

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างจากไฟโบรอินของไทย



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มท.  
๕495ก  
2550

ปีการศึกษา 2550

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 107912  
..... - 8 ส.ย. 2553  
วัน,เดือน,ปี.....

b..... 12213020  
i.....

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Preparation of Scaffold from Fibroin of Thai Silk**

Mr. Charnvit Boonnitirungkij

Miss Waraporn Saeteo

Miss Sirilak Sujiwatthanasarat

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for  
the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง** การเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างจากไฟโบรอินของไทย  
**นักศึกษา** นายชาญวิทย์ บุญนิธิรุ่งกิจ  
 นางสาววราภรณ์ แซ่เตี๋ยว  
 นางสาวศิริลักษณ์ สุจิตพัฒนารัตน์  
**ภาควิชา** เคมี  
**สาขาวิชา** เคมีอุตสาหกรรม  
**ปีการศึกษา** 2550  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ.ดร. มาลีณี ชัยสุขภักขินันท์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร	
กรรมการ รศ.ดร. กัญญา คันตวิสุทธิกุล	
กรรมการ รศ.ดร. มาลีณี ชัยสุขภักขินันท์	



( ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์ )

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อโครงการพิเศษ</b>	การเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างจากไฟโบรอินของไทย	
<b>นักศึกษา</b>	นายชาญวิทย์	บุญนิธิรุ่งกิจ
	นางสาววราภรณ์	แซ่เตียว
	นางสาวศิริลักษณ์	สุจิตต์นารัตน์
<b>ภาควิชา</b>	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
<b>ปีการศึกษา</b>	2550	
<b>สาขาวิชา</b>	เคมีอุตสาหกรรม	
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	รศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์	

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง(Scaffold) จากไฟโบรอินของไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อย โดยใช้สารทำให้เกิดรูพรุนที่ต่างกัน แบ่งการเตรียมเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมผงไหมไฟโบรอินจากรังไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อยได้ผลิตภัณฑ์เป็นผงสีเหลืองอ่อน ขั้นที่สองเป็นการเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินโดยละลายผงไหมไฟโบรอินที่ปริมาณต่างกันใน 1,1,1,3,3,3-เฮกซะฟลูออโรโพรพานอล (HFIP) และใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นสารทำให้เกิดรูพรุน ขั้นที่สามเปลี่ยนจากเกลือโซเดียมคลอไรด์มาเป็นน้ำตาลกลูโคส โมโนไฮเดรตและน้ำตาลซูโครส หลังจากที่ทำทราบปริมาณไหมที่เหมาะสม

ผลการตรวจวิเคราะห์จากเทคนิค FTIR และ TGA แสดงให้เห็นว่าผงไหมไฟโบรอินจากขั้นตอนแรกและเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินจากขั้นที่ 2 มีโครงสร้างและอุณหภูมิการสลายตัวคล้ายกัน แสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนการเตรียมไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของไฟโบรอินจากไหม และเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อยที่มีปริมาณของไหม 0.4 กรัมต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตรจะให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด เมื่อใช้น้ำตาลกลูโคส โมโนไฮเดรตและน้ำตาลซูโครสแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่า เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ให้สมบัติเชิงกลดีกว่าเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสและไม่สามารถเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างจากน้ำตาลกลูโคส โมโนไฮเดรตได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กเกินไป และเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างมีสมบัติดีกว่าเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย

<b>Special Project Title</b>	Preparation of Scaffold from Fibroin of Thai Silk
<b>Student</b>	Mr. Charnvit Boonnitirungkij Miss Waraporn Saeteo Miss Sirilak Sujiwatthanarat
<b>Department of</b>	Chemistry Faculty of Science
<b>Major</b>	Industrial Chemistry
<b>Year</b>	2007
<b>Special Project Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin

### ABSTRACT

This research focus on preparation of scaffold from fibroin of Thai silk by using different porogen. The preparation divided into 3 steps. Firstly, pale yellow powder of silk prepared from cocoon of Dan Chang and Nang Noi. Secondly, scaffold was prepared by dissolution silk powder in HFIP and using NaCl as porogen. Third, change porogen from NaCl to Glucose monohydrate and sucrose after finding the suitable concentration of silk.

The results received from FTIR and TGA techniques showed that there were no different in chemical structure and decomposition temperature between silk powder and scaffold. This means that the preparation method did not show any effect on structure of silk fibroin. It was found that 0.4 gm of silk fibroin from Dan Chang and Nang Noi which dissolved in 3 ml of HFIP, provided the best properties. When using glucose monohydrate and sucrose instead of NaCl, it was found that scaffold prepared from NaCl provided mechanical property better than scaffold prepared from sucrose. In case of glucose monohydrate, scaffold can not form due to crystal size too small. Scaffold prepared from Dan Chang thai silk showed the properties better than scaffold from Nang Noi.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มาลินี ชัยสุขภักขสินธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ อบรมให้รู้จักการทำงานอย่างมีระเบียบรอบคอบ และเป็นผู้หาเงินเข้าโครงการวิจัยพร้อม กับให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร และ รศ.ดร. กันยา ตันตวิสุทธิกุล อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบ โครงการพิเศษที่ให้ความอนุเคราะห์การตรวจทาน และแก้ไข โครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี เจ้าหน้าที่ของศูนย์เครื่องมือฯ คณะวิทยาศาสตร์ และ ภาควิชาศสตร์เกษตร คณะศสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือเพื่อปฏิบัติงานจน โครงการพิเศษนี้เสร็จ สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านแรงงานความคิดและ เป็นกำลังใจให้เสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สถาบัน ที่ให้การศึกษาดลอดระยะเวลา 4 ปีจนสำเร็จการศึกษา

นายชาญวิทย์

บุญนิธิรุ่งกิจ

นางสาววารากรณ์

แซ่เตียว

นางสาวศิริลักษณ์

สุจิตพัฒนารัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ

## บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2

## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ใหม่	4
2.2 โครงสร้างของโปรตีน	4
2.2.1 โครงสร้างปฐมภูมิ	4
2.2.2 โครงสร้างทุติยภูมิ	4
2.2.3 โครงสร้างตติยภูมิ	6
2.2.4 โครงสร้างจตุรภูมิ	6
2.3 สมบัติบางประการและปฏิกิริยาของโปรตีน	6
2.3.1 สมบัติทางกายภาพของโปรตีน	6
2.3.2 สมบัติทางเคมีของโปรตีน	6
2.4 ใหม่ไฟโบรอิน	8
2.5 สมบัติของเส้นไหมไฟโบรอิน	14
2.5.1 สมบัติทางกายภาพ	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.2 สมบัติทางเคมีของไหมไฟโบรอิน	17
2.5.3 สมบัติทางชีวภาพ	18
2.5.4 สมบัติในการติดไฟ	18
2.5.5 สมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน	18
2.6 การปรับปรุงเส้นใยไหมด้วยวิธีการทางเคมี	18
2.6.1 การลอกกาวด้วยโซดา	18
2.6.2 การลอกกาวด้วยสบู่	19
2.6.3 การลอกกาวด้วยเอนไซม์	19
2.6.4 การลอกกาวด้วยกรด	19
2.6.5 การลอกกาวด้วยไตรเอทิลอะมีน	19
2.6.6 การลอกกาวด้วยสบู่-โซดา	19
2.7 การนำไหมไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ	20
2.8 เนื้อเยื่อวิศวกรรม	23
2.8.1 การสังเคราะห์เนื้อเยื่อวิศวกรรม	24
2.8.2 สมบัติที่จำเป็นที่สุดของเนื้อเยื่อวิศวกรรม	25
2.9 โพรเจน	26
2.9.1 โซเดียมคลอไรด์	27
2.9.2 น้ำตาลซูโครส	28
2.9.3 น้ำตาลกลูโคส โมโนไฮเดรต	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้	32
3.2 วิธีการทดลอง	35
3.3 สมบัติทางกายภาพ	38
3.3.1 ทดสอบการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง	38
3.3.2 การหาความหนาแน่นของ เนื้อเยื่อ โครงสร้าง	39
3.4 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยไหมไฟโบรอิน โดยเทคนิค FTIR	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้หลักการวิเคราะห์ทางความร้อน	39
3.6 การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดอัดของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์	40
3.7 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด	40
 <b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล</b>	
ตอนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณไหมที่มีต่อสมบัติต่างๆของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง	
โดยใช้เกลือ โซเดียมคลอไรด์เป็น โปรเจน	
4.1.1 การขึ้นรูปเนื้อเยื่อ โครงสร้างของไหมไทยดำนข้างและไหมไทยนางน้อย ที่มีปริมาณไหมต่างกัน โดยใช้เกลือ โซเดียมคลอไรด์เป็น โปรเจน	41
4.1.2 ผลการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเส้นไหมไฟโบรอินของไหมไทยดำนข้าง และไหมไทยนางน้อยที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	42
4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหม ไฟโบรอิน และเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก	44
4.1.4 ผลการคำนวณหาความหนาแน่นของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง	47
4.1.5 การศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โปรตีนไฟโบรอิน	47
4.1.6 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อ โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบส่องกวาด	49
4.1.7 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดอัดด้วยเครื่องทดสอบ เอนกประสงค์	52
ตอนที่ 2 ศึกษาสมบัติต่างๆของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โดยใช้น้ำตาลซูโครสและน้ำตาล	
กลูโคสโมโนไฮเดรตเป็น โปรเจนแทนเกลือ โซเดียมคลอไรด์	
4.2.1 การขึ้นรูปเนื้อเยื่อ โครงสร้างของไหมไทยดำนข้างและไหมไทยนางน้อย ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน โดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆเป็น โปรเจน	54
4.2.2 ผลการคำนวณหาความหนาแน่นของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โดยใช้น้ำตาล ซูโครสเป็น โปรเจน	55

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.3 การศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โปรตีนไฟโบรอิน โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโปรอเจน	55
4.2.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อ โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบส่องกวาด โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารทำให้เกิดรูพรุน	56
4.2.5 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรง ด้วยเครื่องทดสอบ เอนกประสงค์	57
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
ตอนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณใหม่ที่มีต่อสมบัติต่างๆของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรอเจน	60
ตอนที่ 2 ศึกษาสมบัติต่างๆของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โดยใช้น้ำตาลซูโครสและ น้ำตาลกลูโคส โมโนไฮเดรตเป็น โปรอเจนแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์	60
5.1 ข้อเสนอแนะ	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก ก การคำนวณ	64
ภาคผนวก ข ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคจากเครื่อง SEM	71
ภาคผนวก ค อินฟราเรดสเปกโทรเมตรี FTIR	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างสามมิติของไหม	5
2.2 แสดงลักษณะ โครงสร้างของไหมไฟโบรอินชนิดแผ่นจีบ	5
2.3 แสดงแสดงภาคตัดขวางของเส้นไหมจากรังไหม <i>Bombyx mori</i>	8
2.4 โครงสร้างของเส้นใยไหม	9
2.5 SEM เส้นไหมไหมเลี้ยง( <i>Bombyx mori</i> )ไหมดิบไม่มีการลอกกาวไหม(เซรีซิน) ออก	14
2.6 SEM แสดงเส้นไหมที่มีการลอกกาวไหม(เซรีซิน) ออก โดยสกัดเป็นเวลา 60 นาที	15
2.7 SEM เส้นไหมไหมเลี้ยง ( <i>Bombyx mori</i> )ไหมดิบไม่มีการลอกกาวไหม(เซรีซิน) ออก	15
2.8 SEM แสดงเส้นไหมที่มีการลอกกาวไหม(เซรีซิน) ออก โดยสกัดเป็นเวลา 60 นาที	16
4.1 สเปกตรัมของไหมไฟโบรอินของไหมไทยด้านข้างที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ	43
4.2 สเปกตรัมของไหมไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ	43
4.3 TGA เทอร์โมแกรมของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอิน และเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยด้านข้าง	45
4.4 TGA เทอร์โมแกรมของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอิน และเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย	46
4.5 กราฟความหนาแน่นของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อย	47
4.6 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้าง โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น โพรเจน	48
4.7 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น โพรเจน	48
4.8 รูปร่างของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้าง โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นโพรเจน ที่กำลังขยาย 150 เท่า	50
4.9 รูปร่างของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น โพรเจน ที่กำลังขยาย 150 เท่า	51
4.10 กราฟแสดงความสามารถในการรับแรงกดอัดของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน	52
4.11 กราฟแท่งแสดงความสามารถในการรับแรงกดอัดของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน	53
4.12 แสดงกราฟความหนาแน่นที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อยที่	55

### 0.4 กรัม/ ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยค่าน้าง โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และน้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจน	56
4.14 รูปร่างของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยค่าน้างและไหมไทยนางน้อย โดยใช้น้ำตาลซูโครสทำให้เกิดรูปร่าง ที่กำลังขยาย 100 เท่า	57
4.15 กราฟแสดงความสามารถในการรับแรงกดของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน ที่น้ำหนักของไหม 0.4 กรัมต่อปริมาณสารละลายHFIP 3 มิลลิลิตร	58
4.16 กราฟแท่งแสดงความสามารถในการรับแรงกดของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน	58



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบในไหม	10
2.2 คุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย	10
2.3 แสดงปริมาณหมู่อะมิโนที่พบในรังไหมไทยนางน้อยและรังไหมไทยด่านช้าง	13
3.1 แสดงปริมาณผงไหมไฟโบรอินและHFIP	38
4.1 ลักษณะทางกายภาพของเนื้อเยื่อ โครงสร้างเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไหมต่างกัน โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรเจน	41
4.2 รูปเลขคลื่นที่สัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชันของไหม	42
4.3 อุณหภูมิของการสลายตัวของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอิน และเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน	44
4.4 ลักษณะทางกายภาพของเนื้อเยื่อ โครงสร้างของไหมไทย โดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ เป็นโปรเจน	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

หนอนไหม(Silkworm) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Bombyx mori อยู่ในวงศ์ Bombycidae หนอนไหมเป็นแมลงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Completely metamorphosis insect) ผลิตเส้นไหมซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติ จัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่งมีโครงสร้างที่เรียกว่าโปรตีน สามารถแยกกรดอะมิโนออกจากโปรตีนได้โดยการไฮโดรไลส์ด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด โปรตีนเส้นไหมมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ โปรตีนที่เรียกว่าไฟโบรอิน (Fibroin) เป็นเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ (ประมาณ 78% ของน้ำหนักไหมดิบ) และอีกชนิดหนึ่งคือโปรตีนที่เรียกว่าเซรีซิน (Sericin) ซึ่งเป็นกาวไหมที่ทำให้เส้นใย 2 เส้นติดกัน สามารถละลายน้ำได้ไหมสามารถนำไปใช้งานอยู่ในรูปของเส้นใยสิ่งทอและการเป็นวัสดุทางการแพทย์ เนื่องจากเหนียวและทนต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งยังเข้ากับเนื้อเยื่อมนุษย์ได้ดี

เนื้อเยื่อวิศวกรรม ถูกจำกัดความเป็นศาสตร์ 2 ศาสตร์ที่ใช้ประโยชน์ตามหลักของวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ชีวภาพ เกี่ยวกับการพัฒนาของชีววิทยาเพื่อแทนที่ ซ่อมแซม รักษาหรือปรับปรุงเนื้อเยื่อ ในการออกแบบเนื้อเยื่อวิศวกรรมนั้นวัสดุและเทคนิคการผลิตจะเป็นสิ่งสำคัญ จุดมุ่งหมายของการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ Scaffold ให้เหมาะสมกับความต้องการเฉพาะอย่างรูพรุนที่มากและขนาดรูที่เพียงพอจึงเป็นที่ต้องการจากงานวิจัย เพื่อสะดวกในการเพาะเซลล์และแพร่ผ่านตลอด ทำให้โครงสร้างสมบูรณ์ของทั้งเซลล์และสารอาหาร การเสื่อมสภาพทางชีวภาพเป็นส่วนสำคัญของ Scaffold ที่ต้องการ เพื่อควบคุมเนื้อเยื่อแวดล้อมภายนอกที่จำเป็นจากการผ่าตัดเอาออกไป อัตราของการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นเท่ากับอัตราการเกิดเนื้อเยื่อใหม่ นั่นคือ ขณะเซลล์เกิดขึ้นมีโครงสร้างเมทริกซ์ธรรมชาติรอบๆเซลล์ Scaffold สามารถให้โครงสร้างที่สมบูรณ์ภายในร่างกาย และในที่สุดก็จะแตกออกจากเนื้อเยื่อใหม่ ซึ่งเนื้อเยื่อใหม่นี้จะต้องรับน้ำหนักต่อไป

ในงานวิจัยนี้เป็นการนำรังไหมไทยนางน้อยสีเหลือง จากจังหวัดขอนแก่นและรังไหมไทยดำน้างสีเหลือง จากจังหวัดสุพรรณบุรี ที่ตัดรังเพื่อเอาหนอนไหมออกไปและไม่สามารถนำไปใช้ในการทอผ้าได้แล้ว มาทดลองผลิตเป็นวัสดุทางการแพทย์โดยใช้โปรตีนไฟโบรอินเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) ลักษณะคล้ายฟองน้ำที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำและสารละลายบางชนิดได้เป็นอย่างดี จากนั้น ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา ของขนาดรูพรุนและชนิดของโปรเจน ซึ่งได้แก่เกลือชนิดต่างๆ ในการทำให้เกิดรูของเนื้อเยื่อโครงสร้างและหาสภาวะที่เนื้อเยื่อโครงสร้างคล้ายฟองน้ำของโปรตีนจากไหมไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเตรียมเนื้อเยื่อ โครงสร้าง(Scaffold) จากไฟโบรอินของไหมไทยดำนข้างและไหมไทยนางน้อย
2. เพื่อศึกษาชนิดของโปรเจนที่มีผลต่อเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากโปรตีนไฟโบรอิน
3. เพื่อศึกษาสภาวะ เช่น ความเข้มข้นน้ำไหมไฟโบรอิน และชนิดของโปรเจนที่มีผลต่อสมบัติโดยรวมของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง(Scaffold)
4. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โปรตีนไฟโบรอิน

## 1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมผงไหมไฟโบรอินจากไหมไทยดำนข้างและไหมไทยนางน้อย
2. ศึกษาสภาวะการเตรียมเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยดำนข้างและไหมไทยนางน้อย

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะในการเตรียมเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยดำนข้างและไหมไทยนางน้อย
2. ทราบว่าปริมาณความเข้มข้นน้ำไหมไฟโบรอินและชนิดของโปรเจนที่จะให้โครงสร้างเนื้อเยื่อที่มีสมบัติที่ดี
3. เป็นการนำโปรตีนจากรังไหมไทยซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีในประเทศ มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า
4. เพื่อเพิ่มทางเลือกและมูลค่าให้กับวัสดุทางการเกษตร เช่น รังไหม

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. วางแผนการดำเนินงานทดลอง
3. เตรียมผงไหมไฟโบรอินจากรังไหมไทยนางน้อยและไหมไทยดำนข้าง
4. เตรียมเนื้อเยื่อ โครงสร้างจากผงไหมโปรตีนไฟโบรอิน
5. ตรวจสอบวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ
6. วิเคราะห์ผลจากการศึกษาทดลองและสรุปผลการทดลอง
7. เขียนรายงานและเสนอผลงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

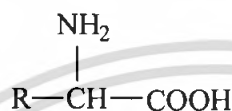
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไหม (Silk) [1-3,18-19]

หนอนไหม(Silkworm) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* อยู่ในวงศ์ Bombycidae หนอนไหมเป็นแมลงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Completely metamorphosis insect) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และผีเสื้อ มีเพียงระยะตัวหนอนเท่านั้นที่กินอาหาร ซึ่งจะนำสารชนิดต่างๆ จากใบหม่อนไปสร้างความเจริญเติบโต โดยผ่านการย่อยและดูดซึมเป็นปริมาณ 1 ใน 3 ของสารอาหารทั้งหมด ครึ่งหนึ่งของโปรตีนที่ดูดซึมจากใบหม่อนจะถูกนำไปใช้ผลิตเส้นไหม เมื่อถึงวัย 5 วันแรกต่อมไหม (Silk gland) จะหนักเพียง 6.36% ของน้ำหนักตัวไหม เมื่อไหมสุกก่อนเข้าทำรัง ต่อมาไหมจะหนักถึง 41.97% จะเห็นว่าปลายวัยที่ 5 สารอาหาร โดยเฉพาะโปรตีนเกือบทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นสารที่ใช้ชักใยทำรังหรือเส้นไหมนั่นเอง และเป็นเส้นใยที่มีคุณค่ามหาศาล หากที่เปรียบมิได้ ไหมเป็น “ราชินีแห่งเส้นใย” ที่ได้จากโปรตีนที่หนอนไหมขับออกมาเพื่อป้องกันตัวเองขณะเป็นดักแด้ เส้นใยที่ได้มีความยาวต่อเนื่อง (Filament) เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากโปรตีนเช่นเดียวกับเส้นใยขนสัตว์ เส้นไหมเกิดจากการพ่นออกของตัวหนอนไหม การสังเคราะห์โปรตีนในเส้นไหมทำได้ในเซลล์ของต่อมไหมที่อยู่ในตัวหนอนไหม สารไหมเหลว(Liquid silk) สามารถขับออกมาจากต่อมไหมส่วนท้าย(Posterior silk gland) หลังจากนั้นจะส่งสารไหมเหลวไปที่ต่อมไหมส่วนกลาง (Middle silk gland) ในระหว่างที่อยู่ในต่อมไหมส่วนกลาง สารไหมเหลวจะมีการเปลี่ยนรูปกลายเป็นเจลาติน (Gelatin) ที่มีความแข็งแรงขึ้น ในต่อมไหมส่วนกลางยังมีต่อมที่สามารถสร้างโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเป็นกาวในการเคลือบเจลาตินที่ได้ เรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า เซรีซิน (Sericin) หลังจากนั้นเจลาตินจะมีความเหนียวและแข็งแรงขึ้น โดยอาศัยการสลายตัวของตัวหนอนไหม อาการเคลื่อนไหวจะเกิดขึ้นที่บริเวณต่อมไหมส่วนหน้า เรียกเจลาตินที่มีความเหนียวขั้นนี้ว่า ไฟโบรอิน (Fibroin) หลังจากที่มีการรวมกันของไฟโบรอิน 2 เส้นและมีการเชื่อมติดกันด้วยกาวไหมเซรีซิน จะมีการผ่านรูขนาดเล็ก (Orifice of spinneret) ออกมาจากตัวของหนอนไหม และได้เป็นเส้นใยที่ใช้ในการทำเครื่องนุ่งห่มหรือสิ่งทอต่างๆ

เส้นใยไหมมีปริมาณของซัลเฟอร์จำนวนเล็กน้อยมาก เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมวลโมเลกุลสูง โปรตีนทุกชนิดประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน (O) และกำมะถัน (S) แต่โปรตีนบางชนิดมีธาตุฟอสฟอรัส (P) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) เพิ่มเข้ามา เส้นไหมเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่งเรียกว่าโปรตีน (Protein) สามารถถูกแยกออกจากโปรตีนได้โดยการไฮโดรไลสด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแต่ละชนิดที่โครงสร้างที่ต่างกันที่หมู่ R กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว เรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์ ต่อกันอยู่ในลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีการแตกกิ่ง พันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมอยู่ระหว่างกรดอะมิโนมีชื่อว่า พันธะเพปไทด์ ซึ่งพันธะนี้เป็นพันธะเอไมด์ ที่เกิดจากการสูญเสียที่หมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับหมู่แอลฟาอะมิโนของกรดอะมิโนที่อยู่ถัดไป โมเลกุลของโปรตีนอาจประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เพียงโซ่เดียวหรือมากกว่าก็ได้ โดยมีความยาวที่แตกต่างกันออกไป โดยมีกรดอะมิโนตั้งแต่ประมาณ 40 ถึงมากกว่า 4,000 หน่วย ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี มวลโมเลกุล และการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะ โดยกรดอะมิโนมีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ



ภายในโมเลกุลของกรดแอลฟาอะมิโน จะมีหมู่อะมิโนที่อยู่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอนของกรดคาร์บอกซิลิก (กรดอะมิโนทุกตัวมีแอลฟาคาร์บอน ยกเว้น ไกลซีน) แต่เนื่องจากเอมีนเป็นเบสและคาร์บอกซิลิกเป็นกรดจึงเกิดการส่งผ่านโปรตอนจากกรดให้เบส ซึ่งสูตรโมเลกุลของกรดอะมิโนจึงเขียนอยู่ในรูปที่แตกตัวเป็นไอออน หรือรูปที่มีประจุสองขั้วได้ ดังนี้



โครงสร้างที่เป็นประจุของกรดแอลฟาอะมิโน

เส้นไหมเป็นเส้นใยที่เป็นสารประกอบประเภทพอลิเอไมด์ (Polyamide) เกิดจากการมีหน่วยของโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่า กรดอะมิโน (Amino acid) มาต่อกันเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ด้วยพันธะเพปไทด์

## 2.2 โครงสร้างของโปรตีน [1-3,20]

โครงสร้างของโปรตีนแบ่งได้เป็น 4 แบบ ได้แก่

### 2.2.1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure)

โครงสร้างแบบนี้เป็นโครงสร้างแบบพื้นฐานที่สุด หมายถึง โครงสร้างของโมเลกุลเส้นยาวที่ต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ และรวมถึงพันธะไดซัลไฟด์

### 2.2.2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure)

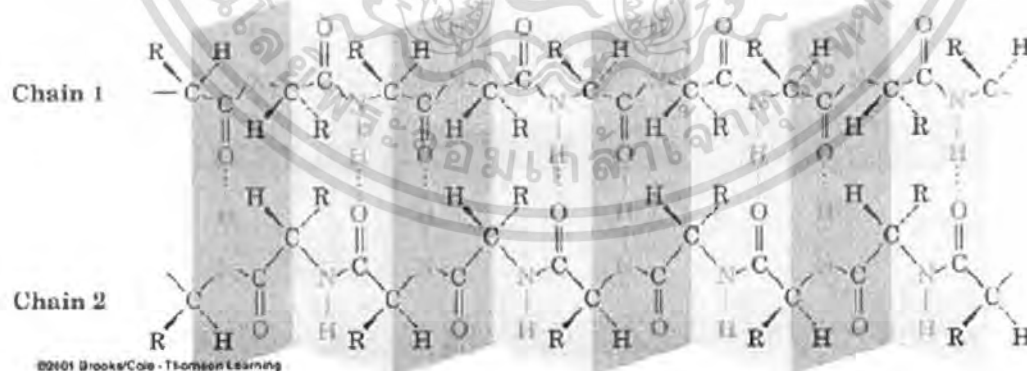
โดยทั่วไปโมเลกุลที่เป็นเส้นยาว จะไม่คงอยู่ในสภาพที่เป็นเส้นยาว แต่จะจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ 2 แบบ คือ แอลฟา - เฮลิกซ์และเบตา - พลิตทเทคซิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1)  $\alpha$ -เฮลิคส์ ( $\alpha$  - helix) สายโซ่ยาวจะขดตัวโดยมีหมู่อะตอมไฮโดรเจนซึ่งออกด้านนอก แรงพันธะไฮโดรเจนระหว่าง O ของหมู่คาร์บอนิล และ H ของ -NH- จะยึดโมเลกุลไว้ มีจำนวนกรดอะมิโน 3.6 ตัว ในแต่ละรอบของเฮลิคส์ ตัวอย่างโปรตีนที่มีโครงสร้างแบบนี้คือ myosin โปรตีนของกล้ามเนื้อ  $\alpha$ -keratin ในผม ขนสัตว์ เล็บ (รูปที่ 2.1)

รูปที่ 2.1 โครงสร้าง  $\alpha$ -เฮลิคส์ [16]

(2)  $\beta$ -พ्लीทเทดชีท ( $\beta$  - pleated sheet) โมเลกุลจะมาเรียงตัวในลักษณะเป็นแผ่นขนานกัน แรงพันธะไฮโดรเจนระหว่างแผ่นโมเลกุลที่ขนานกัน เป็นแรงยึดโมเลกุลไว้ด้วยกัน หมู่ R จะชี้ขึ้นด้านบนและด้านล่างของแผ่นที่ขนานกัน พบโครงสร้างชนิดนี้ในไฟโบรอิน (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง  $\beta$ -ชีทของพอลิเพปไทด์ [3]

(3)  $\beta$ -เบนต์โครงรูป (Conformation) แบบ  $\beta$ -เบนต์จะพบบริเวณจุดหักมุมเพื่อกลับทิศทางของสาย  $\alpha$ -เฮลิคส์ หรือ  $\beta$ -ชีท ซึ่งลักษณะทั่วไปจะเป็นลูกสูบ (Loop) โดยจะเกิดจากการที่หมู่คาร์บอนิลเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ถัดไป 3 หน่วยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure)

หมายถึง โครงสร้างที่มีโซ่พอลิเพปไทด์มาขม้วนแน่นในลักษณะกลมของโปรตีนก่อนกลมโดยพันธะที่เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้โครงสร้างนี้เสถียรอยู่ได้ คือ พันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ และพันธะอ่อน เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิก หรือพันธะนอนโพลาร์ และแรงวานเดอร์วาลส์ นอกจากนี้ยังมีลักษณะเฉพาะที่สำคัญประการหนึ่งคือ การม้วนพับเข้าหากันจะมีส่วนมีขั้วที่ชอบน้ำเรียกว่า ไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) อยู่ด้านนอก เพราะในสภาวะแวดล้อมทั้งหมดมักเป็นน้ำ ส่วนที่ไม่มีขั้วเรียกว่า ไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ซึ่งอยู่ด้านใน ตัวอย่างเช่น ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีฮีม (Heme) เป็นองค์ประกอบ

### 2.2.4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure)

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

## 2.3 สมบัติทางประการและปฏิกิริยาของโปรตีน

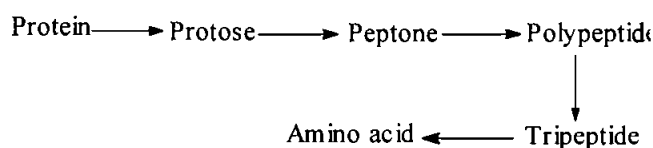
### 2.3.1 สมบัติทางกายภาพของโปรตีน

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

### 2.3.2 สมบัติทางเคมีของโปรตีน

โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้หลายปฏิกิริยา ดังนี้

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีน (Biuret reaction) เป็นปฏิกิริยาเฉพาะสำหรับทดสอบโปรตีน และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลสโปรตีนที่ยังมีพันธะเพปไทด์อยู่ เช่น Protose, Peptone, Polypeptide และ Tripeptide โดยนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ในเบส  $\text{NaOH}$  ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาให้สีต่าง ๆ กัน ตั้งแต่สีน้ำเงิน หรือม่วงจนถึงชมพู ซึ่งสีเหล่านี้เป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนของทองแดงกับสารที่มีพันธะเพปไทด์ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป เรียกปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีนดังกล่าวนี้ว่า Biuret reaction ถ้าเป็นโปรตีนจะได้สารประกอบสีน้ำเงินอมม่วง ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลสโปรตีนจะให้สีต่าง ๆ กัน ตั้งแต่สีม่วงจนถึงสีชมพู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล สำหรับกรดอะมิโนจะไม่เกิดปฏิกิริยาเฉพาะที่จะให้ผลกับสารที่มีพันธะเพปไทด์ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป

ค. การเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีน (Denature of protein) การที่โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากยึดติดกันด้วยพันธะเพปไทด์ ซึ่งภายในโมเลกุลอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งกันและกัน ทำให้โมเลกุลมีลักษณะเป็นเกลียว เป็นแผ่น มีการขดม้วนตัวด้วยแรงวาลเดอร์วาลส์ พันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติแบบต่าง ๆ โครงสร้างเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงได้ เพราะแรงดังกล่าวถูกทำลาย เช่น เกิดการคลายเกลียวของโปรตีนก่อนกลม เป็นสายโปรตีนที่ไร้ระเบียบ และเกิดการสูญเสียสมรรถนะทางชีวภาพ โปรตีนจะเกิดการแข็งตัวและไม่ละลายน้ำ ปัจจัยที่ทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงสภาพได้ มีดังนี้

(1) ความร้อน การให้ความร้อนเป็นการทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงสภาพ เกิดการแข็งตัว เช่น การต้มไข่ขาว การทำลายแบคทีเรียในอาหารด้วยความร้อนที่  $50^\circ\text{C}$  ทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงสภาพได้

(2) ความเป็นกรดและเบส เมื่อค่าพีเอชของโปรตีนเปลี่ยนไป เนื่องจากได้รับหรือเสียโปรตอน ( $\text{H}^+$ ) ซึ่งทำให้โปรตีนเกิดประจุขึ้น และสามารถจับกับไอออนอื่นได้ ไอออนที่มาจากกรดหรือเบสกระเด็นเข้าตาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนในดวงตา ถ้าได้รับกรดหรือเบสปริมาณมากอาจทำให้ตาบอด

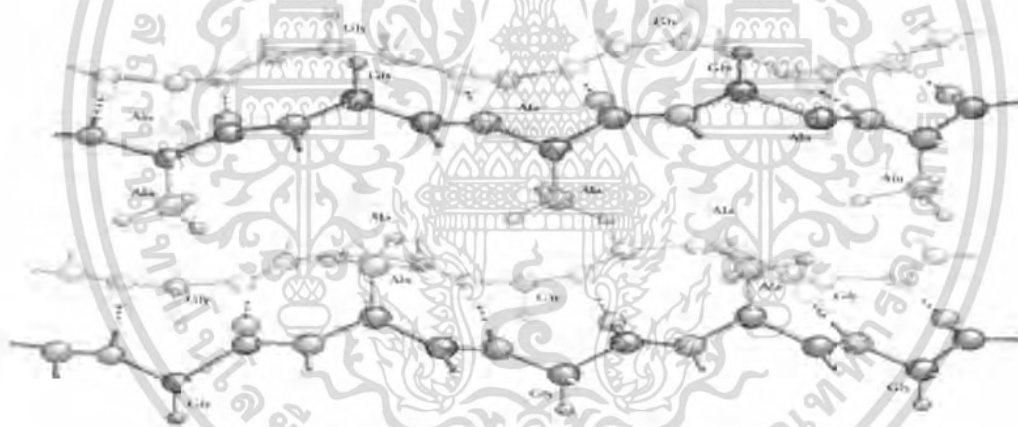
(3) ตัวทำลายอินทรีย์ที่มีพันธะไฮโดรเจน เช่น แอลกอฮอล์ จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโปรตีน โปรตีนเกิดการแข็งตัว และละลายน้ำได้น้อยลง หลักการนี้นำไปใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การฆ่าเชื้อโรคพวกแบคทีเรียด้วยแอลกอฮอล์ โปรตีนในแบคทีเรียจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแอลกอฮอล์ ทำให้โปรตีนในแบคทีเรียเปลี่ยนแปลงสภาพ แบคทีเรียจะตาย โดยมากจะใช้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 70

(4) ไอออนของโลหะหนัก เช่น  $\text{Pb}^{2+}$   $\text{Hg}^{2+}$  และ  $\text{Ag}^+$  ไอออนเหล่านี้จะไปจับกับกรดอะมิโนตรงด้านที่เป็นกรด เกิดเป็นเกลือคาร์บอนซิลเลตได้ ซึ่งทำให้โปรตีนละลายน้ำได้น้อยลง และเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป การเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนเป็นวิธีนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ ในการล้างท้องผู้ป่วยรับประทานพิษ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีไอออนของโลหะหนัก แพทย์จะให้คนไข้รับประทานไข่ขาวดิบ ไอออนของโลหะหนักจะเกิดการรวมตัวกับไข่ขาวดิบ เกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วทำให้เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอาเจียนออกมาก่อนที่ไอออนของโลหะหนักจะเข้าไปสู่เซลล์ของร่างกายไปทำการแปลงสภาพโปรตีนซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย ในสภาพความเข้มข้นของเกลือบางชนิด เช่น  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$  ความเข้มข้นสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการละลายได้น้อยลง เพราะไอออนของเกลือดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโปรตีนที่ละลายไม่ได้จึงเกิดการตกตะกอน มิใช่เกิดการแปลงสภาพ

## 2.4 ไหมไฟโบรอิน (Silk Fibroin) [1-3,5,16,20]

โปรตีนเส้นใยมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ โปรตีนที่เรียกว่า ไฟโบรอิน (Fibroin) เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ (ประมาณ 78% ของน้ำหนักไหมดิบ) ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 15 ชนิด กรดอะมิโนหลักๆ ที่พบในเส้นใยได้แก่ ไกลซีน (Glycine, 40%) อะลานีน (Alanine, 29%) และเซอรีน (Serine, 12%) แต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R (โซ่ข้าง) กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์เป็นเส้นยาวขนานกันแนบในลักษณะเป็นเส้นใยหรือเป็นแผ่น มีความแข็งแรงเหนียวและอาจยืดหยุ่นได้ และมีโครงสร้างปฐมภูมิที่ซ้ำกัน คือ  $(\text{Gly-Ala-Gly-Ala-Gly-Ser})_n$



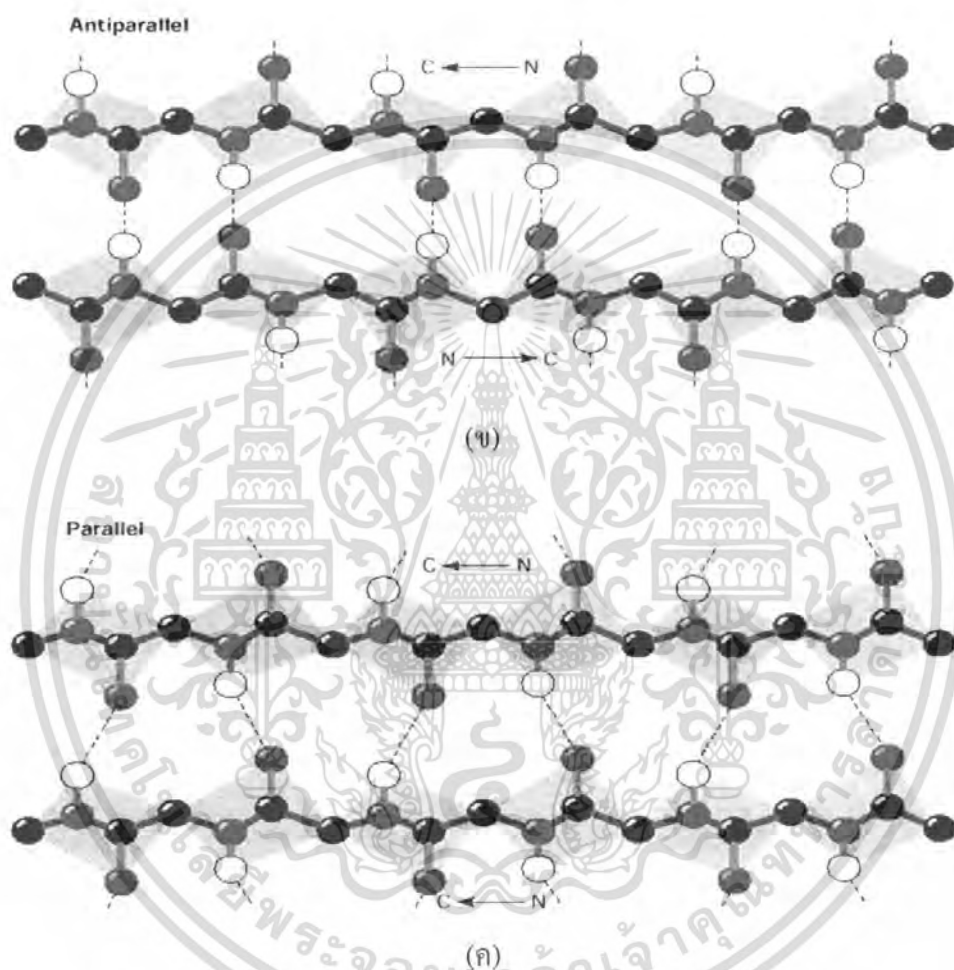
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสามมิติของไหม [10]

โปรตีนทั้งหลายในธรรมชาติประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์ที่มีโครงสร้างทุติยภูมิ โดยปกติในไฟโบรอินของไหมมักพบโครงสร้างชนิดแผ่นจิบนี้ ซึ่ง  $\beta$ -พลิตเทตชีทมีด้วยกัน 2 โครงสร้าง (รูปที่ 2.4 (ก)) คือ  $\beta$ -พลิตเทตชีทที่สายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไปยัง C ที่อยู่ตรงข้ามกัน เรียกว่า แอนติพาราเลล  $\beta$ -พลิตเทตชีท (Antiparallel pleated sheet structure) (รูปที่ 2.4 (ข)) และ  $\beta$ -พลิตเทตชีทที่สายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไปยัง C เหมือนกัน เรียกว่า พาราเลล  $\beta$ -ชีท (Parallel pleated sheet structure) (รูปที่ 2.4 (ค)) ไฟโบรอินของไหมส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างแผ่นจิบแบบแอนติพาราเลล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



#### รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของไหมไฟโบรอินชนิดแผ่นจิบ

(ก) ลักษณะโครงสร้างแบบเบต้า ( $\beta$  - plated sheet)

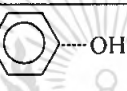
(ข) ลักษณะโครงสร้างแผ่นจิบแบบแอนติพาราเลล (Antiparallel pleated sheet structure)

(ค) พาราเลล (Parallel pleated sheet structure) [11]

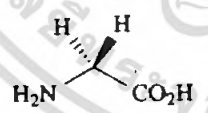
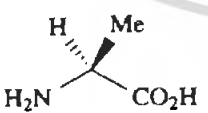
การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไฟโบรอินทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากไฟโบรอินไม่ละลายในสารละลายทั่วไปแต่ละลายในสารละลายบางชนิดเท่านั้น เช่น Cupric-ethylenediamine หรือในสารละลายเข้มข้น Lithium iodide หรือ Thiocyanate จากการใช้สารละลายเหล่านี้ร่วมกับการใช้หลักการของการตกตะกอนใน Ultracentrifuge สามารถคำนวณน้ำหนักได้ประมาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

84,000 กรัม/โมล แต่ถ้าคำนวณจากการอาศัยการวัดสมบัติทางความหนืดจะได้น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000 กรัม/โมลหรือมีผู้ใช้การคำนวณโดยอาศัยการวิเคราะห์จาก Terminal amino acid พบว่าน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่าง 80,000 – 100,000 กรัม/โมล

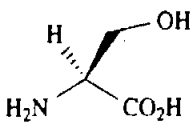
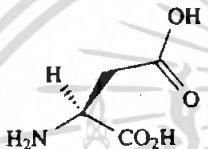
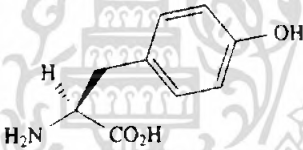
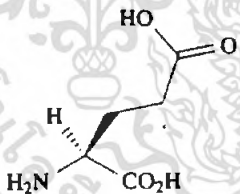
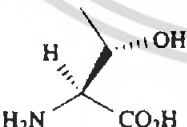
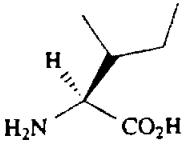
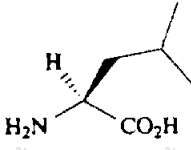
### ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบในไหม [3]

	R (โซ่ข้าง)	ชื่อ	สัญลักษณ์
กรดอะมิโนที่เป็นกลาง	—H	ไกลซีน (Glycine)	Gly, G
	—CH <sub>3</sub>	อะลานีน (Alanine)	Ala, A
กรดอะมิโนที่โซ่ข้างมีหมู่ OH	—CH <sub>2</sub> OH	เซอรีน (Serine)	Ser, S
	—CH <sub>2</sub> — 	ไทโรซีน (Tyrosine)	Tyr, Y
กรดอะมิโนที่เป็นกรด	—CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	Glu, E
กรดอะมิโนที่เป็นเบส	—(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> NH <sub>2</sub>	ไลซีน (Lysine)	Lys, K

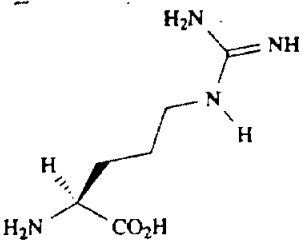
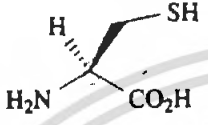
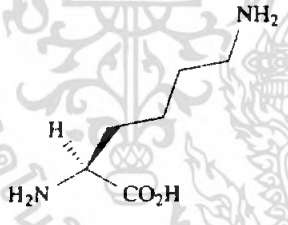
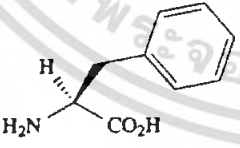
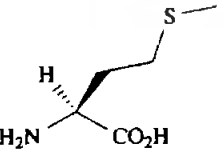
### ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย [21]

ชนิดกรดอะมิโน ในผงไหม	โครงสร้าง	หน้าที่และคุณสมบัติ
Glycine# (Gly, G)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ควบคุมระดับคลอเรสเตอรอล</li> <li>- ป้องกันและรักษาความดันโลหิตสูง</li> <li>- ช่วยเสริมสร้างการทำงานของตับ</li> </ul>
Alanine# (Ala, A)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นแหล่งพลังงานสำคัญต่อเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ สมอง และระบบประสาทส่วนกลาง</li> <li>- ผลิต Antibodies ที่ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น</li> <li>- ช่วยในระบบการทำงานของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ digest alcohol (สลายแอลกอฮอล์)</li> </ul>

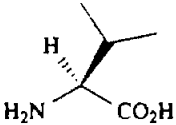
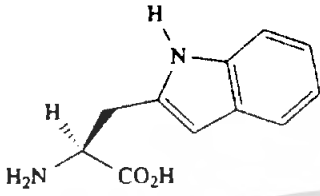
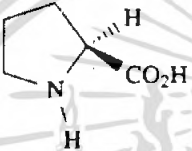
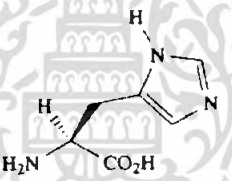
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดกรดอะมิโน ในผงไหม	โครงสร้าง	หน้าที่และคุณสมบัติ
Serine# (Ser, S)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นแหล่งในการสะสมน้ำตาลกลูโคสในตับ และกล้ามเนื้อ จึงช่วยส่งเสริมระบบการทำงานของอินซูลิน (Insulin) เป็นการลดน้ำตาลในเลือดซึ่งช่วยในการเผาผลาญไขมันที่สะสมในร่างกาย</li> <li>- ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรงขึ้น</li> <li>- ช่วยสังเคราะห์กรดไขมันล้อมรอบ Nerve fibers</li> </ul>
Aspartic acid* (Asp, D)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่วยขับไล่อาการเจ็บ และสารพิษแอมโมเนียออกจากร่างกาย</li> <li>- ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเหนียวอ่อน</li> <li>- ช่วยระบบกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหว</li> </ul>
Tyrosine (Tyr, Y)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่วยในการส่งผ่านเส้นประสาทไปยังสมอง อีกทั้งยังมีผลดีต่อระบบประสาท</li> <li>- ช่วยความจำ</li> <li>- กระตุ้นการเต้นของหัวใจ</li> </ul>
Glutamic acid (Glu, E)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่วยลดแอมโมเนียในเลือดซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับโปรตีนในสมองและระบบการทำงานของน้ำตาล</li> <li>- ช่วยควบคุมโรคสุรา (Alcoholism)</li> <li>- รักษาปริมาณน้ำของผิวหนัง</li> </ul>
Threonine* (Thr, T)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ป้องกันการเกิดไขมันในตับ</li> <li>- ช่วยย่อยและช่วยระบบการทำงานของร่างกาย</li> </ul>
Isoleucine* (Ile, I)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- กระตุ้นการทำงานของสมองส่วนบน</li> </ul>
Leucine* (Leu, L)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ลดน้ำตาลในเลือด</li> <li>- ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดกรดอะมิโน ในผงไหม	โครงสร้าง	หน้าที่และคุณสมบัติ
Arginine (Arg, R)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- เสริมสร้างภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเซลล์เนื้องอก</li> <li>- ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น</li> <li>- ช่วยเสริมสร้างตับ</li> </ul>
Cystine (Cys, C)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และเพิ่มความแข็งแรงให้ร่างกายต่อต้านรังสีและมลพิษ</li> <li>- ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน</li> <li>- มีความจำเป็นต่อการสร้างผิวหนัง ซึ่งจะช่วยให้แผลไฟไหม้และแผลผ่าตัดหายเร็วขึ้น</li> <li>- ส่วนของผมและผิวหนังจะประกอบด้วย Cystine 10-14%</li> </ul>
Lysine* (Lys, K)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต่อต้านริเริ่ม ภูสวัค โดยจะช่วยให้เกิดความสมดุลของธาตุอาหาร และการไปลดการเจริญของไวรัส</li> <li>- การขาด Lysine มีผลทำให้เนื้อเยื่อ ยับยั้ง การเติบโต ผมหร่วง โรคโลหิตจาง และเกิดปัญหาต่อระบบสืบพันธุ์</li> </ul>
Phenylalanine* (Phe, F)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีผลต่อระบบเส้นประสาท</li> </ul>
Methionine* (Met, M)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นแหล่งที่ให้สารกำมะถันซึ่งป้องกันการเกิดโรคเกี่ยวกับผม ผิวหนังและเล็บ</li> <li>- ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล โดยการผลิตเลซิทินในตับ</li> <li>- ลดไขมันตับและป้องกันไต</li> <li>- ป้องกันผมหร่วงและส่งเสริมการเจริญของเส้นผม</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดกรดอะมิโน ในผงไหม	โครงสร้าง	หน้าที่และคุณสมบัติ
Valine* (Val, V)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่วยให้จิตใจกระปรี้กระเปร่า</li> <li>- ประสานการทำงานของกล้ามเนื้อ</li> </ul>
Tryptophan* (Trp, W)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- สนับสนุนการผลิตเม็ดเลือดแดง</li> <li>- ป้องกันและช่วยลดอันตรายที่จะเกิดกับเส้นโลหิตแดง และการชักกระตุกของหัวใจ</li> <li>- ทำงานร่วมกับ Lysine ในการลดคอเลสเตอรอล</li> </ul>
Proline (Pro,P)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- รักษาความดันโลหิต</li> <li>- มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของข้อและเอ็น</li> <li>- ช่วยบำรุงรักษากล้ามเนื้อหัวใจ</li> </ul>
Histidin (His, H)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- พบมากในเม็ดเลือดแดง ใช้ในการรักษารูมาตอย โรคข้ออักเสบ อาการผื่นคัน โรคผื่นคัน แผลพุพอง และโรคโลหิตจาง</li> <li>- ส่งเสริมการผลิตเซลล์เม็ดเลือด ช่วยขยายหลอดเลือด</li> </ul>

หมายเหตุ \* กรดอะมิโนที่มีความจำเป็น (Essential amino acid)

# กรดอะมิโนในไหมที่พบมาก และมีความสำคัญต่อร่างกายมากที่สุด (3 ชนิด)

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณหมู่อะมิโนที่พบในรังไหมไทยนางน้อยและรังไหมไทยด้านข้าง [22]

Sample	FD silk (mg/kg)	FN silk (mg/kg)
Serine	43.24	29.89
Glutamic acid	7.12	5.16
Glycine	92.00	65.95
Alanine	86.05	56.42
Valine	9.49	6.26
Histidine	1.16	0.86
Arginine	3.15	2.29
Proline	1.94	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FD silk คือ รังไหมไทยค่านข้าง

FN silk คือ รังไหมไทยนางน้อย

## 2.5 สมบัติของเส้นไหมไฟโบรอิน (Properties of Silks Fibroin) [1-4]

สมบัติของเส้นไหมจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติการใช้งานเฉพาะด้านของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นต้องเข้าใจและเลือกใช้เส้นไหมให้เหมาะสมกับงาน โดยทั่วไปสมบัติของเส้นไหมจะถูกกำหนดจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาเส้นไหมออกได้เป็นสองส่วนคือสมบัติกายภาพและสมบัติทางเคมี

### 2.5.1 สมบัติทางกายภาพ

#### (1). ลักษณะที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์และรูปร่าง

ไหมเป็นเส้นไหมยาวต่อเนื่องตลอดเส้นมีความยาวประมาณ 900–1700 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 – 11 ไมครอน ผิวของเส้นไหมดิบจะมีสีเหลืองถึงสีครีมเส้นไหมที่นำไปใช้ทอผ้า นั้นเกิดจากการพันของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมขนาดใหญ่สองต่อมภายในตัวหนอนไหมที่โตเต็มวัย โดยส่วนที่เป็นของเหลวหนืด คือ ไฟโบรอินจะถูกเคลือบด้วยโปรตีนอีกชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่าเซริซินซึ่งเป็นกาวไหมที่ทำให้เส้นไหม 2 เส้นติดกันเมื่อโปรตีนทั้งสองชนิดสัมผัสกับอากาศ จะเกิดการแข็งตัวทำให้เส้นไหมยึดติดกันกลายเป็นเส้นไหมยาวต่อเนื่อง และเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นรอยแตกตามความยาวของเส้นไหมด้านตัดขวางจะมีลักษณะรีส่วนนอกของเส้นไหมเป็นกาวไหมที่หุ้ม โปรตีนไฟโบรอินคล้ายรูปสามเหลี่ยมเรียงคู่กันดังแสดงให้เห็นในภาพตัดขวางและภาพตัดตามยาวของเส้นไหมทั้งสองชนิด (รูปที่ 2.5 (ก) และรูปที่ 2.5 (ข)) และสำหรับเส้นไหมป่าจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวทำให้คล้ายลึนและเส้นไหมจะมีความหยابกระด้าง ไม่เรียบค่อนข้างจะไม่มันเงาเมื่อเทียบกับเส้นไหมบอมบิกซ์โมริ



รูปที่ 2.5 แสดงแสดงภาคตัดขวางของเส้นไหมจากรังไหม *Bombyx mori*

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

(ข) ไฟโบรอิน [22]

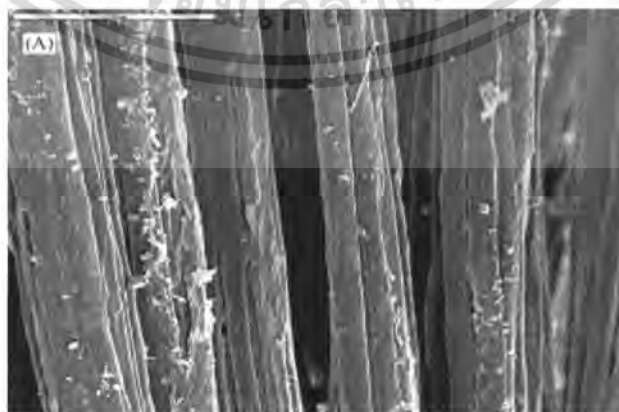
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหลังจากการลอกกาวไหมแล้วเส้นใยขาวที่เป็นลักษณะสามเหลี่ยมปลายมนทั้งสองเส้น จะแยกตัวออกมาทำให้เส้นใยมีรูปร่างต่างจากเส้นใยไหมดิบ คือมีความละเอียดกว่าและเส้นใยมีความมันเงาสูงกว่า โดยรายละเอียดของโครงสร้างของเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 2.6



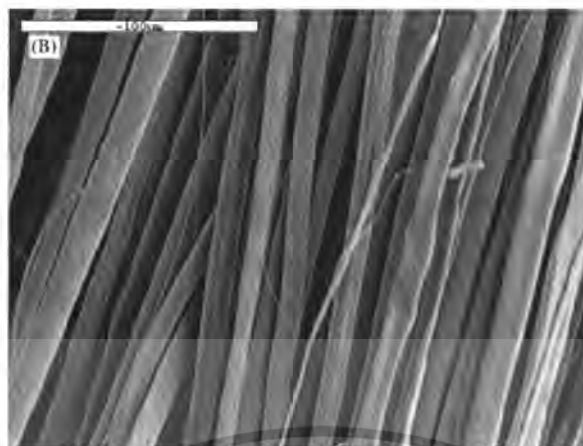
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเส้นใยไหม [2]

จากการศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของเส้นใยไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าชั้นนอกสุดของเส้นใยมีปริมาณกาวไหมมากที่สุด ทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะเป็นคลื่นปกคลุมตามความยาวของเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 2.7 และสำหรับไหมที่ลอกกาวแล้วจะมีพื้นผิวก่อนข้างเรียบสม่ำเสมอมากกว่าเส้นใยไหมดิบ ที่ผ่านการลอกกาว รูปที่ 2.8 ไฟบริลเหล่านี้เกิดการพันเกลียวกันเรียงตัวกัน มีลักษณะคล้ายโครงร่างตาข่ายทำให้เห็นเป็นเหมือนท่อไปตามแนวยาวของเส้นใยแสดงให้เห็นถึงระบบธรรมชาติที่มีความละเอียดสูงซึ่งไม่พบในเส้นใยชนิดอื่นทำให้เส้นใยมีความเงางามและสีสรรสวยงาม



รูปที่ 2.7 SEM เส้นไหมไหมเลี้ยง (*Bombyx mori*) ไหมดิบไม่มีการลอกกาวไหม (เซรีซิน) ออก [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 SEM แสดงเส้นไหมที่มีการลอกกาวยไหม (เซรีซิน) ออก โดยสกัดเป็นเวลา 60 นาที [15]

2. **ความแข็งแรง** ไหมมีความแข็งแรงสูงที่สุดในบรรดาเส้นใยธรรมชาติทั้งหมดด้วยที่ผิวของไหมเรียบมันจึงช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการขัดถู สามารถออกแบบผ้าไหมให้มีโครงสร้างเบาบางและคงทนเนื่องจากความละเอียดของเส้นใยไหมมีค่าความทนแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ที่ 3.5 – 5.0 gram/denier ในขณะที่แห้งและจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเปียก (ประมาณ 15 – 25%)

3. **ความยืดหยุ่น** ไหมเป็นเส้นใยที่มีความยืดหยุ่นดีเปลี่ยนแปลงได้บ้างตามชนิดของพันธุ์และขีดได้ถึง 20% ของความยาวเดิม ไหมมีความยืดหยุ่นไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์ เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไหมไม่มีพันธะมาจับเชื่อมด้านข้างเป็น โครงข่าย ดังนั้นเมื่อถูกขีดจึงไม่สามารถหดกลับคืนสภาพเดิมได้

4. **การคืนตัวจากแรงอัด** ไหมทนต่อการขีดหดได้ดี เมื่อทำการซักผ้าจะหดแต่เมื่อตั้งและรีดก็จะกลับรูปเดิม ไม่เกิดการยับย่นได้ง่าย

5. **การดูดซับความชื้น** ไหมสามารถดูดซับความชื้นได้ดีในภาวะมาตรฐานสามารถดูดซับความชื้นได้ถึง 11% ทำให้รับสีย้อมและสีพิมพ์ได้ดีและเมื่อนำมาใช้สวมใส่จะรู้สึกสบายไม่ระคายเคืองผิว เนื่องจากผ้าไหมเป็นตัวนำความร้อนไม่ดีจึงรักษาความอบอุ่นได้นาน เหมาะในการนำไปทำเป็นผ้าพันคอ ชุดสูท เป็นต้น

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

7. **ความถ่วงจำเพาะ** ไหมมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.32 – 1.33 แต่มีการทิ้งตัวดี แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักไหมจะมีค่าประมาณ 1.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 สมบัติทางเคมีของไหมไฟโบรอิน [1-3]

เนื่องจากการใช้งานของผ้าไหมมีโอกาสที่จะสัมผัสกับสารเคมี อุณหภูมิ แสงแดดและสภาวะแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพหรือสมบัติของไหมเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงมีการศึกษาสมบัติทางเคมีเพื่อนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม ดังนี้

**1. กรดและด่าง** สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเพปไทด์ในเส้นใย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 4-8 จะทำให้เส้นใยเสียหายน้อยมาก กรดจะทำให้พันธะเพปไทด์ขาดออกจากกัน กรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจะละลายเส้นใยได้ กรดไนตริกทำให้เส้นใยเหลือง ในขณะที่กรดเจือจางจะไม่ทำลายเส้นใย ด่างจะตัดปลายของพันธะเพปไทด์ออกก่อน โดยด่างโซดาไฟเข้มข้นจะละลายเส้นใยทันที ส่วนด่างอ่อน เช่น สบู่ บอริกซ์ หรือแอมโมเนีย จะละลายแก่กว่าไหม แต่ถ้าต้มเดือดนานๆ อาจละลายเส้นใยได้

**2. สารออกซิไดส์และสารรีดิวซ์** เส้นใยไม่ทนทานต่อสารออกซิไดส์ ดังนั้นเวลาฟอกเส้นใยจะต้องระวังการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ใช้สำหรับฟอกไหม การฟอกนี้ ไม่ทำลายพันธะของเพปไทด์ (Peptide) แต่ในบางครั้งก็ตัดส่วนของโซ่โมเลกุลของพอลิเพปไทด์ ทำให้เส้นไหมมีความเหนียวและความยืดหยุ่นเล็กน้อย แต่เส้นใยจะทนทานต่อสารรีดิวซ์ได้ดี เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์

**3. ส่วนผสมของเกลือคลอไรด์** ไหมถูกทำลายด้วยสารที่มีส่วนผสมของเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ ได้แก่ เหนือ น้ำยาดับกลิ่นและน้ำเกลือทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหนื่อ จะทำให้ผ้าไหมติดคราบ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ไหมที่ต้องสัมผัสผิวภายหลังการใช้งานทุกครั้งจะต้องทำความสะอาด

**4. สารละลายอินทรีย์** ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ไหมมักใช้การซักแห้งอยู่เสมอเนื่องจากโครงสร้างของเส้นด้ายไหมหรือสีที่ใช้ย้อมทำให้ไหมสามารถทนสารละลายอินทรีย์ทุกชนิด

**5. สารซักฟอก** ไหมทนต่อสารซักฟอกคล้ายขนสัตว์แต่ถูกทำลายได้ด้วยสารซักฟอกประเภท ออกซิไดส์ เช่น พวกที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์ผสมอยู่ เพราะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง ควรใช้สารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเปอร์บอเรตจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม

**6. แสงแดดและความร้อน** แสงแดดและความร้อนสูงเป็นเวลานานๆ จะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เนื่องจากทำให้โปรตีนเกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น

7. การย้อมสี ไหมมีความสามารถในการรับสีย้อมได้ดีมาก สามารถย้อมได้ด้วยสีที่เป็นแอซิด สีเบสิกหรือ สีวัต สีมอร์แดนท์ เมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์จะได้สีที่เข้มกว่าและย้อมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้วย

### 2.5.3 สมบัติทางชีวภาพ

1. ราและแมลง ไหมไม่เกิดราได้ง่ายยกเว้นถูกทิ้งไว้ในสภาวะที่ค่อนข้างชื้นเป็นเวลานาน แมลงไม่กัดกินหากไม่มีสิ่งสกปรกติดอยู่ที่ผ้า

2.5.4 สมบัติในการติดไฟ ไหมเมื่อติดไฟจะลุกไหม้ช้าๆ เมื่อนำออกจากแหล่งให้ความร้อน เปลวไฟจะดับเอง

2.3.5 สมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ไม่ดี มีการใช้งานของไหมกันอย่างกว้างขวางด้วยไหมมีสมบัติเด่นหลายประการ นอกจากการใช้งานผ้าไหมเป็นไหม 100 % แล้วยังมีการนำไหมไปผสมกับเส้นใยชนิดอื่นได้ด้วย เช่น ไหมผสมฝ้าย ไหมผสมลินิน หรือไหมผสมขนสัตว์ เป็นต้น

## 2.6 การปรับปรุงเส้นใยไหมด้วยวิธีการทางเคมี [6-8,16]

ไหมดิบที่ได้จากรังไหมในแต่ละรังมีความแข็งแรงกระด้างและให้สัมผัสที่ไม่ดี เนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีองค์ประกอบของกาวไหมและสารอื่นๆเคลือบอยู่ดังนั้นก่อนนำไหมไปใช้งานจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยก่อนนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงต้องผ่านกระบวนการลอกกาวไหมและการตกแต่งสำเร็จ เช่น การตกแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติทางความร้อน การตกแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการใช้งาน เป็นต้น มีรายละเอียดดังนี้

### การลอกกาว (Degumming)

การลอกกาว หมายถึง การลอกเซรีซินออก 100% แต่บางครั้งมีการลอกกาวเพียง 30%, 50%, 70% ทั้งนี้ ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ เส้นใยไหมเมื่อสาวออกจากรังเป็นเส้นใยกระด้างแข็ง เพราะมีกาวหุ้ม ฟอกออกได้ด้วยสบู่ จะได้ใยที่นุ่มเป็นมันทำให้น้ำหนักไหมลดไปประมาณ 25 % เส้นไหมมีสีขาวขุ่นและเพื่อเพิ่มความสามารถในการย้อมสีเส้นใยจะต้องมีการฟอกขาวเพื่อกำจัดสีธรรมชาติออกไปด้วย การลอกกาวออกจากเส้นใยไหมดิบเป็นการลอกกาวเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใย เพื่อให้เส้นใยมีความมันเงามากขึ้นมีวิธีใช้อยู่ทั่วไปดังนี้

#### 2.6.1 การลอกกาวด้วยโซดา (Degumming)

สารละลายโซดาที่ใช้ในการลอกกาวเส้นใยที่นิยมใช้ คือ โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ที่อุณหภูมิ  $90^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 2-9 ชั่วโมงจากนั้นล้างด้วยน้ำอุ่น  $40-50^\circ\text{C}$  และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้งวิธีนี้สามารถลอกกาวยได้สม่ำเสมอแต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ สารเคมีที่ใช้มีความเป็นด่างสูงทำให้เส้นใยมีสมบัติเชิงกลลดลง

### 2.6.2 การลอกกาวด้วยสบู่

การลอกกาวไหมด้วยสบู่เริ่มจากแช่เส้นใยไหมดิบที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$  30 นาทีแล้วเติมสบู่ 15-20% โดยน้ำหนักของเส้น (30-50 เท่าของน้ำหนักไหมดิบ) และต้มต่อเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทำให้ได้เส้นไหมที่เงางามและเรียบสวย ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ถ้าใช้น้ำกระด้างจะทำให้เกิดโคลสบู่ที่เกิดจากแคลเซียมไอออนในน้ำเช่น แคลเซียม แมกนีเซียมและเหล็กทำให้เส้นใยที่ได้มีการลอกกาวที่ไม่สม่ำเสมอและมีสีหมองคล้ำ

### 2.6.3 การลอกกาวด้วยเอนไซม์

เอนไซม์ที่ใช้ในการลอกกาวได้คือ เอนไซม์โปรตีเอส (Protease enzyme) ชนิดต่างที่มีค่า pH 9.0 – 10.5 ที่อุณหภูมิ  $40-65^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงแล้วล้างน้ำอุ่น  $40-50^\circ\text{C}$  และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายครั้ง ๆ เอนไซม์สามารถลอกกาวได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ข้อเสียคือ เอนไซม์ที่ใช้มีราคาแพงและมีกลิ่นรุนแรง

### 2.6.4 การลอกกาวด้วยกรด

การนำเส้นใยไปต้มในสารละลายที่เป็นกรดแต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากปัญหาในการควบคุมคุณภาพของไหมที่ลอกกาว

### 2.6.5 การลอกกาวด้วยไตรเอทิลอะมีน

เส้นใยที่ผ่านการลอกกาวด้วยวิธีนี้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวด้วยสบู่

### 2.6.6 การลอกกาวด้วยสบู่ – โซดา

การลอกกาวด้วยสบู่ผสมโซดาจะใช้สบู่ 8 – 15 % o.w.f และโซเดียมคาร์บอเนต 5 – 8 % o.w.f ใช้อัตราส่วนของวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:5 ที่อุณหภูมิ  $90^\circ\text{C}$  ใช้เวลา 2 – 3 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำเส้นใยมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เป็นด่างอ่อนกว่าที่อุณหภูมิ  $40-50^\circ\text{C}$  ตามด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้งวิธีนี้จัดว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่งทำให้ได้เส้นใยที่ขาวและมีความสม่ำเสมอในการลอกกาวมากขึ้นและช่วยลดข้อเสียในการลอกกาวด้วยสบู่จากการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดความกระด้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การนำไหมไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ [17]

รังไหมและเส้นไหมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายอย่าง เช่นเดียวกับหนอนไหมและดักแด้ได้แก่

(1) **สิ่งทอ** ไหมเป็นสิ่งทอที่ล้ำค่ามากกว่าสิ่งทออื่น ๆ จนได้รับสมญานามว่า “ราชินีแห่งเส้นใย” แม้ไหมจะมีข้อเสียคือ ยืดหยุ่นได้น้อย ขยับง่ายซักรยาก แต่ข้อเสียเหล่านี้ก็ได้กำจัดหรือทำให้ลดน้อยลงไปโดยการใช้สารเคมีหลายชนิดในกระบวนการผลิตเพื่อทำให้ผ้าไหมซักรง่ายขึ้น ลดการยับและลดการทำให้ผ้าเหลืองลงได้ ยังมีการพัฒนาเส้นไหมดิบให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นโดยการเติมเกลือเส้นไหม ในทิศทางกลับกันและถักขึ้น ใช้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่ เส้นใยชนิดนี้จะมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ดี กำจัดข้อเสียต่าง ๆ ออกได้ด้วยความเป็นเส้นใยที่ได้จากสัตว์ ไหมจึงได้เปรียบเหนือกว่าฝ้าย ไหมมีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมในการระบายอากาศ ดูดซับความร้อน ทำให้ร่างกายสบายมีการดูดซับน้ำและระบายความชื้นได้ดีสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าฝ้าย 1.5 เท่า แต่ระบายความชื้นได้เร็วกว่า 50% และดูดซับความร้อนไว้ที่เนื้อผ้าได้ สูงกว่า 13-21% ปกติอุณหภูมิของร่างกายบริเวณเด้านม และต้นขาประมาณ 33.3-34.2 °C การสวมใส่ชุดผ้าไหมจะทำให้อุณหภูมิของร่างกายบริเวณดังกล่าวลดลงเหลือ 31-33 °C ดังนั้นจึงทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกอบอุ่นในฤดูหนาวแต่จะเย็นสบายในฤดูร้อนไม่เหนียวเหนอะหนะเวลาสวมใส่ผ้าไหม ด้วยเหตุผลดังกล่าว ประเทศญี่ปุ่นที่มีอากาศร้อนและอากาศหนาวในช่วง 1 ปี จึงพัฒนาชุดชั้นในที่ทำด้วยเส้นใยไหมดึงดูดความสนใจได้มากกว่าเส้นใยสังเคราะห์อื่น ๆ นอกจากนี้จะใช้ผ้าไหมเป็นเครื่องนุ่งห่มแล้ว ยังเป็นผ้าปูโต๊ะ ผ้าห่มชุดเฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ ในอดีตถุงน่องสตรี ทำจากไหมเพียงอย่างเดียว ภายหลังใยสังเคราะห์ไหล่นเข้ามาทดแทนไหมได้เกือบสมบูรณ์ เนื่องจากมีความเหนียวและทนทานยืดหยุ่นดีและราคาถูก แต่ไหมยังดีกว่าไหล่นอยู่มากในด้านการสัมผัสการดูดซับความร้อนและระบายอากาศ จึงได้มีการพัฒนาเส้นไหมผสม (Hybrid silk) เพื่อรวมคุณสมบัติที่ดีของเส้นใยทั้ง 2 ชนิดไว้ด้วยกัน

(2) **เครื่องสำอาง** “silk fibroin” เป็นโปรตีนแห่งมอยซ์เจอร์ไรเซอร์ ที่สามารถให้ความชุ่มชื้นสูงถึง 300 เท่าของน้ำหนัก เป็นโปรตีนสกัดจากไหมที่ผสมานเป็นหนึ่งในเดียวกับผิวหนัง ด้วยกระบวนการทางชีวเคมีดูเดียวกับธรรมชาติผิว นับเป็นสรรพคุณของไหม ที่บริษัทเครื่องสำอางแห่งหนึ่งผลิตครีมบำรุงความชื้นผิวจากโปรตีนไหมกล่าวถึง ไหมนอกจากจะครองความเป็นเลิศในเรื่องของเส้นใยแล้วยังเป็นวัสดุที่มีคุณค่าเมื่อนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาพัฒนา เนื่องจากเส้นใยไหม ส่วนใหญ่ (90%) เป็นโปรตีนที่มีความใกล้เคียงกับโปรตีนที่พบในร่างกายมนุษย์ซึ่งยากยิ่งที่สารสังเคราะห์อื่นใดจะทำได้เสมอเหมือน โปรตีนจากเส้นไหมประกอบด้วยไฟโบรอิน และเซรีซิน แต่เซรีซิน จะถูกความร้อนชะล้างออกไปเมื่อต้มรังในการสาวไหมเพราะเป็นกาวเหนียว มีเพียงไฟโบรอินที่ใช้ทำเป็นเส้นใย ดังนั้น งานวิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การใช้ประโยชน์จากไฟโบรอิน เมื่อ 60 ปีก่อน บริษัทเครื่องสำอางแห่งหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น ได้นำไฟโบรอินมาหลอมให้อยู่ในรูปของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายก่อนที่จะทำเป็นผงและครีมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางอันดับแรกที่ทำจากไหมโดยใช้เป็นเครื่องแต่งหน้าให้กับผู้แสดงละครคาบูกิ ที่จำเป็นต้องพอกหน้าด้วยเครื่องสำอางอย่างมาก ทำให้ผู้แสดงรู้สึกสบายผิวมากขึ้น นอกจากนั้นเมื่อต้องแสดงกลางแจ้งก็สามารถป้องกันอันตรายจากแสงอุลตราไวโอเลต (UV light) และที่สำคัญเครื่องสำอางชนิดนี้เข้ากับผิวหนังได้ดีกว่าชนิดอื่น ต่อมาบริษัทได้ผลิตโปรตีนไหมที่ทำจากเชริซิน เพื่อใช้ในวงการเสริมสวยโดยมีสรรพคุณในการป้องกันเส้นผมเสีย ในขณะที่ตกแต่งหรือเปลี่ยนทรงผม ปัจจุบันครีมรองพื้น ครีมแต่งหน้า และครีมทำความสะอาด จะมีโปรตีนจากไหมเป็นส่วนผสม ญี่ปุ่นประเทศเดียว มีการใช้ไหมทำเครื่องสำอางถึงปีละ 5-6 ดัน และเป็นที่น่ายินดีที่มีบริษัทของไทยได้ผลิตเครื่องสำอาง สบู่เหลว แชมพูและน้ำยาซักผ้าไหม ที่มีโปรตีนจากเส้นใยไหมเป็นส่วนผสมออกจำหน่ายแล้ว

(3) การแพทย์ เป็นที่ทราบกันว่าไหมใช้เป็นเส้นด้ายในการเย็บแผลผ่าตัด นอกจากเหนียวและทนต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว ยังเข้ากับเนื้อเยื่อมนุษย์ได้ดี คุณสมบัติของไหมเหล่านี้จึงเป็นประโยชน์ต่อวงการแพทย์อย่างมากในการที่จะหลอมเส้นไหมแล้วทำให้เป็นแผ่นผิวหนังเทียมหรือเป็นหลอดต่อเส้นเลือดเทียม คอนแทกเลนส์ แม้ว่าอุปกรณ์เหล่านี้จะทำได้ด้วยพลาสติก แต่ก็ถูกต่อต้านจากร่างกายสูง ได้มีความพยายามที่จะผลิตสารดูดซับที่จะใช้ทางการแพทย์ (Absorbant polymers) และสารช่วยย่อยอาหารจากสารละลายไฟโบรอิน เมื่อเร็ว ๆ นี้ พบว่า กรดอะมิโนที่พบในไฟโบรอินคือ glycine จะช่วยให้คอเลสเตอรอล และระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ และอะลานีน (Alanine) จะช่วยดับทำงาน เช่น ช่วยให้อาการเมาค้างกลับสู่ภาวะปกติได้เร็วขึ้น ขณะเดียวกัน serine จะกระตุ้นทำงานของสมองในผู้สูงอายุ ไฟโบรอินจากไหมยังมีศักยภาพในการพัฒนาเป็น biosensors เพื่อตรวจจับ แอนติบอดี (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 ใช้หนอนไหมเป็นอาหารของจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถใช้กำจัดแมลงได้ การปลูกเชื้อไวรัสที่เจือจางในหนอนไหมสามารถใช้เป็นวัคซีนป้องกันโรคของสัตว์ได้ ตลอดจนมีการศึกษาการเลี้ยงเชื้อไวรัส และจุลินทรีย์ ที่สามารถนำมาผลิตเป็นยารักษาโรคและสารที่มีประโยชน์ต่าง ๆ ใช้หนอนไหมเป็นอาหารของไส้เดือนฝอยในการขยายพันธุ์เพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชบางชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) **สบู่และเทียนไข** ไขจากดักแด้ใหม่สามารถนำมาผลิตเป็นสบู่และเทียนไขที่มีคุณภาพสูง ญี่ปุ่นและอิตาลีเป็นประเทศที่ผลิตสบู่และเทียนไขคุณภาพสูงจากไขดักแด้ใหม่มากเป็นอันดับ 1 และ 2 ไขมันที่สกัดได้เมื่อนำไปผ่านกระบวนการเพิ่มไฮโดรเจน (Hydrogenation) จะได้ไขสีขาว (White oil) คือ stearic acid  $(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$  ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่และเทียนไขคุณภาพสูงและมีการนำไปทำผงซักฟอก ไฟโบรอินจากไหม ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผงซักฟอก ที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายสิ่งสกปรกได้ดี เพราะมีส่วนช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมี

(6) **ดอกไม้** รังไหมที่ผ่ารังเอาดักแด้ออกแล้ว สามารถนำมาประดิษฐ์เป็นดอกไม้ได้หลากหลายชนิด เช่น ดอกทิวลิป ดอกบัว ดอกเฟื่องฟ้า ดอกทานตะวัน ดอกเยอบีร่า ดอกกุหลาบ หรือประดิษฐ์เป็นรูปสัตว์ต่าง ๆ เช่น นก หนู ฯลฯ ใช้ประดับในอาคาร ในรถยนต์ นอกจากนี้จะสวยงามแล้วยังสะดวกแก่ผู้พบเห็นทั่วไปอีกด้วย

(7) **อาหารมนุษย์** มนุษย์รู้จักบริโภคดักแด้จากหนอนไหมมาตั้งแต่เมื่อไร ไม่ปรากฏ แต่ชาวไทยที่เคยเลี้ยงไหม หรือสาวไหม ส่วนแล้วแต่รู้จักการบริโภคดักแด้ที่อยู่ในรังไหมเป็นอย่างดี เมื่อต้มรังไหมและสาวไหมจนหมดเส้นใย ก็มักจะลอกเปลือกรังชั้นในนำดักแด้ที่สุกแล้วมาบริโภค หรือนำไปคั่วก็อร่อยไปอีกแบบหนึ่งหรือนำไปปรุงอาหารชนิดอื่นก็ได้ เช่น ทอดกับไข่ผัดใบกะเพรา ตลาดในภาคอีสานจะมีดักแด้ใหม่ขายตามฤดูกาลเฉลี่ยราคา กิโลกรัมละ 40-80 บาท ชาวญี่ปุ่นก็บริโภคดักแด้ไหมที่ปรุงแล้วเช่นเดียวกับชาวจีน เกาหลี อินเดีย และพม่า แคมยังมีจำหน่ายในซูเปอร์มาเก็ตบางแห่งอีกด้วย มีบริษัทอุตสาหกรรมการเกษตรของไทยได้ส่งออกผลิตภัณฑ์ “ดักแด้กระป๋อง” ไปจำหน่ายยังประเทศเกาหลี เนื่องจากมีความต้องการสูง เพราะดักแด้ไหมมีโปรตีนและเกลือแร่หลายชนิด มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าปลาและสัตว์ต่าง ๆ ยังอุดมไปด้วยวิตามิน บี 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% สามารถนำไปเป็นอาหารเสริมของปลาร่วมกับเศษใบหม่อนที่เหลือจากการเลี้ยงไหมได้ ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลมากนัก คาดว่าจะได้รับข่าวดีในการใช้ดักแด้ไหมไปเลี้ยงสัตว์ในเร็ววันนี้

(9) **ทดแทนนุ่น** ปุยไหมชั้นนอกไม่สามารถจะนำไปสาวเป็นเส้นได้ เดิมจะมีการลอกปุยไหมชั้นนอกทิ้งไปก่อนนำรังไปต้มเพื่อสาวเป็นเส้นไหมต่อไป หรือรังเสี้ยนที่ไม่สามารถเข้าเครื่องสาวได้ จะนำไปต้มแล้วดึงเส้นใยไหมออกมาเป็นแผ่น โดยสถาบันวิจัยหมอนไหมเซินเจียง (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 คือเส้นไหมที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอไม่ได้แล้วไปดัดเป็นผงไหม เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- วัสดุที่ให้ความรู้สึกที่ดีในการสัมผัส โดยการใช้ผงไหมผสมสีแล้วฉีดพ่นบนวัสดุ เพื่อให้เกิดความนุ่มมือและดูดซับความชื้น ไม่เหนียวเหนอะหนะ เช่น ปากกา
- ฟิล์ม เคลือบรักษาความสดในอุตสาหกรรมประมง โดยทำการเปรียบเทียบกับสารต่าง ๆ เช่น สารพอลิเมอร์ ฝ้าย ป่าน ปอ กระดาษเคลือบไข (Oil paper) และสารละลายเกลือ 1% พบว่าการเคลือบด้วยฟิล์มไหมรักษาความสดของกุ้งสดได้นานถึง 9 วัน ดีกว่าวัสดุอื่น และดีกว่าน้ำแข็งที่รักษาความสดไว้ได้เพียง 7 วัน
- ถ้าไม่ทำเป็นผง ก็จะนำไปฟอกให้เกิดความอ่อนนุ่ม เพื่อนำไปทำเป็นสำลี ผ้าเช็ดเลนส์และกระดาษ แผ่นทำความสะอาดผิวหนัง เช่นการชำระล้างเครื่องสำอาง เหล่านี้เป็นต้น

## 2.8 เนื้อเยื่อวิศวกรรม (Tissue Engineering) [5,18,21]

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

- ใช้แยกเซลล์หรือแทนที่เซลล์ตามความต้องการ
- การส่งผ่านของเนื้อเยื่อ เพื่อการเติบโตไปยังตำแหน่งที่ต้องการ
- การเติบโตเซลล์ใน Scaffold 3 มิติ
- Scaffold จะมีความรูพรุนสูงและขนาดรูที่เหมาะสม
- ต้องการพื้นที่ผิวสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเสื่อมสลายทางชีวภาพและอัตราการเสื่อมสภาพที่เหมาะสมเท่ากับอัตราการเกิดเนื้อเยื่อใหม่
- Scaffold ต้องมีสมบัติเชิงกลที่สมบูรณ์เพื่อคงสภาพของโครงสร้างเนื้อเยื่อ
- Scaffold ต้องไม่เป็นพิษต่อเซลล์ (คือ สามารถเข้ากันได้)
- Scaffold ต้องเกิดแรงกระทำภายในกับเซลล์ได้ รวมถึงต้องเพิ่มการติดกันของเซลล์ การเติบโต การเป็นก้อนและหน้าที่ที่แตกต่าง

จุดมุ่งหมายของการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ Scaffold ให้เหมาะสมกับความต้องการเฉพาะอย่าง รุพรุนที่มากและขนาดรูที่เพียงพอจึงเป็นที่ต้องการจากงานวิจัย เพื่อสะดวกในการเพาะเซลล์และแพร่ผ่านตลอด ทำให้โครงสร้างสมบูรณ์ของทั้งเซลล์และสารอาหาร การเสื่อมสภาพทางชีวภาพเป็นส่วนสำคัญของ Scaffold ที่ต้องการ เพื่อดูดซับเนื้อเยื่อแวดล้อมภายนอกที่จำเป็นจากการผ่าตัดเอาออกไป อัตราของการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นเท่ากับอัตราการเกิดเนื้อเยื่อใหม่ นั่นคือ ขนาดเซลล์เกิดขึ้นมีโครงสร้างเมตริกซ์ธรรมชาติรอบๆเซลล์ Scaffold สามารถให้โครงสร้างที่สมบูรณ์ภายในร่างกาย และในที่สุดก็จะแตกออกจากเนื้อเยื่อใหม่นี้ จะต้องรับน้ำหนักต่อไป

### 2.8.1 การสังเคราะห์เนื้อเยื่อวิศวกรรม [5]

มีวิธีการหลายแบบสำหรับการเตรียม โครงสร้างรูพรุนเพื่อใช้เป็นเนื้อเยื่อวิศวกรรม (Scaffold) เทคนิคแต่ละแบบจะมีประโยชน์และข้อเสีย 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 พร้อมกับอนุภาคโปรเจน (Porogen) โปรเจนเป็นเกลืออนินทรีย์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (Sodiumchloride) ฟลิกของ Saccharose เจลลาติน (Gelatin) หรือพาราฟิน (Paraffin) ขนาดของอนุภาคโปรเจนจะมีผลต่อรู Scaffold ขณะที่อัตราของพอลิเมอร์กับโปรเจนสัมพันธ์กันโดยตรงต่อจำนวนของรูพรุนในโครงสร้าง จากนั้นปล่อยให้ตัวทำละลายอินทรีย์ระเหย นำพอลิเมอร์จุ่มลงในอ่างของของเหลวสำหรับละลายโปรเจน ในกรณีของโซเดียมคลอไรด์จะใช้น้ำ Saccharose และ เจลลาตินจะใช้น้ำ ตัวทำละลายอะลิฟาติก เช่น เฮกเซน (Hexane) ใช้สำหรับพาราฟิน โปรเจนละลายอย่างสมบูรณ์ โครงสร้างรูพรุนก็เกิดขึ้น มีความหนาเล็กน้อย ข้อเสียของ SCPL คือใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งต้องเอาออกอย่างสมบูรณ์ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายต่อเซลล์บน Scaffold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. Gas foaming :** เป็นการเอาชนะในการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์และโปรเจกต์ของแข็ง เทคนิคนี้จะใช้ก๊าซเป็นโปรเจกต์พัฒนารูปร่างโครงสร้าง พอลิเมอร์จะถูกเตรียมโดยการอัดโมลโดยใช้โมลร้อน ภาชนะจะถูกวางในอ่างขนาดใหญ่ที่เปิด ให้ความดัน  $\text{CO}_2$  สูง ความดันภายในอ่างขนาดใหญ่จะเป็นสภาวะของชั้นบรรยากาศ ขณะนี้รูพรุนก็จะเกิดขึ้นโดยโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยไว้ในพอลิเมอร์ เป็นผลให้โครงสร้างคล้ายฟองน้ำ ปัญหาส่วนใหญ่ของเทคนิคนี้ได้แก่ใช้ความร้อนมากเกินไปขณะการอัดโมล (ข้อห้ามในการรวมกัน อุณหภูมิวัสดุอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเมตริกซ์พอลิเมอร์) และโดยข้อเท็จจริงนั้นรูจะไม่เชื่อมกัน

**4. Emulsification/Freeze-drying :** เทคนิคนี้ไม่ต้องการใช้โปรเจกต์ของแข็งเหมือน SCPL พอลิเมอร์สังเคราะห์ละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม (เช่น กรดพอลิแลคติก ละลายในไดคลอโรมีเทน) เติมน้ำลงในสารละลายพอลิเมอร์ ของเหลวทั้งสองจะผสมกัน ได้เป็นอิมัลชัน ก่อนที่ สองเฟสจะแยกกัน อิมัลชันจะเทไปในโมลและแช่แข็งเร็ว โดยการจุ่มไปในไนโตรเจนเหลว อิมัลชันแช่แข็งต่อมาก็ไป Freeze-drying เพื่อเอาน้ำและตัวทำละลายออก โครงสร้างก็จะเป็นรู การ Emulsification และ Freeze-drying เตรียมได้เร็วเมื่อเทียบกับ SCPL ซึ่งจะไม่ต้องการเวลาการชะล้าง ไม่ต้องการใช้ตัวทำละลาย นอกจากนั้นขนาดรูจะเล็กและรูพรุนจะเท่าๆกัน Freeze-drying โดยตัวมันเองใช้เทคนิคทั่วไปสำหรับการเกิด scaffold จะใช้เตรียมฟองน้ำคอลลาเจน คอลลาเจนจะละลายในอะซิติก สารละลายของกรดอะซิติกหรือ กรดไฮโดรคลอริก ถูกเทภายใน โมล แช่แข็งกับไนโตรเจนเหลวเป็น Liophylize

**5. Liquid-liquid phase separation :** คล้ายกับเทคนิคที่ 4 กระบวนการนี้ต้องใช้ตัวทำละลายที่มีจุดหลอมเหลวต่ำเพื่อช่วยต่อการทำให้บริสุทธิ์ เช่น ไดออกเซน (Dioxane) ใช้ละลายกรดพอลิแลคติก เติมปริมาณน้ำเล็กน้อยก็จะแยกเฟสกัน ตามด้วยให้ความเย็นที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของตัวทำละลายจาก Vacuum-drying เพื่อดึงตัวทำละลายออก ก็จะได้รูพรุนของ Scaffold มีข้อเสียเหมือนวิธี Emulsification/Freeze-drying

## 2.8.2 สมบัติที่จำเป็นที่สุดของ Scaffold [9]

ความสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ Scaffold จะต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต รูพรุนของ Scaffold จะต้องมีการเปิดซึ่งทำให้การเชื่อมต่อภายในโครงสร้างรูพรุน อัตราพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ปริมาตรจะกว้าง เซลล์จะเจริญภายในและเซลล์จะแพร่ตลอดโครงสร้างรู ทำให้ง่ายต่อการมีหลอดเลือดใหม่ของโครงสร้างเนื้อเยื่อรอบๆ Scaffold จะแสดงพฤติกรรม Microporosity ที่เพียงพอ รูพรุนและการติดกันนั้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการแพร่ของสารอาหารและก๊าซ เพื่อเอาของเสียจากการเผาผลาญออกจากเซลล์ที่เติบโตภายใน Scaffold เป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญในเนื้อเยื่อวิศวกรรมกระดูก เพราะเนื่องจากลักษณะการเผาผลาญกระดูก ปริมาณการส่งผ่านของเสียจะมีอัตราสูงเกิดขึ้นภายใต้สภาวะการทดลองการปลูกฝังเนื้อเยื่อ อย่างไรก็ตาม ระดับของรูพรุนจะมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลต่อสมบัติอื่นๆของ Scaffold นั้นคือ ความเสถียรทางเชิงกล ดังนั้นค่าจะเท่ากันกับความ ต้องการเชิงกลของเนื้อเยื่อวิศวกรรม เพื่อใช้ในการแทนที่

ขนาดรูพรุน เป็นประเด็นสำคัญมากๆเพราะถ้ารูที่ใช้ขนาดเล็ก รูจะถูกปิดกั้นโดยเซลล์ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะป้องกันเซลล์แทรกซึมเข้าไป ป้องกันการเกิดเมตริกซ์เซลล์พิเศษและป้องกันการเกิด หลอดเลือดใหม่ภายในพื้นที่ของ Scaffold โดยที่ขนาดรูภายในเป็น 200-900  $\mu\text{m}$  ซึ่งแล้วแต่แนวคิด ที่แตกต่าง ที่เป็นที่ต้องการของผู้ทดลอง เชื่อว่ากระดูกที่สร้างขึ้นใหม่ จะได้มาโดยเมตริกซ์ ชั่วคราว 3D ซึ่งรูขนาดใหญ่โครงสร้างจะติดกัน ที่อัตราพื้นผิว/ปริมาตรสูง ง่ายต่อเซลล์เนื้อเยื่อและ เส้นเลือดเจริญภายใน อย่างไรก็ตาม จะไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

สมบัติของพื้นผิว ทั้งทางเคมีและลักษณะรูปร่างสามารถควบคุม และส่งผลกระทบต่อ การติดกันของเซลล์ และการเติบโตของเซลล์

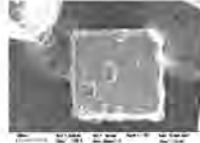
- (1) สมบัติทางเคมี จะสัมพันธ์กับความสามารถการติดกันของเซลล์กับวัสดุ นั่นคือปฏิกิริยา ภายในโปรตีนกับวัสดุ
- (2) สมบัติของลักษณะรูปร่าง เป็นที่น่าสนใจ คือ การื่อนำกระดูก (Osteoconduction) การ ลื่อนำกระดูกจะกระทำโดยย้ายหัวข้อเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกไปยังผิวของเส้นใย Scaffold ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการปลูกฝังวัสดุ การย้ายก่อนเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกจะเอาออกจากเส้น ใยเมตริกซ์ชั่วคราว ดังนั้น เส้นใยเมตริกซ์เป็นสิ่งสำคัญมากที่สุดที่ได้มาจาก Scaffold หรืออีกในหนึ่ง เมื่อเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกเริ่มจะเป็นก้อนบนเส้นใยแยกออกจาก Scaffold ขณะที่บาดแผลหดตัว พื้นที่ผิวหยาบมากๆ สามารถกักเส้นใยเมตริกซ์ได้ มากกว่าพื้นผิวเรียบ และจากนี้ไปการย้ายที่ของเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกไปยังผิวของวัสดุ จะง่ายขึ้น

## 2.9 โพรอเจน (Porogen)

รูพรุนตัวของไฮโดรเจลถูกเตรียมโดยใช้ เกลือ น้ำตาลหรือผลึกน้ำแข็ง มีหลักดังนี้

รูพรุนของวัสดุไฮโดรเจลจะส่งผลเนื่องจากการแขวนลอยที่อิมิตัวบึงยวดของโพรอเจนใน สารละลายมอนอเมอร์ โพรอเจนจะต้องไม่ละลายในสารละลายมอนอเมอร์ แต่จะละลายใน สารละลายการชะล้างที่ใช้ โดยที่โซเดียมคลอไรด์ชอบใช้เป็นโพรอเจน ส่วนโพแทสเซียมคลอไรด์ น้ำแข็ง น้ำตาลและ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ก็จะถูกนำมาใช้ ซึ่งจะควบคุมขนาดอนุภาค โพรอเจนที่น้อยกว่า 25 ไมครอน ซึ่งควรเลือกให้น้อยกว่า 10 ไมครอน ขนาดเล็กๆจะช่วยให้การ แขวนลอยของโพรอเจนในตัวทำละลาย ความเข้มข้นของโพรอเจนอยู่ในช่วงจาก 5% w/w – 50% w/w โดยการเลือก 10% w/w – 20% w/w ในสารละลายของมอนอเมอร์ ตัวอย่างโพรอเจนที่ใช้ [23-25]

## 2.9.1 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)



ผลึกเกลือ โซเดียมคลอไรด์  
ด้วยเทคนิค SEM (150เท่า)

สูตร โมเลกุล	NaCl
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	เป็นผลึกของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	58.44
จุดเดือด	1465 °C
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	~800 °C
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	2.16
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.)	37
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5-8
ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา	
ความคงตัว	สารนี้มีความเสถียร
สารที่เข้ากันไม่ได้	ทำปฏิกิริยากับโบรมีนไตรฟลูออไรด์ (BF <sub>3</sub> ), โบรอนไตรออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +CAO) และกรดซัลฟูริก โซเดียม ดังกะสี
สารอันตรายจากการสลายตัว	ฟุ้ง/ก๊าซพิษของคลอไรด์ (Cl <sup>-</sup> ) เกิดเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 1600 °C
เมื่อสัมผัสกับความร้อนสูง จะทำให้เกิดไอระเหยที่ฤทธิ์ระคายเคืองขึ้น	
อันตรายต่อสุขภาพอนามัย	
สัมผัสทางหายใจ	การหายใจเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคือง จมูก คอ และ ปอด
สัมผัสทางผิวหนัง	การสัมผัสถูกผิวหนังทำให้ระคายเคือง การสัมผัสเป็นเวลานานจะทำให้ปวดแสบปวดร้อน และแผลไหม้
กินหรือกลืนเข้าไป	การกลืนกินเข้าไปทำให้ระคายเคืองกระเพาะอาหารและลำไส้ ทำให้คลื่นไส้และอาเจียน
สัมผัสถูกตา	การสัมผัสถูกตา ทำให้เกิดการระคายเคือง ต่อ ตาตาแดง เจ็บตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อมะเร็ง

สารนี้ถูกรายงานว่าเป็นสารไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง  
โดย NTP, IARC, OSHA

ความผิดปกติ อื่น ๆ

การสัมผัสกับสารเป็นระยะเวลานานหรือการ  
สัมผัสสารซ้ำ จะทำให้เกิดแผลพุพอง

### 2.9.2 น้ำตาลซูโครส (Sucrose)



ผลึกน้ำตาลซูโครส

ด้วยเทคนิค SEM (40 เท่า)

ชื่อทางเคมี	ซูโครส
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	ผลึกขนาดใหญ่สีขาว รสหวาน ละลายน้ำได้ดี
สูตรเคมี	$C_{12}H_{22}O_{11}$
มวลโมเลกุล	342.3 g/mol
ความหนาแน่น	1.587 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	186 °C

### 2.9.3 น้ำตาลกลูโคส โมโนไฮเดรต (Glucose monohydrate)



ผลึกน้ำตาลโมโนกลูโคส

ด้วยเทคนิค SEM (150 เท่า)

ชื่อทางเคมี	Glucose monohydrate
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	ผลึกขนาดเล็กสีขาว รสหวาน ละลายน้ำได้ดี
Synonym for D-glucose	dextrose
สูตร โมเลกุล	$C_{12}H_{12}O_6 \cdot H_2O$
น้ำหนักโมเลกุล	198.17 g/mol
จุดหลอมเหลว	$\alpha$ -D-glucose: 146°C $\beta$ -D-glucose: 150°C
ความหนาแน่น	1.54 g/cm <sup>3</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

U-J Kim และคณะ [13] ได้ทำการศึกษา กระบวนการเตรียม Scaffold จากสารละลายไหมไฟโบรอินที่ความเข้มข้นต่างๆ และจากวิธีไหมไฟโบรอินที่ละลายในHFIP ที่ความเข้มข้น8wt% ของไหมไฟโบรอิน และใช้ NaCl เป็นโพโรเจนในการเกิดรูพรุน ทำการทดสอบ Scaffold จากวิธีสารละลายไหมไฟโบรอิน เปรียบเทียบความเข้มข้นของไหมไฟโบรอินและลดปริมาณของNaCl พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไหมไฟโบรอินและลดปริมาณของNaCl จะทำให้การบวมตัว ความพรุนตัวและสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดรูที่ลดลงและการกระจายตัวของเมตริกส์ไหมไฟโบรอินที่สม่ำเสมอ ส่วนในเรื่องการเสื่อมสภาพด้วยเอนไซม์ Proteases ที่ความเข้มข้น1U และ 20U คบเป็นเวลา 21 วัน ผลที่ได้คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายไหมไฟโบรอิน4wt% จะเสื่อมสภาพเร็วกว่าที่ความเข้มข้น 6 และ 8wt% ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีไหมไฟโบรอินที่ละลายใน HFIP ที่ความเข้มข้นเดียวกัน 8wt% พบว่า วิธีสารละลายไหมไฟโบรอินจะเสื่อมสภาพเร็วกว่าวิธีที่ละลายกับ HFIP เนื่องจากลักษณะผิวที่รูพรุนจะขรุขระ ซึ่งจะไปเร่งการเสื่อมสภาพของเอนไซม์ Proteases

A.Hokugo และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาการเตรียม Scaffold จากไฟโบอินผสม Poly(glycolic acid) (PGA) และไม่มี PGA โดยวิธีการ Freeze-drying ใช้ปริมาณของ PGA 0,1.5,3.0, 3 และ6.0mgของน้ำหนักไฟโบอิน จากนั้นนำไปทดสอบด้วย SEM, สมบัติเชิงกล, วัดการหดตัวและการเพาะปลูกเซลล์ ผลจากSEM พบว่า Scaffold ทุกๆตัวอย่างจะมีรูพรุนเฉลี่ย 30  $\mu\text{m}$  ซึ่งมีรูพรุนภายในคล้ายๆกันทุกตัวอย่าง ส่วนผลจากการกดอัดของ Scaffold ที่มีPGAอยู่ ที่น้ำหนัก 3.0 และ 6.0mg จะมีความแข็งแรงกดอัดเพิ่มขึ้นตามน้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์การหดตัวของ Scaffold นั้น มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับ Scaffold ที่ไม่มีPGA อยู่ ด้านการเพาะเซลล์นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีPGAอยู่เทียบกับ Scaffold ที่ไม่มีPGA เพราะ PGA จะขัดขวางการหดตัวของฟองน้ำ ทำให้มีปริมาตรที่ว่างซึ่งมีการแทรกซึมและแพร่ของเซลล์มากขึ้น แต่ถ้าจำนวนPGAใน Scaffold ที่ปริมาณ 6.0 mg จะทำให้การแพร่ของเซลล์ลดลง ฉะนั้นจำนวน PGA ที่ 3.0 mg จะดีที่สุด ถ้า PGA ใน Scaffold มากเกินไป จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อนำไปใช้งาน

R.Nazarov และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาการเกิดรูพรุน 3 มิติ จากกระบวนการ Freeze-drying , Salt leaching และ Gas foaming จากวัสดุไหมธรรมชาติ แล้วนำไปทดสอบ SEM, FTIR, XRD สมบัติเชิงกล และความหนาแน่น ความพรุนตัวของ Scaffold ซึ่งผลจากการทดสอบจากวิธี Salt leaching จะมีรูพรุนอยู่ระหว่าง 84-98% ความแข็งแรงเชิงกล  $175 \pm 3$  Kpa ส่วน Scaffold จากวิธี Gas foaming จะมีรูพรุน 87-97% ความแข็งแรงเชิงกล  $280 \pm 4$  Kpa และ Scaffold จากวิธี Freeze-drying เตรียมที่อุณหภูมิแช่แข็ง (-80 และ -20 °C) และเตรียมที่ระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (15 และ 25%) รูพรุนของแอลกอฮอล์จะสูงถึง 99% และความแข็งแรงเชิงกลที่มากที่สุดเป็น  $30 \pm 2$  KPa เมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดสอบพบว่าเทคนิค Salt leaching และ Gas foaming มีสมบัติการอัดตัวและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเกิดรูพรุนที่สัมพันธ์กับวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก รวมถึงความแข็งแรงเชิงกลที่สูง การเชื่อมต่อภายในรูพรุนที่ดีและขนาดรูพรุนมากกว่า 10 ไมครอนส่งผลให้สามารถใช้ประโยชน์ในกาประยุกต์ใช้วัสดุทางธรรมชาติ แต่ Scaffold จากวิธี Gas foaming จะมีสมบัติการอัดตัว การเกิดรูพรุน และการกระจายตัวของรูพรุนที่สม่ำเสมอว่า ที่สัมพันธ์กับวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก มีการเชื่อมต่อภายในเซลล์สูง และอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้า

S.B. Lee และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาการเตรียม Scaffold จากการผสมระหว่าง  $\beta$ -ไคติน กับคอลลาเจนโดยนำไคตินมาละลายในสารละลาย LiCl-DMAc จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ ที่อัตราส่วน 100, 300, 500 และ 700 g/g (NaCl /  $\beta$ -chitin ( ความเข้มข้นสารละลาย  $\beta$ -chitin 1% w/v)) แล้วนำมาขึ้นรูป Scaffold ที่ได้ก็นำมาละลายกับน้ำกลั่นเพื่อละลายเอาเกลือออก แล้วนำเจลไคตินไปแช่แข็งที่  $-75^{\circ}\text{C}$  เสร็จแล้วนำไป Freeze-drying ก็จะได้  $\beta$ -chitin Scaffold ต่อจากนั้นนำไปจุ่มในสารละลายคอลลาเจน ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 wt% แล้วนำกลับ ไปแช่แข็งอีกครั้งที่  $-75^{\circ}\text{C}$  ตามด้วย Freeze-drying คอลลาเจนจะเกิดภายในรูพรุนของไคติน Scaffold แล้วนำไปทำการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่าถ้าความเป็นรูพรุนและการเชื่อมต่อภายในเพิ่มขึ้นนั้น จะเกี่ยวข้องกับจำนวนเกลือที่เติมลงในสารละลายไคติน โดยที่อัตราส่วนของเกลือต่อสารละลายไคตินที่ 500 และ 700 g/g จะมีรูปร่างผิวที่เหมาะสมเนื่องจากความเป็นรูพรุนที่สูง ทำให้เซลล์ส่งผ่านเข้าไปได้ดีภายใน Scaffold

ฉะนั้นคือ ขนาดรูและความเป็นรูพรุนของไคติน Scaffold จะถูกปรับเปลี่ยนได้ โดยขนาดและอัตราน้ำหนักรของอนุภาคโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ ส่วนในเรื่องการสัมผัสเซลล์ จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นต่ำ (0.1 wt%) ของคอลลาเจนจะเกิดเป็นเส้นใยคล้ายตาข่าย ซึ่งจะเหมาะสมต่อการสัมผัสเส้นใยชั้นเริ่มต้น นั่นคือโครงสร้างที่คล้ายตาข่ายจะเกิดที่ว่างสำหรับเซลล์ เพื่อเคลื่อนที่อย่างอิสระภายในไคติน Scaffold และเส้นใยเนื้อเยื่อจะแพร่ได้ดีภายใน Scaffold ในทางตรงกันข้าม ถ้าความเข้มข้นคอลลาเจนสูงๆเป็นเหตุให้โครงสร้างยุบลง เพราะความหนืดของคอลลาเจนสูง ส่วนไคติน Scaffold ที่ไม่มีคอลลาเจนจะมีการสัมผัสเซลล์ที่น้อยมากเพราะมีการ Deacetylation ที่ต่ำและเซลล์ไม่ยอมรับ ส่วนในเรื่องสมบัติเชิงกล ในการใช้จำนวนเกลือมากๆ จะต้องการสำหรับความเป็นรูพรุนและการเชื่อมต่อภายในรูที่สูงนั้น จะส่งผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของ Scaffold จะทำให้ไม่แข็งแรง เพราะความหนาของผนัง Scaffold ลดลง เนื่องจากปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น

บุญชชา [26] ได้ทำการศึกษาผลการขึ้นรูป Scaffold จากไหมไทยดำนข้าง โดยใช้เกลือชนิดต่างๆ เป็นโปรเจกต์ โดยเกลือที่ใช้มีดังนี้

1. เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
2. เกลือแอมโมเนียม โมลิบเดต  $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24})$
3. เกลือแอมโมเนียมออกซาลेट  $((\text{NH}_4\text{OCO})_2)$
4. เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์  $(\text{NH}_4\text{Cl})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เกลือแอมโมเนียมฟลูออไรด์ ( $\text{NH}_4\text{F}$ )

6. เกลือแอมโมเนียมอะซิเตต ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ )

จากผลการขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) จะเห็นว่า Scaffold จากเกลือแอมโมเนียมฟลูออไรด์และแอมโมเนียมอะซิเตต ได้เนื้อเยื่อโครงสร้างรูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ แสดงว่าขนาดและรูปร่างของเกลือมีขนาดไม่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้าง ส่วนเกลือโซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมโมลิบเดต แอมโมเนียมออกซาลเตต และแอมโมเนียมคลอไรด์ สามารถขึ้นรูป Scaffold ได้ จึงนำ Scaffold ที่มีรูปร่างที่สมบูรณ์ ไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆของ Scaffold ด้วย SEM, สมบัติเชิงกล, การทดสอบการมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างและการทดสอบการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างผลจาก SEM พบว่า รูปร่างของรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากเกลือแต่ละชนิดมีรูปร่างรูพรุนตามรูปทรงของเกลือ เมื่อทำการทดสอบสมบัติการกักอัดและการหาค่า Modulus พบว่าเกลือที่มีรูปทรงกลม ซึ่งได้แก่ เกลือแอมโมเนียมโมลิบเดตและเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ จะให้ค่าทั้ง 2 ดีที่สุด รองลงมาคือ เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งแสดงว่า เกลือที่มีรูปทรงกลมจะสามารถรับน้ำหนักได้ดี จากการทดสอบการมีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้าง พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ ให้ความ มีรูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) มากที่สุดและการทดสอบการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างพบว่า เนื้อเยื่อโครงสร้างที่มีเกลือแอมโมเนียมโมลิบเดตเป็นโพรง จะให้ผลการดูดซึมน้ำดีที่สุด รองลงมาคือเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการใช้เกลือแอมโมเนียมโมลิบเดตเป็นโพรง จะให้สมบัติดีในการผลิตเป็นเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) แต่จากการค้นคว้าพบว่า เกลือแอมโมเนียมมีความเป็นพิษต่อร่างกาย ดังนั้นการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโพรง จะให้สมบัติดีในการผลิตเป็นเนื้อเยื่อโครงสร้าง (Scaffold) ที่สุดในการทดลอง

นุชานา และ รสสุคนธ์ [27] ได้ทำการศึกษาการเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน โดยใช้วิธี salt-leaching ซึ่งใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการทำให้เกิดรูพรุน และได้ทำการการเตรียมวัสดุประกอบรวมของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน โดยแช่ในสารละลายไฮดรอกซีเอปาทาइटที่ความเข้มข้นต่างๆ จากผลการทดลองจะพบว่า หลังการแช่ในสารละลายไฮดรอกซีเอปาทาइटที่ความเข้มข้นของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกาะติดของสารประกอบเกิดขึ้นบนเนื้อเยื่อโครงสร้างและเมื่อแช่ที่ความเข้มข้นมากขึ้นและเวลานานขึ้น จะพบว่าน้ำหนักก็เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ว่าการเกาะติดของสารประกอบมากขึ้น จากการแช่สารละลายไฮดรอกซีเอปาทาइटที่ความเข้มข้น 1% w/v เป็นเวลา 16 วัน วัสดุประกอบที่สังเคราะห์ได้มีความแข็งแรงกักอัดสูงและความสามารถในการดูดน้ำต่ำ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

##### สารเคมี

- รังไหมไทยดำนช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี
- รังไหมไทยนางน้อย จังหวัดขอนแก่น
- น้ำกลั่น
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )) ของบริษัท APS Finechem
- แคลเซียมคลอไรด์-2-ไฮเดรต (Calcium chloride 2-hydrate ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )) ของบริษัท Carlo
- 1,1,1,3,3,3-เฮกซะฟลูออโร-2-โพรพานอล (1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-propanol (HFIP)) ( $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6\text{O}$ ) ของบริษัท Fluka , Puriss >99.0% bp. 57-60 °C
- โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride ( $\text{NaCl}$ )) ของบริษัท Carlo
- น้ำตาลกลูโคสโมโนไฮเดรต (Glucose monohydrate ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \cdot \text{H}_2\text{O}$ )) ของบริษัท Seelze-Hannover
- น้ำตาลซูโครส ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) ของบริษัท Ajax Finechem
- เมทานอล (Methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )) ของบริษัท Fisher Scientific UK Limited
- เอทานอล (Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )) ของบริษัท Marck
- โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate ( $\text{NaHCO}_3$ )) บริษัท Carlo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อุปกรณ์

- บีกเกอร์
- กระจกตวง
- แท่งแก้วคน
- ปากคีบ
- งานเพาะเชื้อ
- ขวดพอลิพอฟิลีน
- แผ่นอะลูมิเนียมฟลอยด์
- กระจกกรองเบอร์ 1
- กระจกน้ำกลั่น
- ซ้อนดักสาร
- กรรไกร
- ถาดอะลูมิเนียม
- หลอดทดลอง
- พาราฟิน
- กระจกวัด pH
- ตะแกรงวัดการบวมตัว
- Regenerated cellulose SnakeSkin<sup>TM</sup> Pleated Dialysis Tubing ของบริษัท Pierce MWCO 3,500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 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
- ฟูเรียนทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform spectroscopy, FTIR): รุ่น FTIR Spectrum GX Perkin Elmer
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM): LEO รุ่น 1455VP
- กล้องจุลทรรศน์และไมโครสโคป : รุ่น Optiphot-pol Nikon

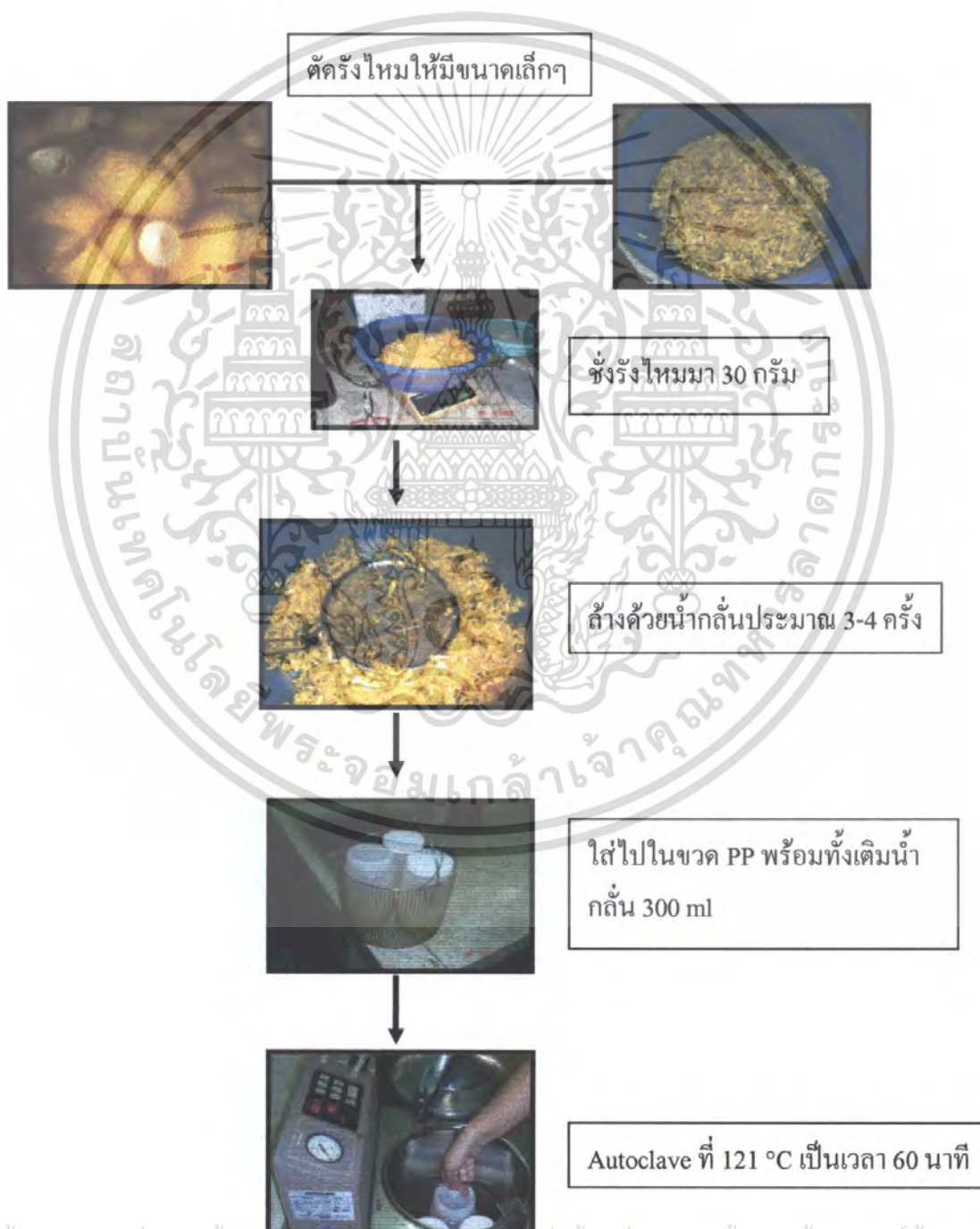
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วิธีการทดลอง

#### ขั้นตอนที่ 1 การแยกเชริจีนออกจากเส้นไหม

โดยการต้มเส้นไหมด้วยน้ำร้อน โดยใช้เครื่อง Autoclave ที่ 121 °C เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำเส้นไหมที่ได้ไปต้มต่อ โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

กระบวนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอินด้วยเครื่อง Autoclave



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนที่ 2 การละลายเส้นไหมไฟโบรอิน

โดยการตัดเส้นไหมที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 จากนั้นชั่งเส้นไหมจำนวน 10 กรัม แล้วนำเส้นไหมไปต้มในสารละลาย  $\text{CaCl}_2$  จนเส้นไหมละลายจนหมด แล้วจึงนำสารละลายไหมไปทำการ Dialysis

กระบวนการ Dialysis โดยนำเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านขั้นตอนต่างๆ มาทำการ Dialysis



ชั่งไหมไฟโบรอินมา 10 กรัม ละลายด้วยสารละลาย  $\text{CaCl}_2$  ( $\text{CaCl}_2$  73 g, Ethanol 47 ml, Deionized water 54 ml) 100 ml ที่อุณหภูมิประมาณ  $80-90^\circ\text{C}$  พร้อมกับกวนตลอดเวลา



ทำ Dialysis โดยนำสารละลายไหมไฟโบรอิน เทใส่ถุง Regenerated cellulose แล้วนำไปลอยในน้ำกลั่น พร้อมกับกวนตลอดเวลา 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนที่ 3 การทำผงไหมไฟโบรอิน

นำสารละลายไหมไฟโบรอินที่ผ่านการทำDialysis 3 วัน มาเทใส่ในงานเพาะเชื้อ จากนั้นนำไปแช่แข็ง แล้วจึงเข้าเครื่อง Freeze – dryer จะได้ผงไหมไฟโบรอินสีเหลืองอ่อน

### ขั้นตอนที่ 4 การเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน ( Scaffold )

1. ชั่งผงไหมไฟโบรอิน ดังตารางที่ 3.1 และละลายด้วย HFIP 3 ml ปิดฝาให้แน่นด้วยแผ่น

พาราฟิน รองจนไหมละลายเป็นเนื้อเดียวกันจนหมด

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณผงไหมไฟโบรอินและHFIP

สูตร	ผงไหมไฟโบรอิน (กรัม)	1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-propanol (HFIP) (ml)
1	0.1	3
2	0.2	3
3	0.3	3
4	0.4	3

- เติมเกลือซึ่งจะใช้เป็นตัวที่ทำให้เกิดรูพรุน โดยในการทดลองนี้จะใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยใช้ปริมาณเกลือมากเกินไป เติมลงไปกระจายให้ทั่วปิดฝาภาชนะให้แน่นรองจนผงไหมละลายหมด แล้วจึงเปิดฝาแล้วรอให้HFIP ระเหยไป
- นำก้อนไฟโบรอินที่ได้แช่น้ำเพื่อละลายเกลือจนหมดแล้วผึ่งให้แห้งจะได้เนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินซึ่งมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ มีรูปร่างทรงกระบอก

#### หมายเหตุ

- เส้นไหมไฟโบรอินจากไหมไทยนางน้อยทำเช่นเดียวกันกับเส้นไหมไฟโบรอินจากไหมไทยด่านช้าง
- เมื่อทราบความเข้มข้นของสารละลายไหมที่ให้สมบัติของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินดีที่สุด จากนั้นจึงเปลี่ยนชนิด โพรเจนจากเกลือ โซเดียมคลอไรด์มาเป็นน้ำตาลกลูโคส โมโนไฮเดรตและน้ำตาลซูโครส

### 3.3 สมบัติทางกายภาพ

#### 3.3.1 ทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของ Scaffold

- 3.3.1.1 นำตัวอย่างที่เตรียมได้ ให้มีขนาดเท่าๆกัน และตัดตะแกรงลวดแล้วพับให้เป็นถุงที่สามารถใส่ Scaffold ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.3.1.2 ชั่งน้ำหนักของถุงตะแกรงลวดเปล่า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกผล  
นำถุงตะแกรงลวดที่มี Scaffold อยู่ในน้ำกลั่นที่สภาวะควบคุมเป็นเวลา 0 1 2 3 4  
5 6 และ 24 ชม. ตามลำดับ
- 3.3.1.3 เมื่อครบกำหนดในแต่ละชั่วโมง นำถุงขึ้นมาซับให้แห้งและนำไปชั่งน้ำหนัก  
(ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกผล
- 3.3.1.4 นำผลการทดลองที่ได้ในแต่ละชั่วโมง มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ  
(%Water absorption)

โดย น้ำหนัก scaffold = น้ำหนักถุงที่มี scaffold บรรจุ - น้ำหนักถุงเปล่า

$$\% \text{ Water absorption} = \frac{\text{น้ำหนัก scaffold ที่ดูดซึมน้ำ} - \text{น้ำหนัก scaffold แห้ง}}{\text{น้ำหนัก scaffold แห้ง}} \times 100$$

### 3.3.2 การหาความหนาแน่นของ scaffold

#### 3.3.2.1 ชั่งน้ำหนักของ Scaffold

#### 3.3.2.2 วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาของ Scaffold จากนั้นนำมาคำนวณหาความ หนาแน่น จากสูตร ความหนาแน่น = มวล/ปริมาตร

### 3.4 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของเส้นไหมไฟโบรอินของไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อยที่ ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ โดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

### 3.5 สมบัติทางความร้อนใช้หลักการวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermalgravimetric Analysis : TGA)

#### 3.5.1 ชั่งชิ้นงานตัวอย่างจากการเตรียม ลงบน Pt Plate ประมาณ 5 mg (1mg = 20 mV)

ตั้งสภาวะของเครื่องดังนี้

Initial temperature	50°C
Maximum temperature	700°C
Isothermal	1
Heating rate	10°C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 ทำการทดสอบหาอุณหภูมิการสลายตัวของชิ้นงานตัวอย่าง

### 3.6 การทดสอบความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) ของ Scaffold ด้วยเครื่องทดสอบ เอนกประสงค์ (Universal testing machine)

- 3.6.1 นำ Scaffold ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. และความหนา 0.6 ซม.
- 3.6.2 ตั้งค่าของเครื่องทดสอบใช้ Load cell 100 N และตั้งสภาวะของเครื่อง โดยใช้  
อัตราเร็วในการดึง (Crosshead Speed ) 1 mm/min และกำหนดช่วงในการหาค่า  
ความแข็งแรงกดอัด (Compressive Modulus) ที่ช่วงความเครียดระหว่าง (Strain) 0.5%  
และ 1%
- 3.6.3 ทำการทดสอบและบันทึกผล

### 3.7 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด

ศึกษาลักษณะพื้นผิวและรูพรุนของ Scaffold ที่บริเวณด้านหน้าและด้านข้าง โดยใช้กล้อง  
จุลทรรศน์แบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ ก่อนนำ  
Scaffold ไปทำการวิเคราะห์จะต้องนำ Scaffold ไปทำการเคลือบด้วยทอง เพื่อป้องกันการเกิดประจุ  
สะสมบนผิว Scaffold

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ตอนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณไหมที่มีต่อสมบัติต่างๆของเนื้อเยื่อโครงสร้าง โดยใช้เกลือ โซเดียมคลอไรด์เป็นโปรเจน

ศึกษาการเตรียมเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โดยเตรียมจากปริมาณไหม 0.1-0.5 กรัม ละลายใน HFIP 3 ml พบว่า สารละลายไหมที่เตรียมมาจากปริมาณไหม 0.5 กรัมต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 ml มีความหนืดมาก ดังนั้นจึงทำการศึกษาเฉพาะเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมมาจากปริมาณไหม 0.1-0.4 กรัมต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 ml

4.1.1 การขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้างของไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อยที่มีปริมาณไหมต่างกัน โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรเจน

การขึ้นรูปเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายไหมที่ต่างกันจะมีผลกับรูปร่างของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง ถ้าความเข้มข้นของสารละลายไหมน้อย จะทำให้เนื้อเยื่อ โครงสร้างมีรูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าความเข้มข้นของสารละลายไหมมากเกินไปจะมีผลต่อการแทรกตัวของโปรเจนในสารละลายไหม จึงทำให้เนื้อเยื่อ โครงสร้างมีรูปร่างที่ไม่สมบูรณ์เช่นกัน ส่วนการขึ้นรูปเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โดยใช้ชนิดของไหมที่ต่างกันจะมีผลกับการขึ้นรูปของเนื้อเยื่อ โครงสร้างเช่นกัน โดยพบว่า ที่ความเข้มข้นเท่ากัน ไหมไทยด้านข้างจะมีความหนืดมากกว่าไหมไทยนางน้อย จึงมีผลต่อการแทรกตัวของโปรเจนในสารละลายไหม โดยทำให้ใช้เวลานานในการขึ้นรูปเนื้อเยื่อ โครงสร้าง

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไหมต่างกัน โดยใช้เกลือ โซเดียมคลอไรด์เป็นโปรเจน

น้ำหนักของไหม(กรัม)ต่อปริมาณสารละลายHFIP 3 มิลลิลิตร	ความสามารถในการขึ้นรูป Scaffold ที่จะนำไปทดสอบ	Scaffold ของไหมไทยด้านข้าง	Scaffold ของไหมไทยนางน้อย
1. 0.1	×		
2. 0.2	×		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของไหม(กรัม)ต่อปริมาณสารละลายHFIP 3 มิลลิลิตร	ความสามารถในการขึ้นรูป Scaffold ที่จะนำไปทดสอบ	Scaffold ของไหมไทยค่านช้าง	Scaffold ของไหมไทยนางน้อย
3. 0.3	√		
4. 0.4	√		

หมายเหตุ √ ขึ้นงานสมบูรณ์ นำออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย

× ขึ้นงานไม่สมบูรณ์ นำออกจากแม่พิมพ์ยาก แดกหักง่าย

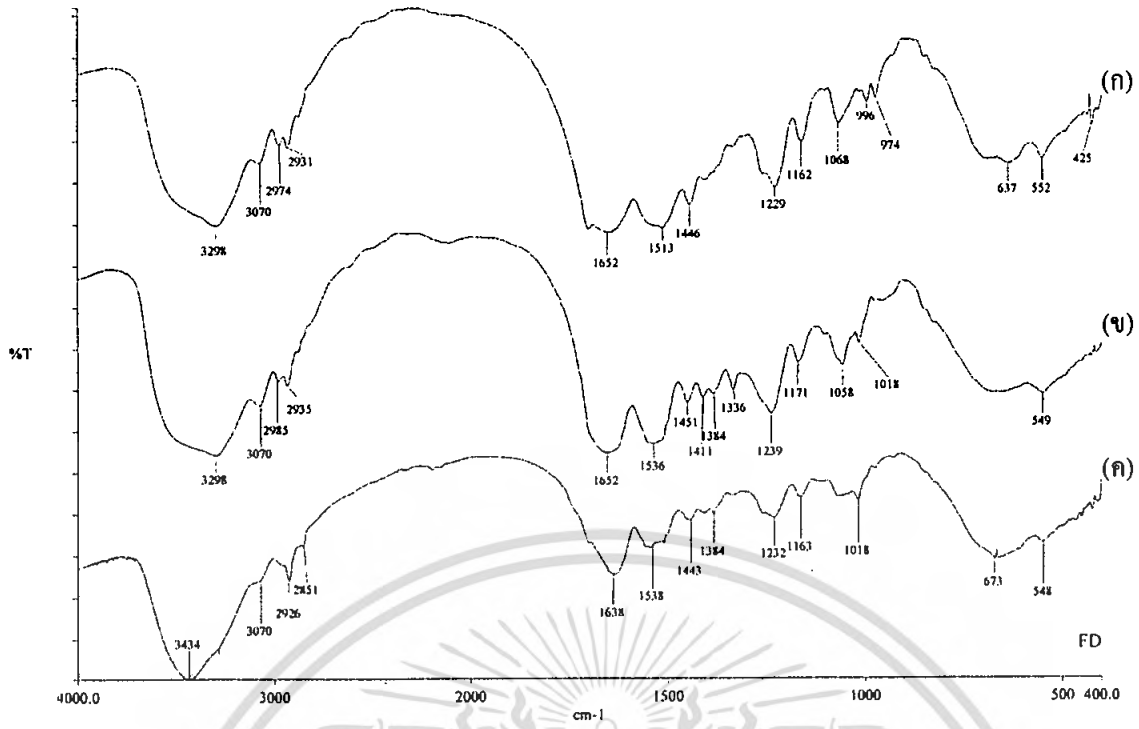
จากผลการขึ้นรูปเนื้อเยื่อ โครงสร้างแสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า เนื้อเยื่อ โครงสร้างที่มีปริมาณของไหม 0.3 และ 0.4 กรัมต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร ได้โครงสร้างที่สมบูรณ์จึงทำการทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไปได้

**4.1.2 ผลการตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของเส้นไหมไฟโบรอินของไหมไทยค่านช้างและไหมไทยนางน้อยที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)**

ตารางที่ 4.2 สรุปเลขคลื่นที่สัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชันของไหมที่ปรากฏในรูปที่ 4.1 และ 4.2

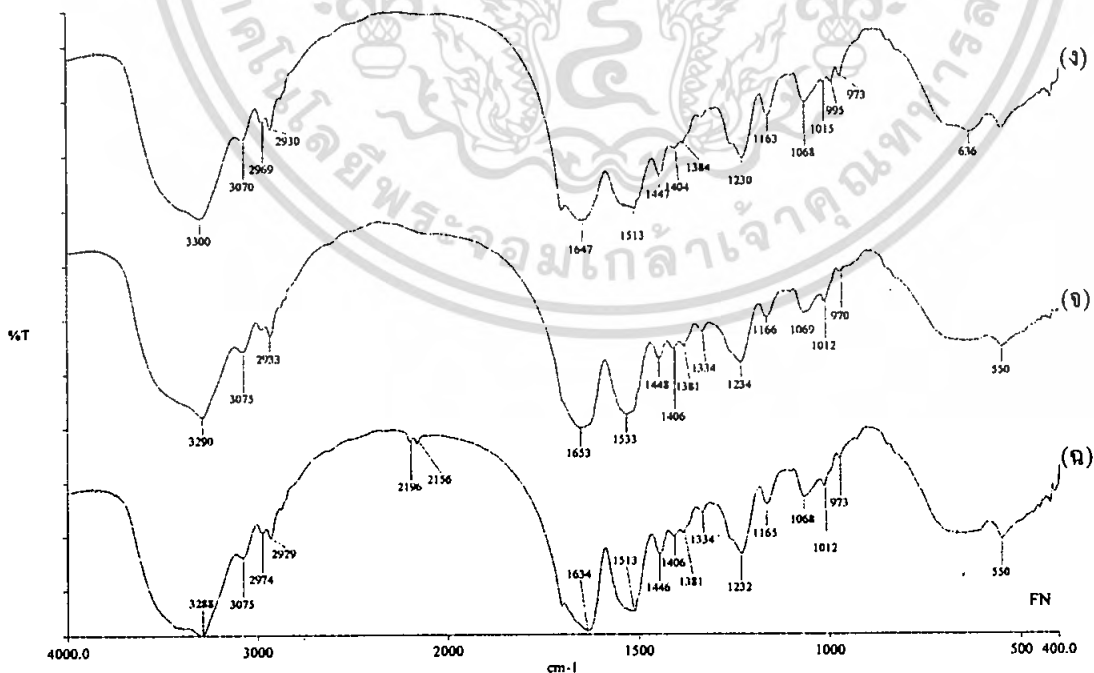
เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	ช่วงการดูดกลืนของ
3200-3600 $\text{cm}^{-1}$	O-H Stretching
3300-3400 $\text{cm}^{-1}$	N-H Stretching
2800-3000 $\text{cm}^{-1}$	C-H Aliphatic Stretching
1600-1700 $\text{cm}^{-1}$	C=O Stretching
1680-1650 $\text{cm}^{-1}$	C=O Stretching (Amide I)
1509-1514 $\text{cm}^{-1}$	C=O Stretching (Amide II)
1020-1250 $\text{cm}^{-1}$	C-N Stretching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของไหมไฟโพรอินของไหมไทยด้านข้างที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ

- (ก) เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาแล้ว
- (ข) ผงไหมไฟโพรอินที่ได้จากการทำให้สารละลายแห้งแบบเย็น
- (ค) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของไหมไฟโพรอินของไหมไทยนางน้อยที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (ง) เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาแล้ว
- (จ) ผงไหมไฟโบรอินที่ได้จากการทำให้สารละลายแห้งแบบเย็น
- (ฉ) เนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์

จากรูป 4.1 และ 4.2 พบว่า ตำแหน่งของพีคที่แสดงหมู่ฟังก์ชันของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาแล้ว ผงไหมไฟโบรอินและเนื้อเยื่อโครงสร้างของไหมทั้งสองชนิดอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนการเตรียมจากเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาแล้วเป็นผงไหมจนกระทั่งเป็นเนื้อเยื่อโครงสร้าง ไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างไหมไฟโบรอินซึ่งยังคงเป็นสารประกอบประเภทโปรตีนมีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบหลัก

#### 4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอินและเนื้อเยื่อ

##### โครงสร้าง โดยใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric Analysis : TGA)

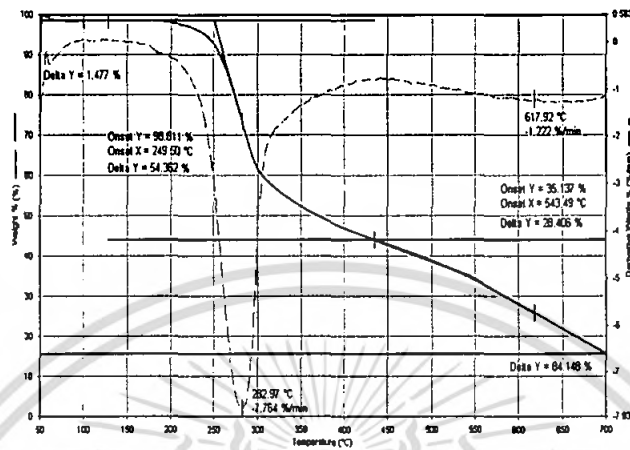
การวิเคราะห์ทางความร้อนของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอินและเนื้อเยื่อโครงสร้าง โดยใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric Analysis: TGA) อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที ภายใต้สภาวะในโครเจน อุณหภูมิ 50-700 °C ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนโดยพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอินและเนื้อเยื่อโครงสร้าง ผลการตรวจวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิของการสลายตัวของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอินและเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน

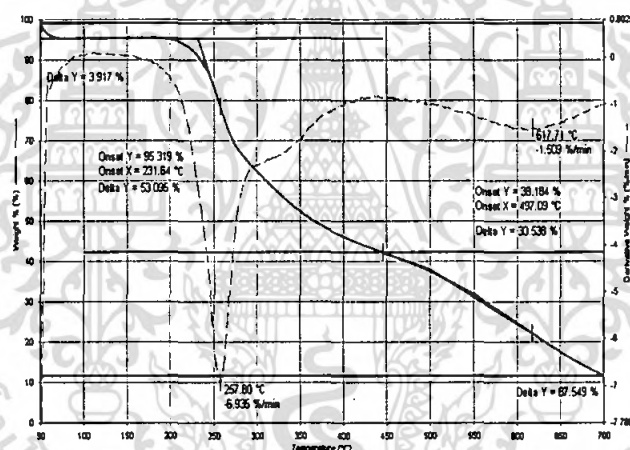
	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)	
	ไหมไทยด้านข้าง	ไหมไทยนางน้อย
เส้นไหมไฟโบรอิน	282 , 617	284 , 581
ผงไหมไฟโบรอิน	257 , 340	255, 340
เนื้อเยื่อโครงสร้าง โปรตีนไฟโบรอิน	259 , 350	256 , 350

จากตารางที่ 4.3 การเตรียมผงไหมไฟโบรอินจากเส้นไหมไฟโบรอิน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นผงละเอียด สีขาวเหลือง และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างด้วยการละลายใน HFIP และใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการทำให้เกิดรูพรุน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งสีขาวเหลือง แล้วจึงนำเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอินและเนื้อเยื่อโครงสร้าง มาตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของผงไหมไฟโบรอินและเนื้อเยื่อโครงสร้างของไหมแต่ละชนิด มีค่าใกล้เคียงกันมากและมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นไหมไฟโบรอิน เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมเส้นไหมไฟโบรอินไปเป็นผงไหมไฟโบรอินได้มีการให้ความร้อนเพื่อให้เส้นไหมละลาย ซึ่งเป็นการเอ ทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่ไฟโบรอิน เมื่อทำให้ไหมเย็นตัว โซ่โปรตีนไฟโบรอินบางส่วนไม่อาจรวมกันได้อีก ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

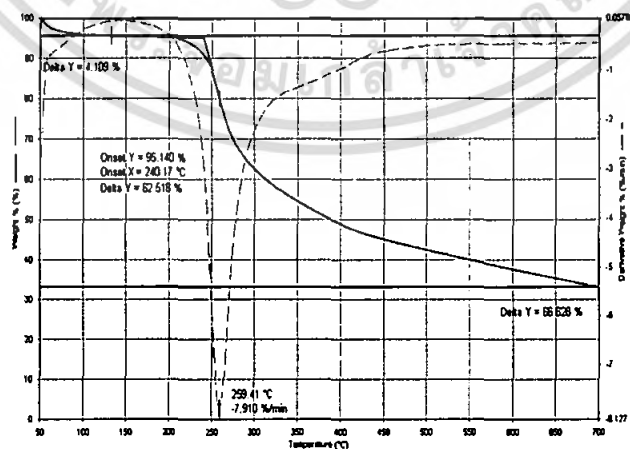
พยายามจัดตัวเองให้เป็นผลึกแยกออกมาจากโซ่ไฟโบรอินส่วนใหญ่ ดังนั้น TGA ในรูป 4.3(ข) จะแสดงอุณหภูมิการสลายตัว 2 แห่ง เมื่อนำผงไหมจากการทำแห้งแบบเย็นมาละลายใน HFIP แล้วระเหยตัวทำละลายออก โซ่โปรตีนไฟโบรอินจัดตัวเป็นผลึกอีกครั้ง TGA ในรูป 4.3(ค) จึงมีอุณหภูมิสลายตัว 2 แห่ง



(ก)



(ข)

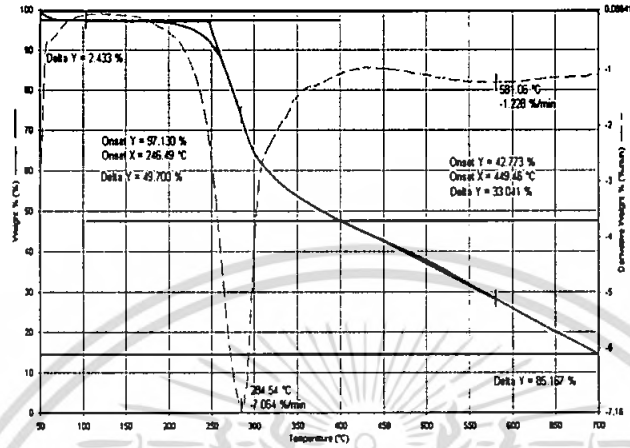


(ค)

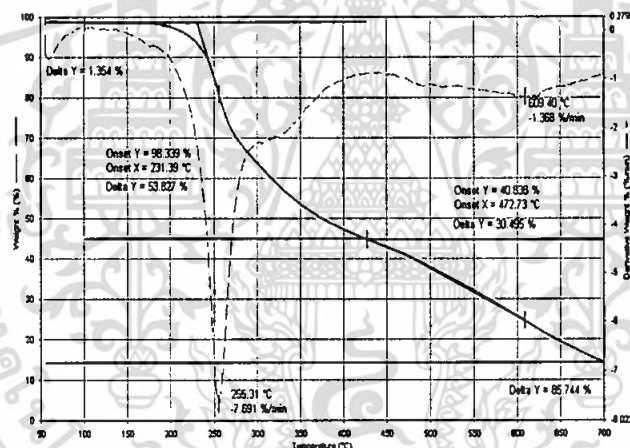
รูปที่ 4.3 TGA เทอร์โมแกรมของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอิน และเนื้อเยื่อ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยดำนข้าง

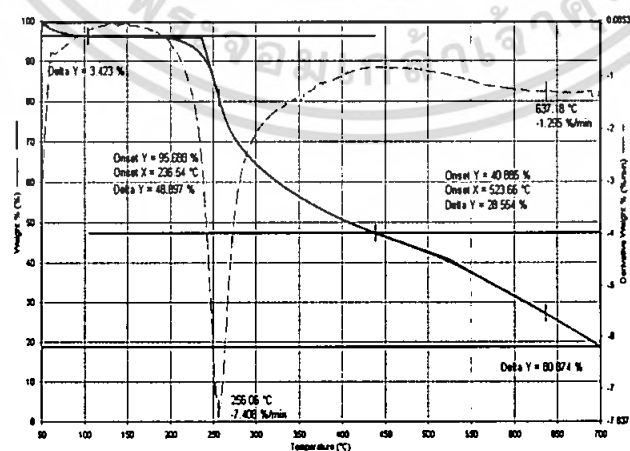
- (ก) เส้นไหมไฟโบรอินของไหมไทยดำนข้าง
- (ข) ผงไหมไฟโบรอินของไหมไทยดำนข้าง
- (ค) เนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยดำนข้าง



(ก)



(ข)



(ค)

### รูปที่ 4.4 TGA เทอร์โมแกรมของเส้นไหมไฟโบรอิน ผงไหมไฟโบรอิน และเนื้อเยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการวิจัยและพัฒนา เมื่อผู้ผู้เห็นเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย

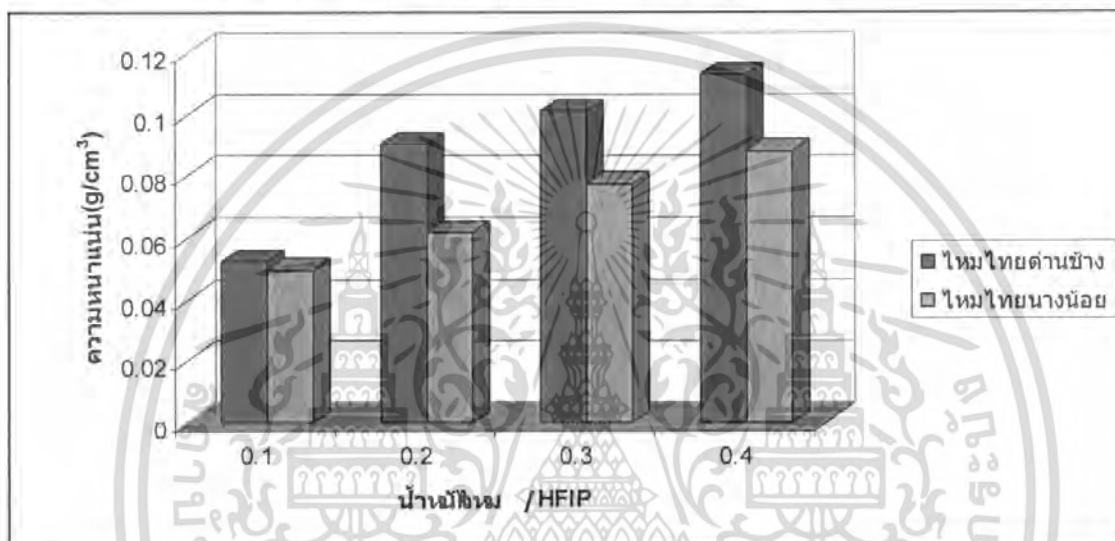
(ง) เส้นไหมไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย

(จ) ผงไหมไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย

(ฉ) เนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย

#### 4.1.4 ผลการคำนวณหาความหนาแน่นของเนื้อเยื่อโครงสร้าง

การคำนวณความหนาแน่นของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน (Scaffold) ที่เตรียมจากไหมทั้งสองชนิดที่น้ำหนักไหม 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการทำให้เกิดรูพรุน ให้ผลทดสอบดังรูปที่ 4.5



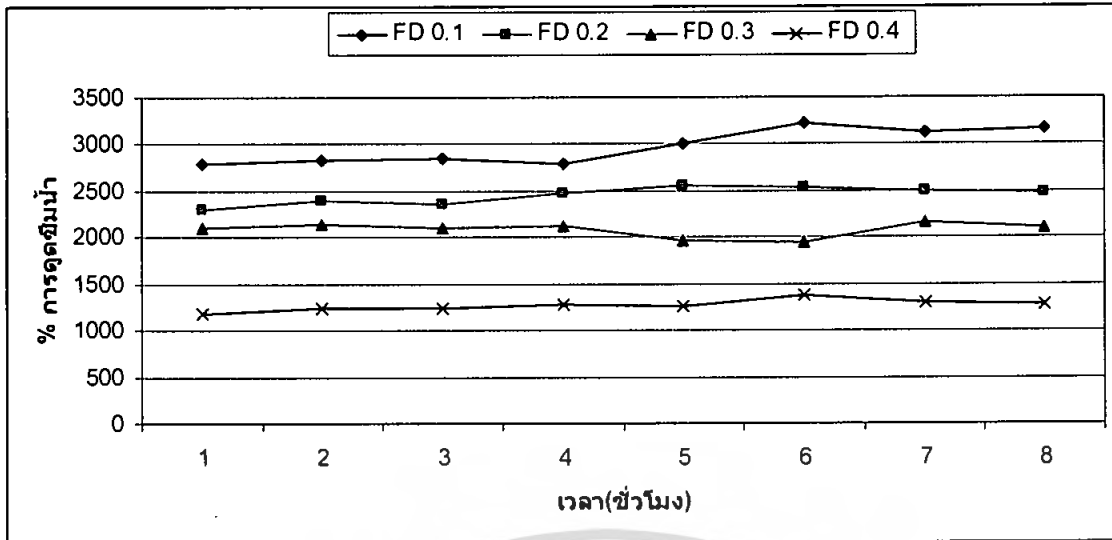
รูปที่ 4.5 กราฟความหนาแน่นของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อย

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน (Scaffold) ที่เตรียมจากน้ำหนักไหม 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร ให้ความหนาแน่นสูงสุด และที่น้ำหนักไหม 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร ให้ความหนาแน่นต่ำสุด แสดงว่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงไหมที่เพิ่มขึ้น ส่วนเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน (Scaffold) ที่เตรียมจากจากไหมไทยด้านข้างจะให้ความหนาแน่นสูงกว่า เมื่อเทียบกับที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย แสดงว่ามวลโมเลกุลของไหมไทยด้านข้างหนักกว่ามวลโมเลกุลของไหมไทยนางน้อย

#### 4.1.5 การศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน

นำเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน มาแช่น้ำตามเวลาที่กำหนด จากนั้นคำนวณหาสมบัติการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมทุกประเภท ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



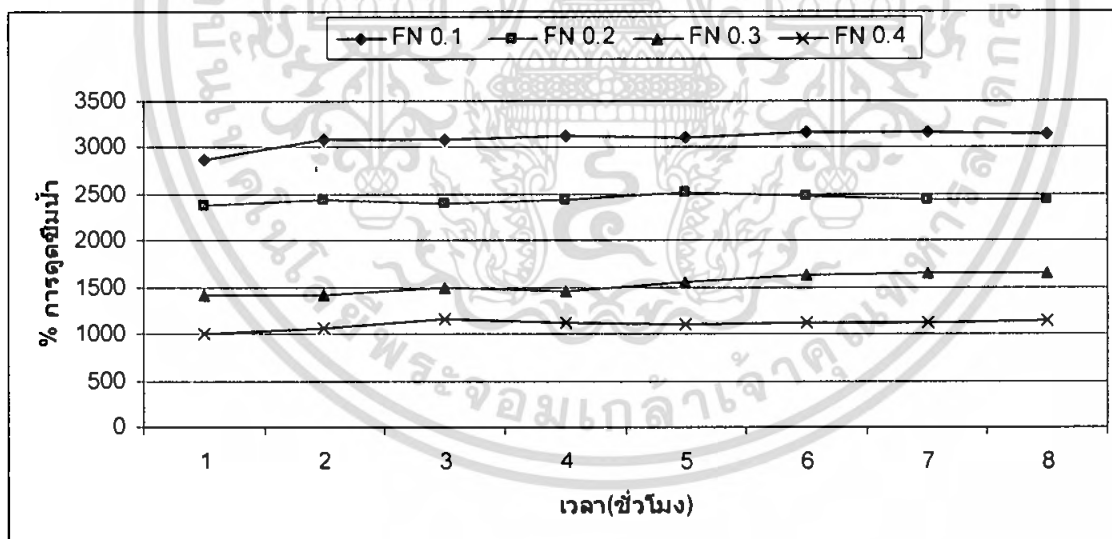
รูปที่ 4.6 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการทำให้เกิดรูพรุน โดย

FD 0.1 แทนเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้าง 0.1 กรัม/HFIP 3 มิลลิลิตร

FD 0.2 แทนเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้าง 0.2 กรัม/HFIP 3 มิลลิลิตร

FD 0.3 แทนเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้าง 0.3 กรัม/HFIP 3 มิลลิลิตร

FD 0.4 แทนเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้าง 0.4 กรัม/HFIP 3 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.7 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อยโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการทำให้เกิดรูพรุน โดย

FN 0.1 แทนเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย 0.1 กรัม/HFIP 3 มิลลิลิตร

FN 0.2 แทนเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย 0.2 กรัม/HFIP 3 มิลลิลิตร

FN 0.3 แทนเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย 0.3 กรัม/HFIP 3 มิลลิลิตร

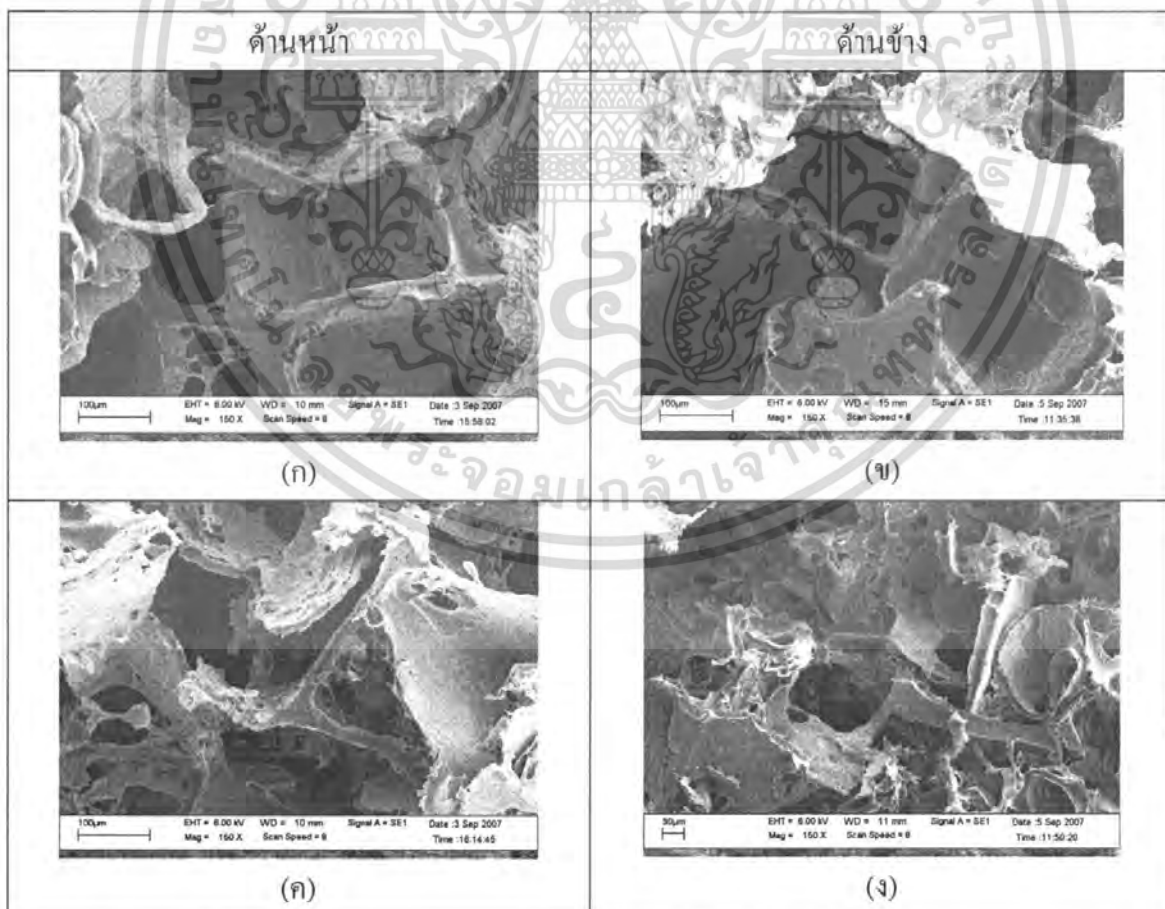
FN 0.4 แทนเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย 0.4 กรัม/HFIP 3 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

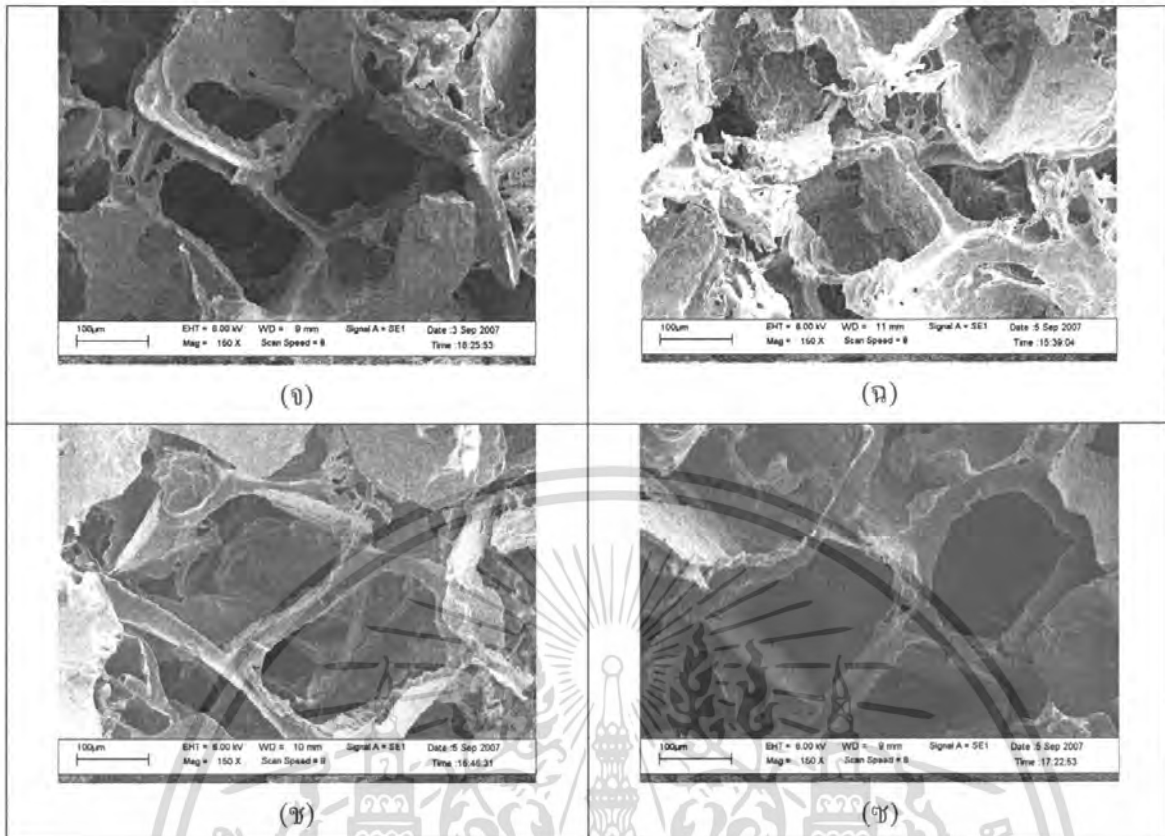
ผลการทดลองการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทย ด้านข้างที่ 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการทำให้เกิดรูพรุนจะดูดซึมน้ำได้สูงสุด และที่ 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร จะดูดซึมน้ำได้ต่ำสุด ซึ่งพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไหมเพิ่มขึ้นเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมได้จะดูดซึมน้ำได้ลดลง เนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย ให้ผลในการทำงานเดียวกันเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของไหมเพิ่มขึ้น ทำให้ผนังรูพรุนหนาขึ้น การดูดซึมน้ำจึงลดลง และการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อยที่ความเข้มข้นเดียวกัน เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซีและคาร์บอกซิลิกมากกว่า

#### 4.1.6 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อ โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด

ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อยโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้เกิดรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 150 เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.8** ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคที่พื้นผิวด้านหน้าและด้านข้างของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยค่าน้ำช้ำโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น โพรเจน ที่กำลังขยบ 150 เท่า

(ก) น้ำหนักไหมไทยค่าน้ำช้ำ 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)

(ข) น้ำหนักไหมไทยค่าน้ำช้ำ 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)

(ค) น้ำหนักไหมไทยค่าน้ำช้ำ 0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)

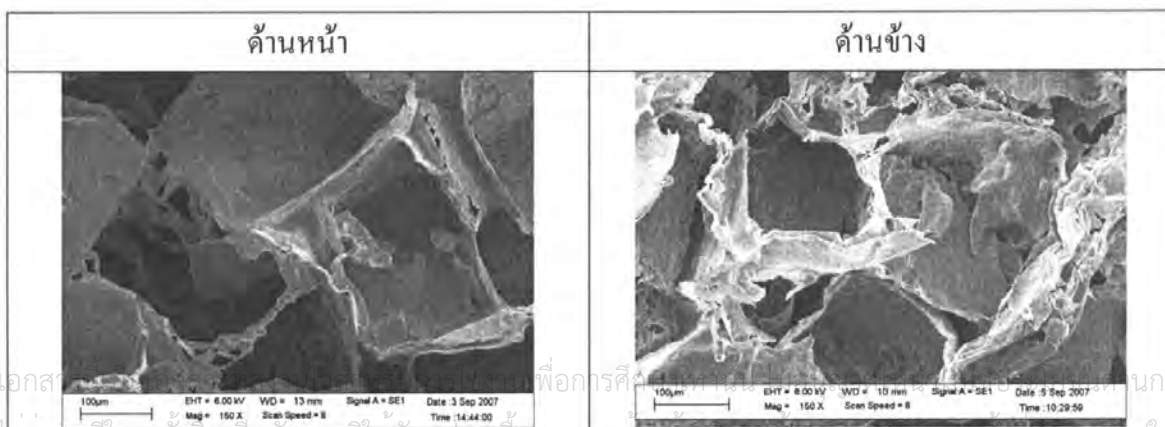
(ง) น้ำหนักไหมไทยค่าน้ำช้ำ 0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)

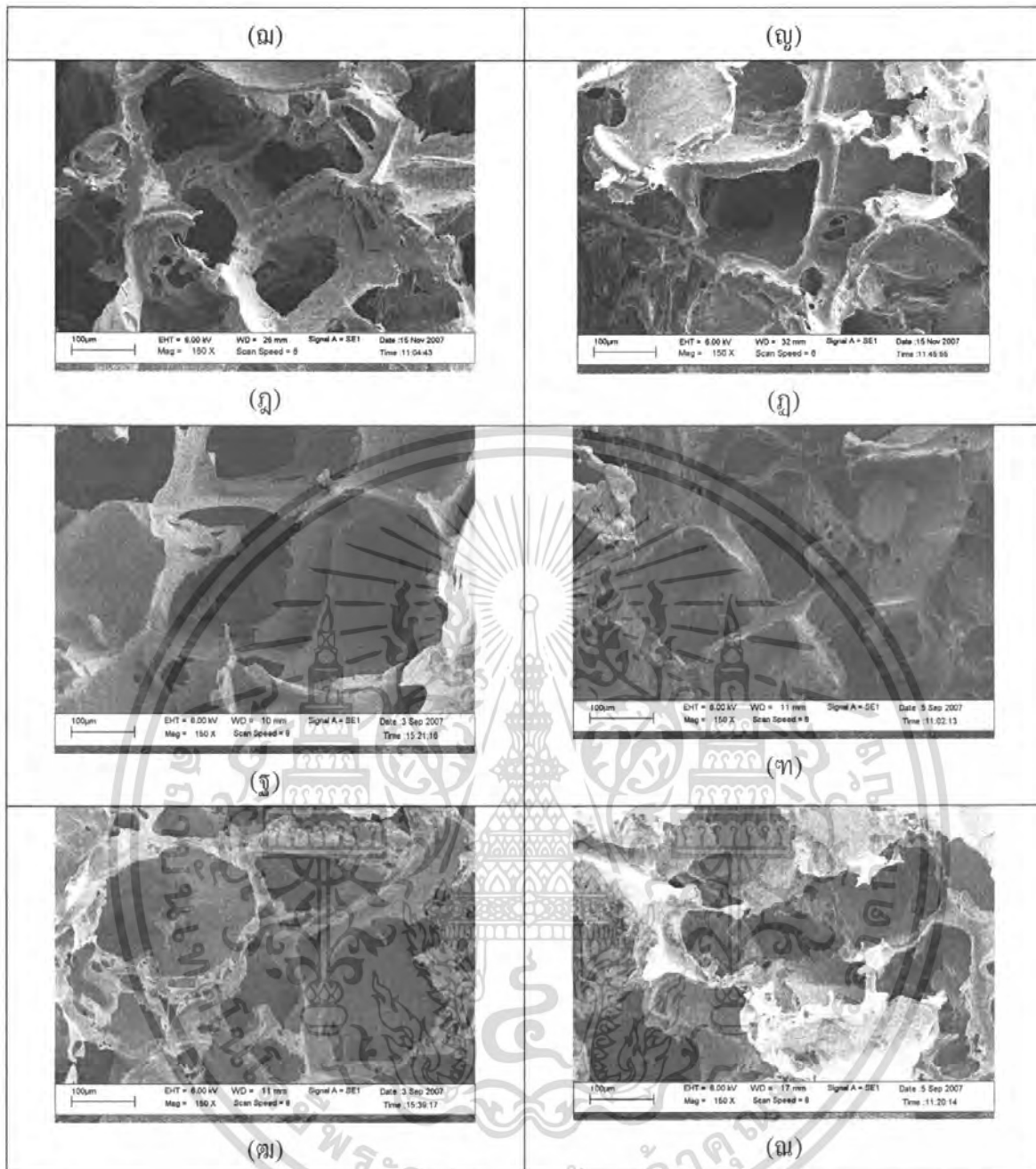
(จ) น้ำหนักไหมไทยค่าน้ำช้ำ 0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)

(ฉ) น้ำหนักไหมไทยค่าน้ำช้ำ 0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)

(ช) น้ำหนักไหมไทยค่าน้ำช้ำ 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)

(ฅ) น้ำหนักไหมไทยค่าน้ำช้ำ 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)





รูปที่ 4.9 ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคที่พื้นผิวด้านหน้าและด้านข้างของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียม

- จากไหมไทยนางน้อยโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรเจกชัน ที่กำลังขยาย 150 เท่า
- (ฉ) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
  - (ญ) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
  - (ฎ) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
  - (ฏ) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
  - (จ) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
  - (ฉ) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
  - (ฉฉ) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
  - (ฉฉฉ) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)

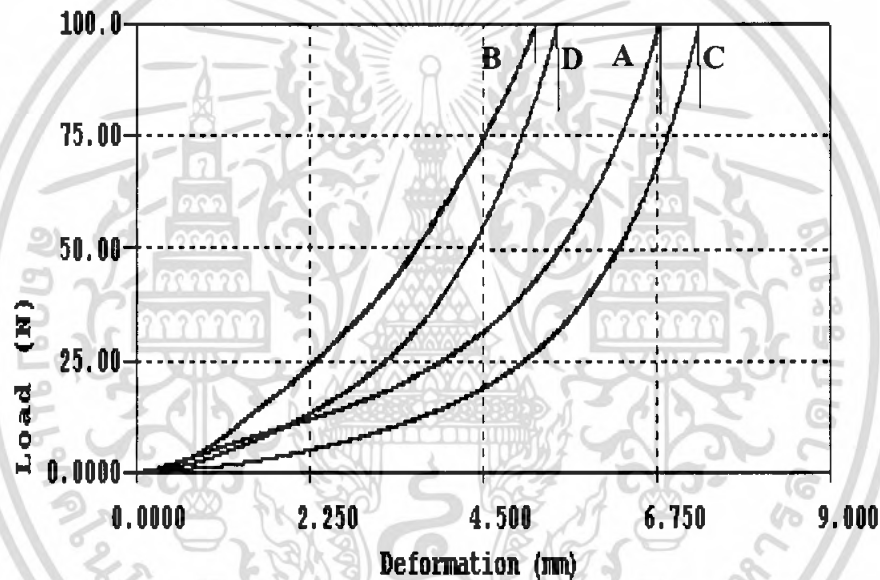
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่พิมพ์และจัดจำหน่ายโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพและการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่ารูปร่างของรูปทรงของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้มีรูปร่างที่เหลี่ยมและขนาดรูปทรงตามรูปทรงของผลึกเกลือ โซเดียมคลอไรด์ รูปทรงของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่ได้เป็นรูปเปิดและมีความต่อเนื่อง และที่น้ำหนักใหม่ 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร ผนังรูปทรงจะหนา กว่าที่น้ำหนักใหม่ 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร จึงทำให้ขนาดรูปทรงเล็กลง ส่งผลให้การดูดซึมน้ำได้ลดลง

#### 4.1.7 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดอัด ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์

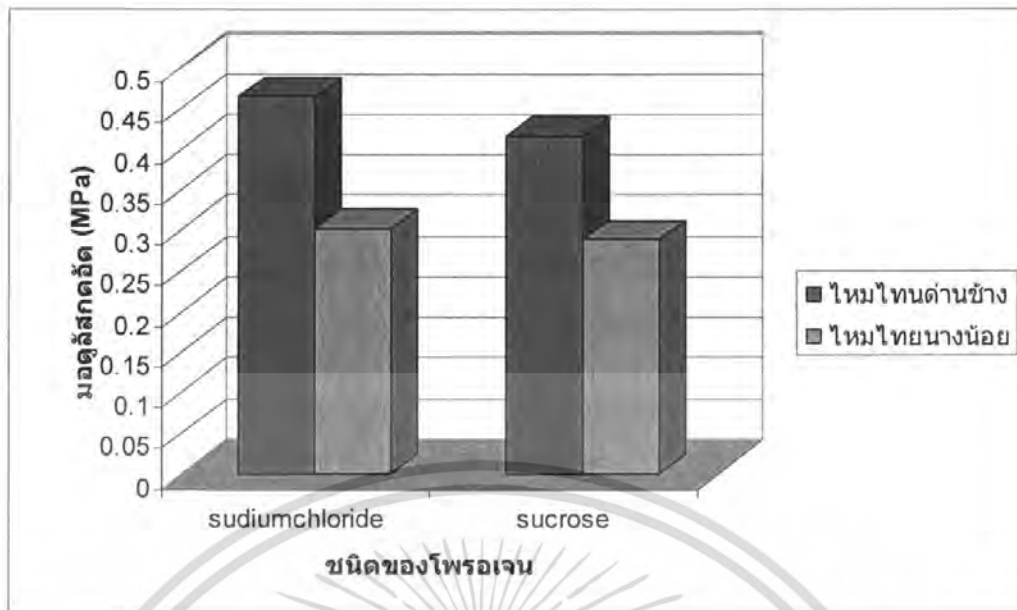
(Universal testing machine) ASTM F451-95

เมื่อนำวัสดุประกอบเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยด้านข้างและไหมไทย นางน้อยที่ความเข้มข้นต่างกัน มาทดสอบสมบัติเชิงกล โดยวัดความสามารถในการรับแรงกดอัด ได้ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสามารถในการรับแรงกดอัดของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน

- โดย A แทนน้ำหนักของไหมไทยด้านข้าง 0.3 กรัมต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร  
 B แทนน้ำหนักของไหมไทยด้านข้าง 0.4 กรัมต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร  
 C แทนน้ำหนักของไหมไทยนางน้อย 0.3 กรัมต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร  
 D แทนน้ำหนักของไหมไทยนางน้อย 0.4 กรัมต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.11 กราฟแท่งแสดงความสามารถในการรับแรงกดอัดของเนื้อเยื่อโครงสร้าง โปรตีนไฟโบรอิน

จากกราฟพบว่า เนื้อเยื่อ โครงสร้าง โปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อยที่มีน้ำหนักของไหม 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร มีความชันของเส้นกราฟมากที่สุด แสดงว่า มีความสามารถในการรับแรงกดอัดมากที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่า การมีปริมาณไหมมากขึ้น จะทำให้เนื้อเยื่อ โครงสร้างที่ได้มีความสามารถในการรับแรงกดอัดมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไหมไทยด้านข้างกับไหมไทยนางน้อยที่ความเข้มข้นเท่ากัน พบว่า เนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างมีความสามารถในการรับแรงกดอัดมากกว่าเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย

ตอนที่ 2 ศึกษาสมบัติต่างๆของเนื้อเยื่อโครงสร้าง โดยใช้น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลกลูโคสโมโนไฮ

เดรตเป็นโปรเจนแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์

4.2.1 การขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้างของไหมไทยค่าน้างและไหมไทยนางน้อยที่มีความเข้มข้น

เท่ากัน โดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆเป็นโปรเจน

การขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้างจากน้ำตาลชนิดต่างๆ นั้น ขนาดและรูปร่างของน้ำตาลจะมีผลสัมพันธ์กับรูพรุนและรูปร่างของเนื้อเยื่อโครงสร้าง ถ้าน้ำตาลมีขนาดไม่เหมาะสม จะทำให้ได้เนื้อเยื่อโครงสร้างมีรูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ และทำให้ออกจากแม่พิมพ์ยาก

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของเนื้อเยื่อโครงสร้าง ของไหมไทยโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆเป็นโปรเจน

ชนิดของโปรเจน	ความสามารถในการขึ้นรูป Scaffold ที่จะนำไปทดสอบ	รูปของ Scaffold จากโปรเจนแต่ละชนิด	
		ไหมไทยค่าน้าง	ไหมไทยนางน้อย
เกลือ โซเดียมคลอไรด์	✓		
น้ำตาลซูโครส	✓		
น้ำตาล โมโนกลูโคส	✗		

หมายเหตุ ✓ ขึ้นงานสมบูรณ์ นำออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย

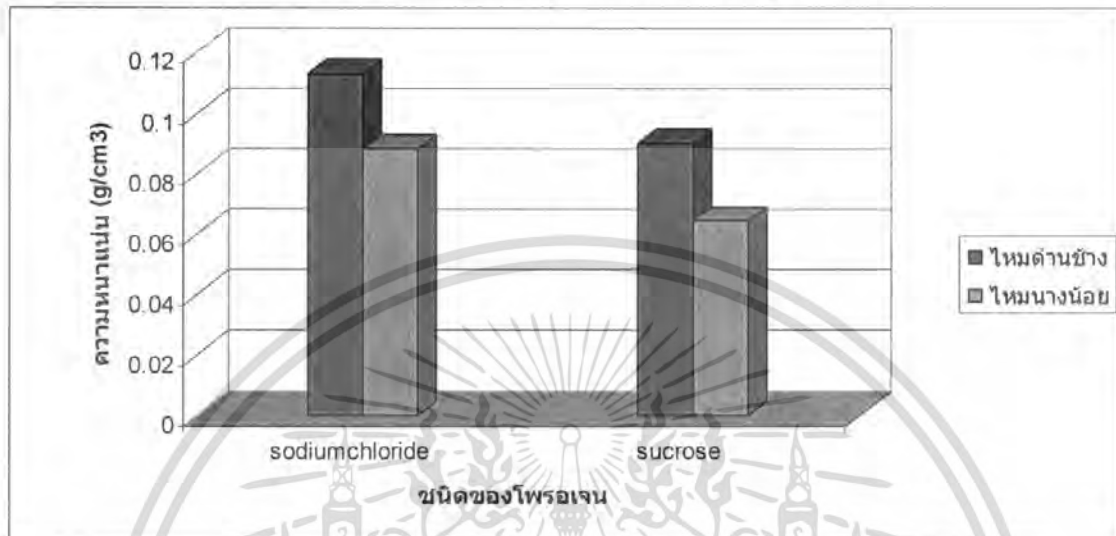
✗ ขึ้นงานไม่สมบูรณ์ นำออกจากแม่พิมพ์ยากแตกหักง่าย

จากผลการขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้าง พบว่า การใช้น้ำตาลกลูโคสโมโนไฮเดรตเป็นโปรเจน จะไม่สามารถขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้างได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากน้ำตาลกลูโคสโมโนไฮเดรตมีขนาดเล็กมากเกินไป จนไม่สามารถแทรกเข้าไปในสารละลายไหมที่เข้มข้นได้ โดยน้ำตาลกลูโคสโมโนไฮเดรตจะอยู่บริเวณพื้นผิวของสารละลายไหมและน้ำตาลส่วนที่เข้าไปอยู่ในสารละลายไหมจะมีการกระจายตัวที่ไม่ดี ดังนั้นเราจึงนำเฉพาะเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจน ซึ่งมีความสมบูรณ์ มาทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ผลการคำนวณหาความหนาแน่นของเนื้อเยื่อโครงสร้าง โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจน

เมื่อใช้น้ำตาลซูโครส (sucrose) ในการทำให้เกิดรูพรุนแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่น้ำหนักใหม่ 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร ให้ผลทดสอบดังรูปที่ 4.10

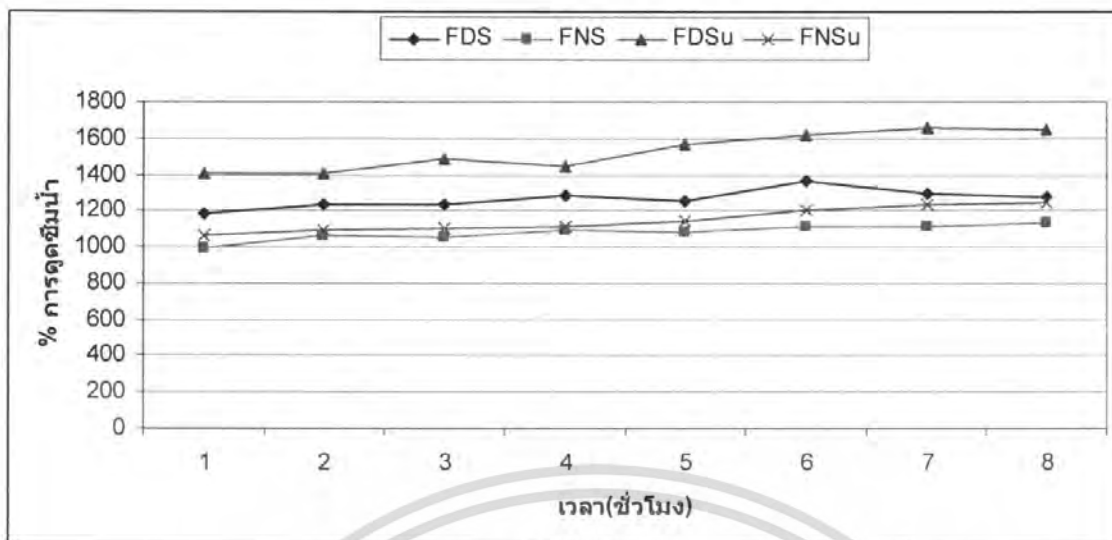


รูปที่ 4.12 แสดงกราฟความหนาแน่นของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยค่านช้างและไหมไทยนางน้อยที่ 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยค่านช้างและไหมไทยนางน้อย โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจนจะมีความหนาแน่นต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรเจน แสดงว่าความหนาแน่นของชิ้นงานนั้นจะขึ้นกับขนาดของโปรเจน โดยโปรเจนที่มีขนาดเล็กจะทำให้เนื้อเยื่อโครงสร้างมีความหนาแน่นสูง และจะส่งผลต่อการดูดซึมน้ำด้วย

#### 4.2.3 การศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจน

นำเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน มาแช่น้ำตามเวลาที่กำหนด จากนั้นคำนวณหาสมบัติการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยค่านช้างและไหมไทยนางน้อย ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13

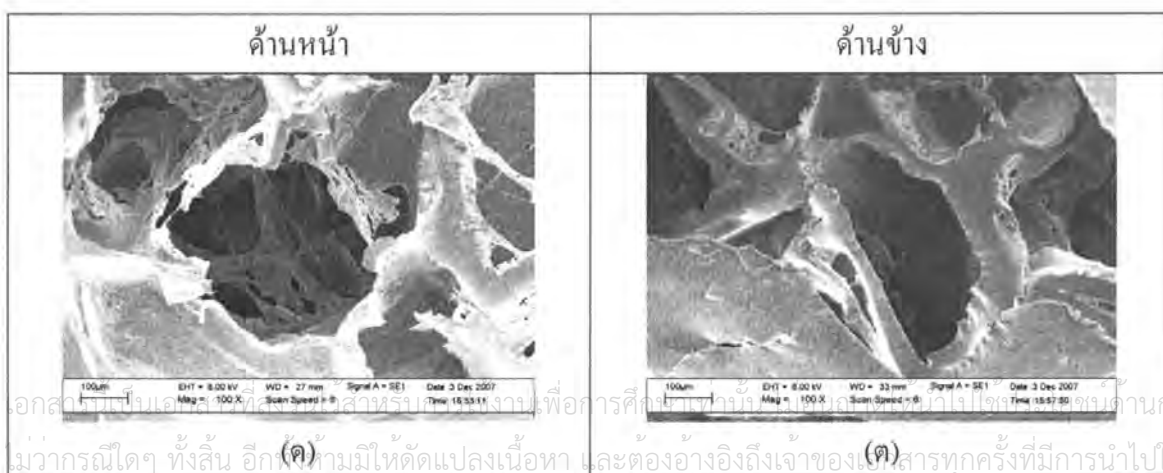


รูปที่ 4.13 ผลการดูดซึมน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อย โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และน้ำตาลซูโครสในการทำให้เกิดรูพรุน โดย

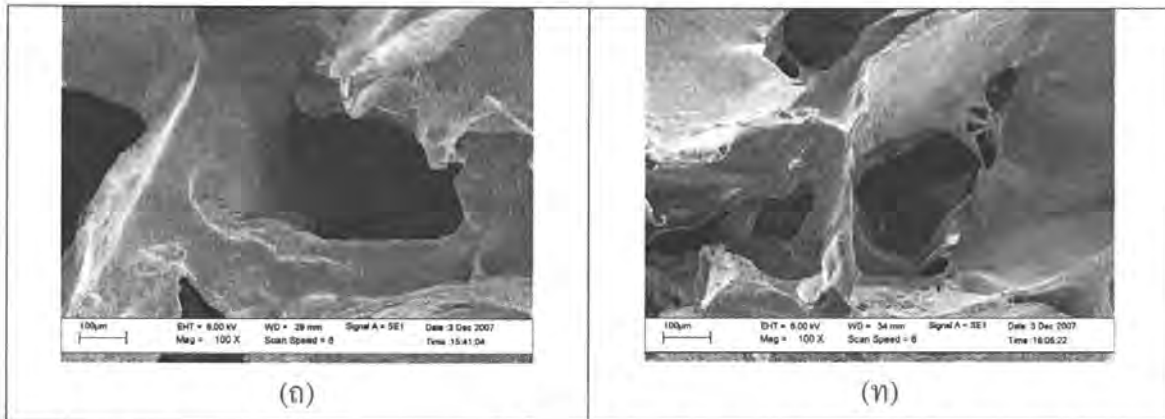
FDS แทนเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้าง โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรอเจน  
 FNS แทนเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรอเจน  
 FDSu แทนเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้าง โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโปรอเจน  
 FNSu แทนเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยนางน้อย โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโปรอเจน

จากกราฟพบว่า เนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากไหมชนิดเดียวกัน โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโปรอเจน จะดูดซึมน้ำได้มากกว่าการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรอเจน เนื่องจากผลึกของน้ำตาลซูโครสที่มีขนาดใหญ่ ทำให้รูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้มีขนาดใหญ่ จึงส่งผลให้การดูดซึมน้ำมากขึ้น

#### 4.2.4 การศึกษาพื้นฐานวิทยาของเนื้อเยื่อโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโปรอเจน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการพาณิชย์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก(ค)ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ(ค)สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.14** ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่พื้นผิวด้านหน้าและด้านข้างของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่เตรียมจากไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อย โดยใช้ น้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจกต์ที่ กำลังขยาย 100 เท่า

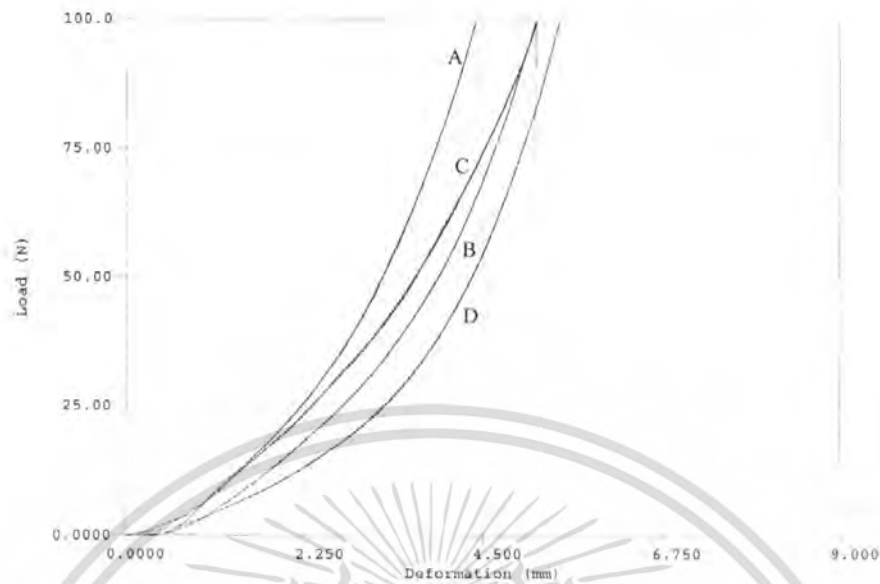
หมายเหตุ ที่เลือกใช้ที่ กำลังขยาย 100 เท่า เพราะผลึกของซูโครสมีขนาดใหญ่

- (ค) น้ำหนักไหมไทยด้านข้าง 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ค) น้ำหนักไหมไทยด้านข้าง 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
- (ก) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ท) น้ำหนักไหมไทยนางน้อย 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)

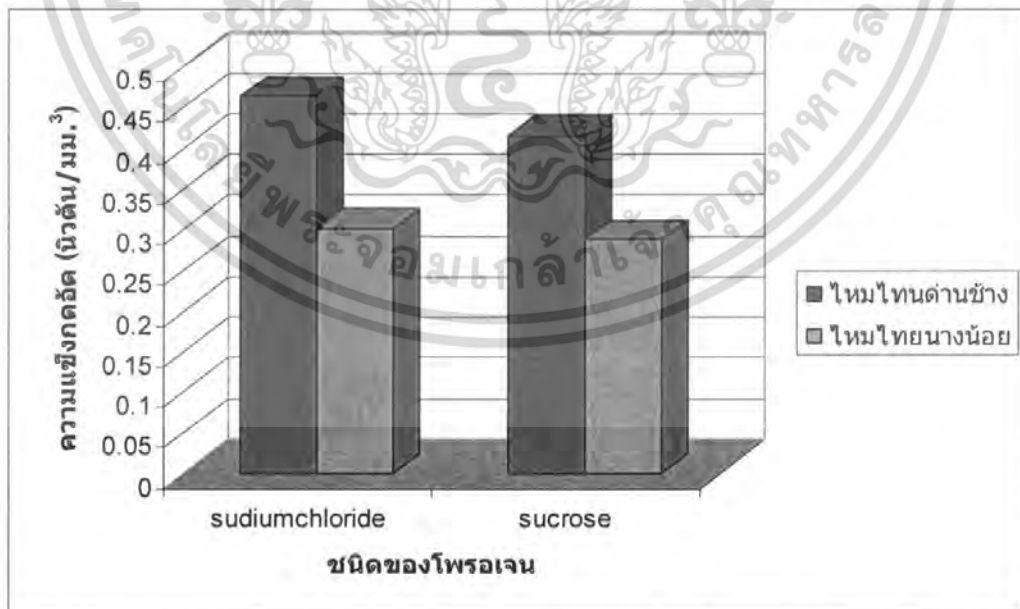
จากรูปจะเห็นว่า รูปร่างของรูพรุนของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่ได้มีรูปร่างที่เหลี่ยมและขนาดรูพรุนตามรูปทรงของผลึกน้ำตาลซูโครส โดยรูพรุนของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่ได้เป็นรูเปิดและมีความต่อเนื่อง

#### 4.2.5 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดอัด ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine) ASTM F451-95

เมื่อนำเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โปรตีนไฟโบรอินของไหมไทยด้านข้างและไหมไทยนางน้อยที่เตรียมจากน้ำหนักของไหม 0.4 กรัมต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจกต์แทนเกลือโซเดียมคลอไรด์ มาทดสอบสมบัติเชิงกล โดยวัดความสามารถในการรับแรงกดอัดได้ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสามารถในการรับแรงกดของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่น้ำหนักของไหม 0.4 กรัมต่อปริมาตรสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร โดย A = เนื้อเยื่อโครงสร้างจากไหมไทยด้านข้างโดยใช้ NaCl เป็นโปรเจกชัน B = เนื้อเยื่อโครงสร้างจากไหมไทยนางน้อยโดยใช้ NaCl เป็นโปรเจกชัน C = เนื้อเยื่อโครงสร้างจากไหมไทยด้านข้างโดยใช้ Sucrose เป็นโปรเจกชัน D = เนื้อเยื่อโครงสร้างจากไหมไทยนางน้อยโดยใช้ Sucrose เป็นโปรเจกชัน



รูปที่ 4.16 กราฟแท่งแสดงความสามารถในการรับแรงกดของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ว่าห้ามการนำข้อมูลหรือการตีความที่ตีพิมพ์ในเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าในทางปฏิบัติโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ตีพิมพ์และ/หรือการอ้างอิงถึงงานของเอกสารฉบับนี้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ซูโครสเป็นโพรเจน จะมีความเข้มข้นน้อยกว่าที่ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโพรเจน แสดงว่า มีความสามารถในการรับแรงกดอัดน้อยกว่า เนื่องจากผลึกน้ำตาลซูโครสที่ใช้เป็นโพรเจนมีขนาดใหญ่กว่าผลึกเกลือโซเดียมคลอไรด์มาก จึงส่งผลให้รูพรุนของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้มีความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกดอัดลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

**ตอนที่ 1** ศึกษาอิทธิพลของปริมาณไหมดที่มีต่อสมบัติต่างๆของเนื้อเยื่อโครงสร้าง โดยใช้

**เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรเจน**

เนื้อเยื่อโครงสร้างที่สังเคราะห์ด้วยวิธี salt-leaching โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณที่มากเกินไป เป็นโปรเจน พบว่า การใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไหมด 0.4 กรัม ต่อปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร จะสามารถขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้างได้สมบูรณ์ที่สุด มีรูพรุนที่ต่อเนื่อง และให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด

**ตอนที่ 2** ศึกษาสมบัติต่างๆของเนื้อเยื่อโครงสร้าง โดยใช้น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลกลูโคสโมโนไฮ-

**เดรตเป็นโปรเจนแทนเกลือโซเดียมคลอไรด์**

เมื่อทราบปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไหมดที่สามารถขึ้นรูปเนื้อเยื่อโครงสร้างได้อย่างสมบูรณ์ที่สุดและให้สมบัติโดยรวมดีที่สุดแล้ว จึงได้ทำการเปลี่ยนชนิดโปรเจนจากเกลือโซเดียมคลอไรด์มาเป็นน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลกลูโคสโมโนไฮเดรต พบว่า การเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง โดยใช้น้ำตาลกลูโคสโมโนไฮเดรตเป็นโปรเจน ไม่สามารถเตรียมเป็นเนื้อเยื่อโครงสร้างได้ เนื่องจากขนาดผลึกของน้ำตาลกลูโคสโมโนไฮเดรตเล็กเกินไป จึงไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในสารละลายไหมดที่เข้มข้นได้

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติโดยรวมระหว่างการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์กับน้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจน พบว่า การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรเจน จะทำให้เนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากไหมดไทยทั้งสองชนิด พบว่า เนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากไหมดไทยค่าน้ำจะให้สมบัติโดยรวมดีกว่าเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ได้จากไหมดไทยนางน้อย

#### ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน โดยใช้โปรเจนที่มีขนาดที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดรูพรุนเป็นรูเปิดต่อเนื่องและมีขนาดสม่ำเสมอ
2. ในการเลือกเนื้อเยื่อโครงสร้างที่จะนำไปประยุกต์ใช้งาน ควรพิจารณาสมบัติการดูดน้ำและสมบัติเชิงกลเป็นหลัก เพราะเนื้อเยื่อโครงสร้างที่มีการดูดน้ำที่ดี ก็สามารถทำให้เซลล์ดูดซับไปในรูพรุนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา วิทยาศาสตร์เส้นใย พิมพ์ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2543.
- [2] อภิชาติ สนธิสมบัติ กระบวนการเคมีสิ่งทอ พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ 2543.
- [3] มณฑา จันทร์เกตุเลิศ วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 1 สมาคมเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชินูปถัมภ์ กรุงเทพฯ 2541.
- [4] ภาณุพงศ์ ภูทะวัง. 2547.การศึกษาผลของเชริซินชนิดต่างๆที่มีต่อสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] นवलจันทร์ โชคทวีทรัพย์, นิภาพรรณ โสทธิยานนท์ และศิริเนตร ประดับวงศ์. 2545. การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/Sericin โดยวิธีการฉายรังสี และการปรับสภาพทางความร้อน โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] อัจฉราพร ไสละสูต ความรู้เรื่องผ้า พิมพ์ครั้งที่ 10 สร้างสรรค์-วิชาการ กรุงเทพฯ 2539
- [7] ไสภณ เรืองสำราญ อมร เพชรสม ศุภสร พัฒนอักษรและสุรัชย์ พกคกุล อินทรีย์เคมี II พิมพ์ครั้งที่ 3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2545.
- [8] ลลิตา บุญโถม สมบัติทางกายภาพและการย้อมติดสีของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546.
- [9] [www.materialstoday.com/pdfs\\_7\\_5/ma.pdf](http://www.materialstoday.com/pdfs_7_5/ma.pdf)
- [10] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โอเคียนสโตร์ กรุงเทพฯ 2527.
- [11] มินะกาวะ โมโตอิ. 2530.วิทยาการไหม เล่ม 1 แปลและเรียบเรียงโดย เออีอีชี คาวาอิ และ เข็มชัย เหมะจันทร์. คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม
- [12] M.C. Chang ,C.C. Ko , W.H. Douglas 2005.Preparation of hydroxyapatite-gelatin nanocomposite.Chemistry Letters 34 (8) 1110
- [13] U-J. Kim., J. Park., H.J. Kim., M. Wada and D.L. Kaplan 2005. Three-dimension aqueous-derived biomaterial scaffold from silk fibroin. Biomaterials. 26:2775-2785
- [14] A. Hokugo., T. Takamoto and Y. Tabata 2006. Preparation of hybrid scaffold from fibroin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- and biodegradable polymer fiber. **Biomaterials**.27:61-67
- [15] 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
- [16] [www.schoolscience.co.uk/content/5/chemistry/proteins/Protch3pg3.html](http://www.schoolscience.co.uk/content/5/chemistry/proteins/Protch3pg3.html)
- [17]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.
- [18] [www.herbalchem.net/carotenoids\\_Intermediate.htm](http://www.herbalchem.net/carotenoids_Intermediate.htm)
- [19] Tabunoki H., Higurashi S., Ninagi O. 2004. A carotenoid-binding protein (CBP) plays a crucial role in cocoon pigmentation of silkworm (*Bombyx mori*) larvae. **FEBS Letters**.567:175-178
- [20] ชนิตา พงษ์ลิมานนท์ เคมี่อินทรีย์เบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 4 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กรุงเทพฯ 2542.
- [21] จรรยา ปั่นเหน่งเพชร, วิทย์วัฒน์ ภูญชรรณ อยุธยา, ประเวศ แสงเพชร, สมชาย กันหลง, วิโรจน์ แก้วเรือง, โกวิท พงษ์แสง และ ทิพรณี เสนะวงศ์. 2546. การคุ้มครองไหมไทย หน้า 21-36. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- [22] มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์, กันยา ตันติวิททิกุล. พ.ศ. 2548. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง โปรตีนเซรีซินจากไหมไทย
- [23] Yoshiyuki Yokogawa and Fukue Nagata. Hydrothermal Synthesis of Hydroxyapatite-Polymer Composite Materials:373-376
- [24] Yasushi Tamada .2005. New Process to Form a Silk Fibroin Porous 3-D Structure. **Biomacromolecules**.6:3100-3106
- [25] <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%8B%E0%B8%B9%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%AA>
- [26] ปุณยชา บัณฑิตกุล, 2550 การตัดแปรโปรตีนไฟโบรอินจากเส้นไหมไทย เพื่อใช้ทำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลและเนื้อเยื่อโครงสร้าง สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [27] นุชนาด จำรัส, รสสุคนธ์ ผ่องสวัสดิ์, 2549 การสังเคราะห์วัสดุประกอบระหว่างเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินกับไฮดรอกซีแอปาทิต์ โครงการพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [28] S. Jin Park., K. Yong Lee., W. Shik Ha and S. Yond Park. Structural Changes and Their Effect on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Properties of Silk Fibroin/Chitosan Blends. *Journal of Applied Polymer Science*.  
74: 2571-2575

[29] 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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก  
การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ

จะได้ว่า      เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ      =       $\frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$

หมายเหตุ       $W_1$  = น้ำหนักเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินก่อนแช่น้ำ  
 $W_2$  = น้ำหนักเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินหลังแช่น้ำ

### ตัวอย่างการคำนวณ

สำหรับเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากน้ำหนักไหมไทยค่านข้าง 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นพรอเจนที่เวลา 1 ชั่วโมง

โดย       $W_1$       =      0.0669      กรัม  
 $W_2$       =      1.9328      กรัม

จะได้      เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ      =       $\frac{1.9328 - 0.0669}{0.0669} \times 100$   
 =      2789.0882%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-1** แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของเนื้อเยื่อ โครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน โดยใช้เกลือ โซเดียมคลอไรด์เป็นโปรอเจน

เวลา (ชั่วโมง)	ไหมไทยดำนข้าง			ไหมไทยดำนข้าง		
	0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.			0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.		
	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การดูดน้ำ	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การดูดน้ำ
1	0.0669	1.9328	2789.0882	0.1149	2.7665	2307.7459
2	0.0669	1.9640	2835.8744	0.1149	2.8790	2405.6571
3	0.0669	1.9683	2842.2033	0.1149	2.8216	2355.7006
4	0.0669	1.9351	2792.6129	0.1149	2.9593	2475.5866
5	0.0669	2.0831	3013.7519	0.1149	3.0417	2547.2584
6	0.0669	2.2280	3230.4839	0.1149	3.0270	2534.4648
7	0.0669	2.1573	3124.6774	0.1149	2.9787	2492.4668
8	0.0669	2.1894	3172.7413	0.1149	2.9567	2473.2510

เวลา (ชั่วโมง)	ไหมไทยดำนข้าง			ไหมไทยดำนข้าง		
	0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.			0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.		
	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การดูดน้ำ	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การดูดน้ำ
1	0.2004	4.4166	2103.8934	0.1852	2.3787	1184.3952
2	0.2004	4.5061	2148.5656	0.1852	2.4663	1231.6955
3	0.2004	4.4040	2097.6093	0.1852	2.4770	1237.4838
4	0.2004	4.4757	2133.4016	0.1852	2.5573	1280.8345
5	0.2004	4.1569	1974.3169	0.1852	2.5055	1252.8618
6	0.2004	4.1175	1954.6448	0.1852	2.7209	1369.1685
7	0.2004	4.5287	2159.8361	0.1852	2.5888	1297.8138
8	0.2004	4.4054	2098.2924	0.1852	2.5437	1273.4762

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-2** แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน โดยใช้เกลือ โซเดียมคลอไรด์เป็น โปรอเจน

เวลา (ชั่วโมง)	ไหมไทยนางน้อย 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.			ไหมไทยนางน้อย 0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.		
	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การดูดน้ำ	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การดูดน้ำ
1	0.0620	1.8362	2861.6129	0.1035	2.5705	2383.5749
2	0.0620	1.9743	3084.5161	0.1035	2.6216	2432.9469
3	0.0620	1.9811	3095.3548	0.1035	2.5893	2401.7391
4	0.0620	1.9993	3124.6774	0.1035	2.6210	2432.3671
5	0.0620	1.9856	3102.5156	0.1035	2.7016	2510.2415
6	0.0620	2.0224	3161.9355	0.1035	2.6753	2484.8301
7	0.0620	2.0209	3159.5161	0.1035	2.6308	2441.8125
8	0.0620	2.0134	3147.4839	0.1035	2.6309	2441.9607

เวลา (ชั่วโมง)	ไหมไทยนางน้อย 0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.			ไหมไทยนางน้อย 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.		
	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การดูดน้ำ	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การดูดน้ำ
1	0.1464	2.2051	1406.1876	0.1627	1.7936	1002.3674
2	0.1464	2.2113	1410.4291	0.1627	1.8872	1059.9463
3	0.1464	2.3218	1485.9281	0.1627	2.0433	1155.8478
4	0.1464	2.2680	1449.2016	0.1627	1.9785	1116.0371
5	0.1464	2.4342	1562.7246	0.1627	1.9615	1105.6026
6	0.1464	2.5334	1630.4591	0.1627	1.9998	1129.0869
7	0.1464	2.5620	1649.9880	0.1627	1.9809	1117.5464
8	0.1464	2.5524	1643.4631	0.1627	2.0027	1130.9353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-3** แสดงเปอร์เซ็นต์การคูดน้ำของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน โดยใช้  
น้ำตาลซูโครสเป็นโพรเจน

เวลา (ชั่วโมง)	ไหมไทยค่าน้ำ			ไหมไทยนางน้อย		
	0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.			0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มล.		
	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การคูดน้ำ	นน.แห้ง	นน.เปียก	%การคูดน้ำ
1	0.1791	2.6976	1406.1876	0.2099	2.4302	1057.8064
2	0.1791	2.7052	1410.4291	0.2099	2.5101	1095.8797
3	0.1791	2.8404	1485.9281	0.2099	2.5283	1104.5286
4	0.1791	2.7746	1449.2016	0.2099	2.5545	1117.0353
5	0.1791	2.9779	1562.7246	0.2099	2.6041	1140.6480
6	0.1791	3.0813	1620.4591	0.2099	2.7339	1202.5037
7	0.1791	3.1450	1655.9884	0.2099	2.8097	1238.6028
8	0.1791	3.1225	1643.4631	0.2099	2.8161	1241.6834

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณความหนาแน่น

จะได้ว่า ความหนาแน่น =  $\frac{M}{V}$

โดย  $V = \pi r^2 h$

หมายเหตุ  $M$  = น้ำหนักของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน

$V$  = ปริมาตรของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน

$r$  = รัศมีของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน

$h$  = ความสูงของเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอิน

$\pi = 3.1415$

#### ตัวอย่างการคำนวณ

สำหรับเนื้อเยื่อโครงสร้างโปรตีนไฟโบรอินที่เตรียมจากน้ำหนักไหมไทยค่าน้ำหนัก 0.1 กรัม/ปริมาตรสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโปรอเจน

โดย  $M = 0.0652$  กรัม  
 $V = 1.2496$  ลูกบาศก์เซนติเมตร

จะได้ ความหนาแน่น =  $\frac{0.0652}{1.2496}$   
 = 0.0522 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-4** แสดงความหนาแน่นของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โปรตีนไฟโบรอิน โดยใช้เกลือโซเดียม-คลอไรด์เป็นโพรเจน

ชนิดของ ไหม	นน.ไหม/ HFIP 3 มล.	นน. เนื้อเยื่อ โครงสร้าง (กรัม)	รัศมี (ซม.)	ความสูง (ซม.)	ปริมาตร (ซม <sup>3</sup> )	ความ หนาแน่น (กรัม/ซม <sup>3</sup> )
ไหมไทย ด้านข้าง	0.1	0.0652	0.979	0.415	1.2496	0.0522
	0.2	0.1674	1.073	0.513	1.8555	0.0902
	0.3	0.1391	1.004	0.434	1.3744	0.1010
	0.4	0.2268	1.025	0.607	2.0035	0.1130
ไหมไทย นางน้อย	0.1	0.0612	0.942	0.444	1.2371	0.0495
	0.2	0.1016	0.943	0.590	1.6474	0.0617
	0.3	0.1458	0.829	0.752	1.8788	0.0776
	0.4	0.1608	0.981	0.603	1.8222	0.0882

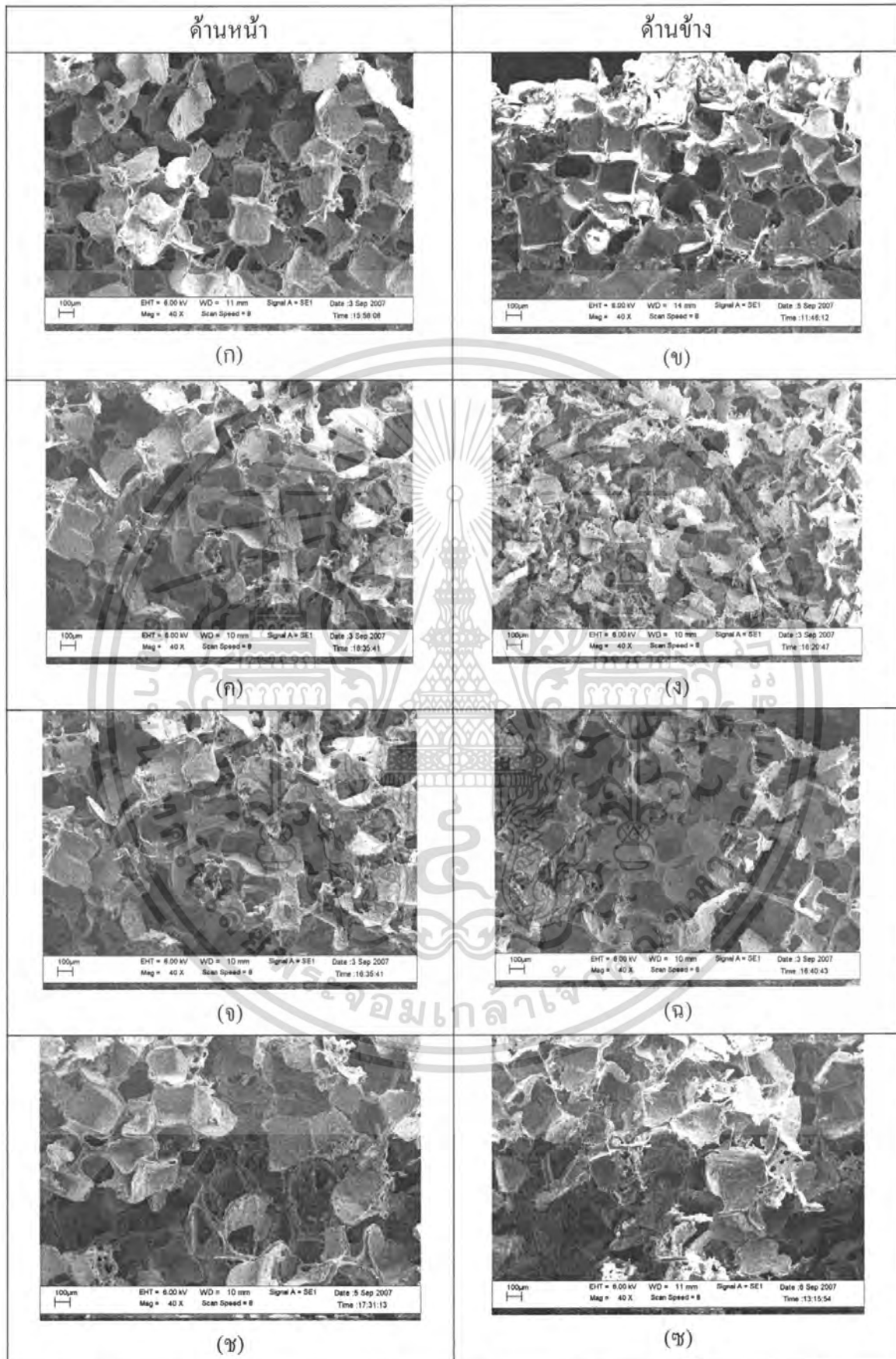
**ตารางที่ ก-5** แสดงความหนาแน่นของเนื้อเยื่อ โครงสร้าง โปรตีนไฟโบรอิน โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นโพรเจน

ชนิดของ ไหม	นน.ไหม/ HFIP 3 มล.	นน. เนื้อเยื่อ โครงสร้าง (กรัม)	รัศมี (ซม.)	ความสูง (ซม.)	ปริมาตร (ซม <sup>3</sup> )	ความ หนาแน่น (กรัม/ซม <sup>3</sup> )
ไหมไทย ด้านข้าง	0.4	0.1791	0.9280	0.8530	2.3078	0.0903
ไหมไทย นางน้อย	0.4	0.2099	0.9500	0.4800	1.3609	0.0645

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

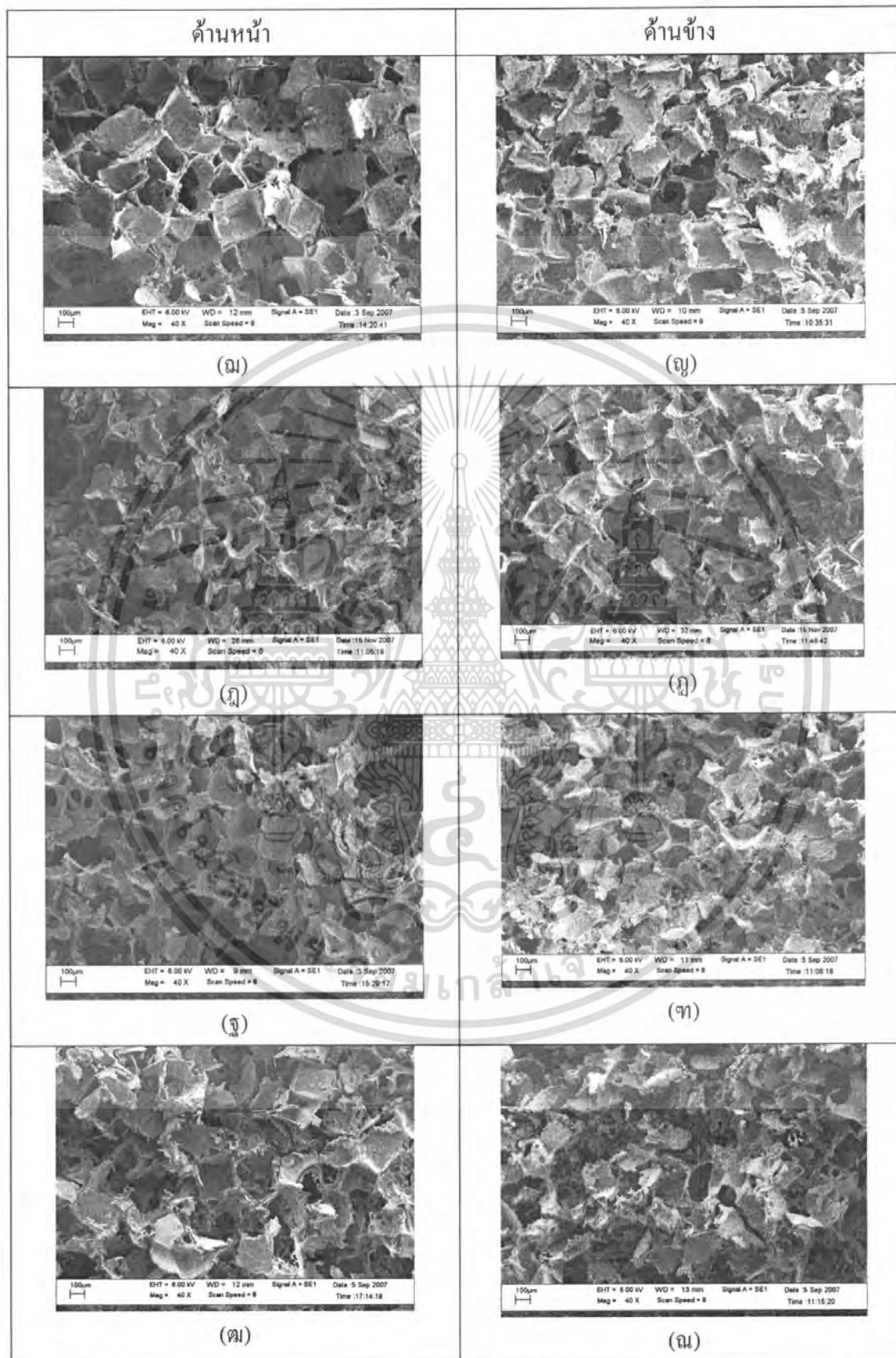


รูปที่ ข-1 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่พื้นผิวด้านหน้าและด้านข้างของเนื้อเชื้อโครงสร้างที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าเตรียมจากไหมไทยด้านข้าง โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นพรอเจนท์กำลังขยาย 40 เท่า ไม่ว่าจะฉีกใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (ก) น้ำหนักไหม 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ข) น้ำหนักไหม 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
- (ค) น้ำหนักไหม 0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ง) น้ำหนักไหม 0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
- (จ) น้ำหนักไหม 0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ฉ) น้ำหนักไหม 0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
- (ช) น้ำหนักไหม 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ซ) น้ำหนักไหม 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



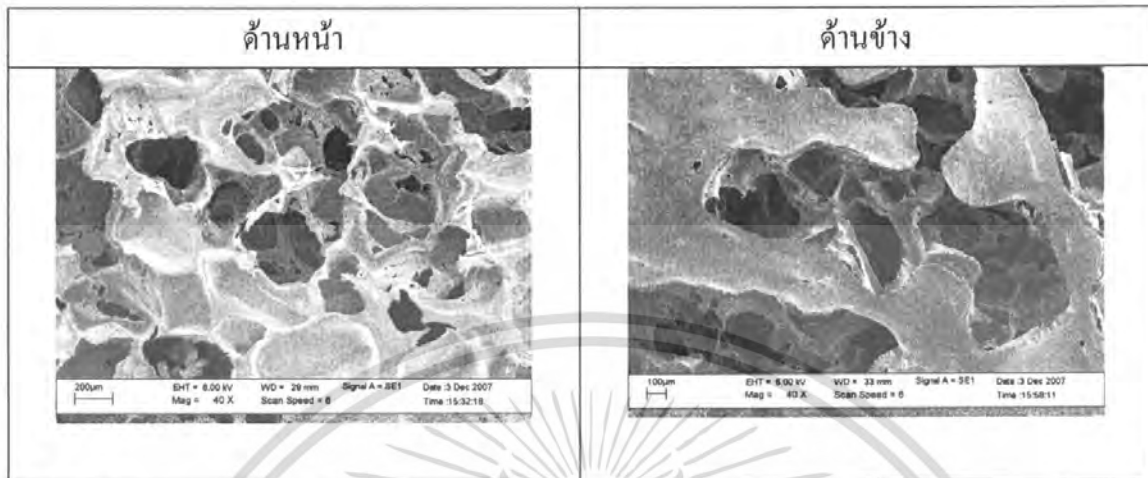
เอกสรูปที่ ข-2 ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคที่พื้นผิวด้านหน้าและด้านข้างของเนื้อเยื่อโครงสร้างที่ดำเนินการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมจากไหมไทยนางน้อยโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นโพรอนเจน ที่กำลังขยาย 40 เท่า

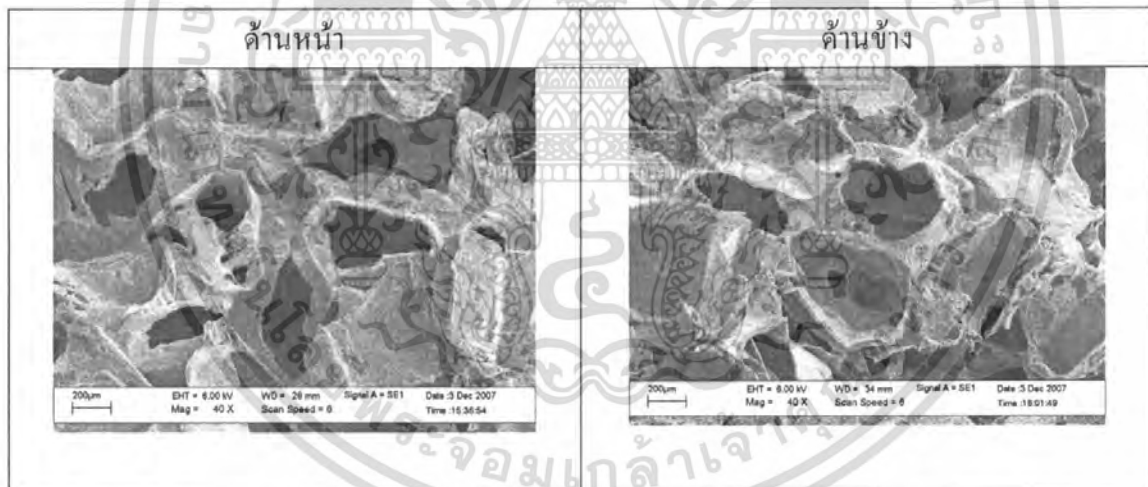
- (ฉ) น้ำหนักไหม 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ญ) น้ำหนักไหม 0.1 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
- (ฎ) น้ำหนักไหม 0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ฏ) น้ำหนักไหม 0.2 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
- (ฐ) น้ำหนักไหม 0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ฑ) น้ำหนักไหม 0.3 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)
- (ฒ) น้ำหนักไหม 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านหน้า)
- (ณ) น้ำหนักไหม 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร (ด้านข้าง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-3 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่พื้นผิวด้านหน้าและด้านข้างของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไผ่ไทยด้านข้าง โดยใช้ น้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจกต์ที่น้ำหนักใหม่ 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ ข-4 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่พื้นผิวด้านหน้าและด้านข้างของเนื้อเยื่อ โครงสร้างที่เตรียมจากไผ่ไทยนางน้อย โดยใช้ น้ำตาลซูโครสเป็นโปรเจกต์ที่น้ำหนักใหม่ 0.4 กรัม/ปริมาณสารละลาย HFIP 3 มิลลิลิตร ที่กำลังขยาย 40 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. อินฟราเรดสเปกโทรเมตรี FTIR

### การสั่นของอะมิโน (Amide Vibration) [28 ]

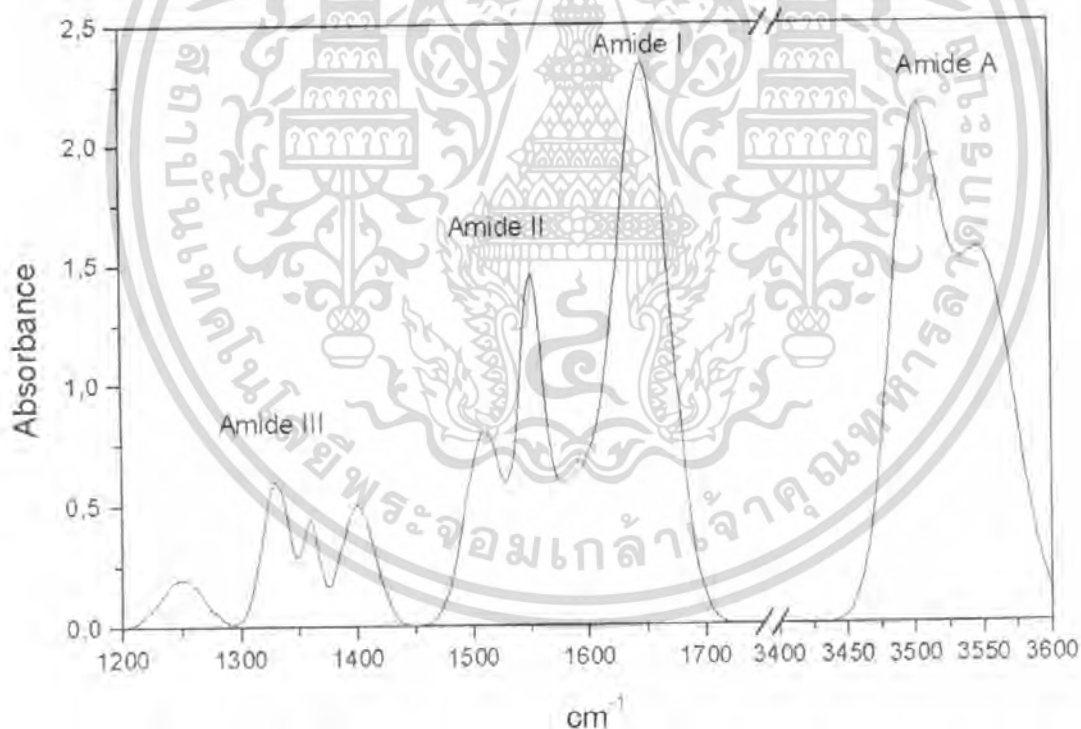
หมู่เพปไทด์ เป็นโครงสร้างที่ซ้ำๆของโปรตีน ให้ลักษณะแถบคลื่นมากกว่า 9 แถบ มีชื่อว่า Amide A, B, I, II ...VII แถบคลื่น Amide A ( $\sim 3500 \text{ cm}^{-1}$ ) และ Amide II และ N-H stretching vibration แถบคลื่น Amide I และ Amide II เป็นแถบคลื่นหลักของ โปรตีน แถบคลื่น

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

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

Amide III และ VI เป็นแถบคลื่นของสารประกอบมากมาย ซึ่งเป็นผลมาจากของผสมที่เข้ามาแทนที่

Amide V,VI และ VII เป็นการเคลื่อนที่แบบ Out-of-plane



รูปที่ ก.1 แสดงแถบการดูดกลืนคลื่นของโปรตีนด้วย FTIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Amide A** จะมากกว่า 95% เนื่องจาก N-H stretching vibration การสั่นนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับสายโซ่หลัก แต่จะอ่อนไหวมาก ๆ ต่อความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจน มีเลขคลื่นระหว่าง 3225 และ 3280  $\text{cm}^{-1}$  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  $\text{cm}^{-1}$  ตำแหน่งแถบคลื่นที่ชัดเจนถูกกำหนดโดยสายโซ่หลักและพันธะ H

**Amide II** เกิดขึ้นในช่วง 1510-1580  $\text{cm}^{-1}$  และมีสารประกอบมากมายกว่า 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)

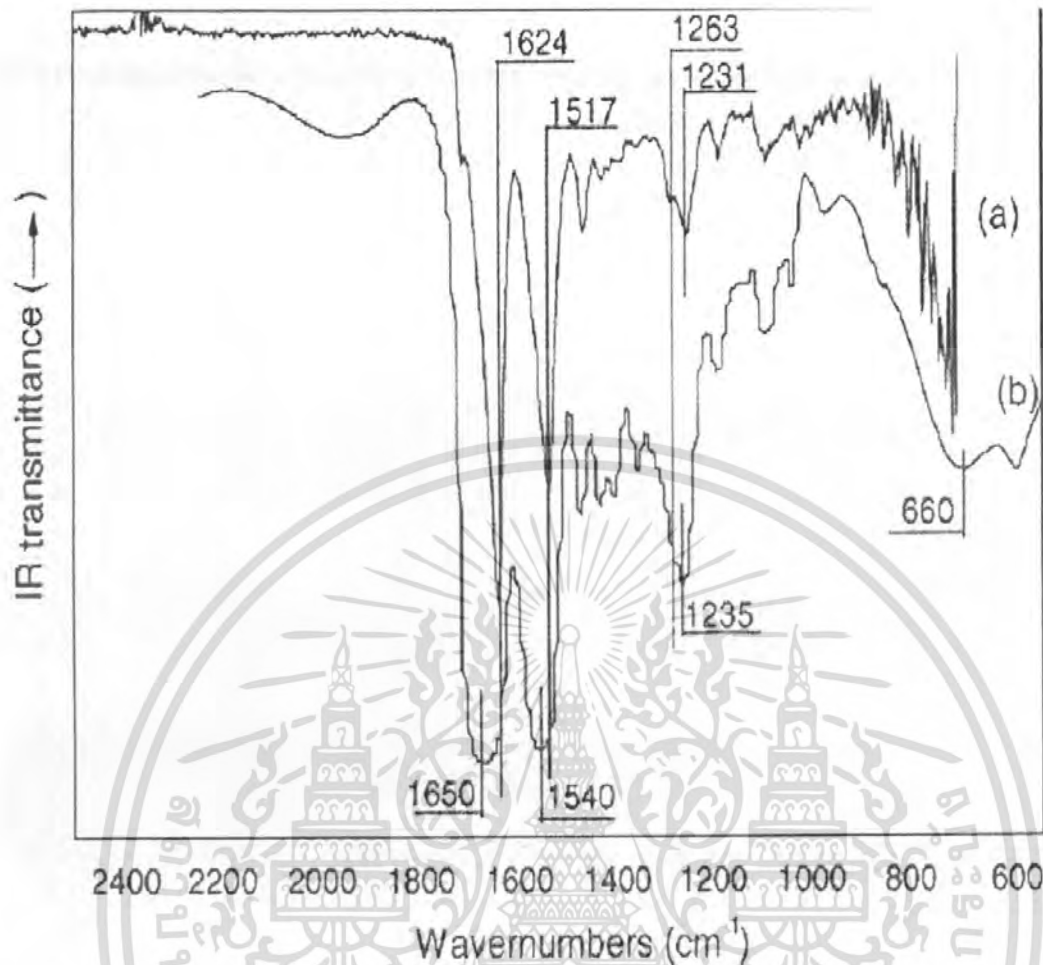
การสั่นของสายโซ่ด้านข้างจะเกิดในช่วง 1800-1400  $\text{cm}^{-1}$  (Amide I และ Amide II) ถูกตรวจสอบโดย Venyaminov and Kalnin 1990 (Biopolymers 1990; 13-14):1243-57 จำนวนกรดอะมิโนมากมาย 20 ชนิด เพียง 9 ชนิด (Asp, Asn, Glu, Lys, Arg, Tyr, Phe, His) แสดงแถบการดูดกลืนในช่วงที่อธิบาย

ตารางที่ ค.1 แสดงแถบการดูดกลืนคลื่นของกรดอะมิโน 9 ชนิด

AS	vibration		cm <sup>-1</sup>	A <sub>0</sub> (l/mol/cm)	FWHH (cm <sup>-1</sup> )	surface (x10 <sup>-4</sup> 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 <sub>3</sub> H <sub>5</sub> <sup>+</sup> st as		1673	420	40	4.3
	st s		1633	300	40	3.6
Lys	-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> bd as		1629	130	46	1.8
	bd s		1526	100	48	1.3
Asn	-C=O st		1678	310	32	2.7
	-NH <sub>2</sub> bd		1622	160	44	2.5
Gln	-C=O st		1670	360	32	3.1
	-NH <sub>2</sub> 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 <sub>3</sub> <sup>+</sup> bd as		1631	210	54	3.8
	bd s		1515	200	60	4.3
	-NH <sub>2</sub> bd		1560	450	46	7.5

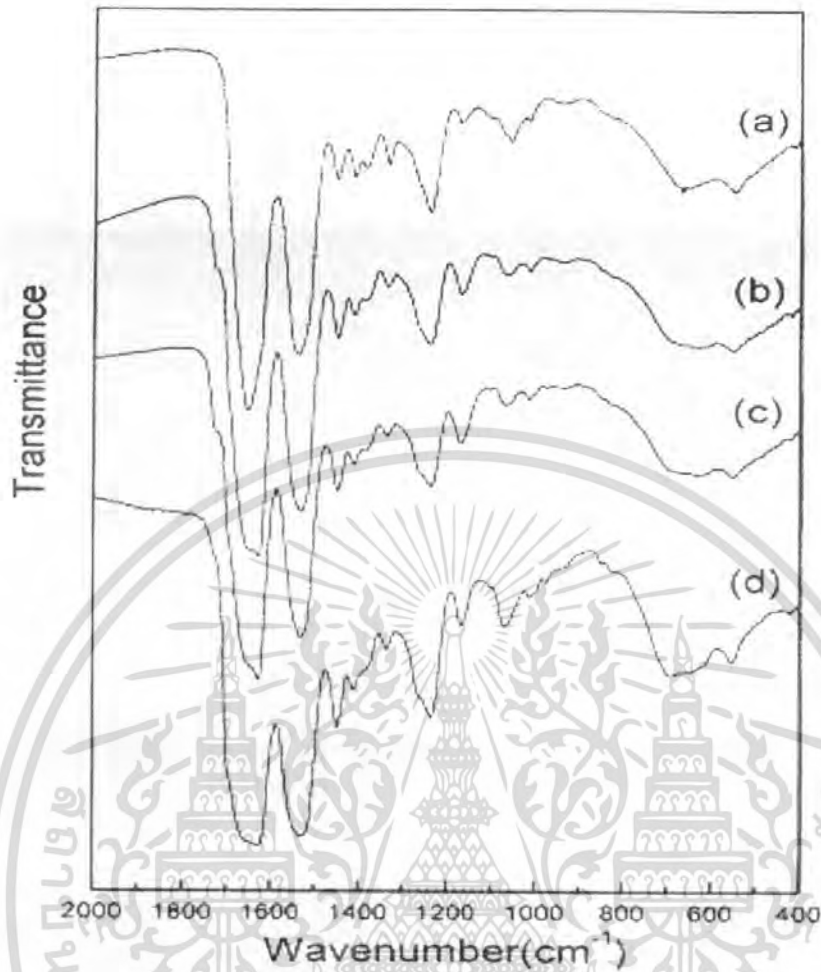
Frequency, absorbance at the maximum (A<sub>0</sub>), full width at half height (FWHH), surface of Gaussianband st=stretching vibration, bd=bending, s=symmetrical, as=asymmetrical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 สเปกตรัมของเส้นไหมไฟโบรอินที่ผ่านการลอกกวาดด้วยค้าง(a)และฟิล์มไหมไฟโบรอินเริ่มต้น(b) [29]

รูปที่ ค.2 (a) มีแถบเลขคลื่นที่ 1624, 1517 และ 1263  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งจะเป็นแถบ amide I, amide II และ amide III ตามลำดับ ไหมไฟโบรอินที่ผ่านการลอกกวาดด้วยสนุ่จะเปลี่ยนรูปร่างเป็น  $\beta$  - sheet ในทางตรงกันข้าม รูปที่ ค.2 (b) แสดงแถบเลขคลื่นที่ 1650 (amide I), 1540 (amide II), 1235 (amide III) และ 660 (amide V) ซึ่งเป็นรูปร่างของ random coil [29]



รูปที่ ค.3 สเปกตรัมของฟิล์มใหม่ไฟโบรอิน

- (a) ฟิล์มใหม่ไฟโบรอินที่ได้จากการเทสารละลายน้ำใหม่ไฟโบรอินหลังจาก Dialysis ไม่แช่ในเมทานอล
- (b) ฟิล์มใหม่ไฟโบรอินที่ได้จากการเทสารละลายน้ำใหม่ไฟโบรอินหลังจาก Dialysis แล้วแช่ในเมทานอล
- (c) ฟิล์มใหม่ไฟโบรอินที่ได้จากการละลายเส้นไหมไฟโบรอินในกรดฟอร์มิก ไม่แช่ในเมทานอล
- (d) ฟิล์มใหม่ไฟโบรอินที่ได้จากการละลายเส้นไหมไฟโบรอินในกรดฟอร์มิก แล้วแช่ในเมทานอล
- [30]

รูปที่ ค.2 (a) แสดงแถบเลขคลื่นที่ 1655 (amide I), 1540 (amide II), 1235 (amide III) เป็นรูปร่างของ random coil ในทางตรงกันข้าม รูปที่ ค.3 (c) แสดงแถบเลขคลื่นที่ 1628 (amide I), 1533 (amide II), 1265 (amide III) เป็นรูปร่างของ  $\beta$  - sheet ส่วนฟิล์มที่แช่ในเมทานอลรูปที่ ค.3 แสดงแถบเลขคลื่นที่คล้ายๆกับรูปที่ ค.3 (c) [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้