สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การดัดแปรโปรตีนไฟโบรอินจากเส้นไหมไทยเพื่อใช้ทำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลและเนื้อเยื่อโครงสร้าง

MODIFICATION OF PROTEIN FIBROIN FROM THAI SILK FIBERS FOR PREPARATION OF HYDROGEL FILM AND SCAFFOLD

T 074423

ปุณยชา บัณฑิตกุล

PUNYACHA BUNDITKUL

วพ.
ป66ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....74423
วัน,เดือน,ปี.....28 ก.ย. 2550

.b.....11801038.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODIFICATION OF PROTEIN FIBROIN FROM THAI SILK FIBERS FOR PREPARATION OF HYDROGEL FILM AND SCAFFOLD

PUNYACHA BUNDITKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดัดแปรโปรตีนไฟโบรอินจากเส้นไหมไทยเพื่อใช้ทำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจล และเนื้อเยื่อโครงสร้าง
นักศึกษา	นางสาวปุณยชา บัณฑิตกุล
รหัสประจำตัว	47064206
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2007
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มไฮโดรเจล (Hydrogel) และเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) จากโปรตีนไฟโบรอินของเส้นไหมไทยจากอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยนำรังไหมมาสกัดโปรตีนเซริซินออกด้วยน้ำร้อน แบ่งเส้นไหมเป็น3 ส่วน นำมาผ่านกระบวนการดังนี้ส่วนที่หนึ่งล้างด้วยสบู่และด่าง ส่วนที่สองแช่ในเมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ส่วนที่สามแช่ในเมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ แล้วล้างด้วยสบู่และด่าง เส้นไหมจากแต่ละส่วนนำมาทำการไดอะไลซิส สารละลายไหมที่ได้แยกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำมาเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล จากนั้นทำการปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสม อะซิโตน ไกลเซอร์ราลดีไฮด์และกลูตาราลดีไฮด์ ที่เวลาต่างๆ เพื่อศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำ ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจล สมบัติเชิงกล การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน สมบัติทางความร้อน พบว่าสามารถเตรียมฟิล์มไหมได้จากวิธีการล้างเส้นไหมด้วยสบู่และด่างเท่านั้น นอกจากนี้ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายผสมต่างๆ ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่น้อย ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลสูง ค่าความทนแรงดึงยืดที่สูงกว่าฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง และฟิล์มไหมไฟโบร อินทุกชนิดให้พีค FTIR คล้ายกัน

สารละลายน้ำไหมไฟโบรอินส่วนที่สองนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบเย็นได้ผงไหม ใช้เตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างโดยเทคนิค Salt leaching จากเกลือชนิดต่างๆ พบว่า สามารถเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างได้จากเส้นไหมที่ผ่านกระบวนการทั้ง 3 แบบ โดยใช้เกลือ 4 ชนิดได้แก่เกลือโซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมโมลิบเดท แอมโมเนียมออกซาเลท และแอมโมเนียมคลอไรด์ ผลการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ ความมีรูพรุน การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกลของเนื้อเยื่อโครงสร้าง พบว่าขึ้นอยู่กับสภาวะการเตรียมเส้นไหม รูปร่างของเกลือ และขนาดรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Modification of Protein Fibroin from Thai Silk Fibers for Preparation of Hydrogel Film and Scaffold
Student	Punyacha Bunditkul
Student ID	47064206
Degree	Master of Science
Program	Polymer Technology
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr. Malinee Chaisupakitsin

ABSTRACT

This research focus on preparation of hydrogel film and scaffold from Thai silk fibroin from Dan Chang district, Supanburee province. Cocoon was extracted with hot water for removing protein sericin, then devided silk fibroin into 3 parts. Each part was treated by the following method: first part washed with soap and alkaline, second part immersed under methanol and bleached by hydrogen peroxide, third part immersed under methanol, bleached by hydrogen peroxide, then washed with soap and alkaline. The treated silk fibroin from each part was dialysis for receiving silk fibroin solution. The silk solution was devided into 2 fractions. First fraction was used for hydrogel film preparation. Films were modified by soaking in the solution mixture of acetone, glyceraldehyde and glutaraldehyde at the time interval. Water absorption property, gel fraction, mechanical property, functional group analysis and decomposition temperature were investigated. It was found that silk fibroin film can prepared only from treated fibroin fiber with soap and alkaline. Moreover, modified silk fibroin film provided lower water absorption property, higher gel fraction, and higher tensile strength than unmodified film. All modified silk fibroin film with different solutions showed the same IR spectra.

The second fraction of silk fibroin solution was freeze-dry for getting silk powder which used for preparation silk scaffold by salt leaching technique. The result showed that silk scaffold can prepared from all types of fiber treatment by using 4 kinds of salts such as Sodium chloride, Ammonium molybdate, Ammonium oxalate and Ammonium chloride. The results of water absorption, porosity, functional group analysis and mechanical property indicated that the properties of scaffold were depended on the treat fiber condition, crystal salt shape and pore size.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่ผู้ทำงานวิจัยจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. กันยา ตันติวิสุทธิกุล ที่ให้คำปรึกษาและความอนุเคราะห์สถานที่ในการเตรียมไหมเพื่อทำการทดลอง

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และ ดร. ปรารถนา คิ้วสุวรรณ และคณะกรรมการ ที่ช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยไต่ถาม เป็นห่วง และเป็นกำลังใจตลอดเวลา ตลอดจนเพื่อนๆ และเจ้าหน้าที่วิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในหารทำงานวิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ผู้ทำงานวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ปุณยชา บัณฑิตกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 โครงสร้างของโปรตีนและสมบัติ.....3

2.2 ไหม (Silks).....6

2.1.3 ไหมไฟโบรอิน (Silk Fibroin).....10

2.1.3.1 สมบัติของเส้นใยไหมไฟโบรอิน.....12

2.1.3.2 การปรับปรุงเส้นใยไหมด้วยวิธีการทางเคมี.....17

2.1.3.3 การนำไหมไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ.....18

2.1.4 สีของรังไหม..... 24

2.1.5 ไฮโดรเจล (Hydrogel)..... 27

2.1.6 เนื้อเยื่อวิศวกรรม (Tissue Engineering).....29

2.1.6.1 วัสดุสำหรับทำเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold).....29

2.1.6.2 การสังเคราะห์เนื้อเยื่อวิศวกรรม.....31

2.1.6.3 สมบัติที่จำเป็นที่สุดของ Scaffold.....33

2.1.7 สารก่อพันธะเชื่อมโยง.....34

2.1.7.1 ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde).....34

2.1.7.2 กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde).....36

2.1.7.3 ไกลเซอร์รัลดีไฮด์ (Glyceraldehyde).....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.8 โพรอเจน (Porogen).....37
2.1.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....43

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....48
3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้.....48
3.2 แผนภาพการทดลอง.....51
3.3 วิธีการทดลอง.....53
3.3.1 กระบวนการที่ใช้ในการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอิน.....53
ตอนที่ 1 การทำฟิล์มจากสารละลายเส้นไหมไฟโบรอินหลังการ Dialysis.....57
ตอนที่ 2 การเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) จากผงไหมไฟโบรอินที่ผ่านการทำแห้งแบบเย็น.....60

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....64
4.1 ผลการวิเคราะห์เส้นไหมไฟโบรอินจากกระบวนการเตรียมเส้นไหมต่างๆ.....64
4.1.1 ผลการตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดของเส้นไหมไฟโบรอิน.....65
4.1.2 ผลการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี....67
4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นไหมไฟโบรอินโดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทริก.....69
4.2 ผลการศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มไหมไฟโบรอินจากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการเตรียมเส้นไหม ที่เตรียมได้จากเทคนิคการเทหล่อ (Casting).....72
4.2.1 การศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอิน.....72
4.2.2 ผลของค่าสัดส่วนเจล Gel Fraction.....75
4.2.3 ศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ด้วยการแช่สารละลายผสมต่างๆด้วยเทคนิค FTIR.....76
4.2.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไหมไฟโบรอินโดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทริก.....80
4.2.5 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มไหมไฟโบรอิน.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการขึ้นรูป Scaffold โดยใช้เกลือชนิดต่างๆเป็นโพรอเจน.....87
4.3.1 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด.....89
4.3.2 ผลการทดสอบความมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมได้จากเกลือ 6 ชนิด.....92
4.3.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้าง.....93
4.3.4 ผลการศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี...94
4.3.5 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold).....98

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....101

เอกสารอ้างอิง.....105
ภาคผนวก.....108
ภาคผนวก ก.....109
ภาคผนวก ข.....118
ภาคผนวก ค.....123

ประวัติผู้เขียน.....126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงชื่อของกรดแอลฟาอะมิโนที่พบมากในธรรมชาติ มี 20 ชนิด..... 9

2.2 แสดงสูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบในไหม..... 10

2.3 แสดงคุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย.....22

3.1 แสดงกระบวนการที่ใช้ในการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอิน.....53

3.2 แสดงการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมต่างๆ.....57

4.1 แสดงภาพลักษณะกายภาพของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการต่างๆ.....64

4.2 แสดงอุณหภูมิของการสลายตัวของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการเตรียมเส้นไหมวิธีต่างๆ.....69

4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่เตรียมจากเทคนิคการเทหล่อ (Casting)..72

4.4 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยสารละลายผสมและไม่ได้ปรับปรุงฟิล์ม.....80

4.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) โดยขึ้นรูปกับเกลือชนิดต่างๆ.....88

4.6 แสดงความแข็งแรงของเนื้อเยื่อโครงสร้างโดยวัดแรงกดอัดและมอดูลัสของการกดอัด..... 98

ก.1 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนในเซริซินและไฟโบรอินของไหมไทยจากอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (กรัมต่อกิโลกรัม).....109

ก.2 ค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงฟิล์ม.....109

ก.3 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ.....110

ก.4 ค่าการดูดซึมน้ำ และ% การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์รัลดีไฮด์อะซิโตนกับน้ำ.....111

ก.5 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมกลูตารัลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ.....112

ก.6 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต.....113

ก.7 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์.....114

ก.8 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต.....115

ก.9 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่แช่น้ำก่อนการทดสอบ.....116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.10 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่น้ำ 10 นาที ก่อนการทดสอบ.....117

ข.1 แสดงแถบการดูดกลืนคลื่นของกรดอะมิโน 9 ชนิด.....120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงโครงสร้าง α -เฮลิคส์.....3

2.2 แสดงโครงสร้าง β -ชีทของพอลิเพปไทด์.....4

2.3 แสดงโครงสร้างสามมิติของไหม.....10

2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของไหมไฟโบรอินชนิดแผ่นจีบ.....11

2.5 แสดงแสดงภาคตัดขวงของเส้นไหมจากรังไหม Bombyx mori.....13

2.6 แสดงโครงสร้างของเส้นใยไหม.....13

2.7 SEM เส้นไหมไหมเลี้ยง (*Bombyx mori*) ไหมดิบไม่มีการลอกกาวไหม (เซริซิน) ออก.....14

2.8 SEM แสดงเส้นไหมที่มีการลอกกาวไหม (เซริซิน) ออกโดยสกัดเป็นเวลา 60 นาที.....14

2.9 แสดงสีของรังไหมจากพันธุ์ไหมต่างๆ.....25

2.10 แสดงปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์ฟอร์มัลดีไฮด์.....34

2.11 แสดงปฏิกิริยาที่นำไปสู่การทำให้คงที่โดยฟอร์มัลดีไฮด์.....35

2.12 แสดงปฏิกิริยาพอลิเมอร์กลูตาราลดีไฮด์.....36

2.13 แสดงปฏิกิริยาของพอลิกลูตารัลดีไฮด์กับกลุ่มอะมิโนของโปรตีน.....36

4.1 แสดงรูปของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด.....65

4.2 แสดงพีคของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ.....68

4.3 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียต่างๆ.....70

4.4 แสดงผลการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำที่เวลา 1, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 0 ถึง 6 ชั่วโมง.....73

4.5 ผลการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำที่เวลา 1, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 0 ถึง 6 ชั่วโมง.73

4.6 ผลการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำที่เวลา 1, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 0 ถึง 6 ชั่วโมง.....73

4.7 ค่าสัดส่วนเจลของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมเป็นเวลา 1, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง.....75

4.8 แสดงพีคของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ถูกปรับปรุงโดยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ.....77

4.9 แสดงพีคของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ.....78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10แสดงพีคของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ.....79

4.11เทอร์โมแกรมการสลายทางความร้อนของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสมอะซิโตน : น้ำ.....81

4.12เทอร์โมแกรมการสลายทางความร้อนของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสม ไกลเซอร์ราลดีไฮด์ : อะซิโตน : น้ำ.....82

4.13เทอร์โมแกรมการสลายทางความร้อนของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสม กูลตาราลดีไฮด์ : อะซิโตน : น้ำ.....83

4.14 ค่าความทนแรงดึงยืดของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ..... 84

4.15 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ.....85

4.16 ค่า % Elongation at Max Load ของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ.....85

4.17 ค่าความทนแรงดึงยืดของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ.....86

4.18 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ.....86

4.19 ค่า % Elongation at Max load ของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ.....87

4.20รูปรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดที่กำลังขยาย 350 เท่า และ 50 เท่า ตามลำดับ.....91

4.21 แสดงกราฟความมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 6 ชนิด.....92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.22ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมโดยใช้เกลือ 4 ชนิด และใช้เส้นไหม ที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่ และโซเดียมคาร์บอเนต.....93
4.23ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมโดยใช้เกลือ 4 ชนิด และใช้เส้นไหม ที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์.....93
4.24 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมโดยใช้ 4 ชนิด และใช้เส้นไหม ที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และ โซเดียมคาร์บอเนต.....94
4.25 แสดงพีคของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ของ เส้นไหมไฟโบรอิน ที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่ และโซเดียมคาร์บอเนต.....95
4.26 แสดงพีคของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ของ เส้นไหมไฟโบรอิน ที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์.....96
4.27 แสดงพีคของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ของ เส้นไหมไฟโบรอิน ที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต.....97
4.28 แสดงกราฟความแข็งแรงของเนื้อเยื่อโครงสร้างโดยการกดอัด.....99
ข.1 แสดงแถบการดูดกลืนคลื่นของโปรตีนด้วย FTIR.....118
ข.2 สเปกตรัมของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการลอกกาวด้วยด่าง และ ฟิล์มไหมไฟโบรอิน 121
ข.3 สเปกตรัมของฟิล์มไหมไฟโบรอิน 122
ค.1 การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตน กับน้ำที่เวลาต่างๆ แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 6 ชั่วโมง.....124
ค.2 การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสม ไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำที่เวลาต่างๆ แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำ ที่เวลา 6ชั่วโมง.....124
ค.3 การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการสารละลายผสม กลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำที่เวลาต่างๆ แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 6 ชั่วโมง.....125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำนำ

หนอนไหม(Silkworm) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Bombyx mori อยู่ในวงศ์ Bombycidae หนอนไหมเป็นแมลงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Completely metamorphosis insect) ผลิตเส้นไหมซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติ จัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่งมีโครงสร้างที่เรียกว่าโปรตีน สามารถแยกกรดอะมิโนออกจากโปรตีนได้โดยการไฮโดรไลส์ด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด โปรตีนเส้นใยมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ โปรตีนที่เรียกว่าไฟโบร อิน (Fibroin) เป็นเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ (ประมาณ 78% ของน้ำหนักไหมดิบ) และอีกชนิดหนึ่งคือโปรตีนที่เรียกว่าเซริซิน (Sericin) ซึ่งเป็นกาวไหมที่ทำให้เส้นใย 2 เส้นติดกัน สามารถละลายน้ำได้ ไหมสามารถนำไปใช้งานอยู่ในรูปของเส้นใยสิ่งทอและการเป็นวัสดุทางการแพทย์เนื่องจากเหนียวและทนต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งยังเข้ากับเนื้อเยื่อมนุษย์ได้ดี

ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์จำเพาะอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งไฮโดรเจลนี้เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบโครงร่างแหสามมิติ มีความสามารถในการดูดซับน้ำและสารละลายบางชนิดได้เป็นอย่างดีโดยที่โครงสร้างของไฮโดรเจลยังคงมีความแข็งแรง ไม่เกิดการละลาย ปริมาณน้ำที่ไฮโดรเจลสามารถดูดซับได้มีค่ามากกว่า 90 % และยังสามารถเข้ากันได้ดีกับสารชีวภาพในร่างกายมนุษย์ เช่น เลือด น้ำเหลือง เซลล์ผิวหนัง เลนส์สัมผัส (Contact lenses) หรือนำมาใช้เคลือบวัสดุที่ต้องนำมาสัมผัสกับร่างกายมนุษย์ เช่น ใช้เคลือบอวัยวะเทียมที่ใช้ในร่างกาย เป็นต้น ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้จึงได้มีการนำไฮโดรเจลมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์โดยเฉพาะใช้เป็นเนื้อเยื่อวิศวกรรมเพื่อจะยอมให้เซลล์เจริญ เนื้อเยื่อใหม่ scaffold นี้เหมาะกับความต้องการเฉพาะอย่าง รูพรุนที่มากและขนาดรูที่เพียงพอเป็นที่ต้องการ เพื่อสะดวกในการเพาะเซลล์และแพร่ผ่านตลอด

ในงานวิจัยนี้นำรังไหมไทย สีเหลือง จากอำเภอด่านช้าง จ. สุพรรณบุรี ที่ตัดรังเพื่อเอาหนอนไหมออกไปและไม่สามารถนำไปใช้ในการทอผ้าได้แล้ว มาทดลองผลิตเป็นวัสดุทางการแพทย์โดยใช้ส่วนโปรตีนไฟโบรอินเตรียมไฮโดรเจลเพราะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำและสารละลายบางชนิดได้เป็นอย่างดี ใช้เป็นลักษณะฟิล์มและเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) เพื่อทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา ของขนาดรูพรุนและชนิดของโพรอเจน (Porogen) ซึ่งได้แก่เกลือชนิดต่างๆ ในการเกิดรูของเนื้อเยื่อโครงสร้างและรู้สภาวะที่เหมาะในการขึ้นรูปฟิล์มและเนื้อเยื่อโครงสร้างของโปรตีนจากไหมไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาสภาวะสำหรับนำโปรตีนไหมไฟโบรอินจากไหมไทย จากอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี มาใช้ประโยชน์ทำเป็นวัสดุชีวภาพทางการแพทย์ เช่น ฟิล์มไฮโดรเจล เนื้อเยื่อโครงสร้าง เป็นการเพิ่มมูลค่าให้ไหมไทย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะการเตรียมฟิล์มและเนื้อเยื่อโครงสร้างจากโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยด่านช้าง
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยาของฟิล์มและเนื้อเยื่อโครงสร้างจากโปรตีนไฟโบรอิน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยด่านช้าง
2. ทราบสภาวะในการเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างจากโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยด่านช้าง
3. ทราบว่าเกลือชนิดใดให้เนื้อเยื่อโครงสร้างที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

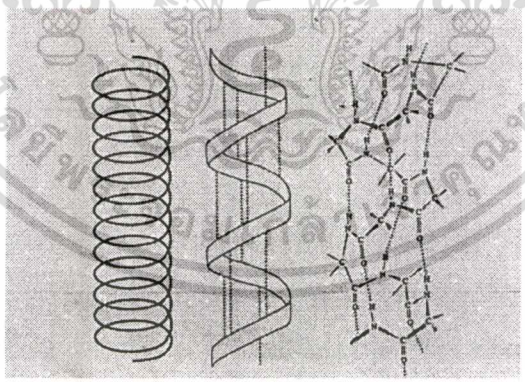
2.1 โครงสร้างของโปรตีนและสมบัติ [1-4]

โครงสร้างของโปรตีนแบ่งได้เป็น 4 แบบ ได้แก่

2.1.1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure) โครงสร้างแบบนี้เป็นโครงสร้างแบบพื้นฐานที่สุด หมายถึง โครงสร้างของโมเลกุลเส้นยาวที่ต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ และรวมถึงพันธะไดซัลไฟด์

2.2.2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure) โดยทั่วไปโมเลกุลที่เป็นเส้นยาว จะไม่คงอยู่ในสภาพที่เป็นเส้นยาว แต่จะจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ 2 แบบ คือ แอลฟา - เฮลิกซ์และเบตา - พลีทเทดชีท

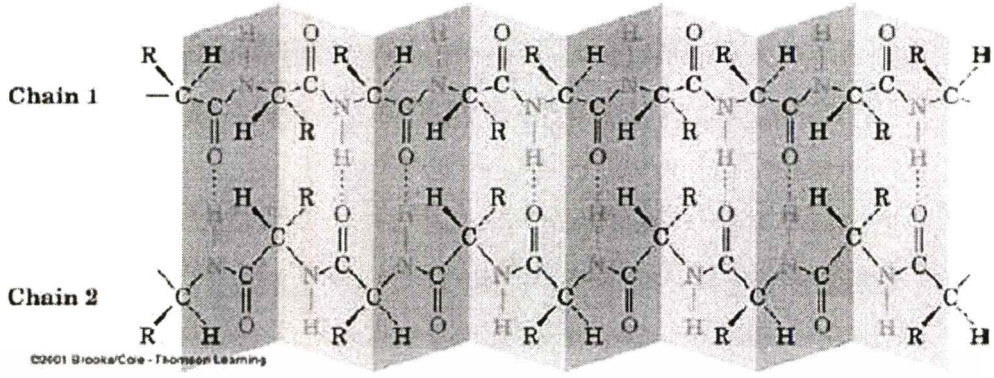
(1) α -เฮลิคส์ (α - helix) สายโซ่ยาวจะขดตัวโดยมีหมู่อะตอมโซ่ข้างชี้ออกด้านนอก แรงพันธะไฮโดรเจนระหว่าง O ของหมู่คาร์บอนิล และ H ของ – NH – จะยึดโมเลกุลไว้ มีจำนวนกรดอะมิโน 3.6 ตัว ในแต่ละรอบของเฮลิกซ์ ตัวอย่างโปรตีนที่มีโครงสร้างแบบนี้คือ myosin โปรตีนของกล้ามเนื้อ α-keratin ในผม ขนสัตว์ เล็บ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 โครงสร้าง α -เฮลิคส์ [3]

(2) β -พลีทเทดชีท (β - pleated sheet) โมเลกุลจะมาเรียงตัวในลักษณะเป็นแผ่นขนานกัน แรงพันธะไฮโดรเจนระหว่างแผ่นโมเลกุลที่ขนานกัน เป็นแรงยึดโมเลกุลไว้ด้วยกัน หมู่ R จะชี้ขึ้นด้านบนและด้านล่างของแผ่นที่ขนานกัน พบโครงสร้างชนิดนี้ในไฟโบรอิน (รูปที่ 2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง β -ชีทของพอลิเพปไทด์ [3]

(3) β-เบนด์โครงรูป (Conformation) แบบ β-เบนด์จะพบบริเวณจุดหักมุมเพื่อกลับทิศทางของสาย ∝-เฮลิคส์ หรือ β-ชีท ซึ่งลักษณะทั่วไปจะเป็นลูกสูบ (Loop) โดยจะเกิดจากการที่หมู่คาร์บอนิลเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ถัดไป 3 ยูนิต

2.1.3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure) [5]

หมายถึง โครงสร้างที่มีโซ่พอลิเพปไทด์มาขดม้วนแน่นในลักษณะกลมของโปรตีนก้อนกลมโดยพันธะที่เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้โครงสร้างนี้เสถียรอยู่ได้ คือ พันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ และพันธะอ่อน เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิก หรือพันธะนอนโพลาร์ และแรงวาลเดอร์วาลล์ นอกจากนี้ยังมีลักษณะเฉพาะที่สำคัญประการหนึ่งคือ การม้วนพับเข้าหากันจะให้ส่วนมีขั้วที่ชอบน้ำเรียกว่า ไฮโดรฟิลิก (Hydroplilic) อยู่ด้านนอก เพราะในสภาวะแวดล้อมทั้งหมดมักเป็นน้ำ ส่วนที่ไม่มีขั้วเรียกว่า ไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ซึ่งอยู่ด้านใน ตัวอย่างเช่น ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีฮีม (Heme) เป็นองค์ประกอบ

2.1.4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure)

หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์มากกว่าหนึ่งโซ่อยู่รวมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งแต่ละโซ่พอลิเพปไทด์ หรือหน่วยย่อย หรือโปรโตเมอร์ (Protomer) อาจเหมือนกันหรือต่างกันได้ โดยโปรตีนที่มีโครงสร้างลักษณะนี้เรียกว่า โอลิโกเมอร์โปรตีน ตัวอย่างเช่น ฮีโมโกลบิน ประกอบด้วย โซ่แอลฟา 2 โซ่ และโซ่เบต้า 2โซ่

สมบัติทางกายภาพของโปรตีน

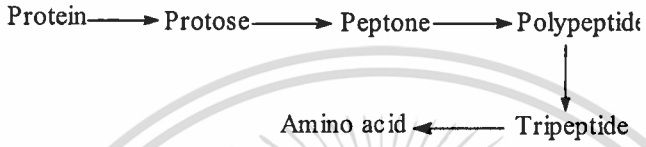
1. ไม่ละลายน้ำ แต่บางชนิดละลายน้ำได้เล็กน้อยในสภาพคอลลอยด์
2. มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่
3. สถานะเป็นของแข็ง
4. เผาแล้วจะเกิดกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางเคมีของโปรตีน

โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้หลายปฏิกิริยา ดังนี้

ก. ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis reaction) โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิลกับน้ำ โดยมีสาระลายกรด-เบส หรือเอนไซม์บางชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โปรตีนจะถูกไฮโดรไลส์จากโมเลกุลใหญ่ค่อย ๆ กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ และถ้าการเกิดไฮโดรลิซิสเป็นไปอย่างสมบูรณ์ในที่สุดจะได้กรดอะมิโน เขียนสมการเกิดไฮโดรลิซิส ได้ดังนี้



ข. ปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีน (Biuret reaction) เป็นปฏิกิริยาเฉพาะสำหรับทดสอบโปรตีนและผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลส์โปรตีนที่ยังมีพันธะเพปไทด์อยู่เช่น Protose, Peptone, Polypeptide และ Tripeptide โดยนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย $CuSO_4$ ในเบส NaOH ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาให้สีต่าง ๆ กัน ตั้งแต่สีน้ำเงิน หรือม่วงจนถึงชมพู ซึ่งสีเหล่านี้เป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนของทองแดงกับสารที่มีพันธะเพปไทด์ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป เรียกปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีนดังกล่าวนี้ว่า Biuret reaction ถ้าเป็นโปรตีนจะได้สารประกอบสีน้ำเงินอมม่วง ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลส์โปรตีนจะให้สีต่าง ๆ กัน ตั้งแต่สีม่วงจนถึงสีชมพู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล สำหรับกรดอะมิโนจะไม่เกิดปฏิกิริยาเฉพาะที่จะให้ผลกับสารที่มีพันธะเพปไทด์ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป

ค. การแปลงสภาพของโปรตีน (Denature of protein) การที่โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากยึดติดกันด้วยพันธะเพปไทด์ ซึ่งภายในโมเลกุลอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งกันและกัน ทำให้โมเลกุลมีลักษณะเป็นเกลียว เป็นแผ่น มีการขดม้วนตัวด้วยแรงวาลเดอร์วาลล์ พันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติแบบต่าง ๆ โครงสร้างเหล่านี้อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ เพราะแรงดังกล่าวถูกทำลาย เช่น เกิดการคลายเกลียวของโปรตีนก้อนกลม เป็นสายโปรตีนที่ไร้ระเบียบ และเกิดการสูญเสียสมรรถนะทางชีวภาพ โปรตีนจะเกิดการแข็งตัวและไม่ละลายน้ำ

ปัจจัยที่ทำให้โปรตีนแปลงสภาพได้ มีดังนี้

(1) ความร้อน การให้ความร้อนเป็นการทำให้โปรตีนแปลงสภาพ เกิดการแข็งตัว เช่น การต้มไข่ขาว การทำลายแบคทีเรียในอาหารด้วยความร้อนที่ 50 $^{\circ}C$ ทำให้โปรตีนแปลงสภาพได้

(2) ความเป็นกรดและเบส เมื่อค่าพีเอชของโปรตีนเปลี่ยนไป เนื่องจากได้รับหรือเสียโปรตอน (H^+) ซึ่งทำให้โปรตีนเกิดประจุขึ้น และสามารถจับกับไอออนอื่นได้ ไอออนที่มาจากกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือเบสกระเด็นเข้าตาจะทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนในดวงตา ถ้าได้รับกรดหรือเบสปริมาณมากอาจทำให้ตาบอด

(3) ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีพันธะไฮโดรเจน เช่น แอลกอฮอล์ จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโปรตีน โปรตีนเกิดการแข็งตัว และละลายน้ำได้น้อยลง หลักการนี้นำไปใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การฆ่าเชื้อโรคพวกแบคทีเรียด้วยแอลกอฮอล์ โปรตีนในแบคทีเรียจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแอลกอฮอล์ ทำให้โปรตีนในแบคทีเรียแปลงสภาพ แบคทีเรียจะตาย โดยมากจะใช้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 70

(4) ไอออนของโลหะหนัก เช่น Pb^{2+} Hg^{2+} และ Ag^{+} ไอออนเหล่านี้จะไปจับกับกรดอะมิโนตรงด้านที่เป็นกรด เกิดเป็นเกลือคาร์บอนซิเลตได้ ซึ่งทำให้โปรตีนละลายน้ำได้น้อยลง และเกิดการแปลงสภาพไป การแปลงสภาพของโปรตีนเป็นวิธีนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ ในการล้างท้องผู้ป่วยรับประทานพิษ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีไอออนของโลหะหนัก แพทย์จะให้คนไข้รับประทานไข่ขาวดิบ ไอออนของโลหะหนักจะเกิดการรวมตัวกับไข่ขาวดิบ เกิดการแปลงสภาพแล้วทำให้เกิดการอาเจียนออกมาก่อนที่ไอออนของโลหะหนักจะเข้าไปสู่เซลล์ของร่างกายไปทำการแปลงสภาพโปรตีนซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย ในสภาพความเข้มข้นของเกลือบางชนิด เช่น $(NH_4)_2$ SO_4 ความเข้มข้นสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการละลายได้น้อยลง เพราะไอออนของเกลือดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโปรตีนที่ละลายไม่ได้จึงเกิดการตกตะกอน มิใช่เกิดการแปลงสภาพ

2.2 ไหม (Silks) [1-3]

หนอนไหม (Silkworm) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ***Bombyx mori*** อยู่ในวงศ์ Bombycidae หนอนไหมเป็นแมลงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Completely metamorphosis insect) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และผีเสื้อ มีเพียงระยะตัวหนอนเท่านั้นที่กินอาหาร ซึ่งจะนำสารชนิดต่าง ๆ จากใบหม่อนไปสร้างความเจริญเติบโต โดยผ่านการย่อยและดูดซึมเป็นปริมาณ 1 ใน 3 ของสารอาหารทั้งหมด ครึ่งหนึ่งของโปรตีนที่ดูดซึมจากใบหม่อนจะถูกนำไปใช้ผลิตเส้นไหม เมื่อถึงวัย 5 วันแรกต่อมไหม (Silk gland) จะหนักเพียง 6.36% ของน้ำหนักตัวไหม เมื่อไหมสุกก่อนเข้าทำรัง ต่อมไหมจะหนักถึง 41.97% จะเห็นว่าปลายวัยที่ 5 สารอาหารโดยเฉพาะโปรตีนเกือบทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นสารที่ใช้ชักใยทำรังหรือเส้นไหมนั่นเอง และเป็นเส้นใยที่มีคุณค่ามหาศาล หาที่เปรียบมิได้ ไหมเป็น “ราชินีแห่งเส้นใย” ที่ได้มาจากโปรตีนที่หนอนไหมขับออกมาเพื่อป้องกันตัวเองขณะเป็นดักแด้ เส้นใยที่ได้มีความยาวต่อเนื่อง (Filaments) เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากโปรตีนเช่นเดียวกับเส้นใยขนสัตว์ เส้นไหมเกิดจากการพ่นออกของตัวหนอนไหม การสังเคราะห์โปรตีนในเส้นไหมทำได้ในเซลล์ของต่อมไหมที่อยู่ในตัวหนอนไหม สารไหมเหลว (Liquid silk) สามารถขับออกมาจากต่อมไหมส่วนท้าย (Posterior silk gland) หลังจากนั้นจะส่งสารไหมเหลวไปที่ต่อมไหมส่วนกลาง (Middle silk gland) ในระหว่างที่อยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมไหมส่วนกลาง สารไหมเหลวจะมีการเปลี่ยนรูปกลายเป็นเจลาติน (Gelatin) ที่มีความแข็งแรงขึ้น ในต่อมไหมส่วนกลางยังมีต่อมที่สามารถสร้างโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเป็นกาวในการเคลือบเจลาตินที่ได้ เรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า เซริซิน (Sericin) หลังจากนั้นเจลาตินจะมีความเหนียวและแข็งขึ้นโดยอาศัยการส่ายหัวไปมาของตัวหนอนไหม อาการเคลื่อนไหวจะเกิดขึ้นที่บริเวณต่อมไหมส่วนหน้า เรียกเจลาตินที่มีความเหนียวข้นนี้ว่า ไฟโบรอิน (Fibroin) หลังจากที่มีการรวมกันของไฟโบรอิน 2 เส้นและมีการเชื่อมติดกันด้วยกาวไหมเซริซิน จะมีการผ่านรูขนาดเล็ก(Orifice of spinneret) ออกมาจากตัวของหนอนไหม และได้เป็นเส้นใยที่ใช้ในการทำเครื่องนุ่งห่มหรือสิ่งทอต่าง ๆ สามารถจำแนกไหมออกเป็นสองประเภทดังนี้คือ

2.2.1 ไหมเลี้ยง (Mulberry silk) เป็นหนอนไหมที่มนุษย์เพาะเลี้ยงโดยให้อาหาร คือ ใบหม่อน (Mulberry leaves) สดๆ ซึ่งไหมชนิดนี้มีสีค่อนข้างขาวและหลังการลอกกาวจะมีความมันเงาเพิ่มขึ้น

2.2.2 ไหมป่า (Wild silk) เป็นไหมที่มนุษย์ไม่ได้เพาะเลี้ยงโดยปกติไหมทาซาร์ (Tussah silk) มีแหล่งกำเนิดอยู่ที่จีนและอินเดียเลี้ยงด้วยใบโอ๊คซึ่งไหมป่าจะให้เส้นใยที่มีสีน้ำตาล หยาบและไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับเส้นใยจากไหมเลี้ยง

ไหมไทยถือว่าเป็นไหมเลี้ยงซึ่งเป็นตัวอ่อนของผีเสื้อกลางคืนชนิดหนึ่งเป็นแมลงในอันดับเลพิดอปเทอรา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* มีชื่อสามัญว่า silkworm วงศ์ Bombicidae เป็นพันธุ์ไหมที่มีคุณภาพดีที่สุดนิยมเลี้ยงกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยปัจจุบันการเลี้ยงไหมและการผลิตไหมได้รับการส่งเสริมให้ทำเป็นระบบอุตสาหกรรมแบบ Sericulture ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับการพัฒนามาจากประเทศญี่ปุ่นแต่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากเส้นใยมีสีเหลืองและค่อนข้างหยาบ ไหมไทยมีส่วนประกอบที่เป็นกาวไหมปริมาณมากถึง 38 % มากกว่าไหมเลี้ยงชนิดอื่นๆ ซึ่งปกติมีกาวไหมเพียง 20-25 % เท่านั้นทำให้เส้นใยไหมไทยมีลักษณะเฉพาะตัวเมื่อทอผ้าไหมจัดเป็นเส้นใยที่หรูหรา สวยงาม มีเอกลักษณ์เป็นของตัวเอง ซึ่งเส้นใยอื่นไม่สามารถเทียบได้ มีสมบัติดีเหมาะแก่การทำเป็นเสื้อผ้า เพราะให้ความสบายความสวยงามดูมีค่าและมีความทนทานแข็งแรงที่สุดในบรรดาเส้นใยธรรมชาติทั้งหมด

<u>พันธุ์ไหมในประเทศไทย</u> [6-7]

พันธุ์ไหมในประเทศไทยมีจำนวนประมาณ 28 พันธุ์ โดยมีทั้งพันธุ์แท้ของไทยและพันธุ์ผสมที่ได้จากพัฒนา ในที่นี้จะยกตัวอย่างพันธุ์ไหมที่ใช้มากและสำคัญ ดังนี้

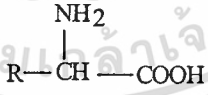
1 นางลาย เป็นพันธุ์ไหมแท้พื้นเมือง รังไหมมีสีเหลืองเข้ม ลักษณะมีหัวท้ายค่อนข้างแหลม ขนาด 1.43 × 2.90 cm จำนวนรังไหม 1300-1400 รังต่อรังไหม 1 กิโลกรัม น้ำหนักรังสด 1 รัง 0.68-1.64 กรัม น้ำหนักเปลือกรัง 1 รัง 0.08-0.24 กรัม ความยาวเส้นใยประมาณ 311 เมตรต่อรัง ความสามารถในการสาวออกสูง เส้นใยมีความเหนียวสูงและเป็นมันเงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

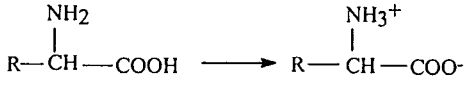
2. ไทยลูกผสมอุบลราชธานี 60-35 (ดอกบัว) เป็นไหมไทยลูกผสม รังไหมมีสีเหลือง ลักษณะมีหัวท้ายค่อนข้างกลม ขนาด 1.5 × 3.25 cm น้ำหนักรังสด 1 รัง 1.4 กรัม น้ำหนักเปลือกรัง 1 รัง 0.225 กรัม ความยาวเส้นใยประมาณ 519 เมตรต่อรัง และมีการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2535

3. จุลไทย เบอร์ 1 เป็นไหมลูกผสมคู่ รังไหมมีสีขาวขุ่นอมเทา ลักษณะมียาวรี มีรอยย่นค่อนข้างละเอียด ขนาด 2.3 × 3.6 cm น้ำหนักรังสด 1 รัง 1.75 กรัม น้ำหนักเปลือกรัง 1 รัง 0.393 กรัม ความยาวเส้นใยประมาณ 887 เมตรต่อรัง และมีการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2546

เส้นใยไหมมีปริมาณของซัลเฟอร์จำนวนเล็กน้อยมาก [5] เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมวลโมเลกุลสูง โปรตีนทุกชนิดประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน (O) และกำมะถัน (S) แต่โปรตีนบางชนิดมีธาตุฟอสฟอรัส (P) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) เพิ่มเข้ามา เส้นไหมเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่งที่เรียกว่าโปรตีน (Protein) สามารถถูกแยกออกจากโปรตีนได้โดยการไฮโดรไลส์ด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด ดังตารางที่ 2.1 โดยแต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว เรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์ ต่อกันอยู่ในลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีการแตกกิ่ง พันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมอยู่ระหว่างกรดอะมิโนมีชื่อว่า พันธะเพปไทด์ ซึ่งพันธะนี้ เป็นพันธะเอไมด์ที่เกิดการสูญเสียน้ำจากหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับหมู่แอลฟาอะมิโนของกรด อะมิโนที่อยู่ถัดไป โมเลกุลของโปรตีนอาจประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เพียงโซ่เดียวหรือมากกว่าก็ได้ โดยมีความยาวที่แตกต่างกันออกไป โดยมีกรดอะมิโนตั้งแต่ประมาณ 40 ถึงมากกว่า 4,000 หน่วย ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี มวลโมเลกุล และการเรียงลำดับของกรด อะมิโนที่จำเพาะ โดยกรดอะมิโนมีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ



ภายในโมเลกุลของกรดแอลฟาอะมิโน จะมีหมู่อะมิโนต่ออยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอนของกรดคาร์บอกซิลิก (กรดอะมิโนทุกตัวมีแอลฟาคาร์บอน ยกเว้นไกลซีน) แต่เนื่องจากเอมีนเป็นเบสและคาร์บอกซิลิกเป็นกรดจึงเกิดการส่งผ่านโปรตอนจากกรดให้เบส ซึ่งสูตรโมเลกุลของกรดอะมิโนจึงเขียนอยู่ในรูปที่แตกตัวเป็นไอออน หรือรูปที่มีประจุสองขั้วได้ ดังนี้



โครงสร้างที่เป็นประจุของกรดแอลฟาอะมิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นไหมเป็นเส้นใยที่เป็นสารประกอบประเภทพอลิเอไมด์ (Polyamide) เกิดจากการมีหน่วยของโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่า กรดอะมิโน (Amino acid) มาต่อกันเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ด้วยพันธะเพปไทด์

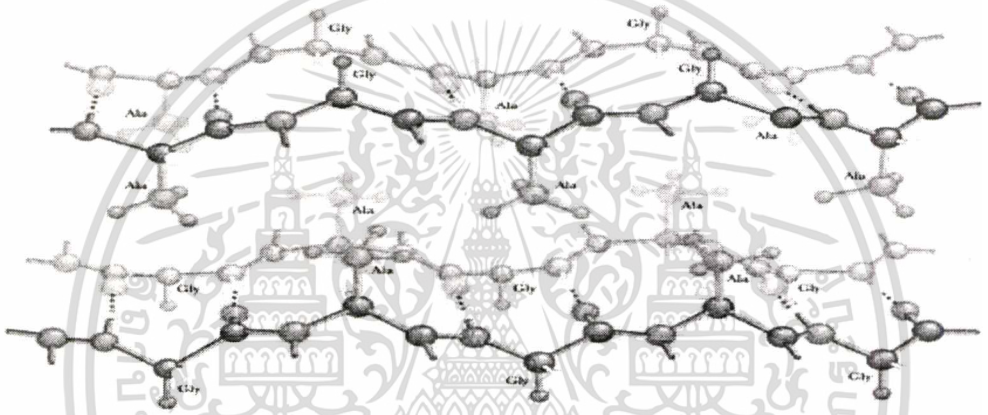
ตารางที่ 2.1 แสดงชื่อของกรดแอลฟาอะมิโนที่พบมากในธรรมชาติ มี 20 ชนิด [5]

กรดแอลฟาอะมิโน	ชื่อย่อ
ไกลซีน (Glycine)	Gly
อะลานีน(Alanine)	Ala
วาลีน (Valine)	Val
ลิวซีน (Leucine)	Leu
ไอโซลิวซีน (Isoleucine)	Ile
เซรีน (Serine)	Ser
ธรีโอนีน (Threonine)	Thr
กรดแอสพาร์ติก (Aspartic acid)	Asp
แอสพาราจีน (Asparagine)	Asn
ซีลเตอีน (Cysteine)	Cys
เมธีโอนีน (Methionine)	Met
กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	Glu
กลูตามีน (Glutamine)	Gln
ไลซีน (Lysine)	Lys
อาร์จินีน (Arginine)	Arg
ฮีสติดีน (Histidine)	His
ฟีนีลอะลานีน (Phenylalanine)	Phe
ไทโรซีน (Tyrosine)	Tyr
ทริพโตเฟน (Tryptophan)	Try
โพรลีน (Proline)	Pro

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ไหมไฟโบรอิน (Silk Fibroin) [1-3, 8-10]

โปรตีนเส้นใยมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ โปรตีนที่เรียกว่าไฟโบรอิน (Fibroin) เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ (ประมาณ 78% ของน้ำหนักไหมดิบ) ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 15 ชนิด กรดอะมิโนหลักๆ ที่พบในเส้นใยได้แก่ ไกลซีน (Glycine, 40%) อะลานีน (Alanine, 29%) และเซรีน (Serine, 12%) แต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R (โซ่ข้าง) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์เป็นเส้นยาวขนานกับแกนในลักษณะเป็นเส้นใยหรือเป็นแผ่น มีความแข็ง เหนียวและอาจยืดหยุ่นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และมีโครงสร้างปฐมภูมิที่ซ้ำกัน คือ $(Gly\text{-}Ala\text{-}Gly\text{-}Ala\text{-}Gly\text{-}Ser)_n$



รูปที่ 2.3 โครงสร้างสามมิติของไหม [14]

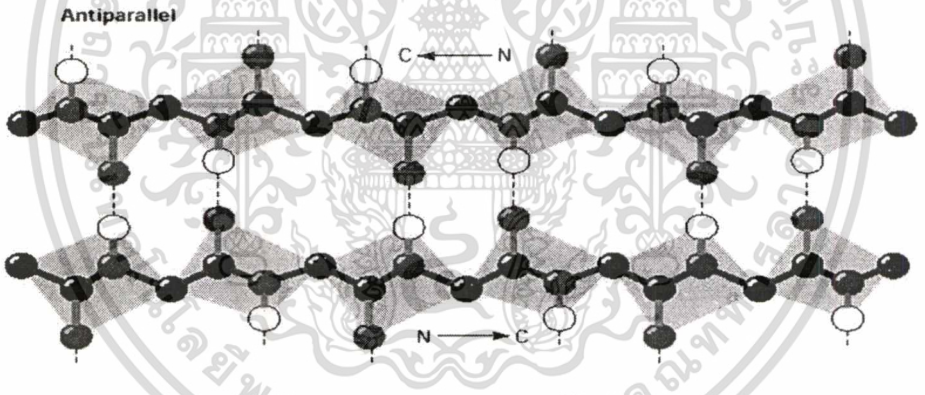
ตารางที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบในไหม [3]

	R (โซ่ข้าง)	ชื่อ	สัญลักษณ์
กรดอะมิโนที่เป็นกลาง	—H	ไกลซีน (Glycine)	Gly, G
	$-CH_3$	อะลานีน (Alanine)	Ala, A
กรดอะมิโนที่โซ่ข้างมีหมู่ OH	$-CH_2OH$	เซรีน (Serine)	Ser, S
	$-CH_2-C_6H_4-OH$	ไทโรซีน (Tyrosine)	Tyr, Y
กรดอะมิโนที่เป็นกรด	$-CH_2CH_2COOH$	กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	Glu, Q
กรดอะมิโนที่เป็นเบส	$-(CH_2)_4NH_2$	ไลซีน (Lysine)	Lys, K

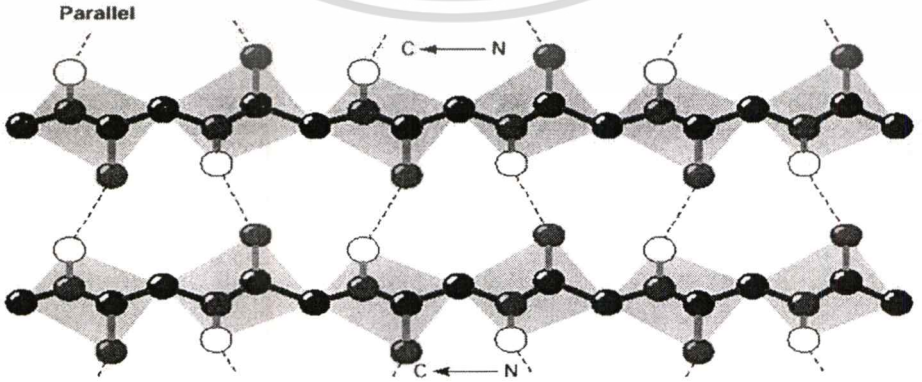
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนทั้งหลายในธรรมชาติประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์ที่มีโครงสร้างทุติยภูมิ โดยปกติในไฟโบรอินของไหมมักพบโครงสร้างชนิดแผ่นจีบนี้ ซึ่ง β-พลีทเทดชีทมีด้วยกัน 2 โครงสร้าง (รูปที่ 2.4 (ก)) คือ β-พลีทเทดชีทที่สายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไปยัง C ที่อยู่ตรงข้ามกัน เรียกว่า แอนติพาราเลล β-พลีทเทดชีท (Antiparallel pleated sheet structure) (รูปที่ 2.4 (ข)) และ β-พลีทเทดชีทที่สายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไปยัง C เหมือนกัน เรียกว่า พาราเลล β-ชีท (Parallel pleated sheet structure) (รูปที่ 2.4 (ค)) ไฟโบรอินของไหมส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างแผ่นจีบแบบแอนติพาราเลล

(ก)



(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของไหมไฟโบรอินชนิดแผ่นจีบ

(ก) ลักษณะโครงสร้างแบบเบต้า (β - plated sheet)

(ข) ลักษณะโครงสร้างแผ่นจีบแบบแอนติพาราเลล (Antiparallel pleated sheet structure)

(ค) พาราเลล (Parallel pleated sheet structure) [16]

การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไฟโบรอินทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากไฟโบรอินไม่ละลายในสารละลายทั่วไปแต่ละลายในสารละลายบางชนิดเท่านั้น เช่น Cupric–ethylenediamine หรือในสารละลายเข้มข้น Lithium iodide หรือ Thiocyanate จากการใช้สารละลายเหล่านี้ร่วมกับการใช้หลักการของการตกตะกอนใน Ultracentrifuge สามารถคำนวณน้ำหนักได้ประมาณ 84,000 กรัม/โมล แต่ถ้าคำนวณจากการอาศัยการวัดสมบัติทางความหนืดจะได้น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000 กรัม/โมลหรือมีผู้ใช้การคำนวณโดยอาศัยการวิเคราะห์จาก Terminal amino acid พบว่าน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่าง 80,000 – 100,000 กรัม/โมล

2.3.1 สมบัติของเส้นใยไหมไฟโบรอิน (Properties of Silks Fibroin) [1-4]

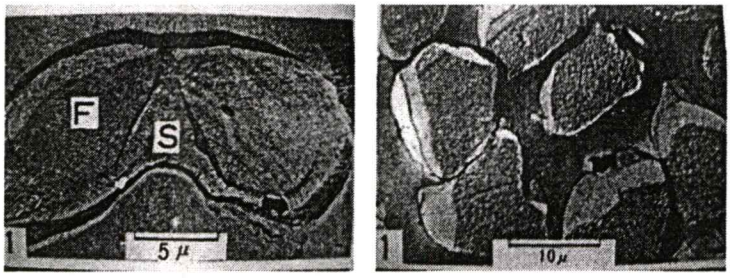
สมบัติของเส้นใยจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติการใช้งานเฉพาะด้านของผลิตภัณฑ์ดังนั้นต้องเข้าใจและเลือกใช้เส้นใยให้เหมาะสมกับงาน โดยทั่วไปสมบัติของเส้นใยจะถูกกำหนดจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาเส้นใยออกได้เป็นสองส่วนคือสมบัติกายภาพและสมบัติทางเคมี

2.3.1.1 สมบัติทางกายภาพ

(1). ลักษณะที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์และรูปร่าง

ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้นมีความยาวประมาณ 900–1700 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 – 11 ไมครอน สีของเส้นใยไหมดิบจะมีสีเหลืองถึงสีครีมเส้นใยไหมที่นำใช้ทอผ้านั้นเกิดจากการพ่นของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมขนาดใหญ่สองต่อมภายในตัวหนอนไหมที่โตเต็มวัย โดยส่วนที่เป็นของเหลวหนืด คือ ไฟโบรอินจะถูกเคลือบด้วยโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเซริซินซึ่งเป็นกาวไหมที่ทำให้เส้นใย 2 เส้นติดกันเมื่อโปรตีนทั้งสองชนิดสัมผัสกับอากาศจะเกิดการแข็งตัวทำให้เส้นใยยึดติดกันกลายเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง และเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นรอยแตกตามความยาวของเส้นใยด้านตัดขวางจะมีลักษณะรีส่วนนอกของเส้นใยเป็นกาวไหมที่หุ้มโปรตีนไฟโบรอินคล้ายรูปสามเหลี่ยมเรียงคู่กันดังแสดงให้เห็นในภาพตัดขวางและภาพตัดตามยาวของเส้นใยทั้งสองชนิด (รูปที่ 2.5 (ก) และรูปที่ 2.5 (ข)) และสำหรับเส้นใยไหมป่าจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวทำให้ดูคล้ายลินินและเส้นใยจะมีความหยาบกระด้างไม่เรียบ ค่อนข้างจะไม่มันเงาเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมบอมบิกซ์โมริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 2.5 แสดงแสดงภาคตัดขวงของเส้นไหมจากรังไหม Bombyx mori

(ก) F; ใยไฟโบรอิน (Fibroin), S; กาวเซริซิน (Sericin)

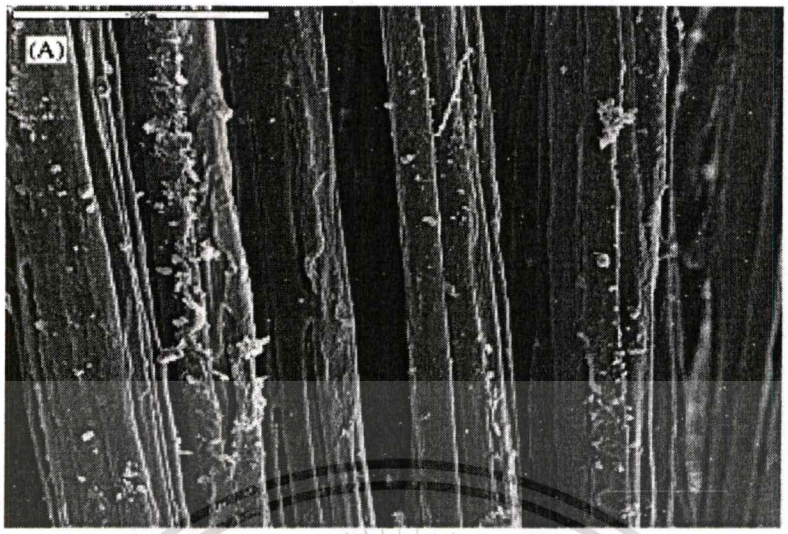
(ข) ใยไฟโบรอิน [15]

ซึ่งหลังจากการลอกกาวไหมแล้วเส้นใยยาวที่เป็นลักษณะสามเหลี่ยมปลายมนทั้งสองเส้นจะแยกตัวออกมาทำให้เส้นใยมีรูปร่างต่างจากเส้นใยไหมดิบ คือมีความละเอียดกว่าและเส้นใยมีความมันเงาสูงกว่า โดยรายละเอียดของโครงสร้างของเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 2.6

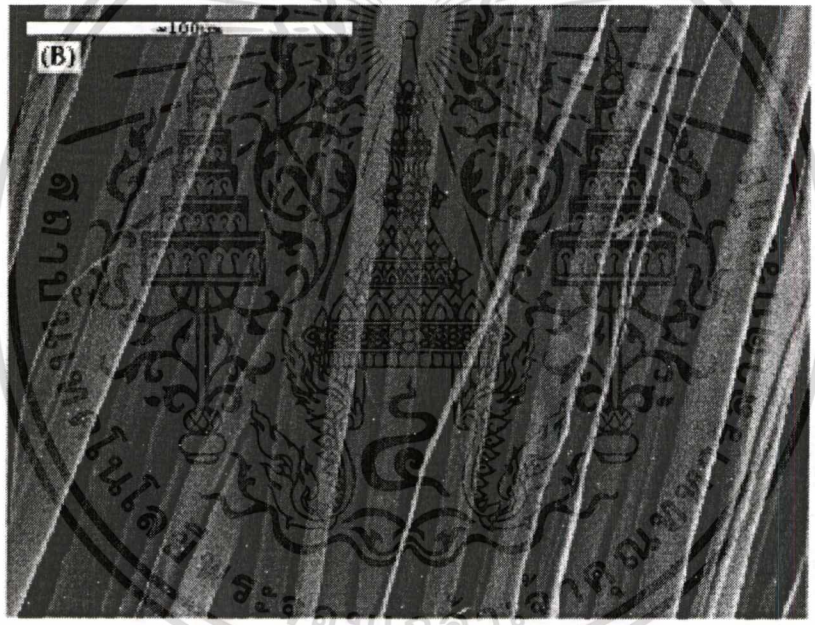
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเส้นใยไหม [2]

จากการศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของเส้นใยไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าชั้นนอกสุดของเส้นใยมีปริมาณกาวไหมมากที่สุด ทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะเป็นคลื่นปกคลุมตามความยาวของเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 2.7 และสำหรับไหมที่ลอกกาวแล้วจะมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอมากกว่าเส้นใยไหมดิบ ที่ผ่านการลอกกาว รูปที่ 2.8 ไฟบริลเหล่านี้เกิดการพันเกลียวกันเรียงตัวกันมีลักษณะคล้ายโครงร่างตาข่ายทำให้เห็นเป็นเหมือนท่อไปตามแนวยาวของเส้นใยแสดงให้เห็นถึงระบบธรรมชาติที่มีความละเอียดสูงซึ่งไม่พบในเส้นใยชนิดอื่นทำให้เส้นใยมีความเงางามและสีสรรสวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 SEM เส้นไหมไหมเลี้ยง (*Bombyx mori*)ไหมดิบไม่มีการลอกกาวไหม (เซริซิน) ออก [17]



รูปที่ 2.8 SEM แสดงเส้นไหมที่มีการลอกกาวไหม (เซริซิน) ออก โดยสกัดเป็นเวลา 60 นาที [17]

2. ความแข็งแรง ไหมมีความแข็งแรงสูงที่สุดในบรรดาเส้นใยธรรมชาติทั้งหมดด้วยที่ผิวของไหมเรียบมันจึงช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการขัดถู สามารถออกแบบผ้าไหมให้มีโครงสร้างเบาบางและคงทนเนื่องจากความละเอียดของเส้นใย ไหมมีค่าความทนแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ที่ 3.5 – 5.0 gram/denier ในขณะแห้งและจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเปียก (ประมาณ 15 – 25%)

3. ความยืดหยุ่น ไหมเป็นเส้นใยที่มีความยืดหยุ่นดีเปลี่ยนแปลงได้บ้างตามชนิดของพันธุ์และยืดได้ถึง 20% ของความยาวเดิม ไหมมีความยืดหยุ่นไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างโมเลกุลของไหมไม่มีพันธะมาจับเชื่อมด้านข้างเป็นโครงข่าย ดังนั้นเมื่อถูกยืดจึงไม่สามารถหดกลับคืนสภาพเดิมได้

4. การคืนตัวจากแรงอัด ไหมทนต่อการยืดหดได้ดี เมื่อทำการซักผ้าจะหดแต่เมื่อดึงและรีดก็จะกลับรูปเดิม ไม่เกิดการยับย่นได้ง่าย

5. การดูดซับความชื้น ไหมสามารถดูดซับความชื้นได้ดีในภาวะมาตรฐานสามารถดูดซับความชื้นได้ถึง 11% ทำให้รับสีย้อมและสีพิมพ์ได้ดีและเมื่อนำมาใช้สวมใส่จะรู้สึกสบายไม่ระคายเคืองผิว เนื่องจากผ้าไหมเป็นตัวนำความร้อนไม่ดีจึงรักษาความอบอุ่นได้นานเหมาะในการนำไปทำเป็นผ้าพันคอ ชุดสูท เป็นต้น

6. ความร้อน ไหมสามารถทนความร้อนได้ประมาณ 340° F (170° C) ในช่วงสั้นๆ หลังจากนั้นจะเกิดการสลายตัวแต่ดีกว่าขนสัตว์ เมื่อโดนรังสีอัลตราไวโอเลตนานๆ จะมีค่าความแข็งแรงและการยืดตัวลดลง

7. ความถ่วงจำเพาะ ไหมมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง1.32 – 1.33 แต่มีการทิ้งตัวดีแต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักไหมจะมีค่าประมาณ 1.60

2.3.1.2 สมบัติทางเคมีของไหมไฟโบรอิน [1-3]

เนื่องจากการใช้งานของผ้าไหมมีโอกาสที่จะสัมผัสกับสารเคมี อุณหภูมิ แสงแดดและสภาวะแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพหรือสมบัติของไหมเปลี่ยนแปลงไปดังนั้นจึงมีการศึกษาสมบัติทางเคมีเพื่อการนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม ดังนี้

1. กรดและด่าง สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเพปไทด์ในเส้นใย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 4-8 จะทำให้เส้นใยเสียหายน้อยมาก

กรดจะทำให้พันธะเพปไทด์ขาดออกจากกัน กรดซัลฟุริกและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจะละลายเส้นใยได้ กรดไนตริกทำให้เส้นใยเหลือง ในขณะที่กรดเจือจางจะไม่ทำลายเส้นใย

ด่างจะตัดปลายของพันธะเพปไทด์ออกก่อน โดยด่างโซดาไฟเข้มข้นจะละลายเส้นใยทันที ส่วนด่างอ่อน เช่น สบู่ บอเร็กซ์ หรือแอมโมเนีย จะละลายแค่กาวไหมแต่ถ้าต้มเดือดนานๆ อาจละลายเส้นใยได้

2. สารออกซิไดส์และสารรีดิวซ์ เส้นใยไม่ทนทานต่อสารออกซิไดส์ดังนั้นเวลาฟอกเส้นใยจะต้องระวังการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ใช้สำหรับฟอกไหม การฟอกนี้ ไม่ทำลายพันธะของเพปไทด์ (Peptide) แต่ในบางครั้งก็ตัดส่วนของโซ่โมเลกุลของพอลิเพปไทด์ ทำให้เส้นไหมมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเหนียวและความยืดต่ำลงเล็กน้อย แต่เส้นใยจะทนทานต่อสารรีดิวซ์ ได้ดี เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์

3. ไหมถูกทำลายด้วยสารที่มีส่วนผสมของเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ ได้แก่ เหงื่อ น้ำยาดับกลิ่นและน้ำเกลือทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหงื่อจะทำให้ผ้าไหมติดคราบ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ไหมที่ต้องสัมผัสผิวภายหลังการใช้งานทุกครั้งจะต้องทำความสะอาด

4. สารละลายอินทรีย์ ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ไหมมักใช้การซักแห้งอยู่เสมอเนื่องมาจากโครงสร้างของเส้นด้ายไหมหรือสีที่ใช้ย้อมทำให้ไหมสามารถทนสารละลายอินทรีย์ทุกชนิด

5. สารซักฟอก ไหมทนต่อสารซักฟอกคล้ายขนสัตว์แต่ถูกทำลายได้ด้วยสารซักฟอกประเภท ออกซิไดส์ เช่น พวกที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์ผสมอยู่เพราะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงควรใช้สารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเปอร์บอเรตจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม

6. แสงแดดและความร้อน แสงแดดและความร้อนสูงเป็นเวลานานๆ จะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากทำให้โปรตีนเกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น

7. การย้อมสีไหมมีความสามารถในการรับสีย้อมได้ดีมากสามารถย้อมได้ด้วยสีที่เป็นแอซิด สีเบสิกหรือ สีวัต สีมอร์แดนท์ เมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์จะได้สีที่เข้มกว่าและย้อมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้วย

2.3.1.3 สมบัติทางชีวภาพ

1. ราและแมลง ไหมไม่เกิดราได้ง่ายยกเว้นถูกทิ้งไว้ในสภาวะที่ค่อนข้างชื้นเป็นเวลานาน แมลงไม่กัดกินหากไม่มีสิ่งสกปรกติดอยู่ที่ผ้า

2.3.1.4 สมบัติในการติดไฟ ไหมเมื่อติดไฟจะลุกไหม้ช้าๆ เมื่อนำออกจากแหล่งให้ความร้อนเปลวไฟจะดับเอง

2.3.1.5 สมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ไม่ดี

มีการใช้งานของไหมกันอย่างกว้างขวางด้วยไหมมีสมบัติเด่นหลายประการ นอกจากการใช้งานผ้าไหมเป็นไหม 100 % แล้วยังมีการนำไหมไปผสมกับเส้นใยชนิดอื่นได้ด้วย เช่น ไหมผสมฝ้าย ไหมผสมลินินหรือไหมผสมขนสัตว์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.2 การปรับปรุงเส้นใยไหมด้วยวิธีการทางเคมี [10-11, 12-13]

ไหมดิบที่ได้จากรังไหมในแต่ละรังมีความแข็งกระด้างและให้สัมผัสที่ไม่ดีเนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีองค์ประกอบของกาวไหมและสารอื่น ๆ เคลือบอยู่ดังนั้นก่อนนำไหมไปใช้งานจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยก่อนนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องผ่านกระบวนการลอกกาวไหมและการตกแต่งสำเร็จ เช่น การตกแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติทางความร้อน การตกแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการใช้งาน เป็นต้น

2.3.2.1 การลอกกาว (Degumming)

การลอกกาว หมายถึง การลอกเซริซินออก 100% แต่บางครั้งมีการลอกกาวเพียง 30%, 50%, 70% ทั้งนี้ ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ เส้นใยไหมเมื่อสาวออกจากรังเป็นเส้นใยกระด้างแข็งเพราะมีกาวหุ้ม ฟอกออกได้ด้วยสบู่จะได้ใยที่นุ่มเป็นมันทำให้น้ำหนักไหมลดไปประมาณ 25 % เส้นไหมมีสีขาวขุ่นและเพื่อเพิ่มความสามารถในการย้อมสีเส้นใยจะต้องมีการฟอกขาวเพื่อกำจัดสีธรรมชาติออกไปด้วย

การลอกกาวออกจากเส้นใยไหมดิบเป็นการลอกกาวเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยเพื่อให้เส้นใยมีความมันเงามากขึ้นมีวิธีใช้อยู่ทั่วไปดังนี้

(1) การลอกกาวด้วยโซดา (Degumming)

สารละลายโซดาที่ใช้ในการลอกกาวเส้นใยที่นิยมใช้ คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)และโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ที่อุณหภูมิ 90° C เป็นเวลา 2-9 ชั่วโมงจากนั้นล้างด้วยน้ำอุ่น 40-50 °C และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้งวิธีนี้สามารถลอกกาวได้สม่ำเสมอแต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ สารเคมีที่ใช้มีความเป็นด่างสูงทำให้เส้นใยมีสมบัติเชิงกลลดลง

(2) การลอกกาวด้วยสบู่

การลอกกาวไหมด้วยสบู่เริ่มจากแช่เส้นใยไหมดิบที่อุณหภูมิ 40° C 30 นาที แล้วเติมสบู่ 15-20% โดยน้ำหนักของเส้น (30-50 เท่าของน้ำหนักไหมดิบ) และต้มต่อเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงทำให้ได้เส้นไหมที่เงางามและเรียบสวย ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ ถ้าใช้น้ำกระด้างจะทำให้เกิดไคลสบู่ที่เกิดจากแคตไอออนในน้ำเช่น แคลเซียม แมกนีเซียมและเหล็กทำให้เส้นใยที่ได้มีการลอกกาวที่ไม่สม่ำเสมอและมีสีหมองคล้ำ

(3) การลอกกาวด้วยเอมไซม์

เอมไซม์ที่ใช้ในการลอกกาวได้ คือ เอมไซม์โปรตีเอส (Protease enzyme) ชนิดด่างที่มีค่า pH 9.0 – 10.5 ที่อุณหภูมิ 40 – 65° C เป็นเวลา 1- 2 ชั่งโมงแล้วล้างน้ำอุ่น 40 – 50° C และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายครั้ง ๆ เอมไซม์สามารถลอกกาวได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ข้อเสีย คือ เอมไซม์ที่ใช้มีราคาแพงและมีกลิ่นรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
74423

(4) การลอกกาวด้วยกรด

การนำเส้นใยไปต้มในสารละลายที่เป็นกรดแต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากปัญหาในการควบคุมคุณภาพของไหมที่ลอกกาว

(5) การลอกกาวด้วยไทรเอทิลอะมีน

เส้นใยที่ผ่านการลอกกาวด้วยวิธีนี้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวด้วยสบู่

(6) การลอกกาวด้วยสบู่ – โซดา

การลอกกาวด้วยสบู่ผสมโซดาจะใช้สบู่ 8 – 15 % o.w.f และโซเดียมคาร์บอเนต 5 – 8 % o.w.f ใช้อัตราส่วนของวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:5 ที่อุณหภูมิ 90° C ใช้เวลา 2 – 3 ชั่งโมงหลังจากนั้นนำเส้นใยมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เป็นด่างอ่อนกว่าที่อุณหภูมิ 40 – 50 ° C ตามด้วนน้ำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้งวิธีนี้จัดว่าเป็นวิธีทีมีประสิทธิภาพมากวิธีหนึ่งทำให้ได้เส้นใยที่ขาวและมีความสม่ำเสมอในการลอกกาวมากขึ้นและช่วยลดข้อเสียในการลอกกาวด้วยสบู่จากการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดความกระด้าง

2.3.3 การนำไหมไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ [18]

รังไหมและเส้นไหมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายอย่าง เช่นเดียวกับหนอนไหมและดักแด้ได้แก่

(1) สิ่งทอ ไหมเป็นสิ่งทอที่ล้ำค่ามากกว่าสิ่งทออื่น ๆ จนได้รับสมญานามว่า “ราชินีแห่งเส้นใย” แม้ไหมจะมีข้อเสียคือ ยืดหยุ่นได้น้อย ยับง่ายซักยาก แต่ข้อเสียเหล่านี้ก็ได้กำจัดหรือทำให้ลดน้อยลงไปโดยการใช้สารเคมีหลายชนิดในกระบวนการผลิตเพื่อทำให้ผ้าไหมซักง่ายขึ้น ลดการยับและลดการทำให้ผ้าเหลืองลงได้ ยังมีการพัฒนาเส้นไหมดิบให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นโดยการดีเกลียวเส้นไหม ในทิศทางกลับกันและถี่ขึ้น ใช้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่เส้นใยชนิดนี้จะมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ดี กำจัดข้อเสียต่าง ๆ ออกได้ด้วยความเป็นเส้นใยที่ได้จากสัตว์ ไหมจึงได้เปรียบเหนือกว่าฝ้าย ไหมมีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมในการระบายอากาศ ดูดซับความร้อน ทำให้ร่างกายสบายมีการดูดซับน้ำและระบายความชื้นได้ดีสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าฝ้าย 1.5 เท่า แต่ระบายความชื้นได้เร็วกว่า 50% และดูดซับความร้อนไว้ที่เนื้อผ้าได้ สูงกว่า 13-21% ปกติอุณหภูมิของร่างกายบริเวณเต้านม และต้นขาประมาณ 33.3-34.2 °C การสวมใส่ชุดผ้าไหมจะทำให้อุณหภูมิของร่างกายบริเวณดังกล่าวลดลงเหลือ 31-33 °C ดังนั้นจึงทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกอบอุ่นในฤดูหนาวแต่จะเย็นสบายในฤดูร้อนไม่เหนียวเหนอะหนะเวลาสวมใส่ผ้าไหม ด้วยเหตุผลดังกล่าว ประเทศญี่ปุ่นที่มีอากาศร้อนและอากาศหนาวในช่วง 1 ปี จึงพัฒนาชุดชั้นในที่ทำด้วยเส้นใยไหมดึงดูดความสนใจได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าเส้นใยสังเคราะห์อื่น ๆ นอกจากจะใช้ผ้าไหมเป็นเครื่องนุ่งห่มแล้ว ยังเป็นผ้าม่าน ผ้าหุ้มชุดเฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ ในอดีตถุงน่องสตรี ทำจากไหมเพียงอย่างเดียว ภายหลังใยสังเคราะห์ในล่อนเข้ามาทดแทนไหมได้เกือบสมบูรณ์ เนื่องจากมีความเหนียวและทนทานยืดหยุ่นดีและราคาถูก แต่ไหมยังดีกว่าไนล่อนอยู่มากในด้านการสัมผัสการดูดซับความร้อนและระบายอากาศ จึงได้มีการพัฒนาเส้นไหมผสม (Hybrid silk) เพื่อรวมคุณสมบัติที่ดีของเส้นใยทั้ง 2 ชนิดไว้ด้วยกัน

(2) เครื่องสำอาง "silk fibroin" เป็นเลิศแห่งมอยซ์เจอไรเซอร์ ที่สามารถให้ความชุ่มชื้นสูงถึง 300 เท่าของน้ำหนัก เป็นโปรตีนสกัดจากไหมที่ผสานเป็นเหนึ่งเดียวกับผิวหนัง ด้วยกระบวนการทางชีวเคมีดุจเดียวกับธรรมชาติผิว นับเป็นสรรพคุณของไหม ที่บริษัทเครื่องสำอางแห่งหนึ่งที่ผลิตครีมบำรุงความชื้นผิวจากโปรตีนไหมกล่าวถึง ไหมนอกจากจะครองความเป็นเลิศในเรื่องของเส้นใยแล้วยังเป็นวัสดุที่มีคุณค่าเมื่อนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาพัฒนา เนื่องจากเส้นใยไหม ส่วนใหญ่ (90%) เป็นโปรตีนที่มีความใกล้เคียงกับโปรตีนที่พบในร่างกายมนุษย์ซึ่งยากยิ่งที่สารสังเคราะห์อื่นใดจะทำได้เสมอเหมือน โปรตีนจากเส้นไหมประกอบด้วยไฟโบรอิน และเซริซิน แต่เซริซิน จะถูกความร้อนชะล้างออกไปเมื่อต้มรังในการสาวไหมเพราะเป็นกาวเหนียว มีเพียงไฟโบรอินที่ใช้ทำเป็นเส้นใย ดังนั้น งานวิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การใช้ประโยชน์จากไฟโบรอิน เมื่อ 60 ปีก่อน บริษัทเครื่องสำอางแห่งหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น ได้นำไฟโบรอินมาหลอมให้อยู่ในรูปของสารละลายก่อนที่จะทำเป็นผงและครีมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางอันดับแรกที่ทำจากไหมโดยใช้เป็นเครื่องแต่งหน้าให้กับผู้แสดงละครคาบูกิ ที่จำเป็นต้องพอกหน้าด้วยเครื่องสำอางอย่างมาก ทำให้ผู้แสดงรู้สึกสบายผิวมากขึ้น นอกจากนั้นเมื่อต้องแสดงกลางแจ้งก็สามารถป้องกันอันตรายจากแสงอุลตราไวโอเลท (UV light) และที่สำคัญเครื่องสำอางชนิดนี้เข้ากับผิวหน้าได้ดีกว่าชนิดอื่น ต่อมาบริษัทได้ผลิตโปรตีนไหมที่ทำจากเซริซิน เพื่อใช้ในวงการเสริมสวยโดยมีสรรพคุณในการป้องกันเส้นผมเสีย ในขณะตกแต่งหรือเปลี่ยนทรงผม ปัจจุบันครีมรองพื้น ครีมแต่งหน้า และครีมทำความสะอาด จะมีโปรตีนจากไหมเป็นส่วนผสม ญี่ปุ่นประเทศเดียว มีการใช้ไหมทำเครื่องสำอางถึงปีละ 5-6 ตัน และเป็นที่น่ายินดีที่มีบริษัทของไทยได้ผลิตเครื่องสำอาง สบู่เหลว แชมพูและน้ำยาซักผ้าไหม ที่มีโปรตีนจากเส้นใยไหมเป็นส่วนผสมออกจำหน่ายแล้ว

(3) การแพทย์ เป็นที่ทราบกันดีว่าไหมใช้เป็นเส้นด้ายในการเย็บแผลผ่าตัด นอกจากเหนียวและทนต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว ยังเข้ากับเนื้อเยื่อมนุษย์ได้ดี คุณสมบัติของไหมเหล่านี้จึงเป็นประโยชน์ต่อวงการแพทย์อย่างมากในการที่จะหลอมเส้นไหมแล้วทำให้เป็นแผ่นผิวหนังเทียมหรือเป็นหลอดต่อเส้นเลือดเทียม คอนแท็กเลนซ์ แม้ว่าอุปกรณ์เหล่านี้จะทำได้ด้วยพลาสติก แต่ก็ถูกต่อต้านจากร่างกายสูงได้มีความพยายามที่จะผลิตสารดูดซับที่จะใช้ทางการแพทย์ (Absorbant polymers) และสารช่วยย่อยอาหารจากสารละลายไฟโบรอิน เมื่อเร็ว ๆ นี้ พบว่ากรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะมิโนที่พบในไฟโบรอินคือ glycine จะช่วยให้คอเลสเตอรอล และระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ และอะลานีน (Alanine) จะช่วยตับทำงาน เช่น ช่วยให้อาการเมาค้างกลับสู่ภาวะปกติได้เร็วขึ้น ขณะเดียวกัน serine จะกระตุ้นทำงานของสมองในผู้สูงอายุ ไฟโบรอินจากไหมยังมีศักยภาพในการพัฒนาเป็น biosensors เพื่อตรวจจับ แอนติ้บอดี้ (Antibodies) ซึ่งใช้ในการวินิจฉัยโรคมะเร็งและโรคเอดส์ได้ ไหมได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้นเรื่อย ๆ จนได้รับการขนานนามอีกอย่างหนึ่งว่า "เส้นใยสุขภาพ (Health fiber)"

(4) สารป้องกันกำจัดแมลง ในสหรัฐอเมริกาได้มีการสกัดสารจากเชื้อ *Bacillus thuringiensis* ที่แยกได้จากหนอนไหม นำไปใช้เป็นสารกำจัดแมลง (Microbial insecticide) เชื้อรา (Filamentous fungi) ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อหนอนไหม พบว่าสามารถทำลายด้วงหนวดยาว จึงมีการผลิตเชื้อราชนิดนี้จากหนอนไหม เพื่อใช้กำจัดด้วงเจาะลำต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ฮอร์โมนบางชนิดจากหนอนไหมควบคุมการเจริญเติบโตของแมลง ใช้หนอนไหมเป็นอาหารของจุลินทรีย์หลาย ๆ ชนิดที่สามารถใช้กำจัดแมลงได้การปลูกเชื้อไวรัสที่เจือจางในหนอนไหมสามารถใช้เป็นวัคซีนป้องกันโรคของสัตว์ได้ ตลอดจนมีการศึกษาการเลี้ยงเชื้อไวรัส และจุลินทรีย์ ที่สามารถนำมาผลิตเป็นยารักษาโรคและสารที่มีประโยชน์ต่าง ๆ ใช้หนอนไหมเป็นอาหารของไส้เดือนฝอยในการขยายพันธุ์เพื่อใช้กำกัดแมลงศัตรูพืชบางชนิด

(5) สบู่และเทียนไข ไขจากดักแด้ไหมสามารถนำมาผลิตเป็นสบู่และเทียนไขที่มีคุณภาพสูง ญี่ปุ่นและอิตาลีเป็นประเทศที่ผลิตสบู่และเทียนไขคุณภาพสูงจากไขดักแด้ไหมมากเป็นอันดับ 1 และ 2 ไขมันที่สกัดได้เมื่อนำไปผ่านกระบวนการเพิ่มไฮโดรเจน (Hydrogenation) จะได้ไขสีขาว (White oil) คือ stearic acid $(CH_3)(CH_2)_{16}COOH$ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่และเทียนไขคุณภาพสูงและมีการนำไปทำผงซักฟอก ไฟโบรอินจากไหม ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผงซักฟอก ที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายสิ่งสกปรกได้ดี เพราะมีส่วนช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมี

(6) ดอกไม้ รังไหมที่ผ่ารังเอาดักแด้ออกแล้ว สามารถนำมาประดิษฐ์เป็นดอกไม้ได้หลากชนิด เช่น ดอกทิวลิป ดอกบัว ดอกเฟื่องฟ้า ดอกทานตะวัน ดอกเยอเบร่า ดอกกุหลาบ หรือประดิษฐ์

เป็นรูปสัตว์ต่าง ๆ เช่น นก หนู ฯลฯ ใช้ประดับในอาคาร ในรถยนต์ นอกจากจะสวยงามแล้วยังสะดุดตาแก่ผู้พบเห็นทั่วไปอีกด้วย

(7) อาหารมนุษย์ มนุษย์รู้จักบริโภคดักแด้จากหนอนไหมมาตั้งแต่เมื่อไร ไม่ปรากฏ แต่ชาวไทยที่เคยเลี้ยงไหม หรือสาวไหม ล้วนแล้วแต่รู้จักการบริโภคดักแด้ที่อยู่ในรังไหมเป็นอย่างดี เมื่อต้มรังไหมและสาวไหมจนหมดเส้นใย ก็มักจะลอกเปลือกรังชั้นในนำดักแด้ที่สุกแล้วมาบริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือนำไปคั่วก็อร่อยไปอีกแบบหนึ่งหรือนำไปปรุงอาหารชนิดอื่นก็ได้ เช่น ทอดกับไข่ผัดใบกะเพรา ตลาดในภาคอีสานจะมีดักแด้ไหมขายตามฤดูกาลเลี้ยงราคากิโลกรัมละ 40-80 บาท ชาวญี่ปุ่นก็บริโภคดักแด้ไหมที่ปรุงแล้วเช่นเดียวกับชาวจีน เกาหลี อินเดีย และพม่า แถมยังมีจำหน่วยในซูเปอร์มาเก็ตบางแห่งอีกด้วย มีบริษัทอุตสาหกรรมการเกษตรของไทยได้ส่งออกผลิตภัณฑ์ "ดักแด้กระป๋อง" ไปจำหน่ายยังประเทศเกาหลี เนื่องจากมีความต้องการสูง เพราะดักแด้ไหมมีโปรตีนและเกลือแร่หลายชนิด มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าปลาและสัตว์ต่าง ๆ ยังอุดมไปด้วยวิตามินบี 1 และ บี 2 ดักแด้แห้งจะมีโปรตีนสูงถึง 48.98%

(8) อาหารสัตว์ ดักแด้ไหมสดหรือดักแด้ไหมแห้ง สามารถนำไปเลี้ยงปลาและสัตว์อื่นได้อีกหลายชนิดเช่น สัตว์ปีก และปศุสัตว์ กำลังมีการมองหาแหล่งโปรตีนใหม่ ๆ ทดแทนการใช้ปลาป่นที่นับวันจะหายากและมีราคาแพงขึ้นทุกขณะ ดักแด้ไหมป่นเป็นทางเลือกหนึ่งของการนำไปใช้ทดแทนปลาป่น ดักแด้ไหมที่สกัดไขมันแล้วจะเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพสูง กากดักแด้ไหม (Cake) ที่เหลือจากการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการทำสบู่และเทียนไขแล้ว สามารถนำไปเป็นอาหารของปลาและสัตว์ปีกได้ มูลไหมจะมีไนโตรเจนเหลืออยู่ประมาณ 3.06% สามารถที่นำไปเป็นอาหารเสริมของปลาร่วมกับเศษใบหม่อนที่เหลือจากการเลี้ยงไหมได้ ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลมากนัก คาดว่าจะได้รับข่าวดีในการใช้ดักแด้ไหมไปเลี้ยงสัตว์ในเร็ววันนี้

(9) ทดแทนนุ่น ปุยไหมชั้นนอกไม่สามารถจะนำไปสาวเป็นเส้นได้ เดิมจะมีการลอกปุยไหมชั้นนอกทิ้งไปก่อนนำรังไปต้มเพื่อสาวเป็นเส้นไหมต่อไป หรือรังเสียที่ไม่สามารถเข้าเครื่องสาวได้ จะนำไปต้มแล้วดึงเส้นใยไหมออกมาเป็นแผ่น โดยสถาบันวิจัยหม่อนไหมเซนเจียง (Zhenjiang Dongfang Silkworm Egg Development Company of Sericultural Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences) ได้คิดค้นการใช้ประโยชน์จากปุยไหมด้วยการผลิต " floss silk –waddes quilt" ผลิตภัณฑ์เหล่านี้บริษัทเอกชนในประเทศไทยก็มีการผลิตออกจำหน่ายแล้ว รวมทั้งเครื่องนอนต่าง ๆ เช่น ผ้าห่ม หมอนข้าง และหมอน เป็นต้น นับว่าเศษวัสดุเหลือใช้จากรังไหมได้ถูกพัฒนานำมาใช้ประโยชน์อีกอย่างหนึ่ง

นอกจากนั้น นักวิทยาศาสตร์ยังคงศึกษาต่อไปในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ คือเส้นไหมที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอไม่ได้แล้วไปบดเป็นผงไหม เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- วัสดุที่ให้ความรู้สึกที่ดีในการสัมผัส โดยการใช้ผงไหมผสมสีแล้วฉีดพ่นบนวัสดุ เพื่อให้เกิดความนุ่มมือและดูดซับความชื้น ไม่เหนียวเหนอะหนะ เช่น ปากกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟิล์ม เคลือบรักษาความสดในอุตสาหกรรมประมง โดยทำการเปรียบเทียบกับสารต่าง ๆ เช่น สารโพลีเมอร์ ฝ้าย ป่าน ปอ กระดาษเคลือบไข (Oil paper) และสารละลายเกลือ 1% พบว่าการเคลือบด้วยฟิล์มไหมรักษาความสดของกุ้งสดได้นานถึง 9 วัน ดีกว่าวัสดุอื่น และดีกว่าน้ำแข็งที่รักษาความสดไว้ได้เพียง 7 วัน

- ถ้าไม่ทำเป็นผง ก็จะนำไปฟอกให้เกิดความอ่อนนุ่ม เพื่อนำไปทำเป็นสำลี ผ้าเช็ดเลนส์และกระจก แผ่นทำความสะอาดผิวหน้า เช่นการชำระล้างเครื่องสำอาง เหล่านี้เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย [5]

ชนิดกรดอะมิโนในผงไหม	หน้าที่และคุณสมบัติ
Glycine#	- ควบคุมระดับคลอเรสเตอรอล - ป้องกันและรักษาความดันโลหิตสูง - ช่วยเสริมสร้างการทำงานของตับ
Alanine#	- เป็นแหล่งพลังงานสำคัญต่อเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ สมอง และระบบประสาทส่วนกลาง - ผลิต antibodies ที่ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น - ช่วยในระบบการทำงานของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ digest alcohol (สลายแอลกอฮอล์)
Serine#	- เป็นแหล่งในการสะสมน้ำตาลกลูโคสในตับ และกล้ามเนื้อ จึงช่วยส่งเสริมระบบการทำงานของอินซูลิน (Insulin) เป็นการลดน้ำตาลในเลือดซึ่งช่วยในการเผาผลาญไขมันที่สะสมในร่างกาย - ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรงขึ้น - ช่วยสังเคราะห์กรดไขมันล้อมรอบ Never fibers
Aspatic acid*	- ช่วยขับไล่อาการเจ็บ และสารพิษแอมโมเนียออกจากร่างกาย - ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเหนื่อยอ่อน - ช่วยระบบกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหว
Tyrosine	- ช่วยในการส่งผ่านเส้นประสาทไปยังสมอง อีกทั้งมีผลดีต่อระบบประสาท - ช่วยความจำ - กระตุ้นการเต้นของหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

Glutamic acid	- ช่วยลดแอมโมเนียในเลือดซึ่งมีส่วนสันพันธ์กับโปรตีนในสมอง และระบบการทำงานของน้ำตาล - ช่วยควบคุมโรคสุรา (Alccoholism) - รักษาปริมาณน้ำของผิวหนัง และป้องกันผิวแห้ง
Threonine*	- ป้องกันการเกิดไขมันในตับ - ช่วยย่อยและช่วยระบบการทำงานของร่างกาย
Isolesine*	- กระตุ้นการทำงานของสมองส่วนบน
Leusine*	- ลดน้ำตาลในเลือด - ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น
Arginine	- เสริมสร้างภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเซลล์เนื้องอก - ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น - ช่วยเสริมสร้างตับ
Cystine	- ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Anitoxdant) และเพิ่มความแข็งแกร่งให้ร่างการต่อต้านรังสี และมลพิษ - ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน - มีความจำเป็นต่อการสร้างผิวหนัง ซึ่งจะช่วยให้แผลไฟไหม้ และแผลผ่าตัดหายเร็วขึ้น - ส่วนของผมและผิวหนังจะประกอบด้วย Cyatine 10-14%
Lysine*	- ต่อต้านเริม งูสวัด โดยจะช่วยให้เกิดความสมดุลของธาตุอาหาร และการไปลดการเจริญของไวรัส - การขาด Lysine มีผลทำให้เหนื่อยง่าย ยับยั้งการเติบโต ผมร่วง โรคโลหิตจาง และเกิดปัญหาต่อระบบสืบพันธุ์
Phenylanine*	- มีผลต่อระบบเส้นประสาท
Methionine*	- เป็นแหล่งที่ให้สารกำมะถันซึ่งป้องกันการเกิดโรคเกี่ยวกับผม ผิวหนังและเล็บ - ช่วยลดระดับคลอเรสเตอรอล โดยการผลิตเลซิตินในตับ - ลดไขมันตับ และป้องกันไต - ป้องกันผมร่วงและส่งเสริมการเจริญของเส้นผม
Valine*	- ช่วยให้จิตใจกระปี้กระเปร่า ประสานการทำงานของกล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

Tryptophan*	- สนับสนุนการผลิตเม็ดเลือดแดง - ป้องกันและช่วยลดอันตรายที่จะเกิดกับเส้นโลหิตแดง และการชักกระตุกของหัวใจ - ทำงานร่วมกับ Lysine ในการลดคลอเรสเตอรอล
Proline	- รักษาความดันโลหิต - มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของข้อ และเอ็น - ช่วยบำรุงรักษากล้ามเนื้อหัวใจ
Histidin	- พบมากในเม็ดเลือดแดง ใช้ในการรักษารูมาตอยโรคข้ออักเสบ อาการผื่นคัน โรคผื่นคัน แผลพุพอง และโรคโลหิตจาง - ถ้าขาด จะมีผลต่อการได้ยินเสียงลดลง - ส่งเสริมการผลิตเซลล์เม็ดเลือด ช่วยขยายหลอดเลือด

หมายเหตุ * กรดอะมิโนที่มีความจำเป็น (Essential amino acid)

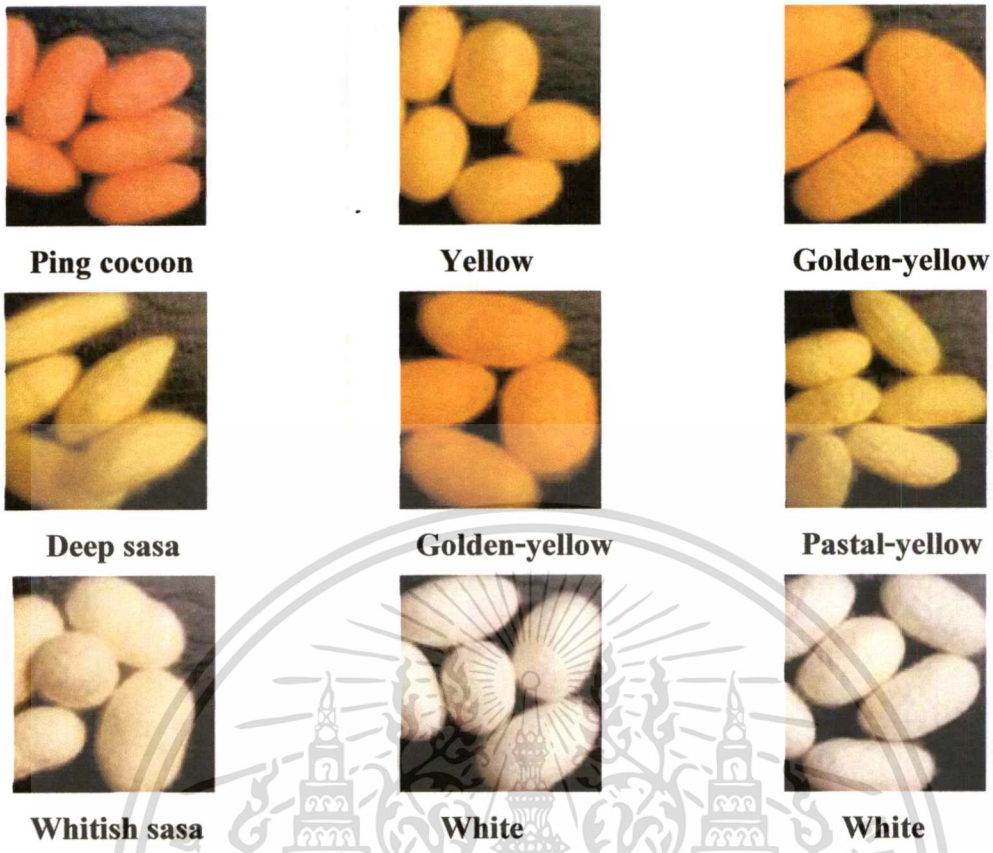
กรดอะมิโนในไหมที่พบมาก และมีความสำคัญต่อร่างกายมากที่สุด (3 ชนิด)

2.4 สีของรังไหม [19-20]

ความหลากหลายของรังไหมและเป็นรังไหมที่มีสีสว่าง เช่น สีเหลือง สีชมพู สีเหลืองทอง flesh sasa (yellowish green) ซึ่งได้มาจากแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ขณะที่สีเขียวและ sasa ได้มาจาก flavonoids โดยที่สีของไหมได้จากการที่หนอนไหมดูดกลืนสีของใบหม่อนแล้วส่งผ่านต่อจาก midgut ไปยังต่อมของไหม โดยผ่าน hemolymph โดยที่แคโรทีนอยด์จะไม่ถูกสังเคราะห์ในตัวหนอนไหม ดังนั้นเนื้อเยื่อ midgut และ เนื้อเยื่อตรงกลางของต่อมไหมเป็นเนื้อเยื่อที่สำคัญมากๆ สำหรับการส่งผ่านสีจากหลอดการย่อยอาหารไปสะสมในชั้นเซริซินของรังไหม

ความหลากหลายของสีรังไหมเป็นผลมาจากสัดส่วนของลูเตอิน (lutein), บีตา-แคโรทีน (β-carotene), แกมมา-แคโรทีน (α-carotene) และ xanthophylls โดยที่ลูเตอินเป็นส่วนสำคัญมากของสีรังไหมสีเหลือง ขณะที่สีเหลืองเทียนของรังไหมจะมีลูเตอิน มากกว่า 80% โดยที่สีเหลืองทองของรังไหมจะมีลูเตอิน 60% ดังตัวอย่างสีของรังไหมจากพันธุ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 สีของรังไหมจากพันธุ์ไหมต่างๆ[20]

2.4.1 แคโรทีนอยด์ (Carotenoids)

แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืช ให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง มีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์

ชนิดของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์สีส้ม	แอลฟา-, บีตา- และแกรมมา-แคโรทีน
แคโรทีนอยด์สีแดง	ไลโคพรีน และ astaxanthin
แคโรทีนอยด์สีเหลือง	ลูเตเอิน และ zeaxanthin

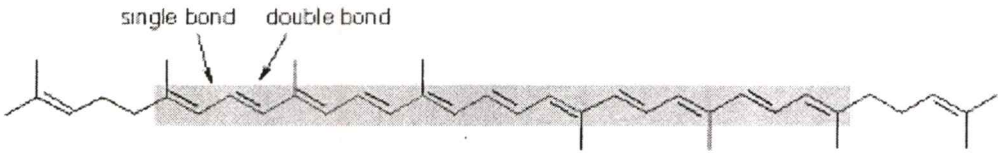
แคโรทีนอยด์ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.4.1.1. กลุ่มที่เป็นไฮโดรคาร์บอน คือ แคโรทีนซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์กลุ่มที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนเป็นไดอีน (idene) มีคาร์บอนในโมเลกุล40 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ แบ่งออกได้เป็นกลุ่มย่อยคือ

(1) ไลโคพรีน (Lycopene) โมเลกุลไลโคพรีนเป็นโครงสร้างพื้นฐานของแคโรทีนอยด์ ถูกปรับจากอะตอมคาร์บอน 40 ซึ่งถูกจัดเรียงในโครงสร้างยาวสลับระหว่างพันธะคู่-พันธะเดี่ยว แคโรทีนอยด์จัดรูปเป็น chromophore ซึ่งเป็นส่วนของโมเลกุลที่ดูดซับและให้ความยาวคลื่นแสง chromophore จะไม่ให้แคโรทีนอยด์ที่เป็นสีอย่างเดียวแต่กระจายความเป็นสมบัติแอนติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดนท์ (antioxidant) โมเลกุลของไลโคพรีนจะสมมาตรซึ่งเป็นลักษณะของแคโรทีนอยด์ทั่วไป



ไลโคพรีน (Lycopene)

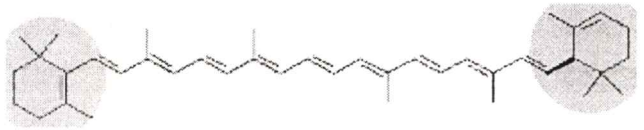
(2) บีตา-แคโรทีน (β-carotene) คือไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลที่ปลายทั้งสองด้าน ซึ่งวงแหวนทั้งสองจะชี้เฉพาะ เป็นแคโรทีนทั่วไปและเป็นเครื่องหมายแสดงวิตามินเอ

บีตา-แคโรทีน (β-carotene)

(3) แกมมา-แคโรทีน (γ-carotene) คือไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลปลายด้านหนึ่ง แกมมา-แคโรทีนเป็นเครื่องหมายแสดงวิตามินเอเหมือนกัน

แกมมา-แคโรทีน (γ-carotene)

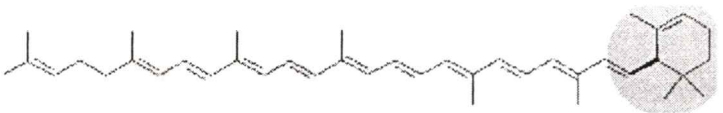
(4) แอลฟา-แคโรทีน (α-carotene) คือไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ที่ปลายทั้งสอง ส่วนที่ปลายซ้ายของโมเลกุลเป็นวงแหวนที่เหมือนกันและทางขวาจะเป็นประเภทที่แตกต่างซึ่งจะเป็นโมเลกุลที่ไม่สมมาตร จะมีวิตามินเอประมาณ 50-55% ของบีตา-แคโรทีน



แอลฟา-แคโรทีน (α-carotene)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

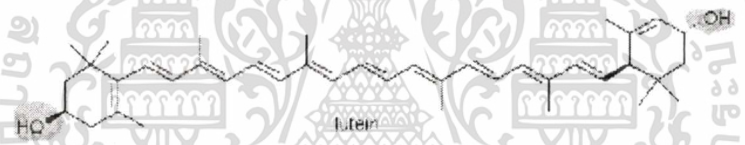
(5) เดลต้า-แคโรทีน เป็นเครื่องแสดงของแอลฟา-แคโรทีน ซึ่งมีวงแหวนที่ปลายทางขวาประเภทเดียวกับแอลฟา-แคโรทีน แต่ปลายซ้ายจะไม่มี



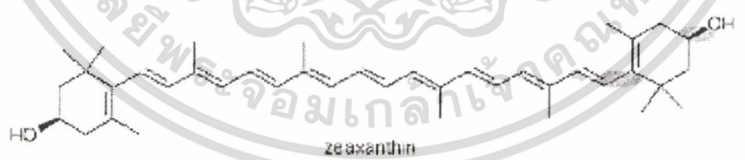
เดลต้า-แคโรทีน

2.4.1.2 กลุ่มที่มีออกซิเจนในโมเลกุล เป็นกลุ่มของอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่ไฮโดรอกซิล เมทอกซิล คาร์บอนซิล คีโตน หรืออีพอกซี (Epoxy) แคโรทีนอยด์กลุ่มที่พบในพืชและมักจะอยู่รวมกับแคโรทีน นอกจากนี้ ยังอาจอยู่ในรูปอนุพันธ์เอสเทอร์กับกรดไขมันก็ได้ สารกลุ่มนี้จะเป็นรงควัตถุหลัก

(1) แซนโทฟิลล์ (Xanthophylls) ที่เรียกว่า ลูเตอิน (Lutein) ใช้ป้องกันการเกิดจุดด่างดำ ต้อกระจก และ มะเร็งลำไส้ใหญ่ ซึ่งมีหมู่ –OH 2 หมู่บนวง



(2) ซีแซนติน (Zeaxanthin) เป็นสเตอริโอไอโซเมอร์ (stereoisomer) ของลูเตอิน จะเกิดไปทางเดียวกับลูเตอินในเรตินาของตา เพื่อป้องกันการทำลายจากแสง



2.5 ไฮโดรเจล (Hydrogel) [6]

2.5.1 ลักษณะความสำคัญของไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลเป็นหนึ่งในหลายๆชนิดของพอลิเมอร์ ที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างแหสามมิติ และสามารถดูดน้ำและสารละลายบางชนิดได้มากกว่า 90% จากคุณสมบัติเด่นของไฮโดรเจลที่สามารถดูดน้ำได้มากนี้ ทำให้ทราบว่าโครงสร้างหรือองค์ประกอบของไฮโดรเจลน่าจะมีส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic structure) และสามารถละลายได้ในน้ำ หมู่ฟังก์ชันในไฮโดรเจลที่มีสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชอบน้ำ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) หมู่คาร์บอกซิล (-COOH group) หมู่เอไมด์ ($-CONH_2$ group) และหมู่ต่างๆที่เป็นอนุพันธ์ของหมู่ดังกล่าว เป็นต้น

ไฮโดรเจลสามารถได้จากธรรมชาติ เช่น เจลาติน (Gelatin) วุ้น (Agar) โปรตีนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic protein) และเตรียมได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)) พอลิอะคริลิกแอซิด (Poly(acrylic acid)) พอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide)

2.5.2 พันธะทางเคมีของไฮโดรเจล สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก. พันธะภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Intramolecular interaction) เนื่องจากการเชื่อมต่อกันของมอนอเมอร์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอน (C) จึงทำให้มีพันธะ โควาเลนต์ เพื่อยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของคาร์บอน

ข. พันธะระหว่างโมเลกุล (Intermolecular interaction) สามารถแบ่งออกได้หลายแบบ เช่น พันธะไฮโดรเจน ที่เกิดจากการดึงดูดอะตอมไฮโดรเจน (H) โดยอะตอมของธาตุที่มีค่าอิเล็กโตเนกาติวิตี้ (EN) สูง เช่น F, O, N, Cl เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแรงไดโพล-ไดโพล ที่เกิดจากการมีแรงยึดเหนี่ยวหรือมีแรงผลักของโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ซึ่งแรงนี้เป็นแรงที่อ่อนมากที่สุด

จากพันธะต่างๆข้างต้น จะเห็นว่าพันธะภายในโมเลกุลมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะระหว่างโมเลกุล ดังนั้นการที่จะทำลายโครงสร้างของโมเลกุลพอลิเมอร์ ต้องใช้พลังงานที่สูงมาก

2.5.3 พันธะเชื่อมโยงของไฮโดรเจล มี 2 ลักษณะ คือ

ก. พันธะเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslinked) โดยจะมีการทำให้เกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติ ด้วยพันธะไฮโดรเจน หรือแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ โดยจะมีการอยู่รวมกันเป็นกลุ่มคล้ายปมของเชือก ไฮโดรเจลชนิดนี้สามารถเตรียมได้จากเทคนิคที่เรียกว่า Freezing and thawing สมบัติของไฮโดรเจลที่เตรียมได้จะมีการหลอมเหลวที่อุณหภูมิไม่สูง ประมาณ 55 $^{\circ}C$ และเรียกไฮโดรเจลที่มีพันธะเชื่อมโยงในลักษณะนี้ว่า Physical hydrogel หรือ Pseudogel

ข. พันธะเชื่อมโยงทางเคมี (Chemical crosslinked) โดยจะมีการให้เกิดพันธะเชื่อมโยงที่เป็นพันธะโควาเลนต์ หรือเป็นพันธะทางเคมีอื่นๆ โดยมีการใช้สารเชื่อมโยงเป็นสารเคมี เช่น สารประกอบพวกแอลดีไฮด์ และมีการใช้แสงหรือความร้อนในการเชื่อมโยง เช่นรังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา ซึ่งการเชื่อมโยงโดยวิธีนี้จะได้พันธะเชื่อมโยงเป็นพันธะโควาเลนต์ชนิดคาร์บอน-คาร์บอน (C-C bond) ที่มีความแข็งแรงสูง

2.5.4 การเตรียมไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลสามารถเตรียมได้จากสารละลายพอลิเมอร์ที่มีสมบัติการดูดน้ำ หรือสามารถละลายในน้ำได้ เทลงในแม่พิมพ์ โดยส่วนมากจะใช้เทคนิคการเทหล่อ (Casting process) ในการเตรียม จากนั้นทำการเชื่อมโยงไฮโดรเจล โดยใช้เทคนิคการฉายรังสี, ความร้อน, รีดักชัน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชัน หรือ nucleophilic attack ในวิธีการฉายรังสีต้องทำการฉายรังสีเสียก่อนแล้วค่อยนำไปอบให้แห้ง แต่ถ้าใช้สารเคมีในการเชื่อมโยง จะต้องนำสารละลายในแม่พิมพ์ไปอบให้แห้งเสียก่อนจึงค่อยทำการเชื่อมโยง ในปี 1968 มีการพอลิเมอไรเซชัน โดยใช้มอนอเมอร์ล้อมรอบผลึกเมตริกซ์ ได้แก่ เกลือ น้ำตาล และผลึกน้ำแข็ง เป็นพวกโพรอเจน (Porogen) และเมื่อเอาผลึกเมตริกซ์ออก จะเกิดเป็นพอลิเมอร์เชื่อมโยงที่เป็นรู ไฮโดรเจลที่เป็นรูใช้ประโยชน์เป็นพื้นผิวบางในโครมาโตกราฟี และเป็นเนื้อเยื่อวิศวกรรมทางการแพทย์

2.5.5 สมบัติของไฮโดรเจลและการนำไปใช้งาน

ไฮโดรเจลมีความสามารถในการดูดซับน้ำหรือสารละลายบางชนิด เช่น สารละลายอิเล็กโตไลต์ และสารละลายทางชีวภาพ ได้มากกว่า 90% โดยเมื่อหลังจากดูดซับ จะมีสมบัติเชิงกลที่ดี ไม่เกิดการละลายและสลายตัว และไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างซึ่งสมบัตินี้จะมีความคล้ายคลึงกันในอวัยวะบางอย่างของร่างกายมนุษย์ เช่น เส้นเอ็น กล้ามเนื้อ ลำไส้เล็ก เซลล์ห่อหุ้มอวัยวะภายใน เป็นต้น และจากสมบัติการเข้ากันได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง เนื้อเยื่อ เซลล์ผิวหนัง จึงสามารถนำมาใช้ทำเลนส์สัมผัส ใช้ในการเคลือบอวัยวะเทียมเมื่อนำไปใช้ในร่างกายมนุษย์ สามารถใช้เป็นวัสดุปิดแผลที่รักษาหน้าแผลให้มีความเรียบ และไม่ทำลายเซลล์ผิวใหม่เมื่อมีการลอกออก ไฮโดรเจลที่ใช้เป็นเนื้อเยื่อวิศวกรรมจะยอมให้เซลล์เจริญงอกเข้าไปข้างในและควบคุมการขยายตัวอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อสำหรับการส่งผ่านท่อขนาดไมโคร หรือท่อภายนอกที่ต้องการ และยังสามารถใช้ในงานด้านต่างๆที่ไฮโดรเจลมีความเหมาะสมและมีสมบัติที่คลอบคลุมการใช้งาน

2.6 เนื้อเยื่อวิศวกรรม (Tissue Engineering) [21, 22-23]

เนื้อเยื่อวิศวกรรม ถูกจำกัดความว่าเป็นศาสตร์ 2 ศาสตร์ที่ใช้ประโยชน์ตามหลักของวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ชีวภาพ เกี่ยวกับการพัฒนาของชีววิทยาเพื่อแทนที่ ซ่อมแซม รักษาหรือปรับปรุงเนื้อเยื่อ ในการออกแบบเนื้อเยื่อวิศวกรรมนั้นวัสดุและเทคนิคการผลิตจะเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งจะต้องเข้าใจหน้าที่ 3 ข้อในเนื้อเยื่อวิศวกรรม ดังนี้

- ใช้แยกเซลล์หรือแทนที่เซลล์ตามความต้องการ
- การส่งผ่านของเนื้อเยื่อ เพื่อการเติบโตไปยังตำแหน่งที่ต้องการ
- การเติบโตเซลล์ใน scaffold 3 มิติ

2 ข้อจำกัดที่สำคัญ ในการแยกเซลล์หรือเหนี่ยวนำเนื้อเยื่อ ได้แก่ขนาดอนุภาคและรูปร่าง ดังนั้นพื้นฐานความต้องการที่ยอมรับกันอย่างกว้างๆสำหรับการออกแบบพอลิเมอร์ scaffold คือ

- Scaffold จะมีความรูพรุนสูงและขนาดรูที่เหมาะสม
- ต้องการพื้นที่ผิวสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเสื่อมสลายทางชีวภาพและอัตราการเสื่อมสภาพที่เหมาะสมเท่ากับอัตราการเกิดเนื้อเยื่อใหม่

- Scaffold ต้องมีสมบัติเชิงกลที่สมบูรณ์เพื่อคงสภาพของโครงสร้างเนื้อเยื่อ

- Scaffold ต้องไม่เป็นพิษต่อเซลล์ (คือ สามารถเข้ากันได้)

- Scaffold ต้องเกิดแรงกระทำภายในกับเซลล์ได้ รวมถึงต้องเพิ่มการติดกันของเซลล์ การเติบโต การเป็นก้อนและหน้าที่ที่แตกต่าง

จุดมุ่งหมายของการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ Scaffold ให้เหมาะกับความต้องการเฉพาะอย่างรูพรุนที่มากและขนาดรูที่เพียงพอจึงเป็นที่ต้องการจากงานวิจัย เพื่อสะดวกในการเพาะเซลล์และแพร่ผ่านตลอด ทำให้โครงสร้างสมบูรณ์ของทั้งเซลล์และสารอาหาร การเสื่อมสภาพทางชีวภาพเป็นส่วนสำคัญของ Scaffold ที่ต้องการ เพื่อดูดซับเนื้อเยื่อแวดล้อมภายนอกที่จำเป็นจากการผ่าตัดเอาออกไป อัตราของการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นเท่ากันกับอัตราการเกิดเนื้อเยื่อใหม่ นั้นคือ ขณะเซลล์เกิดขึ้นมีโครงสร้างเมตริกซ์ธรรมชาติรอบๆ เซลล์ Scaffold สามารถให้โครงสร้างที่สมบูรณ์ภายในร่างกาย และในที่สุดก็จะแตกออกจากเนื้อเยื่อใหม่ เนื้อเยื่อใหม่นี้ จะต้องรับน้ำหนักต่อไป

2.6.1 วัสดุสำหรับทำเนื้อเยื่อโครงสร้าง Scaffold [22]

พอลิเมอร์เป็นวัสดุแรกสำหรับ scaffold ตัวอย่างเช่น Poly(glycolic acid)(PGA), poly(lactic acid)(PLA), และโคพอลิเมอร์ poly(lactic acid-co-glycolic acid)(PLGA) เป็นตระกูลของ linear aliphatic polyesters ซึ่งจะใช้ส่วนใหญ่ในเนื้อเยื่อวิศวกรรม พอลิเมอร์จะเสื่อมสลายผ่านการไฮโดรไลซิสของพันธะเอสเทอร์ PGA เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เป็น scaffold เพราะมีธรรมชาติที่ชอบน้ำ PGA เสื่อมสลายเร็วในสารละลายน้ำหรือในสิ่งมีชีวิต แต่สูญเสียสมบัติเชิงกลภายใน 2 ถึง 4 สัปดาห์ ใช้ผลิตเป็นเส้นใยที่ไม่นำมาถักทอเป็นผืน ซึ่งเป็น scaffold แบบหนึ่งที่ใช้สำหรับเนื้อเยื่อวิศวกรรม PLA เป็น scaffold ที่ใช้กันทั่วไป มีหมู่เมทิลในหน่วย PLA (เปรียบเทียบกับ PGA) ซึ่งไม่ชอบน้ำ จึงลดโมเลกุลที่เข้าใกล้กับน้ำ นำไปสู่อัตราการไฮโดรไลซิสที่ช้า ใช้เวลาหลายเดือนหรือเป็นปี มีการทดลองปลูกฝัง scaffold PLA ในสิ่งมีชีวิต เพื่อศึกษาอัตราการเสื่อมสลายระหว่าง PGA และ PLA เพื่อใช้เป็นอัตราส่วนของแลกติกและกรดไกลโคลิกในการสังเคราะห์ PLGA พวก linear aliphatic polyester เช่น poly(Ɛ-caprolactone) (PCL) และ poly(hydroxyl butyrate)(PHB) ซึ่งใช้ในเนื้อเยื่อวิศวกรรม PCL จะมีอัตราการเสื่อมสลายที่ช้ากว่า PLA, PGA และ PLGA อัตราการเสื่อมสลายที่ช้าทำให้ PCL เป็นที่น่าสนใจน้อยสำหรับการใช้ประโยชน์ในเนื้อเยื่อวิศวกรรม แต่เหมาะสำหรับในเรื่องการปลูกฝังและสามารถควบคุมการปลดปล่อยที่ต้องการการเสื่อมสลายช้า ในปัจจุบันโคพอลิเมอร์ของ PCL จะวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงสมบัติการเสื่อมสลาย ส่วน PHB ทำมาจากการหมักสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก PHB และโคพอลิเมอร์ PHB จะเสื่อมสลายได้ช้ามากๆเพราะตามธรรมชาติจะไม่ชอบน้ำ จึงมีความสนใจน้อยเมื่อเทียบกับ PGA,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLA และ PLGA การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่สามารถเสื่อมสลายทางชีวภาพอื่นๆคือ poly(propylene fumarate)(PPF) จะเสื่อมสลายผ่านการไฮโดรไลซิสของพันธะเอสเทอร์ คล้ายกับไกลโคไลด์และแลกไลด์ แม้กระนั้นก็ตาม การใช้ประโยชน์สำหรับเนื้อเยื่อวิศวกรรม จะมีความต้องการคล้ายๆกัน คือ ความสามารถที่เข้ากันได้ทางชีวภาพและความสามารถในการเสื่อมสลายทางชีวภาพ ในเมตริกซ์และ scaffold เนื้อเยื่อวิศวกรรม

พอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น โปรตีนและพอลิแซคคาไรด์เป็นประโยชน์ใช้สำหรับเนื้อเยื่อวิศวกรรม คอลลาเจนเป็นเส้นใยโปรตีนและองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลล์ธรรมชาติ ซึ่งใช้สำหรับการเกิดเนื้อเยื่อใหม่ สำหรับซ่อมแซมเนื้อเยื่ออ่อน การจัดการหนึ่งของคอลลาเจนเป็นองค์ประกอบเซลล์ธรรมชาติที่มีสมบัติทางชีววิทยาซึ่งเป็นที่ปรารถนาสำหรับการใช้ประโยชน์ของเนื้อเยื่อวิศวกรรม โคพอลิเมอร์ collagen-glycosaminoglycan (GAG) ถูกนำมาสร้าง scaffold สำหรับเนื้อเยื่อวิศวกรรมโดยการเปลี่ยนลักษณะคอลลาเจน (เจลลาติน)เพื่อผลิตวัสดุรูพรุนสำหรับซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ในด้านอื่นที่เกี่ยวข้องกับคอลลาเจน อาจจะมีการส่งต่อของโรค การต่อต้านเชื้อโรค การจัดการและสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี และการควบคุมการเสื่อมสลายทางชีวภาพได้น้อย ส่วนกลุ่มอื่นๆของเส้นใยโปรตีนธรรมชาติ คือไหม ซึ่งใช้ในกระบวนการสิ่งทอมา 20 ปี และใช้ในการเย็บแผลมา 10 ปี เพราะว่ามีสมบัติเชิงกลดึงยืดที่ดี ถึงแม้ว่าไหมเป็นลักษณะของวัสดุที่ไม่เสื่อมสลาย แต่สามารถเสื่อมสลายในกลไกของเอนไซม์ได้ อย่างไรก็ตามอัตราการเสื่อมสลายจะช้ามากๆ ซึ่งอาจจะเกี่ยวเนื่องกับการเป็นพิษต่อเซลล์ จึงได้มีการปรับเปลี่ยนทางเคมีของวัสดุไหมเพื่อเพิ่มความสามารถที่เข้ากันได้ และชนิดของไหมอื่นๆ เช่น ใยแมงมุมและไหมพันธุวิศวกรรม ส่วนพอลิแซคคาไรด์เป็นประเภทของ พอลิเมอร์ธรรมชาติ ตัวอย่าง เช่น alginate, chitosan และ hyaluronate จะใช้เป็น scaffold รูพรุนเนื้อเยื่อวิศวกรรม solid-state ดังนั้น โมเลกุลธรรมชาติขนาดใหญ่ที่บริสุทธิ์จะสกัดมาจาก เนื้อเยื่อสัตว์หรือเนื้อเยื่อพืช

2.6.2 การสังเคราะห์เนื้อเยื่อวิศวกรรม [23]

มีวิธีการหลายแบบสำหรับการเตรียมโครงสร้างรูพรุนเพื่อใช้เป็นเนื้อเยื่อวิศวกรรม (Scaffold) เทคนิคแต่แบบจะมีประโยชน์และข้อเสีย ดังนี้

(1) Textile technologies : เทคนิคนี้จะใช้สำหรับการเตรียม เส้นใยที่ไม่ทอของพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น โครงสร้างของพอลิไกลโคไลด์ (Polyglycolide) ใช้ประโยชน์เป็นเนื้อเยื่อวิศวกรรม โครงสร้างเส้นใยเป็นประโยชน์ต่อการเกิดเซลล์ที่แตกต่างกัน ข้อเสีย คือยากที่จะได้รูพรุนจำนวนมากและขนาดรูเท่าๆกัน

(2) Solvent casting and Particulate leaching (SCPL) : วิธีการนี้ โครงสร้างรูพรุนจะมีขนาดรูเท่าๆกัน แต่ความหนาถูกจำกัด พอลิเมอร์เริ่มต้นจะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (เช่น กรดพอลิแลคติก ละลายใน ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)) สารละลายก็จะถูกเทไปในโมลจนเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมกับอนุภาคโพรอเจน (Porogen) โพรอเจนเป็นเกลืออนินทรีย์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) ผลึกของ saccharose เจลลาติน (Gelatin) หรือพาราฟิน (Paraffin) ขนาดของอนุภาคโพรอเจนจะมีผลต่อรู Scaffold ขณะที่อัตราของพอลิเมอร์กับโพรอเจนสัมพันธ์กันโดยตรงต่อจำนวนของรูพรุนในโครงสร้าง จากนั้นปล่อยให้ตัวทำละลายอินทรีย์ระเหย นำพอลิเมอร์จุ่มลงในอ่างของของเหลวสำหรับละลายโพรอเจน ในกรณีของโซเดียมคลอไรด์จะใช้น้ำ saccharose และเจลลาตินจะใช้น้ำ ตัวทำละลายอะลิฟาติก เช่น เฮกเซน (Hexane) ใช้สำหรับพาราฟิน โพรอเจนละลายอย่างสมบูรณ์โครงสร้างรูพรุนก็เกิดขึ้น มีความหนาเล็กน้อย ข้อเสียของ SCPL คือใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งต้องเอาออกอย่างสมบูรณ์ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายต่อเซลล์บน Scaffold

(3) Gas foaming : เป็นการเอาชนะในการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์และโพรอเจนของแข็ง เทคนิคนี้จะใช้ก๊าซเป็นโพรอเจนพัฒนารูปร่างโครงสร้าง พอลิเมอร์จะถูกเตรียมโดยการอัดโมลโดยใช้โมลร้อน ภาชนะจะถูกวางในอ่างขนาดใหญ่ที่เปิด ให้ความดัน CO_2 สูง ความดันภายในอ่างขนาดใหญ่จะเป็นสภาวะของชั้นบรรยากาศ ขณะนี้รูพรุนก็จะเกิดขึ้นโดยโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยไว้ในพอลิเมอร์ เป็นผลให้โครงสร้างคล้ายฟองน้ำ ปัญหาส่วนใหญ่ของเทคนิคนี้ได้แก่ใช้ความร้อนมากเกินไปขณะการอัดโมล (ข้อห้าม ในการรวมกัน อุณหภูมิวัสดุอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเมตริกซ์พอลิเมอร์) และโดยข้อเท็จจริงนั้นรูจะไม่เชื่อมกัน

(4) Emulsification/Freeze-drying : เทคนิคนี้ไม่ต้องการใช้โพรอเจนของแข็งเหมือน SCPL พอลิเมอร์สังเคราะห์ละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม (เช่น กรดพอลิแลกติก ละลายในไดคลอโรมีเทน) เติมน้ำลงในสารละลายพอลิเมอร์ ของเหลวทั้งสองจะผสมกันได้เป็นอิมัลชันก่อนที่สองเฟสจะแยกกัน อิมัลชันจะเทไปในโมลและแช่แข็งเร็วโดยการจุ่มไปในไนโตรเจนเหลว อิมัลชันแช่แข็งต่อมาก็ไป Freeze-drying เพื่อเอาน้ำและตัวทำละลายออก โครงสร้างก็จะเป็นรู การ Emulsification และ Freeze-drying เตรียมได้เร็วเมื่อเทียบกับ SCPL ซึ่งจะไม่ต้องการเวลาการชะล้าง ไม่ต้องการใช้ตัวทำละลาย นอกจากนั้นขนาดรูจะเล็กและรูพรุนจะเท่าๆกัน Freeze-drying โดยตัวมันเองใช้เทคนิคทั่วไปสำหรับการเกิด Scaffold จะใช้เตรียมฟองน้ำคอลลาเจน คอลลาเจนจะละลายใน อะซิติก สารละลายของกรดอะซิติกหรือ กรดไฮโดรคลอริก ถูกเทภายในโมล แช่แข็งกับไนโตรเจนเหลว เป็น Liophylize

(5) liquid-liquid phase separation : คล้ายกับเทคนิคที่ 4 กระบวนการนี้ต้องใช้ตัวทำละลายที่มีจุดหลอมเหลวต่ำเพื่อง่ายต่อการทำให้บริสุทธิ์ เช่น ไดออกเซน (Dioxane) ใช้ละลายกรดพอลิแลกติก เติมปริมาณน้ำเล็กน้อยก็จะแยกเฟสกัน ตามด้วยให้ความเย็นที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของตัวทำละลาย จาก Vacuum-drying เพื่อดึงตัวทำละลายออก ก็จะได้รูพรุนของ Scaffold มีข้อเสียเหมือน วิธี Emulsification/Freeze-drying

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 สมบัติที่จำเป็นที่สุดของ Scaffold [22]

ความสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ Scaffold จะต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต รูพรุนของ scaffold จะต้องมีรูเปิดซึ่งทำให้การเชื่อมต่อภายในโครงสร้างรูพรุน อัตราพื้นผิวต่อพื้นที่ปริมาตรจะกว้าง เซลล์จะเจริญภายใน และเซลล์จะแพร่ตลอดโครงสร้างรู ทำให้ง่ายต่อการมีหลอดเลือดใหม่ของโครงสร้างเนื้อเยื่อรอบๆ scaffold จะแสดงพฤติกรรม microporosity ที่เพียงพอ รูพรุนและการติดกันนั้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการแพร่ของสารอาหารและก๊าซ เพื่อเอาของเสียจากการเผาผลาญออกจากเซลล์ ที่เติบโตภายใน scaffold เป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญใน

เนื้อเยื่อวิศวกรรมกระดูก เพราะเนื่องจากลักษณะการเผาผลาญกระดูก ปริมาณการส่งผ่านของเสียจะมีอัตราสูงเกิดขึ้นภายใต้สภาวะการทดลองการปลูกฝังเนื้อเยื่อ อย่างไรก็ตาม ระดับของรูพรุนจะมีอิทธิพลต่อสมบัติอื่นๆของ scaffold นั่นคือ ความเสถียรทางเชิงกล ดังนั้นค่าจะเท่ากันกับความต้องการเชิงกลของเนื้อเยื่อวิศวกรรม เพื่อใช้ในการแทนที่

ขนาดรูพรุน เป็นประเด็นสำคัญมากๆเพราะถ้ารูที่ใช้ขนาดเล็ก รูจะถูกปิดกั้นโดยเซลล์ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะป้องกันเซลล์แทรกซึมเข้าไป ป้องกันการเกิดเมตริกซ์เซลล์พิเศษและป้องกันการเกิดหลอดเลือดใหม่ภายในพื้นที่ของ scaffold โดยที่ขนาดรูภายในเป็น 200-900 μm ซึ่งแล้วแต่แนวคิดที่แตกต่าง ที่เป็นที่ต้องการของผู้ทดลอง เชื่อว่ากระดูดที่สร้างขึ้นมาใหม่ จะได้มาโดยเมตริกซ์ชั่วคราว 3D ซึ่งรูขนาดใหญ่โครงสร้างจะติดกัน ที่อัตราพื้นผิว/ปริมาตรสูง ง่ายต่อเซลล์เนื้อเยื่อและเส้นเลือดเจริญภายใน อย่างไรก็ตาม จะไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

สมบัติของพื้นผิว ทั้งทางเคมีและลักษณะรูปร่างสามารถควบคุม และส่งผลกระทบต่อการติดกันของเซลล์ และการเติบโตของเซลล์

(1) สมบัติทางเคมี จะสัมพันธ์กับความสามารถการติดกันของเซลล์กับวัสดุนั้นคือ ปฏิกิริยาภายในโปรตีนกับวัสดุ

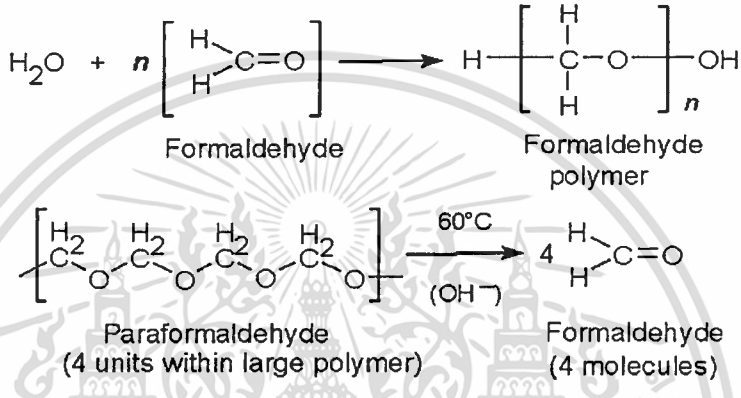
(2) สมบัติของลักษณะรูปร่าง เป็นส่วนที่น่าสนใจเมื่อหัวข้อ คือการสื่อนำกระดูก (Osteoconduction) การสื่อนำกระดูกจะกระทำโดยย้ายที่เซลล์เนื้อเยื่อกระดูกไปยังผิวของเส้นใย scaffold ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากการปลูกฝังวัสดุ การย้ายก้อนเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกจะเอาออกจากเส้นใยเมตริกซ์ชั่วคราว ดังนั้น เส้นใยเมตริกซ์เป็นสิ่งสำคัญมากสุดที่ได้มาจาก scaffold หรืออีกในหนึ่งเมื่อเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกเริ่มจะเป็นก้อนบนเส้นใยแยกออกจาก scaffold ขณะที่บาดแผลหดตัว พื้นผิวที่หยาบมากๆสามารถกักเส้นใยเมตริกซ์ได้มากกว่าพื้นผิวเรียบ และจากนี้ไปการย้ายที่ของเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกไปยังผิวของวัสดุจะง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 สารก่อพันธะเชื่อมโยง [24]

2.7.1 ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)

เป็นก๊าซโมเลกุลเล็ก ๆ จะละลายได้เร็วในน้ำ (HCHO , – CHO เป็นกลุ่ม aldehyde) ซึ่งจะรวมกันทางเคมีเพื่ออยู่ในรูปเมททิลลีน ไฮเดรท (Methylene hydrate) , HO – CH_2 – OH เป็นรูปแบบของ ฟอร์มัลดีไฮด์ ในสารละลายปฏิกิริยาเคมีจะเหมือนของฟอร์มัลดีไฮด์ โมเลกุลเมททิลลีนไฮเดรททำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น ๆ เพื่อเป็นพอลิเมอร์ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์ฟอร์มัลดีไฮด์
(บน) การเตรียมปฏิกิริยาพอลิเมอร์ฟอร์มัลดีไฮด์
(ล่าง) ปฏิกิริยาการย้อนกลับของ พาราฟอร์มัลดีไฮด์ (paraformaldehyde) [24]

ของเหลวที่อยู่ในรูปฟอร์มัลลีน (Formalin) มีฟอร์มัลดีไฮด์ 37-40 % และมีน้ำ 60-63% (โดยน้ำหนัก) ส่วนใหญ่ของฟอร์มัลดีไฮด์เป็นพอลิเมอร์ที่มี N = 2 – 8 (ในสมการของรูปที่ 2.10) แต่ถ้า n>100 ไม่ละลาย ขายในรูปของผงสีขาว ชื่อพาราฟอร์มัลดีไฮด์ ใช้ประโยชน์ในฐานะที่เป็นตัวทำให้เสถียร (Monomeric formaldehyde) (หรือเมททิลลีน ไฮเดรท) การละลายกับน้ำเพื่อแตกพอลิเมอร์เล็ก ๆ ในฟอร์มัลลีน ถ้าใช้น้ำธรรมดาต้องใช้เวลา 2 วัน แต่จะละลายอย่างเร็วทั้งหมดเมื่อฟอร์มัลลีนละลายกับสารละลาย บัฟเฟอร์(buffer) ที่ pH ของสรีรวิทยา (Physiological) ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)ของพอลิเมอร์จะถูกกระตุ้นโดยไฮดรอกไซด์ไอออน (Hydroxide ion) ในสารละลายอัลคาไลน์ (Alkaline) อ่อน ๆ ดังรูปที่ 2.10 โมเลกุลพอลิเมอร์ใหญ่ในพาราฟอร์มัลดีไฮด์ต้องการพลังงานมาก ๆ เพื่อการเกิดของ ไฮโดรไซด์ไอออน

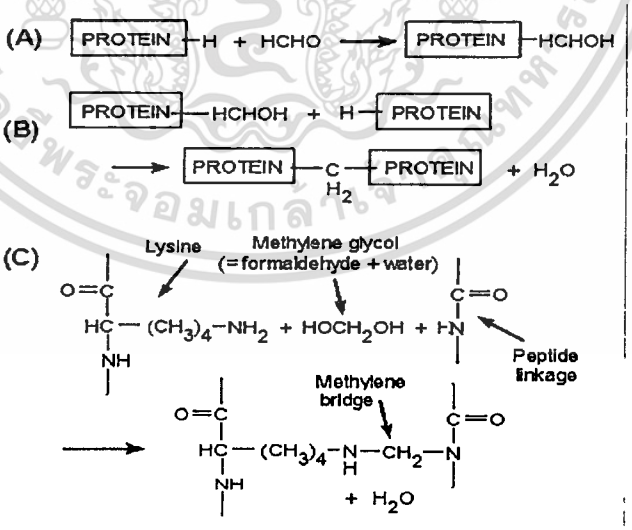
ฟอร์มัลลีนจะมีเมทานอล (Methanol) 10 % ผสมอยู่ถูกเติมโดยผู้ผลิตเพื่อทำให้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะช้าลง ทำให้เกิดการตกตะกอนของพาราฟอร์มัลดีไฮด์ สารละลาย 4 % ฟอร์มัลดีไฮด์ทำจากฟอร์มัลลีนที่มีเมทานอล 1 % มีจำนวนเกลือไอออน (Formate ion) น้อยมาก เกลือนี้ได้มาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาCannizzaro ซึ่ง 2 โมเลกุลฟอร์มัลดีไฮด์ เกิดปฏิกิริยาร่วมกัน ข้างหนึ่งจะเปลี่ยนเมทานอล และอีกข้างจะออกซิไดซ์ (Oxidize) ไปเป็นกรดฟอร์มิก ความเข้มข้นของ เมทานอลและเกลือ (Formate) ในสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นช้า ๆ สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ ถูกเตรียมจากพาราฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ไม่มีเมททานอล ใช้ทั่วไปในรูปสารที่ทำให้คงที่ (Fixative) สำหรับอิเล็กตรอนไมโครสโกปี (Electron microscopy) และใช้ในการวิจัย

2.7.1.1 ปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์ กับโปรตีน

หมู่อัลดีไฮด์ (Aldehyde) จะรวมกับ N และบางอะตอมอื่นของโปรตีนหรือทั้ง 2 อะตอม ก่อให้เกิดการ cross-link-CH_2- เรียกว่าเมททิลลีนบริด (Methylene bridge) การศึกษาทางเคมีของการฟอกหนังนั้น ประเภทที่พบส่วนใหญ่ของการก่อพันธะเชื่อมโยงโดยฟอร์มัลดีไฮด์ในคอลลาเจน(Collagen) คือระหว่างอะตอม N ที่ปลายของสายโซ่ของไลซีน (Lysine) และอะตอม N ของ เพปไทด์ลิงเกต (Peptide linkage) (ดังรูปที่ 2.11) และจำนวนของพันธะเชื่อมโยงจะเพิ่มขึ้นตามเวลา การฟอกหนังของคอลลาเจน สามารถเปรียบเทียบกับวัสดุที่ทำให้แข็ง (Hardening) ของเนื้อเยื่อโดยสารทำให้แข็งตัว (Fixative) การทำให้แข็งตัวจากฟอร์มัลดีไฮด์อาจจะเหมาะที่จะกระทำต่อโปรตีน โดยรวมกันขั้นแรกของฟอร์มัลดีไฮด์กับโปรตีน จะสมบูรณ์ใน 24 ชั่วโมง แต่จะอยู่ในรูปของเมททิลลีนบริดซึ่งดำเนินการช้ามากๆ สารอย่างเช่นพวก คาร์โบไฮเดรต ลิปิด (Lipids) และกรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) จะติดอยู่ในตัวเมตริกซ์ที่ไม่ละลายและจะเชื่อมโยงกับโมเลกุลโปรตีนซึ่งจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยฟอร์มัลดีไฮด์ นอกจากต้องใช้เวลานานขึ้น



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาที่นำไปสู่การทำให้คงที่โดยฟอร์มัลดีไฮด์

(A) เติมโมเลกุลฟอร์มัลดีไฮด์ไปในโปรตีน

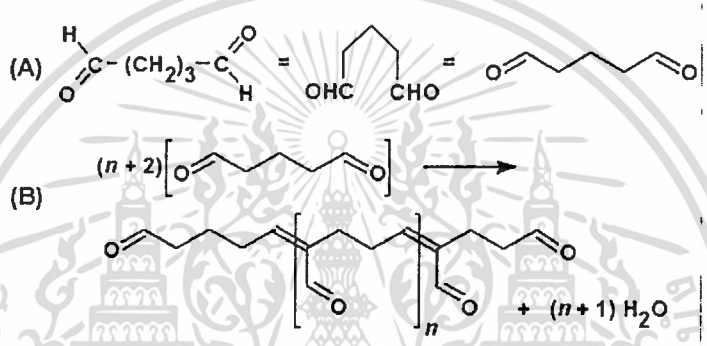
(B) ปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์กับโมเลกุลโปรตีนอื่นอยู่ในรูปของเมททิลลีน cross-link

(C) รายละเอียดการ cross-link ของสายโซ่ไลซีนกับอะตอม N เพปไทด์ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde)

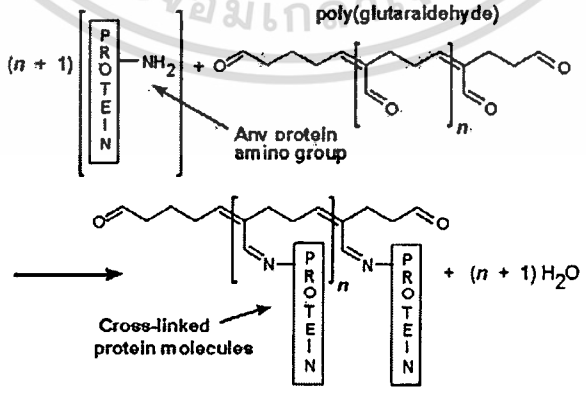
กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) เป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ที่เหมาะสม ในโมเลกุลมีหมู่อัลดีไฮด์ (Aldehyde) 2 หมู่ ถูกแยกโดยโซ่ยืดหยุ่นของ 3 เมททิลลีนบริด (Methylene bridges) คือ HCO-$(CH_2)_3$-CHO อาจใช้เป็นตัวก่อพันธะเชื่อมโยง เห็นได้ชัดมากกว่าฟอร์มัลดีไฮด์ เพราะเกิดผ่านหมู่อัลดีไฮด์ทั้ง 2 ทาง –CHO ในสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ หมู่อัลดีไฮด์เป็นอิสระ จะยึดติดกับด้านข้างของแต่ละหน่วยของโมเลกุลพอลิเมอร์ (ดังรูปที่ 2.12) ที่แต่ละปลาย หมู่ทั้งหมด – CHO จะรวมกับ N โปรตีนภายในการสัมผัสเป็นไปได้มาก สำหรับการก่อพันธะเชื่อมโยง หมู่อัลดีไฮด์ส่วนเกินมากมายจะไม่สามารถออกจากเนื้อเยื่อ (ดังรูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 แสดงปฏิกิริยาพอลิเมอร์กลูตาราลดีไฮด์

(A) 3 โมเลกุลที่แสดงของมอนอเมอร์ริคกลูตาราลดีไฮด์ (monomeric glutaraldehyde)

(B) ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของกลูตาราลดีไฮด์ แสดงสายโซ่อัลดีไฮด์ในแต่ละหน่วยพอลิเมอร์ [24]



รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาของพอลิกลูตารัลดีไฮด์กับกลุ่มอะมิโนของโปรตีน [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 ไกลเซอร์ราลดีไฮด์ (Glyceraldehyde) [25]

ไกลเซอร์ราลดีไฮด์ (Glyceraldehyde) เป็น trios monosaccharide สูตรทางเคมี $C_3H_6O_3$ เป็น Aldoses โดยทั่วไป ซึ่งเป็นผลึกของแข็ง ไม่มีสี และมีความหวาน ใช้เป็นตัวกลางการผสมในกลไกของคาร์บอไฮด์เดรต

โมโนแซคคาไรด์ เกิดอิสระในธรรมชาติและส่วนมากเกิดเป็นองค์ประกอบของ โอลิโกแซคคาไรด์ พอลิแซคคาไรด์ และไกลโคไซด์ โมโนแซคคาไรด์ ขั้นต้นมีหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่คาร์บอนิล อะตอมคาร์บอนจะไม่สมมาตรกัน เช่น Aldotrios-glyceraldehyde (C ไม่สมมาตร ถ้า 4 หมู่ที่แตกต่างกันหรือติดกัน C ดังกล่าวเรียกว่า chiral center)

2.8 โพรอเจน (Porogen)[26]

รูพรุนตัวของไฮโดรเจลถูกเตรียมโดยใช้ เกลือ น้ำตาลหรือผลึกน้ำแข็ง

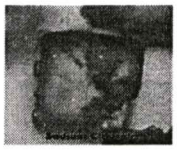
2.8.1 การเลือกและการเติมโพรอเจน

รูพรุนของวัสดุไฮโดรเจลจะส่งผลเนื่องจากการแขวนลอยที่อิ่มตัวยิ่งยวดของโพรอเจนในสารละลายมอนอเมอร์ โพรอเจนจะต้องไม่ละลายในสารละลายมอนอเมอร์ แต่จะละลายในสารละลายการชะล้างที่ใช้ โดยที่โซเดียมคลอไรด์ชอบใช้เป็นโพรอเจน ส่วนโพแทสเซียมคลอไรด์ น้ำแข็ง น้ำตาลและโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ก็จะถูกนำมาใช้ ซึ่งจะควบคุมขนาดอนุภาคโพรอเจนที่น้อยกว่า 25 ไมครอน ซึ่งควรเลือกให้น้อยกว่า 10 ไมครอน ขนาดเล็กๆจะช่วยการแขวนลอยของโพรอเจนในตัวทำละลาย ความเข้มข้นของโพรอเจนอยู่ในช่วงจาก 5% w/w – 50% w/w โดยการเลือก 10% w/w – 20% w/w ในสารละลายของมอนอเมอร์

ตัวอย่างโพรอเจนที่ใช้ [27-28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)



ผลึกเกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)

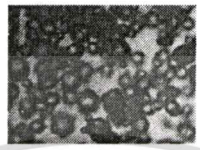
ด้วยกล้อง OM (400 เท่า)

สูตรโมเลกุล	NaCl
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	เป็นผลึกของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	58.44
จุดเดือด	1465 $^{\circ}C$
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	~800 $^{\circ}C$
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	2.16
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.)	37
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5-8
ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา	
ความคงตัว	สารนี้มีความเสถียร
สารที่เข้ากันไม่ได้	ทำปฏิกิริยากับโบรมีนไตรฟลูออไรด์ (BF_3), โบรอนไตรออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ (B_2O_3+CAO) และกรดซัลฟูริก โซเดียม สังกะสี
สารอันตรายจากการสลายตัว	ฟูม/ก๊าซพิษของคลอไรด์ (Cl-) เกิดเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 1600 $^{\circ}C$
เมื่อสัมผัสกับความร้อนสูง จะทำให้เกิดไอระเหยที่ฤทธิ์ระคายเคืองขึ้น	
อันตรายต่อสุขภาพอนามัย	
สัมผัสทางหายใจ	การหายใจเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองจมูก คอ และ ปอด
สัมผัสทางผิวหนัง	การสัมผัสถูกผิวหนังทำให้ระคายเคือง การสัมผัสเป็นเวลานานจะทำให้ปวดแสบปวดร้อนและแผลไหม้
กินหรือกลืนเข้าไป	การกลืนกินเข้าไปทำให้ระคายเคืองกระเพาะอาหารและลำไส้ ทำให้คลื่นไส้และอาเจียน
สัมผัสถูกตา	การสัมผัสถูกตา ทำให้เกิดการระคายเคือง ต่อตา ตาแดง เจ็บตา

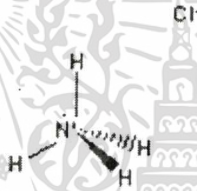
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อมะเร็ง	สารนี้ถูกรายงานว่าเป็นสารไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง โดย NTP, IARC, OSHA
ความผิดปกติ อื่น ๆ	การสัมผัสกับสารเป็นระยะเวลานานหรือการสัมผัสสารซ้ำ จะทำให้เกิดแผลพุพอง

(2) แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride)



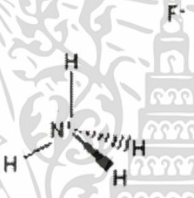
ผลึกเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride)
ด้วยกล้อง OM (400 เท่า)

สูตรโมเลกุล	NH_4Cl
สูตรโครงสร้าง	
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	ผลึกหรือเม็ดเล็ก สีขาว ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	53.49
จุดเดือด	520 °C
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	338 °C
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	1.53
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.)	>10
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.5-5.5
ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา	
ความคงตัว	สารนี้มีความเสถียร
สารที่เข้ากันไม่ได้	สารออกซิไดส์อย่างแรง, กรดเข้มข้น, เบสเข้มข้น โลหะทุกชนิด โบรมีนไตรฟลูออไรด์ เงิน และสารประกอบของเงิน
สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง	ความชื้น ความร้อน
อันตรายต่อสุขภาพอนามัย	
สัมผัสทางหายใจ	การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองทางเดินหายใจส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสทางผิวหนัง	การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ถ้าสัมผัสสารติดต่อกันเป็นเวลานานๆ ทำให้ผิวหนังอักเสบ
กินหรือกลืนเข้าไป	การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน แสบไหม้บริเวณปากและท้อง เป็นอันตรายต่อร่างกาย
สัมผัสถูกตา	การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง
การก่อมะเร็ง	สารนี้เป็นสารก่อมะเร็ง
ความผิดปกติ อื่น ๆ	สารนี้มีผลทำลายปอด หัวใจ และทรวงอก

(3) แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (Ammonium Fluoride)

สูตรโมเลกุล	NH_4F
สูตรโครงสร้าง	
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	เป็นผลึก สีขาว ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	37.04
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	1.015
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.)	ได้
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6

ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา

ความคงตัว	สารนี้มีความเสถียรคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ควัน และไอระเหย
สารที่เข้ากันไม่ได้	กรด CIF_3
สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง	อุณหภูมิสูง
สารอันตรายจากการสลายตัว	ฟลูออไรด์, แอมโมเนีย, ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X)

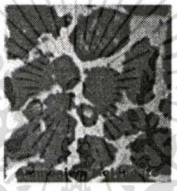
อันตรายต่อสุขภาพอนามัย

สัมผัสทางหายใจ	ถ้าหายใจเข้าไป จะรบกวนการเต้นของหัวใจ อาจทำให้เสียชีวิต
สัมผัสทางผิวหนัง	ถ้าสัมผัสถูกผิวหนัง ทำให้แสบไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กินหรือกลืนเข้าไป	ถ้ากลืนหรือกินเข้าไป จะเป็นพิษที่กระเพาะอาหารและลำไส้ มีอาการของกระดูกเนื่องมาจากฟลูออรีนอาการชัก หลอดเลือดผิดปกติ อาจทำให้เสียชีวิต
สัมผัสถูกตา	ถ้าสัมผัสถูกตา ทำให้แสบไหม้
การก่อมะเร็ง	สารนี้ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง ตามบัญชีรายชื่อของ IARC, NTP, OSHA
ความผิดปกติ อื่น ๆ	สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน

(4) แอมโมเนียม โมลิบเดท 4-ไฮเดรท (Ammonium molybdate) [28]



ผลึกเกลือแอมโมเนียม โมลิบเดท 4-ไฮเดรท (Ammonium molybdate) ด้วยกล้อง OM (400 เท่า)

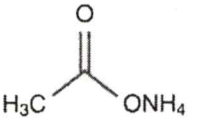
สูตร โมเลกุล	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot H_2O$
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	เป็นผลึก ไม่มีสีจนถึงสีเขียวเหลือง กลิ่นแอมโมเนีย
น้ำหนักโมเลกุล	1235.86
จุดเดือด	520 $^{\circ}C$
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	338 $^{\circ}C$
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	2.276
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.)	ละลายง่ายในน้ำเย็น น้ำร้อน
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.0 - 5.5

อันตรายจากสารพิษ

การก่อมะเร็ง	สารนี้ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง
สารพิษพิเศษ	ก๊าซพิษที่เป็นผลิตภัณฑ์ แอมโมเนีย
ผลกระทบจากการได้รับสารพิษ	ทำให้ระคายเคืองต่อจมูกและลำคอ อาจทำให้ปวดศีรษะ ไอกระแอม ปวดศีรษะ หายใจลำบาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) แอโมเนียมอะซิเตท (Ammonium Acetate)

สูตรโมเลกุล	CH_3COONH_4
สูตรโครงสร้าง	
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	เป็นผลึกแข็ง สีขาว
น้ำหนักโมเลกุล	77.08
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	114 °C
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	1.07
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.)	ละลายน้ำ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7
อันตรายจากสารพิษ	
สัมผัสทางหายใจ	เป็นอันตรายเมื่อหายใจเข้าไป จะระคายเคืองจมูก ลำคอ และปอด เป็นเหตุให้เกิดการไอหอบ หรือหายใจสั้น
สัมผัสทางผิวหนัง	ถ้าสัมผัสถูกผิวหนังจะระคายเคือง
สัมผัสถูกตา	ถ้าสัมผัสถูกตา ทำให้ไหม้

(6) แอมโมเนียมออกซาเลต โมโนไฮเดรต (Ammonium Oxalate monohydrate)

ผลึกเกลือแอมโมเนียมออกซาเลต โมโนไฮเดรต (Ammonium Oxalate monohydrate) ด้วยกล้อง OM (400 เท่า)

สูตรโมเลกุล	$NH_4OCOCOONH_4 . H_2O$
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	เป็นผลึกหรือเป็นเม็ด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	142.11
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	70 °C
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	1.50
ความสามารถในการละลายน้ำ	11.8 g/100 g ของน้ำ ละลายที่ 50 °C
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายจากสารพิษ

สัมผัสทางหายใจ	เป็นอันตรายเมื่อหายใจเข้าไป จะระคายเคืองจมูก ลำคอ และปอด เป็นเหตุให้เกิดการไอ หอบ หรือหายใจสั้น
สัมผัสทางผิวหนัง	ถ้าสัมผัสถูกผิวหนังจะระคายเคืองอาจทำให้ผิวไหม้
สัมผัสถูกตา	ถ้าสัมผัสถูกตา ทำให้ไหม้และปวดทรมาน

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Y. Gotoh และคณะ [29] นำสารละลายไหมไฟโบรอินผสมกับสารละลายโซเดียมบอเรทที่เติม poly(ethylene glycol) (actPEG) แล้วนำของผสมมาเจือจางกับ ฟอสเฟสบัฟเฟอร์ (pH7) จากนั้นนำไปกรอง แล้วนำไปเจือจางกับน้ำกลั่น ก็จะได้สารละลาย PEG2-SF เข้มข้น 1.5 % (w/v) และเตรียมฟิล์ม โดยนำสารละลายดังกล่าวไปหล่อบนฟิล์ม PE แล้วปล่อยให้แห้ง จากนั้นนำฟิล์มไปจุ่มในเมทานอล เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำฟิล์มไปทำการทดสอบ ผลการทดสอบด้วย FTIR และ DSC จะแสดงผลของการปรับเปลี่ยนโครงสร้างจาก random coil ไปเป็น β-sheet และผลการทดสอบ water content และ contact angles จะแสดงความชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นของผิวฟิล์ม PEG2-SF เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มไหมไฟโบรอิน ที่ไม่มี PEG ส่วนผลของการเพาะเซลล์และการเติบโตของเซลล์ Fibroblast cell (L-929) จะมีค่าต่ำมากบนฟิล์ม PEG2-SF ซึ่งอธิบายได้ว่าความชอบน้ำของผิวที่เพิ่มขึ้นจากการปรับเปลี่ยนผิวของไหมไฟโบรอิน ด้วย PEG จะทำให้สายโซ่ PEG เคลื่อนที่ได้มากในน้ำ ทำให้การเพาะเซลล์และการเติบโตของเซลล์ไม่เกิดขึ้น จากผลการทดสอบนี้ แสดงว่าสายโซ่ PEG จะขัดขวางการเพาะเซลล์และการเติบโตของเซลล์ ทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้ทางชีวภาพ แต่จะมีประโยชน์ต่อวัสดุทางการแพทย์ในเรื่อง เป็นวัสดุที่กีดขวางการติดกันของเซลล์

H. Kweon และคณะ [30] ทำการศึกษาการเตรียมฟิล์มผสมระหว่างสารละลายไหมไฟโบรอิน กับสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติก 2% ที่อัตราส่วนต่างๆ จากนั้นนำไปตรวจสอบด้วย FTIR, XRD, DTG, DSC และ SEM ซึ่งผลการทดสอบด้วย FTIR, XRD และ DSC จะแสดงลักษณะโครงสร้างของฟิล์มผสมเป็น β-sheet เนื่องจากกรดอะซิติกที่ใช้ในการละลายไคโตซาน โดยเกิดปฏิกิริยาภายในระหว่าง Antherea pernyi SF และไคโตซาน ซึ่งมีอิทธิพลจากหมู่ NH ของ SF และ C=O, NH_2 ของไคโตซาน นั้นคือ ตัวทำละลายกรดอะซิติกจะเหนี่ยวนำความเป็นผลึกโดยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก random coil ไปเป็น β-sheet ส่วนการทดสอบ SEM ของผิวที่แตกหักของฟิล์มผสม ฟิล์มผสมที่มีไคโตซาน 25% จะมีรูปร่างสม่ำเสมอ ส่วนฟิล์มผสมที่มีไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า 40% จะแสดงอนุภาคกลมๆที่ฝังอยู่ในเนื้อเมตริกซ์ ซึ่งจะถูกแยกเฟสเป็น 2 องค์ประกอบของ SF และไคโตซาน

M. Li และคณะ [31] ทำการศึกษาการเตรียม porous จากการผสมระหว่างไฟโบรอิน / PVA ที่อัตราส่วนต่างๆ แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกทำ Freeze-dried โดยนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80, -50, -20 และ -10 นำเจลที่แช่แข็งมาละลายที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C ทำอย่างนี้ซ้ำไปซ้ำมาตามจำนวนครั้งที่ต้องการ คือ 2 4, 6, 8 และ10 แล้วนำไปทำการทดสอบด้วย XRD, SEM และสมบัติเชิงกล ผลจากการทดสอบ XRD แสดงความเป็นผลึกของเจลผสม SF-PVA ที่อัตราส่วน 50/50 และพบว่าอุณหภูมิการแช่แข็งที่ต่ำมากๆ มีความเป็นผลึกสูง ส่วนที่สอง SF-PVA ที่เตรียมจาก Air-dried จะมีความเป็นผลึกที่สูงกว่าจากการ Freeze-dried ทดสอบสมบัติเชิงกลของเจล SF-PVA ที่ได้จาก Air-dried ซึ่งมี PVA มากกว่า 50% และอุณหภูมิการแช่แข็งที่ต่ำมากๆ จะเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลให้กับเจล และผลของการนำเจลมาแช่แข็ง-ละลาย ซ้ำมาซ้ำไปหลายๆรอบ จะเกิดขนาดรูพรุนและความเป็นรูพรุนจะเพิ่มขึ้นเมื่อการแช่แข็ง-ละลาย จำนวนรอบมากขึ้น

M. Li และคณะ [32] ทำการศึกษาฟิล์มไหมไฟโบรอินของไหมป่า Antherea pernyi ที่ได้จากสารละลายไหมไฟโบรอินและทำการเชื่อมโยงด้วยสารละลาย PEG-DE ที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วไปหล่อในจาน PE เพื่อเป็นฟิล์ม จากนั้นนำฟิล์มไปทดสอบด้วย FTIR, XRD, DSC, ค่าการละลาย และการทดสอบสมบัติเชิงกล ผลการทดสอบค่าการละลายน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่มีการผสมกับ PEG-DE จะละลายน้ำได้ถึง 40 % ส่วนที่มี PEG-DE จะไปปรับปรุงการต้านทานการละลายน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอิน เมื่อเติม PEG-DE 20% จะมีการละลายลดน้อยลง 3% ส่วนการตรวจสอบด้วย FTIR ซึ่งแสดงโครงสร้างโมเลกุลไหมไฟโบรอินพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีการผสม PEG-DE โดยมีพีค 949 และ 1103 ซึ่งเป็นพีคของ PEG และผลจาก XRD ของฟิล์มที่ไม่มี PEG-DEและที่มี PEG-DE ที่ 10, 20 และ 30% พบว่า มีโครงสร้างเป็น α-helix อันเนื่องมาจากผลึกของ A pernyi fibroin แสดงว่าการมี PEG-DE ในฟิล์มไหมไฟโบรอินจะไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของไหมไฟโบรอิน ส่วนผลการทดสอบเชิงกลนั้น ฟิล์มที่มีการผสมด้วย PEG-DE มากกว่า 25% จะเพิ่ม Tensile strength, Elongation at break และความยืดหยุ่น ผลของการผสมด้วย PEG-DE จะปรับปรุงสมบัติเชิงกลที่ดีนั้น ต้องเติม PEG-DE ในช่วง 15-20% แสดงว่า PEG-DE จะเกิดการเชื่อมโยงกับไหมไฟโบรอิน

R. Nazarov และคณะ [33] ได้ทำการศึกษาการเกิดรูพรุน 3 มิติจากกระบวนการ Freeze-drying, Salt leaching และ Gas foaming จากวัสดุไหมธรรมชาติ แล้วนำไปทำการทดสอบ SEM, FTIR, XRD สมบัติเชิงกล และความหนาแน่น ความพรุนตัวของ Scaffold ซึ่งผลมาจากการทดสอบจากวิธี Salt leaching จะมีรูพรุนอยู่ระหว่าง 84-98% ความแข็งแรงเชิงกล 175±3 KPa ส่วน Scaffold จากวิธี Gas foamed จะมีรูพรุน 87-97% ความแข็งแรงเชิงกล 280±4 KPa และ Scaffold จากวิธี Freeze-drying เตรียมที่อุณหภูมิแช่แข็ง (-80 และ -20 ^{o}C) และเตรียมที่ระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(15 และ 25%) รูพรุนของ scaffold จะสูงถึง 99% และความแข็งแรงเชิงกลที่มากสุดเป็น 30±2 KPa เมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดสอบพบว่า เทคนิค Salt leaching และ Gas foaming มีสมบัติการอัดตัวและการเกิดรูพรุนที่สัมพันธ์กับวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก รวมถึงความแข็งแรงเชิงกลที่สูง การเชื่อมต่อภายในรูพรุนดี และขนาดรูมากกว่า 10 microns ส่งผลให้สามารถใช้ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้วัสดุทางธรรมชาติ แต่ Scaffold จากวิธี Gas foaming จะมีสมบัติการอัดตัว การเกิดรูพรุน และการกระจายตัวของรูที่สม่ำเสมอกว่า ซึ่งสัมพันธ์ต่อวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูกมีการเชื่อมต่อภายในเซลล์สูง และอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้า

S.B. Lee และคณะ [34] ได้ทำการศึกษาการเตรียม scaffold จากของผสมระหว่าง β-ไคติน กับคอลลาเจนโดยนำไคตินมาละลายในสารละลาย LiCl-DMAc จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ ที่อัตราส่วน 100, 300, 500 และ 700 g/g (NaCl/β-chitin (ความเข้มข้นสารละลาย β-chitin 1%w/v)) แล้วนำมาขึ้นรูป scaffold ที่ได้นั้นนำมาละลายกับน้ำกลั่นเพื่อละลายเอาเกลือออก แล้วนำเจลไคตินไปแช่แข็งที่ -75 °C เสร็จแล้วนำไป freeze-dried ก็จะได้ β-chitin scaffold ต่อจากนั้นนำไปจุ่มในสารละลายคอลาเจน ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 wt% แล้วนำกลับไปแช่แข็งอีกครั้งที่ -75 °C ตามด้วย freeze-dried คอลาเจนจะเกิดภายในรูพรุนของไคติน scaffold เสร็จแล้วนำไป crosslink ด้วย UV ในแต่ละด้านของ scaffold แล้วนำไปทำการทดสอบ ผลของการทดสอบพบว่าถ้าความเป็นรูพรุนและการเชื่อมต่อภายในเพิ่มขึ้นนั้น จะเกี่ยวข้องกับจำนวนเกลือที่เติมภายในสารละลายไคติน โดยที่อัตราส่วนของเกลือ/สารละลายไคติน ที่ 500(C5) และ 700(C7) g/g จะมีรูปร่างผิวที่เหมาะสม เนื่องจากความเป็นรูพรุนที่สูง ทำให้เซลล์ส่งผ่านเข้าไปได้ลึกภายใน scaffold ฉะนั้นคือ ขนาดรูและความเป็นรูพรุนของไคติน scaffoldจะถูกปรับเปลี่ยนได้ โดยขนาดและอัตราน้ำหนักของอนุภาคโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ ส่วนในเรื่องการสัมผัสเซลล์ จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นต่ำ (0.1wt%) ของคอลาเจนจะเกิดเป็นเส้นใยคล้ายตาข่าย ซึ่งจะเหมาะสมต่อการสัมผัสเส้นใยขั้นเริ่มต้น นั้นคือโครงสร้างที่คล้ายตาข่ายจะเกิดที่ว่างสำหรับเซลล์ เพื่อเคลื่อนที่อย่างอิสระภายในไคติน scaffold และเส้นใยเนื้อเยื่อจะแพร่ได้ดีภายใน scaffold ในทางตรงกับข้าม ถ้าความเข้มข้นคอลาเจนสูงมากๆ เป็นเหตุให้โครงสร้างรูยุบลง เพราะความหนืดของคอลาเจนสูง ส่วนไคติน scaffold ที่ไม่มีคอลาเจนจะมีการสัมผัสเซลล์ที่น้อยมากเพราะมีการ Deacetylation ที่ต่ำและเซลล์ไม่ยอมรับ ส่วนในเรื่องสมบัติเชิงกล ในการใช้จำนวนเกลือมากๆจะต้องการสำหรับ ความเป็นรูพรุนและการเชื่อมต่อภายในรูที่สูงนั้น จะส่งผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของ scaffold จะทำให้ไม่แข็งแรงเพราะความหนาของผนัง scaffold ลดลง เนื่องจากปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น

Y. Liu และคณะ [35] ได้ทำการศึกษา การผสมฟิล์มจากไหมไฟโบรอิน (SF) กับไนลอน 66 ที่ละลายในกรด formic โดยวิธีการหล่อฟิล์ม และทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM, DSC และ XRD จากผลการทดสอบ อัตราการผสมของไหมไฟโบรอินและไนลอน 66 จะกระทบต่อผลึกหรือความเป็นผลึกขององค์ประกอบทั้ง 2 ที่ความเข้มข้นต่ำๆ คือ 10-30 wt% SF ความเป็นผลึกร่วมเพิ่มขึ้น แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปริมาณไหมไฟโบรอินเพิ่มขึ้นถึงระดับที่ 50 wt% SF จะมีการแยกเฟส แม้ว่าตำแหน่งของเฟสจะไม่ชัดเจน โครงสร้างทางเคมีของไหมไฟโบรอินและไนลอน 66 จะใช้ในการอธิบายความเป็นเนื้อเดียวกันของฟิล์มผสม คือก่อนการเตรียมฟิล์มผสม โครงสร้างของไหมไฟโบร อินบริสุทธิ์อยู่ในรูป Amorphous ส่วนไนลอน 66 บริสุทธิ์จะอยู่ในรูป Semicrystalline เมื่อในฟิล์มผสมมีไนลอน 66 เพิ่มขึ้น จะไปเหนี่ยวนำไหมไฟโบรอินเพื่อเป็นผลึกร่วม และถ้าไหมไฟโบรอินเพิ่มขึ้นในฟิล์มผสมซึ่งจะไปขัดขวางความเป็นผลึกของไนลอน 66 เพราะความแข็งแรงของปฏิกิริยาระหว่างกันเมื่ออัตราของ ไหมไฟโบรอิน/ไนลอน 66 เป็น 1:1 ทั้งไนลอน 66 และไหมไฟโบรอิน จะไม่เด่นมากไปกว่ากัน จึงทำให้เกิดการแยกเฟส

U-J Kim และคณะ [36] ได้ทำการศึกษา กระบวนการเตรียม scaffold จากสารละลายไหมไฟโบรอินที่ความเข้มข้นต่างๆ และจากวิธีไหมไฟโบรอินที่ละลายใน HFIP ที่ความเข้มข้น 8wt% ของไหมไฟโบรอิน และใช้ NaCl เป็นโพรอเจนในการเกิดรูพรุน ทำการทดสอบ scaffold จากวิธีสารละลายไหมไฟโบรอิน เปรียบเทียบความเข้มข้นของไหมไฟโบรอินและขนาดรูพรุนของ NaCl พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไหมไฟโบรอินและลดปริมาณของ NaCl จะทำให้การบวมตัว ความพรุนตัวและสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดรูที่ลดลงและการกระจายตัวของเมตริกซ์ไหมไฟโบรอินที่สม่ำเสมอ ส่วนในเรื่องการเสื่อมสภาพด้วยเอ็นไซม์ proteases ที่ความเข้มข้น 1U และ 20U เป็นเวลา 21 วัน ผลที่ได้คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายไหมไฟโบรอิน 4 wt% จะเสื่อมสภาพเร็วกว่าที่ความเข้มข้น 6 และ 8 wt% ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีไหมไฟโบรอินที่ละลายใน HFIP ที่ความเข้มข้นเดียวกัน 8 wt% พบว่าวิธีสารละลายไหมไฟโบรอินจะเสื่อมสภาพเร็วกว่าวิธีที่ละลายกับ HFIP เนื่องจากลักษณะผิวที่รูพรุนจะขรุขระ ซึ่งจะไปเร่งการเสื่อมสภาพของเอ็นไซม์ proteases

A. Hokugo และคณะ [37] ได้ทำการศึกษา การเตรียม scaffold จากไฟโบรอินผสม Poly (glycolic acid)(PGA) และไม่มี PGA โดยวิธีการ freeze-drying ใช้ปริมาณของ PGA 0, 1.5, 3.0 และ 6.0 mg ของน้ำหนักไฟโบรอิน จากนั้นนำไปทดสอบด้วย SEM, สมบัติเชิงกล, วัดการหดตัว และการเพาะปลูกเซลล์ ผลจาก SEM พบว่า scaffold ทุกๆตัวอย่างจะมีรูพรุนเฉลี่ย 30 μm ซึ่งจะมีรูภายในคล้ายๆกันทุกตัวอย่าง ส่วนผลจากการกดอัด scaffold ที่มี PGA อยู่ ที่น้ำหนัก 3.0 และ 6.0 mg จะมีความแข็งแรงการกดอัดเพิ่มขึ้นตามน้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์การหดตัวของ scaffold นั้นมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับ scaffold ที่ไม่มี PGA อยู่ ด้านการเพาะเซลล์นั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่อมี PGA อยู่ เทียบกับ scaffold ที่ไม่มี PGA เพราะ PGA จะขัดขวางการหดตัวของฟองน้ำ ทำให้มีปริมาตรที่ว่างซึ่งมีการแทรกซึมและแพร่ของเซลล์มากขึ้น แต่ถ้าจำนวน PGA ใน scaffold ที่ปริมาณ 6.0 mg จะทำให้การแพร่ของเซลล์ลดลง ฉะนั้นจำนวน PGA ที่ 3.0 mg จะดีที่สุด ถ้า PGA ที่มีอยู่ใน scaffold มากเกินไป จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S. Jin Park และคณะ [38] ฟิล์มผสมไหมไฟโบรอินและไคโตซาน ถูกเตรียมโดยวิธีการเทตัวทำละลาย การรวมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างไหมไฟโบรอินและไคโตซานถูกตรวจสอบโดย (Dynamic mechanical thermal analysis, DMTA) เมื่อเติมไคโตซานโครงสร้างของไหมไฟโบรอินเปลี่ยนไปตรวจสอบโดย IR spectroscopy รูปร่างที่เปลี่ยนแปลงของไหมไฟโบรอินจาก random coil ไปเป็นโครงสร้าง β-sheet ถูกเหนี่ยวนำโดยการผสมกับไคโตซานเป็นผลให้ผลึกและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นของฟิล์มผสม ฟิล์มผสมที่มีไคโตซาน 30% โดยน้ำหนักแสดงความเป็นผลึกและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งจะทำให้ tensile strength และ tensile modulus ของฟิล์มผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของไคโตซาน และค่าสูงสุดที่มีไคโตซานผสมคือ 30% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

สารเคมี

- รังไหมเหลืองด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี
- สารละลายกลูตาราลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) เข้มข้น 25% ของบริษัท Merck
- ไกลเซอร์ราลดีไฮด์ (DL-Glyceraldehyde Dimer) ของบริษัท Fluka , Purum $\geq$ 97.0%
- อะซิโตน (Acetone) ของบริษัท Fisher Scientific
- น้ำกลั่น
- สบู่
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate (Na_2CO_3)) ของบริษัท APS Finechem
- แคลเซียมคลอไรด์-2-ไฮเดรต (Calcium chloride 2-hydrate ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)) ของบริษัท Carlo
- 1,1,1,3,3,3-เฮกซะฟลูออโร-2-โพรพานอล (1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-propanol (HFIP)) ($C_3H_2F_6O$)ของบริษัท Fluka , Puriss >99.0% bp. 57-60 $^{\circ}C$
- โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride (NaCl)) ของบริษัท Carlo
- แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride (NH_4Cl)) ของบริษัท Fluka
- แอมโมเนียมอะซิเตรท (Ammonium acetate (CH_3COONH_4)) ของบริษัท BDH
- แอมโมเนียมโมลิบเดต-4-ไฮเดรต (Ammonium molybdate 4-hydrate ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$)) ของบริษัท Baker Analyzed
- แอมโมเนียมออกซาเลตมอนอไฮเดรต (Ammonium oxatate Monohydrate ($NH_4OCOCOONH_4 \cdot H_2O$)) ของบริษัท Baker Analyzed
- แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (Ammonium fluoride (NH_4F)) ของบริษัท BDH
- เมทานอล (Methanol (CH_3OH)) ของบริษัท Fisher Scientific UK Limited
- ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide (H_2O_2))
- เอทานอล (Ethanol (C_2H_5OH)) ของบริษัท Marck
- โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate ($NaHCO_3$)) บริษัท Carlo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

- บีกเกอร์
- กระบวกตวง
- แท่งแก้วคน
- ปากคีบ
- จานเพาะเชื้อ
- ถาดพอลิพอพิลีน
- แผ่นอะลูมิเนียมฟลอยด์
- กระดาษกรองเบอร์ 1
- กระบอกน้ำกลั่น
- ช้อนตักสาร
- กรรไกร
- ถาดอะลูมิเนียม
- หลอดทดลอง
- พาราฟิน
- กระดาษวัด pH
- ตะแกรงวัดการบวมตัว
- ไมโครปิเปต
- Regenerated cellulose SnakeSkin™ Pleated Dialysis Tubing ของบริษัท Pierce MWCO 3,500

เครื่องมือที่ใช้

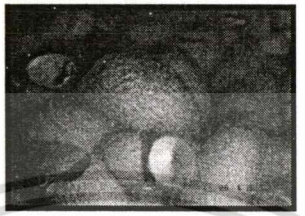
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ของบริษัท Scientific promotion ยี่ห้อ Sartorius
- เครื่องทำความเย็น (Freezer) ที่ -81 องศาเซลเซียส ของบริษัท GES รุ่น PLC-1055
- ตู้อบ
- แท่นให้ความร้อน
- ตู้เย็นธรรมดา
- เครื่อง Auto clave (หม้อนึ่งอัดไอ) รุ่น Hirayama Model HA-300MII
- เครื่อง Freeze dryer
- เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล LLOYD (Universal testing machine) รุ่น LR 5K; LLOYD
- เครื่องเทอร์มัลกราวิมิเตอร์ (TGA): รุ่น Pyris 1 TGA Perkin Elmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟูเรียนทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกสโกปี (Fourier Transform spectroscopy, FTIR): รุ่น FTIR Spectrum GX Perkin Elmer
- กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM): LEO รุ่น 1455VP
- กล้องจุลทรรศน์และไมโครสเกล : รุ่น Optiphoto-pol Nikon
- pH มิเตอร์ ของบริษัท Chatcharee ยี่ห้อ Consort

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผนภาพแสดงการทดลอง



รังไหม จากอำเภอด่านช้าง

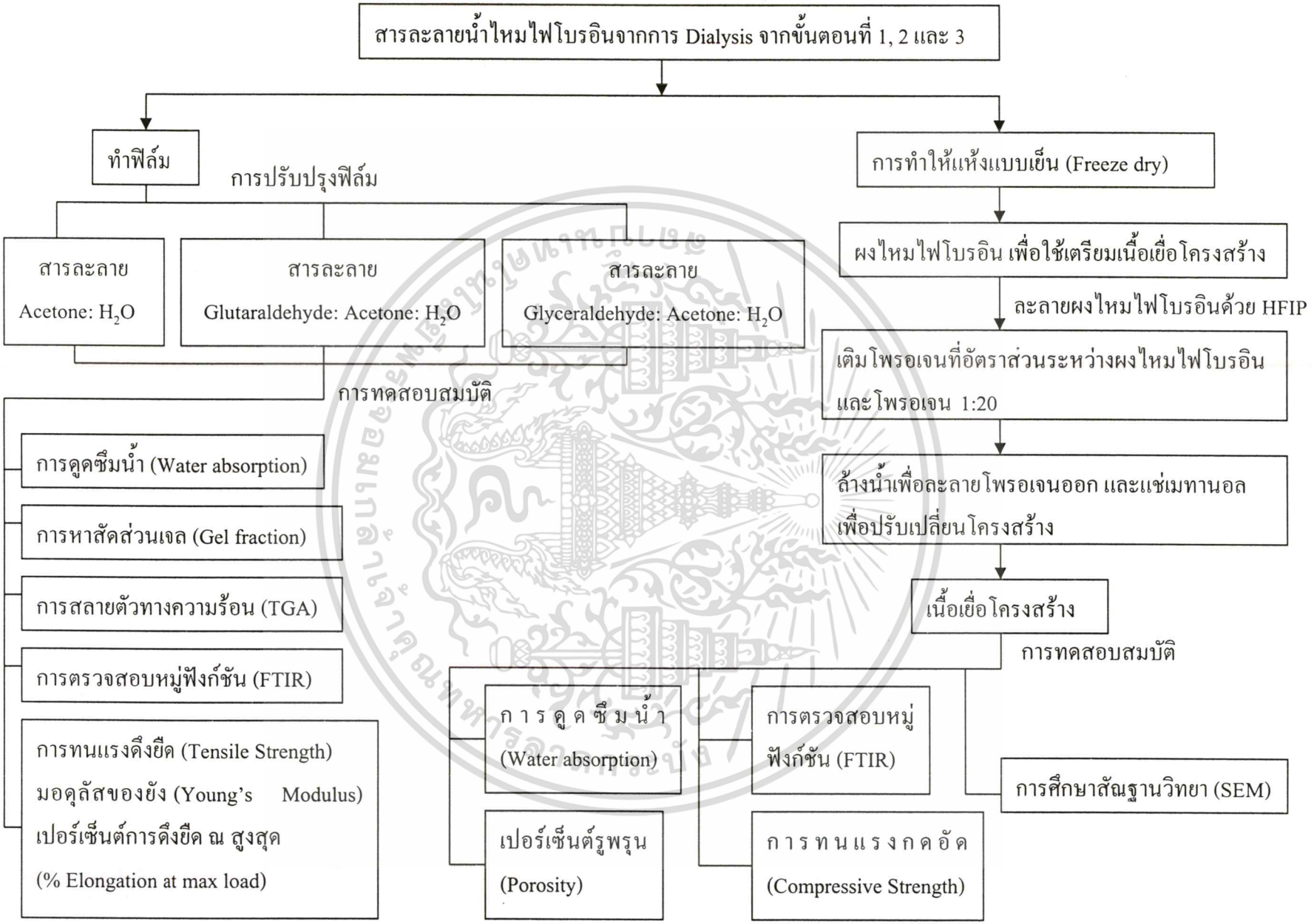
นำรังไหม มาลอกกาวด้วยน้ำร้อน โดยใช้เครื่อง Autoclave ที่ 121 °C เป็นเวลา 60 นาที เพื่อแยกสารละลายเซริซินออก ได้เส้นไหมไฟโบรอิน

1. นำเส้นไหมไฟโบรอินดังกล่าว มาลอกกาวด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

2. นำเส้นไหมไฟโบรอินดังกล่าว มาฟอกขาว โดยการแช่ด้วยเมทานอล และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

3. นำเส้นไหมไฟโบรอิน มาลอกกาวด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

นำเส้นไหมไฟโบรอินในแต่กระบวนการ มา Dialysis ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 3 วัน จะได้สารละลายน้ำไหมไฟโบรอิน


สารละลายน้ำไหมไฟโบรอินจากการ Dialysis จากขั้นตอนที่ 1, 2 และ 3
ทำฟิล์ม
การปรับปรุงฟิล์ม
สารละลาย Acetone: H_2O
สารละลาย Glutaraldehyde: Acetone: H_2O
สารละลาย Glyceraldehyde: Acetone: H_2O
การทดสอบสมบัติ
การดูดซึมน้ำ (Water absorption)
การหาสัดส่วนเจล (Gel fraction)
การสลายตัวทางความร้อน (TGA)
การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน (FTIR)
การทนแรงดึงยืด (Tensile Strength)
มอดุลัสของยัง (Young's Modulus)
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ สูงสุด
(% Elongation at max load)
การทำให้แห้งแบบเย็น (Freeze dry)
ผงไหมไฟโบรอิน เพื่อใช้เตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง
ละลายผงไหมไฟโบรอินด้วย HFIP
เติมโพรอเจนที่อัตราส่วนระหว่างผงไหมไฟโบรอิน และโพรอเจน 1:20
ล้างน้ำเพื่อละลายโพรอเจนออก และแช่เมทานอล เพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้าง
เนื้อเยื่อโครงสร้าง
การทดสอบสมบัติ
การดูดซึมน้ำ (Water absorption)
การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน (FTIR)
การศึกษาสัณฐานวิทยา (SEM)
เปอร์เซ็นต์รูพรุน (Porosity)
การทนแรงกดอัด (Compressive Strength)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 กระบวนการที่ใช้ในการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอิน

ตารางที่ 3.1 กระบวนการที่ใช้ในการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอิน

แบบ	วิธีการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอิน
1.	เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต
2.	เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์
3.	เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

เส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการต่างๆเหล่านี้ นำไปตรวจสอบ ลักษณะทางกายภาพ ตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องแบบส่องกวาด (SEM) ตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเส้นไหมไฟโบรอินด้วย (FTIR) สมบัติทางความร้อนด้วย (TGA)

หลังจากนั้น เลือกเฉพาะเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการต่างๆ มาทำการศึกษา โดยนำเส้นไหมไฟโบรอินไปทำการ Dialysis ต่อไป

กระบวนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอินด้วยเครื่อง Autoclave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 3-4 ครั้ง

ใส่ไปในขวด PP พร้อมทั้งเติมน้ำกลั่น 300 ml

Autoclave ที่ 121 °C เป็นเวลา 60 นาที

กรองแยกไฟโบรอิน และเซริซินออก

เส้นใยไฟโบรอิน

สารละลายสีเหลือง (เซริซิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแช่เส้นไหมไฟโบรอินด้วยเมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

ไม่ฟอกขาว

ฟอกขาว

นำไหมไฟโบรอินแช่ด้วย Methanol ให้ท่วม ทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อละลายสีเหลืองออก

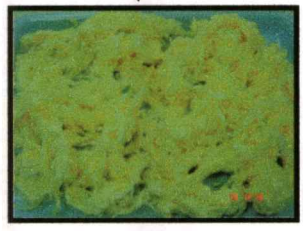
กรองและล้างเส้นไหมด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาแช่ใน H_2O_2 2 คืน กรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

ไหมไฟโบรอินฟอกขาว

กระบวนการเตรียมลอกกาวเส้นไหมไฟโบรอินด้วยสบู่และด่าง

ชั่งสบู่มา 2.25 กรัม และ Na_2CO_3 1.59 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 ml ที่อุณหภูมิ 80-90°C พร้อมทั้งกวนตลอดเวลาเพื่อช่วยในการละลาย

นำไหมไฟโบรอิน 20-30 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์เพื่อทำการลอกกาว พร้อมทั้งกวน ทิ้งไว้ 1 ชม.



กรองและล้างด้วยน้ำร้อน 2-3 ครั้ง ตามด้วยน้ำกลั่น 3-4 ครั้ง จนน้ำล้างมีสภาวะเป็นกลาง แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

ไหมฟอกขาวหลังจากลอก

ไหมไม่ฟอกขาวหลังลอกกาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ Dilaysis โดยนำเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการต่างๆ มาทำการ Dilaysis

ชั่งไหมไฟโบรอินไม่ฟอกขาวมา 10 กรัม ละลายด้วยสารละลาย 100 ml $CaCl_2$($CaCl_2$ 73 g, Ethanol 47 ml, Deionized water 54 ml) ที่อุณหภูมิประมาณ 80-90°C พร้อมกับกวนตลอดเวลา

ทำ Dialysis โดยนำสารละลายไหมไฟโบรอิน เทใส่ถุง regenerated cellulose แล้วนำไปลอยในน้ำกลั่นพร้อมกับกวนตลอดเวลา ใช้เวลา 3 วัน โดยวันแรกต้องเปลี่ยนน้ำทุกๆ 1 ชม. เป็นจำนวน 5-6 ครั้ง วันที่ 2 และ 3 เปลี่ยนน้ำวันละ 2 ครั้ง ทุกวัน เช้า-เย็น

เมื่อครบกำหนดเวลาก็นำสารละลายไหมในถุง cellulose เทรวมกันในบีกเกอร์แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อกรองเอาสิ่งสกปรกออก เก็บสารละลายไหมไฟโบรอินในตู้เย็น เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

ขึ้นรูปฟิล์ม

ขึ้นรูป Scaffold

หมายเหตุ เส้นไหมไฟโบรอินที่ฟอกขาวทำเช่นเดียวกันกับไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ฟอกขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 1 การทำฟิล์มจากสารละลายเส้นไหมไฟโบรอินหลังการ Dialysis

1. การเตรียมฟิล์ม

1.1 ตวงสารละลายน้ำไหมไฟโบรอินจากการ Dialysis ซึ่งมีความเข้มข้น 66.67% เทลงในถาดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 ซม. และมีความหนาอยู่ในช่วง 30-70 ไมโครเมตร แล้วปล่อยให้ระเหยแห้งที่อุณหภูมิห้อง ทิ้งไว้จนเป็นฟิล์ม ลอกฟิล์มออก

1.2 นำฟิล์มดังกล่าวมาปรับปรุงฟิล์ม ดังตาราง

ตารางที่ 3.2 ตารางการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมต่างๆ

สารละลายที่ใช้ในการปรับปรุงฟิล์ม	จำนวนชั่วโมงในการแช่ฟิล์ม			
1. Acetone 60 ml : H_2O 30 ml	1	3	6	24
2. Acetone 60 ml : H_2O 30 ml :Glyceraldehyde 0.5 g	1	3	6	24
3. Acetone 60 ml : H_2O 30 ml :Glutaraldehyde 2 ml (เข้มข้น 25%)	1	3	6	24

แล้วนำฟิล์มที่ผ่านการปรับปรุงไปทำการทดสอบสมบัติของฟิล์ม

2. สมบัติทางกายภาพ

2.1 ทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของฟิล์ม

2.1.1 ตัดตัวอย่างที่เตรียมได้ ให้มีขนาด 1×1 นิ้ว และตัดตะแกรงลวดให้มีขนาดประมาณ 1.5×1.5 นิ้ว พับให้เป็นถุงที่สามารถใส่ฟิล์มได้

2.1.2 ชั่งน้ำหนักของถุงตะแกรงลวดเปล่า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกผล

2.1.3 นำถุงตะแกรงลวดที่มีฟิล์มหรือ scaffold แช่ในน้ำกลั่นที่สภาวะควบคุมเป็นเวลา 0 1 2 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ

2.1.4 เมื่อครบกำหนดในแต่ละชั่วโมง นำถุงขึ้นมาซับให้แห้งและนำไปชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกผล

2.1.5 นำผลการทดลองที่ได้ในแต่ละชั่วโมง มาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

โดย น้ำหนักฟิล์ม = น้ำหนักถุงที่มีแผ่นฟิล์มหรือ scaffold บรรจุ – น้ำหนักถุงเปล่า

$$\% \text{ Water absorption} = \frac{(\text{น้ำหนักฟิล์มหรือscaffold ที่ดูดซึมน้ำ} - \text{น้ำหนักฟิล์มแห้งหรือ scaffold แห้ง})}{\text{น้ำหนักแผ่นฟิล์มแห้งหรือ scaffold แห้ง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การหาค่าสัดส่วนเจล (Gel fraction) ของฟิล์ม

2.2.1 ตัดแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้ ให้มีขนาด 1×1 นิ้ว และตัดตะแกรงลวดให้มีขนาดประมาณ 1.5×1.5 นิ้ว พับให้เป็นถุงที่สามารถใส่ฟิล์มได้

2.2.2 ชั่งน้ำหนักของถุงตะแกรงลวดเปล่า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกผล และนำฟิล์มใส่ในถุง นำไปชั่งหาน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกผล

2.2.3 นำถุงที่บรรจุฟิล์ม ต้มในน้ำร้อนในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เป็นเวลา 6 ชม.

2.2.4 เมื่อครบกำหนดเวลา นำสารละลายในบีกเกอร์รวมทั้งถุงตะแกรงลวดไปกรองลดความดัน (ก่อนทำการกรอง ต้องชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อน)

2.2.5 นำสิ่งที่เหลือบนกระดาษกรอง รวมทั้งถุงตะแกรงลวด ไปอบในตู้อบสุญญากาศจนได้น้ำหนักคงที่

2.2.6 นำผลการทดลองที่ได้ในแต่ละชั่วโมง มาคำนวณหาค่าสัดส่วนเจล (Gel fraction)

ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของฟิล์มที่เหลือ (Gel)

โดย น้ำหนักของฟิล์มที่เหลือ (Gel) = น้ำหนักสิ่งที่เหลือบนกระดาษกรอง – น้ำหนักถุงเปล่า – น้ำหนักกระดาษกรอง

$$\% \text{ Gel Fraction} = \frac{\text{น้ำหนักของ Gel ที่เหลือ} \times 100}{\text{น้ำหนักของฟิล์มเริ่มต้น}}$$

3. การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยไหมไฟโบรอินโดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

1. นำฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงและฟิล์มไหมที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง ตัดชิ้นงานมีขนาด 1×1 นิ้ว
2. นำแผ่นฟิล์มไหมดังกล่าวไปใส่ในตัวยึดเซลล์ในเครื่องและทำการวัด
3. บันทึกเส้นสเปกตรัมที่ได้และนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ

หมายเหตุ ทำการทดสอบเช่นเดียวกันนี้ กับเส้นไหมไฟโบรอินหรือผงไหมไฟโบรอิน

4. สมบัติทางความร้อนใช้หลักการวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermalgravimetric Analysis : TGA)

4.1 ชั่งชิ้นงานตัวอย่างจากการเตรียม ลงบน Pt Plate ประมาณ 10 mg (1mg = 20 mV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งสภาวะของเครื่องดังนี้
Initial temperature 50°C
Maximum temperature 900°C
Isothermal 1
Heating rate =10°C/min

4.2 ทำการทดสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวของชิ้นงานตัวอย่าง

5. ทดสอบความทนแรงดึงยืด (Tensile strength) ของฟิล์มไหมไฟโบรอิน เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ สูงสุด (% Elongation at max load) และมอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine) ทำการทดสอบฟิล์มใน 2 ลักษณะ [38]

5.1 ไม่แช่น้ำก่อนทำการทดสอบ

5.1.1 ตัดแผ่นฟิล์มให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีขนาดความกว้าง 10 มม. และความยาว 40 มม. ซึ่งมีการทำการปรับปรุงฟิล์มเรียบร้อยแล้ว มาวัดความกว้างและความหนาของชิ้นงาน 5 ชิ้นงานต่อ 1 สูตร

5.1.2 ตั้งค่าของเครื่องทดสอบใช้ Load cell 100 N และตั้งสภาวะของเครื่องโดยใช้อัตราเร็วในการดึง (Crosshead Speed) 1 มม./นาที และกำหนดช่วงในการหาค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ที่ช่วงความเครียดระหว่าง (Strain) 0.5% และ 1%

5.1.3 ทำการทดสอบและบันทึกผล

5.2 แช่น้ำก่อนทำการทดสอบเป็นเวลา 10 นาที (ตามสภาวะที่จะนำไปใช้งานจริง)

5.2.1 ตัดแผ่นฟิล์มให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีขนาดความกว้าง 10 มม. และความยาว 40 มม. ซึ่งมีการทำการปรับปรุงฟิล์มเรียบร้อยแล้ว มาวัดความกว้างและความหนาของชิ้นงาน 5 ชิ้นงานต่อ 1 สูตร

5.2.2 ตั้งค่าของเครื่องทดสอบใช้ Load cell 100 N และตั้งสภาวะของเครื่องโดยใช้อัตราเร็วในการดึง (Crosshead Speed)10 มม./นาที และกำหนดช่วงในการหาค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ที่ช่วงความเครียดระหว่าง (Strain) 1% และ 2%

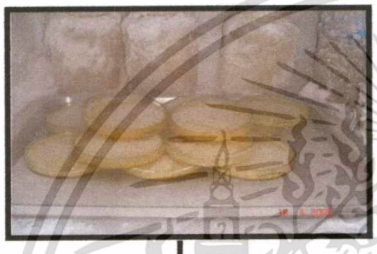
5.2.3 ทำการทดสอบและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

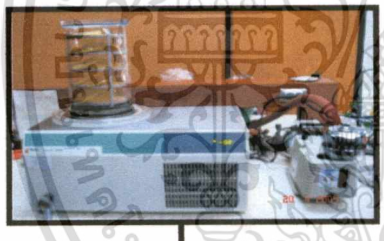
ตอนที่ 2 การเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) จากผงไหมไฟโบรอินที่ผ่านการทำแห้งแบบเย็น

1. ขั้นตอนการเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง (scaffold)

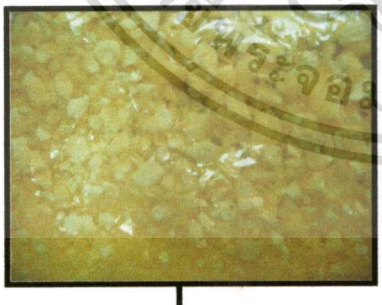
สาระลายไหมไฟโบรอินหลังการ Dialysis และเก็บในตู้เย็น



เทสารละลายไหมไฟโบรอินในจานเพาะเชื้อเพื่อนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 °C เป็นเวลาประมาณ 2 ชม.



หลังจากนั้น ทำให้แห้งแบบเย็น โดยนำไประเหยน้ำด้วยเครื่อง Freeze-dried



ผงไหมไฟโบรอิน หลังการระเหยน้ำด้วยเครื่อง Freeze-dried

ชั่งผงไหมไฟโบรอินมา 0.34 กรัม ละลายด้วย 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-propanol (HFIP) 2 ml และปิดภาชนะเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลาย HFIP ระเหยจนละลายไหมอย่างสมบูรณ์ ปล่อยทิ้งไว้ 1คืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผงไหมไฟโบรอินละลายหมดแล้ว ให้เติมเกลือชนิดต่างๆ ปริมาณ 20 เท่าของน้ำหนักไหมไฟโบรอิน พร้อมทั้งปิดภาชนะเพื่อให้เกลือแทรกซึมทั่วทั้งสารละลาย จากนั้นเปิดภาชนะทิ้งไว้ประมาณ 2-3 วันเพื่อให้ HFIP ระเหยหมด

นำ scaffold ที่ได้ออกจากโมล (ในที่นี้คือหลอดทดลอง) จากนั้นนำ scaffold ไปแช่ในน้ำกลั่นเพื่อละลายเกลือออก ซึ่งเกลือแต่ละชนิดจะละลายน้ำเป็นเวลาแตกต่างกัน ทำให้ scaffold เกิดรูพรุน *

↓

หลังจากนั้นนำไปแช่เมทานอล ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างของไหมที่ใช้ทำ scaffold

↓

เมื่อได้ scaffold แล้วนำมาทดสอบ สมบัติทางกายภาพ ทดสอบสมบัติเชิงกลและตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* หมายเหตุ เกลือที่ใช้และเวลาในการละลายเกลือออกจาก scaffold ของเกลือแต่ละชนิด

1.เกลือ Sodium Chloride ใช้เวลาในการละลายน้ำ 2 วัน

2.เกลือ Ammonium Oxalate ใช้เวลาในการละลายน้ำ 5 วัน

3. เกลือ Ammonium Molybdate ใช้เวลาในการละลายน้ำ 3 วัน

4. เกลือ Ammonium Chloride ใช้เวลาในการละลายน้ำ 3 วัน

5. เกลือ Ammonium Acetate ใช้เวลาในการละลายน้ำ 4 วัน

6. เกลือ Ammonium Fluoride ใช้เวลาในการละลายน้ำ 4 วัน

ไหมไฟโบรอินที่ฟอกขาวทำเช่นเดียวกันกับไหมไฟโบรอินที่ไม่ฟอกขาว

แล้วนำเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแต่ละชนิดมาทำการทดสอบสมบัติ

1. การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด

ศึกษาลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของ scaffold ที่เกิดจากเกลือแต่ละชนิด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 350X และ 50X ก่อนนำ scaffold ไปทำการวิเคราะห์จะต้องนำ scaffold ไปทำการเคลือบด้วยทองเพื่อป้องกันการเกิดประจุสะสมบนผิว scaffold

2. สมบัติทางกายภาพ

2.1 การหาความเป็นรูพรุนของ scaffold [33]

2.1.1 ชั่ง scaffold มาเป็นน้ำหนักแห้งของ scaffold (W)

2.1.2 วัดปริมาตรของเฮกเซนเริ่มต้นในขวดวัดปริมาตร (V_1)

2.1.3 นำ scaffold จากข้อ 1 ที่ทราบน้ำหนักแล้ว จุ่มในเฮกเซนแล้ววัดปริมาตรรวม (V_2)

2.1.4 แช่ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วค่อยเอา scaffold ออกจากเฮกเซน วัดปริมาตรที่เหลือของเฮกเซน (V_3)

โดยที่

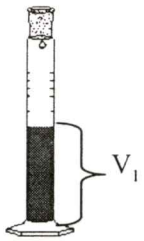
ปริมาตรของ Scaffold $= V_2 - V_3$

ปริมาตรของเฮกเซนภายใน Scaffold $= V_1 - V_3$

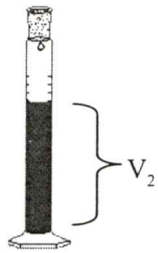
$\therefore$ ปริมาตรรวมของ Scaffold (V) $= (V_2-V_1) + (V_1-V_3) = V_2-V_3$

$\therefore$ รูพรุนของ Scaffold % (ε) $= (V_1-V_3) / (V_2-V_3) \times 100$

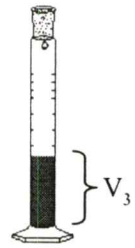
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วัดปริมาตรเฮกเซน



นำ scaffold จุ่มในเฮกเซน ทิ้งไว้ 5 นาที



นำ scaffold ออก

2.2 ทดสอบการดูดซึมน้ำ (% Water absorption) ของ Scaffold ใช้วิธีการทดสอบแบบเดียวกับของการทดสอบฟิล์ม

3. การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของเนื้อเยื่อโครงสร้างโดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

1. นำเนื้อเยื่อโครงสร้างบดให้เป็นผงกับ KBr แล้วใส่ลงใน Al crucible ประมาณ 10-15 มก.

2. นำ crucible เข้าเครื่องอัดให้เป็น Pellet

3. นำ crucible ที่ได้ใส่ในตัวยึดเซลล์ในเครื่องและทำการวัด

4. บันทึกเส้นสเปกตรัมที่ได้และนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ

4. การทดสอบเชิงกล

4.1 ทดสอบความแข็งแรงของ Scaffold โดยวัดแรงการกดอัด (Compressive strength) และมอดุลัสของการกดอัด (Compressive Modulus) ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine) ASTM F451-95

4.1.1 ตัดชิ้นงาน scaffold ทรงกระบอกให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ม.ม.และความหนา 7 ม.ม. ทำเช่นเดียวกันนี้กับ scaffold ที่เตรียมได้จากเกลือแต่ละชนิด

4.1.2 ตั้งค่าของเครื่องทดสอบ ใช้ Load cell 100 N และตั้งสภาวะของเครื่องโดยใช้อัตราเร็วในการกดอัด (crosshead Speed) 2 มม./นาที และกำหนดช่วงความเครียด (strain) 1% ในการหาค่ามอดุลัสของการกดอัด

4.1.3 ทำการทดสอบและบันทึกผล

การคำนวณ

ความแข็งแรงจากการกดอัด (Compressive Strength) $= \frac{\text{น้ำหนักสูงสุดที่ใช้กด (N)}}{\text{พื้นที่ตัดขวางที่น้อยที่สุด } (m^2)}$

มอดูลัสของการกดอัด (Compressive modulus) $= \frac{\text{Change in stress } (N/m^2)}{\text{Change in strain } (m/m)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

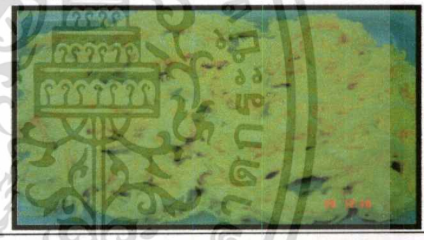
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์เส้นไหมไฟโบรอินจากกระบวนการเตรียมเส้นไหมวิธีต่างๆ

นำรังไหมจากอำเภอ ด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ผ่านกระบวนการต่างๆในแต่ละขั้นตอน ให้ลักษณะทางกายภาพของเส้นไหมดังนี้

ตารางที่ 4.1 ภาพแสดงลักษณะกายภาพของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการต่างๆ

กระบวนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอิน	ลักษณะเส้นไหมไฟโบรอินที่ได้
1. เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง	
2. เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต	
3. เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล	
4. เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	
5. เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต	

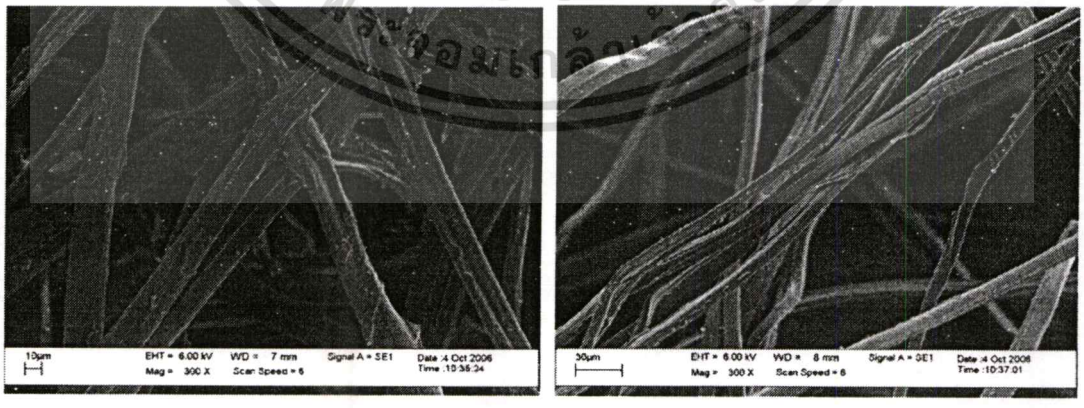
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอิน เริ่มจากการนำรังไหมจาก อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี มาต้มด้วยน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดกาวเซริซินออกจากเส้นไหมไฟโบรอินสามารถกำจัดกาวเซริซินออกได้ 30.47 % และจากขั้นตอนนี้ สามารถนำสารละลายกาวเซรินมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นต่อไปได้เนื่องจากใช้น้ำร้อนในการลอกกาวจึงไม่ทำลายกาวเซริซิน เส้นไหมไฟโบรอินที่ได้เป็นสีเหลืองค่อนข้างเข้ม และมีความกระด้าง จากนั้นแบ่งเส้นไหมไฟโบร อินเป็น 2 ส่วน คือส่วนหนึ่งนำไปลอกกาวอีกครั้ง โดยการล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต ในขั้นตอนนี้ สามารถลอกกาวเซริซินออกจากเส้นไหมไฟโบรอินได้ 2.99 % และได้เส้นไหมไฟโบร อินที่มีสีเหลืองอ่อนและมีความนิ่ม

เส้นไหมไฟโบรอินอีกส่วนหนึ่งไปแช่เมทานอล 1 วัน เพื่อกำจัดสีเหลืองของเส้นไหม จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง แล้วผึ่งให้แห้ง ต่อจากนั้นนำเส้นไหมไฟโบรอินไปแช่ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 2 คืน เพื่อฟอกขาวเส้นไหมไฟโบรอิน ก็จะได้เส้นไหมไฟโบรอินที่มีสีขาวแต่มีผิวที่หยาบกระด้าง จากนั้นนำเส้นไหมไฟโบรอินดังกล่าวไปล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง ผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปผ่านขั้นลอกกาวอีกครั้งโดยการล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต ได้เส้นไหมไฟโบรอินที่มีสีขาวออกเหลืองและนิ่มขึ้น จากนั้นนำเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการต่างๆ ไปทำการทดสอบ

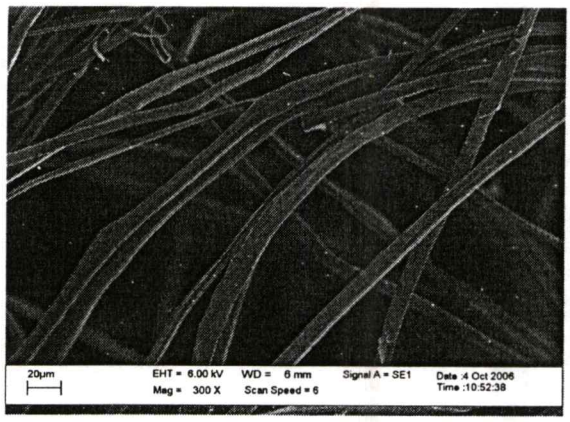
4.1.1 ผลการตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscopes, SEM) ของเส้นไหมไฟโบรอิน

ทำการตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นไหมไฟโบรอินด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดที่กำลังขยาย 300 เท่า เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวในแต่ละขั้นตอนที่ผ่านมา มีลักษณะต่างๆ ดังนี้ รูปที่ 4.1

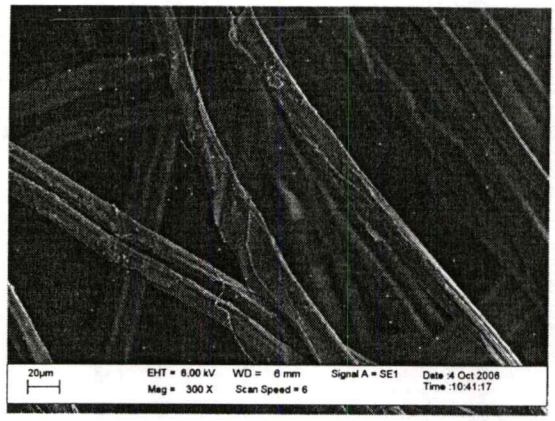


(ก) (ข)

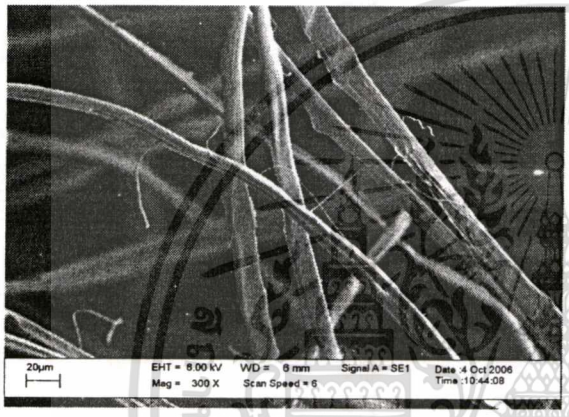
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



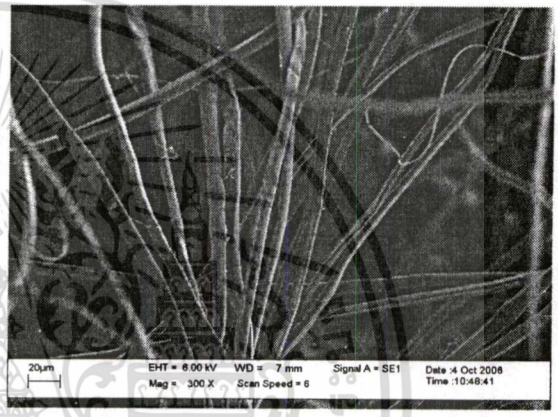
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.1 แสดงรูปของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด

(ก) เส้นไหมที่ได้จากรังไหม อำเภอด่านช้าง

(ข) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง

(ค) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และ โซเดียมคาร์บอเนต

(ง) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล

(จ) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

(ฉ) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และ โซเดียมคาร์บอเนต

จากรูปที่ 4.1 (ก) จะเห็นว่าพื้นผิวของเส้นไหมรังไหมไม่เรียบ เนื่องจากมีกาวเซริซิน เกาะอยู่ตามเส้นไหมไฟโบรอิน ส่วนรูปที่ 4.1 (ข) นำรังไหมไปต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง จะเห็นว่า พื้นผิวของเส้นไหมไฟโบรอินค่อนข้างเรียบมากกว่ารังไหม แต่ผิวของเส้นไหมไฟโบรอินยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เรียบสม่ำเสมอเนื่องจากมีกาวเซริซินอยู่บ้าง แต่เมื่อนำเส้นไหมไฟโบรอินดังกล่าวไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต ทำให้เส้นไหมไฟโบรอินมีพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอมากขึ้น ดังรูปที่ 4.1 (ค) ส่วนรูปที่ 4.1 (ง) นั้น นำเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล ลักษณะพื้นผิวคล้ายกับรูปที่ 4.1 (ข) คือ ผิวของเส้นไหมไฟโบรอินไม่เรียบและขนาดของเส้นไหมมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย ถ้านำเส้นไหมไฟโบรอินดังกล่าวไปแช่ด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จะทำให้เส้นไหมไฟโบรอินขาดเป็นเส้นๆ ดังรูปที่ 4.1 (จ) ถ้านำเส้นไหมไฟโบรอินดังกล่าวไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต ลักษณะเส้นไหมไฟโบรอินไม่เปลี่ยนแปลง แต่เส้นไหมจะเรียบสม่ำเสมอมากขึ้น ดังรูปที่ 4.1 (ฉ)

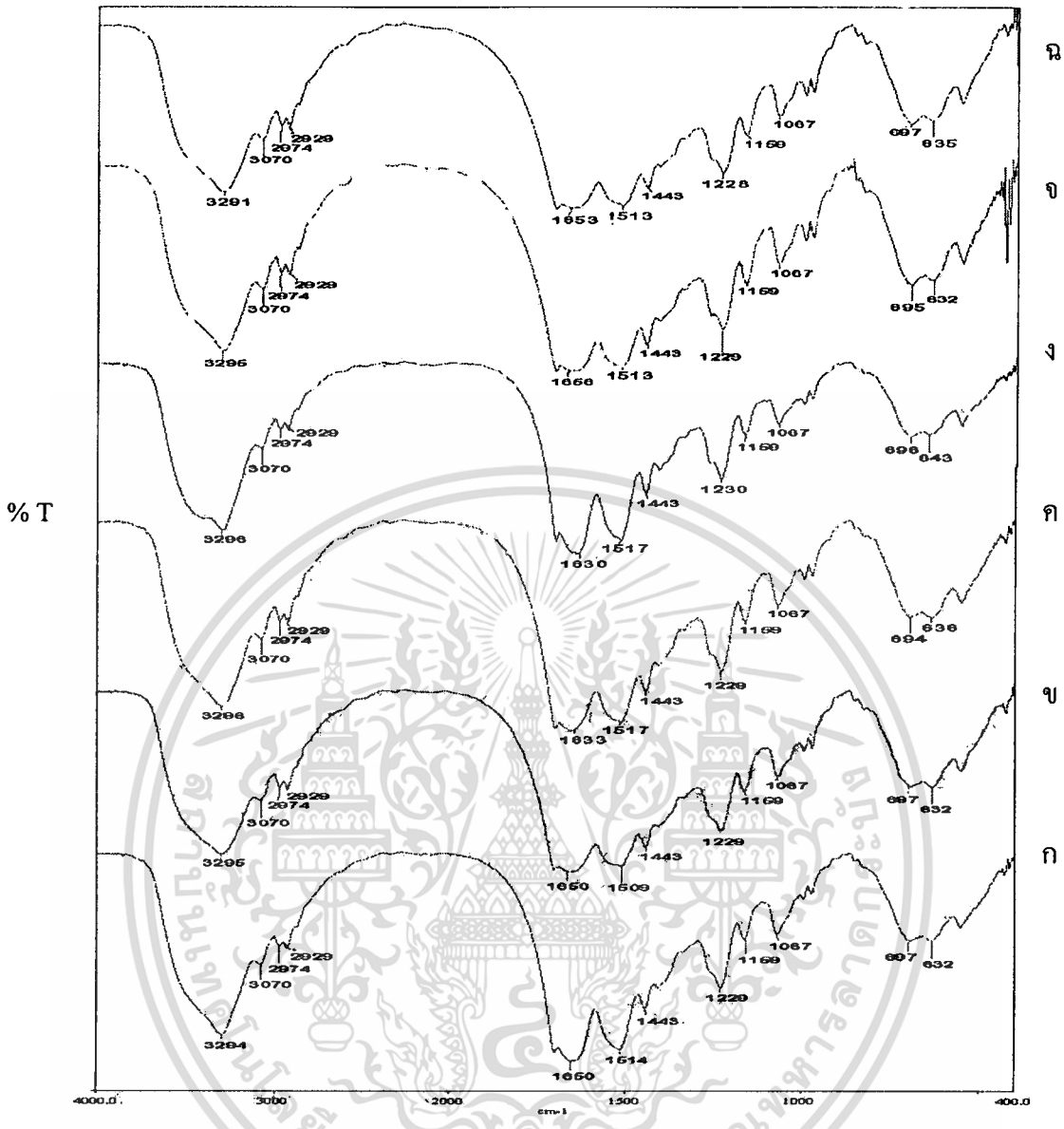
ผลการทดลอง สรุปได้ว่า สบู่และโซเดียมคาร์บอเนต สามารถล้างกาวเซริซินได้ดี ส่วนเมทานอลทำให้โปรตีนไหมไฟโบรอินเปลี่ยนโครงสร้างเป็น β-sheet และทำให้เส้นไหมพองตัวและกระด้าง ส่วนไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนไหมไฟโบรอิน มองเห็นเป็นเส้นไหมไฟโบรอินขาดเป็นเส้นเล็กๆ

4.1.2 ผลการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านวิธีการต่างๆ โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

สเปคตรัมของเส้นไหมไฟโบรอินโดยทั่วไป [39] แถบการดูดกลืน คือ O-H Stretching ปรากฏที่เลขคลื่น 3200-3600 cm^{-1}, N-H Stretching ปรากฏที่เลขคลื่น 3300-3400 cm^{-1}, C-H Aliphatic Stretching ปรากฏที่เลขคลื่น 2800-3000 cm^{-1}, C=O Stretching ปรากฏที่เลขคลื่น 1600-1700 cm^{-1} และ C-N Stretching ปรากฏที่เลขคลื่น 1020-1250 cm^{-1}เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสเปคตรัม รูปที่ 4.2 พบว่าแถบการดูดกลืนของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ มีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือตำแหน่งเลขคลื่น 1509-1514 cm^{-1} (Amide II) เป็นการดูดกลืนของ C=O Stretching และเลขคลื่นที่ 1680-1650 cm^{-1} (Amide I) โดยเป็นลักษณะแถบการดูดกลืนของหมู่เอไมด์ทุติยภูมิ (Secondary Amide) และหมู่เอไมด์ปฐมภูมิ (Primary Amide) ตามลำดับ และจะพบตำแหน่งเลขคลื่นที่ 1517-1540 cm^{-1} (Amide II) และ1624-1633 cm^{-1} (Amide I) ซึ่งเป็นรูปร่างของ β-sheet ในเส้นไหมไฟโบร อินที่ผ่านกระบวนการแช่ในเมทานอลและเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต [40,41] ส่วนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2990-2850 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ C-H Stretching ของ CH_3 และ CH_2และเลขคลื่นที่ 1229 cm^{-1} (Amide III), 650 cm^{-1} (Amide IV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงสเปคตรัมของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ

(ก) เส้นไหมที่ได้จากรังไหม อำเภอด่านช้าง

(ข) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง

(ค) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล

(ง) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

(จ) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

(ฉ) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นไหมไฟโบรอินโดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทริก Thermogravimetric Analysis (TGA)

การวิเคราะห์ทางความร้อนของเส้นไหมไฟโบรอินโดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทริก Thermogravimetric Analysis (TGA) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที ภายใต้สภาวะไนโตรเจน อุณหภูมิ 50-900 °C ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนโดยพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ ผลการตรวจวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

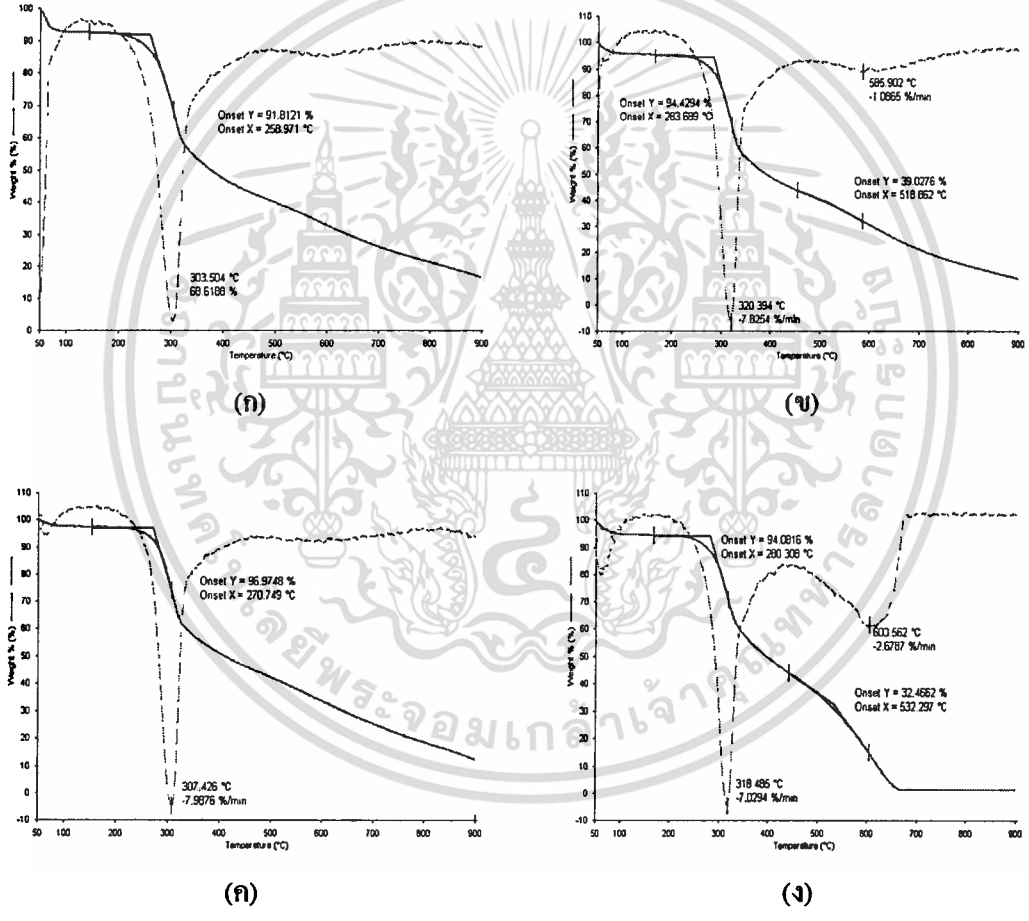
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิของการสลายตัวของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการเตรียมเส้นไหมวิธีต่างๆ

เส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการต่างๆ	อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นไหมไฟโบรอิน (°C)
เส้นไหมที่ได้จากรังไหม อำเภอด่านซ้าย	303
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง	320
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต	307
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล	318
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	309
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต	306

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเส้นไหมที่ได้จากรังไหมมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 303°C ซึ่งต่ำกว่าเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ เนื่องจากในรังไหม มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ กาวเซริซินและเส้นไหมไฟโบรอิน นั้นคือเป็นการสลายตัวของเส้นไหมที่เริ่มจากการสลายของกาวไหมที่ประกอบด้วยอะมิโนสายโซ่สั้นๆ ซึ่งจากลักษณะดังกล่าว ส่งผลให้รังไหมมีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่าเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ และเมื่อนำรังไหมไปล้างด้วยน้ำร้อนเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

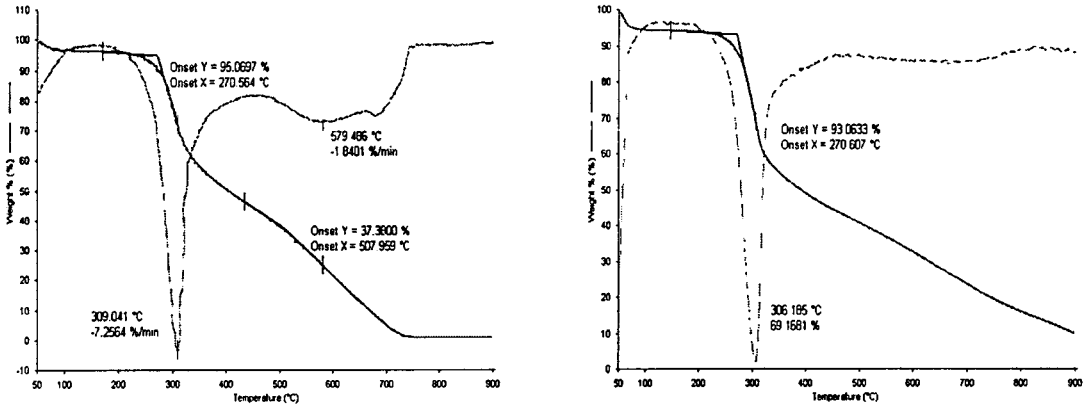
เอากาวเซริซินออก ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวสูงขึ้น เป็น 320°C แต่ถ้านำเส้นไหมไฟโบรอินดังกล่าวไปแช่เมทานอล ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวสูงเป็น 318°C· อาจเนื่องมาจากสายโซ่ภายในของเส้นไหมไฟโบรอินเปลี่ยนมาอยู่ในลักษณะเป็น β-sheet แต่เมื่อเส้นไหมไฟโบรอินดังกล่าวไปแช่ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จะทำให้อุณหภูมิการสลายตัวลดต่ำลงเป็น 307°C เนื่องมาจากไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดส์ ที่สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสายโซ่โมเลกุลพอลิเพปไทด์บางส่วน ทำให้เส้นไหมมีความเหนียวและความยืดต่ำลงเล็กน้อย อุณหภูมิการสลายจึงลดต่ำลง เมื่อนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต โมเลกุลสั้นๆเหล่านี้จะหลุดออกไป ดูผลจากรูปที่ 4.3



(ก) (ข)

(ค) (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) (ฉ)

รูปที่ 4.3 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ

(ก) รังไหม จากอำเภอ ด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี

(ข) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง

(ค) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

(ง) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล

(จ) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

(ฉ) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มด้วยเทคนิคการเทหล่อ (Casting) จากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการเตรียมเส้นไหม ด้วยกระบวนการต่างๆ

ใช้น้ำไหมไฟโบรอินที่ได้จากการ Dialysis เส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ จำนวน 40 มล. เทลงในจานพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 ซ.ม. แล้วปล่อยให้ระเหยแห้ง (ซึ่งมีเนื้อไหมไฟโบรอินประมาณ 1.0 กรัม)

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่เตรียมจากเทคนิคการเทหล่อ (Casting)

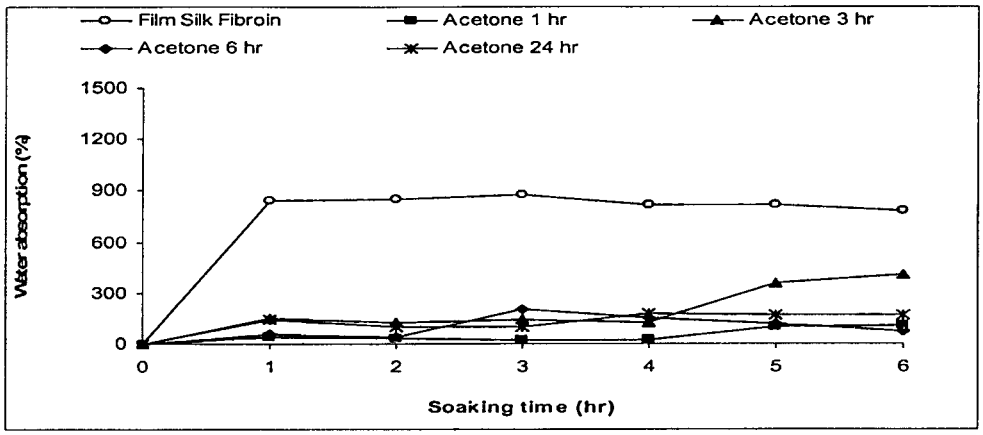
กระบวนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอินที่ตรียมได้	ลักษณะของฟิล์มไหมไฟโบรอิน
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต	ฟิล์มไหมสีเหลืองใส แข็งแต่เปราะ ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ ไม่แตกหักง่าย
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	ฟิล์มไหมขุ่นสีขาวออกเหลือง เปราะแตกหักง่าย ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้แต่แตกหักง่าย
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และ โซเดียมคาร์บอเนต	ฟิล์มไหมขุ่นสีขาวออกเหลือง เปราะแตกหักง่าย ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ แต่แตกหักง่าย

เนื่องจากสามารถเตรียมฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ได้จากเส้นไหมการต้มน้ำร้อนและล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนตเท่านั้น จึงนำฟิล์มที่เตรียมได้มาปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมดังตารางที่ 3.2

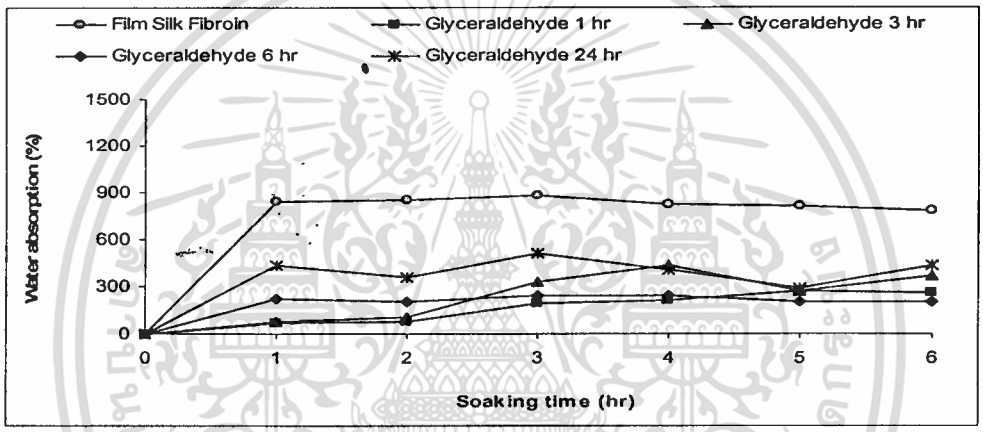
4.2.1 การศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอิน

นำฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงมาแช่น้ำ ตามเวลาที่กำหนด จากนั้นคำนวณหาสมบัติการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมทุกประเภท ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

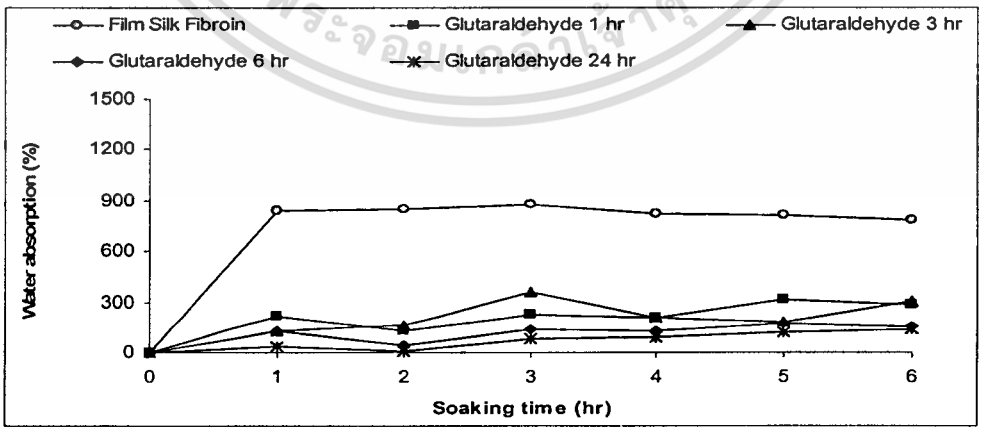
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำที่เวลา 1, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 0 ถึง 6 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5 ผลการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำที่เวลา 1, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 0 ถึง 6 ชั่วโมง



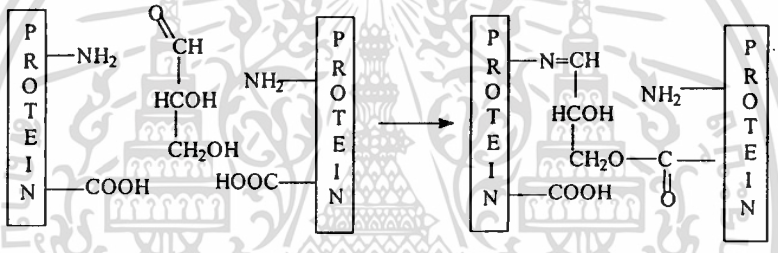
รูปที่ 4.6 ผลการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่สารละลายผสมกลูตารัลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำที่เวลา 1, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 0 ถึง 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

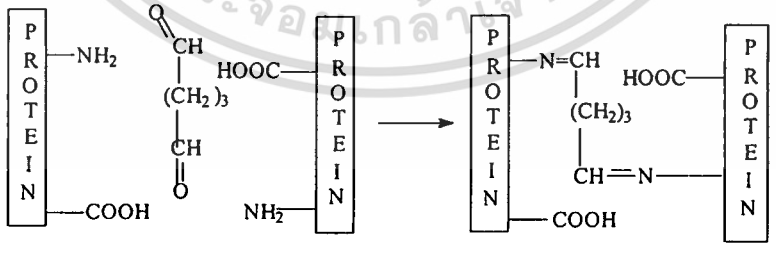
ผลการทดลองของฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมต่างๆให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง โดยเรียงลำดับได้ดังนี้ ฟิล์มไหมที่แช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์ดูดซึมน้ำได้ดีกว่าสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์และดูดซึมน้ำได้ดีกว่าสารละลายผสมอะซิโตน แสดงว่าอาจจะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างหมู่อะมิโนของโปรตีนไหมไฟโบรอินกับหมู่คาร์บอนิลที่มีอยู่ไกลเซอร์ราลดีไฮด์และกลูตาราลดีไฮด์ ดังแผนภาพจำลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโปรตีนกับสารก่อพันธะเชื่อมโยงที่อาจจะเป็นไปได้

ในกรณีของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ แม้ว่าจะไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง แต่หมู่อะมิโนของโปรตีนจากเส้นไหมไฟโบรอินอาจทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของอะซิโตน จึงเป็นการลดหมู่ที่ชอบน้ำของเส้นไหมไฟโบรอินลง ทำให้การดูดซึมน้ำลดลงด้วย

แผนภาพจำลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโปรตีนกับสารก่อพันธะเชื่อมโยง



แผนภาพจำลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโปรตีนซึ่งมีหมู่ $-NH_2$ ใน Lysine และหมู่ -COOH ในกรดอะมิโน Glutamic acid หรือ Aspartic acid สามารถเกิดพันธะโคเวเลนท์เชื่อมโยงด้วย Glyceraldehyde

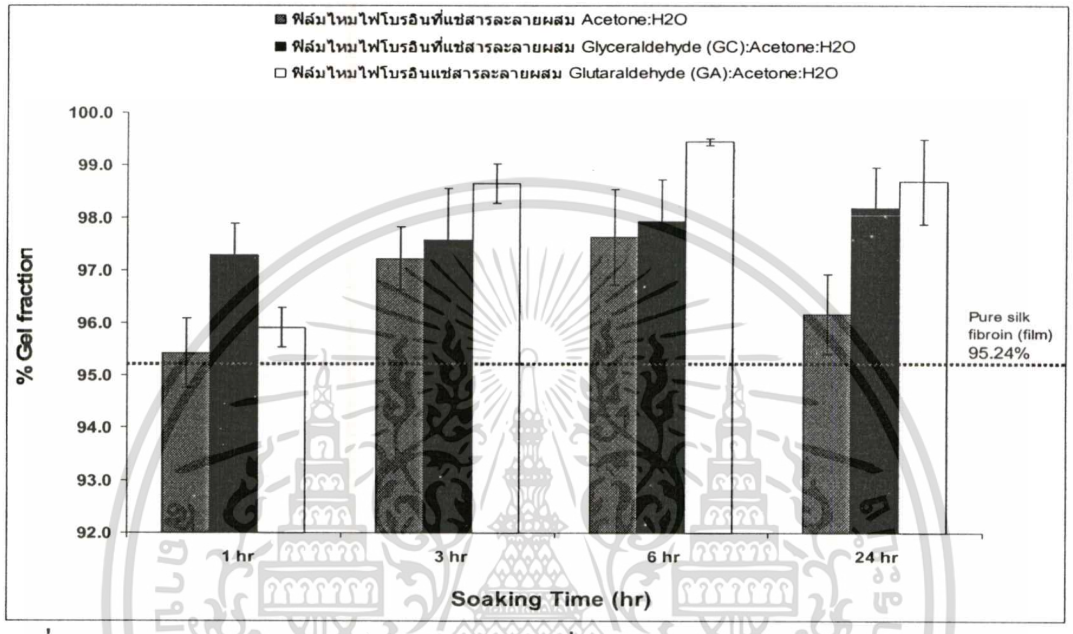


แผนภาพจำลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโปรตีนซึ่งมีหมู่ $-NH_2$ ใน Lysine และหมู่ -COOH ในกรดอะมิโน Glutamic acid หรือ Aspartic acid สามารถเกิดพันธะโคเวเลนท์เชื่อมโยงด้วย Glutaraldehyde [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลของค่าสัดส่วนเจล Gel Fraction

สัดส่วนเจลคือส่วนของฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อนำฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุง ณ เวลาต่างๆขนาด 1×1 นิ้ว มาต้มในน้ำร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วคำนวณหาค่าสัดส่วนเจลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าสัดส่วนเจลของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่ สารละลายผสมเป็นเวลา 1, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง

จากรูปกราฟที่ 4.7 เป็นค่าสัดส่วนเจลของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่เหลือจากการสกัดด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายผสมต่างๆ จะมีค่าสัดส่วนเจลที่มากกว่าฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายผสม แสดงว่าทั้งอะซิโตน ไกลเซอร์ราลดีไฮด์ และกลูตาราลดีไฮด์ สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้หมู่คาร์บอนิลทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของไฟโบรอินเกิดพันธะเชื่อมโยง และฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ถูกปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลที่สูงตั้งแต่ชั่วโมงแรกที่แช่ฟิล์ม และมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ถูกปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำก็มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลสูงขึ้นจนถึงเวลาการแช่ที่ 6 ชั่วโมง แล้วกลับลดลงที่เวลา 24 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากในสารละลายผสมต่างๆ มีส่วนของน้ำอยู่ในสารละลาย เมื่อเวลาการแช่นาน 24 ชั่วโมง จะทำให้โมเลกุลบางส่วนของสายโซ่โปรตีนฟิล์มไหมหลุดออก ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนลดลงกว่าเวลาการแช่ที่ 6 ชั่วโมง แต่ก็มีบางส่วนเกิดพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายผสม เลยทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลสูงกว่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลของฟิล์มไหมที่ไม่ได้ปรับปรุง

4.2.3 ศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมต่างๆด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสมต่างๆ เปรียบเทียบกับเส้นไหมไฟโบร อินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนตโดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

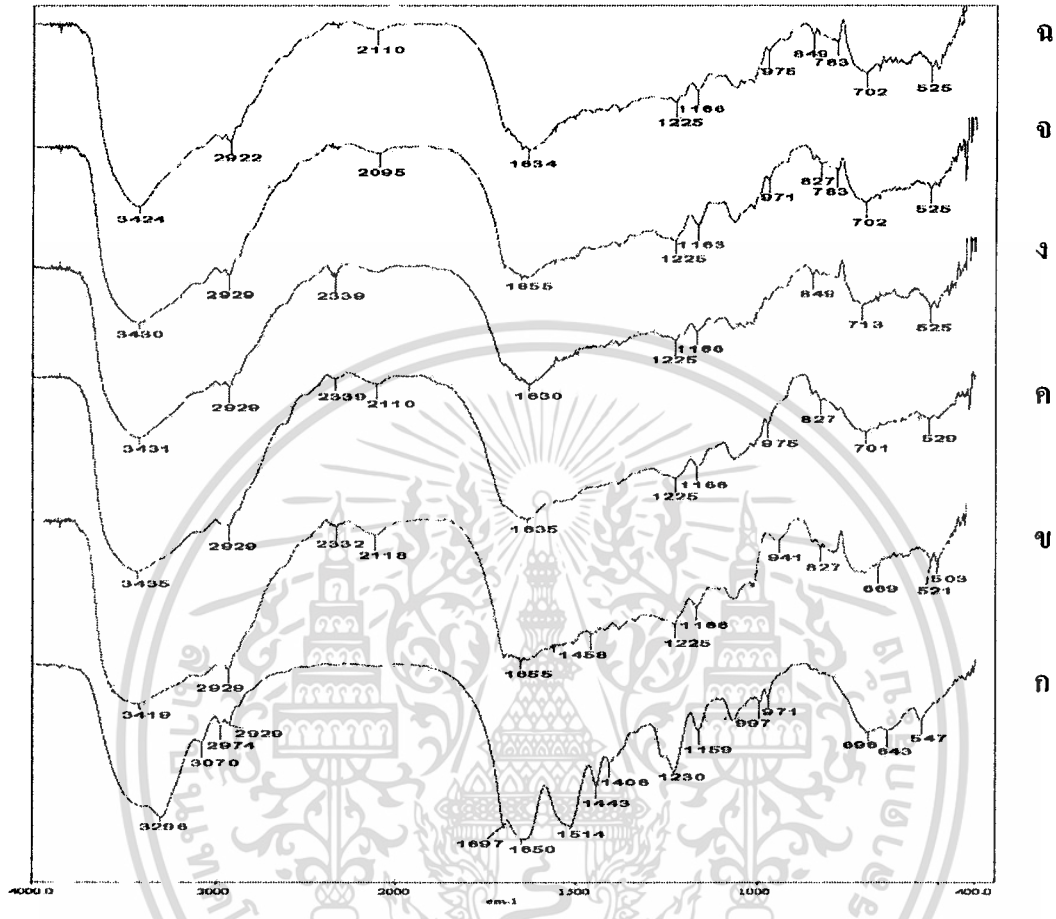
จากผลการตรวจหาหมู่ฟังก์ชัน รูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 (ก) เส้นไหมไฟโบรอินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต พบแถบดูดกลืนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1680-1630 cm^{-1} (Amide I) ซึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนของ C=O Stretching ที่อยู่ในโครงสร้างหลักของพอลิเพปไทด์ และพบพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1509-1514 cm^{-1} (Amide II) ซึ่งเกิดจากการสั่นของ N-H bending และ C-N Stretching ตำแหน่งนี้เปลี่ยนแปลงง่ายหากเกิดการเปลี่ยนโครงแบบของพอลิเพปไทด์ [39]

จากรูป 4.8, 4.9 และ 4.10 (ข) พบว่าเมื่อเปลี่ยนสภาพจากเส้นไหมเป็นฟิล์มไหม ตำแหน่งเลขคลื่น 1509-1514 cm^{-1} (Amide II) ซึ่งเกิดจากการสั่นของ N-H bending และ C-N Stretching จะปรากฏไม่ชัดเจน แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 783-849 cm^{-1} ขึ้นมาแทน ซึ่งเป็นพีคพันธะคู่ และพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3200-3600 cm^{-1} ซึ่งเป็น O-H stretching กว้างขึ้น แสดงว่ามีการขจัดน้ำออกไป

จากรูป 4.8, 4.9 และ 4.10 เมื่อนำฟิล์มไหมไฟโบรอินไปปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมชนิดต่างๆ พบว่า หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไหมคล้ายกันหมดและคล้ายฟิล์มไหมที่ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1 ศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ ที่เวลา 1 ถึง 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.8 แสดงพีคของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ถูกปรับปรุงโดยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ

(ก) เส้นไหมไฟโบรอินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

(ข) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่มีการปรับปรุง

(ค) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ 1 ชั่วโมง

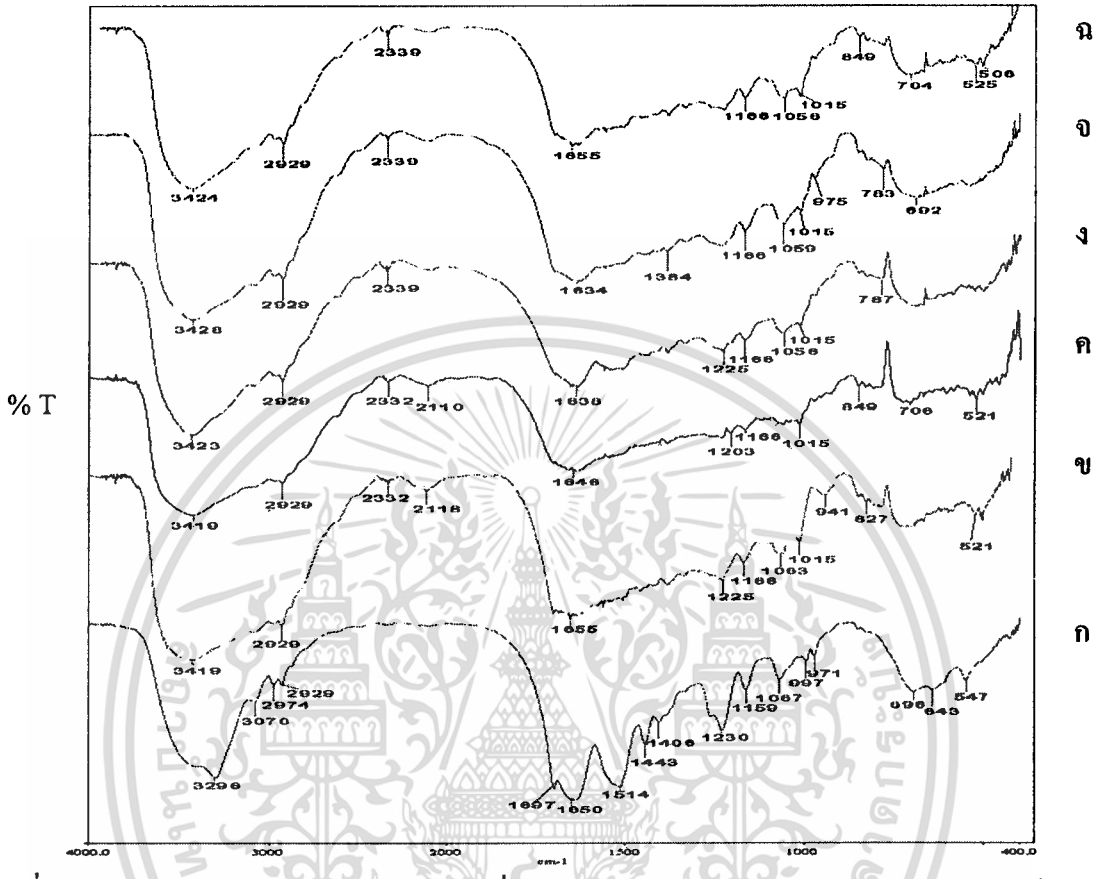
(ง) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ถูกปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ 3 ชั่วโมง

(จ) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ถูกปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ 6 ชั่วโมง

(ฉ) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ถูกปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ 24 ชั่วโม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 ศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ ที่เวลา 1 ถึง 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.9 แสดงพีคของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ

(ก) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

(ข) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่มีการปรับปรุง

(ค) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ 1 ชั่วโมง

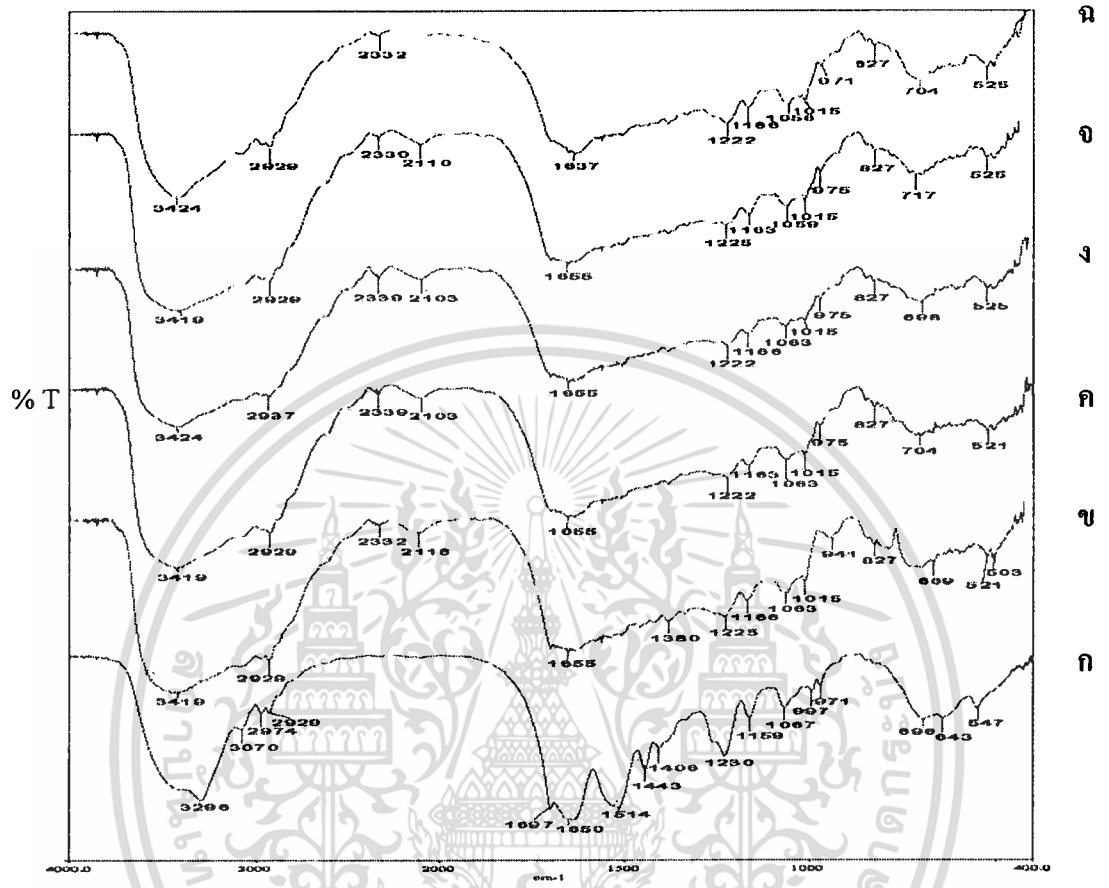
(ง) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ 3 ชั่วโมง

(จ) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ 6 ชั่วโมง

(ฉ) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.3 ศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ ที่เวลา 1 ถึง 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.10 แสดงพีคของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ

(ก) เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

(ข) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่มีการปรับปรุง

(ค) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ 1 ชั่วโมง

(ง) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ 3 ชั่วโมง

(จ) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ 6 ชั่วโมง

(ฉ) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไหมไฟโบรอินโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

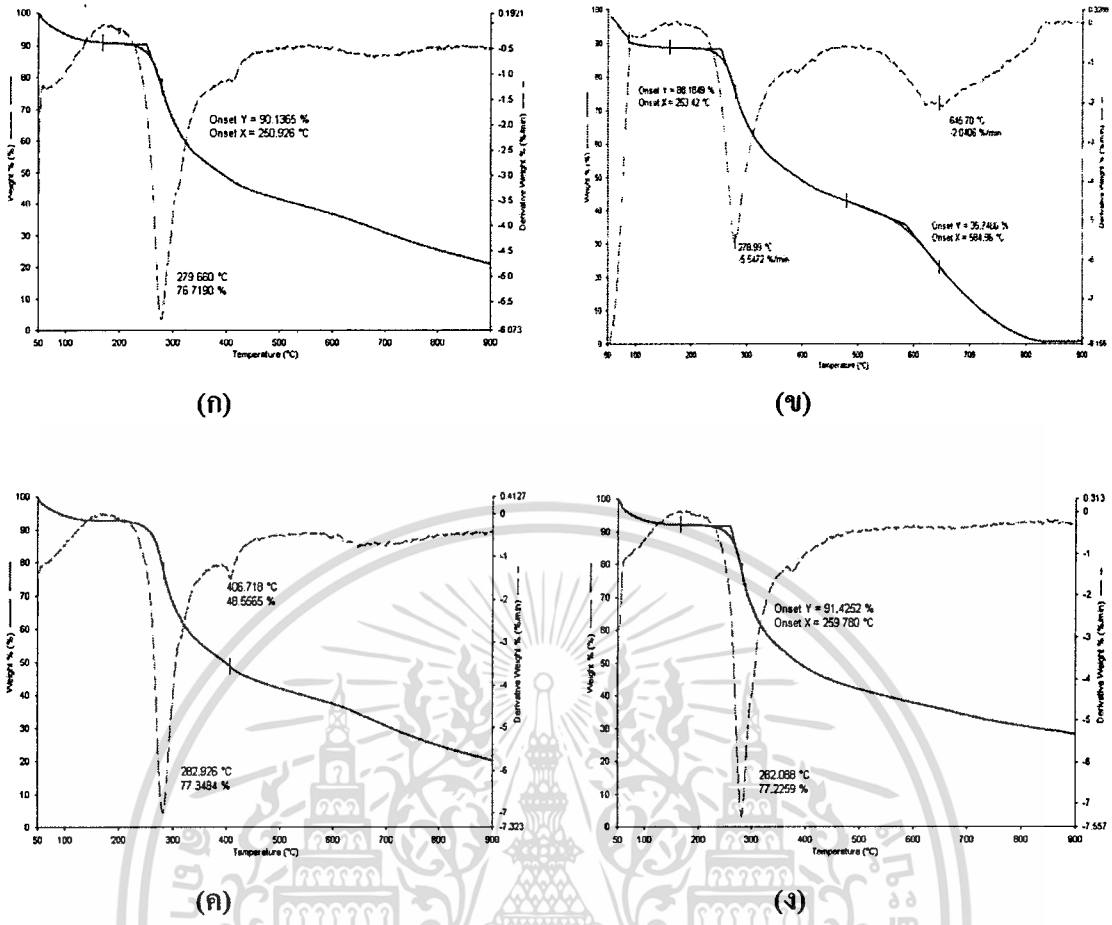
การวิเคราะห์ทางความร้อนของเส้นไหมไฟโบรอินโดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทริก Thermogravimetric Analysis (TGA) ที่อัตราการให้ความร้อน 10°C/นาที ภายใต้สภาวะไนโตรเจน อุณหภูมิ 50-900°C ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนโดยพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสมต่างๆ โดยการแช่ที่เวลา 1, 6 และ 24 ชั่วโมง ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยสารละลายผสมและไม่ได้ปรับปรุงฟิล์ม

การปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสม	อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่สารละลายผสม (°C) ณ เวลาต่างๆ (ชม.)		
	1	6	24
Acetone 60 ml : H_2O 30 ml	279	283	282
Acetone 60 ml : H_2O 30 ml :Glyceraldehyde 0.5 g	281	281	283
Acetone 60 ml : H_2O 30 ml :Glutaraldehyde 2 ml (เข้มข้น 25%)	279	280	282
ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ปรับปรุงฟิล์ม	280		

จากผลอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ถูกปรับปรุงด้วยสารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และที่เวลาการแช่ 24 ชั่วโมงของสารละลายผสมต่างๆ จะมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ถูกปรับปรุงเล็กน้อย แสดงว่าฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ถูกปรับปรุงด้วยสารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำได้ปรับโครงสร้างไหมไฟโบรอินให้มีความแข็ง ทำให้มีแรงยึดระหว่างพันธะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมการสลายทางความร้อนของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสมอะซิโตน : น้ำ

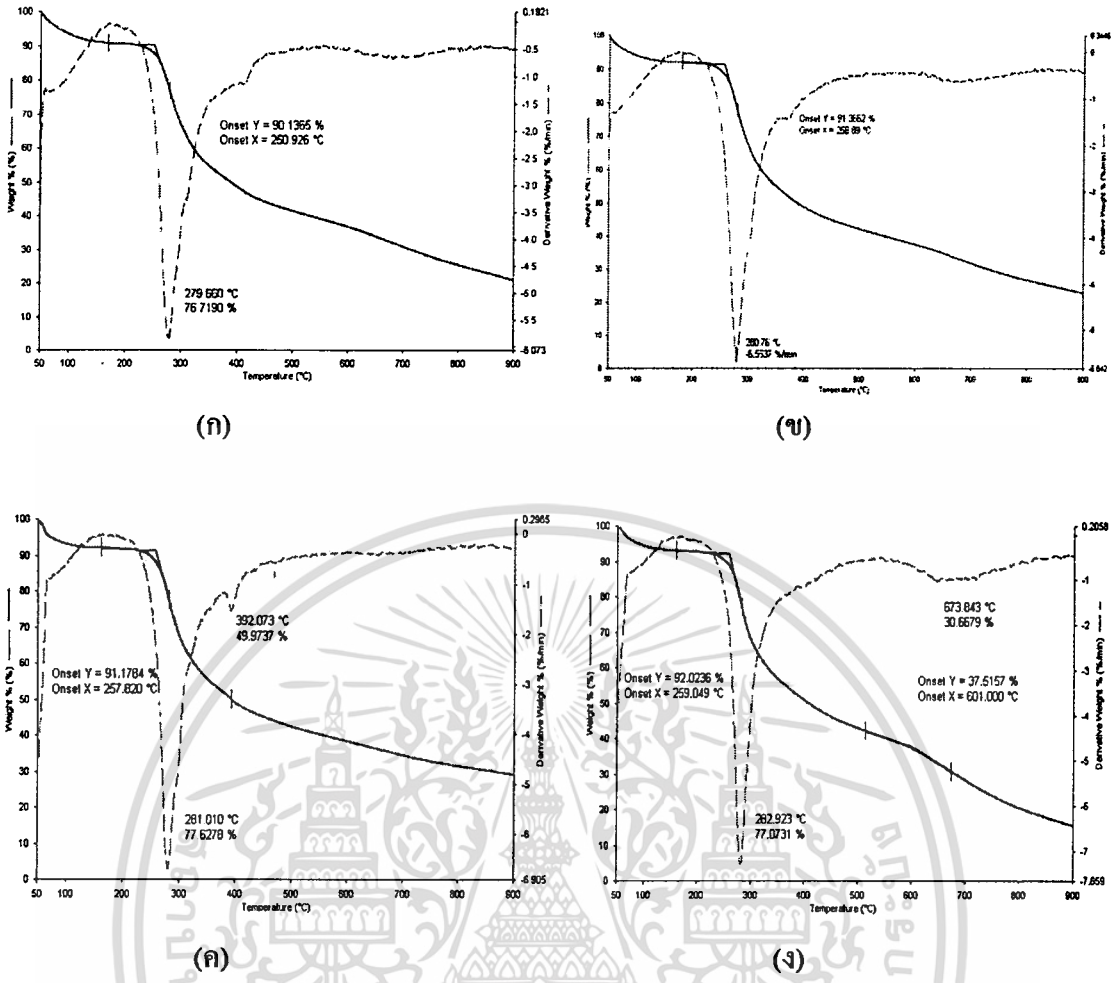
(ก) ฟิล์มไหมไฟโบรอิน

(ข) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม 1 ชั่วโมง

(ค) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม 6 ชั่วโมง

(ง) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรมการสลายทางความร้อนของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสม ไกลเซอร์รัลดีไฮด์ : อะซิโตน : น้ำ

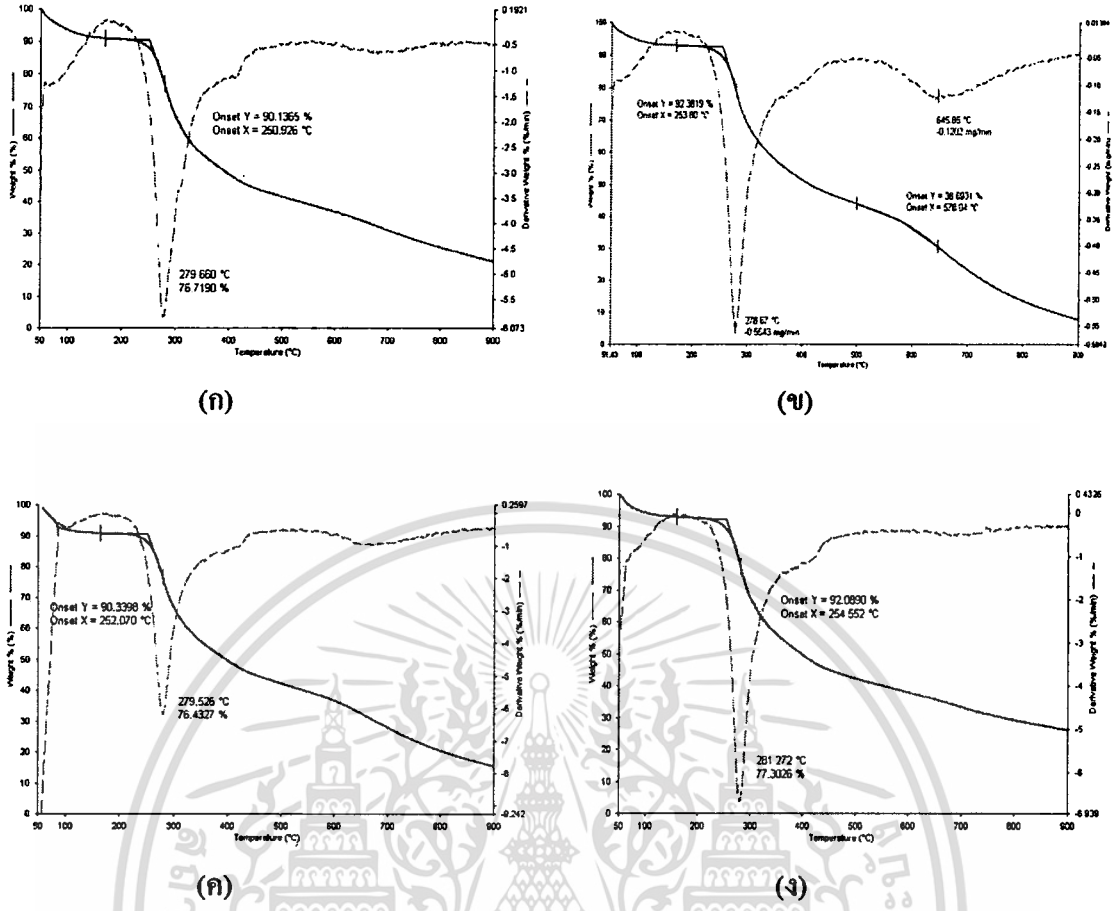
(ก) ฟิล์มไหมไฟโบรอิน

(ข) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม 1 ชั่วโมง

(ค) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม 6 ชั่วโมง

(ง) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 เทอร์โมแกรมการสลายทางความร้อนของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยสารละลายผสม กูลตาราลดีไฮด์ : อะซิโตน : น้ำ

(ก) ฟิล์มไหมไฟโบรอิน

(ข) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม 1 ชั่วโมง

(ค) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม 6 ชั่วโมง

(ง) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

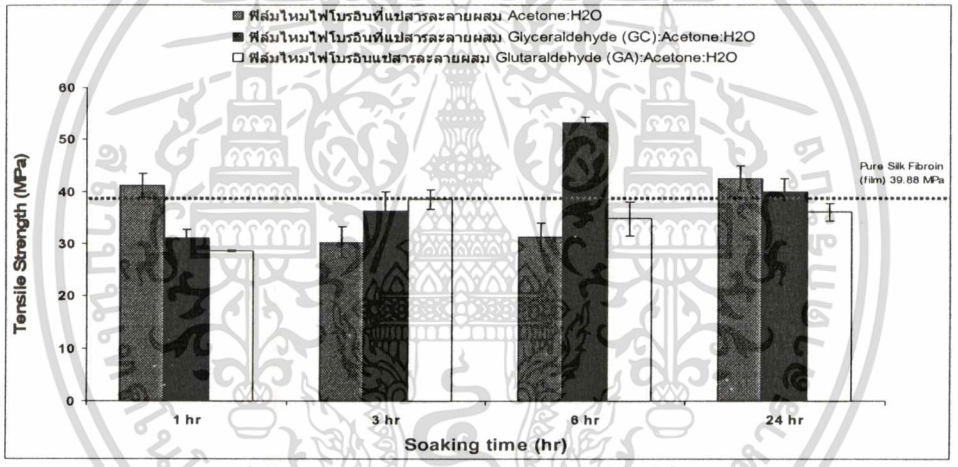
4.2.5 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มไหมไฟโบรอิน

นำฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายผสมต่างๆและฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ปรับปรุงมาทดสอบความทนแรงดึงยืด (Tensile Strength) มอดุลัสของยัง (Young's Modulus) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดสูงสุด (% Elongation at Max Load) โดยทำการทดสอบดังนี้ คือ

1. นำฟิล์มไหมไฟโบรอินไปทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ใช้ Load cell 100 N อัตราเร็วในการดึง (Crosshead speed) 1 มม./นาที

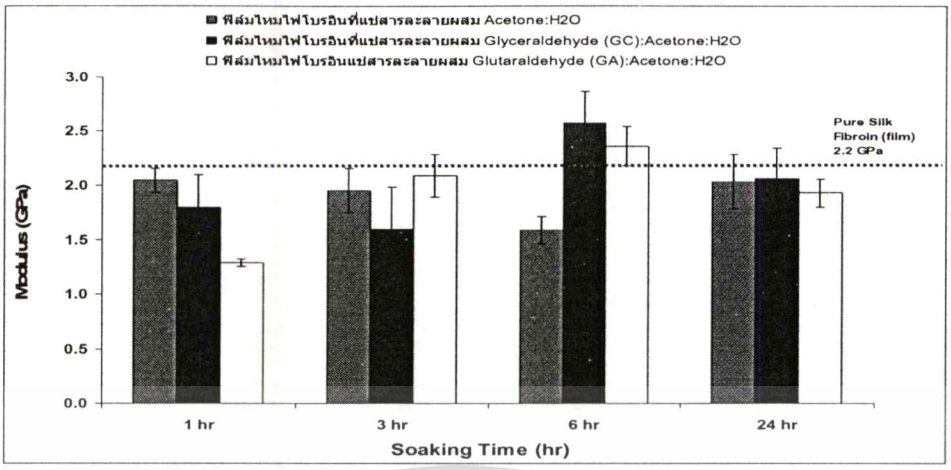
2. นำฟิล์มไหมไฟโบรอินไปแช่น้ำ 10 นาที ก่อนทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ใช้ Load cell 100 N อัตราเร็วในการดึง (Crosshead speed) 10 มม./นาที

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลแบบที่ 1 ไม่ได้แช่น้ำก่อนทำการทดสอบ

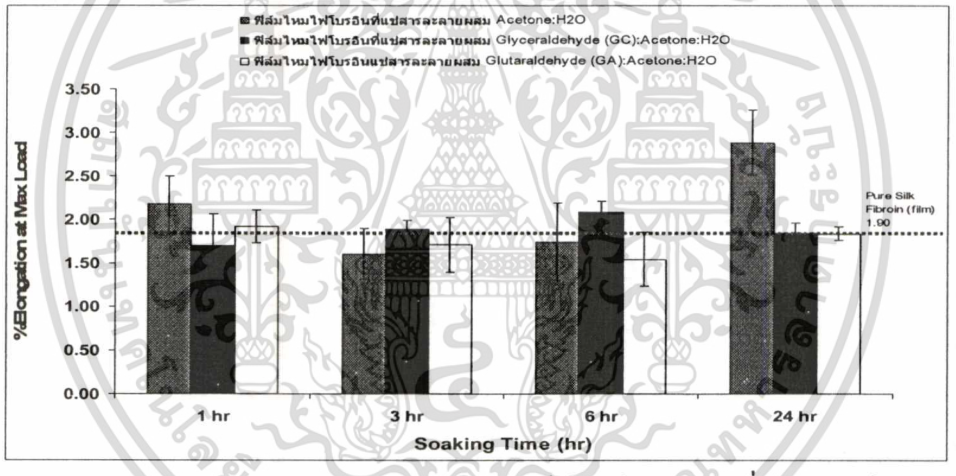


รูปที่ 4.14 ค่าความทนแรงดึงยืดของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ



รูปที่ 4.16 ค่า % Elongation at Max Load ของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ

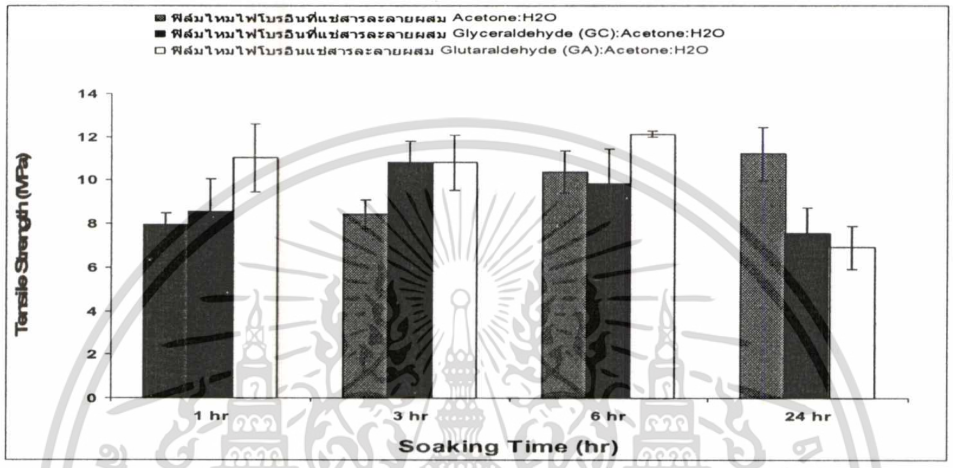
สมบัติเชิงกลของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมต่างๆ ให้ค่าความทนแรงดึงยืด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นและค่า % Elongation at Max Load ที่สูงกว่าฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมต่างๆ ก็แสดงว่าโครงสร้างของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงมีความแข็ง เลยยืดหยุ่นได้น้อย ฟิล์มไหมไฟโบรอินอาจเกิดพันธะเชื่อมโยงกับสารละลายผสมต่างๆ จึงทำให้สายโซ่ของไหมไฟโบรอินยึดเกาะกัน เคลื่อนตัวได้ยากเมื่อได้รับแรงดึง ยกเว้นฟิล์มไหมไฟโบร อินที่แช่ในสารละลายผสมไกลเซอราลดีไฮด์กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

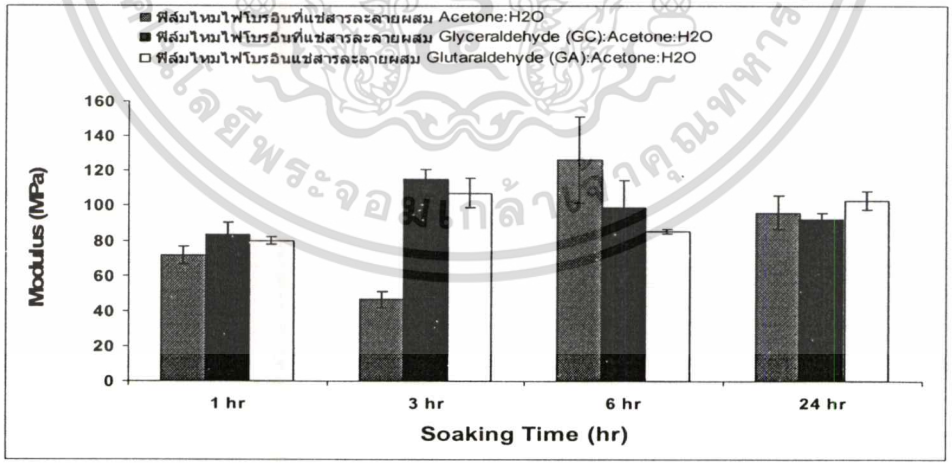
อะซิโตนกับน้ำ ที่เวลาการแช่ 6 ชั่วโมง ให้ค่าความทนแรงดึงยืด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นและค่า % Elongation at Max Load สูงกว่าฟิล์มไหมไฟโบร อินที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลแบบที่ 2 แช่น้ำ 10 นาที ก่อนทำการทดสอบ

ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงฟิล์ม เมื่อนำไปแช่น้ำก่อนทำการทดสอบ 10 นาที ฟิล์มเกิดเสียสภาพ ไม่สามารถนำมาทำการทดสอบได้

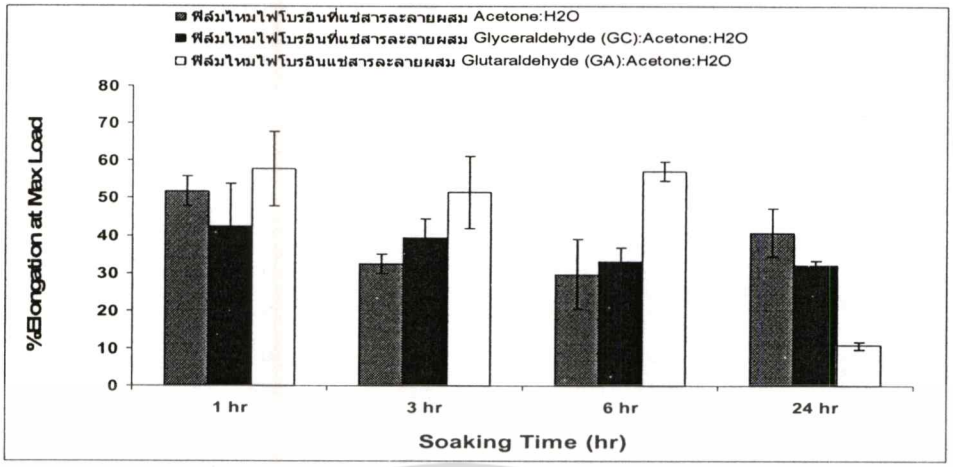


รูปที่ 4.17 ค่าความทนแรงดึงยืดของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ



รูปที่ 4.18 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสม กลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ค่า % Elongation at Max load ของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ และสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ

ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมต่างๆ เมื่อนำไปแช่น้ำก่อนทำการทดสอบให้ ค่าความทนแรงดึงยืดและค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ต่ำกว่าในกรณีที่ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้แช่น้ำที่สภาวะเดียวกัน แต่ให้ค่า% Elongation at Max load สูงกว่าฟิล์มไหมไฟโบร อินที่ไม่ได้แช่น้ำที่สภาวะเดียวกัน เนื่องมาจากน้ำเข้าไปแทรกตามโครงสร้างของฟิล์ม ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างโครงสร้าง เกิดยืดหยุ่นที่ดี

แสดงว่าฟิล์มที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายผสมต่างๆ เมื่อแช่น้ำก่อนทำการทดสอบ มีความยืดหยุ่นที่ดี แต่มีค่าความทนแรงดึงยืดได้น้อย แสดงว่าน้ำมีพฤติกรรมคล้ายกับพลาสติกไซเซอร์ คือน้ำแทรกไปตามสายโซ่โปรตีนของฟิล์มไหม ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่ จึงทำให้สายโซ่โปรตีนของฟิล์มไหมเกิดการเคลื่อนที่ได้ง่าย

4.3 ผลการขึ้นรูป Scaffold โดยใช้เกลือชนิดต่างๆเป็นโพรอเจน

ในการขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้าง เลือกใช้เส้นไหมไฟโบรอินที่เตรียมจากกระบวนการที่ 2 กระบวนการที่ 4 และกระบวนการที่ 5 เท่านั้น การขึ้นรูป Scaffold จากเกลือชนิดต่างๆ นั้น ขนาดและรูปร่างของเกลือจะมีผลสัมพันธ์กับรูพรุนและรูปร่างของ Scaffold ถ้าเกลือมีขนาดไม่เหมาะสม จะทำให้ได้ Scaffold มีรูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ และทำให้ออกจากแม่พิมพ์ยาก ส่วนเกลือที่มีขนาดเหมาะสมควรน้อยกว่า 10 ไมครอน [26] จะทำให้ได้ Scaffold มีรูปร่างที่สมบูรณ์ และออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) โดยขึ้นรูปกับเกลือชนิดต่างๆ

กระบวนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอิน	ชนิดของเกลือ	ความสามารถในการขึ้นรูป Scaffold ที่จะนำไปทดสอบ	รูปของ Scaffold จากเกลือแต่ละชนิด
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต	1. เกลือโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$)	√	
	2. เกลือแอมโมเนียมโมลิบเดต $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	√	
	3. เกลือแอมโมเนียมออกซาเลต $(NH_4OCO)_2$	√	
	4. เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)	√	
	5. เกลือแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F)	×	
	6. เกลือแอมโมเนียมอะซิเทต (CH_3COONH_4)	×	
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	1. เกลือโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$)	√	
	2.เกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	√	
	3. เกลือแอมโมเนียมออกซาเลต $(NH_4OCO)_2$	√	
	4. เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)	√	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต	1. เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	√	
	2.เกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	√	
	3. เกลือแอมโมเนียมออกซาเลต $(NH_4OCO)_2$	√	
	4. เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)	√	

หมายเหตุ √ ชิ้นงานสมบูรณ์ นำออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย

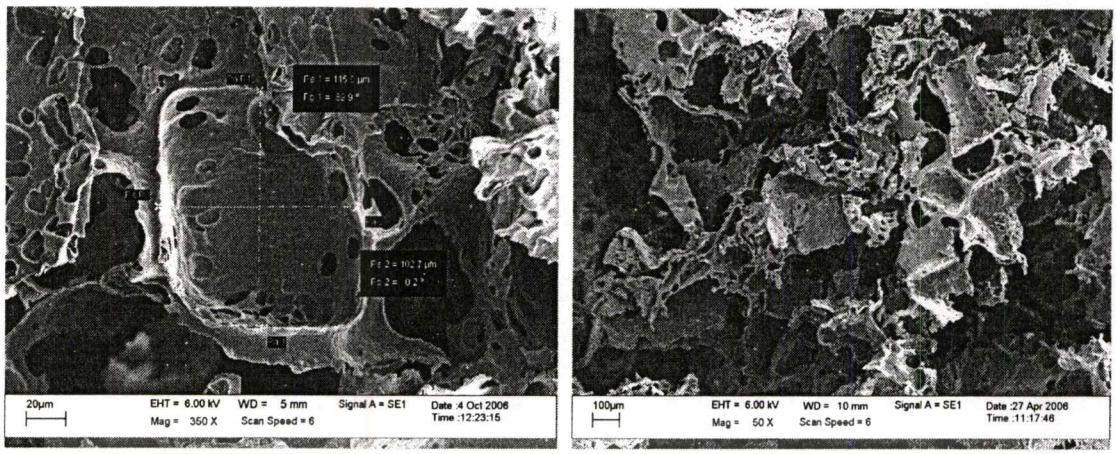
× ชิ้นงานไม่สมบูรณ์ นำออกจากแม่พิมพ์ยาก แตกหักง่าย

จากผลการขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) จะเห็นว่า Scaffold จากเกลือ แอมโมเนียฟลูออไรด์และแอมโมเนียมอะซิเทต ได้เนื้อเยื่อโครงสร้างรูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ แสดงว่าขนาดและรูปร่างของเกลือมีขนาดไม่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้าง ส่วนเกลือโซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมโมลิบเดท แอมโมเนียมออกซาเลต และแอมโมเนียมคลอไรด์ สามารถขึ้นรูป Scaffold ได้ จึงนำ Scaffold ที่มีรูปร่างที่สมบูรณ์ ไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆของ Scaffold ต่อไป

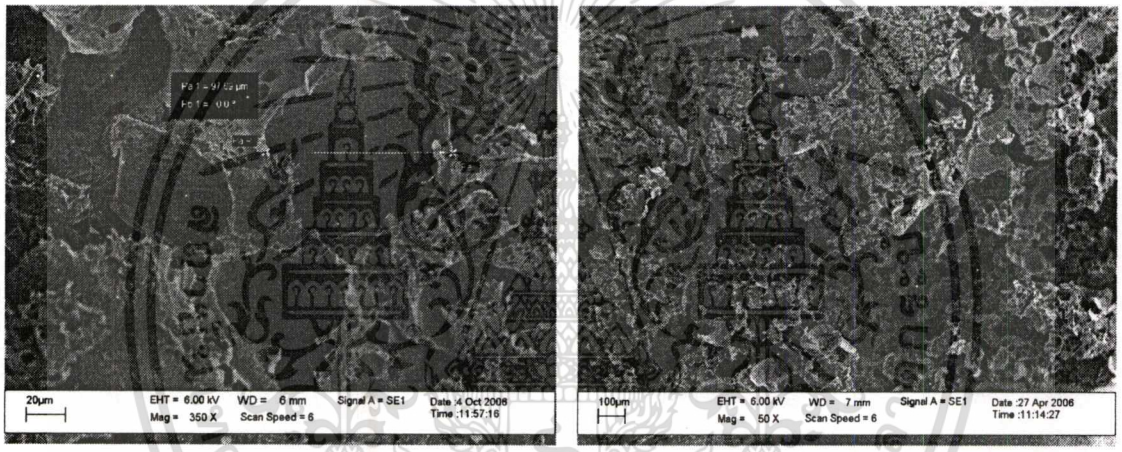
4.3.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด

ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 350 และ 50 เท่า รูปเนื้อเยื่อโครงสร้างที่แสดงเตรียมได้จากเส้นไหมไฟโบรอินได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต สำหรับเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเส้นไหมที่ผ่านกระบวนการอื่นๆให้ผลคล้ายกัน

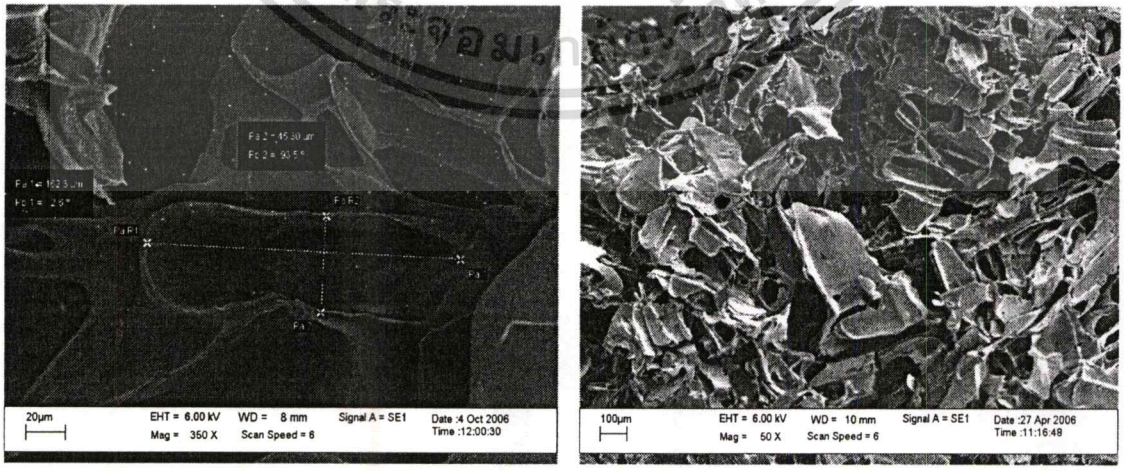
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

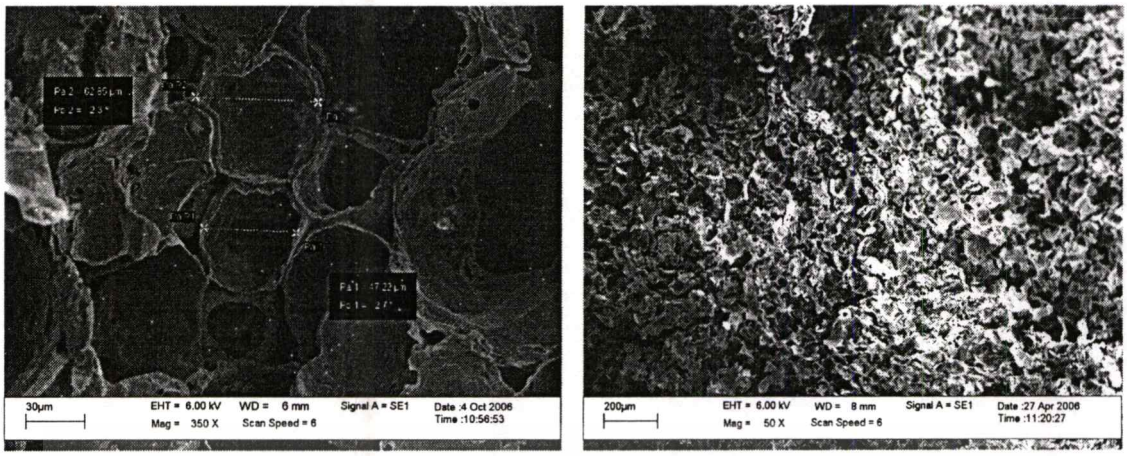


(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

รูปที่ 4.20 รูปรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดที่กำลังขยาย 350 เท่า และ 50 เท่า ตามลำดับ

(ก) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์

(ข) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท

(ค) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมออกซาเลต

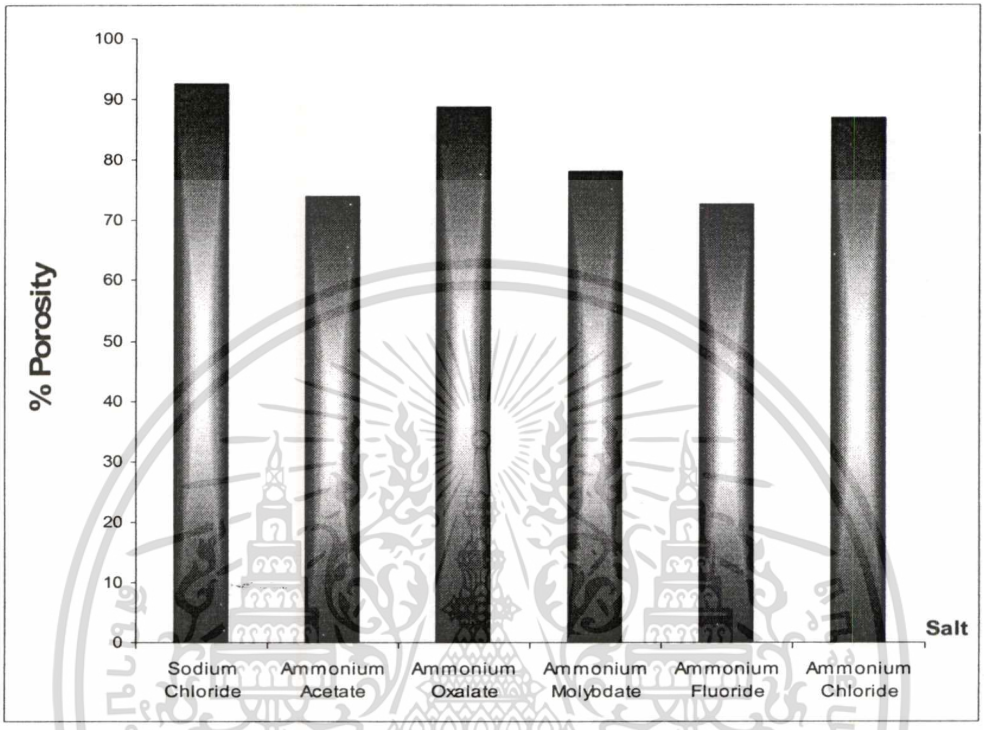
(ง) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์

จากรูปจะเห็นว่ารูปร่างของรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากเกลือแต่ละชนิด มีรูปร่าง รูพรุนตามรูปทรงของเกลือ เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์มีรูปร่างเป็นทรงสี่เหลี่ยม รูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างก็มีรูปร่างเป็นทรงสี่เหลี่ยม เกลือแอมโมเนียมออกซาเลตมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก รูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างก็มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ส่วนเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดทและแอมโมเนียมคลอไรด์ เป็นทรงกลม รูพรุนก็มีรูปร่างเป็นทรงกลม รูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างเป็นรูปิด แสดงปริมาณของเกลือที่ใช้ยังไม่มากพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดสอบความมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้าง

การทดสอบความมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 6 ชนิด โดยใช้การวัดปริมาตรของเฮกเซนที่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อโครงสร้าง ให้ผลทดสอบดังรูปที่ 4.21



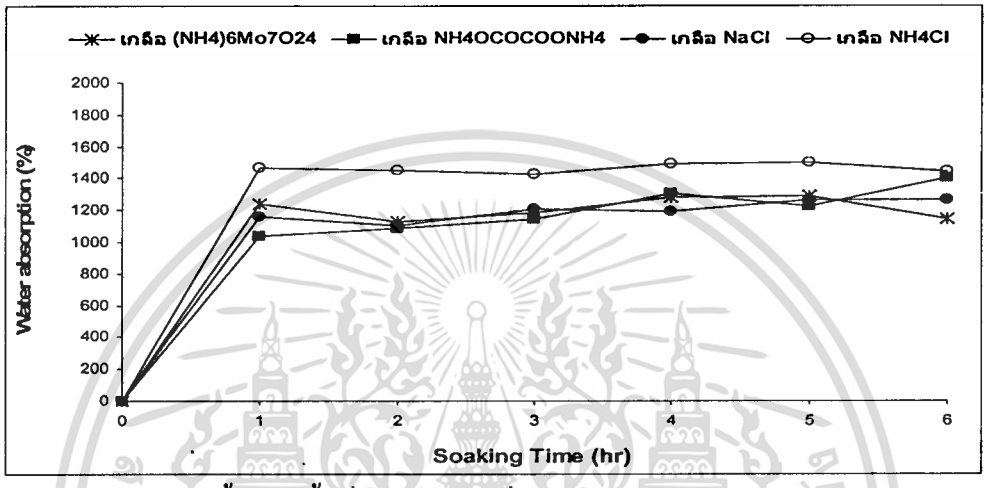
รูปที่ 4.21 แสดงกราฟความมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 6 ชนิด

จากกราฟความมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) ที่เตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ให้ความมีรูพรุนสูงสุด 92.59 % รองลงมาคือเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมออกซาเลตความมีรูพรุน 88.89 % ส่วนเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมอะซิเทตความมีรูพรุน 74.07 % ใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมฟลูออไรด์ให้ความมีรูพรุน 72.73% ก็แสดงว่า ความมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของเกลือที่ใช้เตรียม ถ้าเกลือที่ใช้เตรียมมีขนาดใหญ่มากเกินไป เช่น แอมโมเนียมอะซิเทตและแอมโมเนียมฟลูออไรด์ ทำให้มีจำนวนรูพรุนน้อยและเปอร์เซ็นต์ความมีรูพรุนมีค่าต่ำ ซึ่งจะส่งผลต่อการขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้าง และการดูดซึมน้ำ

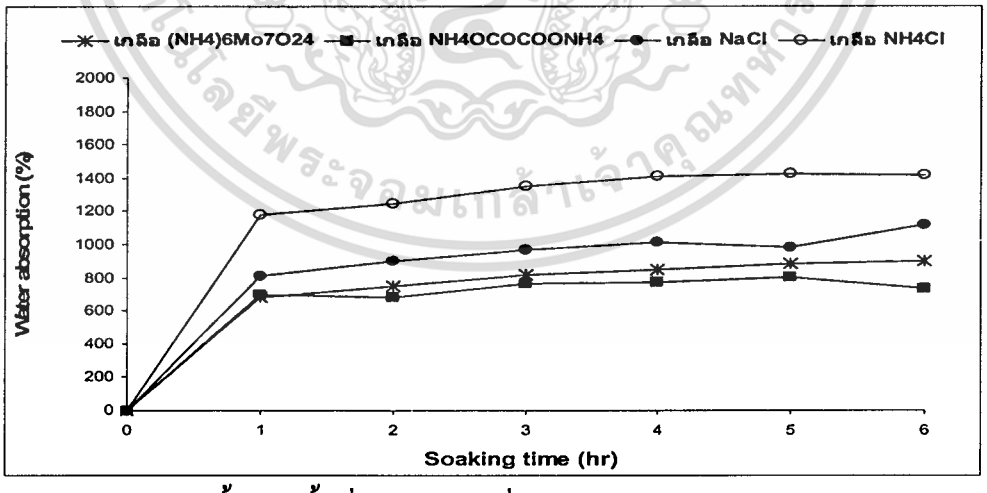
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้าง

ใช้เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 6 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต มาเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างจากเกลือ 4 ชนิด สามารถขึ้นรูปได้เนื้อเยื่อโครงสร้างจากเกลือ โซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมโมลิบเดท แอมโมเนียมออกซาเลต และแอมโมเนียมคลอไรด์

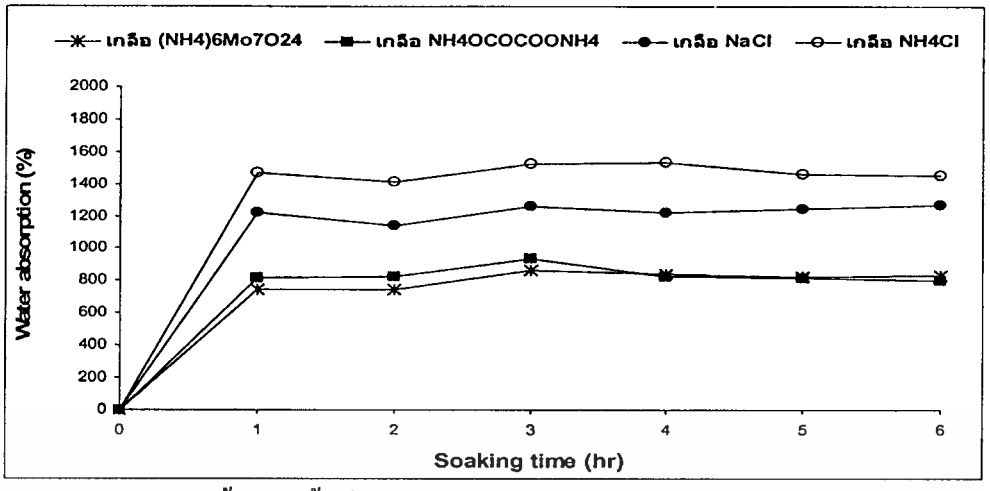


รูปที่ 4.22 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมโดยใช้เกลือ 4 ชนิด และใช้เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต



รูปที่ 4.23 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมโดยใช้เกลือ 4 ชนิด และใช้เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมโดยใช้ 4 ชนิด และใช้เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

จากรูที่ 4.22, 4.23 และ 4.24 จะเห็นว่าเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเส้นไหมที่ผ่านกระบวนการต่างๆ แต่เติมเกลือชนิดเดียวกัน จะให้ผลการดูดซึมน้ำไปในทิศทางเดียวกัน คือเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ ให้ค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด แสดงว่าชนิดของเกลือและขนาดรูพรุนที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำมาก เนื่องจากผลการตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดและผลความมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้าง พบว่าเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์มีเปอร์เซ็นต์ความมีรูพรุนสูง จำนวนรูพรุนมาก และมีขนาดรูพรุนเล็กๆ ทำให้น้ำสามารถซึมเข้าไปในรูพรุนได้มาก และเมื่อพิจารณากระบวนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอินต่างๆ พบว่ากระบวนการที่มีการใช้สบู่และโซเดียมคาร์บอเนตจะให้ผลเนื้อเยื่อที่มีการดูดซึมน้ำที่ดีกว่า กระบวนการที่ใช้เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

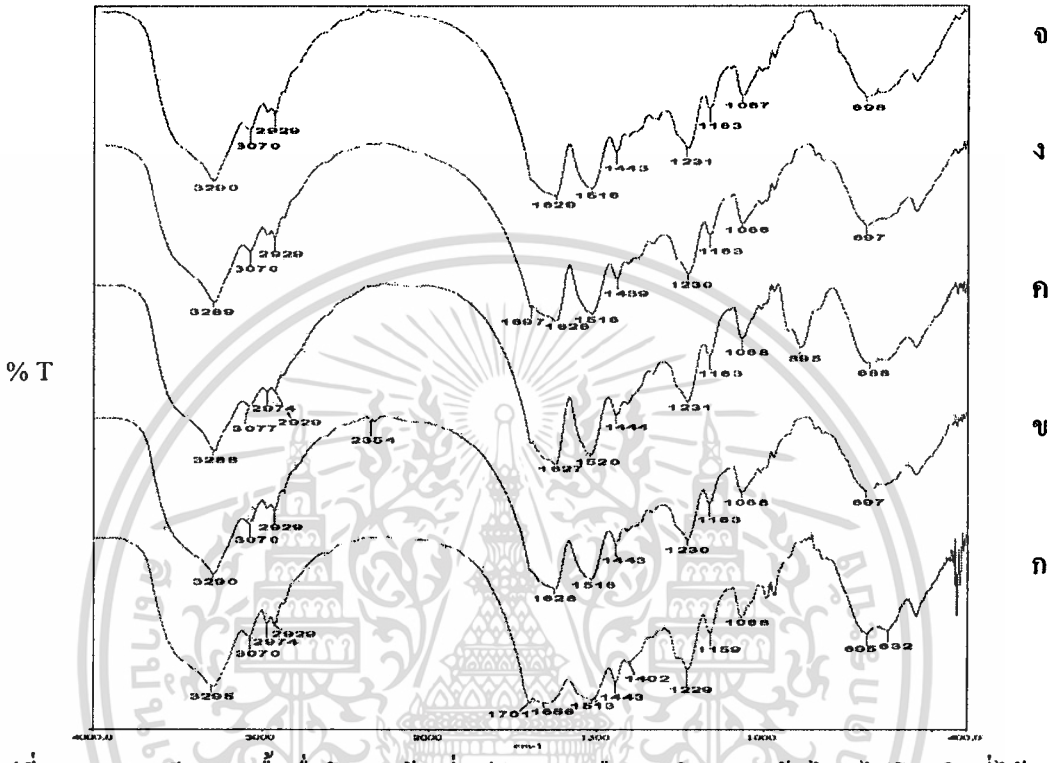
ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างจึงขึ้นกับชนิดของเกลือและกระบวนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอินก่อนนำมาทำเนื้อเยื่อโครงสร้าง

4.3.4 ผลการศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเนื้อเยื่อโครงสร้างด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือชนิดต่างๆ และเตรียมจากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการต่างๆ โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4.1 ผลการศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ของเส้นไหมไฟโบรอินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนตด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)



รูปที่ 4.25 แสดงพีคของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ของ เส้นไหมไฟโบรอินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

(ก) ผงไหมไฟโบรอินได้จากการทำให้สารละลายแห้งแบบเย็น

(ข) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์

(ค) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท

(ง) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมออกซาเลต

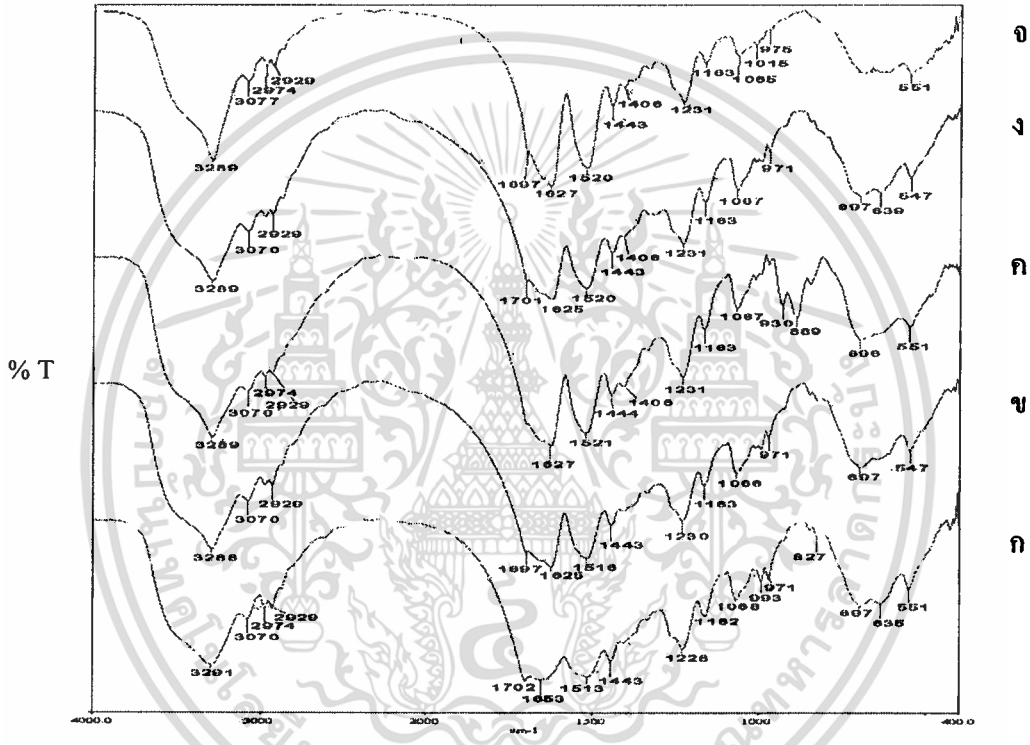
(จ) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์

รูปที่ 4.25 ก พบว่าแถบการดูดกลืนของผงไหมไฟโบรอินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต แล้วทำให้แห้งแบบเย็น มี ตำแหน่งเลขคลื่น 1680-1630 cm^{-1} (Amide I) และ 1509-1514 cm^{-1} (Amide II) เป็นการดูดกลืนของ C=O Stretching และ N-H bending ตามลำดับ ซึ่งพบในเนื้อเยื่อโครงสร้าง ข, ค, ง และจ ที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ด้วยเหมือนกัน ส่วนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2990-2850 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ C-H Stretching ของ CH_3 และ CH_2และเลขคลื่นที่ 1229 cm^{-1} (Amide III), 650 cm^{-1} (Amide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV) แต่เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท จะพบพีคที่ตำแหน่ง 889-895 cm^{-1} และ 930 cm^{-1}ที่ชัดเจน ซึ่งเป็นพีคของ terminal methylene $-C=CH_2$ แสดงว่ากรณีนี้ไหมไฟโบรอินอาจเกิดการขจัดบางหมู่ออกไป

4.3.4.2 ผลการศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ของเส้นไหมไฟโบรอินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)



รูปที่ 4.26 แสดงพีคของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ของ เส้นไหมไฟโบรอินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

(ก) ผงไหมไฟโบรอินได้จากการทำให้สารละลายแห้งแบบเย็น

(ข) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์

(ค) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท

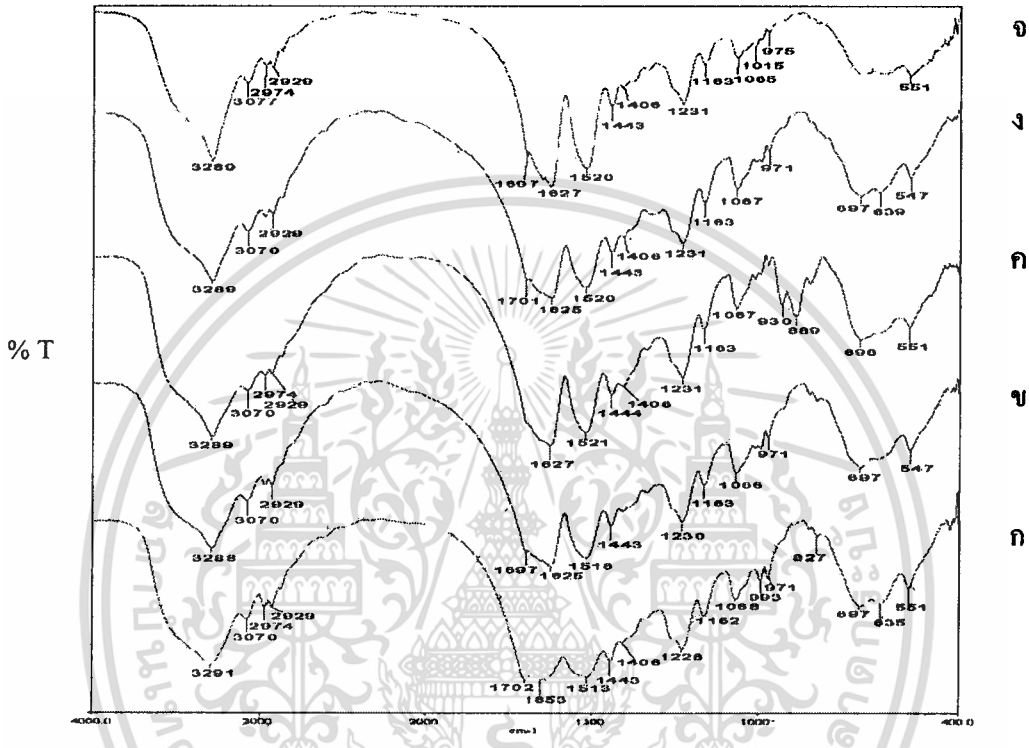
(ง) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมออกซาเลต

(จ) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์

จากรูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4.3 ผลการศึกษาการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ของเส้นไหมไฟโบรอินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนตด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR



รูปที่ 4.27 แสดงพีคของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือ 4 ชนิด ของ เส้นไหมไฟโบรอินที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และ โซเดียมคาร์บอเนต

(ก) ผงไหมไฟโบรอินได้จากการทำให้สารละลายแห้งแบบเย็น

(ข) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์

(ค) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท

(ง) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมออกซาเลต

(จ) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์

รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับรูปที่ 4.25 และ 4.26

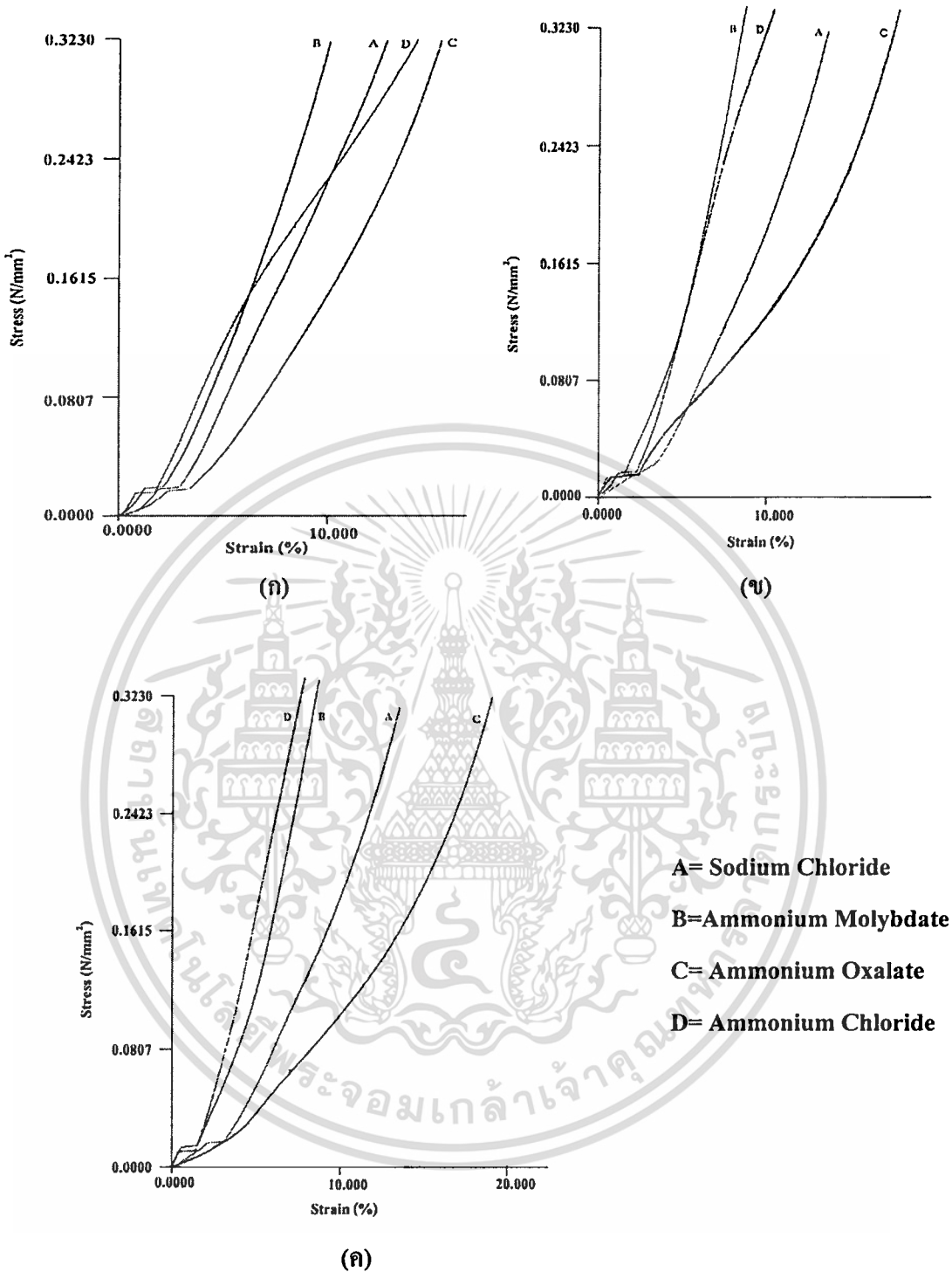
จากผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR แสดงในรูป 4.25, 4.26 และ 4.27 พบว่าหมู่ฟังก์ชันของไหมไฟโบรอินไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมเส้นไหมแต่อาจขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือที่ใช้เตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ผลการทดสอบความแข็งแรงของเนื้อเยื่อโครงสร้างโดยวัดแรงกดอัด (Compressive strength) และ มอดุลัสของของการกดอัด (Compressive Modulus) ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine) ASTM F451-95

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงความแข็งแรงของเนื้อเยื่อโครงสร้างโดยวัดแรงกดอัดและมอดุลัสของการกดอัด

กระบวนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอิน	ชนิดของเกลือ	∅ (m)	(F) at 1% strain (N)	Compressive Strength at 1% strain (kPa)	Compressive Modulus at 1% strain (kPa)
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต	NaCl	0.0247	1.448	4.6	460
	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.0200	3.785	12.9	1290
	$NH_4OCOCOONH_4$	0.0192	1.187	4.3	430
	NH_4Cl	0.0193	4.553	16.3	1630
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	NaCl	0.0198	1.981	6.9	690
	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.0233	4.056	14.4	1440
	$NH_4OCOCOONH_4$	0.0193	1.354	4.7	470
	NH_4Cl	0.0203	3.309	11.0	1100
เส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต	NaCl	0.0209	2.217	6.9	690
	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.0193	2.384	8.8	880
	$NH_4OCOCOONH_4$	0.0230	1.077	3.5	350
	NH_4Cl	0.0195	3.517	12.1	1210



รูปที่ 4.28 แสดงกราฟความแข็งแรงของเนื้อเยื่อโครงสร้างโดยการกดอัด

(ก) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเส้นไหมไฟโบรอินได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

(ข) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 และรูปกราฟที่ 4.28 (ก) แสดงความแข็งแรงกดอัดของเนื้อเยื่อโครงสร้าง ที่เตรียมจากเส้นไหมที่ผ่านการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต โดยเตรียมจากเกลือ 4 ชนิด พบว่าที่ 1% strain ค่าความแข็งแรงกดอัดและมอดุลัสของของการกดอัด ของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์และจากเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท มีค่าสูงใกล้เคียงกัน ส่วนเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมออกซาเลตให้ค่าความแข็งแรงกดอัดและมอดุลัสของของการกดอัดที่ต่ำสุด เมื่อพิจารณาเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการอื่นๆ ก็ให้ผลทดลองในลักษณะเดียวกัน ความแข็งแรงกดอัดของเนื้อเยื่อโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับทั้งสภาวะการเตรียมไหมไฟโบรอินและรูปร่างของผลึกเกลือ นั่นคือไม่ว่าเตรียมจากเกลือชนิดใดก็ตาม เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนตให้ค่าความแข็งแรงกดอัดที่มากกว่าเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการอื่นๆ เนื่องจากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าเส้นไหมที่ผ่านกระบวนการแช่ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ โดยผลการตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดของเส้นไหมไฟโบรอิน นั่นคือเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการแช่ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนไหมไฟโบรอิน ทำให้เส้นไหมไฟโบรอินขาดเป็นเส้นเล็กๆ ถูกตัดสายโซ่โมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลจึงลดลง

เมื่อพิจารณาเกลือที่ใช้เตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง เกลือแอมโมเนียมออกซาเลตให้ค่าความแข็งแรงกดอัดที่ต่ำสุด เนื่องจากรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอก ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายกว่ารูพรุนที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม (เกลือโซเดียมคลอไรด์) และรูพรุนที่มีรูปทรงกลม (เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์และเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำรังไหมไทย สีเหลือง จากอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี มาทำการลอกกาวด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 60 นาที เพื่อแยกโปรตีนเซริซินออก เส้นไหมไฟโบรอินที่ได้แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปแช่เมทานอลเพื่อกำจัดสารให้สีเหลืองพวกแคโรทีนออก ส่วนที่สอง นำไปฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำเส้นไหมไฟโบรอินทั้ง 2 ส่วนนี้ ไปลอกกาวอีกครั้งด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต แล้วนำเส้นไหมไฟโบรอินดังกล่าวไปทำการ Dialysis เพื่อให้ได้สารละลายของไหมไฟโบรอิน นำสารละลายไหมไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มและเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold)

ตอนที่ 1 ผลการเตรียมฟิล์มไหมไฟโบรอิน

1. สามารถเตรียมแผ่นฟิล์มได้จากการต้มรังไหมในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง นำเส้นไหมไฟโบรอินที่ได้ล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต แล้วนำไปทำ dialysis แต่ไม่สามารถเตรียมฟิล์มไหมไฟโบรอินจากเส้นไหมที่ได้จากการต้มรังไหมในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แช่เมทานอลกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วแช่เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่กับโซเดียมคาร์บอเนต เนื่องจากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการแช่ด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จะทำให้สายโซ่โครงสร้างเส้นไหมไฟโบร อินขาดออก น้ำหนักโมเลกุลลดลง

2. ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายผสมต่างๆ มีการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง อาจเนื่องมาจากเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างหมู่อะมิโนของโปรตีนจากเส้นไหมไฟโบรอินทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของไกลเซอร์ราลดีไฮด์และกลูตาราลดีไฮด์ แต่ในกรณีของสารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ แม้ว่าอาจจะไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง แต่หมู่อะมิโนของโปรตีนจากเส้นไหมไฟโบรอินก็ทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของอะซิโตนได้ เป็นการลดหมู่ที่ชอบน้ำของเส้นไหมไฟโบรอินลง ทำให้การดูดซึมน้ำลดลงด้วย

3. ฟิล์มไหมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายผสมชนิดต่างๆภายใน6 ชั่วโมง มีค่าสัดส่วนเจลที่สูงกว่าฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ปรับปรุง เรียงลำดับดังนี้

Glutaraldehyde> Glyceraldehyde> Acetone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 24 ชั่วโมงกลับลดลง ทั้งนี้เนื่องจากในสารละลายผสมต่างๆ มีส่วนของน้ำอยู่ในสารละลาย เมื่อเวลาการแช่นาน 24 ชั่วโมง จะทำให้โมเลกุลบางส่วนของสายโซ่โปรตีนไหมหลุดออก ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ค่าเปอร์เซ็นค่าสัดส่วนเจลลดลงกว่าเวลาการแช่ที่ 6 ชั่วโมง แต่ก็มีบางส่วนเกิดพันธะเชื่อมโยงกับสารละลายผสม เลยทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลสูงกว่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลของฟิล์มไหมที่ไม่ได้ปรับปรุง

5. หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายผสมชนิดต่างๆ ให้ตำแหนงเลขคลื่นคล้ายกัน คือไม่พบเลขคลื่นที่ 1509-1514 cm^{-1} (Amide II) ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ N-H bending และ C-N Stretching จึงเป็นการสนับสนุนว่า หมู่ NH_2 ของไหมทำปฏิกิริยากับหมู่ C=O ของอะซิโตน ไกลเซอร์ราลดีไฮด์ และกลูตาราลดีไฮด์ และมีพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 783-849 cm^{-1} ขึ้นมาแทน ซึ่งเป็นพีคพันธะคู่ และพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3200-3600 cm^{-1} ซึ่งเป็น O-H stretching กว้างขึ้น แสดงว่ามีการขจัดน้ำออกไป

6. ผลจากสมบัติเชิงกล

แบบที่ไม่ได้แช่น้ำก่อนทดสอบ

ความทนแรงดึงยืด มอดุลัสยืดหยุ่นและ % Elongation at Max Load ของฟิล์มที่ผ่านการปรับปรุงส่วนใหญ่ให้ค่าต่ำกว่าฟิล์มไหมที่ไม่ได้ปรับปรุง ก็แสดงว่าโครงสร้างของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงมีความแข็ง เลยยืดหยุ่นได้น้อย ฟิล์มไหมไฟโบรอินอาจเกิดพันธะเชื่อมโยงกับสารละลายผสมต่างๆ จึงทำให้สายโซ่ของไหมไฟโบรอินยึดเกาะกัน เคลื่อนตัวได้ยากเมื่อได้รับแรงดึง ยกเว้นฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่ในสารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แสดงว่าเมื่อแช่ในสารละลายผสมฟิล์มจะแข็งขึ้น ความยาว ณ จุดสูงสุด ของฟิล์มไหมส่วนใหญ่ก็จะให้ค่าที่ต่ำกว่าฟิล์มไหมที่ไม่ได้ปรับปรุง

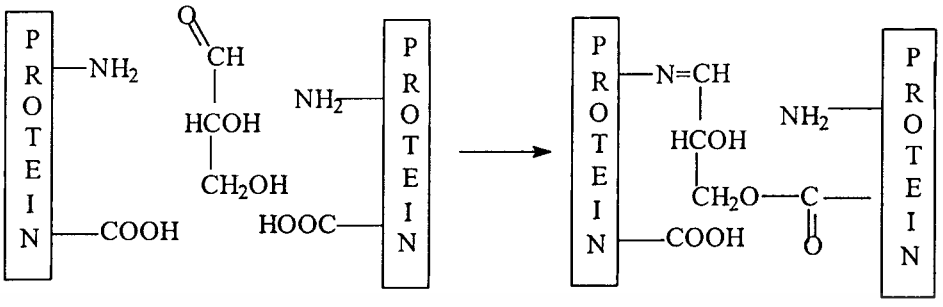
แบบที่แช่น้ำก่อนทดสอบ

ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการแช่ในสารละลายผสมต่างๆ เมื่อนำไปแช่น้ำก่อนทำการทดสอบให้ ค่าความทนแรงดึงยืดและค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ต่ำกว่าในกรณีที่ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้แช่น้ำที่สภาวะเดียวกัน แต่ให้ค่า% Elongation at Max load สูงกว่าฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้แช่น้ำที่สภาวะเดียวกัน เนื่องมาจากน้ำเข้าไปแทรกตามสายโซ่โปรตีนของฟิล์มไหม ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่ จึงเกิดการยืดหยุ่นที่ดี แสดงว่าน้ำมีพฤติกรรมคล้ายกับพลาสติกไซเซอร์

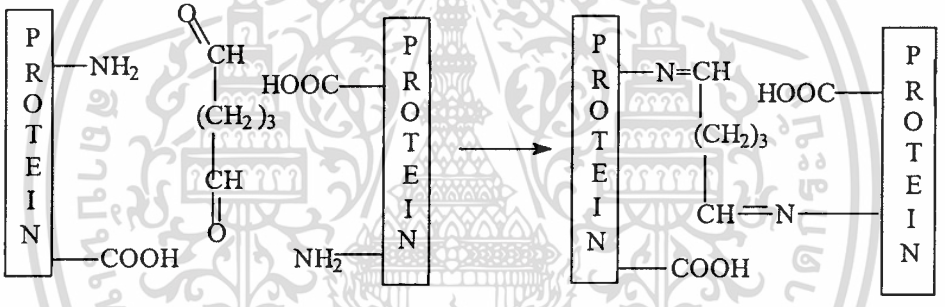
ผลการทดลองทั้งหมดแสดงว่า สามารถเตรียมแผ่นฟิล์มจากรังไหมไทย อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้ส่วนของโปรตีนไฟโบรอินและปรับปรุงสมบัติต่างๆของฟิล์มไหม ไฟโบรอินด้วยสารละลายผสมที่มีสารก่อพันธะเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพจำลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโปรตีนกับสารก่อพันธะเชื่อมโยง



แผนภาพจำลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโปรตีนซึ่งมีหมู่ $-NH_2$ ใน Lysine และหมู่ -COOH ในกรดอะมิโน Glutamic acid หรือ Aspartic acid สามารถเกิดพันธะโคเวเลนท์เชื่อมโยงด้วย Glyceraldehyde



แผนภาพจำลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโปรตีนซึ่งมีหมู่ $-NH_2$ ใน Lysine และหมู่ -COOH ในกรดอะมิโน Glutamic acid หรือ Aspartic acid สามารถเกิดพันธะโคเวเลนท์เชื่อมโยงด้วย Glutaraldehyde [24]

ตอนที่ 2 ผลการเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold)

1. สามารถเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง ได้จากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการต่างๆแล้ว ทำการ dialysis ได้น้ำไหมจากนั้นทำให้เป็นผงด้วยการทำแห้งแบบเย็น ผงไหมไฟโบรอินที่ได้นำมาเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างโดยเทคนิค Salt leaching

2. สามารถเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง จากเกลือ โซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมโมลิบเดท แอมโมเนียมออกซาเลต และแอมโมเนียมคลอไรด์ เนื่องจากขนาดของผลึกเกลือไม่ใหญ่มากเกินไป นั่นคือผลึกเกลือมีขนาดอยู่ในช่วง 200-900 μm [22]

3. การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) พบว่า รูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างมีรูปร่างเหมือนกับผลึกเกลือที่ใช้เตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์มีรูพรุนสูงกว่าเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์เล็กน้อย แต่สูงกว่าเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือชนิดอื่น ถ้าเกลือที่ใช้เตรียมมีขนาดใหญ่มากเกินไป จะทำมีจำนวนรูพรุนน้อย เปอร์เซ็นต์ความมีรูพรุนมีค่าต่ำ ซึ่งจะส่งผลต่อการขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้างและส่งผลต่อการดูดซึมน้ำ

5. เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ความมีรูพรุนสูง จำนวนรูพรุนมาก และมีขนาดรูพรุนเล็กๆ ทำให้น้ำสามารถซึมเข้าไปในรูพรุนได้มาก และกระบวนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอินก่อนนำมาทำเนื้อเยื่อโครงสร้าง พบว่ากระบวนการที่มีการใช้สบู่และโซเดียมคาร์บอเนตจะให้ผลเนื้อเยื่อที่มีการดูดซึมน้ำที่ดีกว่า กระบวนการที่ใช้เมทานอลและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

4. ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน (FTIR) พบว่า หมู่ฟังก์ชันของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับผงไหมไฟโบรอินหลังการทำให้แห้งแบบเย็น แต่เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท จะพบพีคที่ตำแหน่ง 889-895 cm^{-1} และ 930 cm^{-1} ที่ชัดเจน ซึ่งเป็นพีคของ terminal methylene $-C=CH_2$ แสดงว่ากรณีนี้ไหมไฟโบรอินอาจเกิดการขจัดบางหมู่ออกไป ดังนั้นชนิดของเกลือที่ใช้เตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างมีผลต่อหมู่ฟังก์ชันของไหมไฟโบรอิน

5. ผลจากสมบัติเชิงกล

- ผลการทดสอบความแข็งแรงของเนื้อเยื่อโครงสร้างโดยการกดอัด (Compressive strength) พบว่า เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือแอมโมเนียมออกซาเลต ให้ค่าความแข็งแรงโดยการกดอัดน้อยที่สุด ไม่ว่าเตรียมจากเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านกระบวนการใดๆก็ตาม แสดงว่ารูพรุนที่มีลักษณะทรงกระบอก ทำให้เนื้อเยื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายกว่า รูปสี่เหลี่ยม (เกลือโซเดียมคลอไรด์) และรูพรุนที่มีรูปทรงกลม (เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์และเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดท)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการเลือกเนื้อเยื่อโครงสร้างที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานควรพิจารณาสมบัติการดูดน้ำและสมบัติเชิงกลเป็นหลัก เพราะเนื้อเยื่อโครงสร้างที่มีการดูดน้ำที่ดี ก็สามารถทำให้เซลล์ดูดซับเข้าไปในรูพรุนได้ดี

2. ควรศึกษาอัตราส่วนของเกลือต่อสารละลายไหมไฟโบรอิน เพื่อให้ได้เนื้อเยื่อโครงสร้างที่มีรูพรุนต่อเนื่อง ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อเยื่อ

3. ควรอบเกลือชนิดต่างๆ ก่อนนำมาขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้าง เพื่อป้องกันความชื้นและการติดกันของเม็ดเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา **วิทยาศาสตร์เส้นใย** พิมพ์ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2543.

[2] อภิชาต สนธิสมบัติ **กระบวนการเคมีสิ่งทอ** พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ 2543.

[3] มณฑา จันทร์เกตุเลี้ยด **วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น** พิมพ์ครั้งที่ 1 สมาคมเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชินูปถัมภ์ กรุงเทพฯ 2541.

[4] ชนิตา พงษ์ลิมานนท์ **เคมีอินทรีย์เบื้องต้น** พิมพ์ครั้งที่ 4 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กรุงเทพฯ 2542

[5] นวลจันทร์ โชคทวีทรัพย์, นิภาพรรณ โสตถิยานนท์ และศิริเนตร ประดับวงศ์. 2545. **" การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/Sericin โดยวิธีการฉายรังสี และการปรับสภาพทางความร้อน."** โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[6] ภาณุพงศ์ ภูทะวัง. 2547.**"การศึกษาผลของเซริซินชนิดต่างๆที่มีต่อสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์".** โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[7] จรรยา ปั้นเหน่งเพชร, วิทยวัฒน์ กุญชร ณ อยุธยา, ประเวศ แสงเพชร, สมชาย กันหลง, วิโรจน์ แก้วเรือง, โกวิทย์ พงษ์แสวง และ ทิพรรณี เสนะวงศ์. 2546. **"การคุ้มครองไหมไทย"**, หน้า 21-36. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[8] อัจฉราพร ไศละสูต **"ความรู้เรื่องผ้า"** พิมพ์ครั้งที่ 10 สร้างสรรค์-วิชาการ กรุงเทพฯ 2539

[9] โสภณ เริงสำราญ อมร เพชรสม ศุภศร พัฒนอักษรและสุรชัย พคภคกุล **อินทรีย์เคมี II** พิมพ์ครั้งที่ 3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2545.

[10] ลลิดา บุญโฉม **" สมบัติทางกายภาพและการย้อมติดสีของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์"** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546.

[11] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ **"เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน"** พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ 2527.

[12] T. Arai., H. Ishikawa., G. Freddi., S. Winkler and M. Tsukada 2001. Chemical Modification of *Bombyx Mori* Silk Using Isocyanates. ***Journal of Applied Polymer Science***. 79: 1756 – 1763.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] วัฒนา คล้ายรัศมี " **การปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยไหมโดยวิธีการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ในเอทานอลและน้ำ**" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547.

[14] http://www.concord.org/~btinker/worbench_web/unitIV_revised/silk/silk_beta.html

[15] มินะกาวะ โมโตอิ. 2530."**วิทยาการไหม เล่ม 1**". แปลและเรียบเรียงโดย เออีอีชิ คาวาอิ และเข็มชัย เหมะจันทร. คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

[16]http://employees.csbsju.edu/hjakubowski/classes/ch331/protstructure/olunderstandcomfo.Html

[17] G.H. Altman., F. Diaz., C. Jakuba., T. Calabro., R.L. Horan., J. Chen., H. Lu., J. Richmond. And D.L. Kaplan 2003. Silk-based biomaterials. **Biomaterial**. 24 : 401-416

[18] http://www.moac.go.th

[19] http://www.herbalchem.net/carotenoids_Intermediate.htm

[20] Tabunoki H., Higurashi S., Ninagi O.; et. al. 2004. A carotenoid-binding protein (CBP) plays a crucial role in cocoon pigmentation of silkworm (*Bombyx mori*) larvae. **FEBS Letters**.567:175-178

[21] Antonio J.S., Olga P.C. and Rui L.R. 2004. Bone Tissue Engineering state of the art and future trends. **Macromolecular Bioscience**.4:743-765

[22] www.materialstoday.com/pdfs_7_5/ma.pdf

[23] http://en.wikipedia.org/wiki/Tissue_engineering

[24] John A. Kiernan 2000. Formaldehyde, formalin, paraformaldehyde and glutaraldehyde. Article published in Microscopy today (00-1) : 8-12. Available :http://publish.uwo.ca/~jkiernan/formglut.htm

[25] http://en.wikipedia.org/wiki/Glyceraldehyde

[26] Gregory M. and Michael J. 2001. Hydrogels that undergo volumetric expansion in response to changes in their environment and their methods of manufacture and use. **Pharm/Biotech Resources**. 804935.

[27] http://msds.pcd.go.th

[28] http://www.emsdiasum.com/microscopy/technical/msds/10500.pdf

[29] Y. Gotoh., M. Tsukada., N. Minoura. and Y. Imai. 1997. Synthesis of poly(ethylene glycol)-silk fibroin conjugates and surface interaction between L-929 cells and the conjugates. **Biomaterials**. 18: 267-271

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[30] H. Kweon., I.C. Um. and Y.H. Park 2001. Structural and thermal characteristics of *Antheraea pernyi* silk fibroin / chitosan blend film. **Polymer**.42: 6651-6656

[31] M. Li., S. Lu., Z. Wu., K. Tan , N. Minoura and S. Kuga 2002. Structure and properties of silk fibroin-poly(vinyl alcohol) gel. **Biological Macromolecules**. 30: 89-94

[32] M. Li., W. Tao , S. Lu and S. Kuga 2003. Compliant film of regenerated *Antheraea pernyi* silk fibroin by chemical crosslinking. **Biological Macromolecules**. 32: 159-163

[33] R. Nazarov., H-J. Jim. and D.L. Kplan 2004. Porous 3-D Scaffold from Regenerated Silk Fibroin. **Biomacromolecules**. 5: 718-726

[34] S.B. Lee., Y.H. Kim., M.S. Chong and Y.M. Lee 2004. Preparation and characteristics of hybrid scaffold composed of β-chitin and collagen. **Biomaterials**. 25: 2309-2317

[35] Y. Liu., Z. Shao., P. Zhou and X. Chen 2004. Thermal and crystalline behaviour of fibroin / nylon 66 blend films. **Polymer**. 45: 7705-7710

[36] U-J. Kim., J. Park., H.J. Kim., M. Wada and D.L. Kaplan 2005. Three-dimensional aqueous-derived biomaterial scaffolds from silk fibroin. **Biomaterials**. 26: 2775-2785

[37] A. Hokugo., T. Takamoto and Y. Tabata 2006. Preparation of hybrid scaffold from fibroin and biodegradable polymer fiber.**Biomaterials**. 27: 61-67

[38] S. Jin Park., K. Yong Lee., W. Shik Ha and S. Young Park. Structural Changes and Their Effect on Mechanical Properties of Silk Fibroin/Chitosan Blends.**Journal of Applied Polymer Science.** 74: 2571-2575

[39] Venyaminov and Kalnin;1990.Biopolymers.30(13-14):1243-57. Available : http://www.imb-jena.de/ImgLibDoc/ftir/IMAGE_FTIR.html

[40] Y.Xu., Y. Zhang., H. Shao and X. Hu 2004. Solubility and rheological behavior of silk fibroin *(Bombyx mori)* in N-methyl morpholine N-oxide.**Biological Macromolecules**. 35: 155-161

[41] I.C. Um., H.Y. Kweon., Y.H. Park and S. Hudson 2001. Structural characteristics and properties of the regenerated silk fibroin prepared from formic acid.**Biological Macromolecules.** 29: 91-97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก.1 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนในเซริซินและไฟโบรอินของไหมไทยจากอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (กรัมต่อกิโลกรัม)

องค์ประกอบของกรดอะมิโน	เซริซิน (Serisin) อำเภอด่านช้าง	ไฟโบรอิน (Fibroin) อำเภอด่านช้าง
Cysteine (Cys)	9.4	1.34
Aspartic acid (Asp)	0.7	9.03
Methionine (Met)	121.5	0.43
Threonine (Thr)	59.2	4.37
Serine (Ser)	160.1	43.24
Glutamic acid (Glu)	50.6	7.12
Glycine (Gly)	64.8	92.0
Alanine (Ala)	29.6	86.05
Valine (Val)	29.2	9.49
Isoleucine (Ile)	7.3	2.89
Leucine (Leu)	11.9	2.63
Tyrosine (Tyr)	0.0	28.75
Phenylalanine (Phe)	0.8	4.40
Lysine (Lys)	32.0	1.95
Histidine (His)	12.4	1.16
Arginine (Arg)	34.2	3.15
Proline (Pro)	5.6	1.94

ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงฟิล์ม

น้ำหนัก (กรัม)	เวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)					
	1	2	3	4	5	6
น้ำหนักฟิล์มที่ดูดซึมน้ำ	0.3789	0.3838	0.3962	0.3698	0.3685	0.3532
% การดูดซึมน้ำของฟิล์ม	840.12	851.00	878.49	819.96	817.07	783.15
น้ำหนักตะแกรง	0.6528					
น้ำหนักฟิล์มแห้ง	0.0451					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่าการดูดซึมน้ำ และ% การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำ

เวลาในการแช่สารละลายผสม Acetone : H_2O (ชั่วโมง)	น้ำหนักฟิล์มแห้ง	น้ำหนัก (กรัม)	เวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)					
			1	2	3	4	5	6
1	0.0469	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0201	0.0150	0.0122	0.0107	0.0491	0.0531
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	42.86	31.98	26.01	22.81	104.69	113.22
3	0.0192	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0301	0.0245	0.0281	0.0244	0.0684	0.0784
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	156.77	127.60	146.35	127.08	356.25	408.33
6	0.0331	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0190	0.0130	0.0672	0.0515	0.0383	0.0254
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	57.40	39.27	203.02	155.59	115.71	76.74
24	0.0294	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0417	0.0435	0.0306	0.0526	0.0498	0.0510
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	141.84	104.32	104.08	178.91	169.39	173.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ

เวลาในการแช่สารละลายผสม Glyceraldehyde : Acetone : H_2O (ชั่วโมง)	น้ำหนักฟิล์มแห้ง	น้ำหนัก (กรัม)	เวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)					
			1	2	3	4	5	6
1	0.0270	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0175	0.0201	0.0522	0.0587	0.0723	0.0699
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	64.81	74.44	193.33	217.41	267.78	258.89
3	0.0219	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0163	0.0226	0.0725	0.0956	0.0590	0.0803
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	74.43	103.20	331.05	436.53	269.41	366.67
6	0.0402	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0911	0.0831	0.0961	0.0988	0.0835	0.0828
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	226.62	206.72	239.05	245.77	207.71	205.97
24	0.0326	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.1426	0.1157	0.1658	0.1336	0.0941	0.1415
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	437.42	354.91	508.59	409.82	288.65	434.05

ตารางที่ ก.5 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงฟิล์มด้วยการแช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำ

เวลาในการแช่สารละลายผสม Glutaraldehyde : Acetone : H_2O (ชั่วโมง)	น้ำหนักฟิล์มแห้ง	น้ำหนัก (กรัม)	เวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)					
			1	2	3	4	5	6
1	0.0426	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0957	0.0570	0.0972	0.0923	0.1344	0.1219
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	224.65	133.80	228.17	216.67	315.49	286.15
3	0.0321	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0456	0.0587	0.1280	0.0755	0.0640	0.1081
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	129.51	166.71	363.53	214.43	181.77	307.02
6	0.0440	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0586	0.0185	0.0599	0.0590	0.0767	0.0690
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	133.18	42.05	136.14	134.09	174.32	156.82
24	0.0400	ฟิล์มดูดซึมน้ำ	0.0157	0.0053	0.0349	0.0356	0.0493	0.0546
		% ฟิล์มดูดซึมน้ำ	39.25	13.25	87.25	89.00	123.25	136.50

ตารางที่ ก.6 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

ชนิดของเกลือ	น้ำหนัก scaffold แห้ง	น้ำหนัก (กรัม)	เวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)					
			1	2	3	4	5	6
NaCl	0.0178	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.2249	0.2149	0.2325	0.2300	0.2427	0.2425
		% การดูดซึมน้ำ	1163.48	1107.30	1206.18	1192.13	1263.48	1262.36
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.0188	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.2530	0.2304	0.2418	0.2600	0.2621	0.2336
		% การดูดซึมน้ำ	1245.74	1125.53	1186.17	1282.98	1294.15	1142.55
$(NH_4OCO)_2$	0.0189	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.2158	0.2240	0.2360	0.2651	0.2508	0.2842
		% การดูดซึมน้ำ	1041.80	1085.19	1148.68	1302.65	1226.98	1403.70
NH_4Cl	0.0255	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.3997	0.3949	0.3897	0.4052	0.4083	0.3939
		% การดูดซึมน้ำ	1467.45	1448.63	1428.24	1489.02	1501.18	1444.71

ตารางที่ ก.7 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

ชนิดของเกลือ	น้ำหนัก scaffold แห้ง	น้ำหนัก (กรัม)	เวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)					
			1	2	3	4	5	6
NaCl	0.0186	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.2464	0.2300	0.2539	0.2459	0.2500	0.2551
		% การดูดซึมน้ำ	1224.73	1136.56	1265.05	1222.04	1244.09	1271.51
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.0192	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.1625	0.1622	0.1851	0.1810	0.1780	0.1797
		% การดูดซึมน้ำ	746.35	744.79	864.06	842.71	827.08	835.94
$(NH_4OCO)_2$	0.0188	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.1732	0.1737	0.1956	0.1746	0.1731	0.1695
		% การดูดซึมน้ำ	821.28	823.94	940.43	828.72	820.74	801.60
NH_4Cl	0.0112	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.1754	0.1698	0.1819	0.1829	0.1747	0.1743
		% การดูดซึมน้ำ	1466.07	1416.07	1524.11	1533.04	1459.82	1456.25

ตารางที่ ก.8 ค่าการดูดซึมน้ำ และ%การดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากเส้นไหมที่ได้จากการต้มน้ำร้อนในเครื่อง Autoclave 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เมทานอล และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต

ชนิดของเกลือ	น้ำหนัก scaffold แห้ง	น้ำหนัก (กรัม)	เวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)					
			1	2	3	4	5	6
NaCl	0.0165	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.1499	0.1657	0.1766	0.1835	0.1796	0.2009
		% การดูดซึมน้ำ	808.48	904.24	970.30	1012.12	988.48	1117.58
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.0147	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.1155	0.1254	0.1352	0.1392	0.1450	0.1469
		% การดูดซึมน้ำ	685.71	753.06	819.73	846.94	886.39	899.32
$(NH_4OCO)_2$	0.0218	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.1740	0.1708	0.1889	0.1900	0.1973	0.1822
		% การดูดซึมน้ำ	698.17	683.49	766.51	771.56	805.05	735.78
NH_4Cl	0.0172	Scaffold ดูดซึมน้ำ	0.2197	0.2317	0.2499	0.2604	0.2630	0.2618
		% การดูดซึมน้ำ	1177.33	1247.09	1352.91	1413.95	1429.07	1422.09

ตารางที่ ก.9 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่แช่น้ำก่อนการทดสอบ

ฟิล์มไหมไฟโบรอิน	เวลาในการแช่สารละลายผสม (ชั่วโมง)	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	%Elongation at max load
Acetone : H_2O	1	41.22 ± 2.3	2.04 ± 0.3	2.17 ± 0.3
	3	30.23 ± 2.9	1.95 ± 0.5	1.60 ± 0.3
	6	31.24 ± 2.6	1.59 ± 0.1	1.74 ± 0.4
	24	42.50 ± 2.4	2.03 ± 0.7	2.88 ± 0.4
Acetone : H_2O : Glyceraldehyde	1	31.03 ± 1.6	2.07 ± 0.7	1.70 ± 0.4
	3	36.21 ± 3.7	2.19 ± 0.9	1.89 ± 0.1
	6	53.33 ± 0.9	2.72 ± 0.3	2.09 ± 0.1
	24	40.00 ± 2.4	2.30 ± 0.4	1.84 ± 0.1
Acetone : H_2O : Glutaraldehyde	1	28.60 ± 0.2	1.88 ± 0.8	1.92 ± 0.2
	3	38.48 ± 1.8	2.51 ± 0.7	1.71 ± 0.3
	6	34.71 ± 3.3	2.39 ± 0.5	1.54 ± 0.3
	24	36.01 ± 1.7	2.14 ± 0.4	1.84 ± 0.08
ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงฟิล์ม	0	39.88 ± 0.8	2.23 ± 0.1	1.90 ± 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่แช่น้ำ 10 นาที ก่อนการทดสอบ

ฟิล์มไหมไฟโบรอิน	เวลาในการแช่สารละลายผสม (ชั่วโมง)	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	%Elongation at max load
Acetone : H_2O	1	7.89 ± 0.5	71.8 ± 5.0	51.77 ± 3.9
	3	8.43 ± 0.7	46.6 ± 4.6	32.41 ± 2.6
	6	10.39 ± 1.0	126.4 ± 3.5	29.73 ± 9.1
	24	11.21 ± 1.2	96.1 ± 9.6	40.84 ± 6.5
Acetone : H_2O : Glyceraldehyde	1	8.59 ± 1.5	83.2 ± 7.0	42.33 ± 11.5
	3	10.82 ± 1.0	115.1 ± 5.6	39.29 ± 5.1
	6	9.85 ± 1.6	99.1 ± 9.2	32.93 ±3.9
	24	7.56 ± 1.2	92.1 ± 3.7	32.28 ± 1.1
Acetone : H_2O : Glutaraldehyde	1	11.01 ± 1.6	80.0 ± 2.1	57.78 ± 9.9
	3	10.81 ± 1.3	107.3 ± 8.6	51.42 ± 9.7
	6	12.13 ± 0.1	85.2 ± 1.3	57.21 ± 2.6
	24	6.91 ± 1.0	102.9 ± 5.1	10.69 ± 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

1. อินฟราเรดสเปกโทรเมตรี FTIR

การสั่นของอะมิโน (Amide Vibration) [38]

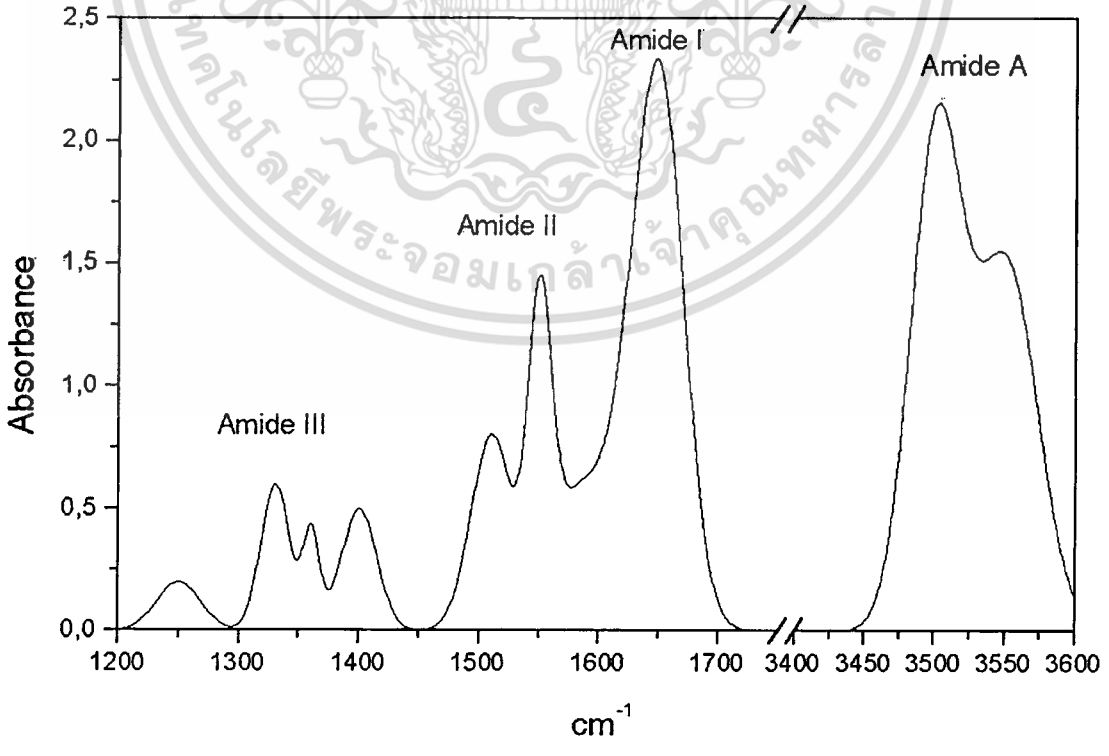
หมู่เพปไทด์ เป็นโครงสร้างที่ซ้ำๆของโปรตีน ให้ลักษณะแถบคลื่นมากกว่า 9 แถบ มีชื่อว่า Amide A, B, I, II ...VII แถบคลื่น Amide A (~3500 cm^{-1}) และ Amide B (~3100 cm^{-1}) แหล่งกำเนิดมาจากเสียงสะท้อนเฟอร์มิ ระหว่างแสงที่หักเหครั้งแรกของ Amide II และ N-H stretching vibration แถบคลื่น Amide I และ Amide II เป็นแถบคลื่นหลักของโปรตีน แถบคลื่น

Amide I (ระหว่าง 1600 – 1700 cm^{-1}) มีความเกี่ยวข้องกับ C=O stretching vibration (70-85%) และสัมพันธ์ต่อสายโซ่หลักของโปรตีน

Amide II ของ N-H bending vibration (40-60%) และ C-N stretching vibration (18-40%) แถบคลื่นนี้มีความว่องไว

Amide III และ IV เป็นแถบคลื่นของสารประกอบมากมาย ซึ่งเป็นผลมาจากของผสมที่เข้ามาแทนที่

Amide V, VI และ VII เป็นการเคลื่อนที่แบบ 0ut-of-plane



รูปที่ ข.1 แสดงแถบการดูดกลืนคลื่นของโปรตีนด้วย FTIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Amide A จะมากกว่า 95% เนื่องจาก N-H stretching vibration การสั่นนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับสายโซ่หลัก แต่จะว่องไวมากๆต่อความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจน มีเลขคลื่นระหว่าง 3225 และ 3280 cm^{-1} ความยาวพันธะ H ระหว่าง 2.69-2.85 Å

Amide I เป็นแถบที่มีการดูดกลืนมากของโปรตีน ควบคุมโดย stretching vibration ของ C=O (70-85%) และ หมู่ C-N (10-20%) ความถี่ที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่าง 1600 – 1700 cm^{-1} ตำแหน่งแถบคลื่นที่ชัดเจนถูกกำหนดโดยสายโซ่หลักและพันธะ H

Amide II เกิดขึ้นในช่วง 1510 - 1580 cm^{-1} และมีสารระกอบมากมายกว่า Amide I และ Amide II ได้จาก in-plane N-H bending (40-60% จากระดับพลังงาน) ส่วนที่เหลือของระดับพลังงานจะเคลื่อนขึ้นจาก C-N (18-40%) และ C-C (~10%) stretching vibration

Amide III, V เป็นแถบคลื่นของสารประกอบมากมาย ขึ้นอยู่กับรายละเอียดของสนามแรง, สายโซ่ด้านข้าง และพันธะ H

การสั่นสายโซ่ด้านข้างของกรดอะมิโน (Amino acid side chain vibration)

การสั่นของสายโซ่ด้านข้างจะเกิดในช่วง 1800 -1400cm^{-1} (Amide I และ Amide II) ถูกตรวจสอบโดย Venyaminov and Kalnin 1990 (Biopolymers 1990; 13-14):1243-57 จำนวนกรดอะมิโนมากมาย 20 ชนิด เพียง 9 ชนิด (Asp, Asn, Glu, Gln, Lys, Arg, Tyr, Phe, His) แสดงแถบการดูดกลืนในช่วงที่อธิบาย

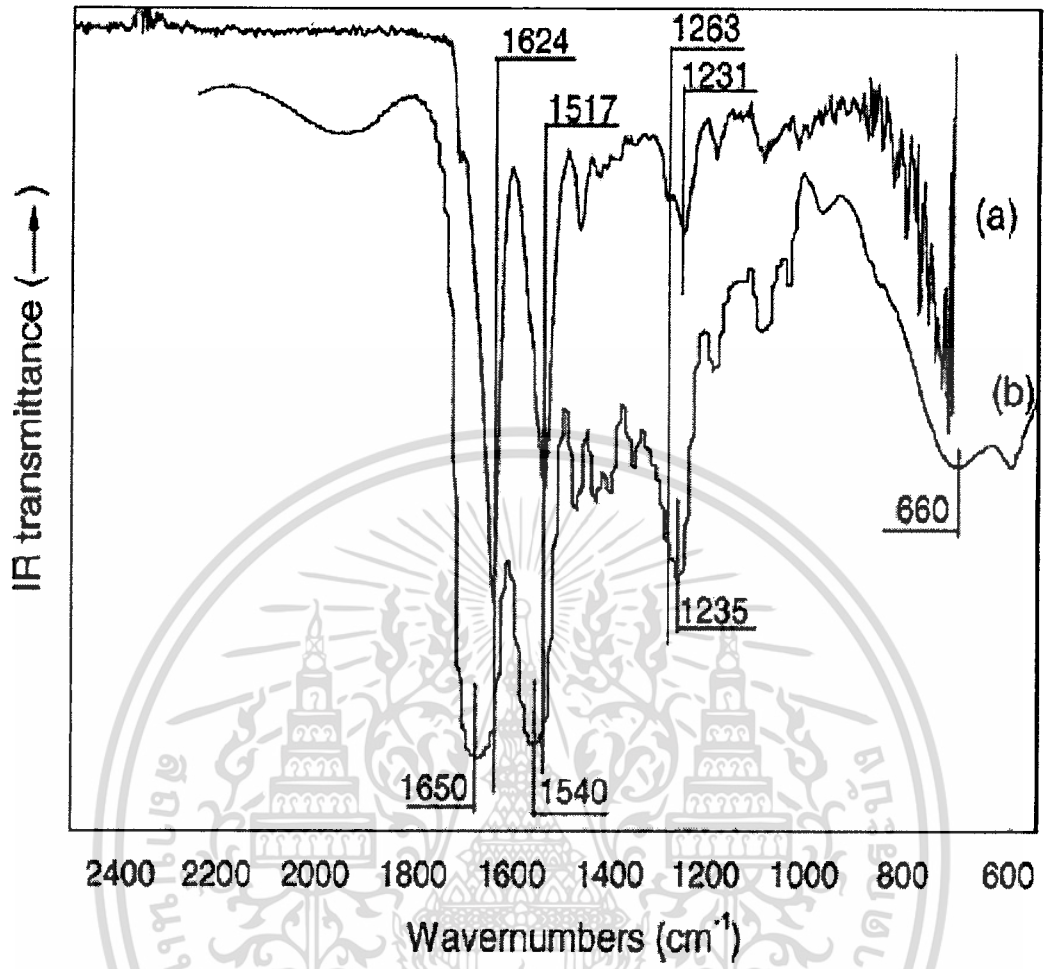
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงแถบการดูดกลืนคลื่นของกรดอะมิโน 9 ชนิด

AS	vibration		cm^{-1}	A_0 (l/mol/cm)	FWHH (cm^{-1})	surface ($x10^{-4}$ l/mol/cm)
Asp	-COO st as	pH>pK (~4.5)	1574	380	44	5.5
	-COOH st	pH<pK (~4.5)	1716	280	50	4.1
Glu	-COO st as	pH>pK (~4.4)	1560	470	48	7.1
	-COOH st	pH<pK (~4.4)	1712	220	56	3.6
Arg	$-CN_3H_5^+$ st as		1673	420	40	4.3
	st s		1633	300	40	3.6
Lys	$-NH_3^+$ bd as		1629	130	46	1.8
	bd s		1526	100	48	1.3
Asn	-C=O st		1678	310	32	2.7
	$-NH_2$ bd		1622	160	44	2.5
Gln	-C=O st		1670	360	32	3.1
	$-NH_2$ bd		1610	220	44	3.5
Tyr	ring-OH	pH<pK (~10)	1518	430	8	1.0
	ring-O	pH>pK (~10)	1602	160	14	0.7
			1498	700	10	2.5
His	ring		1596	70	14	0.3
Phe	ring		1494	80	6	0.2
terminal						
	-COO st as		1598	240	47	3.5
	-COOH st		1740	170	50	2.1
	$-NH_3^+$ bd as		1631	210	54	3.8
	bd s		1515	200	60	4.3
	$-NH_2$ bd		1560	450	46	7.5

frequency, absorbance at the maximum (Ao), full width at half height (FWHH), surface of Gaussianband st=stretching vibration, bd=bending, s=symmetrical, as=asymmetrical

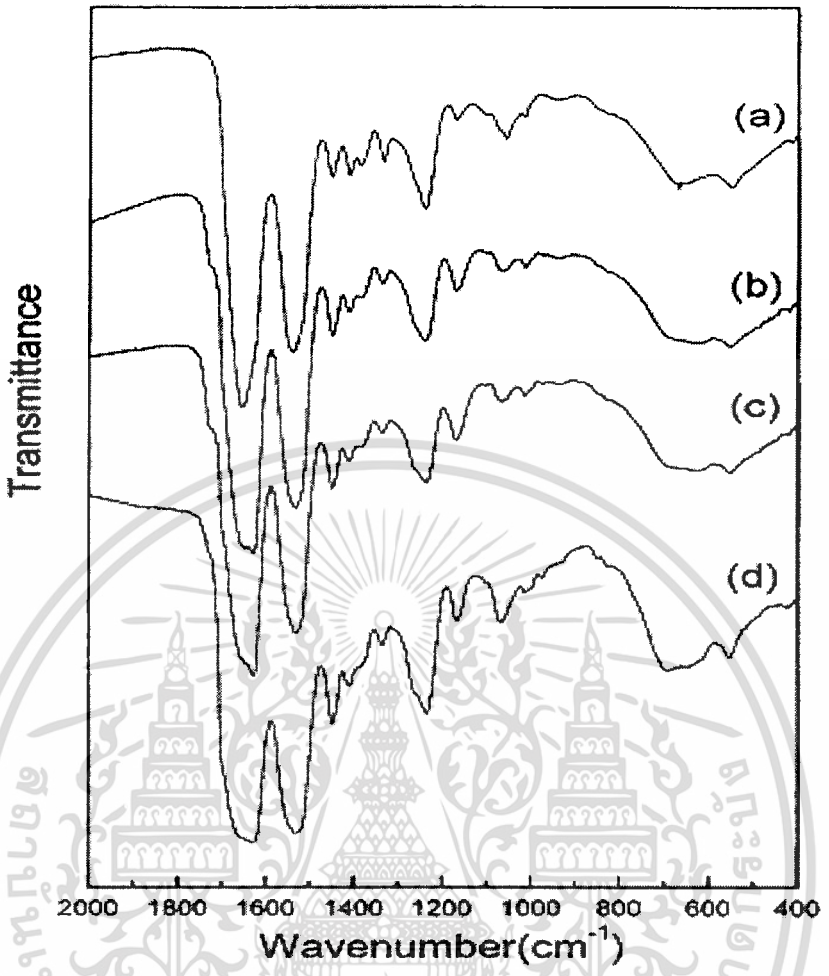
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 สเปกตรัมของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการลอกกาวด้วยด่าง (a) และ ฟิล์มไหมไฟโบรอินเริ่มต้น(b) [40]

รูปที่ ข.2 (a) มีแถบเลขคลื่นที่ 1624 ,1517 และ 1263 cm^{-1} ซึ่งจะเป็นแถบ amide I, amide II และ amide III ตามลำดับ ไหมไฟโบรอินที่ผ่านการลอกกาวด้วยสบู่จะเปลี่ยนรูปร่างเป็น β-sheet ในทางตรงกันข้าม รูปที่ ข.2 (b) แสดงแถบเลขคลื่นที่ 1650 (amide I), 1540 (amide II), 1235 (amide III) และ 660 (amide V) ซึ่งเป็นรูปร่างของ random coil [40]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 สเปกตรัมของฟิล์มไหมไฟโบรอิน

(a) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ได้จากการเทสารละลายน้ำไหมไฟโบรอินหลังการ Dialysis ไม่แช่เมทานอล

(b) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ได้จากการเทสารละลายน้ำไหมไฟโบรอินหลังการ Dialysis แล้วแช่ในเมทานอล

(c) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ได้จากการละลายเส้นไหมไฟโบรอินในกรดฟอร์มิค ไม่แช่เมทานอล

(d) ฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ได้จากการละลายเส้นไหมไฟโบรอินในกรดฟอร์มิค แล้วแช่ในเมทานอล [41]

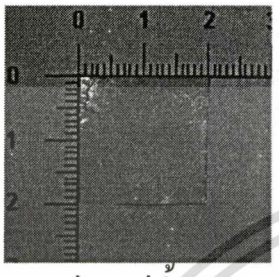
รูปที่ ข.3 (a) แสดงแถบเลขคลื่นที่ 1655 (AmideI), 1540 (Amide II) และ 1235 (Amide III) เป็นรูปร่างของ random coil ในทางตรงกันข้าม รูปที่ ข.3 (c) แสดงแถบเลขคลื่น 1628 (Amide I), 1533 (Amide II) และ 1265 (Amide III) เป็นรูปร่างของ β-sheet ส่วนฟิล์มที่แช่ในเมทานอล รูปที่ ข.3 แสดงแถบเลขคลื่นคล้ายๆกับรูปที่ ข.3 (c) [41]

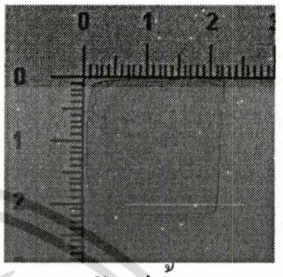
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

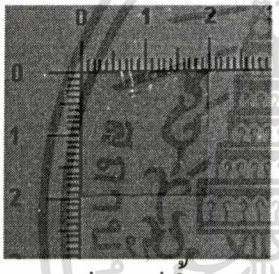
รูปที่ ค.1 การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการแช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำที่เวลาต่างๆ แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 6 ชั่วโมง

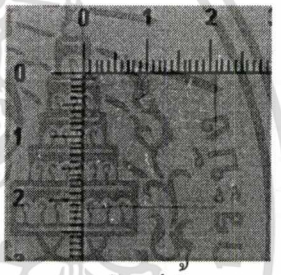
แช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง


ก่อนแช่น้ำ

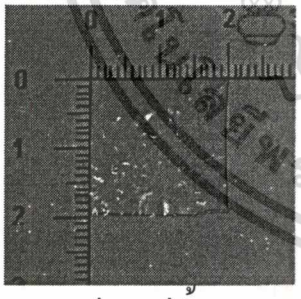

หลังแช่น้ำ

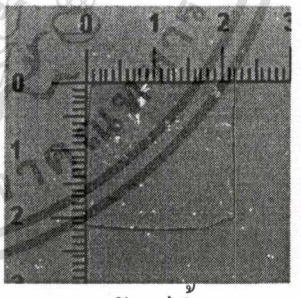
แช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง


ก่อนแช่น้ำ

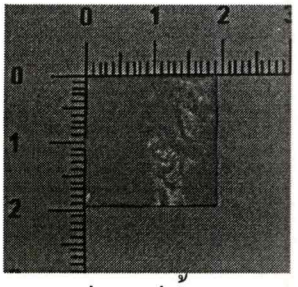

หลังแช่น้ำ

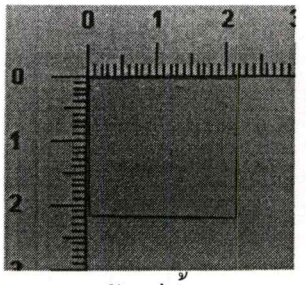
แช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง


ก่อนแช่น้ำ


หลังแช่น้ำ

แช่สารละลายผสมอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

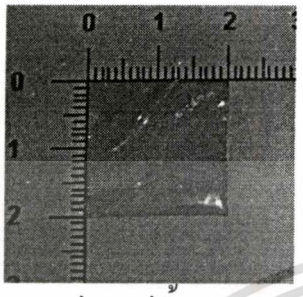

ก่อนแช่น้ำ


หลังแช่น้ำ

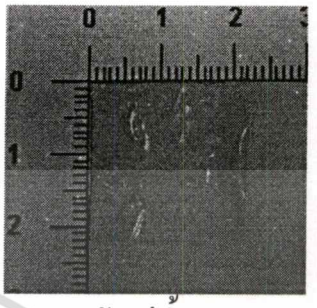
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.2 การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการสารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำที่เวลาต่างๆ แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 6 ชั่วโมง

แช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

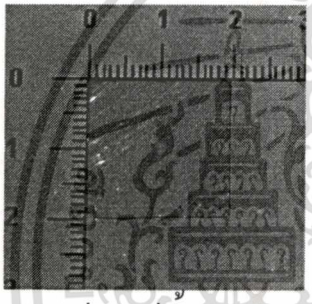


ก่อนแช่น้ำ

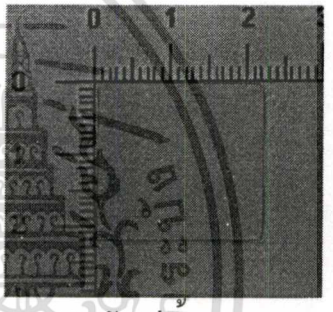


หลังแช่น้ำ

แช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

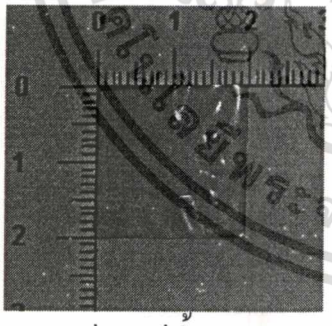


ก่อนแช่น้ำ

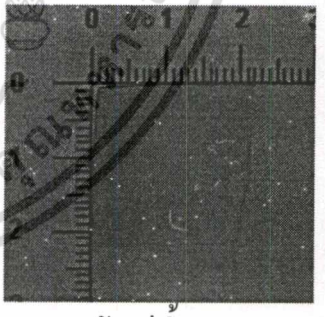


หลังแช่น้ำ

แช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

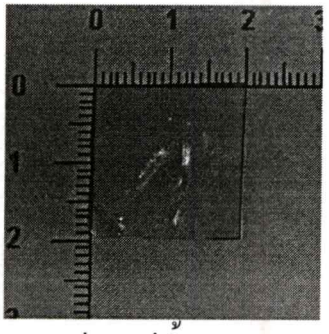


ก่อนแช่น้ำ

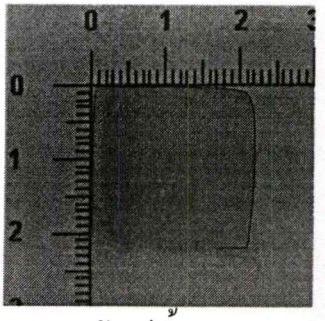


หลังแช่น้ำ

แช่สารละลายผสมไกลเซอร์ราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ก่อนแช่น้ำ

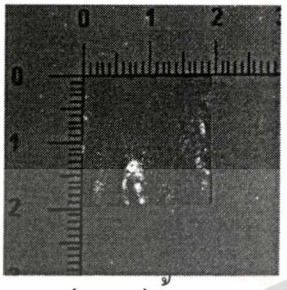


หลังแช่น้ำ

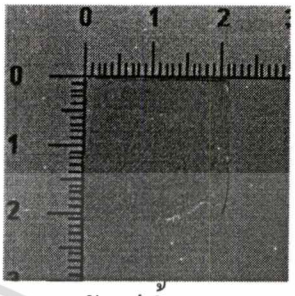
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.3 การดูดซึมน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการสารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำที่เวลาต่างๆ แล้วนำฟิล์มไหมไปแช่น้ำที่เวลา 6 ชั่วโมง

แช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

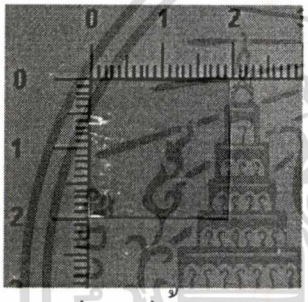


ก่อนแช่น้ำ

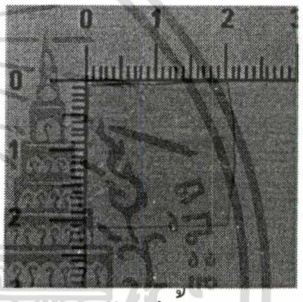


หลังแช่น้ำ

แช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

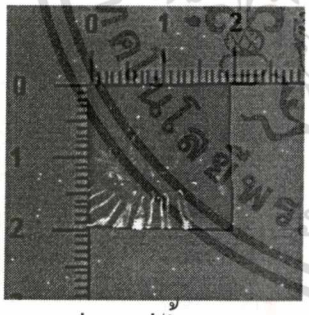


ก่อนแช่น้ำ

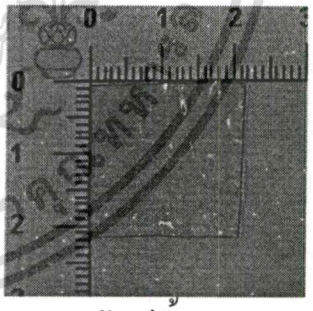


หลังแช่น้ำ

แช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

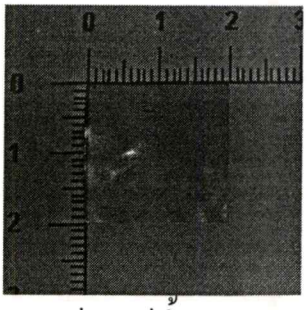


ก่อนแช่น้ำ

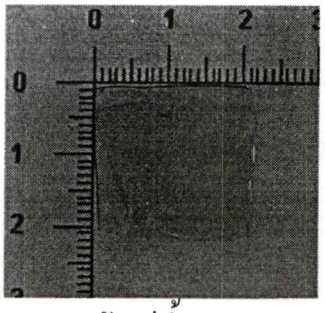


หลังแช่น้ำ

แช่สารละลายผสมกลูตาราลดีไฮด์กับอะซิโตนกับน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ก่อนแช่น้ำ



หลังแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้ทำงานวิจัย

ชื่อ	ปุณยชา บัณฑิตกุล
วันเกิด	13 เมษายน 1978
ภูมิลำเนา	นครศรีธรรมราช
ที่อยู่	12/151 การเคหะคลองจั่น แฟลต 12 คลองจั่น บางกะปิ กรุงเทพ 10240
การศึกษา	- ระดับมัธยม โรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช - ระดับปริญญาตรี (วศ.บ.พลาสติก) คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคล ธัญบุรี - ระดับปริญญาโท (วท.ม.เทคโนโลยีพอลิเมอร์) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้