การสลายตัวของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด

นางสาว ฉันท์ทิพ คำนวณทิพย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-620-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18241840

DREGRADATION OF LOW - DENSITY POLYETHYLENE MODIFIED WITH ACID - HYDROLYSED TAPIOCA STARCH

Miss Chuntip Kumnuantip

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Acadamic Year 1997

ISBN 974-638-620-4

แบบพิมพ์หน้าอนุมัติภาษาไทย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสลายตัวของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด

โดย นางสาว ฉันท์ทิพ ตำนวณทิพย์

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เข็มชัย เหมะจันทร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ฉันท์ทิพ ตำนวณทิพย์ : การสลายตัวของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด (DEGRADATION OF LOW – DENSITY POLYETHYLENE FILM MODIFIED WITH ACID – HYDROLYSED TAPIOCA STARCH) อ.ที่ปรึกษา : รศ.อรอุษา สรวารี , 82 หน้า . ISBN 974-638-620-4

งานวิจัยนี้ได้ทดลองผลิตฟิล์มพลาสติกที่สามารถสลายตัวด้วยวิธีทางชีวภาพ จากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ถูกดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรดร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก การทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของฟิล์มกระทำโดยการทดสอบด้วยเชื้อรา *Aspergillus niger* และด้วยการฝังดิน ติดตามความก้าวหน้าของการสลายตัวโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของฟิล์มตัวอย่าง

ในการวิจัยพบว่าฟิล์มที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มสลายตัวทางชีวภาพได้ถ้าอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

C826377 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD:
POLYETHYLENE/TAPIOCA STARCH/DEGRADATION

CHUNTIP KUMNUANTIP : DEGRADATION OF LOW – DENSITY POLYETHYLENE FILM MODIFIED WITH ACID – HYDROLYSED TAPIOCA STARCH. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. ONUSA SARAVARI 82 pp. ISBN 974-638-620-4

This research was aimed to produce the biodegradable film from low-density polyethylene modified with acid hydrolysed tapioca starch. The degradation of the films containing 5 and 10 % by weight of tapioca starch was investigated. The biodegradation of the film was examined by using *Asperigillus niger* fungi and soil burial test. The progress of degradation was followed by testing physical changes and mechanical properties of the samples.

It is found that the low - density polyethylene film modified with acid - hydrolysed tapioca starch tends to be biodegraded in a suitable environmental condition.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีได้รับคำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการได้รับความเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือสำหรับการวิจัย ตลอดจนได้รับความช่วยเหลือแนะนำแนวทางด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย อาจารย์จารุรัตน์ นิยมเกียรติกุล อาจารย์ประจำคณะวิชาเทคนิคเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ ที่ช่วยเหลือแนะนำให้การเลี้ยงเชื้อรา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล และศูนย์เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

นอกจากนี้ ขอขอบคุณ บริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด ที่อนุเคราะห์เม็ดพลาสติกชนิด LDPE บริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด ที่อนุเคราะห์แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด

สำหรับทุนในการวิจัยในเรื่องนี้ ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณ วารุณี ฟางทวานิช และ นักศึกษา แผนกวิชาเคมีปฏิบัติการ คณะวิชาเทคนิคเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิจัยจนสำเร็จ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1
2 วารสารปริทัศน์ 3
2.1 พอลิเอทิลีน 3
2.1.1 กระบวนการผลิต LDPE 4
2.1.2 โครงสร้างและสมบัติเฉพาะตัวของ LDPE 5
2.2 แป้ง (starch) 8
2.2.1 องค์ประกอบและสมบัติของแป้งธรรมชาติ 8
2.2.2 กระบวนการไฮโดรลิซิสแป้งด้วยกรด 10
2.3 กระบวนการที่ใช้ในการผลิตฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งซึ่งผ่านกระบวนการไฮโดรลิซิสด้วยกรด 12
2.3.1 การผสมพลาสติกกับแป้งโดยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง 12
2.3.2 การผลิตฟิล์ม 13
2.4 การสลายตัวของพลาสติก 17
2.4.1 ลักษณะการสลายตัวของพลาสติก 17
2.4.2 การสลายตัวทางชีวภาพของพลาสติก 18
2.4.3 แนวทางการผลิตพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ 19
2.5 การทดสอบสมบัติของฟิล์มที่สลายตัวทางชีวภาพ 21
2.5.1 ความแข็งแรงของวัสดุ 21
2.5.2 น้ำหนักโมเลกุล 22
3 การทดลอง 25
3.1 ขั้นตอนการวิจัย 25
3.2 สารเคมีและวัตถุดิบ 25

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 26
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย 27
3.4.1 การปรับปรุงสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการไฮโดรลิซิสด้วยกรด 27
3.4.2 การศึกษาสมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด..... 27
3.4.3 การผลิตฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด 28
3.4.4 การนำฟิล์มมาผ่านกระบวนการย่อยสลาย 30
3.4.5 การทดสอบสมบัติของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด 31
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 33
4.1 การทดสอบสมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโดยการไฮโดรลิซิสด้วยกรด 33
4.1.1 การศึกษาลักษณะรูปร่างของแป้งมันสำปะหลังด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope 33
4.1.2 การหาความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง 35
4.1.3 การศึกษาโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังด้วยเครื่อง Raman – Spectroscopy 35
4.2 การผลิตฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด 37
4.2.1 การหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด..... 37
4.2.2 ความแข็งแรงของฟิล์มที่ผลิตได้ 38
4.2.3 ค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มที่ผลิตได้ 40
4.3 การสลายตัวของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด 42
4.3.1 ความแข็งแรงของฟิล์ม 42
4.3.2 การตรวจดูโครงสร้างบริเวณผิวของฟิล์ม..... 48
4.3.3 การหาน้ำหนักโมเลกุลของฟิล์ม 68
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 73
5.1 สรุปผลการทดลอง 73
5.2 ข้อเสนอแนะ 74

หน้า

รายการอ้างอิง 75
ภาคผนวก 77
ประวัติผู้วิจัย 82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงการจำแนกชนิดของพอลิเอทิลีนตามความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM 4
ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกรด JJ 4324 26
ตารางที่ 3.2 ปริมาณแป้งมันสำปะหลังและพลาสติก พอลิเอทิลีนชนิดหนาแน่นต่ำที่ใช้ในการเตรียมของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับพลาสติกในอัตราส่วนร้อยละ 5 , 10 , 15 และ 20 โดยน้ำหนัก.....28
ตารางที่ 3.3 ภาวะต่างๆ บริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน ที่ใช้ในการฝังพลาสติก 30
ตารางที่ 3.4 ภาวะต่างๆ บริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน ที่ใช้ในการฝังพลาสติก 30
ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติ.....35
ตารางที่ 4.2 ผลการผลิตฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ดัดแปรด้วยแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยกรด ในอัตราส่วนต่างๆ.....37
ตารางที่ 4.3 ความแข็งแรงของฟิล์มที่ผลิตได้.....39
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มพลาสติกที่ได้ 41
ตารางที่ 4.5 ค่าความทนแรงดึงของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย.....42
ตารางที่ 4.6 ค่าการยืดออกที่จุดขาดของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย.....45
ตารางที่ 4.7 ค่าอินทรินซิกวิสคอสซิตีของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย 68
ตารางที่ 4.8 ค่าน้ำหนักโมเลกุลของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย.....70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเอทิลีน 3
รูปที่ 2.2 แผนภาพการเตรียม LDPE ในเตาปฏิกรณ์ที่ความดันสูง.....5
รูปที่ 2.3 รายละเอียดโครงสร้างของสเฟียรูไลต์.....6
รูปที่ 2.4 การยอมให้แสงผ่านพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกต่างกัน.....7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะมีโลส.....9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอะมีโลเพกติน.....9
รูปที่ 2.7 การไฮโดรลิซิสแป้งด้วยกรด.....11
รูปที่ 2.8 เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง.....12
รูปที่ 2.9 เครื่องเป่าฟิล์มชนิดสกรูเดี่ยว.....14
รูปที่ 2.10 ลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการเป่าฟิล์ม.....16
รูปที่ 2.11 tie chain ที่เกิดขึ้นจากแรงดึง.....17
รูปที่ 2.12 กลไกการย่อยสลายแป้งในพลาสติกโดยจุลินทรีย์.....20
รูปที่ 2.13 การหายไปของเม็ดแป้งในพลาสติก 20
รูปที่ 2.14 เครื่องทดสอบความทนแรงดึง.....22
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลและความทนแรงดึง.....23
รูปที่ 2.16 เครื่องวิสโคมิเตอร์แบบต่างๆ.....24
รูปที่ 4.1 ลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังทั้งชนิดที่ไม่ผ่าน และผ่านการไฮโดรลิซิส ด้วยกรด 34
รูปที่ 4.2 รามานสเปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังทั้งชนิดที่ไม่ผ่าน และผ่านการไฮโดรลิซิส ด้วยกรด 36
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความทนแรงดึงของฟิล์มที่ผลิตได้.....40
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการยืดออกที่จุดขาดของฟิล์มที่ผลิตได้.....40
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มชนิดต่างๆ 41
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความทนแรงดึงของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย.....44
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการยืดออกที่จุดขาดของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย.....47
รูปที่ 4.8 พื้นผิวของฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ ที่ยังไม่ได้ผ่านการย่อยสลาย.....49
รูปที่ 4.9 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....50
รูปที่ 4.10 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 5 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....51

หน้า

รูปที่ 4.11 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 5 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....52
รูปที่ 4.12 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 H 5 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....53
รูปที่ 4.13 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 10 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....54
รูปที่ 4.14 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 H 10 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณสวนผลไม้ เขต บางขุนเทียน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....55
รูปที่ 4.15 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....56
รูปที่ 4.16 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 5 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....57
รูปที่ 4.17 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 5 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....58
รูปที่ 4.18 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 H 5 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....59
รูปที่ 4.19 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 10 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....60
รูปที่ 4.20 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 H 10 % ที่ผ่านการฝังดินในบริเวณบ้านพักอาศัย เขต บางเขน เป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....61
รูปที่ 4.21 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อราเป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน 62
รูปที่ 4.22 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 5 % ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อราเป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....63
รูปที่ 4.23 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 5 % ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อราเป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....64
รูปที่ 4.24 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 H 5 % ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อราเป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....65
รูปที่ 4.25 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 10 % ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อราเป็นเวลา 1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....66

หน้า

รูปที่ 4.26 พื้นผิวของฟิล์ม LDPE – S 026 H 10 % ที่วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อราเป็นเวลา
1 เดือน , 3 เดือน และ 5 เดือน.....67
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงน้ำหนักโมเลกุลของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย.....72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย