

การย่อยสลายของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยวิธีการ
ฝังกลบและวิธีการแสงยูวี-ซี

DEGRADATION OF BIODEGRADABLE POLYMER FROM LANDFILL AND
UV-C DEGRADATION METHODS

นายศุภลัทธิ ยอดเมือง รหัส 55365555

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	
วันลงทะเบียน	02 ก.พ. 2551
เลขทะเบียน	17222373
เลขเรียกหนังสือ	15

ศ 135 ก
2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2559



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ การย่อยสลายของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยวิธีการฝังกลบ
และวิธีการแสงยูวี-ซี
ผู้ดำเนินโครงการ นายศุภสิทธิ ยอดเมือง รหัส 55365555
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ นฤมล สีพลไกร
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ นฤมล สีพลไกร)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชวลีพรย์ ป่าไร่)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การย่อยสลายของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยวิธีการฝังกลบ และวิธีการแสงยูวี-ซี
ผู้ดำเนินโครงการ	นายศุภลัทธิ ยอดเมือง รหัส 55365555
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ณมล สีพลไกร
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

การศึกษาการสลายตัวของพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) และ พอลิแลคติกแอซิด (PLA) โดยใช้วิธีการฝังกลบและวิธีการแสงยูวี-ซี โดย พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ พอลิแลคติกแอซิด เตรียมโดยการฉีดขึ้นงานรูปดัมเบลล์ขนาด $0.8 \times 5.6 \times 0.4 \text{ cm}^3$ พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์เทียบกับระหว่างการฝังกลบและกล่องรังสี UV-C ทดสอบในช่วงเวลา 20 สัปดาห์โดยศึกษาการดูดซึมน้ำการละลายน้ำการทดสอบแรงดึงและสมบัติการยึดตัว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแสงยูวี-ซีเป็นผลดีต่อการลดคุณสมบัติของพอลิเมอร์

พอลิแลคติกแอซิดสูญเสียสมบัติแรงดึงของพวกเขเร็วพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต(สัปดาห์ที่ 6, 10 ตามลำดับ) ทั้งพอลิเมอร์มีการสูญเสียมวลและการดูดซึมน้ำ แต่ พอลิแลคติกแอซิด เร็วกว่า พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต สมบัติเชิงกลจากวิธีการฝังกลบของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เริ่มสูญหายสมบัติเชิงกลในสัปดาห์ที่ 6 และ พอลิแลคติกแอซิด เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ผลลัพธ์นี้อาจใช้สำหรับการออกแบบเวลาที่สามารถย่อยสลายได้สำหรับการใช้งานพลาสติกชีวภาพ

Project title	Degradation of biodegradable Polymer from landfill and UV-C Degradation Methods
Name	Mr. Supasit Yodmuang ID. 55365555
Project advisor	Ms. Narumon Seeponkai
Major	Materials Engineering
Department	Industrial Engineering
Academic year	2016

Abstract

Degradation test of biodegradable plastic, poly(butylene succinate) (PBS) and poly(lactic acid) (PLA) using landfill and UV-C effects were studied. PBS and PLA were prepared by injected to the dumbbell size $0.8 \times 5.6 \times 0.4 \text{ cm}^3$. The degradation behaviors in landfill and UV box were investigated in 20 weeks base on water uptake, water soluble, tensile test and elongation. The results showed that, UV radiation was a strong effect to degrade polymer properties.

PLA lost their tensile properties earlier than PBS (week 6, 10 respectively). Both of polymer were mass lost and water absorption, but PLA faster than PBS polymer. Mechanical properties PBS from landfill method. PBS began to lost in mechanical properties in week 6, PLA changed rapidly during Week 2. This results might be use for design the degradable time for smart biodegradable plastic applications.

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยเรื่องนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ณฤมล สืพลไกร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้
ความรู้คำปรึกษา และข้อแนะนำในการค้นหาข้อมูล และช่วยเหลือให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ
อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงการ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดระหว่างการทำ
โครงการและสนับสนุนการทำงาน ขอขอบพระคุณ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์, อาจารย์ชุตีพรย์ ปาไร่
นอกจากนี้ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร ในที่คอยช่วยเหลือในการทำวิจัยนี้

ผู้จัดทำวิจัย

นายศุภลัทธิ ยอดเมือง

พฤษภาคม 2560



สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ณ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตในการดำเนินงาน.....	2
1.5 สถานที่ดำเนินโครงการ.....	2
1.6 ระยะเวลาดำเนินโครงการ.....	2
1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....

2.1 พลาสติกชีวภาพ.....	4
2.2 พลาสติกย่อยสลายได้.....	5
2.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ.....	6
2.4 การศึกษาการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพลาสติกชีวภาพ.....	9

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene Succinate; PBS)	10
2.6 พอลิแลคติกแอซิด (polylactic : PLA).....	11
2.7 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต	13
2.8 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพอลิแลคติกแอซิด	13
2.9 เครื่องมือในการขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบชิ้นงาน	15
2.10 ทดสอบสมบัติของชิ้นงาน	17
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	20
3.1 การเตรียมชิ้นงาน	20
3.2 การเตรียมบ่อฝังกลบและตู้อบแสง (UV).....	21
3.3 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในการทำโครงการ	22
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ	22
3.5 วิธีการทดลอง	23
3.6 วิธีการดำเนินงาน.....	24
3.7 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	26
4.1 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต	26
4.2 พอลิแลคติกแอซิด	32
4.3 เปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไปของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับ พอลิแลคติกแอซิด.....	35
4.4 เปรียบเทียบการย่อยสลายของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ พอลิแลคติกแอซิด	37
ที่ช่วงเวลา 20สัปดาห์	

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปหรือข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนา	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก ก.....	44
ภาคผนวก ข.....	56
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	58



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ	3
2.1 ชนิดและผลิตภัณฑ์ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติและปิโตรเคมี	4
4.1 แสดงสมบัติ และ การเปลี่ยนแปลงของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต 20 สัปดาห์.....	26
4.2 แสดงสมบัติ และ การเปลี่ยนแปลงของพอลิแลคติกแอซิด 20 สัปดาห์	32
ข.1 สมบัติเชิงกลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต 20 สัปดาห์	57



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (ก) สมการ Norrish 1, (ข) สมการ Norrish 2.....	8
2.2 โครงสร้างทางเคมีของพอลิবিที่ลีนซัคซิเนต.....	10
2.3 แหล่งสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตพอลิবিที่ลีนซัคซิเนต.....	11
2.4 โครงสร้างพอลิแลคติกแอซิด.....	12
2.5 การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด.....	13
2.6 ก).การเกิดปฏิกิริยาของแกนหลัก C-O ข). Photooxidation of PLA นำไปสู่การก่อตัวของ อนุพันธ์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	15
2.7 เส้นทางหลักของพอลิแลคติกแอซิด photooxidation.....	15
2.8 เครื่องฉีดขึ้นรูป.....	16
2.9 เครื่องอบลมร้อน.....	16
2.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	16
2.11 ตู้อบแสง UV-C.....	17
3.1 พลาสติกชนิด พอลิবিที่ลีนซัคซิเนต.....	20
3.2 พลาสติกชนิด พอลิแลคติกแอซิด.....	20
3.3 ขนาดของบ่อฝังกลบ.....	21
3.4 การจัดวางชิ้นงานในบ่อฝังกลบ.....	21
3.5 ตู้อบแสง ยูวี-ซี.....	22
3.6 การจัดวางชิ้นงานในตู้อบแสง ยูวี-ซี.....	22
3.7 วิธีการดำเนินงาน.....	24

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 กราฟการทดสอบการดูดซึมน้ำของพอลิไวนิลีนซัคซิเนตที่ใช้วิธีการฝึกลบและวิธีการแสง ยูวี-ซี.....	29
4.2 กราฟทดสอบน้ำหนักที่หายไปของพอลิไวนิลีนซัคซิเนตที่ใช้วิธีการฝึกลบและวิธีการแสง ยูวี-ซี.....	30
4.3 กราฟแสดงการทดสอบการต้านทานแรงดึงของพอลิไวนิลีนซัคซิเนต.....	31
4.4 กราฟลักษณะการยืดของพอลิไวนิลีนซัคซิเนต.....	31
4.5 กราฟการทดสอบการดูดซึมน้ำของพอลิแลคติกแอซิดที่ใช้วิธีการฝึกลบ และ วิธีการแสง ยูวี-ซี.....	34
4.6 กราฟการทดสอบน้ำหนักที่หายไปของพอลิแลคติกแอซิด วิธีการฝึกลบและวิธีการยูวี-ซี.....	35
4.7 กราฟการทดสอบน้ำหนักที่หายไป(วิธีการฝึกลบ).....	36
4.8 กราฟการทดสอบน้ำหนักที่หายไป(วิธีการยูวี-ซี).....	36
4.9 PBS สัปดาห์ที่ 4.....	37
4.10 PBSสัปดาห์ที่ 10.....	37
4.11 PBSสัปดาห์ที่ 16.....	37
4.12 PBS สัปดาห์ที่ 2.....	38
4.13 PBSสัปดาห์ที่ 8.....	38
4.14 PLA สัปดาห์ที่ 2.....	39
4.15 PLA สัปดาห์ที่ 14.....	39
4.16 PLA สัปดาห์ที่ 12.....	39
4.17 PLA สัปดาห์ที่ 4.....	40
4.18 PLA สัปดาห์ที่ 6.....	40
4.19 PLA สัปดาห์ที่ 10.....	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.1 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 2 (ฝังกลบ)	45
ก.2 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 4 (ฝังกลบ)	45
ก.3 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 6 (ฝังกลบ)	45
ก.4 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 8 (ฝังกลบ)	46
ก.5 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 10 (ฝังกลบ)	46
ก.6 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 12 (ฝังกลบ)	46
ก.7 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 16 (ฝังกลบ)	47
ก.8 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 20 (ฝังกลบ)	47
ก.9 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 2 (แสงยูวี-ซี)	47
ก.10 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 4 (แสงยูวี-ซี)	48
ก.11 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 6 (แสงยูวี-ซี)	48
ก.12 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 8 (แสงยูวี-ซี)	48
ก.13 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 10 (แสงยูวี-ซี)	49
ก.14 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 12 (แสงยูวี-ซี)	49
ก.15 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 16 (แสงยูวี-ซี)	49
ก.16 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 20 (แสงยูวี-ซี)	50
ก.17 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 2 (ฝังกลบ)	50
ก.18 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 4 (ฝังกลบ)	50
ก.19 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 6 (ฝังกลบ)	51
ก.20 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 8 (ฝังกลบ)	51
ก.21 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 10 (ฝังกลบ)	51
ก.22 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 12 (ฝังกลบ)	52

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.23 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 16 (ฝังกลบ)	52
ก.24 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 20 (ฝังกลบ)	52
ก.25 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 2 (แสงยูวี-ซี)	53
ก.26 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 4 (แสงยูวี-ซี)	53
ก.27 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 6 (แสงยูวี-ซี)	53
ก.28 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 8 (แสงยูวี-ซี)	54
ก.29 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 10 (แสงยูวี-ซี)	54
ก.30 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 12 (แสงยูวี-ซี)	54
ก.31 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 16 (แสงยูวี-ซี)	55
ก.32 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 20 (แสงยูวี-ซี)	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันปัญหาของพลาสติกที่ใช้แล้ว หรือพลาสติกที่มีการปนเปื้อน จะเป็นปัญหาที่สำคัญ และรวมไปถึงเป็นมลภาวะของโลก เนื่องจากพลาสติกมีการใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลกและมีอัตราที่สูงขึ้นตลอดเวลา ซึ่งตัวพลาสติกเองมีการย่อยสลายตัวได้ช้ามาก บางส่วนนั้นถูกนำกลับมาใช้ใหม่ และ ในขณะที่บางส่วนไม่สามารถนำกลับมาใช้จึงทำให้เกิดเป็นขยะโดยการทิ้งตามพื้นดินหรือเผาทำลายจากปัญหาดังกล่าวแนวทางหนึ่งในการแก้ไขคือ การนำพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้ประโยชน์แทนพลาสติกสังเคราะห์โดยพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายในระยะเวลาสั้นและไม่มีค่าความเป็นพิษในสิ่งแวดล้อมแต่อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีการส่งเสริมให้มีการใช้งานเมื่อถูกทิ้งให้เป็นขยะจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสมแม้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะสามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ แต่ถ้าไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสมก็จะทำให้เกิดปัญหาการสะสมของขยะพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้โดยพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพถูกออกแบบมา เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้เฉพาะ ก่อให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการ ซึ่งสามารถวัดการย่อยสลายได้โดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับพลาสติก และการใช้งานในช่วงเวลาหนึ่ง ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้ในการระบุชนิดประเภทพลาสติกย่อยสลายได้ สามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายออกเป็น 5 ประเภท คือ การย่อยสลายได้โดยแสง การย่อยสลายทางกล การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากการย่อยสลายทั้งสองชนิดนี้สามารถนำไปเป็นต้นแบบของการย่อยสลายของพลาสติกในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งสามารถทำได้ด้วยตนเอง

พลาสติกที่นำมาวิจัย เป็นพลาสติกย่อยสลายชนิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene Succinate) และ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid) โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษาโดยการนำพลาสติกไปฝังลงดินทำให้เกิดการย่อยสลายตัวได้เป็นสภาวะการย่อยสลายทางชีวภาพ และ การย่อยสลายโดยใช้แสงยูวี-ซี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของแสงที่มีผลต่อการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการฝังกลบที่มีผลต่อการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกล ที่เปลี่ยนแปลงหลังการทดสอบ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทำให้ทราบวิธีการที่เหมาะสมในการย่อยสลายของพลาสติก
- 1.3.2 ทำให้ทราบเกี่ยวกับพฤติกรรมหรือสมบัติต่างๆเมื่อพลาสติกถูกย่อยสลาย
- 1.3.3 อาจจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดขยะจากพลาสติกที่เป็น พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ พอลิแลคติกแอซิด

1.4 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1. ทบทวนวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2. เตรียมชิ้นงานด้วยการฉีดพลาสติก
- 1.4.3. ชิ้นงานไปทำการฝังกลบ และ นำไปใส่ในตู้อบแสงยูวี-ซี
- 1.4.4. ทดสอบสมบัติที่เปลี่ยนแปลงหลังการทดสอบ
 - สมบัติทางกายภาพเช่น สี การเปลี่ยนแปลงของชิ้นงาน
 - ทดสอบสมบัติเชิงกล เช่น การทดสอบแรงดึง น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง

1.5 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

เดือนสิงหาคม 2559 ถึง เดือน พฤษภาคม 2560

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติกชีวภาพ [1]

พลาสติกชีวภาพ คือ พลาสติกที่ผลิตมาจากวัตถุดิบปลูกขึ้นใหม่ทดแทนได้ เช่น พืช สัตว์ เป็นต้น และจากกระบวนการบ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ส่วนใหญ่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติโดยไม่มีสารที่เป็นอันตรายตกค้างในสิ่งแวดล้อมพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ พลาสติกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจากวัตถุดิบธรรมชาติได้จากกระบวนการบ่มเลี้ยงจุลินทรีย์และอุตสาหกรรมทางปิโตรเคมี (ตารางที่ 2.1) เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมภายใต้สภาวะที่มีปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลาย เช่น แสง ออกซิเจน จุลินทรีย์ เป็นต้นแล้วสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และสูญเสียสมบัติประการภายในระยะเวลาอันสั้นตัวอย่างเช่น พอลิแลคติกแอซิด และสารกลุ่ม พอลิเบต้าไฮดรอกซีชีวิเรท (PHB) เป็นต้น พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จะเกิดการแตกสลายทางชีวภาพ อย่างสมบูรณ์ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นจะไปเป็นแหล่งอาหาร เพื่อสร้างพลังงานในการเจริญของเซลล์ จนได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและชีวมวล ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.1 ชนิดและผลิตภัณฑ์ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติและปิโตรเคมี [2]

แหล่งของวัตถุดิบ	ชนิดของพอลิเมอร์	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
ธรรมชาติ (renewable-based)	จากพืชหรือสัตว์: แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง ไคติน (เปลือกหอย)	ถ้วย จาน ชามและกล่องใช้- อาหาร
	จากจุลินทรีย์หรือพืช: สารกลุ่มพอลิไฮดรอกซีแอลคาโนเอต (polyhydroxyalkanoate : PHA) เช่น พอลิ-เบต้า-ไฮดรอกซีชีวิเรท	ผลิตภัณฑ์ประเภทขวดน้ำดื่ม แผ่นฟิล์ม
	สังเคราะห์จากกระบวนการทางชีวภาพ: พอลิแลคติกแอซิด	ถุงแทนที่เส้นที่ไหม้ไหม กระดาษ
	Aliphatic polyester : พอลิไฮโดร โกลิก (polyhydroxy acid : PGA)	เย็บที่เส้นที่ใช้ทางการแพทย์
	พอลิคาโปรแลคโตน (polycaprolactone : POL)	บรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับนม
ปิโตรเคมี (petroleum-based)	Aromatic Polyester : พอลิบิฟทาเลต (poly (bistylene succinate) : PBS)	บรรจุภัณฑ์ประเภท ขวด
	พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate : PET)	
	พอลิโพรพิลีน เทเรฟทาเลต (polypropylene terephthalate : PPT)	

2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ [3]

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ (Degradable plastic) หมายถึง พลาสติกที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมก่อให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการที่สามารถวัดได้โดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับพลาสติกและการใช้งานในช่วงเวลาหนึ่ง ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้ในการระบุชนิด และประเภทของวัสดุย่อยสลายได้ โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกได้เป็น 5 ประเภท คือ

2.2.1 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation)

การย่อยสลายทางกลคือการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นพลาสติกแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในกระบวนการรีไซเคิล

2.2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางเคมีโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

(Oxidativelydegradableplastic)

การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความชื้น แสงยูวี-ซี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความชื้น ทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO• และไฮดรอกซิลเรดิคัล (•OH) ที่ไม่เสถียร และเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกพันธะและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว

2.2.3 พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytically degradable plastics)

พลาสติกย่อยสลายได้โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นกับพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอมไนด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน เป็นต้น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งประเภทแรกสามารถ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย ซึ่งมี 2 ชนิด คือตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ ชนิดต่างๆเช่น ดีพอลิเมอร์เรสไลเปสเอสเทอเรสและไกลโคไฮโดรเลส เป็นต้น ในกรณีนี้จัดเป็น การย่อย

สลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น โลหะแอลคาไลด์เบส และกรดที่มีอยู่ในสถานะแวดล้อมในธรรมชาติในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี

2.2.4 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์ทางชีวภาพจากการทำงานของจุลินทรีย์มีกระบวนการ 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นแรก เป็นการย่อยสลายให้โมเลกุลแตกพันธะเรียกว่า ขั้นตอนพอลิ-เมอร์ไรเซชัน (Depolymerization) ซึ่งเกิดภายนอกสิ่งมีชีวิตเช่น แบคทีเรียหรือรา จุลินทรีย์ใช้เอนไซม์ สลายสายโซ่โมเลกุลทั้งแบบ Endo (ตัดพันธะแบบสุ่ม) และ แบบ Exo (ตัดพันธะจากมอนอเมอร์ปลายสุดก่อนอย่างมีลำดับ) จนได้โมเลกุลที่เล็กลง จากนั้นเข้าสู่ขั้นที่สอง คือ มิเนอไรเซชัน (Mineralization) โดยสารประกอบที่ได้จากการย่อยจากขั้นแรกจะเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ แล้วถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูป ATP กลายเป็นก๊าซต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) น้ำเกลือต่างๆ และชีวมวล (Biomass) เป็นต้น ประสิทธิภาพของการย่อยสลายขึ้นอยู่กับชนิดพอลิเมอร์ชนิดของจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ออกซิเจน ความชื้นและอุณหภูมิ

2.2.5 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradable plastic)

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยแสงเมื่อรับพลังงานจากแสงยูวี-ซีเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะหรือสถานะแวดล้อมอื่นที่มีดหรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการฉาบด้วยหมึกที่ทนมากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกไม่ได้สัมผัสกับแสงยูวี-ซีโดยตรง

2.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ [4]

การย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในธรรมชาติกับอินทรีย์วัตถุทุกชนิด โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน

ตอนที่1 เกิดการแตกสลายตัวของอินทรีย์วัตถุด้วยสิ่งที่ไม่มีชีวิตเช่นอุณหภูมิความชื้นและแสง เป็นต้นซึ่งจะมีผลทำให้พลาสติกชีวภาพเกิดการสูญเสียสมบัติทางกลเกิดการแตกร้าว

ตอนที่ 2 เกิดการย่อยสลายด้วยสิ่งมีชีวิต คือ จุลินทรีย์ซึ่งมีบทบาทสำคัญ ต่อการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เพราะจุลินทรีย์จะนำอินทรีย์วัตถุที่เกิดการสลายตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กเข้าสู่เซลล์โดยการผลิตและปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์เพื่อย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในรูปอินทรีย์คาร์บอนให้มีขนาดเล็กพอที่จะสามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เข้าไปภายในเซลล์ จากนั้น จะถูกเอนไซม์ที่อยู่ ภายใน

เซลล์ เปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน เกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมขึ้นภายในเซลล์ จุลินทรีย์ ถ้าอินทรีย์คาร์บอนนั้นถูกเปลี่ยนไปเป็นโพรโตพลาสติกคาร์บอนจะเรียกกระบวนการนี้ว่า “คาร์บอนแอสซิมิเรชัน” แต่ถ้าเกิดการเผาผลาญจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ กระบวนการนี้จะเรียกว่า “มิเนอรอลไลเซชัน”

2.3.1 การย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในดิน [5]

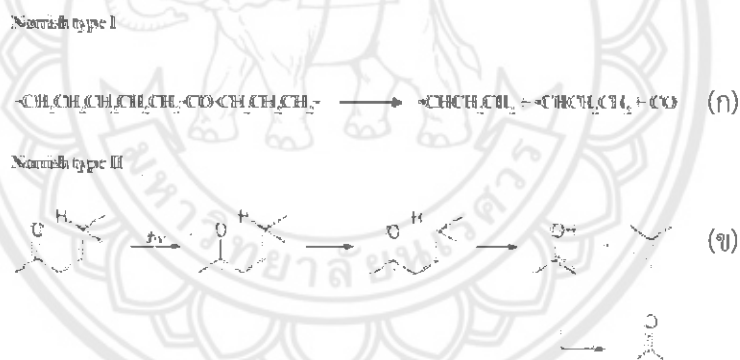
พลาสติกย่อยสลายได้จัดว่าเป็นวัสดุอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีกลไกการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับสภาวะการย่อยสลายซึ่งในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ ส่วนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จะเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และน้ำ ซึ่งในการวัดกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์โดยใช้วิธีการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกปล่อยออกมาหรือวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปโดยวิธีวัดปริมาณ (CO_2) ที่ถูกปล่อยออกมาโดยตรงหรือวัดปริมาณ (O_2) ที่ถูกใช้ไปวิธีนี้นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะเป็นวิธีที่ง่ายสะดวกและผลที่ได้มีความถูกต้องที่สุด ส่วนวิธีที่สองมีข้อเสียในขณะที่ย่อยสลายตัวจะมีการสังเคราะห์สารบางอย่างขึ้น โดยเฉพาะการสังเคราะห์ส่วนประกอบของเซลล์ ซึ่งค่าที่วัดได้ทั้งทางเคมีหรือการชั่งน้ำหนักค่าจะมากกว่าความเป็นจริง และวิธีที่สามคือ การวัดค่าสารประกอบอินทรีย์สารใดสารหนึ่งมีข้อเสียหลายประการ คือ ต้องใช้วิธีสกัดหรือแยกสารบริสุทธิ์ และวิธีวิเคราะห์ที่ยุ่งยากมาก มักประสบปัญหาเกี่ยวกับอัตราการย่อยสลายของสารเหล่านั้น จึงทำให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าที่ไม่ตรงกับวิธีที่หนึ่ง

2.3.2 พลาสติกที่ย่อยสลายด้วยแสง [6]

พลาสติกที่ย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradable plastic) เกิดการแตกพันธะของพอลิเมอร์ภายใต้แสงยูวี-ซี หรือเมื่อได้รับแสงแดดเป็นเวลานานๆ แสงยูวี-ซีทำให้พันธะเคมีแตกเหลือสารประกอบที่แข็งแรง มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งสามารถย่อยสลายต่อไปด้วยความเค้นทางกายภาพ การย่อยสลายนี้นับกับปัจจัยหลายอย่างเช่น ฤดูกาล ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ความสกปรกและน้ำ เป็นต้น เมื่อพลาสติกได้รับพลังงานแสงแดดซึ่งเป็นพลังงานรูปหนึ่งโมเลกุลของพลาสติกสามารถดูดกลืนพลังงานแสงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Photo-oxidation) ทำให้สมบัติเชิงกลและกายภาพของพลาสติกเสื่อมลง และยังเป็นการช่วยให้จุลินทรีย์ย่อยสลายพอลิเมอร์ได้ง่ายขึ้นด้วยเพราะปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง และมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลเกิดขึ้น

2.3.2.1 ปัจจุบันวิธีที่ช่วยให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพด้วยแสงมี 2 วิธี [7]

2.3.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์ ให้มีหมู่ดูดกลืนแสงเช่นการเพิ่มหมู่คาร์บอนิล (C=O) เข้าไปในโครงสร้างซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนสูงตัวอย่างเช่น Ecolyte เป็นโคพอลิเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอนิลอยู่ จึงดูดกลืน ช่วงแสงยูวี-ซีทำให้เกิดออกซิเดชันง่ายขึ้นหลังจากออกซิเดชันแล้วพลาสติกย่อยสลายตัวได้ง่ายขึ้นอีกชนิดคือ E/CO Copolymer (เอทิลีน/หมู่คาร์บอนิลโคพอลิเมอร์)ผลิตจากหลายบริษัทรวมทั้ง E.I. Dupont ซึ่งผลิตจำหน่ายในปี ค.ศ.1970 ปริมาณของหมู่คาร์บอนิลในโคพอลิเมอร์เป็นตัวกำหนดสมบัติของพลาสติกและความไวต่อแสงยูวี-ซี การมีหมู่คาร์บอนิลเล็กน้อย ทำให้ความหนาแน่นของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นและหากหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16 พอลิเมอร์จมในน้ำ ความเสถียรทางความร้อนขึ้นกับปริมาณหมู่คาร์บอนิลเช่นกัน หากมีอยู่ร้อยละ 5 ค่อนข้างเสถียรเมื่ออุณหภูมิค่อยๆ เพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีร้อยละ 13 จะลดความเสถียรของ E/CO Copolymer ระหว่างทำการขึ้นรูปหมู่คาร์บอนิลดูดกลืนแสงยูวี-ซีแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยานอร์ริชแบบที่ 1 (Norrish type I) สลายให้คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งมีอนุมูลอิสระสองอนุมูลหรือเกิดปฏิกิริยานอร์ริชแบบที่ 2 (Norrish type II) เกิดการจัดโมเลกุลใหม่ส่งผลให้โซ่หลักแตกพันธะเกิดเมทิลคีโตนและปลายโซ่ที่มีพันธะคู่ดังสมการ



รูปที่ 2.1 (ก) สมการ Norrish 1, (ข) สมการ Norrish 2

2.3.2.1.2 การเติมสารไวแสง (Photo-initiator หรือ UV absorber) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำช่วยเร่ง การย่อยสลายโดยแสง ตัวอย่างสารเหล่านี้ได้แก่ สารประกอบโลหะทรานซิชัน (Transition metal) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เอมีน ฟีนอล และ เม็ดสี เป็นต้น เมื่อเติมลงในพลาสติกทำให้พลาสติก มีอายุการใช้งานระยะเวลานานขึ้นก่อนที่จะเสื่อมสภาพ

2.4 การศึกษาการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพลาสติกชีวภาพ [8]

การศึกษาการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพลาสติกชีวภาพสามารถตรวจสอบได้หลายวิธี เพื่อเป็นการประเมินการย่อยสลายของตัวอย่างพลาสติกทดสอบ โดยมีวิธีการในการตรวจสอบดังนี้

2.4.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

2.4.1.1 การสังเกตด้วยตาเปล่า (visual observations)

เป็นการประเมินผลของการเปลี่ยนแปลงของพลาสติกชีวภาพที่มองเห็นได้ โดยสังเกตจากพื้นที่ผิวขรุขระเป็นหลุมหรือมีรอยแตกการเปลี่ยนแปลงของสีหรือการก่อตัวของไบโอฟิล์มบนพื้นผิว การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ไม่ได้แสดงถึงกระบวนการย่อยสลาย แต่เป็นพารามิเตอร์ที่ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของพลาสติกชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning electron microscopy (SEM) ,กล้องจุลทรรศน์ Atomic force microscopy (AFM) , เครื่อง Fourier transforminfrared spectroscopy (FTIR) , เครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) , เครื่อง Nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR) และ เครื่อง X-ray photoelectron spectroscopy เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้เราจะใช้เครื่อง FTIR มาทดสอบชิ้นงาน

2.4.1.2 การตรวจวัดน้ำหนักที่สูญหายไป (weightlossmeasurements)

เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการศึกษาการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพลาสติกชีวภาพ เพราะจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างพลาสติกชัดเจนสามารถศึกษาได้กับตัวอย่างที่เป็นแผ่นแต่มีข้อด้อย คือต้องใช้ความชำนาญ และระมัดระวังในขั้นตอนการทำความสะอาดก่อนการวัดผล และในกรณีที่เกิดการย่อยสลายมากจะทำการตรวจสอบที่ยากขึ้น

2.4.1.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและมวลโมเลกุล (changesinmechanical properties and molar mass)

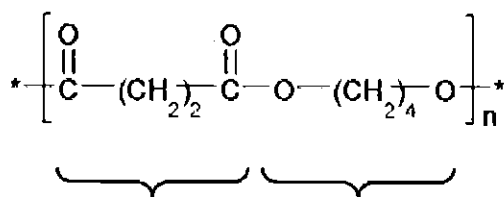
เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างพลาสติกชีวภาพ ที่เกิดขึ้นหลังการย่อยสลาย โดยสมบัติ ทางกลบางอย่าง เช่น การทนต่อแรงดึง (tensile strength) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นแต่อย่างก็ตามการตรวจสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 วิธี เป็นการประเมินการย่อยสลายทางกายภาพ ซึ่งอาจเป็นการย่อยสลายที่เกิดขึ้นจากปัจจัยที่ไม่มีชีวิต

2.4.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

เป็นการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้ก๊าซออกซิเจน (CO_2 evolution/ O_2 consumption) เพื่อศึกษาการย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่สามารถบ่งชี้ได้ว่าเป็นการย่อยสลายที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งจุลินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพลาสติกชีวภาพ แม้จะเป็นศึกษาทางอ้อม แต่สามารถประเมินการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์และในที่นี้พลาสติกชีวภาพก็เป็นอินทรีย์วัตถุนิดหนึ่งเช่นกัน

2.5 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene Succinate; PBS) [9]

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (polybutylene succinate หรือ PBS) เป็นพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงดังแสดงในรูปที่ 2 ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาการควบแน่นของกรดซัคซินิกและ 1,4 -บิวเทนไดออล โดยกรดซัคซินิกและ 1,4-บิวเทนไดออล เป็นมอนอเมอร์ ดั้งเดิมที่ใช้ในการผลิต PBS โดยในปัจจุบันมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเคมี โดยเริ่มจากก๊าซบิวเทนถูกเปลี่ยนไปเป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์จากนั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดซัคซินิก และ 1,4-บิวเทนไดออลต่อไป อย่างไรก็ตาม กรดซัคซินิกยังสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้ จากกระบวนการทางชีวภาพโดยการหมัก และสามารถเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิต 1,4-บิวเทนไดออล โดยผ่านการเตรียมเป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์ก่อน ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นมอนอเมอร์ทั้งสอง คือ กรดซัคซินิก และ 1,4-บิวเทนไดออล จะเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นแล้วเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ยาวของ PBS

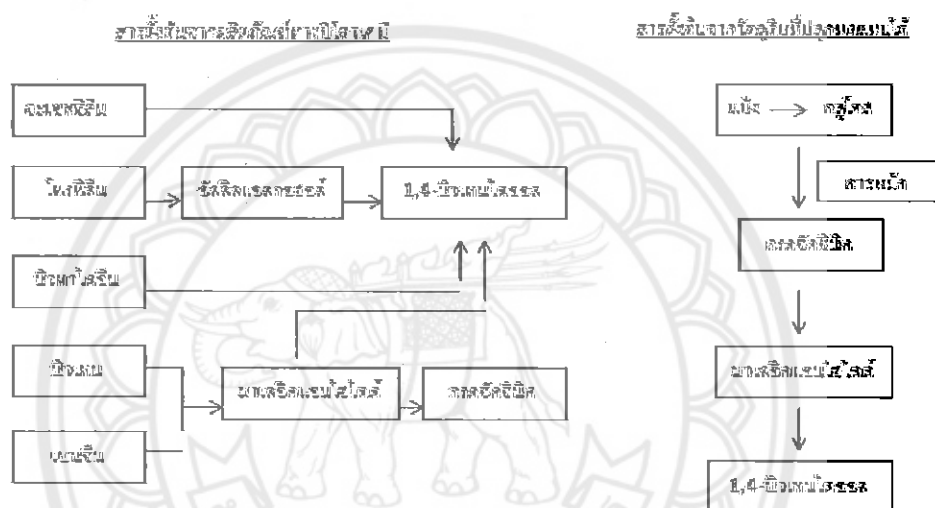


กรดซัคซินิก 1,4-บิวเทนไดออล

รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

2.5.1 สมบัติของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสีขาวมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับพอลิแลคติกแอซิด มีจุดหลอมเหลวสูงมาก และมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำมากประมาณ -32 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้วพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีสมบัติเชิงกลสูงเทียบเท่ากับ พอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ทนความร้อนได้ดีถึง 200 องศาเซลเซียส โดยไม่เสียสภาพ สามารถนำไปขึ้นรูปได้ดี แล้วย้อมสีติดได้ง่าย สามารถนำไปผสมกับแป้งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลได้อีกด้วย



รูปที่ 2.3 แหล่งสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

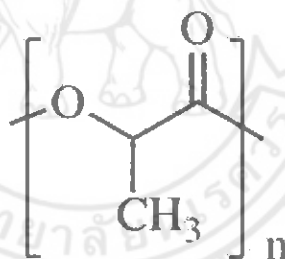
2.6 พอลิแลคติกแอซิด (polylactic : PLA)

พอลิแลคติกแอซิดมีชื่อที่ใช้เรียกหลากหลายเช่นพอลิแลคติก (polylactic) พอลิแลกไทด์ (polylactide) หรือ พีแอลเอ (PLA) เป็นต้นมีสูตรเคมีอย่างง่ายคือ $(C_3H_4O_2)_n$ มีช่วงการหลอมเหลว (melting range) 173-178 องศาเซลเซียส แต่ทนความร้อนได้ไม่เกิน 110 องศาเซลเซียส มีปริมาณความเป็นผลึกประมาณร้อยละ 37 มีอุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อยู่ระหว่าง 60-65 องศาเซลเซียสมีสมบัติขากันดีเข้ากับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตคุณสมบัติพิเศษคือมีความใสไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไปแต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมการขึ้นรูปสามารถทำได้ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกทั่วไปเช่นกระบวนการการอัดรีด (extrusion) กระบวนการฉีด (injection molding) เป็นต้นเป็นพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพผลิต

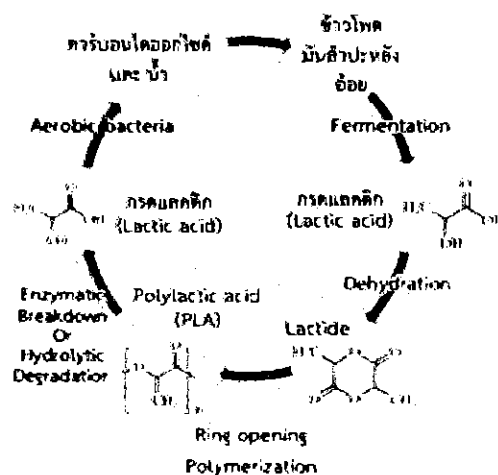
จากวัตถุดิบที่สามารถปลูกขึ้นใหม่ทดแทนได้แล้วนำมาผ่านกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพแล้วสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์พอลิแลคติกแอซิดเป็นพลาสติกชีวภาพชนิดแรกที่มีงานวิจัยรองรับและได้รับความสนใจในเชิงพาณิชย์มากที่สุดโดยพบว่ามีส่วนแบ่งทางการตลาดมากถึงร้อยละ 54

2.6.1 วงจรการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด

การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบธรรมชาติ อาทิ แป้งข้าวโพดมันสำปะหลัง เป็นต้น ถูกนำมาย่อยเปลี่ยนแปลงให้ได้เป็นน้ำตาลแล้วนำไปหมัก (fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ได้เป็นกรดแลคติกซึ่งเป็นมอนอเมอร์ในการผลิตพอลิแลคติกแอซิดจากนั้นนำกรดแลคติกที่ได้มาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเรียกว่าแลคไทด์ หลังจากนั้นนำมากลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของแลคไทด์ที่เป็นสายยาวขึ้นเป็นพอลิแลคติกแอซิดเรียกว่ากระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันเมื่อได้เป็นพอลิแลคติกแอซิดแล้วจะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆหลังการใช้งานเมื่อถูกทิ้งในสภาวะที่เหมาะสมผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจนจนได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่จะถูกพืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตแล้วให้ผลผลิตเป็นวัตถุดิบที่จะถูกนำมาใช้ในการผลิตกรดแลคติกต่อไป (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างพอลิแลคติกแอซิด



รูปที่ 2.5 การสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิด

2.7 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

การย่อยสลายของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เกิดขึ้นโดยผ่านการ Hydro- biodegradable เริ่มจากการย่อยสลายทางชีวภาพโดยผ่านกลไกของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดขึ้นที่พันธะเอสเทอร์ ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตลดลงและสามารถเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ต่อไปมีงานวิจัยระบุว่าแผ่นฟิล์มพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่มีความหนา 40 ไมครอน สามารถถูกย่อยสลายได้ถึงร้อยละ 50 ภายใน 1 เดือนในดินที่ใช้เพาะปลูกทั่วไป

2.8 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพอลิแลกติกแอซิด

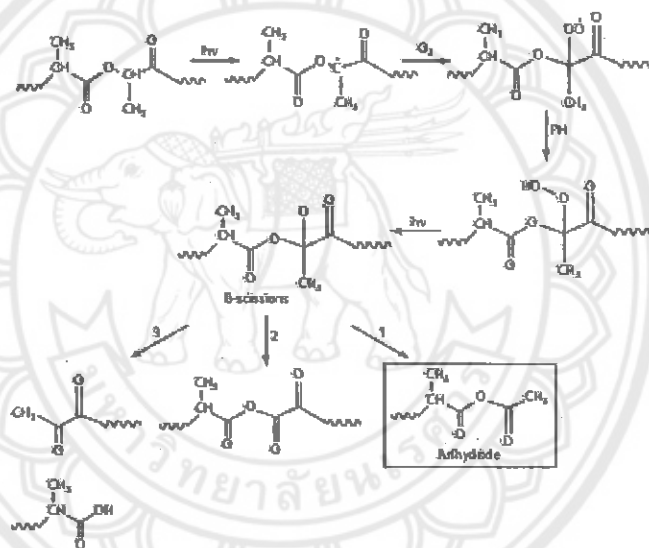
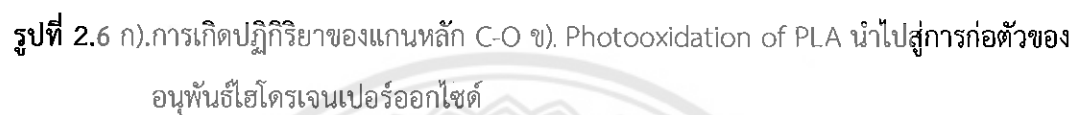
การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของ PLA สามารถย่อยสลายได้ดีในโรงหมักขยะอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่จะไม่ย่อยสลายทันทีที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจาก PLA มีอุณหภูมิการเปลี่ยนเนื้อแก้ว ใกล้เคียง 60 องศาเซลเซียส โดยขั้นตอนแรก PLA จะถูกย่อยสลายไปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ และกรดแลกติกโดยการไฮโดรไลซิสซึ่งจะเกิดขึ้นภายใน 2 สัปดาห์ สารประกอบและกรดแลกติกที่ได้จะถูกย่อยต่อไปด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยการอย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ

2.8.1 การเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอซิด [10]

การเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอซิดส่วนใหญ่เกิดจากการขาดของสายโซ่หลักหรือสายโซ่ด้านข้างของโมเลกุล ในธรรมชาติการเสื่อมสภาพเกิดจากการกระตุ้นด้วยความร้อนปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส กิจกรรมทางชีวภาพ(เช่น เอนไซม์) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การแตกสลายด้วยแสง (Photolysis) และการแตกสลายด้วยรังสี (Radiolysis) เนื่องจากการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นทั้งจากกระบวนการทางชีวภาพและกายภาพ กลไกการเสื่อมสภาพจึงมักเกี่ยวโยงไปกับการเสื่อมสภาพจากสิ่งแวดล้อม (Environmental degradation) การเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอซิดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิ น้ำหนักโมเลกุล ระดับความเป็นผลึก ความบริสุทธิ์ อุณหภูมิ สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระดับความเข้มข้นของเกลือ (Salinity) การมีอยู่ของออกซิเจน หรือปริมาณอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในระบบ ดังนั้นในการทดสอบการเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอซิดจึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย นอกจากนี้การเสื่อมสภาพยังขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางเคมีและกายภาพ เช่น อัตราการแพร่ (Diffusivity) ความเป็นรูพรุน (Porosity) สัณฐาน (Morphology) และความแข็งแรงทางกล (Mechanical strength) เป็นต้น พอลิแลคติกแอซิดสลายตัวให้คาร์-บอนไดออกไซด์และน้ำในสภาวะปุ๋ยหมักที่ถูกควบคุม (Controlled composting environment) ภายใน 90 วัน การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) ของพอลิแลคติกแอซิดและโคพอลิเมอร์เกิดขึ้นได้จากเอนไซม์ประเภทเอสเทอเรส โปรติเอสและไลเปสที่ขับออกมาจากจุลินทรีย์ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังการแตกสลายด้วยน้ำทั้งหมดของพอลิแลคติกแอซิดสามารถถูกดูดซึมได้โดยจุลินทรีย์ เช่น เห็ดราและแบคทีเรีย

2.8.2 Photooxidation of PLA [11]

รายงานข้อมูลการทดลองบางอย่างใน photodegradation ของ PLA เกี่ยวกับ photooxidation ด้วยรังสี UV ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร, PLA ผ่านกระบวนการย่อยสลายเป็นผลให้ photoproduct หลายรูปแบบและฟังก์ชันแอนไฮโดได้รับการตรวจพบ การทำ Photooxidation ดำเนินไปโดยใช้กลไกการกระจายตัวของ chain scission

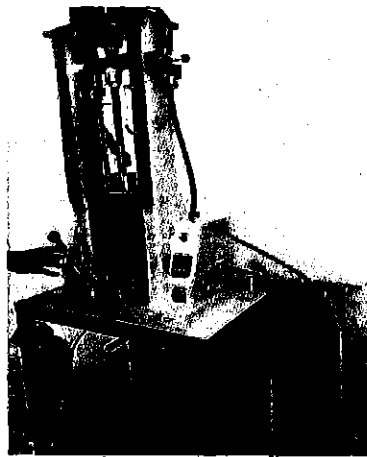


รูปที่ 2.7 เส้นทางหลักของพอลิแลคติกแอซิด photooxidation

2.9 เครื่องมือในการขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบชิ้นงาน

2.9.1 เครื่องฉีดขึ้นรูป

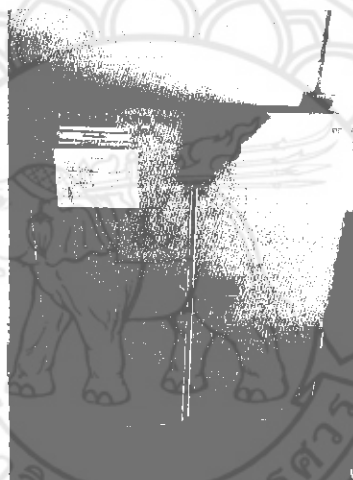
กระบวนการการผลิตชิ้นงานโดยอาศัยกรรมวิธีการเติมเม็ดพลาสติกเข้าไปในเครื่องฉีด โดยเม็ดพลาสติกจะผ่านความร้อนจนหลอมละลายเป็นของเหลว แล้วเครื่องจะทำการฉีดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์ หลังจากที่ยื่นงานปลดออกจากแม่พิมพ์ก็จะได้ ชิ้นงานตามแบบแม่พิมพ์



รูปที่ 2.8 เครื่องฉีดขึ้นรูป

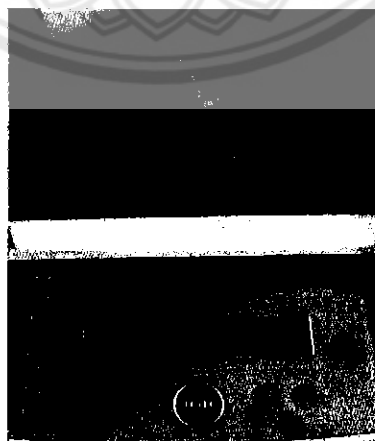
2.9.2 ตู้อบ

เป็นการไล่ความชื้นของชิ้นงานอย่างทั่วถึงโดยสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ด้วย



รูปที่ 2.9 เครื่องอบลมร้อน

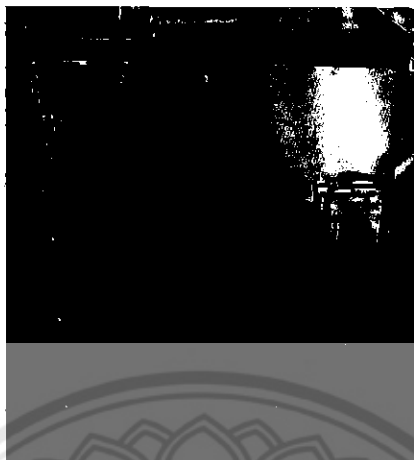
2.9.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 2.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.9.4 ตู้อบแสง UV

ตู้อบแสงอัลตราไวโอเลต (UV-C) ชนิดขนาด 10 วัตต์จำนวน 2 หลอด



รูปที่ 2.11 ตู้อบแสง UV-C

2.10 ทดสอบสมบัติของชิ้นงาน

2.10.1 ทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบความแข็งแรงดึงชิ้นงานทดสอบนำผลสามารถนำมาคำนวณค่าได้ จากสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

σ = ความเค้น (Tensile Stress) มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่หน้าตัดบริเวณตรงกลาง (N/m²)

F = แรงมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

A = พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m²)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

ϵ = ความเครียด (Tensile strain)

ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนไป (mm)

L = ความยาวเริ่มต้น (mm)

$$\gamma = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.3)$$

γ = ความแกร่ง (Tensile Modulus) มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m²)

σ = ความเค้น (Tensile Stress) มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่หน้าตัดบริเวณตรงกลาง (N/m²)

ϵ = ความเครียด (Tensile strain)

2.10.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

นำชิ้นงานตัวอย่างทำการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง หลังจากผ่านการแช่น้ำ จากนั้นหาร้อยละน้ำหนักของชิ้นงานแต่ละสูตรเพื่อหาความสามารถในการดูดซึมน้ำ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักที่เปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

2.10.3 คำนวณหาน้ำหนักที่หายไป

นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบมาชั่งน้ำหนัก หลังจากผ่านการทดสอบ และหลังจากการอบ

$$\text{ร้อยละน้ำหนักที่หายไป} = \frac{\text{น้ำหนักพลาสติกก่อนการทดสอบ} - \text{น้ำหนักพลาสติกหลังการทดสอบ}}{\text{น้ำหนักพลาสติกก่อนการทดสอบ}} \times 100$$

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรียรัตน์ บัวชื่น (2553) [12] ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในดินที่เก็บในแต่ละภูมิภาคของไทยโดยทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างดินจากแหล่งฝังกลบขยะแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย (จังหวัดเชียงใหม่ พิษณุโลก ขอนแก่น ชลบุรี นครปฐม สงขลา) นำมาศึกษาการสลายตัวของพลาสติกชีวภาพโดยวิธีการฝังกลบในธรรมชาติที่ความลึก 5-40 เซนติเมตร พบว่าจากตัวอย่างดินจังหวัดขอนแก่นและพิษณุโลกทำให้พลาสติกชีวภาพอย่างน้อย 1 ตัวอย่าง (12 เดือน) มีน้ำหนักสูญหายไปร้อยละ 100 เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างดินพบว่ามีความเข้มข้นของปริมาณธาตุไนโตรเจนฟอสฟอรัสสูง เนื้อดินเป็นลักษณะดินร่วนและร่วนทรายหยาบ มีค่าความพรุนสูงและมีค่าความหนาแน่นต่ำ โดยสมบัติดังกล่าวของตัวอย่างดินมีผลต่อกระบวนการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินรวมระดับความลึกในการฝังกลบซึ่งเป็นตัวกำหนดการถ่ายเทอากาศที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการย่อยสลายได้ทางชีวภาพแสดงให้เห็นว่าในตัวอย่างดินที่มีการสลายตัวของพลาสติกชีวภาพได้ดีอาจจะมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ

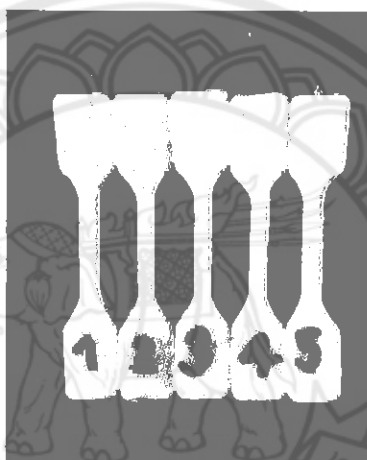
บรรเลง ศรีนิล และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาผลของการเติมแป้งลงในพลาสติกเพื่อการย่อยสลาย โดยการศึกษาผลของพลาสติกเมื่อเติมแป้งลงไปทีเปอร์เซ็นต์ต่างกันและนำไปทดสอบการย่อยสลายด้วยวิธีที่แตกต่างกัน โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 4 เดือน และ 12 เดือน พบว่าการศึกษาผลต่อความชื้นของสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสมแป้ง ที่สภาวะภายใต้ความชื้นที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับของพียู LDPE กับพลาสติกผสมแป้งที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ เพื่อดูผลจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นก็พอสรุปได้ว่า ความชื้นสัมพัทธ์ มีผลต่อสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงและการศึกษาผลของความเข้มแสงอุลตราไวโอเลตต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสมแป้งพบว่า เมื่อความเข้มแสงอุลตราไวโอเลตเกิดจากการใช้หลอดแสง 1 หลอด สมบัติเชิงกลต่าง ๆ แทบไม่มีผลเปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มแสงอัลตราไวโอเลตเกิดจากการใช้หลอดแสง 1 หลอดสมบัติแทบไม่มีผลเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อใช้แสงความเข้ม 2 เท่า (2หลอด) ทำให้สมบัติทางเชิงกลต่าง ๆ ลดลง และที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่างกันไม่มีผลต่อการย่อยสลายได้เท่ากับปริมาณความเข้มของแสงอุลตราไวโอเลตและการทดสอบการกัดกร่อนของพลาสติกผสมแป้ง เมื่อถูกนำฝังดิน เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา พบว่าฟิล์มแป้งข้าวโพดร้อยละ 30 และ แป้งมันร้อยละ 30 มีสภาพถูกกัดกร่อนและเป็นรูพรุนอย่างชัดเจน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การเตรียมชิ้นงาน

ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติกโดยทำการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกชนิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ พอลิแลคติกแอซิด ชนิดละ 80 ชิ้น โดยพลาสติกชนิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 165 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.1 โดยพลาสติกชนิดพอลิแลคติกแอซิดใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 175 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.2



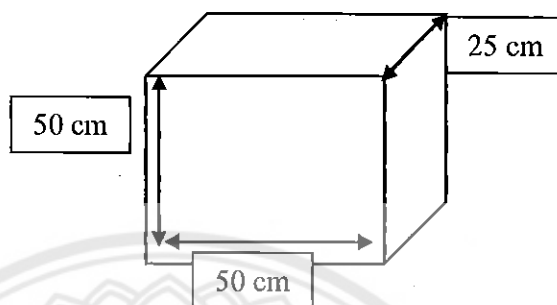
รูปที่ 3.1 พลาสติกชนิดพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต



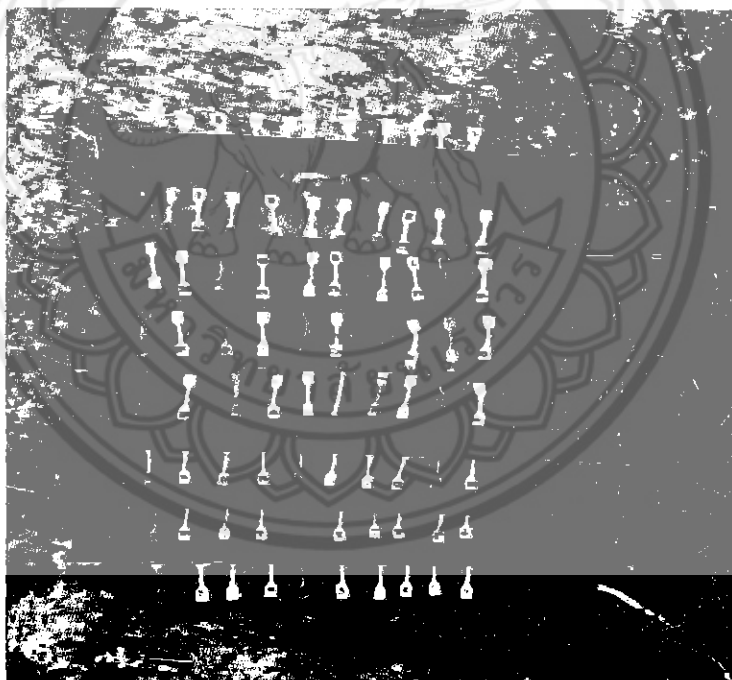
รูปที่ 3.2 พลาสติกชนิดพอลิแลคติกแอซิด

3.2 การเตรียมบ่อฝังกลบและตู้อบแสงยูวี-ซี

การเตรียมบ่อฝังกลบขนาด 50*50 เซนติเมตร ความลึก 25 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.3 และจัดเรียงวางลงในบ่อฝังกลบตามตัวเลข ดังรูปที่ 3.4 จากนั้นนำดินมาฝังกลบและเริ่มการทดลอง

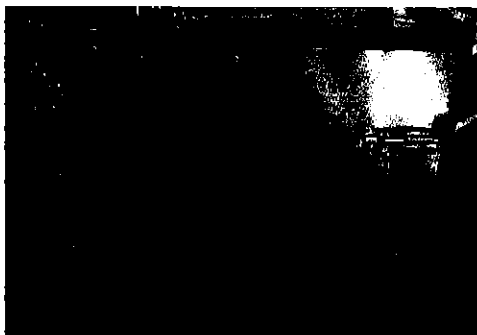


รูปที่ 3.3 ขนาดของบ่อฝังกลบ

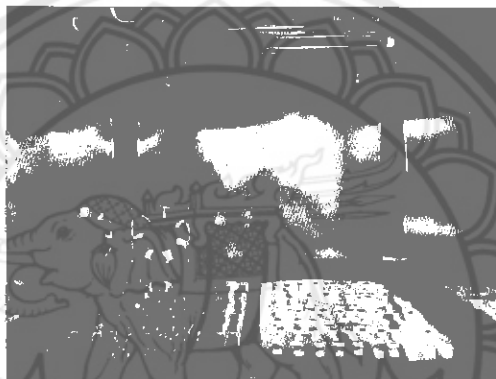


รูปที่ 3.4 การจัดวางชิ้นงานในบ่อฝังกลบ

การเตรียมตู้อบแสงยูวี-ซี ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 2 หลอด



รูปที่ 3.5 ตู้อบแสง ยูวี-ซี



รูปที่ 3.6 การจัดวางชิ้นงานในตู้อบแสง ยูวี-ซี

3.3 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทำโครงงาน

3.3.1 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PolyButylene Succinate ; PBS)

3.3.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid; PLA)

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน

3.4.1 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)

3.4.2 ตู้อบแสงยูวี-ซี

3.4.3 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Testing Machine)

3.4.4 ตู้บลมร้อน

3.4.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 นำพลาสติก พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ พอลิแลคติกแอซิด มาขึ้นรูปด้วยการฉีดพลาสติก จะได้พลาสติกรูปดัมเบลล์ชนิดละ 80 ชิ้นโดยพลาสติก พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต 80 ชิ้น และ พอลิแลคติกแอซิด 80 ชิ้น นำไปเขียนตัวเลข 1-80 บนชิ้นงาน ทั้ง 2 ชนิด

3.5.2 เมื่อนำชิ้นงานไปเขียนตัวเลข แล้วนำไปชั่งน้ำหนักก่อนทำการทดลองและบันทึกผล

3.5.3 นำชิ้นงานพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ไปทดสอบโดยวางในบ่อฝงกลบ 40 ชิ้น (1-40) ทั้ง 2 ชนิด แล้วฝงกลบและวางในตู้อบแสงยูวี-ซี 40 ชิ้น (41-80) ทั้ง 2 ชนิด แล้วทำการปิดตู้ จึงทำการเปิดไฟในตู้อบแสง ยูวี-ซี

3.5.4 โดยทำการทดสอบ 8 ครั้ง ครั้งที่ 1-6 ทำการทดสอบทุก 2 สัปดาห์และ ครั้งที่ 7-8 ทำการทดสอบทุก 4 สัปดาห์รวมทั้งหมด 20 สัปดาห์

-ทำความสะอาดชิ้นงานถ่ายรูป และ สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง

-นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก

-นำชิ้นงานมาแช่น้ำ 24 ชั่วโมง

-นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก (หลังจากแช่น้ำ)

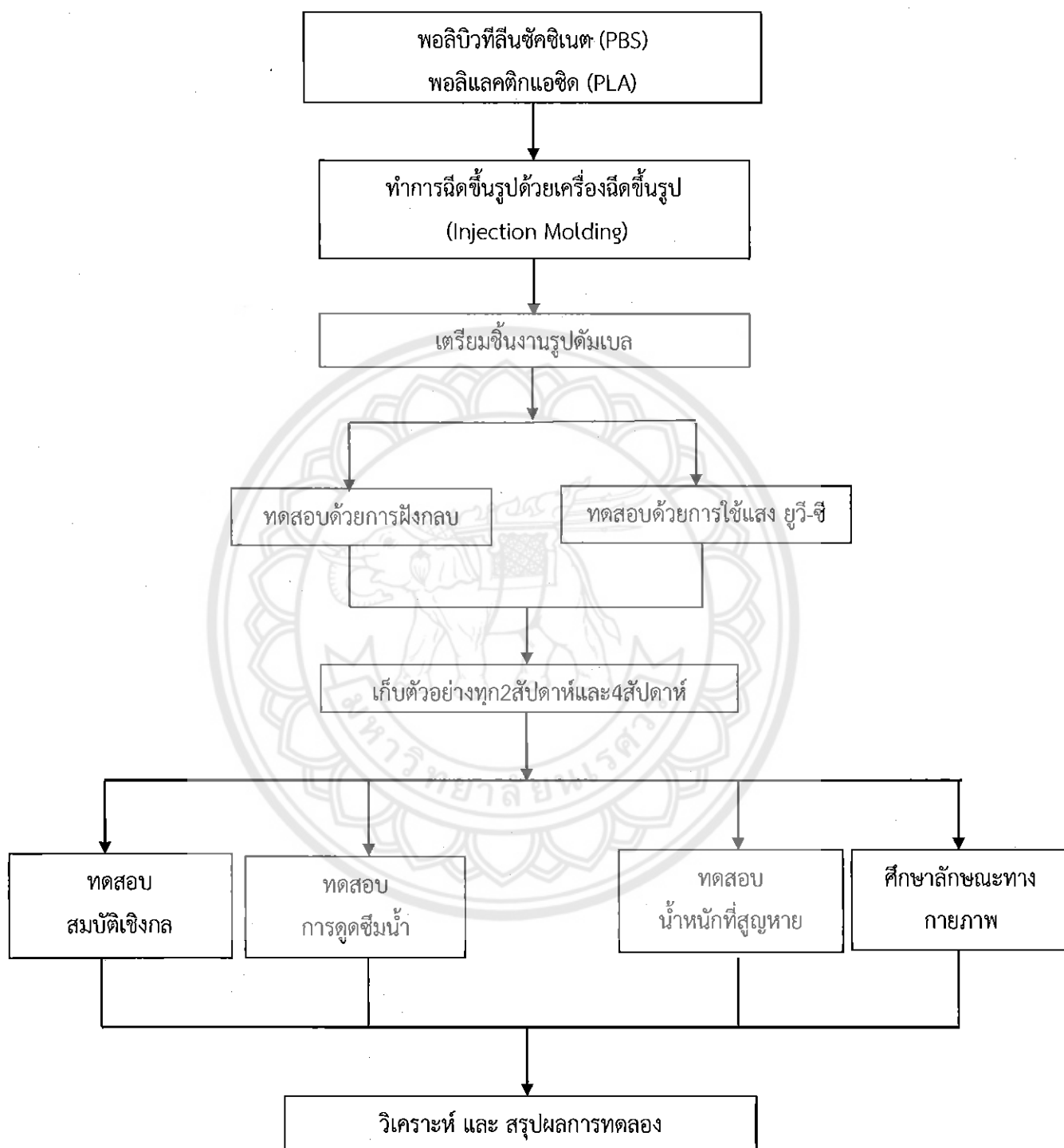
-นำชิ้นงานมาอบชิ้นงานไล่ความชื้นที่ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

-นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก (หลังจากที่อบ)

-นำชิ้นงานมาทดสอบค่าแรงดึงโดยใช้ Load cell 5 kgN ดึงที่ความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที

และบันทึกผล

3.6 วิธีการดำเนินงาน



รูปที่ 3.7 วิธีการดำเนินงาน



3.7 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน

17222373

3.7.1 คำนวณหาน้ำหนักที่หายไป

$$\text{ร้อยละน้ำหนักที่หายไป} = \frac{\text{น้ำหนักพลาสติกก่อนการทดสอบ} - \text{น้ำหนักพลาสติกหลังการทดสอบ}}{\text{น้ำหนักพลาสติกก่อนการทดสอบ}} \times 100$$

3.7.2 ทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

$$\text{ร้อยละน้ำหนักที่หายไป} = \frac{\text{น้ำหนักพลาสติกก่อนการทดสอบ} - \text{น้ำหนักพลาสติกหลังการทดสอบ}}{\text{น้ำหนักพลาสติกก่อนการทดสอบ}} \times 100$$

3.7.3 การทดสอบค่าแรงดึง (Tensile Strength)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดสมบัติแรงดึงของวัสดุ โดยจะใช้แรงดึงกับชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบขาดด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ และบันทึกค่าแรงดึงที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลาการยืดตัวนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความแข็งแรงดึง ค่าโมดูลัส และค่าร้อยละการดึง ตามสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติของตัวชิ้นงาน



บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานทดลองนี้เป็นการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ พอลิแลคติกแอซิดเพื่อทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อประยุกต์ใช้ในการศึกษาการย่อยสลายภายใต้สภาวะของการฝังกลบและแสงยูวี-ซีของพลาสติกและได้นำมาศึกษาสมบัติเชิงกล และ เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ ได้ผลดังนี้

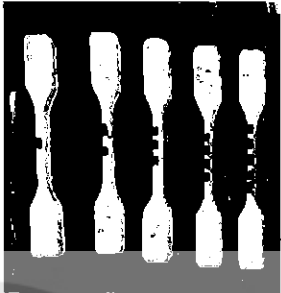
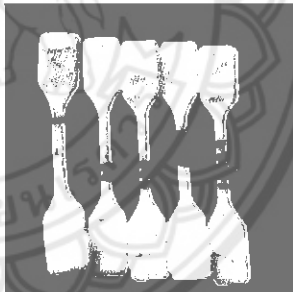
4.1. พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

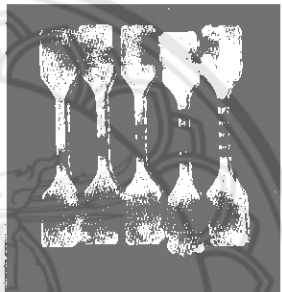
4.1.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพ

จากการทดสอบการย่อยสลายของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตด้วยวิธีการฝังกลบ และ วิธีการแสงยูวี-ซี เพื่อศึกษาสมบัติ และ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วง 20 สัปดาห์ สามารถสรุปได้ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 แสดงสมบัติ และ การเปลี่ยนแปลงของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต 20 สัปดาห์

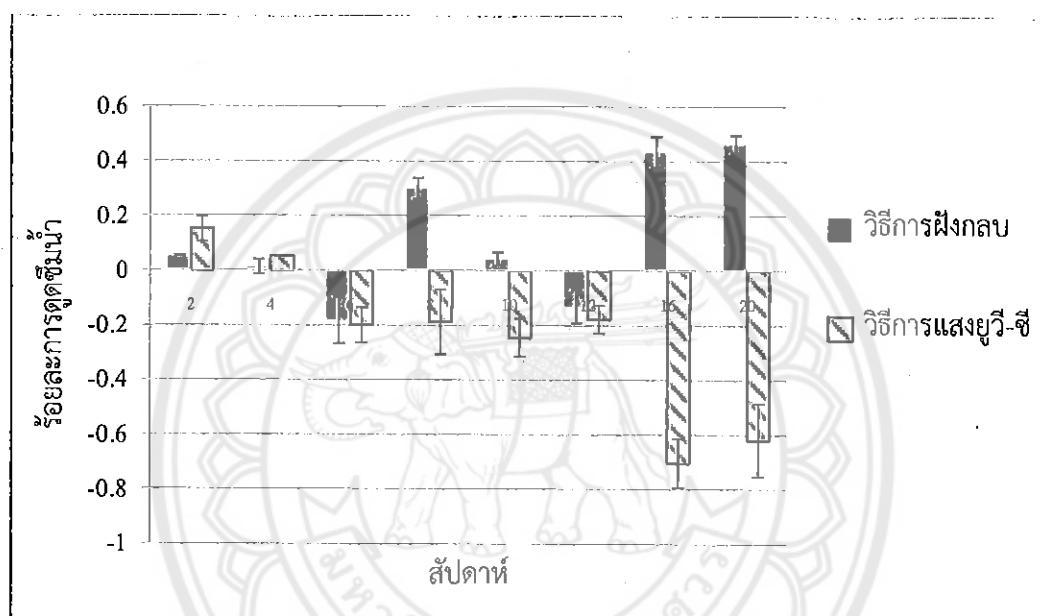
สัปดาห์	ภาพชิ้นงาน		พบการเปลี่ยนแปลง
	วิธีฝังการกลบ	วิธีการยูวี-ซี	
2			ลักษณะขุ่น ในวิธีการแสงยูวี-ซี
4			ลักษณะขุ่น ในวิธีการฝังกลบ

ลำดับ	ภาพชิ้นงาน		พบการเปลี่ยนแปลง
	วิธีฝังกลบ	วิธีแสงยูวี-ซี	
6			-
8			พบรอยแตกและมีการลอกหลุดและสีเปลี่ยนชิ้นงานในวิธีการแสงยูวี-ซี
10			พบรอยแตกและมีการลอกหลุดของชิ้นงานในวิธีการฝังกลบ
12			-

สัปดาห์	ภาพชิ้นงาน		พบการเปลี่ยนแปลง
	วิธีฝังการกลบ	วิธีการแสงยูวี-ซี	
16			-
20			-

4.1.2 ทดสอบการดูดซึมน้ำ

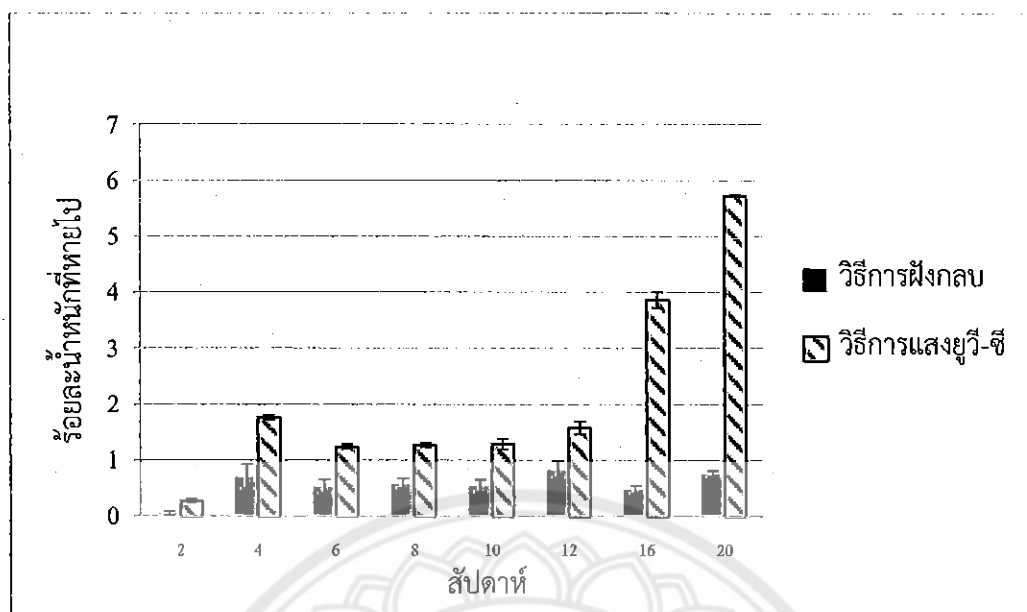
จากผลการทดลองการทดสอบการดูดซึมน้ำของพอลิบิวทีลีนซักซิเนตที่ใช้กระบวนการ วิธีการฝังกลบ และวิธีการแสงยูวี-ซี ดังรูปที่ 4.1 พบว่าในวิธีการฝังกลบ ลักษณะกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อชิ้นงานถูกย่อยสลายจะเกิดรูพรุนภายในชิ้นงานให้เกิดช่องว่างซึ่งดูดน้ำเข้าไปในชิ้นงานทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และในวิธีการยู เมื่อเกิดปฏิกิริยาจากแสงยูวี-ซีแล้ว จะทำให้ชิ้นงานสามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำได้ง่ายขึ้นและมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลเกิดขึ้น ทำให้น้ำหนักลดลง



รูปที่ 4.1 กราฟการทดสอบการดูดซึมน้ำของพอลิบิวทีลีนซักซิเนตที่วิธีการฝังกลบ และ วิธีการแสงยูวี-ซี

4.1.3 ทดสอบน้ำหนักที่หายไป

จากผลการทดลองน้ำหนักที่หายไปของพอลิบิวทีลีนซักซิเนตที่วิธีการฝังกลบ และ วิธีการแสงยูวี-ซีดังรูปที่ 4.2 ในวิธีการฝังกลบพบว่า ชิ้นงานมีน้ำหนักลดลงชัดเจนในสัปดาห์ที่ 4 เมื่อเกิดปฏิกิริยาจากการย่อยสลายจากเอนไซม์ และนำไปอบไล่ความชื้น ส่งผลให้เห็นค่าน้ำหนักที่ลดลงในทุกสัปดาห์แต่แนวโน้มไม่มากนัก ในวิธีการแสงยูวี-ซี พบว่าชิ้นงานมีน้ำหนักลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 20 เนื่องจากเมื่อชิ้นงานได้รับแสงยูวี-ซีเป็นเวลานานจะเกิดปฏิกิริยา และนำไปแช่น้ำให้น้ำหนักลดลงจากการเกิดปฏิกิริยากับน้ำ และเมื่ออบไล่ความชื้น น้ำหนักของชิ้นงานจึงมีค่าลดลง



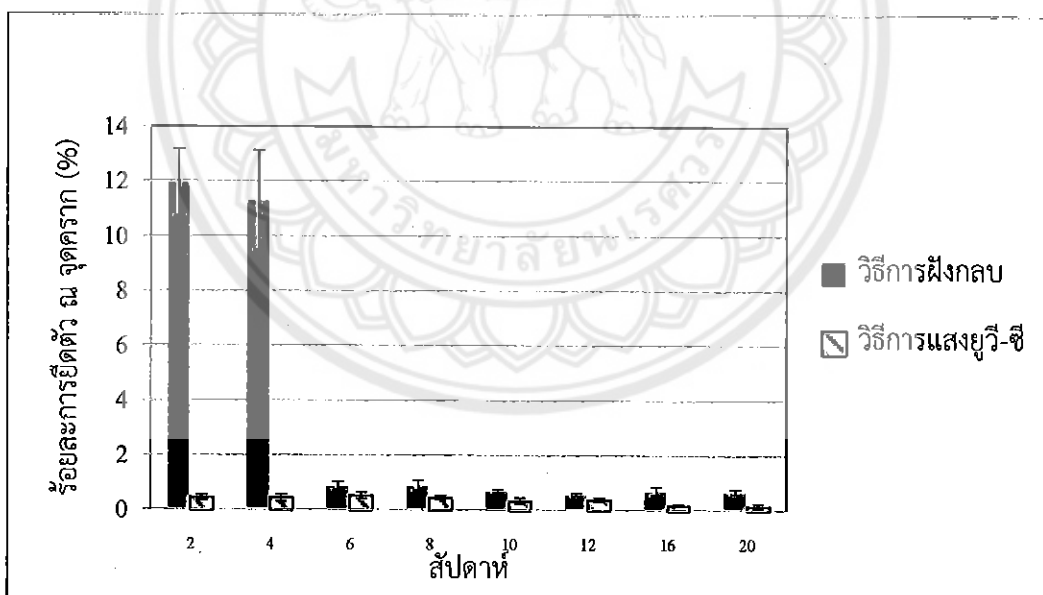
รูปที่ 4.2 กราฟทดสอบน้ำหนักที่หายไปของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่ใช้วิธีการฝักรกลบ และ วิธีการแสงยูวี-ซี

4.1.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติค่าความแข็งแรงดึง และ ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดค่าความเหนียว เตรียมได้จากพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือวิธีการฝักรกลบ และ วิธีการแสงยูวี-ซี พบว่าจากการทดสอบการต้านทานแรงดึงของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต ด้วยวิธีการฝักรกลบและวิธีการแสงยูวี-ซีดังรูป 4.3 วิธีการฝักรกลบแนวโน้มของกราฟแสดงการทดสอบการต้านทานแรงดึงวิธีการฝักรกลบมีแนวโน้มของกราฟไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และ วิธีการแสงยูวี-ซีจะเห็นการเปลี่ยนแปลงลดลงที่ชัดเจนกว่า และกราฟลักษณะการยืดของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตเนตดังรูปที่ 4.4 วิธีการฝักรกลบพบว่าในสัปดาห์ที่ 2-4 ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก พบการเปลี่ยนแปลงในสัปดาห์ที่ 6 มีการลดลงของกราฟ เนื่องจากชิ้นงานเกิดการย่อยสลายโซ่โมเลกุล ด้วยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้มีความเหนียวลดลงหรือขาดง่ายขึ้น และในวิธีการแสงยูวี-ซี แนวโน้มของกราฟการทดสอบการต้านทานแรงดึงของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในสัปดาห์ที่ 2-10 พบการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในสัปดาห์ที่ 12 การลดลงของกราฟแสดงให้เห็นถึงภาวะของการย่อยสลายที่เกิดขึ้น เนื่องจากเมื่อชิ้นงานได้รับแสงยูวี-ซีเป็นเวลานานจะเกิดการแตกพันธะเป็นอนุมูลอิสระไม่เสถียรทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วบนพันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่ขาดเหลือสารประกอบที่แข็งและเปราะ ซึ่งกราฟลักษณะการยืดของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตแสดงให้เห็นถึงความเหนียวที่น้อยมากตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 และมีแนวโน้มลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 20



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการทดสอบการต้านทานแรงดึงของพอลิบูทีลีนซัคซิเนต



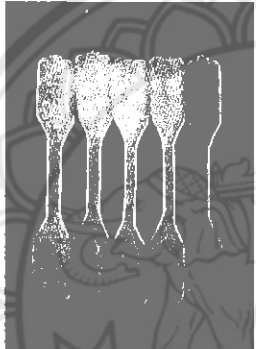
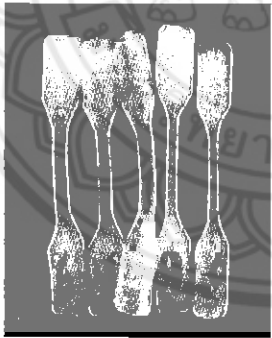
รูปที่ 4.4 กราฟลักษณะการยืดของพอลิบูทีลีนซัคซิเนต

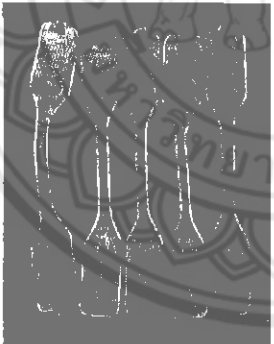
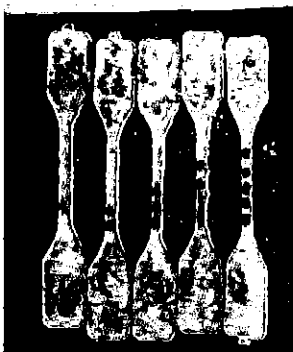
4.2 พอลิแลคติกแอซิด

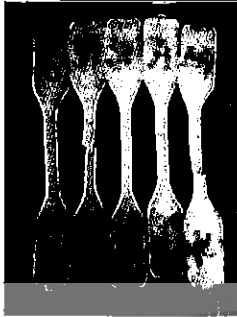
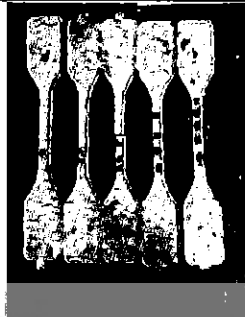
4.1.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพ

จากการทดสอบการย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิด ด้วยวิธีการฝังกลบ และ วิธี
วิธีการแสงยูวี-ซีเพื่อศึกษาสมบัติ และ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วง 20 สัปดาห์ สามารถสรุปได้
ดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติ และ การเปลี่ยนแปลงของพอลิแลคติกแอซิด 20 สัปดาห์

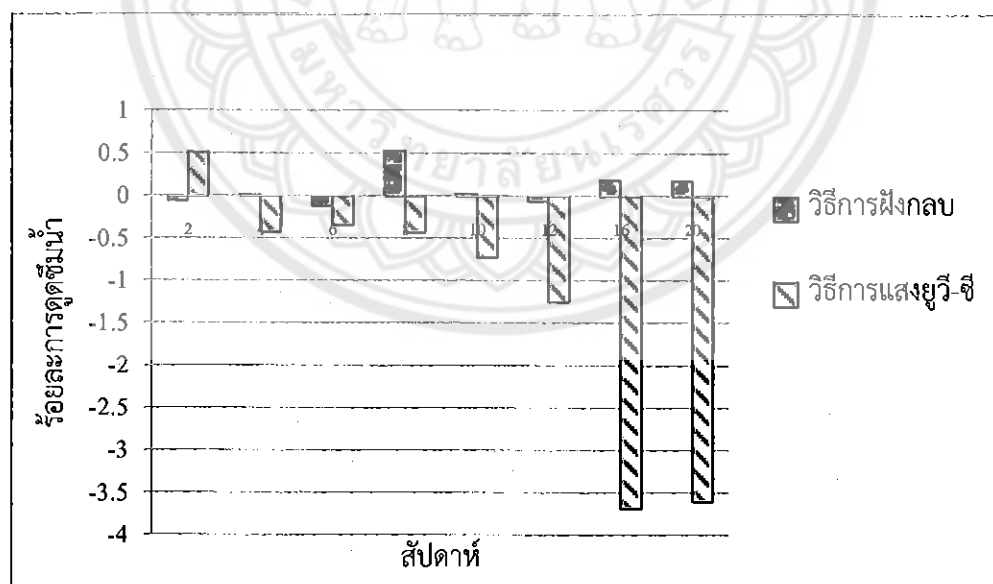
สัปดาห์	ภาพชิ้นงาน		พบการ เปลี่ยนแปลง
	วิธีการฝังกลบ	วิธีการแสงยูวี-ซี	
2			ลักษณะขุ่นและ เปราะ ในวิธีการ ฝังกลบ และ แสงยูวี-ซี
4			มีการรื้อตัวของ ชิ้นงานในวิธีการฝัง กลบ
6			พบรอยแตกและมี การหลุดลอกของ ชิ้นงานในวิธีการ แสงยูวี-ซี

ลำดับ	ภาพชิ้นงาน		พบการเปลี่ยนแปลง
	วิธีการฝังกลบ	วิธีการแสงยูวี-ซี	
8			
10			สีเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในวิธีการแสงยูวี-ซี
12			พบรอยแตกและมีการลอกหลุดของชิ้นงานในวิธีการฝังกลบ
16			

สัปดาห์	ภาพชิ้นงาน		พบการเปลี่ยนแปลง
	วิธีการฝังกลบ	วิธีการแสงยูวี-ซี	
20			-

4.2.2 ทดสอบการดูดซึมน้ำ

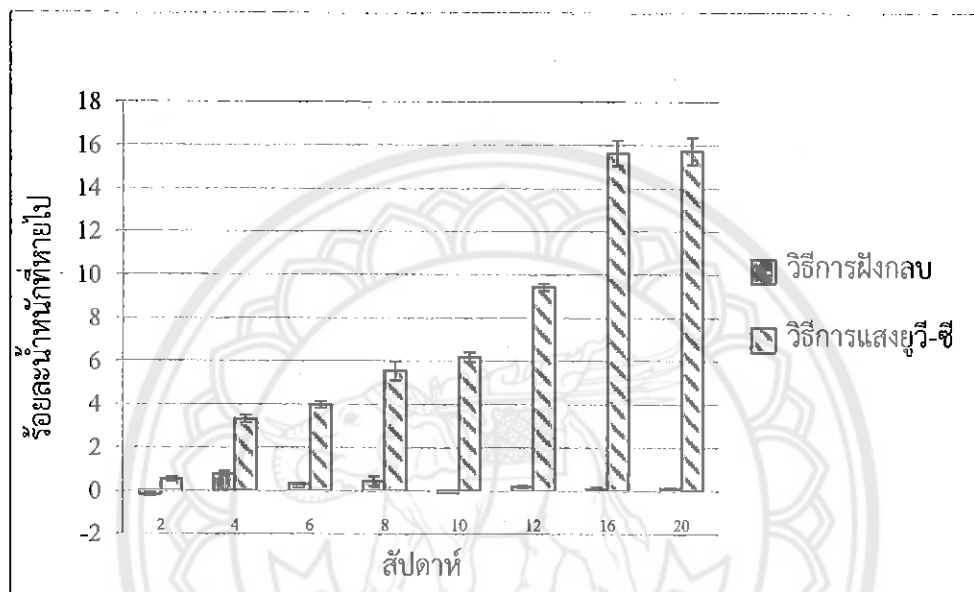
จากผลการทดลองเมื่อนำชิ้นงานที่ได้จากการเตรียม มาทำการทดสอบดูดซึมน้ำดังรูปที่ 4.5 พบว่าชิ้นงานหลังการทดสอบด้วยกระบวนการฝังกลบมีแนวโน้มน้ำหนักเพิ่มขึ้น และ ในการทดลองด้วยวิธีการแสงยูวี-ซีหลังจากที่ทำการแช่น้ำไว้มีการลดลงของน้ำหนักในสัปดาห์ที่ 1-20 โดยในสัปดาห์ที่ 16-20 มีการลดลงของน้ำหนักมาก เนื่องจากชิ้นงานได้รับแสงยูวี-ซีเกิดการขาดของสายโซ่หลักหรือสายโซ่ด้านข้างของโมเลกุลย่อยสลายไปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำทำให้น้ำหนักลดลง



รูปที่ 4.5 กราฟการทดสอบการดูดซึมน้ำของพอลิแลคติกแอซิดที่ใช้วิธีการฝังกลบ และ วิธีการแสงยูวี-ซี

4.2.3 ทดสอบน้ำหนักที่หายไป

จากผลการทดลองน้ำหนักที่หายไปของโพลิแลคติกแอซิดดังรูปที่ 4.6 วิธีการฝักรวมมีน้ำหนักลดลงเล็กน้อย และในส่วนของทดลองด้วยวิธีการแสงยูวี-ซี มีการลดลงของน้ำหนักอย่างต่อเนื่องหลังจากที่ทำการทดลองในสัปดาห์ที่ 16-20 มีการลดลงของน้ำหนักมากเนื่องจากชิ้นงานได้รับแสงยูวี-ซี เกิดการขาดของสายโซ่หลักหรือสายโซ่ด้านข้างของโมเลกุล และ ย่อยสลายไปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ทำให้น้ำหนักลดลงเมื่อทำการแช่น้ำไว้และเมื่ออบไล่ความชื้น น้ำหนักของชิ้นงานจึงมีค่าลดลง



รูปที่ 4.6 กราฟการทดสอบน้ำหนักที่หายไปของโพลิแลคติกแอซิดวิธีการฝักรวม และ วิธีการแสงยูวี-ซี

4.3 เปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไปของโพลิบิวทีลีนซัคซิเนตกับโพลิแลคติกแอซิด

4.3.1 วิธีการฝักรวม

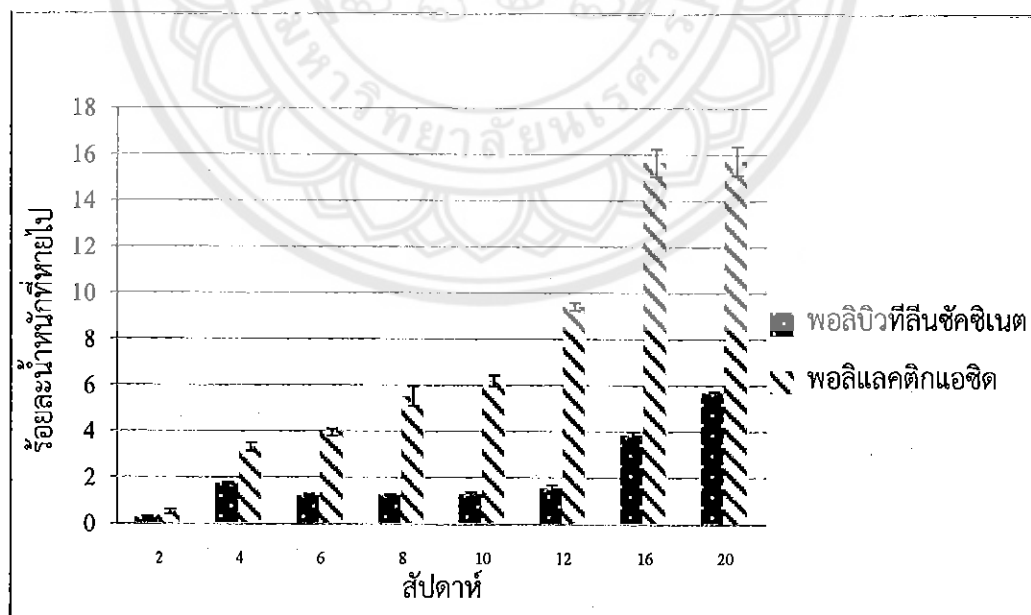
จากผลการทดสอบน้ำหนักที่หายไปวิธีการฝักรวม ดังรูปที่ 4.7 พบว่าในวิธีการฝักรวมเมื่อนำชิ้นงานทั้งสองชนิดมาเทียบน้ำหนักที่หายไปโพลิบิวทีลีนซัคซิเนตมีแนวโน้มของการลดลงของน้ำหนักมากกว่าโพลิแลคติกแอซิด



รูปที่ 4.7 กราฟการทดสอบน้ำหนักที่หายไป(วิธีการฝึกลบ)

4.3.2 วิธีการแสงยูวี-ซี

จากผลการทดสอบน้ำหนักที่หายไปวิธีการแสงยูวี-ซี ดังรูปที่ 4.8 พบว่าในวิธีการฝึกลบเมื่อนำชิ้นงานทั้งสองชนิดมาเทียบน้ำหนักที่หายไปพอลิเอทิลีนไกลคอลมีแนวโน้มของการลดลงของน้ำหนักมากกว่าพอลิเอทิลีนทรีฟทาเลตอย่างชัดเจน

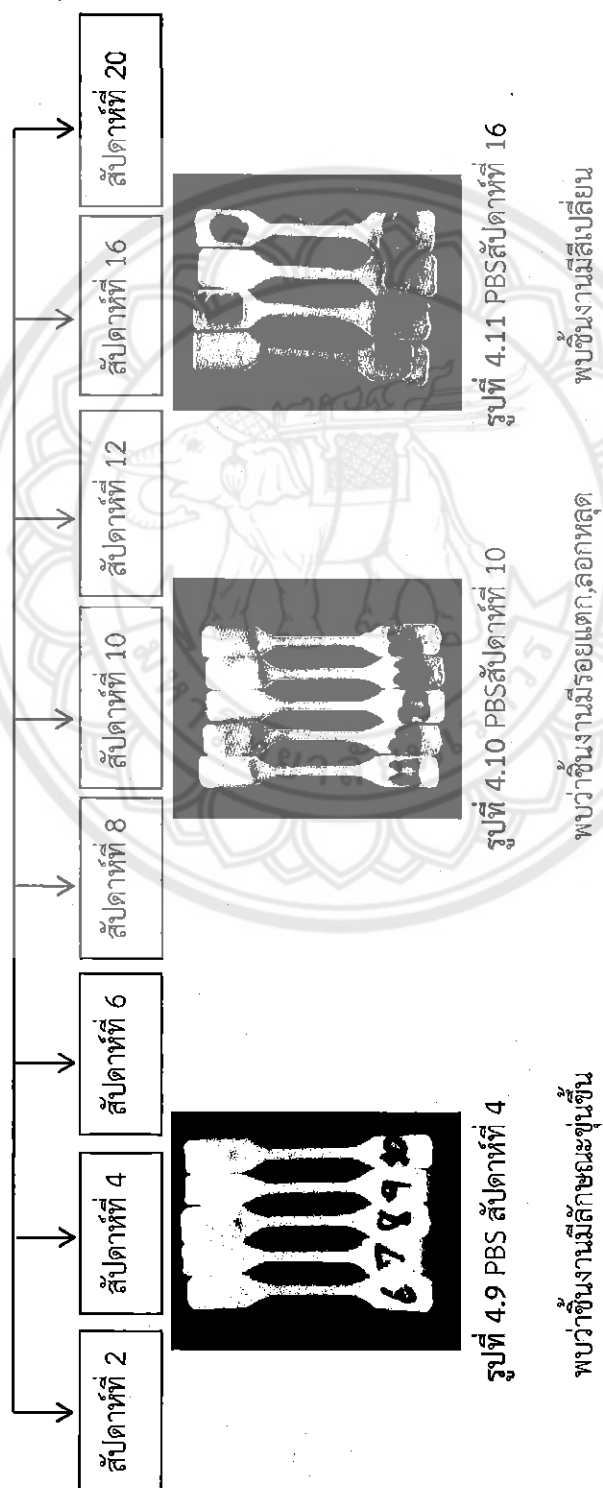


รูปที่ 4.8 กราฟการทดสอบน้ำหนักที่หายไป(วิธีการยูวี-ซี)

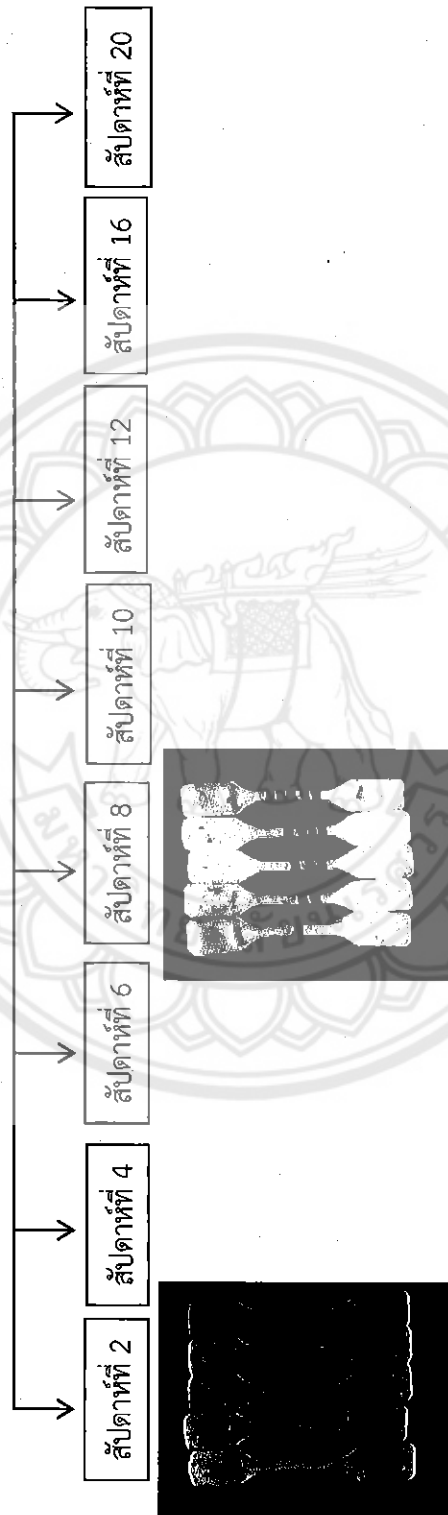
4.4. เปรียบเทียบการย่อยสลายของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ พอลิแลคติกแอซิด

ที่ช่วงเวลา 20 สัปดาห์

4.4.1. พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ในวิธีการฝังกลบ



4.4.2. พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น ในวิธีการแสงยูวี-ซี



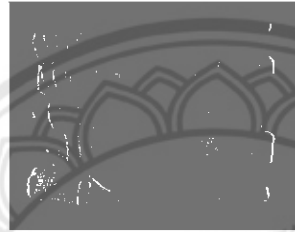
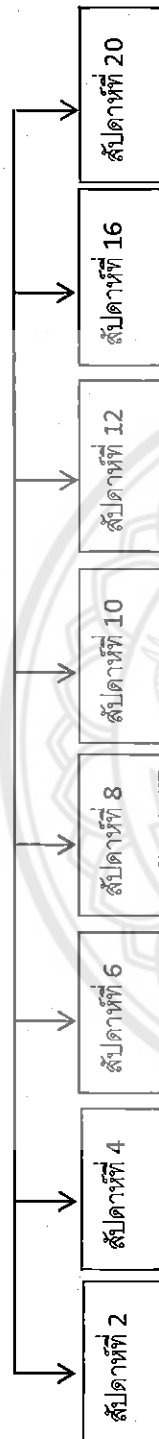
รูปที่ 4.12 PBS สัปดาห์ที่ 2

พบว่าชิ้นงานมีลักษณะขุ่นขึ้น

รูปที่ 4.13 PBS สัปดาห์ที่ 8

พบชิ้นงานมีรอยแตก,ลอกหลุด,เศษขุยพลาสติกและสีเปลี่ยน

4.4.3. พอลิแลคติกแอซิด ในวิธีการฝังกลบ



รูปที่ 4.16 PLA สัปดาห์ที่ 12

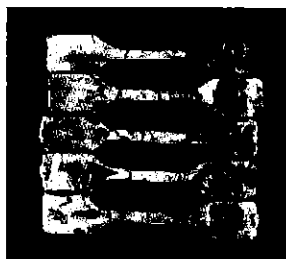
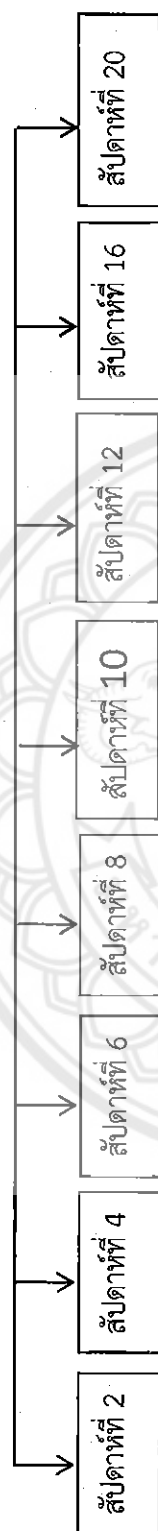
พบชิ้นงานมีเศษขุยพลาสติก, รอยแตก, ลอกหลุด



รูปที่ 4.14 PLA สัปดาห์ที่ 2 รูปที่ 4.15 PLA สัปดาห์ที่ 14

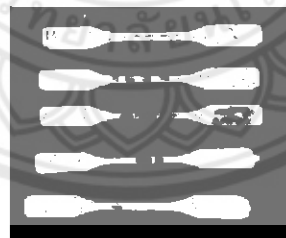
พบชิ้นงานมีลักษณะขุ่นและเปราะ พบชิ้นงานงอตัวหลังการอบ

4.4.4. พอลิแลคติกแอซิด ในวิธีการแสงยูวี-ซี



รูปที่ 4.17 PLA สัปดาห์ที่ 4

พบชิ้นงานมีลักษณะขุ่น



รูปที่ 4.18 PLA สัปดาห์ที่ 6

พบชิ้นงานมีเศษขุยพลาสติก



รูปที่ 4.19 PLA สัปดาห์ที่ 10

พบชิ้นงานมีสีเปลี่ยน

รอยแตก,ลอกหลุด

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุป ข้อเสนอแนะ และการพัฒนาปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข ปัญหาของโครงการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 บทสรุป

5.1.1. วิธีการย่อยสลายด้วยวิธีการแสงยูวี-ซี จะมีผลชัดเจนมากกว่าวิธีการฝังกลบ

5.1.2. วิธีการแสงยูวี-ซี พบว่าพอลิแลคติกแอซิดจะมีการสูญเสียน้ำหนักเร็วกว่าพอลิบิวทิลีน ซักซิเนต

5.1.3. โดยวิธีการฝังกลบพอลิแลคติกแอซิด และ พอลิบิวทิลีนซักซิเนตจะมีการดูดน้ำและการสูญเสียน้ำหนักใกล้เคียงกัน

5.1.4. เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิบิวทิลีนซักซิเนตด้วยวิธีการแสงยูวี-ซี พบว่าจะมีการลดลงของสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงชัดเจนเริ่มในสัปดาห์ที่ 12 แต่วิธีการฝังกลบจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

5.1.5. เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิดเกิดเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ทั้งวิธีการแสงยูวี-ซี และ ฝังกลบ

5.1.6. เมื่อนำมาทดสอบน้ำหนักที่หายไป พบว่าในวิธีการฝังกลบ พอลิบิวทิลีนซักซิเนตมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงมากกว่าพอลิแลคติกแอซิด ส่วนในวิธีการแสงยูวี-ซี พอลิแลคติกแอซิดมีน้ำหนักลดลงมากกว่าพอลิบิวทิลีนซักซิเนตอย่างเห็นได้ชัดเจน

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

ในการทดลองด้วยวิธีการฝังกลบนั้นยังไม่เห็นความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงของการย่อยสลายมากนัก จึงควรที่จะเพิ่มระยะเวลาให้มากขึ้นกว่าเดิมหรือทำการฝังที่ความลึกมากและน้อยกว่านี้ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lucas, N., Christophe, B., Christian, B., Michèle, Q., Silvestre, F. and José-Edmundo, N –S. (2008). Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques. *Chemosphere*, 73, 429–442.
- [2] Bordes P., Pollet E. and Avrous, L. (2009). Nano-biocomposites: Biodegradable polyester/nanoclays systems. *Progress in Polym. Sci*, 34, 125–155.
- [3] พลาสติกละลายได้ มาลินีชัยสุขกิจสินธ์. (2552). “พลาสติกละลายได้ในสิ่งแวดล้อมและการรีไซเคิลพลาสติค.” เคมีพอลิเมอร์, โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน้า 300-301.
- [4] Shah, A.A., Hasan, F., Hameed, A. and Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotech. Advances*, 26, 246–265.
- [5] สมศักดิ์ วังโน, (2528). จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. กรุงเทพฯ .ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [6] พลาสติกละลายด้วยแสง ธนาวดี ลีจากภัย. (2549). พลาสติกละลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ :ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [7] มาลินี ชัยสุขกิจสินธ์. (2552). “พลาสติกละลายในสิ่งแวดล้อมและการรีไซเคิลพลาสติค.” เคมีพอลิเมอร์, โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน้า 300-301.
- [8] Zibilske et al., 2004 Zibilske L.M. (1994). Methods of Soil Analysis. In Weaver et al. (eds.) *Methods of soil analysis Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. pp. 835-863. Wisconsin, USA.: Soil Sci. Soc. of America Inc.
- [9] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศและเทคโนโลยี. (2553). พลาสติกละลายได้ทางชีวภาพ. จาก <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR12.pdf>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

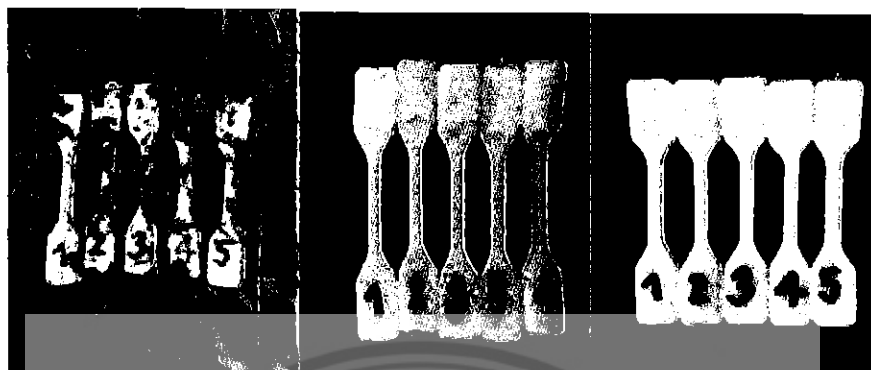
- [11] อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุลม, (2554). “พอลิแลกติกแอซิด : พอลิเอสเตอร์จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้” ฉบับที่ 77 ปีที่ 24 กรกฎาคม - กันยายน 2554. หน้า 10. จาก http://www.eng.ku.ac.th/e-journal_th/download.php?name=BGHaDcHMon24703.pdf&file_basename=99-110%20%CD%C1%C3%C3%D1%B5%B9%EC.pdf
- [12] M. Gardette, S. Thérias, J.L. Gardette, M. Murariu, and P. Dubois, *Polym. Degrad. Stab.*, 96, (2011), 616
- [11] สุริย์รัตน์ บัวชื่น , (2553). “การย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในดินที่เก็บในแต่ละภูมิภาคของไทย : สมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน” หน้า 1-143. จากสำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวร
- [12] บรรเลง ครนิล, ณรงค์ ผังวิวัฒน์, นฤมล เครื่ององอาจกุล, (2534). “การศึกษาผลของการเติมแป้งลงในพลาสติกเพื่อการย่อยสลายทางชีวภาพ” หน้า 1-146. จาก <http://tdc.thailis.or.th/tdc/>



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลองที่ใช้ในการทดสอบ

พอลิเมอร์ที่ลื่นชักซิเนต



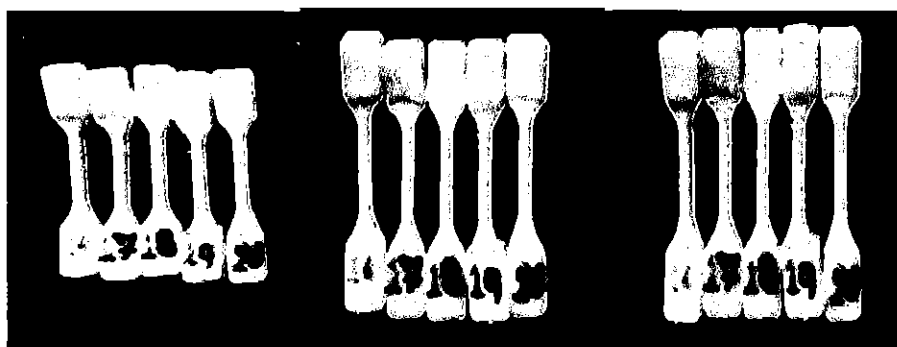
รูปที่ ก.1 พอลิเมอร์ที่ลื่นชักซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 2 (ฝังกลบ)



รูปที่ ก.2 พอลิเมอร์ที่ลื่นชักซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 4 (ฝังกลบ)



รูปที่ ก.3 พอลิเมอร์ที่ลื่นชักซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 6 (ฝังกลบ)



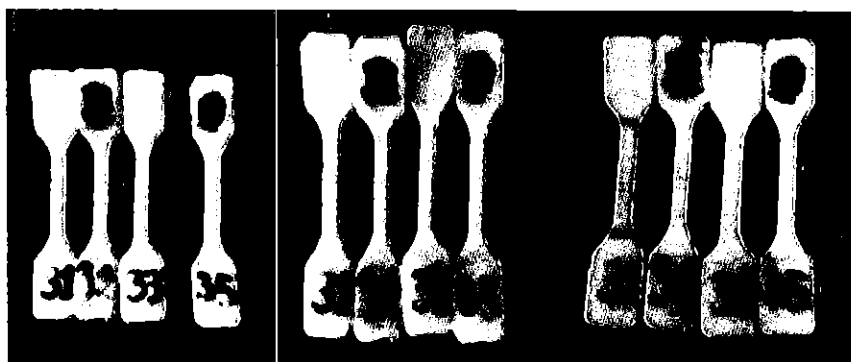
รูปที่ ก.4 พอลิโอไวรัสที่ลิ้นชักซีซีเน็ต (PBS) สัปดาห์ที่ 8 (ฝั่งกลบ)



รูปที่ ก.5 พอลิโอไวรัสที่ลิ้นชักซีซีเน็ต (PBS) สัปดาห์ที่ 10 (ฝั่งกลบ)



รูปที่ ก.6 พอลิโอไวรัสที่ลิ้นชักซีซีเน็ต (PBS) สัปดาห์ที่ 12 (ฝั่งกลบ)



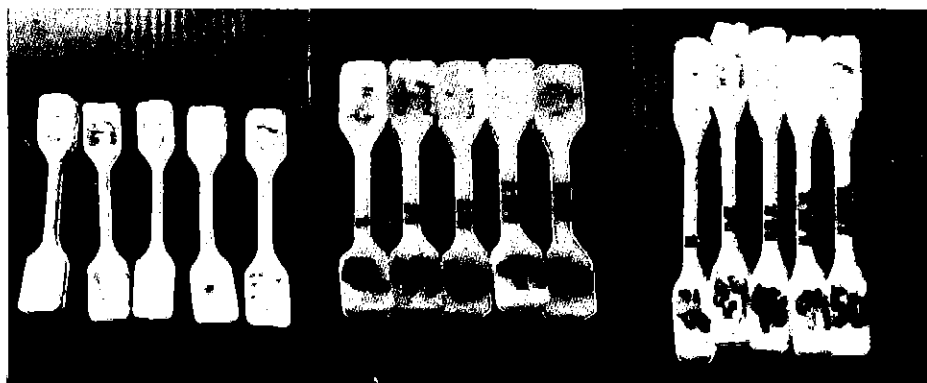
รูปที่ ก.7 พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น (PVDF) สัปดาห์ที่ 16 (ผงกลบ)



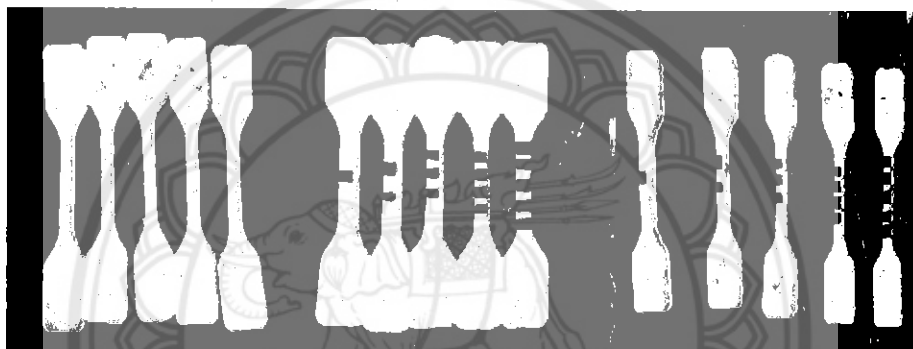
รูปที่ ก.8 พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น (PVDF) สัปดาห์ที่ 20 (ผงกลบ)



รูปที่ ก.9 พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น (PVDF) สัปดาห์ที่ 2 (แสงยูวี-ซี)



รูปที่ ก.10 พอลิเมอร์ที่ลิ้นชักซินเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 4 (แสงยูวี-ซี)



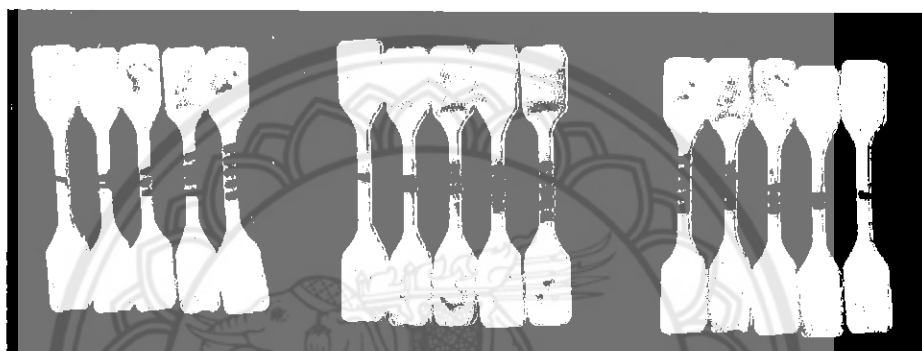
รูปที่ ก.11 พอลิเมอร์ที่ลิ้นชักซินเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 6 (แสงยูวี-ซี)



รูปที่ ก.12 พอลิเมอร์ที่ลิ้นชักซินเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 8 (แสงยูวี-ซี)



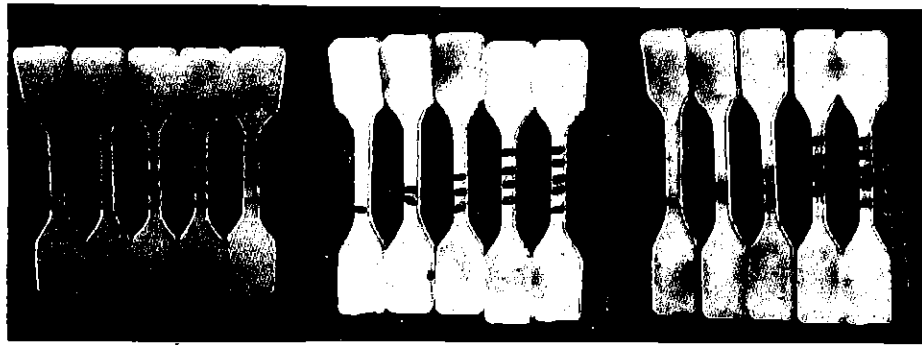
รูปที่ ก.13 พอลิเมอร์ที่ลื่นชักจินต (PBS) สัปดาห์ที่ 10 (แสงยูวี-ซี)



รูปที่ ก.14 พอลิเมอร์ที่ลื่นชักจินต (PBS) สัปดาห์ที่ 12 (แสงยูวี-ซี)

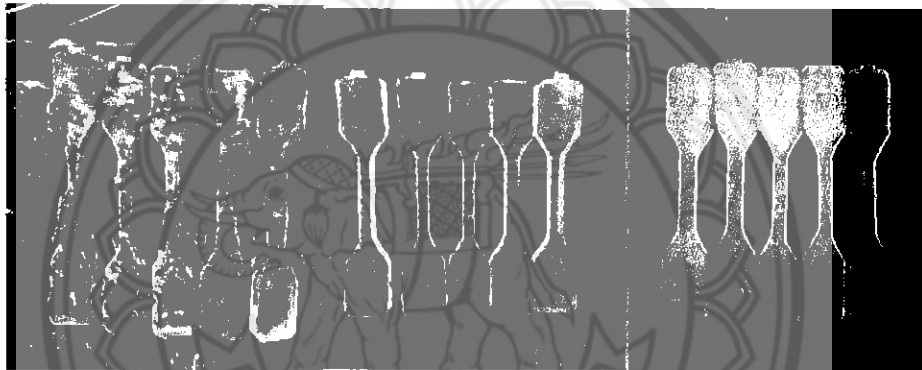


รูปที่ ก.15 พอลิเมอร์ที่ลื่นชักจินต (PBS) สัปดาห์ที่ 16 (แสงยูวี-ซี)



รูปที่ ก.16 พอลิไบ์ทีลีนซัคซิเนต (PBS) สัปดาห์ที่ 20 (แสงยูวี-ซี)

พอลิแลคติกแอซิด



รูปที่ ก.17 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 2 (ฝัากลบ)



รูปที่ ก.18 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 4 (ฝัากลบ)



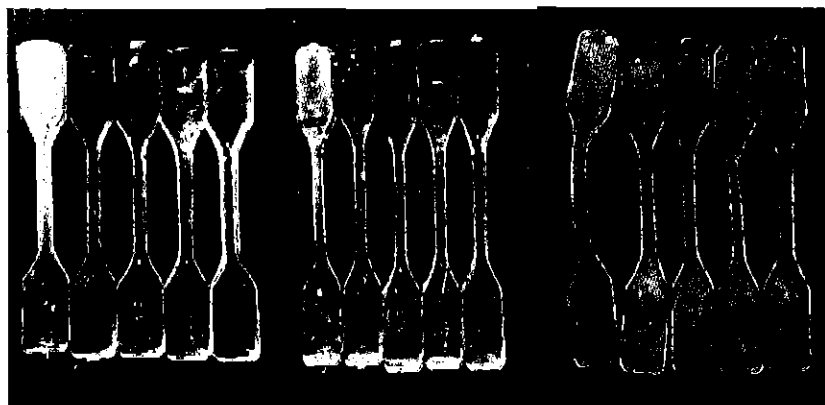
รูปที่ ก.19 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) ส้อมด้ามที่ 6 (ฝั่งกลบ)



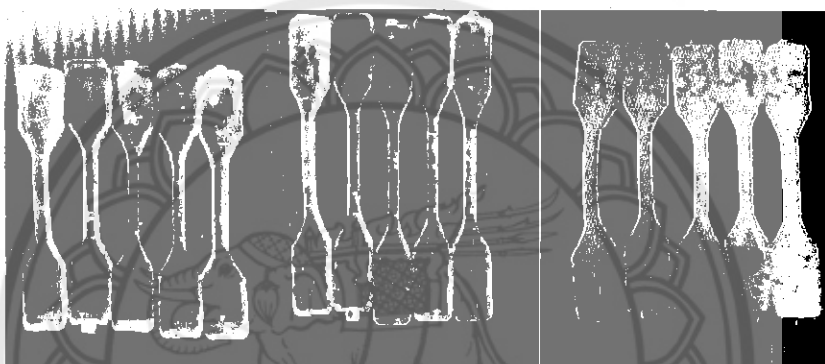
รูปที่ ก.20 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) ส้อมด้ามที่ 8 (ฝั่งกลบ)



รูปที่ ก.21 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) ส้อมด้ามที่ 10 (ฝั่งกลบ)



รูปที่ ก.22 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 12 (ฝั่งกลบ)



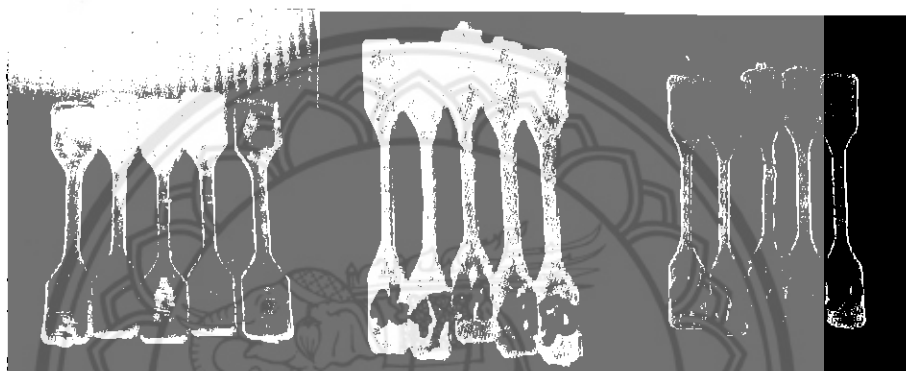
รูปที่ ก.23 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 16 (ฝั่งกลบ)



รูปที่ ก.24 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 20 (ฝั่งกลบ)



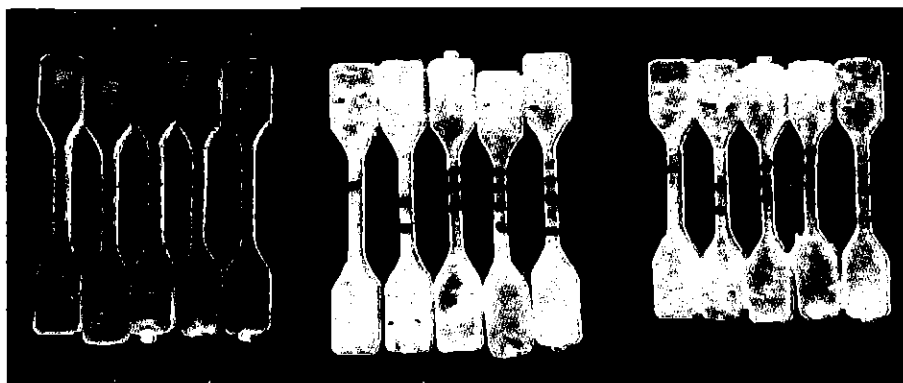
รูปที่ ก.25 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 2 (แสงยูวี-ซี)



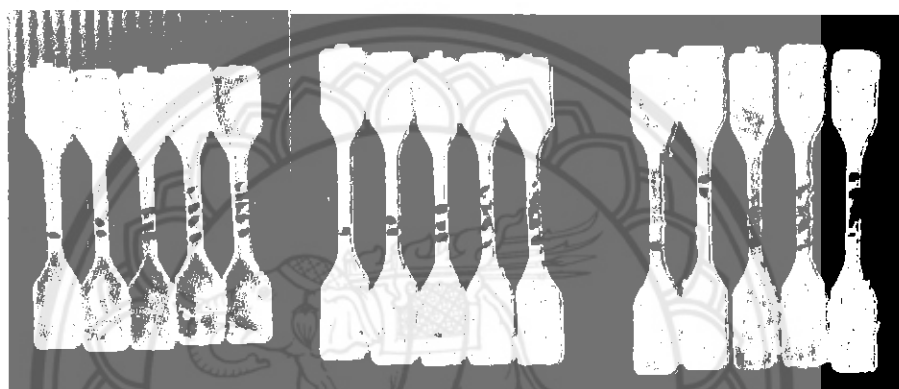
รูปที่ ก.26 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 4 (แสงยูวี-ซี)



รูปที่ ก.27 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 6 (แสงยูวี-ซี)



รูปที่ ก.28 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 8 (แสงยูวี-ซี)



รูปที่ ก.29 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 10 (แสงยูวี-ซี)



รูปที่ ก.30 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 12 (แสงยูวี-ซี)



รูปที่ ก.31 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 16 (แสงยูวี-ซี)

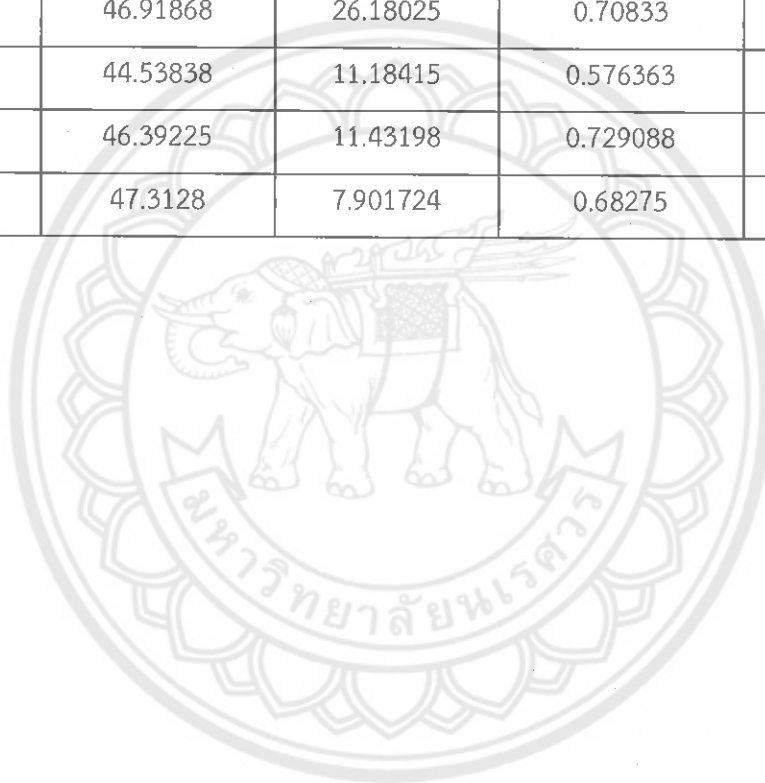


รูปที่ ก.32 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) สัปดาห์ที่ 20 (แสงยูวี-ซี)



ตารางที่ ข.1 สมบัติเชิงกลของพอลิไบวที่ลินชักจินต 20 สัปดาห์

สัปดาห์	Tensile Strength (MPa)		% Elongation at break	
	วิธีการดึงกลบ (ค่าเฉลี่ย)	วิธีการแสงยูวี-ซี (ค่าเฉลี่ย)	วิธีการดึงกลบ (ค่าเฉลี่ย)	วิธีการแสงยูวี-ซี (ค่าเฉลี่ย)
2	49.0004	32.745	11.9655	0.4625375
4	48.8654	30.4675	11.31117	0.4539
6	47.7104	33.315	0.8905	0.537733
8	49.12158	31.0706	0.90075	0.46159
10	46.91868	26.18025	0.70833	0.3466375
12	44.53838	11.18415	0.576363	0.3964935
16	46.39225	11.43198	0.729088	0.188065
20	47.3128	7.901724	0.68275	0.14966083



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายศุภสัทธิต ยอดเมือง

ภูมิลำเนา 56/13 ม. 7 ต. วัดจันทร์ อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจ่านกร้อง
- ปัจจุบันกำลังศึกษาชั้นปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : supasit7@hotmail.com

