

การยืมสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
พอลิโอลิฟินส์และ *Gracilaria fisheri*



นางสาวนิภาพร เจตน์เจริญ
นางสาวนระชา ศรีวงษ์
นางสาวมลิ แสนอุ้นเรือน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 39898
วัน, เดือน, ปี..... ก.ค. 2544

.b.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Biodegradation of Polymer Blend between Polyolefins and
Gracilaria fisheri



Miss Nipaporn Chetcharoen
Miss Niracha Sreewong
Miss Mali Sanunruan

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Biology
Faculty of Science
King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang
2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์
และ*Gracilaria fisheri*

นักศึกษานางสาวนิภาพร เจตน์เจริญ
นางสาวนิระชา ศรีวงษ์
นางสาวมลิ แส่นอุ้นเรือน

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์วีณา ชูโชติ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
(ผศ.ดร.นवलพรรณ ณะระนอง)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ
..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.นवलพรรณ ณะระนอง)

..... กรรมการ
(อาจารย์วีณา ชูโชติ)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพลิฟินส์ และ <i>Gracilaria fisheri</i>	
นักศึกษา	นางสาวนิภาพร	เจตน์เจริญ
	นางสาวนริษา	ศรวิงษ์
	นางสาวมลิ	แสนอุ่นเรือน
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์วีณา	ชูโชติ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.สมศักดิ์	วรมงคลชัย
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์	
ปีการศึกษา	2543	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพลิฟินส์ (พอลิพรอพิลีน, พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง) และ *Gracilaria fisheri* โดยมี *G. fisheri* เป็นสารตัวเติมช่วยให้มีการย่อยสลายเร็วขึ้น มีการศึกษาร้อยละของสารช่วยกระจายตัว (WB 212) ที่ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พบว่าการไม่มีสารช่วยกระจายตัวให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด โดยให้สมบัติเชิงกลที่ดีซึ่งประกอบด้วยค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่าความแข็งแรงกระแทกและค่าความแข็ง จากการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินและน้ำ พบว่าพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายได้ประมาณ 8.15-12.51 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 20-60 วัน และพบว่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมได้ดีที่สุดในอาหารเหลว คือ สายพันธุ์ 27 ซึ่งเป็นเชื้อรา

Special Project Title	Biodegradation of Polymer Blend between Polyolefins And <i>Gracilaria fisher</i>	
Name	Miss Nipaporn	Chetcharoen
	Miss Niracha	Sreewong
	Miss Mali	Sanunruan
Special Project Advisor	Mrs. Weena	Choochote
Special Project Co-advisor	Asst.Prof. Somsak	Woramongkolchai
Department	Applied Biology	
Academic Year	2000	

Abstract

The special project was studied the biodegradation of polymer blend between polyolefins (polypropylene, low-density polyethylene and high-density polyethylene) and *Gracilaria fisheri*. *G. fisheri* was a filler for enhancement of degradation. The percentage of dispersing agent (WB 212) was varied to 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 percent. It was found that the optimum mechanical properties (Tensile strength, %Elongation at break, Modulus, Flexural strength, Impact strength and Hardness) was no dispersing agent. The ability of biodegradation of the polymer blend by microorganisms for soil and water samples were studied. It showed that the biodegradation of the polymer blend was in the range of 8.15-12.51 percent for 20-60 days of the incubation. The capability of biodegradation in broth medium was fungus strain No. 27.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์วีณา ชูโชติ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย อาจารย์ประจำภาควิชาเคมีที่กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการผลิตและการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมและขอบคุณภาควิชาเคมีที่เอื้อเพื่อให้ใช้สถานที่ในการปฏิบัติงานโครงการพิเศษ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงโดยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบและช่วยแก้ไขโครงการพิเศษ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรที่ให้ยืมใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ควบคุมอาคารปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์ที่ให้ความช่วยเหลือทุกอย่างในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และ ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ รวมทั้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นางสาวนิภาพร เจตน์เจริญ

นางสาวนิระชา ศรีวงษ์

นางสาวมลิ แสนอ่อนเรือน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการดำเนินงาน	
2.1 วัสดุที่ใช้	3
2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	3
2.1.1.1 กระบวนการผลิต	4
2.1.1.2 การประยุกต์ใช้งาน	5
2.1.1.3 รีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	5
2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	6
2.1.3 พอลิพรอพิลีน	6
2.1.4 ไซอีพอลีน	7
2.1.5 เอโซไดคาร์โบนาไมด์	8
2.1.6 น้ำมันแร่	8
2.1.6.1 ลักษณะเฉพาะตัวของน้ำมันแร่	9
2.1.7 สาหร่าย <i>Gracilaria fisheri</i>	11
2.1.7.1 ขนาดและการกระจายตัว	11
2.1.7.2 โครงสร้างและคุณสมบัติ	11
2.1.7.3 การสืบพันธุ์	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.2 เครื่องมือและหลักการทำงาน	14
2.3 เสถียรภาพของพลาสติก	16
2.4 สาเหตุที่ทำให้พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ ไม่สามารถย่อยสลายได้	16
2.5 ประเภทของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้	17
2.6 เซลลูโลส	19
2.6.1 การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเชื้อรา	19
2.6.1.1 เอนไซม์ไฮโดรไลติก	20
2.6.1.2 เอนไซม์ออกซิเดส	20
2.6.1.3 เอนไซม์ฟอสโฟโรไลติก	20
2.6.2 การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเชื้อแบคทีเรีย	21
2.6.2.1 แบคทีเรียพวกแอโรบิก	21
2.6.2.2 แบคทีเรียพวกแอนแอโรบิก	22
2.7 การศึกษาการย่อยสลายพอลิเมอร์ทางชีวภาพ	23
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้	27
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	27
3.3 วิธีการทดลอง	
3.3.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	29
3.3.1.1 การเตรียมพลาสติก	29
3.3.1.2 การเตรียมสาหร่าย <i>Gracilaria fisheri</i>	29
3.3.2 ขั้นตอนการผสม	29
3.4 การทดสอบ	
3.4.1 สมบัติเชิงกล	30
3.4.2 สมบัติทางสัณฐานวิทยา	31
3.4.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ	31
3.4.3.1 ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในดิน	

สารบัญ (ต่อ)

3.4.3.2	ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยอาศัยปัจจัยภายนอก	33
3.4.3.3	ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์ ที่คัดเลือกจากดินในอาหารเหลว	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์		
4.1	การศึกษาหาปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่เหมาะสม	37
4.2	การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์ จากดิน	43
4.2.1	ระดับความเจือจาง 10^{-4}	44
4.2.2	ระดับความเจือจาง 10^{-5}	45
4.3	ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยโดยจุลินทรีย์ในดิน	46
4.4	การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน	
4.4.1	ช่วงที่ 1 (ระยะเวลา 10 วัน)	48
4.4.2	ช่วงที่ 2 (ระยะเวลา 20 วัน)	49
4.4.3	ช่วงที่ 3 (ระยะเวลา 30 วัน)	50
4.4.4	ช่วงที่ 4 (ระยะเวลา 40 วัน)	51
4.4.5	ช่วงที่ 5 (ระยะเวลา 50 วัน)	52
4.4.6	ช่วงที่ 6 (ระยะเวลา 60 วัน)	53
4.4.7	เปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม โดยการฝังดิน	54
4.5	ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน	55
4.6	การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการแช่น้ำ	
4.6.1	ช่วงที่ 1 (ระยะเวลา 10 วัน)	57
4.6.2	ช่วงที่ 2 (ระยะเวลา 20 วัน)	58
4.6.3	ช่วงที่ 3 (ระยะเวลา 30 วัน)	59
4.6.4	ช่วงที่ 4 (ระยะเวลา 40 วัน)	60
4.6.5	ช่วงที่ 5 (ระยะเวลา 50 วัน)	61
4.6.6	ช่วงที่ 6 (ระยะเวลา 60 วัน)	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.6.7	เปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม โดยการแช่น้ำ	63
4.7	ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายทางชีวภาพ โดยการแช่น้ำ	64
4.8	ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของเชื้อจากตัวอย่างดินในอาหารเหลว	66
4.9	ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ในอาหารเหลว	67
บทที่ 5	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลงานวิจัย	68
5.2	ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารอ้างอิง		70
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก		73
ภาคผนวก ข		76
ภาคผนวก ค		81

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของกระบวนการขึ้นรูป และดัชนีการไหล	5
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางเคมีของน้ำมันแร่	9
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันแร่	10
ตารางที่ 3.1 สูตรในการผสมไฟม	30



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างที่สำคัญของคาร์โบไฮเดรตใน seaweed	12
รูปที่ 2.2 วงจรชีวิตของ Gracilaria	13
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องชั่ง	15
รูปที่ 3.1 วิธีการแยกเชื้อบริสุทธิ์จากตัวอย่างดิน	35
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว และค่าความแข็งแรงตั้ง	37
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว และเปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาด	38
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัวและค่ามอดูลัส	39
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว และค่าความแข็ง	40
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว และค่าความแข็งแรงโค้งงอ	41
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว และค่าความทนทานต่อแรงกระแทก	42
รูปที่ 4.7 เชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายพอลิเมอร์ผสม	43
รูปที่ 4.8 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยจุลินทรีย์ จากดินแหล่งต่างๆ ที่ความเจือจาง 10^{-4}	44
รูปที่ 4.9 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยจุลินทรีย์ จากดินแหล่งต่างๆ ที่ความเจือจาง 10^{-5}	45
รูปที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโอฟิลินส์ผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> ก่อน ย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดินที่เลี้ยงในอาหารแข็งที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	47
รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโอฟิลินส์ผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลัง ย่อยโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ที่ความเจือจาง 10^{-4} กำลังขยาย 1,000 เท่า ก. ที่ความเจือจาง 10^{-4} ข. ที่ความเจือจาง 10^{-5}	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.12	การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม โดยการฝังดิน (ช่วงที่ 1)	48
รูปที่ 4.13	การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 2)	49
รูปที่ 4.14	การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 3)	50
รูปที่ 4.15	การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 4)	51
รูปที่ 4.16	การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 5)	52
รูปที่ 4.17	การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 6)	53
รูปที่ 4.18	ค่าเฉลี่ยของการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม โดยการฝังดิน	54
รูปที่ 4.19	ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 10 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	56
รูปที่ 4.20	แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 20 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	56
รูปที่ 4.21	แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 30 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	56
รูปที่ 4.22	แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 40 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	56
รูปที่ 4.23	แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 50 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	56
รูปที่ 4.24	แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 60 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.25	การย่อยสลายทางชีวภาพพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 1)	57
รูปที่ 4.26	การย่อยสลายทางชีวภาพพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 2)	58
รูปที่ 4.27	การย่อยสลายทางชีวภาพพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 3)	59
รูปที่ 4.28	การย่อยสลายทางชีวภาพพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 4)	60
รูปที่ 4.29	การย่อยสลายทางชีวภาพพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 5)	61
รูปที่ 4.30	การย่อยสลายทางชีวภาพพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 6)	62
รูปที่ 4.31	ค่าเฉลี่ยของการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำ	63
รูปที่ 4.32	ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟอสเฟตผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลัง ย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 10 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	65
รูปที่ 4.33	ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟอสเฟตผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลัง ย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 20 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	65
รูปที่ 4.34	ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟอสเฟตผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลัง ย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 30 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	65
รูปที่ 4.35	ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟอสเฟตผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลัง ย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 40 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	65
รูปที่ 4.36	ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟอสเฟตผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลัง ย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 50 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	65
รูปที่ 4.37	ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟอสเฟตผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลัง ย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 60 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	65
รูปที่ 4.38	การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมในอาหารเหลว	66
รูปที่ 4.39	ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟอสเฟตผสมสำหรับ <i>Gracilaria fisheri</i> หลัง ย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์อาหารเหลว ระยะเวลา 20 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า	67

บทที่ 1

บทนำ

พลาสติกหรือพอลิเมอร์ เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากการสังเคราะห์ตามกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) เป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติที่สามารถผลิตเป็นเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันและดัดแปลงให้เป็นรูปร่างต่างๆ ตามที่ต้องการได้ง่าย มีน้ำหนักเบา สะดวกในการขนส่ง แต่พลาสติกมีข้อเสีย คือ ไม่สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ขยะพลาสติกกลายเป็นมลพิษ การแก้ปัญหาขยะพลาสติกจึงต้องอาศัยการนำพลาสติกที่ใช้แล้วผ่านเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Recycle)

ในการศึกษานี้ได้นำเอาพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วมาเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ เนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงนี้เป็นพลาสติกที่นิยมใช้กันมากในการผลิตบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดนมและถุงพลาสติกใส่อาหาร การศึกษาหาสารเติมแต่ง (Additive) โดยใช้เส้นใยเซลลูโลสเป็นวัสดุเติมแต่งได้รับความสนใจมาก เนื่องจากการใช้เส้นใยเซลลูโลสเป็นวัตถุเติมแต่งมีข้อดีดังนี้ คือ

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

ในโครงงานนี้ได้นำสาหร่าย *Gracilaria fisheri* มาเป็นสารเติมแต่ง เนื่องจาก *G. fisheri* เป็นเซลลูโลสที่ได้จากสาหร่ายสีแดง สามารถนำมาสกัดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ และนำเอาส่วนกากที่เหลือทิ้งมาดัดแปลงเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ได้จากการนำขวดพลาสติกใช้แล้วมาเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ แล้วปรับปรุงคุณสมบัติในการกระจายตัวและการยึดติดของเส้นใยพอลิเมอร์ รวมทั้งการหาปริมาณสารช่วยกระจายตัว (WB) ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์

การย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุพอลิเมอร์เป็นกระบวนการบำบัดขยะที่มาจากพอลิเมอร์ ซึ่งวัสดุเหล่านี้จะถูกนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ และกลายเป็นขยะที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมมากมาย ในธรรมชาตินั้นพลาสติกสังเคราะห์ทั่วไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก อย่างไรก็ตามการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในดินและในน้ำโดยอาศัยปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เรียกว่าดีพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์นอกเซลล์ (สาโรจน์ และหยาดฝน, 2543)

วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมโดยจุลินทรีย์จากดิน
2. การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน
3. การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำ

ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสม
2. ศึกษาสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการย่อย เช่น อุณหภูมิ ความชื้นและระยะเวลา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปริมาณขยะที่เกิดจากพลาสติกที่ใช้ในชีวิตประจำวัน
2. ลดระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายพลาสติก
3. ทราบถึงความสามารถในการย่อยสลายพลาสติก
4. ทราบถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ย่อยสลายพลาสติก
5. ทราบถึงสภาวะที่ใช้ในการย่อยสลายพลาสติก
6. นำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

บทตรวจเอกสาร

2.1 วัสดุที่ใช้

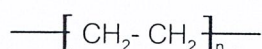
2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจัดเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟินส์ ที่ได้จากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของพอลิเอทิลีน พอลิเอทิลีนส่วนใหญ่ได้จากกระบวนการมลสาย (Slurry process) หรือกระบวนการวัฏภาคก๊าซ (Gas phase process) แต่ยังคงมีการใช้กระบวนการวัฏภาคสารละลายอยู่บ้างซึ่งในกระบวนการทั้งหมดนี้เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบหลักคือ เอทิลีนมอนอเมอร์ แอลฟา-โอลิฟินส์ โคมอนอเมอร์ ตัวเร่งปฏิกิริยา และสารละลายไฮโดรคาร์บอนบางชนิดกับตัวเร่งปฏิกิริยาในการควบคุมน้ำหนักโมเลกุล ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีเพื่อที่จะพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กับ HDPE โดยแบ่งตามประเภทออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. กระบวนการ Ziegler ตัวเร่งที่ใช้ คือ Titanate/Aluminium alkyl catalysts ($TiCl_4-R_3Al$) ที่ความดันสูงกว่าบรรยากาศเล็กน้อย (2-4 บรรยากาศ) และที่อุณหภูมิ 50-75 องศาเซลเซียส ในตัวกลางเฉื่อย ดังนั้นเมื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์จะตกตะกอนออกมาภายหลังจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสิ้นสุด

2. กระบวนการ Phillips-type ตัวเร่งที่ใช้คือ Chromium oxide-based catalysts กระบวนการนี้ใช้โครเมียมไตรออกไซด์ (CrO_3) ที่มีตัวพุง เช่น ซิลิกา หรืออะลูมินาเป็นตัวเร่งในตัวกลางเฉื่อย เช่น ไฮโดรคาร์บอน ความดันที่ใช้ทั่วไป 30-40 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 90-160 องศาเซลเซียส

HDPE มีความเป็นผลึกสูงเนื่องจาก มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรง และมีกิ่งน้อยมาก ไม่มีขั้วมีสมบัติต้านทานต่อสารเคมีสูง และไม่ดูดซึมของผสม ซึ่งจัดเป็นสารที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Barrier) ที่ดี ในเรื่องของบรรจุภัณฑ์ มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี HDPE ที่มีช่วงของน้ำหนักปานกลางถึงสูงจะมีสมบัติด้านความทนทานต่อแรงกระแทกดีมาก ซึ่งมีสูตรโครงสร้างอย่างง่ายเป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเฉพาะของ HDPE แต่ละชนิดจะขึ้นกับตัวแปร 4 ตัวแปร คือ ความหนาแน่น น้ำหนักโมเลกุล การกระจายน้ำหนักโมเลกุล และสารเติมแต่ง ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. HDPE มีความหนาแน่นมากกว่า 0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยปกติ ความหนาแน่นที่สูงจะปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความแข็งดึง ความแข็ง (Hardness) และสมบัติทางความร้อน เช่น อุณหภูมิที่เบี่ยงเบนทางความร้อน (Heat distortion temperature) และสมบัติการซึมผ่าน เช่น การส่งผ่านของก๊าซและไอน้ำ (Water vapor transmittion)

2. น้ำหนักโมเลกุล (MW) ปกติ HDPE จะมี MW อยู่ในช่วง 40,000 –300,000 ซึ่งมีค่าดัชนีการหลอมเหลว (MI) อยู่ในช่วง 0.02-100 กรัมต่อ 10 นาที โดยค่า MW จะมีผลต่อค่า MI ถ้าค่า MW สูงแล้ว ความเหนียวจะสูง ทำให้ค่า MI ต่ำ ค่า MW ที่สูงจะปรับปรุงความทนทานต่อการหลอมเหลว (Melt strength) ให้ความเหนียว (Toughness) ดีกว่าและความสามารถต่อความเค้น (ESCR) ที่สูงกว่า

3. การกระจายน้ำหนักโมเลกุล (MWD) ของพอลิเอทิลีนจะอยู่ในช่วงแคบถึงกว้างขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการใช้ HDPE ที่มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลมากทำให้การโค้งงอต่ำและค่าความทนต่อแรงกระแทกสูง ส่วน HDPE ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงปานกลางถึงกว้างจะให้ความสามารถในการขึ้นรูปที่ดีกว่า สำหรับ HDPE ที่มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงกว้างจะปรับปรุงความสามารถในการหลอมเหลวได้ดี

4. สารเติมแต่ง อาจใช้สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในการสลายตัวของพอลิเมอร์ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป สารเติมแต่งชนิดอื่นๆ เช่น สารตัวเติม (Filler) เพื่อลดต้นทุนในการผลิตสารเสริมแรง และปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลรวมถึงสารช่วยให้เกิดฟอง (Blowing agents) เป็นต้น (ชัยวัฒน์ , 2526)

2.1.1.1 กระบวนการผลิต

HDPE ถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การอัดรีด การฉีดขึ้นรูป การเป่าขึ้นรูป การหมุนขึ้นรูป การฉีกและการขึ้นรูปร้อน ซึ่งความสัมพันธ์ลักษณะของกระบวนการขึ้นรูปและดัชนีการไหลแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของกระบวนการขึ้นรูปและดัชนีการไหล

กระบวนการขึ้นรูป	ดัชนีการไหล MI (g/10 min)
เป่าแบบ (Blow molding)	0.04-1.12
ฟิล์ม (Cast and Blown film)	0.08-7
ฉีดแบบ (Injection molding)	0.2-0.5
หมุนแบบ (Rotational molding)	5-20
ท่อและแผ่นพลาสติก (Pipe and Sheet Extrusion)	1.01-1.0
เคลือบสายไฟ (Wire and Cable Coating)	0.01-1.0

ทีมา, ลลิตา และ วราภรณ์ (2542)

2.1.1.2 การประยุกต์ใช้งาน

1. ใช้ในการทำฟิล์ม เช่น ทำเป็นถุงหิ้ว
2. ใช้ทำท่อที่ทนต่อแรงดันสูง เช่น ท่อฉีดน้ำในเหมืองแร่ ท่อก๊าซหรือท่อน้ำเสีย เป็นต้น
3. ใช้ในงานเป่าแบบ เพื่อทำชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น ถังเก็บน้ำมัน ถังใส่สารเคมี
4. ใช้ทำแผ่นพลาสติก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความหนาตั้งแต่ 12-250 มิลลิเมตร เพื่อนำไปเป็นแบบปูในกระบะรถหรือบ่อน้ำ (Gachter and Muller, 1987)

2.1.1.3 รีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

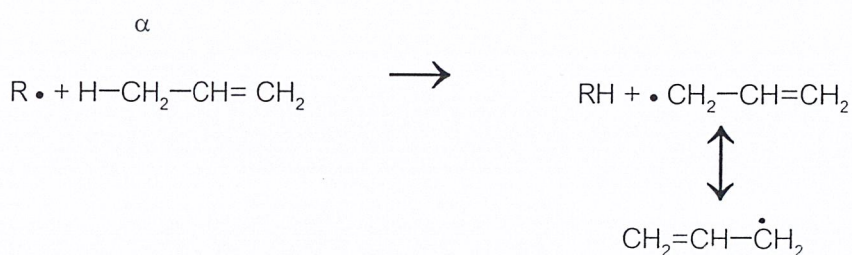
HDPE สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยผ่านกระบวนการผลิตใหม่ สมบัติของรีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงขึ้นอยู่กับสมบัติของเรซินและการใช้งานของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปสมบัติเชิงกลและสมบัติการไหลจะยังคงมีสมบัติคงเดิม แต่ความทนทานต่อแรงกระแทกต่อการแตกหักและความเค้นเนื่องจากสิ่งแวดล้อมลดลงจากเดิม

2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE)

สมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนแตกต่างกัน ขึ้นกับปริมาณของสาขาโซ่โดยทั่วไป ถ้าโมเลกุลมีสาขาโซ่มากพอลิเมอร์มีความเป็นผลึกต่ำเพราะโอกาสที่อะตอมต่างๆ ในโมเลกุล จะจับกันอย่างเป็นระเบียบเพื่อเกิดลักษณะผลึกมีน้อยกว่าสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น จุดหลอมเหลว และความแข็งแรงก็ต่ำลงด้วย การแพร่ผ่านของก๊าซและความชื้นที่มีต่อพอลิเมอร์ จะสูงกว่า พอลิเอทิลีนที่เตรียมโดยกระบวนการใช้ความดันสูงจะมีผลึกปานกลาง (ทั่วไปมีร้อยละ ของความเป็นผลึก 50-60) จุดหลอมเหลว (T_m) ประมาณ 115 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.91-0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอนและ ไฮโดรเจนเตตไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอีน ไซลีนและไดคลอโรเอทิลีน นอกจากนี้พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำนี้มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมและเฉื่อยเป็นพิเศษต่อปฏิกิริยาทางเคมี โดยทั่วไป สามารถทนต่อกรดและเบสได้ดี พอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นทั้งหมดนำไปผลิตเป็นแผ่นฟิล์ม ใช้สำหรับห่ออาหาร ทำถุงพลาสติก ผ้าพลาสติก ชันน้ำ ผ้าปูโต๊ะ พอลิเอทิลีนที่เหลือใช้ทำของใช้ ในบ้าน ของเด็กเล่น ใช้หุ้มสายไฟฟ้าและในงานก่อสร้าง เป็นต้น

2.1.3 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP)

พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบา มีจุดหลอมเหลวปานกลาง ใช้ในการผลิตท่อ แผ่นพลาสติก ภาชนะเป่าขึ้นรูปและเส้นใย ปกติไม่สามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ของ แอลฟา-พอลิ โอลิฟินส์ โดยตัวเร่งอนุมูลอิสระหรือตัวเร่งไอออนิก สาเหตุที่พอลิพรอพิลีนไม่สามารถเกิดพอลิเมอร์ โดยกลไกแบบอนุมูลอิสระสามารถดึงเอาไฮโดรเจนจากแอลฟาคาร์บอนนี้ออกเกิดเป็นมอนอเมอร์ ที่มีเสถียรภาพโดยเรโซแนนซ์ ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดอนุมูลอิสระของมอนอเมอร์ที่มีความเสถียรภาพนี้เป็นแรงดันให้เกิดปฏิกิริยาการย้ายลูกโซ่อย่างมากภายในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ประกอบกับอนุมูลอิสระของมอนอเมอร์ที่ได้ไม่ว่องไวพอที่จะทำปฏิกิริยาต่อไปได้ พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงไม่อาจเกิดขึ้นได้ ต่อมาพบว่าตัวเร่งชนิด Ziegler สามารถผลิต พอลิเอทิลีนที่มีสเตอริโอเคมีได้ พอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูง เรียกว่า ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (iPP)

ซินไดโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (sPP) สังเคราะห์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Homogeneous Ziegler-Natta ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเมื่อเทียบกับไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงโดยตลอดปราศจากสาขาไซ่ มีความเป็นผลึกสูง มีจุดหลอมตัว 165 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์นี้ถือได้ว่าเป็นพลาสติกที่เบาที่สุดชนิดหนึ่ง มีความหนาแน่นเพียง 0.905 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเนื่องจากความเป็นผลึกสูงนี้เองเป็นเหตุให้พอลิเมอร์นี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก วัตถุที่ทำจากพอลิพรอพิลีนยังคงรักษาความแข็งแรงและรูปทรงไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 140 องศาเซลเซียส

พอลิพรอพิลีนที่ผลิตขึ้นส่วนใหญ่นำไปทำเป็นส่วนประกอบ ชิ้นส่วนรถยนต์และอุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน ส่วนที่เหลือใช้ในรูปเส้นใย (เชือก) และฟิล์ม

2.1.4 ไซอีพอลีน (Epolene wax) หรือ Maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP)

ไซอีพอลีนหรือมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน เป็นสารปรับปรุงการยึดติดและกระจายตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีขั้ว (Hydrophobic phase) กับเส้นใยเซลลูโลสที่มีขั้ว (Hydrophilic phase) สมบัติดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดสมบัติของคอมโพสิต ไซอีพอลีนเป็นสารที่ไม่เพียงแต่จะทำให้ผิวของพอลิพรอพิลีนมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ยังสามารถเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนผิวเส้นใยเซลลูโลส การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์และหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลส ได้ถูกวิเคราะห์โดยการหาหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดพันธะโควาเลนต์นี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ

- ชั้นที่ 1 ขั้นตอนการกระตุ้นโคพอลิเมอร์จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแบบแอนไฮไดรด์ซึ่งว่องไวกว่า
- ชั้นที่ 2 เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันบนเส้นใย

2.1.5 เอโซไดคาโบนาไมด์ (Azodicarbonamide : AZ)

Azodicarbonamide (AZ) ทำหน้าที่เป็นสารทำให้เกิดฟอง เป็นสารเคมีที่ช่วยให้พอลิเมอร์มีโครงสร้างเป็นรูหรือโพรงเล็กๆ (Cellular polymer) โดยที่ภายในช่องว่างจะมีก๊าซอยู่ จะมีสมบัติพิเศษคือ ให้ก๊าซในช่วงอุณหภูมิแคบและแน่นอน อุณหภูมิของการสลายตัวต้องเหมาะสม มีสมบัติคือ ลักษณะทางกายภาพเป็นผงผลึกสีเหลืองส้ม ไม่ละลายในตัวทำละลายเกือบทุกชนิด โครงสร้างทางเคมีคือ $\text{NH}_2\text{CON}=\text{NCONH}_2$ ส่วนสารระเหยที่ได้ N_2 , CO และ CO_2 และช่วงอุณหภูมิการสลายตัว (190-230 องศาเซลเซียส) ขึ้นอยู่กับขนาดของผลึกและวิธีการเตรียม ในปัจจุบันนิยมใช้ AZ เป็นสารทำให้เกิดฟองเนื่องจากมีสมบัติ ดังนี้

- ราคาถูก
- ไม่มีความเป็นพิษ และไม่มีการปนเปื้อน
- ไม่เป็นสารส่งเสริมการเผาไหม้
- ช่วงอุณหภูมิที่ใช้กว้าง
- มีประสิทธิภาพสูง ($220\text{-}240 \text{ cm}^3/\text{g}$)
- มีหลายเกรดให้เลือกใช้

2.1.6 น้ำมันแร่ (Mineral oils, White mineral oils)

น้ำมันแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกคือ ไฮโดรคาร์บอนเหลวที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมโดยเอาส่วนประกอบที่ทำให้เกิดสี กลิ่นและความเป็นพิษออก เป็นไฮโดรคาร์บอนแบบอิ่มตัว ซึ่งมีหลายประเภทดังนี้

1. โครงสร้างที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงบางส่วน เรียกว่า "Naphthenic"
2. โครงสร้างแบบสายโซ่ตรงหรือ โครงสร้างแบบกิ่งเรียกว่า "Paraffinic"

ทั้ง Naphthenic และ Paraffinic ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกเนื่องจากน้ำมันแร่มีความหนืดต่างๆ ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแยกตอนกลั่นปิโตรเลียม น้ำมันแร่มีหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricant) คือเพิ่มความสามารถในการหล่อลื่นผ่านกันของโมเลกุลพอลิเมอร์ ดังนั้นการเติมน้ำมันแร่จะมีผลให้

- ความหนืดลดลง
- ดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น
- ค่าสัมประสิทธิ์ความเค้นลดลง
- ค่าความแข็งแรงดึงลดลง
- การยืดหยุ่น ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.1 ลักษณะเฉพาะตัวของน้ำมันแร่

- สมบัติทางเคมีของน้ำมันแร่ แสดงดังตารางที่ 2.2 และ ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำมันแร่

ชนิดของคาร์บอน	น้ำมันเอ	น้ำมันบี	น้ำมันซี
	พาราฟินิก ความหนืดสูง	พาราฟินิก ความหนืดสูง	แนฟทีนิก ความหนืดสูง
% 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

ที่มา, ลลิตา และ วราภรณ์ (2542)

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันแร่

สมบัติทางกายภาพของน้ำมันแร่	น้ำมันเอ พาราฟินิก ความหนืดสูง	น้ำมันบี พาราฟินิก ความหนืดสูง	น้ำมันซี พาราฟินิก 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)	17.4	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	594	502
อุณหภูมิสุดท้ายของการกลายเป็นไอ °C	574	571	548

ทีมา, ลลิตา และ วราภรณ์ (2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 สาหร่ายสีแดง (Rhodophyta : Red algae)

Gracilaria fisheri เป็นสาหร่ายสีแดงจัดอยู่ในดิวิชัน Rhodophyta มีลักษณะเป็นเส้นกลม อวบน้ำ แตกแขนงเป็นคู่ๆ หรือแตกแขนงอิสระเป็นพุ่มขนาดใหญ่มีส่วนคล้ายรากเล็กๆ เกาะตามก้อนหิน ทวาย เปลือกหอย เชือกหรือวัตถุในน้ำ ปลายแขนงเรียวยาวเล็ก ทัลลัสมีสีเขียวแกมม่วงหรือแดงและตั้งขึ้นเมื่อถูกน้ำพัดจะพริ้วคล้ายเส้นผมจึงเรียกว่า สาหร่ายผมนาง มีความยาวเฉลี่ย 15 นิ้ว สายของทัลลัสมีลักษณะเป็นทรงกระบอก แข็งแต่กรอบ โดยสายที่แตกแขนงออกจากแกนกลางอาจคอดเล็กลงหรือไม่คอดก็ได้

2.1.7.1 ขนาดและการกระจายตัว

สาหร่ายสีแดงมีประมาณ 5,000 – 5,500 ชนิด ใน 500 – 600 สกุล สามารถพบได้ในน้ำจืดแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเพียง 150 ชนิด จาก 20 สกุล จากจำนวนชนิดแสดงให้เห็นว่า Rhodophyta เป็นเพียงดิวิชันเล็กๆ สาหร่ายสีแดงส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในทะเลโดยยึดเกาะกับก้อนหินและวัตถุที่เป็นของแข็งชนิดอื่นได้ เช่น กำแพงกันคลื่นในทะเล บนเปลือกหอย หรือบนสาหร่ายชนิดอื่นๆ แต่สาหร่ายสีแดงมีข้อจำกัดในการกระจายตัวเนื่องมาจากในแต่ละบริเวณกระแสน้ำมีความขุ่นทำให้ปริมาณแสงไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

2.1.7.2 โครงสร้างและคุณสมบัติ

1. รงควัตถุและคลอโรพลาสต์

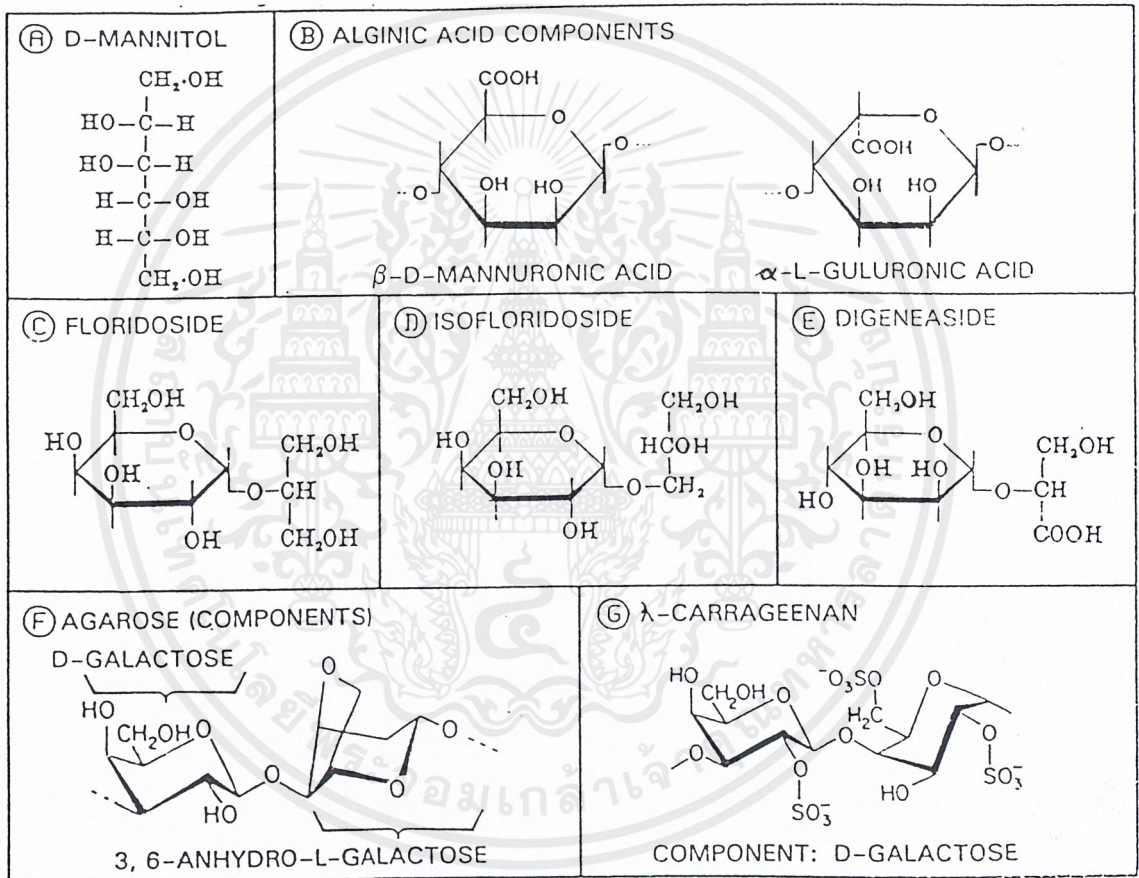
สีแดงของสาหร่ายชนิดนี้ผลิตจากรงควัตถุไฟโคอิริทรินซึ่งอยู่ในคลอโรพลาสต์ และมีรงควัตถุสีฟ้าชื่อไฟโคไซยานิน และ Allophycocyanin รงควัตถุทั้งสามนี้รวมเรียกว่าไฟโคบิลิน (Phycobilins) เมื่อมันไปจับกับโปรตีนจะเรียกว่า ไฟโคบิลิโปรตีน (Phycobiliproteins)

- ไฟโคอิริทริน (Phycoerythrin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโปรตีนกับรงควัตถุสีแดงที่มีชื่อว่า ไฟโคอิริโทรบิลิน ซึ่งมีค่าในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 – 570 นาโนเมตร

- ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโปรตีนและรงควัตถุสีน้ำเงินที่มีชื่อว่า ไฟโคไซยานินบิลิน สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร

2. ผลิตภัณฑ์ที่สะสม

สาหร่ายสีแดงจะเก็บอาหารไว้ในรูปพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งแตกต่างจาก starch ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่ายสีเขียวและพืชชั้นสูงซึ่งไม่มีอะไมโลสและไม่มีกิงก้านสาขา โครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างที่สำคัญของคาร์โบไฮเดรตใน seaweed (Lüning, K. 1990)

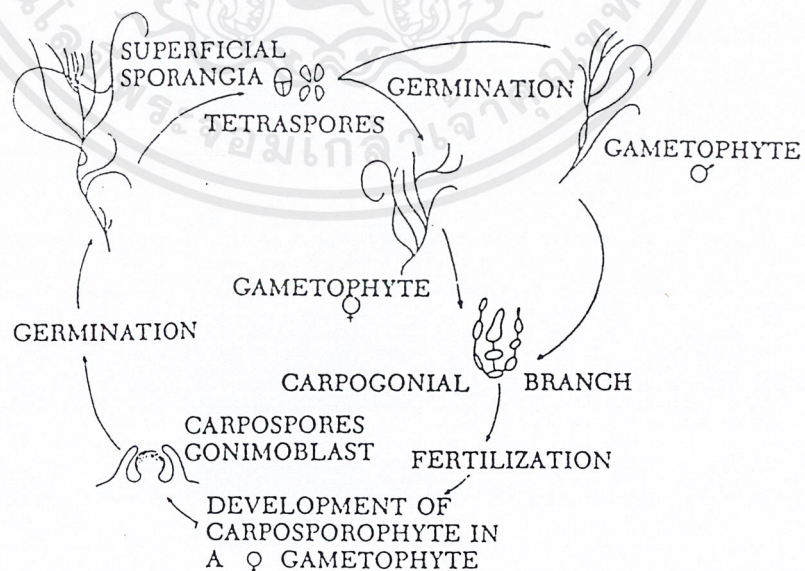
3. ส่วนประกอบของผนังเซลล์

- เซลลูโลส ผนังเซลล์ประกอบด้วยส่วนของเส้นใยที่ต่อกันแบบแมทริกซ์ที่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน มีการจัดเรียงเป็นเส้นขนานหรือเรียงแบบไม่เป็นระเบียบก็ได้
- ぐุ่นและคาราจีแนน (Van der hoek, C. และคณะ, 1995)

2.1.7.3 การสืบพันธุ์

1. การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual) โดยการสร้างเตตระสปอร์โรไฟต์ (Tetrasporophyte) ซึ่งเป็นสปอร์แบบไม่อาศัยเพศและไม่สามารถเคลื่อนที่ได้จากต้นสปอร์โรไฟต์ (Sporophyte) จากนั้นสปอร์จะเกิดการงอกเพื่อจะเจริญไปเป็นแกมีโตไฟต์เพศผู้และแกมีโตไฟต์เพศเมีย

2. การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Sexual) โดยแกมีโตไฟต์ตัวผู้จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เรียกว่า สเปิร์มาเทียม (spermium) ซึ่งเป็นเซลล์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยเกิดบนแขนงพิเศษที่เรียกว่า Spermatangial filament โดยมันจะเกาะกับอวัยวะสืบพันธุ์เพศเมีย (carpogonium) บนต้นเพศเมียและเมื่อมีการผสมพันธุ์กันแล้วต้นใหม่ที่เกิดขึ้นก็จะเจริญบนต้นแกมีโตไฟต์เพศเมีย ต้นใหม่ที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่เรียกว่า โกนิโมบลาสต์ (gonimoblast) ซึ่งผลิต carcospore และเจริญไปเป็น pericarp ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรชีวิตของ Gracilaria (Abbott and Dawson, 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องมือและหลักการทำงาน

1. การอัดรีด (extrusion)

การอัดรีดเป็นกระบวนการเบื้องต้นที่ใช้ในการแปรรูปพอลิเมอร์ เช่น อัดรีดแล้วนำมาบิดเป็นเม็ดหรือผ่านแบบพิมพ์ให้ได้รูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ การอัดรีดจะใช้เครื่องอัดรีดพลาสติกโดยจะรับเม็ดพลาสติกจากกรวยป้อนเม็ดแล้วส่งผ่านกระบอบกสูบโดยเกลียวหนอนเม็ดพลาสติกเกิดการหลอมตัว พลาสติกหลอมตัวจะถูกอัดโดยฟันเกลียวหนอนผ่านไปยังหัวอัดรีดรูปร่างต่างๆ เครื่องอัดรีดพลาสติกจะทำงานอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีลักษณะเป็นท่อ แผ่น แท่งกลม หรือมีรูปร่างต่างๆ เครื่องอัดรีดพลาสติกจะทำงานอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกหรือไม่สามารถ ควบคุมการเสียดสภาพของพลาสติกจะสูงขึ้นเมื่อใช้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น อัตราการเย็นตัวของการอัดรีดสามารถวัดได้จากปริมาณของการตกผลึกของพอลิเมอร์ ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติก (มาลินี, 2540)

2. เครื่องฉีด (Injection molding)

การฉีดพลาสติกเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยุ่งยากซับซ้อนได้ง่าย ลักษณะของพอลิเมอร์ที่นำมาผลิตสามารถเป็นได้ทั้งเม็ดและผง นอกจากนี้ยังใช้ได้กับพอลิเมอร์ทุกประเภท

โครงสร้างของเครื่องฉีดประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

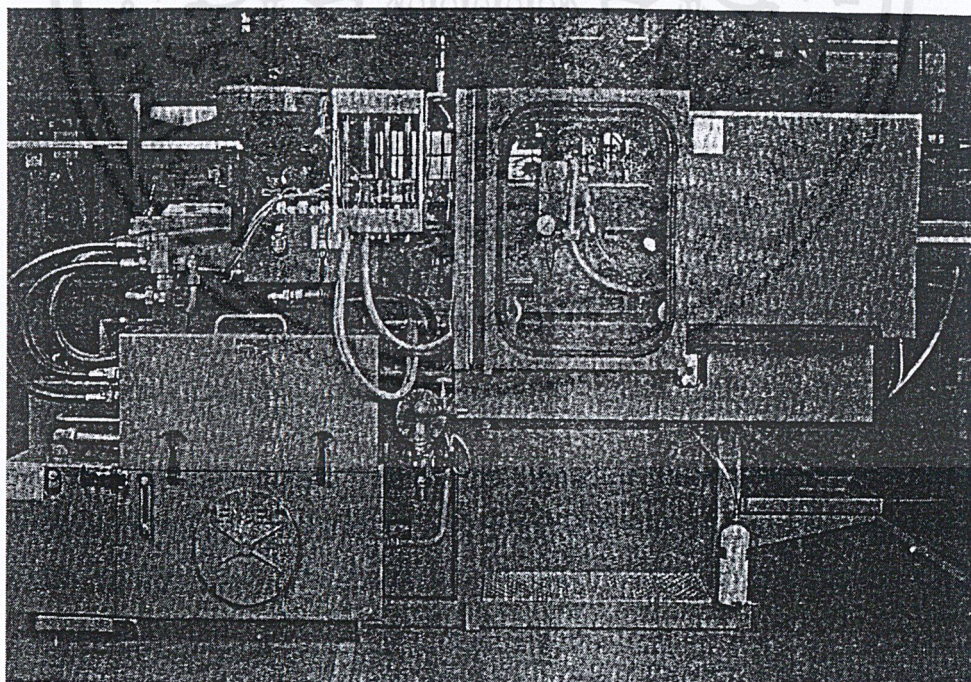
1. ชุดฉีด (Injection unit) จะทำหน้าที่ในการดึงพอลิเมอร์เข้ากระบอบฉีดโดยอาศัยการหมุนของเกลียวหนอน จากนั้นจะทำการหลอมเหลวและส่งพอลิเมอร์ที่ถูกหลอมเหลวไปยังด้านหน้าของปลายเกลียวหนอน เมื่อได้พอลิเมอร์ตามต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุนแล้วเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามแกนเพื่อฉีดพอลิเมอร์เข้าสู่แม่พิมพ์และค้างอยู่เพื่อให้เนื้อพอลิเมอร์เต็มแม่พิมพ์

2. ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit) ทำหน้าที่คือ ยึดแม่พิมพ์ทั้ง 2 ส่วน เลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ให้แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ หล่อชิ้นงานให้เย็นและทำการปลดชิ้นงาน

3. ฐานเครื่อง (Base) ทำหน้าที่รับน้ำหนักของชุดฉีดและชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ และเป็นที่บรรจุน้ำมันและมีจังหวะในการทำงาน เครื่องฉีดทุกเครื่องจะมีความเป็นวัฏจักรที่เหมือนกัน จะแตกต่างกันที่รายละเอียดปลีกย่อยเท่านั้น คือเริ่มจาก

- 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

โดยในแต่ละจังหวะการทำงานจะใช้เวลาแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ นอกจากนี้การเลือกใช้ความดันฉีด อุณหภูมิและความเร็วของการทำงานในแต่ละจังหวะก็มีผลต่อชิ้นงาน พอลิเมอร์มีความหนืดสูงควรใช้ความดันในการฉีดสูงกว่าพอลิเมอร์มีความหนืดต่ำ ส่วนประกอบของเครื่องฉีด ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องฉีด (กัญจนา , 2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เสถียรภาพของพลาสติก

การสลายตัวของพลาสติกเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายๆ ประการ แต่ที่น่าสนใจคือการสลายตัวของพลาสติกอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ (Microorganism) โดยเฉพาะแบคทีเรียและรา

พลาสติกที่ใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- พลาสติกที่ได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ
- พลาสติกที่ได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์

พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์ในธรรมชาติ ทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ในขณะที่พลาสติกที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์จำนวนมากมายหลายชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้ พลาสติกที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เช่น อะซิฟาทิก พอลิเอสเทอร์ พอลิเอไมด์และพอลิยูรีเทน

2.4 สาเหตุที่พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้

พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากพอ เมื่อโซ่โมเลกุลมีขนาดยาวมาก ๆ ทำให้ความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี จากการค้นคว้าวิจัยของบริษัทยูเนียนคาร์ไบด์ได้นำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 123,000 และมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงมาเรื่อยๆ มาทดสอบสมบัติการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ พบว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ จะไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ พอลิเอทิลีนสามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้เมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 3,200

พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ การซึมผ่านของความชื้นต่ำ มีลักษณะเป็นรูพรุนและมีพื้นที่น้อย เนื่องจากในระหว่างการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ทำให้พลาสติกมีขนาดเล็กลงโดยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารชนิดอื่นต่อไป พลาสติกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำและมีการซึมผ่านของความชื้นต่ำจะทำให้เอนไซม์สัมผัสกับผิวหน้าของพลาสติกน้อยลง การที่พลาสติกไม่เป็นรูพรุนทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสยิ่งน้อยลง จึงย่อยสลายได้ยาก (ลลิตา และ วราภรณ์, 2542)

2.5 ประเภทของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้จำแนกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

การย่อยสลายทางชีวภาพ หมายถึง การย่อยสลายที่มาจากกิจกรรมทางชีวภาพ โดยเฉพาะกิจกรรมของเอนไซม์ที่มาจากเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งการย่อยสลายนี้จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีที่สำคัญ พลาสติกที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติเนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียและรา เป็นต้น

การค้นคว้าวิจัยเพื่อเพื่อผลิตพลาสติกประเภทนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 แนวทางใหญ่ ๆ คือ

1.1 การปรับปรุงสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ (Modified natural polymers) เป็นการนำเอาสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติมาปรับปรุงโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical modification) หรือทางชีวภาพ เพื่อทำการผลิตพลาสติกให้มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

พลาสติกชนิดนี้มีประโยชน์มาก สามารถใช้ทำชิ้นส่วนสำหรับยึดอวัยวะที่เป็นกระดูกในร่างกายมนุษย์ ในกรณีที่กระดูกเกิดการชำรุดหรือแตกหักและเมื่อครบกำหนดพลาสติกดังกล่าวจะสลายตัวไปโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย สามารถใช้ทำขวดและแผ่นฟิล์มสำหรับห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ต่างๆ

1.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติสามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพจากที่กล่าวมาแล้วว่ามีพลาสติกสังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์สามารถถูกย่อยสลายได้นั้นจะต้องมีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติกเอสเทอร์เท่านั้น เช่น พอลิคาร์โปลาโตน หรือเรียกย่อว่า พีซีแอล (PCL) และพอลิไกลคอลิกแอซิด เป็นต้น

พอลิเมอร์สังเคราะห์ตัวอื่นๆที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ เช่น อะโครลีนอะคริลิกแอซิดโคพอลิเมอร์ (Acrolein acylic acid co-polymer) ไฮโดรไลซ์อะคริไลไนไตรล์ (Hydrolyzed acylonitrile copolymer) เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟท์ของแองกับอะคริไลไนไตรล์ ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีสมบัติการดูดซึมน้ำ เป็นต้น

1.3 การศึกษานำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติก เพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ วิธีนี้จะแตกต่างจาก 2 วิธีแรก โดยจะทำการศึกษาเพื่อนำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะช่วยให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้สารเติมแต่งที่เติม เช่น แป้งและผงไม้ เป็นต้น

การเติมแป้งหรือผงไม้เพียงอย่างเดียวลงในพลาสติก โดยไม่ใส่สารเติมแต่งชนิดอื่นๆ พลาสติกประเภทนี้จะถูกย่อยสลายในส่วนที่เป็นแป้งหรือผงไม้ ทำให้เหลือโครงสร้างของพลาสติก ในรูปโครงสร้างรูพรุน ต่อมากลายเป็นผงละเอียด ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของ จุลินทรีย์ พลาสติกที่ใช้ส่วนมากจะเป็นเทอร์โมพลาสติก พลาสติกชนิดนี้สามารถทำการผลิตได้ โดยใช้กระบวนการผลิตแบบเดิม โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร

การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพมี 3 ลักษณะคือ

1. พลาสติกไม่ได้เสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อย สลายสารเติมแต่งในส่วนอื่นๆทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุนและต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด

2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์ เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย ตัวเอง (Auto oxidation) ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลงเพื่อให้จุลินทรีย์สลาย ต่อเพื่อเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำต่อไป

3. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือจุลินทรีย์จะปล่อย เอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้นได้โดยตรง เช่น พอลิคาร์โบเนตและ พอลิไฮดรอกซีบีทีเรทอาร์เรท เป็นต้น

2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (Photo degradable plastics)

เป็นพลาสติกที่สลายตัวได้เมื่อได้รับแสง ซึ่งพลาสติกชนิดนี้จะมีหมู่คาร์บอนิล เมื่อได้รับ แสงอาทิตย์จะสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์สลายตัว ดังนั้นถ้านำพลาสติกชนิดนี้ไปทิ้งไว้กลางแจ้งหลังจากการใช้งานแล้ว โดยปล่อยทิ้งไว้ให้โดน แสงอาทิตย์พลาสติกชนิดนี้จะเสื่อมสลายและค่อยๆ สลายตัวได้

3. พลาสติกที่สามารถสลายตัวด้วยวิธีอื่นๆ

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีอื่นยังมีอีกมากมายหลายชนิด ซึ่งจะยกตัวอย่าง เพียงบางชนิดเท่านั้น เช่น พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยน้ำและพลาสติกที่สามารถสลายตัว ทั้งทางชีวภาพและแสง เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกสามารถสลายตัวได้ดังกล่าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เพราะการรวมเอาข้อดีของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในแต่ละวิธีเอาไว้ เช่น พอลิเมอร์ที่ ประกอบด้วยเอโซอะโรมาติกและหมู่คีโตนไวต่อแสงในระหว่างใช้งาน หมู่อะซิโตนที่ไวต่อแสงใน ระหว่างใช้งาน หมู่เอโซจะช่วยป้องกันการสลายตัวเนื่องจากแสงและหลังจากการเลิกใช้งานแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกชนิดนี้จะถูกทิ้งไว้ในสภาพแวดล้อมทำให้หมู่เอโซถูกจุลินทรีย์เข้าทำลายและเหลือหมู่ที่สามารถสลายตัวเนื่องจากแสง ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้กลางแจ้งจะสามารถสลายตัวได้ต่อไป

2.6 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่มีจำนวนมากที่สุดในโลก โดยมีมวลรวมประมาณ 1.8×10^{12} ตัน และในแต่ละปีได้เซลลูโลสจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงประมาณ 1×10^{11} ตัน เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงของอนุโมลกลูโคสในรูปของสายโซ่ที่ต่อกันด้วยพันธะ β -1,4 โดยมีจำนวนของอนุโมลประมาณ 14,000 อนุโมล ในเซลลูโลสที่ได้จากพืช และผลิตโดยแบคทีเรียประมาณ 3,500 อนุโมล เช่น *Acetobacter xylinum* โดยมี anhydrocellulobiose ($C_{12}H_{20}O_{10}$) เป็นหน่วยหลัก ในแต่ละสายยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและพันธะแวนเดอวาลส์

ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง 9 เปอร์เซนต์ของเซลลูโลสถูกย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ ดังสมการที่ (2.1)



10 เปอร์เซนต์ของเซลลูโลส ถูกจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ (2.2)



จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ ประกอบด้วย เห็ดรา แบคทีเรีย และ *Actinomycetes* โดยมีทั้งพวกที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ พวกที่ชอบอุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง

2.6.1 การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเชื้อรา

เห็ดราจำนวนมากที่สามารถเจริญเติบโตได้โดยใช้เซลลูโลส หรือผลิตภัณฑ์เอนไซม์เพื่อย่อยสลายเซลลูโลส มีการศึกษาเอนไซม์ที่ได้จาก soft rot fungi เช่น *Trichoderma* และ *Phanerochaete* ซึ่งเป็นชนิดที่รู้จักกันมาก (Archer และ Wood, 1995)

ในธรรมชาติมีจุลินทรีย์จำนวนมากที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสโดยสร้างเอนไซม์เซลลูเลส (extracellular, hydrolytic enzymes) ซึ่งเข้าไปจับกับพอลิเมอร์ของเซลลูโลส

การศึกษาในพวกรามมีค่อนข้างมาก ทั้ง Dueteromycetes, Ascomycetes และ white-rot Basidiomycetes โดยที่ brown-rot Basidiomycetes สามารถย่อยสลายผลึกเซลลูเลสได้

2.6.1.1 เอนไซม์ไฮโดรไลติก (Hydrolytic enzyme)

เอนไซม์ไฮโดรไลติก หรือเอนไซม์ hydrolyzing cellulose เมื่อย่อยสลายเซลลูโลสแล้ว ผลผลิตสุดท้ายที่ได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำได้ และสามารถผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้

เอนไซม์ไฮโดรไลติก (cellulolytic) ประกอบด้วย

1. Endo-1,4- β -glucanase (EC 3.2.1.4) มีการตัดสายเซลลูโลสแบบสุ่มและมีการแตกออกของ β (1 \rightarrow 4)-glucosidic linkages
2. Exo-1,4- β -glucanase (EC 3.2.1.91) ตัดปลายด้าน nonreducing end ของเซลลูโลส ได้ cellubiose หรือกลูโคส
3. 1,4- β -glucosidase (EC 3.2.1.21) เปลี่ยนเซลโลไบโอสและเซลโลเด็คซ์ทรีนอื่น ๆ ที่ละลายน้ำเป็นกลูโคส

2.6.1.2 เอนไซม์ออกซิเดส (Oxidation enzyme)

เชื้อ *Saccharomyces pulverulentum* (*Penicillium chrysosporium*) มี 2 วิธี ในการออกซิไดซ์เซลโลไบโอส มีส่วนในการย่อยสลายเซลลูโลส

1. cellobiose : quinone oxidoreductase (cellobiose dehydrogenase) จะรีดิวซ์ quinones และ phenoxy radical ในเซลโลไบโอส ซึ่งถูกออกซิไดส์ไปเป็น cellubiono- δ -lactone
2. cellobiose oxidase ทำหน้าที่ออกซิไดส์เซลโลไบโอสและเซลโลเด็คซ์ทรีนไปเป็น corresponding-onic acid โดยใช้ออกซิเจน

2.6.1.3 เอนไซม์ฟอสฟอโรไลติก (Phosphorolytic enzyme)

แบคทีเรียพวกแอโรบิกและแบคทีเรียพวกแอนแอโรบิกสร้างเอนไซม์ชนิดอื่นเพื่อย่อยสลายเซลลูโลส คือ phosphorylases

2.6.2 การย่อยสลายเซลลูโลสโดยเชื้อแบคทีเรีย

2.6.2.1 แบคทีเรียพวกแอโรบิก

1. *Actinomycetes*

เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะทางสัณฐานและนิเวศวิทยาที่หลากหลาย พบเป็นจำนวนมากในดิน สามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสเพียงหนึ่งในสามของจำนวน *Actinomycetes* ที่แยกได้ ลักษณะทางนิเวศวิทยาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ *Actinomycetes* เป็นตัวเพิ่มความร้อนให้กับชีวมวลของพืช เช่น หญ้า ชานอ้อยและท่อนไม้ เป็นต้น

เมื่อสภาพแวดล้อมมีสารประกอบพวกกลีโคเซลลูโลสในปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *Actinomycetes* ซึ่งใช้ออกซิเจนและชอบอุณหภูมิสูง มันจะปล่อยเอนไซม์อะไมเลส เซลลูเลส เฮมิเซลลูเลส เพกตินเนส และเอนไซม์กลีโคไลติก ความสามารถในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของ *Actinomycetes* นั้นมีการศึกษากันมากใน *Actinomycetes* 3 สกุลนี้ คือ *Streptomyces*, *Microbispora* และ *Thermomonospora* แต่สกุลที่ได้รับความสนใจมากที่สุด คือ *Streptomyces* เพราะสามารถผลิตสารปฏิชีวนะ (antibiotic) ซึ่งมีประโยชน์ทางการแพทย์

2. *Bacillus*

การศึกษาค้นพบประมาณ 35 ชนิด ลักษณะทางสัณฐานวิทยา *Bacillus* มีลักษณะเป็นแท่งสั้น (rod) จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นทรงกลมและ mycelial ตามลำดับ *Bacillus* เป็นแบคทีเรียที่มีความหลากหลายทางสรีระ โดยมีกลุ่มที่ชอบอุณหภูมิปานกลางเป็นกลุ่มหลัก นอกจากนี้ยังมีกลุ่มที่ชอบอุณหภูมิต่ำ และกลุ่มที่ชอบอุณหภูมิสูง *Bacillus* บางกลุ่มชอบสภาวะที่เป็นกรดและส่วนมากจะชอบสภาวะที่เป็นด่าง บางกลุ่มเป็นแบคทีเรียที่ทนต่อความเค็ม บางกลุ่มสามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนหรือมีสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน ในขณะที่บางกลุ่มต้องการกรดอะมิโนและวิตามิน

แหล่งที่อยู่ที่สำคัญที่สามารถพบได้คือในดิน ถ้าสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญของ *Bacillus* จะสร้างเอนโดสปอร์และจะมีเอนไซม์ออกมาย่อยพอลิเมอร์

3. *Pseudomonas*

การศึกษามีประมาณ 100 ชนิด เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปร่างเป็นแท่งสั้นสามารถเคลื่อนที่ได้ แหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน คือ คาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโน หลายสายพันธุ์สามารถใช้สารประกอบอะโรมาติกได้ เช่น เบนโซเอท ซาลิไซเลท ในการย่อยสลายเซลลูโลสเอนไซม์เซลลูเลสจะถูกปล่อยออกมาจากเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.2 แบคทีเรียพวกแอนแอโรบิก

1. *Acetivibrio*

เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ สามารถแยกได้จากของเสียที่มาจากชุมชนโดยนำมาเจือจางและทำการบ่มในจานเพาะเชื้อที่มีเกลือแร่ วิตามิน และวุ้นที่มีเซลลูโลส แบคทีเรียชนิดนี้มีความจำเพาะต่อคาร์โบไฮเดรต เช่น *A. cellulolyticus* มีการเจริญอย่างช้าๆ บนกลูโคส ในขณะที่ *A. ethanolgignens* เจริญบนฟรุคโตส กาแลคโตส แลคโตส และมอลโตส

2. *Bacteroides*

เป็นแบคทีเรียที่เจริญในอุณหภูมิปานกลางและไม่สร้างสปอร์ เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งบางชนิดมีความสำคัญอย่างมากในการย่อยเซลลูโลสในกระเพาะสัตว์ เช่น *Ruminococcus* และ *Bacteroides* มีการไฮโดรไลซ์ เส้นใยฝ้ายธรรมชาติ และเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นผง ผลผลิตที่ได้จากการไฮโดรไลซิสนั้นจะอยู่ในรูปกลูโคส เซลโลไบโอส และเซลโลเด็กทรีน

3. *Caldocellum*

เป็นแบคทีเรียพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง ไม่มีแฟลกเจลลาจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปร่างเป็นแท่งสั้น เจริญบนเพนโตสและเฮกโซสที่มีเอทานอลและอะซิเตต *C. saccharolyticum* สามารถย่อยสลายเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นผลึกเยื่อกระดาษและเส้นใยของต้นพืช

4. *Clostridium*

พบในดิน ของเสีย ตะกอนในทะเล และผักที่เน่าเสีย เอนโดสปอร์สามารถมีชีวิตอยู่ได้เป็นเวลานานในสภาพที่ไม่เหมาะสม แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นกลุ่มที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง บางพวก เช่น *C. thermocellum* และ *C. thermohydrosylfuricum* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส หลายชนิดเป็น obligate anaerobe และมีการผลิต extracellular enzyme เช่น เอนไซม์อะไมเลส เซลลูเลส และเพกตินเนส

2.7 การศึกษาการย่อยสลายพอลิเมอร์ทางชีวภาพ

กาญจนา และเต็มสิริ (2541) ศึกษาการเสื่อมสภาพทางความร้อนและแสงของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขูด HDPE ที่ใช้แล้วผสมกับขานอ้อย จากการทดลองโดยนำขานอ้อยที่มีปริมาณต่างๆ คือ 0, 1, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผสมกับพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว จากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกและนำไปฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต แล้วตรวจสอบสมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกล สมบัติความร้อน สมบัติทางกายภาพและสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่าขานอ้อยไม่ส่งผลเร่งหรือหน่วงเหนี่ยวปฏิกิริยาในการย่อยสลายโดยแสง แต่จะส่งผลช่วยในด้านสมบัติเชิงกล หลังเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วทำให้ สมบัติเชิงกลดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมขานอ้อย โดยปริมาณขานอ้อย 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด ส่วนสมบัติด้านอื่นแม้ว่าจะเติมหรือไม่เติมขานอ้อย หลังผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตแล้วจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงมากนัก

เฉลิมพล และสกุล (2537) ศึกษาการใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน ในบรรดาเทอร์โมพลาสติกพอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมเพื่อนำมาพัฒนาพอลิเมอร์คอมพอสิตต่างๆ เนื่องจากสามารถผสมได้ดีกับสารตัวเติมและสารเสริมแรงหลายชนิด สำหรับการใส่สารเสริมแรงในพลาสติกนั้น เส้นใยเซลลูโลสยังมีการใช้อยู่ น้อยมากเมื่อเทียบกับเส้นใยแก้ว เนื่องจากเส้นใยแก้วมีราคาแพง แต่เส้นใยเซลลูโลสมีราคาถูก และสามารถหาได้ง่าย สมบัติการยึดติดระหว่างเส้นใยทั้งสองชนิดกับพอลิเมอร์สามารถตรวจสอบได้โดยการวัดสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมพอสิต เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ก่อนผสม ในการทดลองนี้ ศึกษาการผสมผสานของเส้นใยแก้วและเส้นใยเซลลูโลสจากหญ้าสลาบลวง (*Typha angustifolia*) กับพอลิพรอพิลีน จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เส้นใยผสมช่วยเพิ่มความแข็งแรงและค่าความคงทนทานต่อแรงกระแทกของคอมพอสิต แต่มีแนวโน้มที่จะลดค่าทนทานต่อแรงดึงและค่าการยึด ถ จุดขาด ซึ่งอาจเนื่องมาจากรูปร่างและความยาวของเส้นใยเซลลูโลสคอมพอสิตที่มีปริมาณเส้นใยผสม 5 % (อัตราส่วนเส้นใยแก้วต่อเส้นใยเซลลูโลสเท่ากับ 75:25) จะให้ค่าทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความทนทานต่อการขีดถูเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยคอมพอสิตที่เพิ่มขึ้น

อำนาจ และคณะ (2542) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์โดยเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบที่แยกจากตัวอย่างดินในประเทศไทย โดยศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ได้ 4 ชนิด คือ Polylactic acid (PLA), Polycaprolactone (PCL), Polyhydroxybutyrate (PHB) และ Polybutylene succinate (PBS) โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ทดสอบ AT-7 ที่แยกได้จากตัวอย่างดินโดยวิธี Clear Zone Technique พบว่าเชื้อทดสอบ AT-7 สามารถย่อยพอลิเมอร์ได้ทุกชนิดยกเว้น PLA เมื่อทดสอบการย่อยสลายได้ของแผ่นฟิล์มพบว่าแผ่นฟิล์ม PHB มีการย่อยสลายได้ดีที่สุดโดยน้ำหนักของฟิล์มหายไป 69.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการทดสอบเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และจากการศึกษาการย่อยสลายโดย Crude enzyme (0.21 มิลลิกรัมของโปรตีนต่อมิลลิลิตร) ที่ได้จากเชื้อทดสอบ AT-7 พบว่ามีการย่อยสลาย PHB ได้สูงเช่นเดียวกันโดยมีค่า Total Organic Carbon (TOC) ที่ได้จากการย่อยสลาย 260.2 ppm

Chandra และ Rustgi (1997) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีโครงสร้างเป็นสายตรงและแบ่ง ในการบำบัดทางสิ่งแวดล้อมจะมีการเข้มนวดกับการใช้พอลิเมอร์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ และส่งเสริมการพัฒนารวมถึงการใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ โดยพลาสติกจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น การเติมแบ่งเข้าไปในพอลิเอทิลีนจึงเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางเลือกหนึ่ง การผสมแบ่งและพอลิเอทิลีนในระดับโมเลกุลนั้นไม่เหมาะสมนักและให้ประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ในระดับต่ำ การแก้ไขข้อเสียนี้ทำได้โดยการทำให้พอลิเอทิลีนและแบ่งเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จุดประสงค์ของการศึกษานี้ คือการเปลี่ยนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำให้เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นสายตรงแล้วนำมาผสมกับแบ่ง มาลิกแอนไฮไดรด์ (MA) เชื่อมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีโครงสร้างเป็นสายตรง (LLDPE) และใช้ ไดควิมิว เปอร์ออกไซด์ (DCP) เป็นตัวตั้งต้นปฏิกิริยา นำแบ่งข้าวโพดในความเข้มข้นต่างๆ ในช่วง 10-60 เปอร์เซ็นต์ มาผสมกับ MA-g-LLDPE จากนั้นทำส่วนควบคุมโดยการผสม LLDPE ที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันกับแบ่ง ผลรวมของแรงบิดทั้งหมดจะเกิดระหว่างการผสมและแสดงผลตามปริมาณของแบ่ง แรงบิดจะลดลงเมื่อปริมาณของแบ่งเพิ่มขึ้นจาก 10-50 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นที่ความเข้มข้นของแบ่งเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ สมบัติทางแรงดึงมอดูลัสเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสม ส่วนเปอร์เซ็นต์ของการยืดออก ณ จุดขาดจะลดลงเมื่อปริมาณของแบ่งเพิ่มขึ้น การย่อยสลายทางชีวภาพของ MA-g-LLDPE และแบ่งทำการศึกษาในสิ่งแวดล้อมที่มีสิ่งมีชีวิต 2 สภาวะ คือ (1) สิ่งแวดล้อมในดิน โดยใช้ระยะเวลา 6 เดือน (2) การทดสอบด้วยเชื้อราหลายชนิดผสมกัน เช่น *Aspergillus niger*, *Penicillium*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

funiculosum, *Chaetomium globusum*, *Gliocladium virens* และ *Pullularia pullulans* เป็นเวลา 28 วัน จุลินทรีย์จะเจริญได้มากในตัวอย่างที่มีแป้ง 30 เปอร์เซ็นต์ พอลิเมอร์ที่นำไปฝังดิน จะมีการย่อยสลายมากกว่าในการทดลองที่ใช้เชื้อราเพียงชนิดเดียว จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ พบว่าปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของแป้ง และผลของการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้นในผลึกของ MA-g-LLDPE หรือพอลิเมอร์ที่ผสมแป้ง

Liau และคณะ (1999) ศึกษาผลของปฏิกริยาระหว่างสารคงตัว การใช้ซิลิกาสำหรับการต้านแสงอัลตราไวโอเล็ต ความคงตัวของอนุหภูมิในพอลิโอลิฟินส์ และศึกษาการย่อยสลาย ในส่วนแรกของการศึกษานี้ ได้ศึกษาถึงปฏิกริยาที่เกิดระหว่างสารคงตัวและซิลิกา ซึ่งขึ้นอยู่กับซิลิกา 2 ชนิด ศึกษาโครงสร้างระดับโมเลกุลของสารตัวเติม ในส่วนที่สองเป็นการศึกษาบทบาทที่สำคัญของปฏิกริยาการออกซิไดซ์สารคงตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง การเชื่อมของพอลิเมอร์ให้ผลที่ได้ออกมาตามทฤษฎี โดยพอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อไม่มีซิลิกาอยู่

Mswaka และ Magan (1999) ได้ศึกษาอนุหภูมิและความดันน้ำที่มีความสัมพันธ์กับ Tremete เชื้อราและเชื้อราที่ย่อยสลายเนื้อไม้จากป่าในซิมบับเว โดยศึกษา 8 ชนิดของ Tremete และ 5 ชนิดของเชื้อราในชั้น Basidiomycetes ที่อนุหภูมิ 20-60 องศาเซลเซียส มีการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอนุหภูมิของเชื้อราชนิดที่นำมาศึกษา พบว่าเชื้อราที่เกิดในพื้นที่แห้งและร้อนทนต่ออนุหภูมิในช่วงที่กว้างได้

Pointing และคณะ (1999) ศึกษาการผลิตเอนไซม์ที่ปล่อยออกมานอกเซลล์สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้โดยเชื้อราจากป่าโกงกางทั้ง 5 ชนิด ดังนี้ *Hypoxylon oceanicum*, *Julella avicenniae*, *Lignicola laevis*, *Savoryella lignicola* และ *Trematosphaeria mangrover* เชื้อราเหล่านี้สามารถผลิตเอนไซม์เอนโดกลูคาเนส เบต้ากลูโคซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ปล่อยออกมานอกเซลล์เชื้อราเหล่านี้นำมาเลี้ยงในอาหารเหลวโดยไม่มีคาร์บอน เนื่องจากคาร์บอนจะไปยับยั้งการผลิตเอนไซม์ เอนไซม์เซลลูเลสที่ได้จากการผลิตของ *Hypoxylon oceanicum* พบว่ามีปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์อื่นๆ การเพิ่มความเค็มมีผลทำให้การผลิตเอนไซม์ลดลง แต่ความเค็มในช่วง 0 - 3.4 % จะไม่มีผลกับ *Julella avicenniae*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pitson และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาการชักนำและการควบคุมแหล่งคาร์บอนในการผลิต extracellular β -glucosidase ใน *Acremonium persicinum* โดยการวิเคราะห์ทาง Liquid Chromatography เอนไซม์จะถูกตรวจพบในช่วงที่เชื้อกำลังเจริญเติบโตโดยเชื้อจะเจริญบน gentibiose, cellobiose และ laminari-oligosaccharides และมีการผลิต β -glucosidase โดยที่ระดับของ β -glucosidase จะต่ำมากเมื่อความเข้มข้นของกลูโคส ซูโครส ฟรุคโตสและกาแลคโตสต่ำ จึงสรุปได้ว่า β -glucosidase จาก *A. persicinum* เป็น inducible enzyme

Tomita และคณะ (2000) ได้ศึกษาการแยกเชื้อที่ชอบอุณหภูมิสูงที่สามารถย่อยสลาย PBSA ได้ พบว่าจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสายพันธุ์ 73 สามารถย่อยสลาย PBSA ซึ่งแยกได้จากตัวอย่างดิน 95 ตัวอย่าง โดยใช้ enrichment culture technique ที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อเลี้ยงเชื้อจะพบว่า PBSA ลดลงจนหมด และความหนืดของสารละลายที่มี PBSA ลดลงอย่างชัดเจน ทำการแยกเชื้อโดยใช้ Gel Chromatography ได้เชื้อ *Bacillus stearothermophilus* ซึ่งมี optimum temperature เท่ากับ 63 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง : ขวดน้ำพลาสติกที่ผ่านการใช้แล้ว
2. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (TPI Polene J4324)
3. เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PROFOX 6331)
4. Epolene wax (EASTMAN E-43P)
5. น้ำมันแร่ : Mineral oil (ICI เกรดอุตสาหกรรม)
6. สาหร่าย *Gracilaria fisheri*
7. สารช่วยให้เกิดฟอง : Azodicarbonamide (UNICELL - D800)
8. ซิงค์ออกไซด์ (บริษัท ไบรเทนโพลิเทรตติ้ง 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[®])
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. ผงยีสต์สกัด (UNIPATH)
18. ผงวุ้น : 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile tester LLOYD รุ่น LR 30K ; LLOYD Instrument)
5. เครื่องทดสอบสมบัติความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural tester LLOYD รุ่น LR 30K ; LLOYD Instrument)
6. เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Izod impact tester, Yasuda รุ่น 7689, Yasuda Seiki Seisakusho)
7. เครื่องวัดความแข็ง (Hardness tester, Shore D, Yasuda รุ่น 7689, Mastsuzwa DXT)
8. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding machine, Cosmo รุ่น TTI 220/80 HITEC; Wellei Industrial Equipment)
9. เครื่องชั่ง (AND HR-200)
10. ตู้อบ (SHEL LAB 1350FX)
11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM รุ่น JSM 5200; JEOL)
12. ตู้ปลอดเชื้อ (FASTER BIO48)
13. หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave ; HILAYAMA MFG.CORP)
14. แผ่นอะลูมิเนียม
15. ถาดอะลูมิเนียม
16. เครื่องบดอาหารสัตว์
17. เครื่องบดแห้ง (Imulflex)
18. เครื่องบดละเอียด (Ultra centrifugal mill)
19. เวอร์เนีย (VAENIER CALIPER)
20. ไมโครมิเตอร์ (TECLOCK)
21. เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1.1 การเตรียมพลาสติก

1. เตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยเก็บรวบรวมขวดน้ำพลาสติกที่ผ่านการใช้แล้วให้ได้ในปริมาณมาก นำขวดน้ำพลาสติกที่ได้มาล้างทำความสะอาด และตากให้แห้ง แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก
2. เตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพรอพิลีนจากเม็ดพลาสติก
3. อบพลาสติกเพื่อไล่ความชื้น โดยนำพลาสติกทั้ง 3 ชนิดมาอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.3.1.2 การเตรียมสาหร่าย *Gracilaria fisheri*

นำสาหร่าย *G. fisheri* มาล้างให้สะอาดแล้วแช่น้ำเปล่าทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน นำไปต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อกำจัดหมู่ซัลเฟต จากนั้นสกัดวุ้นออกโดยต้มกับน้ำเปล่าที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาล้างวุ้นออกด้วยน้ำเปล่า และนำไปตากแดดให้แห้ง นำไปอบให้แห้งในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดแห้ง (Imulflex) ให้สาหร่ายขนาดเล็กกลง แล้วจึงนำไปบดด้วยเครื่องบดอาหารสัตว์อีกครั้ง โดยใช้ตะแกรงขนาด 1.0, 0.75, 0.5 และ 0.25 มิลลิเมตรตามลำดับ

3.3.2 ขั้นตอนการผสม

นำพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพรอพิลีนมาผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคนเดียว โดยตั้งอุณหภูมิที่เครื่องเป็น 170 160 150 และ 140 องศาเซลเซียส โดยเมื่อผสมแล้วจะได้เป็นพอลิโอฟินส์

ผสมพลาสติกและสาหร่าย *G. fisheri* โดยใช้สูตร พลาสติก : สาหร่าย : Epolene wax เป็น 100:40:10 ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคนเดียว นำไปผสมกับสารช่วยกระจายตัว (WB) โดยการผสมสูตรพลาสติก ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรในการผสมโพลีเมอร์

วัสดุ	สูตร				
	1	2	3	4	5
พอลิโพลิฟินิล	100	100	100	100	100
สาหร่าย <i>Gracilaria fisheri</i>	40	40	40	40	40
สารช่วยกระจายตัว	-	0.5	1.0	1.5	2.0
สารทำให้เกิดฟอง	2	2	2	2	2
Mineral oil	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ซิงค์ออกไซด์	2	2	2	2	2

ทีมา, ลลิตา และ วราภรณ์ (2542)

นำไปฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป และนำไปทดสอบสมบัติแรงดึง ความทนทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง สมบัติทางสัณฐานวิทยา และสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ

3.4 การทดสอบ

3.4.1 สมบัติเชิงกล

1. สมบัติทางแรงดึง (Tensile properties) นำตัวอย่างที่เตรียมเป็นรูปดัมเบลล์มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะเวลาของการจับขึ้นงาน 70 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิห้อง ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D638 เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัส

2. สมบัติทางการโค้งงอ (Flexible properties) นำตัวอย่างที่เตรียมเป็นรูปดัมเบลล์มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ โดยใช้ความเร็วในการกด 20 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะเวลาของจุดวางขึ้นงาน 60 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิห้อง ตามมาตรฐาน ASTM D790-86 เพื่อหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ

3. ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) นำตัวอย่างที่เตรียมเป็น Notch izod มาทดสอบด้วยเครื่องวัดแรงกระแทก จะได้ค่าความแข็งแรงกระแทกในหน่วย kJ/m^2 ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าความแข็ง (Hardness) นำตัวอย่างที่เตรียมเป็นรูปดัมเบลล์มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Dead Load ชนิด Shore D ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D2240 จะได้ค่าความแข็งโดยตรงจากเครื่อง

3.4.2 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

นำชิ้นงานมาแช่ในไนโตรเจนเหลวแล้วหักขณะยังเป็นอยู่ นำพื้นผิวตรงรอยแตกมาเคลือบด้วยทองคำ จากนั้นทำการศึกษาภาพตัดขวางลักษณะของพื้นผิวพอลิเมอร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า

3.4.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ

3.4.3.1 ศึกษาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการ

1. นำชิ้นงานมาตัดให้มีขนาด 1x1 เซนติเมตร จำนวน 100 ชิ้น ล้างให้สะอาดแล้วอบให้แห้ง นำไปซังน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นเก็บตัวอย่างดินจากแหล่งต่างๆ จำนวน 10 แหล่ง คือ

- 1.1 บ่อน้ำคณะวิศวกรรมศาสตร์
- 1.2 ข้างห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
- 1.3 ข้างบ่อน้ำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
- 1.4 แปลงผักคณะเทคโนโลยีการเกษตร
- 1.5 หน้าสโมสรคณะเทคโนโลยีการเกษตร
- 1.6 กองขยะประเวศ
- 1.7 กองขยะหมู่บ้านไกรทอง
- 1.8 ข้างฟุตบอลคณะครุศาสตร์
- 1.9 ท่อระบายน้ำคณะวิทยาศาสตร์
- 1.10 ข้างหอพักบัวอุไร ซอยเก๊ก 3

2. เตรียมตัวอย่างดินทั้ง 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 กรัม ใส่ในหลอดน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 9 มิลลิลิตร ทำการเจือจางตัวอย่างดินที่ 10^{-4} และ 10^{-5} แล้วทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

ยีสต์สกัด	250 มิลลิกรัม
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10 มิลลิกรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200 มิลลิกรัม
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1000 มิลลิกรัม
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	20 มิลลิกรัม
NaCl	100 มิลลิกรัม
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5 มิลลิกรัม
Na_2WO_4	0.5 มิลลิกรัม
MnSO_4	0.5 มิลลิกรัม
วุ้นผง	15 กรัม

3. นำส่วนผสมต่างๆ ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร นำไปต้มให้วุ้นละลายจนใส นำอาหารที่เตรียมแล้วบรรจุลงในขวดปิดฝาให้สนิท นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำอาหารที่เตรียมไว้ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้ว ในปริมาณที่เหมาะสม ประมาณจานละ 25 มิลลิลิตร ภายในตู้ปลอดเชื้อ (ก่อนการใช้ตู้ปลอดเชื้อต้องทำการเปิดแสง UV ทิ้งไว้ 20 นาที และพ่นด้วยแอลกอฮอล์)

4. นำตัวอย่างดินที่เจือจางแล้วใส่ลงในจานเพาะเชื้อจานละ 1 มิลลิลิตร ใช้ตัวอย่างดินความเจือจางละ 5 ซ้ำ โดยใช้เทคนิค Spread plate แล้ววางชิ้นงานลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีตัวอย่างดินเจือจาง (ส่วนควบคุม) และบนจานอาหารที่มีตัวอย่างดินเจือจาง จานละ 1 ซ้ำ ด้วยปากคีบที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยการจุ่มในแอลกอฮอล์แล้วผ่านเปลวไฟ โดยทำในตู้ปลอดเชื้อ

5. นำจานเพาะเชื้อทั้งหมดไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แล้วสังเกตลักษณะและบันทึกการเจริญของเชื้อ โดยการนับจำนวนโคโลนีทุกๆ 2 วัน จนกว่าการเจริญของเชื้อลดลง จากนั้นทำการบ่มจนครบ 28 วัน

6. แยกชนิดของเชื้อจุลินทรีย์โดยการ cross streak ลงในจานเพาะเชื้อ โดยทำในตู้ปลอดเชื้อ นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เมื่อเชื้อจุลินทรีย์เจริญและแยกเป็นชนิดเดี่ยวๆ แล้วนำไป streak ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยง โดยทำการ streak ภายในตู้ปลอดเชื้อ นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เมื่อเชื้อจุลินทรีย์เจริญแล้ว นำไปแช่ในตู้เย็นเพื่อการหยุดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

7. ชี้นงานที่บ่มครบ 28 วันแล้ว นำมาล้าง อบให้แห้งจากนั้นนำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เพื่อให้น้ำหนักคงที่ นำไปชั่งน้ำหนัก เปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการย่อยสลาย

8. ศึกษาลักษณะพื้นผิวภายหลังการย่อยสลายโดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.3.2 การศึกษาการย่อยสลายโดยอาศัยปัจจัยภายนอก

การศึกษาการย่อยสลายโดยการฝังดิน

1. นำชี้นงานมาตัดให้มีขนาด 1x1 เซนติเมตร จำนวน 300 ชี้น ล้างให้สะอาด อบให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นนำชี้นงานไปฝังดินในแหล่งต่างๆ ที่ความลึก 10 เซนติเมตร แหล่งละ 30 ชี้น จำนวน 10 แหล่ง โดยแบ่งช่วงการเก็บชี้นงานเป็น 6 ช่วง ช่วงละ 5 ชี้น แหล่งดิน 10 แหล่ง ดังนี้

- 1.1 ข้างทางรถไฟคณะเทคโนโลยีการเกษตร
- 1.2 บริหารคณะเทคโนโลยีการเกษตร
- 1.3 อุตสาหกรรมเกษตร
- 1.4 ข้างโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์
- 1.5 แปลงผักคณะเทคโนโลยีการเกษตร
- 1.6 หลังตึกพระเทพฯ
- 1.7 ทางเดินตึกพระเทพฯ
- 1.8 กองอาคารสถานที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
- 1.9 ข้างหอสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
- 1.10 ข้างหอสมุดกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำชิ้นงานชิ้นมาศึกษาการย่อยสลายโดยชั่งน้ำหนักที่หายไปทุกๆ 10 วัน จากดินแต่ละแหล่ง แหล่งละ 5 ชิ้น นำมาล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วอบให้แห้ง จากนั้นเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อให้น้ำหนักคงที่แล้ว นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการย่อยสลาย บันทึกน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่หายไป

3. ศึกษาลักษณะพื้นผิวภายหลังการย่อยสลายโดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การศึกษาการย่อยสลายโดยการแช่น้ำ

1. นำชิ้นงานมาตัดให้มีขนาด 1x1 เซนติเมตร จำนวน 300 ชิ้น ล้างให้สะอาด อบให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นชิ้นงานไปแช่น้ำในแหล่งต่างๆ ที่ความลึก 10 เซนติเมตร แหล่งละ 30 ชิ้น จำนวน 10 แหล่ง โดยแบ่งช่วงการเก็บชิ้นงานเป็น 6 ช่วง ช่วงละ 5 ชิ้น แหล่งน้ำ 10 แหล่ง ดังนี้

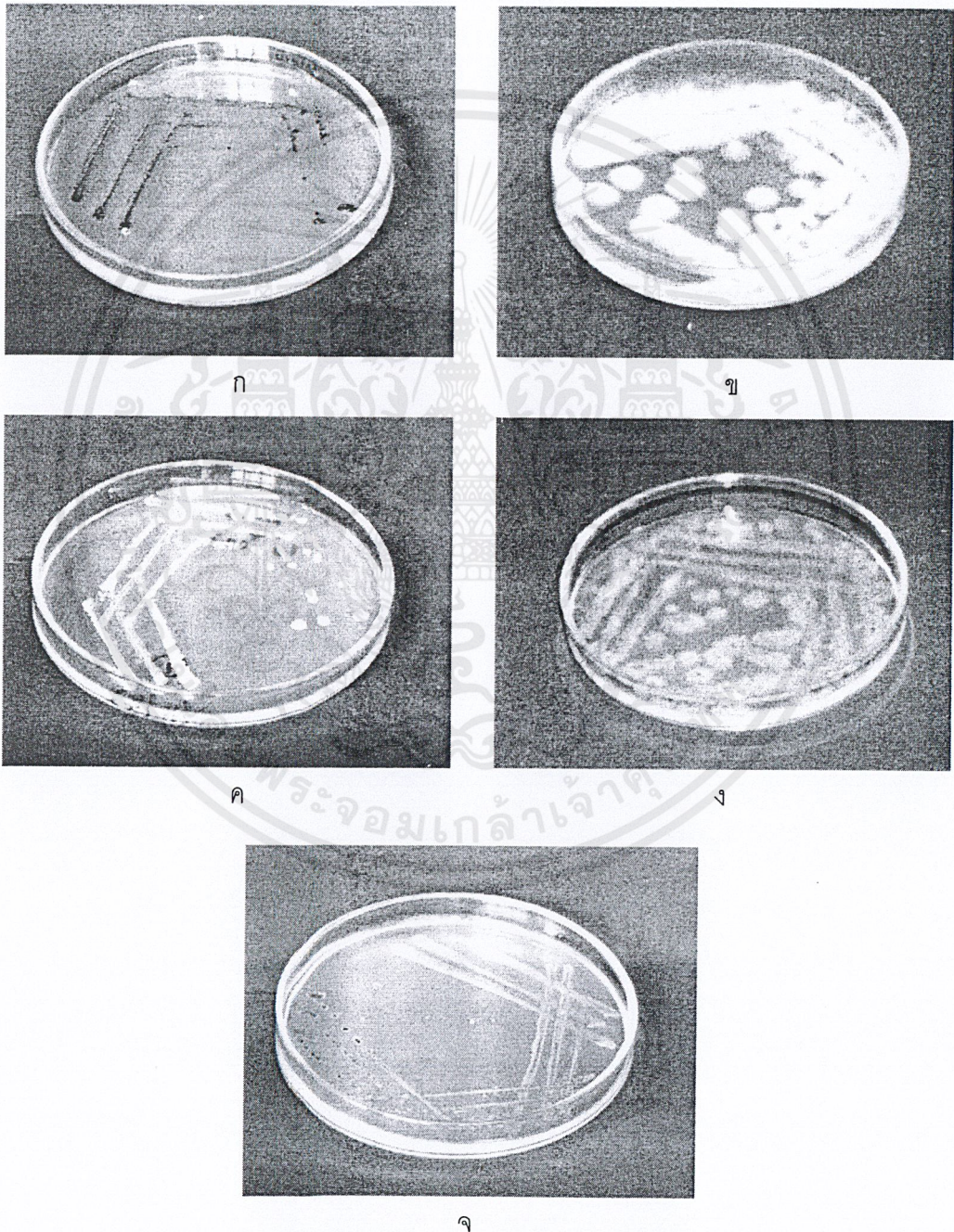
- 1.1 บ่อน้ำข้างห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
- 1.2 บ่อน้ำคณะวิศวกรรมศาสตร์
- 1.3 บ่อข้างโรงอาหารคณะเทคโนโลยีการเกษตร
- 1.4 บ่อน้ำภาคบริหารธุรกิจ คณะเทคโนโลยีการเกษตร
- 1.5 บ่อบริเวณห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
- 1.6 บ่อน้ำหน้าหอสถาบัน
- 1.7 บ่อน้ำตึกเรียนรวมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
- 1.8 บ่อหลังตึกเรียนรวมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
- 1.9 บ่อทางเข้าคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
- 1.10 บ่อข้างโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์

2. นำชิ้นงานชิ้นมาศึกษาการย่อยสลายโดยชั่งน้ำหนักที่หายไปทุกๆ 10 วัน จากน้ำแต่ละแหล่ง แหล่งละ 5 ชิ้น นำชิ้นงานมาล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วอบให้แห้ง และเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อให้น้ำหนักคงที่นำไปชั่งน้ำหนัก เปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการย่อยสลาย บันทึกน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่หายไป

3. ศึกษาลักษณะพื้นผิวภายหลังการย่อยสลายโดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.3.3 ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดเลือกจากดินในอาหารเหลว

จากการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการโดยนำตัวอย่างดิน ทั้ง 10 ตัวอย่าง มาทำเป็นสารละลายดินเจือจางและนำมาทดสอบการย่อยสลายซึ่งงาน สามารถแยกเชื้อที่ย่อยพลาสติกได้ 34 เชื้อ ซึ่งการแยกเชื้อบริสุทธิ์ที่ได้จากแหล่งดินทั้ง 10 แหล่ง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การแยกเชื้อบริสุทธิ์จากตัวอย่างดินด้วยเทคนิค cross streak (ก-จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเชื้อบริสุทธิ์ที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพของการย่อยสลายพลาสติกในอาหารเหลวดังนี้

1. เตรียมอาหารเหลว โดยใช้สูตรเดียวกับการเตรียมอาหารแข็ง แต่ไม่ต้องใส่ผงวุ้น จากนั้นนำมาเทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 102 ขวด ขวดละ 100 มิลลิลิตร ในสภาพปลอดเชื้อ นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
2. ทำสารละลายเซลล์ของเชื้อทั้ง 34 เชื้อ แต่ถ้าเป็นเชื้อราจะใช้การนับสปอร์ของเชื้อ โดยใช้ Haemocytometer ให้มีสปอร์ 10^6 สปอร์/มิลลิลิตร ถ้าเป็นเชื้อยีสต์หรือแบคทีเรียให้ทำการละลายเซลล์ โดยการนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ให้มีค่าประมาณ 0.3
3. ดูดสารละลายเชื้อปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีอาหารเหลวอยู่แล้วโดย 1 เชื้อจะทำ 3 ข้ำ นำชิ้นงานมาตัดให้มีขนาด 1×1 เซนติเมตร จากนั้นใส่ชิ้นงาน 1 ชิ้นต่อ 1 ขวด นำไปบ่มใน Incubator Shaker ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน เมื่อครบ 20 วัน นำพลาสติกออกมาจากอาหารเหลวและนำไปล้างด้วยแอลกอฮอล์
4. นำพลาสติกไปอบให้แห้ง จากนั้นนำไปเก็บในเดซิเคเตอร์ให้น้ำหนักคงที่ นำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไป

บทที่ 4

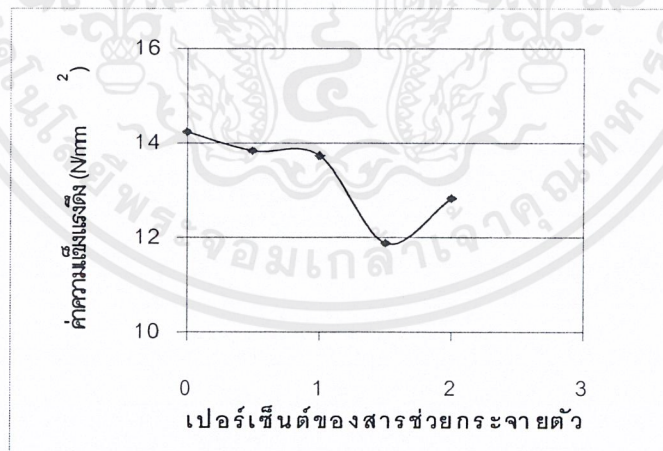
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาหาปริมาณของสารช่วยกระจายตัวที่เหมาะสม

1. ความแข็งแรงดึง

จากการศึกษาหาปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่ใช้เติมลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอฟีนส์ และ *Gracilaria fisheri* ปริมาณ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลดังนี้

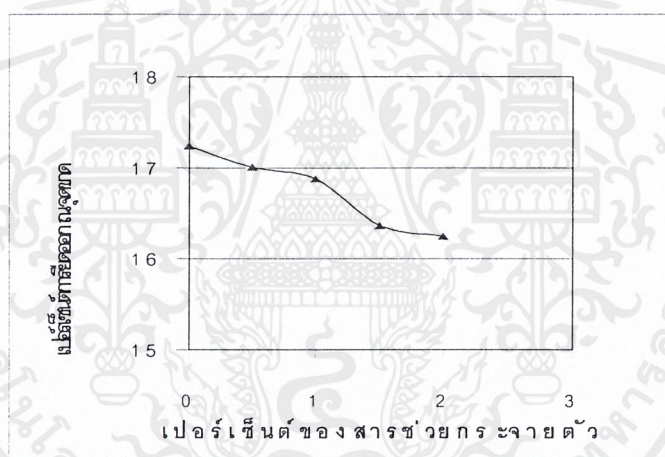
ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว จากกราฟพบว่าที่ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 14.24 N/mm^2 ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 13.84 N/mm^2 ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 13.73 N/mm^2 ที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 11.88 N/mm^2 และที่ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 12.83 N/mm^2 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากสารช่วยกระจายตัวไปขัดขวางการยึดเกาะกันของสายโซ่พอลิโอฟีนส์และ *G. fisheri* ทำให้ความแข็งแรงของสายโซ่ลดน้อยลง เช่นเดียวกับการทดลองของเฉลิมพลและสกุล (2537) ศึกษาการใช้เส้นใยผสมเป็นสารเสริมแรง เมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ค่าความแข็งแรงดึงลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัวและค่าความแข็งแรงดึง

2. เปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาด

เปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงดึงที่ 0 เปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว มีค่า 17.24 เปอร์เซ็นต์ ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 17.01 เปอร์เซ็นต์ ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 16.88 เปอร์เซ็นต์ ที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 16.37 เปอร์เซ็นต์ และ ที่ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 16.25 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของเฉลิมพลและสกุล (2537) ศึกษาการใช้เส้นใยผสมเป็นสารเสริมแรง เมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าเปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาดลดลง และการทดลองของ Chandra และ Rustgi (1997) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยมีการเติมแป้ง พบว่าเปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาดลดลง เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2

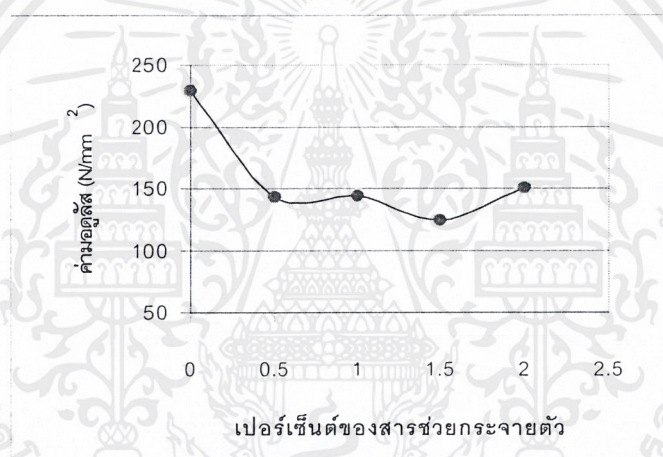


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่ามอดูลัส

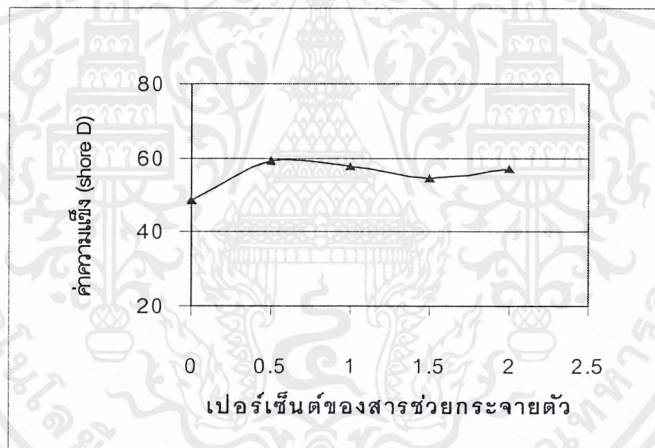
ค่ามอดูลัสมีค่าลดลงเช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดขาด ค่ามอดูลัสเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของชิ้นงาน โดยจะมีค่าแปรผันโดยตรงกับการยืดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของชิ้นงาน และพบว่าที่ 0 เปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว มีค่า 229.9 N/mm² ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 143.7 N/mm² ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 144.0 N/mm² ที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 124.5 N/mm² และที่ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 150.8 N/mm² เช่นเดียวกับการทดลองของ Chandra และ Rustgi (1997) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยมีการเติมแป้ง พบว่าค่ามอดูลัสลดลงเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัวและค่ามอดูลัส

4. ค่าความแข็ง

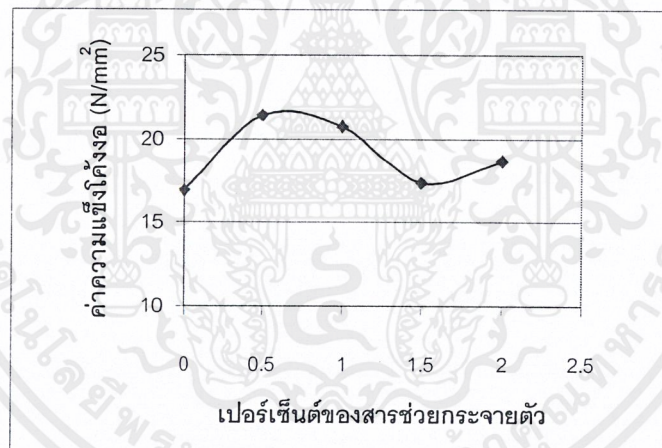
ค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง shore D มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยกระจายตัวเพิ่มขึ้น แต่มีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากการวัดค่าความแข็งเป็นการวัดที่ผิวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีสายโซ่โมเลกุลเกาะยึดกันกับสารช่วยกระจายตัวอยู่มาก ส่งผลให้ค่าความแข็งที่ได้เพิ่มขึ้น ที่ 0 เปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว มีค่า 48.71 shore D ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 59.14 shore D ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 57.85 shore D ที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 54.71 shore D และที่ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 57.0 shore D เช่นเดียวกับการทดลองของเฉลิมพล และสกุล (2537) ศึกษาการใช้เส้นใยผสมเป็นสารเสริมแรง เมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัวและค่าความแข็ง

5. ค่าความแข็งแรงโค้งงอ

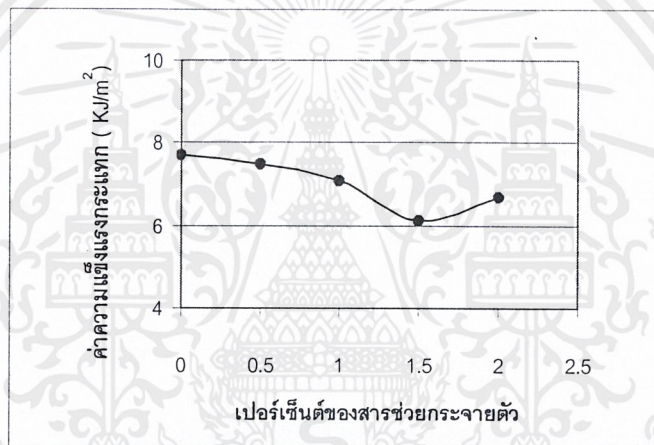
ค่าความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วค่าที่ได้จึงลดลง เมื่อปริมาณสารช่วยกระจายตัวเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการวัดค่าความแข็งแรงโค้งงอเป็นการวัดความทนทานของชิ้นงานตรงกึ่งกลางของชิ้นงาน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีสารช่วยกระจายตัวอยู่ ทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มสารช่วยกระจายตัวเป็น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อปริมาณสารช่วยกระจายตัวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การยึดเกาะและกระจายตัวมีมากเกินไปในสายโซ่โมเลกุล ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดน้อยลง โดยที่ 0 เปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว มีค่า 16.93 N/mm^2 ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 21.42 N/mm^2 ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 20.75 N/mm^2 ที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 17.38 N/mm^2 และที่ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 18.65 N/mm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัวและค่าความแข็งแรงโค้งงอ

6. ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก

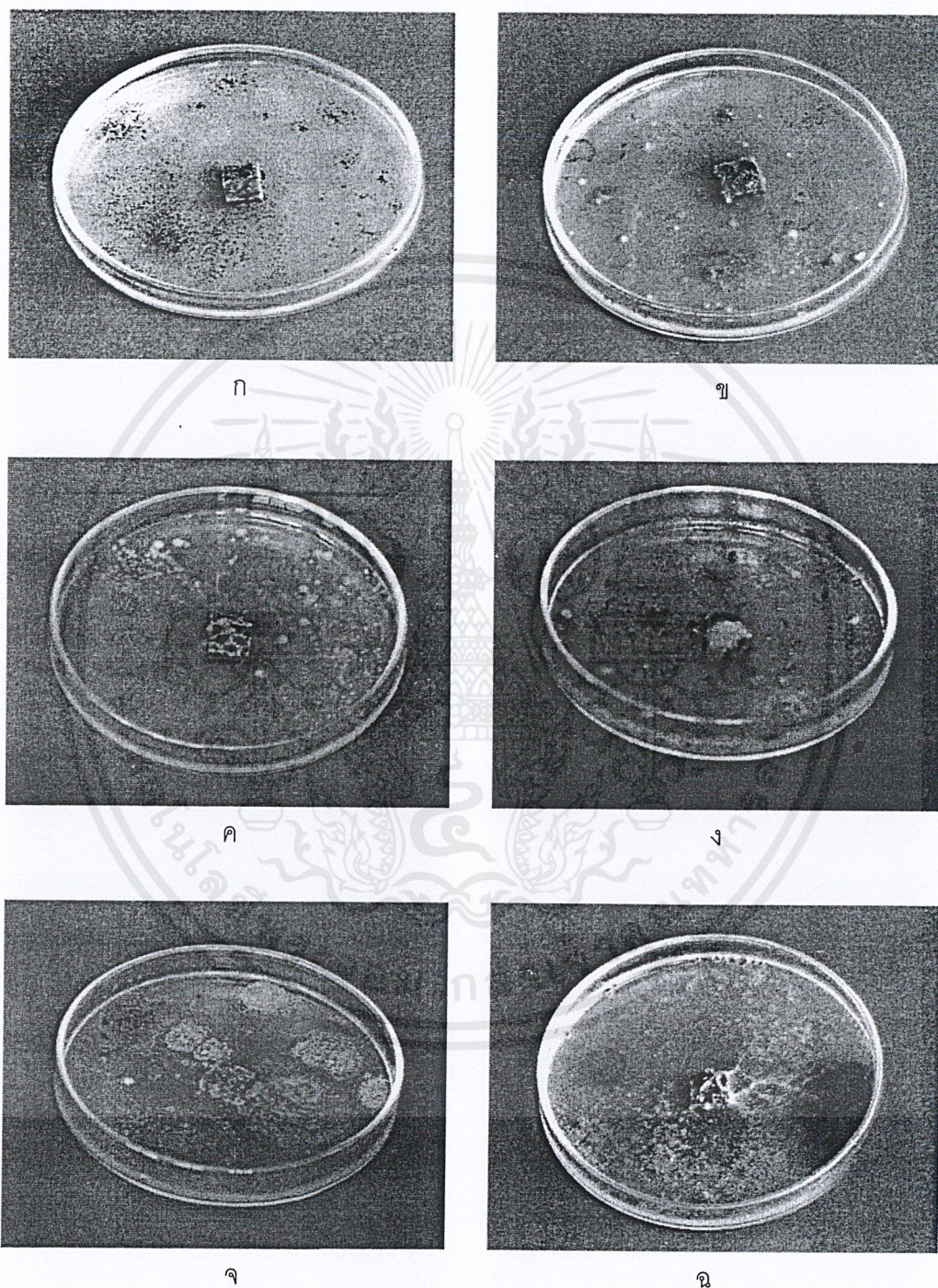
ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มสารช่วยกระจายตัว เช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงดึง ค่าการยึด ถน จุดขาด และค่ามอดูลัส โดยที่ 0 เปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว มีค่า 7.7 KJ/mm^2 ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 7.5 KJ/mm^2 ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 7.1 KJ/mm^2 ที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 6.1 KJ/mm^2 และที่ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 6.7 KJ/mm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ต่างจากการทดลองของเฉลิมพลและสกุล (2537) ศึกษาการใช้เส้นใยผสมเป็นสารเสริมแรง เมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารช่วยกระจายตัว และค่าความทนทานต่อแรงกระแทก

จากสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาพบว่า การเติมสารช่วยกระจายตัวไม่ได้ช่วยให้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ยกเว้นความแข็งแรง ดังนั้นจึงใช้พอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยกระจายตัวไปศึกษาสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพต่อไป

4.2 การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์จากดิน

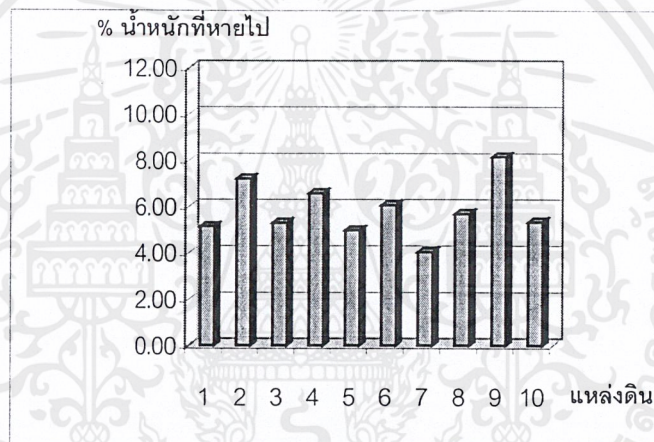


รูปที่ 4.7 เชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายพอลิเมอร์ผสม ที่ระยะเวลา 14 วัน (ก - ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ระดับความ潔จาง 10^{-4}

จากการศึกษาการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมในอาหารแข็งพบว่าจุลินทรีย์ในดินแต่ละแห่งมีความสามารถในการย่อยสลายแตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 5.14 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 7.19 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 5.30 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 6.58 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 4.97 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 6.06 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 4.03 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 8 คิดเป็น 5.69 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 9 คิดเป็น 8.14 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 10 คิดเป็น 5.33 เปอร์เซ็นต์ โดยจุลินทรีย์ที่ได้จากดินแหล่งที่ 9 มีความสามารถในการย่อยได้ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.8

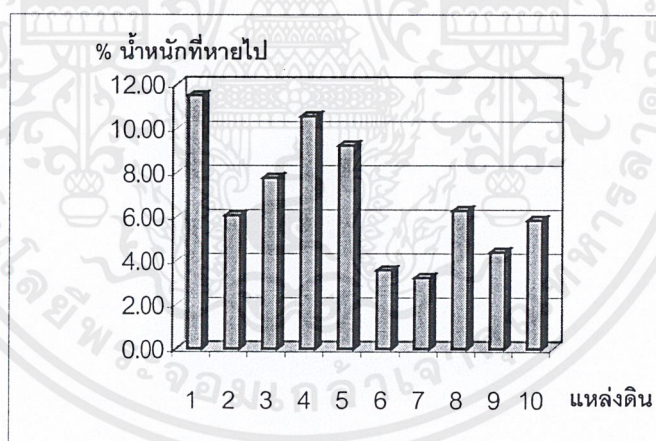


รูปที่ 4.8 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยจุลินทรีย์จากดินแหล่งต่างๆ ที่ความ潔จาง 10^{-4}

4.2.2 ระดับความเจือจาง 10^{-5}

จากการศึกษาการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมในอาหารแข็งพบว่าจุลินทรีย์ในดินแต่ละแหล่งมีความสามารถในการย่อยสลายแตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 11.50 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 6.05 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 7.77 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 10.56 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 9.23 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 3.56 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 3.23 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 8 คิดเป็น 6.28 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 9 คิดเป็น 4.39 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 10 คิดเป็น 5.84 เปอร์เซ็นต์ โดยจุลินทรีย์ที่ได้จากดินแหล่งที่ 1 มีความสามารถในการย่อยได้ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.9

จากผลการทดลองการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมที่ระดับความเจือจาง 10^{-4} และที่ระดับความเจือจาง 10^{-5} พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัที่หายไปที่ระดับความเจือจาง 10^{-5} มากกว่าที่ระดับความเจือจาง 10^{-4} อาจเนื่องมาจากเกิดการแก่งแย่งอาหาร ทำให้อาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายลดลง



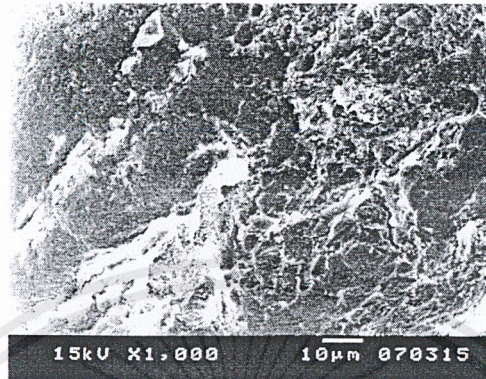
รูปที่ 4.9 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยจุลินทรีย์จากดินแหล่งต่างๆ ที่ความเจือจาง 10^{-5}

ผลการทดลองต่างจากการศึกษาของอำนาจและคณะ (2542) ศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์โดยเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบที่แยกจากตัวอย่างดินในประเทศไทย ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปเท่ากับ 69.50 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้เกิดจากการผลิตโดยจุลินทรีย์ซึ่งง่ายต่อการย่อยสลาย คุณสมบัติที่ใช้ในการย่อยสลายต่างกัน และความหนาของชิ้นงานมีความแตกต่างกัน

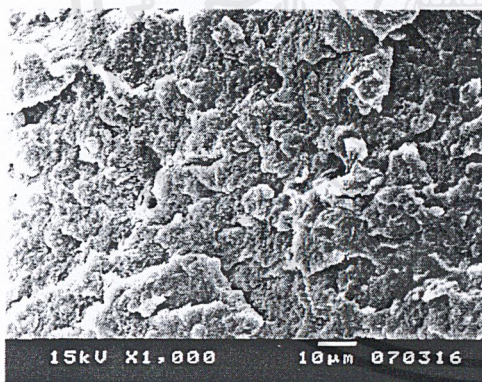
การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าจุลินทรีย์ในดินทั้ง 10 แหล่งมีความสามารถในการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน

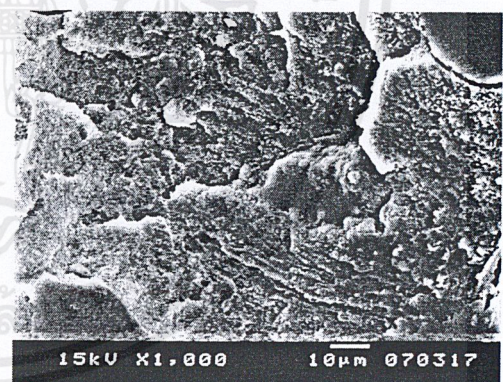
จากการนำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพลิฟีนส์และ *Gracilaria fisheri* มาย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์จากดินในอาหารแข็งผลที่ได้คือ พอลิโพลิฟีนส์ที่มีปริมาณมากทำหน้าที่เป็นเมตริกซ์หรือวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) ในขณะที่ *G. fisheri* ที่มีปริมาณน้อยทำหน้าที่เป็นวัฏภาคกระจายตัว (Disperse phase) โดยก่อนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (รูปที่ 4.10) เมื่อเทียบกับหลังย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่ความเจือจาง 10^{-4} (รูปที่ 4.11ก) และที่ความเจือจาง 10^{-5} (รูปที่ 4.11ข) มีความแตกต่างในเรื่องของลักษณะพื้นผิวที่เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงว่า *G. fisheri* ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์จากดินบางส่วน พบว่า *G. fisheri* ที่อยู่ในพอลิโพลิฟีนส์ถูกย่อยสลายก่อน และจากการที่ *G. fisheri* มีอนุภาคขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ ทำให้เพิ่มพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมในการสัมผัสกับจุลินทรีย์ จึงทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟิโนสผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* ก่อนการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดินที่เลี้ยงในอาหารแข็งที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



ก



ข

รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟิโนสผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดินที่เลี้ยงในอาหารแข็งที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

ก. ความเจือจาง 10^{-4}

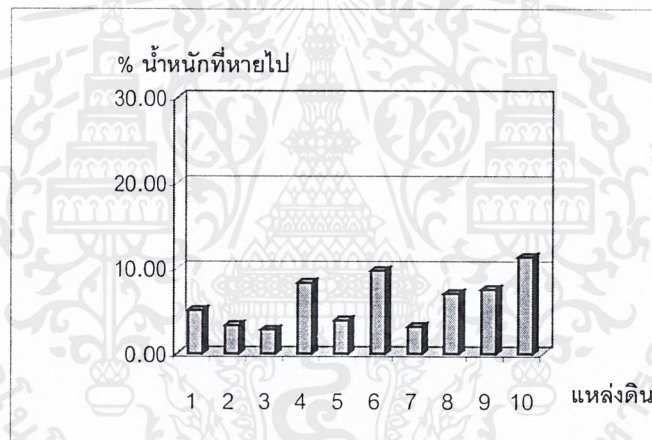
ข. ความเจือจาง 10^{-5}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน

4.4.1 ช่วงที่ 1 (ระยะเวลา 10 วัน)

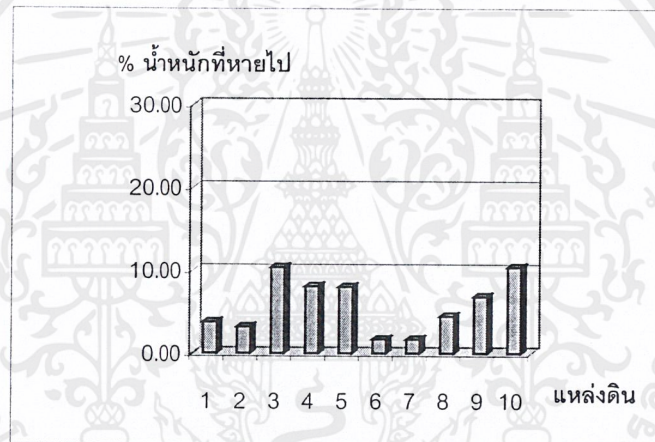
จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดินพบว่าในดินแต่ละแหล่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 5.07 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 3.34 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 2.81 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 8.30 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 3.89 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 9.73 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 3.31 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 8 คิดเป็น 7.05 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 9 คิดเป็น 7.52 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 10 คิดเป็น 11.33 เปอร์เซ็นต์ โดยในดินแหล่งที่ 10 มีการย่อยสลายดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 1)

4.4.2 ช่วงที่ 2 (ระยะเวลา 20 วัน)

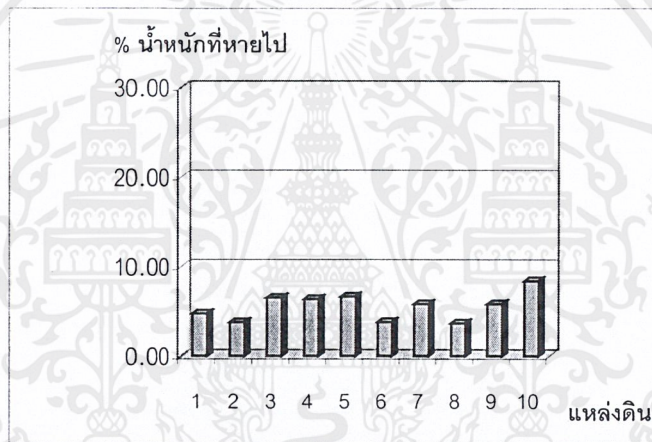
จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน พบว่าในดินแต่ละแหล่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 3.78 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 3.21 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 10.37 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 8.10 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 8.02 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 1.72 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 1.66 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 8 คิดเป็น 4.48 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 9 คิดเป็น 6.85 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 10 คิดเป็น 10.36 เปอร์เซ็นต์ โดยในดินแหล่งที่ 3 มีการย่อยสลายดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 2)

4.4.3 ช่วงที่ 3 (ระยะเวลา 30 วัน)

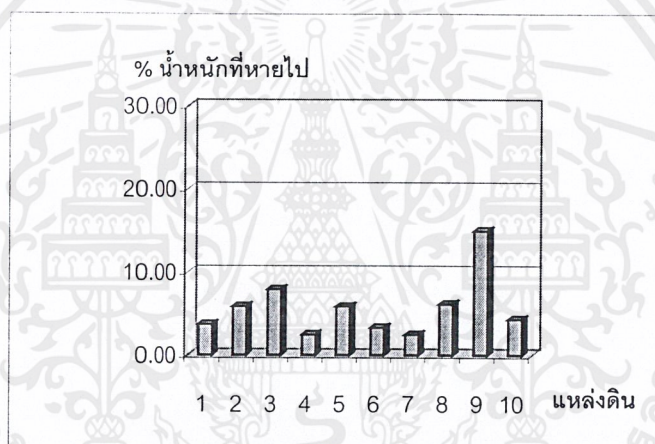
จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน พบว่าในดินแต่ละแห่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 4.77 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 3.77 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 6.54 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 6.36 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 6.65 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 3.79 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 5.85 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 8 คิดเป็น 3.67 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 9 คิดเป็น 5.85 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 10 คิดเป็น 8.38 เปอร์เซ็นต์ โดยในดินแหล่งที่ 10 มีการย่อยสลายมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 3)

4.4.4 ช่วงที่ 4 (ระยะเวลา 40 วัน)

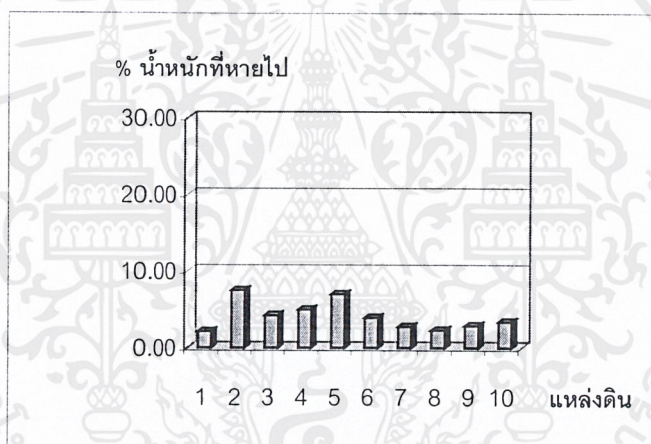
จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดินพบว่าในดินแต่ละแหล่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 3.71 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 5.88 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 7.94 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 2.47 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 5.86 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 3.32 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 2.46 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 8 คิดเป็น 6.13 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 9 คิดเป็น 14.94 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 10 คิดเป็น 4.34 เปอร์เซ็นต์ โดยในดินแหล่งที่ 9 มีการย่อยสลายมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 4)

4.4.5 ช่วงที่ 5 (ระยะเวลา 50 วัน)

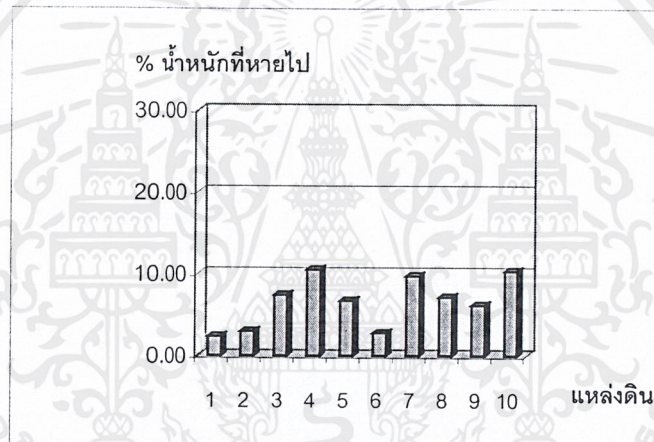
จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดินพบว่าในดินแต่ละแห่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 2.15 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 7.51 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 4.27 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 4.99 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 7.01 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 3.96 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 2.80 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 8 คิดเป็น 2.35 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 9 คิดเป็น 2.92 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 10 คิดเป็น 3.40 เปอร์เซ็นต์ โดยในดินแหล่งที่ 2 มีการย่อยดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 5)

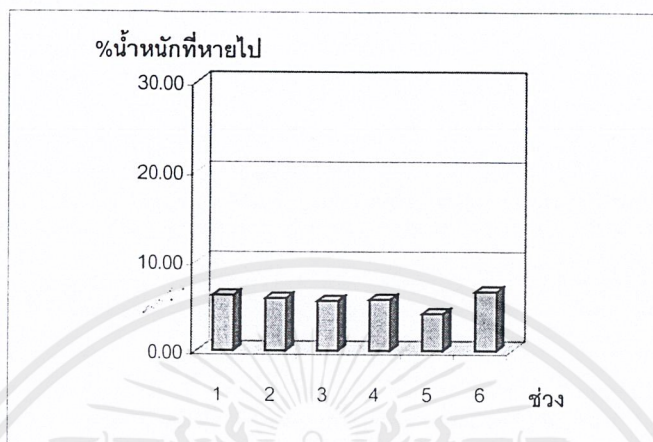
4.4.6 ช่วงที่ 6 (ระยะเวลา 60 วัน)

จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดินพบว่าในดินแต่ละแห่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 2.34 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 2.98 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 7.42 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 10.55 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 6.71 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 2.75 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 9.75 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 8 คิดเป็น 7.17 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 9 คิดเป็น 6.14 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 10 คิดเป็น 10.31 เปอร์เซ็นต์ โดยในดินแหล่งที่ 4 มีการย่อยสลายมากที่สุด แสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน (ช่วงที่ 6)

4.4.7 เปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน



รูปที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน

ผลจากการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการนำชิ้นงานไปฝังดิน 10 แห่ง เป็นเวลา 60 วัน พบว่าชิ้นงานมีความสามารถในการย่อยสลายแตกต่างกัน โดยในดินช่วงที่ 6 มีการย่อยสลายได้ดีที่สุด มีค่า 6.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคล้ายคลึงกับการทดลองของ Chanda และ Rustgi (1997) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีโครงสร้างเป็นสายตรงและแบ่ง พบว่าเมื่อนำชิ้นงานไปฝังดินเกิดการย่อยสลายได้ดี

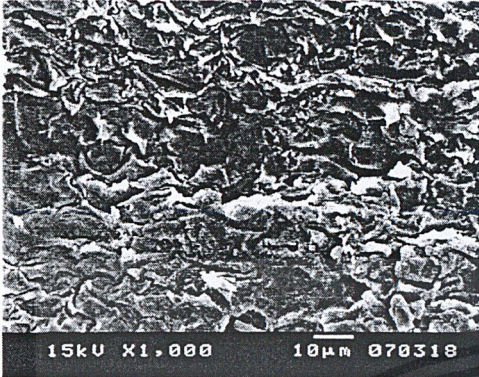
จากการทดลองพบว่าในบางช่วงที่ระยะเวลามากขึ้นแต่การย่อยสลายกลับน้อยลงเนื่องมาจากปริมาณของสาหร่ายที่มีอยู่ในชิ้นงานแต่ละชิ้นแตกต่างกัน ทำให้เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายในชิ้นงานที่มีปริมาณสาหร่ายมากสามารถย่อยสลายได้ดี เช่นเดียวกับการทดลองของ Imam และคณะ (1999) ศึกษาการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสม (PHBและแป้ง) ในน้ำทะเลเขตร้อนพบว่าเมื่อมีปริมาณแป้งมากจะย่อยสลายได้ดี แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและปริมาณของแป้งลดน้อยลงการย่อยสลายก็จะคงที่หรือมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.18

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าดินแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

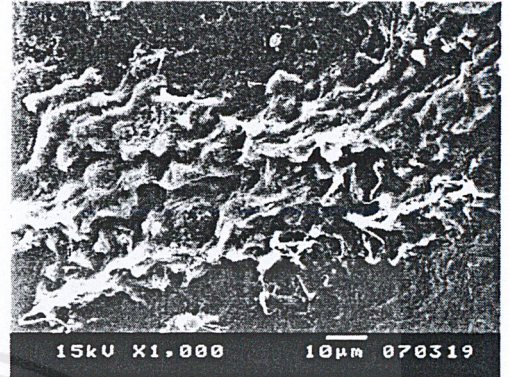
4.5 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน

จากการนำวัสดุพอลิโอฟีนส์ผสมสำหรับ *Gracilaria fisheri* ที่ถูกย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์ในดินโดยการนำไปฝังในดินในระยะเวลาต่างๆ กัน ผลจากการทดลองพบว่าการย่อยสลายจากเชื้อจุลินทรีย์ในดินเป็นระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 วัน (รูปที่ 4.19-4.24) พบว่ายิ่งระยะเวลาผ่านไป การยึดเกาะของโครงสร้างโมเลกุลมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจาก *G. fisheri* ถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน ทำให้การยึดเกาะที่อยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ขาดออกจากกัน อย่างไรก็ตามเชื้อจุลินทรีย์ยังคงมีบทบาทในการย่อยพอลิโอฟีนส์ได้น้อย จำเป็นต้องอาศัยระยะเวลานาน จึงเป็นผลให้เห็นโครงสร้างของพอลิโอฟีนส์

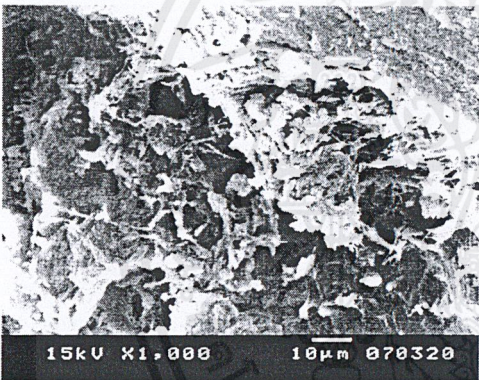




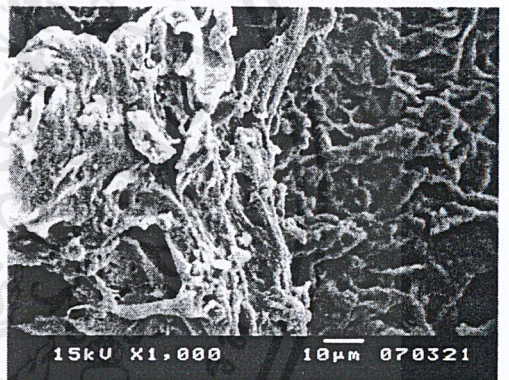
รูปที่ 4.19 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟิโนสผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 10 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า



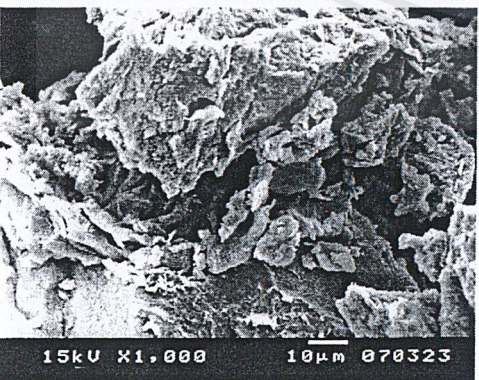
รูปที่ 4.20 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟิโนสผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 20 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า



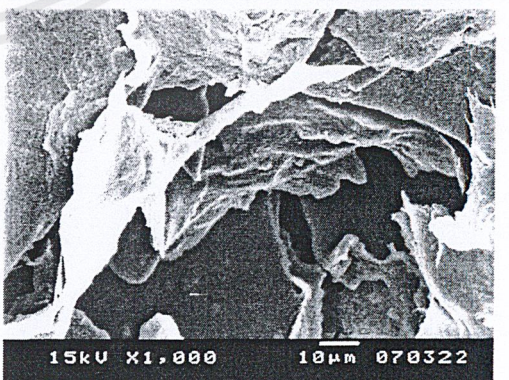
รูปที่ 4.21 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟิโนสผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 30 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 4.22 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟิโนสผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 40 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 4.23 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟิโนสผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 50 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า



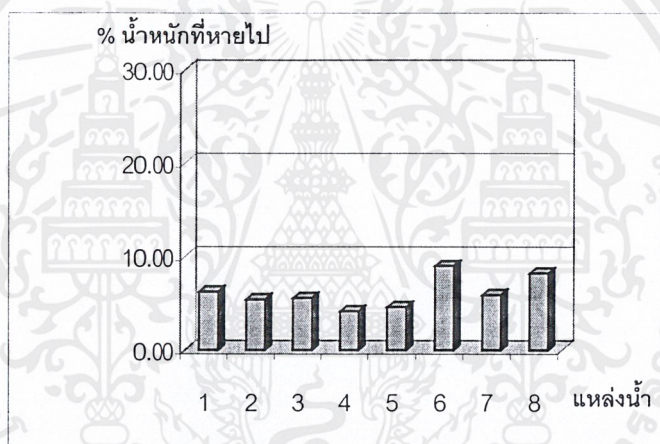
รูปที่ 4.24 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟิโนสผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ระยะเวลา 60 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำ

4.6.1 ช่วงที่ 1 (ระยะเวลา 10 วัน)

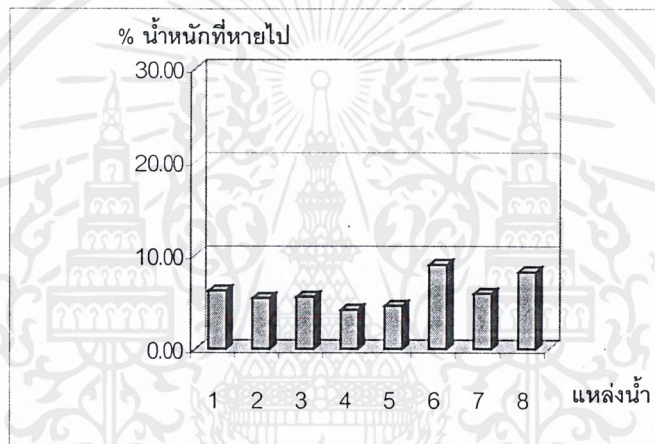
จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำพบว่าในน้ำแต่ละแหล่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 6.23 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 5.42 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 5.57 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 4.17 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 4.61 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 8.99 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 5.91 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 8 คิดเป็น 8.23 เปอร์เซ็นต์ โดยในน้ำแหล่งที่ 6 มีการย่อยสลายดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 1)

4.6.2 ช่วงที่ 2 (ระยะเวลา 20 วัน)

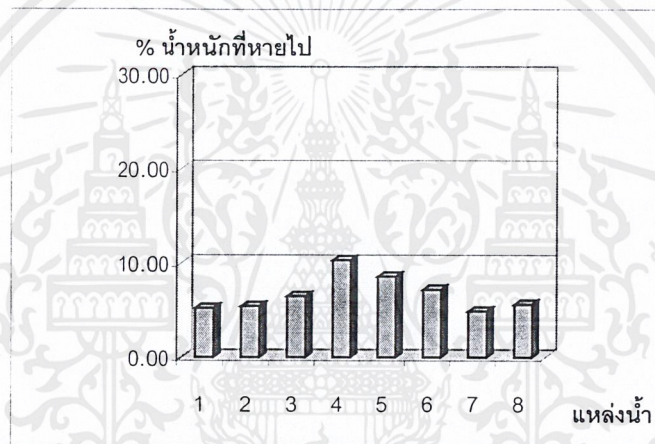
จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำ พบว่าในน้ำแต่ละแหล่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 5.14 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 6.45 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 5.74 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 7.08 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 4.97 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 3.36 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 2.26 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 8 คิดเป็น 2.81 เปอร์เซ็นต์ โดยในน้ำแหล่งที่ 6 มีการย่อยสลายดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 2)

4.6.3 ช่วงที่ 3 (ระยะเวลา 30 วัน)

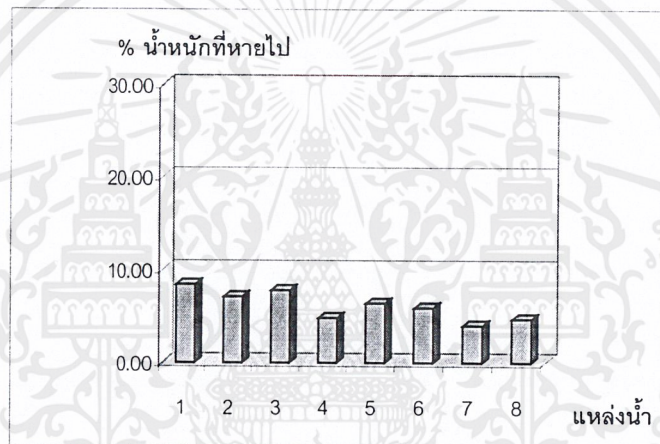
จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำพบว่าในน้ำแต่ละแหล่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 5.23 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 5.42 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 6.49 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 10.30 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 8.57 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 7.19 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 4.88 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 8 คิดเป็น 5.61 เปอร์เซ็นต์ โดยในน้ำแหล่งที่ 6 มีการย่อยดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 3)

4.6.4 ช่วงที่ 4 (ระยะเวลา 40 วัน)

จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำพบว่าในน้ำแต่ละแหล่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 8.41 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 7.08 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 7.78 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 4.81 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 6.39 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 5.89 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 3.98 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 8 คิดเป็น 4.68 เปอร์เซ็นต์ โดยในน้ำแหล่งที่ 1 มีการย่อยสลายดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.28

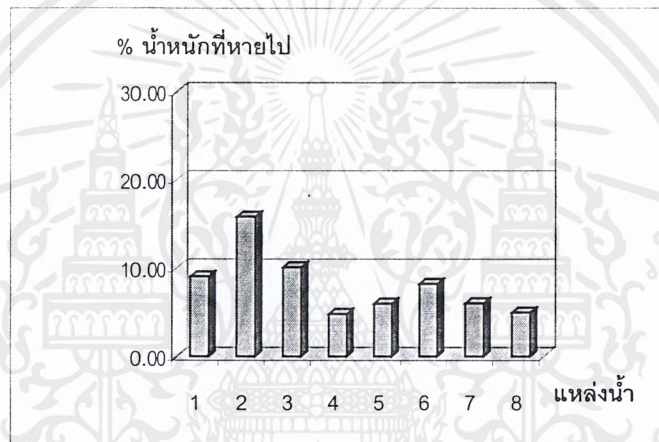


รูปที่ 4.28 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.5 ช่วงที่ 5 (ระยะเวลา 50 วัน)

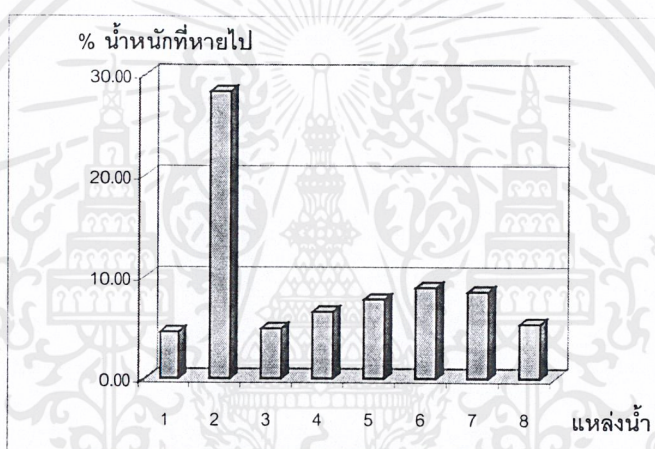
จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำพบว่าในน้ำแต่ละแหล่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 9.06 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 15.85 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 10.09 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 4.81 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 5.97 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 8.23 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 6.00 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 8 คิดเป็น 4.97 เปอร์เซ็นต์ โดยในน้ำแหล่งที่ 2 มีการย่อยสลายดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมที่ระยะเวลา (ช่วงที่ 5)

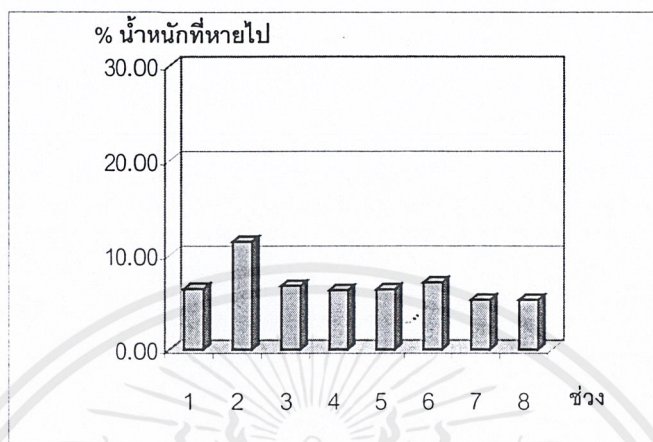
4.6.6 ช่วงที่ 6 (ระยะเวลา 60 วัน)

จากการศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำพบว่าในน้ำแต่ละแหล่งมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งที่ 1 คิดเป็น 4.57 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 2 คิดเป็น 28.35 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 3 คิดเป็น 4.91 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 4 คิดเป็น 6.57 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 5 คิดเป็น 7.79 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 6 คิดเป็น 8.95 เปอร์เซ็นต์ แหล่งที่ 7 คิดเป็น 8.54 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งที่ 8 คิดเป็น 5.34 เปอร์เซ็นต์ โดยในน้ำแหล่งที่ 2 มีการย่อยดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมในแหล่งน้ำ (ช่วงที่ 6)

4.6.7 เปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำ



รูปที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำ

ผลจากการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการนำชิ้นงานไปแช่น้ำ 8 แห่ง เป็นเวลา 60 วันพบว่าชิ้นงานมีความสามารถในการย่อยสลายได้แตกต่างกัน โดยในคืนวันที่ 6 มีการย่อยสลายได้ดีที่สุด มีค่า 9.38 เปอร์เซ็นต์เช่นเดียวกับการทดลองของ Imam และคณะ (1999) ศึกษาการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสม (PHB และ แป้ง) ทางชีวภาพในน้ำทะเลเขตร้อน พบว่ามีการย่อยสลายแตกต่างกัน โดยที่ในระดับความลึกมากจะมีการย่อยสลายน้อยกว่าในน้ำที่มีระดับความลึกตื้นและขึ้นอยู่กับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำแต่ละแห่ง

จากกราฟพบว่าผลที่ได้จากการนำชิ้นงานไปแช่น้ำมีเพียง 8 แห่ง เนื่องจากมีการสูญหายระหว่างการทดลอง และจากการทดลองพบว่าในบางช่วงที่ระยะเวลามากขึ้นแต่การย่อยสลายกลับน้อยลงเนื่องมาจากปริมาณของสาหร่ายที่มีอยู่ในชิ้นงานแต่ละชิ้นแตกต่างกัน ทำให้เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายในชิ้นงานที่มีปริมาณสาหร่ายมากสามารถย่อยสลายได้ดี เช่นเดียวกับ การทดลองของ Imam และคณะ (1999) ศึกษาการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสม (PHB และ แป้ง) ในน้ำทะเลเขตร้อนพบว่าเมื่อมีปริมาณแป้งมากจะย่อยสลายได้ดี แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและปริมาณของแป้งลดน้อยลงการย่อยสลายก็จะคงที่หรือมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.31

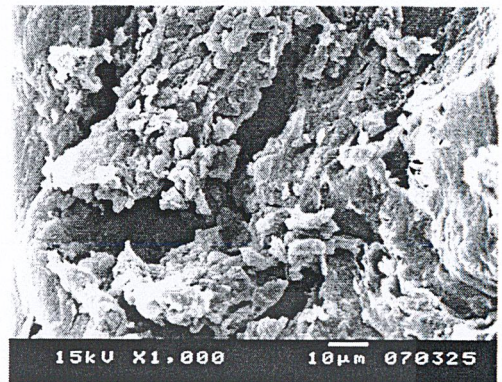
4.7 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายทางชีวภาพโดยการแช่น้ำ

การย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นโดยเปรียบเทียบจากลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ระยะเวลา 10 วัน (รูปที่ 4.32) เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ระยะเวลา 20, 30, 40, 50 และ 60 วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.33-4.37) พบว่าการยึดเกาะกันของโครงสร้างระหว่างพอลิโอฟิฟิลกับ *Gracilaria fisheri* น้อยลงตามระยะเวลาที่นานขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการทำให้ *G. fisheri* ย่อยสลาย ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลง

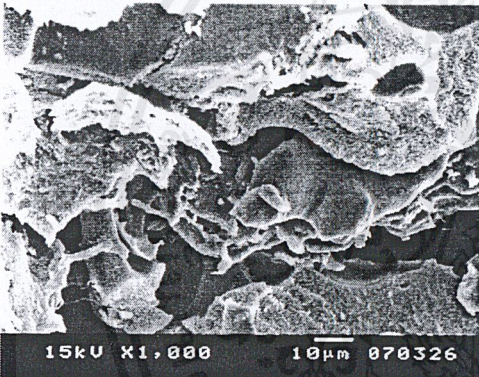




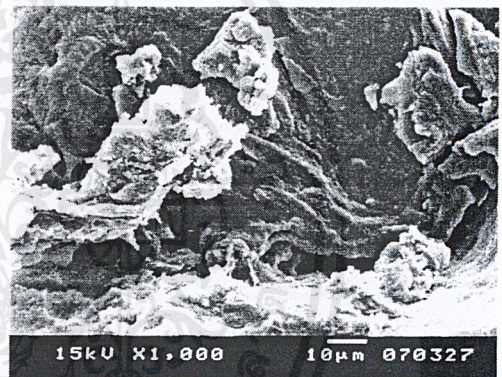
รูปที่ 4.32 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 10 วัน กำลังขยาย 1.000 เท่า



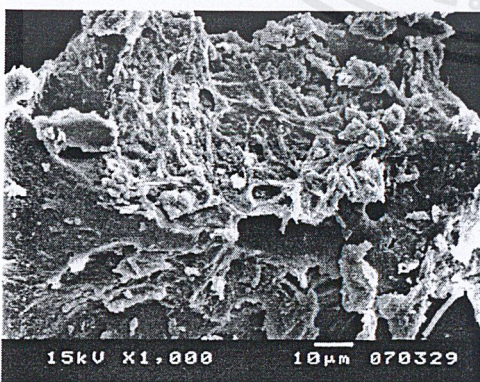
รูปที่ 4.33 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 20 วัน กำลังขยาย 1.000 เท่า



รูปที่ 4.34 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 30 วัน กำลังขยาย 1.000 เท่า



รูปที่ 4.35 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 40 วัน กำลังขยาย 1.000 เท่า



รูปที่ 4.36 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 50 วัน กำลังขยาย 1.000 เท่า

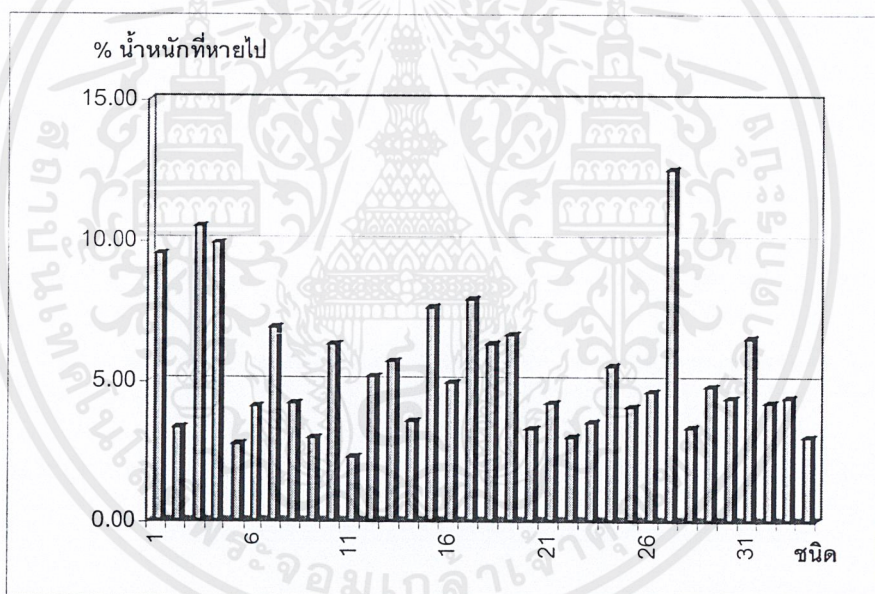


รูปที่ 4.37 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ ระยะเวลา 60 วัน กำลังขยาย 1.000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของเชื้อจากตัวอย่างดินในอาหารเหลว

จากตัวอย่างดินทั้ง 10 ตัวอย่าง สามารถแยกเชื้อบริสุทธิ์ทั้งสิ้น 34 ชนิด ประกอบด้วยเชื้อราที่มีจำนวนมากที่สุดคือ 22 ชนิด รองลงมาคือเชื้อแบคทีเรียมีจำนวน 9 ชนิด และเชื้อที่น้อยที่สุดคือเชื้อยีสต์มีจำนวน 3 ชนิด จากนั้นนำไปทดสอบความสามารถในการย่อยสลายพลาสติกของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละเชื้อโดยนำเชื้อไปเลี้ยงในอาหารเหลวพบว่าหมายเลข 27 มีการย่อยสลายดีที่สุดที่ระยะเวลาในการย่อย 20 วัน โดยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสม คิดเป็น 12.51 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ หมายเลข 3 คิดเป็น 10.49 เปอร์เซ็นต์ หมายเลข 4 คิดเป็น 9.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และหมายเลข 11 มีการย่อยสลายต่ำสุด คิดเป็น 2.28 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลว

ผลจากการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยเชื้อจุลินทรีย์จากดินในอาหารเหลว เป็นเวลา 20 วันพบว่าชิ้นงานมีความสามารถในการย่อยสลายได้แตกต่างกัน ซึ่งมีการทดลองที่คล้ายคลึงกันของ Pointing และคณะ (1999) ศึกษาการผลิตเอนไซม์ที่ปล่อยออกมานอกเซลล์และสามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้โดยเชื้อราจากป่าโกงกาง

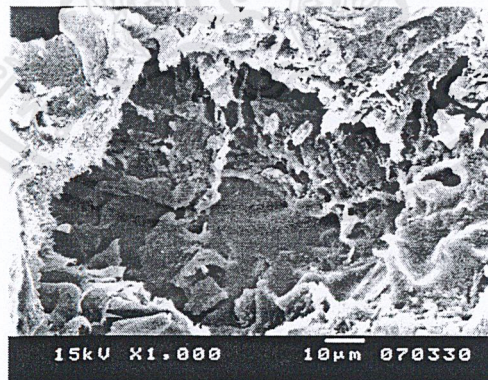
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า การเลี้ยงในอาหารเหลวที่ไม่มีการเขย่าจะมีการผลิตเอนไซม์ได้มากกว่าสภาวะที่มีการเขย่า การทดลองของ Tomita และคณะ (1999) ศึกษาการแยกเชื้อที่ชอบอุณหภูมิสูง และสามารถย่อย PLA ได้ โดยเลี้ยงในอาหารเหลวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของการเขย่า 120 รอบต่อนาที และการทดลองของ Tomita และคณะ (2000) ศึกษาการแยกเชื้อที่ชอบอุณหภูมิสูง และสามารถย่อย PBHA ในสภาวะเดียวกัน

การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าแต่ละเชื้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.9 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในอาหารเหลว

จากการนำวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* มาย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลวมาสองดูพื้นผิวพบว่าวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่าย *G. fisheri* มีลักษณะผุกร่อนซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากวัสดุผสมมีการผสมสาหร่าย *G. fisheri* ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กและเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสาหร่ายที่กระจายตัวอยู่ในพอลิโพลิฟีนส์ ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์กับสาหร่ายที่กระจายตัวอยู่มากขึ้นทำให้การย่อยสลายของจุลินทรีย์ดีขึ้น แต่ผลของจุลินทรีย์ที่มีต่อพอลิโพลิฟีนส์จำเป็นต้องอาศัยระยะเวลามากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุพอลิโพลิฟีนส์ผสมสาหร่าย *Gracilaria fisheri* หลังย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์อาหารเหลว ระยะเวลา 20 วัน กำลังขยาย 1,000 เท่า

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

1. การศึกษาปริมาณสารช่วยกระจายตัวพบว่าการไม่เติมสารช่วยกระจายตัว จะทำให้สมบัติเชิงกลของพลาสติกดีที่สุด

2. การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยเชื้อจุลินทรีย์ในดิน 10 แหล่ง ในอาหารแห้งเป็นเวลา 28 วัน พบว่าที่ระดับความเจอจาง 10^{-4} ดินที่ได้จากแหล่งที่ 9 คือ ท่อระบายน้ำคณะวิทยาศาสตร์ มีความสามารถในการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมได้ดีที่สุด คือ 8.15 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับความเจอจาง 10^{-5} ดินที่ได้จากแหล่งที่ 1 คือ บ่อหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มีความสามารถในการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมได้ดีที่สุด คือ 11.50 เปอร์เซ็นต์ และทั้ง 2 ระดับความเจอจางมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการฝังดิน 10 แหล่ง พบว่าที่ระยะเวลา 60 วัน มีการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมได้ดีที่สุด คือ 6.62 เปอร์เซ็นต์ และแต่ละแหล่งมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยการแช่น้ำ 10 แหล่ง พบว่าที่ระยะเวลา 60 วัน มีการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมได้ดีที่สุด คือ 9.38 เปอร์เซ็นต์ และแต่ละแหล่งมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5. การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมโดยเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลว สามารถแยกจุลินทรีย์จำนวน 34 ชนิด จากตัวอย่างดิน 10 ตัวอย่าง พบว่าเชื้อจุลินทรีย์หมายเลข 27 ซึ่งเป็นเชื้อรา สามารถย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมได้ดีที่สุด คือ 12.51 เปอร์เซ็นต์ และแต่ละเชื้อมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

6. การนำตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมหลังการย่อยทางชีวภาพจะเกิดรูพรุนมากขึ้นตามระยะเวลาในการย่อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาลักษณะและสมบัติต่างๆ รวมถึงการจำแนกชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมได้

2. ศึกษาสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมทั้งภายในห้องปฏิบัติการและภายนอกห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง

3. ศึกษาชนิดของสารตัวเติมทางด้านชีวภาพอื่นๆ ที่สามารถผสมในพลาสติกแล้วเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลและเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุด้วย



เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา เอี้ยวสุวรรณ และเต็มสิริ หวังทวีทรัพย์. 2541. การเชื่อมสภาพทางความร้อนและทางแสงของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับขวด HDPE ที่ใช้แล้วผสมกับชานอ้อย. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. น. 11-17.
- กัญญา ตระกูลคู่. 2533. เทคโนโลยีพอลิเมอร์. ห้างหุ้นส่วน เอ็กซ์เพรสมีเดีย. รามคำแหง. บางกะปิ. กรุงเทพมหานคร. น. 191.
- เฉลิมพล อธิวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ. 2537. การใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์. 2526. พอลิเมอร์เชิงพาณิชย์. สำนักพิมพ์โอเอสพรีนติ้งเฮาส์ กรุงเทพมหานคร. น. 87-95.
- มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์. 2540. เคมีพอลิเมอร์. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ลลิตา บุญโฉม และ วราภรณ์ พุทธิสสะ. 2542. การผลิตวัสดุโฟมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์และสาหร่ายสีเขียว (Gracilaria). โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 67 น.
- สาโรจน์ ศิริสันสนียกุล และหยาดฝน มหาทรัพย์ไพบุลย์. 2543. พลาสติคชีวภาพจากจุลินทรีย์. เทคโนโลยีชีวภาพ. เทคโนโลยี. ปีที่ 27. ฉบับที่ 151. น. 167.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อำนาจ เจริญรัตน์ และคณะ. 2542. การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์โดยเชื้อจุลินทรีย์ ทดสอบที่แยกจากตัวอย่างดินในประเทศไทย. การประชุมเชิงวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 37. น. 202-206.

Abbott, I.A., and Dawson, E.Y. 1978. The red algae in the How to know the seaweeds. USA. pp. 17-18.

Archer, D.B., and Wood, D.A., 1995. The Growing Fungus. Ed by Neil, A.R., Gow and Geoffrey, M.G., 1 edition. Oxford. pp. 145-147.

Chandra, R., and Rustgi, R. 1997. Biodegradation of maleated linear low-density polyethylene and starch blends. Polymer degradation and Stability. Elsevier Science Limited. Printed in Northern Ireland. pp. 185-202.

Gachter and Muller. 1987. Plastics Additive Handbook. Hanser publishers. Munich Vienna. Newyork. pp. 21-40.

Imam และคณะ. 1999. Degradation of Strach-Poly (E-Hydroxybutyrate-Co-E-Hydroxyvalerade) Bioplastic in Tropical Coastal Waters. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 65 No. 2 : 431-437.

Liauw และคณะ. 1999. Effect of interactions between stabilisers and silica used for anti-blocking applications on UV and thermal stability of polyolefin film and Degradation studies. Polymer degradation and Stability. Elsevier Science Limited. Printed in Northern Ireland. pp. 207-215.

Luning, K. 1990. Seaweed (Their environment, biogeography and ecophysiology). Ed by Yarish, C. Canada. p.369.

- Mswaka, A.Y. and Magan, N. 1999. Temperature and water potential relations of tropical *Trametes* and other wood-decay fungi from the indigenous forests of Zimbabwe. *Mycol.Res.*103(10) : 1309-1317.
- Pitson, S.M. และคณะ. 1999. Induction and carbon source control of extracellular E-glucosidase production in *Acremonium persicinum*. *Mycol.Res.*103(2):161-167.
- Pointing, S.B. และคณะ. 1999. Extracellular cellulolytic enzyme profiles of five lignicolous mangrove fungi. *Mycology.Res.*103(6) : 696-700.
- Tomita, K. และคณะ. 2000. Isolation of Thermophile degrading Poly(butylene succinate-co-butylene adipate). *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol. 90 No. 3 :350-352.
- Tomita, K. และคณะ. 1999. Isolation of Thermophile degrading Poly (L-Lactic Acid). *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol. 87 No. 6 : 752-755.
- Van der hoek, C. และคณะ. 1995. *Algae : an introduction to phycology*. New York,USA. pp. 48-52.

ภาคผนวก ก

สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง 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
3RD STG INJ TIME	:	10	SCW FWD COUNT	:	0
EJETOR 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 PRESE	:	40	DECOMP PRESE	:	30
CLS LOW PRESE	:	60	PLUNGER PRESE	:	20
CLS HI PRESE	:	100	EJECTOR PRESE	:	20
DIE OPN PRESE	:	80	SCW-IN PRESE	:	0
1 ST INJ PRESE	:	60	DIE ADJ PRESE	:	60
2 ND INJ PRESE	:	55			
3 RD INJ PRESE	:	45			
MELTING PRESE	:	40			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD	:	30	1 ST STG INJ SPD	:	60
HIGH 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 REMP	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	:	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

ตารางที่ 1ก แสดงสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสมเมื่อมีการเติมสารช่วยกระจายตัว

% สารช่วยกระจายตัว	0	0.5	1.0	1.5	2.0
ค่าความแข็งแรงดึง (N/mm ²)	14.24	13.84	13.73	11.88	12.83
% การยืดออกจน จุดขาด	17.24	17.01	16.88	16.37	16.25
ค่ามอดูลัส (N/mm ²)	229.9	143.7	144.0	124.5	150.8
ค่าความแข็ง (Shore D)	48.71	59.14	57.85	54.71	57.0
ค่าความแข็งโค้งงอ (N/mm ²)	16.93	21.42	20.75	17.38	18.65
ค่าความแข็งแรงกระแทก (KJ/m ²)	7.7	7.5	7.1	6.1	6.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 1ข แสดงการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์จากดิน 10 แหล่ง

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้นที่ 10^{-4}	ความเข้มข้นที่ 10^{-5}	SD
1	5.1455	11.5023	2.2778
2	7.1999	6.0590	2.2778
3	5.3026	7.7726	2.2778
4	6.5808	10.5616	2.2778
5	4.9758	9.2383	2.2778
6	6.0614	3.5658	2.2778
7	4.0382	3.2315	2.2778
8	5.6940	6.2834	2.2778
9	8.1451	4.3983	2.2778
10	5.3359	5.8436	2.2778

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ข แสดงการย่อยสลายของพลาสติกเนื่องจากการย่อยสลายทางชีวภาพในดิน
10 แหล่ง

ระยะเวลาในการย่อยสลาย (วัน)	10	20	30	40	50	60	SD
แหล่งที่ 1	5.0748	3.7840	4.7727	3.7110	2.1523	2.3481	1.5336
แหล่งที่ 2	3.3436	3.2198	3.7739	5.8890	7.5167	2.9871	1.5336
แหล่งที่ 3	2.8124	10.3793	6.5448	7.9427	4.2745	7.4208	1.5336
แหล่งที่ 4	8.3098	8.1082	6.3693	2.4761	4.9950	10.5539	1.5336
แหล่งที่ 5	3.8913	8.0276	6.6570	5.8643	7.0137	6.7186	1.5336
แหล่งที่ 6	9.7394	1.7287	3.7993	3.3246	3.9607	2.7587	1.5336
แหล่งที่ 7	3.3141	1.6681	5.8539	2.4697	2.8045	9.7531	1.5336
แหล่งที่ 8	7.0580	4.4839	3.6768	6.1386	2.3521	7.1725	1.5336
แหล่งที่ 9	7.5281	6.8577	5.8529	14.9429	2.9210	6.1457	1.5336
แหล่งที่ 10	11.3315	10.3694	8.3899	4.3453	3.4083	10.3190	1.5336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ข แสดงการย่อยสลายของพลาสติกเนื่องจากการย่อยสลายทางชีวภาพใน
แหล่งน้ำทั้ง 8 แหล่ง

ระยะเวลา ในการย่อย สลาย (วัน)	10	20	30	40	50	60	SD
แหล่งที่ 1	6.2379	5.1451	5.2392	8.4154	9.0699	4.5749	2.1177
แหล่งที่ 2	5.4259	6.4504	5.4237	7.0899	15.8507	28.3567	2.1177
แหล่งที่ 3	5.5783	5.7448	6.4951	7.7865	10.0996	4.9171	2.1177
แหล่งที่ 4	4.1701	7.0882	10.3015	4.8144	4.8136	6.5724	2.1177
แหล่งที่ 5	4.6118	4.9796	8.5728	6.3905	5.9739	7.7917	2.1177
แหล่งที่ 6	8.9930	3.3675	7.1981	5.8980	8.2301	8.9575	2.1177
แหล่งที่ 7	5.9170	2.2642	4.8842	3.9856	6.0087	8.5450	2.1177
แหล่งที่ 8	8.2313	2.8185	5.6118	4.6851	4.9723	5.3491	2.1177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4ข แสดงการย่อยสลายของพลาสติกเนื่องจากการทดสอบประสิทธิภาพใน
การย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 34 ชนิด

เปอร์เซ็นต์การ ย่อยสลาย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	%น้ำหนักเฉลี่ย	SD
เชื้อที่ 1	3.3894	10.8198	15.3330	9.5191	2.9807
เชื้อที่ 2	2.6369	4.9417	2.4619	3.3294	2.9807
เชื้อที่ 3	17.0310	8.54589	6.3101	10.4946	2.9807
เชื้อที่ 4	4.9514	17.1145	6.1331	9.8991	2.9807
เชื้อที่ 5	3.1130	3.5547	1.9484	2.7489	2.9807
เชื้อที่ 6	2.0562	4.0494	7.0690	4.0961	2.9807
เชื้อที่ 7	4.6841	11.7064	2.7495	6.9111	2.9807
เชื้อที่ 8	2.9076	3.2772	8.0397	4.2088	2.9807
เชื้อที่ 9	2.2321	4.9101	1.9428	2.9766	2.9807
เชื้อที่ 10	7.5979	3.2705	9.2731	6.3090	2.9807
เชื้อที่ 11	2.0904	1.1527	3.8177	2.2827	2.9807
เชื้อที่ 12	1.7044	10.9027	4.2403	5.1583	2.9807
เชื้อที่ 13	2.8719	4.3005	10.2707	5.7076	2.9807
เชื้อที่ 14	4.7995	4.8839	1.5236	3.5711	2.9807
เชื้อที่ 15	5.8343	4.6667	13.5593	7.6609	2.9807
เชื้อที่ 16	1.5271	1.7090	9.8977	4.9342	2.9807
เชื้อที่ 17	14.3362	5.0434	3.4622	7.9024	2.9807
เชื้อที่ 18	3.2596	6.3450	10.1086	6.3167	2.9807
เชื้อที่ 19	5.9480	10.0895	4.0969	6.6341	2.9807
เชื้อที่ 20	2.1397	3.0787	5.2466	3.2893	2.9807
เชื้อที่ 21	4.0829	3.8728	4.6654	4.2138	2.9807
เชื้อที่ 22	2.7972	2.3296	4.0408	2.9916	2.9807
เชื้อที่ 23	5.5882	1.9502	3.6923	3.5184	2.9807
เชื้อที่ 24	5.2950	8.6616	2.6175	5.5225	2.9807

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การ ย่อยสลาย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	% น้ำหนัก เฉลี่ย	SD
เชื้อที่25	4.0845	2.3690	5.1521	4.0699	2.9807
เชื้อที่26	6.1258	2.1181	5.6771	4.6117	2.9807
เชื้อที่27	14.4379	3.4818	20.6884	12.5085	2.9807
เชื้อที่28	3.2341	3.8555	3.0110	3.3315	2.9807
เชื้อที่29	3.3391	8.9941	2.2903	4.7919	2.9807
เชื้อที่30	4.7191	3.5031	4.9228	4.3758	2.9807
เชื้อที่31	7.4550	2.4524	8.6609	6.5147	2.9807
เชื้อที่32	7.5589	3.2710	2.0382	4.2231	2.9807
เชื้อที่33	3.5168	1.9050	7.2727	4.3941	2.9807
เชื้อที่34	1.6745	3.3485	3.8771	3.0019	2.9807

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ 1ค แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก

โดยจุลินทรีย์ในดิน

Source of variation	SS	df	MS	F	Significant
Corrected model	44.904 ^a	1	4.49	0.865	0.590
Intercept	805.632	1	805.632	155.269	0.000
ความเข้มข้น	4.977	1	4.977	0.959	0.353
แหล่ง	39.927	9	4.436	0.855	0.590
ความคลาดเคลื่อน	46.698	9	5.189		
รวม	897.234	20			
Corrected Total	91.602	19			

ตารางที่ 2ค แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกในดิน

Source of variation	SS	df	MS	F	Significant
Corrected model	161.440 ^a	14	11.531	1.634	0.106
Intercept	1940.607	1	1940.607	275.006	0.000
แหล่ง	125.515	9	13.946	1.976	0.065
ซ้ำ	35.925	5	7.815	1.018	0.418
ความคลาดเคลื่อน	317.547	45	7.057		
รวม	2419.594	60			
Corrected Total	478.987	59			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3ค แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก
ในแหล่งน้ำธรรมชาติ

Source of variation	SS	df	MS	F	Significant
Corrected model	287.027 ^a	12	23.919	1.778	0.092
Intercept	2145.372	1	2145.372	159.454	0.000
แหล่ง	180.955	7	25.851	1.921	0.096
ช่วง	106.072	5	21.214	1.577	0.192
ความคลาดเคลื่อน	470.906	35	13.454		
รวม	2903.304	48			
Corrected Total	757.933	47			

ตารางที่ 4ค แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของการทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายเชื้อที่ได้
จากตัวอย่างดิน

Source of variation	SS	df	MS	F	Significant
Corrected model	616.607 ^a	35	17.617	1.322	0.163
Intercept	2981.971	1	2981.971	223.750	0.000
เชื้อ	593.939	33	17.998	1.350	0.149
ซ้ำ	22.667	2	11.334	.850	0.432
ความคลาดเคลื่อน	879.599	66	13.327		
รวม	4478.177	102			
Corrected Total	1496.205	101			

ค่า Significant ที่มากกว่า 0.05 หมายถึงค่าที่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่า Significant ที่น้อยกว่า 0.05 หมายถึงค่าที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้