

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตวัสดุโฟมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอฟีนส์และ  
สาหร่ายสีแดง (Gracilaria fisheri)



นางสาวลลิตา

บุญโถม

นางสาววราภรณ์

พุทธิสสะ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 37654  
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Production of Foam Material from Polyolefins and  
Red Algae (*Gracilaria fisheri*) Blends**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of  
the Requirement for the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**1999**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตวัสดุโฟมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์และสาหร่ายสีเขียว (Gracilaria fisheri)	
นักศึกษา	น.ส. ดลิดา	บุญโถม
	น.ส.วราภรณ์	พุทธิสสະ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมศักดิ์	วรมงคลชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วีณา	ชูโชติ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาคเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ



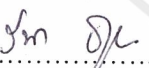
(ดร.อิทธิพล แจ่มจักษ์)

ประธานกรรมการ



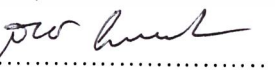
(ดร.สุภารัตน์ จำปา)

กรรมการ



(อาจารย์วีณา ชูโชติ)

กรรมการ



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตวัสดุโฟมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์ และสาหร่าย สีแดง	
นักศึกษา	นางสาวลลิตา	บุญโถม
	นางสาววราภรณ์	พุทธิสละ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมศักดิ์	วรมงคลชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วีณา	ชูโชติ
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2542	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาผลของการนำสาหร่ายแดงมาเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์ (พอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ได้จากขบวนการพลาสติกเหลือใช้) โดยใช้ไขอีพอลีน (Epolene wax) และน้ำมันแร่ (Mineral oil) ช่วยในการหล่อขึ้น และกระจายตัว และหาปริมาณของสาหร่ายแดงในอัตราส่วนจาก 10 ถึง 70 phr นำไปฉีดขึ้นรูปและหาสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากนั้นนำมาศึกษาหาปริมาณสารช่วยทำให้เกิดฟอง (Azodicarbonamide (AZ)) ที่อัตราส่วนต่างๆคือ 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 phr ผสมลงในพอลิเมอร์ผสม แล้วนำไปฉีดขึ้นรูป จากนั้นนำไปทดสอบค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด สมบัติทางสัญญาณวิทยา สมบัติการดูดซึมน้ำและความสามารถในการสามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

จากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสาหร่ายแดง 40 phr และ AZ 2 phr ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด กล่าวคือค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าความโค้งงอ และความทนทานต่อแรงกระแทกดีขึ้น ในขณะที่สมบัติการดูดซึมน้ำให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อมีปริมาณ AZ อยู่ 2.5 phr และเมื่อมีปริมาณสาหร่ายแดงเพิ่มขึ้นในพอลิเมอร์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายของโครงสร้างโฟมในพอลิเมอร์ผสมได้โดยจุลินทรีย์ในดิน

Special Project Title      Production of Foam Material from Polyolefins and Red algae Blends  
Name                              Miss Lalida      Boonchom  
   Miss Waraporn   Puttassa  
Special Project Advisor   Assist.Prof. Somsak      Woramongchai  
   Mrs. Weena              Choochote  
Department                  Chemistry  
Academic Year                1999

#### Abstract

This special project was studied the effect of red algae (*Gracilaria fisheri*) as filler in polymer blend between polyolefins (polypropylene, low-density polyethylene and high-density polyethylene from bottle) by using epolene wax and mineral oil as dispersing agent and lubricant, respectively. The ratios of red algae were from 10 to 70 phr. The polymer blend was injected and investigated the best mechanical properties. The amounts of blowing agent (AZ) were 0.5, 1.5, 2 and 2.5 phr. It was injected and then tested for tensile strength, percentage of elongation, morphology, absorption and decomposing ability by microorganism.

From the results, the amount of polymer blend with 40 phr red algae and 2 phr AZ . There indicated the best mechanical properties such as tensile strength, percentage of elongation, flexural strength and impact strength. They increased whereas absorption was the lowest at AZ 2.5 phr when the amount of red algae in polymer blend increased, the decomposing ability of polymer by microorganism in soil also increased.

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาช่วยให้คำปรึกษา แนะนำ และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการดำเนิน โครงการงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วีณา ชูโชติ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพที่ช่วยอนุเคราะห์ให้สายรหัสสีแดงที่ใช้เป็นวัสดุในโครงการงานพิเศษ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทดสอบสมบัติการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพที่เอื้อเพื่อให้ใช้สถานที่ในการปฏิบัติงาน โครงการงานพิเศษ ทำให้โครงการงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงโดยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และดร.สุภารัตน์ จำปา อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการงานพิเศษ ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบและช่วยแก้ไขโครงการงานพิเศษ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาทำให้โครงการงานพิเศษฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรที่ให้ยืมใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือในการดำเนินงาน โครงการงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ควบคุม Shop เคมีพอลิเมอร์ที่ให้ความช่วยเหลือทุกอย่างในการดำเนินงานโครงการงานพิเศษนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ รวมทั้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

น.ศ. ลลิตา บุญโถม

น.ศ. วราภรณ์ พุทธิสสะ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาโครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วัสดุที่ใช้	4
2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	4
2.1.1.1 กระบวนการผลิตและตัวเร่งปฏิกิริยา	4
2.1.1.2 คุณสมบัติทั่วไป	5
2.1.1.3 กระบวนการประยุกต์ใช้งาน	6
2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	8
2.1.3 พอลิพรอพิลีน	9
2.1.4 รีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	10
2.1.5 ไซอีพอลีน (Epolene wax)	10
2.1.6 เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide)	12
2.1.7 น้ำมันแร่	13
2.1.7.1 ประโยชน์ที่ได้รับจากน้ำมันแร่ในพลาสติก	13
2.1.7.2 ลักษณะเฉพาะตัวของน้ำมันแร่	14
2.1.8 สาทรงยีสี่แดง	16
2.2 พอลิเมอร์ผสม	16
2.2.1 ความสามารถในการเข้ากันได้	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.3 เครื่องมือ และหลักการทำงาน	19
2.3.1 เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคนเดียว	19
2.3.2 เครื่องฉีดขึ้นรูป	20
2.4 โฟมประเภทเทอร์โมพลาสติก	22
2.4.1 วัสดุที่ใช้ทำโฟม	22
2.4.2 กรรมวิธีการฉีดขึ้นงานโฟมเทอร์โมพลาสติก	22
2.5 เสถียรภาพของพลาสติก	25
2.5.1 สาเหตุที่ทำให้พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่สามารถ ย่อยสลายได้	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้	31
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	32
3.3 วิธีการทดลอง	33
3.3.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	33
3.3.2 ขั้นตอนการผสม	33
3.4 การทดสอบ	34
3.4.1 การหาปริมาณความชื้นในสาหร่าย	34
3.4.2 สมบัติเชิงกล	35
3.4.3 สมบัติการดูดซับน้ำ	36
3.4.4 สมบัติทางสัณฐานวิทยา	36
3.4.5 สมบัติในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การหาปริมาณความชื้นของสาหร่ายสีแดง	38
4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล	38
4.2.1 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่ายสีแดง	38
4.2.1.1 ความแข็งแรงดึง	38
4.2.1.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาด	38
4.2.1.3 มอดุลัส	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.2.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ	39
4.2.1.5 ความแข็งแรงกระแทก	39
4.2.1.6 ค่าความแข็ง	39
4.2.2 ศึกษาปริมาณของ AZ ที่เหมาะสม	44
4.2.2.1 ความแข็งแรงดึง	44
4.2.2.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาด	44
4.2.2.3 ความแข็งแรงโค้งงอ	44
4.2.2.4 ความแข็งแรงกระแทก	44
4.2.2.5 ค่าความแข็ง	45
4.3 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	49
4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยา	50
4.4.1 ลักษณะการกระจายตัวของสารยาสีแดงในพอลิโอฟีนส์	50
4.4.2 ศึกษาผลของปริมาณ AZ ต่อลักษณะพื้นผิวของวัสดุ	52
4.4.3 ศึกษาลักษณะผิวของวัสดุก่อนและหลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน	56
4.5 การศึกษาสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ	59
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัย	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของกระบวนการขึ้นรูป และดัชนีการไหล	7
ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำมันแร่	14
ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันแร่	15
ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรในการผสมระหว่างพลาสติกกับสารยาสีแดง	34
ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรในการผสมโฟมพอลิโอฟีนส์ผสมสารยาสีแดง	34
ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ	59



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยไฮอีพอลีน	11
รูปที่ 2.2 แสดงความเป็นไปได้ทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม	17
รูปที่ 2.3 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์	18
รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของเครื่องฉีดขึ้นรูป	21
รูปที่ 2.5 แสดงการอัดแบบฉีดของ โครงสร้างโฟมที่มีสององค์ประกอบ	24
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงดึงกับปริมาณสาหร่ายสีแดง	41
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาดกับปริมาณสาหร่ายสีแดง	41
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่ามอดุลัสกับปริมาณสาหร่ายสีแดง	42
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงโค้งงอกับปริมาณสาหร่ายสีแดง	42
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณสาหร่ายสีแดง	43
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงกับปริมาณสาหร่ายสีแดง	43
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงดึงกับปริมาณ AZ	46
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การยืดออกกับปริมาณ AZ	46
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของค่ามอดุลัสกับปริมาณ AZ	47
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงโค้งงอกับปริมาณ AZ	47
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณ AZ	48
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงกับปริมาณ AZ	48
รูปที่ 4.13 แสดงค่าการดูดซับน้ำ	49
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิ โอลิฟินส์ กำลังขยาย 2000 เท่า	50
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะพื้นผิวของสาหร่ายสีแดง กำลังขยาย 2000 เท่า	51
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสาหร่ายสีแดงปริมาณ 40 phr ในพอลิ โอลิฟินส์ กำลังขยาย 140 เท่า	51
รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะรอยเชื่อมต่อระหว่างพื้นผิวของสาหร่ายสีแดงกับพอลิ โอลิฟินส์ กำลังขยาย 2000 เท่า	52
รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายใน โครงสร้างที่มีปริมาณ AZ 0.5 phr กำลังขยาย 100 เท่า	53
รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายใน โครงสร้างที่มีปริมาณ AZ 1.0 phr กำลังขยาย 100 เท่า	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายใน โครงสร้างที่มีปริมาตร AZ 1.5 phr กำลังขยาย 100 เท่า	54
รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายใน โครงสร้างที่มีปริมาตร AZ 2.0 phr กำลังขยาย 100 เท่า	55
รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายใน โครงสร้างที่มีปริมาตร AZ 2.5 phr กำลังขยาย 100 เท่า	55
รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโอลิฟินส์ผสมสารช่วยเสถียรก่อนถูกย่อยสลาย โดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน กำลังขยาย 200 เท่า	56
รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุ โฟมพอลิโอลิฟินส์ผสมสารช่วยเสถียรก่อนถูกย่อย สลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน กำลังขยาย 200 เท่า	57
รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโอลิฟินส์ผสมสารช่วยเสถียรหลังจากถูกย่อย สลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดินเป็นเวลา 12 วัน กำลังขยาย 200 เท่า	57
รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุ โฟมพอลิโอลิฟินส์ผสมสารช่วยเสถียรหลังจากถูก ย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดินเป็นเวลา 12 วัน กำลังขยาย 200 เท่า	58
รูปที่ 4.27 แสดงภาพถ่ายของวัสดุพอลิโอลิฟินส์ผสมสารช่วยเสถียรที่ไม่มีการเจริญของ เชื้อจุลินทรีย์	61
รูปที่ 4.28 แสดงภาพถ่ายของวัสดุ โฟมพอลิโอลิฟินส์ผสมสารช่วยเสถียรที่ไม่มีการเจริญ ของเชื้อจุลินทรีย์	61
รูปที่ 4.29 แสดงภาพถ่ายของการเจริญของจุลินทรีย์บนวัสดุพอลิโอลิฟินส์ผสมสารช่วยเสถียร ในวันที่ 12 ของการทดลอง	61
รูปที่ 4.30 แสดงภาพถ่ายของการเจริญของจุลินทรีย์บนวัสดุโฟมพอลิโอลิฟินส์ผสม สารช่วยเสถียรในวันที่ 12 ของการทดลอง	61

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความและที่มาของโครงการพิเศษ

พลาสติกหรือพอลิเมอร์เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากการสังเคราะห์ตามกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติที่สามารถผลิตเป็นเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันและตัดแปลงให้เป็นรูปร่างต่างๆตามที่ต้องการได้ง่าย มีน้ำหนักเบา สะดวกในการขนส่ง แต่พลาสติกก็มีข้อเสียคือไม่สามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วทำให้เกิดขยะพลาสติกกลายเป็นมลพิษ การแก้ปัญหาขยะพลาสติกจึงเป็นเรื่องจำเป็น แต่ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการในการกำจัดขยะที่เหมาะสม การแก้ปัญหาจึงต้องอาศัยการนำพลาสติกที่ใช้แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Recycle) และการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ ในปัจจุบันจึงมีผู้คิดค้นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้มีคุณภาพดีขึ้นและลดต้นทุนการผลิต โดยเน้นไปที่การนำพลาสติกที่ใช้แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Recycle) และการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้โดยการทำพอลิเมอร์คอมพอสิตเพื่อนำไปใช้งานในด้านต่างๆ

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นพลาสติกที่ใช้กันมากในการผลิตบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดนม ถังพลาสติกใส่ของ เป็นต้น จึงมีการศึกษาการนำพลาสติกที่ใช้แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Recycle) และศึกษาหาสารเติมแต่ง (Additives) ต่างๆที่เหมาะสม เช่น สารตัวเติม (Fillers) เพื่อลดต้นทุนการผลิต สารเสริมแรง (Reinforcing materials) ปรับปรุงสมบัติเชิงกล สารช่วยให้เกิดโฟม (Blowing agent) สารหน่วงการติดไฟ (Flameretardants) สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน (Antioxidants) เพื่อรักษาเสถียรภาพของพลาสติก ในกรณีที่มีการเติมสารตัวเติมจะต้องมีการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้สารปรับปรุงผิว (Surface modifier) และสารเคมีที่ช่วยในการกระจายตัวพบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการนำพลาสติกที่ใช้แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Recycle) มีสมบัติต่างๆใกล้เคียงกับที่ไม่ผ่านการนำพลาสติกที่ใช้แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Recycle) และเส้นใยเซลลูโลสเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจมากเนื่องจากมีข้อดี คือ

1. มีความหนาแน่นต่ำ
2. ลดต้นทุนการผลิต
3. ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ได้ดี
4. ใช้พลังงานในการผลิตต่ำ
5. สามารถเลือกใช้เส้นใยได้หลายชนิด
6. สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่ายสีแดงเป็นเส้นใยเซลลูโลสชนิดหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษคือ สามารถนำมาสกัดวุ้นออกจากสาหร่ายสีแดงได้ จึงนำมาตัดแปลงเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ โดยต้องมีการปรับปรุงสมบัติในการกระจายตัวและการยึดติดของเส้นใยพอลิเมอร์ ซึ่งต้องใช้สารเคมีช่วยในการกระจายตัวและเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างวัฏภาค

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการนำสาหร่ายสีแดงมาเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ได้จากการนำขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้วมาผสมกันเพื่อปรับปรุงสมบัติ โดยการเติมสารเคมีที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวระหว่างวัฏภาคที่มีขั้วของผงสาหร่ายสีแดงกับวัฏภาคที่ไม่มีขั้วของพอลิเมอร์และมีการเติมสารเคมีที่ช่วยทำให้เกิดฟอง (Blowing agents) เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งและลดความหนาแน่นของวัสดุ ในการทดลองนี้ศึกษาถึงผลของสารตัวเติม (ผงสาหร่ายสีแดง) และปริมาณสารช่วยในการเกิดฟอง (AZ) ที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสม พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และ พอลิพรอพิลีน (พอลิโอลิฟินส์) กับสาหร่ายสีแสด
2. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของพอลิโอลิฟินส์ สาหร่ายสีแสดและสารที่ทำให้เกิดฟองในการนำไปใช้ทำโฟม
3. เพื่อศึกษาสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตโฟมของพอลิโอลิฟินส์ผสมสาหร่ายสีแสด
4. เพื่อศึกษาถึงสมบัติที่เหมาะสมของโฟมพอลิโอลิฟินส์ผสมสาหร่ายสีแสด

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พอลิพรอพิลีนและผงสาหร่ายที่ปริมาณต่างๆ
2. ศึกษาถึงผลของปริมาณของพอลิโอลิฟินส์ สาหร่ายสีแสดและสารที่ทำให้เกิดฟองที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิโอลิฟินส์
3. ศึกษาถึงสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิต โฟมพอลิโอลิฟินส์ผสมสาหร่ายสีแสด
4. ศึกษาถึงความสามารถในการย่อยสลายและสมบัติการดูดซับน้ำของ โฟมพอลิโอลิฟินส์ผสมสาหร่ายสีแสด

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดปริมาณขยะที่เกิดจากขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยการนำพลาสติกที่ใช้แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Recycle)
2. พัฒนาความรู้เกี่ยวกับสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์
3. ทราบถึงความสามารถในการย่อยสลายพลาสติก
4. ทราบถึงปริมาณสารช่วยทำให้เกิดฟองที่เหมาะสมในการเกิด โฟมของพอลิโอลิฟินส์ผสมสาหร่ายสีแสดในการนำไปปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ
5. ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำโฟมพอลิโอลิฟินส์ผสมสาหร่ายสีแสดที่เตรียมได้ไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและการดำเนินงานวิจัย

#### 2.1 วัสดุที่ใช้

##### 2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene ; HDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจัดเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทโพลีโอเลฟินส์ ซึ่งได้มาจากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของเอทิลีน โดยเริ่มมีมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1956 และได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก HDPE อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

##### 2.1.1.1 กระบวนการผลิตและตัวเร่งปฏิกิริยา

พอลิเอทิลีนส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการมลสาย (Slurry process) หรือ กระบวนการวัฏภาคก๊าซ (Gas phase process) แต่ยังคงมีการใช้กระบวนการวัฏภาคสารละลายอยู่บ้าง ซึ่งในกระบวนการทั้งหมดนี้เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน โดยขึ้นกับส่วนประกอบหลัก คือ เอทิลีนมอนอเมอร์  $\alpha$ -โอเลฟิน โคมอนอเมอร์ ตัวเร่งปฏิกิริยา (อาจมีมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ) และสารละลายไฮโดรคาร์บอนบางชนิดโดยใช้ไฮโดรเจนกับตัวเร่งปฏิกิริยาในการควบคุมน้ำหนักโมเลกุล [1]

สำหรับกระบวนการมลสาย (Slurry process) กระบวนการเริ่มจากเอทิลีนมอนอเมอร์กับโคมอนอเมอร์ (ถ้ามี) ทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาในถังปั่นกวนทำให้อนุภาคของพอลิเอทิลีนก่อตัวขึ้นเป็นพอลิเมอร์จากนั้นนำมาเข้าเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนุขนาดใหญ่ออกมาทำให้เป็นเม็ด (Pellets) [2]

ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีเพื่อที่จะพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กับ HDPE โดยแบ่งตามประเภทออกเป็น 2 ประเภท คือ

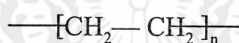
- กระบวนการ Ziegler ตัวเร่งที่ใช้คือ Titanate/Alumimium alkyl catalyts ( $TiCl_4-R_3Al$ ) ที่ความดันสูงกว่าบรรยากาศเล็กน้อย (2-4 บรรยากาศ) และอุณหภูมิ 50 – 75 °C ในตัวกลางเฉื่อย ดังนั้นเมื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์จะตกตะกอนออกมาหลังจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสิ้นสุดตัวเร่งจะถูกทำลายลงโดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล สารทั้งหมดที่เกิดขึ้น (ยกเว้นพอลิเมอร์) สามารถถูกสกัดออกไปด้วยกรดไฮโดรคลอริกในแอลกอฮอล์ แล้วนำพอลิเมอร์ที่ได้ไปหึ่ง แล้วทำให้แห้ง ใช้ในการผลิต HDPE ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลในช่วงแคบ [1]

- กระบวนการ Phillips-type Chromium oxide-based catalyts กระบวนการนี้ใช้โครเมียมไตรออกไซด์ ( $CrO_3$ ) ที่มีตัวพวง เช่น ซิลิกา หรืออะลูมินาเป็นตัวเร่งในตัวกลางเฉื่อย เช่น ไฮโดร

เฮกเซน ภาวะของปฏิกิริยาอยู่ระหว่างกลางของกระบวนการความดันสูงที่ใช้เตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และกระบวนการ Ziegler ความดันที่ใช้ทั่วไป 30 – 40 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 90 – 160 °C จะได้ HDPE ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลในช่วงปานกลางถึงกว้าง [1]

### 2.1.1.2 สมบัติทั่วไป

HDPE มีความเป็นผลึกสูงเนื่องจาก มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรง และมีโซ่กิ่งน้อยมาก ไม่มีขั้ว มีสมบัติต้านทานต่อสารเคมีสูง และไม่ดูดซึมของผสม ซึ่งจัดเป็นสารที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor barrier) ที่ดี ในเรื่องของบรรจุภัณฑ์ มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี HDPE ที่มีช่วงของน้ำหนักโมเลกุลปานกลางถึงสูงจะมีสมบัติด้านความทนทานต่อแรงกระแทกดีมาก ซึ่งสูตรโครงสร้างอย่างง่ายเป็นดังนี้



สมบัติเฉพาะของ HDPE แต่ละชนิดจะขึ้นกับ 4 ตัวแปร คือ ความหนาแน่น น้ำหนักโมเลกุล การกระจายน้ำหนักโมเลกุล และสารเติมแต่ง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

#### 1) ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการหาคุณสมบัติของ HDPE โดย HDPE จะมีความหนาแน่นมากกว่า 0.940 g/cm<sup>3</sup> ส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) จะอยู่ในช่วง 0.926 – 0.940 และไฮโพลิเมอร์มีความหนาแน่นสูงสุด มีความแข็งตึง (Stiffness) และสมบัติการซึมผ่าน (Barrier properties) ที่ดีมาก แต่โดยทั่วไปจะให้ค่า Environmental Stress Crack Resistance (ESCR) ที่ต่ำ (ESCR คือ ความสามารถในการต้านทานต่อความเค้นทางกลหรือความเค้นทางเคมี) โดยปกติความหนาแน่นที่สูงกว่าจะปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงตึง (Tensile strength) ความแข็งตึง (Stiffness) และความแข็ง (Hardness) และสมบัติทางความร้อน เช่น อุณหภูมิที่เกิดการเบี่ยงเบน (Heat distortion temperature) และสมบัติการซึมผ่าน (Barrier properties) เช่น การส่งผ่านของก๊าซหรือไอน้ำ (Water Vapor transmission) ส่วนที่มีความหนาแน่นที่ต่ำกว่าจะปรับปรุงสมบัติทางด้านความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) และความสามารถในการต้านทานต่อความเค้น (ESCR) [2]

#### 2) น้ำหนักโมเลกุล (MW)

ปกติ HDPE จะมี MW อยู่ในช่วง 40,000 – 300,000 ซึ่งมีค่า MI อยู่ในช่วง 0.02 – 100 g/10 min โดยค่า MW จะมีผลต่อค่า MI ถ้าค่า MW สูงแล้วความหนืดจะสูง ทำให้ค่า MI ต่ำ แต่ถ้าค่า MW ต่ำแล้วความหนืดต่ำให้ค่า MI สูง ค่า MW ที่สูงกว่า (MI ต่ำกว่า) จะปรับปรุงความทนทานต่อการหลอมเหลว (Melt strength) ให้ความเหนียว (Toughness) ดีกว่า และความสามารถใน

การต้านทานต่อความเค้น (ESCR) ที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม MW ที่สูงกว่าจะทำให้เวลานำไปใช้งานต้องใช้อุณหภูมิสูงหรือความดันสูงตามไปด้วย

### 3) การกระจายน้ำหนักโมเลกุล (MWD)

การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอทิลีนจะอยู่ในช่วงแคบถึงกว้างซึ่งขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการใช้ HDPE ที่มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลที่แคบจะให้การโก่งงอ (Warpage) ที่ต่ำ และค่าความทนต่อแรงกระแทกสูง ส่วน HDPE ที่มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงปานกลางถึงกว้างจะให้ความสามารถในการขึ้นรูปที่ดีกว่าในกระบวนการอัดรีด สำหรับ HDPE ที่มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุล อยู่ในช่วงกว้างจะปรับปรุงความทนทานต่อการหลอมเหลว (Melt strength) และความต้านทานต่อการคืบได้ดี [2]

### 4) สารเติมแต่ง

สารเติมแต่งที่ใช้อาจใช้สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน เพื่อป้องกันการสลายตัวของพอลิเมอร์ในระหว่างอยู่ในกระบวนการขึ้นรูปและในระหว่างการใช้งานหรือใช้สารเพิ่มเสถียรภาพทางแสง เพื่อป้องกันการสลายตัวเนื่องจากแสงอัลตราไวโอเล็ต นอกจากนี้ยังมีสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ เช่น สารตัวเติม (Filler) เพื่อลดต้นทุนในการผลิตสารเสริมแรง (Reinforcing materials) ปรับปรุงสมบัติเชิงกล สารช่วยให้เกิดฟอง (Blowing agents) และสารหน่วงการติดไฟ (Flame retardant) เป็นต้น[2]

#### 2.1.1.3 กระบวนการและการประยุกต์ใช้งาน

HDPE ถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆเช่น ภาชนะบรรจุภัณฑ์ แก้ว โตะ ขวดน้ำ อุปกรณ์ต่างๆ ฯลฯ โดยผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การเป่าขึ้นรูป (Blow molding) การหมุนขึ้นรูป (Rotational molding) การรีด (Calendering) และการขึ้นรูปร้อน (Thermoforming) เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง  $0.941 - 0.970 \text{ g/cm}^3$  [3] ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะกระบวนการขึ้นรูปและดัชนีการไหลแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของกระบวนการขึ้นรูปและดัชนีการไหล [1]

กระบวนการขึ้นรูป	ดัชนีการไหล MI ( g/10 min )
เป่าแบบ (Blow molding)	0.04-1.12
ฟิล์ม (Cast & Blown film)	0.08-7
ฉีดแบบ (Injection molding)	0.2-50
หมุนแบบ (Rotational molding)	5-20
ท่อและแผ่นพลาสติก (Pipe & Sheet Extrusion)	1.01-1.0
เคลือบสายไฟ (Wire&Cable Coating)	0.01-1.0

นอกจากนี้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำยังจำแนกออกตามน้ำหนักโมเลกุลดังนี้

- 1) เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงประเภทน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง
  - ดัชนีการไหลอยู่ระหว่าง 0.1 – 0.5 g/10 min
- 2) เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงประเภทน้ำหนักโมเลกุลสูง
  - มีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่า 0.1 g/10 min
  - ความหนาแน่นโดยทั่วไป 0.944 – 0.954 g/cm<sup>3</sup>
  - การกระจายน้ำหนักโมเลกุลกว้างซึ่งจัดเป็นสมบัติเด่นของเม็ดพลาสติกประเภทนี้

การใช้งานของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงประเภทน้ำหนักโมเลกุลสูง

- ใช้ในการทำฟิล์ม เช่น ทำเป็นถุงหูหิ้ว
- ใช้ทำท่อที่ต้องทนแรงดันสูง เช่น ท่อฉีดน้ำในเหมืองแร่ ท่อก๊าซหรือท่อน้ำเสีย เป็นต้น
- ใช้ในงานเป่าแบบ เพื่อทำชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น ถังเก็บน้ำมัน ถังใส่สารเคมี
- ใช้ทำแผ่นพลาสติก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความหนาตั้งแต่ 12 – 250 mm เพื่อนำไปเป็นแผ่นปูในกระเบรหรือบ่อน้ำ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงใช้ในการผลิตขวดน้ำพลาสติกและภาชนะบรรจุอื่นๆ เช่น ภาชนะบรรจุกรด เบส เคมีภัณฑ์ สารชำระล้าง ปริมาณมากกว่าร้อยละ 40 อีกประมาณร้อยละ 20 ใช้ทำของใช้ในครัวและของเด็กเล่น ส่วนที่เหลือใช้ทำฟิล์มเพื่อห่อหุ้มของและอาหาร ถุงพลาสติก (ถุงร้อน) หุ้มสายไฟ ทำสายยางและอื่นๆ HDPE สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยผ่านกระบวนการใหม่เช่น นำมาทำขวดน้ำดื่มเป็นต้น [3]

### 2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

สมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนแตกต่างออกไปบ้าง ขึ้นกับองศาหรือปริมาณของสาขาโซ่ โดยทั่วไปถ้าโมเลกุลมีสาขาโซ่มากพอลิเมอร์มีความเป็นผลึกต่ำเพราะ โอกาสที่อะตอมต่างๆ ในโมเลกุลจะจัดการอย่างเป็นระเบียบเพื่อเกิดลักษณะผลึกมีน้อยกว่าสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นและจุดหลอมเหลว ความแข็งแรงก็ต่ำลงด้วย การแพร่ผ่านของแก๊สและความชื้นที่มีต่อพอลิเมอร์จะสูงกว่า อย่างไรก็ตามพอลิเอทิลีนที่เตรียมโดยกระบวนการใช้ความดันสูงจะมีผลึกปานกลาง (ทั่วไปมีร้อยละของความเป็นผลึก 50-60) จุดหลอมเหลว ( $T_m$ ) ประมาณ  $115^{\circ}\text{C}$  มีความหนาแน่น  $0.91\text{-}0.94\text{ g/cm}^3$  ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรเจนเตตไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอิน ไซลีนและไดคลอโรเอทิลีน นอกจากนี้พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำนี้มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมและเฉื่อยเป็นพิเศษต่อปฏิกิริยาเคมีต่างๆไป สามารถทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เช่นเช่นพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำในกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริกที่  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมงไม่พบการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด แต่กับกรดไนตริก ณ สภาวะเดียวกันจะเปลี่ยนเป็นสีดำ (Charred) ที่ผิว พอลิเอทิลีนจึงสามารถใช้ทำภาชนะบรรจุกรดแก่รวมทั้งกรดไฮโดรฟลูออริก (HF)

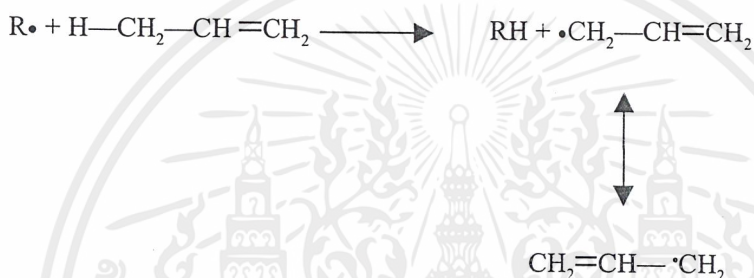
เมื่อให้พอลิเมอร์นี้สัมผัสกับแสงแดดและออกซิเจนเป็นเวลานานๆ พอลิเมอร์นี้จะเสื่อมคุณภาพลงได้ เช่น จะสูญเสียความแข็งแรง ความสามารถในการยืดหยุ่นและความสามารถในการต้านทานการสึกหรอและฉีกขาด ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมจากคาร์บอนเทอร์เทียรี (Tertiary carbon) ที่เป็นคาร์บอนที่เกิดสาขาโซ่ การเติมสารเพิ่มความเสถียรอาจช่วยหน่วงเหนี่ยวการเสื่อมสภาพได้

พอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นทั้งหมดนำไปผลิตเป็นแผ่นฟิล์มใช้สำหรับห่ออาหาร ทำถุงพลาสติก ผ้า พลาสติก ขันน้ำ ฝาปุ๊โตะ พอลิเอทิลีนที่เหลือใช้ทำของใช้ในบ้าน ของเด็กเล่น ใช้หุ้มสายไฟฟ้า และในงานก่อสร้าง เป็นต้น [1]

### 2.1.3 พอลิพรอพิลีน (PP)

พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบา มีจุดหลอมเหลวปานกลาง ใช้ในการผลิตท่อ แผ่นพลาสติก ภาชนะเป่าขึ้นรูปและเส้นใย ปกติไม่สามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ของแอลฟา-โอดิฟินส์ โดยตัวเร่งอนุคลิอิสระหรือตัวเร่งไอออนิก [4]

สาเหตุที่พอลิพรอพิลีนไม่สามารถเกิดพอลิเมอร์ไรซ์โดยกลไกแบบอนุคลิอิสระหรือตัวเร่งไอออนิกได้เพราะอนุคลิอิสระสามารถดึงเอาไฮโดรเจนบนอัลฟาคาร์บอนนี้ออกเกิดเป็นมอนอเมอร์ที่มีเสถียรภาพโดยเรโซแนนซ์ [1] ดังนี้



การเกิดอนุคลิอิสระของมอนอเมอร์ที่มีเสถียรภาพนี้เป็นแรงดันให้เกิดปฏิกิริยาการย้ายลูกโซ่อย่างมากภายในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันประกอบด้วยอนุคลิอิสระของมอนอเมอร์ที่ได้ไม่ว่องไวพอที่จะทำปฏิกิริยาต่อไปได้ พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงไม่อาจเกิดขึ้นได้

อะแทกติกพอลิพรอพิลีน (aPP) สามารถสังเคราะห์จากกรดลิวอิสและสารประกอบออร์กาโนแมทัลลิก แต่มีข้อกึ่งมาก มีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องคือ 20 °C จึงไม่มีประโยชน์เชิงพาณิชย์ ต่อมาพบว่าตัวเร่งชนิด Ziegler สามารถผลิตพอลิพรอพิลีนที่มีสเตอริโอเคมีได้ พอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูง เรียกว่า ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (iPP) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับ HDPE พบว่าการสังเคราะห์แอลฟา-โอดิฟินส์ ด้วยสารประกอบโคออร์ดิเนชันเกิดช้าและซับซ้อนกว่าไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (150,000 – 1,500,000) สังเคราะห์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบไม่เข้ากันของไททานเนียม (III) คลอไรด์กับตัวเร่งร่วมสารประกอบออร์กาโนอะลูมิเนียม เช่น ไดเอทิลอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาแขวนลอยอยู่ในสารไฮโดรคาร์บอนช่วยส่งผ่านความร้อน อุณหภูมิของปฏิกิริยา 50 – 80 °C และความดัน 25 บรรยากาศ อาจใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวถ่ายโอนโซ่เพื่อควบคุมน้ำหนักโมเลกุล สำหรับซินไดโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (sPP) สังเคราะห์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Homogeneous Ziegler-Natta ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเมื่อเทียบกับไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงโดยตลอดปราศจากสาขาโซ่ มีความเป็นผลึกสูง มีจุดหลอมตัว 165 °C พอลิเมอร์นี้ถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ว่าเป็นพลาสติกที่เบาที่สุดชนิดหนึ่ง มีความหนาแน่นเพียง  $0.905 \text{ g/cm}^3$  และเนื่องจากความเป็นผลึกสูงนี้เองเป็นเหตุให้พอลิเมอร์นี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก เช่น เหนียว แข็งแกร่งและมีค่าความแข็งแรงดึงสูง จุดหลอมตัวก็สูงกว่าพอลิเอทิลีน ทำให้พอลิพรอพิลีนเหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า วัสดุที่ทำจากพอลิพรอพิลีนยังคงรักษาความแข็งแรงและรูปทรงไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง  $140^\circ\text{C}$

สมบัติการละลายได้ของพอลิพรอพิลีนคล้ายกับพอลิเอทิลีน กล่าวคือ ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายใดๆ ทั้งสิ้น ณ อุณหภูมิห้อง แต่จะละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า  $80^\circ\text{C}$  ทำนองเดียวกันกับกรณีพอลิเอทิลีน พอลิเมอร์นี้ทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดีและเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป อย่างไรก็ตามเสถียรภาพต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดซ์ของพอลิเมอร์มีน้อยกว่าพอลิเอทิลีนเพราะโซ่ของพอลิพรอพิลีนมี H อะตอมเกิดพันธะกับคาร์บอนเทอร์เชียรี ดังนั้นก่อนนำพอลิพรอพิลีนไปใช้งานต้องมีการเติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนและสารเพิ่มเสถียรภาพทางแสงด้วย ซินไดโอแทกติกพอลิพรอพิลีนมีจุดหลอมเหลวต่ำและละลายในตัวทำละลาย พอลิพรอพิลีนที่ผลิตขึ้นส่วนใหญ่นำไปทำเป็นส่วนประกอบ ชิ้นส่วนรถยนต์และอุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน ส่วนที่เหลือใช้ในรูปเส้นใย (เชือก) และฟิล์ม [1]

#### 2.1.4 รีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

HDPE เป็นพอลิเมอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย สมบัติของรีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงขึ้นอยู่กับสมบัติของเรซินและการใช้งานของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปสมบัติเชิงกลและสมบัติการไหลจะยังคงมีสมบัติคงเดิม แต่ความทนทานต่อแรงกระแทกและความต้านทานต่อการแตกหักและความเค้นเนื่องจากสิ่งแวดล้อมลดลงจากเดิม [5]

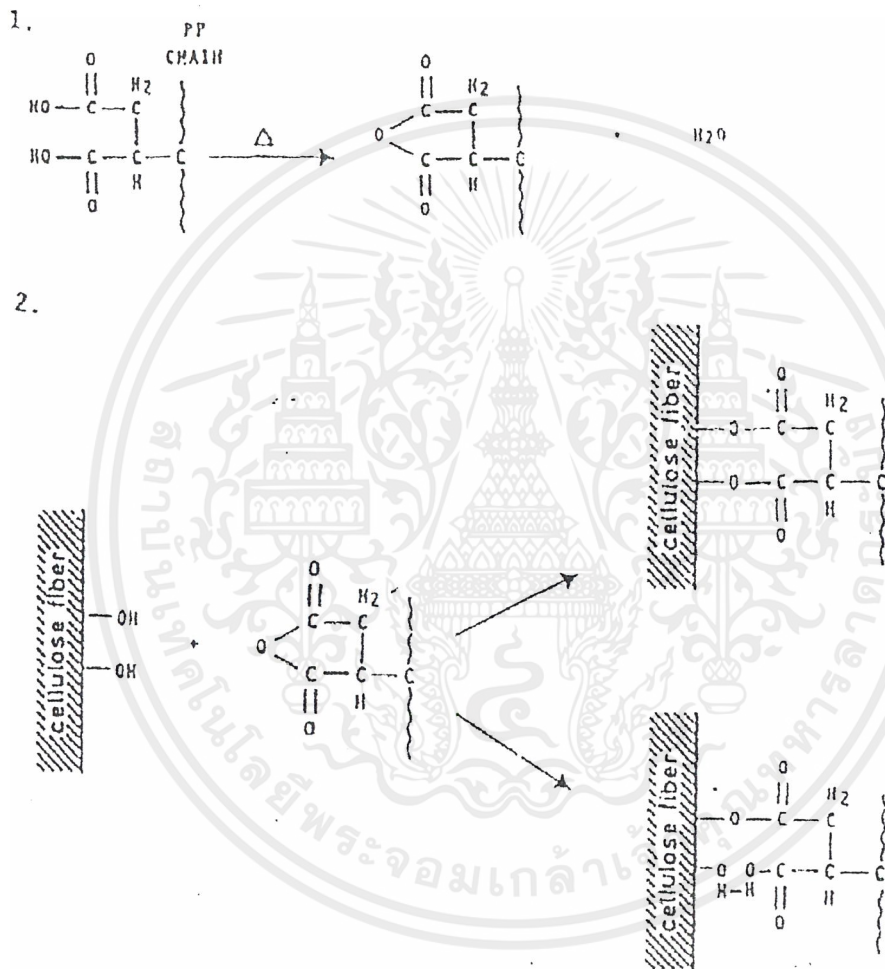
#### 2.1.5 ไซอีพอลีน (Epolene wax) หรือ Maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP)

ไซอีพอลีนหรือมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน เป็นสารปรับปรุงการยึดติดและกระจายตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีขั้ว (Hydrophobic phase) กับเส้นใยเซลลูโลสที่มีขั้ว (Hydrophilic phase) สมบัติดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดสมบัติของคอมโพสิต ไซอีพอลีนเป็นสารที่ไม่เพียงแต่จะทำให้ผิวของพอลิพรอพิลีนมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ยังสามารถเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนผิวเส้นใยเซลลูโลส

การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์และหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลส ได้ถูกวิเคราะห์โดยการหาหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดพันธะโควาเลนต์นี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 1 ขั้นตอนการกระตุ้นโคพอลิเมอร์จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแบบแอนไฮไดรด์ซึ่งวงไวกว่า  
 ขั้นที่ 2 เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันบนเส้นใย ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน[6] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำกรปรับปรุงสภาพผิวด้วยไซอีพอลิน (MAPP) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6 เอโซไดคาร์บอนาไมด์ (Azodicarbonamide (AZ))

Azodicarbonamide (AZ) ทำหน้าที่เป็นสารทำให้เกิดฟอง เป็นสารเคมีที่ช่วยให้พอลิเมอร์มีโครงสร้างเป็นรูหรือโพรงเล็กๆ (Cellular polymer) โดยที่ภายในช่องว่างจะมีก๊าซอยู่ จะมีสมบัติพิเศษคือ ให้ก๊าซในช่วงอุณหภูมิแคบและแน่นอน อุณหภูมิของการสลายตัวต้องเหมาะสม มีสมบัติดังนี้ [7]

- ลักษณะทางกายภาพ
  - เป็นผงผลึกสีเหลืองส้ม ไม่ละลายในตัวทำละลายเกือบทุกชนิด
- โครงสร้างทางเคมี
  - $$\text{NH}_2\text{CON}=\text{NCONH}_2$$
- สารระเหยที่ได้
  - $$\text{N}_2 \quad \text{CO} \quad \text{CO}_2$$
- ช่วงอุณหภูมิการสลายตัว ขึ้นอยู่กับขนาดของผลึกและวิธีการเตรียม
  - $$190 - 230 \text{ }^\circ\text{C}$$

ในปัจจุบันนิยมใช้ AZ เป็นสารทำให้เกิดฟองเนื่องจากมีสมบัติ ดังนี้

1. ราคาถูก
2. ไม่มีความเป็นพิษ
3. ไม่มีกลิ่นรบกวน
4. ไม่เป็นสารส่งเสริมการเผาไหม้
5. ช่วงอุณหภูมิที่ใช้กว้าง
6. มีประสิทธิภาพสูง ( $220\text{-}240 \text{ cm}^3/\text{g}$ )
7. มีหลายเกรดให้เลือกใช้

### 2.1.7 น้ำมันแร่ (Mineral oils, White Mineral Oils)

น้ำมันแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกคือ ไฮโดรคาร์บอนเหลวที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมโดยเอาส่วนประกอบที่ทำให้เกิดสี กลิ่นและความเป็นพิษออก เป็นไฮโดรคาร์บอนแบบอิ่มตัว ซึ่งมีหลายประเภทดังนี้ [7]

- โครงสร้างที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงบางส่วน เรียกว่า “Naphthenic”
- โครงสร้างแบบสายโซ่ตรงหรือ โครงสร้างแบบกิ่งเรียกว่า “Paraffinic”

ทั้ง Naphthenic และ Paraffinic ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกเนื่องจากน้ำมันแร่มีความหนืดต่างๆขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่แยกตอนกลั่นปิโตรเลียม

#### 2.1.7.1 ประโยชน์ที่ได้รับจากน้ำมันแร่ในพลาสติก

น้ำมันแร่มีหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricant) คือเพิ่มความสามารถในการลื่นไหลผ่านกันของโมเลกุลพอลิเมอร์ ดังนั้นการเติมน้ำมันแร่จะมีผลให้

- ความหนืดลดลง
- คัดชนีการไหลเพิ่มมากขึ้น
- Stress coefficient ลดลง
- ค่าความแข็งแรงดึงลดลง
- การยืดหยุ่น ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น

### 2.1.7.2 ลักษณะเฉพาะตัวของน้ำมันแร่

#### - สมบัติทางเคมี

สมบัติทางเคมีของน้ำมันแร่แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำมันแร่[7]

	น้ำมันเอ พาราฟินิก ความหนืดสูง	น้ำมันบี พาราฟินิก ความหนืดสูง	น้ำมันซี แนฟทีนิก ความหนืดสูง
ชนิดของคาร์บอน			
% พาราฟินิกคาร์บอน	68	66	58
% แนฟทีนคาร์บอน	32	34	42
% อะโรมาติกคาร์บอน	0	0	0
ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุล	543	512	418
ปริมาณกำมะถัน (ppm)	1.0	1.0	1.0
ปริมาณไนโตรเจน (ppm)	0.5	0.6	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของน้ำมันแร่แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันแร่[7]

	น้ำมันเอ	น้ำมันบี	น้ำมันซี
	พาราฟินิก	พาราฟินิก	แนฟทินิก
	ความหนืดสูง	ความหนืดสูง	ความหนืดสูง
ความหนืด,SUS ที่ 38 °C (100°F)	556.1	406.6	353
ความหนืด,cSt ที่ 38 °C (100°F)	120.0	87.7	76.1
ความหนืด ,cSt ที่ 40 °C (104°F)	1.7.4	79.4	67.9
ดัชนีความหนืด	97	104	68
ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 25 °C (77°F)	0.8686	0.8639	0.8772
ดัชนีหักเหแสงที่ 20°C (68°F)	1.478	1.4748	1.4813
จุดไหลเท °C (°F)	-6.7(20)	-9(15)	-15(-5)
จุดวาบไฟ °C (°F)	286(515)	254(490)	216(420)
การกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D-1160			
2.5 % ที่ความดัน 10 ทอร์ °C	302	284	241
5 % ที่ความดัน 10 ทอร์ °C	306	291	245
แบบจำลองการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D-2887			
อุณหภูมิเริ่มของการกลายเป็นไอ °C	400	393	323
5 % °C	447	432	382
50 % °C	504	490	436
95 % °C	554	549	502
อุณหภูมิสุดท้ายของการกลายเป็นไอ °C	574	571	548

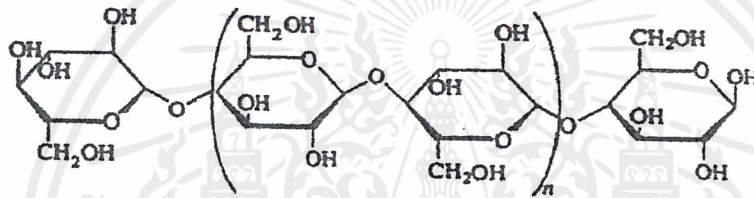
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.8 สาหร่ายสีแดง

สาหร่ายสีแดงหรือสาหร่ายพมนาง (*Gracilaria fisheri*) มีลักษณะเป็นพุ่มใหญ่สูงถึง 30 cm แดกแขนงมาก แต่ละแขนงยาว โคนคอดปลายเรียวแหลม ชีตโตคาร์บรูปกรวยมีจะงอยและฐานไม้คอด ขึ้นบนเปลือกหอย เศษหิน กรวด ฝูงพลาสติกและบนกระชังเลี้ยงปลาบริเวณพื้นโคลนปนทรายซึ่งน้ำค่อนข้างขุ่น สาหร่ายชนิดนี้พบมากที่ทะเลสาบสงขลาและอ่าวปัตตานี นิยมใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับสกัดวุ้น [8]

ผนังเซลล์ของสาหร่ายแดง [9] ประกอบด้วย

- ผนังเซลล์ชั้นในเป็นพวกลูกกลูโคส (1,4  $\beta$  - D - glucose) ซึ่งมีโครงสร้างดังต่อไปนี้

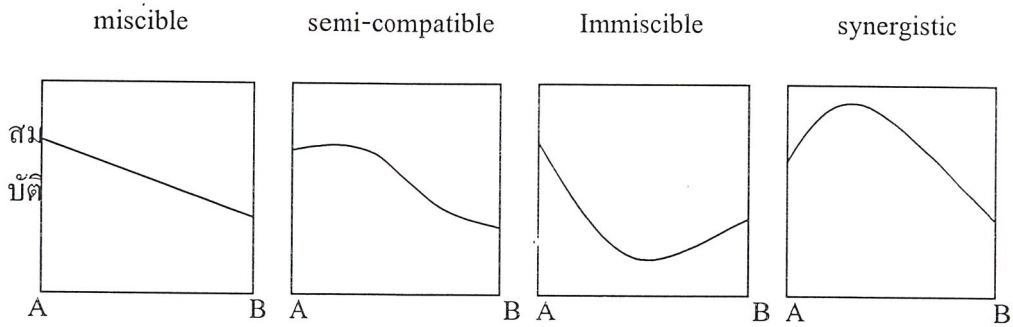


- ผนังเซลล์ชั้นนอกเป็นสารเมือกพวก Sulfated galactan ได้แก่ วุ้น (Agar) พอร์ไฟแรน (Porphyran) และคาร์ราจีแนน (Carrageenan) [10]

### 2.2 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blends)

การผสมพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเข้าด้วยกัน (Polymer blend) เป็นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพและช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี นอกเหนือจากการปรับปรุงสมบัติโดยใช้กระบวนการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมี (Chemical modification) หรือการปรับปรุงโดยใช้สารเคมี การผสมพอลิเมอร์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง โดยการนำพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเด่นมาผสมกับพอลิเมอร์ที่ต้องการ

โดยทั่วไปพอลิเมอร์ผสมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ พอลิเมอร์ที่สามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Miscible blend) และพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Immiscible blend) ปรากฏให้เห็นดังรูปที่ 2.2 [11]



รูปที่ 2.2 แสดงความเป็นไปได้ทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม [11]

### 2.2.1 ความสามารถในการเข้ากันได้

ความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) หมายถึง ความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน โดยที่สมบัติของพอลิเมอร์ผสมชนิดใหม่มาจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักรวม ซึ่งทราบได้จากการศึกษา และทดสอบสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสม

สาเหตุและปัญหาที่ทำให้พอลิเมอร์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้แก่

1. พลังงานอิสระของการผสม (Free energy of mixing) มีค่าเป็นบวกทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างพอลิเมอร์

เทอร์โมไดนามิกส์ของการละลายเข้ากันได้ เป็นสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการผลิตพอลิเมอร์ผสม โดยความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมถูกกำหนดโดยสมมูลเอนโทรปี ซึ่งมีผลต่อค่าพลังงานอิสระในการผสม สารโมเลกุลขนาดเล็กจะมีค่าเอนโทรปีสูงพอที่จะเกิดความสามารถในการละลายเข้ากันได้ แต่สำหรับพอลิเมอร์ซึ่งจัดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่จะมีค่าเอนโทรปีต่ำจนเกือบศูนย์ จึงทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมถูกกำหนดโดยเอนทัลปีเพียงอย่างเดียว โดยที่การเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระในการผสมเป็นดังสมการที่

1

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

เมื่อ  $\Delta G$  คือ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระในการผสม

$\Delta H$  คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสม

$\Delta S$  คือ การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสม

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของของผสม

การที่พอลิเมอร์จะสามารถผสมเข้ากันได้พลังงานอิสระในการผสมจะต้องตรงตามเงื่อนไข

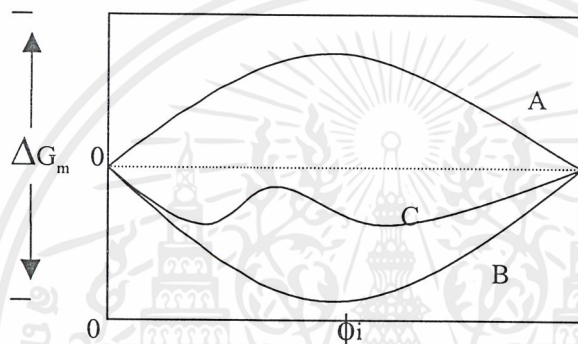
ไปตามสมการ (2) และ (3) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta G < 0 \quad (2)$$

$$\left[ \frac{\partial^2 \Delta G}{\partial \phi^2} \right]_{PT} > 0 \quad (3)$$

เมื่อ  $\phi$  เป็นเศษส่วน โมลของพอลิเมอร์หนึ่งองค์ประกอบ เมื่อนำสมบัติและอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองมาเขียนกราฟจะได้กราฟลักษณะตัวเอส ในกรณีที่สามารละลายเข้ากันได้บ้างและกราฟรูปตัวยูในกรณีที่สามารละลายเข้ากันได้ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์

เมื่อ

- A แสดงถึงความเข้ากันไม่ได้ของพอลิเมอร์
- B แสดงถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์
- C แสดงถึงความเข้ากันได้บางส่วนของพอลิเมอร์

2. ไม่สามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ที่ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น แรงดึงดูดระหว่างขั้วและพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นทั้งโมเลกุลของสายโซ่หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่เฉพาะเจาะจงในสายโซ่พอลิเมอร์เท่านั้น
3. ส่วนผสมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนไป
4. ในการเขียนกราฟระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่ใช้ สมบัติที่ทดสอบจะต้องได้จากการแยกออกจากกันในแต่ละวัฏภาค แต่บางครั้งพอลิเมอร์ที่ได้ไม่ได้แยกวัฏภาคอย่างเด่นชัด
5. พบว่าการผสมพอลิเมอร์ต่างชนิดกันอาจทำให้กระบวนการตกผลึกของพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้สมบัติบางอย่างที่ไม่ต้องการออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ที่ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatible blend) จำเป็นต้องนำมาปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของวัฏภาคพอลิเมอร์ทั้งสองเพื่อให้สมบัติทางกลศาสตร์ดีขึ้น โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ประการ คือ

1) องค์การกระจายตัวของวัฏภาคพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด

2) รูปร่างและขนาดของอนุภาคในวัฏภาคกระจายตัวในพอลิเมอร์ผสม ปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสมบัติเทอร์โมไดนามิกส์และลักษณะการไหลของพอลิเมอร์หลักที่เป็นองค์ประกอบทั้งสองชนิดรวมถึงวิธีการผสม สภาวะในการผสมและกระบวนการขึ้นรูปด้วย

โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ เรียกว่า เฮเทอโรจีเนียส (Heterogeneous) ซึ่งมีลักษณะเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) ของพอลิเมอร์หลักชนิดหนึ่ง และมีวัฏภาคการกระจายตัว (Disperse phase) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่กระจายตัวอยู่ภายในโดยจะแยกกันอยู่อย่างชัดเจน และมีลักษณะเป็นขอบเขตวัฏภาค (Phase boundary)

สำหรับกระบวนการผสมพอลิเมอร์นั้นพบว่าการผสมพอลิเมอร์แบบเชิงกลมีการใช้กันมากในอุตสาหกรรม เพราะว่าการผสมวิธีนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดและสามารถผสมได้ในปริมาณมาก นอกจากนี้การผสมแบบเชิงกลในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ ได้แก่ เครื่องอัดรีด (Extruder) เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) [11]

## 2.3 เครื่องมือและหลักการทำงาน

### 2.3.1 การอัดรีด (Extrusion)

การอัดรีดเป็นกระบวนการเบื้องต้นที่ใช้ในการแปรสภาพพอลิเมอร์ เช่น อัดรีดแล้วนำมาบดเป็นเม็ดหรือผ่านแบบพิมพ์ให้ได้รูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ข้อดีของการอัดรีดคือสามารถทำได้ในปริมาณที่มากและต่อเนื่อง แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนได้

การอัดรีดจะใช้เครื่องอัดรีดพลาสติก โดยจะรับเม็ดพลาสติกจากกรวยป้อนเม็ดและจะส่งผ่านกระบอกสูบโดยเกลียวหนอน เม็ดพลาสติกเกิดการหลอมตัว พลาสติกหลอมจะถูกอัดโดยฟันเกลียวหนอนผ่านไปยังหัวอัดรีดรูปร่างต่างๆ ให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีลักษณะเป็นกรอบ ท่อแผ่น แท่งกลม หรือมีรูปร่างต่างๆ เครื่องอัดรีดพลาสติกจะทำงานอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกหรือไม่สามารถควบคุมการเสียดสภาพของพลาสติกจะสูงขึ้นเมื่อใช้พอลิเมอร์ที่มีน้ำ

หนักโมเลกุลสูงขึ้น อัตราการเย็นตัวของการอัดรีดสามารถวัดได้จากองศาของการตกผลึกของพอลิเมอร์ ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติก [12]

### 2.3.2 เครื่องฉีด ( Injection molding )

การฉีดพลาสติกเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยู่งยากซับซ้อนได้ง่าย ลักษณะของพอลิเมอร์ที่นำมาผลิตสามารถเป็นได้ทั้งเม็ดและผง นอกจากนี้ยังใช้ได้กับพอลิเมอร์ทุกประเภท เช่น เทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซต และอีลาสโตเมอร์

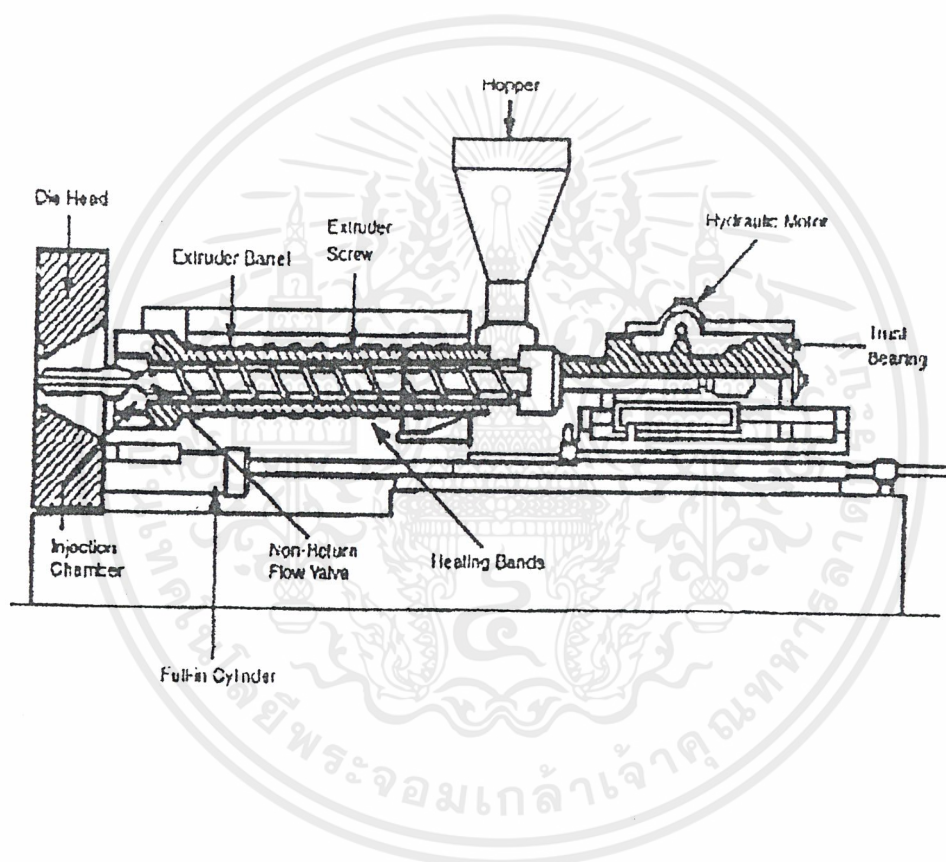
โครงสร้างของเครื่องฉีดประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ชุดฉีด (Injection unit) จะทำหน้าที่ในการดึงพอลิเมอร์เข้ากระบอกลัด โดยอาศัยการหมุนของเกลียวหนอน จากนั้นจะทำการหลอมเหลวและส่งพอลิเมอร์ที่ถูกหลอมเหลวไปยังด้านหน้าของปลายเกลียวหนอน เมื่อได้พอลิเมอร์ตามต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุนแล้วเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามแกนเพื่อฉีดพอลิเมอร์เข้าสู่แม่พิมพ์และค้างอยู่เพื่อให้เนื้อพอลิเมอร์แน่นเต็มแม่พิมพ์
2. ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit) ทำหน้าที่คือ ยึดแม่พิมพ์ทั้ง 2 ส่วนเลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ ให้แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ หล่อชิ้นงานให้เย็นและทำการปลดชิ้นงาน
3. ฐานเครื่อง (Base) ทำหน้าที่รับน้ำหนักของชุดฉีดและชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ และเป็นที่บรรจุน้ำมัน

จังหวะในการทำงานของเครื่องฉีด เครื่องฉีดทุกเครื่องจะมีการทำงานเป็นวัฏจักรที่เหมือนกันจะแตกต่างกันที่รายละเอียดปลีกย่อยเท่านั้น คือจะเริ่มจาก

- จังหวะที่ 1 แม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิด
- จังหวะที่ 2 ชุดฉีดเคลื่อนที่เข้าหาแม่พิมพ์
- จังหวะที่ 3 เกลียวหนอนฉีดพอลิเมอร์เหลวเข้าสู่แม่พิมพ์
- จังหวะที่ 4 ย้ำรักษาความดันพอลิเมอร์เหลวที่อยู่ในแม่พิมพ์
- จังหวะที่ 5 หล่อเย็นชิ้นงานที่อยู่ในแม่พิมพ์
- จังหวะที่ 6 หลอมและป้อนพอลิเมอร์ไปด้านหน้าปลายเกลียวหนอน
- จังหวะที่ 7 ชุดฉีดถอยหลังกลับ
- จังหวะที่ 8 แม่พิมพ์เปิดออก
- จังหวะที่ 9 ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ซึ่งในแต่ละจังหวะการทำงานจะใช้เวลาแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ นอกจากนี้การเลือกใช้ความดันฉีด อุณหภูมิและความเร็วของการทำงานในแต่ละจังหวะก็มีผลต่อชิ้นงาน พอลิเมอร์ที่มีความหนืดสูงควรใช้ความดันในการฉีดสูงกว่าพอลิเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ การเลือกใช้อุณหภูมิสูงหรือต่ำขึ้นกับความเหมาะสมในการทำงานแต่ไม่ควรสูงมากจนทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ ส่วนความเร็วของการทำงานในแต่ละจังหวะจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน [13]



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของเครื่องฉีด [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 โฟมเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Foam)

### 2.4.1 วัสดุที่ใช้ทำโฟม [14]

โดยปกติจะใช้เทอร์โมพลาสติกชนิดที่ฉีดโดยทั่วไป โดยเติมสารเร่งให้เกิดฟองโฟมผสมเข้าไปเช่น สารเอโซไดคาร์โบนาไมด์หรือสารประกอบทางเคมีอื่นๆที่ให้ผลเหมือนกัน เมื่อให้อุณหภูมิถึงจุดหนึ่งสารนี้จะแตกตัวออกมาเป็นก๊าซฟุ้งขึ้นมาเป็นฟองโฟม สารทำให้เกิดโฟมอื่นๆ เช่น ฟลูออโรไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนก็มีใช้อยู่บ้าง สารทำให้เกิดโฟมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฝุ่นหรือสารละลายหรือเป็นของเหลวหนืด ปริมาณสารที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก ชนิดของสารที่ทำให้เกิดเป็นโฟม และลักษณะของชิ้นงาน

สารพลาสติกที่จะนำมาทำชิ้นงานนั้นอาจจะผสมสารตัวเร่งให้เกิดโฟมแล้วทำให้ออกมาเป็นเม็ดจำหน่ายหรือผู้ผลิตชิ้นงานนำมาผสมเองก็ได้ โดยการเติมตัวเร่งให้เกิดโฟมแบบของเหลวหนืดสามารถใส่ลงไปในการฉีดขึ้นรูปได้โดยตรง[14]

### 2.4.2 กรรมวิธีการฉีดขึ้นงานโฟมเทอร์โมพลาสติก

ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดโฟมเทอร์โมพลาสติกต่างกับชิ้นงานฉีดโดยทั่วไปอยู่ตรงที่มีน้ำหนักน้อยกว่าและหนากว่า (หนาตั้งแต่ 5 มม.ขึ้นไป) ซึ่งจะทำให้มีความแข็งแรง (ไม่โก่งงอ) มากกว่าและไม่มีรอยแตกภายในชิ้นงานทำให้ชิ้นงานทำให้ชิ้นงานไม่บิดงอหรือเสียรูปง่าย เมื่อฉีดขึ้นงานโฟมผสมเข้าไปในแม่แบบแล้วจะเกิดการขยายตัวของสารทำให้เกิดฟองออก ขั้นตอนการทำงานแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1. หลอมและส่งพลาสติกเข้ากระบอกลูกฉีด
2. ฉีดให้พลาสติกเข้าแม่แบบ
3. รอให้เกิดฟองโฟมขึ้นในแม่แบบ
4. หล่อเย็นชิ้นงาน
5. ปลดชิ้นงานออก

สารพลาสติกจะถูกทำให้หลอมเหลวภายในกระบอบสูบเกลียวหนอน แล้วส่งเข้าไปในกระบอบสูบอัดซึ่งพลาสติกจะถูกหลอมอัดอยู่ โดยที่มีหัวฉีดปิดเอาไว้ป้องกันการไหลออกมาก่อนถึงจังหวะฉีด การฉีดเข้าแม่แบบมีอยู่ 2 ช่วงคือ

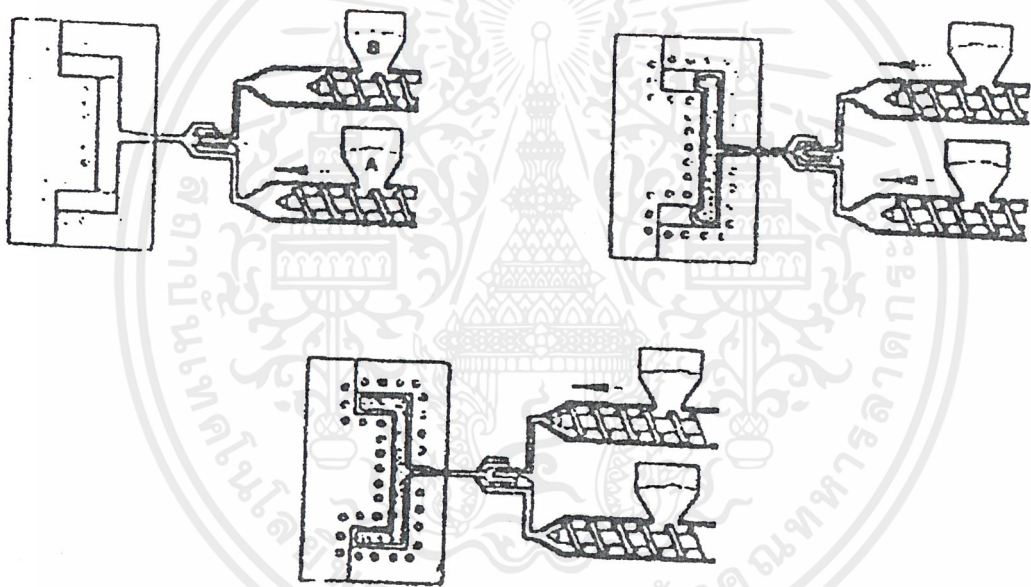
1. ฉีดพลาสติกเหลวด้วยความเร็วในการฉีดสูง โดยปริมาตรน้อยกว่าช่องว่างในแม่แบบ
2. เกิดการขยายตัวของก๊าซของสารทำให้เกิดฟองโพรทำให้พลาสติกเต็มแม่แบบ

การหล่อเย็นจะต้องกระทำจนผิวชั้นนอกแข็งตัวจนสามารถทนต่อความดันอันเกิดจากการหดตัวของชิ้นงานด้านในได้ จึงจะสามารถเปิดแบบปลดชิ้นงานออกได้ ซึ่งกระบวนการเตรียมโพรและผิวภายนอกโดยกระบวนการอัดแบบฉีดของสารประเภทเทอร์โมพลาสติกมีหลายเทคนิคด้วยกัน โดยทั่วไปแตกต่างกันในเรื่องของความดันในโพรแบบซึ่งขึ้นกับวัสดุที่นำมาใช้ คุณภาพของการตกแต่งผิวแม่พิมพ์และจำนวนของวัสดุที่เข้ามายังแบบเพื่อเกิดโครงสร้างที่มีผิวเป็นของแข็งและแกนกลางเป็นโพร วิธีที่ใช้ความดันต่ำจะให้ความดันในโพรแบบสูงถึง 5 MPa พอลิเมอร์ที่หลอมเหลวซึ่งมีก๊าซเล็กน้อยละลายอยู่จะถูกถ่ายโอนโดยเร็วจากกระบอบฉีด (Injection cylinder) ที่มีการรักษาระดับของความดันอยู่ เพื่อป้องกันการขยายตัวก่อนการอัดตัวไปยังโพรแบบที่มีการเติมเต็มบางส่วน จากการฉีดทำให้ของหลอมเหลวลดความดันลงเกิดการขยายตัวอย่างสมบูรณ์ภายในแม่พิมพ์ เกิดการอัดแบบเป็นผิวแข็ง ซึ่งมักจะมัลักษณะของผิวค่อนข้างหยาบ ส่วนของก๊าซที่ต้องใช้ขยายของหลอมเหลวได้จากการสลายตัวของสารทำให้เกิดฟองในกระบอบฉีดหรือได้จากการใช้ก๊าซไนโตรเจนฉีดเข้าไปยังพอลิเมอร์หลอมเหลวตามกระบอบใส่โดยตรง [15]

ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามที่จะกำจัดผิวที่ไม่เรียบโดยอาศัยวิธีใช้ความดันต่ำที่ให้ความดันในโพรแบบมากกว่าวิธีฉีดแบบสั้น อีกวิธีหนึ่งจะใช้ความดันของก๊าซในโพรแบบไหลสวนทางกัน (Gas-counter pressure) เพื่อป้องกันการขยายตัวของของหลอมเหลวในระหว่างการเติมเต็ม จากนั้นความดันของโพรแบบและความหนาแน่นของการอัดแบบที่ได้จะลดลงขึ้นอยู่กับการหดตัวของของหลอมเหลวในระหว่างที่มีการหล่อเย็นหรือโดยการนำพอลิเมอร์หลอมเหลวออกจากแกนกลางทำให้เกิดการขยายตัว ในการปรับปรุงอีกเทคนิคหนึ่งเป็นการปรับปรุงผิวที่ได้โดยการอัดแบบด้วยความดันต่ำ โดยรักษาระดับอุณหภูมิของผิวแม่พิมพ์ให้สูงกว่าจุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ในระหว่างที่มีการเติมเต็ม เมื่อได้ผิวที่เรียบแล้วจึงทำให้แม่พิมพ์และวัสดุเย็นลง

จากที่กล่าวมา โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโพรทำได้จากวัสดุชนิดเดียวกัน แต่ในกรณีที่ต้องการโครงสร้างที่มีลักษณะของโพรเป็นสององค์ประกอบ วิธีหนึ่งที่ได้คือการเติมเต็มโพร

แบบโดยการฉีดวัสดุที่แตกต่างกันสองชนิดผ่านรูฉีดเดียวกัน ภายหลังจากการเติมเต็มและให้ความดันในโพรงแบบ พอลิเมอร์หลอมเหลวชนิดที่หนึ่งซึ่งเป็นแกนกลางของการอัดแบบและมีก๊าซละลายอยู่จะเกิดการขยายตัวโดยการเปิดของแม่พิมพ์บางส่วน ระบบโครงสร้างที่มีลักษณะของโฟมเป็นสององค์ประกอบนี้อาจทำได้โดยการอัดแบบชนิดฉีดด้วยความดันต่ำ โดยให้พอลิเมอร์หลอมเหลวสองชนิดที่จะเป็นแกนกลางและผิวผ่านหัวฉีดแบบปิดชนิดพิเศษ ที่มีช่องทางการแยกสองหรือสามทางไปพร้อมกันด้วยการฉีดวัสดุที่เป็นโฟม โดยวิธีการฉีดในระยะสั้นและให้อยู่ภายในส่วนของผิว นอก จากนั้นปล่อยให้เกิดการขยายตัวในโพรงแบบเกิดเป็นแกนกลางเซลล์ ( Cellular core ) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การอัดแบบชนิดฉีดของ โครงสร้าง โฟมที่มีสององค์ประกอบ[15]  
ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ โครงสร้างที่มีลักษณะเป็น โฟม

- ความหนาแน่น (โปร ไฟล์ของความหนาแน่น)
- อัตราส่วนระหว่างผิวต่อความหนาของแกนกลางเซลล์
- ขนาดของเซลล์ รูปร่างและการกระจายตัว
- ความมันคงของผิว (การมีฟองอากาศขนาดเล็ก/การมีสารทำให้เกิดฟองหลงเหลืออยู่)
- คุณภาพของผิว (ตำแหน่งของการเกิดการแตกแยก)
- สัมฐานวิทยาของผลึก (บริเวณผิวและแกนกลางที่เกิด โฟม)
- การจัดเรียงลำดับของเส้นใยหรือสารคอม โปสิต (เติมด้วยวัสดุคอม โปสิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เสถียรภาพของพลาสติก

การสลายตัวของพลาสติกเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายๆประการแต่น่าสนใจและมีการศึกษาอยู่มากคือการสลายตัวของพลาสติกอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ (Microorganism) โดยเฉพาะแบคทีเรีย และรา [12]

พลาสติกที่ใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- พลาสติกที่ได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ
- พลาสติกที่เกิดจากพอลิเมอร์สังเคราะห์

พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ ทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ในขณะที่พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จำนวนมากมายหลายชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จะมีความสามารถในการย่อยสลายได้นั้น จะต้องเป็นพลาสติกที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เช่น อะติฟาทิก พอลิเอสเทอร์ พอลิเอไมด์และพอลิยูรีเทน ตัวอย่างพอลิเมอร์ดังกล่าวเช่น พอลิไกลคอลลิกแอซิด และพอลิคาร์โพรแลกโตน เป็นต้น

### 2.5.1 สาเหตุที่ทำให้พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้

พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก เมื่อโซ่โมเลกุลมีขนาดยาวมากๆ ทำให้ความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีจากการค้นคว้าวิจัยของบริษัทยูนิคาร์ไบคได้้นำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 123,000 และมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงมาเรื่อยๆมาทดสอบสมบัติการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ พบว่าพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆจะไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ พอลิเอทิลีนจะสามารถย่อยสลายได้ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 3,200

1. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ การซึมผ่านของความชื้นต่ำ มีลักษณะไม่เป็นรูพรุนและมีพื้นที่น้อย เนื่องจากในระหว่างการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ทำให้พลาสติกมีขนาดเล็กลงโดยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารชนิดอื่นต่อไป เนื่องจากพลาสติกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำและมีการซึมผ่านของความชื้นต่ำ จะทำให้เอนไซม์สัมผัสกับผิวหน้าของพลาสติกน้อยลงและการที่พลาสติกไม่เป็นรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสยิ่งน้อยลง จึงทำให้พลาสติกย่อยสลายได้ยาก

ประเภทของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้สามารถจำแนกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)
2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (Photodegradable plastics)
3. พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีอื่นๆ

### 1. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก อันเนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา เป็นต้น

การค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตพลาสติกประเภทนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 แนวทางใหญ่ คือ

#### 1.1 การปรับปรุงสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ (Modified natural polymers)

เป็นการนำเอาสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติมาปรับปรุงโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical modification) หรือทางชีวภาพ เพื่อทำการผลิตพลาสติกให้มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

พลาสติกชนิดนี้มีประโยชน์มาก สามารถใช้ทำชิ้นส่วนสำหรับยัดอวัยวะที่เป็นกระดูกในร่างกายมนุษย์ ในกรณีที่กระดูกเกิดการชำรุดหรือแตกหักและเมื่อครบกำหนดพลาสติกดังกล่าวจะสลายตัวไปโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย สามารถใช้ทำเป็นฟิล์มสำหรับห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ต่างๆ และทำขวด

#### 1.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติสามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ

จากที่กล่าวมาแล้วว่ามีพลาสติกสังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์สามารถถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องมีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติกเอสเทอร์เท่านั้น เช่น พอลิคาร์โพรแลค โทน หรือเรียกย่อว่า พีซีแอล PCL และพอลิไกลลคอลิกอแอซิด เป็นต้น

พอลิเมอร์สังเคราะห์ตัวอื่นๆที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ เช่น อะโครติน อะคริลิกแอซิดโคพอลิเมอร์ (Acrolein acrylic acid copolymer) ไฮโดรไลซ์อะคริโลไนไทรล์ (Hydrolyzed acrylonitrile copolymer) เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ของแป้งกับอะคริโลไนไทรล์ ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีสมบัติการดูดซึมน้ำ เป็นต้น

1.3 การศึกษานำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกเพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

วิธีนี้จะแตกต่างจาก 2 วิธีแรก โดยจะทำการศึกษาเพื่อนำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะทำให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ สารเติมแต่งที่เติม เช่น แป้ง ผงไม้ เป็นต้น

การเติมแป้งหรือผงไม้เพียงอย่างเดียวลงในพลาสติก โดยไม่ใส่สารเติมแต่งชนิดอื่นๆ พลาสติกประเภทนี้จะถูกย่อยสลายในส่วนที่เป็นแป้งหรือผงไม้ ทำให้เหลือโครงสร้างของพลาสติกในรูปโครงสร้างรูพรุน ต่อมากลายเป็นผงละเอียด ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ พลาสติกที่ใช้ส่วนมากจะเป็นเทอร์โมพลาสติก พลาสติกชนิดนี้สามารถทำการผลิตได้โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเดิมได้ โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร

การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพมี 3 ลักษณะคือ

- พลาสติก ไม่ได้เสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลาย สารเติมแต่งในส่วนอื่นๆทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุนและต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด
- การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง (Auto oxidation) ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลงเพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอน ไดออกไซด์และน้ำต่อไป
- การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำ ของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือจุลินทรีย์จะปล่อย เอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้นได้โดยตรง เช่น พอลลิคาร์โพรแลกโตนและ พอลิไฮดรอกซีบิวทีเรทอารีเรท เป็นต้น

## 2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (Photo degradable plastics)

เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้เมื่อได้รับแสง ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะมีหมู่คาร์บอนิล เมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้สายโซ่โมเลกุลของสารพอลิเมอร์สลายตัว ดังนั้นถ้านำพลาสติกชนิดนี้ไปทิ้งไว้กลางแจ้งหลังจากการใช้งานแล้ว โดยปล่อยให้โดนแสงอาทิตย์พลาสติกชนิดนี้จะเสื่อมสลายและค่อยๆสลายตัวไป

### 3. พลาสติกที่สามารถสลายตัวด้วยวิธีอื่น ๆ

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีการอื่นยังมีอีกมากมายหลายชนิด ซึ่งจะยกตัวอย่างเพียงบางชนิดเท่านั้น เช่น พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยน้ำและพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทั้งทางชีวภาพและแสง เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกสามารถสลายตัวได้ดังกล่าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะการรวมเอาข้อดีของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในแต่ละวิธีเอาไว้ เช่น พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยเอโซอะโรมาติกและหมู่คีโตที่ไวต่อแสงในระหว่างใช้งาน หมู่เอโซจะช่วยป้องกันการสลายตัวเนื่องจากแสงและหลังจากการเลิกใช้งานแล้ว พลาสติกชนิดนี้จะถูกทิ้งไว้ในสภาพแวดล้อมทำให้หมู่เอโซถูกจุลินทรีย์เข้าทำลายและเหลือหมู่ที่สามารถสลายตัวเนื่องจากแสง ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้กลางแจ้งจะสามารถสลายตัวได้ต่อไป[12]



## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sain, M.M. และ Kokta, B.V. [16] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการเติมสารปรับปรุงสภาพผิวต่อโครงสร้างและสมบัติของผงไม้ที่เติมในพอลิพรอพิลีน พบว่าถึงแม้การเพิ่มปริมาณของผงไม้จะช่วยลดราคาของคอมโพสิตแต่จะทำให้สมบัติเชิงกลลดลงและได้พื้นผิวของชิ้นงานที่ไม่ดี การเพิ่มปริมาณผงไม้ในคอมโพสิตที่ไม่มีการปรับปรุงเป็นการเพิ่มส่วนที่เข้ากันไม่ได้ ทำให้สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลไม่ดี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงความแข็งแรงดึงและสมบัติทางความร้อนโดยใช้สารปรับปรุงสภาพผิวที่เหมาะสม เช่น maleated polypropylene (PP-g-MA) ซึ่งใช้ในการปรับปรุงความสามารถของการกระจายตัวของผงไม้ในพอลิพรอพิลีนและช่วยพัฒนาสภาพผิวเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาทางเคมีในท่อนำไป พบว่าสารปรับปรุงสภาพผิวมีผลต่อความสามารถในการเกิดผลึกในคอมโพสิตและช่วยปรับปรุงสมบัติทางแรงดึง เนื่องจากความสามารถในการตกผลึกของพอลิพรอพิลีนลดลง ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าคอมโพสิตจะมีสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนที่ดีขึ้นเมื่อเตรียมคอมโพสิตที่มีผงไม้ 40 % โดยน้ำหนักและสารปรับปรุงผิว 10 % โดยน้ำหนัก

Simson, R.J. และ Selke, S.E. [17] ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผสมขูดพอลิพรอพิลีนที่ถูกใช้แล้วแบบหลายชั้น กับ ผงไม้ที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงสภาพ โดยเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลกับคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ โดยขูดพอลิพรอพิลีนแบบหลายชั้นในแต่ละชั้น จะมีส่วนของ เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ 3.75 % สารยึดติด 1.75 % โคลิเมอร์แบบสุ่มของพอลิเอทิลีนและ พอลิพรอพิลีน 94.5 % ผสมกับผงไม้ที่ปริมาณ 0 10 20 30 40 และ 50 % โดยน้ำหนัก กับพอลิพรอพิลีน โดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ ในการผสมส่วนต่าง ๆ ให้เข้ากันและขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป การจัดเรียงตัวของผงไม้ในเมทริกซ์จะช่วยพัฒนาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต คอมโพสิตพอลิพรอพิลีนที่ถูกใช้แล้วเมื่อผสมกับผงไม้จะมีสมบัติที่ดีกว่าคอมโพสิตของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ เนื่องจากมีการเพิ่มสารยึดติดที่พื้นผิว จากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณผงไม้ในคอมโพสิตจะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล ยกเว้น ความแข็งแรงดึงและการยืดออก ณ จุดขาดจะลดลงเมื่อปริมาณของผงไม้มากกว่า 30 % โดยน้ำหนัก

Antipov, Y.M. , Kupisov, S.A. และ Popova, Y.V. [18] ได้ทำการศึกษาถึงการจัดเรียงตัวและการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยให้พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์หลักและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นตัวที่เข้าไปกระจายตัวในพอลิเมอร์หลัก โดยใช้ X-ray Diffraction Analysis และ Differential Scanning Calorimetry ในการวิเคราะห์ พบว่าความร้อนของระบบจะช่วยเพิ่มอันตรกิริยาระหว่าง 2 ส่วน คือ ช่วยเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในพอลิพรอพิลีน

ไม่เพียงแต่การเกิดอันตรกิริยาเท่านั้นที่เพิ่มขึ้นแต่การหลอมเหลวและการจัดเรียงตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในพอลิพรอพิลีนยังเพิ่มขึ้นด้วย โดยสังเกตได้จากลักษณะขององค์ประกอบที่มีอยู่

Dietz, S.B. [19] ได้ศึกษาการนำพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์นม หรือของเหลวอื่นๆ มารีไซเคิล โดยใช้สารปรับเสถียรภาพประเภทฟอสไฟท์มาช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน เนื่องจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในระดับโมเลกุล คือเกิดการเชื่อมโยงหรือเกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งเห็นได้จากการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมาผ่านการขึ้นรูปโดยการอัดรีดหลายๆ ครั้ง พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการอัดรีดเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้ค่าดัชนีการหลอมเหลวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะลดลง แต่เมื่อมีการเติมสารปรับเสถียรภาพทางความร้อนทำให้ค่าดัชนีการหลอมเหลวลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Blatz, P.J.. [20] ศึกษาการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์โดยอาศัยกระบวนการฉีดและการเป่าขึ้นรูป พบว่าสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไม่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล

Paladugula, J. และ Shutov, F. [21] ได้ทำการศึกษาวัสดุไม้เทียมที่มีรูพรุนซึ่งได้พัฒนามาจากพื้นฐานของการทำโฟมคอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับผงไม้ โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป โฟมคอมโพสิตนี้จะใช้สารช่วยให้เกิดฟองที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม คือโซเดียมคาร์บอเนต วัสดุไม้เทียมที่มีรูพรุนนี้จะมีผิวภายนอกที่แข็งและภายในแกนกลางจะมีรูพรุน กระบวนการที่เหมาะสมจะสัมพันธ์กับผงไม้ สารช่วยให้เกิดฟอง สารเชื่อมโยงและสารเติมแต่งอื่นๆ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงสมบัติต่างๆของวัสดุ คือ ความหนาแน่น สมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซับน้ำ ซึ่งพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณผงไม้ในโฟมคอมโพสิตจะทำให้สมบัติต่างๆที่ได้ดีขึ้น

อำนาจ เจริญรัตน์ ก่อเกียรติ กิตติณภากุล และกล้าณรงค์ ศรีรอด [22] ได้ศึกษาการแพร่กระจายและหาจำนวนจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายพอลิเอสเทอร์ชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 50 °C และตรวจสอบการย่อยสลายโดยการแสดงส่วนใสในงานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วย พอลิคาร์โปแลคโตน พอลิเอทิลีนซัคซิเนต พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต โดยศึกษาตามวิธีของ Nishida และ Tokiwa พบว่ามีจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายพอลิเมอร์ดังกล่าวจำนวนตัวอย่างจากดินตัวอย่างทั้งหมด 8 ตัวอย่าง โดยปริมาณจุลินทรีย์ที่ย่อยพอลิเอสเทอร์ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด สำหรับพอลิคาร์โปแลคโตน พอลิเอทิลีนซัคซิเนตและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต อยู่ระหว่าง 1.17 ถึง 38.83 % 2.70 ถึง 50 % และ 13.3 ถึง 37.5 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การวิจัยและการดำเนินงาน

#### 3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PROFAX 6331)
2. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (TPI Polene J4324)
3. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง : ขวดน้ำพลาสติกที่ถูกต้องแล้ว
4. Epolene wax (EASTMAN E-43P)
5. น้ำมันแร่ Mineral oil (ICI เกรดอุตสาหกรรม)
6. สาหร่ายสีเขียว (Gracilaria fisheri)
7. สารช่วยให้เกิดฟอง : Azodicarbonamide (UNICELL – D800)
8. ซิงค์ออกไซด์ (บริษัทไบรเทนโพลีเทคคิง จำกัด เกรดอุตสาหกรรม)
9. แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต  $Mn(II)SO_4 \cdot H_2O$  (Fluka Chemika)
10. โซเดียมโมลิบเดตไดไฮเดรต  $NaMoO_4 \cdot 2H_2O$  (Fluka Chemika)
11. โซเดียมทังสเตตไดไฮเดรต  $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$  (BAKER ANALYZED<sup>®</sup>)
12. โซเดียมคลอไรด์ NaCl (MERCK)
13. แอมโมเนียมซัลเฟต  $(NH_4)_2SO_4$  (MERCK)
14. แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  (MERCK)
15. แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (CARO ERBA)
16. เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  (Fluka Chemika)
17. พงยีสต์สกัด (UNIPATH)
18. พงวุ้น Agar bacteriological (OXOID)

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว Single-screw extruder (Axon ab. Plasma skiner รุ่น BX-18 ; Intro Engineering)
2. เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Axon ab. Plasma skiner รุ่น BDB-G)
3. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder, Bosco รุ่น A600 ; Bosco Engineering)
4. เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile tester LLOYD รุ่น LR 30 K ; LLOYD Instrument)
5. เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Izod impact tester, Yasuda รุ่น 7689 ,Yasuda Seiki Seisakusho)
6. เครื่องวัดความแข็ง (Hardness tester ,Shore D ,Yasuda รุ่น 7689 ,Matsuzwa DXT)
7. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding machine,Cosmo รุ่น TTI 220/80 HITEC; Welltei Industrial Equipment)
8. เครื่องชั่ง (AND HR-200)
9. ตู้อบ (SHEL LAB 1350FX)
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด Scanning Electron Microscope (SEM รุ่น JSM 5200 ; JEOL)
11. ตู้ปลอดเชื้อ (FASTER BIO48)
12. เครื่องอบความดันสูง Autoclave (HILAYAMA MFG.CORP)
13. แผ่นอะลูมิเนียม
14. ถาดอะลูมิเนียม
15. เครื่องบดอาหารสัตว์
16. เครื่องบดแห้ง (Imulflex)
17. เครื่องบดละเอียด (Ultra centrifugal mill)
18. เวอร์เนีย (VERNIER CALIPER)
19. ไมโครมิเตอร์ (TECLOCK)
20. งานเพาะเชื้อ
21. บีกเกอร์
22. ตะเกียงแอลกอฮอล์
23. ปากคีบ

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- การเตรียมสาหร่าย
  1. นำสาหร่ายสีแดงมาล้างให้สะอาด และนำไปตากให้แห้ง
  2. นำสาหร่ายมาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 % w/w เพื่อกำจัดหมู่ซัลเฟต
  3. สกัดวุ้นออกโดยต้มกับน้ำเปล่าที่อุณหภูมิประมาณ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
  4. นำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 วัน
  5. บดด้วยเครื่องบด Imulflex ให้สาหร่ายขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดอาหารสัตว์โดยใช้ตะแกรงขนาด 0.75 mm และนำไปบดด้วยเครื่อง Ultra centrifugal mill โดยใช้ตะแกรงขนาด 0.5 และ 0.25 mm ตามลำดับ จะได้สาหร่ายสีแดงขนาดประมาณ 0.25 mm
  6. นำไปหาปริมาณความชื้นของสาหร่ายสีแดง
- การเตรียมพลาสติก
  1. รวบรวมขวดน้ำพลาสติกให้ได้ปริมาณมาก
  2. นำขวดน้ำพลาสติกที่ได้มาทำความสะอาด และตากให้แห้ง
  3. นำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก
  4. อบพลาสติกเพื่อไล่ความชื้น โดยนำพลาสติกพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาอบด้วยที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

#### 3.3.2 ขั้นตอนการผสม

1. นำพลาสติกพอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) โดยตั้งอุณหภูมิที่เครื่อง 170 160 150 140 °C โดยเมื่อผสมแล้วจะได้เป็นพอลิโอฟีนส์
2. ผสมสูตรพลาสติก และ ผสมสาหร่ายสีแดง ดังแสดงในตารางที่ 3.1
3. นำพลาสติกที่ผสมสูตรต่าง ๆ ไปฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding)
4. นำไปทดสอบสมบัติแรงดึงและแรงกระแทก
5. เลือกสูตรที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี และนำไปผสมกับสารที่ทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) โดยการผสมสูตรพลาสติกดังตารางที่ 3.2
6. นำไปฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำไปทดสอบสมบัติแรงดึง ความทนทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง สมบัติทาง  
 สัณฐานวิทยา สมบัติการดูดซึมน้ำ และสมบัติการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรในการผสมระหว่างพลาสติกกับสาหร่ายสีแดง

วัสดุที่ใช้	สูตร						
	1	2	3	4	5	6	7
PO	100	100	100	100	100	100	100
สาหร่ายสีแดง	-	10	20	30	40	50	70
Epolene wax	-	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรในการผสมโฟม

วัสดุ	สูตร					
	1	2	3	4	5	6
PO	100	100	100	100	100	100
สาหร่ายสีแดง	40	40	40	40	40	40
สารทำให้เกิดฟอง	-	0.5	1	1.5	2	2.5
Mineral oil	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ซิงค์ออกไซด์	-	2	2	2	2	2

### 3.4 การทดสอบ

#### 3.4.1 การหาปริมาณความชื้นในสาหร่าย

นำแผ่นอะลูมิเนียมมาทำเป็นภาชนะสำหรับใส่สาหร่ายสีแดงจำนวน 5 ภาชนะ อบภาชนะที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนักกระตงบันทึกผลไว้ ชั่งผงสาหร่ายใส่กระตงประมาณ 10 กรัม และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ซึ่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปคำนวณหาค่าความชื้นของสาหร่ายดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้นของสาหร่าย} = (F+T)_1 - (F+T)_2 / F$$

เมื่อ  $F$  = น้ำหนักของผงสาหร่ายก่อนอบ

$(F+T)_1$  = น้ำหนักของผงสาหร่ายกับแผ่นอะลูมิเนียมก่อนอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$(F+T)_2$  = น้ำหนักของผงสาหร่ายกับแผ่นอะลูมิเนียมหลังอบ

### 3.4.2 สมบัติเชิงกล

#### 1. สมบัติทางแรงดึง (Tensile properties)

นำตัวอย่างที่เตรียมเป็นรูปคัมเบลล์มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester, LLORD รุ่น LR 30 K ; LLORD Instrument) โดยใช้ความเร็วในการดึง 50 mm/min ระยะของการจับขึ้นงาน 70 mm ที่อุณหภูมิห้อง ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D638 เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และมอดุลัส

#### 2. สมบัติทางการโค้งงอ (Flexural properties)

นำตัวอย่างที่เตรียมเป็นรูปคัมเบลล์มาทดสอบเครื่องทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural tests, LLORD รุ่น LR 30 K ; LLORD Instrument) โดยใช้ความเร็วในการกด 20 mm/min ระยะของการจุดวางขึ้นงาน 60 mm ที่อุณหภูมิห้อง ตามมาตรฐาน ASTM D790-86 เพื่อหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ

#### 3. ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

นำตัวอย่างที่เตรียมเป็น Notch izod มาทดสอบด้วยเครื่องวัดแรงกระแทก (Izod Impact tester ,Yasuda รุ่น 7697 , Yasuda Seiki Seisakusho) จะได้อ่าค่าความแข็งแรงกระแทก ในหน่วย kJ/m<sup>2</sup> ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D256

#### 4. ค่าความแข็ง (Hardness)

นำตัวอย่างที่เตรียมเป็นรูปคัมเบลล์มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Dead Load ชนิด Shore D ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D2240 จะได้อ่าค่าความแข็ง โดยตรงจากเครื่อง

### 3.4.3 สมบัติการดูดซับน้ำ (Water Absorbtion)

1. นำชิ้นงานขนาด 1.2x1.2x0.2 cm<sup>3</sup> จำนวน 5 ชิ้นมาอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักก่อนการดูดซับ
3. นำชิ้นงานมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง
4. หลังจากนั้น 1 วัน นำมาชั่งน้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ ทำเช่นนี้ทุกวันเป็นเวลา 5 วัน
5. หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักทุก ๆ 5 วัน
6. นำผลที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_a = ((W_e - W_o) / W_o) \times 100$$

เมื่อ  $W_a = \% \text{ การดูดซับน้ำ}$

$W_e = \text{น้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ}$

$W_o = \text{น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ}$

### 3.4.4 ลักษณะวิทยา (Morphology)

นำสารตัวอย่างที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปมาแช่ในไนโตรเจนเหลวแล้วหักขณะยังเย็นอยู่ ซึ่งจะทำให้พอลิเมอร์เปราะและหักได้ นำพื้นผิวตรงรอยแตกที่เกิดจากการหักมาเคลือบด้วยทองคำ จากนั้นทำการศึกษารายละเอียดของพื้นผิวพอลิเมอร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด Scanning Electron Microscope (SEM รุ่น JSM-6400) ที่กำลังขยายต่างๆ

### 3.4.5 สมบัติในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์

1. ตัดชิ้นงานให้ได้ขนาด  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}$ . จำนวน 420 ชิ้น ล้างให้สะอาด อบให้แห้ง
2. เก็บตัวอย่างดินจากแหล่งต่าง ๆ จำนวน 5 แหล่งคือ
  - 2.1 ดินจากห้องร่อนน้ำบริเวณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.
  - 2.2 ดินจากข้างสระน้ำโรงพยาบาลวิทยาศาสตร์ สจล.
  - 2.3 ดินจากกองขยะจากปากน้ำ จังหวัดสมุทรปราการ
  - 2.4 ดินจากหน้าสถานปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
  - 2.5 ดินจากกองขยะโรงพยาบาลคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
3. นำตัวอย่างดิน 1 g ใส่ในหลอดน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 9 ml ทำตัวอย่างดินให้เจือจาง  $10^{-4}$  และ  $10^{-5}$
4. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้
 

- ยีสต์สกัด	250	mg
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10	mg
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200	mg
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1000	mg
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	20	mg
- NaCl	100	mg
- $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5	mg
- $\text{Na}_2\text{WO}_4$	0.5	mg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $\text{MnSO}_4$  0.5 mg
  - วุ้นผง 15 g
5. นำส่วนผสมต่าง ๆ ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาณ 1 ลิตร นำไปต้มให้เดือด
  6. นำอาหารที่ได้บรรจุลงในขวดปิดฝาให้สนิท นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง Autoclave (HILAYAMA MFG.CORP) พร้อมกับชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมไว้ที่อุณหภูมิ  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที
  7. นำอาหาร และชิ้นงานตัวอย่างออกจาก เครื่อง Autoclave (HILAYAMA MFGCORP) รอให้อาหารที่บรรจุในขวดอุ่นลง นำมาเทลงในจานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้ว โดยเทในปริมาณที่เหมาะสมในตู้ปลอดเชื้อ (โดยก่อนที่จะใช้ตู้ปลอดเชื้อต้องเปิดแสง UV ทิ้งไว้ 20 นาที)
  8. นำสารละลายจากดินที่เตรียมไว้ใส่ลงในจานเพาะเชื้อจานละ 1 ml จากนั้นจึงเกลี่ยให้ทั่วบนอาหาร โดยใช้เทคนิค Spread plate
  9. วางชิ้นงานตัวอย่างลงบนอาหารที่ไม่มีสารละลายจากดิน (ควบคุม) และที่เกลี่ยน้ำเชื้อไว้แล้วจานเพาะเชื้อละ 4 ชิ้น ด้วยปากคีบที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยจุ่มในแอลกอฮอล์แล้วผ่านเปลวไฟในตู้ปลอดเชื้อ
  10. นำจานเพาะเชื้อทั้งหมดไปบ่มในตู้บ่มอุณหภูมิ  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12 วัน
  11. บันทึกผลทุกๆ 2 วัน โดยการสังเกตเชื้อที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การหาปริมาณความชื้นในสาหร่าย

เมื่อนำผงสาหร่ายมาหาปริมาณความชื้น พบว่ามีค่า 4.023 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถนำมาเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ได้ เนื่องจากถ้าในวัสดุมีความชื้นมากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์จะมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุลดลง

#### 4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

##### 4.2.1 ศึกษาหาปริมาณสาหร่ายสีแดงที่เหมาะสม

##### 4.2.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงดึงของพอลิโอฟีนีสและพอลิโอฟีนีสที่ผสมผงสาหร่ายสีแดง (รูปที่ 4.1) พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุจะมีค่าลดลงเมื่อผสมผงสาหร่ายสีแดง และจะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อผสมผงสาหร่ายสีแดงในปริมาณ 10-50 phr แต่เมื่อเติมสาหร่ายสีแดงในปริมาณมากกว่า 50 phr ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลงอย่างมาก เนื่องจากสาหร่ายสีแดงที่เติมลงไปขัดขวางการตกผลึกของพอลิเมอร์ที่เกิดเนื่องจากการดึง และสาหร่ายสีแดงสามารถกระจายตัวในพอลิโอฟีนีสได้ดีจนถึงปริมาณ 50 phr ซึ่งปริมาณมากกว่านี้การกระจายตัวของสาหร่ายสีแดงในพอลิโอฟีนีสจะเป็นกลุ่มก้อนไม่สม่ำเสมอ

##### 4.2.1.2 ค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาด (% Elongation at break)

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดของพอลิโอฟีนีสและพอลิโอฟีนีสผสมผงสาหร่ายสีแดง (รูปที่ 4.2) พบว่าค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดของวัสดุจะลดลงอย่างมากเมื่อเติมสาหร่ายสีแดง และจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณสาหร่ายสีแดงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมสาหร่ายสีแดงซึ่งเป็นวัสดุประเภทเซตดูโลสซึ่งมีความเป็นขั้วสูงไม่เกิดการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคของโอฟีนีสที่ไม่มีขั้วทำให้เกิดการฉีกขาดได้ง่าย เป็นผลให้ค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดลดลง

#### 4.2.1.3 มอดุลัส (Modulus)

เมื่อพิจารณาค่ามอดุลัสของพอลิโอฟีนีสและพอลิโอฟีนีสที่ผสมผงสาหร่ายสีแดง (รูปที่ 4.3) พบว่าค่ามอดุลัสของวัสดุจะเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณหนึ่งคือในช่วง 0-40 phr แต่ค่ามอดุลัสจะลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีแดงมากกว่า 40 phr ดังนั้นพอลิโอฟีนีสที่ผสมสาหร่ายสีแดง 40 phr มีค่ามอดุลัสสูงที่สุด เนื่องจากการใส่สาหร่ายสีแดงเป็นการเพิ่มความแข็งตึง (Stiffness) ให้กับพอลิโอฟีนีส และเมื่อปริมาณสาหร่ายสีแดงมากกว่า 40 phr การกระจายตัวของสาหร่ายสีแดงไม่สม่ำเสมอทำให้ค่ามอดุลัสลดลงอย่างมาก

#### 4.2.1.4 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength)

เมื่อพิจารณาค่าความโค้งงอของพอลิโอฟีนีส และพอลิโอฟีนีสที่ผสมผงสาหร่ายสีแดง (รูปที่ 4.4) พบว่าค่าความโค้งงอวัสดุสูงขึ้นเมื่อเติมผงสาหร่ายสีแดงในปริมาณ 10-40 phr แต่เมื่อปริมาณสาหร่ายสีแดงมากเกินไป คือมากกว่า 40 phr ค่าความโค้งงอของวัสดุจะมีแนวโน้มที่ลดลง โดยที่ปริมาณสาหร่ายสีแดง 40 phr มีค่าความโค้งงอสูงที่สุด แสดงว่าวัสดุมีความสามารถในการรับแรงกดแบบตั้งฉากได้ดี เนื่องจากการจัดเรียงตัวของสาหร่ายสีแดงในแนวตั้งฉากดีกว่าในแนวแรงดึง และเมื่อปริมาณสาหร่ายสีแดงมากกว่า 40 phr เกิดการกระจายตัวของสาหร่ายสีแดงไม่สม่ำเสมอและขัดขวางการรับแรงของวัสดุทำให้สมบัติที่ได้ลดลง

#### 4.2.1.5 ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength)

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิโอฟีนีสและพอลิโอฟีนีสที่ผสมผงสาหร่ายสีแดง (รูปที่ 4.5) พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุจะลดลงเมื่อเติมผงสาหร่ายสีแดงและที่ปริมาณสาหร่ายสีแดงต่าง ๆ ความแข็งแรงกระแทกมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ 40 phr เนื่องจากสาหร่ายสีแดงที่เติมลงไปทำให้วัสดุแข็งขึ้น แต่เปราะและแตกหักง่ายค่าความแข็งแรงกระแทกจึงลดลง

#### 4.2.1.6 ค่าความแข็ง (Hardness)

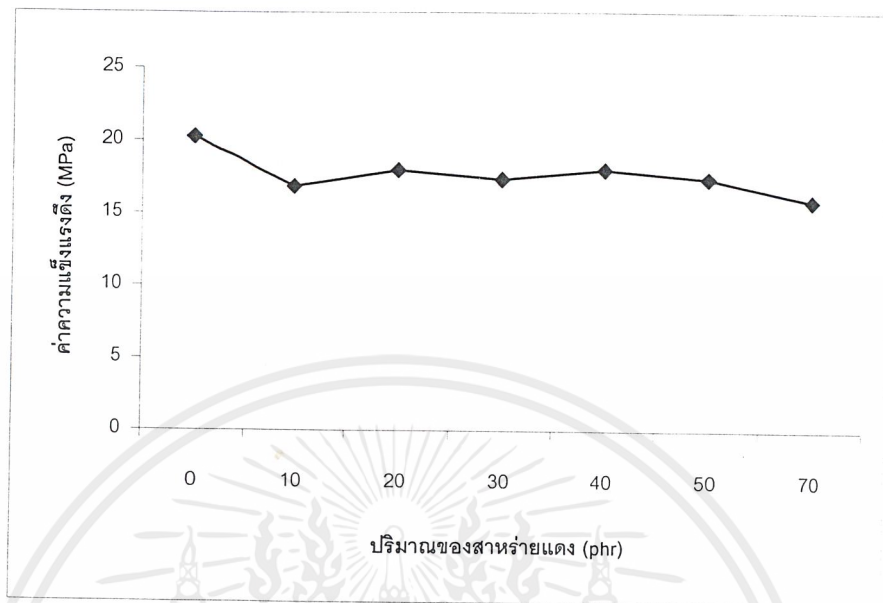
เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของพอลิโอฟีนีสและพอลิโอฟีนีสที่ผสมผงสาหร่ายสีแดง (รูปที่ 4.6) พบว่าค่าความแข็งของวัสดุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงสาหร่ายสีแดง ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณสาหร่ายสีแดงจนถึงปริมาณ 40 phr และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของสาหร่ายสีแดงมากกว่า 40 phr โดยค่าความแข็งของวัสดุสูงสุดที่ 40 phr เนื่องจากสาหร่ายสีแดงช่วยในการตกผลึกได้เร็วขึ้นที่บริเวณผิวของวัสดุ ผลึกจึงมีขนาดเล็กและปริมาณมากทำให้ผิวของชิ้นงานมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

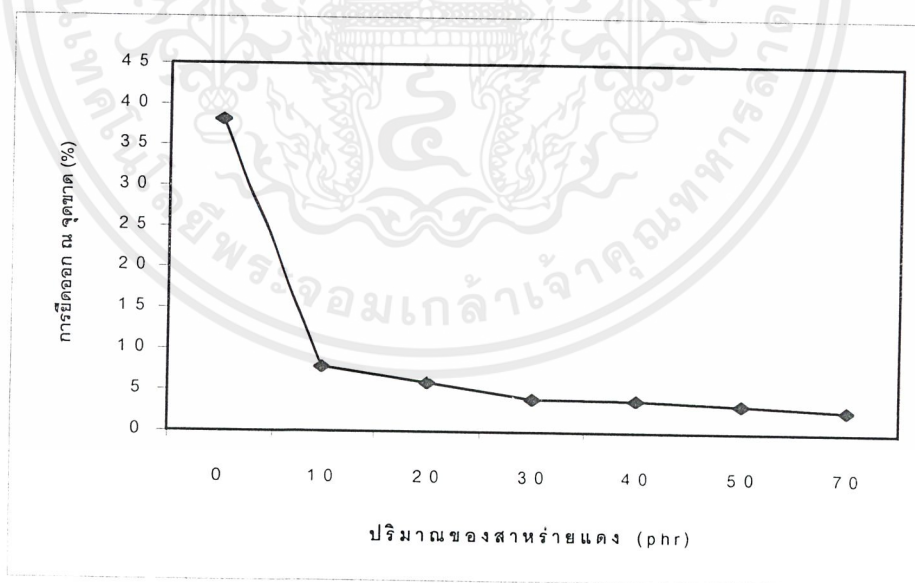
แข็ง และเมื่อปริมาณของสารรายสีแดงมากกว่า 40 phr การกระจายตัวของสารรายสีแดงไม่สม่ำเสมอจึงส่งผลให้ค่าความแข็งลดต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

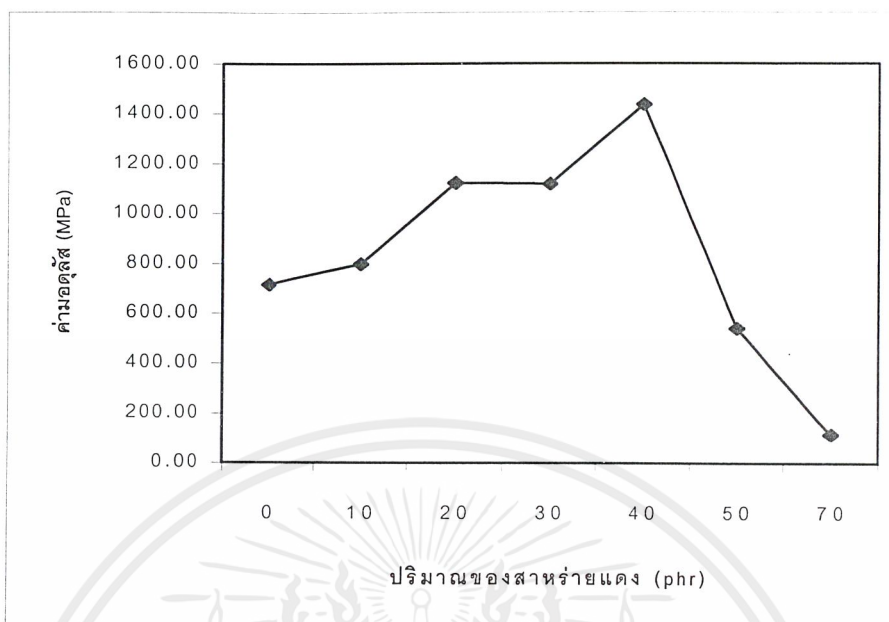


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงดึงกับปริมาณสาหร่ายสีแดง

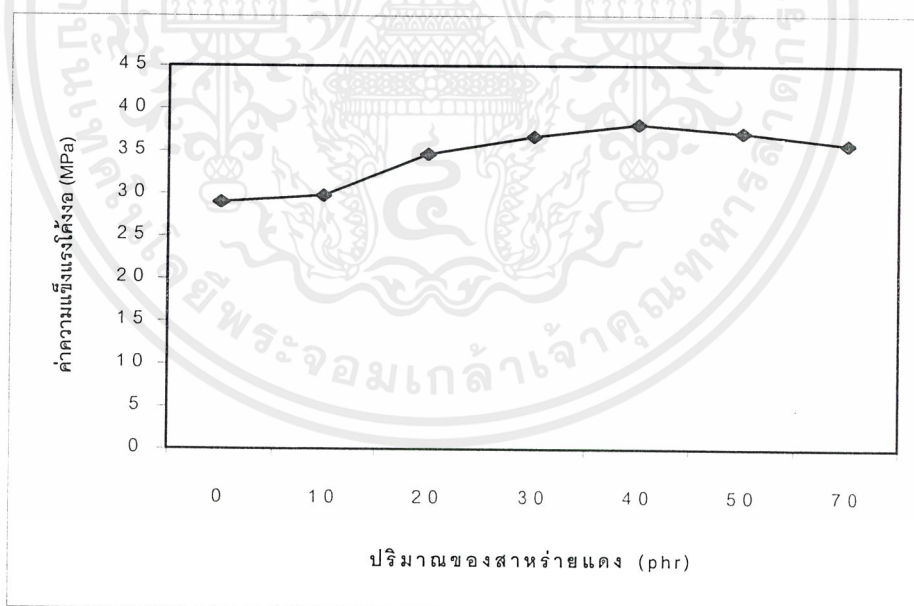


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การยี้ดออก ณ จุดขาดกับปริมาณสาหร่ายสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

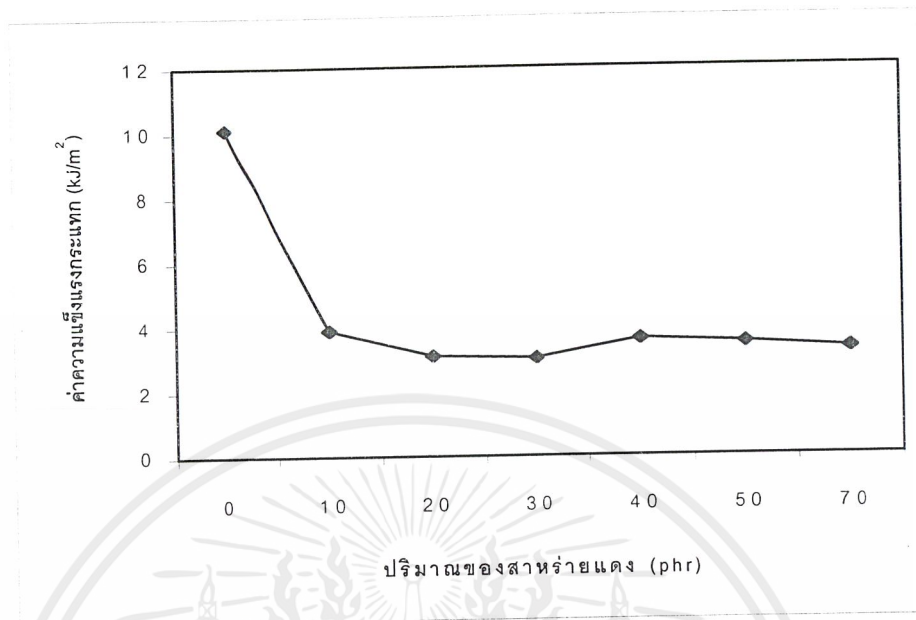


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับปริมาณสาหร่ายสีแดง

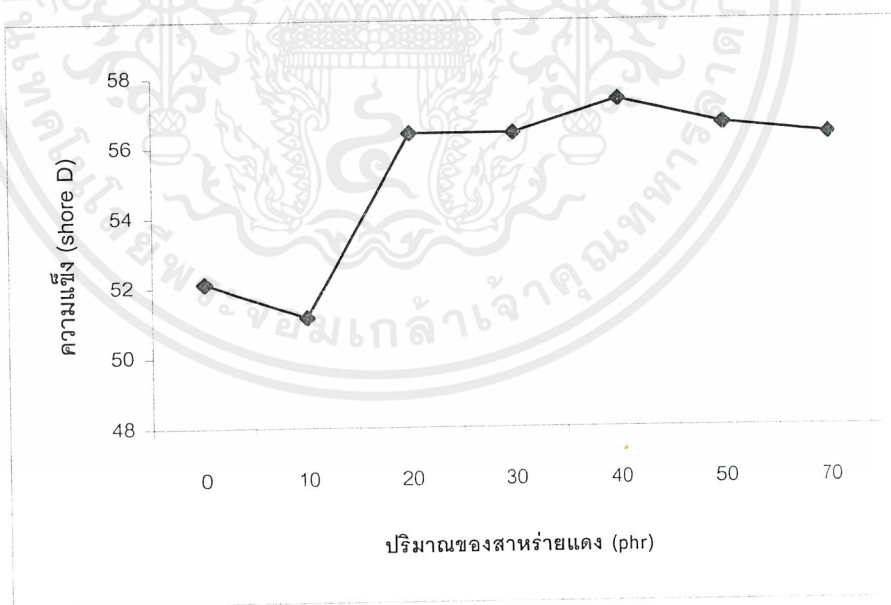


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงโค้งงอกับปริมาณสาหร่ายสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณสาหร่ายสีแดง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณของสาหร่ายสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.2 ศึกษาหาปริมาณของเอโซไคคาร์โบนานาไมด์ (AZ) ที่เหมาะสม

### 4.2.2.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับสาหร่ายสีแดงและวัสดุพอลิโอลิฟินส์กับสาหร่ายสีแดงที่เติม AZ (รูปที่ 4.7) พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเมื่อมีการเติม AZ จะลดลงจากเดิม แต่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงปริมาณ AZ 1-2 phr และเมื่อปริมาณ AZ มากกว่า 2 phr ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่มากนัก โดยค่าความแข็งแรงดึงที่ปริมาณ AZ 2 phr ให้ค่าสูงสุด เนื่องจากการเติม AZ ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในวัสดุเกิดการส่งผ่านของแรงลดลงจึงเป็นผลให้ความแข็งแรงดึงลดลง

### 4.2.2.2 ค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาด (% Elongation at break)

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดของวัสดุพอลิโอลิฟินส์กับสาหร่ายสีแดงและวัสดุพอลิโอลิฟินส์กับสาหร่ายสีแดงที่เติม AZ (รูปที่ 4.8) พบว่าค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดของวัสดุที่มีการเติม AZ เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณ AZ ในช่วง 1-2 phr แต่ที่ปริมาณ AZ มากกว่า 2 phr ค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดของวัสดุมีแนวโน้มลดลง โดยที่ปริมาณ AZ 2 phr ให้ค่าสูงสุด เนื่องจากการเติม AZ ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในวัสดุเป็นการเพิ่มสมบัติอิลาสโตเมอร์ให้แก่วัสดุ แต่เมื่อปริมาณ AZ มากเกินไปช่องว่างภายในชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะไปขัดขวางการแตกหักทำให้สมบัติของวัสดุลดลง

### 4.2.2.3 มอดูลัส (Modulus)

เมื่อพิจารณาค่ามอดูลัสของวัสดุพอลิโอลิฟินส์กับสาหร่ายสีแดงและวัสดุพอลิโอลิฟินส์กับสาหร่ายสีแดงที่เติม AZ (รูปที่ 4.9) พบว่าค่ามอดูลัสของวัสดุจะลดลงอย่างมากเมื่อเติม AZ และมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณของ AZ เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติม AZ ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในวัสดุ เป็นการเพิ่มสมบัติความเป็นอิลาสโตเมอร์ให้แก่วัสดุ ในขณะที่ความแข็งแรงดึงลดลงจึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสลดลงด้วย

### 4.2.2.4 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength)

เมื่อพิจารณาค่าความโค้งงอของวัสดุพอลิโอลิฟินส์กับสาหร่ายสีแดงและวัสดุพอลิโอลิฟินส์กับสาหร่ายสีแดงที่เติม AZ (รูปที่ 4.10) พบว่าค่าความโค้งงอของวัสดุจะมีค่าลดลงค่อนข้างมากเมื่อเติม AZ แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณของ AZ เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติม AZ

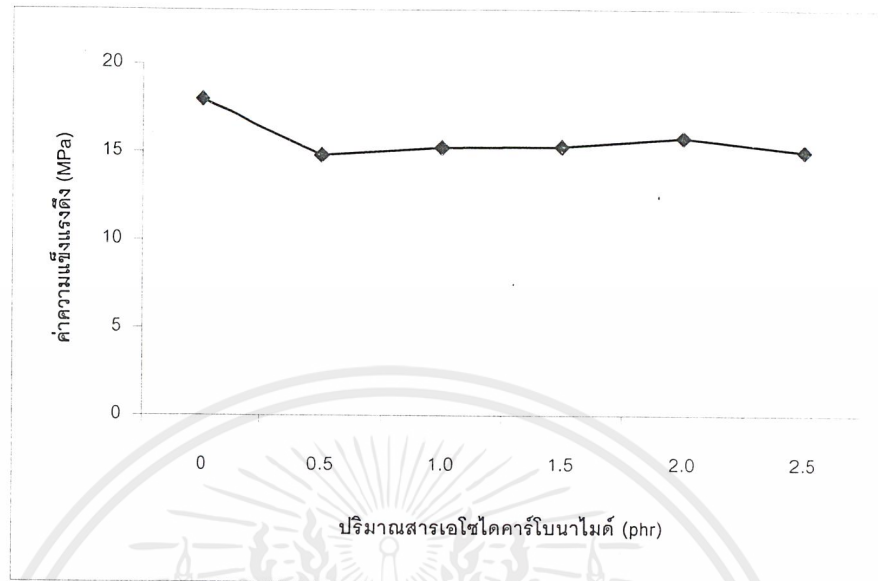
ทำให้ช่องว่างที่เกิดขึ้นขัดขวางการส่งผ่านแรงในช่วงแรก แต่เมื่อปริมาณ AZ เพิ่มขึ้นเป็นผลให้เพิ่มสมบัติความเป็นอิลาสโตเมอร์แก่วัสดุทำให้ความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

#### 4.2.2.5 ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength)

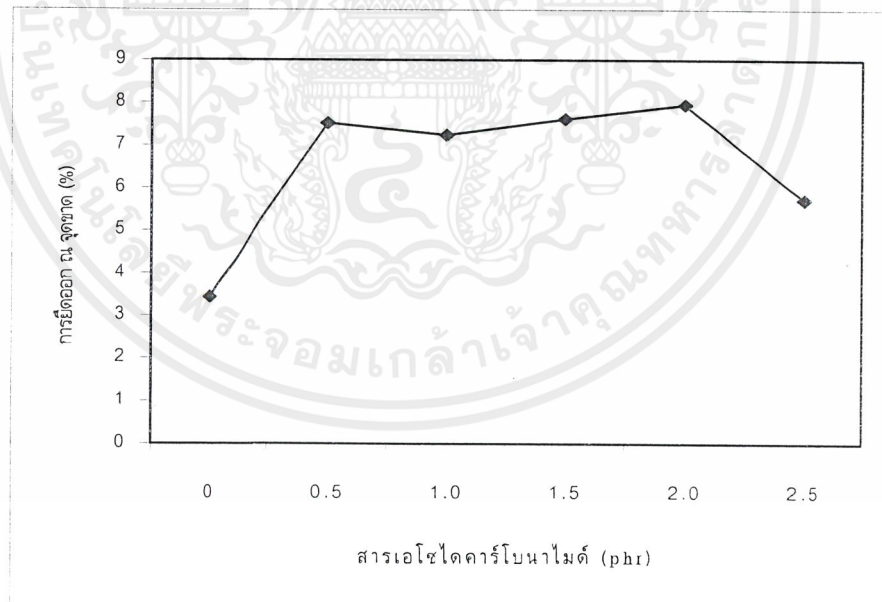
เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุพอลิโอฟีนส์กับสาหร่ายสีแดงและวัสดุพอลิโอฟีนส์กับสาหร่ายสีแดงที่เติม AZ (รูปที่ 4.11) พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุจะเพิ่มขึ้นเมื่อเติม AZ และจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ AZ เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณหนึ่งคือ 1.5 phr และเมื่อปริมาณ AZ มากกว่า 1.5 phr ค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ AZ 1.5 phr เนื่องจากเมื่อเติม AZ ทำให้สมบัติความเป็นอิลาสโตเมอร์ของวัสดุเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติในการกระจายแรงดีขึ้นด้วย

#### 4.2.2.6 ค่าความแข็ง (Hardness)

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของวัสดุพอลิโอฟีนส์กับสาหร่ายสีแดงและวัสดุพอลิโอฟีนส์กับสาหร่ายสีแดงที่เติม AZ (รูปที่ 4.12) พบว่าเมื่อมีการเติม AZ ที่ปริมาณต่าง ๆ ค่าความแข็งยังมีค่าใกล้เคียงกับความแข็งของวัสดุที่ไม่มีการเติม AZ และเมื่อปริมาณ AZ มากกว่า 2 phr จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อเติม AZ มากเกินไปช่องว่างภายในชิ้นงานจะไปขัดขวางการตกผลึกที่ผิวชิ้นงานทำให้ความแข็งลดลง

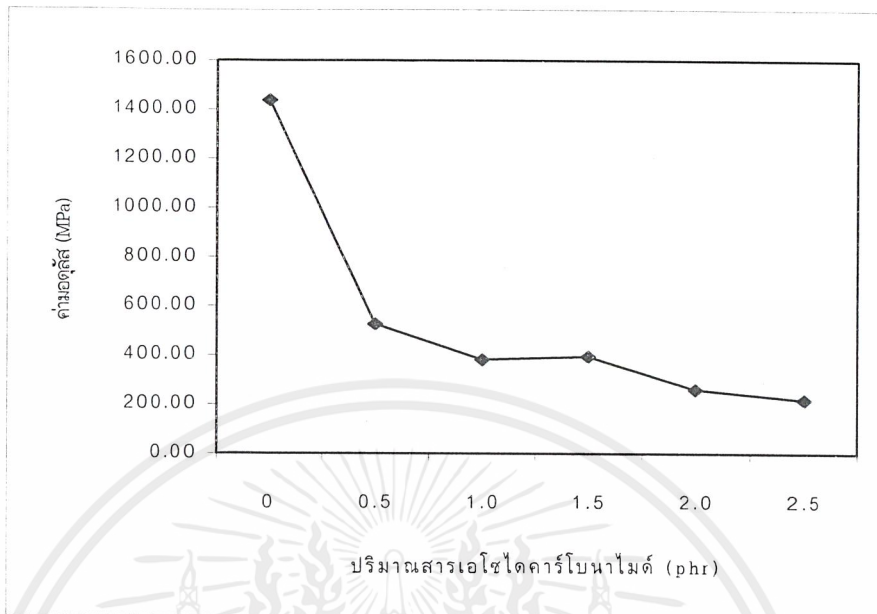


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับปริมาณเอโซไดคาร์บอนาไมด์

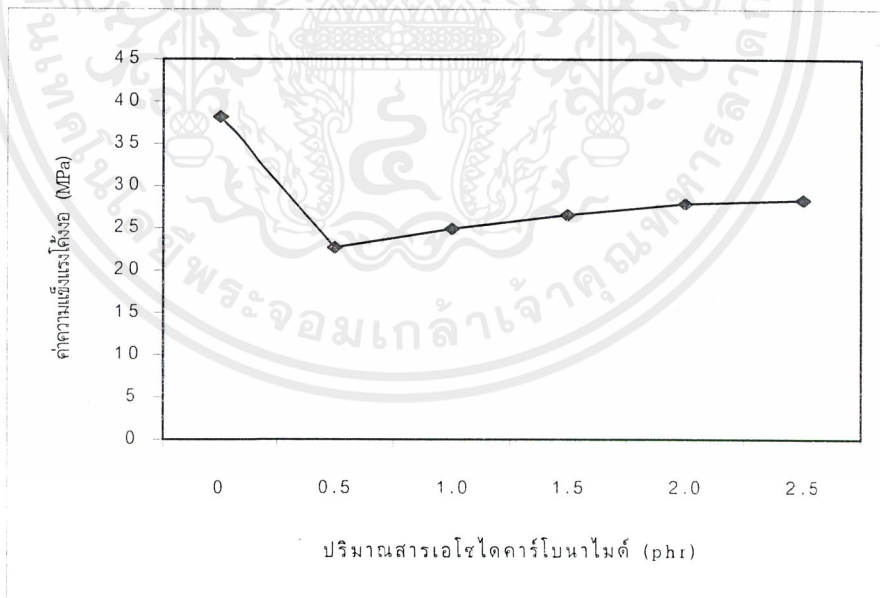


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยึดยก ณ จุดขาดกับสารเอโซไดคาร์บอนาไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

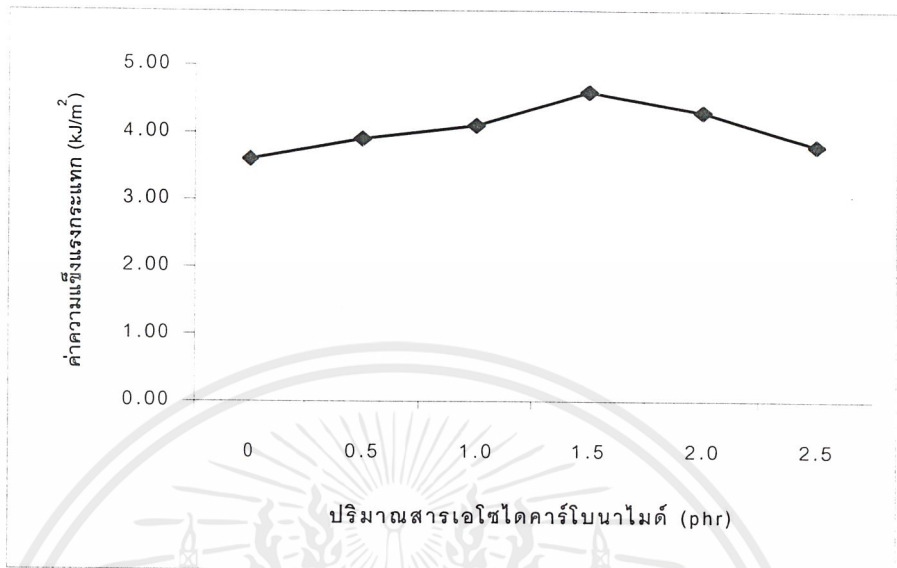


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับปริมาณสารไอโซไดคาร์โบนาไมด์

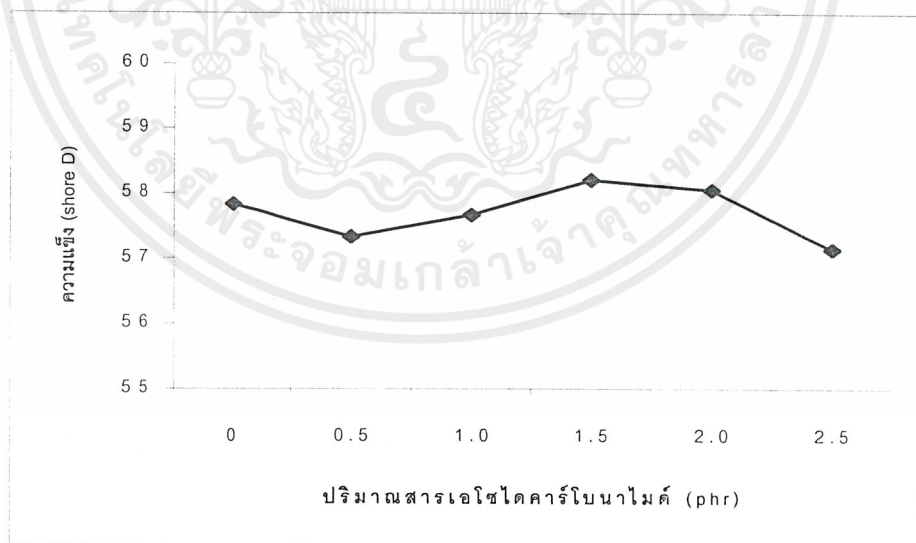


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงอกับปริมาณสารไอโซไดคาร์โบนาไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณสารเอโซโดคาร์โบนาไมด์

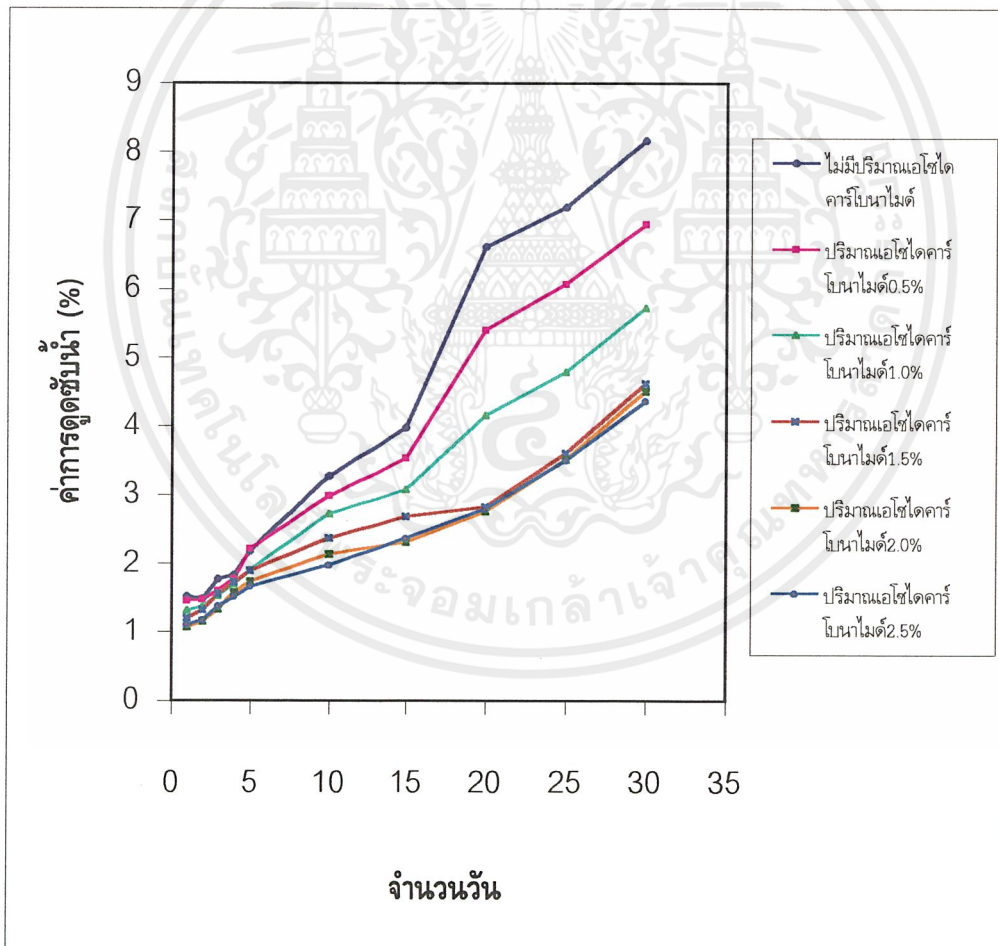


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณสารเอโซโดคาร์โบนาไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 สมบัติการดูดซับน้ำ (Water Absorbtion)

เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดน้ำของวัสดุพอลิโอลิฟินส์ผสมสาหร่ายแดงและวัสดุพอลิโอลิฟินส์ผสมสาหร่ายแดงที่เติม AZ ในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยศึกษาในช่วงเวลา 30 วัน พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของวัสดุจะเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบมากขึ้น แต่จะลดลงเมื่อปริมาณ AZ มากขึ้น ซึ่งความสามารถในการดูดซับน้ำของวัสดุที่เติม AZ ในช่วง 1.5-2.5 phr มีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากปริมาณฟองอากาศในชิ้นงานเพิ่มขึ้นทำให้วัฏภาคที่มีผลต่อสมบัติในการดูดซับน้ำลดน้อยลง นั่นคือส่วนที่เป็นสาหร่ายสีแดงซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือเซลลูโลส และการที่เกิดฟองอากาศขึ้นภายในโครงสร้างของวัสดุทำให้เกิดแรงดันขึ้นภายในชิ้นงานทำให้โครงสร้างจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบมากขึ้นทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำลดน้อยลง ดังรูป 4.13



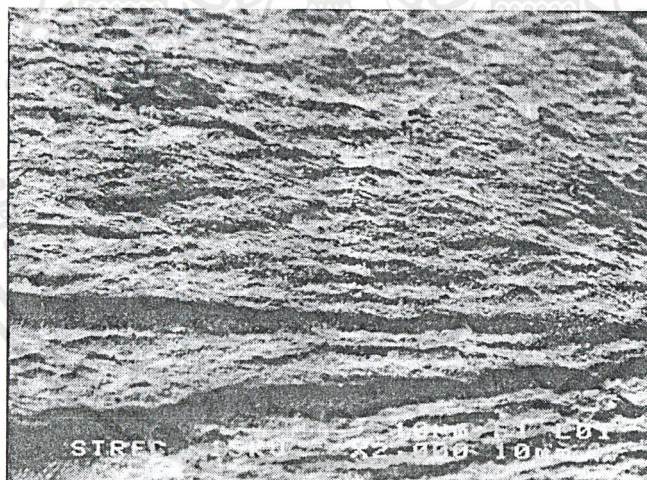
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

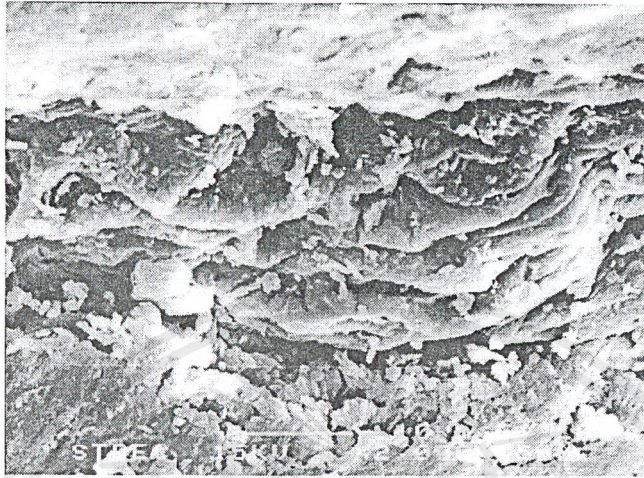
#### 4.4 การศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยา ( Morphology )

##### 4.4.1 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของสาหร่ายสีแดงในพอลิโอฟิลินส์

จากการศึกษาพื้นผิวตรงรอยแตกของพอลิโอฟิลินส์มีลักษณะขรุขระเล็กน้อยแต่ดูเป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูป 4.14 แต่สามารถเห็นได้ว่าพื้นผิวของสาหร่ายสีแดงไม่เรียบ และมีรอยแตกบนพื้นผิว ดังรูป 4.15 และเมื่อดูลักษณะการกระจายตัวของสาหร่ายสีแดงในพอลิโอฟิลินส์ เห็นได้ว่าการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่จะมีรอยแตกระหว่างพื้นผิวของสาหร่ายสีแดงกับพื้นผิวพอลิโอฟิลินส์ เนื่องจากสาหร่ายสีแดงเป็นวัสดุประเภทเซลลูโลสซึ่งมีความแน่นขรุขระในขณะที่พอลิโอฟิลินส์เป็นวัสดุที่แข็งไม่มีขี้ผึ้งจึงไม่สามารถเข้ากันได้ ดังรูป 4.16 และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเพื่อดูการเชื่อมต่อระหว่างพื้นผิวของสาหร่ายสีแดงกับวัสดุของพอลิโอฟิลินส์ สังเกตเห็นส่วนของพอลิเมอร์บางส่วนเชื่อมต่อกับสาหร่ายสีแดงเป็นผลเนื่องมาจากอีพอกซีที่เติมลงไปทำหน้าที่เป็นสารช่วยในการกระจายตัวของสาหร่ายสีแดงในวัสดุของพอลิโอฟิลินส์ ดังรูป 4.17



รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิโอฟิลินส์ กำลังขยาย 2000 เท่า

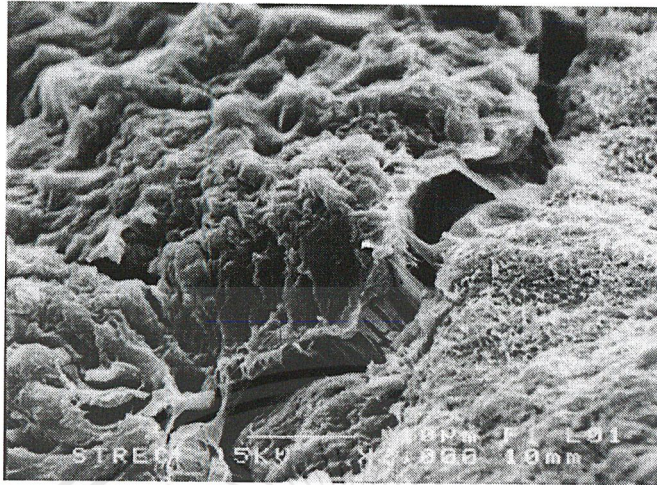


รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะพื้นผิวของสาหร่ายสีแดง กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสาหร่ายสีแดงปริมาณ 40 phr ในพอลิโอฟีนส์ กำลังขยาย 140 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

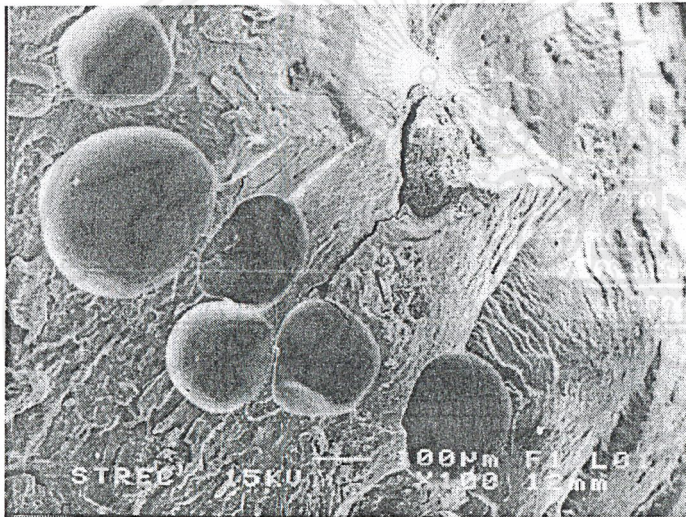


รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะรอยเชื่อมต่อระหว่างพื้นผิวของสาหร่ายสีแดงกับพอลิโอฟีนส์  
กำลังขยาย 2000 เท่า

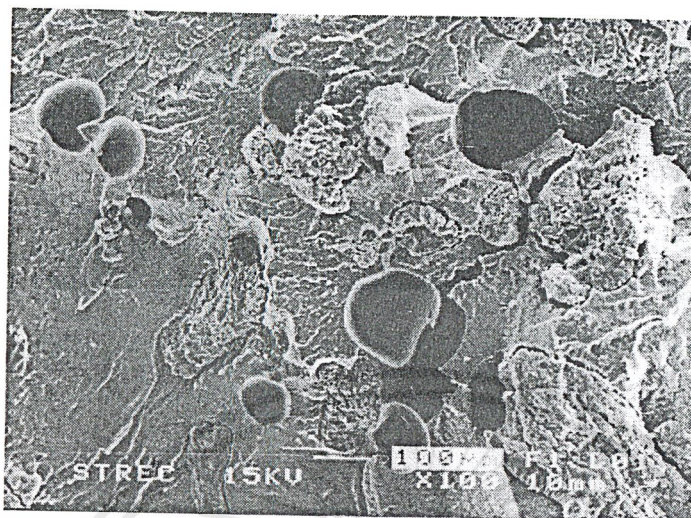
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 ศึกษาผลของปริมาณสารเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (AZ) ต่อลักษณะพื้นผิวของวัสดุ

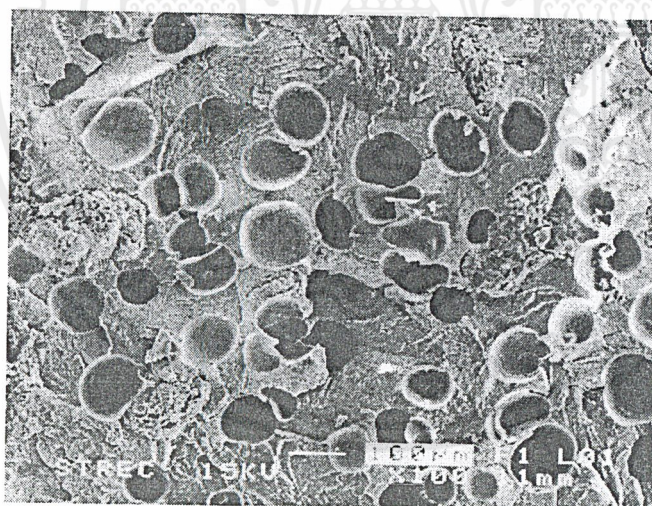
จากการนำวัสดุที่มีปริมาณ AZ ต่าง ๆ กันไปศึกษาสัณฐานวิทยาตรงรอยแตก สามารถสังเกตได้ว่าปริมาณฟองอากาศภายในโครงสร้างของวัสดุจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณ AZ เพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้เพิ่มความเป็นอิลาสโตเมอร์ของวัสดุทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดของวัสดุเพิ่มขึ้น ความแข็งแรง กระแทก และค่าความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณฟองอากาศที่มากขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสลดลง แต่จะไม่ส่งผลถึงค่าความแข็งเนื่องจากการเกิดฟองของวัสดุเกิดภายในโครงสร้างไม่ได้เกิดขึ้นที่บริเวณผิวของวัสดุ ดังรูป 4.18-4.22



รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายในโครงสร้างที่ปริมาณ AZ 0.5 phr กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายในโครงสร้างที่ปริมาตร AZ 1.0 phr กำลังขยาย 100 เท่า

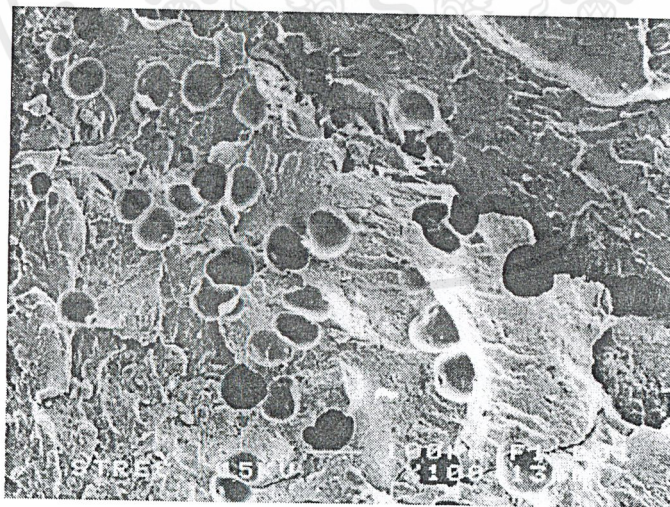


รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายในโครงสร้างที่ปริมาตร AZ 1.0 phr กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายในโครงสร้างที่ปริมาณ AZ 2.0 phr กำลังขยาย 100 เท่า

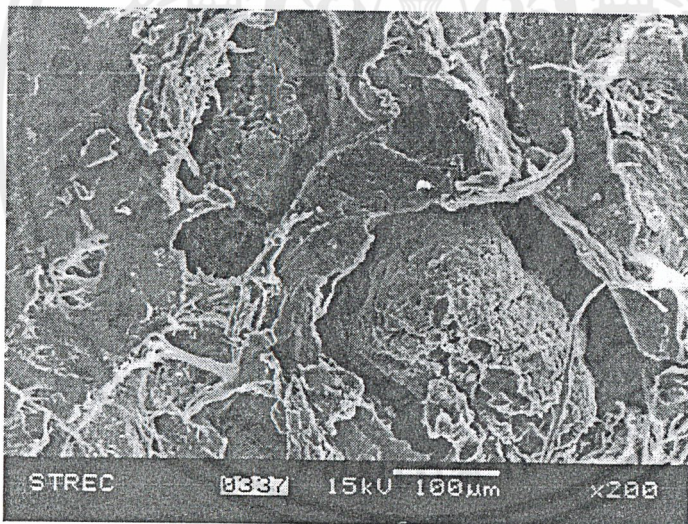


รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะการกระจายตัวของฟองอากาศภายในโครงสร้างที่ปริมาณ AZ 2.5 phr กำลังขยาย 100 เท่า

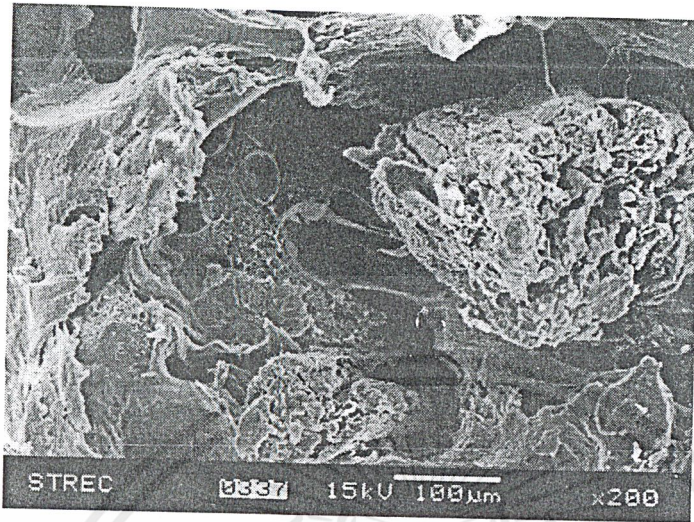
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.3 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุก่อนและหลังถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน

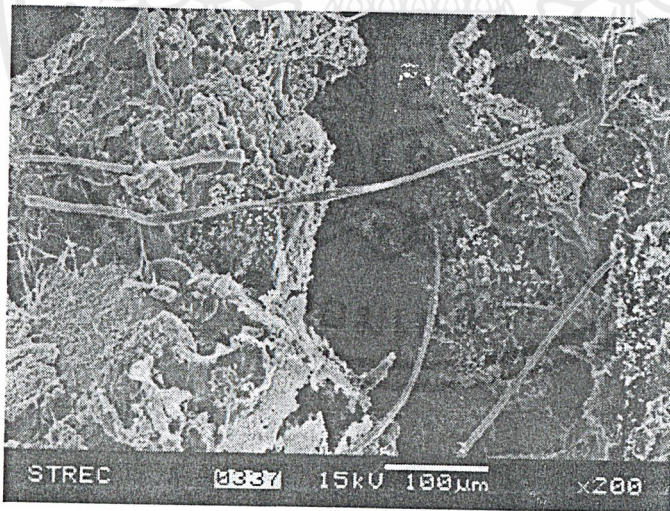
จากการนำวัสดุที่ไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินกับที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มาส่องดูพื้นผิว พบว่าพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่ายสีแดงที่ถูกย่อยสลายต่างจากพื้นผิวของวัสดุที่ไม่ถูกย่อย กล่าวคือสังเกตเห็นผงเล็ก ๆ ของสาหร่ายสีแดงที่ถูกจุลินทรีย์ย่อยกระจายอยู่บริเวณพื้นผิวเป็นผลให้อุณหภูมิของสาหร่ายสีแดงมีขนาดเล็กลงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุในการสัมผัสกับจุลินทรีย์ ดังรูป 4.23-4.24 และเมื่อพิจารณาถึงวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่ายสีแดงที่มีการเติม AZ พบว่าวัสดุก่อนและหลังถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มีความแตกต่างกันเช่นเดียวกับในวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่ายสีแดงที่ไม่เติม AZ จึงสรุปได้ว่า AZ ที่เติมลงไปนั้นไม่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ดังรูป 4.25-4.26



รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่ายสีแดงก่อนถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน กำลังขยาย 200 เท่า

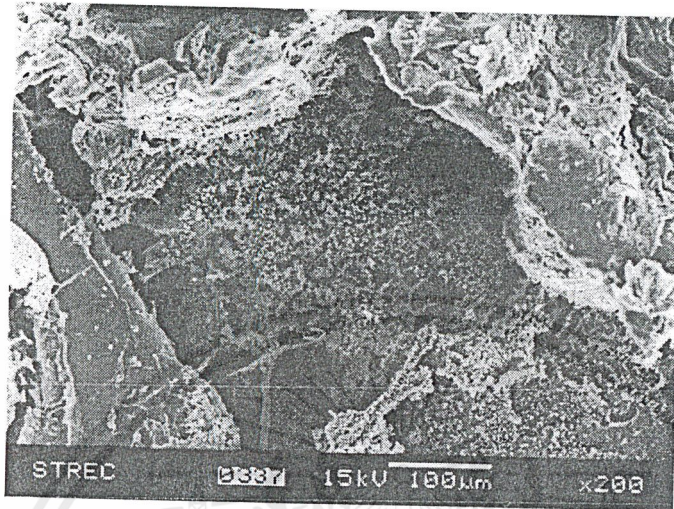


รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสารทรายสีแดงที่เติม AZ ก่อนถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสารทรายสีแดงหลังจากถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดินเป็นเวลา 10 วัน กำลังขยาย 200 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุสควพอลิโอดีฟีนส์ผสมสำหรับยี่แสงที่เติม AZ หลังจากถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดินเป็นเวลา 10 วัน กำลังขยาย 200 เท่า

#### 4.5 การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์

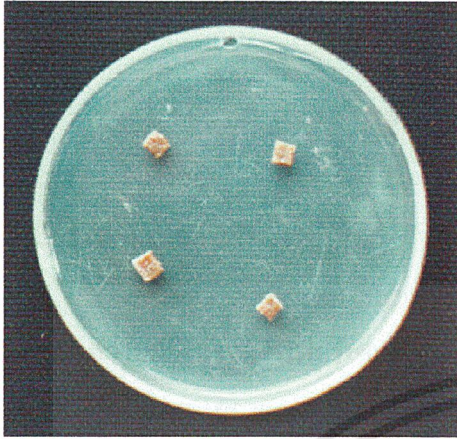
ผลจากการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ โดยนำชิ้นงานวางในงานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ และมีการนำเชื้อจุลินทรีย์ในดินมากระจายบนอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าในดินจากแหล่งต่างกันจะพบเชื้อที่มีความสามารถในการย่อยสลายสาหร่ายสีเขียวแกมแดงที่กระจายตัวอยู่ในวัสดุได้ต่างกัน คือดินจากท้องร่องคณะเทคโนโลยีเกษตร สจล. ดินจากบ่อน้ำข้างโรงอาหาร วิทยาศาสตร์ สจล. สามารถพบเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสาหร่ายสีเขียวแกมแดงได้มาก แต่ดินจากหน้าสถานปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์ สจล. ดินจากกองขยะปากน้ำ สมุทรปราการ และดินข้างโรงอาหารครุศาสตร์สามารถพบจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้เล็กน้อย เนื่องจากความสามารถในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดินแต่ละแหล่งไม่เท่ากันขึ้นกับความทนต่อสภาวะแวดล้อมของจุลินทรีย์ ลักษณะของดิน อุณหภูมิ ความชื้น และความเป็นกรด-เบส ของดินในแต่ละแหล่ง ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.25-4.28

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ

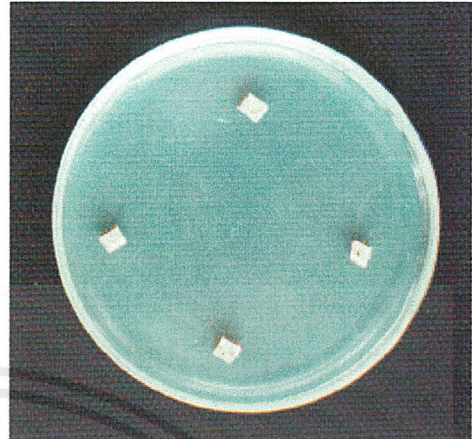
ดินที่/ ความเข้มข้น	วันที่											
	2		4		6		8		10		12	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
$1/10^{-4}$	+	+	+	+	++	++	++	++	+++	+++	+++	+++
$1/10^{-5}$	+	+	+	+	++	++	++	++	+++	+++	+++	+++
$2/10^{-4}$	+	+	+	+	++	++	++	++	+++	+++	+++	+++
$2/10^{-5}$	+	+	+	+	++	++	++	++	+++	+++	+++	+++
$3/10^{-4}$	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+
$3/10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$4/10^{-4}$	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+
$4/10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+
$5/10^{-4}$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++
$5/10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมายเหตุ** N : วัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่ายสีแดง  
 B : วัสดุโพนพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่ายสีแดง  
 0 : ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์เกิดขึ้นที่ชิ้นงาน  
 + : เกิดเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นที่ชิ้นงานน้อย  
**หมายเหตุ** ++ : เกิดเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นที่ชิ้นงานปานกลาง  
 +++ : เกิดเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นที่ชิ้นงานมาก
- ดิน 1 บริเวณท้องร่องคณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.  
 ดิน 2 บริเวณข้างสระน้ำโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สจล.  
 ดิน 3 บริเวณข้างกองขยะปากน้ำ สมุทรปราการ  
 ดิน 4 บริเวณหน้าสถานปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.  
 ดิน 5 บริเวณโรงอาหารคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม



รูปที่ 4.27



รูปที่ 4.28



รูปที่ 4.29



รูปที่ 4.30

รูปที่ 4.27 แสดงภาพถ่ายของวัสดุพอลิโอลิฟินส์ผสมสารร้ายสีแดงที่ไม่มีการเจริญของเชื้อ จุลินทรีย์

รูปที่ 4.28 แสดงภาพถ่ายของวัสดุโพลีพอลิโอลิฟินส์ผสมสารร้ายสีแดงที่ไม่มีการเจริญของเชื้อ จุลินทรีย์

รูปที่ 4.29 แสดงภาพถ่ายของการเจริญของจุลินทรีย์บนวัสดุพอลิโอลิฟินส์ผสมสารร้ายสีแดงใน วันที่ 12 ของการทดลอง

รูปที่ 4.30 แสดงภาพถ่ายของการเจริญของจุลินทรีย์บนวัสดุโพลีพอลิโอลิฟินส์ผสมสารร้ายสีแดง ในวันที่ 12 ของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การศึกษาการย่อยสลายโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์บางประเภทจากดินแหล่งต่าง ๆ มาเลี้ยง โดยอาหารในงานเพาะเชื้อแล้ววางชิ้นงานลงบนอาหาร พบว่าดินจากท้องร่องคณะเทคโนโลยีการเกษตร และข้างโรงอาหารวิทยาศาสตร์มีเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสาหร่ายสีแดงได้ สังเกตได้จากเชื้อจุลินทรีย์จากดินสามารถขึ้นบนชิ้นงานได้ ซึ่งแสดงถึงว่าพอลิโอฟิลินส์ที่เดิมสาหร่ายสีแดง และโอฟิลินส์ที่เดิมสาหร่ายสีแดงสามารถถูกย่อยสลายได้ในทางชีวภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน

### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาความสามารถในการเข้ากันได้ของ พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และหาชนิดและปริมาณของสารเคมีมาช่วยในการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด ให้มีสมบัติที่ดีขึ้น
2. ศึกษาสมบัติทางความร้อนเพิ่มเติมถึงผลของปริมาณสาหร่ายสีแดง และปริมาณของเอโซไคคาร์บอนาไมด์ต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึก และเปอร์เซ็นต์การตกผลึกของพอลิโอฟิลินส์
3. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการย่อยสลายทางชีวภาพ เพื่อให้ทราบว่าจุลินทรีย์ที่มาใช้นั้นเป็นเชื้อราหรือแบคทีเรียชนิดใด แหล่งที่พบมากที่สุด และความสามารถในการย่อยสลายดีมาน้อยเพียงใด
4. ศึกษาชนิดของสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ ที่สามารถผสมในพอลิโอฟิลินส์ แล้วเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล และเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุด้วย

## เอกสารอ้างอิง

1. ดร.ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ “พอลิเมอร์เชิงพาณิชย์” สำนักพิมพ์ไอเอสพรีนติ้งเฮาส์ กรุงเทพฯ, 2526, หน้า 87-95.
2. Wolfe,R. *Plastic Handbook*,1990;pp.31-32.
3. โฉลก บึงตระกูล “รายงานการสัมมนา HDPE บรรจุภัณฑ์ทันสมัย” ศูนย์บรรจุหีบห่อ,สถาบันวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีแห่งประเทศไทยบริษัททวิตคอร์เพอเรชั่น จำกัด, 2526,หน้า 63-72.
4. ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ “เคมีพอลิเมอร์” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ฯ, 2540.
5. Happer,C.A. *Handbook of Plastic Elastomer and Composite* ;McGraw-Hill :Newyork,1996.
6. จิรพรรณ หน่วยคอน และ มาริสา ตันติลักษณ์ “วัสดุคอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยอ้อย”โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ฯ, 2542.
7. Jesse,E. *Plastic Additive and Modifier Handbook*;Chapman &Hall :London,1996.
8. Lewmanomont, K. ;Ogawa, H. *Common Seaweeds and Seagrasses of Thailand* ;Intergrated Technology.Co,Ltd :Bangkok,1995.
9. กาญจนภาชน์ ลีวมโนมนต์ “สาหร่าย” คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2527.
10. ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย “เอกสารประกอบการเรียนการสอนปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์การทดลองที่ 8” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ฯ, 2542.
11. ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล “ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ฯ, 2542.
12. Peggy,M. *Structure Analysis of Thermoplastic Component* ;Mcgraw-Hill :New York, 1994 .
13. รศ.บรรเลง ศรีนิต “เทคโนโลยีพลาสติก” ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์ กรุงเทพฯ ฯ,2525.
14. ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย “เอกสารประกอบการเรียนการสอนปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์การทดลองที่ 9” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ฯ, 2542.
15. Craigie, J.S. *Cell Wall Biology of Red Algae*,1990;pp.221-257.
16. Sain,M.M.;Kokta,B.V. *Polymer – Plastic Technology Engineering*,1994,33(1); 84-104.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. Simpson,R.J. "Composite Material from Recycled Multi-layer Polypropylene Bottle and Wood Fiber " MS.Thesis,Michigan state University,1991.
18. Antibov,Y.M;Kuptsov,S.A.; Popova,Y.V. *Polymer-Plastic Technology Engineering*, 1998,31(12):1989-2032.
19. Dietz,S.B. "The use and market economics of Phosphite Stabilizer in Post Consumer Recycle" Recycle'90 Forum and Exposition Proceeding., Davos,Switzerland,1990 .
20. Blatz,P.J. "Properties of High-Density Polypropylene from Postconsumer Recycled Container" ,Emerging Technologies in Plastics Recycling: American Chemical Society:. Washington DC., 1992.
21. Padagula ,J. ;Shutov,F. *ANTEC* ,1998 :1855-1859.
22. อำนาง เจริรัตน์ ก่อเกียรติ กิตติณภากุล และกล้าณรงค์ ศรีรอด "การศึกษาเบื้องต้นการย่อยสลายพอลิเอสเตอร์โดยจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงจากตัวอย่างดินในประเทศไทย" การประชุมเชิงวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ๙,2541

## ภาคผนวก

สถานะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine

### TIME PROGRAMMING

DIECLS/OPN TIME	:	600	MELTING TIME	:	200
SID ACT TIME	:	0	DECOMPRS TIME	:	1
1 ST STG INJ TIME	:	20	COOLING	:	150
2 ND STG INJ TIME	:	15	EJECTOR COUNT	:	3
3 RD STG INJ TIME	:	10	SCW FWD COUNT	:	0
EJECTOR FWD DELAY	:	0	SCW BWD COUNT1	:	0
MELTING DELAY	:	10	SCW BWD COUNT2	:	0
EJECT BWD DELAY	:	0	ALARM TIME	:	300

### PRESSURE PROGRAMMING

DIE CLS PRESR	:	40	DECOMP PRESR	:	30
CLS LOW PRESR	:	60	PLUNGER PRESR	:	20
CLS HI PRESR	:	100	EJECTOR PRESR	:	20
DIE OPN PRESR	:	80	SCW-IN PRESR	:	0
1 ST INJ PRESR	:	60	DIE ADJ PRESR	:	60
2 ST INJ PRESR	:	55			
3 RD INJ PRESR	:	45			
MELTING PRESR	:	40			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PROGRAMING FLOW SPEED**

RAPID CLS SPD	:	30	1 ST STG INJ SPD	:	60
HIFH CLS SPD	:	25	2 ND STG INJ SPD	:	60
CLAMPING SPD	:	15	3 RD STG INJ SPD	:	60
DIE OPN SPD	:	10	MELTING SPD	:	40
RAPID OPN SPD	:	25	DECOMP SPD	:	40
DIE OPEN SPD	:	15	EJECTOR SPD	:	30
PLUNGER SPD	:	20	SCREW-IN SPD	:	0
DIE ADJ SPD	:	25	DIE SPEED	:	50

**PROGRAMMING TEMPERATURES**

PROGRAMED TEMP	CURRENT TEMP
NOZZLE	170
ZONE 1	160
ZONE 2	150
ZONE 3	0
ZONE 4	0
ZONE 5	0
ZONE 6	0

**PROGRAMMING OPTIONS**

DIE CLS SPD	:	1	1 = HI SPD	2 = FAST SPD
PLUNGER SPD	:	2	1 = USE	2 = NO USE
ROBOTS	:	2	1 = USE	2 = NO USE
SCREW	:	2	1 = USE	2 = NO USE
EJECTOR	:	1	1 = STAL	2 = MULTI 3 = SLD-COR
SID-COR	:	2	1 = TIME	2 = TRAVEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้