

สมบัติทางกายภาพของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก



นาย สุวัฒน์ชัย การเนตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

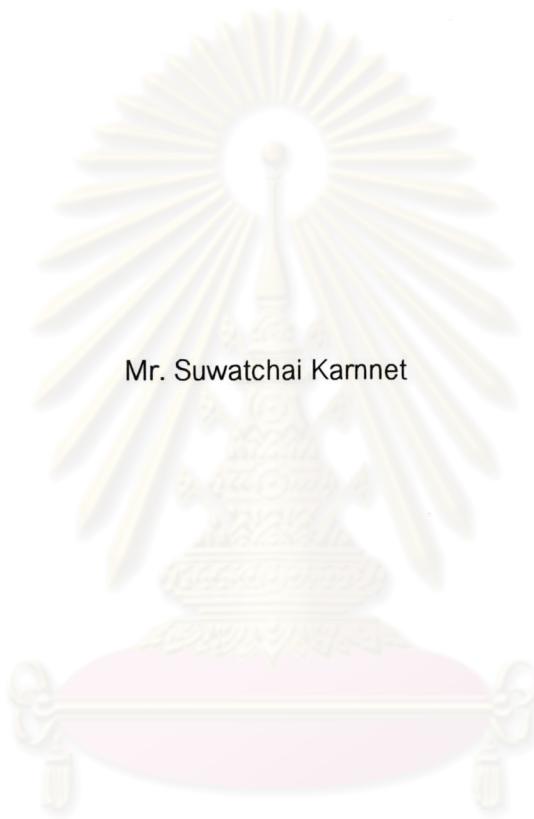
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4804-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYSICAL PROPERTIES OF STEARIC ACID-MODIFIED GELATIN FILM



Mr. Suwatchai Karnnet

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
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

Faculty of Science


Chulalongkorn University

Academic Year 2003

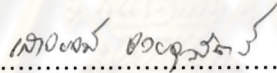
ISBN 974-17-4804-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติทางกายภาพของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเดียริก  
โดย นาย สุวัฒน์ชัย การเนตร  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลวรรณ พิมพพันธุ์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช

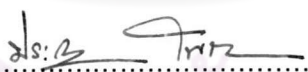
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

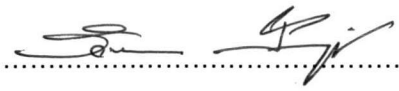
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ เสาวรณ ชัยจุลจิตร)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลวรรณ พิมพพันธุ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ไพพวรรณ สันติสุข)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รจนา ศิริสุข)

นายสุวัฒน์ชัย การเนตร์ : สมบัติทางกายภาพของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก.  
(PHYSICAL PROPERTIES OF STEARIC ACID-MODIFIED GELATIN FILM)  
อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. ประณัฐ โพธิยะราช  
108 หน้า. ISBN 974-17-4804-3.

งานวิจัยนี้เป็นการนำเจลาตินมาดัดแปรด้วยกรดสเตียริกปริมาณต่าง ๆ กัน ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา และภาวะความเป็นกรดที่ต่างกัน เมื่อนำสารละลายเจลาตินดัดแปรมาขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบจะได้ฟิล์มสีเหลืองอ่อน จากการศึกษาพบว่า ฟิล์มเจลาตินดัดแปรทุกสูตรมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่า มีระยะเวลาในการแห้งตัวนานกว่า มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมมากกว่า และมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพมากกว่าฟิล์มที่เตรียมจากเจลาตินซึ่งไม่ได้ผ่านการดัดแปร ในขณะที่ความทนทานต่อไขมันและน้ำมัน และความทนทานต่อสารเคมีของฟิล์มทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ฟิล์มเจลาตินดัดแปรที่มีสมบัติด้านแรงดึงที่ต่ำกว่าฟิล์มเจลาตินที่ไม่ได้ดัดแปร เมื่อพิจารณาสมบัติต่างๆ และลักษณะที่ปรากฏของฟิล์มโดยรวมแล้ว ผลการทดลองบ่งชี้ว่า ฟิล์มที่เตรียมจากเจลาตินซึ่งดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ระยะเวลาในการดัดแปร 8 ชั่วโมง ณ ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.5 จะมีศักยภาพมากที่สุดในการนำไปประยุกต์ด้านบรรจุภัณฑ์

## ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต..... สุวัฒน์ชัย การเนตร์ .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... ประณัฐ โพธิยะราช .....

## 4572557723 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORD : gelatin / stearic acid / modification

SUWATCHAI KARNNET : PHYSICAL PROPERTIES OF STEARIC ACID-MODIFIED GELATIN FILM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. VIMOLVAN PIMPAN, Ph.D. THESIS COADVISOR : ASST. PROF. PRANUT POTIYARAJ, Ph.D., 108 pp. ISBN 974-17-4804-3.

Gelatin was modified by various amounts of stearic acid in aqueous media at 60°C using different reaction times and pHs. By casting modified gelatin solutions, the slightly yellow films were formed. It was found that all modified gelatin films had lower % moisture absorption, longer drying time higher environmental resistance and higher biodegradability than the films prepared from unmodified gelatin. On the other hand, oil resistance and chemical resistance of both modified and unmodified gelatin films were comparable. However, the tensile properties of modified gelatin films were lower than those of unmodified gelatin films. When considering the properties and the appearance of the films, the results suggest that the film prepared from 15% stearic acid-modified gelatin using the reaction time of 8 hours and pH of 5.5 has highest potential for packaging application.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Materials Science

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Academic year 2003

Student's signature *Suwatchai Karnnet*

Advisor's signature *Vimolvan Pimpan*

Co-advisor's signature *Pranut Potiyaraj*

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนให้การสนับสนุนและส่งเสริมจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง  
ไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา  
และความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ เสาวรจันทร์ ช่วยจุลจิตร์ รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข  
และผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัชนา ศิริสุข คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบและ  
แนะนำการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่  
ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้แก่ผู้เขียนเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้าน  
ต่างๆตลอดมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ที่ให้กำลังใจและคำแนะนำในการ  
ทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอด  
มา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
2 วารสารปริทัศน์ .....	3
2.1 ผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ.....	3
2.2 เจลาติน.....	4
2.2.1 องค์ประกอบของเจลาติน.....	5
2.2.2 การเปลี่ยนสภาพจากคอลลาเจนเป็นเจลาติน.....	9
2.2.3 สมบัติของเจลาติน.....	12
2.2.4 ประโยชน์ของเจลาติน.....	15
2.2.5 เจลาตินดัดแปร.....	18
2.3 กรดไขมัน.....	21
2.3.1 กรดสเตียริก.....	21
2.4 การขึ้นรูปด้วยการหล่อ.....	28
2.4.1 การหล่อเย็น.....	28
2.4.2 การหล่อร้อน.....	29
3 การทดลอง.....	32
3.1 ขอบเขตการทดลอง.....	32
3.2 การเตรียมฟิล์มเจลาตินดัดแปร .....	32
3.2.1 สารเคมีและวัตถุดิบ.....	32
3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	33

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	33
3.3 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของฟิล์ม.....	36
3.3.1 การทดสอบระยะเวลาในการแห้งตัว.....	36
3.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี.....	37
3.3.3 การทดสอบความขุ่นมัว.....	37
3.3.4 การทดสอบความเงา.....	38
3.3.5 การทดสอบการดูดซึมความชื้น.....	39
3.3.6 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน.....	40
3.3.7 การทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อม.....	41
3.3.8 การทดสอบสมบัติด้านแรงดึง.....	41
3.3.9 การทดสอบความทนทานต่อสารเคมี.....	42
3.3.10 การทดสอบความทนทานต่อไขมันและน้ำมัน.....	43
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	44
4.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	44
4.2 การหาภาวะความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเจลาตินดัดแปร.....	44
4.2.1 ลักษณะทั่วไปของฟิล์ม.....	44
4.2.2 การทดสอบสมบัติด้านแรงดึง .....	45
4.2.3 การทดสอบการดูดซึมความชื้น.....	47
4.3 การหาปริมาณกรดสเตรียริกที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเจลาตินดัดแปร.....	48
4.3.1 ลักษณะทั่วไปของฟิล์มเจลาติน.....	48
4.3.2 การทดสอบความขุ่นมัว.....	53
4.3.3 การทดสอบความเงา.....	54
4.3.4 การทดสอบระยะเวลาในการแห้งตัว.....	55
4.3.5 การทดสอบสมบัติด้านแรงดึง.....	56
4.3.6 การทดสอบการดูดซึมความชื้น.....	59
4.4 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเจลาตินดัดแปร.....	60
4.4.1 การทดสอบความทนทานต่อไขมันและน้ำมัน.....	60



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.4.2 การทดสอบความทนทานต่อสารเคมี.....	62
4.4.3 การทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อม.....	63
4.4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี.....	64
4.4.5 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน.....	66
5 สรุปผลการทดลอง.....	72
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก.....	78
ภาคผนวก ข.....	89
ภาคผนวก ค.....	95
ภาคผนวก ง.....	101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	108

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความทนทานต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ของพอลิเมอร์สังเคราะห์แต่ละชนิด.....	4
2.2 ปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่างๆในเจลาติน.....	6
2.3 ชนิดของกรดอะมิโน .....	7
2.4 สมบัติของเจลาติน.....	13
2.5 สมบัติต่างๆของเจลาตินที่ดัดแปรด้วยกรดไขมัน.....	20
2.6 ชนิดของกรดไขมัน จุดหลอมเหลว และแหล่งที่พบ.....	22
2.7 สมบัติของกรดสเตียริกเกรดทางการค้าแปรตามกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์.....	24
2.8 การจำแนกปริมาณการใช้กรดสเตียริกในอุตสาหกรรมต่างๆ.....	25
3.1 สมบัติของเจลาตินจากศึกษาภัณฑ์พาณิชย์.....	32
3.2 ปริมาณสารต่างๆและภาวะความเป็นกรดต่างๆที่ใช้ในการดัดแปรเจลาติน.....	34
3.3 ระยะเวลาและปริมาณกรดสเตียริกที่ใช้ในการดัดแปรเจลาติน.....	36
3.4 ประเภทของตัวทำละลายที่ใช้ในการทดสอบ.....	42
4.1 ความทนทานต่อไขมันและน้ำมันของฟิล์มเจลาตินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาตินดัดแปร.....	61
4.2 ความทนทานต่อสารเคมีของฟิล์มเจลาตินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาตินดัดแปร.....	62
4.3 ความทนแรงดึงของชิ้นทดสอบหลังเข้าเครื่อง Xenotest .....	63
4.4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 5 วัน.....	67
4.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 7 วัน.....	68
4.6 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 10 วัน.....	69
4.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 12 วัน.....	70
4.8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยภายหลังจากฝังดินนาน 15 วัน.....	71

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อนุมูลกรดและเบสในกรดอะมิโน 1 โมเลกุล.....	5
2.2 พันธะเปปไทด์ระหว่างกรดอะมิโน 2 โมเลกุล.....	5
2.3 ลักษณะของสายโซ่ $\alpha$ helix ของคอลลาเจน.....	9
2.4 การเปลี่ยนแปลงจากคอลลาเจนเป็นเจลาติน.....	10
2.5 พันธะไฮโดรเจนของเจลาติน.....	17
2.6 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	19
2.7 โครงสร้างทางเคมีของกรดสเตียริก.....	21
2.8 การเกิดปฏิกริยาย้อนกลับได้ในกระบวนการผลิตกรดสเตียริก.....	26
2.9 การผลิตกรดไขมันโดยกระบวนการของทวิชเซล.....	27
2.10 แบบหล่อเย็น.....	29
2.11 แบบจุ่ม.....	30
2.12 แบบเท.....	30
2.13 แบบเหวี่ยง.....	31
3.1 การปั่นผสมสารละลายเจลาติน.....	34
3.2 แม่แบบพลาสติก.....	35
3.3 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	37
3.4 เครื่อง MACBETH Color-Eye 7000.....	38
3.5 Micro-gloss meter.....	38
3.6 ภาชนะสำหรับการทดสอบการดูดความชื้น.....	39
3.7 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	40
3.8 เครื่อง Xenotest.....	41
3.9 Universal testing machine.....	42
3.10 การทดสอบความทนทานต่อไขมันและน้ำมัน.....	43

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ลักษณะของชิ้นงานสูตร Gstd (n) และสูตร GM (ข) ด้านบนจากซ้ายไปขวา คือ สูตร GM4.0 กับ GM4.5 และด้านล่างจากซ้ายไปขวา คือ สูตร GM5.0 และ GM5.5.....	44
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดต่างกับความทนแรงดึงของฟิล์ม เจลาตินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาตินดัดแปร ณ ภาวะความเป็นกรดต่างต่างๆกัน.....	45
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดต่างกับความสามารถในการยึดดึง ณจุดขาด ของฟิล์มเจลาตินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาตินดัดแปร ณ ภาวะความเป็นกรดต่างต่างๆกัน.....	46
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดต่างกับยังสัมมูลซ์ของฟิล์ม เจลาตินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาตินดัดแปร ณ ภาวะความเป็นกรดต่างต่างๆกัน.....	46
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดต่างกับการดูดซึ่มความชื้นของฟิล์ม เจลาตินบริสุทธิ์และฟิล์มเจลาตินดัดแปร ณ ภาวะความเป็นกรดต่างต่างๆกัน.....	47
4.6 ลักษณะของฟิล์มเจลาตินบริสุทธิ์ (G-X-0) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-0 กับ G-4-0 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-0 กับ G-8-0 .....	48
4.7 ลักษณะของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตรียริก 5 เปอร์เซ็นต์ (G-X-5) โดยเรียง ลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-5 กับ G-4-5 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-5 และ G-8-5 .....	49
4.8 ลักษณะของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตรียริก 10 เปอร์เซ็นต์ (G-X-10) โดย เรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-10 กับ G-4-10 และล่างซ้ายไป ล่างขวา คือ G-6-10 และ G-8-10.....	49
4.9 ลักษณะของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตรียริก 15 เปอร์เซ็นต์ (G-X-15) โดย เรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-15 กับ G-4-15 และล่างซ้ายไป ล่างขวา คือ G-6-15 และ G-8-15 .....	50
4.10 ลักษณะของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตรียริก 20 เปอร์เซ็นต์ (G-X-20) โดย เรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-20 กับ G-4-20 และล่างซ้ายไป ล่างขวา คือ G-6-20 และ G-8-20.....	50

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ลักษณะของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 25 เปอร์เซ็นต์ (G-X-25) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-25 กับ G-4-25 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-25 และ G-8-25.....	51
4.12 ลักษณะของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 30 เปอร์เซ็นต์ (G-X-30) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-30 กับ G-4-30 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-30 และ G-8-30.....	51
4.13 ลักษณะของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 35 เปอร์เซ็นต์ (G-X-35) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-35 กับ G-4-35 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-35 และ G-8-35.....	52
4.14 ลักษณะของฟิล์มเจลาตินดัดแปรด้วยกรดสเตียริก 40 เปอร์เซ็นต์ (G-X-40) โดยเรียงลำดับจากบนซ้ายไปบนขวา คือ สูตร G-2-40 กับ G-4-40 และล่างซ้ายไปล่างขวา คือ G-6-40 และ G-8-40.....	52
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับความขุ่นมัวของฟิล์มเจลาตินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	53
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับความเงาของฟิล์มเจลาตินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	54
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับระยะเวลาการแห้งแตะได้ของฟิล์มเจลาตินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	55
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับระยะเวลาการแห้งแข็งของฟิล์มเจลาตินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	55
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับความทนแรงดึงของฟิล์มเจลาตินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	57
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับความสามารถในการยึดดึง ณ จุดขาดของฟิล์มเจลาตินที่ดัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	57

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับยั่งงมอดุลล์ของ ฟิล์มเจลาตินที่ตัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่างๆกัน.....	58
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดสเตียริกกับการดูดซึ่มความชื้นของ ฟิล์มเจลาตินที่ตัดแปรโดยใช้ระยะเวลาต่างๆกัน.....	59
4.23 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของเจลาตินบริสุทธิ์ที่ระยะเวลาการบั่น 8 ชั่วโมง.....	64
4.24 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของเจลาตินตัดแปรด้วยกรดสเตียริก 0 15 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการบั่น 8 ชั่วโมง ตามลำดับ จากบนลงล่าง.....	65
4.25 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของเจลาตินตัดแปรด้วยกรดสเตียริก 15 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะ เวลาการบั่น 2 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ จากบนลงล่าง.....	66
4.26 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของฟิล์มหลังจากฝังดินนาน 5 วัน โดยเรียงลำดับจากซ้ายไป ขวาคือ สูตร G-2-0 G-8-0 G-2-15 G-4-15 G-6-15 และ G-8-15.....	67
4.27 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของฟิล์มหลังจากฝังดินนาน 7 วัน โดยเรียงลำดับจากซ้ายไป ขวาคือ สูตร G-2-0 G-8-0 G-2-15 G-4-15 G-6-15 และ G-8-15.....	68
4.28 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของฟิล์มหลังจากฝังดินนาน 10 วัน โดยเรียงลำดับจากซ้าย ไปขวาคือ สูตร G-2-0 G-8-0 G-6-15 และ G-8-15.....	69
4.29 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของฟิล์มหลังจากฝังดินนาน 12 วัน โดยเรียงลำดับ จากซ้ายไปขวาคือ สูตร G-2-0 และ G-8-0.....	70