สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงคุณภาพหนังเทียมโดยอาศัยเทคโนโลยีนาโน

Improvement of PVC Sheet Surface with Nanotechnology

T104306

นางสาวพิชญ์สินี เกิดพันธุ์

นายสุธิพงษ์ ฟูคณะ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104306
วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงคุณภาพหนังเทียมโดยอาศัยเทคโนโลยีนาโน

นางสาวพิชญ์สินี เกิดพันธุ์

นายสุธิพงษ์ ฟูคณะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPROVEMENT OF PVC SHEET SURFACE

WITH NANOTECHNOLOGY

MS.PIDSINEE KERDPAN

MR.SUTHIPONG FUKANA

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การปรับปรุงคุณภาพหนังเทียมโดยอาศัยเทคโนโลยีนาโน
โดย	นางสาวพิชญ์สินี เกิดพันธุ์ รหัสนักศึกษา 48010611
	นายสุธิพงษ์ ฟูคณะ รหัสนักศึกษา 48010994
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ.รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

.....กรรมการ
(รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

.....กรรมการ
(ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพหนังเทียมโดยอาศัยเทคโนโลยีนาโน

โดย นางสาวพิชญ์สินี เกิดพันธุ์ รหัสนักศึกษา 48010611

นายสุธิพงษ์ ฟูคณะ รหัสนักศึกษา 48010994

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การปรับปรุงผิวหนังเทียมโดยการสังเคราะห์สารเคลือบผิวหนังเทียมเพื่อเพิ่มความสวยงาม ความคงทน และความต้านทานรอยขีดข่วน การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การสังเคราะห์สารเคลือบผิวจากเศษหนังฟอก และหาอัตราส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มสมบัติทางกายภาพ การสังเคราะห์สารเคลือบผิวหนังเทียมมี 2 ส่วน ส่วนแรกใช้ผงโปรตีนที่ตกตะกอนจากเศษหนังฟอกและส่วนที่สองใช้เจลาตินจากเศษหนังผสมกับไคโตซาน จากการทดลองส่วนแรกขนาดของผงโปรตีนมีขนาดใกล้เคียงนาโนเมตร และการทดสอบสมบัติเชิงกลแสดงดังต่อไปนี้ ความต้านแรงดึง 11.46 ถึง 15.64 MPa ร้อยละการยืด ณ จุดขาด 107.89 ถึง 278.26 และความแข็ง 52 ถึง 69 (Shore A) การทดลองส่วนที่สองทดสอบความแข็งอย่างเดียว ผลที่ได้คือ ความแข็ง 35 ถึง 53 (Shore A) จากผลการทดลองสารเคลือบสูตรที่ 5 ประกอบด้วยผงโปรตีน 20% และสารเคลือบสูตรที่ 7 ประกอบด้วยเจลาติน 25% ได้ชิ้นงานมีความแข็งมากที่สุดจึงสามารถต้านทานรอยขีดข่วนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Improvement of PVC Sheet Surface with Nanotechnology
Student	Ms.Pidsinee Kerdpan Student ID. 48010611
	Mr.Suthipong Fukana Student ID. 48010994
Degree	Bachelor of Engineering
Year	2008
Major	Chemical Engineering
Advisor	Asst.Prof.Ruenruedee Benjangkaprasert
Co-Advisor	Assoc.Prof.Dr.Paisal Nakpipat
Report for	Bachelor Degree of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Improving PVC sheet surface by synthesis of surface coating was the methods of increased appearance, durable and scratch resistant. The experiments are decided into 2 steps; the synthesis surface coating from chrome-tanned leather and investigated the optimum amount of used component to increase the physical properties of the product. Two methods of synthesis surface coating were studied, first method was used protein precipitate from chrome-tanned leather, and the second method was used mixing synthetic gelatin and chitosan ingredients. From the experimental results, the size of protein precipitate was nearly small as nanoparticle. The properties of products from the first method were tested as follow: Tensile strength = 11.46-15.64 MPa. Elongation at break = 107.89-278.26%. Hardness = 52-69 (Shore A). The products from second method were tested only hardness, its getting results were 35-53 (Shore A). Both the product formula 5 which contained 20% protein precipitate and formula 7 which contained 25% gelatin were given maximum hardness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา และความอนุเคราะห์จากบุคคลและองค์กรหลายฝ่าย

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ริ่นฤดี เบญจางคประเสริฐ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ร่วม และกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยนามพลาสติก จำกัด(มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ความรู้ในกระบวนการเคลือบผิว สารเคมี แผ่นหนังเทียม และเครื่องทดสอบสมบัติ

ขอขอบพระคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ และคุณพิมใจ ภู่ชนะกิจ เจ้าหน้าที่ธุรการประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่เป็นธุระในการประสานงานต่างๆ และให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน

พิชญ์สินี เกิดพันธุ์

สุธิพงษ์ ฟูคณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญรูป..... IX

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน..... 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... 2

1.4 ขอบเขตของโครงงาน..... 2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา..... 2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 นาโนเทคโนโลยี..... 3

2.2 หนังฟอก..... 3

2.2.1 กระบวนการผลิตหนังฟอก..... 4

2.3 หนังเทียม..... 7

2.3.1 PVC leather หรือ PU leather..... 7

2.3.2 PVC film & sheet..... 7

2.4 โปรตีน..... 8

2.4.1 การจำแนกประเภทโปรตีน..... 8

2.4.2 โครงสร้างของโปรตีน..... 9

2.4.3 สมบัติการมีประจุ สมบัติการละลาย และการเสียสภาพของโปรตีน..... 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 การตกตะกอนโปรตีนที่จุดไอโซอิเลคทริค.....12

2.6 เจลาติน.....15

2.6.1 กระบวนการผลิตเจลาติน..... 15

2.7 ไคติน-ไคโตซาน..... 17

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 18

บทที่ 3 การทดลอง..... 19

3.1 สารเคมี.....19

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 19

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์..... 20

3.4 ขั้นตอนการทดลอง..... 20

3.4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากเศษหนัง..... 20

3.4.2 การสกัดโปรตีนจากเศษหนัง.....21

3.4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง..... 21

3.4.4 การสกัดเจลาตินจากเศษหนัง..... 22

3.4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษหนัง ผงโปรตีน และเจลาติน 22

3.4.6 การผสมสูตรสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน.....23

3.4.7 การผสมสูตรสารเคลือบผิวหนังเทียมด้วยเจลาติน..... 24

3.4.8 การทดสอบสมบัติ..... 24

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 25

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากเศษหนัง..... 25

4.1.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในการย่อย

เศษหนัง 25

4.1.2 ศึกษาเวลาในการย่อยเศษหนังด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก..... 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีน.....26
4.1.4 ขยายขนาดการสกัดโปรตีนจากเศษหนัง.....27
4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง.....28
4.2.1 ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแช่เศษหนัง..... 28
4.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง.....29
4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบ..... 29
4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิว..... 30
4.4.1 ผลการทดสอบความต้านแรงดึง.....30
4.4.2 ผลการทดสอบร้อยละการยืด ณ จุดขาด.....31
4.4.3 ผลการทดสอบความแข็ง.....33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 35
5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนที่จุดไอโซอิเลคทริด..... 35
5.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง.....35
5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน..... 35
5.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากเจลาติน.....36
เอกสารอ้างอิง.....37
ภาคผนวก.....39
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง.....39
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิว.....42
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR.....48
ภาคผนวก ง ข้อมูลค่าการวัดความแข็งด้วยเครื่อง Durometer (Shore A).....49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 การทดลองการสกัดเจลาติน.....22

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมในการขึ้นรูปฟิล์มบาง.....23

ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมสารเคลือบจากเจลาติน.....24

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 4 และ 5 โมลาร์..... 25

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 6 12 และ 24 ชั่วโมง..... 26

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักเฉลี่ยของผงโปรตีนจากตกตะกอนด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 4 5 และ 6 โมลาร์..... 27

ตารางที่ 4.4 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดยน้ำหนักเริ่มต้นเป็น 20 30 และ 40 กรัม..... 27

ตารางที่ 4.5 ลักษณะกายภาพของเศษหนังที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 0.6 และ 0.8 โดยมวลต่อปริมาตร..... 28

ตารางที่ 4.6 การทดลองการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง.....29

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบของเศษหนัง ผงโปรตีนจากเศษหนัง และเจลาตินจากเศษหนัง..... 29

ตารางที่ ก1 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 4 และ 5 โมลาร์..... 39

ตารางที่ ก2 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 6 12 และ 24 ชั่วโมง.....39

ตารางที่ ก3 น้ำหนักเฉลี่ยของผงโปรตีนจากการตกตะกอนด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 4 5 และ 6 โมลาร์.....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก4 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดย น้ำหนักเริ่มต้นเป็น 20 30 และ 40 กรัม..... 40

ตารางที่ ก5 การทดลองการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง.....40

ตารางที่ ก6 องค์ประกอบของเศษหนัง..... 41

ตารางที่ ก7 องค์ประกอบของผงโปรตีน.....41

ตารางที่ ก8 องค์ประกอบของเจลาติน.....41

ตารางที่ ข1 ผลการทดสอบความต้านแรงดึงของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน..... 42

ตารางที่ ข2 ผลการทดสอบร้อยละการยืด ณ จุดขาดของสารเคลือบผิวหนังเทียมจาก ผงโปรตีน.....44

ตารางที่ ข3 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน.....46

ตารางที่ ข4 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากเจลาติน..... 47

ตารางที่ ง1 ตารางเปรียบเทียบความแข็ง.....49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตหนังฟอก.....6

รูปที่ 2.2 การกระจายตัวของส่วนที่ชอบน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำบนโมเลกุลของโปรตีน..... 13

รูปที่ 2.3 แรงกระทำทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างโมเลกุลโปรตีน.....13

รูปที่ 2.4 ความสามารถในการละลายของโปรตีนที่ค่าพีเอชต่างๆ.....14

รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตเจลาติน.....16

รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบความต้านแรงดึงในแนวขวางของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน.....30

รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบความต้านแรงดึงในแนวยาวของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน.....31

รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบร้อยละการยืด ณ จุดขาดในแนวขวางของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน.....32

รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบร้อยละการยืด ณ จุดขาดในแนวยาวของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน.....32

รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน.....33

รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากเจลาติน.....34

รูปที่ ค1 สเปกตรัมจากเทคนิค FT-IR.....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อุตสาหกรรรมฟอกหนังเป็นอุตสาหกรรม (Agro-Industry) ประเภทหนึ่งซึ่งมีการนำหนังสัตว์มาใช้ประโยชน์โดยผ่านกรรมวิธีฟอกหนัง หนังสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการฟอกหนังประมาณร้อยละ 90 เป็นหนังโคและกระบือ ที่เป็นหนังจากภายในประเทศและหนังดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศ [1] ในประเทศไทยมีโรงงานฟอกหนังประมาณ 150 โรงงาน ในการฟอกหนังจะมีเศษวัสดุเหลือทิ้ง คือ เศษหนังเฉลี่ยปีละ 18,000 ตัน โดยเป็นเศษหนังจากขั้นตอนต่างๆในกระบวนการฟอกหนังและมีเศษหนังที่มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นกากของเสียอันตรายที่ทางโรงงานไม่ได้นำไปขายหรือใช้ประโยชน์อื่นๆ แต่จะให้เทศบาลนำไปกำจัดทำให้พื้นที่ทิ้งขยะและพื้นที่ฝังกลบเพิ่มขึ้น

ปัจจุบันพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (Polyvinyl Chloride; PVC) โดยพลาสติกชนิดนี้มีการใช้งานกันอย่างมากโดยเฉพาะพีวีซีชีท ฟิล์ม หนังเทียมและแผ่นพลาสติก ซึ่งเป็นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดอ่อนหรือยืดหยุ่นสามารถนำไปแปรรูปเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากสามารถปรับปรุงสมบัติต่างๆให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ง่ายโดยการเติมสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อปรับปรุงสมบัติตามที่ต้องการได้ ปริมาณการใช้หนังเทียมในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นทุกปี นอกจากนี้ในหลายๆอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศมีการนำหนังเทียมไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์นำหนังเทียมไปใช้เป็นวัสดุหุ้มเบาะและตกแต่งภายในรถยนต์ อุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์ เครื่องประดับ เครื่องนุ่งห่ม

ปัญหาหนึ่งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพลาสติกพีวีซีชีทหรือหนังเทียม คือโครงสร้างของผิวหนังเทียมที่มักเกิดรอยขีดข่วนทำให้หนังเทียมหมดความสวยงาม ดังนั้นเพื่อขจัดปัญหาที่เกิดจากรอยขีดข่วนที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าว คณะผู้ทำโครงงานจึงศึกษาพัฒนา และปรับปรุงสมบัติของหนังเทียมให้สามารถป้องกันการเกิดรอยขีดข่วนได้ดียิ่งขึ้น โดยสังเคราะห์สารเคลือบจากเศษหนังฟอก ผลงานที่ได้จะมีคุณค่าต่อผลิตภัณฑ์หนังเทียมซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาสารเคลือบผิวหนังเทียมโดยมุ่งเน้นการต้านทานหรือลดรอยขีดข่วน
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากหนังฟอกโดยมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงในระดับนาโน
3. เพื่อศึกษาวิธีการผลิตและอัตราส่วนสารเคลือบผิวหนังเทียมที่เหมาะสม
4. เพื่อศึกษาสมบัติของผิวหนังเทียมที่เคลือบสารเคลือบ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. อัตราส่วนโปรตีนในสารเคลือบมีผลต่อสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็ง การยึดติดผิว
2. สารเคลือบที่เตรียมได้มีสมบัติใกล้เคียงกับสารเคลือบผิวที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาหาวิธีการนำเศษหนังที่ได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังมาใช้ให้เกิดประโยชน์
2. ศึกษาการผลิตสารเคลือบผิวหนังเทียมจากเศษหนังฟอก

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีน และเจลาตินจากเศษหนัง
3. ศึกษาสารเคลือบผิวสูตรต่างๆ และทดสอบสมบัติของหนังเทียมหลังเคลือบด้วยสารเคลือบ
4. สรุปผลการทดลองและหาแนวทางพัฒนาสารเคลือบผิวต่อไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สารเคลือบที่มีสมบัติใกล้เคียงกับสารเคลือบที่ใช้ในโรงงาน
2. สามารถลดปริมาณขยะ และสร้างมูลค่าเพิ่มแก่เศษหนังฟอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) [2]

นาโนเทคโนโลยี คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้างหรือการวิเคราะห์ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) รวมถึงการออกแบบหรือการประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อใช้สร้างหรือวิเคราะห์วัสดุในระดับที่เล็กมากๆ เช่น การจัดอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุหรืออุปกรณ์มีคุณสมบัติพิเศษขึ้นทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

สาขาย่อยของนาโนเทคโนโลยี

1. นาโนอิเล็กทรอนิกส์ (Nanoelectronics)
2. นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ (Bionanotechnology)
3. นาโนเซนเซอร์ (Nanosensor)
4. การแพทย์นาโน (Nanomedicine)
5. ท่อนาโน (Nanotube)
6. นาโนมอเตอร์ (Nanomotor)
7. โรงงานนาโน (Nanofactory)

2.2 หนังฟอก [1]

วัตถุดิบหลักสำหรับอุตสาหกรรมฟอกหนังประกอบด้วยหนังดิบและสารเคมีชนิดต่างๆ ประมาณร้อยละ 90 ของหนังดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังจะเป็นหนังโคและกระบือ ที่เหลือเป็นหนังจาก งู จระเข้ นกกระจอกเทศ ปลากระเบน หมู แกะ และอื่นๆ โดยประมาณร้อยละ 80 ของหนังดิบต้องนำเข้าจากต่างประเทศเนื่องจากปริมาณหนังในประเทศมีไม่เพียงพอ เพราะจำนวนประชากรโค และกระบือลดลงอย่างต่อเนื่อง และการเลี้ยงโคและกระบืออย่างไม่ถูกต้องทำให้เกิดรอยแผลขีดข่วน รวมทั้งการฆ่า ชำแหละ และการรักษาที่ไม่ถูกวิธี ทำให้หนังดิบไม่มีคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 กระบวนการผลิตหนังฟอก

กระบวนการผลิตหนังฟอกสำเร็จ (Finished Leather) ในอุตสาหกรรมฟอกหนังสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ คือ การเตรียมหนังก่อนฟอก การฟอก และการตกแต่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.2.1.1 การเตรียมหนังก่อนฟอก (Beamhouse Process)

เริ่มจากการเตรียมหนังดิบ (Raw Hides and Skin) ให้พร้อมที่จะฟอก โดยเริ่มจากการล้าง (Washing) การคัดแยก และตัดแต่งหนังเค็ม (Sorting and Trimming) หรือเป็นการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการ เช่น กีบเท้า ขน เศษหนัง จากขั้นตอนนี้จะได้เศษหนังซึ่งเป็นส่วนที่สามารถนำไปบดผลิตเป็นหนังพื้นรองเท้า จากนั้นจะนำหนังที่ได้มาล้างและแช่น้ำให้คืนตัว (Washing and Soaking) และทำการแช่น้ำปูน (Liming) กำจัดขนออกด้วยซัลไฟด์ ถากหนัง (Fleshing) ผ่าหนัง (Splitting) ซึ่งเมื่อผ่าแยกชั้นแล้วจะมี 2 ส่วน คือ ส่วนบนเรียกว่า หนัง Upper หรือ Grain ส่วนนี้จะนำไปผลิตเป็นหนังฟอก และส่วนล่างเรียกว่าหนังส่วนล่าง หรือ Splits ส่วนนี้จะนำไปผลิตเป็นของแทะเล่นสำหรับสัตว์เลี้ยง (Dogchew) และหนังฟอกคุณภาพรอง ต่อจากนั้นจะนำหนังมาล้างน้ำปูน (Deliming) และบ่มหนัง (Bating) เพื่อให้หนังนุ่มและหดตัว

2.2.1.2 การฟอก (Tanning Process)

การฟอกหนังเป็นการเปลี่ยนสภาพหนังดิบ (Raw Hides and Skin) ซึ่งเน่าเปื่อยได้ให้เป็นหนังสำเร็จที่คงตัวกว่า ไม่เน่าเปื่อย มีความทนทานต่อสภาพอากาศและน้ำร้อน การรักษาสภาพหนังดิบไม่ให้เน่าเปื่อยจะต้องใช้สารเคมีบางชนิด เช่น ฝาด โครเมียม หรือสารเคมีอื่นๆ ไปทำปฏิกิริยากับโปรตีน(คอลลาเจน)ในหนัง กรรมวิธีการฟอกหนังที่ใช้กันอยู่มี 2 วิธี คือ

1. **การฟอกโครม (Chrome Tanning)** การฟอกประเภทนี้เป็นที่นิยม เนื่องจากหนังที่ได้เป็นที่ต้องการของตลาด ใช้เวลาฟอกน้อย สารเคมีราคาถูก หนังที่ฟอกแล้วทนต่อความร้อนและความชื้นได้ การฟอกโครมเป็นการฟอกที่ทำในถังหมุนซึ่งจะใส่สารเคมีจำพวกโครม (Chrome) สารนี้เป็นพวกเกลือของโครเมียม เช่น โครมิค (Chromic) เป็นสารฟอก ซึ่งจะทำให้หนังมีสภาพเป็นไฟเบอร์ (Fiber) เมื่อนำไปตากแห้งแล้วจะแข็งมีสีเขียว โดยทั่วไปแล้วประมาณร้อยละ 70 ของโครเมียมที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับหนัง อีกร้อยละ 30 จะถูกปล่อยทิ้งไปกับน้ำเสีย การตรึงโครมให้อยู่กับหนังสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการปรับค่าพีเอช (pH) ดังนั้นระหว่างการฟอกโครมจึงต้องมีการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ลงไปทีละน้อยอย่างช้าๆ เพื่อได้ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ พีเอช 4.5 หนังที่ผ่านการฟอกโครมแล้วเรียกว่าหนังเขียว (Wet Blue) ขั้นตอนต่อมาคือ การล้างด่าง (Neutralization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การฟอกฝาด (Vegetable Tanning) การฟอกประเภทนี้จะนำสารสกัดประเภทแทนนิน ซึ่งสกัดได้จากเปลือกไม้พวกยูคาลิปตัส ควีบราโค และอื่นๆ มาเป็นสารฟอก ทำได้ในถังไม้ปั่นหรือบ่อคอนกรีตที่ต่อแบบอนุกรมทั้งนี้น้ำที่ใช้ฟอกแล้วสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เพราะสารที่ใช้ฟอกเป็นสารธรรมชาติ ขั้นตอนต่อมาคือการล้างหนัง (Rinsing) โดยการใช้กรดออกซาลิกล้างฝาดส่วนเกินออกจากหนังซึ่งฝาดส่วนเกินจะมีผลต่อคุณภาพหนังอย่างมาก

จากนั้นนำหนังที่ได้จากทั้ง 2 วิธีการฟอก ไปรีดน้ำเพื่อทำให้แห้ง และมีการเจียนผิวด้วยเครื่องตัดแต่ง และคัดเลือก เพื่อเก็บไว้รอจำหน่ายหรือแปรรูปตามความต้องการของตลาดต่อไป

3. การตกแต่ง (Finishing Process) แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ การฟอกทับ (Retannage) การย้อมสี (Dyeing) และการใส่น้ำมัน (Fat Liquoring)

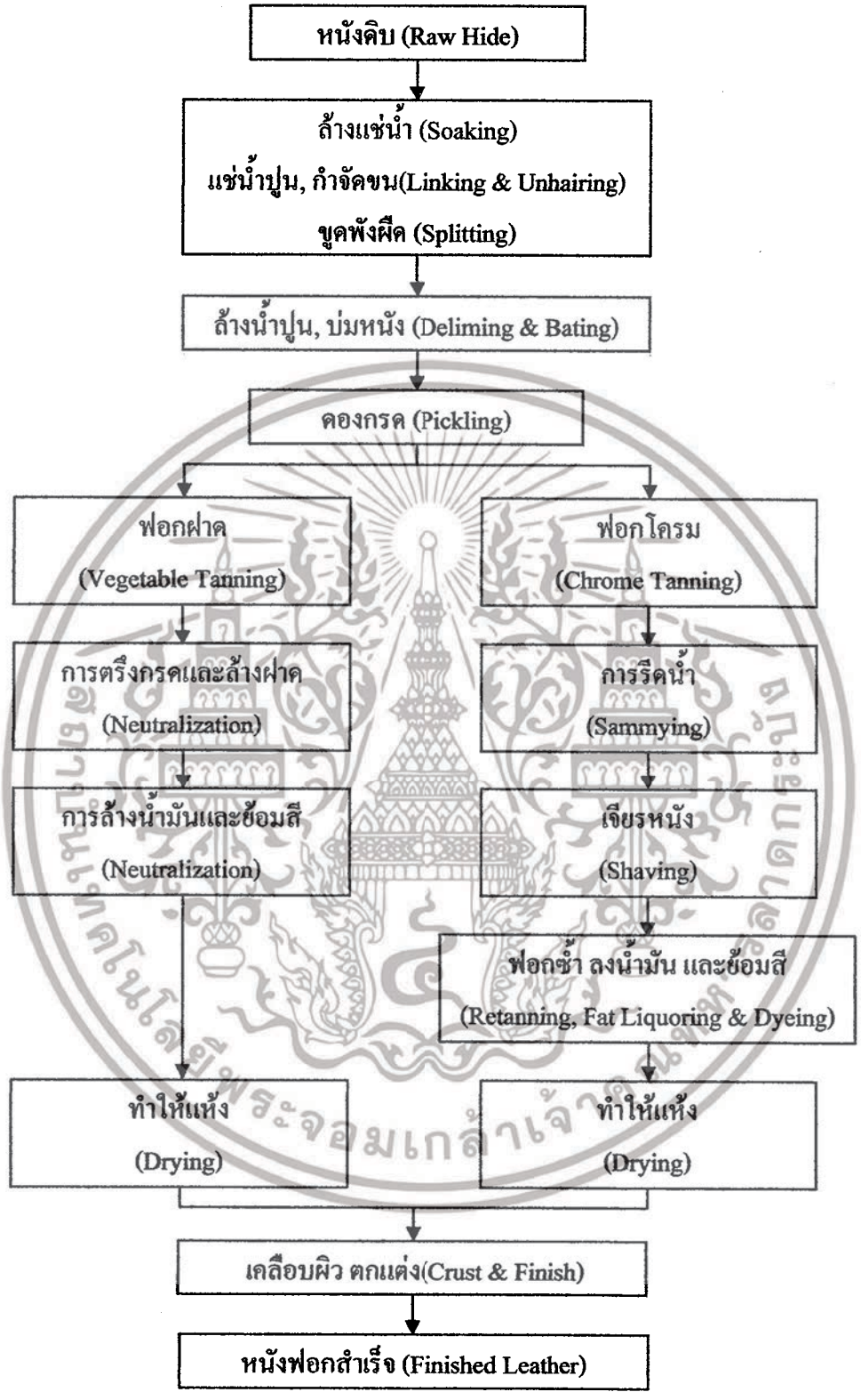
การฟอกทับ เป็นการนำหนังเขียวที่ได้จากการฟอกโครมมาฟอกทับเพื่อปรับปรุงคุณภาพหนังให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาด สารที่ใช้ในการฟอกทับมีทั้งที่เป็นสารเคมี สารสกัดจากธรรมชาติ และสารสังเคราะห์ หลังจากนั้นจะนำหนังที่ได้จากการฟอกทับนี้ไปย้อมสี (Dyeing)

สำหรับการฟอกฝาดจะไม่มีการฟอกทับแต่จะใช้กรดฟอร์มิกปรับสภาพหนังก่อน แล้วจึงนำไปย้อมสีและตรึงสีให้ติดหนัง โดยมากมักใช้ไอน้ำทำให้หนังและน้ำย้อมสีร้อน

การใส่น้ำมัน (Fat Liquoring) ให้แก่หนังที่ได้จากการฟอกทั้ง 2 วิธี จะเป็นการทำให้หนังมีความอ่อนนุ่ม อยู่ตัว โดยอาจทำพร้อมกับการฟอกทับ หรือการย้อมสี หรืออาจแยกทำต่างหากก็ได้ หนังที่ได้เรียกว่าหนังพื้น (Crust)

หนังพื้นที่ได้จากการฟอกทั้ง 2 กรรมวิธี เมื่อเสร็จจากขั้นตอนการย้อมสีและใส่น้ำมันแล้วจะต้องนำมาทำให้แห้ง โดยวิธีที่แตกต่างกันตามกรรมวิธีการฟอก คือ หนังที่ได้จากการฟอกฝาดนั้นจะทำการรีดน้ำ (Sammying) รีดหนังหมาด (Setting Out) ตากแห้ง (Drying) รีดหนัง (Rolling) และขัดมัน (Grazing) ส่วนหนังที่ได้จากการฟอกโครมจะมีขั้นตอนมากกว่า ทั้งที่เหมือนและไม่เหมือนกับการฟอกฝาด ได้แก่ การรีดน้ำ รีดหนังหมาด อบแห้ง (Vacuum or Paste Drying) ทำให้ชื้น (Reconditioning) ทำให้นิ่ม (Staking) ผึ่งให้แห้ง (Toggle Dry) ขัดผิว (Buffing) หลังการฟอกทั้ง 2 วิธีจะนำหนังพื้นที่ได้มาทำการวัดขนาดหนัง (Measuring) ก่อนจะนำออกสู่ตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตหนังฟอก [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หนังเทียม (Artificial Leather)

หนังเทียมเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกสำเร็จรูปชนิดหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นพลาสติกชนิดพีวีซี (Polyvinyl Chloride) หรือ พียู (Polyurethane) ก็ได้ นิยมใช้ทำเบาะรถยนต์ กระเป๋า เข็มขัด รองเท้า เฟอร์นิเจอร์ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ใช้แทนหนังแท้ เนื่องจากในปัจจุบันนอกจากหนังดิบจะมีราคาแพงแล้วยังขาดแคลนหนังดิบที่จะนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์หนังแท้ จึงทำให้ผู้ใช้หันมาใช้หนังเทียมแทนหนังแท้ซึ่งมีราคาถูกกว่ากันมากขึ้น ประกอบกับหนังเทียมมีสมบัติและลักษณะใกล้เคียงกับหนังแท้ สามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้อย่างดีอีกทั้งยังสามารถปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นหรือนำมาดัดแปลงให้เหมาะกับการใช้ได้มากกว่าหนังแท้ จึงทำให้มีผู้นิยมใช้หนังเทียมแทนหนังแท้เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ หนังเทียมมีหลายชนิดโดยแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท ตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้คือ

2.3.1 PVC leather หรือ PU leather แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) PVC leather cloth หรือ PU leather cloth (หนังเทียม)

2) Sponge leather cloth (หนังเทียมฟองน้ำ)

หนังเทียมประเภทนี้มีลักษณะคล้ายหนังแท้มาก ข้อแตกต่างของหนังเทียม 2 ชนิดนี้ คือ PVC leather cloth หรือ PU leather cloth จะมี 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นผ้าและชั้นผิวพีวีซีหรือพียู นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องหนังต่างๆ แทนหนังแท้ เช่น กระเป๋าหนัง ส่วน Sponge leather cloth จะมี 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นผ้า ชั้นฟองน้ำ และชั้นผิวพีวีซีหรือพียู จึงนิยมใช้ผลิตเครื่องเฟอร์นิเจอร์ เบาะรถยนต์ และเบาะรถจักรยานยนต์ เป็นต้น

2.3.2 PVC film & Sheet แบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1) PVC Film มีลักษณะใส โปร่งแสง มีขนาดความหนาตั้งแต่ 0.03 – 0.19 มิลลิเมตร นิยมใช้ทำเป็นแผ่นพลาสติกหุ้มสมุด หนังสือ

2) PVC Sheet มีลักษณะทึบแสง มีทั้งชนิดหนาและบาง คือ มีขนาดความหนาตั้งแต่ 0.20 มิลลิเมตรขึ้นไป ชนิดบางนิยมใช้ทำรองเท้า ชนิดหนาใช้ทำเข็มขัด ผ้าใบ ผ้าเต็นท์ และผ้าปูโต๊ะ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โปรตีน [4-5]

โปรตีนจัดเป็นชีวโมเลกุลที่พบมากที่สุดในสิ่งมีชีวิต โปรตีนเป็นพอลิเมอร์ของกรดอะมิโน (Amino Acid) ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 20 ชนิด สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนโดยทั่วไปสามารถแสดงได้ดังนี้ NH_2-CHR-COOH (ยกเว้นโปรลีนซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็นวง) ในสูตรโครงสร้างมาตรฐานของกรดอะมิโนแอลฟาคาร์บอน (α-carbon) จะเชื่อมต่อกับหมู่ 4 หมู่ ซึ่งได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) หมู่อะมิโน(Amino Group) ไฮโดรเจนอะตอม(H) และหมู่โซ่ข้าง(Side Chain; R)

โปรตีนประกอบขึ้นด้วยการเชื่อมโยงของกรดอะมิโนด้วยพันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond) ที่เรียกว่า พันธะเพปไทด์ (Peptide Bond) ปฏิกิริยาการเกิดพันธะเพปไทด์เป็นปฏิกิริยาการกำจัดโมเลกุลของน้ำ (Eliminate of Water Molecule หรือ Condensation) ระหว่างหมู่แอลฟาคาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวที่หนึ่ง และหมู่แอลฟาอะมิโนของกรดอะมิโนตัวที่สอง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดพันธะเพปไทด์จากกรดอะมิโนสองตัว เรียกว่า ไดเพปไทด์

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดพันธะเพปไทด์จากกรดอะมิโนมากกว่าสองตัวเรียกว่า โอลิโกเพปไทด์ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเดียวกันนี้ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากจะเรียกว่า พอลิเพปไทด์ โปรตีนจัดเป็นพอลิเพปไทด์ที่มีขนาดใหญ่ พันธะเพปไทด์ในโปรตีนจัดเป็นพันธะอุปเสถียร เนื่องจากสามารถสลายได้ด้วยน้ำ (Hydrolysis) เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

2.4.1 การจำแนกประเภทโปรตีน

2.4.1.1 การจำแนกตามองค์ประกอบ (Composition) การจำแนกแบบนี้แบ่งโปรตีนออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. โปรตีนเชิงเดี่ยว โปรตีนชนิดนี้ถ้านำไปไฮโดรไลซ์จะได้สารประเภทกรดอะมิโนอย่างเดียว
2. โปรตีนคอนจูเกต โปรตีนชนิดนี้ถ้านำไปทำไฮโดรไลซ์จะได้กรดอะมิโน สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ปนออกมาด้วย บางครั้งเรียกสารที่ปนออกมานั้นว่าหมู่ฟรอสเธติค

2.4.1.2 การจำแนกตามโครงสร้างสามมิติ การจำแนกแบบนี้แบ่งโปรตีนออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. โปรตีนเส้นใย เป็นโปรตีนที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่รูปร่างยาวคล้ายเส้นด้าย ประกอบด้วยพอลิเพปไทด์ตั้งแต่สองสายขึ้นไป ไม่ค่อยละลายน้ำ เช่น คอลลาเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โปรตีนก้อนกลม โปรตีนชนิดนี้โครงสร้างอัดแน่นกว่าโปรตีนเส้นใย สายพอลิเพปไทด์จะคดโค้งหรือบิดงออย่างมีระเบียบแบบแผน อาจประกอบด้วยพอลิเพปไทด์ตั้งแต่หนึ่งสายหรือสองสายขึ้นไป รูปร่างเป็นทรงกลม (Sphere) หรือรูปไข่ (Ellipse) ละลายน้ำได้ดีกว่าโปรตีนเส้นใยมาก เช่น เอนไซม์ต่างๆ

2.4.2 โครงสร้างของโปรตีน (Conformation of Protein) แบ่งออกเป็น 4 ระดับคือ

1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary Structure) จะบอกให้ทราบถึงองค์ประกอบของพอลิเพปไทด์ ว่าประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดใดบ้าง จำนวนอย่างละเท่าใด และกรดอะมิโนเหล่านั้นมีการเรียงตัว (Sequence) อย่างไร

2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Structure) บอกให้ทราบถึง Geometrical Orientation ของพอลิเพปไทด์

3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary Structure) บอกให้ทราบถึงโครงสร้างสามมิติอย่างสมบูรณ์แบบ ครอบคลุมไปถึง Orientation และหมู่พรอสเธติค

4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quarternary Structure) บอกให้ทราบถึงการรวมตัวกันของพอลิเพปไทด์ตั้งแต่สองสายขึ้นไป การรวมตัวนี้ไม่ต้องอาศัยพันธะโคเวเลนต์

2.4.3 สมบัติการมีประจุ สมบัติการละลายและการเสียสภาพของโปรตีน (Charge, Solubility Properties of Protein and Protein Denaturation)

2.4.3.1 สมบัติการมีประจุ (Protein Charge) โปรตีนเป็นโมเลกุลชีวภาพที่มีสมบัติการมีประจุคือ มีสมบัติการเป็นพอลิเพปไทด์ของโปรตีนเพราะมีหมู่ $-NH_3^+$ และหมู่ $-COO^-$ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีประจุ นอกจากนั้นหมู่โซ่ข้างของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์สามารถแตกตัวได้ในสารละลายด้วยค่า pKa ต่างๆกัน สมบัติความเป็นประจุของโปรตีนส่วนใหญ่จะขึ้นกับชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่หมู่โซ่ข้างมีประจุ และการแตกตัวของหมู่โซ่ข้างเหล่านี้ที่ค่าพีเอชหนึ่งๆ ซึ่งผลรวมของประจุที่แตกตัวนี้ส่งผลให้โปรตีนมีประจุสุทธิ (Net Charge) และที่ค่าพีเอชค่าหนึ่งที่โปรตีนมีปริมาณประจุลบเท่ากับปริมาณประจุบวก คือมีประจุสุทธิเท่ากับศูนย์ จะเรียกค่าพีเอชนี้ว่า จุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric Point, pI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 สมบัติการละลายของโปรตีนและการเสียสภาพของโปรตีน (Solubility Property of Protein and Protein Denaturation)

ความสามารถในการละลายของโปรตีนที่ลดลงหรือการตกตะกอนของโปรตีนจัดเป็นตัวอย่างหนึ่งของ **การสูญเสียสภาพของโปรตีน** การเสียสภาพของโปรตีนคือการที่สมบัติทางกายภาพหรือโครงสร้างสามมิติของโปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะต่างๆที่มีผลต่อพันธะ และแรงต่างๆที่ช่วยในการยึดเหนี่ยวโครงสร้างสามมิติของโปรตีน เช่น การตกตะกอนโปรตีนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน จากโครงรูปกลมที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีเป็นสารพอลิเพปไทด์เกลียวขดแบบสุ่ม แต่ยังคงมีโครงสร้างปฐมภูมิและพันธะเพปไทด์ดังเดิม

การเสียสภาพของโปรตีนบางชนิดเป็นการเสียสภาพแบบไม่ถาวรคือหากมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะหรือกำจัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเสียสภาพนั้นออกไป โปรตีนสามารถเกิดการม้วนตัวใหม่เพื่อคืนสู่สภาพธรรมชาติและมีสมบัติทางชีวภาพดังเดิม กระบวนการนี้เรียกว่า การคืนสภาพธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม หากสภาวะหรือปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเสียสภาพนั้นมีผลทำให้โปรตีนไม่สามารถม้วนตัวเพื่อคืนโครงสร้างสามมิติตามสภาพธรรมชาติได้ การเสียสภาพแบบนี้เรียกว่าการเสียสภาพของโปรตีนแบบถาวร รายละเอียดของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการละลายและการตกตะกอนของโปรตีนสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลของค่าพีเอชต่อการละลายหรือการตกตะกอนของโปรตีน

ในสภาวะที่ค่าพีเอชของสารละลายมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าพีเอชของโปรตีน โปรตีนมีประจุสุทธิเป็นลบหรือบวกตามลำดับ จึงเกิดการผลักกันและละลายน้ำได้ดี เมื่อค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับค่า pI ของโปรตีน ณ จุดนี้โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ จึงจับตัวเป็นก้อนแล้วตกตะกอน เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างประจุตรงกันข้ามและมีแรงแวนเดอร์วาลส์ ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนซึ่งทำให้โมเลกุลของโปรตีนจับตัวกันและตกตะกอนได้

2. ผลของความร้อนต่อการละลายหรือการตกตะกอนของโปรตีน

โครงสร้างสามมิติของโปรตีนเกิดจากการยึดเหนี่ยวจากพันธะโคเวเลนท์ พันธะอื่นๆ และแรงดึงดูดอย่างอ่อน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สภาวะที่รุนแรงเช่น ความร้อนสูง จะมีผลต่อพลังงานจลน์ของโมเลกุลโปรตีน การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์อย่างรุนแรงจะลดความเสถียรหรือทำลายพันธะรวมทั้งแรงดึงดูดที่ช่วยในการยึดเหนี่ยวโครงสร้างของโปรตีนเหล่านี้ ซึ่งส่งผลให้โปรตีนเสียโครงสร้างที่เหมาะสมและเสียสภาพในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของความรุนแรงไอออนของสารละลาย (Ion Strength) ต่อการละลาย หรือการตกตะกอนโปรตีน

โปรตีนจัดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีประจุ (Macroions) การเติมเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ มีผลต่อความแรงไอออนของสารละลายที่อยู่ล้อมรอบโมเลกุลโปรตีน โดยการเติมเกลือที่ความเข้มข้นต่ำลงในสารละลายของโปรตีนจะทำให้โปรตีนสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Salting in เนื่องจากไอออนของเกลือที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบกระจายอยู่ล้อมรอบโมเลกุลของโปรตีนในสารละลาย จึงเกิดการผลักกันของประจุมากมาย รวมทั้งมีโมเลกุลของน้ำที่อยู่ล้อมรอบโมเลกุลของโปรตีนซึ่งช่วยในการละลายโปรตีน แม้ที่ค่า pI ของโปรตีนการละลายของโปรตีนจะดีขึ้นเมื่อมีการเติมเกลือ

ในกรณีที่มีการเติมเกลือที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ไอออนของเกลือจำนวนมากจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำที่อยู่ล้อมรอบโมเลกุลของโปรตีนลดลง โปรตีนจึงละลายน้ำได้น้อยลง มีการจับตัวกันมากขึ้นและตกตะกอนลงมาในที่สุด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Salting out การตกตะกอนโปรตีนด้วยวิธีนี้จะเกิดได้ดีที่สุดเมื่อสารละลายมี pH เท่ากับค่า pI ของโปรตีน ลำดับ Hofmeister (Hofmeister Series) เป็นลำดับที่แสดงชนิดของไอออนของเกลือที่ใช้อยู่ในช่วง 0.01-1 โมลต่อลิตร ไอออนที่อยู่ลำดับหน้าสุดมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนโปรตีนโดย Salting out ดีที่สุดและสร้างความเสถียรให้แก่โครงสร้างของโปรตีนได้ดีที่สุด และรองลงไปตามลำดับ

แอนไอออน $SO_4^{2-} > HPO_4^{2-} > CH3COO^- > citrate > Cl^- > NO_3^- > ClO_3^- > I^- > ClO_4^- > SCN^-$

แคตไอออน $NH_4^+ > Cs^+, K^+, Na^+ > Li^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > guanidinium$

4. ผลของการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent) หรือสารชะล้าง (Detergent) ต่อการละลายหรือการตกตะกอนโปรตีน

การละลายของโปรตีนในสารละลายที่เป็นน้ำนั้น น้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลางไดอิเล็กทริกคือประจุของโมเลกุลน้ำเป็นตัวกลางกรอง หรือตัวป้องกันการเกิดอันตรกิริยาของประจุระหว่างโมเลกุลโปรตีนด้วยกันเอง ดังนั้นจึงป้องกันการจับตัวกันเองของโมเลกุลโปรตีนและส่งผลให้โปรตีนละลายน้ำได้ดี การเติมตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล แอซิโทน หรือเอทิลีนไกลคอล ลงในสารละลายโปรตีนในน้ำทำให้การละลายของโปรตีนลดลงและตกตะกอน เนื่องจากตัวทำละลายอินทรีย์มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำกว่าน้ำ ทำให้โมเลกุลของโปรตีนสามารถมีแรงกระทำซึ่งกันและกันเพิ่มขึ้นและจับตัวกันตกตะกอนในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลของเกลือโลหะหนัก (Heavy Metal) ต่อการละลายหรือการตกตะกอนของโปรตีน

แคตไอออนของโลหะหนัก เช่น Pb^{2+} Hg^{2+} หรือ Cu^{2+} สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่มีประจุลบได้เกลือเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ จึงสามารถตกตะกอนโปรตีนที่มีประจุลบได้ดี การตกตะกอนวิธีนี้จึงทำในสารละลายที่มีค่า pH สูงกว่า pI ของโปรตีน

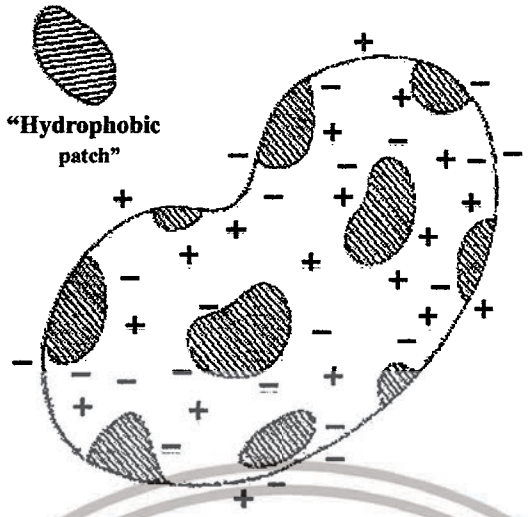
6. ผลของแอลคาลอยดัลรีเอเจนต์ (Alkaloidal Reagent) ต่อการละลายหรือการตกตะกอนโปรตีน

แอลคาลอยดัลรีเอเจนต์ เป็นสารที่มีสมบัติเป็นกรดสามารถทำปฏิกิริยากับสารแอลคาลอยด์ ซึ่งเป็น Heterocyclic amine ซึ่งสกัดได้จากพืช เช่น มอร์ฟีน (Morphine) ควินิน (Quinine) เป็นต้น ตัวอย่างสารแอลคาลอยดัลรีเอเจนต์ ได้แก่ Tannic Acid, Phosphotungstic Acid, Trichloroacetic Acid (TCA), Picric Acid และ Potassium Ferrocyanide เป็นต้น การเติมกรดเหล่านี้ลงในสารละลายโปรตีนจะทำให้สารละลายมีสภาพเป็นกรดซึ่งทำให้ประจุของหมู่โซ่ข้างของโปรตีนมีประจุบวก หมู่โซ่ข้างของโปรตีนที่มีประจุบวกเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับแอลคาลอยดัลรีเอเจนต์ได้เกลือเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ

2.5 การตกตะกอนโปรตีนที่จุดไอโซอิเลคทริก [6]

โปรตีนแต่ละชนิดมีค่าพีเอชที่ทำให้สมดุลของประจุสุทธิบนโมเลกุลเป็นศูนย์ เรียกค่าพีเอชนี้ว่าจุดไอโซอิเลคทริค (Isoelectric Point ; pI) ค่านี้เป็นค่าเฉพาะตัวของโปรตีนแต่ละชนิด เมื่อปรับค่าพีเอชของสารละลายโปรตีนผสมจนกระทั่งมีค่าเท่ากับค่า pI ของโปรตีนที่ต้องการแยก โปรตีนชนิดนั้นจะเกิดการรวมตัวกันแล้วตกตะกอนลงมา เนื่องจากบนโมเลกุลของโปรตีนนั้นมีประจุสุทธิเป็นศูนย์จึงไม่มีแรงผลักดันไฟฟ้าสถิตระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเอง โปรตีนจึงเข้าใกล้กันมากพอที่จะเกิดการรวมตัวกัน (Aggregate) ตกตะกอนลงมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การกระจายตัวของส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำบนโมเลกุลของโปรตีน [7]

รูปที่ 2.3 แรงกระทำทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างโมเลกุลโปรตีน [7]

จากรูปที่ 2.3 a แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของโมเลกุลที่สนใจในสารละลายโปรตีนผสม โดยมีการผลักกันเนื่องจากประจุสุทธิบนโมเลกุลของเอนไซม์แต่ละโมเลกุลมีประจุชนิดเดียวกัน ทำให้โมเลกุลของเอนไซม์อยู่ห่างกันมากพอจึงสามารถละลายอยู่ในน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 b แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเอนไซม์ที่มีประจุต่างชนิดกันทำให้เอนไซม์เข้ามาอยู่ใกล้กันสามารถรวมตัวกันตกตะกอนลงมาได้

รูปที่ 2.3 c แสดงให้เห็นสมดุลระหว่างประจุบวก และประจุลบบนโมเลกุลของเอนไซม์ เมื่อปรับค่าพีเอชของสารละลายโปรตีนผสมจนถึงค่า pI ของเอนไซม์ที่ต้องการตกตะกอน จะเกิดแรงดึงดูดเพียงเล็กน้อยระหว่างโมเลกุลของเอนไซม์เมื่อโมเลกุลเข้าใกล้กันมากขึ้นจนสามารถรวมตัวกันตกตะกอนลงมาได้

รูปที่ 2.3 d แสดงให้เห็นแรงกระทำอย่างอ่อนระหว่างการรวมตัวกันและการตกตะกอนของกลุ่มเอนไซม์ในแต่ละกลุ่มก้อน

รูปที่ 2.4 ความสามารถในการละลายของโปรตีนที่ค่า พีเอช ต่างๆ [7]

การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายน้ำของโปรตีนโดยผลของการปรับเปลี่ยนค่าพีเอชสามารถแสดงลักษณะความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเห็นได้ว่าสารละลายโปรตีนผสมที่มีค่าพีเอชต่ำกว่าค่า pI ของโปรตีนหรือเอนไซม์ที่ต้องการแยก ประจุสุทธิบนโมเลกุลของเอนไซม์แต่ละโมเลกุลแสดงประจุบวกทำให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุบวกด้วยกันเอง โมเลกุลของเอนไซม์จึงสามารถละลายอยู่ในน้ำได้เมื่อทำการปรับพีเอชเพิ่มขึ้นจนเข้าใกล้ค่า pI ของโปรตีนชนิดที่สนใจ ประจุสุทธิจะมีค่าเป็นบวกน้อยลงเรื่อยๆ แรงผลักระหว่างโมเลกุลมีค่าน้อยลง จึงเกิดการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าใกล้กันมากขึ้น ค่าการละลายจึงลดลงจนกระทั่งถึงจุดที่ค่าพีเอชเท่ากับ pI ซึ่งประจุสุทธิรวมมีค่าเป็นศูนย์ โมเลกุลของเอนไซม์จึงเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากพอที่จะเกิดการรวมตัวกันตกตะกอนลงมา ณ จุดนั้นอาจกล่าวได้ว่าเป็นจุดที่มีค่าการละลายต่ำสุด ในกรณีที่มีการปรับค่าพีเอชมากกว่าค่า pI ประจุสุทธิบนโมเลกุลของเอนไซม์แต่ละโมเลกุลมีค่าเป็นประจุลบ เกิดแรงผลักระหว่างประจุลบทำให้แต่ละโมเลกุลอยู่ห่างกันมากขึ้นค่าการละลายจึงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

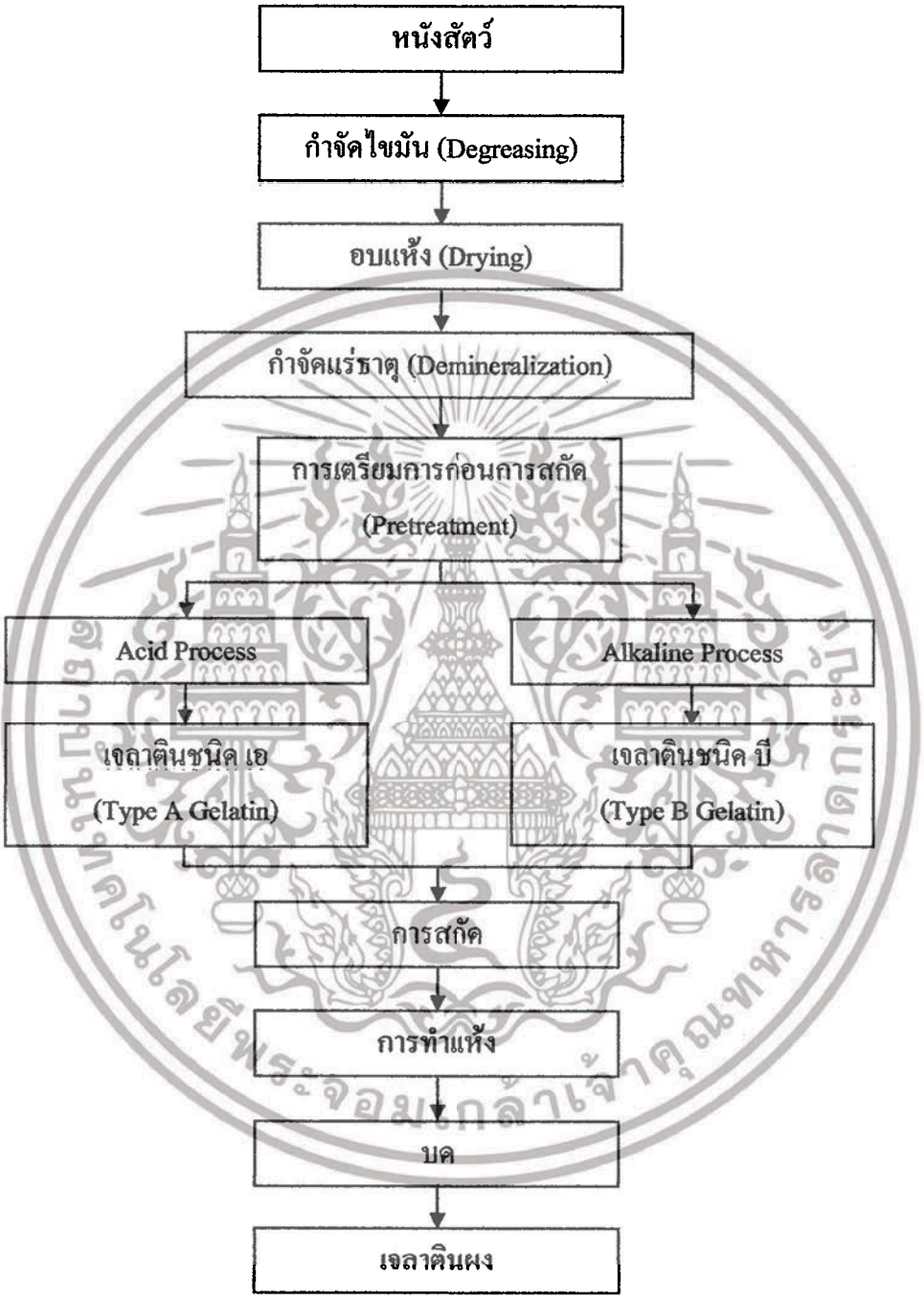
2.6 เจลาติน (gelatin) [8]

เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์อินทรีย์วัตถุประเภทโปรตีนชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด เจลาตินจะไม่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ แต่จะเกิดขึ้นได้จากการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) คอลลาเจนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ การเปลี่ยนแปลงคอลลาเจนเป็นเจลาตินทำได้โดยการไฮโดรไลซ์คอลลาเจนด้วยน้ำร้อน ซึ่งพันธะที่อยู่ภายในโมเลกุลของคอลลาเจน (Intramolecular Bond) และพันธะระหว่างเส้นสายโมเลกุล (Intermolecular Bond) ตลอดจนพันธะเปปไทด์ของสายโซ่สำคัญบางเส้นจะถูกไฮโดรไลซ์ ทำให้พันธะที่เกิดจากการเชื่อมไขว้ (Cross-Links) ภายในโครงสร้างของคอลลาเจนแตกออก จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคอลลาเจน คือ แตกออกเป็นโมเลกุลเล็กบ้างใหญ่บ้าง เกิดเป็นส่วนผสมของโปรตีนขนาดเล็กเรียกว่า เจลาติน โครงสร้างของคอลลาเจนและเจลาตินคล้ายคลึงกัน แต่ต่างกันที่สายเปปไทด์และจำนวนโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบ

2.6.1 กระบวนการผลิตเจลาติน

กระบวนการผลิตเจลาตินมีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบที่มีคอลลาเจนเป็นเจลาตินที่มีคุณภาพ คือ มีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physiochemical Properties) ที่ดี เช่น ค่าความแข็งแรงของเจล (Gel Strength) ค่าความหนืด (Viscosity) ความใสของผลิตภัณฑ์ และได้เจลาตินที่มีปริมาณมาก วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตเจลาติน ได้แก่ หนังและกระดูกของสัตว์ กระบวนการผลิตเจลาตินที่ใช้วัตถุดิบแตกต่างกันจะมีวิธีการผลิตที่แตกต่างกันด้วย การใช้หนังสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตมีขั้นตอนการผลิตเริ่มจากการกำจัดขน แล้วตัดแต่งไขมันบางส่วนออก จากนั้นล้างทำความสะอาดแล้วตัดแต่งหนังสัตว์ให้มีขนาดที่ต้องการ ขั้นตอนต่อไปจะคล้ายกันในทุกๆวัตถุดิบ คือการกำจัดไขมันโดยใช้ตัวทำละลาย จากนั้นทำการเตรียมวัตถุดิบก่อนการสกัดด้วยกรดหรือด่าง เพื่อให้ได้สารละลายเจลาตินออกมา นำสารละลายเจลาตินไปอบแห้ง แล้วบดเป็นเจลาตินผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตเจลาติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.7 ไคติน-ไคโตซาน [9]

ไคติน-ไคโตซานเป็นวัสดุชีวภาพเกิดในธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสมที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจน โครงสร้างทางเคมีของสารไคตินคล้ายคลึงกับเซลลูโลส คือเป็นเส้นใยยาว ไคตินที่เกิดในธรรมชาติมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรง มีการจัดตัวของรูปแบบเป็น 3 ลักษณะได้แก่ แอลฟ่าไคติน บีต้าไคติน และแกมม่าไคติน ไคตินที่เกิดในเปลือกกุ้งและปู ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอลฟ่าไคติน ส่วนไคตินที่อยู่ในปลาหมึกส่วนใหญ่เป็นบีต้าไคติน ในการจัดเรียงตัวของโครงสร้างตามธรรมชาติแอลฟ่าไคตินมีคุณลักษณะของเสถียรภาพทางเคมีสูงกว่าบีต้าไคติน ดังนั้นบีต้าไคตินจึงอาจเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปเป็นแอลฟ่าไคตินได้ในสารละลายของกรดแก่ เช่น กรดเกลือ เป็นต้น ส่วนแกมม่าไคตินเป็นโครงสร้างผสมระหว่างแอลฟ่าไคตินและบีต้าไคติน ไคตินเป็นโพลีเมอร์ที่มีสายยาวมีองค์ประกอบของหน่วยย่อยเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสซึ่งมีชื่อว่า N-acetyl glucosamine ไคตินเป็นสารที่ละลายยากหรือไม่ค่อยละลาย ส่วนไคโตซานเป็นโพลีเมอร์ของหน่วยย่อยที่ชื่อว่า Glucosamine ซึ่งมีมากกว่า 60% ขึ้นไป ในธรรมชาติมีไคตินและไคโตซานประกอบอยู่ในโพลิเมอร์ที่เป็นสายยาวในสัดส่วนต่างๆกัน ถ้าปริมาณของ Glucosamine น้อยกว่า 40 % พอลิเมอร์นั้นจะละลายได้ในกรดอินทรีย์ต่างๆ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้ไคตินเปลี่ยนไปเป็นไคโตซาน คือการลดลงของหมู่อะซีติลหรือเรียกว่า Deacetylation การลดลงของหน่วยย่อย N-acetyl glucosamine ย่อมเป็นการเพิ่มขึ้นของ Glucosamine ในปริมาณที่เท่ากัน หรือการเปลี่ยนแปลงไคตินให้เป็นไคโตซานนั่นเอง การจัดระดับของการ Deacetylation ใช้ร้อยละหรือเรียกว่า Percent Deacetylation (%DD) เมื่อพอลิเมอร์มี %DD เกินกว่า 60 % ขึ้นไป การกระจายไคโตซานในกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นของหมู่อะมิโนของ Glucosamine ทำให้มีความสามารถในการรับโปรตรอนจากสารละลายได้เพิ่มขึ้นซึ่งช่วยให้การละลายดีขึ้นเพราะมีสมบัติของประจุบวกเพิ่มขึ้น ฉะนั้นไคโตซานจึงสามารถละลายได้ดีในกรดต่างๆ เช่น กรดน้ำส้ม กรดแลคติก และกรดอินทรีย์อื่นๆ สารละลายของไคโตซานจะมีความข้นเหนียว แต่ใสคล้ายวุ้นหรือพลาสติกใส ยืดหยุ่นได้เล็กน้อยจึงมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำให้เป็นรูปแบบต่างๆได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าต้องการทำเป็นแผ่นหรือเยื่อบางๆ เป็นเจล หรือรูปร่างเป็นเม็ด เกล็ด เส้นใย สารเคลือบและคอลลอยด์ เป็นต้น

การผลิตไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ วิธีทางเคมีเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่วิธีทางชีวภาพโดยการใช้เอ็นไซม์ในการดึงหมู่อะซิทิลออกจากไคตินนั้นยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104306

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนพล ศิระไตรรัตน์ และธนวัฒน์ ไกรวัฒนวงศ์ [10] ศึกษาวัสดุผสมโดยการเติมเศษหนังฟอกจากโรงงานฟอกหนัง เพื่อพัฒนาพีวีซีชีทให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น โดยมีการลดขนาดเศษหนังฟอกด้วยกรดไฮโดรคลอริก

L. Jong และ S.C. Peterson [11] ศึกษาผลของอนุภาคขนาดนาโนของโปรตีนถั่วเหลืองต่อความยืดหยุ่นของวัสดุผสมสไตรีน-บิวตาไดอีนลาเทกส์ โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองที่ยังไม่ไฮโดรไลซ์กับโปรตีนถั่วเหลืองที่ไฮโดรไลซ์ โดยโปรตีนถั่วเหลืองที่สกัดได้มีขนาดประมาณ 150 นาโนเมตร

นภา ศิวะรังสรรค์ และคณะ [12] ศึกษาการสกัดโปรตีนจากเศษหนังฟอกโครมด้วยแอลคาไลน์โปรติเอส เป็นการสกัดโปรตีนโดยการใช้เอนไซม์ ผงโปรตีนที่ได้มีวัดส่วนกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากเศษหนังที่ใช้ทดลอง มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับกรดอะมิโนของคอลลาเจน ชนิด I

Tingda et. al. [13] ทำการศึกษาเกี่ยวกับโปรตีนคอลลาเจนผง จากเศษหนังฟอกโครมที่มีส่วนประกอบของ crude protein 500 กรัมต่อกิโลกรัม และกรดอะมิโน 18 ชนิด ซึ่งในโปรตีนผงพบว่ามีโครเมียม (III) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบว่าไม่มีโครเมียม (VI)

Mingyu Cheng et. al. [14] ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มจากสารละลายไคโตซานและเจลาติน โดยผสมสารละลายไคโตซานและเจลาตินในอัตราส่วนต่างๆ จากการศึกษาพบว่าสารทั้งสองสามารถเข้ากันได้ดี ฟิล์มไคโตซานดูดซับน้ำได้มากขึ้นเมื่อผสมกับเจลาติน ฟิล์มผสมมีค่ามอดูลัสต่ำกว่าไคโตซาน ส่วนร้อยละการยืดดึง ณ จุดขาดสูงกว่า

อานุภาพ ทองธรรมชาติ และสมนึก จารุดิลกกุล [15] ศึกษาการใช้ไคโตซานที่มีลักษณะเป็นอนุภาคคอลลอยด์เป็นตัวพาโปรตีน โดยทดลองละลายไคโตซาน และเติมโปรตีนที่ศึกษา อนุภาคไคโตซานที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 60-378 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมี

1. เศษหนังฟอก
2. กรดไฮโดรคลอริก
3. กรดอะซิตริก
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์
5. แผ่นหนังเทียม
6. พีวีซีเรซิน
7. ไดโตซาน

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ปริมาตร 80, 100, 250, 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร (Beaker)
2. กระบอกตวงปริมาตร 25 และ 100 มิลลิลิตร
3. ขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 และ 500 มิลลิลิตร
4. เครื่องตัดเฉือนความเร็วสูง (Blender)
5. เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge)
6. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mixing Mill)
7. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH Meter)
8. เครื่องให้ความร้อน และแม่เหล็กสำหรับปั่นกวน (Hot Plate and Magnetic stirrer)
9. เครื่องชั่ง (Analytical Balance)
10. ตู้อบ (Oven)
11. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer 100 $^{\circ}C$)
12. เตาเผา (Furnace)
13. กระดาษกรองWhatman เบอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์

1. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Tester)
2. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Durometer Hardness, Shore A)
3. Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

เนื่องจากเศษหนังที่ได้จากโรงงานมีขนาดใหญ่ทำให้ในการทดลองต้องใช้เวลาและสิ้นเปลืองสารเคมี ดังนั้นจึงต้องบดเศษหนังที่ได้จากขั้นตอนการขูดบาง (Chrome Shaving) ด้วยเครื่องตัดเฉือนความเร็วสูง (Blender) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวก่อนนำไปใช้

3.4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากเศษหนัง

3.4.1.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในการย่อยเศษหนัง

ชั่งเศษหนังใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรใบละ 5 กรัมจำนวน 3 ใบ เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นเป็นเป็น 3 4 และ 5 โมลาร์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตรตามลำดับ เขย่าจนเศษหนังทุกส่วนสัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำเศษหนังไปอบไล่ความชื้น ชั่งน้ำหนักเศษหนังที่เหลือ

3.4.1.2 ศึกษาเวลาในการย่อยเศษหนังด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

ชั่งเศษหนังใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรใบละ 5 กรัมจำนวน 3 ใบ เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เขย่าจนเศษหนังทุกส่วนสัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.4.1.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีน

ชั่งเศษหนัง 5 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรใบละ 5 กรัมจำนวน 3 ใบ โดยเลือกความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจากข้อ 3.4.1.1 เติมกรด 100 มิลลิลิตร และระยะเวลาในการย่อยเศษหนังจากข้อ 3.4.1.2 แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายโปรตีนที่ได้มาตกตะกอนด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 4 5 และ 6 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายมีค่าพีเอช 5.6 นำไปแยกตะกอนโปรตีนออกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยก ล้างตะกอนโปรตีนด้วยน้ำกลั่น นำตะกอนโปรตีนไปอบในตู้อบเพื่อไล่ความชื้น และชั่งน้ำหนักตะกอนโปรตีนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.4 ขยายขนาดการสกัดโปรตีนจากเศษหนัง

ชั่งเศษหนัง 20 30 และ 40 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร 3 ใบ โดยเลือกความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจากข้อ 3.4.1.1 เติมกรด 100 มิลลิลิตร และเวลาในการย่อยเศษหนังจากข้อ 3.4.1.2 แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำเศษหนังไปอบไล่ความชื้น ชั่งน้ำหนักเศษหนังที่เหลือ

3.4.2 การสกัดโปรตีนจากเศษหนัง

ทำการตกตะกอนโปรตีนโดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.1 เพื่อนำโปรตีนไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง

3.4.3.1 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแช่เศษหนัง

นำเศษหนังไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 0.6 และ 0.8 โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้เศษหนัง 10 กรัมต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 มิลลิลิตร สังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลง

3.4.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาติน

นำเศษหนังที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ 50 กรัมนำมาสกัดด้วยสารละลาย และระยะเวลาในการปั่นกวนเพื่อสกัดเจลาตินซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.1 นำมาสกัดโดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองสารละลายเจลาตินออกจากเศษหนัง นำสารละลายเจลาตินไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเพื่อระเหยน้ำส่วนเกินออก ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การทดลองการสกัดเจลาติน

การทดลอง	ขั้นตอนการสกัด		
	สารสกัด	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	เวลา (ชั่วโมง)
1	น้ำกลั่น	250	2
2	น้ำกลั่น	250	3
3	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1%	250	2
4	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1%	250	3
5	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3%	250	3
6	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5%	250	3

3.4.4 การสกัดเจลาตินจากเศษหนัง

ทำการสกัดเจลาตินโดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.3 เพื่อนำเจลาตินไปใช้ในการทดลองต่อไป โดยเก็บในโถดูดความชื้น

3.4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษหนัง ผงโปรตีน และเจลาติน

3.4.5.1 การหาค่าพีเอช

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปิดจุกขวดแล้วนำไปปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง รินส่วนที่เป็นของเหลวใสใส่บีกเกอร์ที่สะอาดแล้วนำไปวัดค่าพีเอช

3.4.5.2 การหาปริมาณความชื้น

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่อบแห้งและชั่งน้ำหนักแล้ว นำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งหาน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้น จากสมการ (3.1)

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \qquad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.3 การหาปริมาณเถ้าทั้งหมด

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องทนความร้อนสูง ที่อบและชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำไปเผาในเตาเผา 600 องศาเซลเซียส โดยเริ่มเผาตัวอย่างตั้งแต่ตัวอย่างยังไม่ร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 600 องศาเซลเซียส แล้วให้เผาต่อไปอีก 30 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่ เอาออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักหาปริมาณเถ้าทั้งหมด

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \qquad (3.2)$$

3.4.6 การผสมสูตรสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

เตรียมส่วนผสมของฟิล์มตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.2 แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mixing Mill) ควบคุมอุณหภูมิของทั้งลูกกลิ้งหน้า และลูกกลิ้งหลังให้เป็น 170 องศาเซลเซียสเท่ากัน ในระหว่างผสมต้องมีดกรีดและกลับส่วนผสมตลอดเวลา ใช้เวลาผสมประมาณ 5-10 นาที รีดออกมาเป็นแผ่นให้มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร เท่ากันทุกส่วนผสมแล้วนำมาเคลือบบนแผ่นหนังเทียมโดยการให้ความร้อน

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมในการขึ้นรูปฟิล์มบาง

สูตร	ปริมาณสาร (กรัม)		ร้อยละของผงโปรตีน
	พีวีซีเรซิน	ผงโปรตีน	
1	100	-	0
2	95	5	5
3	90	10	10
4	85	15	15
5	80	20	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 การผสมสูตรสารเคลือบผิวหนังเทียมจากเจลาติน

เตรียมโดยนำไคโตซาน และเจลาตินมาละลายในสารละลายกรดอะซิตริกเข้มข้น 1% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และนำสารผสมมาปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาเคลือบบนแผ่นหนังเทียมด้วยวิธี Wire Bar Coat โดยแปรผันปริมาณสารละลายในการเคลือบผิวเป็น 5 10 และ 15 มิลลิลิตรต่อ 50 ตารางเซนติเมตร และนำไปอบที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมสารเคลือบจากเจลาติน

สูตร	ปริมาณสาร (กรัม)		ร้อยละของเจลาติน
	เจลาติน	ไคโตซาน	
6	-	2.0	0
7	0.5	1.5	25
8	1.0	1.0	50
9	1.5	0.5	75
10	2.0	-	100

3.4.8 การทดสอบสมบัติ

1. ทดสอบสมบัติความต้านแรงดึง (Tensile Strength) และการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ตามมาตรฐาน ASTM D638 ด้วยเครื่อง Universal Tensile Tester

2. ทดสอบความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ด้วยเครื่อง Durometer แบบ Shore A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากเศษหนัง

เศษหนังที่ได้จากขั้นตอนการขูดบางมีลักษณะ และองค์ประกอบแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำ การนำเศษหนังมาบดสับด้วยเครื่องตัดเฉือนความเร็วสูง (Blender) จะทำให้เศษหนังมีขนาดสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารเคมี และเอนไซม์ นอกจากนี้เศษหนังที่มีอายุแตกต่างกันจะมีปริมาณความชื้นแตกต่างกันด้วย

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นของเศษหนังก่อน และหลังละลายด้วยกรด ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าลักษณะกราฟที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน จึงสามารถระบุได้ว่าเศษหนังก่อนละลายด้วยกรด และเศษหนังหลังการละลายด้วยกรด สมบัติของผงหนังไม่มีการเปลี่ยนแปลง [10]

4.1.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในการย่อยเศษหนัง

จากการแช่เศษหนังในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ โดยใช้ความเข้มข้น 3 4 และ 5 โมลาร์ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 5 โมลาร์จะเหลือเศษหนังน้อยที่สุด ตามด้วยที่ความเข้มข้น 4 โมลาร์ และที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์จะเหลือเศษหนังมากที่สุด น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังที่เหลือหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 4 และ 5 โมลาร์

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (โมลาร์)	น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังที่เหลือ (กรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนักของเศษหนังที่เหลือ
3	4.78	95.6
4	3.69	73.8
5	2.92	58.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ศึกษาเวลาในการย่อยเศษหนังด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

จากการแช่เศษหนังในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำหนักของเศษหนังจะลดลง น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังที่เหลือหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 6 12 และ 24 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 6 12 และ 24 ชั่วโมง

ระยะเวลาในการแช่ใน กรดไฮโดรคลอริก (ชั่วโมง)	น้ำหนักเฉลี่ยของ เศษหนังที่เหลือ (กรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนักของ เศษหนังที่เหลือ
6	4.17	83.4
12	2.93	58.6
24	0.57	11.4

4.1.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีน

หลังจากการแช่เศษหนังในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายโปรตีนมาตกตะกอนด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 4 5 และ 6 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายมีค่าพีเอช 4 จะเริ่มเกิดตะกอนโปรตีน เมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 5.6 ซึ่งเป็นจุดที่ได้ตะกอนโปรตีนมากที่สุด[10] หรือเป็นจุดไอโซอิเลคทริคของโปรตีนที่อยู่ในเศษหนัง นำไปแยกตะกอนโปรตีนออกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนโปรตีนมีสีเทาอมเขียว มีลักษณะเป็นผงละเอียด ร้อยละโดยน้ำหนักมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 50-60 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่ำปริมาณสารละลายที่มีตะกอนโปรตีนมีมากทำให้การแยกตะกอนต้องใช้เวลานาน น้ำหนักเฉลี่ยของผงโปรตีนจากเศษหนังจากการตกตะกอนด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 4 5 และ 6 โมลาร์ แสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักเฉลี่ยของผงโปรตีนจากการตกตะกอนด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 4 5 และ 6 โมลาร์

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)	น้ำหนักเฉลี่ยของผงโปรตีนจากเศษหนัง (กรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนักของผงโปรตีน
4	2.60	52.0
5	2.52	50.4
6	3.04	60.8

4.1.4 ขยายขนาดการสกัดโปรตีนจากเศษหนัง

นำเศษหนังในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็น 20 30 และ 40 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมงนำมากรอง และชั่งน้ำหนักของเศษหนังที่เหลือ จากน้ำหนักของเศษหนังที่เหลือแสดงให้เห็นปริมาณเศษหนังที่เสียสภาพละลายอยู่ในสารละลาย เมื่อเติมเศษหนังเพิ่มขึ้นปริมาณเศษหนังที่เสียสภาพละลายอยู่ในสารละลายเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่น้ำหนักเศษหนัง 40 กรัมมีปริมาณเศษหนังที่ละลายในสารละลายมากที่สุด คือ 34.56 กรัม

ตารางที่ 4.4 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดยน้ำหนักเริ่มต้นเป็น 20 30 และ 40 กรัม

น้ำหนักของเศษหนัง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังที่เหลือ (กรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนักของเศษหนังที่เหลือ
20	2.58	12.9
30	3.84	12.8
40	5.44	13.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง

4.2.1 ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแช่เศษหนัง

จากการแช่เศษหนังในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายให้คอลลาเจนในเศษหนังเกิดการพองตัวอย่างสมบูรณ์ โดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 0.6 และ 0.8 โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้ลักษณะทางกายภาพของเศษหนังเปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของเศษหนังที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 0.6 และ 0.8 โดยมวลต่อปริมาตร

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(%w/v)	เวลาในการแช่	ลักษณะของเศษหนัง
0.4	1 ชั่วโมง	เศษหนังเริ่มพองตัว ส่วนที่พองตัวจะมีสีเข้มขึ้น
	3 ชั่วโมง	การพองตัวของเศษหนังน้อยมาก
0.6	30 นาที	เศษหนังเริ่มพองตัว
	3 ชั่วโมง	เศษหนังพองตัวทั่วทุกส่วน
0.8	30 นาที	เศษหนังเริ่มพองตัว
	1 ชั่วโมง 30 นาที	เศษหนังพองตัวทั่วทุกส่วน
	2 ชั่วโมง	เศษหนังหยุดพองตัว

จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของเศษหนังที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเศษหนังเกิดการพองตัว เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้นจะทำให้เศษหนังพองตัวเร็วขึ้น ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ทำให้เศษหนังพองตัวไม่สมบูรณ์ในเวลา 3 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.6 จะให้ลักษณะของเศษหนังที่พองตัวทั่วทุกส่วน และความเข้มข้นร้อยละ 0.8 จะทำให้เศษหนังพองตัวเร็วแต่จะให้ลักษณะทางกายภาพไม่ดี เนื่องจากสารละลายเข้มข้นมากขึ้นโปรตีนจะเกิดการละลายออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง

นำเศษหนังที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยมวลต่อปริมาตร มาสกัดที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียสโดยใช้สารสกัดซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.2 โดยศึกษาเกี่ยวกับสารสกัดที่เหมาะสมและระยะเวลาในการสกัด พบว่าลักษณะของเจลาตินที่สกัดด้วยน้ำกลั่น และใช้เวลา 2 ชั่วโมงจะมีลักษณะใกล้เคียง กับเจลาตินทางการค้า คือ เจลาตินมีลักษณะเป็นเกล็ดสีเหลืองใส ส่วนเจลาตินที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.3% และ 0.5% ได้เป็นของเหลว เนื่องจากเจลาตินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งซึ่งจะเสียสภาพเมื่ออยู่ในสภาพที่รุนแรง

ตารางที่ 4.6 การทดลองการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง

สารสกัด	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเฉลี่ยของเจลาติน (กรัม)	ลักษณะเจลาติน
น้ำกลั่น	2	1.52	เกล็ด สีเหลือง ใส
น้ำกลั่น	3	1.67	เกล็ด และเม็ด สีเหลือง ขุ่น
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1%	2	1.64	เกล็ด สีเหลืองอมน้ำตาล ขุ่นเล็กน้อย
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1%	3	1.92	เกล็ด สีเหลืองอมน้ำตาล ขุ่น
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3%	2	-	ของเหลวหนืด สีเหลืองอมน้ำตาล ขุ่น
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5%	2	-	ของเหลวหนืด สีเหลืองอมน้ำตาล ขุ่น

4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบ

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบของเศษหนัง ผงโปรตีนจากเศษหนัง และเจลาตินจากเศษหนัง

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย		
	เศษหนัง	ผงโปรตีน	เจลาติน
ค่าพีเอช (pH)	3.26	5.85	4.27
ความชื้น (%)	51.04	22.54	8.23
ปริมาณเถ้า (%)	7.27	11.96	0.38

หมายเหตุ ความชื้น และปริมาณเถ้า เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

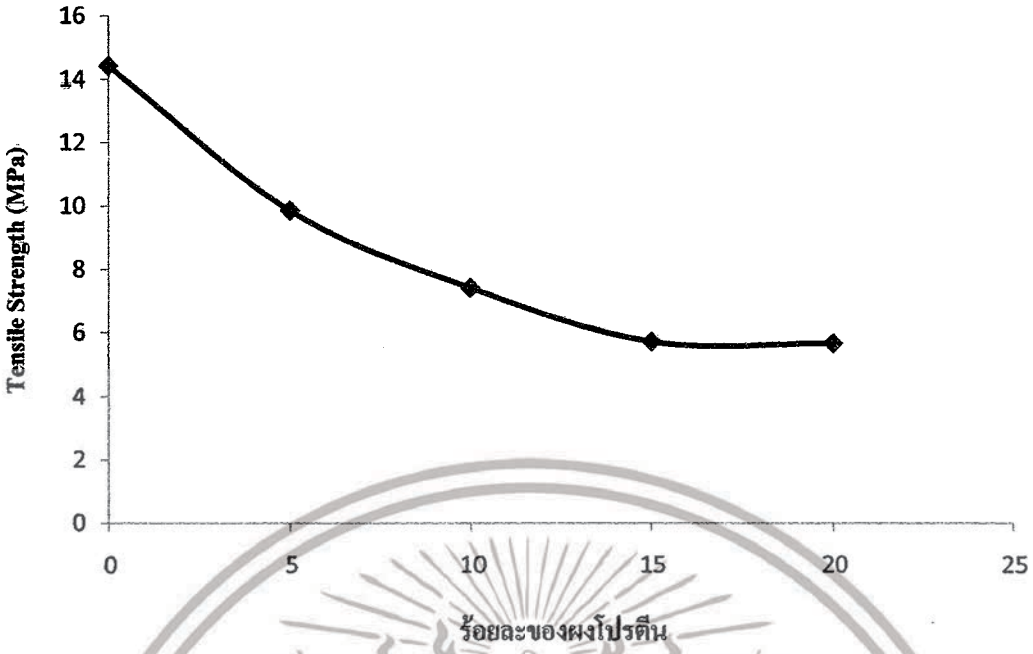
4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิว

4.4.1 ผลการทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile Strength)

จากการทดสอบหาค่าความต้านแรงดึงของฟิล์มที่มีการผสมผงโปรตีนในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อร้อยละของผงโปรตีนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต้านแรงดึงลดลง เนื่องจากอนุภาคของผงโปรตีนไปแทรกตัวในโครงสร้างภายในของฟิล์มทำให้โครงสร้างภายในของชิ้นงานมีการเชื่อมติดกันลดลง ทำให้ความต้านแรงดึงลดลง

รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบความต้านแรงดึงในแนวขวางของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

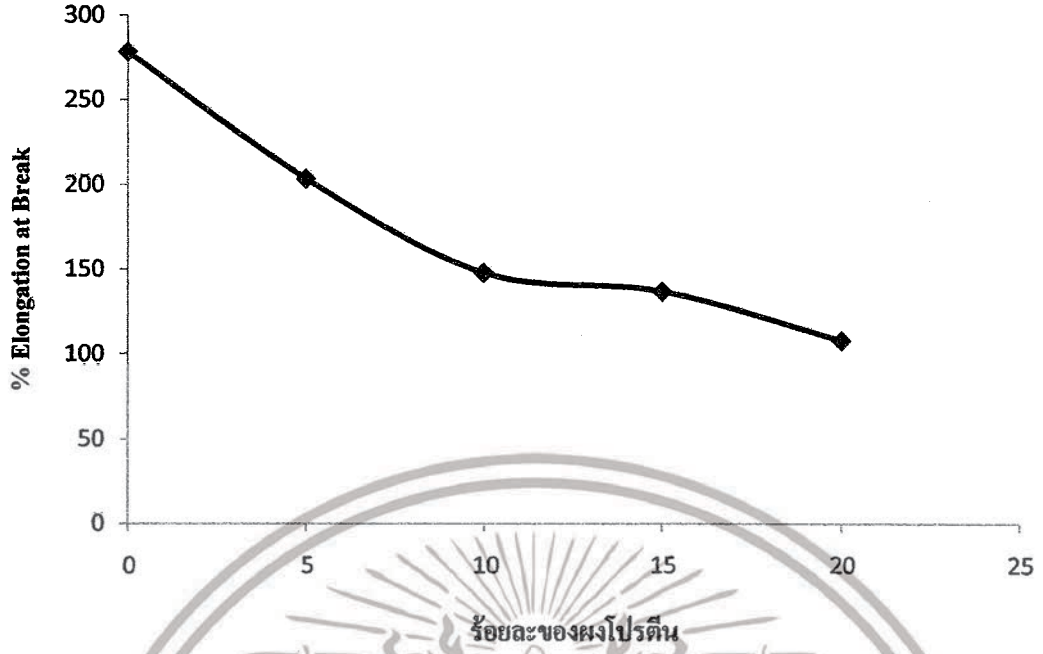


รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบความต้านแรงดึงในแนวยาวของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

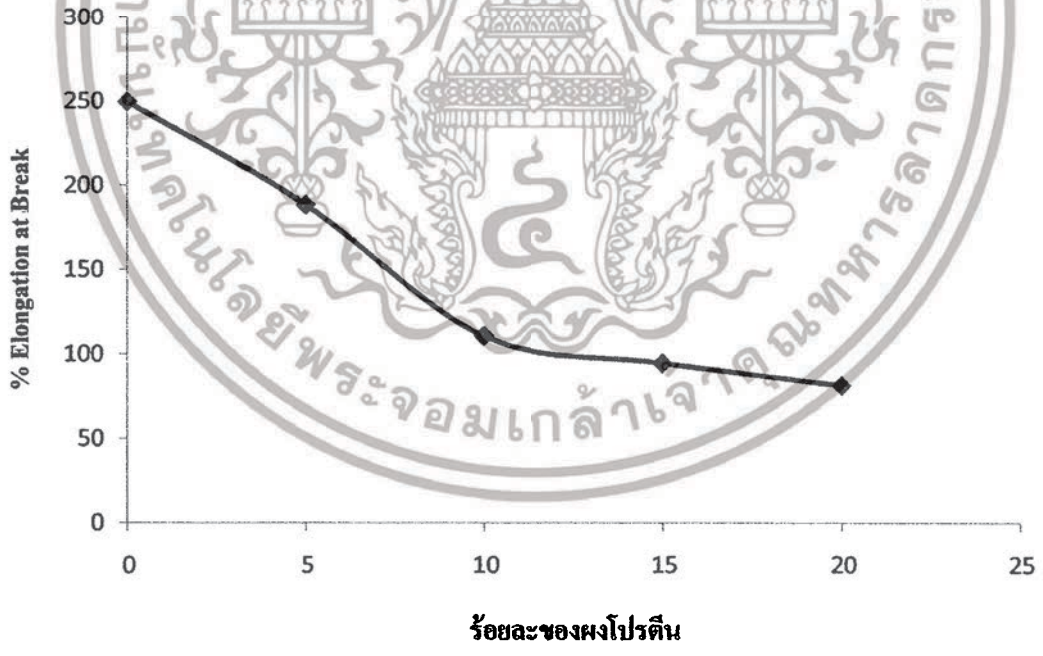
4.4.2 ผลการทดสอบร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)

จากการทดสอบหาร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มที่มีการผสมผงโปรตีนในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อร้อยละของผงโปรตีนเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากโปรตีนเชื่อมติดกับพีวีซีเรซินได้ไม่ดีนักจึงเกิดการฉีกขาดบริเวณที่เป็นจุดด้อย คือ จุดที่มีผงโปรตีนผสมอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบร้อยละการยืด ณ จุดขาดในด้านแนวขวางของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบร้อยละการยืด ณ จุดขาดในแนวยาวของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)

4.4.3.1 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

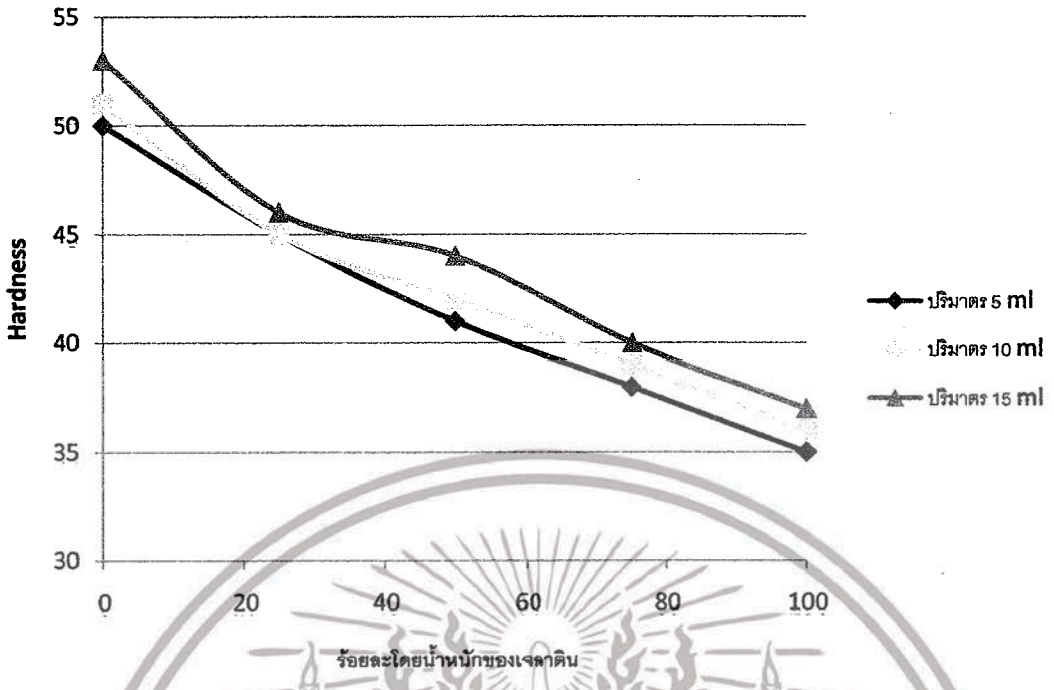
จากการทดสอบหาความแข็งของฟิล์มที่มีการผสมผงโปรตีนในปริมาณร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ดังรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อร้อยละของผงโปรตีนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงโปรตีนจะเพิ่มความหนาแน่นให้แก่ฟิล์มเคลือบ

รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

4.4.3.1 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมด้วยเจลาติน

จากการทดสอบหาความแข็งของฟิล์มที่มีการผสมเจลาตินในปริมาณร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ดังรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อร้อยละของเจลาตินเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแข็งลดลง เนื่องจากเจลาตินเมื่อสัมผัสกับความชื้นจะเกิดการพองตัวทำให้ความหนาแน่นลดลง และทำให้ความแข็งของฟิล์มลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายในการเคลือบความแข็งของฟิล์มจะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของแข็งต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากเจลาติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนที่จุดไอโซอิเลคทริค

- **ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในการย่อยโปรตีนจากเศษหนัง คือ 5** โมลาร์
- ระยะเวลาที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีนจากเศษหนัง คือ 24 ชั่วโมง
- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการตกตะกอนโปรตีนจากเศษหนังที่เหมาะสม คือ 6 โมลาร์

5.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง

- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ คือ 0.6 โมลาร์
- น้ำกลั่นเป็นสารละลายที่เหมาะในการสกัดเจลาติน โดยใช้ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

- ความต้านแรงดึงของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีนมีค่าลดลง เมื่อปริมาณผงโปรตีนมากขึ้น
- การยืด ณ จุดขาดของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีนมีค่าลดลง เมื่อปริมาณผงโปรตีนมากขึ้น
- ความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณผงโปรตีนมากขึ้น

จะเห็นได้ว่าความต้านแรงดึง การยืด ณ จุดขาด และความแข็ง ขึ้นกับปริมาณผงโปรตีน โดยเฉพาะสมบัติเชิงกลด้านความแข็งที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผิวหนังเทียมที่เคลือบด้วยพีวีซีเรซินผสมผงโปรตีนสามารถต้านทานหรือลดรอยขีดข่วนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากเจลาติน

- ความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากเจลาตินมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเจลาติน

ดังนั้นจากผลการทดสอบความแข็งพบว่าสารเคลือบผิวจากผงโปรตีนผสมกับพีวีซีเรซินมีค่าความแข็งมากกว่าสารเคลือบจากเจลาติน

ข้อเสนอแนะ

- การนำเศษหนังมาใช้ประโยชน์มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การสกัดโปรตีนเพื่อผลิตเป็นอาหารสัตว์ [11] การนำโครเมียมกลับมาใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นต้น
- หนังฟอกโครมมีส่วนผสมของโครเมียมอยู่ประมาณ 1-8% [16] ควรมีการศึกษาในการสกัดโครเมียมออกก่อน
- ในการสกัดโปรตีน และเจลาตินจากเศษหนังฟอกการใช้สภาวะที่รุนแรงอาจทำให้โปรตีนเสียสภาพอย่างถาวร
- สารเคลือบจากผงโปรตีนควรผสมผงโปรตีนที่มีขนาดเล็กกว่านี้ เพื่อการกระจายของผงโปรตีนที่ดีขึ้น
- สารเคลือบจากเจลาตินควรมีการศึกษาสารที่ช่วยในการเชื่อมกับผิวพีวีซีชีท เพื่อพัฒนาคุณสมบัติในการยึดติดผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. **อุตสาหกรรมฟอกหนัง.** [Online]. Available : http://www.thaitextile.org/leatherweb/update_17_12_02/2_structure.doc. 2002.

[2] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. **นาโนเทคโนโลยี.** [Online]. Available : th.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology. 2009.

[3] ประดิษฐ์ รังสฤษฎ์กุล. **การผลิตและการตลาดหนังสัตว์ หนังดิบ หนังฟอก และการผลิตหนังฟอก.** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ข่าวพาณิชย์. 2518.

[4] คาวัลย์ ฉิมภู่. **ชีวเคมี เล่ม 1.** พิมพ์ครั้งที่ 1. พิษณุโลก : สำนักพิมพ์ประกายพรึก. 2538.

[5] สินีนารถ สระตันติ์. **ชีวเคมีเบื้องต้น.** กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. 2540.

[6] ชรินทร์ เตชะพันธ์. **การทำโปรตีนให้บริสุทธิ์.** [online]. Available : http://agro.cmu.ac.th/e_books/protein/Book-lesson1.pdf. 2542.

[7] Scopes, R.K.. **Protein Purification Principles and Practice.** 2nd ed. New York : Springer Verlag. 1988.

[8] ชาลินี ศรีนิ่มนวล. **"สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเจลาตินจากกระดูกไก่"** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.

[9] กองบรรณาธิการ. "สถานการณ์ ไคตินและไคโตซาน". **วารสารเอ็มเทค,** ปีที่1, ฉบับที่ 9. กุมภาพันธ์ 2548. หน้า 4, 12-13.

[10] ธนพล ศิระไตรรัตน์ และธนวัฒน์ ไกรวัฒนวงศ์. **"การพัฒนาโครงสร้างพีวีซีชีท แบบเซลล์เปิดด้วยเทคโนโลยีนาโน"** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, **สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.** 2550.

[11] L. Jong และ S.C. Peterson. "Effect of soy protein nanoparticle aggregate size on the viscoelastic properties of styrene-butadiene composites" **Composites Part A: applied science and manufacturing.** 2008. pp.134-141.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] นภา ศิวะรังสรรค์ และคณะ. 2546. **"การแยกโปรตีนจากเศษหนังฟอกโครมด้วยแอลคาไลน์โปรติเอสเพื่อใช้เป็นอาหารปลา"** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

[13] Tingda. et. al. "Nutrition of feed collagen protein powder from the reclamation treatment of chrome leather scrap" **Animal Feed Science and Technology.** 37, 1992. pp.175-184.

[14] Mingyu Cheng. et. al. "Study on physical properties and nerve cell affinity of composite films from chitosan and gelatin solutions" **Biomaterails.** 24, 2003. pp.2871-2880.

[15] อานุภาพ ทองธรรมชาติ และสมนึก จารุดิลกกุล. **"การศึกษาการปลดปล่อยโปรตีนจากไคโตซานอนุภาคนาโน"** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2549.

[16] Zhuang. Y. "Profitability of protein recovery from leather shavings with high level chrome content" **Seminar on the profitability of clean technology in the leather tanning industries.** October 20-21, 1992. Samutprakarn : Bangpoo Country Club

[17] American Society for Testing and Materials, 2002, ASTM D 2240 : Standard Test Method for Rubber Property_Durometer Hardness, In 2000 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 09.01, West Conshohocken, ASTM, pp.400-4003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก1 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 4 และ 5 โมลาร์

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (โมลาร์)	น้ำหนักของเศษหนัง (กรัม)				ร้อยละน้ำหนักของเศษหนังที่เหลือ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
3	4.96	4.71	4.66	4.78	95.6
4	3.66	3.42	3.98	3.69	73.8
5	2.67	2.88	3.21	2.92	58.4

ตารางที่ ก2 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 6 12 และ 24 ชั่วโมง

ระยะเวลาในการแช่ในกรดไฮโดรคลอริก (ชั่วโมง)	น้ำหนักของเศษหนัง (กรัม)				ร้อยละน้ำหนักของเศษหนังที่เหลือ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
6	3.78	4.68	4.05	4.17	83.4
12	2.91	2.77	3.11	2.93	58.6
24	0.74	0.72	0.25	0.57	11.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 น้ำหนักเฉลี่ยของผงโปรตีนจากการตกตะกอนด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 4 5 และ 6 โมลาร์

ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)	น้ำหนักของผงโปรตีน (กรัม)				ร้อยละน้ำหนักของผงโปรตีน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
4	2.30	3.08	2.42	2.60	52.0
5	2.19	2.83	2.54	2.52	50.4
6	3.24	3.39	2.49	3.04	60.8

ตารางที่ ก4 น้ำหนักเฉลี่ยของเศษหนังหลังจากแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดยน้ำหนักเริ่มต้นเป็น 20 30 และ 40 กรัม

น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักของเศษหนัง (กรัม)				ร้อยละน้ำหนักของเศษหนังที่เหลือ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
20	2.71	3.03	2.00	2.58	12.9
30	4.03	3.88	3.61	3.84	12.8
40	5.12	5.83	5.37	5.44	13.6

ตารางที่ ก5 การทดลองการสกัดเจลาตินจากเศษหนัง

สารสกัด	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักของเจลาติน (กรัม)				ร้อยละผลได้ของเจลาติน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
น้ำกลั่น	2	1.74	1.60	1.22	1.52	3.04
น้ำกลั่น	3	1.53	1.42	2.06	1.67	3.34
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1%	2	1.31	1.72	1.89	1.64	3.28
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1%	3	2.01	1.82	1.93	1.92	3.84
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3%	2	-	-	-	-	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5%	2	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก6 องค์ประกอบของเศษหนัง

องค์ประกอบ	น้ำหนักของเศษหนัง (กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ค่าพีเอช (pH)	3.38	3.30	3.10	3.26
ความชื้น (%)	51.92	50.41	50.79	51.04
ปริมาณเถ้า (%)	7.03	7.44	7.34	7.27

หมายเหตุ ความชื้น และปริมาณเถ้า เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

ตารางที่ ก7 องค์ประกอบของผงโปรตีน

องค์ประกอบ	น้ำหนักของผงโปรตีน (กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ค่าพีเอช (pH)	5.98	5.61	5.96	5.85
ความชื้น (%)	22.94	21.41	23.27	22.54
ปริมาณเถ้า (%)	11.86	12.35	11.67	11.96

หมายเหตุ ความชื้น และปริมาณเถ้า เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

ตารางที่ ก8 องค์ประกอบของเจลาติน

องค์ประกอบ	น้ำหนักของเจลาติน (กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ค่าพีเอช (pH)	4.56	3.89	4.36	4.27
ความชื้น (%)	8.10	8.42	8.17	8.23
ปริมาณเถ้า (%)	0.40	0.05	0.69	0.38

หมายเหตุ ความชื้น และปริมาณเถ้า เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิว

ตารางที่ ข1 ผลการทดสอบความต้านแรงดึงของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

ปริมาณสาร (กรัม)		ทิศทาง	ครั้งที่	Tensile Strength (MPa)
พีวีซีเรซิน	ผงโปรตีน			
100	0	MD	1	15.86
			2	16.59
			3	14.48
			เฉลี่ย	15.64
		TD	1	14.85
			2	14.37
			3	14.05
			เฉลี่ย	14.42
95	5	MD	1	15.06
			2	14.85
			3	14.98
			เฉลี่ย	14.96
		TD	1	9.96
			2	9.85
			3	9.75
			เฉลี่ย	9.85
90	10	MD	1	13.28
			2	13.59
			3	13.86
			เฉลี่ย	13.58
		TD	1	7.24
			2	7.54
			3	7.45
			เฉลี่ย	7.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 ผลการทดสอบความต้านแรงดึงของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน (ต่อ)

ปริมาณสาร (กรัม)		ทิศทาง	ครั้งที่	Tensile Strength (MPa)
พีวีซีเรซิน	ผงโปรตีน			
85	15	MD	1	11.41
			2	11.78
			3	11.73
			เฉลี่ย	11.64
		TD	1	5.63
			2	5.7
			3	5.79
			เฉลี่ย	5.71
80	20	MD	1	11.25
			2	11.39
			3	11.75
			เฉลี่ย	11.46
		TD	1	5.55
			2	5.73
			3	5.69
			เฉลี่ย	5.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข2 ผลการทดสอบร้อยละการยืด ณ จุดขาดของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

ปริมาณสาร (กรัม)		ทิศทาง	ครั้งที่	% Elongation at Break
พีวีซีเรซิน	ผงโปรตีน			
100	0	MD	1	287.59
			2	276.54
			3	270.65
			เฉลี่ย	278.26
		TD	1	243.14
			2	238.34
			3	267.14
			เฉลี่ย	249.54
95	5	MD	1	197.41
			2	210.87
			3	201.69
			เฉลี่ย	203.32
		TD	1	198.54
			2	178.54
			3	187.93
			เฉลี่ย	188.34
90	10	MD	1	145.27
			2	150.84
			3	147.31
			เฉลี่ย	147.81
		TD	1	109.47
			2	110.23
			3	112.05
			เฉลี่ย	110.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข2 ผลการทดสอบร้อยละการยืด ณ จุดขาดของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน (ต่อ)

ปริมาณสาร (กรัม)		ทิศทาง	ครั้งที่	% Elongation at Break
พีวีซีเรซิน	ผงโปรตีน			
85	15	MD	1	137.24
			2	135.33
			3	137.59
			เฉลี่ย	136.72
		TD	1	90.47
			2	94.55
			3	98.34
			เฉลี่ย	94.45
80	20	MD	1	110.06
			2	106.14
			3	107.48
			เฉลี่ย	107.89
		TD	1	81.18
			2	80.25
			3	82.67
			เฉลี่ย	81.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข3 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากผงโปรตีน

ปริมาณสาร (กรัม)		ครั้งที่	Hardness
พีวีซีเรซิน	ผงโปรตีน		
100	0	1	50
		2	54
		3	51
		เฉลี่ย	52
95	5	1	56
		2	60
		3	61
		เฉลี่ย	59
90	10	1	62
		2	61
		3	65
		เฉลี่ย	63
85	15	1	66
		2	69
		3	68
		เฉลี่ย	66
80	20	1	69
		2	71
		3	68
		เฉลี่ย	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข4 ผลการทดสอบความแข็งของสารเคลือบผิวหนังเทียมจากเจลาติน

ปริมาณสาร (กรัม)		ปริมาณสารละลาย	Hardness			
เจลาติน	ไคโตซาน	(มิลลิลิตร)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
-	2.0	5	51	50	50	50
		10	51	50	52	51
		15	52	53	53	53
0.5	1.5	5	46	46	44	45
		10	45	45	46	45
		15	45	47	46	46
1.0	1.0	5	43	41	39	41
		10	41	43	42	42
		15	46	44	43	44
1.5	0.5	5	37	40	37	38
		10	39	38	39	39
		15	39	40	40	40
2.0	-	5	35	34	35	35
		10	36	36	35	36
		15	37	38	35	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR

รูปที่ ค1 สเปกตรัมจากเทคนิค FT-IR [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง ข้อมูลค่าการวัดความแข็งด้วยเครื่อง Durometer (Shore A)

ตารางที่ ง1 ตารางเปรียบเทียบความแข็ง [16]

ค่าความแข็ง (1-100)	มาตรฐาน ASTM D 2240, JIS K 6253 แรง (นิวตัน)	มาตรฐาน JIS K 6301 แรง (นิวตัน)
0	0.550	0.539
10	1.300	1.323
20	2.050	2.107
30	2.800	2.945
40	3.550	3.675
50	4.300	4.459
60	5.050	5.243
70	5.800	6.027
80	6.550	6.811
90	7.300	7.595
100	8.050	8.379

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้