การสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจาก *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์และคลอโรฟอร์ม

นายคมกฤช ตลอารมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-458-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

14 ส.ค. 2545

I19235045

EXTRACTION OF POLY-β-HYDROXYBUTYRATE FROM *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599 USING SODIUM HYPOCHLORITE SOLUTION AND CHLOROFORM

Mr. Komgrit Dolarom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-334-458-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจาก *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์และคลอโรฟอร์ม
โดย	นายคมกฤช ดลอารมย์
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรพัฒน์ อรรถยุกติ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล)

บทคัดย่อ

คมกฤช ดลอารมย์ : การสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจาก *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์และคลอโรฟอร์ม (EXTRACTION OF POLY-β-HYDROXYBUTYRATE FROM *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599 USING SODIUM HYPOCHLORITE SOLUTION AND CHLOROFORM) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์, 168 หน้า. ISBN 974-334-458-6.

จากการศึกษาการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจาก *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้น 15, 20, 25, และ 30 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร พบว่า เปอร์เซ็นต์การสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร จะได้เปอร์เซ็นต์การสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตลดลง และพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 30 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร ที่เวลา 5 นาที จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดสูงสุดเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตทั้งหมด และได้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักเท่ากับ 416,522

เมื่อสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 30 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตรร่วมกับคลอโรฟอร์มในถังกวนแบบไม่ต่อเนื่อง พบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต คือที่อัตราส่วนระหว่างวัฏภาคคลอโรฟอร์มต่อวัฏภาคสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เท่ากับ 1.0 อัตราการกวนเท่ากับ 550 รอบต่อนาที เวลาในการกวน 5 นาที และความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร จะให้เปอร์เซ็นต์การสกัดเท่ากับ 89 เปอร์เซ็นต์ของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตทั้งหมด น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักเท่ากับ 771,675 และจากการตกตะกอนพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตด้วยเฮกเซน 1 ครั้ง จะได้ความบริสุทธิ์เท่ากับ 92.45 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาสมบัติบางประการของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต พบว่า อุณหภูมิหลอมตัวผลึก (T_m), อุณหภูมิแข็งตัวของผลึก (T_c), ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ใช้หลอมตัวผลึก (ΔH), เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก และขนาดของรูพรุนบนแผ่นฟิล์ม มีค่าเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส, 103 องศาเซลเซียส, 86 จูลต่อกรัม, 59 เปอร์เซ็นต์ และ 1-10 ไมโครเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การย่อยสลายของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตในดินจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด โดยถูกย่อยไปหนึ่งในสี่ของทั้งหมดภายในเวลา 60 วัน และจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการย่อยสลายกับเวลา พบว่า พอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจะสลายตัวหมดภายในเวลา 140 วัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....คมกฤช ดลอารมย์.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์.....

ปีการศึกษา.....2542..... ลายมือชื่อที่ปรึกษาร่วม.....

ABSTRACT

3970194221 MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : PHB, EXTRACTION, PHB RECOVERY, BIOPOLYMER

KOMGRIT DOLAROM : EXTRACTION OF POLY-β-HYDROXYBUTYRATE FROM *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599 USING SODIUM HYPOCHLORITE SOLUTION AND CHLOROFORM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHIRAKARN MUANGNAPOH, Dr. Ing. 168 pp. ISBN 974-334-458-6.

In the study of the poly-β-hydroxybutryrate (PHB) extraction from *Alcaligenes eutrophus* NCIMB 11599 with only sodium hypochlorite solution at 15, 20, 25 and 30 % v/v, it was found that the percentage of the PHB extraction varied directly with the sodium hypochlorite concentration. However the percent extractions tended to decrease when the sodium hypochlorite concentration increased to 35 %. The optimum condition consists of 30 % v/v of sodium hypochlorite concentration with maximum extraction of 90% of the total PHB in the first five minutes and a weight average molecular weight yield of 416,522.

Then, the study of the PHB extraction by using sodium hypochlorite solution with chloroform in batch reactor was undertaken. The optimum condition for PHB extraction was a 1:1 ratio between chloroform to sodium hypochlorite solution and an agitation speed of 550 rpm for 5 minutes and 100 g/l of initial cell concentration. Under these conditions, the percent extraction was found to be 89% of total PHB and the weight average molecular weight yield was 771,675. After PHB precipitation by hexane, a percent purity of 92.45% was obtained.

Some properties of PHB were studied. The crystalline melting temperature (T_m), the crystallization temperature (T_c), the overall heat of crystallization (ΔH), the percent crystalline and its pore diameter were found to be 180°C, 103°C, 86 J/g, 59% and 1-10 μm, respectively. In addition, the PHB was found to the most degraded in soil where ¼ of total PHB would degrade in 60 days and the PHB was predicted to be completely degraded within 140 days, which as shown in the relationship between PHB degradation as a function of time.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....Komgrit Dolarom.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....C. Muangnapoh.....

ปีการศึกษา.....2542.....ลายมือชื่อที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำวิธีการทำงานวิจัยตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.วรพัฒน์ อรรถยุกติ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความสนใจและให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่สนับสนุนให้ทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่อนุเคราะห์ให้ยืมเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอบคุณ เพื่อนๆ และน้องๆ ห้องวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ที่ทำให้ห้องวิจัยมีสีสัน และให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้โอกาสทางการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณทุกคนในครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมาจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สัญลักษณ์	ฒ
บทที่	
1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการศึกษา	2
2. ตรวจเอกสาร	4
2.1 พอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต	4
2.2 กระบวนการผลิตพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต	8
2.3 กระบวนการสกัดแยกผลิตภัณฑ์และทำให้บริสุทธิ์	10
2.4 สมบัติของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต	14
2.5 การประยุกต์ใช้พอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต	16
3. ทฤษฎี	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1 ทฤษฎีการย่อยเซลล์..... 18

3.2 ทฤษฎีการสกัด..... 23

3.3 ทฤษฎีการกวนในระบบของเหลวสองชนิดที่ไม่ผสมกัน..... 27

4. อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย..... 31

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 31

4.2 สารเคมี..... 35

4.3 เชื้อจุลินทรีย์..... 37

4.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ..... 37

4.5. วิธีการทดลอง..... 38

5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง..... 46

5.1 การศึกษาผลการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์..... 46

5.2 การศึกษาผลการย่อยเซลล์โดยวิธีทางเคมี และทางกล..... 46

5.3 การศึกษาการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจากถังกวนแบบไม่ต่อเนื่อง..... 61

5.4 การศึกษา shielding effect ของคลอโรฟอร์มในการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจากถังกวนแบบไม่ต่อเนื่อง..... 71

5.5 การเปรียบเทียบผลการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา..... 76

5.6 การศึกษาสมบัติบางประการของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่สกัดได้..... 78

5.7 สรุปผลการทดลอง..... 96

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.8 ข้อเสนอแนะ..... 98

รายการอ้างอิง..... 99

ภาคผนวก..... 103

ภาคผนวก ก..... 104

ภาคผนวก ข..... 108

ภาคผนวก ค..... 124

ประวัติผู้แต่ง..... 168

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถสร้าง และสะสมพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตไว้ในเซลล์.....	5
2.2	แสดงการผลิตพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจากเชื้อจุลินทรีย์ และสารอาหารชนิดต่างๆ.....	9
2.3	แสดงสมบัติของ PHB เปรียบเทียบกับ PP.....	15
2.4	แสดงสมบัติของ P(HB-co-HV).....	16
5.1	แสดงค่า ϕ และรูปแบบการกระจายตัว ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนระหว่างวัฏภาคคลอโรฟอร์มต่อวัฏภาคสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์.....	62
5.2	แสดงผลสรุปการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจากเชื้อจุลินทรีย์ และวิธีการสกัดต่างๆกัน.....	77
5.3	แสดงการเปรียบเทียบเรโซแนนซ์ของ ^{13}C ของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่ 125 MHz.....	78

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงสูตรโครงสร้างของ พอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต.....	4
2.2	แสดงพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตแกรนูลภายในเซลล์ โดยภาพตัดขวางของเซลล์ *Alcaligenes eutrophus* จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน.....	6
2.3	แสดงวัฏจักรการสังเคราะห์ และการสลายตัวของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตในเซลล์ *Alcaligenes eutrophus*.....	7
2.4	แสดงการผลิตพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตในระดับการค้า.....	10
3.1	แสดงผนังเซลล์ของแบคทีเรียชนิดแกรมลบ และแกรมบวก.....	18
3.2	แสดงรายละเอียดของพลาสมาเมมเบรน.....	19
3.3	แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	21
3.4	แสดงโฮโมจิไนซ์ชิงวาล์ว (homoginizing valve) ในเครื่องโฮโมจิไนเซอร์.....	22
3.5	แสดงการถ่ายเทมวลระหว่างของเหลว 2 ชนิดที่ไม่ผสมกัน.....	23
3.6	แสดงขนาดของถังกวนตามมาตรฐาน.....	27
3.7	แสดงอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคจริงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคที่ ϕ=0.1.....	30
3.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Power number (N_p) กับ Reynolds number (N_{Re})	30
4.1	แสดงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองในกระบวนการสกัด.....	33
4.2	แสดงชุดถังกวนแบบแก้วพร้อมใบกวน และชุดขาตั้ง.....	34
5.1	แสดงเปอร์เซ็นต์การสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่เวลาต่างๆกัน ที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็น 15, 20, 25, 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.2	แสดงเปอร์เซ็นต์การสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่เวลาต่างๆกัน ที่ความเร็วโฮโมจิไนเซอร์ 8000, 9500, 13500, 20500 และ 24000 รอบต่อนาที	50
5.3	แสดงเปอร์เซ็นต์การสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่เวลา 1-5 นาที ที่ความเร็วโฮโมจิไนเซอร์ 24000 รอบต่อนาที.....	51
5.4	แสดงเปอร์เซ็นต์การสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่เวลาต่างๆกัน ที่กำลังในการใช้คลื่นเหนือเสียงเป็น 25 และ 50 วัตต์.....	53
5.5	แสดงปริมาณการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่างกัน ที่เวลา 5 นาที.....	55
5.6	แสดงปริมาณการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่ความเร็วในการโฮโมจิไนซ์ต่างกัน ที่เวลา 5 นาที.....	56
5.7	แสดงปริมาณการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่กำลังในการใช้คลื่นเหนือเสียงต่างกัน ที่เวลา 10 นาที.....	57
5.8	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตสูงสุดที่สกัดได้จากวิธีการย่อยเซลล์ต่างกัน.....	58
5.9	แสดงการเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่อน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก.....	60
5.10	แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างวัฏภาคคลอโรฟอร์มต่อวัฏภาคสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่ออัตราและเปอร์เซ็นการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตจากถังกวนแบบไม่ต่อเนื่อง.....	63
5.11	แสดงการกระจายตัวของวัฏภาคคลอโรฟอร์มในวัฏภาคสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์.....	64
5.12	แสดงการกระจายตัวของวัฏภาคสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในวัฏภาคคลอโรฟอร์ม.....	64

รูปที่		หน้า
5.13	แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างวัฏภาคคลอโรฟอร์มต่อวัฏภาคสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ต่อความเข้มข้นพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่สกัดได้.....	65
5.14	แสดงผลของอัตราการกวนต่อการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตใน ถังกวนแบบไม่ต่อเนื่อง.....	67
5.15	แสดงผลของปริมาณเซลล์ต่อการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตในถังกวนแบบไม่ต่อเนื่องที่อัตราการกวนต่างๆ.....	69
5.16	แสดงผลของปริมาณเซลล์ต่อน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักจากการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตในถังกวนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่อัตราการกวนต่างกัน..	70
5.17	แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่อการสกัดพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตในถังกวนแบบไม่ต่อเนื่องที่อัตราการกวนต่างกัน...	73
5.18	แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่อน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักในถังกวนแบบไม่ต่อเนื่องที่อัตราการกวนต่างกัน.....	74
5.19	แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่อความบริสุทธิ์ของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่สกัดได้.....	75
5.20	แสดงผลเรโซแนนซ์ของ ^{13}C ของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่ 125 MHz โดยใช้ $CDCl_3$ เป็นสารอ้างอิง.....	79
5.21	แสดงอุณหภูมิหลอมตัวผลึก (T_m), อุณหภูมิแข็งตัวของผลึก (T_c), และปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ใช้หลอมตัวผลึก (ΔH).....	81
5.22	แสดงผลการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ส่องลงไปบนพื้นผิวของแผ่นฟิล์มพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตที่ได้จากการระเหยของคลอโรฟอร์ม..	83
5.23	แสดงเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของพอลิ-บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรตต่อจำนวนวันในสิ่งแวดล้อมชนิดต่างๆ.....	85

สัญลักษณ์

C_{A1}	=	ความเข้มข้นของ A ในของเหลวชนิดที่ 1 (g/l)
C_{A1i}	=	ความเข้มข้นของ A ในของเหลวชนิดที่ 1 ที่ผิวสัมผัสร่วม (g/l)
C_{A2}	=	ความเข้มข้นของ A ในของเหลวชนิดที่ 2 (g/l)
C_{A2i}	=	ความเข้มข้นของ A ในของเหลวชนิดที่ 2 ที่ผิวสัมผัสร่วม (g/l)
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของถังกวน (cm)
H	=	ความสูงของของเหลว (cm)
K_{L1}	=	สัมประสิทธิ์การการถ่ายเทมวลโดยรวมขึ้นกับของเหลวชนิดที่ 1 (cm/s)
K_{L2}	=	สัมประสิทธิ์การการถ่ายเทมวลโดยรวมขึ้นกับของเหลวชนิดที่ 2 (cm/s)
N_{A1}	=	อัตราการถ่ายเทมวลผ่านของเหลวชนิดที่ 1 (g/l-s)
N_{A2}	=	อัตราการถ่ายเทมวลผ่านของเหลวชนิดที่ 2 (g/l-s)
a	=	พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ (cm^2/cm^3)
b	=	ความกว้างของใบกวน (cm)
c	=	ความสูงของใบกวน (cm)
d	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของใบกวน (cm)
m	=	สัมประสิทธิ์การกระจายตัว (distribution coefficient) (-)
w	=	ความกว้างของ baffle (cm)