

๒๗๑๑
125

การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิ(บีตา-ไฮดรอกซีแอลคาโนเอต) ที่ผลิตโดย

Alcaligenes sp. A-04

นางสาว สุกฤตยา วีระนนท์

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539
ISBN 974-636-678-5
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20๖๐๘๘๓๙

BIODEGRADATION OF POLY(β -HYDROXYALKANOATES) PRODUCED BY

***Alcaligenes* sp. A-04**

Miss Sukitaya Veeranondha

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Industrial Microbiology

Department of Microbiology

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996


ISBN 974-636-678-5

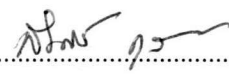
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิ(บีตา-ไฮดรอกซีแอลคาโนเอต) ที่
ผลิตโดย *Alcaligenes* sp. A-04
โดย นางสาว สุกฤตยา วีระนนท์
ภาควิชา จุลชีววิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สังศรี กุลปรีชา

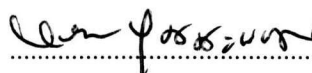
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรีนา ชวนิชย์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สังศรี กุลปรีชา)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ھرรษา ปุณณะพยัคฆ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สุกฤตยา วีระนนท์ : การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิ(บีตา-ไฮดรอกซีอัลคานอเอต) ที่ผลิตโดย *Alcaligenes* sp. A-04 (BIODEGRADATION OF POLY(β -HYDROXYALKANOATES) PRODUCED BY *Alcaligenes* sp. A-04) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร. สังศรี กุลปรีชา, 148 หน้า. ISBN 974-636-678-5

ผลิต PHA จาก *Alcaligenes* sp. A-04 โดยการใส่แหล่งคาร์บอนแตกต่างกัน ได้ PHA 4 ชนิดดังนี้ P(3HB) P(3HB-co-71%3HV) P(3HB-co-23%4HB) และ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ผลิตสารพอลิเมอร์ ให้ได้ปริมาณมากโดยการเลี้ยง *Alcaligenes* sp. A-04 ในถังหมักขนาด 5 ลิตร แล้วสกัดแยก ทำให้สารบริสุทธิ์ และสะสมสาร PHA ทั้ง 4 ชนิดให้ได้ปริมาณมาก เพื่อเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับการทดสอบ การย่อยสลายทางชีวภาพของ PHA ที่ผลิตได้ด้วยปฏิกิริยาไฮโครไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ โดยศึกษาจากการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (Mw) และค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (Mn) หรือค่าดัชนีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (PDI) พบว่า มีการย่อยสลายเกิดขึ้น โดยอัตราการย่อยสลายขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์และอุณหภูมิที่บ่ม อัตราการย่อยสลายเป็นดังนี้ P(3HB-co-23%4HB) > P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) > P(3HB) > P(3HB-co-71%3HV) โดยที่ PHA ทุกชนิดมีอัตราการย่อยสลายสูงขึ้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น การย่อยสลายทางชีวภาพในดิน 5 ชนิด ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ พบว่า อัตราการย่อยสลายของ P(3HB) และ P(3HB-co-71%3HV) เป็นดังนี้ ในภาคตะกอนน้ำบาดิน้ำเสีย > ดินจากการเผาขยะ > ปุ๋ยคอก > ดินจากการย่อยสลายขยะ > ดินปลูก ส่วนอัตราการย่อยสลายของ P(3HB-co-23%4HB) เป็นดังนี้ ในภาคตะกอนน้ำบาดิน้ำเสีย > ปุ๋ยคอก > ดินจากการเผาขยะ > ดินปลูก > ดินจากการย่อยสลายขยะ และอัตราการย่อยสลายของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เป็นดังนี้ ในภาคตะกอนน้ำบาดิน้ำเสีย > ปุ๋ยคอก > ดินจากการเผาขยะ > ดินจากการย่อยสลายขยะ > ดินปลูก และเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลช่วยเร่งอัตราการย่อยสลายให้เร็วขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) และค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลว (ΔH_p) มีความแตกต่างกัน โดยขึ้นกับองค์ประกอบที่เป็นส่วนผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานของฟิล์มแต่ละชนิด การหุ้ฟ้งและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของฟิล์มจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการย่อยสลายทางชีวภาพทั้ง 2 ประเภท

ภาควิชา จลชีววิทยา
สาขาวิชา จลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิติ สุกฤตยา วีระนนท์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สังศรี กุลปรีชา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

##C626326 : MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY

KEY WORD: BIODEGRADATION / POLY(β -HYDROXYALCANOATES) / *Alcaligenes* sp.

SUKITAYA VEERANONDHA : BIODEGRADATION OF POLY(β -HYDROXYALKANOATES)
PRODUCED BY *Alcaligenes* sp. A-04. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SONGSRI
KULPREECHA, Ph.D. 148 pp. ISBN 974-636-678-5

Four kinds of PHA i.e. P(3HB), P(3HB-co-71%3HV), P(3HB-co-23%4HB) and P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) were produced from *Alcaligenes* sp. A-04 using different carbon sources. *Alcaligenes* sp. A-04 was cultivated in 5L. fermentor to increase the amount of polymer; followed by extraction, purification and accumulation of each polymer for preparing in the form of film as test specimens. Hydrolytic biodegradation test of PHA films in phosphate buffer at 30 40 and 55 °C by comparing weight average molecular weight (Mw) with number average molecular weight (Mn) or polydispersity index (PDI) values showed the occurrence of biodegradation. Rate of degradation was depended on kinds of polymers and incubation temperatures. The degradation rate was as followed: P(3HB-co-23%4HB) > P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) > P(3HB) > P(3HB-co-71%3HV) and higher degradation rate was exhibited with higher incubation temperature. The results of the biodegradation tested in 5 different sources of microorganisms at 30, 40 and 55 °C showed that biodegradation rate of P(3HB) and P(3HB-co-71%3HV) was highest in activated sludge, followed by that in refuse soil, manure, decomposed soil and potting soil. Degradation rate of P(3HB-co-23%4HB) was also found highest in activated sludge, followed by those in manure, refuse soil, potting soil and lowest in decomposed soil. Degree of biodegradation rate of P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) was in activated sludge > manure > refuse soil > decomposed soil > potting soil. Higher incubation temperature also enhanced rate of degradation. Changing of melting temperature (Tm) and enthalpy of fusion (Δh_f) values due to the composition of crystalline and amorphous portions in PHA. Both hydrolytic degradation and biodegradation in soil resulting in erosion and surface changing of PHA films were investigated by SEM.

ภาควิชา.....จุลชีววิทยา.....

สาขาวิชา.....จุลชีววิทยาทักษะอุตสาหกรรม.....

ปีการศึกษา.....2539.....

ลายมือชื่อนิสิต.....สีกฤษณา อัครนนท์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....สงศรี กุลประชา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....-.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาอย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. สงศรี กุลปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิจัยด้วยดีมาตลอด รวมถึงความช่วยเหลือ กำลังใจ และความเข้าใจที่มีค่ายิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังได้ช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุรีนา ชวนิชย์ ที่กรุณาได้รับเป็นประธานกรรมการสอบ และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ھرรษา ปุณณะพยัคฆ์ ที่กรุณาได้รับเป็นกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษานี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช รองผู้อำนวยการวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีที่กรุณาเอื้อเฟื้อและให้ความสะดวกในการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง DSC และ GPC และขอขอบคุณ คุณพัสดรา สมบูรณ์ธเนศและคุณศิริประภา รัตตัญญู ที่ช่วยให้คำแนะนำหลักการใช้เครื่อง DSC และ GPC มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ คุณธนิต สิงหนุญพงศ์ คุณกนกวรรณ ศรีนธิ คุณสุทธิรักษ์ นิยมฤทธิ์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดหลักสูตรการศึกษานี้

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนช่วยเหลือบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา

ท้ายสุดนี้ ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ตลอดจนสมาชิกในครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านการเงินและเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อ.....	ถ
บทที่	
1 บทนำ	
พลาสติกสังเคราะห์ชนิดที่ถูกย่อยสลายได้บางส่วน.....	4
พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	6
พอลิไฮดรอกซีแอลคาโนเอต.....	8
กลไกการย่อยสลายพอลิเมอร์.....	11
การตรวจสอบลักษณะของพอลิเมอร์ที่ถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	18
มูลเหตุจูงใจในการทำงานวิจัย.....	20
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	22
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	22
2 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย	
อุปกรณ์และเคมีภัณฑ์.....	23
วิธีดำเนินงานวิจัย.....	27
3 ผลการวิจัย	
การผลิต PHA ที่มีองค์ประกอบของโมโนเมอร์แตกต่างกันโดย	
<i>Alcaligenes</i> sp. A-04.....	34
การเตรียมตัวอย่าง PHA ที่ผลิตได้เพื่อทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	37
การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์	
ปลอดเชื้อ.....	39
การย่อยสลายทางชีวภาพของ PHA ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน.....	55

ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพ.....	112
4 วิจัยและสรุปผลงานวิจัย	
การผลิต PHA ที่มีองค์ประกอบของโมโนเมอร์แตกต่างกันโดย <i>Alcaligenes</i> sp. A-04.....	124
การเตรียมตัวอย่าง PHA ที่ผลิตได้เพื่อทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	125
การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ PHA ที่ผลิตได้ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปิดเชื้อ.....	126
การย่อยสลายทางชีวภาพของ PHA ที่ผลิตได้ในดิน.....	128
ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพ.....	131
สรุปผลงานวิจัย.....	132
รายการอ้างอิง.....	135
ภาคผนวก	
ก) การหาน้ำหนักเซลล์เปียกและน้ำหนักเซลล์แห้งในอาหารสำหรับเตรียมกล้าเชื้อ.....	142
ข) การหาน้ำหนักเซลล์แห้งในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิต.....	144
ค) การคำนวณปริมาณโมโนเมอร์ของ 3HB 3HV และ 4HB.....	146
ง) กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานพอลิสไตรีน สำหรับการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์.....	147
ประวัติผู้วิจัย.....	148

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การจัดการขยะพลาสติกสังเคราะห์ที่จำแนกตามการใช้งาน (Wiley, 1986 อ้างถึงใน Nicholson, 1994).....	3
2 รูปแบบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ (Kimura et al, 1994).....	7
3 จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีการสะสม PHA (Doi , 1990).....	10
4 การกระจายของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและน้ำหนักที่หายไปของแผ่นฟิล์มพอลิเอสเทอร์ ภายหลังการย่อยสลายด้วยเอ็นไซม์ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี P(3HB) ดีพอลิเมอร์ส พีเอช 7.5 อุณหภูมิ 37 °ซ (Doi, 1990).....	15
5 ชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในดิน 5 ประเภทที่สามารถย่อยสลาย PHA ได้ที่อุณหภูมิ 15 28 และ 40 °ซ (Mergaert et al, 1993).....	17
6 การผลิต PHA ที่มีองค์ประกอบของโมโนเมอร์แตกต่างกันโดย <i>Alcaligenes</i> sp. เมื่อใช้ชนิดและปริมาณของแหล่งคาร์บอนผสมต่างกัน.....	36
7 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB) ในสารละลาย ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิ ต่างกัน.....	40
8 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-71%3HV) ใน สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่ อุณหภูมิต่างกัน.....	42
9 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-23%4HB) ใน สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่ อุณหภูมิต่างกัน.....	44
10 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-44%3HV-co- 39%4HB) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	46
11 อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม PHA 4 ชนิดภายหลังการย่อยสลายทางชีวภาพด้วย ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 280 วัน.....	47

ตารางที่	หน้า
12 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ PHA ทั้ง 4 ชนิด ที่ผลิตโดย <i>Alcaligenes</i> sp. A-04 ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	51
13 สมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงของ PHA ชนิดต่างๆ ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน.....	54
14 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการย่อยสลายขยะที่อุณหภูมิต่างกัน.....	57
15 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการเผาขยะที่อุณหภูมิต่างกัน.....	58
16 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นปุ๋ยคอกที่อุณหภูมิต่างกัน.....	59
17 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินปลูกที่อุณหภูมิต่างกัน.....	60
18 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่างกัน.....	61
19 อัตราการพองตัวของแผ่นฟิล์ม P(3HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพ ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 245 วัน.....	64
20 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ P(3HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพ ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด.....	67
21 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพ ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกันเป็นเวลา 70 วัน.....	69
22 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการย่อยสลายขยะที่อุณหภูมิต่างกัน.....	71
23 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการเผาขยะที่อุณหภูมิต่างกัน.....	72
24 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นปุ๋ยคอกที่อุณหภูมิต่างกัน.....	73

ตารางที่	หน้า
25 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินปลูกที่อุณหภูมิต่างกัน.....	74
26 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่างกัน.....	75
27 อัตราการฟูฟองของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพเมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดเป็นระยะเวลา 245 วัน.....	78
28 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน.....	81
29 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกันเป็นเวลา 140 วัน	83
30 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการย่อยสลายขยะที่อุณหภูมิต่างกัน.....	85
31 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการเผาขยะที่อุณหภูมิต่างกัน.....	86
32 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นปุ๋ยคอกที่อุณหภูมิต่างกัน.....	87
33 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินปลูกที่อุณหภูมิต่างกัน.....	88
34 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่างกัน.....	89
35 อัตราการฟูฟองของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพเมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดเป็นระยะเวลา 245 วัน.....	92
36 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน.....	95
37 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกันเป็นเวลา 70 วัน	97
38 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการย่อยสลายขยะที่อุณหภูมิต่างกัน.....	99

ตารางที่	หน้า
39 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง จุลินทรีย์เป็นดินจากการเผาขยะที่อุณหภูมิต่างกัน.....	100
40 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง จุลินทรีย์เป็นปุ๋ยคอกที่อุณหภูมิต่างกัน.....	101
41 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง จุลินทรีย์เป็นดินปลูกที่อุณหภูมิต่างกัน.....	102
42 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง จุลินทรีย์เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่างกัน.....	103
43 อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลังจากย่อยสลาย ทางชีวภาพ เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดเป็นระยะเวลา 245 วัน.....	106
44 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลัง การย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน.....	109
45 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลังการ ย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 140 วัน.....	111

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1 การจัดการขยะประเภทขยะชุมชนในสหรัฐอเมริกา (ดัดแปลงจาก Narayan, 1993).....	3
2 สูตรโครงสร้างของโมโนเมอร์ของ PHA (Brandlet al, 1990; Doi, 1990).....	8
3 แผ่นฟิล์ม PHA 4 ชนิดที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันที่ผลิตโดย <i>Alcaligenes</i> sp. A-04	37-38
4 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของ PHA ทั้ง 4 ชนิด.....	38
5 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB) ในสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	39
6 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-71%3HV) ในสาร ละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิ ต่างกัน.....	41
7 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-23%4HB) ในสาร ละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิ ต่างกัน.....	43
8 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-44%3HV-co-39% 4HB) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	45
9 อัตราการผุพัง(ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน) ของ PHA ชนิดต่างๆ ในสาร ละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิ ต่างกัน.....	48
10 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด ที่อุณหภูมิ ต่างกัน.....	62-63
11 อัตราการผุพัง(ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน) ของ P(3HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ ต่างชนิดกัน.....	65
12 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	76-77
13 อัตราการผุพัง(ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน) ของ P(3HB-co-71%3HV) ใน แหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน.....	79

รูปที่	หน้า
14 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	90-91
15 อัตราการผุพัง (ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน) ของ P(3HB-co-23%4HB) ใน แหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน.....	93
16 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-co-44%3HV-co-39%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ ต่างกัน 5 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	104-105
17 อัตราการผุพัง (ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน) ของ P(3HB-co-44%3HV-co- 39%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน.....	107
18 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม PHA ทั้ง 4 ชนิด ที่ผลิตโดย <i>Alcaligenes</i> sp. A-04.....	113
19 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม P(3HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีว ภาควัยปฏิบัติการไฮโดรไลซิส เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 140 วัน ที่อุณหภูมิ ก) 30 ข) 40 และ ค) 55 °ซ.....	115
20 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากย่อย สลายทางชีวภาควัยปฏิบัติการไฮโดรไลซิส เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 140 วัน ที่อุณหภูมิ ก) 30 ข) 40 และ ค) 55 °ซ.....	116
21 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากย่อย สลายทางชีวภาควัยปฏิบัติการไฮโดรไลซิส เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 140 วัน ที่อุณหภูมิ ก) 30 ข) 40 และ ค) 55 °ซ.....	117
22 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภาย หลังการย่อยสลายทางชีวภาควัยปฏิบัติการไฮโดรไลซิส เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 140 วัน ที่อุณหภูมิ ก) 30 ข) 40 และ ค) 55 °ซ.....	118
23 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่ง จุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นระยะเวลา 140 วัน.....	120
24 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากย่อยสลายทาง ชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นระยะเวลา 140 วัน.....	121

รูปที่	หน้า
25 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ เป็นระยะเวลา 140 วัน.....	122
26 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ เป็นระยะเวลา 140 วัน.....	123

คำย่อ

PHA	=	พอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีแอลคาโนเอต (poly-β-hydroxyalkanoate)
PHB	=	พอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทีเรต (poly-β-hydroxybutyrate)
P(3HB)	=	พอลิ(3-ไฮดรอกซีบิวทีเรต) [poly(3-hydroxybutyrate)]
P(3HB-co-3HV)	=	พอลิ(3-ไฮดรอกซีบิวทีเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) [poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)]
P(3HB-co-4HB)	=	พอลิ(3-ไฮดรอกซีบิวทีเรต-โค-4-ไฮดรอกซีบิวทีเรต) [poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate)]
P(3HB-co-3HV-co-4HB)	=	พอลิ(3-ไฮดรอกซีบิวทีเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต-โค-4-ไฮดรอกซีบิวทีเรต) [poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate-co-4-hydroxybutyrate)]
GPC	=	เครื่องวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล (gel permeation chromatography)
DSC	=	เครื่องวิเคราะห์ทางอุณหภูมิจาก (differential scanning calorimetry)
SEM	=	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)
พีเอช (pH)	=	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
เปอร์เซ็นต์ (%)	=	ร้อยละ
°ซ	=	องศาเซลเซียส
มล.	=	มิลลิลิตร
มม.	=	มิลลิเมตร
ซม.	=	เซนติเมตร
ม.	=	เมตร
จ./ก.	=	จูลต่อกรัม
แคล/กก.	=	แคลอรีต่อกิโลกรัม