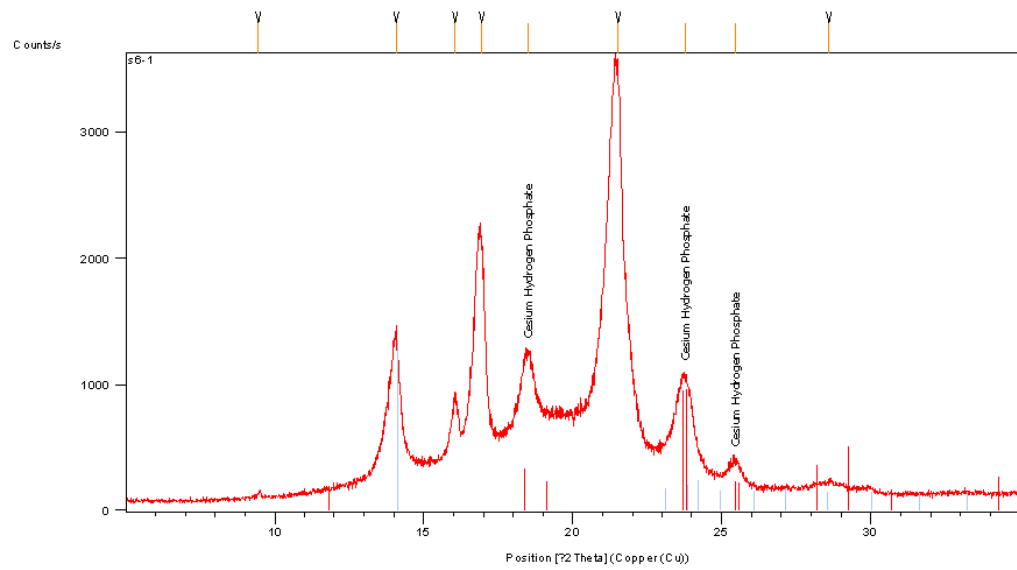
รูปที่ ค.7 การทดสอบ XRD ของการสูตร B7 (HDPE80% :LDPE 20%)60% : PP 40 %



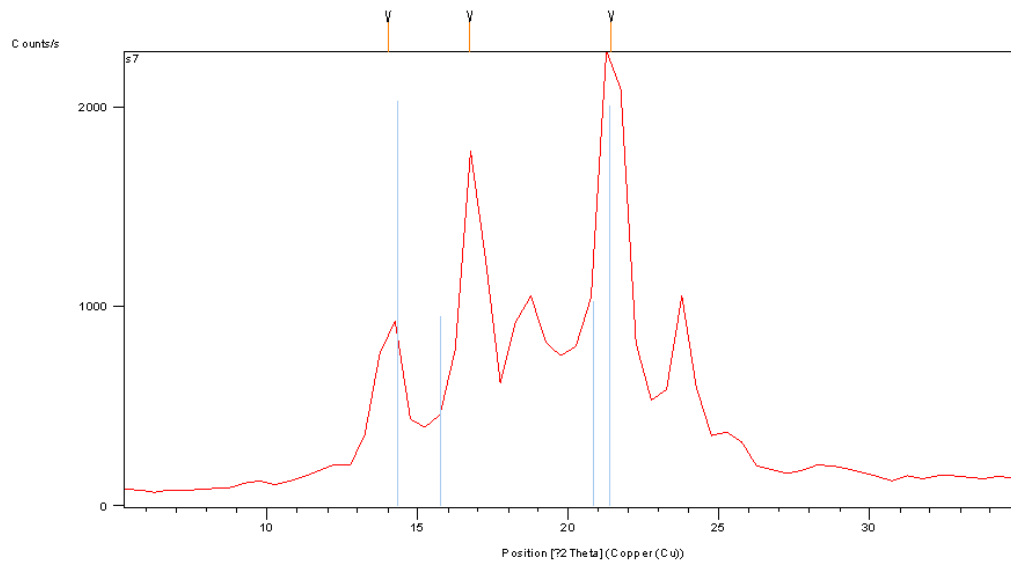
รูปที่ ค.8 การทดสอบ XRD ของการสูตร B8 (HDPE80% :LDPE 20%)70% : PP 30 %



รูปที่ ก.9 การทดสอบ XRD ของการสูตร B2 (HDPE80% :LDPE 20%)60% : PP 40 %



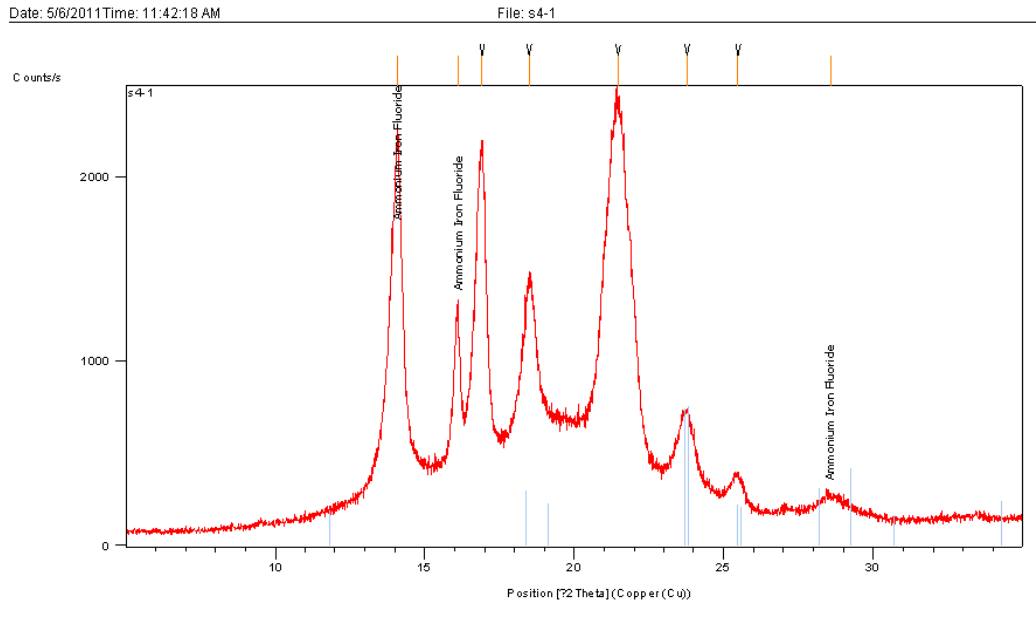
รูปที่ ก.10 การทดสอบ XRD ของการสูตร B10 (HDPE80% :LDPE 20%)90% : PP 10 %



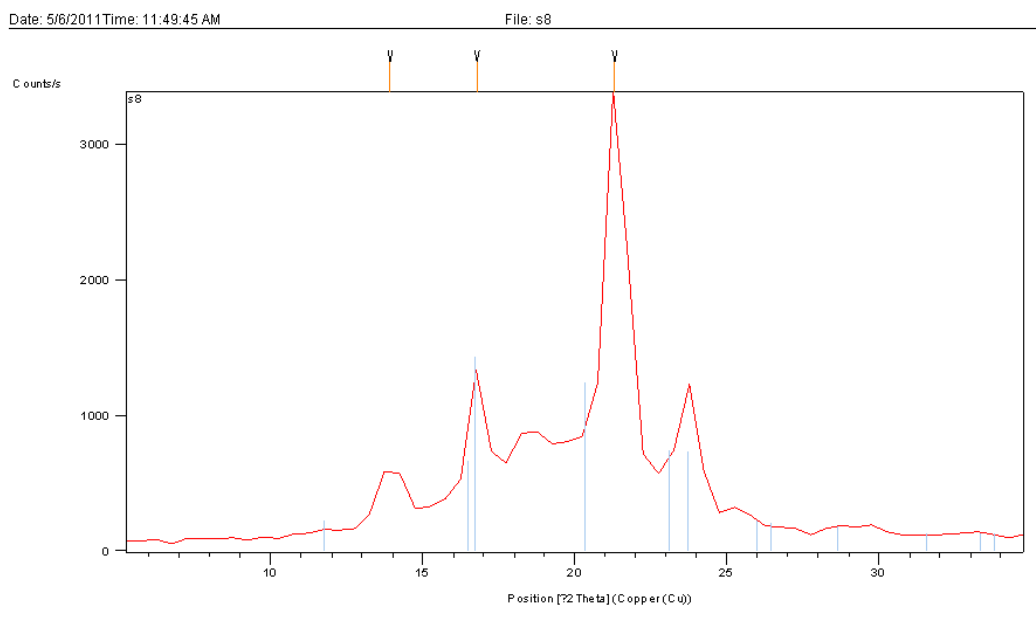
รูปที่ ค.11 การทดสอบ XRD ของการสุตร B11 (HDPE80% :LDPE 20%)100 %



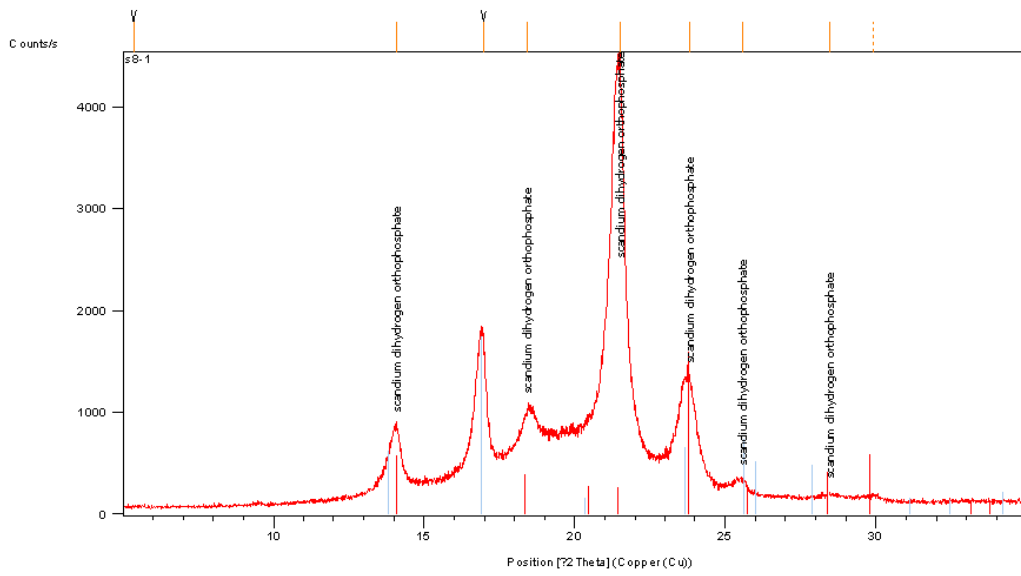
ผลของการทดสอบหาโครงสร้างผลึกโดยใช้ XRD ของการเตรียมพลาสติกผสม (HDPE+LDPE)+PP ผสมกับ Nucleating Agent



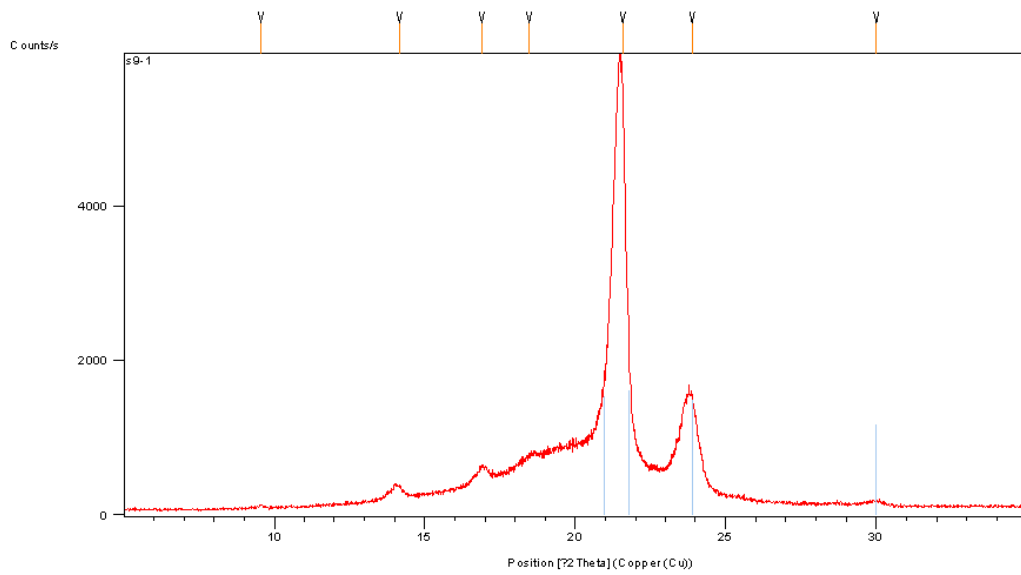
รูปที่ ค.12 แสดงกราฟ XRD (HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) คือสูตร B6



รูปที่ ค.13 แสดงกราฟ XRD (HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.1%



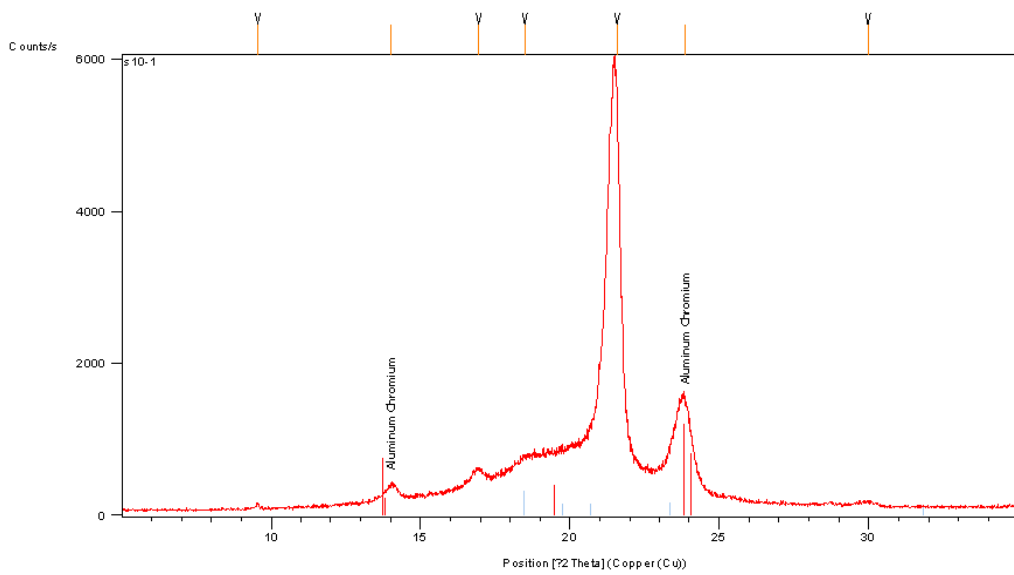
รูปที่ ค.14 แสดงกราฟ XRD (HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.2%



รูปที่ ค.15 แสดงกราฟ XRD (HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.3%

Date: 5/6/2011Time: 11:52:28 AM

File: s10-1

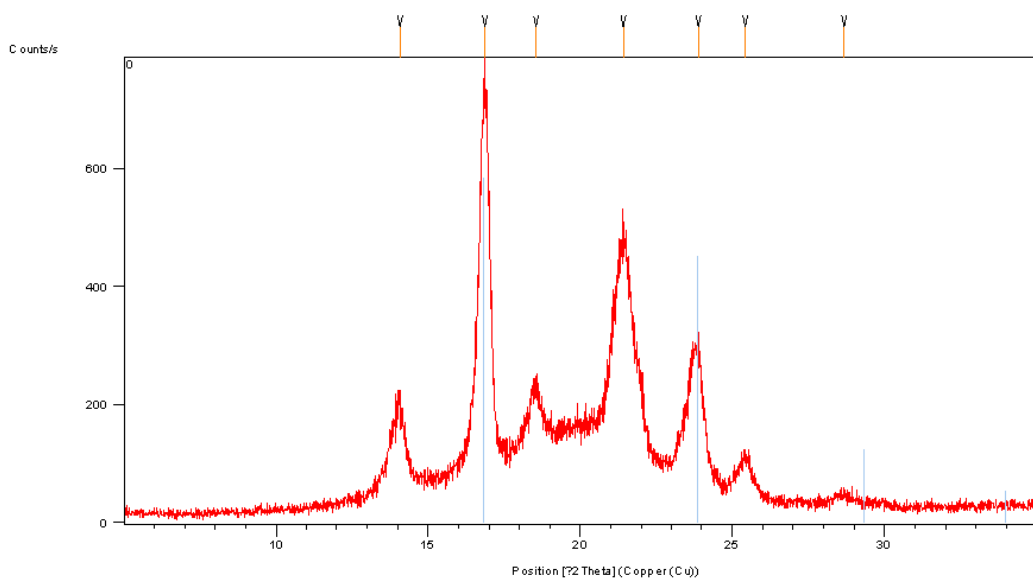


รูปที่ ค.16 แสดงกราฟ XRD (HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.4%



Date: 5/6/2011Time: 11:28:08 AM

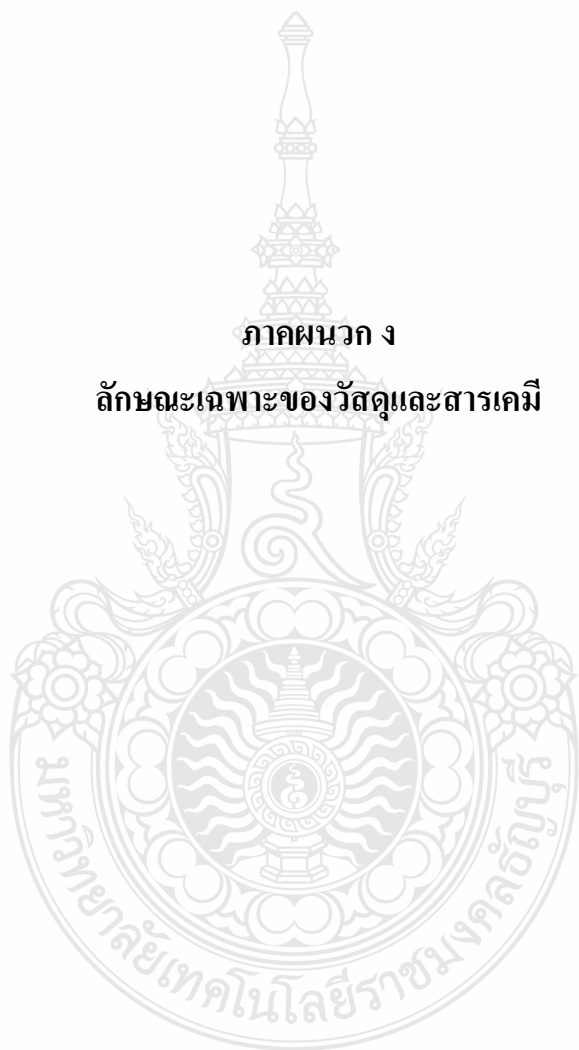
File: 0



รูปที่ ค.17 แสดงกราฟ XRD (HDPE+LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.5%

ภาคผนวก ง

ลักษณะเฉพาะของวัสดุและสารเคมี



1. ลักษณะเฉพาะของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: Polene HDPE R1760; IRPC Public Co., Ltd.)

IRPC Polene R1760 High Density Polyethylene


Categories: [Polymer](#); [Thermoplastic](#); [Polyethylene](#); [HDPE](#)

Material **CHARACTERISTICS:** HIGH IMPACT STRENGTH, EXCELLENT SURFACE

Notes: APPEARANCE, GOOD RIGIDITY CONTAIN UV STABILIZER ADDITIVE

APPLICATIONS: INJECTION MOLDING FOR CRATES, TRAYS, CASES, INDUSTRIAL PARTS, BINS, LARGE HOUSEWARES, SAFETY HELMETS PACKAGINGS OF AGRICULTURE PRODUCTS, PALLETS, HEAVY DUTY ARTICLES

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	0.957 g/cc	0.0346 lb/in ³	ASTM D792
Environmental Stress Crack Resistance	>= 9.00 hour	>= 9.00 hour	Condition B, F50; ASTM D1693
Melt Flow 	6.00 g/10 min @Load 2.16 kg, Temperature 190 °C	6.00 g/10 min @Load 4.76 lb, Temperature 374 °F	ASTM D1238
	17.5 g/10 min @Load 5.00 kg, Temperature 190 °C	17.5 g/10 min @Load 11.0 lb, Temperature 374 °F	ASTM D1238

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Shore D	65.5	65.5	DIN 53505
Tensile Strength at Break	15.0 MPa	2180 psi	ASTM D638
Tensile Strength, Yield	29.5 MPa	4280 psi	ASTM D638
Elongation at Break	1000 %	1000 %	ASTM D638
Charpy Impact, Notched	0.400 J/cm ²	1.90 ft-lb/in ²	DIN 53453

Thermal Properties	Metric	English	Comments
Vicat Softening Point	125 °C	257 °F	ASTM D1525

Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	200 - 260 °C	392 - 500 °F	

2. ลักษณะเฉพาะของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: Polene LDPE JJ4324; IRPC Public Co., Ltd.)

Global JJ-4324 Low Density Polyethylene

Categories: [Polymer](#); [Film](#); [Thermoplastic](#); [Polyethylene](#); [LDPE](#); [Low Density Polyethylene \(LDPE\)](#), [Film Grade](#)

Material Notes: Description-transparency, high toughness, flexibility, high impact strength, good chemical resistance
Applications-bags

Meets FDA requirements as listed in food additives regulation 21 CFR 117.1520 for use in direct contact with food

Information provided by Global Polymers Corporation.

Discontinued Grade

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	0.921 g/cc	0.0333 lb/in ³	ASTM D1505
Melt Flow	5.50 g/10 min @Load 2.16 kg, Temperature 190 °C	5.50 g/10 min @Load 4.76 lb, Temperature 374 °F	Condition G; ASTM D1238
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	10.0 MPa	1450 psi	ASTM D638
Tensile Strength, Yield	11.0 MPa	1600 psi	ASTM D638
Elongation at Break	600 %	600 %	ASTM D638
Dart Drop Test	150 g	0.331 lb	ASTM D1709
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Vicat Softening Point	95.0 °C	203 °F	ASTM D1525
Optical Properties	Metric	English	Comments
Haze	8.00 %	8.00 %	ASTM D1003

3. ลักษณะเฉพาะของเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP: Polene PP 1100NK; IRPC Public Co., Ltd.)

IRPC Polene 1100NK Polypropylene Homopolymer

Categories: [Polymer](#); [Thermoplastic](#); [Polypropylene](#)

Material CHARACTERISTICS: HIGH FLOW

Notes:

APPLICATIONS: FOR INJECTION MOLDING GENERAL PURPOSE :
HOUSEWARES, CLOSURES, FOOD CONTAINERS

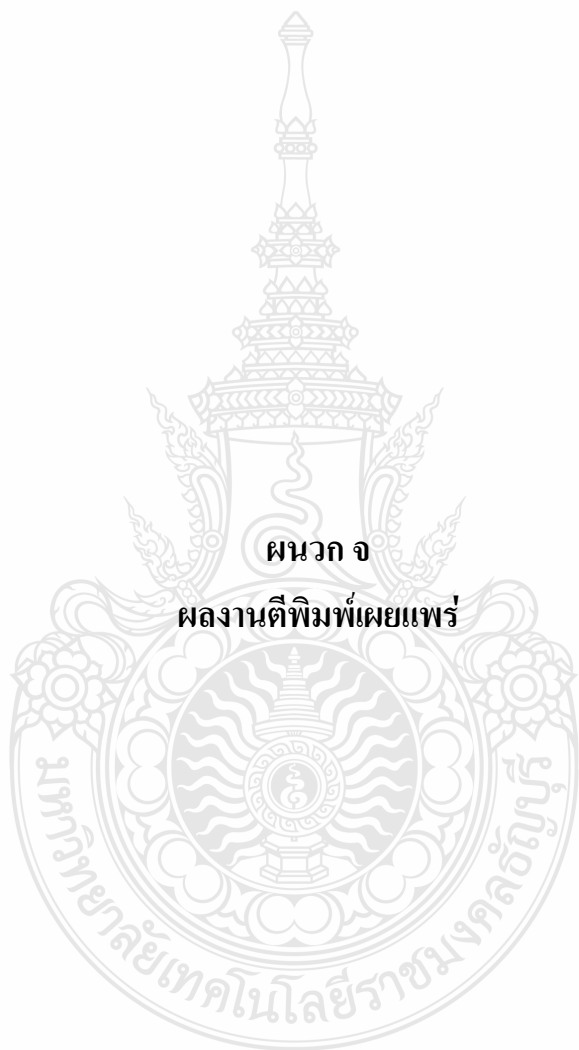
Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Melt Flow	<u>11.0</u> g/10 min @Load 2.16 kg, Temperature 230 °C	<u>11.0</u> g/10 min @Load 4.76 lb, Temperature 446 °F	ASTM D1238

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell R	110	110	ASTM D785
Tensile Strength, Yield	<u>36.0</u> MPa	<u>5220</u> psi	ASTM D638
Elongation at Yield	36.0 %	36.0 %	ASTM D638
Flexural Modulus	<u>1.50</u> GPa	<u>218</u> ksi	1% Secant; ASTM D790
Charpy Impact, Notched	<u>0.290</u> J/cm ² @Temperature 23.0 °C	<u>1.38</u> ft-lb/in ² @Temperature 73.4 °F	DIN 53453

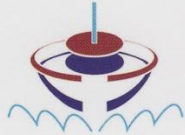
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	<u>110</u> °C	<u>230</u> °F	ASTM D648





ผนวก จ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



PEC-9

Faculty of Engineering

Prince of Songkla University

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9

The 9th PSU-Engineering Conference

2-3 พฤษภาคม 2554

ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท (หาดไตรตรังค์) จังหวัดภูเก็ต

PEC-9

<http://www.pec.eng.psu.ac.th>



ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย

1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. รศ.ดร.สมเกียรติ ปรัชญาวารากร คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วัฒน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ดร.ศุภกิตต์ โชติโก คณะวิศวกรรมศาสตร์

2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. รศ.ดร.อรรถกร เก่งพล คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ดร.สมพร สิริสำราญกุล คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ผศ.ดร.สมศักดิ์ อรรถทิมากุล คณะวิศวกรรมศาสตร์

3. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

1. ผศ.ดร.วาทิต ภัคดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ดร.จิรวรรณ คล้อยกข์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

4. มหาวิทยาลัยมหิดล

1. รศ.ดร.ดวงพรรณ ศฤงคารินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. รศ.ดร.จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์ คณะวิทยาศาสตร์

5. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผศ.ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ คณะวิทยาศาสตร์
2. ดร.เกริก ภิมขันธ์โสภา คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ดร.ปวีณา เชาวลิทวงศ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. รศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล คณะวิศวกรรมศาสตร์

7. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1. รศ.ดร.พรเทพ ขอบจายเกียรติ คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว คณะวิศวกรรมศาสตร์

3. ผศ.อนันต์ เจ้าสกุล คณะวิศวกรรมศาสตร์

8. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. ผศ.ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

9. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1. ผศ.ดร.นิวิธ เจริญใจ คณะวิศวกรรมศาสตร์

10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. รศ.ดร.สุวิมล สัจจาณิชย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

11. มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

1. ผศ.ศิริวิษ ทัดสวน คณะวิศวกรรมศาสตร์

12. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

1. ผศ.วิจิตรา เพ็ชรกิจ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร

13. มหาวิทยาลัยทักษิณ

1. ผศ.ดร.นุกุล อินทระสังขา คณะวิทยาศาสตร์

14. มหาวิทยาลัยรังสิต

1. ดร.พิชญ มนต์ปิติ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายในมหาวิทยาลัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

1. รศ.บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

2. รศ.ดร.เกริกชัย ทองหนู ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

3. ผศ.ดร.ณัฐฐา จินดาเพ็ชร ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

4. ผศ.ดร.วิกรม ชีรภาพจรเดช ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

5. ผศ.ดร.พรชัย พุกภัยภัทรานนท์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

6. ดร.ไพโรจน์ วุ่นชุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

7. อ.กิตติคุณ ทองพูล ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

8. ผศ.ปริพนธ์ พัฒนสัตยวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
9. ผศ.สุนทร ปิยรัตน์วงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
10. รศ.ดร.จรัญ บุญกาญจน์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
11. รศ.ดร.ชาคริต ทองอุไร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
12. ผศ.ดร.กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
13. ผศ.ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
14. รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
15. รศ.วนิดา รัตนมณี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
16. ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
17. ผศ.ดร.รัญชนา ถินชวาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
18. ผศ.ดร.ชเนศ รัตนวิไล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
19. ผศ.ดร.อรุณ ตั้งขพงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
20. ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
21. ผศ.สงวน ตั้งโพธิธรรม	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
22. ผศ.เจริญ เจตวิจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
23. ผศ.พิเชฐ ตระการชัยศิริ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
24. รศ.กัลยาณี กุปตานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
25. รศ.ดร.อนุพล ตันนโยภาส	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
26. ผศ.ดร.ชัชชัย ปลุกผล	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
27. ผศ.ดร.เจษฎา วรรณสินธุ์	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
28. ผศ.ดร.วีรวรรณ สุทธิศรีปก	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
29. รศ.ดร.ชนิด เฉลิมยานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
30. รศ.สราวุธ จริตงาม	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
31. ผศ.ดร.ธนิยา เกาศล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
32. ผศ.ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
33. ผศ.ดร.วรพจน์ ประชาเสรี	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
34. ผศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
35. รศ.ดร.พรทิพย์ ศรีแดง	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

36. ผศ.จรีรัตน์ สกฤรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
37. ดร.ชนันท์ ชุบอุปการ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
38. อ.วิวัฒน์ สุทธิวิภากร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
39. รศ.กำพล ประทีปชัยกูร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
40. รศ.ปัญญารักษ์ งามศรีตระกูล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
41. รศ.ดร.วรุฑ วิสุทธิเมธากุล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
42. รศ.ดร.พฤทธิกร สมิตไมตรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
43. ผศ.ดร.เจริญยุทธ เดชชวยกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
44. ผศ.ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
45. ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
46. ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
47. รศ.ดร.มิตรชัย จงเขี้ยวชำนาญ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
48. ผศ.ดร.ชเนศ เคารพพงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
49. ผศ.ดร.สุนทร วิฑูรพจน์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
50. ผศ.ดร.พิชญา ดันชัยย์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
51. ดร.นิคม สุวรรณวร	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
52. ดร.แสงสุรีย์ วสุพงศ์อัยยะ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
53. ดร.อนันท์ ชกสุวิวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
54. ดร.สมชัย หลิมศิริโรจน์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
55. ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
56. ดร.อารีย์ ชีรภาพเสรี	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
57. อ.ฉัตรชัย จันทร์พริ้ม	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
58. ดร.วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์	หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการ จัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ (MIT)
คณะวิทยาศาสตร์	
1. ผศ.ดร.ภัทร อัยรักษ์	ภาควิชาฟิสิกส์
2. ผศ.ดร.วิภาดา เวทย์ประสิทธิ์	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์



PEC9-120

**MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTIC TERTIARY BLENDS OF
HIGH DENSITY POLYETHYLENE, LOW DENSITY POLYETHYLENE
AND POLYPROPYLENE**

Pratumma Suso¹ Sirichai Torsakul¹

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 12110

E-mail: ying.plastic@hotmail.com*

Abstract

This research presents experimental results of the mechanical properties study of 3 types of plastic mixtures such as HDPE, LDPE and PP. The processes for mixing of plastic are as follows. Step 1, the mixing of HDPE and LDPE was performed by a given ratio and then the specimens of the mixed plastic were prepared and mechanically tested, respectively. The optimum ratio of the Step 1 was 20%HDPE by 80%LDPE. Step 2, the mixed ratio of optimum ratio of step 1 was mixed with PP by various ratios and found that the optimum ratio was 50%PP because the XRD result showed the hexagonal crystal structure that was higher symmetrical structure. Step 3, the optimum ratio of step 2 was mixed with a nucleating agent by various ratios and found that the optimum ratio of this step was 0.2%wt nucleating agent. The XRD result of the plastic mixture reported that the crystal structure of the mixed plastic of step 3 was also hexagonal type. The addition of nucleating agent also increased a hardness and tensile strength of the mixture reported when compared to the mixture of HDPE+LDPE+PP with no nucleating agent.

Key Words: Nucleating Agents; Hexagonal, Polymer Blend, X-Ray Diffraction

การศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่าง
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง(HDPE),
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ(LDPE) และพอลิโพรพิลีน(PP)
MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTIC TERTIARY BLENDS OF
HIGH DENSITY POLYETHYLENE, LOW DENSITY POLYETHYLENE
AND POLYPROPYLENE

ประทุมมา สุโส^{1*} และ ศิริชัย ต่อสกุล¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12120

E-mail: ying.plastic@hotmail.com

Pratumma Suso^{1*} Sirichai Torsakul¹

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 12110

E-mail: ying.plastic@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่าง HDPE, LDPE, และ PP โดย ขั้นตอนที่ 1 ผสมพลาสติก 2 ชนิด ระหว่าง HDPE กับ LDPE ผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลและเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของ พลาสติกผสม ใน ขั้นตอนที่ 2 อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ HDPE20% : LDPE80% นำพลาสติกผสมดังกล่าวไปผสมกับ PP ตามอัตราส่วนที่กำหนด ทดสอบสมบัติเชิงกล ทดสอบสมบัติทาง กายภาพ ซึ่งจะได้ อัตราส่วน ของ พลาสติกผสม คือ (HDPE+LDPE)50% + PP50% เนื่องจากเมื่อนำพลาสติกผสมไป ดูโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction จะมีโครงสร้างผลึก แบบ Hexagonal ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความสมมาตรสูง ขั้นตอน ที่ 3 นำพลาสติกผสม (HDPE+LDPE)50% + PP50% ผสมกับ Nucleating Agent ตามอัตราส่วนที่กำหนด อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ (HDPE+LDPE)50% + PP50% ผสมกับ Nucleating Agent 0.2%wt เนื่องจากทดสอบสมบัติทางกายภาพดูโครงสร้างผลึกด้วย เครื่อง X-Ray Diffraction พบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal นำพลาสติกผสม ทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อเปรียบเทียบผลการ เปลี่ยนแปลงระหว่างการเติมสารก่อผลึก (Nucleating Agent) จะ พบได้ว่าค่า Resistance, Hardness, Tensile Strength มีค่าสูง กว่า HDPE+LDPE+PP ที่ไม่เติม Nucleating Agent คำหลัก สารก่อผลึก, เฮกซะโกนอล, พลาสติกผสม, เทคนิคการ เลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

Abstract

This research presents experimental results of the mechanical properties study of 3 types of plastic mixtures such as HDPE, LDPE and PP. The processes for mixing of plastic are as follows. Step 1, the mixing of HDPE and LDPE was performed by a given ratio and then the specimens of the mixed plastic were prepared and mechanically tested, respectively. The optimum ratio of the Step 1 was 20%HDPE by 80%LDPE. Step 2, the mixed ratio of optimum ratio of step 1 was mixed with PP by various ratios and found that the optimum ratio was 50%PP because the XRD result showed the hexagonal crystal structure that was higher symmetrical structure. Step 3, the optimum ratio of step 2 was mixed with a nucleating agent by various ratios and found that the optimum ratio of this step was 0.2%wt nucleating agent. The XRD result of the plastic mixture reported that the crystal structure of the mixed plastic of step 3 was also hexagonal type. The addition of nucleating agent also increased a hardness and tensile strength of the mixture reported when compared to the mixture of HDPE+LDPE+PP with no nucleating agent.

Keywords: Nucleating Agents, Hexagonal, Polymer Blend, X-Ray Diffraction

1. บทนำ

การพัฒนาสมบัติของผลิตภัณฑ์พลาสติกวิธีหนึ่งที่ยอมรับกันคือการนำพลาสติกผสมซึ่งสามารถทำให้พลาสติกมีสมบัติหลากหลายขึ้นได้ประโยชน์ของการนำพลาสติกผสมก็คือ สามารถนำพลาสติกชนิดใดก็ได้ที่เราต้องการสมบัติเด่นของพลาสติกตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มาผสมกันเพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ ในงานวิจัยนี้เพื่อให้ได้พลาสติกที่มีสมบัติด้านความแข็ง น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการคงรูปแต่สมบัติเด่นของพลาสติกแต่ละตัวที่นำมาผสมกันอาจลดลงไปตามอัตราส่วนของการผสม [1] ในบางกรณีพลาสติกที่นำมาทำ พลาสติกผสม กันอาจมีสมบัติที่หักล้างกันเองก็ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติไม่ตรงกับความต้องการเท่าที่ควรจึงต้องมีการศึกษาการใช้สารเติมแต่งเพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการเพื่อพัฒนาสมบัติพลาสติกผสมได้ตามต้องการ [2] โดยในงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิด HDPE ผสมกับ LDPE และ PP โดยการเติมสาร Nucleating Agent (NU-100) เป็นการเติมเพื่อกระตุ้นให้ Copolymer เกิดโครงสร้างผลึกและการจัดเรียงตัวได้ดีขึ้นและมีการทนแรงกระแทกของพลาสติกสูงขึ้น[3] จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้เพื่อต้องการศึกษาว่าพลาสติกที่ได้จากการ Copolymer ดังกล่าวจะมีสมบัติเชิงกลดีกว่าพลาสติกชนิด HDPE ผสม LDPE และ PP ที่ไม่ได้ผ่านการทำ Copolymer

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี

เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: Polene HDPE R1760; IRPC Public Co., Ltd.)เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: Polene LDPE JJ4324; IRPC Public Co., Ltd.) เม็ดพลาสติกโพรพิลีน (Polypropylene, PP: Polene PP 1100NK; IRPC Public Co., Ltd.) และสารก่อผลึก (Nucleating Agents): NU-100

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ (Twin screw extruder)

ยี่ห้อ BRABENDER

2.2.2 เครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติก (Compression molding) ยี่ห้อ MACHINE

2.2.3 เครื่องบากชิ้นงาน (Notching Machine) ยี่ห้อ CEAST

2.2.4 เครื่องทดสอบค่าการทนต่อแรงดึง ใช้เครื่องทดสอบ ยี่ห้อ

Hounsfield Serial 120 รุ่น Model H 50 KS

2.2.5 เครื่องทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact-pendulum) ยี่ห้อ CEAST

2.2.6 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ (Rockwell Hardness) ยี่ห้อ MATSUZAWA

2.2.7 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ (Shore Hardness) ยี่ห้อ PTC[®] INSTRUMENTS

2.2.8 เครื่องทดสอบการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) ยี่ห้อ PERKIN ELMER

2.2.9 เครื่องทดสอบเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ X-Ray Diffractions

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

2.3.1 การเตรียมพลาสติกสมระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

1) นำอัตราส่วนสมระหว่าง HDPE กับ LDPE ตามตารางที่ 2 ไปผสมผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ โดยใช้อุณหภูมิสถานะของเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ในการขึ้นรูปเม็ดพลาสติกผสมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถานะการขึ้นรูปพลาสติกผสมของเครื่องอัดรีดสกรูคู่ ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที

ช่วงของสกรู	1	2	3	4	5	6
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	165	170	175	180	185	190

ตารางที่ 2 อัตราส่วนสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

สูตร	พลาสติกผสม A (%wt)	
	HDPE	LDPE
A1	0	100
A 2	10	90
A 3	20	80
A 4	30	70
A 5	40	60

2) นำพลาสติกผสมที่ตัดได้ไป ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเครื่องฉีด (Injection molding)

3) เตรียมตัวอย่างแต่ละสูตรเพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล

4) การทดสอบสมบัติเชิงกล ทางด้านการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก การทดสอบความแข็ง และการทดสอบสมบัติทางกายภาพ Differential Scanning Calorimetry (DSC) วัดอุณหภูมิ และ heat flow จากการเปลี่ยนแปลงความร้อน

5) วิเคราะห์ผลการทดสอบในแต่ละสูตร โดยดูค่าการทดสอบความแข็ง และการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก เพื่อหาสูตรที่มีความคงรูปมากที่สุด จากนั้นนำสูตรที่ได้ไปผสมกับพลาสติกพอลิโพรพิลีน ตามตารางที่ 3

2.3.2 การทำงานของขั้นตอนที่ 2

นำพลาสติกผสมโดยเลือกสูตรที่เหมาะสม จากขั้นตอนที่ 1 (HDPE+LDPE) ที่มีค่าการทดสอบความแข็ง และการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกที่ดี โดยเทียบอัตราส่วนดังตารางที่ 3 จากนั้นทำตามข้อ 2-5 เหมือนในขั้นตอนที่ 1

ตารางที่ 3 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างสูตรที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 กับ PP

สูตร	พลาสติกผสม B	
	HDPE + LDPE (สูตรที่เหมาะสม)	PP
B1	0	100
B2	10	90
B3	20	80
B4	30	70
B5	40	60
B6	50	50
B7	60	40
B8	70	30
B9	80	20
B10	90	10

เลือกสูตรที่เหมาะสมและนำสูตรที่ได้ไปทำต่อในขั้นตอนที่ 3 โดยอาศัย การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบให้มีโครงสร้างเป็นแฉกอะโคนอล ทดสอบ DSC ดูลักษณะของการเข้ากันโดยดูจากค่าอุณหภูมิการละลาย (T_m) และทดสอบสมบัติเชิงกลทางด้าน การทนต่อแรงดึง การทนต่อแรงกระแทก และ การทดสอบความแข็ง

2.3.3 การทำงานของขั้นตอนที่ 3

เลือกสูตรจากขั้นตอนที่ 2 มา ซึ่งมีการผสมระหว่าง HDPE+LDPE+PP

- นำสูตรที่เลือกได้จากขั้นตอนที่ 2 (HDPE+LDPE) +PP มาผสมกันโดยที่ต้องผสม HDPE+LDPE ก่อน แล้วจึงนำไปผสมกับ PP ตามอัตราของสูตรที่เลือกด้วยเครื่อง twin screws
- นำสูตร (HDPE+LDPE)+PP มาผสมกับ Nucleating Agent ตามอัตราส่วนที่กำหนด ดังตารางที่ 4 โดยการใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mill) ให้อุณหภูมิที่ 180 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4 แสดงอัตราส่วนโดยการเลือกสูตรจากขั้นตอนที่ 2 ผสมกับ Nucleating Agents

สูตร	อัตราส่วนผสม(%wt)	
	HDPE + LDPE + PP	Nucleating Agents
C1	สูตรB ที่เหมาะสม	0 %
C 2	สูตรB ที่เหมาะสม	0.1 %
C 3	สูตรB ที่เหมาะสม	0.2 %
C 4	สูตรB ที่เหมาะสม	0.3 %
C 5	สูตรB ที่เหมาะสม	0.4 %
C 6	สูตรB ที่เหมาะสม	0.5 %

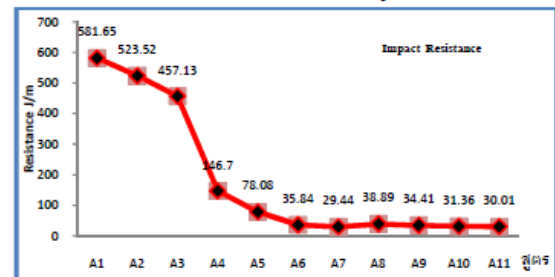
หมายเหตุ สูตร A คือ อัตราส่วนผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE สูตร B คือ อัตราส่วนที่เหมาะสมสูตร A ผสมกับ PP

- ขึ้นรูปด้วยการ Compression molding ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ความหนา 1 มิลลิเมตร 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร
- เตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล
- วิเคราะห์ผลการทดลอง

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

3.1 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

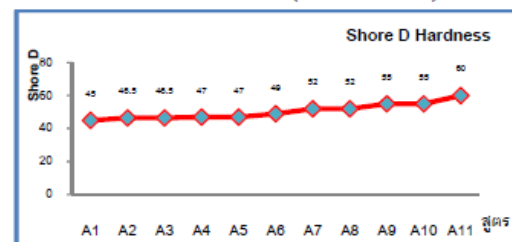
3.1.1 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance)



รูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก

จากผลการทดสอบจะพบว่า LDPE 100% มีความทนแรงกระแทก 531.65 J/m และ HDPE 100% มีความทนแรงกระแทก 30.01 J/m ในระยะแรกจนถึง A5 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วน HDPE มีอิทธิพลต่อสมบัติการทนแรงกระแทกของพลาสติกผสมให้ตกลงมากขึ้นตามอัตราส่วน HDPE ที่มากขึ้น จนกระทั่งที่อัตราส่วน HDPE 50% คือ A 6 จนถึง HDPE เป็น 100% พบว่าการทนแรงกระแทกมีความแตกต่างกันน้อยมากถือได้ว่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนของ HDPE เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้โครงสร้างของพลาสติกผสมมีความใกล้เคียงกับโครงสร้างของ HDPE มาก จึงทำให้การเพิ่มอัตราส่วน HDPE ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป ไม่ส่งผลต่อสมบัติการทนแรงกระแทกของพลาสติกผสม

3.1.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ (Shore D Hardness)

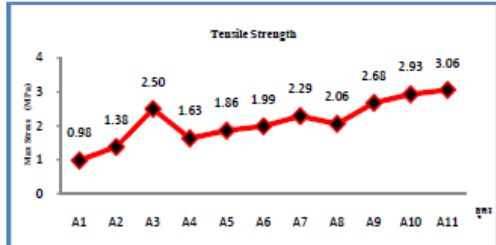


รูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ Shore D Hardness

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน LDPE 100% ได้ค่าความแข็ง 45 Shore D และ HDPE 100% ได้ค่าความแข็ง 60 Shore D และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ HDPE ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก

โครงสร้างของ LDPE มีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบจึงทำให้มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่า HDPE ที่โครงสร้างจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบ เมื่อนำวัสดุทั้งสองมาผสมกัน การจัดเรียงตัวจะมีความเป็นระเบียบมากกว่า LDPE 100% เมื่อปริมาณของ HDPE เพิ่มขึ้น โครงสร้างก็จะมีความเป็นระเบียบมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

3.1.3 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Properties)



รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง

จากการทดลองพบว่า เมื่อพิจารณาจากกราฟโดยรวมตั้งแต่สูตร A1-A11 ค่า Max Stress จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก 0.98 MPa ไปจนถึง 3.06 MPa ที่เป็นเช่นนี้เพราะในสูตร A1 เป็น LDPE 100% ค่าการทนแรงดึงจึงต่ำเนื่องจาก LDPE มีการจัดเรียงตัวแบบ Amorphouse สูตรถัดไปจำนวนของ LDPE จะลดลงตามอัตราส่วนและจำนวนเปอร์เซ็นต์ของ HDPE จะเพิ่มขึ้นกราฟ Tensile Strength จะค่อย ๆ สูงขึ้นเพราะ HDPE จะมีโครงสร้างที่เป็น Semi-Crystalline จึงสามารถทนแรงดึงได้มากกว่า LDPE ที่มีโครงสร้างแบบ Amorphous ยิ่งเปอร์เซ็นต์ของ HDPE เพิ่มขึ้น การทนแรงดึงก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่สำหรับค่าในสูตร A3 ที่เป็น HDPE 20% และ LDPE 80 % ค่าการทนแรงดึงสูงถึง 2.50 MPa เนื่องจากในการทดสอบ DSC จะพบว่าในสูตร A3 ลักษณะของ Peak เป็น 2 Peak ซึ่งแสดงว่าในสูตรนี้เกิดการแยกเฟสของพลาสติกผสม ทำให้อิทธิพลของเปอร์เซ็นต์ HDPE ส่งผลให้ค่าการทนแรงดึงสูงขึ้น

3.2 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมจาก LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสม กับ PP

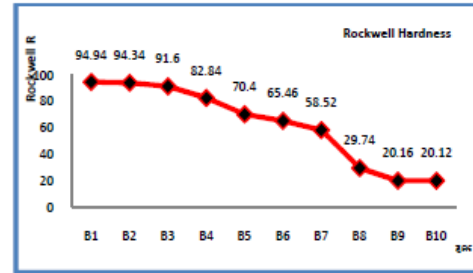
3.2.1 เมื่อได้พลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE ที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 โดยเลือกสูตร A3 มาผสมกับ PP โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ดังตารางที่ 3.4 ผลจากการทดลองเมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่าไม่มีสีขาวขุ่น มันวาว ไม่มีมีความแตกต่างกันมากนัก มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบเพลซติกรอบ ขนาด 20x20 ซม. ความหนา 1 มม., 3 มม. และ 6 มม. ลักษณะชิ้นงานที่ได้ สังเกตได้พบว่าเป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติ

เชิงกล โดยทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก ความแข็ง การทนต่อแรงดึง และสมบัติทางกายภาพโดยวัด DSC และ XRD โดยค่าการทดสอบ XRD [5]

3.2.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ Rockwell Hardness

การทดสอบค่าความแข็งในขั้นตอนที่ 2 ใช้การทดสอบแบบ Rockwell Hardness เนื่องจาก เมื่อวัดการค่าความแข็งแบบ

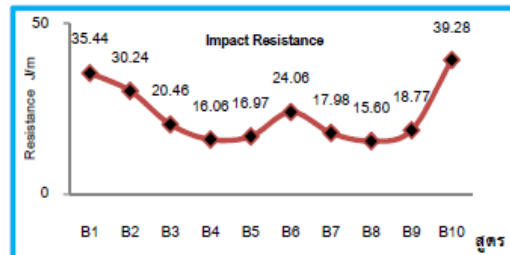
Shore D Hardness ค่าความแข็งสูงเกินที่กำหนดจึงเปลี่ยนเป็นการทดสอบความแข็งแบบ Rockwell Hardness



รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็ง

จากการทดลองจะพบว่า สูตร B1 (PP 100%) จะมีค่าความแข็งมากเพราะ PP มีโครงสร้างเป็นแบบเชิงเส้น ปรารถจากกิ่งก้านสาขาแยกจากสายโซ่หลักของโมเลกุลและมีหมู่เมทิล (-CH₃) ต่อกับอะตอมของคาร์บอนจึงทำให้ความแข็งแรงสูง ดังนั้นจึงมีความแข็งแรงมากกว่า HDPE+LDPE เมื่อนำ HDPE+LDPE ไปผสมกับ PP ในเปอร์เซ็นต์ของ HDPE+LDPE ที่มากขึ้นจึงทำให้ค่าความแข็งของพลาสติกผสมลดลง เพราะ HDPE+LDPE มีค่าการยึดตัวที่สูง แต่ความแข็งต่ำจึงทำให้ความแข็งแรงของ PP ลดลงแต่การยึดตัวของ PP ผสมกับ HDPE+LDPE จะเพิ่มมากขึ้น

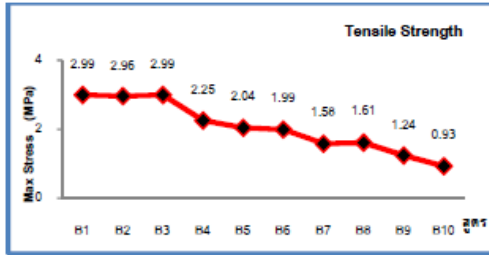
3.2.3 ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance)



รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก

จากรูปแสดงให้เห็นว่าในสูตร B1 ถึง B5 มีค่าการทนต่อแรงกระแทกแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เพราะว่าปริมาณของ PP มากกว่า A3 ทำให้อิทธิพลของ PP ส่งผลต่อค่าการทนแรงกระแทกเมื่อ PP ลดลง ค่าการทนต่อแรงกระแทกก็ลดลง ที่สูตร B6 ค่าการทนต่อแรงกระแทก สูงขึ้นเนื่องจาก ปริมาณของ สูตร A3 เท่ากับ ปริมาณของ PP จากผลการทดสอบ XRD พบว่าสูตร B6 มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลที่พบในสูตร B6 ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกที่มีความสมมาตรมากส่งผลให้สมบัติความทนแรงกระแทกของพลาสติกผสมสูงขึ้น สูตร B7 ถึง B9 ค่าการทนแรงกระแทกมีแนวโน้มสูงขึ้น เพราะ อิทธิพลของ สูตร A3 เริ่มมีบทบาทมากขึ้น

3.2.4 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Properties)



รูปที่ 6 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง

จากการทดลองจะพบว่า B1 มีค่าการทนแรงดึงสูง เนื่องจากโครงสร้าง PP เป็นลักษณะเชิงเส้นปราศจากกิ่งก้าน มีหมู่เมทิลอยู่ภายในโครงสร้างจึงทนแรงดึงสูง ในสูตรของ B2 และ B3 PP ยังมีอิทธิพลเหนือกว่าจึงทำให้ค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปอร์เซ็นต์ของ A3 เพิ่มขึ้นเป็น 30% ขึ้นไปอิทธิพลของ A3 มีบทบาทเข้ามาเพิ่มขึ้นทั้งนี้เพราะ โครงสร้างเริ่มอยู่กันอย่างหลวมๆ เพราะสายโซ่โมเลกุลจาก A3 ที่มีกิ่งก้านสาขาจึงทำให้ค่าการทนแรงดึงลดลง

3.3 ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง LDPE, HDPE และ PP ที่เหมาะสมเมื่อเติมสารก่อผลึก

3.3.1 อัตราส่วนของพลาสติกผสมระหว่าง LDPE, HDPE และ PP โดยการเติมสารก่อผลึก (Nucleating Agent) ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.5 โดยการผสมพลาสติกทั้ง 3 ชนิดด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ผลจากการทดลองเมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่า มีสีขาวขุ่น มันวาว ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก จากนั้นนำพลาสติกผสมมาเติมสารก่อผลึก (Nucleating Agent) โดยวิธีการใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งจะได้พลาสติกผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นขาวขุ่นทึบแสง เมื่อนำไปผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบแฟลชดีกรอบ ขนาด 20x20 ซม. ความหนา 1 มม., 3 มม. และ 6 มม. ลักษณะชิ้นงานที่ได้ สังเกตได้พบว่าเป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกล โดยทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก ความแข็ง การทนต่อแรงดึง และสมบัติทางกายภาพโดยวัด XRD

3.3.2 ผลการทดสอบเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction)

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบ XRD

สูตร	โครงสร้างผลึก
C1	Hexagonal
C2	Orthorhombic
C3	Hexagonal
C4	Orthorhombic
C5	Orthorhombic
C6	Orthorhombic

หมายเหตุ สูตร C1 คือสูตร B6 ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เพื่อนำมาเปรียบเทียบ

จากการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction) พบว่า สูตร C3 คือการสารก่อผลึก ในปริมาณ 0.2% มีโครงสร้าง แบบ Hexagonal จึงเลือกสูตรนี้มาทำทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อเปรียบเทียบกับสูตร C1

4.3.3 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสมบัติระหว่างสูตร C1 (HDLD+LDPE+PP) กับ สูตรC3(HDPE+LDPE+PP) + Nucleating Agent 0.2 %

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง (HDLD+LDPE+PP) กับ(HDPE+LDPE+PP) + Nucleating Agent 0.2 %

สมบัติพลาสติกผสม	HDLD+LDPE+PP	(HDLD+LDPE+PP) + Nucleating Agent 0.2%
Notched izod at room temp.(J/m)	24.06	32.19
Hardness Rockwell R	58.52	70.4
tensile strength σ (Mpa)	1.58	15.75
Volume of cell $10^6 \mu m^3$	143.42	1492.17

จากตารางที่ 6 พบว่าค่าที่ได้จากการเติม สารก่อผลึก (Nucleating Agent) 2% สมบัติของพลาสติกผสมจะเพิ่มขึ้น ดังตาราง

4. สรุป

จากการศึกษาพัฒนาสมบัติของพลาสติกผสม ให้มีสมบัติที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ HDPE, LDPE และ PP โดยอาศัยทฤษฎีทางด้านสมบัติของพลาสติกทั้งสามชนิดที่เป็นพลาสติกในกลุ่มโพลีเอทิลีนที่มีไฮโดรคาร์บอน ที่จะเกิดการสร้างพันธะกันเองได้ และมีการเติมสารก่อผลึก เพื่อเพิ่มความเป็นผลึกที่จะส่งผลให้สมบัติของพลาสติกดีขึ้น ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่า ในขั้นตอนของการเลือกพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE ของขั้นตอนที่ 1 สามารถเลือกสูตร A3 (HDPE 20% + LDPE 80%) เนื่องจากเมื่อได้พิจารณาจากพลาสติกผสมของแต่ละสูตรพบว่าสูตร A3 มีสมบัติที่เหมาะสมโดยที่ค่าการทนต่อแรงกระแทก การทนต่อแรงดึงและค่าความแข็ง มีความเหมาะสมกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง LDPE กับ HDPE ที่เหมาะสมกับ PP ของขั้นตอนที่ 2 สามารถ

เลือกสูตร B6 (HDPE + LDPE) 50% +PP 50%) เมื่อพิจารณาจากการทดสอบ X-Ray Diffraction ดูโครงสร้างผลึกที่เป็น Hexagonal ซึ่งมีความสมมาตรมากจึงส่งผลให้สมบัติการทนแรงกระแทกของพลาสติกผสมสูงขึ้นด้วย ผลของการเตรียมพลาสติกผสมระหว่าง LDPE, HDPE และ PP ที่เหมาะสมเมื่อเติมสารก่อผลึก ของขั้นตอนที่ 3 สามารถเลือกสูตร C3 (HDPE + LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent 0.2% ทั้งนี้เพราะว่า ในการเติมสารก่อผลึกที่ 0.2% พลาสติกผสมจะมีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal เมื่อพิจารณาจากการทดสอบ X-Ray Diffraction ในการเลือกโครงสร้างผลึก จากนั้นนำสูตรที่เลือกทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อเปรียบเทียบค่าของสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสมระหว่าง (HDPE + LDPE) 50% +PP 50%) และ (HDPE + LDPE) 50% +PP 50%) + Nucleating Agent จะพบว่าการเติมสารก่อผลึกมีผลทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] บรรณเลข ตรีนิล, 2546. เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 19. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี
- [2] ชลธิชา นุ่มหอม, 2538. พอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : พรตีวารพิมพ์.
- [3] อรุษา สรวารี, 2546. สารเติมแต่งพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] มานพ ตันตระกูล, 2548. วัสดุวิศวกรรม(ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ : สสท.
ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น)
- [5] แม้น อมรสิทธิ์, 2552. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ม.ป.ท.
- [6] J. González, et al. "Effects of Coupling Agents on Mechanical and Morphological Behavior of the PP/HDPE Blend with Two Different CaCO₃." Polymer. 38 (2002) : 2465-2475.
- [7] S. Kwon, et al. "Tensile Property and Interfacial Dewetting in the Calcite filled HDPE, LDPE, and LLDPE Composites." Polymer. 43 (2002) : 6901-6909.

