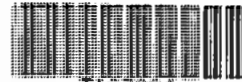


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การดัดแปรไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยด้วย 2-ไฮดรอกซี  
เอทิลเมทาคริเลต (2-Hydroxyethyl methacrylate)



1107884

นางสาวนาฎยา

สุพิทักษ์

นายศตคุณ

เมธาวิศิษฎ์กุล

นางสาวสุรียพร

ประภาวงษ์

ร.พ.  
96457 7  
2550

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 107884  
วัน,เดือน,ปี. - 8 ส.ค. 2553

b. 12213445  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Development of Hydrogel from Fibroin of Nang Noi Thai Silk



Miss Narttaya Soopitak

Mr. Satakun Maytavisitkul

Miss Sureepron Prapawong

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


Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้างจากไฟโบรอินของไทย  
นักศึกษา นางสาวนาฏยา สุพิทักษ์ รหัส 47050637  
นายศตคุณ เมธาวิศิษฎ์กุล รหัส 47050654  
นางสาวสุรีย์พร ประภาวงษ์ รหัส 47050658  
ภาควิชา เคมี  
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2550  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรีชญาวรากร	
กรรมการ	รศ.ดร. กัญญา ดันตวิสุทธิกุล	
กรรมการ	รศ.ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์	

  
.....  
( ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์ )  
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>โครงการพิเศษเรื่อง</b>	การดัดแปรไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)
<b>นักศึกษา</b>	นางสาวนาฏยา สุพิทักษ์ นายศตคุณ เมธาวิศิษฎ์กุล นางสาวสุรียพร ประภาวณิช
<b>ภาควิชา</b>	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
<b>สาขาวิชา</b>	เคมีอุตสาหกรรม
<b>ปีการศึกษา</b>	2550
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เตรียมไฮโดรเจลโดยดัดแปลงไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ แล้วปรับปรุงไฮโดรเจลที่เตรียมด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์ ศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำ การคายน้ำ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา และวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

ผลการทดลองพบว่า เมื่อให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานานขึ้น 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ต่อกิ่งบนไฟโบรอินโตมากขึ้น ตัวอย่างดูดซึมน้ำได้มากขึ้น แต่พบว่าบริเวณผิวหน้าตัวอย่างแตกแยก การเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์ ทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างลดลง แต่ผิวหน้าของตัวอย่างไม่แตกแยก พบว่าไฮโดรเจลที่ไม่มีการเติมสารเชื่อมโยงจะคายน้ำอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 ชั่วโมงแรก ไฮโดรเจลที่มีการเชื่อมโยงการคายน้ำค่อยๆ ลดลง แต่อุณหภูมิการสลายตัวและมอดูลัสของตัวอย่างที่มีการเติมสารเชื่อมโยงสูงกว่าที่ไม่มีการเติมสารเชื่อมโยง สัณฐานวิทยาของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงหลังการต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) การตรวจหาหมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR พบว่าพีคที่บริเวณเลขคลื่น  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่ไม่ชัดเนื่องจากหมู่  $-NH, -NH_2$  ของไฟโบรอินและหมู่  $-OH$  ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ปรากฏที่เลขคลื่นใกล้เคียงกัน ในการทดลองนี้พบว่า ไฟโบรอินที่ต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เวลา 30 นาที ซึ่งมีปริมาณของน้ำไหม 30 มิลลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิตร แล้วเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และสารเชื่อมโยงให้ไฮโดรเจลมีสมบัติที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Development of Hydrogel from Fibroin of Nang Noi Thai Silk by 2-Hydroxyethylmethacrylate
Name	Miss Narttaya Soopitak Mr. Satakun Maytavisitkul Miss Sureepron Prapawong
Department	Chemistry
Faculty	Science
Major	Industrial Chemistry
Academy Year	2007
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin

### ABSTRACT

This special project aim to prepared hydrogel from Nang Noi Thai silk by 2-hydroxyethylmethacrylate (2-HEMA) at various concentration and different reaction times. There, poly (vinyl alcohol) and glutaraldehyde cross linking agent were added for modification. Water absorption, water evaporation, mechanical properties, thermal property, morphology and functional group analysis were studied.

The experimental results showed that 2-HEMA grafted on fibroin increased with reaction times. Water absorption of sample increased but surface cracking was found. Addition of poly (vinyl alcohol) and glutaraldehyde cross linking agent caused water absorption decreased. However, no surface cracking. It was found that water in hydrogel without cross linking evaporated very fast within 1-2 hours. Cross linking hydrogel reduced water evaporation. On the other hand, decomposition temperature and modulus were higher. Morphology of sample was change after grafting by 2-HEMA. Function group analysis by FTIR, find peak at  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  was few change but unobvious because NH,  $\text{NH}_2$  group of fibroin and  $-\text{OH}$  group of 2-HEMA to appear peak at  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$ . This special project, modified of fibroin by 2-HEMA at 30 minute accompany silk solution 30 milliliter 2-HEMA 5 milliliter glutaraldehyde 1 milliliter and poly (vinyl alcohol) 4 milliliter, good in properties of hydrogel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้จะไม่ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ คำแนะนำ คำติเตียน ตลอดจนกำลังใจที่ดีและเป็นประโยชน์แก่ผู้จัดทำ จากบุคคลหลายๆ ท่าน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ในการทำโครงการพิเศษ และเรื่องอื่นๆ อีกมากมาย รวมทั้งตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้สำเร็จเรียบร้อยอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.กัญญา ตันติวิสุทธิกุล อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ในการทำโครงการพิเศษและให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือในการทำงานวิจัย รวมทั้งเสียสละเวลาในการเป็นกรรมการตรวจสอบ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร อาจารย์ประจำภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาเสียสละเวลาในการเป็นกรรมการตรวจสอบ และตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้สำเร็จเรียบร้อยอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เรื่องอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยอบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษา แนะนำ และให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอด ทั้งเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจที่ดีในทุกๆ เรื่อง ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากซึ่งมิได้กล่าวมาในที่นี้ ทางผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวนาฎยา สุพิทักษ์

นายศตคุณ เมธาวิศิษฏ์กุล

นางสาวสุรีย์พร ประภาวรงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โพรตีน	4
2.2 ไหม (Silks)	16
2.3 ไหมไฟโบรอิน (Silk Fibroin)	24
2.4 ไฮโดรเจล (Hydrogel)	39
2.5 การตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการทางเคมี	40
2.6 สารเคมี	44
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	51
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	55
3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	55
3.2 วิธีการทดลอง	57
3.3 วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของไฮโดรเจล	65
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	65
4.1 ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏของชิ้นงาน	67
4.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 สมบัติการดูดซึมน้ำและการคายน้ำ	82
4.4 สมบัติเชิงกล	93
4.5 สมบัติทางความร้อน	96
4.6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี (SEM)	114
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอนแนะ	120
5.1 สรุปผลการทดลอง	120
5.2 ข้อเสนอนแนะ	123
เอกสารอ้างอิง	124
ภาคผนวก	127
ภาคผนวก ก. แสดงวิธีการคำนวณการดูดซึมน้ำ การคายน้ำ การจุน้ำ และตารางข้อมูลดิบ	127
ภาคผนวก ข. กราฟแสดงค่าการจุน้ำ	134
ภาคผนวก ค. กราฟแสดงค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกด	138
ภาคผนวก ง. กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบสเปกตรัม IR	140
ภาคผนวก จ. ตารางแสดงความถี่ของหมู่ฟังก์ชัน	145
ภาคผนวก ฉ. ตารางแสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัว	148
ภาคผนวก ช. แสดงรูปการเกิดปฏิกิริยา	151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดง Conjugated protein	5
ตารางที่ 2.2 แสดงโปรตีนแต่ละประเภทซึ่งมีหน้าที่ต่างกัน	14
ตารางที่ 2.3 แสดงชื่อของกรดแอลฟาอะมิโนที่พบบ่อยในธรรมชาติมี 20 ชนิด พร้อมทั้ง แสดงสูตรโครงสร้าง และจุดไอโซอิเล็กทริก	20
ตารางที่ 2.4 แสดงสูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบในใหม่	25
ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงใหม่ที่มีต่อร่างกาย	37
ตารางที่ 2.6 แสดงชนิดตัวรีเริ่มประเภทเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ที่นิยมใช้กัน	41
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนต่างๆ ของไฮโดรเจลในสูตรที่ 1-9	61
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนต่างๆ ของไฮโดรเจลในสูตรที่ 10-19	62
ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนต่างๆ ของไฮโดรเจลในสูตรที่ 20-25	63
ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 1-9	67
ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 1-9 (ต่อ)	68
ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 10-19	69
ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของ สูตรที่ 10-19 (ต่อ)	70
ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 20-23	71
ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของ สูตรที่ 20-23 (ต่อ)	72
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 24-25 และใหม่	72
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 24-25 และใหม่ (ต่อ)	73
ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยและ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)	97
ตารางที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสูตรที่ 1-9 ที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้น	101
ตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสูตรที่ 10-19 ที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสูตรที่ 10-19 ที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร (ต่อ)	106
ตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่มีการเชื่อมโยง และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่มีใหม่อยู่ด้วยและมีการเชื่อมโยง	108
ตารางที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสูตรที่ 20-25	113



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของโปรตีน	4
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของโปรตีนที่เป็น Simple	4
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของเส้นใยโปรตีน	6
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของไฟโบรอิน	6
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของโปรตีนกลอบูลาร์	7
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างปฐมภูมิของอินซูลิน	8
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างทุติยภูมิแบบแอลฟาเฮลิกซ์ ( $\alpha$ -helix)	8
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างแบบเกลียวแอลฟาหรือแอลฟาเฮลิกซ์ ( $\alpha$ -helix)	9
รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างทุติยภูมิแบบบีตาพลีดเต็ดชีต ( $\beta$ -pleated sheet)	10
รูปที่ 2.10 แสดงการจัดเรียงตัวของสายโซ่โปรตีนทุติยภูมิ	10
รูปที่ 2.11 แสดงพันธะที่อาจเกิดขึ้นในโครงสร้างตติยภูมิ	11
รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของไมโอโกลบิน	12
รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของฮีโมโกลบิน	13
รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของฮีม	13
รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างสามมิติของไหม	25
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะโครงสร้างของไหมไฟโบรอินชนิดแผ่นจับ	27
รูปที่ 2.17 แสดงภาคตัดขวางของเส้นไหมจากรังไหม <i>Bombyx mori</i>	28
รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของเส้นใยไหม	29
รูปที่ 2.19 SEM แสดงเส้นไหมของไหมเลี้ยง ( <i>Bombyx mori</i> ) ไหมดิบไม่มีการลอก กาวไหม (เซรีซิน) ออก	29
รูปที่ 2.20 SEM แสดงเส้นไหมที่มีการลอกกาวไหม (เซรีซิน) ออกโดยสกัดเป็นเวลา 60 นาที	30
รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย	74
รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)	75
รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสูตรที่ 1-3	76
รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสูตรที่ 4-6	76
รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสูตรที่ 7-9	77
รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสูตรที่ 10-12	78
รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสูตรที่ 13-15	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสูตรที่ 16-18	79
รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 19 ถึง 22	80
รูปที่ 4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 23 กับ 24	81
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 1-3	82
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 4-6	83
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 7-9	83
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 10-12	84
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 13-15	8๓
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 16-18	85
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 20-23	86
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า %น้ำที่เหลืออยู่ของสูตรที่ 1-3	88
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า %น้ำที่เหลืออยู่ของสูตรที่ 4-6	88
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่า %น้ำที่เหลืออยู่ของสูตรที่ 7-9	89
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่า %น้ำที่เหลืออยู่ของสูตรที่ 10-12	90
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า %น้ำที่เหลืออยู่ของสูตรที่ 13-15	91
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่า %น้ำที่เหลืออยู่ของสูตรที่ 16-18	91
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่า %น้ำที่เหลืออยู่ของสูตรที่ 20-23	92
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่ามอดูลัสของสูตรที่ 1-9	93
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่ามอดูลัสของสูตรที่ 10-18	94
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่ามอดูลัสของสูตรที่ 20-23	95
รูปที่ 4.28 เทอร์โมแกรมของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย	96
รูปที่ 4.29 เทอร์โมแกรมของไฟโบรอินของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)	96
รูปที่ 4.30 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 1	97
รูปที่ 4.31 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 2	98
รูปที่ 4.32 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 3	98
รูปที่ 4.33 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 4	98
รูปที่ 4.34 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 5	99
รูปที่ 4.35 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 6	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.36 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 7	99
รูปที่ 4.37 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 8	100
รูปที่ 4.38 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 9	100
รูปที่ 4.39 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 10	102
รูปที่ 4.40 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 11	102
รูปที่ 4.41 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 12	102
รูปที่ 4.42 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 13	103
รูปที่ 4.43 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 14	103
รูปที่ 4.44 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 15	103
รูปที่ 4.45 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 16	104
รูปที่ 4.46 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 17	104
รูปที่ 4.47 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 18	104
รูปที่ 4.48 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 19	105
รูปที่ 4.49 เทอร์โมแกรมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)	107
รูปที่ 4.50 แสดงกราฟอนุพันธ์ของค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีการเชื่อมโยง	107
รูปที่ 4.51 แสดงกราฟอนุพันธ์ของค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมน้ำใหม่ที่มีการเชื่อมโยง	108
รูปที่ 4.52 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 20	109
รูปที่ 4.53 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 21	109
รูปที่ 4.54 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 22	110
รูปที่ 4.55 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 23	111
รูปที่ 4.56 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 24	111
รูปที่ 4.57 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 25	112
รูปที่ 4.58 แสดงสัณฐานวิทยาของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยที่กำลังขยาย 300 เท่า	114
รูปที่ 4.59 แสดงสัณฐานวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 1-3 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.60 แสดงสัดส่วนวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 4-6 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	115
รูปที่ 4.61 แสดงสัดส่วนวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 7-9 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	115
รูปที่ 4.62 แสดงสัดส่วนวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 10-12 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	116
รูปที่ 4.63 แสดงสัดส่วนวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 13-15 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	116
รูปที่ 4.64 แสดงสัดส่วนวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 16-18 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	117
รูปที่ 4.65 แสดงสัดส่วนวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 20 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	118
รูปที่ 4.66 แสดงสัดส่วนวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 21 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	118
รูปที่ 4.67 แสดงสัดส่วนวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 22 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	118
รูปที่ 4.68 แสดงสัดส่วนวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 23 ที่กำลังขยาย 300 เท่า	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

ปัจจุบันได้มีการเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ทั้งแวดวงต่างๆรวมถึงแวดวงทางการแพทย์ ซึ่งได้มีการนำเอาวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไหมมาประยุกต์ใช้ เป็นที่ทราบกันดีว่าไหมใช้เป็นเส้นด้ายในการเย็บแผลผ่าตัด นอกจากเหนียวและทนต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์แล้วยังเข้ากับเนื้อเยื่อมนุษย์ได้ดี คุณสมบัติของไหมเหล่านี้จึงเป็นประโยชน์ต่อวงการแพทย์อย่างมากในการที่จะหลอมเส้นไหมแล้วทำให้เป็นแผ่นหรือเป็นหลอดก่อนที่จะเป็นผิวหนังเทียม ต่อเส้นเลือดเทียม คอนแทกเลนซ์ แม้ว่าอุปกรณ์เหล่านี้จะทำได้ด้วยพลาสติก แต่ก็ถูกต่อต้านจากร่างกายสูง ได้มีความพยายามที่จะผลิตสารดูดซับ (absorbant polymers) และสารช่วยย่อย (silk peptides) ที่จะใช้ทางการแพทย์และการอาหารจากสารละลายไฟโบรอิน ซึ่งเมื่อไม่นานมานี้ พบว่ากรดอะมิโนที่พบในไฟโบรอินคือ ไกลซีน (glycine) จะช่วยให้คอเลสเตอรอล และระดับน้ำตาลในเลือดลดลงและอะลานีน (alanine) จะช่วยดับทำงาน เช่น ช่วยให้อาการเมาค้างกลับสู่ภาวะปกติได้เร็วขึ้น ขณะเดียวกัน เซรีน (serine) จะกระตุ้นทำงานของสมองในผู้สูงอายุ ไฟโบรอินจากไหมยังมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นไบโอเซนเซอร์ (biosensors) เพื่อตรวจจับแอนติบอดี (antibodies) [1] ซึ่งใช้ในการวินิจฉัยโรคมะเร็งและโรคเอดส์ได้

ไหม (silkworm) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* อยู่ในวงศ์ Bombycidae [1] ไหมเป็นแมลงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Completely metamorphosis insect) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และผีเสื้อ มีเพียงระยะตัวหนอนเท่านั้นที่กินอาหาร ซึ่งจะนำสารชนิดต่าง ๆ จากใบหม่อนไปสร้างความสำเร็จเติบโต โดยผ่านการย่อยและดูดซึมเป็นปริมาณ 1 ใน 3 ของสารอาหารทั้งหมด ครึ่งหนึ่งของโปรตีนที่ดูดซึมจากใบหม่อนจะถูกนำไปใช้ผลิตสารไหม ซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติและจัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง โดยมีโครงสร้างที่เรียกว่า โปรตีน (protein) โปรตีนที่อยู่ในไหมนี้จะสามารถแยกออกเป็นกรดอะมิโน (amino acid) ได้ทั้งหมด 20 ชนิด และโปรตีนไหมมีองค์ประกอบหลักทางเคมีแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ไฟโบรอิน (fibroin) และเซรีซิน (sericin) โดยส่วนที่เป็นไฟโบรอินนั้นเป็นเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ และส่วนของเซรีซินนั้นเป็นกาวไหมที่ทำให้เส้นใยสองเส้นติดกัน ซึ่งสามารถละลายน้ำได้

ไฮโดรเจล (hydrogel) คือ พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีความชอบน้ำ (จับกับน้ำได้ดี) แต่ไม่ละลายในน้ำในสภาพที่เปียก ปกติแล้วอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไฮโดรเจลจะเป็นน้ำ ถ้าปริมาณน้ำสูงเกิน 95 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจลนั้นจะจัดเป็นสารประเภท ซูเปอร์แอบซอร์บენტ (super absorbent) ไฮโดรเจลจะบวมตัวในน้ำจนถึงจุดปริมาตรสมดุลโดยยังคงรูปร่างเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ สมบัติการขบนำของไฮโดรเจลเกิดจากการที่มีหมู่ฟังก์ชัน (กลุ่มอะตอมที่ทำปฏิกิริยาได้) ที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น ไฮดรอกซิล (-OH) คาร์บอกซิลิก (-COOH) เอไมด์ (-CONH<sub>2</sub> หรือ -CONH-) เป็นต้น โครงสร้างทางเคมีหรือทางกายภาพที่เป็นตาข่ายของไฮโดรเจล ทำให้ไฮโดรเจลสามารถคงรูปร่างอยู่ได้และไม่ละลายในน้ำ การบวมตัวและการหดตัวของเจลเป็นกระบวนการย้อนกลับไปมาได้ เจลที่บวมตัวอาจหดตัวกลับได้ถ้าระเหยน้ำออกไปจนหมด เจลที่ได้จะเรียกว่า ซีโรเจล (xerogel) ปริมาณและลักษณะของโครงร่างตาข่าย โครงสร้างที่เป็นระเบียบและโครงสร้างที่เป็นผลึกจะเป็นสิ่งกำหนดลักษณะเฉพาะของเจลในสภาพที่บวมตัว ไฮโดรเจลที่มีโครงร่างตาข่ายหนาแน่นและ/หรือมีโครงสร้างเป็นระเบียบหรือเป็นผลึกสูงจะดูดซับน้ำได้น้อย นอกจากนี้แล้วสภาวะแวดล้อมรอบๆ ไฮโดรเจล เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด/ด่าง ความแข็งแรงของไอออน เป็นต้น ก็มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลอีกด้วย และนอกจากนี้ไฮโดรเจลยังสามารถเข้ากันได้ดีกับสารชีวภาพในร่างกายมนุษย์ เช่น เลือด น้ำเหลือง และยังสามารถนำมาเคลือบวัสดุที่ต้องสัมผัสกับร่างกายมนุษย์ เช่น เคลือบอวัยวะเทียมที่ใช้ในร่างกาย ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเอาไฮโดรเจลมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ [2]

ในงานวิจัยนี้ได้นำรังไหมสีเหลือง สายพันธุ์ไทยนางน้อย ที่ตัดรังเพื่อเอาหนอนไหมออกและไม่สามารถนำไปใช้ทอผ้าได้แล้ว มาทดลองเป็นวัสดุทางการแพทย์ โดยจะใช้โปรตีนส่วนที่เป็นไฟโบรอินเตรียมเป็นไฮโดรเจล โดยต่อกิ่งกับ 2-hydroxymethylmethacrylate (2-HEMA) และทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา รวมถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรเจลที่สมบูรณ์และมีสมบัติที่ดี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรเจล
2. หาเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา
3. วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของไฮโดรเจล
4. ปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของไฮโดรเจล

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการปรับปรุงสมบัติใยไหมโดยวิธีการต่อกิ่งด้วย 2-hydroxyethyl methacrylate
2. ศึกษาผลและปริมาณของ 2-hydroxyethylmethacrylate ที่มีต่อสมบัติของใยไหม ภายหลังการต่อกิ่ง
3. ศึกษาผลของปริมาณไหมในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาผลของเวลาที่แตกต่างกันในการเกิดปฏิกิริยาต่อกึ่ง
5. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำไหมและ2-HEMAเพื่อที่จะได้ไฮโดรเจลที่มีสมบัติดี
6. ทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของไหมภายหลังการต่อกึ่ง

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารละลายไหมต่อ 2-HEMA เพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่มีสมบัติดี คือ ดูน้ำได้ดี ไม่ยุ่ยและไม่สลายตัวในการใช้งาน
2. ทราบถึงระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการต่อกึ่ง
3. ทราบถึงสมบัติของไฮโดรเจลที่เตรียมได้และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โปรตีน [3]

เป็นชีวโมเลกุลที่มีประกอบด้วยธาตุ C H N O และ S แต่อาจพบ P Fe Zn และ Cu ได้ หน่วยโครงสร้างของโปรตีน คือ กรดอะมิโนที่ต่อกันเป็นสายยาว และอาจมีมากกว่า 1 สาย โปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี (chemical composition) น้ำหนักโมเลกุล การเรียงลำดับ และความยาวสายของกรดอะมิโนที่จำเพาะ



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของโปรตีน [3]

#### 2.1.1 ประเภทของโปรตีน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยอาศัยส่วนประกอบ ดังนี้

1.) Simple protein เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนเพียงอย่างเดียว เช่น เอนไซม์ไรโบนิวคลีเอส (ribonuclease)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของโปรตีนที่เป็น Simple [3]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

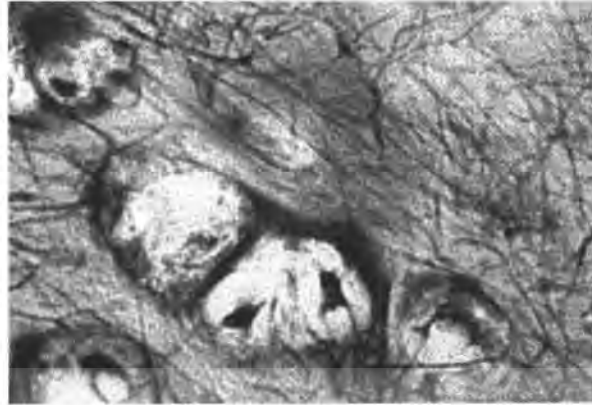
2.) Conjugated protein เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน และส่วนที่ไม่ใช่กรดอะมิโน โดยส่วนที่ไม่ใช่กรดอะมิโน เรียกว่า หมู่พอสเทติก (prosthetic group) ซึ่งมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการทำงาน ของโปรตีน เช่น ไลโปโปรตีน (lipoprotein) มีหมู่พอสเทติก คือ ลิพิด (lipid)

ตารางที่ 2.1 แสดง conjugated protein [3]

ชนิดของโปรตีน	หมู่พอสเทติก	ตัวอย่าง
ไลโปโปรตีน (lipoprotein)	ลิพิด	เบตา-ไลโปโปรตีนในเลือด
ไกลโคโปรตีน (glycoprotein)	คาร์โบไฮเดรต	อิมมูโนโกลบูลิน G (immunoglobulin G)
ฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein)	หมู่ฟอสเฟต	เคซีน (casein) ในน้ำนม
ฮีโมโปรตีน (hemoprotein)	ฮีม (heme หรือ iron porphyrin)	ฮีโมโกลบิน (hemoglobin)
ฟลาโวโปรตีน (flavoprotein)	ฟลาวินนิวคลีโอไทด์ (flavin nucleotide)	ซักซิเนตดีไฮโดรเจเนส (succinate dehydrogenase)
เมทัลโลโปรตีน (metalloprotein)	เหล็ก	เฟอริทิน (ferritin)
	สังกะสี	แอลกอฮอล์ดีไฮโดรเจเนส
	แคลเซียม	แคลโมดูลิน (calmodulin)
	โมลิบดีนัม (molybdenum)	ไดไนโตรเจเนส (dinitrogenase)
	ทองแดง	พลาสโตไซยานิน (plastocyanin)

นอกจากนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยอาศัยโครงรูป (conformation) หรือรูปร่าง 3 มิติ (three dimensional shape) ดังนี้

ก. โปรตีนเส้นใย (fibrous protein) ประกอบด้วยโซพอลิเพปไทด์เป็นเส้นยาวขนานกับแกน ในลักษณะเป็นเส้นใย (fiber) หรือเป็นแผ่น (sheet) มีความแข็ง เหนียว และอาจจะยืดหยุ่นได้ ไม่ละลายในน้ำ หรือในสารละลายเกลือที่เจือจาง เช่น คอลลาเจน (collagen) ของเอ็น (tendon) เมทริกซ์ (matrix) ของกระดูก คีราทิน (keratin) ของเส้นผม ขน เขา และเล็บ ไฟโบรอิน (fibroin) ของเส้นไหม และอีลาสติน (elastin) สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของเส้นใยโปรตีน [3]

ตัวอย่าง

ไฟโบรอิน เป็นโปรตีนในเส้นไหมมีโครงสร้างเป็นแผ่นฉับหรือโครงสร้างแบบตาข่ายไม่ขนาน แต่ละลายไซเพปไทด์ มีทิศทางตรงข้ามกัน การเรียงลำดับของกรดอะมิโนในไซพอลิเพปไทด์ของไฟโบรอิน ประกอบด้วยกรดอะมิโน 6 หน่วยเรียงลำดับเป็นหน่วยซ้ำ ดังนี้ (ไกลซีน-ซีรีน-ไกลซีน-อะลานีน-ไกลซีน-อะลานีน)

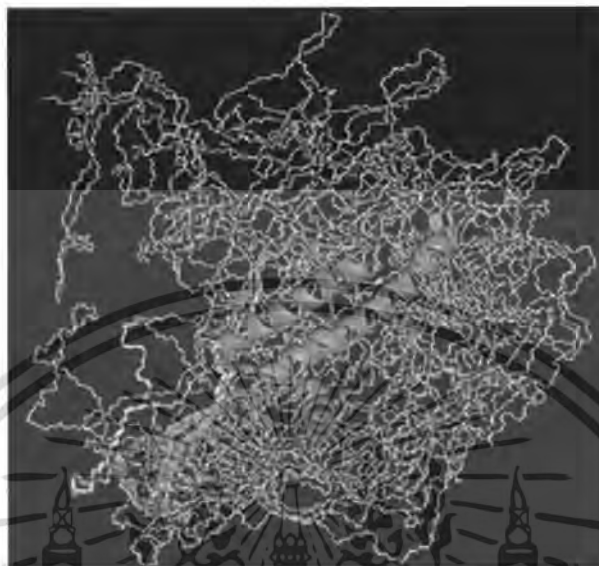


รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของไฟโบรอิน [3]

ข. โปรตีนกลอบูลาร์ (globular protein) ประกอบด้วยไซพอลิเพปไทด์ขดม้วนแน่นในลักษณะกลม โครงสร้างของโปรตีนพวกนี้ประกอบด้วยเกลียวอัลฟา และโครงสร้างเบตาในปริมาณต่างๆ กัน โดยมีหมู่ R ที่โพลาร์ของกรดอะมิโนอยู่ด้านนอกของโมเลกุล และหมู่ R ที่ไม่โพลาร์อยู่ด้านในของโมเลกุล โปรตีนนี้ส่วนใหญ่ละลายในน้ำได้ เช่น เอนไซม์เกือบทุกชนิด แอนติบอดี (antibody) ฮอร์โมนบางชนิด และโปรตีนขนส่งโปรตีนบางชนิดมีคุณสมบัติทั้งโปรตีนเส้นใยและโปรตีนกลอบูลาร์ เช่น ไมโอซิน (myosin) ซึ่งทำหน้าที่ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ และไฟบริโนเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(fibrinogen) ซึ่งมี โครงสร้างเป็นโปรตีนเส้นใยแต่สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือเหมือนโปรตีนกลอบูลาร์



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของโปรตีนกลอบูลาร์ [3]

### 2.1.2 โครงสร้างของโปรตีน [4]

สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ใช้กรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โปรตีน โดยกรดอะมิโนหลายโมเลกุลยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเพปไทด์ ถ้ากรดอะมิโน 2 โมเลกุลเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันจะได้สารประกอบที่เรียกว่า ไดเพปไทด์ กรดอะมิโน 3 โมเลกุลเกิดปฏิกิริยารวมตัวกัน จะได้สารประกอบที่เรียกว่า ไตรเพปไทด์ และถ้ากรดอะมิโนหลายๆ โมเลกุลเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสายยาว จะได้สารประกอบที่เรียกว่า พอลิเพปไทด์ โปรตีนส่วนใหญ่เป็นพอลิเพปไทด์ที่มีมวลโมเลกุลมากกว่า 5,000 ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดและมีจำนวนแตกต่างกัน ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะเพปไทด์และพันธะชนิดอื่นๆ ทำให้โปรตีนมีโครงสร้าง 4 ระดับ ตามความซับซ้อนดังนี้

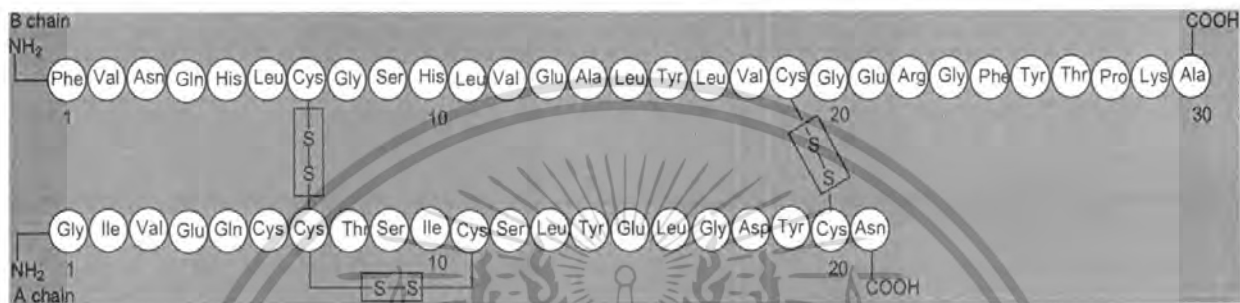
#### 1.) โครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure)

เป็นโครงสร้างอย่างง่ายที่แสดงลำดับของกรดอะมิโนต่างๆ ที่มาจับกันเป็นสายเพปไทด์หรือโมเลกุลโปรตีน ซึ่งแต่ละชนิดจะมีจำนวนและลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะ การจัดลำดับกรดอะมิโนในโครงสร้างปฐมภูมิกำหนดให้ปลายหมู่อะมิโนอยู่ด้านซ้าย และปลายหมู่คาร์บอกซิลอยู่ด้านขวา ถ้าทราบจำนวนและชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบย่อย จะสามารถเขียนลำดับกรดอะมิโนหรือโครงสร้างปฐมภูมิของโปรตีนที่เป็นได้หลายแบบ เช่น ไตรเพปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนไทโรซีน (Tyr) ฮิสทิดีน (His) และซีสเตอีน (Cys) สามารถเขียนลำดับกรดอะมิโนที่ต่อ

กันได้ 6 แบบ ดังนี้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tyr – His – Cys	His – Tyr – Cys	Cys – Tyr – His
Tyr – Cys – His	His – Cys – Tyr	Cys – His – Tyr

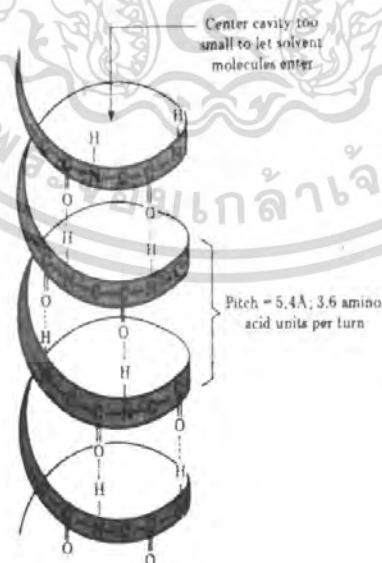
โครงสร้างของอินซูลิน (insulin) ซึ่งประกอบด้วยเพปไทด์สองสาย มีพันธะไดเพปไทด์ 3 พันธะ โดยที่ 2 พันธะเชื่อมต่อกันระหว่างเพปไทด์ทั้ง 2 สาย แต่อีกพันธะหนึ่งอยู่ในโซ่เดียวกัน



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างปฐมภูมิของอินซูลิน [4]

## 2.) โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure)

เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการขดหรือม้วนตัวของโครงสร้างปฐมภูมิ ซึ่งแสดงรูปร่างที่เป็นระเบียบของโปรตีนที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่าง  $C=O$  ในหน่วยของกรดอะมิโนกับหมู่  $-NH$  ในหน่วยของกรดอะมิโนอีกหน่วยหนึ่ง

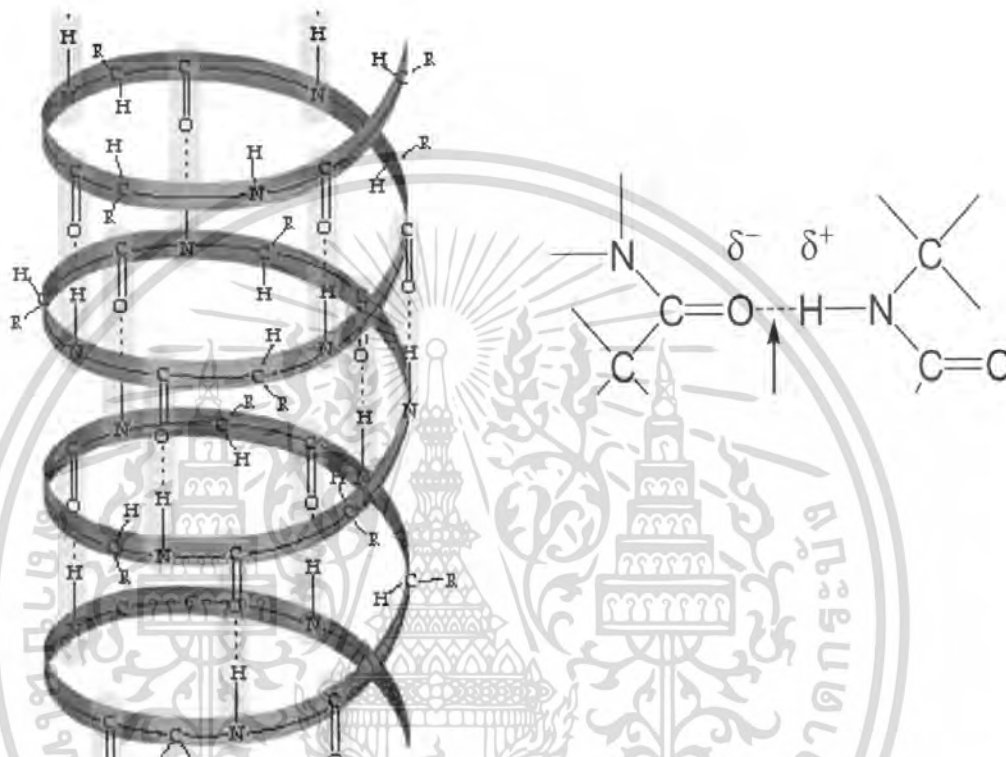


รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างทุติยภูมิแบบแอลฟาเฮลิกซ์ ( $\alpha$ -helix) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างแบบทุติยภูมิจึงมีได้ 2 แบบ คือ

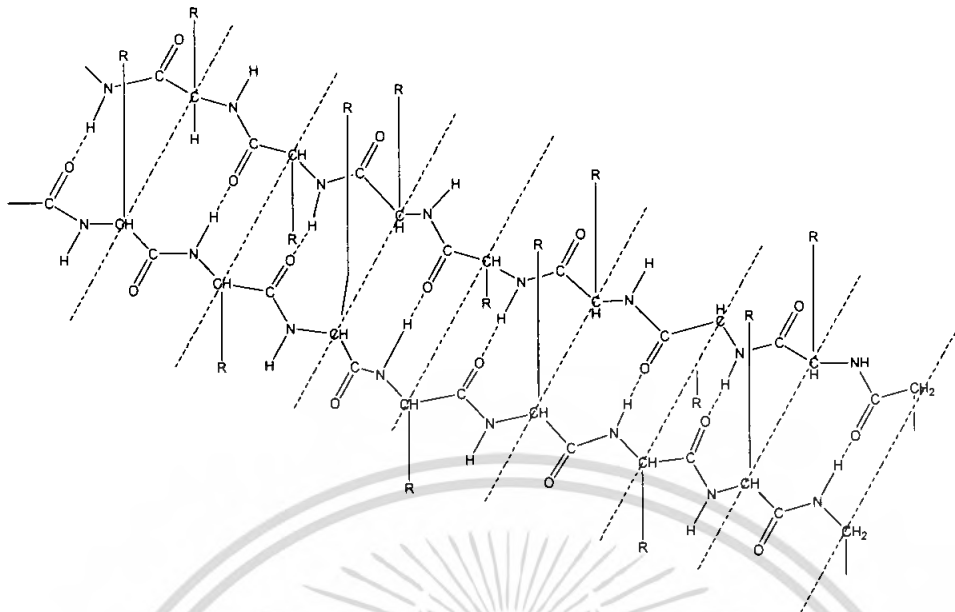
ก. โครงสร้างแบบเกลียวแอลฟาหรือแอลฟาเฮลิกซ์ ( $\alpha$ -helix) มีรูปร่างเป็นเกลียว เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอนิล ( $-\text{CO}-$ ) กับหมู่เอมิโน ( $-\text{NH}_2$ ) อีก 4 หน่วยสายพอลิเพปไทด์เดียวกันในไซ่เดียวกัน



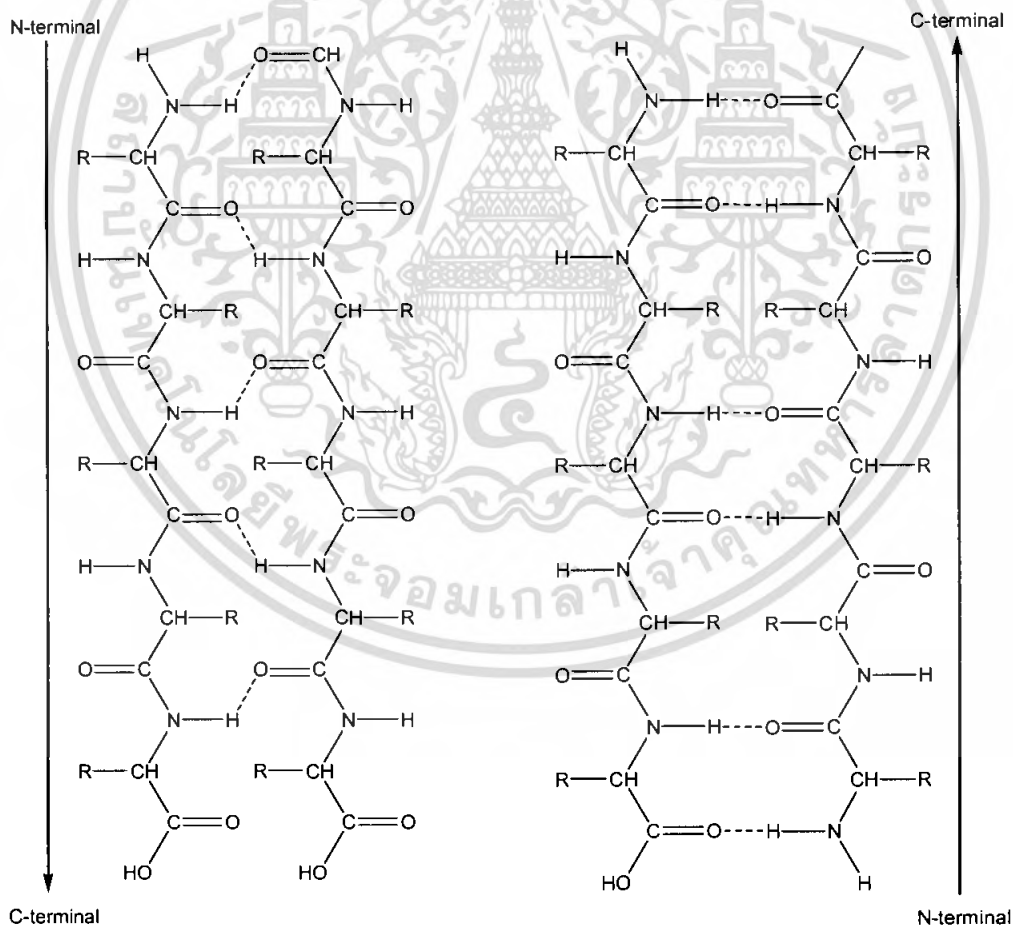
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างแบบเกลียวแอลฟาหรือแอลฟาเฮลิกซ์ ( $\alpha$ -helix) [4]

ข. โครงสร้างแบบปลีตบีตา ( $\beta$ -pleated sheet) มีสายไซ่ที่พับเป็นจีบเนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนระหว่าง  $\text{C} = \text{O}$  กับ  $\text{N} - \text{H}$  ของกรดอะมิโนในระหว่างสายไซ่ที่ขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทุติยภูมิแบบปี่ตาพลัดเต็ดซิด (β-pleated sheet) [4]



(ก) การวางขนานของโซ่แบบหัน

ซีเทอร์มินัลไปทางทิศเดียวกัน

(ข) การวางขนานของโซ่แบบหัน

ซีเทอร์มินัลไปสวนทิศกัน

รูปที่ 2.10 แสดงการจัดเรียงตัวของสายโซ่โปรตีนทุติยภูมิ [4]

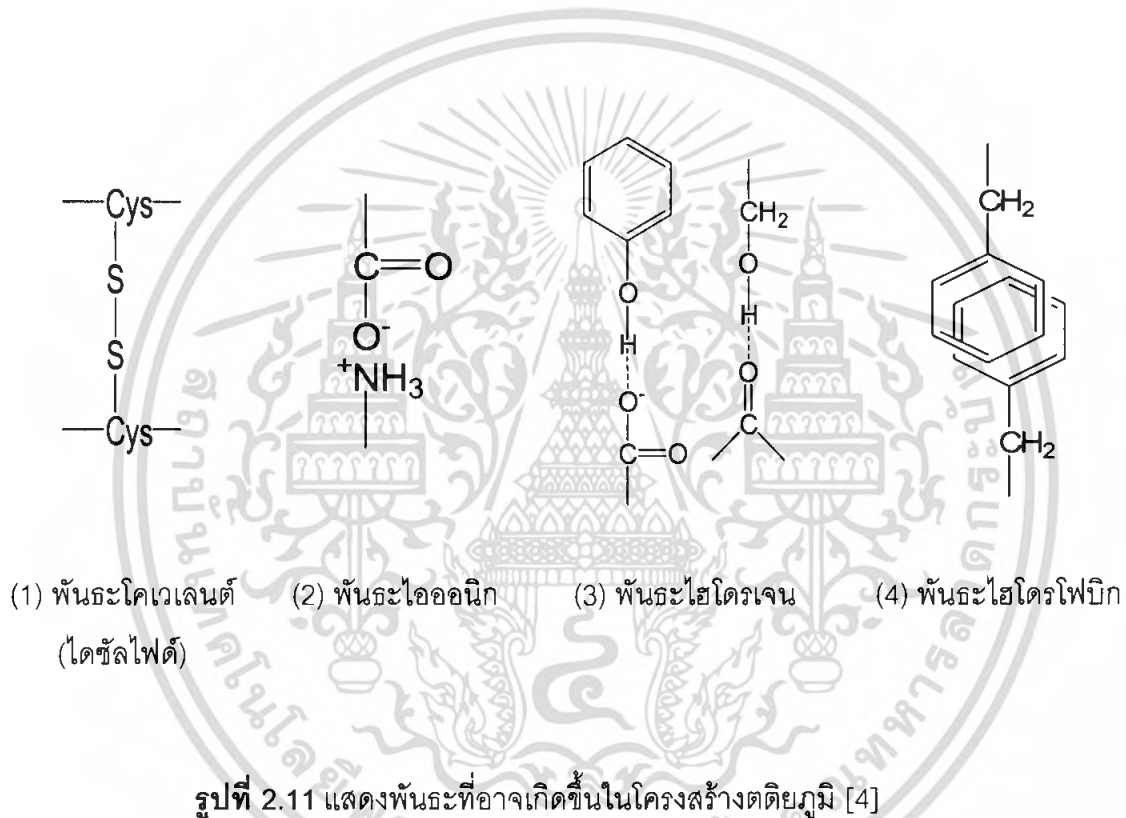
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางขนานสายโซ่อาจหันซี-เทอร์มินัล (C-terminal: ปลายด้านที่มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระ) ไปทางทิศเดียวกันหรือวางขนานแบบหันซี-เทอร์มินัลให้สวนทิศทางกันก็ได้

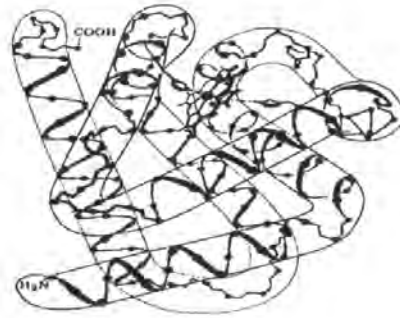
นอกจากพันธะไฮโดรเจนแล้ว ยังมีพันธะอื่น ๆ เกิดขึ้นด้วย คือ พันธะไอออนิก หรือพันธะไดซัลไฟด์ ( $-S-S-$ ) ในกรณีที่มีกรดอะมิโนซิสเตอีนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลอยู่ด้วย

### 3.) โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure)

โครงสร้างตติยภูมิเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้น เนื่องจากมีพันธะ และ/หรือ แรงกระทำระหว่างหมู่ที่อยู่ในหน่วยของกรดอะมิโน ได้แก่ พันธะไดซัลไฟด์ พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน และแรงไฮโดรโฟบิก



โครงสร้างตติยภูมิเกิดจากโครงสร้างเกลียวแอลฟา ( $\alpha$ -helix) ม้วนเข้าหากันและไขว้เข้าหากัน โดยมีแรงยึดเหนี่ยวอ่อน ๆ คล้ายกับโครงสร้างทุติยภูมิ โครงสร้างตติยภูมิของโปรตีนแต่ละชนิดจะมีลักษณะจำเพาะขึ้นอยู่กับลำดับของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์ ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีความเหมาะสมสำหรับทำหน้าที่ต่าง ๆ ของโปรตีน



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของไมโอโกลบิน [4]

ไมโอโกลบิน (myoglobin) เป็นโปรตีนชนิดโกลบูลิน (ก้อนกลม) ประกอบด้วยหน่วยของกรดอะมิโนที่มีทั้งหมด 153 หน่วย จุดเล็กๆ ที่แสดงในภาพแสดงหน่วยของกรดอะมิโนที่มาจับกัน ส่วนลักษณะที่เป็นเส้นทึบ (เกลียว) นั้น คือโครงสร้างแบบทุติยภูมิ จะมีการพับและม้วนของโซ่จนกระทั่งเกิดการฟอร์มโครงสร้างที่แท้จริง ซึ่งมีพันธะและแรงต่างๆ ที่ทำให้ไมโอโกลบินม้วนเป็นก้อนกลม โครงสร้างตติยภูมินี้มีความสำคัญต่อการทำงานของเฮมไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนโดยที่เฮมไซม์จะเข้าจับกับ สับสเตรต ได้ดีหรือไม่ขึ้น ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเฮมไซม์และสับสเตรตนั้น

#### 4.) โครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure)



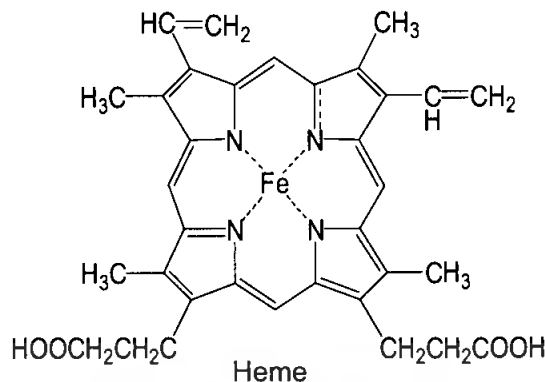
ฮีโมโกลบิน

รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของฮีโมโกลบิน [4]

โครงสร้างจตุรภูมิเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้นไปกว่าโครงสร้างแบบตติยภูมิมาก เกิดจากการรวมตัวของหน่วยย่อยชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันของโครงสร้างตติยภูมิ โดยมีแรงยึดเหนี่ยวเหมือนกับในโครงสร้างทุติยภูมิ และตติยภูมิ ลักษณะโครงสร้างใหม่ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างตติยภูมิซึ่งเป็นหน่วยย่อย โดยอาจมีการรวมตัวกันเป็นก้อนกลม เช่น ฮีโมโกลบิน หรือเป็นมัดคล้ายเส้นใย

เช่น คอลลาเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของฮีม [4]

โปรตีนบางชนิดโมเลกุลประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์มากกว่าหนึ่งแต่ละโซ่ถือเป็นหน่วยย่อย (subunit) การจับกลุ่มกันของหน่วยย่อยที่มีทั้งหมดในโมเลกุลโดยแรงกระทำอิเล็กโทรสแตติก ซึ่งไม่พบในพันธะโคเวเลนต์ ทำให้เกิดโครงสร้างแบบจตุรภูมิ ตัวอย่างเช่น ฮีโมโกลบินประกอบด้วย 4 หน่วยย่อยคือ โซ่พอลิเพปไทด์ชนิดแอลฟาคู่หนึ่ง ซึ่งมีหน่วยย่อยของกรดอะมิโน 141 หน่วย และโซ่พอลิเพปไทด์ชนิดบีตาอีกคู่หนึ่งซึ่งมีหน่วยย่อยของกรดอะมิโน 146 หน่วยแต่ละโซ่จะจับกับโมเลกุลของฮีม (heme) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนที่เรียกว่าหมู่โพรสแตติก (prostatic) ทำหน้าที่รับออกซิเจนเข้าไปที่เนื้อเยื่อ

### 2.1.3 ชนิดและหน้าที่ของโปรตีน [4]

หน้าที่ของโปรตีนแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนนั้น ส่วนโครงสร้างของโปรตีนขึ้นอยู่กับกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของสายพอลิเพปไทด์

โปรตีนแบ่งตามลักษณะการจัดตัวในโครงสร้างสามมิติ 2 ชนิด

1) โปรตีนก้อนกลม (globular protein) เกิดจากสายพอลิเพปไทด์รวมตัวม้วนพับพันกัน และอัดแน่นเป็นก้อนกลม ละลายน้ำได้ดี ทำหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ตัวอย่างเช่น เอนไซม์ ฮอร์โมนอินซูลิน ฮีโมโกลบิน โกลบูลินในพลาสมา

2) โปรตีนเส้นใย (Fibrous protein) เกิดจากสายพอลิเพปไทด์พันกันในลักษณะเหมือนเส้นใยยาว ๆ ละลายน้ำได้น้อย ส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นโปรตีนโครงสร้าง เพราะมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง ตัวอย่างเช่น ไฟโบรอินในเส้นไหม อีลาสตินในเอ็น คอลลาเจนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เคราตินในผม ขน เล็บ ครีป กีบสัตว์ ไมโอซินในกล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีน สามารถแบ่งตามหน้าที่ได้ 6 ประเภท ซึ่งมีหน้าที่ และตัวอย่างดังนี้

- โปรตีนเร่งปฏิกิริยา (เอนไซม์)
- โปรตีนโครงสร้าง
- โปรตีนขนส่ง
- โปรตีนสะสม
- โปรตีนป้องกัน
- โปรตีนฮอร์โมน

ตารางที่ 2.2 ชนิดและหน้าที่ของโปรตีนแสดงดังตารางต่อไปนี้ [5]

ชนิดของโปรตีน	หน้าที่	ตัวอย่างและแหล่งที่พบ
โปรตีนเร่งปฏิกิริยา	เร่งปฏิกิริยาในเซลล์สิ่งมีชีวิต	- เอนไซม์ เช่น เอนไซม์อะไมเลส เอนไซม์ฟอสฟาเตส
โปรตีนโครงสร้าง	ให้ความแข็งแรงและช่วยคงรูปร่างโครงสร้างต่างๆ ของร่างกาย	- คอลลาเจน ซึ่งพบในกระดูก เอ็น และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน - เคราติน พบในกระดูก ขน ผม เล็บ กีบสัตว์ ผิวหนัง
โปรตีนขนส่ง	ขนส่งสารไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย	- ฮีโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดงพาออกซิเจนไปสู่เนื้อเยื่อต่างๆ - ทรานสเฟอร์ริน นำธาตุเหล็กในน้ำเลือดจากบริเวณที่สะสมไปยังม้ามตับและกระดูก
โปรตีนสะสม	สะสมธาตุต่างๆ	- เฟอร์ริทิน สะสมธาตุเหล็กในตับ ม้ามและไขกระดูก
โปรตีนป้องกัน	ป้องกันและกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาภายในเซลล์ เช่น แบคทีเรีย	- แอนติบอดี
โปรตีนฮอร์โมน	ทำหน้าที่แตกต่างกันตามชนิดของฮอร์โมน เช่น - ควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกาย - ควบคุมการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต	- โกรทฮอร์โมน (Growth hormone ) - อินซูลิน กลูคากอน สร้างที่ตับอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.4 สมบัติของโปรตีน [5]

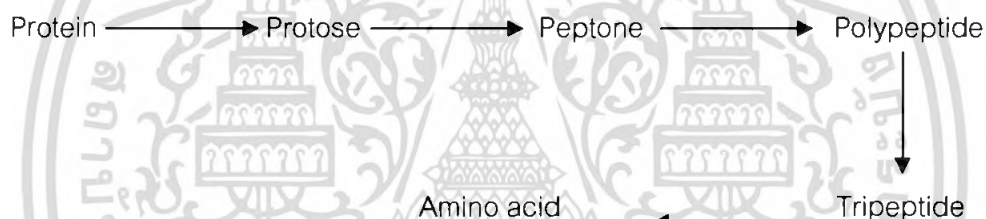
#### 1.) สมบัติทางกายภาพของโปรตีน

- ไม่ละลายน้ำแต่บางชนิดละลายน้ำได้เล็กน้อยในสภาพคอลลอยด์
- มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่
- สถานะเป็นของแข็ง
- เผาแล้วจะเกิดกลิ่น

#### 2.) สมบัติทางเคมีของโปรตีน

โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้หลายปฏิกิริยา ดังนี้

ก. ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส(Hydrolysis reaction) โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ โดยมีสารละลายกรด-เบส หรือเอนไซม์บางชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โปรตีนจะถูกไฮโดรลิซิสจากโมเลกุลใหญ่ค่อยๆ กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ และถ้าการเกิดไฮโดรลิซิสเป็นไปอย่างสมบูรณ์ที่สุดจะได้กรดอะมิโน เขียนสมการเกิดไฮโดรลิซิส ได้ดังนี้



ข. ปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีน(Biuret reaction) เป็นปฏิกิริยาเฉพาะสำหรับทดสอบโปรตีน และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลสโปรตีนที่ยังมีพันธะเพปไทด์อยู่เช่น Protose, Peptone, Polypeptide และ Tripeptide โดยนำมาทำปฏิกิริยาสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ในเบส  $\text{NaOH}$  ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาให้สีต่างๆกันตั้งแต่สีน้ำเงินหรือม่วงจนถึงชมพูซึ่งสีเหล่านี้เป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนของทองแดงกับสารที่มีพันธะเพปไทด์ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไปเรียกปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีนดังกล่าวนี้ว่า Biuret reaction ถ้าเป็นโปรตีนจะได้สารประกอบสีน้ำเงินอมม่วงถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลสโปรตีนจะให้สีต่างกัน ตั้งแต่สีม่วงจนถึงสีชมพูซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล สำหรับกรดอะมิโนจะไม่เกิดปฏิกิริยาเฉพาะที่จะให้ผลกับสารที่มีพันธะเพปไทด์ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป

ค. การแปลงสภาพของโปรตีน (Denature of protein) การที่โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากยึดติดกันด้วยพันธะเพปไทด์ ซึ่งภายในโมเลกุลอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งกันและกันทำให้โมเลกุลมีลักษณะเป็นเกลียว เป็นแผ่น มีการขดม้วนตัวด้วยแรงวาลเดออร์วัลส์ พันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติแบบต่างๆ โครงสร้างเหล่านี้อาจจะเปลี่ยนแปลงได้เพราะแรงดังกล่าวถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำลาย เช่น เกิดการคลายเกลียวของโปรตีนก่อนกลม เป็นสายโปรตีนที่ไร้ระเบียบและเกิดการสูญเสียสมรรถนะทางชีวภาพ โปรตีนจะเกิดการแข็งตัวและไม่ละลายน้ำ

### 3.) ปัจจัยที่มีผลต่อการแปลงสภาพโปรตีน

ก. ความร้อน มีผลให้สมบัติของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปได้ เช่น ไข่ขาวดิบละลายน้ำได้ แต่ถ้าต้มไข่ขาวให้สุกจะไม่ละลายน้ำ การต้มไข่ในน้ำที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  จะทำให้โปรตีนในไข่แข็งตัว

ข. สารละลายกรดและสารละลายเบส เมื่อค่าพีเอชของโปรตีนเปลี่ยนไป เนื่องจากได้รับหรือเสียโปรตอน ( $\text{H}^+$ ) ซึ่งทำให้โปรตีนเกิดประจุขึ้นและสามารถจับไอออนอื่นได้ ทำให้โปรตีนตกตะกอน เช่น เติมสารละลายกรดแอสติก หรือสารละลาย  $\text{NaOH}$  ลงในนมหรือไข่ขาวดิบ จะเกิดการจับตัวเป็นก้อนและตกตะกอน

ค. ตัวทำลายอินทรีย์ที่มีพันธะไฮโดรเจน เช่น แอลกอฮอล์จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโปรตีน โปรตีนเกิดการแข็งตัวและละลายน้ำได้น้อยลง หลักการนี้นำไปใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การฆ่าเชื้อโรคพวกแบคทีเรียด้วยแอลกอฮอล์ โปรตีนในแบคทีเรียจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแอลกอฮอล์ ทำให้โปรตีนในแบคทีเรียแปลงสภาพ แบคทีเรียจะตาย โดยมากจะใช้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 70

ง. ไอออนของโลหะหนัก เช่น สารประกอบของตะกั่ว แคดเมียมปรอท ไอออนเหล่านี้จะไปจับกับกรดอะมิโนตรงด้านที่เป็นกรด เกิดเป็นเกลือคาร์บอกซิเลตได้ ซึ่งทำให้โปรตีนละลายน้ำได้น้อยลง และเกิดการแปลงสภาพไป การแปลงสภาพของโปรตีนเป็นวิธีนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ ในการล้างท้องผู้ป่วยรับประทานพิษ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีไอออนของโลหะหนัก แพทย์จะให้คนไข้รับประทานไข่ขาวดิบ ไอออนของโลหะหนักจะเกิดการรวมตัวกับไข่ขาวดิบ เกิดการแปลงสภาพแล้วทำให้เกิดการอาเจียนออกมาก่อนที่จะไอออนของโลหะหนักจะเข้าไปสู่เซลล์ของร่างกายไปทำการแปลงสภาพโปรตีนซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย ในสภาพความเข้มข้นของเกลือบางชนิด เช่น  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ความเข้มข้นสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการละลายได้น้อยลง เพราะไอออนของเกลือดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโปรตีนที่ละลายไม่ได้จึงเกิดการตกตะกอนมิใช่การแปลงสภาพ

## 2.2 ไหม(Silks) [6-8]

หนอนไหม (Silkworm) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* อยู่ในวงศ์ Bombycidae หนอนไหมเป็นแมลงที่ที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Completely metamorphosis insect) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และผีเสื้อ มีเพียงระยะตัวหนอนเท่านั้นที่กินอาหารซึ่งจะนำสารชนิดต่างๆ จากใบหม่อนไปสร้างความเร็วเติบโต โดยผ่านการย่อยและดูดซึมเป็นปริมาณ 1 ใน 3 ของสารอาหารทั้งหมด ครึ่งหนึ่งของโปรตีนที่ดูดซึมจากใบหม่อนจะถูกนำไปใช้ผลิตเส้นไหม เมื่อถึงวัย 5 วันแรกต่อมไหม (Silk gland) จะหนักเพียง 6.36% ของน้ำหนักเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวไหม เมื่อไหมสุกก่อนเข้าทำรัง ต่อมาไหมจะหนักถึง 41.97% จะเห็นว่าปลายวันที่ 5 สารอาหาร โดยเฉพาะโปรตีนเกือบทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นสารที่ใช้ชักใยทำรังหรือเส้นไหมนั่นเอง และเป็นเส้นใยที่มีคุณค่ามหาศาลหาที่เปรียบมิได้ ไหมเป็น "ราชินีแห่งเส้นใย" ที่ได้มาจากโปรตีนที่หนอนไหมขับออกมาเพื่อป้องกันตัวเองขณะเป็นดักแด้ เส้นใยที่ได้มีความยาวต่อเนื่อง (Filament) เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากโปรตีนเช่นเดียวกับเส้นใยขนสัตว์ เส้นไหมเกิดจากการพันออกของตัวหนอนไหม การสังเคราะห์โปรตีนในเส้นไหมทำได้ในเซลล์ของต่อมไหมที่อยู่ในตัวหนอนไหมสารไหมเหลว (Liquid silk) สามารถขับออกมาจากต่อมไหมส่วนท้าย (Posterior silk gland) หลังจากนั้นจะส่งสารไหมเหลวไปที่ต่อมไหมส่วนกลาง (Middle silk gland) ในระหว่างที่อยู่ในต่อมไหมส่วนกลาง สารไหมเหลวจะมีการเปลี่ยนรูปกลายเป็นเจลาติน (Gelatin) ที่มีความแข็งแรงขึ้นในต่อมไหมส่วนกลางยังมีต่อมที่สามารถสร้างโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเป็นกาวในการเคลือบเจลาตินที่ได้เรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า เซรีซิน (Sericin) หลังการนั้นเจลาตินจะมีความเหนียวและแข็งขึ้นโดยอาศัยการสายหัวไปมาของตัวหนอนไหม อาการเคลื่อนไหวจะเกิดขึ้นที่บริเวณต่อมไหมส่วนหน้า เรียกเจลาตินที่มีความเหนียวขั้นนี้ว่า ไฟโบรอิน (Fibroin) หลังจากที่มีการรวมกันของไฟโบรอิน 2 เส้นและมีการเชื่อมติดกันด้วยกาวไหมเซรีซิน จะมีการผ่านรูขนาดเล็ก (Orifice of spinneret) ออกมาจากตัวหนอนไหม และได้เป็นเส้นใยที่ใช้ในการทำเครื่องนุ่งห่มหรือสิ่งทอต่างๆสามารถจำแนกไหมออกเป็นสองประเภทดังนี้

### 2.2.1 ไหมเลี้ยง (Mulberry silk)

เป็นหนอนไหมที่มนุษย์เพาะเลี้ยงโดยให้อาหาร คือ ใบหม่อน (Mulberry leaves) สดๆซึ่งไหมชนิดนี้มีสีค่อนข้างขาวและหลังการลอกกาวจะมีความมันเงาเพิ่มขึ้น

### 2.2.2 ไหมป่า (Wild silk)

เป็นไหมที่มนุษย์ไม่ได้เพาะเลี้ยงโดยปกติไหมทาทาร์ (Tussah silk) มีแหล่งกำเนิดอยู่ที่จีนและอินเดียเลี้ยงด้วยใบโถกซึ่งไหมป่าจะให้เส้นใยที่มีสีน้ำตาล หยาบและไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับเส้นใยจากไหมเลี้ยง

ไหมไทยถือว่าเป็นไหมเลี้ยงซึ่งเป็นตัวอ่อนของผีเสื้อกลางคืนชนิดหนึ่งเป็นแมลงในอันดับเลพิโดปเทอรา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* มีชื่อสามัญว่า silkworm วงศ์ Bombycidae เป็นพันธุ์ไหมที่มีคุณภาพดีที่สุคนิยมเลี้ยงกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ปัจจุบันการเลี้ยงไหมและการผลิตไหมได้รับการส่งเสริมให้ทำเป็นระบบอุตสาหกรรมแบบ Sericulture ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับการพัฒนามาจากประเทศญี่ปุ่นแต่มีลักษณะที่แตกต่างกันเนื่องจากเส้นใยมีสีเหลืองและค่อนข้างหยาบ ไหมไทยมีส่วนประกอบที่เป็นกาวไหมปริมาณมากถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

38% มากกว่าไหมเลี้ยงชนิดอื่นๆ ซึ่งปกติมีภาวะไหมเพียง 20-25% เท่านั้นทำให้เส้นไหมไทยมีลักษณะเฉพาะตัวเมื่อทอผ้าไหมจัดเป็นเส้นไหมที่หรูหรา สวยงาม มีเอกลักษณ์เป็นของตัวเอง ซึ่งเส้นไหมอื่นไม่สามารถเทียบได้ มีสมบัติที่เหมาะสมแก่การทำเสื้อผ้า เพราะให้ความสบายความสวยงามดูมีค่าและมีความทนทานแข็งแรงที่สุดในบรรดาเส้นไหมธรรมชาติทั้งหมด

### 2.2.3 พันธุ์ไหมในประเทศไทย [9-10]

พันธุ์ไหมในประเทศไทยมีจำนวนประมาณ 28 พันธุ์ โดยมีทั้งพันธุ์แท้ของไทยและพันธุ์ผสมที่ได้จากการพัฒนา ในที่นี้จะยกตัวอย่างพันธุ์ไหมที่สำคัญและที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

#### 1.) พันธุ์นางน้อย

##### ลักษณะประจำพันธุ์

1. หนอนไหมลำตัวสีขาวนวล ไม่มีจุดประ ไหมสุกจะมีสีเหลืองใส
2. อายุหนอนไหม 18-22 วัน
3. จำนวนไข่ไหม 378 ฟองต่อแม่
4. วางไข่ตลอดปี ไข่ไหมเหลืองอ่อน
5. รังไหมสีเหลือง หัวรังบ้าน ทำรังค่อนข้างแหลมขนาดความยาว 3 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร
6. น้ำหนักรังสดเฉลี่ย 0.96 กรัมต่อรัง
7. เปอร์เซ็นต์เปลือกรัง 12.8-13.5 %
8. ผลผลิตรังไหมเฉลี่ย 12-13 กิโลกรัมต่อแผ่น (50 แม่)
9. ความยาวเส้นไหมต่อรัง 370-410 เมตร

##### ลักษณะเด่น

1. เป็นไหมพันธุ์แท้สายพันธุ์ไทยที่มีความแข็งแรงเลี้ยงง่าย เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในประเทศไทย
2. จำนวนไข่ต่อแม่สูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองที่เกษตรกรเลี้ยงอยู่เดิม
3. สามารถเลี้ยงได้ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง 33-35 องศาเซลเซียส

#### 2.) พันธุ์นางลาย

##### ลักษณะประจำพันธุ์

1. หนอนไหมสีขาวลายคาดดำตลอดลำตัว
2. อายุหนอนไหม 19-21 วัน
3. จำนวนไข่ไหม 320-350 ฟองต่อแม่
4. วางไข่ตลอดปี ไข่ไหมสีเหลืองอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. รังไหมสีเหลือง หัวรังปานท้ายแหลม ขนาดความยาว 3.21-3.67 เซนติเมตร กว้าง 1.2-1.45

เซนติเมตร

6. น้ำหนักรังสดเฉลี่ย 0.678-1.64 กรัมต่อรัง

7. เปอร์เซ็นต์เปลือกรัง 11-14 %

8. ผลผลิตรังไหมเฉลี่ย 12-13 กิโลกรัมต่อแผ่น (50 แม่)

9. ความยาวเส้นใยต่อรังเฉลี่ย 311 เมตร

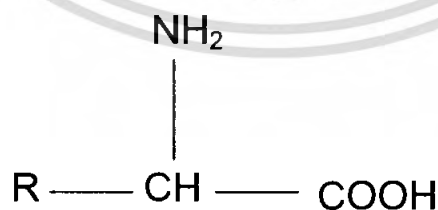
ลักษณะเด่น

1. ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง

2. เปอร์เซ็นต์รังเสียต่ำ

ข้อจำกัด รังไหมมีชีไหมค่อนข้างมาก

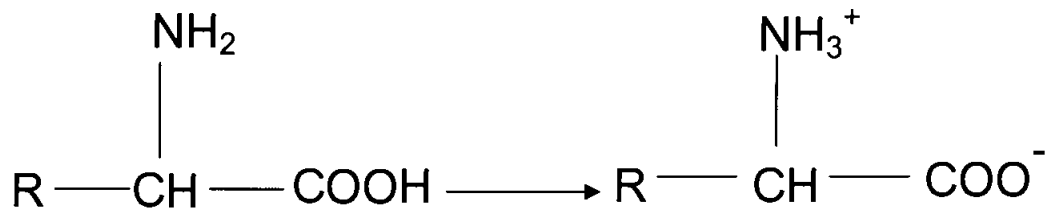
เส้นใยไหมมีปริมาณของซัลเฟอร์จำนวนเล็กน้อยมาก[5] เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมวลโมเลกุลสูง โปรตีนทุกชนิดประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน (O) และกำมะถัน (S) แต่โปรตีนบางชนิดมีธาตุฟอสฟอรัส (P) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) เพิ่มเข้ามา เส้นไหมเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่าโปรตีน (Protein) สามารถถูกแยกออกจากโปรตีนได้โดยการไฮโดรไลส์ด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด ดังตารางที่ 2.3 โดยแต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวเรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์ ต่อกันอยู่ในลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีการแตกกิ่งพันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมอยู่ระหว่างกรดอะมิโนมีชื่อว่า พันธะเพปไทด์ ซึ่งพันธะนี้เป็นพันธะเอไมด์ที่เกิดการสูญเสียน้ำจากหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับหมู่แอลฟาอะมิโนของกรดอะมิโนที่อยู่ถัดไป โมเลกุลของโปรตีนอาจประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เพียงโซ่เดียวหรือมากกว่าก็ได้โดยมีความยาวที่แตกต่างกันออกไป โดยมีกรดอะมิโนตั้งแต่ประมาณ 40 ถึงมากกว่า 4,000 หน่วย ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี มวลโมเลกุล และการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะโดยกรดอะมิโนมีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ



ภายในโมเลกุลของกรดแอลฟาอะมิโน จะมีหมู่อะมิโนต่ออยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอนของกรดคาร์บอกซิลิก (กรดอะมิโนทุกตัวมีแอลฟาคาร์บอน ยกเว้นไกลซีน) แต่เนื่องจากเอมีนเป็นเบสและคาร์บอกซิลิกเป็นกรดจึงเกิดการส่งผ่านโปรตอนจากกรดให้เบส ซึ่งสูตรโมเลกุลของกรดอะมิโนจึงเขียน

อยู่ในรูปที่แตกตัวเป็นไอออน หรือรูปที่มีประจุสองขั้วได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เส้นไหมเป็นเส้นใยที่เป็นสารประกอบประเภทพอลิเอไมด์ (Polyamide) เกิดจากการมีหน่วยของโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่า กรดอะมิโน (Amino acid) มาต่อกันเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ด้วยพันธะเปปไทด์

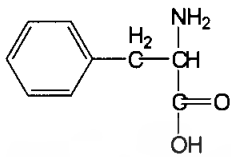
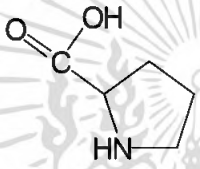
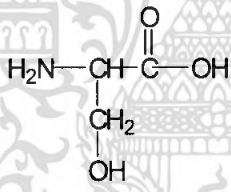
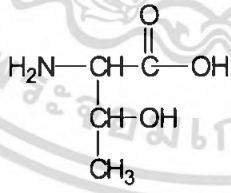
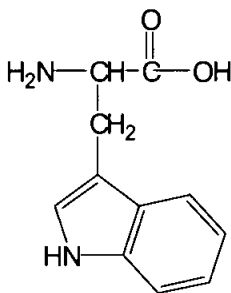
ตารางที่ 2.3 แสดงชื่อของกรดแอลฟาอะมิโนที่พบมากในธรรมชาติมี 20 ชนิด พร้อมทั้งแสดงสูตรโครงสร้าง และจุดไอโซอิเล็กทริก [5]

ชื่อกรดอะมิโน ที่เป็นกลาง	โครงสร้าง	จุดไอโซอิเล็กทริก (pH)	มวล โมเลกุล
อะลานีน (Alanine) Ala (A)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	6.0	89
แอสพาราจีน (Asparagine) Asn (N)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.4	132
ซีสเตอีน (Cysteine) Cys (C)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{SH} \end{array}$	5.0	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อกรดอะมิโน ที่เป็นกลาง	โครงสร้าง	จุดไอโซอิเล็กทริก (pH)	มวล โมเลกุล
กลูตามีน (Glutamine) Gln (Q)	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $	5.7	146
ไกลซีน (Glycine) Gly (G)	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  \text{H}  \end{array}  $	6.0	75
ไอโซลิวซีน (Isoleucine) Ile (I)	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $	6.0	131
ลิวซีน (Leucine) Leu (L)	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}-\text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $	6.0	131
เมไทโอนีน (Methionine) Met (M)	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{S} \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $	5.7	149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

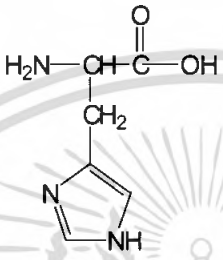
ชื่อกรดอะมิโน ที่เป็นกลาง	โครงสร้าง	จุดไอโซอิเล็กทริก (pH)	มวล โมเลกุล
ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) Phe (F)		5.9	165
โพรลีน (Proline) Pro (P)		6.3	115
เซรีน (Serine) Ser (S)		5.7	105
ทรีโอนีน (Threonine) Thr (T)		5.6	119
ทริปโตเฟน (Tryptophan) Trp (W)		5.9	204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อกรดอะมิโน ที่เป็นกลาง	โครงสร้าง	จุดไอโซอิเล็กทริก (pH)	มวล โมเลกุล
ไทโรซีน (Tyrosine) Tyr (Y)	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C}_6\text{H}_4 \\    \\  \text{OH}  \end{array}  $	5.7	181
วาเลีน (Valine) Val (V)	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $	6.0	117

ชื่อกรดอะมิโน ที่เป็นกรด	โครงสร้าง	จุดไอโซอิเล็กทริก (pH)	มวล โมเลกุล
กรดแอสปาร์ติก (Aspartic acid) Asp (D)	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C}(=\text{O})-\text{OH}  \end{array}  $	3.0	133
กรดกลูตามิก (Glutamic acid) Glu (E)	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C}(=\text{O})-\text{OH}  \end{array}  $	3.2	147

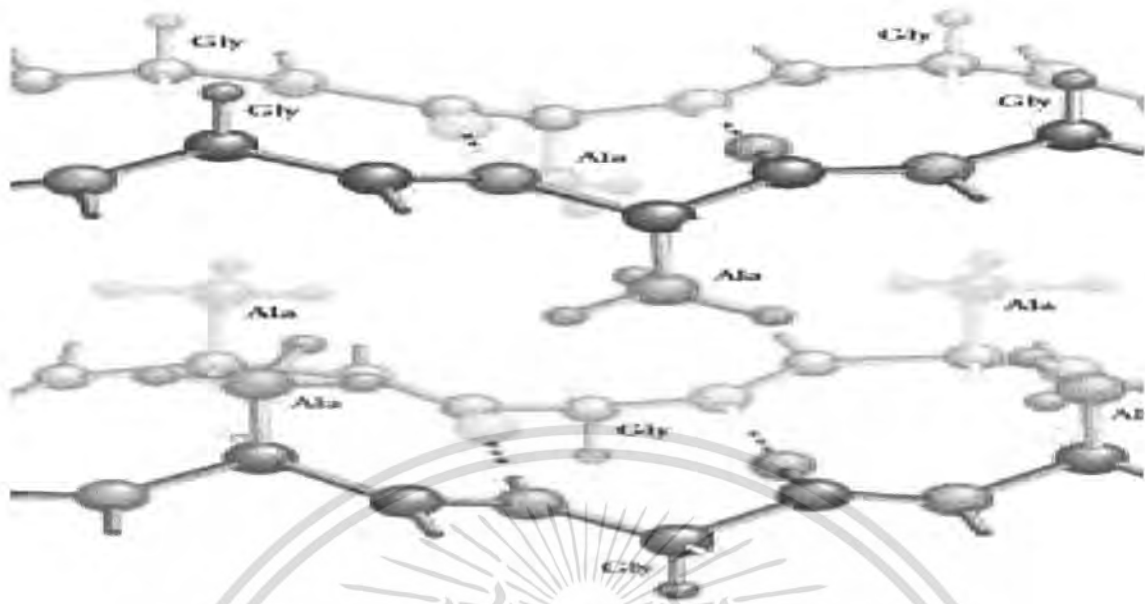
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อกรดอะมิโน ที่เป็นเบส	โครงสร้าง	จุดไอโซอิเล็กทริก (pH)	มวล โมเลกุล
อาร์จินีน (Arginine) Arg (R)	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{NH}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{CH}-\text{NH}_2$	10.8	174
ฮิสติดีน (Histidine) His (H)	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{CH}_2}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{COOH}$ 	7.6	155
ไลซีน (Lysine) Lys (K)	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{CH}-\text{NH}_2$	9.7	146

### 2.3 ไหมไฟโบรอิน (Silk Fibroin) [5]

โปรตีนเส้นไหมมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ โปรตีนที่เรียกว่าไฟโบรอิน (Fibroin) เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ (ประมาณ 78% ของน้ำหนักไหมดิบ) ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 15 ชนิด กรดอะมิโนหลักๆ ที่พบในเส้นไหมได้แก่ ไกลซีน (Glycine, 40%) อะลานีน (Alanine, 29%) และ เซรีน (Serine, 12%) แต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R (โซ่ข้าง) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า โพลิเพปไทด์เป็นเส้นยาวขนานกับแกนในลักษณะเป็นเส้นใยหรือเป็นแผ่น มีความแข็งแรงเหนียวและอาจยืดหยุ่นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และมีโครงสร้างปฐมภูมิที่ซ้ำกัน คือ  $(\text{Gly-Ala-Gly-Ala-Gly-Ser})_n$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



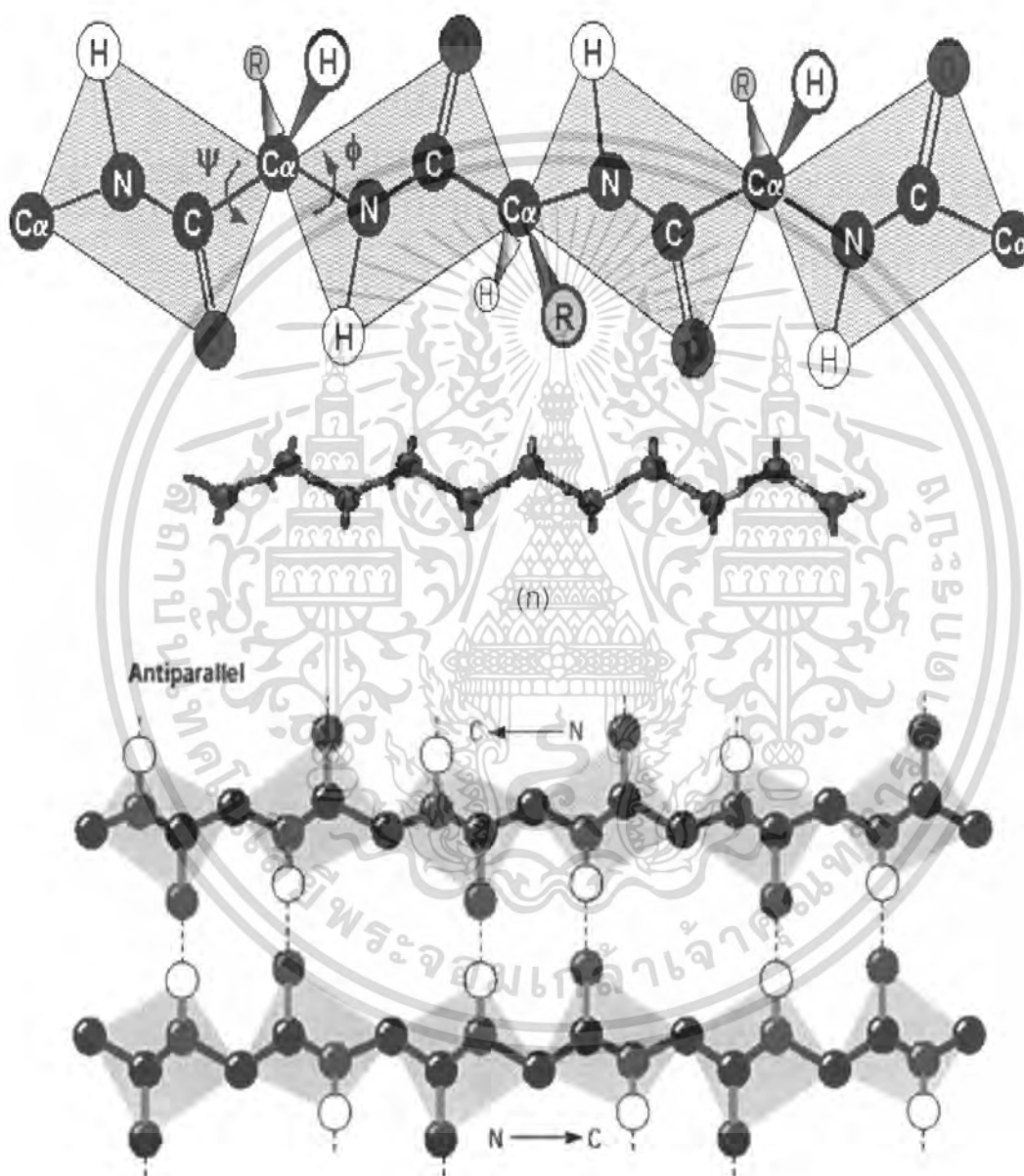
รูปที่ 2.15 โครงสร้างสามมิติของไหม [5]

ตารางที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบในไหม [5]

	R (โซ่ข้าง)	ชื่อ	สัญลักษณ์
กรดอะมิโนที่เป็นกลาง	$\text{— H}$	ไกลซีน (Glycine)	Gly, G
	$\text{— CH}_3$	อะลานีน (Alanine)	Ala, A
กรดอะมิโนที่โซ่ข้างมีหมู่ OH	$\text{— CH}_2\text{OH}$	เซรีน (Serine)	Ser, S
	$\text{— CH}_2\text{— C}_6\text{H}_4\text{— OH}$	ไทโรซีน (Tyrosine)	Tyr, Y
กรดอะมิโนที่เป็นกรด	$\text{— CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	Glu, Q
กรดอะมิโนที่เป็นเบส	$\text{— (CH}_2)_4\text{NH}_2$	ไลซีน (Lysine)	Lys, K

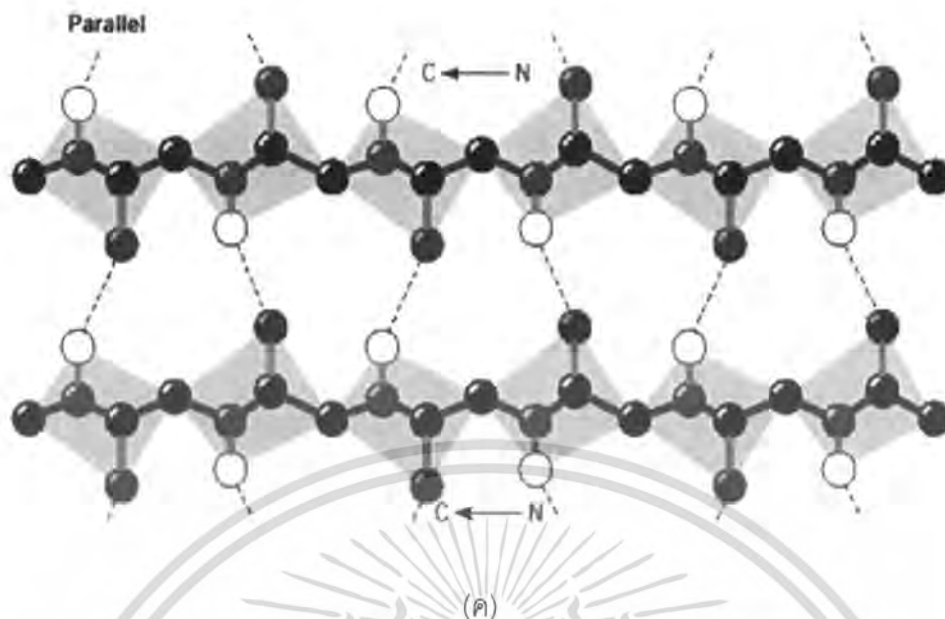
โปรตีนทั้งหลายในธรรมชาติประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์ที่มีโครงสร้างทุติยภูมิ โดยปกติในไฟโบรอินของไหมมักพบโครงสร้างชนิดแผ่นฉับนี้ ซึ่ง  $\beta$ -พลิทเทดชีท มีด้วยกัน 2 โครงสร้าง (รูปที่ 2.16 (ก)) คือ  $\beta$ -พลิทเทดชีทที่สายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไปยัง C ที่อยู่ตรงข้ามกัน ไม่ว้ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า แอนติพาราเลล  $\beta$ -พ्लीทเทดชีท (Antiparallel pleated sheet structure) (รูปที่ 2.1 (ข)) และ  $\beta$ -พ्लीทเทดชีทที่สายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไปยัง C เหมือนกัน เรียกว่า พาราเลล  $\beta$ -พ्लीทเทดชีท (Parallel pleated sheet structure) (รูปที่ 2.16(ค)) โฟโบรินของไหมส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างแผ่นจีบแบบแอนติพาราเลล



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะโครงสร้างของไหมไฟโบรอินชนิดแผ่นพับ

(ก) ลักษณะโครงสร้างแบบเบต้า (β-pleated sheet)

(ข) ลักษณะโครงสร้างแผ่นพับแบบแอนติพาราเลล (Antiparallel pleated sheet structure)

(ค) ลักษณะโครงสร้างแผ่นพับแบบพาราเลล (Parallel pleated sheet structure)

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

### 2.3.1 สมบัติของเส้นใยไหมไฟโบรอิน (Properties of Silks Fibroin) [5]

สมบัติของเส้นใยจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติการใช้งานเฉพาะด้านของผลิตภัณฑ์ดังนั้นต้องเข้าใจและเลือกใช้เส้นใยให้เหมาะสมกับงาน โดยทั่วไปสมบัติของเส้นใยจะถูกกำหนดจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาเส้นใยออกได้เป็นสองส่วนคือสมบัติกายภาพและสมบัติทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.) สมบัติทางกายภาพ

### ก. ลักษณะที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์และรูปร่าง

ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้นมีความยาวประมาณ 900-1700 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9-11 ไมครอน สีของเส้นใยไหมดิบจะมีสีเหลืองถึงสีครีมเส้นใยไหมที่นำมาใช้ทอผ้านั้นเกิดจากการฟั่นของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมขนาดใหญ่สองต่อมภายในตัวหนอนไหมที่โตเต็มวัย โดยส่วนที่เป็นของเหลวหนืด คือ ไฟโบรอินจะถูกเคลือบด้วยโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเซรีซินซึ่งเป็นการไหมที่ทำให้เส้นใย 2 เส้นติดกันเมื่อโปรตีนสองชนิดสัมผัสกับอากาศจะเกิดการแข็งตัวทำให้เส้นใยยึดติดกันกลายเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง และเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นรอยแตกตามยาวของเส้นใยทั้งสองชนิด(รูป 2.17 (ก) และ รูป 2.17 (ข)) และสำหรับเส้นใยไหมป่าจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวทำให้ดูคล้ายลินินและเส้นใยจะมีความหยابกระด้าง ไม่เรียบค่อนข้างจะไม่มันเงาเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมบอมบิกซิโมริ



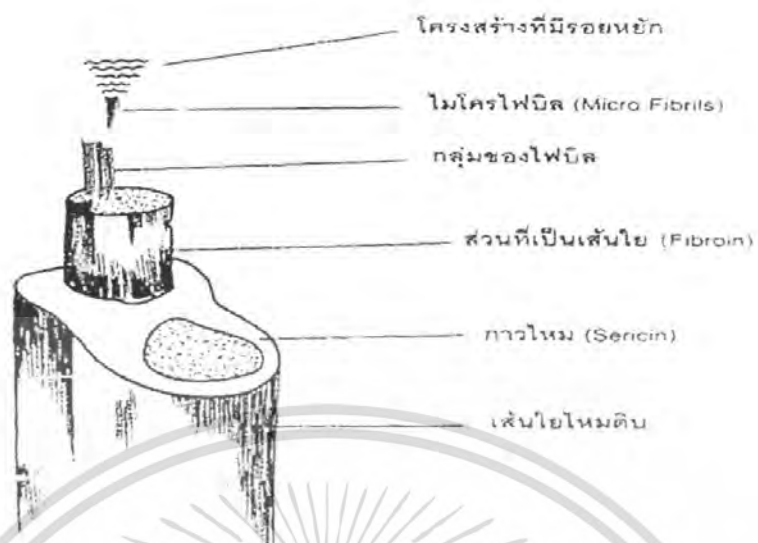
รูปที่ 2.17 แสดงภาคตัดขวางของเส้นไหมจากรังไหม *Bombyx mori* [5]

(ก) F: ไฝไฟโบรอิน (Fibroin) , S (Sericin)

(ข) ไฝไฟโบรอิน

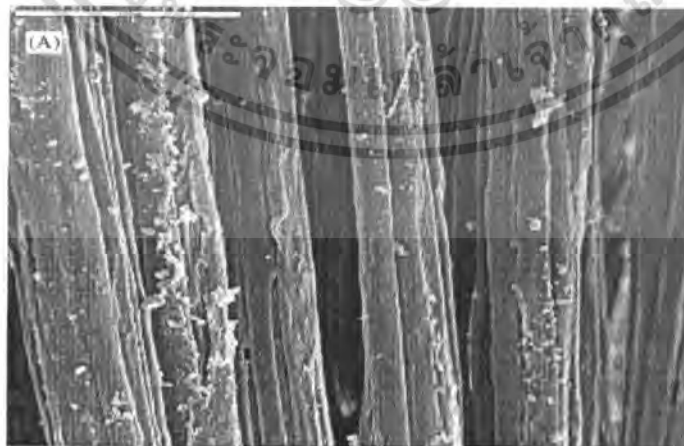
ซึ่งหลังจากการลอกกวไหมแล้วเส้นใยยาวที่เป็นลักษณะสามเหลี่ยมปลายมนทั้งสองเส้นจะแยกตัวออกมาทั้งให้เส้นใยมีรูปร่างต่างจากเส้นใยไหมดิบ คือมีความละเอียดกว่าและเส้นใยมีความมันเงาสูงกว่า โดยรายละเอียดของโครงสร้างของเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

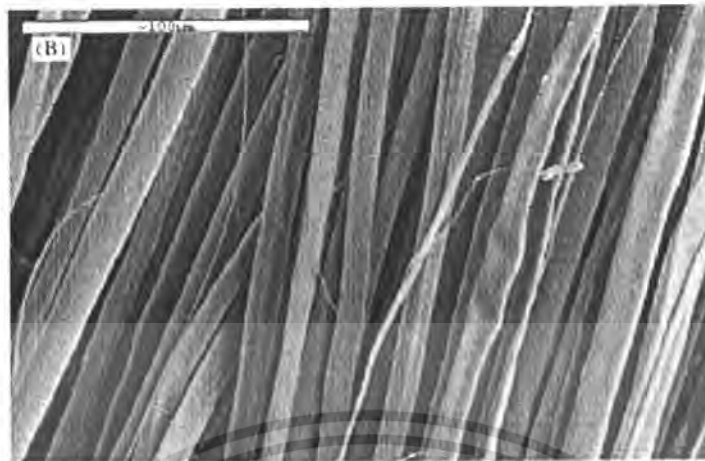


รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของเส้นใยไหม [7]

จากการศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของเส้นใยไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าชั้นนอกสุดของเส้นใยมีปริมาณกาวยไหมมากที่สุด ทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะเป็นคลื่นปกคลุมตามความยาวของเส้นใยดังแสดงในรูป 2.19 และสำหรับไหมที่ลอกกาวยไหมแล้วจะมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอมากกว่าเส้นใยไหมดิบที่ไม่ได้ผ่านการลอกกาวยไหมดังแสดงในรูป 2.20 ไฟบิลเหล่านี้เกิดการพันเกลียวกันเรียงตัวมีลักษณะคล้ายโครงร่างตาข่ายทำให้เห็นเป็นเหมือนท่อไปตามแนวยาวของเส้นใยแสดงให้เห็นถึงระบบธรรมชาติที่มีความละเอียดสูงซึ่งไม่พบในเส้นใยชนิดอื่นทำให้เส้นใยมีความเงางามและสีมันสวยงาม



รูปที่ 2.19 SEM เส้นไหมของไหมเลี้ยง (Bombyx mori) ไหมดิบไม่มีการลอกกาวยไหม (เซรีซิน) ออก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า [16] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 SEMแสดงเส้นไหมที่มีกรลอกกาไหม (เซรีซิน) ออกโดยสกัดเป็นเวลา 60 นาที [16]

ข. ความแข็งแรง ไหมมีความแข็งแรงสูงที่สุดในบรรดาเส้นใยธรรมชาติทั้งหมดด้วยที่ผิวของไหมเรียบมันจึงช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการขั้ดตุ สามารถออกแบบผ้าไหมให้มีโครงสร้างเบาบางและคงทนเนื่องจากความละเอียดของเส้นใยไหมมีค่าความทนแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ที่ 3.5 - 5.0 gram/denier ในขณะที่แห้งและจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเปียก (ประมาณ 15- 20%)

ค. ความยืดหยุ่น ไหมเป็นเส้นใยที่มีความยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงได้บ้างตามชนิดของพันธุ์และยืดได้ถึง 20% ของความยาวเดิม ไหมมีความยืดหยุ่นไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไหมไม่มีพันธะมาจับเชื่อมด้านข้างเป็นโครงข่าย ดังนั้นเมื่อถูกยืดจึงไม่สามารถหดกลับคืนสภาพเดิมได้

ง. การคืนตัวจากแรงอัด ไหมทนต่อการยืดหดได้ดี เมื่อทำการซักผ้าจะหดแต่เมื่อดึงและรีดก็จะกลับรูปเดิม ไม่เกิดการยับย่นได้ง่าย

จ. การดูดซับความชื้น ไหมสามารถดูดซับความชื้นได้ดีในสภาวะมาตรฐานสามารถดูดซับความชื้นได้ถึง 11% ทำให้รับสีย้อมและสีพิมพ์ได้ดีและเมื่อนำมาใช้สวมใส่จะรู้สึกสบายไม่ระคายเคืองผิว เนื่องจากผ้าไหมเป็นตัวนำความร้อนไม่ดีจึงรักษาความอบอุ่นได้นานเหมาะในการนำไปทำผ้าพันคอ ชุดสูท เป็นต้น

ฉ. ความร้อน ไหมสามารถทนความร้อนได้ประมาณ 340 ° F (170 °C) ในช่วงสั้นๆ หลังจากนั้นจะเกิดการสลายตัวแต่ดีกว่าขนสัตว์ เมื่อถูกรังสีอัลตราไวโอเลตนานๆ จะมีค่าความแข็งแรงและการยืดตัวลดลง

ช. ความถ่วงจำเพาะ ไหมจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.32 – 1.33 และมีการทิ้งตัวที่ดีแต่เมื่อนำหนักไหมจะมีค่าประมาณ 1.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.) สมบัติทางเคมีของไหมไฟโบรอิน [6-8]

เนื่องจากการใช้งานของผ้าไหมมีโอกาที่จะสัมผัสกับสารเคมี อุณหภูมิ แสงแดดและสภาวะแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพหรือสมบัติของไหมเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงมีการศึกษาสมบัติทางเคมีเพื่อนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม ดังนี้

ก. กรดและด่าง สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเพปไทด์ในเส้นใย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็นช่วงระหว่าง 4-8 จะทำให้เกิดเส้นใยเสียหายน้อยมาก

กรดจะทำให้พันธะเพปไทด์ขาดออกจากกัน กรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นละลายเส้นใยได้ กรดไนตริกทำให้เส้นใยเหลือง ในขณะที่กรดเจือจางจะไม่ทำลายเส้นใย

ด่างจะตัดปลายของพันธะเพปไทด์ออกก่อน โดยด่างโซดาไฟเข้มข้นจะละลายเส้นใยทั้งที่ส่วนต่างอ่อน เช่น สบู่ บอแรกซ์ หรือแอมโมเนีย จะละลายแค่ท่อนไหมแต่ถ้าต้มเดือดนานๆ อาจละลายเส้นใยได้

ข. สารออกซิไดส์และสารรีดิวซ์ เส้นใยไม่ทนทานต่อสารออกซิไดส์ ดังนั้นเวลาฟอกเส้นใยจะต้องระวังการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้สำหรับฟอกไหม การฟอกนี้ไม่ทำลายพันธะเพปไทด์ (Peptide) แต่ในบางครั้งก็ตัดส่วนของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเพปไทด์ ทำให้เส้นไหมมีความเหนียวและความยืดหยุ่นเล็กน้อย แต่เส้นใยจะทนทานต่อสารรีดิวซ์ได้ดี เช่นโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์

ค. สารละลายอินทรีย์ ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ใหม่มักใช้การซักแห้งอยู่เสมอ เนื่องจากโครงสร้างของเส้นด้ายไหมหรือสีที่ใช้ย้อมทำให้ไหมสามารถทนสารละลายอินทรีย์ทุกชนิด

ง. สารซักฟอก ไหมทนต่อสารซักฟอกคล้ายขนสัตว์แต่ถูกทำลายได้ด้วยสารซักฟอกประเภทออกซิไดส์ เช่น พวกที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์ผสมอยู่เพราะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงควรใช้สารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเปอร์บอเรตจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม

จ. แสงแดดและความร้อน เมื่อถูกเป็นเวลานานๆ จะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากทำให้โปรตีนเกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น

ฉ. การย้อมสี ไหมมีความสามารถในการรับสีย้อมได้ดีมากสามารถย้อมได้ด้วยสีที่เป็นแอซิดสีเบสิกหรือ สีย้อม สีมอร์แดนท์ เมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์จะได้สีที่เข้มกว่าและย้อมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้วย

3.) สมบัติทางชีวภาพ ไหมเกิดราได้ยากนอกจากจะถูกทิ้งไว้ในสภาวะที่ค่อนข้างชื้นเป็นเวลานาน หรืออาจมีแมลงมากัดกินได้

4.) สมบัติในการติดไฟ ไหมเมื่อติดไฟจะลุกไหม้ช้าๆ เมื่อนำออกจากแหล่งให้ความร้อน เปลวไฟจะดับเอง

5.) สมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้า เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ไม่ดี มีการใช้งานของ

ไหมกันอย่างกว้างขวางด้วยไหมมีสมบัติเด่นหลายประการ นอกจากการใช้งานผ้าไหมเป็นไหมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100% แล้วยังมีการนำไหมไปผสมกับเส้นใยชนิดอื่นได้ด้วย เช่น ไหมผสมฝ้าย ไหมผสมลินินหรือไหมผสมขนสัตว์ เป็นต้น

### 2.3.2 การปรับปรุงเส้นไหมด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical Treatment of Silks)

ไหมดิบที่ได้จากรังไหมในแต่ละรังมีความแข็งกระด้างและให้สัมผัสที่ไม่ดีเนื่องจากเส้นไหมดิบมีองค์ประกอบของกาวไหมและสารอื่นๆเคลือบอยู่ ดังนั้นก่อนนำไหมไปใช้งานจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นไหมก่อนนำไปทำผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องผ่านกระบวนการลอกกาวไหมและการตกแต่งสำเร็จ เช่น การตกแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติทางความร้อน การตกแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการใช้งาน เป็นต้น [13]

#### - การลอกกาว (Degumming) [17-19]

การลอกกาว หมายถึง การลอกกาวเซรีซินออก 100% แต่บางครั้งมีการลอกกาวเพียง 30%, 50%, 70% ทั้งนี้ ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์เส้นไหมเมื่อสาวออกจากรังเป็นเส้นใยกระด้างแข็ง เพราะมีกาวหุ้ม ฟอกออกได้ด้วยสบู่อะไรก็ได้ที่นุ่มเป็นมันทำให้น้ำหนักไหมลดไปประมาณ 25% เส้นไหมมีสีขาวขุ่นและเพื่อเพิ่มความสามารถในการย้อมสีเส้นไหมจะต้องมีการฟอกขาวเพื่อกำจัดสีธรรมชาติออกไปด้วย

การลอกกาวออกจากเส้นไหมดิบเป็นการลอกกาวเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นไหมเพื่อให้เส้นไหมมีความมันเงามากขึ้นมีวิธีใช้อยู่ทั่วไปดังนี้

#### ก. การลอกกาวด้วยโซดา (Degumming)

สารละลายโซดาที่ใช้ในการลอกกาวเส้นไหมที่นิยมใช้ คือ โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) และ โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ที่อุณหภูมิ  $90^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 2-9 ชั่วโมงจากนั้นล้างด้วยน้ำอุ่น  $40-50^\circ\text{C}$  และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายครั้งวิธีนี้สามารถลอกกาวได้สม่ำเสมอแต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ สารเคมีที่ใช้มีความเป็นด่างสูงทำให้เส้นไหมมีสมบัติเชิงกลลดลง

#### ข. การลอกกาวด้วยสบู่

การลอกกาวไหมด้วยสบู่เริ่มจากแช่เส้นไหมดิบที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมสบู่ 15-20% โดยน้ำหนักของเส้น (30-50 เท่าของน้ำหนักไหมดิบ) และต้มต่อเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงทำให้ได้เส้นไหมที่เงางามเรียบสวย ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ถ้าใช้น้ำกระด้างจะทำให้เกิดโคลสบู่ที่เกิดจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียมและเหล็ก ทำให้เส้นไหมที่ได้มีการลอกกาวที่ไม่สม่ำเสมอและมีสีหมองคล้ำ

#### ค. การลอกกาวด้วยเอนไซม์

เอนไซม์ที่ใช้ในการลอกกาวได้ คือ เอนไซม์โปรตีเอส (Protease enzyme) ชนิดต่างที่มีค่า pH 9.0-10.5 ที่อุณหภูมิ  $40-65^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงแล้วล้างน้ำอุ่น  $40-50^\circ\text{C}$  และน้ำที่เอกล้างนี้เป็นเอกล้างที่สวอนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง เอมไซม์สามารถลอกกาวยได้อย่างสม่ำเสมอแต่ข้อเสีย คือเอมไซม์ที่ใช้มีราคาแพงและมีกลิ่นรุนแรง

#### ง. การลอกกาวยด้วยกรด

การนำเส้นใยไปต้มในสารละลายที่เป็นกรดแต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากปัญหาในการควบคุมคุณภาพของไหมที่ลอกกาวย

#### จ. การลอกกาวยด้วยไตรเอทิลอะมีน

เส้นใยที่ผ่านการลอกกาวยด้วยวิธีนี้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวยด้วยสบู่

#### ฉ. การลอกกาวยด้วยสบู่-โซดา

การลอกกาวยด้วยสบู่ผสมโซดาจะใช้สบู่ 8-15 % ของน้ำหนักเส้นใยและโซเดียมคาร์บอเนต 5-8% ของน้ำหนักเส้นใย ใช้อัตราส่วนของวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:5 ที่อุณหภูมิ 90 °C ใช้เวลา 2-3 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำเส้นใยมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เป็นต่างอ่อนกว่าที่อุณหภูมิ 40- 50 °C ตามด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง วิธีนี้จัดว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่งทำให้ได้เส้นใยที่ขาวและมีความสม่ำเสมอในการลอกกาวยมากขึ้นและช่วยลดข้อเสียในการลอกกาวยด้วยสบู่จากการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดความกระด้าง

### 2.3.3 การนำไหมไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ [20]

รังไหมและเส้นไหมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายอย่าง เช่นเดียวกับหนอนไหมและดักแด้ได้แก่

1.) สิ่งทอ ไหมเป็นสิ่งทอที่ล้ำค่ามากกว่าสิ่งทออื่นๆ จนได้รับสมญานามว่า "ราชินีแห่งเส้นใย" แม้ไหมจะมีข้อเสียคือ ยืดหยุ่นได้น้อย ยับง่ายซักยาก แต่ข้อเสียเหล่านี้ก็ได้กำจัดหรือทำให้น้อยลงไป โดยการใช้สารเคมีหลายชนิดในกระบวนการผลิตเพื่อทำให้ผ้าไหมซักง่ายขึ้น ลดการยับและลดการทำให้ผ้าเหลืองลงได้ ยังมีการพัฒนาเส้นไหมดิบให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นโดยการตีเกลียวเส้นไหม ในทิศทางกลับกันและถี่ขึ้น ใช้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่เส้นใยชนิดนี้จะมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ดี กำจัดข้อเสียต่างๆ ออกได้ด้วยความเป็นเส้นใยที่ได้จากสัตว์ ไหมจึงได้เปรียบเหนือกว่าฝ้าย ไหมมีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมในการระบายอากาศ ดูดซับความร้อน ทำให้ร่างกายสบาย มีการดูดซับน้ำและระบายความชื้นได้ดีสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าฝ้าย 1.5 เท่า แต่ระบายความชื้นได้เร็วกว่า 50% และดูดซับความร้อนไว้ที่เนื้อผ้าได้ สูงกว่า 13-21% ปกติอุณหภูมิของร่างกายบริเวณเต้านม และต้นขาประมาณ 33.3-34.2 องศาเซลเซียสการสวมใส่ชุดผ้าไหมจะทำให้อุณหภูมิของร่างกายบริเวณดังกล่าวลดลงเหลือ 31-33 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกอบอุ่นในฤดูหนาวแต่จะเย็นสบายในฤดูร้อนไม่เหนียวเหนอะหนะเวลาสวมใส่ผ้าไหม ด้วยเหตุผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าว ประเทศญี่ปุ่นที่มีอากาศร้อนและอากาศหนาวในช่วง 1 ปี จึงพัฒนาชุดชั้นในที่ทำด้วยเส้นใยไหมดึงดูดความสนใจได้มากกว่าเส้นใยสังเคราะห์อื่น ๆ นอกจากนี้จะใช้ผ้าไหมเป็นเครื่องนุ่งห่มแล้ว ยังเป็นผ้าปูที่นอน ผ้าห่มชุดเฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ ในอดีตถุงน่องสตรี ทำจากไหมเพียงอย่างเดียว ภายหลังใยสังเคราะห์ในล่อนเข้ามาทดแทนไหมได้เกือบสมบูรณ์ เนื่องจากมีความเหนียวและทนทานยืดหยุ่นดีและราคาถูก แต่ไหมยังดีกว่าในล่อนอยู่มากในด้านการสัมผัสการดูดซับความร้อนและระบายอากาศ จึงได้มีการพัฒนาเส้นไหมผสม (hybrid silk) เพื่อรวมคุณสมบัติที่ดีของเส้นใยทั้ง 2 ชนิดไว้ด้วยกัน

2.) เครื่องสำอาง "silk fibroin" เป็นเลิศแห่งมอยซ์เจอไรเซอร์ที่สามารถให้ความชุ่มชื้นสูงถึง 300 เท่าของน้ำหนัก เป็นโปรตีนสกัดจากไหมที่ผสมเป็นหนึ่งเดียวกับผิวหนัง ด้วยกระบวนการทางชีวเคมีคู่กับธรรมชาติผิวหนังเป็นสรรพคุณของไหม ที่บริษัทเครื่องสำอางแห่งหนึ่งที่ผลิตครีมบำรุงความชื้นผิวจากโปรตีนไหมกล่าวถึง ไหมนอกจากจะครองความเป็นเลิศในเรื่องของเส้นใยแล้วยังเป็นวัสดุที่มีคุณค่าเมื่อนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาพัฒนา เนื่องจากเส้นใยไหม ส่วนใหญ่ (90%) เป็นโปรตีนที่มีความใกล้เคียงกับโปรตีนที่พบในร่างกายมนุษย์ซึ่งยากยิ่งที่สารสังเคราะห์อื่นใดจะทำได้เสมอเหมือน โปรตีนจากเส้นไหมประกอบด้วย fibroin และ sericin แต่เซรีซิน จะถูกความร้อนชะล้างออกไปเมื่อต้มรังในการสาวไหมเพราะเป็นกาวเหนียว มีเพียงไฟโบรอินที่ใช้ทำเป็นเส้นใย ดังนั้น งานวิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การใช้ประโยชน์จากไฟโบรอิน เมื่อ 60 ปีก่อน บริษัทเครื่องสำอางแห่งหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น ได้นำไฟโบรอินมาหลอมให้อยู่ในรูปของสารละลายก่อนที่จะทำเป็นผงและครีม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง อันดับแรกที่ทำจากไหมโดยใช้เป็นเครื่องแต่งหน้าให้กับผู้แสดงละครคาบูกิ ที่จำเป็นต้องพอกหน้าด้วยเครื่องสำอางอย่างมาก ทำให้ผู้แสดงรู้สึกสบายผิวมากขึ้น นอกจากนั้นเมื่อต้องแสดงกลางแจ้งก็สามารถป้องกันอันตรายจากแสงอุลตราไวโอเลต (UV light) และที่สำคัญเครื่องสำอางชนิดนี้เข้ากับผิวหนังได้ดีกว่าชนิดอื่น ต่อมาบริษัทได้ผลิต silk polymer ที่ทำจากเซรีซิน เพื่อใช้ในวงการเสริมสวยโดยมีสรรพคุณในการป้องกันเส้นผมเสีย ในขณะที่ตกแต่งหรือเปลี่ยนทรงผม ปัจจุบันครีมรองพื้น ครีมแต่งหน้า และครีมทำความสะอาด จะมีโปรตีนจากไหมเป็นส่วนผสม ญี่ปุ่นประเทศเดียว มีการใช้ไหมทำเครื่องสำอางถึงปีละ 5-6 ตัน และเป็นที่น่ายินดีที่มีบริษัทของไทยได้ผลิตเครื่องสำอาง สบู่เหลว แชมพูและน้ำยาซักผ้าไหม ที่มีโปรตีนจากเส้นใยไหมเป็นส่วนผสมออกจำหน่ายแล้ว

3.) การแพทย์ เป็นที่ทราบกันดีว่าไหมใช้เป็นเส้นด้ายในการเย็บแผลผ่าตัด นอกจากเหนียวและทนต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว ยังเข้ากับเนื้อเยื่อมนุษย์ได้ดี คุณสมบัติของไหมเหล่านี้จึงเป็นประโยชน์ต่อวงการแพทย์อย่างมากในการที่จะหลอมเส้นไหมแล้วทำให้เป็นแผ่นหรือเป็นหลอดก่อนที่จะเป็นผิวหนังเทียม ต่อเส้นเลือดเทียม คอนแทกเลนส์ แม้ว่าอุปกรณ์เหล่านี้จะทำได้ด้วยพลาสติก แต่ก็ถูกต่อต้านจากร่างกายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีความพยายามที่จะผลิตสารดูดซับ (absorbent polymers) และสารช่วยย่อย (silk peptides) ที่จะใช้ทางการแพทย์และสารอาหารจากสารละลายไฟโบรอิน เมื่อเร็ว ๆ นี้ พบว่ากรดอะมิโนที่พบในไฟโบรอินคือ glycine จะช่วยให้คอเลสเตอรอล และระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ และ alanine จะช่วยดับทำงาน เช่น ช่วยให้อาการเมาค้างกลับสู่ภาวะปกติได้เร็วขึ้น ขณะเดียวกัน serine จะกระตุ้นทำงานของสมองในผู้สูงอายุไฟโบรอินจากไหมยังมีศักยภาพในการพัฒนาเป็น biosensors เพื่อตรวจจับ antibodies ซึ่งใช้ในการวินิจฉัยโรคมะเร็งและโรคเอดส์ได้

ไหมได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้นเรื่อยๆ จนได้รับการขนานนามอีกอย่างหนึ่งว่า “เส้นใยสุขภาพ (health fiber)”

4.) สารป้องกันกำจัดแมลง ในสหรัฐอเมริกาได้มีการสกัดสารจากเชื้อ *Bacillus thuringiensis* ที่แยกได้จากหนอนไหม นำไปใช้เป็นสารกำจัดแมลง (microbial insecticide) เชื้อรา (filamentous fungi) ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อหนอนไหม พบว่าสามารถทำลายด้วงหนวดยาว จึงมีการผลิตเชื้อราชนิดนี้จากหนอนไหม เพื่อใช้กำจัดด้วงเจาะลำต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ฮอร์โมนบางชนิดจากหนอนไหมควบคุมการเจริญเติบโตของแมลง ใช้หนอนไหมเป็นอาหารของจุลินทรีย์หลาย ๆ ชนิดที่สามารถใช้กำจัดแมลงได้ การปลูกเชื้อไวรัสที่เจือจางในหนอนไหมสามารถใช้เป็นวัคซีนป้องกันโรคของสัตว์ได้ ตลอดจนมีการศึกษาการเลี้ยงเชื้อไวรัส และจุลินทรีย์ ที่สามารถนำมาผลิตเป็นยารักษาโรคและสารที่มีประโยชน์ต่างๆ ใช้หนอนไหมเป็นอาหารของไส้เดือนฝอยในการขยายพันธุ์เพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชบางชนิด

5.) สบู่และเทียนไข ไขจากดักแด้ไหมสามารถนำมาผลิตเป็นสบู่และเทียนไขที่มีคุณภาพสูง ญี่ปุ่นและอิตาลีเป็นประเทศที่ผลิตสบู่และเทียนไขคุณภาพสูงจากไขดักแด้ไหมมากเป็นอันดับ 1 และ 2 ไขมันที่สกัดได้เมื่อนำไปผ่านกระบวนการเพิ่มไฮโดรเจน (hydrogenation) จะได้ไขสีขาว (white oil) คือ stearic acid  $(\text{CH}_3)(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$  ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่และเทียนไขคุณภาพสูงและมีการนำไปทำผงซักฟอก ไฟโบรอินจากไหม ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผงซักฟอกที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายสิ่งสกปรกได้ดี เพราะมีส่วนช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมี

6.) ดอกไม้ รังไหมที่ผ่ารังเอาดักแด้ออกแล้ว สามารถนำมาประดิษฐ์เป็นดอกไม้ได้หลากหลายชนิด เช่น ดอกทิวลิป ดอกบัว ดอกเฟื่องฟ้า ดอกทานตะวัน ดอกเยอบีระ ดอกกุหลาบ หรือประดิษฐ์เป็นรูปสัตว์ต่างๆ เช่น นก หู ฯลฯ ใช้ประดับในอาคาร ในรถยนต์ นอกจากนี้จะสวยงามแล้วยังสะอาดตาแก่ผู้พบเห็นทั่วไปอีกด้วย

7.) อาหารมนุษย์ มนุษย์รู้จักบริโภคดักแด้จากหนอนไหมมาตั้งแต่เมื่อไรไม่ปรากฏ แต่ชาวไทยที่เคยเลี้ยงไหม หรือสาวไหม ล้วนแล้วแต่รู้จักการบริโภคดักแด้ที่อยู่ในรังไหมเป็นอย่างดี เมื่อต้มรังไหมและสาวไหมจนหมดเส้นใย ก็มักจะลอกเปลือกรังขึ้นในน้ำดักแด้ที่สุกแล้วมาบริโภค หรือนำไปเอ๊กสารนี้เป็นเอ๊กสารที่สว่นไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอ๊กสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คั่วก็อร่อยไปอีกแบบหนึ่งหรือนำไปปรุงอาหารชนิดอื่นก็ได้ เช่น ทอดกับไข่ผัดใบกระเพรา ตลาดในภาคอีสานจะมีดักแด่ใหม่ขายตามฤดูกาลเฉลี่ยราคา กิโลกรัมละ 40-80 บาท ชาวญี่ปุ่นก็บริโภคดักแด่ใหม่ที่ปรุงแล้วเช่นเดียวกับชาวจีน เกาหลี อินเดีย และพม่า แถมยังมีจำหน่ายในซูเปอร์มาเก็ตบางแห่งอีกด้วย มีบริษัทอุตสาหกรรมการเกษตรของไทยได้ส่งออกผลิตภัณฑ์ "ดักแด่กระป๋อง" ไปจำหน่ายยังประเทศเกาหลี เนื่องจากมีความต้องการสูง เพราะดักแด่ใหม่มีโปรตีนและเกลือแร่หลายชนิด มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าปลาและสัตว์ต่างๆ ยังอุดมไปด้วยวิตามินบี 1 และ บี 2 ดักแด่หนึ่งจะมีโปรตีนสูงถึง 48.98%

8.) อาหารสัตว์ ดักแด่ใหม่สดหรือดักแด่ใหม่แห้ง สามารถนำไปเลี้ยงปลาและสัตว์อื่นได้อีกหลายชนิดเช่น สัตว์ปีก และปศุสัตว์ กำลังมีการมองหาแหล่งโปรตีนใหม่ๆ ทดแทนการใช้ปลาป่นที่นับวันจะหายากและมีราคาแพงขึ้นทุกขณะ ดักแด่ใหม่ป่นเป็นทางเลือกหนึ่งของการนำไปใช้ทดแทนปลาป่น ดักแด่ใหม่ที่สกัดไขมันแล้วจะเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพสูง กากดักแด่ใหม่ (cake) ที่เหลือจากการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการทำสบู่และเทียนไขแล้ว สามารถนำไปเป็นอาหารของปลาและสัตว์ปีกได้ มูลใหม่จะมีไนโตรเจนเหลืออยู่ประมาณ 3.06% สามารถนำไปเป็นอาหารเสริมของปลาร่วมกับเศษใบหม่อนที่เหลือจากการเลี้ยงไหมได้

9.) ทดแทนนุ่น ปุยไหมชั้นนอกไม่สามารถจะนำไปสาวเป็นเส้นได้ เดิมจะมีการลอกปุยไหมชั้นนอกทิ้งไปก่อนนำรังไปต้มเพื่อสาวเป็นเส้นไหมต่อไป หรือรังเสียที่ไม่สามารถเข้าเครื่องสาวได้ จะนำไปต้มแล้วดึงเส้นใยไหมออกมาเป็นแผ่น โดยสถาบันวิจัยหม่อนไหมเช่นเจียง (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 นับว่าเศษวัสดุเหลือใช้จากรังไหมได้ถูกพัฒนานำมาใช้ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งแล้ว

นอกจากนั้น นักวิทยาศาสตร์ยังคงศึกษาต่อไปในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ คือ เส้นไหมที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอไม่ได้แล้วไปบิดเป็นผงไหม เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- วัสดุที่ให้ความรู้สึกที่ดีในการสัมผัส โดยการใช้ผงไหมผสมสีแล้วฉีดยาบนวัสดุ เพื่อให้เกิดความนุ่มมือและดูดซับความชื้น ไม่เหนียวเหนอะหนะ เช่น ปากกา

- พิล์ม เคลือบรักษาความสดในอุตสาหกรรมประมง โดยทำการเปรียบเทียบกับสารต่าง ๆ เช่น สารโพลิเมออร์ ฝ่าย ปาน ปอ กระดาษเคลือบไข (oil paper) และสารละลายเกลือ 1% พบว่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลือบด้วยฟิล์มใหม่รักษาความสดของกุ้งสดได้นานถึง 9 วัน ดีกว่าวัสดุอื่น และดีกว่าน้ำแข็งที่รักษาความสดไว้ได้เพียง 7 วัน

- ถ้าไม่ทำเป็นผง ก็จะไปพอกให้เกิดความอ่อนนุ่ม เพื่อนำไปทำเป็นสำลี ผ้าเช็ดเลนส์และกระจก แผ่นทำความสะอาดผิวหน้า เช่น การชำระล้างเครื่องสำอาง เหล่านี้เป็นต้น

สำหรับประเทศไทย การปลูกหมอนเลี้ยงไหมยังมุ่งเน้นอยู่ที่อุตสาหกรรมสิ่งทอไม่ว่าจะเป็นระดับครัวเรือนหรือระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เกษตรกรจะผลิตรังไหมหรือสาวเป็นเส้นไหม ขายให้กับโรงสาวไหม หรือพ่อค้าคนกลาง เพื่อนำไปขายให้กับโรงงานทอผ้าต่อไป แม้ว่าจะมีการศึกษาและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากส่วนต่าง ๆ ของด้นหมอน หรือหนอนไหม รังไหม ดักแด้ไหม เส้นไหมอยู่บ้าง แต่ก็อยู่ในวงจำกัด และอยู่ในระยะเริ่มต้น การดำเนินงานศึกษา ค้นคว้าวิจัยและพัฒนาประโยชน์จากหมอนและไหมนั้น จำเป็นต้องใช้นักวิทยาศาสตร์หลายสาขาวิชา ร่วมทำงานไปพร้อมๆกัน เพื่อทราบข้อมูลและพัฒนาไปได้อย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น ที่มุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนาหมอนและไหม เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ให้มากขึ้น เช่น ด้านการแพทย์ ด้านเสริมความงาม ฯลฯ เพื่อเพิ่มคุณค่าของหมอนและไหมให้สูงขึ้น มากกว่าการนำไปทอเป็นผ้าไหมเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย [9]

ชนิดกรดอะมิโนในผงไหม	หน้าที่และคุณสมบัติ
Glycine <sup>#</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ควบคุมระดับคลอเรสเตอรอล</li> <li>- ป้องกันและรักษาความดันโลหิตสูง</li> <li>- ช่วยเสริมสร้างการทำงานของตับ</li> </ul>
Alanine <sup>#</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นแหล่งพลังงานสำคัญต่อเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ สมอง และระบบประสาทส่วนกลาง</li> <li>- ผลิต antibodies ที่ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น</li> <li>- ช่วยในระบบการทำงานของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ digest alcohol (สลายแอลกอฮอล์)</li> </ul>
Serine <sup>#</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นแหล่งในการสะสมน้ำตาลกลูโคสในตับ และกล้ามเนื้อ จึงช่วยส่งเสริมระบบการทำงานของอินซูลิน (Insulin) เป็นการลดน้ำตาลในเลือดซึ่งช่วยในการเผาผลาญไขมันที่สะสมในร่างกาย</li> <li>- ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรงขึ้น</li> <li>- ช่วยสังเคราะห์กรดไขมันลุ่มรอบ Never fibers</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดกรดอะมิโนในผงไหม	หน้าที่และคุณสมบัติ
Aspartic acid*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่วยขับไล่อาการเจ็บและสารพิษแอมโมเนียออกจากร่างกาย</li> <li>- ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเหนียวอ่อน</li> <li>- ช่วยระบบกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว</li> </ul>
Tyrosine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่วยในการส่งผ่านเส้นประสาทไปยังสมอง อีกทั้งมีผลดีต่อระบบประสาท</li> <li>- ช่วยในเรื่องความจำ</li> <li>- กระตุ้นการเต้นของหัวใจ</li> </ul>
Glutamic acid	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่วยลดแอมโมเนียในเลือดซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับโปรตีนในสมองและระบบการทำงานของน้ำตาล</li> <li>- ช่วยควบคุมโรคสุรา (Alcoholism)</li> <li>- รักษาปริมาณน้ำของผิวหนังและป้องกันผิวแห้ง</li> </ul>
Threonine*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ป้องกันการเกิดไขมันในตับ</li> <li>- ช่วยย่อยและช่วยระบบการทำงานของร่างกาย</li> </ul>
Isoleucine*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- กระตุ้นการทำงานของสมองส่วนบน</li> </ul>
Leucine*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่วยลดน้ำตาลในเลือด</li> <li>- ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น</li> </ul>
Arginine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เสริมสร้างภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเซลล์เนื้องอก</li> <li>- ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น</li> <li>- ช่วยเสริมสร้างตับ</li> </ul>
Cystine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และเพิ่มความแข็งแรงให้ร่างกายต่อต้านรังสี และมลพิษ</li> <li>- ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน</li> <li>- มีความจำเป็นต่อการสร้างผิวหนัง ซึ่งจะช่วยให้แผลไฟไหม้และแผลผ่าตัดหายเร็วขึ้น</li> <li>- ส่วนของผมและผิวหนังจะประกอบด้วย Cystine 10-14%</li> </ul>
Lysine*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต่อต้านริบ โกลูติน โดยจะช่วยให้เกิดความสมดุลของธาตุอาหารและการไปลดการเจริญของไวรัส</li> <li>- การขาด Lysine มีผลทำให้เหนียวง่าย ยับยั้งการเติบโต ผมร่วง โรคโลหิตจาง และเกิดปัญหาต่อระบบสืบพันธุ์</li> </ul>
Phenylalanine*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีผลต่อระบบเส้นประสาท</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดกรดอะมิโนในผงไหม	หน้าที่และคุณสมบัติ
Methionine*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นแหล่งที่ให้สารกำมะถันซึ่งป้องกันการเกิดโรคเกี่ยวกับผม ผิวหนังและเล็บ</li> <li>- ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล โดยการผลิตเลซิทินในตับ</li> <li>- ช่วยลดไขมันตับ และป้องกันไต</li> <li>- ป้องกันผมร่วงและส่งเสริมการเจริญของเส้นผม</li> </ul>
Valine*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ช่วยให้จิตใจกระปรี้กระเปร่า ประสานการทำงานของกล้ามเนื้อ</li> </ul>
Tryptophan*	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สนับสนุนการผลิตเม็ดเลือดแดง</li> <li>- ป้องกันและช่วยลดอันตรายที่จะเกิดกับเส้นโลหิตแดง และการชักกระตุกของหัวใจ</li> <li>- ทำงานร่วมกับ Lysine ในการลดคอเลสเตอรอล</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- รักษาความดันโลหิต</li> <li>- มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของข้อและเอ็น</li> <li>- ช่วยบำรุงรักษากล้ามเนื้อหัวใจ</li> </ul>
Histidin	<ul style="list-style-type: none"> <li>- พบมากในเม็ดเลือดแดง ใช้ในการรักษาโรคมาตอย โรคข้ออักเสบ อาการผื่นคัน แผลพุพอง และโรคโลหิตจาง</li> <li>- ถ้าขาดจะมีผลต่อการได้ยินเสียงลดลง</li> <li>- ส่งเสริมการผลิตเซลล์เม็ดเลือด ช่วยขยายหลอดเลือด</li> </ul>

หมายเหตุ : \* กรดอะมิโนที่มีความจำเป็น (Essential amino acid)

# กรดอะมิโนในไหมที่พบมาก และมีความสำคัญต่อร่างกายมากที่สุด (3 ชนิด)

## 2.4 ไฮโดรเจล (Hydrogel) [2]

ไฮโดรเจล (hydrogel) คือพอลิเมอร์ที่มีความชอบน้ำ (จับกับน้ำได้ดี) แต่ไม่ละลายในน้ำในสภาพที่เปียก ปกติแล้วอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไฮโดรเจลจะเป็นน้ำ ถ้าปริมาณน้ำสูงเกิน 95 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจลนั้นจะจัดเป็นสารประเภท ซูเปอร์แอบซอร์บเมนต์ (super absorbent) ไฮโดรเจลจะบวมตัวในน้ำจนถึงจุดปริมาตรสมดุลโดยยังคงรูปร่างเอาไว้ได้ สมบัติการชอบน้ำของไฮโดรเจลเกิดจากการที่มีหมู่ฟังก์ชัน (กลุ่มอะตอมที่ทำปฏิกิริยาได้) ที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น ไฮดรอกซิล (-OH) คาร์บอกซิลิก (-COOH) เอไมด์ (-CONH<sub>2</sub> หรือ -CONH-) เป็นต้น โครงสร้างทางเคมีหรือทางกายภาพที่เป็นตาข่ายของไฮโดรเจล ทำให้ไฮโดรเจล สามารถคงเอกลักษณ์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างอยู่ได้และไม่ละลายในน้ำ การบวมตัวและการหดตัวของเจลเป็นกระบวนการย้อนกลับไปมาได้ เจลที่บวมตัวอาจหดตัวกลับได้ถ้าระเหยน้ำออกไป จนหมด เจลที่ได้จะเรียกว่า ซีโรเจล (xerogel) ปริมาณและลักษณะของโครงร่างตาข่าย โครงสร้างที่เป็นระเบียบและโครงสร้างที่เป็นผลึกจะเป็นสิ่งกำหนดลักษณะเฉพาะของเจลในสภาพที่บวมตัว ไฮโดรเจลที่มีโครงร่างตาข่ายหนาแน่นและมีโครงสร้างเป็นระเบียบหรือเป็นผลึกสูงจะดูดซับน้ำได้น้อย นอกจากนี้แล้ว สภาพแวดล้อมรอบๆ ไฮโดรเจล เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด/ด่าง ความแข็งแรงของไอออน เป็นต้น ก็มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลอีกด้วย

## 2.5 การตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการทางเคมี(Chemical finishing) [21]

เส้นไหมที่ผ่านการลอกแล้ว สมบัติของเส้นไหมที่ได้มีค่าลดลงประกอบกับเส้นไหมมีข้อด้อยต่างๆ เช่น เมื่อสัมผัสกับแสงแดดเป็นเวลานานๆ จะเกิดสีเหลืองขึ้นที่ผิวของเส้นไหม มีความสามารถในการคืนตัวเนื่องจากรอยยับไม่ดี (Winkle recovery) ตลอดจนมีสมบัติที่ไวต่อความร้อนและสารเคมี ซึ่งข้อด้อยต่างๆ เหล่านี้สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยใช้วิธีการทางเคมีซึ่งวิธีที่นิยมใช้กับเส้นไหมหมักเป็นการตกแต่งสำเร็จโดยวิธีการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ โดยไวนิลมอนอเมอร์ที่นิยมใช้มีมากมายหลายชนิด ได้แก่ เมทิลเมทาคริเลต เมทาคริลลาไมด์ 2-ไฮดรอกซีเมทาโคเลท เอทอกซีเมทาคริเลต และอีพอกซีเรซิน โดยไวนิลมอนอเมอร์เหล่านี้จะทำให้เส้นไหมที่มีสมบัติแตกต่างกันไป

การตกแต่งสำเร็จไหมด้วยวิธีการต่อกิ่งมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญอยู่ 2 กลไก ได้แก่ กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ (Free radical polymerization) และกลไกการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง (Graft copolymerization)

การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ เริ่มจากการใช้ตัวริเริ่มที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะไพ (π -bond) บนไวนิลมอนอเมอร์ และเกิดการสลายตัวไปเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่สามารถเข้าร่วมกับมอนอเมอร์ตัวอื่น จนกระทั่งได้พอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวออกมา ตัวริเริ่มที่นำมาใช้ต้องเป็นสารเคมีที่มีอยู่ภายใต้สภาวะต่างๆ ได้แก่ ความร้อน รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าและการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมีสามารถให้อนุมูลอิสระที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอนุมูลอิสระซึ่งเกิดจากมอนอเมอร์ และอนุมูลอิสระดังกล่าวต้องมีความว่องไวเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยากับไวนิลมอนอเมอร์เพื่อเกิดเป็นอนุมูลอิสระใหม่ขึ้นมา โดยตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่สำคัญมักมีโครงสร้างเป็นสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์ เอโซ เปอร์ซัลเฟต ซึ่งวิธีที่สำคัญที่ใช้ในการเตรียมอนุมูลอิสระมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 การสลายตัวด้วยความร้อน

การสลายตัวด้วยความร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดทั้งในเชิงการค้าและการศึกษา กลไกของปฏิกิริยา โดยสารริเริ่มส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวริเริ่มด้วยวิธีนี้มักมีพลังงานพันธะอยู่ในช่วง 25-40 กิโลแคลอรี/โมล เพราะสารที่มีพลังงานพันธะสูงกว่านี้จะสลายตัวช้าเกินไปถ้าต่ำกว่านี้ก็สลายตัวเร็วเกินไปทำให้ควบคุมกลไกได้ยาก ดังนั้นสารที่นิยมใช้จึงจำกัดอยู่ที่สารมีพันธะ O-O S-S และ N-O โดยสารที่นิยมใช้เป็นตัวริเริ่มมากที่สุด ได้แก่ สารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ โดยตัวอย่างของเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ที่นิยมใช้กัน รวบรวมไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ชนิดตัวริเริ่มประเภทเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ที่นิยมใช้กัน [21]

ชนิดตัวริเริ่ม	อุณหภูมิที่ใช้ในการริเริ่ม (°C)
Azobisisobutyronitrile	70
Dibenzoyl peroxide	70
Diacetyl peroxide	70
Di-tert-butyl peroxide	100
Cumyl peroxide	100
Dilauroyl peroxide	60

### 2.5.2 การกำเนิดอนุมูลอิสระด้วยแสง

วิธีนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวิธีโฟโตเคมีคัมโดยเริ่มจากการที่มอนอเมอร์หรือสารริเริ่มรับพลังงานโฟตอน แล้วเคลื่อนตัวจากสภาวะพื้นไปสู่สภาวะกระตุ้น ดังสมการที่ 2.1



หลังจากนั้นสารที่อยู่ในสภาวะเร้าเหล่านี้จะสลายตัวให้อนุมูลอิสระออกมาดังสมการที่ 2.2



### 2.5.3 การเกิดอนุมูลอิสระโดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox initiation)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่สามารถให้อนุมูลอิสระ โดยปฏิกิริยาที่สำคัญและนิยมใช้มาก ทั้งในการศึกษากลไกปฏิกิริยาและในอุตสาหกรรมคือปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของน้ำยาเฟนตัน (Fenton's reagent) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไอออน (II) ด้านการค้าไม่พบบ่อยนัก ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยสารทั้งสองสามารถทำปฏิกิริยากันแล้วให้อนุมูลอิสระออกมา ดังสมการที่ 2.3



#### 2.5.4 การเกิดไอออนซ์ด้วยรังสี (Ionizing radiation)

รังสี  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$  และรังสีเอ็กซ์ เป็นรังสีที่มีพลังงานสูงนิยมนำมาใช้ริเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ โดยรังสีเหล่านี้จะเหนี่ยวนำให้มอนอเมอร์เกิดการสลายตัวเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างยุ่งยากเพราะนอกจากจะมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นแล้วยังมีไอออนบวกและไอออนลบที่เกิดจากการสลายตัวของมอนอเมอร์เกิดขึ้นอีกด้วย

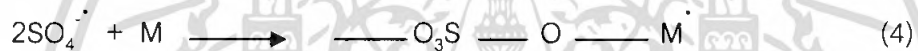
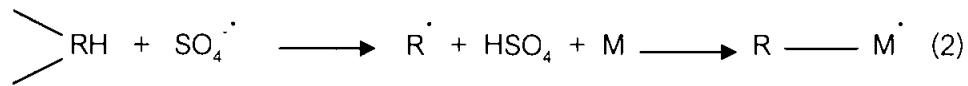
การปรับปรุงสมบัติเส้นใยด้วยวิธีการตอกกึ่งด้วยมอนอเมอร์

เนื่องจากไหมที่ผ่านการลอกกาแล้วมักมีสมบัติบางอย่างที่ลดลง การปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมีเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งช่วยทำให้สมบัติต่างๆของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาดีขึ้น โดยวิธีทางเคมีที่นิยมใช้กัน คือ การนำไหมมาตกแต่งสำเร็จด้วยการตอกกึ่งกับมอนอเมอร์ ซึ่งมอนอเมอร์ที่นิยมใช้มีมากมายหลายชนิด โดยแต่ละชนิดก็มีข้อดี ข้อด้อยแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ มอนอเมอร์ที่มักนำมาใช้ปรับปรุงสมบัติของไหมได้แก่ อีพอกซีเรซิน ไดเบสิกแอนไฮไดรไรต์ และพวกไวนิลมอนอเมอร์ต่างๆ ได้แก่ สไตรีน (Styrene) เมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate, MMA) เมทาคริลามิได (Methacrylamide, MAA) 2-ไฮดรอกซีเมทาคริเลต (2-Hydroxymethacrylate, HEMA) โดยสาร 2 กลุ่มแรกมักจะเกิดปฏิกิริยากับหมู่ข้างเคียงที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของกรดอะมิโนที่อยู่บนโครงสร้างหลักของไฟโบรอิน ในขณะที่สารกลุ่มหลังจะแทรกซึมเข้าไปยังเมตริกซ์ของเส้นใยแล้วจึงเกิดพอลิเมอร์ร่วม

การตอกกึ่งบนเส้นใยไหมจัดเป็นการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบหนึ่ง การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมเหล่านี้อาจทำในตัวทำละลายหรือสารละลายที่มีมอนอเมอร์และพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆอยู่ โดยกลไกปฏิกิริยาอาจเป็นได้ทั้งไอออนิกและอนุมูลอิสระ ซึ่งกลไกแบบหลังคาดว่ามีความสำคัญมากที่สุดเพราะเกิดได้ง่ายและตัวว่องไวต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็มีลักษณะเป็นกลาง จึงไม่ต้องใช้ตัวริเริ่มที่มีประจุในการเกิดปฏิกิริยา โดยมอนอเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการตอกกึ่งจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกกึ่งตรงตำแหน่งที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไฟโบรอิน ได้แก่ หมู่คาร์บอนิล เอมีน และหมู่ไฮดรอกซิลต่างๆ ซึ่งเป็นหมู่แทนที่ของกรดอะมิโน โดยสมบัติที่ได้จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการปรับปรุง ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาในส่วนนี้จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโครงสร้างโปรตีน ทำให้เส้นใยที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเพื่อให้เห็นภาพชัดขึ้นจึงขอยกตัวอย่างการเกิดกลไกที่เสนอขึ้นโดย มาซูอิโตะ ทาซูกาดะ ดัง  
สมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

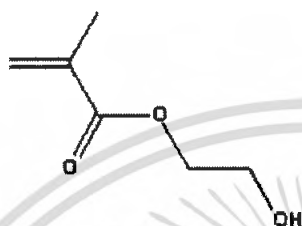
## 2.6 สารเคมี [10]

### 2.6.1 2-Hydroxyethyl methacrylate [22]

ชื่อทางเคมี 2-Hydroxyethyl methacrylate

สูตรโมเลกุล  $C_6H_{10}O_3$

สูตรโครงสร้าง



#### คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	ของเหลว
สี	ใสไม่มีสี
กลิ่น	คล้ายผลไม้
น้ำหนักโมเลกุล	130.14
จุดเดือด	205 - 208 °C
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	-12 °C
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1)	1.0340
ความหนืด (mPa.sec)	9
ความดันไอ (มม.ปรอท)	0.5 ที่ 60 °C
ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.)	ละลายได้ที่ 20 °C
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4 ที่ 20 °C
ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ	สารนี้ไวต่อแสง ความชื้น ความร้อน

#### อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางผิวหนัง	การสัมผัสผิวหนัง จะทำให้เกิดการระคายเคืองเกิดภูมิแพ้
สัมผัสสูดดม	การสัมผัสสูดดม จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา
ความผิดปกติอื่น ๆ	สารนี้ทำลายตับ ไต ระบบประสาทส่วนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความเสถียรและความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reactivity)

ความเสถียร	ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียรภายใต้ อุณหภูมิและความดันปกติ
สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง	สารที่เข้ากันไม่ได้ สารออกซิไดซ์รุนแรง
สารที่ต้องหลีกเลี่ยง	สารที่เข้ากันไม่ได้ : เอมีน สารประกอบกรดเปอร์ออกซี กรด เบส ความร้อน
ข้อมูลเพิ่มเติม ๗	สารที่ทำให้เสถียร : ไฮโดรควินโนนโมโนนิลอีเธอร์ (4-เมรอกวีฟีนอล)

### ข้อควรระวังในการจัดเก็บ

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิดเมื่อไม่ได้ใช้งาน
- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง หรือในระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C
- ให้ล้างทำความสะอาดร่างกาย ให้ทั่วถึงภายหลังทำการเคลื่อนย้าย
- ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนสารนี้ออกและซักทำความสะอาดก่อนนำมาใช้อีกครั้ง
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับตา ผิวหนัง หรือเสื้อผ้า
- หลีกเลี่ยงการกิน หรือการกลืนเข้าไปและการหายใจเข้าไป

### มาตรการปฐมพยาบาล (First Aids Measures)

เมื่อเข้าตา	ให้ฉีดล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที กระพริบตาขึ้น-ลง นำส่งไปพบแพทย์
เมื่อสัมผัสถูกผิวหนัง	ให้ฉีดล้างผิวหนังทันทีด้วยน้ำหรือสบู่ปริมาณมากอย่าง น้อย 15 นาที พร้อมกับถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปื้อน เปื้อนออก นำส่งไปพบแพทย์
เมื่อสูดดมเข้าไป	- ให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ ทันที - ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจ ติดขัดให้ออกซิเจนช่วย - นำส่งไปพบแพทย์ทันที
เมื่อกลืนกินเข้าไป	อย่ากระตุ้นให้เกิดการอาเจียน ถ้าผู้ป่วยยังมีสติอยู่ให้ บ้วนปากด้วยน้ำ ให้ดื่มน้ำ 2-4 แก้ว แล้วนำส่งแพทย์ ทันที

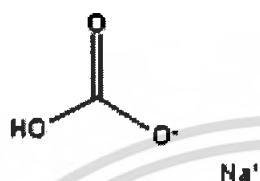
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 Sodium Hydrogen Carbonate [23]

ชื่อทางเคมี Sodium Hydrogen Carbonate

สูตรโมเลกุล  $\text{NaHCO}_3$

สูตรโครงสร้าง



การใช้ประโยชน์ ใช้เป็นสาร blowing agent

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	ผลึก
สี	ขาว
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	84.01
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	122 °C
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1)	2.16
ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.)	10 ที่ 20 °C
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.2 ที่ 20 °C
ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ	อุณหภูมิละลายตัว > 50 °C, สารนี้ไม่สามารถละลายได้ในเอทิลแอลกอฮอล์

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ	การหายใจเข้าไป จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจและเยื่อจมูก
สัมผัสทางผิวหนัง	การสัมผัสถูกผิวหนัง จะทำให้เกิดการระคายเคือง
กินหรือกลืนเข้าไป	การกลืนหรือกินเข้าไป สารนี้มีความเป็นพิษต่ำ
สัมผัสถูกตา	การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียร
- สารที่เข้ากันไม่ได้ : กรด, แอมโมเนีย, ฟอสเฟต, monobasic
- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนนอกไซด์
- อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : จะไม่เกิดขึ้น

### การเก็บรักษา

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บที่อุณหภูมิห้อง
- เก็บในที่แห้งและเย็น

### การปฐมพยาบาล (First Aid)

- |                   |  |
|-------------------|--|
| หายใจเข้าไป       | ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจติดขัดให้ออกซิเจนช่วย นำส่งไปพบแพทย์ |
| กินหรือกลืนเข้าไป | ถ้ากลืนหรือกินเข้าไป ถ้าผู้ป่วยมีสติและรู้สึก ให้ดื่มน้ำสะอาด นำส่งไปพบแพทย์ทันที  |
| สัมผัสผิวหนัง     | ถ้าสัมผัสถูกผิวหนัง ล้างผิวหนังด้วยน้ำและสบู่  |
| สัมผัสถูกตา       | ถ้าสัมผัสถูกตาให้ฉีดล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที   |

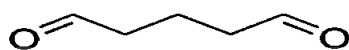
### ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts)

- ห้ามทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ น้ำเสีย หรือดิน
- สารนี้จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์หากมีการใช้และจัดการกับสารอย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.3 Glutaraldehyde [24], [37]

ชื่อทางเคมี	Glutaraldehyde
สูตรโมเลกุล	$C_5H_8O_2$
สูตรโครงสร้าง	



## คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	ของเหลว
สี	ใสไม่มีสี
กลิ่น	ฉุน
น้ำหนักโมเลกุล	100.01 g mol <sup>-1</sup>
จุดเดือด	187-189 °C
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	-14 °C
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1)	0.7
ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.)	ละลายน้ำได้

## อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ	การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบหายใจ ก่อให้เกิดอาการไอ หอบหืด อาเจียน ปวดศีรษะ และหายใจติดขัด
สัมผัสทางผิวหนัง	การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ทำให้เกิดผิวหนังอักเสบ เกิดภาวะภูมิไวต่อการสัมผัสผิวหนัง และเกิดผื่นแดง
กินหรือกลืนเข้าไป	การกลืนหรือกินเข้าไป จะทำให้ปวดท้อง คลื่นไส้ และอาเจียนได้
สัมผัสถูกตา	การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา ทำให้เกิดอาการตาแดง และปวดตาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียร
- สารที่เข้ากันไม่ได้ : สารออกซิไดซ์อย่างแรง เบสเข้มข้น
- สารละลายของกลูตารัลดีไฮด์ในเบส สามารถทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ คีโตน เอมีน ไฮดราซีน และโปรตีนได้

### การเก็บรักษา

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ

### การปฐมพยาบาล (First Aid)

- |  |   |
|--|---|
| <p>หายใจเข้าไป</p> <p>กินหรือกลืนเข้าไป</p> <p>สัมผัสถูกผิวหนัง</p> <p>สัมผัสถูกตา</p> | <p>ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายผู้ช่วยออกสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าผู้ช่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้ากลืนหรือกินเข้าไปให้ผู้ช่วยบ้วนล้างปากด้วยน้ำ หากผู้ช่วยยังมีสติอยู่ กระตุ้นให้เกิดการอาเจียนแล้วนำส่งไปพบแพทย์ทันที</p> <p>หายใจติดขัดให้ออกซิเจนช่วย นำส่งไปพบแพทย์</p> <p>ถ้าสัมผัสถูกผิวหนัง ล้างผิวหนังด้วยน้ำและสบู่</p> <p>ถ้าสัมผัสถูกตาให้ฉีดล้างออกด้วยน้ำปริมาณมากๆเป็นเวลาหลายๆ นาที แล้วนำส่งพบแพทย์</p> |
|--|---|

### ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts)

- ห้ามทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ น้ำเสีย หรือดิน
- สารนี้จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับสารอย่างเหมาะสม

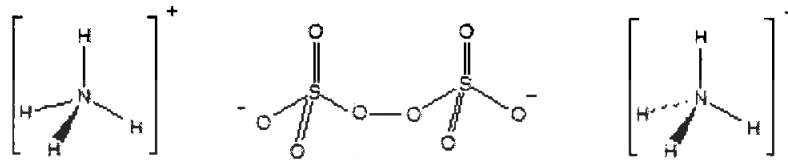
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.4 Ammonium persulfate [25]

ชื่อทางเคมี Ammonium persulfate

สูตรโมเลกุล  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 

สูตรโครงสร้าง



## คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	ผลึกหรือผงสีขาว
สี	ขาว
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	228.18 g/mol
จุดเดือด	120 °C (393 K) (decomposes)
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1)	1.982
ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.)	80 g/100 ml (25 °C)
ความเสถียร	เสถียร

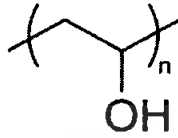
## อันตรายจากสาร

เป็นอันตรายหากกลืนกิน ทำให้ระคายเคืองและลุกติดไฟได้ เป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรงเมื่อสัมผัสกับวัตถุอื่นอาจทำให้ลุกติดไฟได้ เก็บไว้ในที่ห่างจากความร้อน ประกายไฟ หรือเปลวไฟ หลีกเลี่ยงการสัมผัส ดวงตา ผิวหนัง เสื้อผ้า เก็บในภาชนะปิดสนิท ใช้ในสถานที่ที่มีการระบายอากาศเพียงพอ ทำความสะอาดหลังการสัมผัส ในกรณีเกิดอัคคีภัยควรใช้น้ำดับเพลิง ล้างพื้นที่ที่กรั่วไหลด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.5 Polyvinyl alcohol, PVAI [36]

ชื่อทางเคมี	Polyvinyl alcohol
สูตรโมเลกุล	$(C_2H_4O)_x$
สูตรโครงสร้าง	



#### คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

น้ำหนักโมเลกุล	$100.12 \text{ g mol}^{-1}$ (น้ำหนักโมเลกุลที่ใช้ในงานวิจัย)
จุดเดือด	$228^\circ\text{C}$
จุดหลอมเหลว	$230^\circ\text{C}$
ความหนาแน่น	$1.19 - 1.31 \text{ g/cm}^3$

### 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M. Tsukada และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไหมที่ผ่านการตอกกิ่งด้วยเมทาคริโลไนไตร (methacrylonitrile, MAN) พบว่าความสามารถในการดูดซับความชื้นและค่าความคงทนต่อด่าง (NaOH) มีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่สมบัติทางความร้อนของเส้นไหมที่ได้ทำการตอกกิ่ง ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรีมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เปอร์เซ็นต์การตอกกิ่งตั้งแต่ 25 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ในขณะที่การทดสอบสมบัติการดึงพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยสามารถยืนยันได้จากการวัดโครงสร้างที่เป็นผลึกของเส้นใยจากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์แบบมุมกว้าง (wide-angle X-ray diffraction diagram) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของผลึก

นอกจากนี้ M. Tsukada และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและลักษณะเส้นใยที่ทำการตอกกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต (methylmethacrylate, MMA) โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรีและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าการศึกษาสมบัติทางความร้อนเส้นไหมที่มีเปอร์เซ็นต์การตอกกิ่ง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี แสดงให้เห็นพีคเอนโดเทอร์มิก (endothermic peak) 2 ส่วนเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง  $326^\circ\text{C}$  และในช่วง  $390-410^\circ\text{C}$  ซึ่งเป็นอุณหภูมิสลายตัวของไฟ ไฟโบรอินที่มีโครงสร้างแบบเบตา (beta,  $\beta$ ) และอุณหภูมิการสลายตัวของโครงสร้างพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่นำมาใช้ในการตอกกิ่ง ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนโดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทรี แสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่นำมาตอกกิ่งกับมอนอเมอร์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดนี้มีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่การศึกษาความเป็นผลึกของเส้นไหมโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่ามอดโมเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกึงไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างที่เป็นผลึกของเส้นไหม

M. Tsukada และคณะ [29] ยังได้ทำการศึกษาต่อในส่วนการตอกึงเส้นไหมใหม่กับเมทิลเมทาคริเลต (methylmethacrylate, MMA) โดยใช้ไทรนอมัลบิลทิลโบเรนเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยก่อนที่จะนำเส้นไหมไปทำการพอลิเมอไรเซชันได้ทำการปรับปรุงเบื้องต้นกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride,  $\text{FeCl}_3$ ) ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเส้นไหมที่ทำการปรับปรุงกับเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 4% ให้เปอร์เซ็นต์การตอกึงสูงสุด คือ 720% ส่วนการศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรีแสดงให้เห็นพีคเอนโดเทอร์มิก 2 ส่วน ที่ตำแหน่ง  $326^\circ\text{C}$  และ  $396^\circ\text{C}$  ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิการสลายตัวของโครงแบบเบตา (beta,  $\beta$ ) ของไฟโบรอิน และโครงสร้างพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่นำมาใช้ในการตอกึงตามลำดับ สำหรับการศึกษาโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทสโกปีระหว่างเส้นไหมใหม่ก่อนและหลังการตอกึง แสดงให้เห็นถึงการดูดกลืนสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนทับกันระหว่างโครงสร้างของเมทิลเมทาคริเลตกับโครงแบบเบตา ( $\beta$ ) ของไฟโบรอิน และในการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่ามีความแข็งแรงดิ่งที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดแม้กระทั่งที่เปอร์เซ็นต์การตอกึงต่ำๆ

นอกจากการปรับปรุงสมบัติของเส้นไหมใหม่โดยใช้มอดโมเมอร์เมทาคริลาโนไตรัล (MAN) และเมทิลเมทาคริเลต (MMA) M. Tsukada และคณะ [30] ยังได้ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างของเส้นไหมใหม่ที่ทำการตอกึงกับมอดโมเมอร์ผสมระหว่าง 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-hydroxyethylmethacrylate, 2-HEMA) / เมทาคริลามิเด (methacrylamide) ซึ่งจากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรีของเส้นไหมที่ทำการตอกึงกับมอดโมเมอร์ผสมในอัตราส่วน 80/20 ที่มีเปอร์เซ็นต์การตอกึง 61% แสดงให้เห็นพีคเอนโดเทอร์มิกที่  $280^\circ\text{C}$   $323^\circ\text{C}$  และ  $420^\circ\text{C}$  ตามลำดับ โดยเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของโครงสร้างเมทาคริลามิเด โครงสร้างไฟโบรอินที่มีโครงแบบเบตา ( $\beta$ ) และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต และเมื่อพิจารณาการตอกึงกับมอดโมเมอร์เหล่านี้ที่อัตราส่วนเดียวกันที่ให้เปอร์เซ็นต์การตอกึงสูงๆ แสดงให้เห็นพีคเอนโดเทอร์มิกที่ตำแหน่ง  $323^\circ\text{C}$  มีค่าที่ลดลง ในขณะที่พีคเอนโดเทอร์มิกที่ตำแหน่ง  $420^\circ\text{C}$  มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตในโครงสร้างของเส้นไหมเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาความเป็นผลึกของเส้นไหมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่าการตอกึงด้วยมอดโมเมอร์ผสมชนิดนี้ไม่มีผลใดๆ ต่อความเป็นผลึกของเส้นไหม

Y. Gotoh และคณะ [26] ได้นำสารละลายไหมไฟโบรอินผสมกับสารละลายไซเดียมบอเรตที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (poly(ethylene glycol), PEG) แล้วนำของผสมมาเจือจางกับฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7) จากนั้นนำไปกรองแล้วนำไปเจือจางกับน้ำกลั่น ก็จะได้สารละลาย PEG2-SF เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้น 1.5% (w/v) และเตรียมฟิล์มโดยนำสารละลายดังกล่าวไปหล่อบนฟิล์มพอลิเอทิลีน (polyethylene) แล้วปล่อยให้แห้งจากนั้นนำฟิล์มไปจุ่มในเมทานอลเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำฟิล์มไปทำการทดสอบ ผลการทดสอบด้วย FTIR และ DSC จะแสดงผลการปรับเปลี่ยนโครงสร้างจากส้อมไปเป็น  $\beta$ -sheet และผลการทดสอบปริมาณน้ำ (water content) และมุมสัมผัส (contact angle) จะแสดงความชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นของผิวฟิล์ม PEG2-SF เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่มีพอลิเอทิลีนไกลคอล ส่วนผลของการเพาะเซลล์และการเติบโตของเซลล์ fibroblast cell (L-929) จะมีค่าต่ำมากบนฟิล์ม PEG2-SF ซึ่งอธิบายได้ว่าความชอบน้ำของผิวที่เพิ่มขึ้นจากการปรับเปลี่ยนผิวของไหมไฟโบรอินด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอลจะทำให้สายโซ่พอลิเอทิลีนไกลคอลเคลื่อนที่ได้มากในน้ำ ทำให้การเพาะเซลล์และการเติบโตของเซลล์ไม่เกิดขึ้น จากผลการทดสอบนี้แสดงว่าสายโซ่พอลิเอทิลีนไกลคอลจะขัดขวางการเพาะเซลล์และการเติบโตของเซลล์ ทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้ทางชีวภาพ แต่จะมีประโยชน์ต่อวัสดุทางการแพทย์ในเรื่องเป็นวัสดุที่กีดขวางการติดกันของเซลล์

H. Kweon และคณะ [33] ทำการศึกษาการเตรียมฟิล์มระหว่างสารละลายไหมไฟโบรอินกับสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติก 2% ที่อัตราส่วนต่างๆจากนั้นนำไปตรวจสอบด้วย FTIR, XRD DTG, DSC และ SEM ซึ่งผลการทดสอบด้วย FTIR, XRD, DSC จะแสดงลักษณะโครงสร้างของฟิล์มผสมเป็น  $\beta$ -sheet เนื่องจากกรดอะซิติกที่ใช้ในการละลายไคโตซาน โดยเกิดปฏิกิริยาภายในระหว่าง antherea pernyi SF และไคโตซาน ซึ่งมีอิทธิพลจากหมู่  $-NH$  ของ SF และ  $C=O$ ,  $NH_2$  ของไคโตซาน นั่นคือ ตัวทำละลายของกรดอะซิติกจะเหนี่ยวนำความเป็นผลึกโดยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากส้อมไปเป็น  $\beta$ -sheet ส่วนการทดสอบ SEM ของผิวที่แตกหักของฟิล์มผสม ฟิล์มผสมที่มีไคโตซาน 25% จะมีรูปร่างสม่ำเสมอ ส่วนฟิล์มผสมที่มีไคโตซานมากกว่า 40% จะแสดงอนุภาคกลมๆที่ฝังอยู่ในเนื้อเมทริกซ์ ซึ่งจะถูกแยกเฟสออกเป็น 2 องค์ประกอบของ SF และไคโตซาน

M. Li และคณะ [22] ทำการศึกษาฟิล์มไหมไฟโบรอินของไหมป่า antherea pernyi ที่ได้จากสารละลายไหมไฟโบรอินและทำการเชื่อมโยงด้วยสารละลาย PEG-ED ที่ความเข้มข้นต่างๆแล้วไปหล่อใน PE เพื่อเป็นฟิล์ม จากนั้นนำไปทดสอบด้วย FTIR, XRD, DSC, ค่าการละลายและการทดสอบสมบัติเชิงกล ผลการทดสอบค่าการละลายน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอินที่ไม่มีการผสมกับ PEG-ED จะละลายน้ำได้ถึง 40% ส่วนที่มี PEG-ED จะไปปรับปรุงการต้านทานการละลายน้ำของฟิล์มไหมไฟโบรอิน เมื่อเติม PEG-ED 20% จะมีการละลายลดน้อยลง 3% ส่วนการตรวจสอบด้วย FTIR ซึ่งแสดงโครงสร้างโมเลกุลไหมไฟโบรอิน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากมีการผสม PEG-ED โดยมีพีค 949 และ 1103 ซึ่งเป็นพีคของ PEG และผลจาก XRD ของฟิล์มที่ไม่มี PEG-ED และที่มี PEG-ED 10 20 และ 30% พบว่ามีโครงสร้างเป็น  $\alpha$ -helix อันเนื่องมาจากผลึกของ A pernyi fibroin แสดงว่าการมี PEG-ED ในฟิล์มไหมไฟโบรอินจะไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของไหมไฟโบรอิน ส่วนผลการทดสอบเชิงกลนั้น ฟิล์มที่มีการผสมด้วย PEG-ED มากกว่า 25% จะเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tensile strength , elongation at break และความยืดหยุ่น ผลของการผสมด้วย PEG-ED จะเกิดการเชื่อมโยงกับไหมไฟโบรอิน

วัฒนา คล้ายรัศมี [21] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติต่างๆของเส้นไหมด้วยวิธีการต่อกิ่งกับ เมทิลครีเลต (methyl methacrylate, MMA) และเมทาคริลามิด (methacrylamide, MAA) ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอนที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเส้นไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วน 25:75 และ 0:100 เส้นไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MAA ในตัวทำละลายน้ำและตัวทำละลายผสมเป็น 25:75 และเส้นไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA/MAA ในตัวทำละลายผสมเป็น 25:75 ให้สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาที่ดีขึ้น นำเส้นไหมที่ต่อกิ่งมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานซฟอร์หมอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) พบว่าเมื่อทำการต่อกิ่งเส้นที่ได้มีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นลักษณะเฉพาะของมอนอเมอร์ซึ่งนำมาใช้ในการต่อกิ่ง จากการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก (ther gravimetric, TGA) และเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (differential scanning calorimetry, DSC) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เส้นไหมที่ทำการต่อกิ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงขึ้น นอกจากนี้เส้นไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MAA ในตัวทำละลายน้ำให้ค่าความสามารถในการดูดซับที่สูงขึ้น ส่วนเส้นไหมที่ทำการต่อกิ่งให้ความคงทนต่อการด่างสูงขึ้น ยกเว้นเส้นไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MAA ที่เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงๆ ให้ความคงทนต่อด่างลดลง

นายภาณุพงศ์ ภูทะวัง [34] ศึกษาผลของเซรีซินที่มีต่อสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากการผสมระหว่างสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 3% และสารละลายเซรีซินเข้มข้น 1% เซรีซินที่ใช้มี 4 ชนิดคือ ขาวขอนแก่น (สีขาว) นางลาย (สีเหลืองสด) ขาวสุพรรณ (สีขาวหม่น) และดำน้าง (สีเหลือง) มีการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจล โดยทำการเชื่อมโยงด้วยสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ที่เวลา 5 10 และ 20 นาที ศึกษาสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าการบวม น้ำ ปริมาณน้ำที่ดูดซับที่เวลาต่างๆ และค่าสัดส่วนเจล สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มที่เตรียมจากเซรีซินสีขาวจะมีการกระจายตัวที่ดีกว่าเซรีซินสีเหลือง เมื่อเวลาการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการบวม น้ำ ปริมาณน้ำดูดซับ ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มีค่าลดลง แต่ค่าสัดส่วนเจลและมอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่มีการผสมเซรีซินทำให้ค่าการบวม น้ำ ปริมาณน้ำที่ดูดซับ ค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัส มีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ผสมเซรีซิน แต่ค่าสัดส่วนเจลและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มีค่ามากกว่า สมบัติทางความร้อนการเชื่อมโยงและการผสมเซรีซินทำให้ค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นจากฟิล์มที่ไม่เชื่อมโยงและฟิล์มที่ผสมเซรีซิน และจากการเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ใช้จริง สูตรที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมฟิล์มคือสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 3% และสารละลายเซรีซินขาวสุพรรณเข้มข้น 1% โดยแช่ในสารละลายกลูตารัลดีไฮด์เป็นเวลา 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

##### สารเคมี

- รังไหมเหลือง สายพันธุ์นางน้อย
- แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride,  $\text{CaCl}_2$ ) ของบริษัท CARLO
- เอทานอล (Ethanol,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) ของบริษัท Merck KGaA
- น้ำกลั่น
- โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate,  $\text{NaHCO}_3$ ) ของบริษัท CARLO ERBA REAGENTI
- 0.1% v/v กลูตารัลดีไฮด์ในน้ำ (0.1% v/v Glutaraldehyde in water)
- 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต 0.1% v/v ในน้ำ (2-Hydroxyethyl methacrylate ( $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ) 0.1% v/v in water) ของบริษัท ALDRICH
- แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) ของบริษัท UNIVAR
- เมทานอล (Methanol,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ) ของบริษัท Merck KGaA
- อะซิโตน (Acetone) ของบริษัท VWR International Ltd.
- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVAI) ของบริษัท SIGMA CHAMICAL

##### อุปกรณ์

- ปีกเกอร์
- กระบอกตวง
- แท่งแก้วคน
- ปากคืบ
- จานเพาะเชื้อ
- ถาด
- แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์
- กระดาษกรองเบอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระจกน้ำกั้น
- ซ้อนดักสาร
- กรรไกร
- หลอดทดลอง
- กระดาษวัด pH
- फिल्मพลาสติกพอลิเอทิลีน
- ขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีน
- หลอดหยด
- ถุงเซลลูโลส
- เขี่ยกพลาสติก
- ตัวหนีบ
- กรวยกรอง
- ซักชั้น (suction)

#### เครื่องมือที่ใช้

- เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ของบริษัท SCIENTIFIG PROMOTION CO. LTD. รุ่น BP 221 S
- เครื่องทำความเย็น (Freezer) ที่ -81 องศาเซลเซียส ของบริษัท GES รุ่น PLC-1055
- ตู้อบ
- แทนให้ความร้อน
- ตู้เย็นธรรมดา
- เครื่อง autoclave (หม้อนึ่งไอน้ำ) ของบริษัท HIRAYAMA MANUFACTURING CORPORATION รุ่น HA-300MII
- เครื่อง Freeze dryer ของบริษัท ไฮแอนติฟิค โปรโมชัน จำกัด รุ่น Heto Lyolab 3000
- เครื่องเทอร์มัลกราวิเมตริก (Thermal gravimetric Analysis, TGA) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA
- ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform spectroscopy, FTIR) ของบริษัท K. Wasana Perkin Elmer LTd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)
- กล้องจุลทรรศน์และไมโครสเกล ของบริษัท ฮอลลิวูด อินเตอร์เนชันเนล จำกัด รุ่น optiphot-pol Nikon

### 3.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองสามารถแบ่งได้ ดังนี้

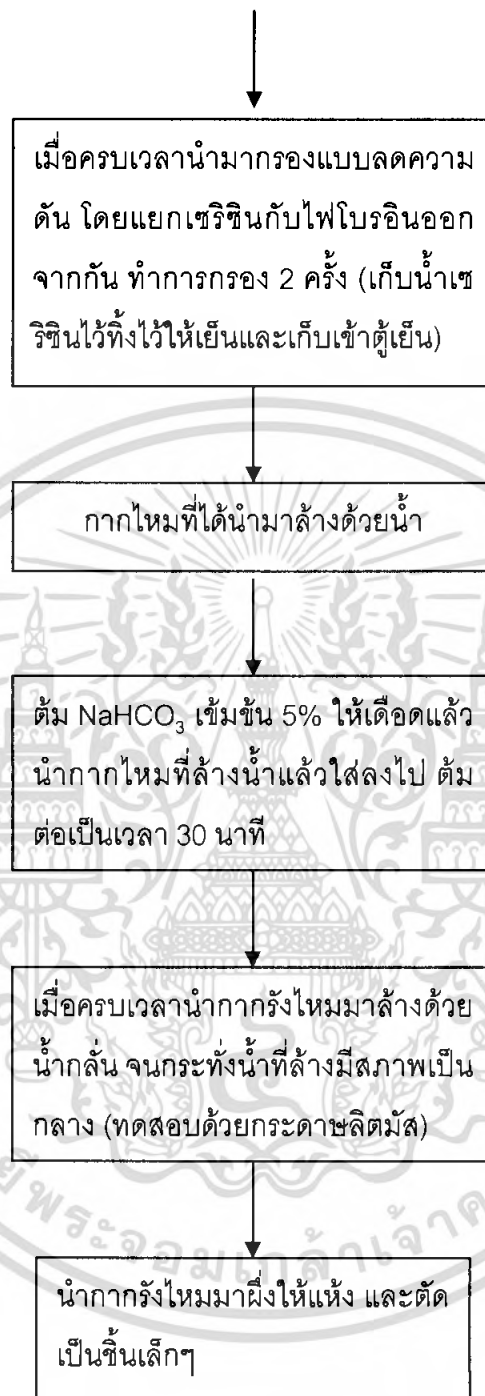
- การเตรียมเส้นใยไหมไฟเบอร์อินของไหมไทยนางน้อย
- เตรียมสารละลายไหมไฟเบอร์อิน
- เตรียมไฮโดรเจล

#### 3.2.1 เตรียมเส้นใยไฟเบอร์อินของไหมไทยนางน้อย



นำไปใส่ในเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงบนสื่อออนไลน์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 เตรียมสารละลายใหม่ไฟโบรอิน



นำกากรังไหมที่ตัดแล้วชั่งมา 10 กรัม



แต่นำมาละลายด้วยสารละลาย 100 มิลลิลิตร ของสารละลายผสมของแคลเซียมคลอไรด์ เอทานอลและน้ำ ที่อุณหภูมิประมาณ 80-90°C พร้อมกวนตลอดเวลา



เมื่อไหมละลายหมดแล้วนำมาทำไดอะลิซิส โดยนำสารละลายใหม่ไฟโบรอินเทใส่ถุงเซลลูโลส แล้วนำไปลอยในน้ำกลั่นพร้อมทั้งกวนตลอดเวลา ใช้เวลา 3 วัน โดยวันแรกต้องเปลี่ยนน้ำทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นจำนวน 5-6 ครั้ง ส่วนวันที่ 2 และ 3 เปลี่ยนน้ำวันละ 2 ครั้งทุก เช้า-เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อครบกำหนดเวลานำสารละลายใหม่ในถุง  
เซลลูโลสมาเทรวมกันในบีกเกอร์แล้วกรองด้วย  
กระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อกรองเอาสิ่งสกปรกออก  
และจดปริมาตรรวมไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การเตรียมไฮโดรเจล

**ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้น 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อ**

#### ไฮโดรเจลของไหม

ทำการผสมน้ำไหม 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และตัวริเริ่มปฏิกิริยา ตามอัตราส่วนต่างๆดังตารางที่ 3.1 ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร และนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 70-80°C ที่เวลา 15 30 และ 60 นาที และทำการกวนตลอดเวลา ทำซ้ำจนครบทุกสูตร

**ตารางที่ 3.1** แสดงอัตราส่วนต่างๆ ของไฮโดรเจลในสูตรที่ 1-9

สูตร	ส่วนประกอบ				
	น้ำไหม (ml)	2-HEMA (ml) 0.1 mol	APS (ml) 0.05 mol	น้ำ (ml)	เวลา (min)
1	30	10	1	-	15
2	30	10	1	-	30
3	30	10	1	-	60
4	25	15	1	-	15
5	25	15	1	-	30
6	25	15	1	-	60
7	20	20	1	-	15
8	20	20	1	-	30
9	20	20	1	-	60

**ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณที่คงที่ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม**

ทำการผสมน้ำไหม 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และตัวริเริ่มปฏิกิริยา ตามอัตราส่วนต่างๆดังตารางที่ 3.2 ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร และนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 70-80°C ที่เวลา 15 30 และ 60 นาที และทำการกวนตลอดเวลา ทำซ้ำจนครบทุกสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.2 แสดงอัตราส่วนต่างๆ ของไฮโดรเจลในสูตรที่ 10-19

สูตร	ส่วนประกอบ				
	น้ำใหม่ (ml)	2-HEMA (ml) 0.1 mol	APS (ml) 0.05 mol	น้ำ (ml)	เวลา (min)
10	30	5	1	5	15
11	30	5	1	5	30
12	30	5	1	5	60
13	25	5	1	10	15
14	25	5	1	10	30
15	25	5	1	10	60
16	20	5	1	15	15
17	20	5	1	15	30
18	20	5	1	15	60
19	20	10	3	8	15

**หมายเหตุ** การเติมน้ำลงไปเพื่อควบคุมปริมาตรรวมของทุกสูตรให้คงที่

### ตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

จากการดูลักษณะทางกายภาพด้วยตาเปล่าและสมบัติการดูดซึมน้ำ พบว่าในสูตรที่ 1-9 มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่ดี ผิวหน้าไม่เรียบและเกิดการแตก จึงได้นำสูตรในกลุ่มที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ ซึ่งคือสูตรที่ 10-18 โดยเลือกสูตรที่ 11 มาทำการปรับปรุงด้วยการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำการผสมน้ำใหม่ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และตัวริเริ่มปฏิกิริยา ตามอัตราส่วนต่างๆดังตารางที่ 3.3 ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร และนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 70-80 °C ที่เวลา 15 30 และ 60 นาที และทำการกวนตลอดเวลา ทำซ้ำจนครบทุกสูตร โดยในสูตรที่ 24 และ 25 จะเป็นตัวอย่างในการเปรียบเทียบ (Blank) ซึ่งจะใช้น้ำกลั่นแทนน้ำใหม่

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนต่าง ๆ ของไฮโดรเจลในสูตรที่ 20-25

สูตร	ส่วนประกอบ						
	น้ำใหม่ (ml)	0.1 mol 2-HEMA (ml)	0.05 mol APS (ml)	น้ำ (ml)	5% PVA(ml)	25%glutaral dehyde (ml)	เวลา (min)
20	30	5	1	-	-	0.5	30
21	30	5	1	-	4	0.5	30
22	30	5	1	-	4	1	30
23	30	5	1	-	-	1	30
24	-	5	1	30	4	1	30
25	-	5	1	30	-	1	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การคำนวณหาปริมาณของไหมในสารละลายแต่ละสูตร

#### 1.) ปริมาณเนื้อไหมในสารละลายของสูตรที่ 1-19

จากการตวงสารละลายไหมมา 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปอบให้แห้งได้ปริมาณของเนื้อไหมออกมาหลังจากอบแล้ว คือ 0.0858 กรัม

ในสารละลายไหม 5 มิลลิลิตร มีเนื้อไหมอยู่ 0.0858 กรัม

ฉะนั้น ในสารละลายไหม 100 มิลลิลิตร จะมีเนื้อไหมอยู่  $\frac{0.0858 \times 100}{5} = 1.7160$  กรัม

ในสารละลายไหม 100 มิลลิลิตร มีเนื้อไหมอยู่ 1.7160 กรัม

ในสารละลายไหม 30 มิลลิลิตร จะมีเนื้อไหมอยู่  $\frac{1.7160 \times 30}{100} = 0.5148$  กรัม

ในสารละลายไหม 25 มิลลิลิตร จะมีเนื้อไหมอยู่  $\frac{1.7160 \times 25}{100} = 0.4290$  กรัม

ในสารละลายไหม 20 มิลลิลิตร จะมีเนื้อไหมอยู่  $\frac{1.7160 \times 20}{100} = 0.3432$  กรัม

#### 2.) ปริมาณเนื้อไหมในสารละลายของสูตรที่ 20-23

จากการตวงสารละลายไหมมา 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปอบให้แห้งได้ปริมาณของเนื้อไหมออกมาหลังจากอบแล้ว คือ 0.0834 กรัม

ในสารละลายไหม 5 มิลลิลิตร มีเนื้อไหมอยู่ 0.0834 กรัม

ฉะนั้น ในสารละลายไหม 100 มิลลิลิตร จะมีเนื้อไหมอยู่  $\frac{0.0834 \times 100}{5} = 1.6680$  กรัม

ในสารละลายไหม 30 มิลลิลิตร จะมีเนื้อไหมอยู่  $\frac{1.6680 \times 30}{100} = 0.5504$  กรัม

#### 3.) ปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ในแต่ละสูตร

ในสารละลาย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต 1000 มิลลิลิตร มี 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตอยู่ 0.1 กรัม/ไมล (น้ำหนักโมเลกุล = 130.14 กรัม/ไมล)

ในสารละลาย 2-HEMA 1000 มิลลิลิตร มี 2-HEMA อยู่ 0.1 กรัม/ไมล

ในสารละลาย 2-HEMA 5 มิลลิลิตร มี 2-HEMA อยู่  $\frac{(0.1 \times 5) \times 130.14}{1000} = 0.0651$  กรัม

ในสารละลาย 2-HEMA 10 มิลลิลิตร มี 2-HEMA อยู่  $\frac{(0.1 \times 10) \times 130.14}{1000} = 0.1301$  กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสารละลาย 2-HEMA 15 มิลลิลิตร มี 2-HEMA อยู่  $\frac{(0.1 \times 15) \times 130.14}{1000} = 0.1952$  กรัม

ในสารละลาย 2-HEMA 20 มิลลิลิตร มี 2-HEMA อยู่  $\frac{(0.1 \times 20) \times 130.14}{1000} = 0.2602$  กรัม

ในสารละลาย 2-HEMA 30 มิลลิลิตร มี 2-HEMA อยู่  $\frac{(0.1 \times 300) \times 130.14}{1000} = 0.3904$  กรัม

### 3.3 วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของไฮโดรเจล

#### 3.3.1 ทดสอบหาหมู่ฟังก์ชัน

1. ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างโดยบดผสมระหว่างไฮโดรเจลประมาณ 0.01 มิลลิกรัมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ประมาณ 1 มิลลิกรัม
2. นำไฮโดรเจลกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่บดได้มาทำให้เป็นเม็ด โดยใช้เครื่องอัดเม็ดที่ความดัน 10 บาร์ เป็นเวลา 5 นาที
3. นำเม็ดตัวอย่างที่ได้มาวางลงบนแผ่นแม่เหล็กและประกบด้วยแผ่นแม่เหล็กอีกแผ่น เพื่อยึดเม็ดตัวอย่างไว้
4. จากนั้นนำมาใส่ในเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) โดยทำการสแกนเครื่องด้วยพอลิสไตรีน (polystyrene) เป็นจำนวน 7 ครั้ง เพื่อตรวจว่าเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) สามารถตรวจวัดได้ตามมาตรฐานหรือไม่ จึงทำการวัดตัวอย่าง ซึ่งจะทำการวัดในช่วง  $400-4000 \text{ cm}^{-1}$
5. ทำซ้ำจนครบทุกสูตร

#### 3.3.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1. ทดสอบการดูดซึมน้ำ
  - 1.1 ตัดตัวอย่างแต่ละสูตรที่เตรียมได้ ให้มีขนาด  $1 \times 1$  เซนติเมตร
  - 1.2 ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างไฮโดรเจล (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกผล
  - 1.3 นำไปแช่ในเมทานอลเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นผึ่งให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
  - 1.4 นำตัวอย่างที่ผึ่งแห้งแล้วนั้นมาชั่งน้ำหนักและแช่ในน้ำกลั่น โดยจะนำตัวอย่างขึ้นมาชั่งทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งครบ 7 ชั่วโมง
  - 1.5 คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำและพลอตกราฟ
2. ทดสอบการคายน้ำ
  - 2.1 ตัดตัวอย่างแต่ละสูตรที่เตรียมได้ ให้มีขนาด  $1 \times 1$  เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.2 ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างไฮโดรเจล (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และบันทึกผล
- 2.3 นำไปแช่ในเมทานอลเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นผึ่งให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2.4 ชั่งน้ำหนักหลังจากผึ่งแห้งและนำไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2.5 นำตัวอย่างวางไว้ในจานเพาะเชื้อ และนำไปชั่งหาน้ำหนัก โดยจะชั่งทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งครบ 7 ชั่วโมง
- 2.6 คำนวณหาค่าการคายน้ำและพลอตกราฟ

### 3.3.3 ทดสอบสมบัติเชิงกล

1. ทำการตัดชิ้นงานให้มีความหนามากกว่า 6 มิลลิเมตร
2. นำชิ้นงานนี้ไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ใช้ Load cell 100 N และ ตั้งสภาวะเครื่องโดยใช้อัตราเร็วในการกด 1 มิลลิเมตร/นาที และกำหนดช่วงในการหาค่า มอดูลัสกดอัด (Compressive modulus) ที่ช่วงความเครียด 0.5 % และ 1 %
3. ทำการทดสอบและบันทึกผลที่ได้
4. ทำซ้ำจนครบทุกสูตร

### 3.3.4 ทดสอบสมบัติทางความร้อน

1. ทำการเตรียมตัวอย่างโดยให้น้ำหนักของตัวอย่างไม่เกิน 20 มิลลิกรัม
2. ทำการเทียบมาตรฐาน (calibrate) เครื่องเทอร์มัลกราวิเมทรี (TGA) โดยใช้แพนเปล่า
3. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ลงแพนและทำการวิเคราะห์
4. ทำการวิเคราะห์ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 700°C โดยทำการ hold ไว้ที่ 50°C เป็นเวลา 15 นาที ให้ความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 10°C ต่อนาที และให้อัตราการเย็นตัว เป็น 20°C ต่อนาที
5. เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วจะได้กราฟการสลายตัวออกมาและทำกราฟอนุพันธ์
6. ทำซ้ำจนครบทุกสูตร

### 3.3.5 ทดสอบสัณฐานวิทยา

1. ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างให้มีขนาด 1x1 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างที่ตัดได้ไปเคลือบด้วยทอง
3. นำมาส่งดูสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) โดยทำการ ส่องดูที่ด้านข้างของชิ้นงานที่กำลังขยาย 300
4. ทำซ้ำจนครบทุกสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

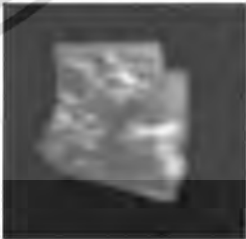

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้จะเป็นการศึกษาผลของปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาได้ออกเป็น 3 ตอน โดยตอนที่ 1 จะศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม ดังสูตรที่ 1-9 ตอนที่ 2 จะศึกษาผลของปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่คงที่ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม ดังสูตรที่ 10-18 และศึกษาผลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่มากเกินไป ดังในสูตรที่ 19 และตอนที่ 3 จะทำการศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตาไรลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ซึ่งก็คือสูตรที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่จากสูตรที่ 11 นั่นคือสูตรที่ 20-23 และทำตัวอย่างเปรียบเทียบ (Blank) ในสูตรที่ 24 และ 25 ผลการทดลองในแต่ละตอนแสดงได้ดังนี้

#### 4.1 ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏของชิ้นงาน


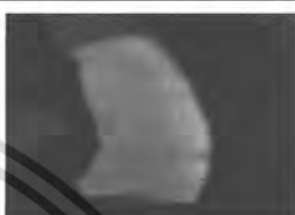
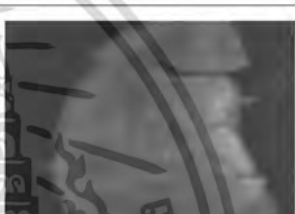


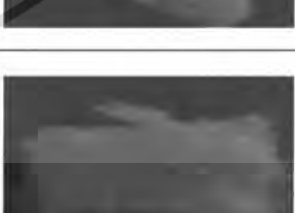

##### ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

จากการเตรียมไฮโดรเจลในสูตรที่ 1-9 ซึ่งมีปริมาณของน้ำไหมที่ลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ และมีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิลิตร เป็น 15 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที ลักษณะทางกายภาพของสูตรที่ 1-9 สามารถได้แสดงดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 1-9

สูตร	ลักษณะที่ปรากฏหลังการทำแห้งแบบเย็น	รูปของไฮโดรเจล
1	มีสีขาวอมเหลือง เพราะ ผิวหน้ามีการแตกออก เมื่อใช้มือกดสามารถคืนตัวได้เล็กน้อยชิ้นงานมีการเกาะกันดีแต่แตกออกจากกันได้ง่าย	
2	มีสีขาวขุ่นออกเหลืองอ่อนๆ เพราะ บางบริเวณหนาบาง บริเวณบาง ผิวด้านหน้าหลุดลอกบางส่วน เมื่อใช้มือกดแล้วสามารถคืนตัวได้บ้าง ชิ้นงานเกาะกันดีแต่แตกออกจากกันได้ง่าย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 1-9 (ต่อ)

สูตร	ลักษณะที่ปรากฏหลังการทำแห้งแบบเย็น	รูปของไฮโดรเจล
3	มีสีขาวอมเหลือง เพราะ ชิ้นงานบาง ที่บริเวณขอบของ ชิ้นงานบางส่วนผิวหน้าจะเกิดการแตก เมื่อใช้มือกด สามารถคืนตัวได้เล็กน้อย ชิ้นงานเกาะกันดีแต่แตกออกจากกันได้ง่าย	
4	มีสีขาวขุ่นอมเหลือง เพราะ ชิ้นงานมีความหนา ผิวด้านบน มีการหลุดลอกและแตกออกบางส่วน เมื่อใช้มือกดแล้วมีการคืนตัวได้บ้าง ชิ้นงานเกาะกันดีแต่แตกออกจากกันได้ง่าย	
5	มีสีขาวขุ่นออกเหลืองอ่อนๆ เพราะ ชิ้นงานมีการหดตัวมาก ผิวด้านบนหลุดลอกง่าย ผิวเกิดการแตก เมื่อใช้มือกดแล้วมีการคืนตัวได้บ้าง เมื่อหยิบขึ้นมาชิ้นงานจะแตกออกตามรอยบนผิวหน้า	
6	มีสีขาวอมเหลือง ชิ้นงานมีความแข็ง เพราะ ผิวหน้าเรียบไม่หลุดลอกออกแต่ผิวหน้าเกิดการแตก เมื่อใช้มือกดสามารถคืนตัวได้บ้าง ชิ้นงานเกาะกันดีแต่แตกออกจากกันได้ง่าย	
7	มีสีขาวอมเหลือง เพราะ มีการแตกที่บริเวณของผิวหน้า ชิ้นงานเล็กน้อย เมื่อใช้มือกดแล้วสามารถคืนตัวได้ แตกตามรอยบนผิวหน้า	
8	มีสีเหลืองอ่อนๆ เพราะ เกิดการแตกทั่วชิ้นงานเป็นชิ้นเล็กๆ เมื่อใช้มือกดชิ้นงานจะเกิดการแตกออก เกิดการยุบได้ง่าย ทำให้ชิ้นงานไม่เป็นแผ่นเดียวกัน	
9	มีสีขาวอมเหลือง เพราะ ชิ้นงานบาง ผิวหน้ามีการแตก เมื่อใช้มือกดสามารถคืนตัวได้เล็กน้อย ชิ้นงานเกิดการแตกตามรอยบนผิวหน้า	


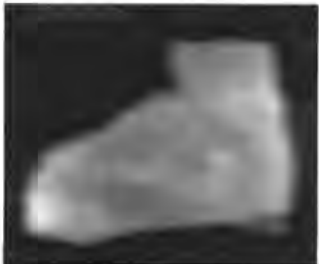
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) จะได้ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลหลังจากการทำแห้งแบบเย็นที่ไม่ดี คือ มีผิวหน้าไม่เรียบ เกิดการแตก จับแล้วยุ่ยหลุดออกจากกันไม่จับตัวกันเป็นก้อน ถึงแม้ว่าจะมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยา เท่ากันหรือต่างกันก็ตาม

## ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณที่คงที่ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผล ต่อไฮโดรเจลของไหม

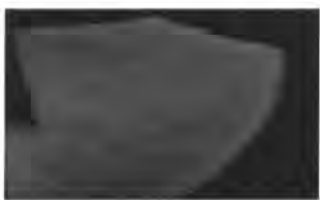

จากการเตรียมไฮโดรเจลในสูตรที่ 10-18 ซึ่งมีปริมาณน้ำไหมที่ลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ และมีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที ลักษณะทางกายภาพของสูตร ที่ 10-18 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 และไฮโดรเจลที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (สูตรที่ 19) ที่มี ปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่มากเกินไปไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่ดี ซึ่งสามารถ แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 เช่นกัน

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 10-19

สูตร	ลักษณะที่ปรากฏหลังการทำแห้งแบบเย็น	รูปของไฮโดรเจล
10	มีสีขาวอมเหลือง นิ่ม ขึ้นงานสามารถคงรูปร่างได้ดี พื้นผิวมี รอยแตกเล็กน้อย ยืดหยุ่นเล็กน้อย เมื่อใช้มือกดสามารถคืน ตัวได้ ขึ้นงานเกาะกันดี เมื่อจับแล้วไม่ติดมือ	
11	มีสีขาวอมเหลือง นิ่มแต่เปราะเล็กน้อย ผิวหน้าแตก เล็กน้อย ขึ้นงานสามารถคงรูปร่างได้ดี เมื่อใช้มือกด สามารถคืนตัวได้บ้าง	
12	มีสีเหลืองอ่อน นิ่มแต่เปราะเล็กน้อย ผิวหน้าเป็นมันเงาแต่ มีรอยแตกเล็กน้อย เมื่อใช้มือกดสามารถคืนตัวได้บ้าง ขึ้นงานเกาะกันดี	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 10-19 (ต่อ)

สูตร	ลักษณะที่ปรากฏหลังการทำแห้งแบบเย็น	รูปของไฮโดรเจล
13	มีสีเหลืองอ่อนๆ นิ่ม ผิวหน้าไม่เกิดการแตก เมื่อใช้มือกดสามารถคืนตัวได้ ชั่งงานเกาะกันได้ดี	
14	มีสีเหลืองอ่อนๆ ผิวหน้าเงาและเกิดการแตกเล็กน้อย เมื่อใช้กดแล้วคืนตัวได้เล็กน้อย ชั่งงานเกาะกันดีแต่เกิดการแตกออกตามรอยบนผิวหน้า	
15	มีสีเหลืองอ่อนๆ นิ่ม ผิวหน้ามีรอยแตก มีบางส่วนหนา บางส่วนบาง เมื่อใช้มือกดแล้วชั่งงานไม่คืนตัว ชั่งงานเกาะกันดีแต่จะแตกออกตามรอยบนผิวหน้า	
16	มีสีเหลือง นิ่มแต่เปราะเล็กน้อย พื้นผิวด้านหน้าไม่มีรอยแตก เมื่อใช้มือกดสามารถคืนรูปได้เล็กน้อย ชั่งงานเกาะกันดีจับแล้วไม่แตกออกจากกัน	
17	มีสีเหลืองอ่อนๆ นิ่ม ผิวหน้าเงา พื้นผิวด้านหน้ามีรอยแตกเล็กน้อย เมื่อใช้มือกดสามารถคืนรูปร่างเดิมได้ ชั่งงานเกาะกันดีจับแล้วไม่แตกออกจากกัน	
18	มีสีเหลืองอ่อนๆ นิ่ม พื้นผิวด้านหน้าติดแน่นกับชั่งงาน ชั่งงานที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอ ผิวหน้าไม่มีการแตก เมื่อใช้มือกดสามารถคืนรูปร่างเดิมได้เล็กน้อย ชั่งงานเกาะกันดีจับแล้วไม่แตกออกจากกัน	
19	มีสีเหลืองอ่อน เกิดการแตกของชั่งงานทำให้มีลักษณะเป็นผง ยู่่ง่าย ไม่เป็นแผ่น จับแล้วชั่งงานจะแตกละเอียด	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่วารณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อให้ปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร จะได้ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลหลังการทำแห้งแบบเยนที่ตีผิวหน้าเรียบ ไม่เกิดการแตกหรือแตกน้อยมาก เมื่อแช่น้ำไม่เกิดการยุบ จับแล้วไม่แตก ถึงแม้ว่าจะมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากันหรือต่างกันก็ตาม และจากสูตรที่ 19 ที่มีปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยามากเกินพอจะทำให้ไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่ดี กรอบและเกิดการแตกเป็นผง

**หมายเหตุ** ในสูตรที่ 19 ไฮโดรเจลที่ได้นั้นมีความยุบมาก แตกออกเป็นผงไม่เกาะติดกันเป็นก้อนทำให้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆได้

### ตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)


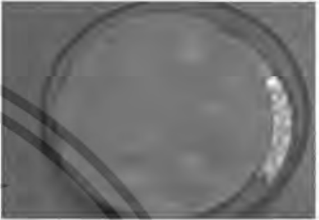
จากการเตรียมไฮโดรเจลทั้ง 18 สูตรพบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 10-18 ซึ่งเป็นสูตรที่มีปริมาณน้ำใหม่ลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ และให้ปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร พบว่าไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่ดี ผิวหน้าเรียบไม่เกิดการแตก เมื่อแช่น้ำแล้วไม่เกิดการยุบออกมา จับแล้วไม่แตกออกจากกันเหมือนดังในสูตรที่ 1-9 จึงได้นำสูตรที่ 11 ซึ่งอยู่ในกลุ่มของสูตรที่ 10-18 มาทำการปรับปรุงโดยการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์ เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงที่หมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) ของสายโซ่ใหม่และหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ซึ่งจะส่งผลให้ไฮโดรเจลที่ได้มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้นและมีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ลงไปด้วย เพื่อไฮโดรเจลที่ได้มีความยืดหยุ่นไม่แข็งหรือเปราะเกินไป ซึ่งสามารถปรับปรุงสูตรออกมาใหม่ได้ 4 สูตร โดยมีลักษณะทางกายภาพหลังแช่แข็งและการทำแห้งแบบเยนแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเยนของสูตรที่ 20-23

สูตร	ลักษณะที่ปรากฏหลังการทำแห้งแบบเยน	รูปของไฮโดรเจล
20	มีสีเหลือง มีความนิ่ม ผิวหน้าของชิ้นงานไม่มีรอยแตก ผิวหน้าเงา เมื่อใช้มือกดสามารถคืนรูปร่างได้ มีความยืดหยุ่น ชิ้นงานเกาะกันดีไม่แตกออก	
21	มีสีเหลือง มีความนิ่ม ผิวหน้าชิ้นงานไม่มีรอยแตกและเงา ชิ้นงานความหนาแต่ไม่สม่ำเสมอ มีความนิ่ม เมื่อใช้มือกดสามารถคืนรูปร่างได้ ชิ้นงานเกาะกันดี	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 20-23 (ต่อ)

สูตร	ลักษณะที่ปรากฏหลังการทำแห้งแบบเย็น	รูปของไฮโดรเจล
22	มีสีเหลือง มีความนิ่ม พื้นผิวมีรอยแตกเล็กน้อยและเงา เมื่อใช้มือกดสามารถคืนตัวได้ ชั่งงานเกาะกันดีไม่แตกออก	
23	มีสีเหลือง มีความนิ่ม ผิวหน้าชิ้นงานไม่มีรอยแตก ชั่งงานมีความหนา เมื่อใช้มือกดสามารถคืนตัวได้ ชั่งงานเกาะกันดีไม่แตกออก	

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อให้ปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร และมีการเติมสารเชื่อมโยงกอลลูตาร์ลดีไฮด์ ซึ่งในสูตรที่ 20 และ 23 จะมีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) แต่ในสูตรที่ 21 และ 22 จะไม่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะเห็นได้ว่าไฮโดรเจลที่ได้นั้นมีลักษณะทางกายภาพที่ดี ผิวหน้าเรียบและเงา ไม่เกิดการแตก เมื่อแช่แข็ง ไม่เกิดการยุบ จับแล้วไม่แตกออกจากกัน



เมื่อได้ทำการปรับปรุงสูตรไฮโดรเจลขึ้นมาอีก 4 สูตรแล้วนั้น ได้ทำการเตรียมตัวอย่างไฮโดรเจลขึ้นมาอีก 2 สูตร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ (Blank) ก็คือ สูตรที่ 24 และ 25 ซึ่งจะใช้ น้ำกลั่นแทน น้ำใหม่ โดยในสูตรที่ 24 จะมีการเติมกอลลูตาร์ลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ส่วนในสูตรที่ 25 จะมีการเติมกอลลูตาร์ลดีไฮด์แต่ไม่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ลักษณะทางกายภาพหลังจากแช่แข็งและการทำแห้งแบบเย็น แสดงดังตารางที่ 4.4 และได้แสดงลักษณะทางกายภาพของไหมปกติที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงได้ด้วย

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 24-25 และไหม

สูตร	ลักษณะที่ปรากฏหลังการทำแห้งแบบเย็น	รูปของไฮโดรเจล
24	มีสีเหลืองอ่อน ชิ้นงานบาง มีความนุ่มมาก พื้นผิวด้านหน้ามีการแตก เมื่อใช้มือกดสามารถคืนตัวได้ ชั่งงานเกาะกันดี แต่จะแตกออกตามรอยบนผิวหน้า	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะที่ปรากฏหลังจากแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็นของสูตรที่ 24-25 และใหม่ (ต่อ)

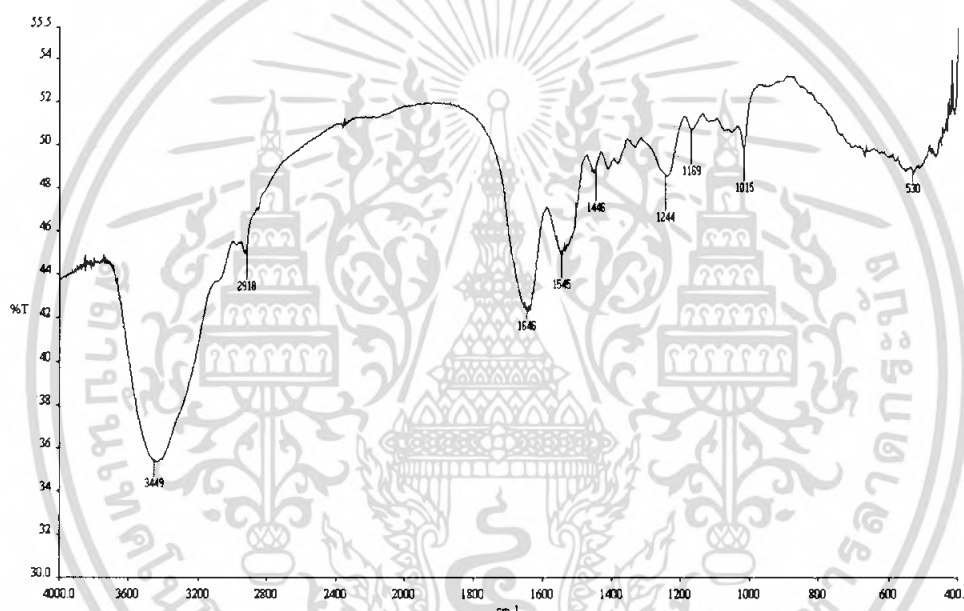
สูตร	ลักษณะที่ปรากฏหลังการทำแห้งแบบเย็น	รูปของไฮโดรเจล
25	มีสีเหลือง ใหม่เกิดการละลาย ขณะที่ทำแห้งแบบเย็นทำให้ชิ้นงานที่ได้เป็นแผ่นบางๆ ไม่ฟูเหมือนฟองน้ำ	
ใหม่	ลักษณะของใหม่หลังแช่แข็งและทำแห้งแบบเย็น มีสีเหลือง มีความนิ่ม ที่ผิวหน้าไม่มีรอยแตก เมื่อใช้มือกดสามารถคืนตัวได้ดี ชิ้นงานเกาะกันดี	

**หมายเหตุ** ในสูตรที่ 25 จะเห็นว่าไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ไม่ฟู เนื่องจากเกิดการละลายขณะที่ทำแห้งแบบเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

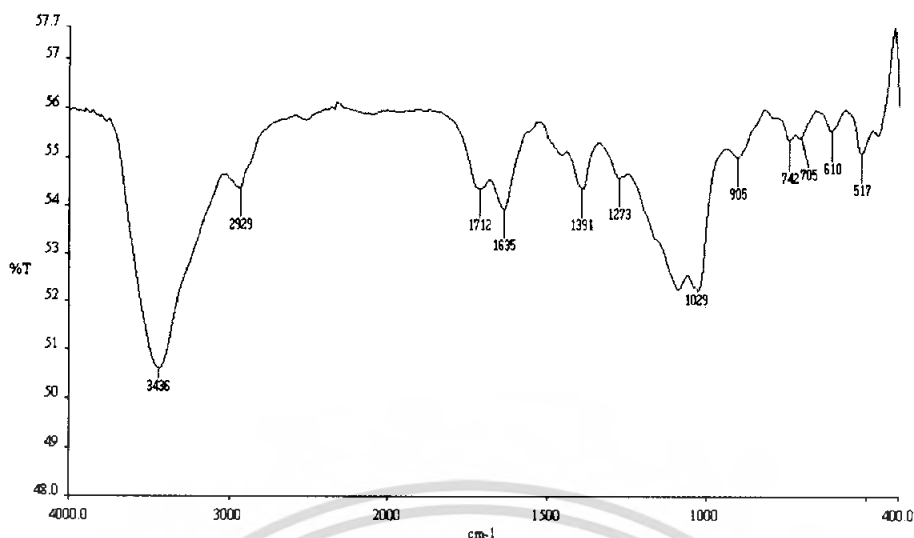
#### 4.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เพื่อวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันหลักของไหมและ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้ในแต่ละสูตรว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร และเพื่อตรวจสอบว่าได้มีการต่อกิ่งของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เข้าไปบนสายโซ่ไหมได้หรือไม่ โดยจะทำการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยกับของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพื่อให้ได้อินฟราเรดสเปกตรัมมาใช้ในการเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของไหมที่มีการปรับปรุง อินฟราเรดสเปกตรัมของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยกับของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย

จากรูปที่ 4.1 พบพีคที่เลขคลื่น  $3449\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ N-H Stretching ของเอไมด์ (amide), เลขคลื่น  $2918\text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคของ C-H Stretching และเลขคลื่น  $1646, 1545$  และ  $1446\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ C=O ของ  $1^\circ$ ,  $2^\circ$  และ  $3^\circ$  amide ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าไหมไฟโบรอินเป็นสารประเภทโปรตีนโดยมีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบหลัก

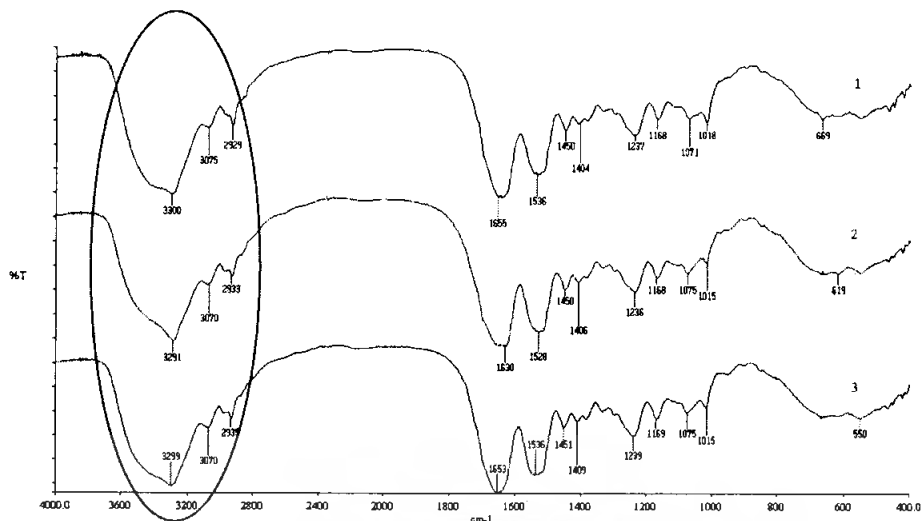


รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)

จากรูปที่ 4.2 พบพีคที่เลขคลื่น  $3436\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching, เลขคลื่น  $1029\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ C-O stretching, เลขคลื่น  $1712\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ C=O stretching, เลขคลื่น  $2918\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ C-H Stretching และเลขคลื่น  $1635\text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคของ C=C Stretching

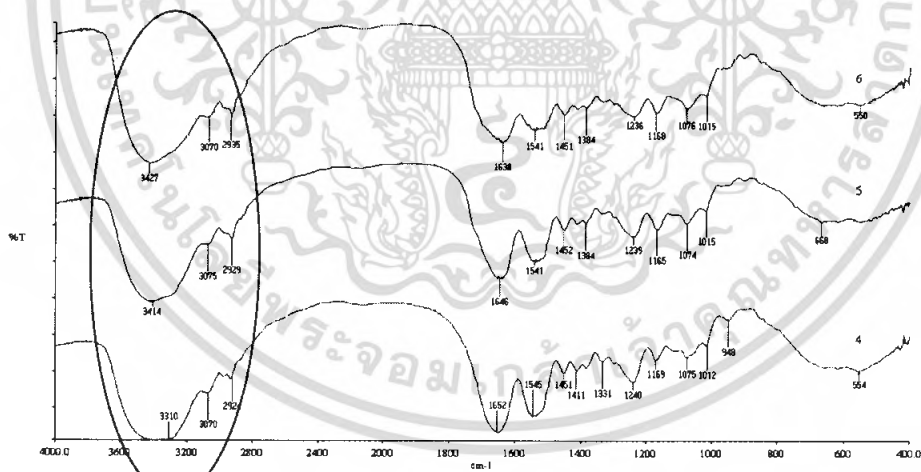
#### ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

จากการตรวจวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของไฮโดรเจลในสูตรที่ 1-9 ซึ่งมีปริมาณน้ำไหมลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร และมีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิลิตร เป็น 15 และ 20 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน เนื่องจากโครงสร้างของไฮโดรเจลประกอบไปด้วยไหมที่มีพันธะของ C=O และ N-H และประกอบด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีพันธะของ C=O และ O-H ซึ่งสเปกตรัมหลักของหมู่ฟังก์ชันหลักเหล่านี้จะขึ้นที่ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ไม่สามารถแยกออกได้ว่าตำแหน่งไหนเป็นของไหมหรือของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) จากอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 1-9 พบว่าจะเกิดพีคที่เลขคลื่น  $3400\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และ N-H stretching ของเอไมด์ (amide) ที่เลขคลื่นประมาณ  $1600\text{ }1500\text{ และ }1100\text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคของ C=O stretching ของเอไมด์ (amide) และ C=C stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต อินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 1-9 แสดงได้ดังรูปที่ 4.3-4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสูตรที่ 1-3

จากรูปที่ 4.3 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 1-3 โดยมีปริมาณน้ำใหม่ 30 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพีคที่บริเวณเลขคลื่น  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  จะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยพีคที่บริเวณนี้จะความแหลมหรือเกิดการแยกของพีคออกจากกันมากขึ้นแต่ก็ยังแยกออกจากกันไม่ชัดเจน เมื่อให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นเป็น 30 หรือ 60 นาที

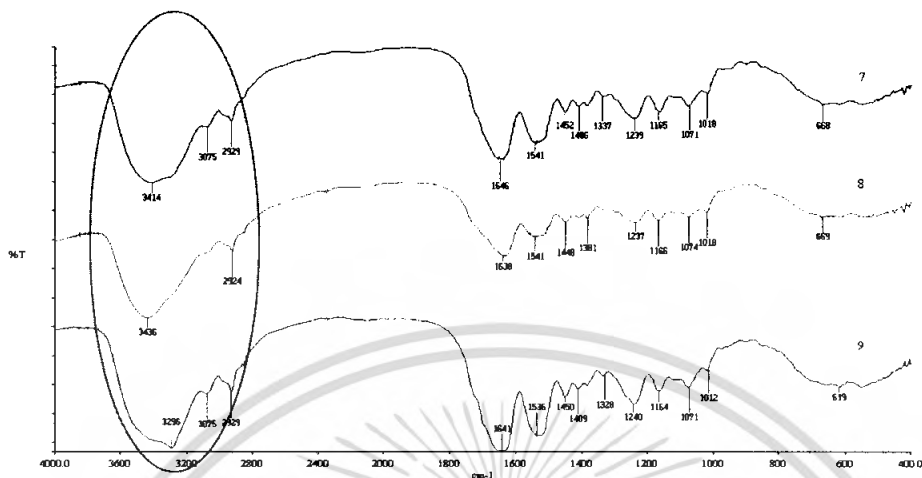


รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสูตรที่ 4-6

จากรูปที่ 4.4 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 4-6 โดยมีปริมาณน้ำใหม่ 25 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 15 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพีคที่บริเวณเลขคลื่น  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  จะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยพีคที่บริเวณนี้จะความแหลมหรือเกิดการแยกของพีคออกจากกันมากขึ้นแต่ก็ยังแยกออกจากกันไม่ชัดเจน เมื่อให้ปริมาณของน้ำใหม่ลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 มิลลิลิตร และปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 15 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิลิตร เป็น 15 มิลลิลิตร หรือเมื่อให้เวลาในการปฏิกิริยามากขึ้นเป็น 30 หรือ 60 นาที



รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างสูตรที่ 7-9

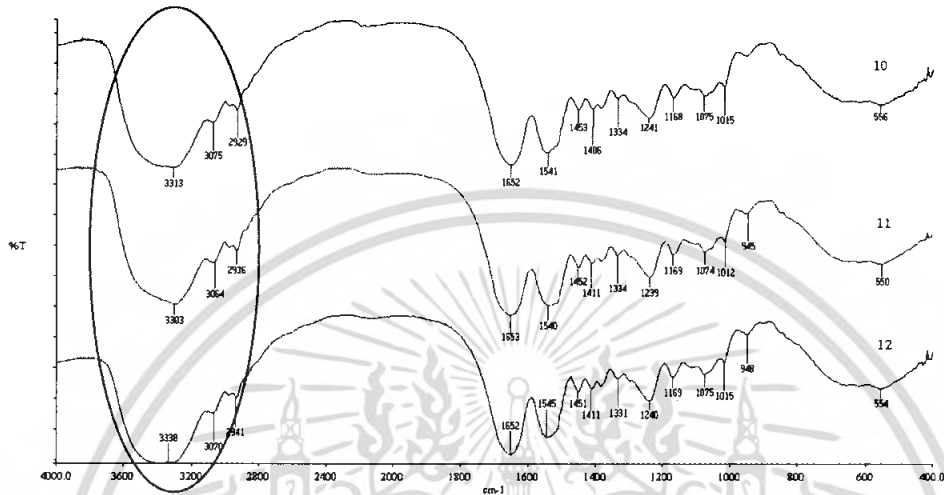
จากรูปที่ 4.5 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 7-9 โดยมีปริมาณน้ำใหม่ลดลงเหลือ 20 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้นเป็น 20 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน 15 30 และ 60 นาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพีคบริเวณ  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  จะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยพีคที่บริเวณนี้จะมีความแหลมมากขึ้นหรือแยกออกจากกันมากขึ้นแต่ก็ยังไม่ชัดเจน เมื่อปริมาณของน้ำใหม่ลดลงเหลือ 20 มิลลิลิตรและปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้นเป็น 20 มิลลิลิตร หรือเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นเป็น 30 หรือ 60 นาที

จากรูปที่ 4.3-4.5 ซึ่งแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 1-9 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ทุกสูตรจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่บริเวณเลขคลื่น  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และ N-H stretching ของเอไมด์ (amide) ทำให้สามารถคาดได้ว่าน่าจะมีการต่อกิ่งของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) บนสายโซ่ของโพลิเมอร์

## ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณที่คงที่ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของโพลิเมอร์

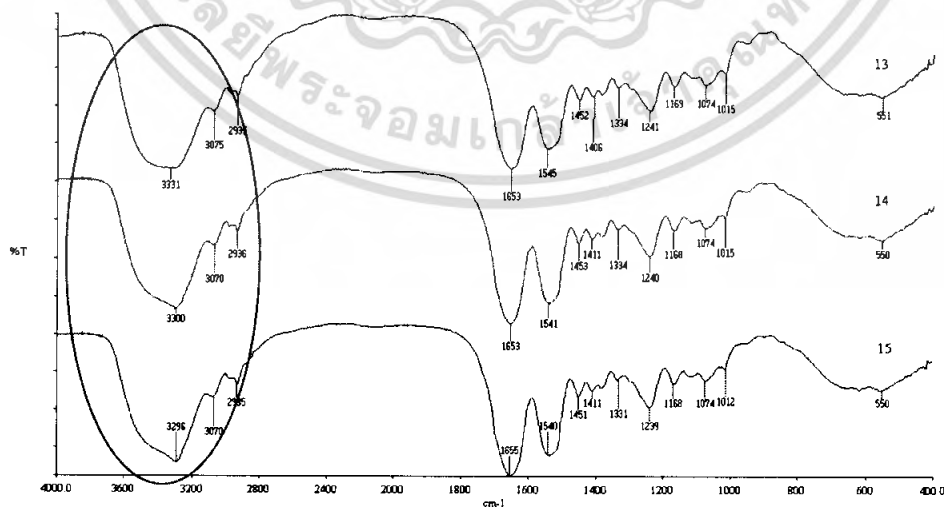
จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันในสูตรที่ 10-18 ซึ่งมีปริมาณของน้ำใหม่ลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ และให้ปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จะมีลักษณะที่คล้ายกันกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 1-9 โดยยังคงพบพีคที่เลขเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่น  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และ N-H stretching ของเอไมด์ (amide) ที่เลขคลื่นประมาณ  $1600\ 1500$  และ  $1100\text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคของ C=O stretching ของเอไมด์ (amide) และ C=C stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) อินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 10-18 แสดงได้ดังรูปที่ 4.6-4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัม ของตัวอย่างสูตรที่ 10-12

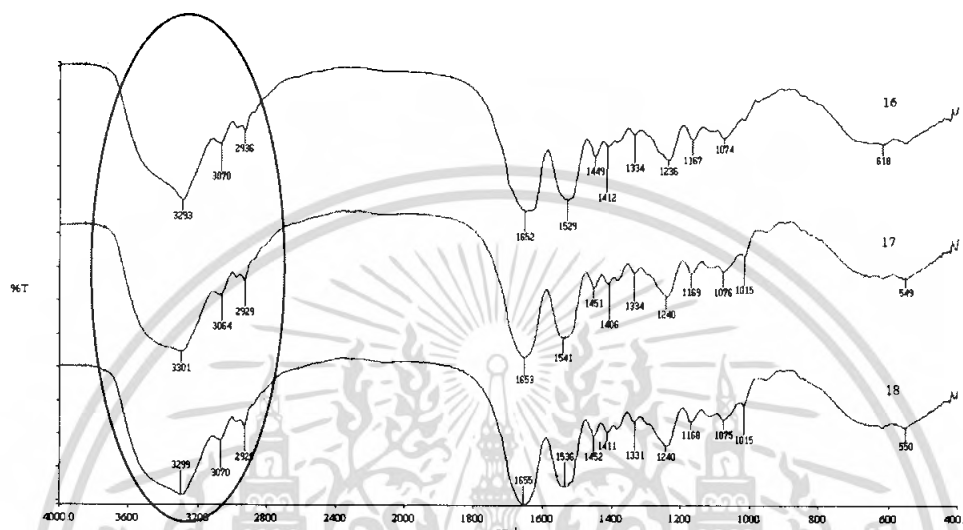
จากรูปที่ 4.6 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 10-12 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 30 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที จากรูปจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของพีคที่บริเวณเลขคลื่น  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  โดยพีคที่บริเวณนี้จะมีความกว้าง (broad) ของพีคที่มากขึ้น เมื่อให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น เป็น 30 หรือ 60 นาที



รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัม ของตัวอย่างสูตรที่ 13-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 13-15 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 25 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที จากรูปจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของพีคที่บริเวณเลขคลื่น  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  โดยพีคที่บริเวณนี้จะมี ความกว้าง (broad) ของพีคที่มากขึ้นและพีคเกิดการแยกออกจากกันแต่ก็ยังไม่ชัดเจน



รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัม ของตัวอย่างสูตรที่ 16-18

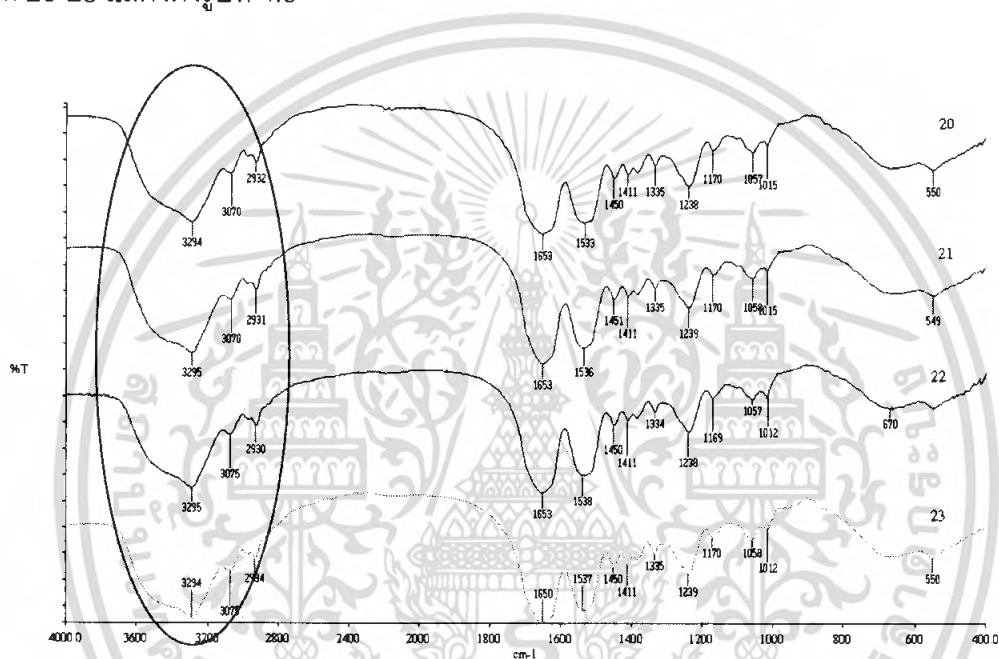
จากรูปที่ 4.8 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 16-18 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 20 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที จากรูปจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของพีคที่บริเวณเลขคลื่น  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  โดยพีคที่บริเวณนี้จะมี ความกว้าง (broad) ของพีคที่มากขึ้น เมื่อให้ปริมาณน้ำใหม่ลดลงเหลือ 20 มิลลิลิตร หรือให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นเป็น 30 หรือ 60 นาที

จากรูปที่ 4.6-4.8 ซึ่งแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมในสูตรที่ 10-18 จะเห็นว่าเมื่อให้ปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ ทุกสูตรจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่บริเวณเลขคลื่น  $3400-3200\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และ N-H stretching ของเอไมด์ (amide) ทำให้สามารถคาดได้ว่าน่าจะมีการต่อกิ่งของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) บนสายโซ่ของใหม่

### ตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)

การปรับปรุงไฮโดรเจลจากสูตรที่ 11 ซึ่งอยู่ในกลุ่มของสูตรที่มีปริมาณน้ำใหม่ลดลงและปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30 นาที โดยมีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และนำไปตรวจวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้ยังคงแสดงสเปกตรัมที่สำคัญของหมู่ฟังก์ชันหลัก คือ ที่เลขคลื่น 3400-3200  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และ N-H stretching ของเอไมด์ (amide) ที่เลขคลื่นประมาณ 1600 1500 และ 1100  $\text{cm}^{-1}$  เป็นพีคของ C=O stretching ของเอไมด์ (amide) และ C=C stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) อินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่มีการปรับปรุงใหม่ ซึ่งก็คือสูตรที่ 20-23 แสดงดังรูปที่ 4.9



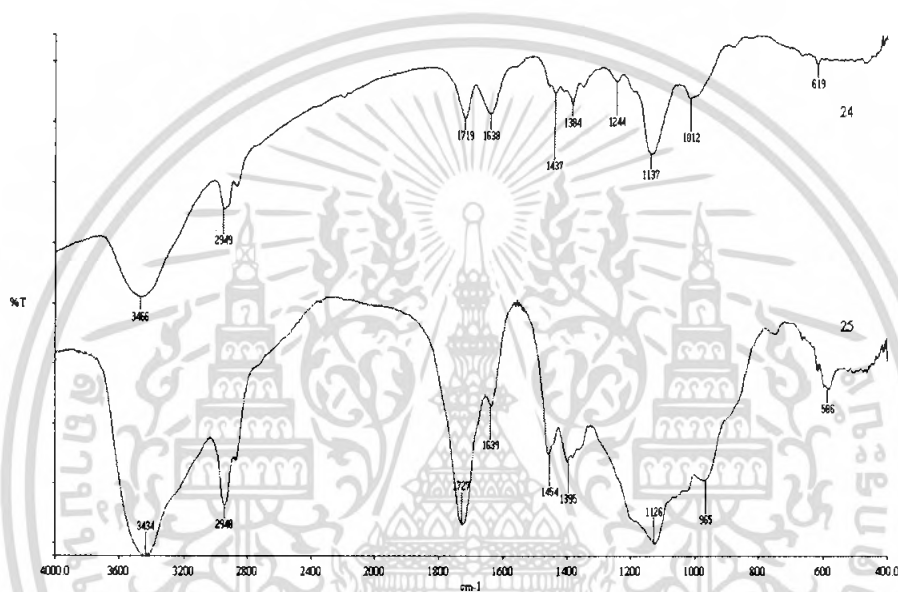
รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 20-23

จากรูปที่ 4.9 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 20-23 โดยในสูตรที่ 20 และ 23 จะมีปริมาณของน้ำใหม่ 30 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ต่างกันที่ในสูตรที่ 20 มี กลูตารัลดีไฮด์ 0.5 มิลลิลิตร แต่ในสูตรที่ 23 มีกลูตารัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร ส่วนในสูตรที่ 21 และ 22 จะมีปริมาณของน้ำใหม่ 30 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) 4 มิลลิลิตร ต่างกันที่ในสูตรที่ 21 จะมีกลูตารัลดีไฮด์ 0.5 มิลลิลิตร แต่ในสูตรที่ 22 มี กลูตารัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร โดยทั้ง 4 สูตรจะมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที จากอินฟราเรดสเปกตรัมของทั้ง 4 สูตรจะเห็นได้ว่ามีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ถึงแม้ว่าจะมีส่วนผสมที่ต่างกันและมีลักษณะที่คล้ายกันกับสูตรที่ 1-18 โดยยังคงพบที่เลขคลื่น 3400-3200  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และ N-H stretching ของเอไมด์ (amide) ที่เลขคลื่นประมาณ 1600 1500 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1100  $\text{cm}^{-1}$  เป็นพีคของ C=O stretching ของเอไมด์ (amide) และ C=C stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) แสดงว่าเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) จะให้ข้อมูลของหมู่ฟังก์ชันหลักที่สำคัญเท่านั้น

รูปที่ 4.10 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไฮโดรเจลที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งก็คือสูตรที่ 24 และ 25 โดยมีน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร กลูตารัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร ต่างกันที่ในสูตรที่ 24 มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) 4 มิลลิลิตร แต่ในสูตรที่ 25 ไม่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ทั้ง 2 สูตร



รูปที่ 4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของสูตรที่ 24 และ 25

จากรูปจะเห็นได้ว่าในสูตรที่ 24 จะแสดงพีคที่เลขคลื่น 3462  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และ N-H stretching ของเอไมด์ (amide) ที่เลขคลื่น 1719  $\text{cm}^{-1}$  เป็นพีคของ C=O stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เลขคลื่น 1638  $\text{cm}^{-1}$  และ C=O stretching ของเอไมด์ (amide) และ C=C ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ส่วนในสูตรที่ 25 จะแสดงพีคที่เลขคลื่น 3448  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของ O-H stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และ N-H stretching ของเอไมด์ (amide) ที่เลขคลื่น 1727  $\text{cm}^{-1}$  เป็นพีคของ C=O stretching ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เลขคลื่น 1636  $\text{cm}^{-1}$  และ C=O stretching ของเอไมด์ (amide) และ C=C ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 สมบัติการดูดซึมน้ำและการคายน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำและการคายน้ำเป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบว่าไฮโดรเจลที่เตรียมได้นั้นมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมากเป็นกี่เท่าของน้ำหนักตัวมันขณะที่แห้งและสามารถการกักเก็บน้ำไว้ในตัวมันเองได้นานเท่าไร

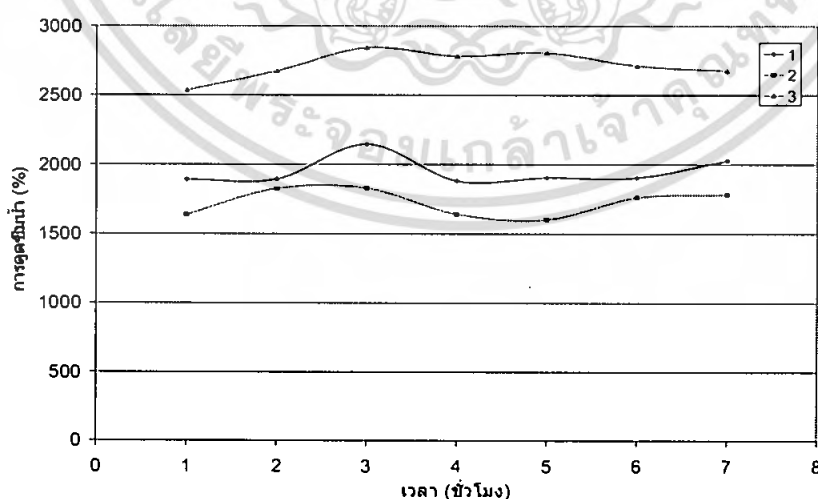
##### 4.3.1 การดูดซึมน้ำ

เตรียมตัวอย่างไฮโดรเจลโดยนำตัวอย่างไปแช่ในเมทานอลเป็นเวลา 1 นาที ทั้งตัวอย่างเอาไว้ให้เมทานอลระเหยออกไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำตัวอย่างที่ผึ่งแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่น โดยในระหว่างการแช่นั้นจะนำตัวอย่างขึ้นมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งครบ 7 ชั่วโมง แล้วนำค่าน้ำหนักที่บันทึกได้มาคำนวณหาค่า%การดูดซึมน้ำ โดยใช้สูตร

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักไฮโดรเจลรวมน้ำ} - \text{น้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง}}{\text{น้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง}} \times 100$$

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

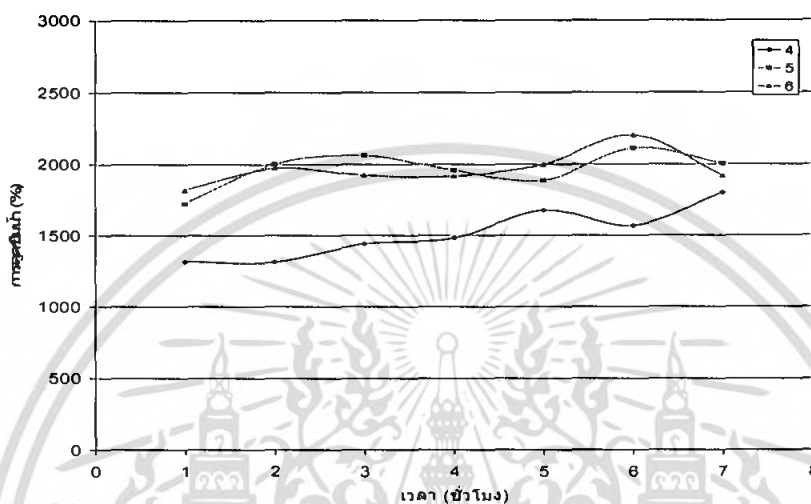
การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำในสูตรที่ 1-9 ซึ่งเป็นสูตรที่มีปริมาณน้ำใหม่ลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร มีปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิลิตร เป็น 15 และ 20 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที พบว่า%การดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลมีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง โดยเฉพาะไฮโดรเจลในสูตรที่มีเวลาในการเกิดปฏิกิริยามาก ซึ่งก็คือ 30 และ 60 นาที กราฟแสดงค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 1-9 แสดงดังรูปที่ 4.11-4.13 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 1-3

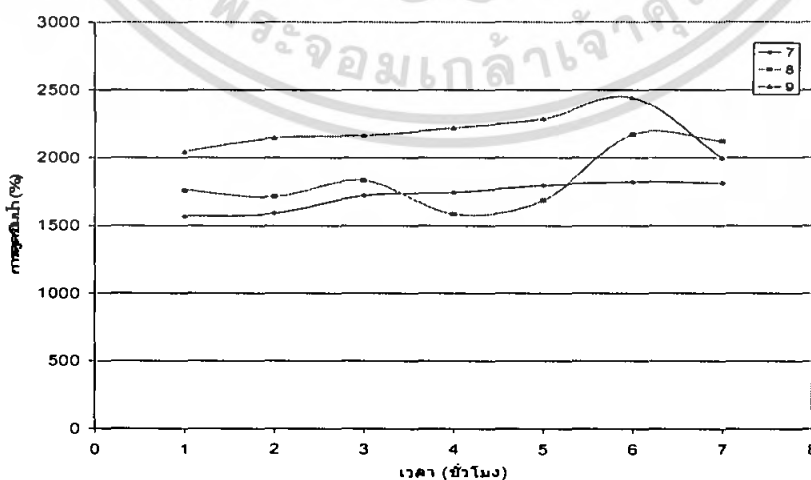
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 แสดงกราฟค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 1-3 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 30 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 10 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 3 ซึ่งมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด จะให้ค่า%การดูดซึมน้ำสูงที่สุด โดยจะมีค่า%การดูดซึมน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 เป็น 2534% ส่วนในสูตรที่ 2 และ 1 จะมีค่า%การดูดซึมน้ำเป็น 1636% และ 1890% ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 4-6

จากรูปที่ 4.12 แสดงกราฟค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 4-6 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 25 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 15 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 6 ซึ่งมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด จะให้ค่า%การดูดซึมน้ำสูงที่สุด โดยจะมีค่า%การดูดซึมน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 เป็น 1819% ส่วนในสูตรที่ 5 และ 4 จะมีค่า%การดูดซึมน้ำเป็น 1724% และ 1316% ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 7-9

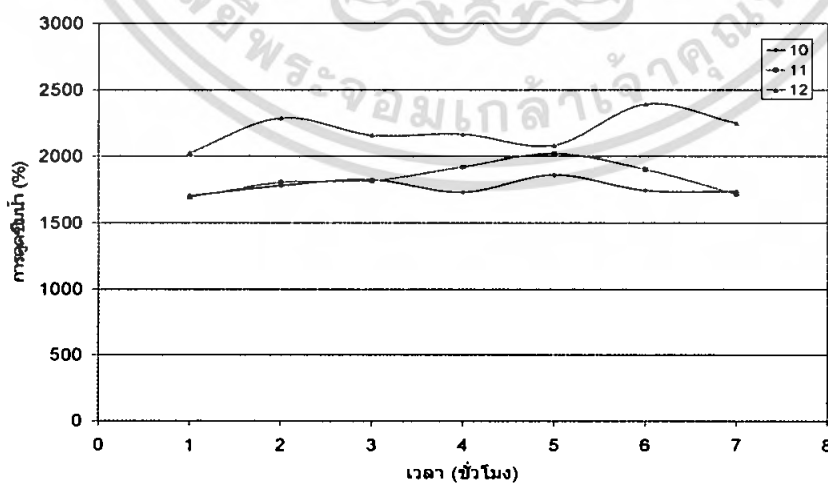
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 แสดงกราฟค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 7-9 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 20 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 20 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 9 ซึ่งมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด จะให้ค่า%การดูดซึมน้ำสูงที่สุด โดยจะมีค่า%การดูดซึมน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 เป็น 2044% ส่วนในสูตรที่ 8 และ 7 จะมีค่า%การดูดซึมน้ำเป็น 1759% และ 1568% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11-4.13 ที่แสดงค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 1-9 จะเห็นว่าเมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นจะทำให้ไฮโดรเจลมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากเวลาที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นทำให้ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เข้าไปต่อกิ่งบนสายโซ่ของโพลีเมอร์ได้มากขึ้นทำให้มีหมู่ที่สามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น นั่นคือ มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโครงสร้างมากขึ้น หรือที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากจะทำให้ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เกิดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) ได้มากขึ้น และเมื่อเวลาในการแช่น้ำผ่านไปนานมากขึ้นจะเห็นว่าปริมาณการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากชั่วโมงที่ 1

## ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณที่คงที่ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของโพลีเมอร์

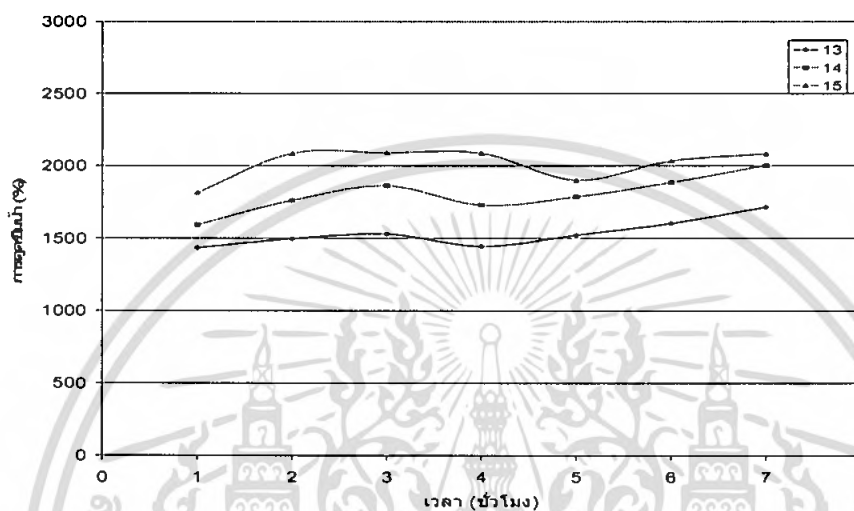
การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำในสูตรที่ 10-18 ซึ่งเป็นสูตรที่มีปริมาณน้ำใหม่ลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร มีปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที โดยจะให้ผลของการดูดซึมน้ำเช่นเดียวกับในสูตรที่ 1-9 คือ จะสามารถดูดซึมน้ำได้สูง โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยามาก กราฟแสดงค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 10-18 แสดงดังรูปที่ 4.14-4.16 ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 10-12

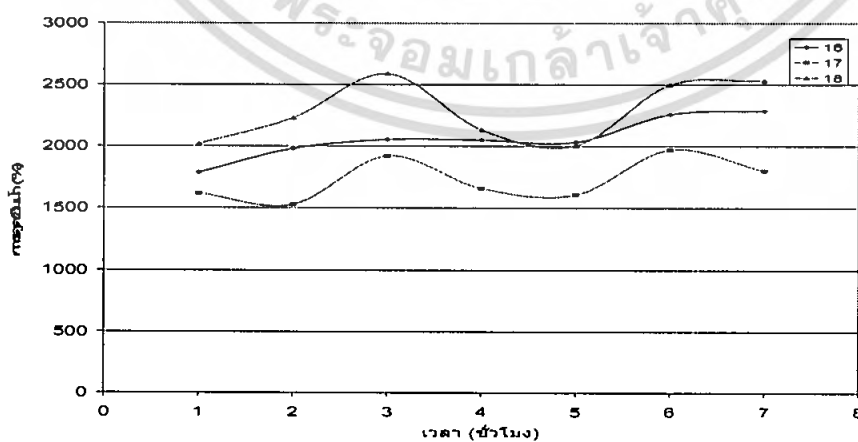
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 แสดงกราฟค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 10-12 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 30 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 12 ซึ่งมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด จะให้ค่า%การดูดซึมน้ำสูงที่สุด โดยจะมีค่า%การดูดซึมน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 เป็น 2025% ส่วนในสูตรที่ 11 และ 10 จะมีค่า%การดูดซึมน้ำเป็น 1693% และ 1703% ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 13-15

จากรูปที่ 4.15 แสดงกราฟค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 13-15 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 25 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 15 ซึ่งมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด จะให้ค่า%การดูดซึมน้ำสูงที่สุด โดยจะมีค่า%การดูดซึมน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 เป็น 1813% ส่วนในสูตรที่ 14 และ 13 จะมีค่า%การดูดซึมน้ำเป็น 1592% และ 1433% ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 16-18

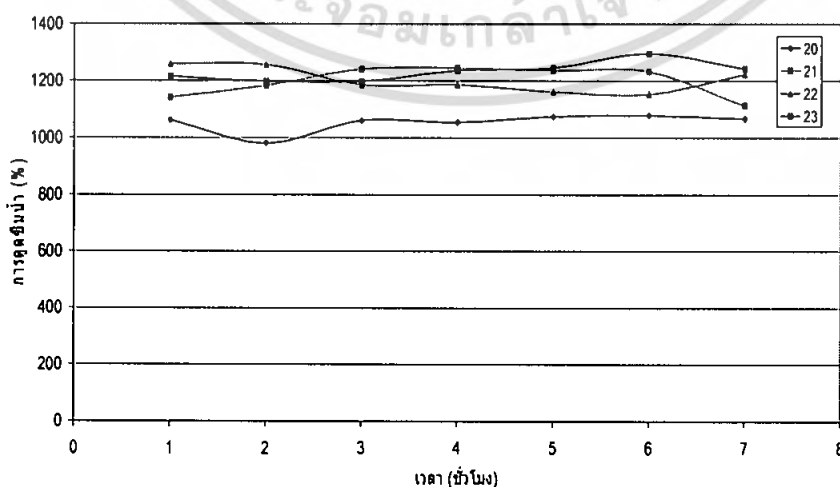
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 แสดงกราฟค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 16-18 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 20 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 18 ซึ่งมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด จะให้ค่า%การดูดซึมน้ำสูงที่สุด โดยจะมีค่า%การดูดซึมน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 เป็น 2016% ส่วนในสูตรที่ 17 และ 16 จะมีค่า%การดูดซึมน้ำเป็น 1615% และ 1784% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.14-4.16 ที่แสดงค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 10-18 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้ นั้นเหมือนกับสูตรที่ 1-9 คือ ไฮโดรเจลที่มีเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากจะสามารถดูดซึมน้ำได้มาก อาจเนื่องมาจาก 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เข้าไปต่อกิ่งบนสายโซ่ใหม่ได้มากขึ้นทำให้มีหมู่ที่สามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น และเมื่อใช้เวลาในการแช่ไฮโดรเจลมากขึ้นจะทำให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซึมน้ำได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร และน้ำใหม่ลดลง พบว่าค่า%การดูดซึมน้ำยังคงมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละสูตร นั่นก็อาจจะเป็นเนื่องมาจากว่าปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่ใช้นั้นมีปริมาณที่เท่ากัน หรืออาจจะเป็นเนื่องมาจากไม่ได้ทำการสกัดโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ออกก่อนที่จะนำมาทำการทดลอง

### ตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)

จากการปรับปรุงสูตรไฮโดรเจลออกมาใหม่อีก 4 สูตร ซึ่งก็คือ สูตรที่ 20-23 โดยในสูตรที่ 20 และ 23 จะมีกลูตารัลดีไฮด์ 0.5 มิลลิลิตร และไม่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ส่วนในสูตรที่ 21 และ 22 จะมีกลูตารัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) 4 มิลลิลิตร และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน คือ 30 นาที กราฟแสดงค่า%การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 20-23 แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่า %การดูดซึมน้ำของสูตรที่ 20-23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างขึ้นไว้สำหรับใช้ประโยชน์เพื่อการวิจัยเท่านั้น มิได้มีเจตนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 พบว่าค่า%การดูดซึมน้ำในสูตรที่ 21 และ 22 ที่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะมีค่าที่สูงกว่าในสูตรที่ 20 และ 23 ที่ไม่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) อาจจะมีผลเนื่องมาจากการที่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จึงช่วยเสริมให้ไฮโดรเจลในสูตรที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) สามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่า

ในสูตรที่ 20 และ 21 ที่มีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์ 0.5 มิลลิลิตร และในสูตรที่ 22 และ 23 ที่มีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร พบว่า การดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้จะมีกลูตารัลดีไฮด์ต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการเติมกลูตารัลดีไฮด์เพียง 0.5 มิลลิลิตร ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเชื่อมโยง เพราะการที่เติมกลูตารัลดีไฮด์เข้าไปมากเกินไป จำเป็นว่ากลูตารัลดีไฮด์ทุกโมเลกุลจะไปทำหน้าที่การเชื่อมโยง จึงส่งผลให้การดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน

ในสูตรที่ 20-23 มีค่า%การดูดซึมน้ำน้อยกว่าในสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ดังในสูตรที่ 1-18 ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากกลูตารัลดีไฮด์ที่เติมเข้าไป ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของหมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ของไหม และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) หรือของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปเกิดการดูดซึมน้ำได้ยาก และอาจเป็นผลเนื่องมาจากหมู่ที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำ (หมู่ไฮดรอกซิล, -OH) เกิดการเชื่อมโยง จึงมีหมู่ที่ดูดซึมน้ำได้น้อยลง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง แต่ก็ยังคงดูดซึมน้ำได้สูงอยู่เมื่อเทียบกับน้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง แสดงว่าการที่เติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะช่วยให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น

#### 4.3.2 การคายน้ำ

เตรียมตัวอย่างไฮโดรเจลโดยนำตัวอย่างไปแช่ในเมทานอลเป็นเวลา 1 นาที ทิ้งตัวอย่างเอาไว้ให้เมทานอลระเหยออกไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำตัวอย่างที่ผึ่งแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำตัวอย่างขึ้นมาชั่งน้ำหนักและบันทึกไว้จนกระทั่งครบ 7 ชั่วโมง แล้วนำค่าน้ำหนักที่บันทึกได้มาคำนวณหาค่า%การคายน้ำ โดยใช้สูตร

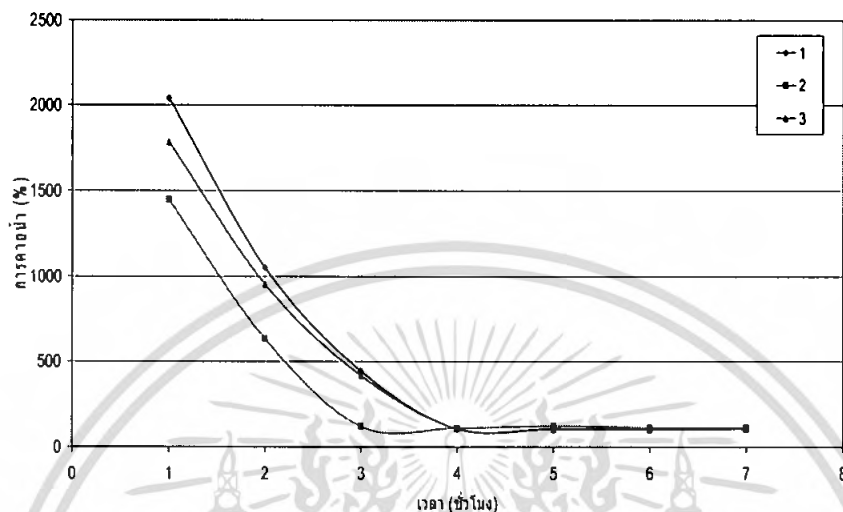
$$\% \text{ การคายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักไฮโดรเจลบวมน้ำ}}{\text{น้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง}} \times 100$$

#### ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

การทดสอบสมบัติการคายน้ำในสูตรที่ 1-9 ซึ่งเป็นสูตรที่มีปริมาณน้ำไหมลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร มีปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้นจาก

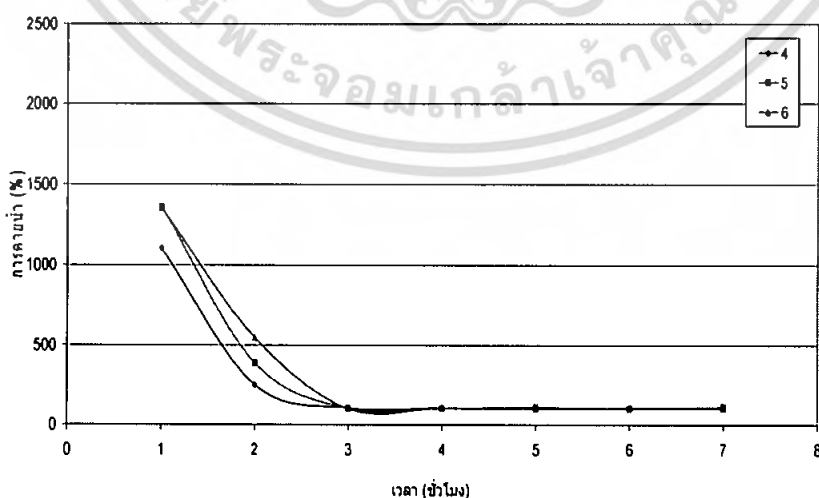
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 มิลลิลิตร เป็น 15 และ 20 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที พบว่าการคายน้ำของไฮโดรเจลมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว กราฟแสดงค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 1-9 แสดงดังรูปที่ 4.18-4.20 ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า %การคายน้ำของสูตรที่ 1-3

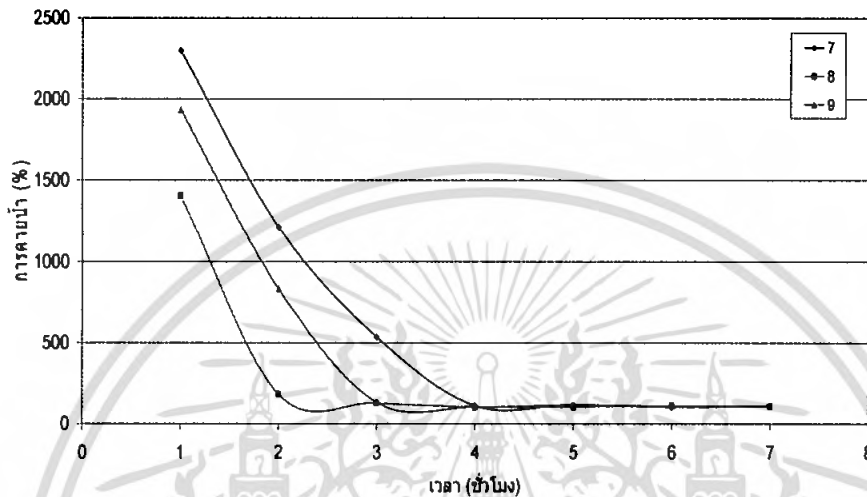
จากรูปที่ 4.18 แสดงกราฟค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 1-3 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 30 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 10 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 1 และ 3 สามารถกักเก็บน้ำได้ 4 ชั่วโมง แต่สูตรที่ 2 สามารถกักเก็บน้ำได้แค่ 3 ชั่วโมง โดยมี%การคายน้ำเริ่มต้นของสูตรที่ 1-3 เป็น 2041% 1447% และ 1784% ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า %การคายน้ำของสูตรที่ 4-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 แสดงกราฟค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 4-6 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 25 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 15 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 4-6 สามารถกักเก็บน้ำได้ 3 ชั่วโมง โดยมี%การคายน้ำเริ่มต้นของสูตรที่ 4-6 เป็น 1103% 1359% และ 1352% ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่า %การคายน้ำของสูตรที่ 7-9

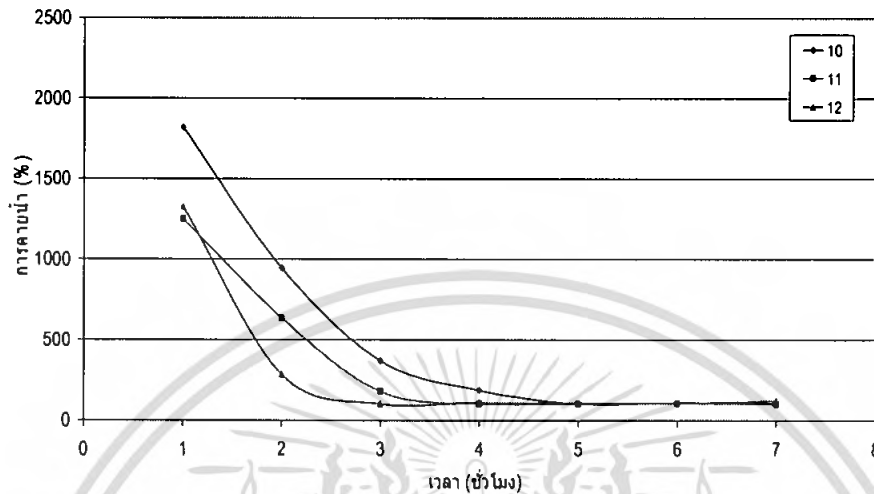
จากรูปที่ 4.20 แสดงกราฟค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 7-9 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 20 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 20 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 7 สามารถกักเก็บน้ำได้ 4 ชั่วโมง สูตรที่ 8 สามารถกักเก็บน้ำได้ 2 ชั่วโมง และสูตรที่ 9 สามารถกักเก็บน้ำได้ 3 ชั่วโมง โดยมี%การคายน้ำเริ่มต้นของสูตรที่ 4-6 เป็น 2297% 1404% และ 1933% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.18-4.20 แสดงกราฟค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 1-9 เมื่อปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าการคายน้ำของแต่ละสูตรมีการคายน้ำที่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ตาม และจากกราฟจะเห็นได้ว่าการคายน้ำของไฮโดรเจลในแต่ละสูตรจะลดลงอย่างรวดเร็วใน 1-2 ชั่วโมงแรก แสดงว่าไฮโดรเจลในกลุ่มที่มีการเพิ่มปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) จะมีการกักเก็บน้ำไว้ในตัวได้ไม่ดี

## ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณที่คงที่ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของใหม่

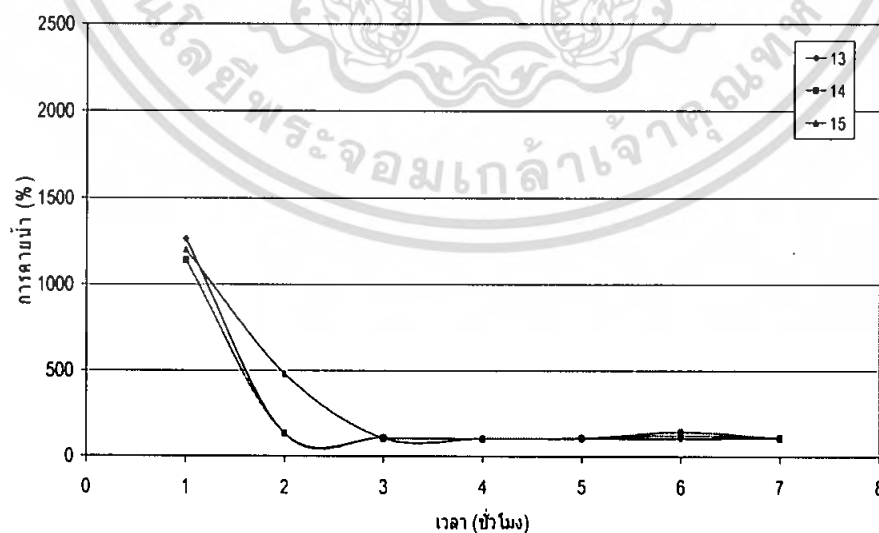
การทดสอบสมบัติการคายน้ำในสูตรที่ 10-18 ซึ่งเป็นสูตรที่มีปริมาณน้ำใหม่ลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร มีปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที โดยจะให้ผลของการคายน้ำเช่นเดียวกับในสูตรที่ 1-9 คือ จะคายน้ำอย่างรวดเร็ว กราฟแสดงค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 10-18 แสดงดังรูปที่ 4.21-4.23 ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่า %การคายน้ำของสูตรที่ 10-12

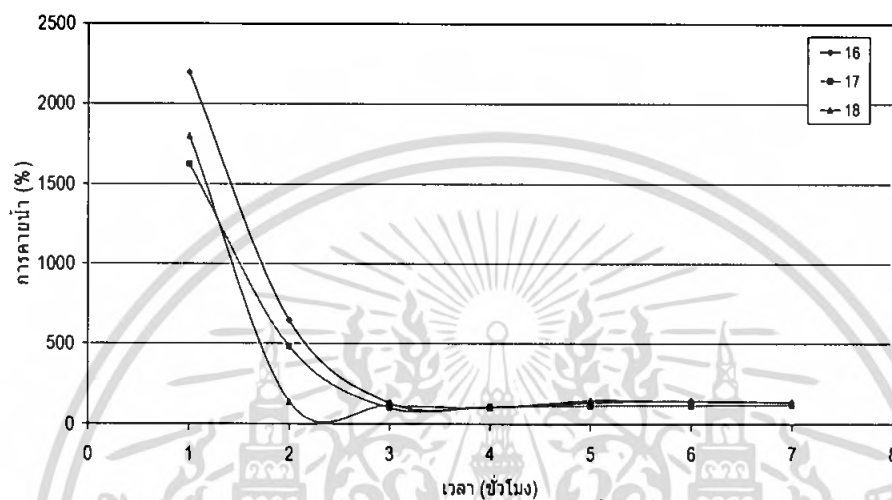
จากรูปที่ 4.21 แสดงกราฟค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 10-12 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 30 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 11 กับ 12 สามารถกักเก็บน้ำได้ 3 ชั่วโมง และสูตรที่ 10 สามารถกักเก็บน้ำได้ 4 ชั่วโมง โดยมี%การคายน้ำเริ่มต้นของสูตรที่ 10-12 เป็น 1819% 1251% และ 1326% ตามลำดับ



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า %การคายน้ำของสูตรที่ 13-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22 แสดงกราฟค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 13-15 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 25 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 13 กับ 14 สามารถกักเก็บน้ำได้ 2 ชั่วโมง และสูตรที่ 15 สามารถกักเก็บน้ำได้ 3 ชั่วโมง โดยมี%การคายน้ำเริ่มต้นของสูตรที่ 13-15 เป็น 1264% 1138% และ 1200% ตามลำดับ



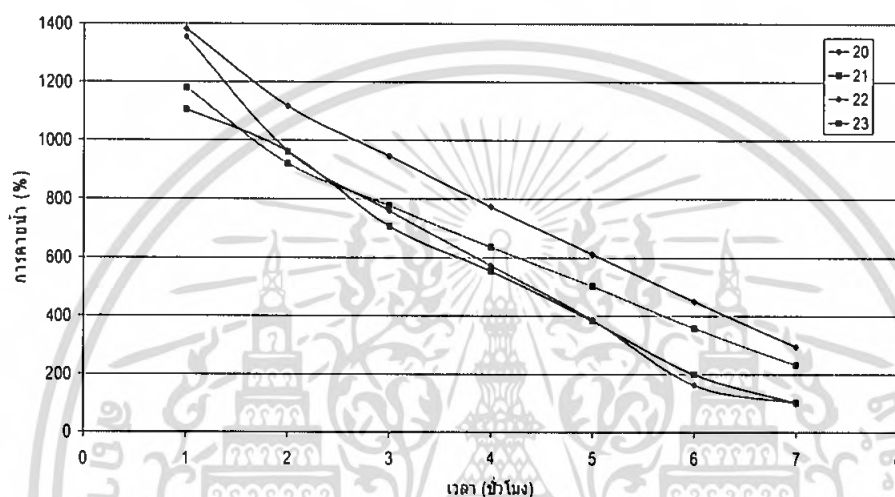
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่า %การคายน้ำของสูตรที่ 16-18

จากรูปที่ 4.23 แสดงกราฟค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 16-18 ซึ่งมีปริมาณน้ำใหม่ 20 มิลลิลิตร และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที พบว่าไฮโดรเจลในสูตรที่ 16 กับ 17 สามารถกักเก็บน้ำได้ 3 ชั่วโมง และสูตรที่ 18 สามารถกักเก็บน้ำได้แค่ 2 ชั่วโมง โดยมี%การคายน้ำเริ่มต้นของสูตรที่ 16-18 เป็น 2196% 1623% และ 1800% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.21-4.23 แสดงกราฟค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 10-18 เมื่อปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร จะเห็นได้ว่าการคายน้ำของแต่ละสูตรจะให้ผลเช่นเดียวกับไฮโดรเจลในสูตรที่ 1-9 คือ มีการคายน้ำที่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ตาม และจากกราฟจะเห็นได้ว่าการคายน้ำของไฮโดรเจลในแต่ละสูตรจะลดลงอย่างรวดเร็วใน 1-2 ชั่วโมงแรก แสดงว่าไฮโดรเจลในกลุ่มที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่จะมีการกักเก็บน้ำไว้ในตัวได้ไม่ดีเช่นเดียวกับกลุ่มที่มีการเพิ่มปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)

### ตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)

จากการปรับปรุงสูตรไฮโดรเจลออกมาใหม่อีก 4 สูตร ซึ่งก็คือ สูตรที่ 20-23 โดยในสูตรที่ 20 และ 23 จะมีกลูตารัลดีไฮด์ 0.5 มิลลิลิตร และไม่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ส่วนในสูตรที่ 21 และ 22 จะมีกลูตารัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) 4 มิลลิลิตร และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน คือ 30 นาที กราฟแสดงค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 20-23 แสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่า%การคายน้ำของสูตรที่ 20-23

จากรูปที่ 4.24 พบว่าค่า%การคายน้ำในสูตรที่ 21 และ 22 ที่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะมีค่าค่อยๆลดลงไม่เหมือนในสูตรที่ 20 และ 23 ที่ไม่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ช่วยให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น น้ำในตัวจึงมีปริมาณมากส่งผลให้การคายน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ แสดงว่าการที่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะช่วยให้ไฮโดรเจลสามารถกักเก็บน้ำไว้ในตัวเองได้นานมากขึ้น

ในสูตรที่ 20 และ 21 ที่มีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์ 0.5 มิลลิลิตร และในสูตรที่ 22 และ 23 ที่มีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร พบว่าการคายน้ำของไฮโดรเจลมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้จะมีกลูตารัลดีไฮด์ต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการเติมกลูตารัลดีไฮด์จะช่วยให้ไฮโดรเจลสามารถกักเก็บน้ำได้มากขึ้น

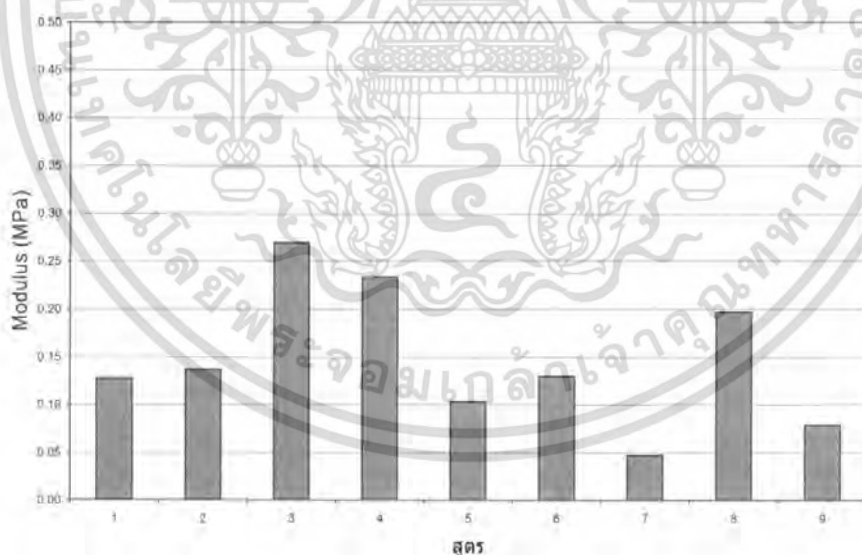
ในสูตรที่ 20-23 มีค่า%การคายน้ำที่ค่อยๆลดลงตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 จนถึงชั่วโมงที่ 7 ซึ่งไม่เหมือนกับสูตรที่ 1-18 ที่มีค่า%การคายน้ำลดลงอย่างรวดเร็วใน 1-2 ชั่วโมงแรก ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากกลูตารัลดีไฮด์ที่เติมเข้าไป ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) ของไหมและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) หรือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำที่ถูกดูดซึมคายการดูดซึมได้ยาก โดยเฉพาะน้ำที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับหมู่ดูดซึมน้ำ (หมู่อะมิโน, -NH<sub>2</sub> และหมู่ไฮดรอกซิล, -OH) และอาจเป็นผลเนื่องมาจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) เกิดการเชื่อมโยงกับกลูตาไรลดีไฮด์เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (ดังจะอธิบายใน TGA) ทำให้โมเลกุลของน้ำออกมาได้ยาก ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าในการเติมสารเชื่อมโยงกลูตาไรลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะช่วยให้ไฮโดรเจลสามารถกักเก็บน้ำไว้ในตัวเองได้นานมากขึ้น

#### 4.4 สมบัติเชิงกล

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลโดยทำการทดสอบการกดอัดของสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้น ซึ่งก็คือ สูตรที่ 1-9 ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15, 30 และ 60 นาที ค่ามอดูลัสของการกดอัดแสดงได้ดังรูปที่ 4.25



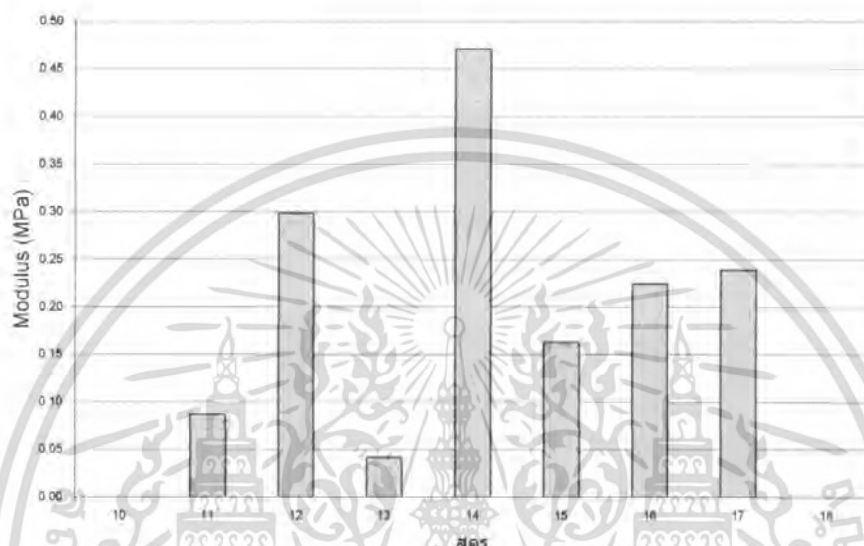
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่ามอดูลัสการกดอัดของสูตรที่ 1-9

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ค่ามอดูลัสการกดอัดจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน มีเพียงบางสูตรเท่านั้นที่มีค่าต่ำ อาจมีสาเหตุมาจากตัวขึ้นงาน คือ ขึ้นงานที่ทดสอบนั้นต้องวางซ้อนทับกันเพื่อให้ได้ความหนาตามมาตรฐาน ส่งผลให้การวัดความกว้าง ความหนาของชิ้นงานผิดพลาด ทำให้การคำนวณผิดพลาดไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณที่คงที่ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลโดยทำการทดสอบการกดอัดของสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ซึ่งก็คือ สูตรที่ 10-18 ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที ค่ามอดูลัสของการกดอัดแสดงได้ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่ามอดูลัสกดอัดของสูตรที่ 10-18

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า เมื่อให้ปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ค่ามอดูลัสกดอัดที่ได้จะมีค่าสูงกว่าในสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในสูตรที่ 10-18 ไฮโดรเจลจะมีความแข็งแรงและคงรูปร่างได้ดีกว่าในสูตรที่ 1-9 แต่ก็มีบางสูตรที่ต่ำกว่าก็อาจจะเนื่องมาจากการวัดความหนา ความกว้างที่คลาดเคลื่อน ทำให้การคำนวณผิดพลาด

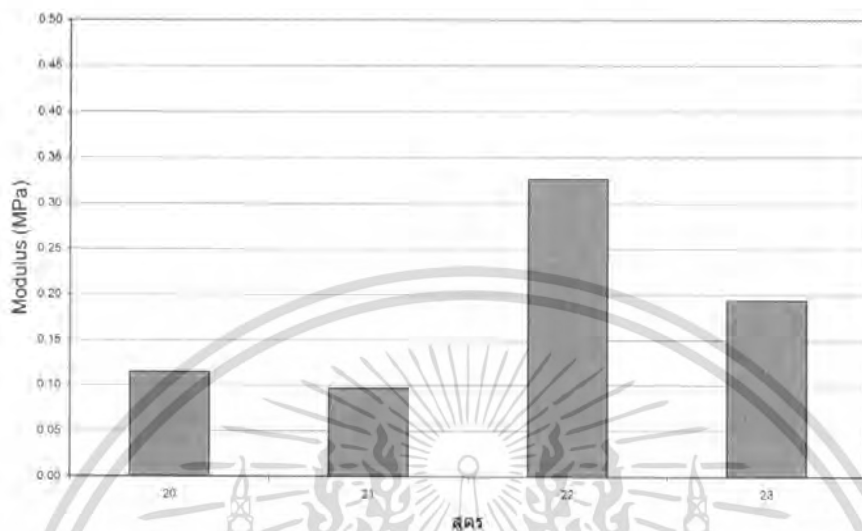
ความแข็งแรงของไฮโดรเจลของสูตรที่ 10-18 ให้ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานที่ดีกว่าในสูตรที่ 1-9 ด้วยเหตุผลนี้เราจึงเลือกอัตราส่วนของสูตรที่ 10-18 มาปรับปรุงไฮโดรเจลโดยเลือกสูตรที่ 11 มาช่วยในการปรับปรุงด้วยการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)

## ตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลโดยทำการทดสอบการกดอัดของไฮโดรเจลที่มีการปรับปรุงด้วยสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) โดยมีน้ำไหม 30 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ให้ค่ามอดุลัสกดอัดแสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่ามอดุลัสกดอัดของสูตรที่ 20-23

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่า ในสูตรที่ 20 และ 21 ที่มีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์ ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร จะให้ค่ามอดุลัสกดอัดที่ต่ำกว่าสูตรที่ 22 และ 23 ที่มีปริมาณสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร เนื่องจากว่าการเติมกลูตารัลดีไฮด์ที่มากจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้มาก ทำให้ไฮโดรเจลมีความแข็งแรงมาก รับแรงกดอัดได้สูง ส่งผลให้ค่ามอดุลัสกดอัดมีค่าสูงกว่า แต่จะเห็นว่าในสูตรที่ 21 มีค่ามอดุลัสกดอัดต่ำกว่าในสูตรที่ 20 เนื่องมาจากว่าในสูตรที่ 21 ได้มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ลงไป 4 มิลลิลิตร ทำให้ไฮโดรเจลมีความยืดหยุ่นมากกว่าในสูตรที่ 20 จึงมีค่ามอดุลัสกดอัดต่ำกว่า

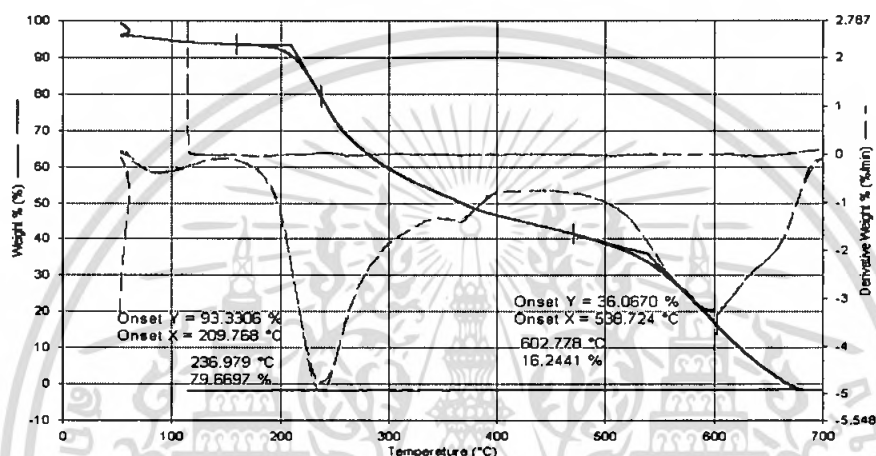
ในสูตรที่ 21 และ 22 ที่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) 4 มิลลิลิตร เหมือนกันแต่ต่างกันที่ปริมาณของกลูตารัลดีไฮด์ โดยในสูตรที่ 21 มีกลูตารัลดีไฮด์ 0.5 มิลลิลิตร ในสูตรที่ 22 มีกลูตารัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร พบว่าสูตรที่ 22 จะให้ค่ามอดุลัสกดอัดที่สูงมากกว่า อาจจะเป็นเพราะการที่มีกลูตารัลดีไฮด์มากจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงมาก ทำให้ไฮโดรเจลที่ได้มีความแข็งแรงมาก รับแรงกดอัดได้สูง ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าการที่เติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะช่วยให้สมบัติเชิงกล (การกดอัด) ของไฮโดรเจลมีค่าที่สูงขึ้น

**หมายเหตุ** ในการทดสอบทำการทดสอบแค่เพียงตัวอย่างเดียวเนื่องจากไฮโดรเจลที่เตรียมได้นั้นมีน้อย จึงไม่สามารถทำ Error bar ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

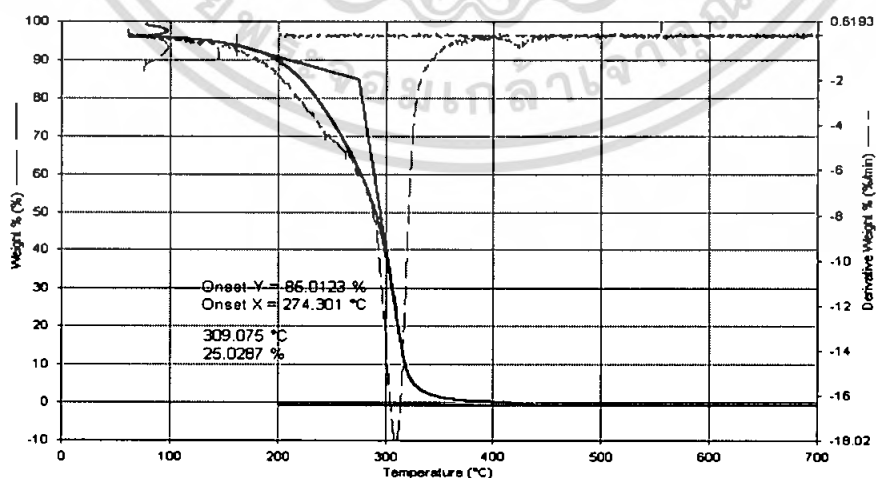
#### 4.5 สมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตรี (TGA) เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าได้มีการตอกกิ่งของไหมจริงหรือไม่และเมื่อตอกกิ่งเข้าไปแล้วไหมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ก่อนอื่นต้องทำก่อนวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ก่อน เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบพีคที่เกิดขึ้นว่าเป็นพีคของสารตัวไหน และมีการตอกกิ่งเข้าไปจริงหรือไม่ โดยได้แสดงเทอร์โมแกรมของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ดังรูปที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ



รูปที่ 4.28 เทอร์โมแกรมของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย

จากเทอร์โมแกรมของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย พบว่าเกิดการสลายตัวสองขั้น คือ ที่อุณหภูมิ  $236^{\circ}\text{C}$  ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นพีคของไหมที่เกิดการสลายตัวในส่วนที่เป็นอัสนฐาน และที่อุณหภูมิ  $602^{\circ}\text{C}$  คาดว่าน่าจะเป็นพีคของไหมที่เกิดการสลายตัวในส่วนที่เป็นผลึก



รูปที่ 4.29 เทอร์โมแกรมของไฟโบรอินของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

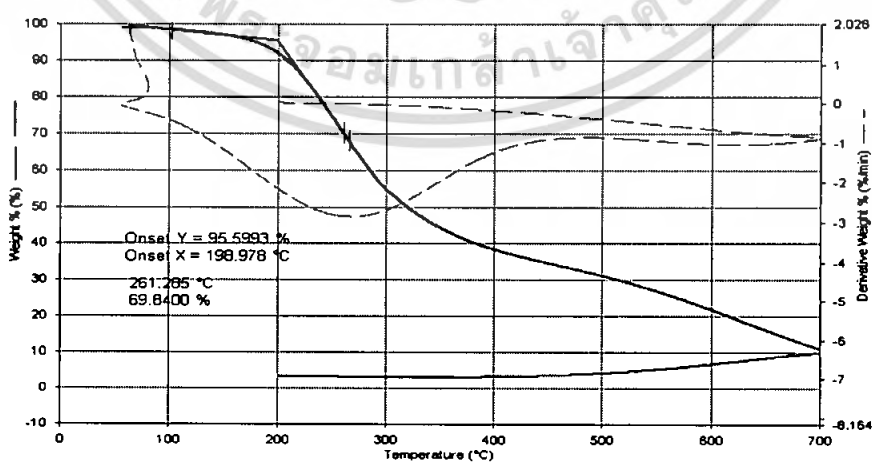
จากเทอร์โมแกรมของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) พบว่าเกิดการสลายตัวขึ้นตอนเดียว คือ ที่อุณหภูมิ 309°C

ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยและ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)

สาร	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	หมายเหตุ
ไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อย	236 602	คาดว่าพีคที่ 236°C เป็นพีคในส่วนที่เป็นอัสฐาน และพีคที่ 602°C เป็นพีคในส่วนที่เป็นผลึก
2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต	309	พีคที่เกิดขึ้นเป็นพีคการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

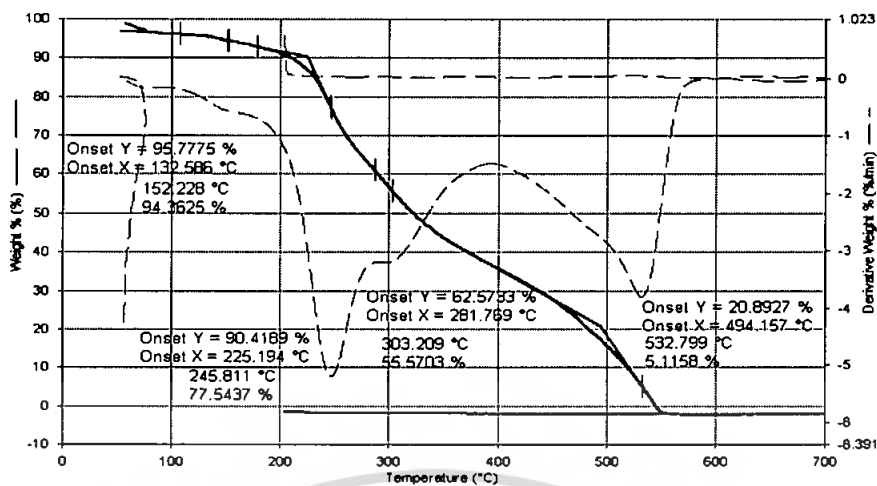
ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไฮโดรเจลในสูตรที่ 1-9 ซึ่งมีปริมาณน้ำไหมลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร และมีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้นจาก 10 มิลลิลิตร เป็น 15 และ 20 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที พบว่าเทอร์โมแกรมที่ได้จะมีลักษณะที่คล้ายๆกัน คือเกิดพีคการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 200°C 300°C และที่ 500°C เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 1-9 แสดงดังรูปที่ 4.30-4.40 ตามลำดับ

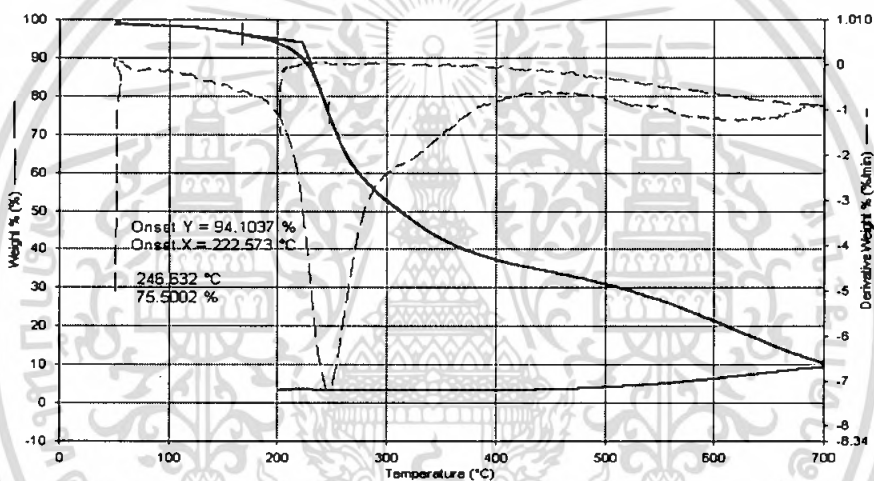


รูปที่ 4.30 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 1 (น้ำไหม 30 mL 2-HEMA 10 mL เวลา 15 นาที)

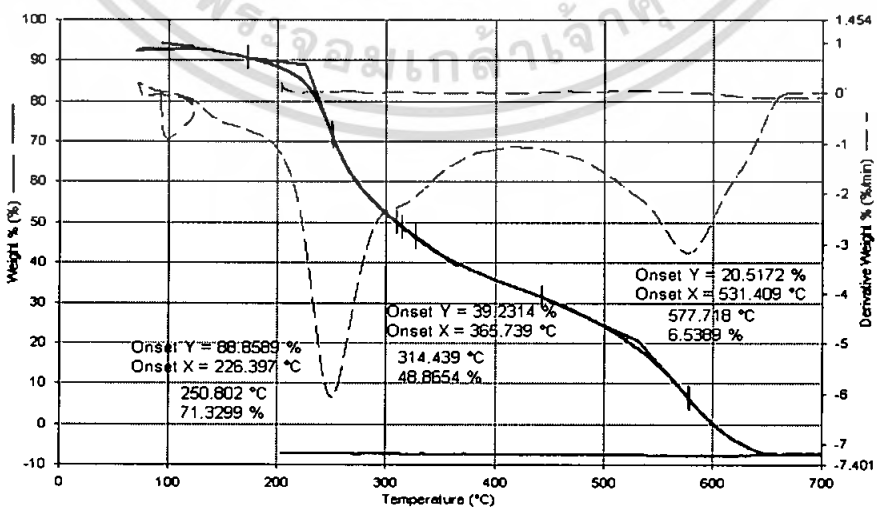
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 2 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 10 mL เวลา 30 นาที)

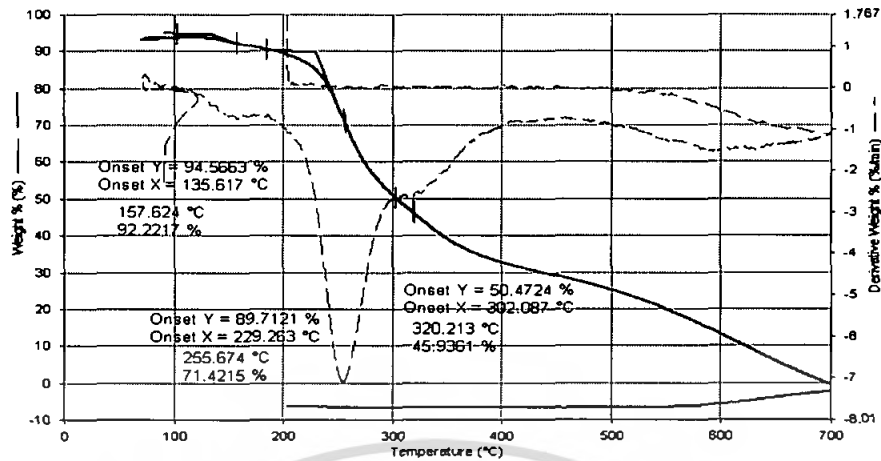


รูปที่ 4.32 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 3 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 10 mL เวลา 60 นาที)

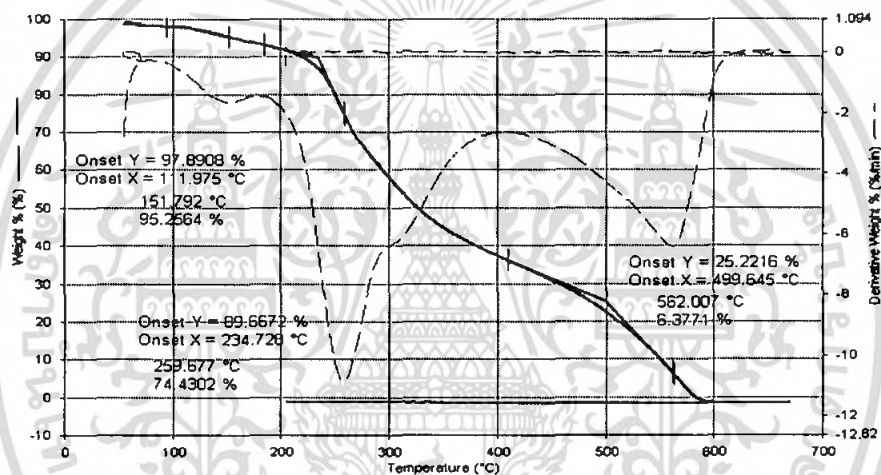


รูปที่ 4.33 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 4 (น้ำใหม่ 25 mL 2-HEMA 15 mL เวลา 15 นาที)

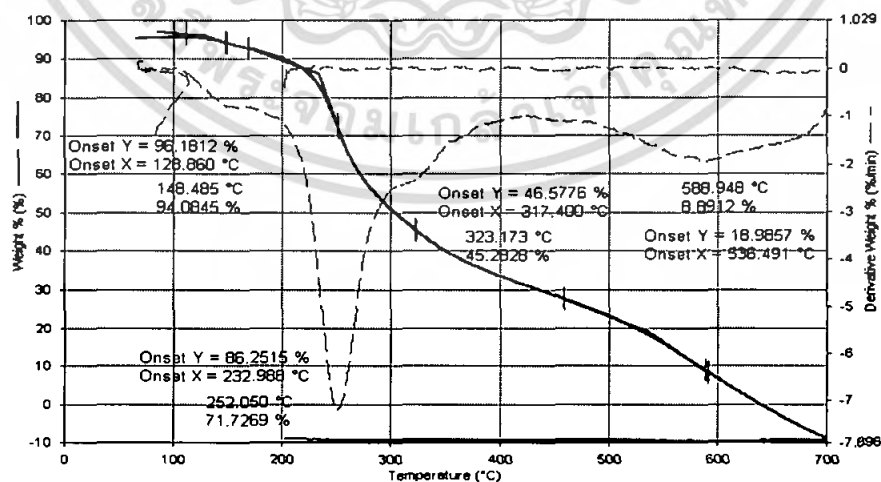
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ควรแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 5 (น้ำใหม่ 25 mL 2-HEMA 15 mL เวลา 30 นาที)

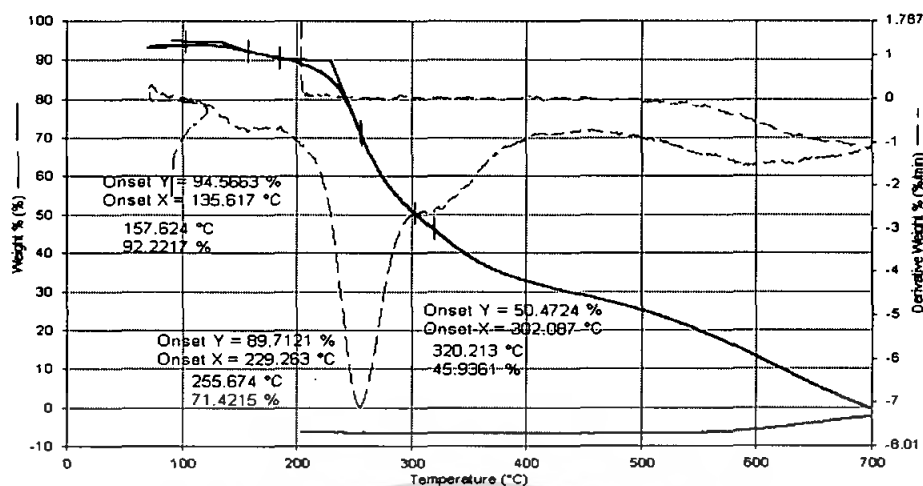


รูปที่ 4.35 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 6 (น้ำใหม่ 25 mL 2-HEMA 15 mL เวลา 60 นาที)

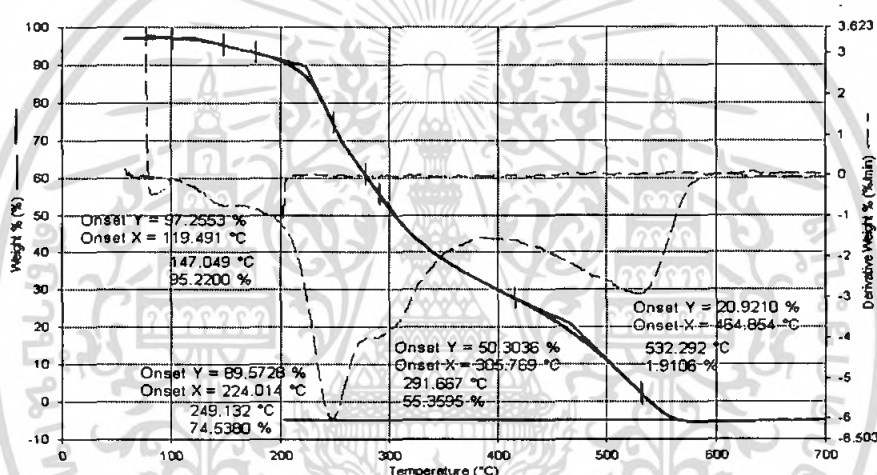


รูปที่ 4.36 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 7 (น้ำใหม่ 20 mL 2-HEMA 20 mL เวลา 15 นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 8 (น้ำใหม่ 20 mL 2-HEMA 20 mL เวลา 30 นาที)



รูปที่ 4.38 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 9 (น้ำใหม่ 20 mL 2-HEMA 20 mL เวลา 60 นาที)

จากรูปที่ 4.30-4.38 พบว่าเมื่อให้ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้น จะเห็นว่าจะเกิดพีคที่อุณหภูมิประมาณ 200°C และที่อุณหภูมิประมาณ 500°C ซึ่งคาดว่าเป็นพีคของไหมที่เกิดการสลายตัว จากเทอร์โมแกรมของไหมจะเห็นได้ว่าพีคของไหมที่อุณหภูมิ 602°C มีอุณหภูมิการสลายตัวลดลงเหลือประมาณ 500°C อาจจะเนื่องมาจากว่าการที่ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เข้าไปเกิดการตอกกิ่งบนไหมทำให้ความเป็นผลึกของไหมลดลง เกิดการจัดเรียงตัวได้ลดลง อุณหภูมิการสลายตัวจึงลดลงด้วย แต่พีคที่อุณหภูมิ 236°C ของไหมจะมีค่าเพิ่มขึ้นอาจจะเนื่องมาจากไหมในส่วนนี้เกิดการตอกกิ่งได้มาก ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าในสูตรจะไม่พบพีคที่อุณหภูมิประมาณ 500°C อาจจะเนื่องมาจากขณะที่ทำการผสมเกิดการปั่นกววนไม่ดีพอ จึงทำให้ไหมเกิดการกระจายตัวที่ไม่ดีในสารละลาย และเนื่องจากในการวิเคราะห์ตัดตัวอย่างเพียงบางบริเวณเท่านั้นมาทำการวิเคราะห์ จึงทำให้ไม่เกิดพีคที่บริเวณนี้ และยังพบพีคที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิประมาณ  $300^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) แสดงให้เห็นว่ามีการต่อกิ่งของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเข้าไปในโพลีเมอร์

ตารางที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสูตรที่ 1-9 ที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้น

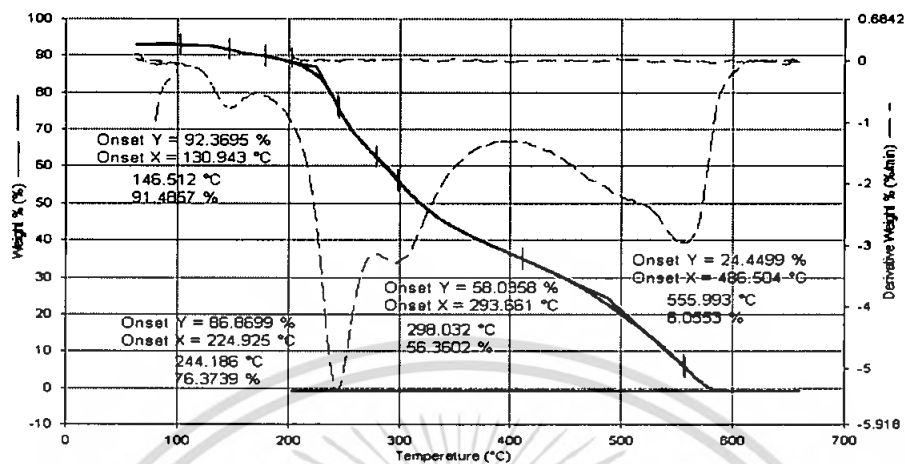
สาร	อุณหภูมิสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ )	หมายเหตุ
1	261	คาดว่าเป็นพีคของโพลีเมอร์ที่เกิดการรวมตัวกับพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
2	245 303 532	คาดว่าพีคที่ $245^{\circ}\text{C}$ และ $532^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของโพลีเมอร์ และพีคที่ $303^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
3	246 325	คาดว่าพีคที่ $246^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของโพลีเมอร์ และพีคที่ $325^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
4	250 314 577	คาดว่าพีคที่ $250^{\circ}\text{C}$ และ $577^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของโพลีเมอร์ และพีคที่ $314^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
5	255 320	คาดว่าพีคที่ $255^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของโพลีเมอร์ และพีคที่ $320^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
6	259 320 562	คาดว่าพีคที่ $259^{\circ}\text{C}$ และ $562^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของโพลีเมอร์ และพีคที่ $320^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
7	252 323 558	คาดว่าพีคที่ $252^{\circ}\text{C}$ และ $558^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของโพลีเมอร์ และพีคที่ $323^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
8	255 320	คาดว่าพีคที่ $255^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของโพลีเมอร์ และพีคที่ $320^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
9	249 291 532	คาดว่าพีคที่ $249^{\circ}\text{C}$ และ $532^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของโพลีเมอร์ และพีคที่ $291^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

## ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณที่คงที่ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของโพลีเมอร์

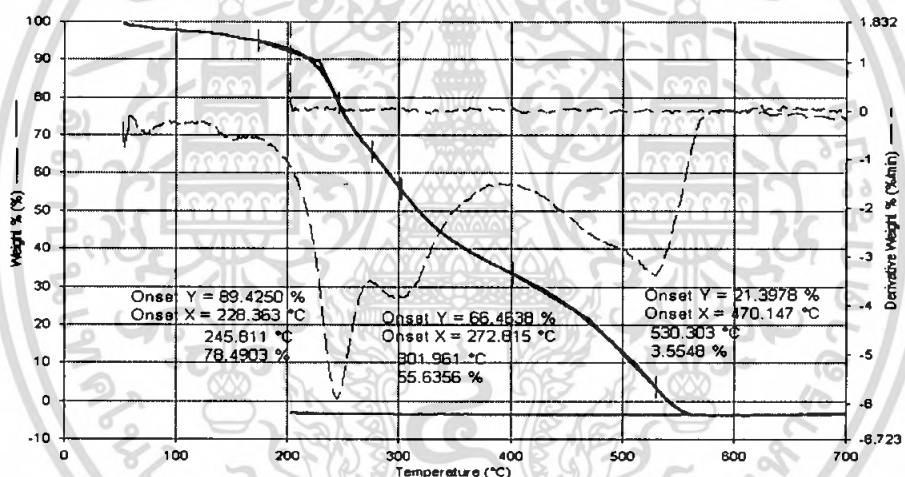
จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไฮโดรเจลในสูตรที่ 10-18 ซึ่งมีปริมาณน้ำโพลีเมอร์ลดลงจาก 30 มิลลิลิตร เป็น 25 และ 20 มิลลิลิตร และมีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 30 และ 60 นาที พบว่าเทอร์โมแกรมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

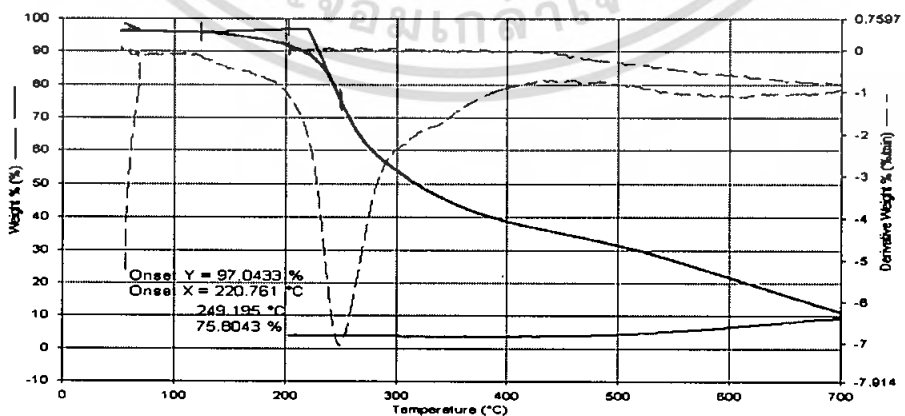
ได้จะมีลักษณะที่คล้ายกับสูตรที่ 1-8 คือ เกิดพีคการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 200°C 300°C และที่ 500°C เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 10-18 แสดงดังรูปที่ 4.39-4.47 ตามลำดับ



รูปที่ 4.39 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 10 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL เวลา 15 นาที)

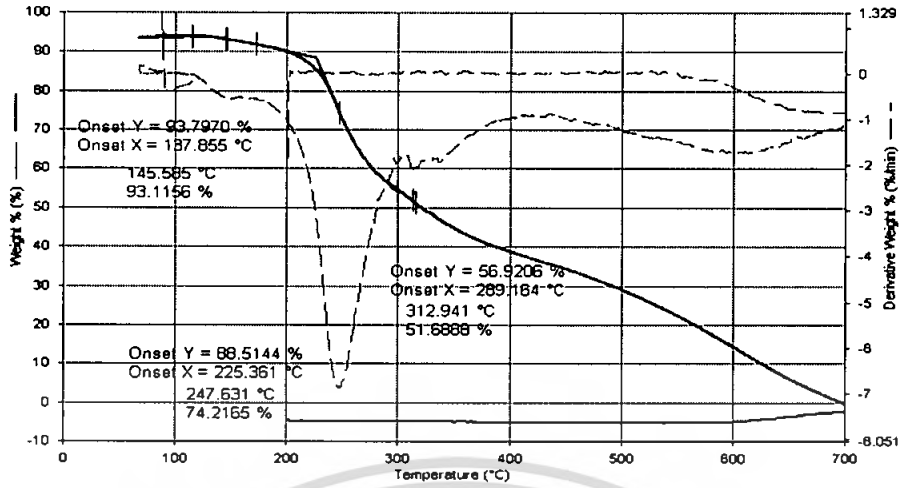


รูปที่ 4.40 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 11 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL เวลา 30 นาที)

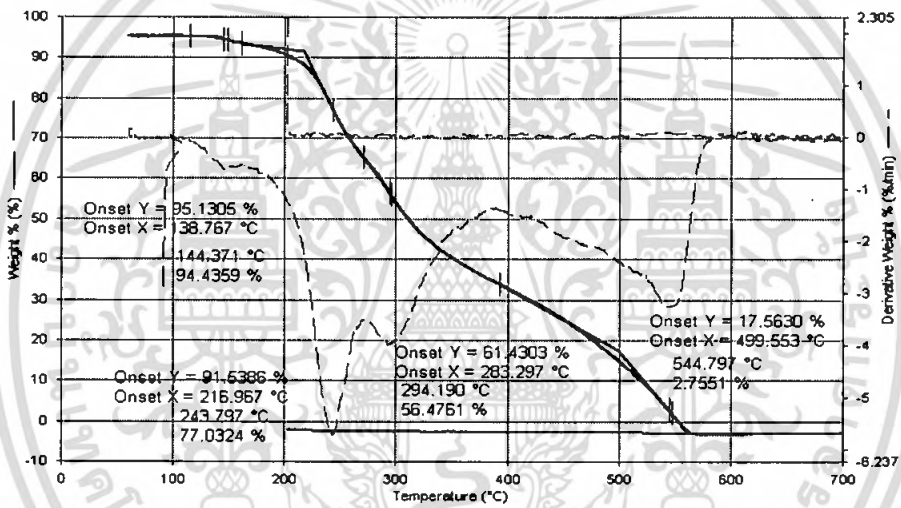


รูปที่ 4.41 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 12 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL เวลา 60 นาที)

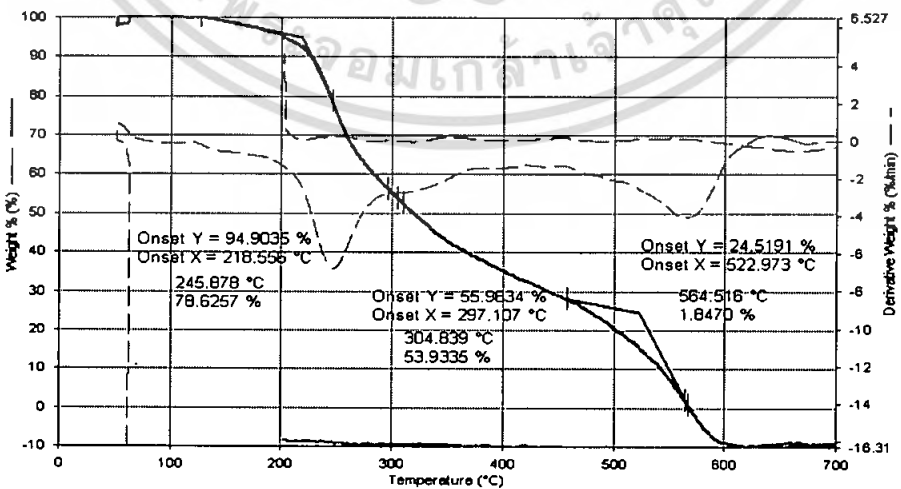
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 13 (น้ำใหม่ 25 mL 2-HEMA 5 mL เวลา 15 นาที)

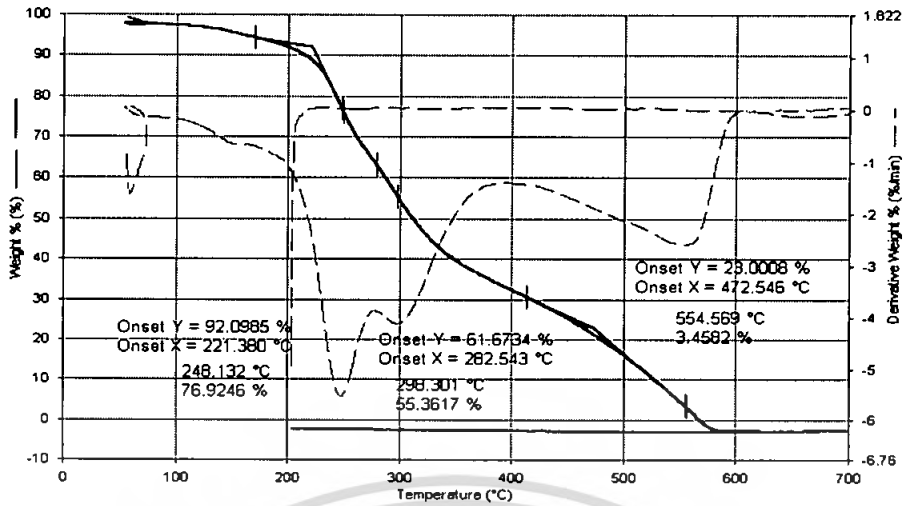


รูปที่ 4.43 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 14 (น้ำใหม่ 25 mL 2-HEMA 5 mL เวลา 30 นาที)

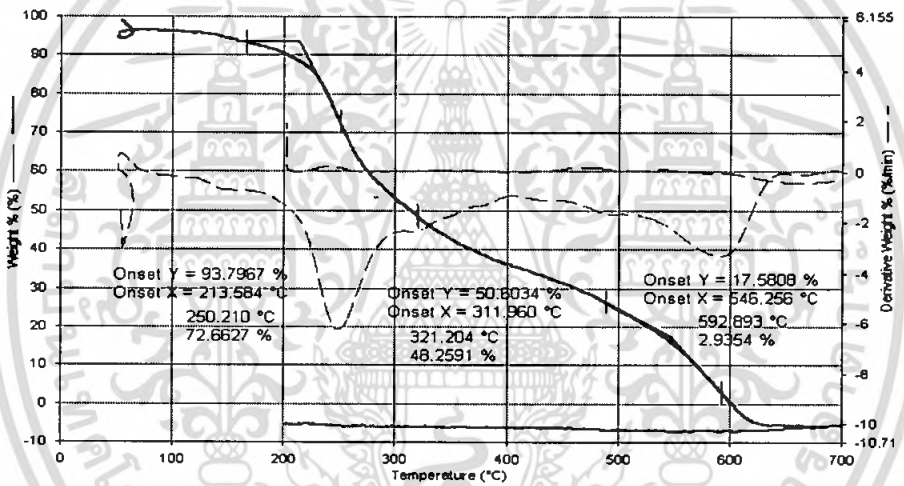


รูปที่ 4.44 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 15 (น้ำใหม่ 25 mL 2-HEMA 15 mL เวลา 60 นาที)

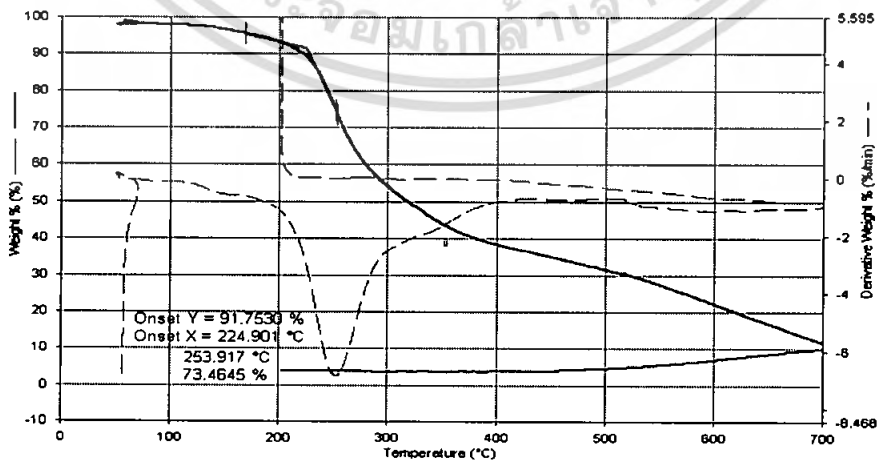
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ซึ่งในเอกสารนี้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่ามีประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 16 (น้ำใหม่ 20 mL 2-HEMA 20 mL เวลา 15 นาที)



รูปที่ 4.46 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 17 (น้ำใหม่ 20 mL 2-HEMA 20 mL เวลา 30 นาที)

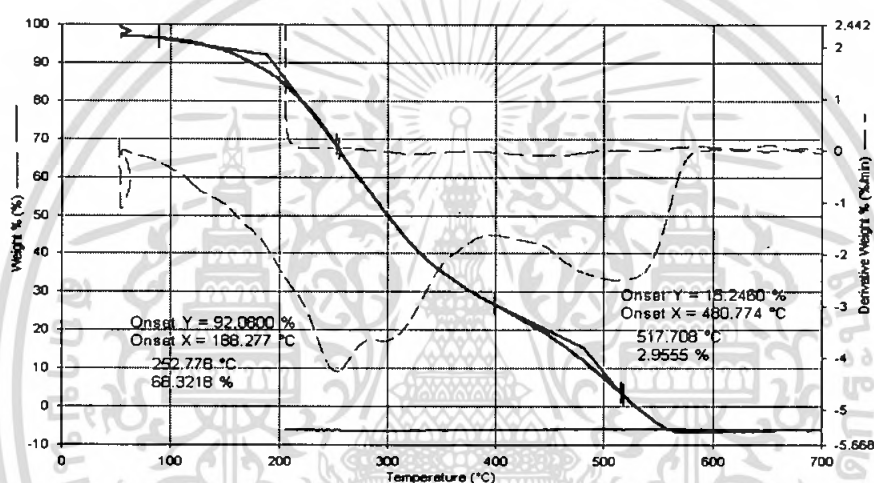


รูปที่ 4.47 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 18 (น้ำใหม่ 25 mL 2-HEMA 15 mL เวลา 15 นาที)

เอกสารนี้เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.39-4.47 พบว่าเมื่อให้ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร จะเห็นว่าเทอร์โมแกรมที่ได้มีลักษณะมีคล้ายกับสูตรที่ 1-9 คือ จะเกิดพีคที่อุณหภูมิประมาณ  $200^{\circ}\text{C}$  และที่อุณหภูมิประมาณ  $500^{\circ}\text{C}$  ซึ่งคาดว่าเป็นพีคของไหม และที่อุณหภูมิประมาณ  $300^{\circ}\text{C}$  เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) แสดงให้เห็นว่ามีการตอกของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเข้าไปในไหมจริง

จากสูตรที่ 19 ที่มีการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาในปริมาณที่มากกว่าสูตรอื่น ๆ นั้นพบว่า หลังจากการทำแห้งแบบเย็นแล้วไฮโดรเจลที่ได้นั้นยุ่ย เกิดการแตกออกจากกันไม่รวมเป็นก้อน แต่จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนพบว่าไม่แตกต่างไปจากสูตรที่ 1-18 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 19 แสดงดังรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 19 (น้ำไหม 20 mL 2-HEMA 10 mL APS 3 mL เวลา 30 นาที)

ตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสูตรที่ 10-19 ที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร

สาร	อุณหภูมิสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ )	หมายเหตุ
10	244 298 555	คาดว่าพีคที่ $244^{\circ}\text{C}$ และ $555^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของไหม และพีคที่ $298^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
11	245 301 530	คาดว่าพีคที่ $245^{\circ}\text{C}$ และ $530^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของไหม และพีคที่ $301^{\circ}\text{C}$ เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
12	249	คาดว่า เป็นพีคของไหมที่เกิดการรวมตัวกับพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

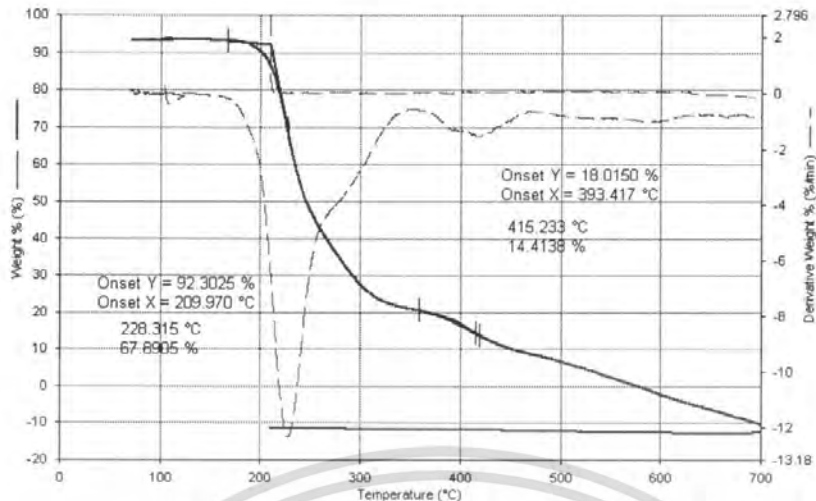
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสูตรที่ 10-19 ที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร (ต่อ)

สาร	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	หมายเหตุ
13	247 312	คาดว่าพีคที่ 247°C เป็นพีคของไหม และพีคที่ 312°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
14	243 294 544	คาดว่าพีคที่ 243°C และ 544°C เป็นพีคของไหม และพีคที่ 294°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
15	245 304 564	คาดว่าพีคที่ 245°C และ 564°C เป็นพีคของไหม และพีคที่ 304°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
16	248 298 554	คาดว่าพีคที่ 248°C และ 554°C เป็นพีคของไหม และพีคที่ 298°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
17	250 321 592	คาดว่าพีคที่ 250°C และ 592°C เป็นพีคของไหม และพีคที่ 321°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
18	253	คาดว่า เป็นพีคของไหมที่เกิดการรวมตัวกับพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
19	252 310 517	คาดว่าพีคที่ 252°C และ 517°C เป็นพีคของไหม และพีคที่ 310°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

### ตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)

การปรับปรุงไฮโดรเจลจากสูตรที่ 11 ซึ่งอยู่ในกลุ่มของสูตรที่มีปริมาณน้ำไหมลดลงและปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที โดยมีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน โดยจะทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่มีการเชื่อมโยง และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่มีไหมอยู่ด้วยและมีการเชื่อมโยง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบพีคที่เกิดขึ้น เทอร์โมแกรมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่มีการเชื่อมโยง และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่มีไหมอยู่ด้วยและมีการเชื่อมโยง แสดงดังรูปที่ 4.49-4.50



รูปที่ 4.49 เทอร์โมแกรมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAl)

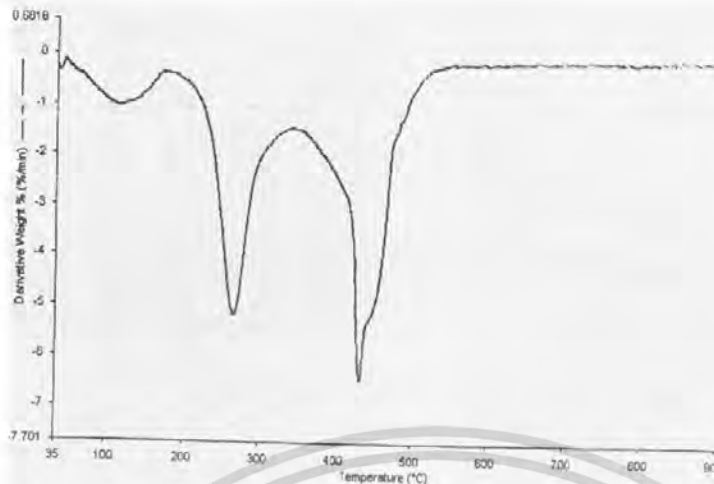
จากรูปที่ 4.49 แสดงเทอร์โมแกรมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAl) เกิดการสลายตัวสองขั้น คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 228 °C และที่อุณหภูมิประมาณ 415 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4.50 แสดงกราฟอนุพันธ์ของค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเชื่อมโยง

จากรูปที่ 4.50 แสดงเทอร์โมแกรมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAl) ที่มีการเชื่อมโยง เกิดการสลายตัวสองขั้น คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 180 °C และที่อุณหภูมิประมาณ 440 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.51 แสดงกราฟอนุพันธ์ของค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ผสมน้ำใหม่ที่มีการเชื่อมโยง

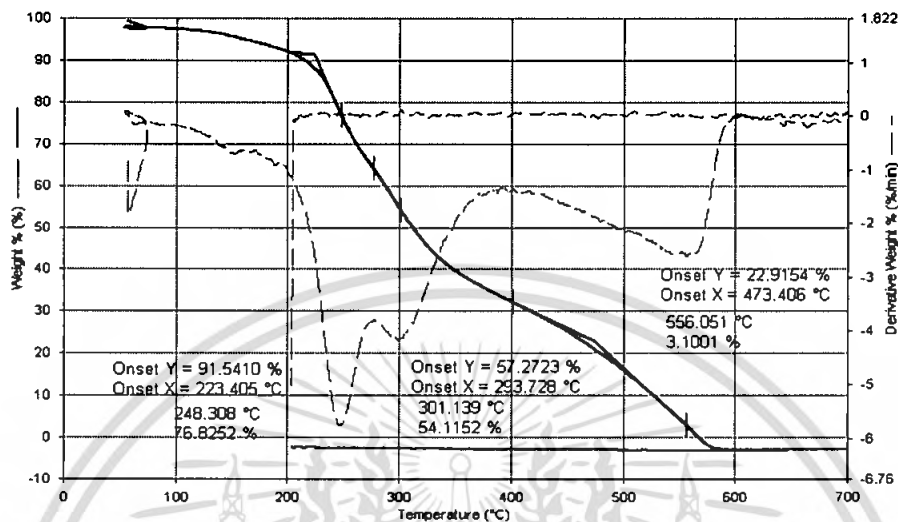
จากรูปที่ 4.51 แสดงเทอร์โมแกรมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีการเชื่อมโยงผสมน้ำใหม่ เกิดการสลายตัวสองขั้น คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 275 °C และที่อุณหภูมิประมาณ 440 °C ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีการเชื่อมโยง และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีใหม่อยู่ด้วยและมีการเชื่อมโยง

สาร	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	หมายเหตุ
พอลิไวนิล แอลกอฮอล์	228 415	พีคที่เกิดขึ้นเป็นพีคการสลายตัวของพอลิไวนิล แอลกอฮอล์
พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ที่มี การเชื่อมโยง	180 440	พีคที่เกิดขึ้นเป็นพีคการสลายตัวของพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ที่มีการเชื่อมโยง
พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ที่มี การเชื่อมโยง และมีน้ำใหม่	275 440	พีคที่เกิดขึ้นเป็นพีคการสลายตัวของพอลิไวนิล แอลกอฮอล์และใหม่ที่เกิดการเชื่อมโยง

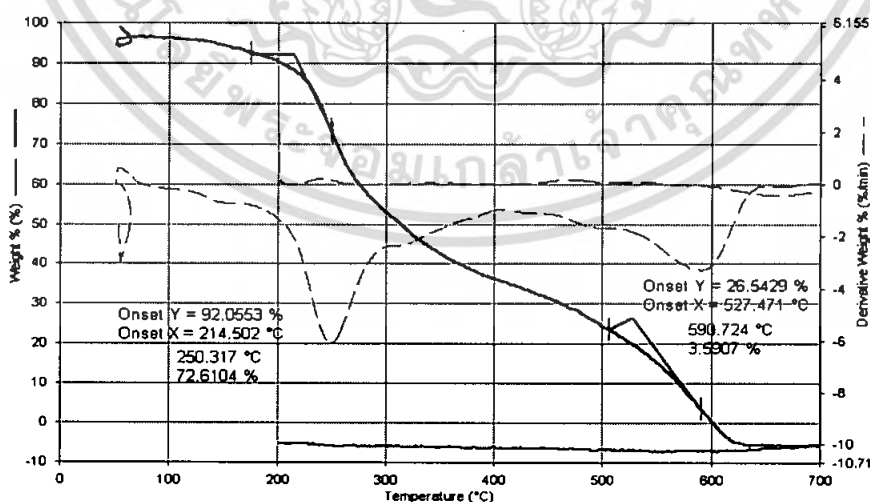
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไฮโดรเจลที่ปรับปรุงใหม่ คือ สูตรที่ 20-23 โดยการเติมสารเชื่อมโยงบิโกลูตาร์ลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) พบว่าเทอร์โมแกรมที่ได้จะมีลักษณะที่คล้ายกันและคล้ายกับในสูตรที่ 1-18 แสดงดังรูปที่ 4.52-4.55 ตามลำดับ



รูปที่ 4.52 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 20 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL กลูตาร์ลดีไฮด์ 0.5 mL)

จากรูปที่ 4.52 จะเห็นว่าเกิดการสลายตัว 3 ชั้น คือ ที่อุณหภูมิ 248°C และ 556°C คาดว่าเป็นพีคอุณหภูมิการสลายตัวของโหมที่เกิดการเชื่อมโยงบิโกลูตาร์ลดีไฮด์ และที่อุณหภูมิ 301°C คาดว่าเป็นพีคอุณหภูมิการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)

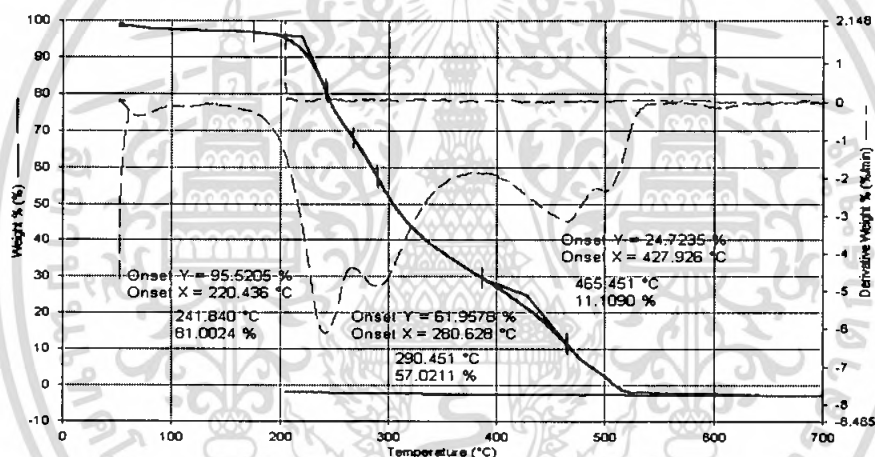


รูปที่ 4.53 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 21 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL กลูตาร์ลดีไฮด์ 0.5 mL PVAI 4 mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

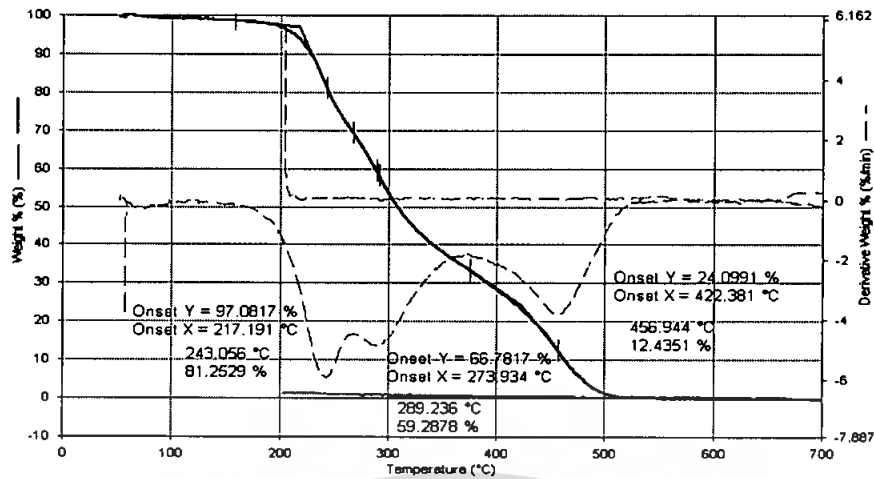
จากรูปที่ 4.53 จะเห็นว่าเกิดการสลายตัว 3 ชั้น คือ ที่อุณหภูมิ 250°C และ 590°C คาดว่าเป็นพีคอุณหภูมิการสลายตัวของโหมที่เกิดการเชื่อมโยง และที่อุณหภูมิ 320°C คาดว่าเป็นพีคอุณหภูมิการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)

จากรูปที่ 4.52 และ 4.53 ซึ่งแสดงเทอร์โมแกรมของสูตรที่ 20 และ 21 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเทอร์โมแกรมที่ได้จะมีลักษณะที่คล้ายกัน คือมีพีคการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 200°C และอุณหภูมิประมาณ 500°C ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นพีคอุณหภูมิการสลายตัวของโหมที่เกิดการเชื่อมโยงด้วยกลูตารัลดีไฮด์ แต่ในสูตรที่ 21 ซึ่งมีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) 4 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมแกรมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่มีการเชื่อมโยง (รูปที่ 4.50 และ 4.51) ก็พบว่าพีคที่เกิดขึ้นตรงกัน จึงคาดว่าพีคอุณหภูมิการสลายตัวนี้น่าจะเป็นพีคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่เกิดการเชื่อมโยงเกิดการสลายตัวด้วย และที่อุณหภูมิประมาณ 300°C คาดว่าน่าจะเป็นพีคอุณหภูมิการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)



รูปที่ 4.54 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 22 (น้ำโหม 30 mL 2-HEMA 5 mL กลูตารัลดีไฮด์ 1 mL PVAI 4 mL)

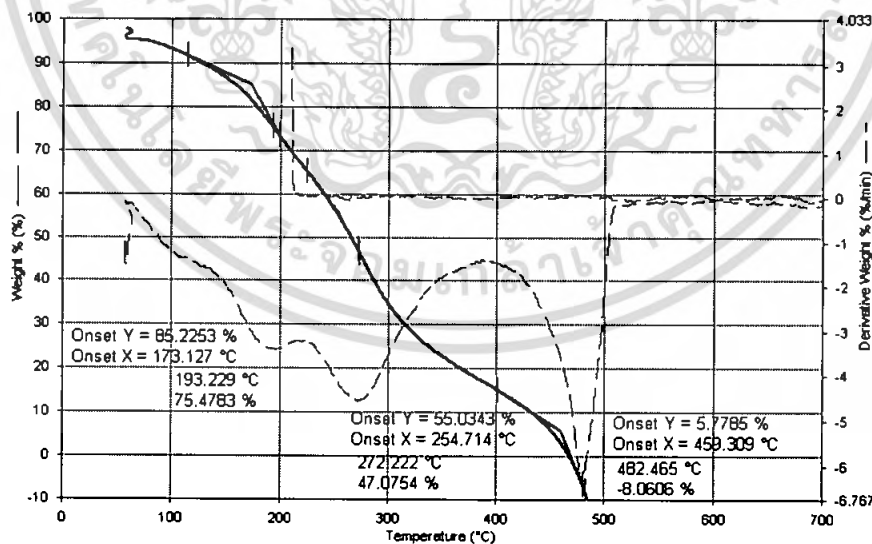
จากรูปที่ 4.54 จะเห็นว่าเกิดการสลายตัว 4 ชั้น คือ ที่อุณหภูมิ 241°C และ 465°C คาดว่าเป็นพีคอุณหภูมิการสลายตัวของโหมและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่เกิดการเชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 280°C คาดว่าเป็นพีคอุณหภูมิการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และที่อุณหภูมิ 510°C คาดว่าเป็นพีคของโหมที่ไม่เกิดการเชื่อมโยง แต่มีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่าโหมปกติ ก็อาจจะเนื่องมาจากเกิดการตอกกิ่งของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เข้าไป ทำให้ความสามารถในการจัดเรียงตัวลดลง อุณหภูมิการสลายตัวจึงลดลง



รูปที่ 4.55 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 23 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL  
กลูตารัลดีไฮด์ 1 mL)

จากรูปที่ 4.55 จะเห็นว่าเกิดการสลายตัว 4 ขั้น คือ ที่อุณหภูมิ 243°C และ 456°C คาดว่าเป็นที่อุณหภูมิการสลายตัวของใหม่และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่เกิดการเชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 273°C คาดว่าเป็นที่อุณหภูมิการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)

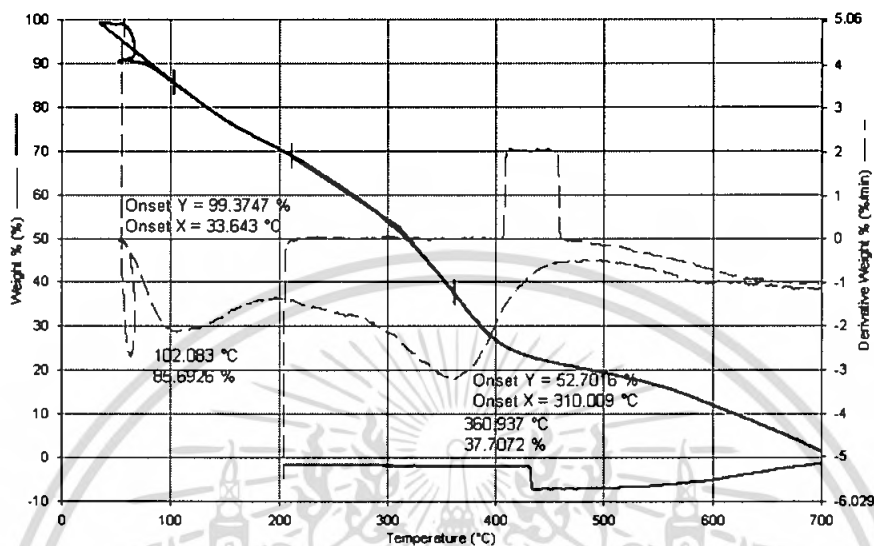
จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของตัวอย่างไฮโดรเจลที่ใช้เปรียบเทียบกับ (Blank) คือสูตรที่ 24 และ 25 จะมีเทอร์โมแกรมแสดงดังรูปที่ 4.56 และ 4.57 ตามลำดับ



รูปที่ 4.56 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 24 (น้ำกลั่น 30 mL 2-HEMA 5 mL  
กลูตารัลดีไฮด์ 1 mL PVAI 4 mL เวลา 30 นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.56 จะเห็นว่าเกิดการสลายตัว 3 ชั้น คือ ที่อุณหภูมิ 193°C คือ อุณหภูมิการสลายตัวของกลูตารัลดีไฮด์ และที่อุณหภูมิ 254°C และ 482°C คือ อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่เกิดการเชื่อมโยง



รูปที่ 4.57 เทอร์โมแกรมของสูตรที่ 25 (น้ำกลั่น 30 mL 2-HEMA 5 mL กลูตารัลดีไฮด์ 1 mL เวลา 30 นาที)

จากรูปที่ 4.57 จะเห็นว่าเกิดการสลายตัว 2 ชั้น คือ ที่อุณหภูมิ 102°C คือ อุณหภูมิการสลายตัวของน้ำ และที่อุณหภูมิ 360°C คือ อุณหภูมิการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เกิดการเชื่อมโยง

เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมแกรมของสูตรที่ 22 และ 23 กับเทอร์โมแกรมของสูตรที่ 25 พบว่า จะไม่เห็นพีคการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เกิดการเชื่อมโยง ที่อุณหภูมิ 360°C ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าหากมีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) พร้อมกับไหมและ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) กลูตารัลดีไฮด์จะไม่ทำการเชื่อมโยงหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) แต่จะเชื่อมโยงหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับหมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ของไหม

จากเทอร์โมแกรมของสูตรที่ 22 ที่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) 4 มิลลิลิตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเทอร์โมแกรมของสูตรที่ 24 (เทอร์โมแกรมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่เกิดการเชื่อมโยง) พบว่ามีพีคการสลายตัวที่อุณหภูมิ 200°C และ 400°C เหมือนกัน ทำให้สามารถคาดได้ว่า พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่เติมลงไปนสูตรที่ 22 เกิดการเชื่อมโยงกับ กลูตารัลดีไฮด์ เป็นโครงร่างแห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบเทอร์โมแกรมในสูตรที่ 22 และ 23 กับเทอร์โมแกรมในสูตรที่ 24 และ 25 ทำให้สามารถคาดได้ว่า กลูตารัลดีไฮด์ที่เติมเข้าไปจะทำการเชื่อมโยงหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และหมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ของไหมเท่านั่นแต่ไม่เกิดการเชื่อมโยงหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ซึ่งจะทำให้ได้โครงร่างตาข่ายของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ที่มีสายโซ่ของไหมเกิดการต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) แทรกตัวอยู่ จึงทำให้ได้เทอร์โมแกรมดังที่แสดงไว้ด้านบน

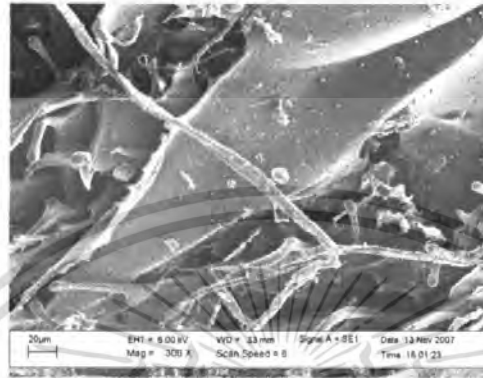
ตารางที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสูตรที่ 20-25

สาร	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	หมายเหตุ
20	248 301 556	คาดว่าพีคที่ 248°C และ 556°C เป็นพีคของไหมที่เกิดการเชื่อมโยง และพีคที่ 301°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่เกิดการเชื่อมโยง
21	250 320 590	คาดว่าพีคที่ 250°C และ 558°C เป็นพีคของไหมและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดการเชื่อมโยง และพีคที่ 323°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
22	241 290 465 510	คาดว่าพีคที่ 241°C และ 465°C เป็นพีคของไหมและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดการเชื่อมโยง พีคที่ 290°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต และพีคที่ 510°C เป็นพีคของไหมที่ไม่เกิดการเชื่อมโยง
23	243 289 456	คาดว่าพีคที่ 243°C และ 456°C เป็นพีคของไหมที่เกิดการเชื่อมโยง และพีคที่ 289°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่เกิดการเชื่อมโยง
24	193 272 482	คาดว่าพีคที่ 272°C และ 482°C เป็นพีคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดการเชื่อมโยง และพีคที่ 193°C เป็นพีคการสลายตัวของกลูตารัลดีไฮด์
25	102 360	คาดว่าพีคที่ 102°C เป็นพีคการสลายตัวของน้ำ และพีคที่ 360°C เป็นพีคการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่เกิดการเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (SEM)

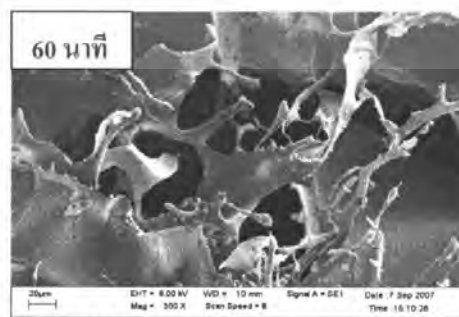
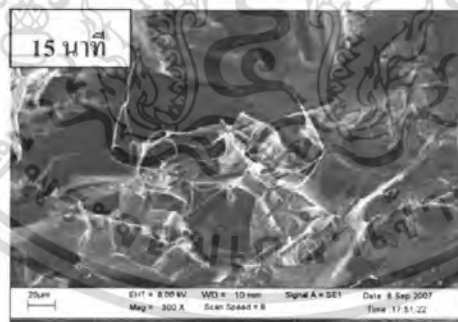
หลังจากการทำแห้งแบบเย็นแล้วนำตัวอย่างไฮโดรเจลที่ได้ไปทำการตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (SEM) ซึ่งได้วิเคราะห์ไฮโดรเจลของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหลังจากต่อกิ่งเข้าไปแล้ว ซึ่งมีสัณฐานวิทยา ดังนี้



รูปที่ 4.58 แสดงสัณฐานวิทยาของไฟโบรอินของไหมไทยนางน้อยที่กำลังขยาย 300 เท่า

#### ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

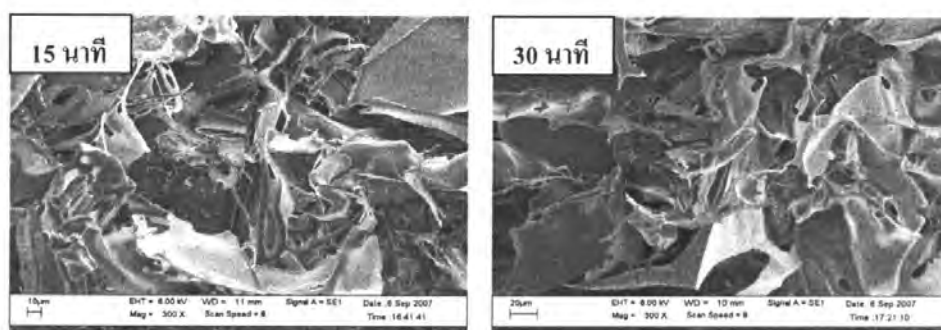
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้น ซึ่งก็คือ สูตรที่ 1-9 ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที สัณฐานวิทยาที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.59-4.61 ตามลำดับ



รูปที่ 4.59 แสดงสัณฐานวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 1-3 (น้ำไหม 30 mL

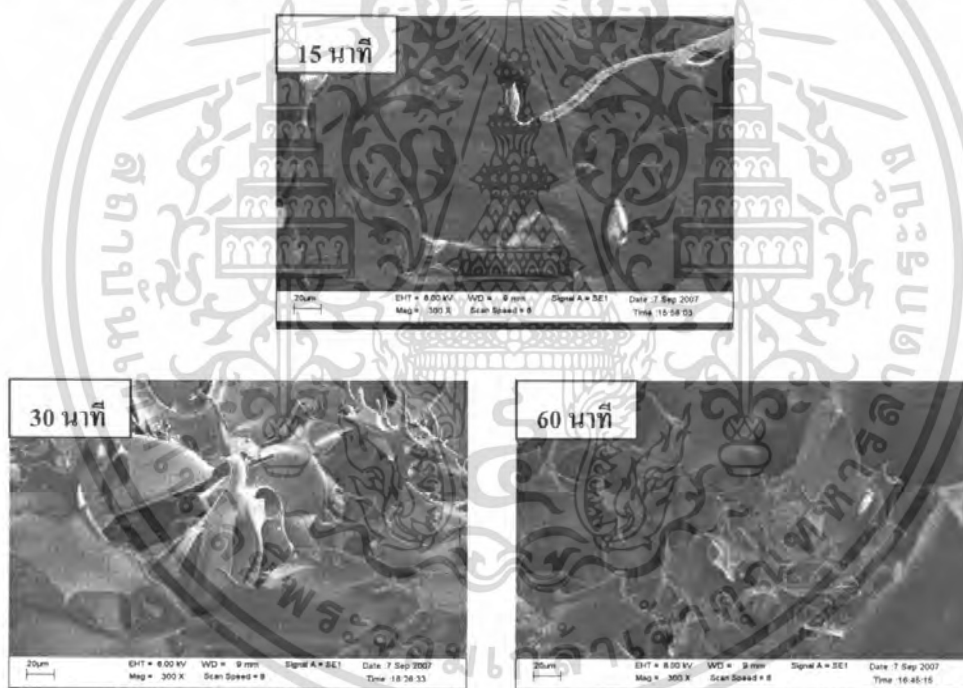
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานที่อาจารย์ผดุงเดชชัย ไชยมงคลทำให้งานไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 2-HEMA 10 mL ที่เวลา 15 30 60 นาที ตามลำดับ) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกึ่งแล้วของสูตรที่ 4-6 (น้ำใหม่ 25 mL 2-HEMA 15 mL ที่เวลา 15 30 นาที ตามลำดับ) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

**หมายเหตุ** สูตรที่ 6 ทำการทดสอบแล้วแต่ตัวอย่างเกิดการเสียสภาพก่อนที่จะวิเคราะห์เสร็จ



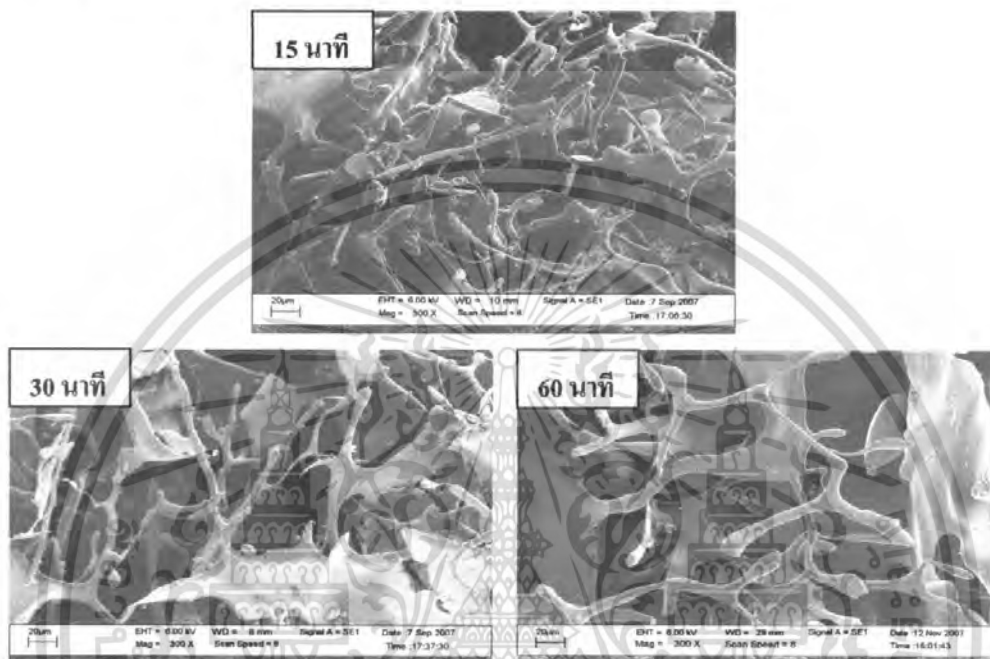
รูปที่ 4.61 แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของไฟโบรอินที่ทำการต่อกึ่งแล้วของสูตรที่ 7-9 (น้ำใหม่ 20 mL 2-HEMA 20 mL ที่เวลา 15 30 60 นาที ตามลำดับ) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

จากรูปที่ 4.59-4.61 แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของสูตรที่ 1-9 ที่มีปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เพิ่มขึ้น พบว่าลักษณะพื้นฐานวิทยาที่ได้จะมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ มีส่วนที่เป็นแผ่นๆ และส่วนที่เป็นเส้นๆ ยื่นออกมา ซึ่งส่วนที่เป็นแผ่นๆ นั้นก็คือ โหมด ซึ่งสามารถทราบได้จากลักษณะพื้นฐานวิทยาของโหมดที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์

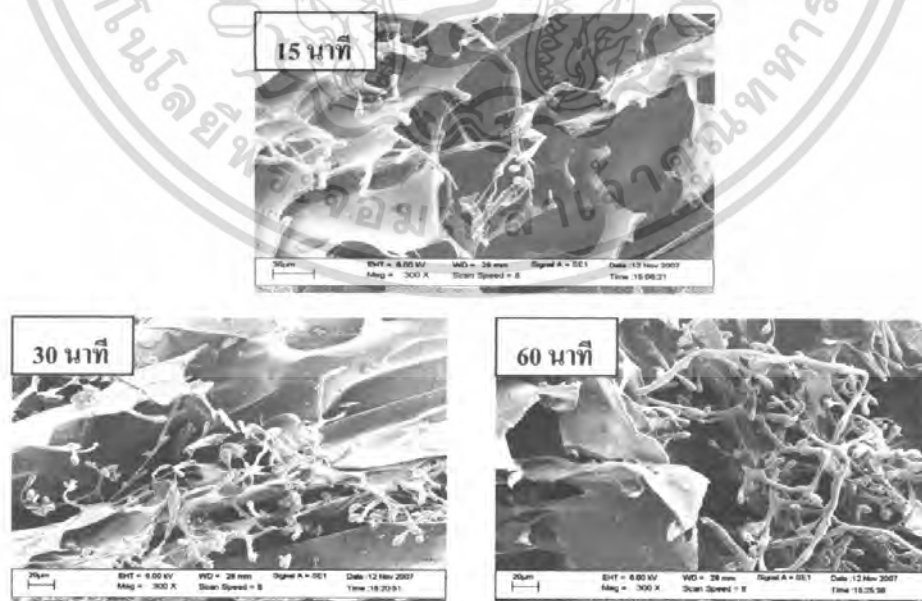
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณที่คงที่ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม**

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ซึ่งก็คือ สูตรที่ 10-18 ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที สัณฐานวิทยาที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.62-4.64 ตามลำดับ



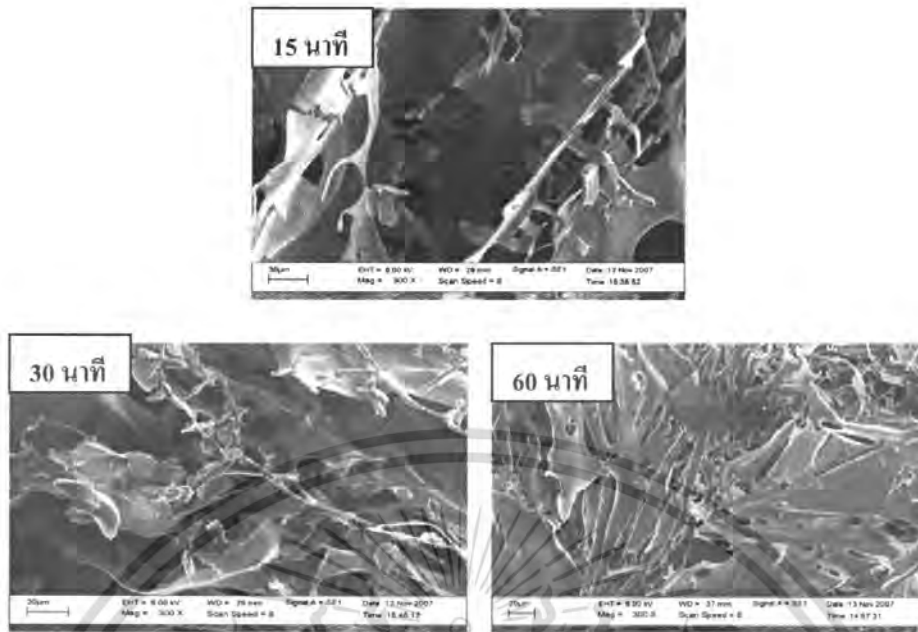
รูปที่ 4.62 แสดงสัณฐานวิทยาของไฟเบอร์อินที่ทำการต่อกึ่งแล้วของสูตรที่ 10-12 (น้ำไหม 30 mL 2-HEMA 5 mL ที่เวลา 15 30 60 นาที ตามลำดับ) ที่กำลังขยาย 300 เท่า



รูปที่ 4.63 แสดงสัณฐานวิทยาของไฟเบอร์อินที่ทำการต่อกึ่งแล้วของสูตรที่ 13-15 (น้ำไหม 25 mL

2-HEMA 5 mL เวลา 15 30 60 นาที ตามลำดับ) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.64 แสดงสัณฐานวิทยาของไฟโบรินที่ทำการต่อกิ่งแล้วของสูตรที่ 16-18 (น้ำใหม่ 20 mL 2-HEMA 20 mL ที่เวลา 15 30 60 นาที ตามลำดับ) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

จากรูปที่ 4.62-4.64 แสดงสัณฐานวิทยาของสูตรที่ 10-18 ที่มีปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร พบว่าสัณฐานวิทยาที่ได้จะมีลักษณะที่คล้ายกันกับในสูตรที่ 1-9 คือ มีส่วนที่เป็นแผ่นๆ และส่วนที่เป็นเส้นๆ ยื่นออกมา

จากรูปที่ 4.59-4.64 แสดงสัณฐานวิทยาของสูตรที่ 1-18 พบว่าสัณฐานวิทยาของใหม่ที่ทำ การปรับปรุงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) มีการเปลี่ยนแปลงไปจากสัณฐานวิทยา ของใหม่ปกติ โดยจะมีส่วนที่เป็นเส้นๆ ยื่นออกมาจากส่วนที่เป็นแผ่นๆ ซึ่งคาดว่าส่วนที่เป็นเส้นๆ นี้ น่าจะเป็น 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) แสดงว่า 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) สามารถที่จะเกิดการต่อกิ่งที่สายโซ่ใหม่ได้ และการใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นจะทำให้ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) เข้าไปต่อกิ่งบนใหม่ได้มาก จะเห็นว่าส่วนที่เป็นเส้นๆ มี มากขึ้น

### ตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)

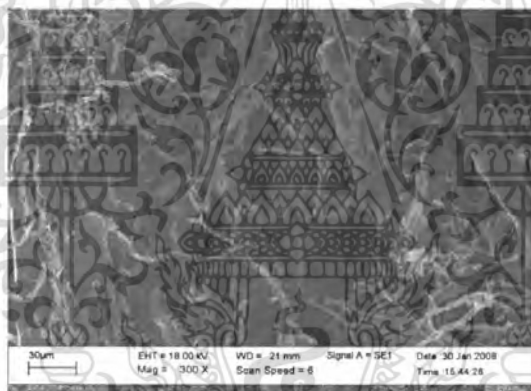
การปรับปรุงไฮโดรเจลจากสูตรที่ 11 ซึ่งอยู่ในกลุ่มของสูตรที่มีปริมาณน้ำใหม่ลดลงและ ปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที โดยมีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) คือ สูตรที่ 20-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

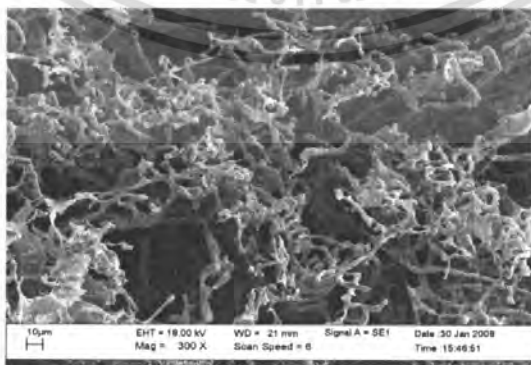
23 เมื่อนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยา พบว่าจะมีลักษณะคล้ายกับสูตรที่ 1-18 สัณฐานวิทยาของสูตรที่ 20-23 แสดงได้ดังรูปที่ 4.65-4.68 ตามลำดับ



รูปที่ 4.65 แสดงสัณฐานวิทยาของสูตรที่ 20 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL กลูตารัลดีไฮด์ 0.5 mL เวลา 30 นาที) ที่กำลังขยาย 300 เท่า



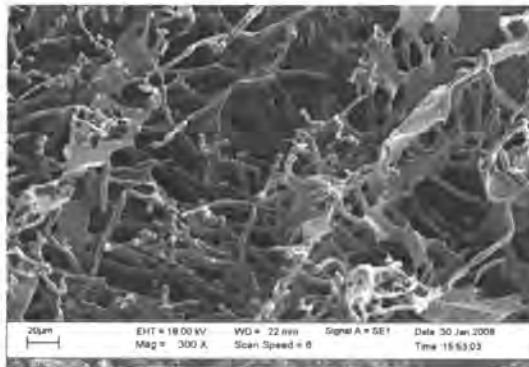
รูปที่ 4.66 แสดงสัณฐานวิทยาของสูตรที่ 21 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL กลูตารัลดีไฮด์ 0.5 mL PVAI 4 mL เวลา 30 นาที) ที่กำลังขยาย 300 เท่า



รูปที่ 4.67 แสดงสัณฐานวิทยาของสูตรที่ 22 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL

กลูตารัลดีไฮด์ 1 mL PVAI 4 mL เวลา 30 นาที) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกการดำเนินงานใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.68 แสดงสัณฐานวิทยาของสูตรที่ 23 (น้ำใหม่ 30 mL 2-HEMA 5 mL  
กลูตารัลดีไฮด์ 1 mL PVAI 4 mL เวลา 30 นาที) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

จากรูปที่ 4.65-4.68 แสดงสัณฐานวิทยาของสูตรที่ 20-23 พบว่าเมื่อทำการเติมสาร  
เชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) สัณฐานวิทยาที่ได้ยังคงมีลักษณะที่  
เหมือนกับสูตรที่ 1-18 แต่มีส่วนที่เป็นเส้นๆมากกว่า ซึ่งไฮโดรเจลที่ได้จากการเติมกลูตารัลดีไฮด์และ  
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะมีลักษณะทางกายภาพที่ดี มีความแข็งแรงเกาะติดกันเป็นก้อน ก็  
อาจจะเนื่องมาจาก ส่วนที่เป็นเส้นๆนี้ ซึ่งคาดว่าจะน่าจะเป็น 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA)  
ที่ต่อกิ่งเข้าไปบนสายโซ่ใหม่มีปริมาณที่มากขึ้น และอาจจะเนื่องมาจากกลูตารัลดีไฮด์ที่เติมเข้าไป  
นั้นไปทำการเชื่อมโยงหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) และหมู่อะมิโน  
(-NH<sub>2</sub>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### ตอนที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

1. ไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่ดี ผิวหน้าไม่เรียบและเกิดการแตก เมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรเจลปกติที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุง
2. มีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของไฮโดรเจลแห้ง และการคายน้ำออกจากตัวอย่างรวดเร็วใน 1-2 ชั่วโมงแรก
3. มีค่ามอดูลัสของการกดอัดที่ไม่สูงมากนัก
4. มีคุณสมบัติการสลายตัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับไหมที่ยังไม่ได้ปรับปรุง

##### ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณที่คงที่ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่มีผลต่อไฮโดรเจลของไหม

1. ไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่ดี ผิวหน้าเรียบและไม่เกิดการแตก เมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรเจลปกติที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุง
2. มีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของไฮโดรเจลแห้ง และใกล้เคียงกับในสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เพิ่มขึ้นและมีการคายน้ำออกจากตัวอย่างรวดเร็วใน 1-2 ชั่วโมงแรก
3. มีค่ามอดูลัสของการกดอัดที่สูงกว่าในสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เพิ่มขึ้น
4. มีคุณสมบัติการสลายตัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับไหมที่ยังไม่ได้ปรับปรุง

##### ตอนที่ 3 ศึกษาผลของการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI)

1. ไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่ดี ผิวหน้าเรียบ มั่นคงและไม่เกิดการแตก เมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรเจลปกติที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุง
2. มีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าในสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เพิ่มขึ้นและในสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร และการคายน้ำจะค่อยๆ ลดลงตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 จนถึงชั่วโมงที่ 7

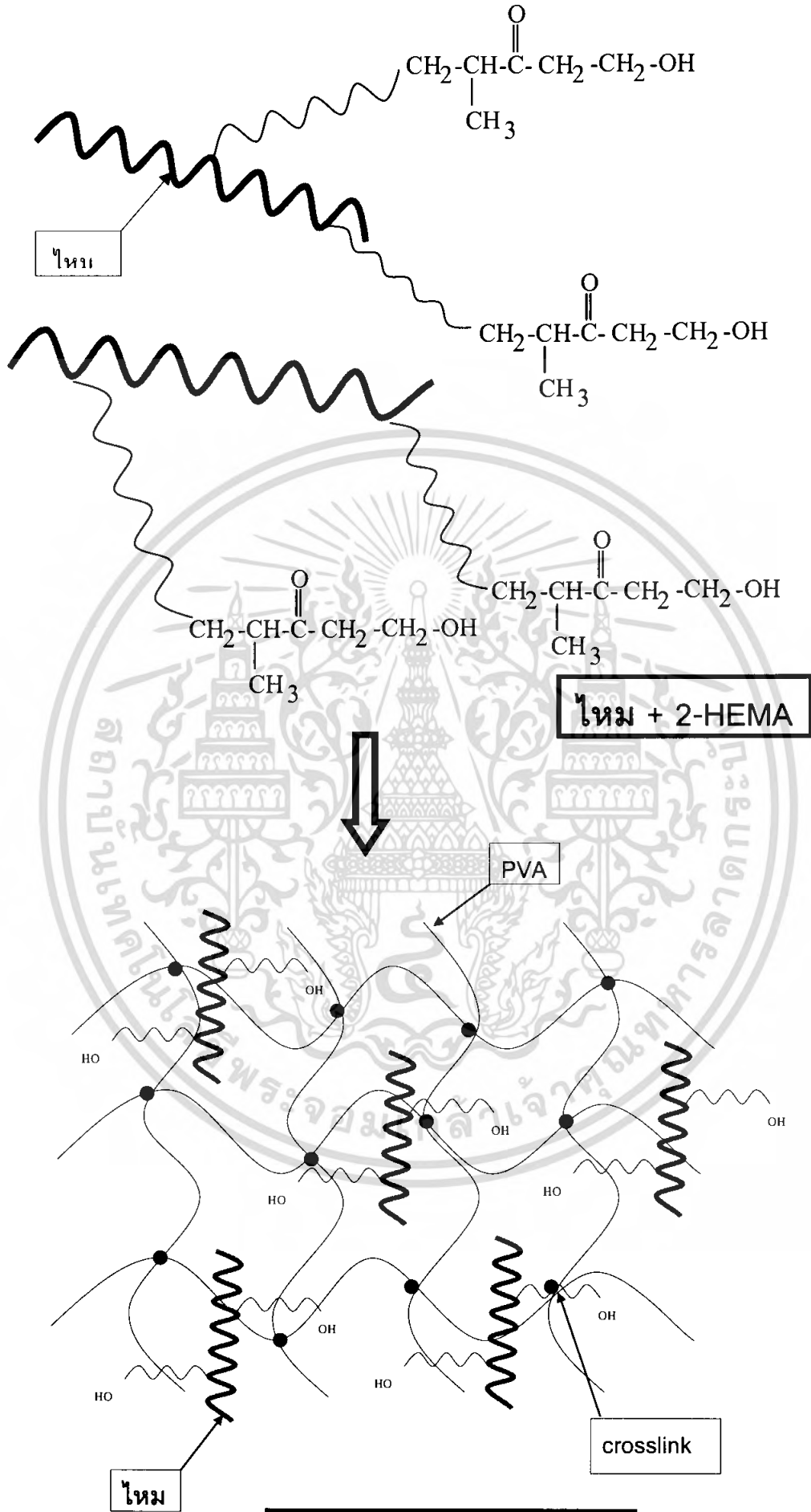
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มีค่ามอดูลัสของการกดอัดที่ไม่สูงมากนัก แต่ถ้ามีปริมาณกลูตารัลดีไฮด์มากจะให้ค่าที่สูง
4. มีอุณหภูมิการสลายตัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับไหมที่ยังไม่ได้ปรับปรุง

จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรเจล คือ ใช้น้ำไหม 30 มิลลิลิตร 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) 5 มิลลิลิตร ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที และจะต้องมีการเติมสาร เชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ลงไปด้วย
2. ในการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้ทั้งในสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ที่เพิ่มขึ้นและในสูตรที่มีปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) คงที่ที่ 5 มิลลิลิตร จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ในสูตรที่มีการปรับปรุงด้วยสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะให้สมบัติที่ดีกว่าในสูตรที่ไม่มีการปรับปรุง
3. ไฮโดรเจลที่มีการเติมสารเชื่อมโยงกลูตารัลดีไฮด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) จะให้ไฮโดรเจลที่มีสมบัติต่างๆที่ดี แสดงว่ากลูตารัลดีไฮด์ที่เติมลงไปนี้มีโอกาสเข้าไปทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) สายไซของไหม หมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) และหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) แต่จากผลการทดลอง พบว่าถ้าหากมีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) อยู่ด้วย กลูตารัลดีไฮด์จะทำการเชื่อมโยงกับหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) ของไหมกับหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) เท่านั้น และจะไม่เกิดการเชื่อมโยงกับหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) โดยจะทำการเชื่อมโยงพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายและมีไหมที่เกิดการตอกกิ่งแทรกตัวอยู่ จากผลการทดลองด้วยเทอร์โมกราวิเมทรี (TGA) นั่นคือ กลูตารัลดีไฮด์น่าจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) ได้เร็วกว่าหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-HEMA) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ...  
โพลี + PVA + 2-HEMA

ฉะนั้นในโครงการนี้สูตรที่เหมาะสมที่สุดก็คือ สูตรที่ 22 แต่ก็ต้องมีการปรับปรุงสูตรต่อไป เพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่สมบูรณ์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำและการคายน้ำต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้และความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ตลอดการทดสอบ เพราะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการทดสอบนี้ และในการทดสอบนี้ ต้องคำนึงถึงการคืบตัวอย่างขึ้นมาจากน้ำหนัก เพราะอาจทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในตัวอย่างถูกบีบออกมาได้ จะทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้มาก
2. ควรมีการนำไปใช้งานจริงทางด้านการแพทย์ เช่น การหาค่าความสามารถในการดูดซับเลือดและน้ำเหลือง หรือการหาอัตราเร็วในการสมานแผลเมื่อมีการใช้ไฮโดรเจลที่เตรียมได้โดยนำไปทดลองกับสัตว์ก่อน
3. ในการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ทำการวิเคราะห์เพียงตัวอย่างเดียวเท่านั้น จึงควรที่จะวิเคราะห์ซ้ำหลายๆครั้ง เพื่อให้ได้ผลที่แน่นอนกว่านี้
4. การผสมสารละลายแต่ละตัวจะต้องปั่นกวนให้ดี เพื่อให้ของผสมรวมกันได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www2.doae.go.th/www/work/web/wanna3/index.htm>
- [2] <http://update.se-ed.com/225/gel-worm.htm>
- [3] <http://cyberlab.lh1.ku.ac.th/elearn/faculty/veterin/vet69/Biochemistry%20Web%20Job/amino%20and%20protein/protein.htm>
- [4] <http://www.promma.ac.th/chemistry/Biomolecule/Biomolecule010.htm>
- [5] ปุณยชา บัณฑิตกุล. 2550. "การดัดแปลงโปรตีนไฟโบรอินจากเส้นไหมไทยเพื่อใช้ทำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลและเนื้อเยื่อโครงสร้าง" โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา วิทยาศาสตร์เส้นใย พิมพ์ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2543.
- [7] อภิชาติ สนธิสมบัติ กระบวนการเคมีสิ่งทอ พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ 2541.
- [8] มณฑา จันท์เกตุλεύด วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 1 สมาคมเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ กรุงเทพฯ 2541.
- [9] นवलจันทร์ โชคพิทักษ์, นิภาพรรณ ไสตถิยานนท์ และศิริเนตร ประดับวงศ์. 2545. "การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/Sericin โดยวิธีการฉายรังสี และการปรับสภาพทางความร้อน." โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [10] ชนิตา พงษ์ลิมานนท์ เคมีอินทรีย์เบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 4 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กรุงเทพฯ 2542.
- [11] อัจฉราพร ไสละสูต "ความรู้เรื่องผ้า" พิมพ์ครั้งที่ 10 สร้างสรรค์-วิชาการ กรุงเทพฯ 2539.
- [12] ไสภณ เริงสำราญ, อมร เพชร, ศุภศร พัฒนอักษรและสุรัชย์ พคภคกุล. อินทรีย์เคมี 2 พิมพ์ครั้งที่ 3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2545.
- [13] ลลิตา บุญโฉม "สมบัติทางกายภาพและการย่อยติดสีของเส้นไหมที่ทำการต่อกิ่งกับไวโนลมอนอเมอร์" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] มินะกาอะ โมโตอิ. 2530. "วิทยาการไหม เล่ม 1" แปลและเรียบเรียงโดย เอิอิชิ คาวาอิ และ เซ็มซัย เหมะจันทร. คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
- [15] <http://employees.csbsju.edu/hjakubowski/classes/ch331/protstructurelolunderstandco nfo.html>
- [16] 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
- [17] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ "เคทีพอลิเมอร์พื้นฐาน" พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ 2527.
- [18] 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.
- [19] [http://en.wikipedia.org/wiki/Tissue\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/Tissue_engineering)
- [20] <http://emplotees.csbsju.edu/hjakubowski/classes/ch331/protstructu/olunderstandco mfo.html>.
- [21] วัฒนา คล้ายรัศมี. 2547. "การปรับปรุงสมบัติต่างๆของเส้นไหม(Bombyx mori) โดยวิธีการ ต่อทึงกับไวนิลมอนอเมอร์ในตัวทำละลายเอทานอลและน้ำ" โครงการพิเศษวิทยาศาสตรมหา บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [22] [http://www.saraburi-industry.go.th/home/chem\\_info.php?cmID=228#top](http://www.saraburi-industry.go.th/home/chem_info.php?cmID=228#top)
- [23] <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=1382>
- [24] <http://en.wikipedia.org/wiki/Glutaraldehyde>
- [25] [http://en.wikipedia.org/wiki/Ammonium\\_persulfate](http://en.wikipedia.org/wiki/Ammonium_persulfate)
- [26] Y. Gotoh.,M. Tsukada.,N.Minoura. and Y. Imai. 1997 Synthesis of poly(ethylene glycol) silk fibroin conjugates and surface interaction between L-929 cells and the conjugates. Biomaterials. 18: 267-271.
- [27] M. Tsukada, "Physical Properties of Silk Fiber Grafted with a Binary Mixture of Styrene and n-Butyl Methacrylate", Journal of Applied Polymer Science, 49 (1993) 1565-1571.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [28] M. Tsukada, "Studies Physical Properties and Structure Characteristic of Methyl Methacrylate Grafted Silk fiber", Journal of Applied Polymer Science, 135 (1988) 965-972.
- [29] M. Tsukada, G. Freddi, Y. Ishiguro and H. Shizaki, "Structural Analysis of Methacrylamide Grafted Silk fiber ", Journal of Applied Polymer Science, 50 (1993) 1519-1527.
- [30] M. Tsukada, "Structural Characteristic of 2-Hydroxy Ethyl Methacrylate (HEMA)/Methacrylamide (MAA) Grafted Silk fiber", Journal of Applied Polymer Science, 35 (1988) 2133-2140.
- [31] M. Tsukada, M. Nagrara, H. Ishikama and H. Shiozaki , "Structural Characteristic fiber Treated with Epoxies", Journal of Applied Polymer Science, 43 (1991) 643-649
- [32] ASTM D 6290-98; Stand Test Method for color Determination of Plastic Pellets.
- [33] H. Kweon., I.C. Um. And Y.H. Park 2001. Structural and thermal characteristics of Antheraea pernyi silk fibroin / chitosan blend film . Polymer. 42: 6651-6656
- [34] ภาณุพงศ์ ภูทะวัน.2547."การศึกษาผลของเซรีซินชนิดต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์" โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [35] F. Scheinmann "An Introduction to spectroscopic methods for the identification of organic compounds volume 1". First edition 1970. Great Britain by Page Bros. (Norwich) Ltd.Mile cross Lane, Norwich.

### ภาคผนวก ก.

ศึกษาถึงปริมาณน้ำที่ไฮโดรเจลดูดซึมและความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ไม่มีน้ำอยู่ (แห้ง) ในตอนแรก

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักไฮโดรเจลบวมน้ำ} - \text{น้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง}}$$

$$\% \text{ การคายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักไฮโดรเจลบวมน้ำ}}{\text{น้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง}} \times 100$$

$$\% \text{ การจุน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักไฮโดรเจลบวมน้ำ} - \text{น้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักไฮโดรเจลบวมน้ำ}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลต่างๆ 1 ชั่วโมง

สูตร	น้ำหนัก ก่อนแช่น้ำ (กรัม)	เวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)						
		1	2	3	4	5	6	7
1	0.0096	0.1911	0.1913	0.2155	0.1903	0.1924	0.1945	0.2042
2	0.0129	0.2240	0.2483	0.2487	0.2245	0.2194	0.2400	0.2427
3	0.0088	0.2318	0.2441	0.2591	0.2536	0.2557	0.2474	0.2442
4	0.0133	0.1884	0.1880	0.2048	0.2102	0.2361	0.2217	0.2526
5	0.0082	0.1496	0.1723	0.1772	0.1687	0.1628	0.1813	0.1726
6	0.0092	0.1766	0.1906	0.1861	0.1854	0.1929	0.2118	0.1859
7	0.0075	0.1251	0.1267	0.1365	0.1382	0.1421	0.1440	0.1434
8	0.0099	0.1848	0.1795	0.1913	0.1667	0.1767	0.2249	0.2203
9	0.0081	0.1737	0.1820	0.1834	0.1879	0.1935	0.2060	0.1700
10	0.0113	0.2038	0.2124	0.2174	0.2068	0.2215	0.2084	0.2076
11	0.0102	0.1829	0.1943	0.1955	0.2060	0.2163	0.2042	0.1854
12	0.0116	0.2465	0.2770	0.2619	0.2628	0.2533	0.2892	0.2724
13	0.0098	0.1503	0.1564	0.1596	0.1513	0.1588	0.1668	0.1777
14	0.0083	0.1405	0.1544	0.1627	0.1517	0.1564	0.1646	0.1742
15	0.0103	0.1971	0.2249	0.2254	0.2250	0.2059	0.2195	0.2245
16	0.0082	0.1545	0.1704	0.1764	0.1761	0.1748	0.1933	0.1957
17	0.0078	0.1338	0.1268	0.1575	0.1370	0.1330	0.1614	0.1482
18	0.0055	0.1164	0.1280	0.1478	0.1227	0.1157	0.1429	0.1447
20	0.0344	0.3994	0.3719	0.3990	0.3969	0.4039	0.4052	0.4014
21	0.0334	0.4146	0.4286	0.4478	0.4493	0.4464	0.4450	0.4501
22	0.0244	0.3316	0.3309	0.3139	0.3139	0.3079	0.3058	0.3228
23	0.0312	0.4105	0.4051	0.4051	0.4167	0.4201	0.4353	0.4191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงน้ำหนักการคายน้ำของไฮโดรเจลทุกๆ 1 ชั่วโมง หลังจากแช่น้ำมาแล้ว 24 ชั่วโมง

สูตร	น้ำหนัก ก่อนแช่น้ำ (กรัม)	เวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)						
		1	2	3	4	5	6	7
1	0.0085	0.1735	0.0894	0.0377	0.0090	0.0091	0.0086	0.0090
2	0.0098	0.1419	0.0620	0.0118	0.0108	0.0121	0.0112	0.0112
3	0.0102	0.1820	0.0973	0.0425	0.0110	0.0104	0.0104	0.0107
4	0.0106	0.1170	0.0266	0.0112	0.0113	0.0109	0.0114	0.0114
5	0.0076	0.1033	0.0295	0.0079	0.0079	0.0084	0.0079	0.0086
6	0.0094	0.1271	0.0513	0.0095	0.0097	0.0096	0.0095	0.0097
7	0.0083	0.1907	0.1004	0.0445	0.0093	0.0098	0.0086	0.0090
8	0.0069	0.0969	0.0126	0.0089	0.0073	0.0071	0.0077	0.0075
9	0.0081	0.1566	0.0674	0.0108	0.0084	0.0096	0.0089	0.0091
10	0.0100	0.1819	0.0944	0.0370	0.0118	0.0105	0.0111	0.0107
11	0.0141	0.1765	0.0894	0.0255	0.0149	0.0147	0.0150	0.0145
12	0.0075	0.0995	0.0214	0.0078	0.0084	0.0083	0.0082	0.0092
13	0.0077	0.0974	0.0102	0.0083	0.0081	0.0078	0.0080	0.0082
14	0.0080	0.0911	0.0106	0.0087	0.0083	0.0086	0.0114	0.0088
15	0.0131	0.1572	0.0631	0.0138	0.0133	0.0140	0.0160	0.0140
16	0.0053	0.1164	0.0342	0.0070	0.0056	0.0070	0.0076	0.0072
17	0.0059	0.0958	0.0284	0.0066	0.0062	0.0067	0.0068	0.0070
18	0.0038	0.0684	0.0053	0.0044	0.0039	0.0056	0.0053	0.0053
20	0.0319	0.4437	0.3585	0.3036	0.2484	0.1965	0.1443	0.0944
21	0.0415	0.4898	0.3820	0.3226	0.2640	0.2083	0.1485	0.0958
22	0.0235	0.3167	0.2252	0.1777	0.1343	0.0903	0.0381	0.0236
23	0.0311	0.3439	0.2987	0.2201	0.1722	0.1190	0.0620	0.0318

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (%) ของไฮโดรเจล

สูตร	ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (%) ของไฮโดรเจลที่แช่น้ำ						
	เวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1890.63	1892.71	2144.79	1882.29	1904.17	1904.17	2027.08
2	1636.43	1824.81	1827.91	1640.31	1600.78	1760.47	1781.40
3	2534.09	2673.86	2844.32	2781.82	2805.68	2711.36	2675.00
4	1316.54	1313.53	1439.85	1480.45	1675.19	1566.92	1799.25
5	1724.39	2001.22	2060.98	1957.32	1885.37	2110.98	2004.88
6	1819.57	1971.74	1922.83	1915.22	1996.74	2202.17	1920.65
7	1568.00	1589.33	1720.00	1742.67	1794.67	1820.00	1812.00
8	1759.60	1713.13	1832.32	1583.84	1684.85	2171.72	2125.25
9	2044.44	2146.91	2164.20	2219.75	2288.89	2443.21	1998.77
10	1703.54	1779.65	1823.89	1730.09	1860.18	1744.25	1737.17
11	1693.14	1804.90	1816.67	1919.61	2020.59	1901.96	1717.65
12	2025.00	2287.93	2157.76	2165.52	2083.62	2393.10	2248.28
13	1433.67	1495.92	1528.57	1443.88	1520.41	1602.04	1713.27
14	1592.77	1760.24	1860.24	1727.71	1784.34	1883.13	1998.80
15	1813.59	2083.50	2088.35	2084.47	1899.03	2031.07	2079.61
16	1784.15	1978.05	2051.22	2047.56	2031.71	2257.32	2286.59
17	1615.38	1525.64	1919.23	1656.41	1605.13	1969.23	1800.00
18	2016.36	2227.27	2587.27	2130.91	2003.64	2498.18	2530.91
20	1061.05	981.1047	1059.89	1053.78	1074.13	1077.91	1066.86
21	1141.32	1183.23	1240.72	1245.21	1236.53	1232.34	1112.87
22	1259.02	1256.15	1186.48	1186.48	1161.89	1153.28	1222.95
23	1215.71	1198.40	1198.40	1235.58	1246.47	1295.19	1243.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงค่าความสามารถในการคายน้ำ (%) ของไฮโดรเจล

สูตร	ค่าความสามารถในการคายน้ำ (%) ของไฮโดรเจล						
	เวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2041.17	1051.76	443.53	105.88	107.06	101.18	105.88
2	1447.96	632.65	120.41	110.20	123.47	114.29	114.29
3	1784.31	953.92	416.67	107.20	101.96	101.96	104.90
4	1103.77	250.94	105.66	106.60	102.83	107.55	107.55
5	1359.21	388.16	103.95	103.95	110.53	103.95	113.16
6	1352.12	545.74	101.06	103.19	102.13	101.06	103.19
7	2297.59	1209.64	536.14	112.05	118.07	103.61	108.43
8	1404.35	182.61	128.99	105.80	102.90	111.59	108.70
9	1933.33	832.10	133.33	103.70	118.52	109.88	112.35
10	1819.00	944.00	370.00	188.00	105.00	111.00	107.00
11	1251.77	634.04	180.85	105.67	104.26	106.38	102.84
12	1326.67	285.33	104.00	112.00	110.67	109.33	122.67
13	1264.93	132.47	107.00	105.19	101.30	103.90	106.49
14	1138.75	132.50	108.00	103.75	107.50	142.50	110.00
15	1200.00	481.68	105.34	101.53	106.87	122.14	106.87
16	2196.23	645.28	132.08	105.66	132.08	143.40	135.85
17	1623.73	481.36	101.69	105.08	113.56	115.25	118.64
18	1800.00	139.47	115.79	102.63	147.37	139.47	139.47
20	1382.24	1116.82	945.79	773.83	612.15	449.53	294.08
21	1180.24	920.48	777.35	636.14	501.93	357.83	230.84
22	1353.42	962.39	759.40	573.93	385.90	162.82	100.85
23	1105.79	960.45	707.72	553.70	382.64	199.36	102.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่าความสามารถในการจมน้ำ (%) ของไฮโดรเจล

สูตร	ชั่วโมงที่						
	1	2	3	4	5	6	7
1	94.97	94.98	95.55	94.96	95.01	95.06	95.30
2	92.21	94.80	94.81	94.25	94.12	94.62	94.68
3	96.20	96.39	96.60	96.53	96.56	96.44	96.40
4	92.94	92.92	93.50	93.67	94.67	94.00	94.73
5	92.52	95.24	95.37	95.14	94.96	95.48	95.25
6	94.80	95.17	95.06	95.04	95.23	95.66	95.05
7	94.00	94.08	94.50	94.57	94.72	94.79	94.77
8	94.64	94.48	94.82	94.06	94.40	95.60	95.51
9	95.34	95.55	95.58	95.69	95.81	96.07	95.23
10	94.45	94.68	94.80	94.53	94.90	94.58	94.56
11	94.43	94.75	94.78	95.05	95.28	95.00	94.50
12	95.29	95.81	95.57	95.58	95.42	95.99	95.74
13	93.48	93.73	93.86	93.52	93.82	94.12	94.49
14	93.77	94.62	94.90	94.53	94.69	94.69	95.23
15	94.77	95.42	95.43	95.42	95.00	95.13	95.41
16	94.69	95.19	95.35	95.34	93.38	95.76	95.81
17	94.17	93.85	95.45	94.31	94.13	95.17	94.74
18	95.27	95.70	96.28	95.52	95.25	96.15	96.20
19	91.39	90.75	91.38	91.33	91.48	91.51	91.43
20	91.90	92.20	92.54	92.57	92.52	92.49	92.58
21	92.64	92.63	92.23	92.23	92.07	92.20	92.44
22	92.34	92.30	92.30	92.51	92.57	92.83	92.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงค่าสมบัติเชิงกล (การกดอัด) ของไฮโดรเจล

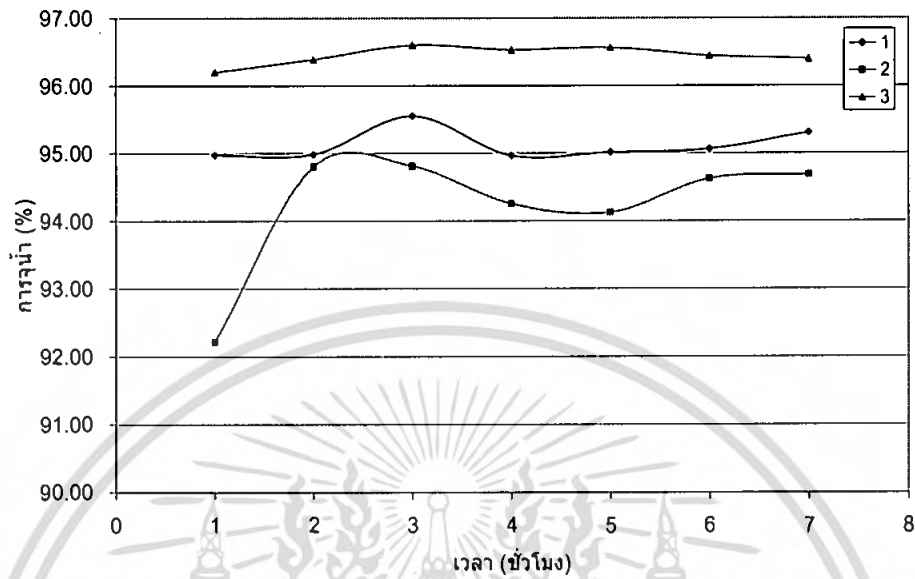
สูตร	Modulus (MPa)	Fm (N)	Rt <sub>1</sub> (15 N)	Rt <sub>2</sub> (50 N)	Rm (MPa) stress
1	0.1278	99.32	0.2773	12.80	0.3547
2	0.1371	99.15	0.4493	13.92	0.3532
3	0.2695	98.99	1.2750	28.17	0.3472
4	0.2334	99.95	0.9362	25.83	0.3279
5	0.1035	98.78	0.1730	11.23	0.3239
6	0.1298	99.92	0.6527	15.40	0.3079
7	0.0472	99.02	0.4160	2.294	0.3147
8	0.1971	100.00	1.1120	21.11	0.3450
9	0.0792	99.81	0.0444	8.082	0.3444
10	0.0000	98.71	1.6040	0.00	0.2948
11	0.0869	99.08	1.1360	10.77	0.3128
12	0.2987	100.00	1.8520	35.71	0.3087
13	0.0417	98.68	1.0200	6.628	0.2574
14	0.4707	99.06	2.3560	49.31	0.3476
15	0.1626	98.56	1.2830	20.95	0.2852
16	0.2242	99.07	-0.2839	21.27	0.3606
17	0.2392	98.89	0.8522	23.60	0.3640
18	0.0000	99.91	3.0770	0.00	0.3319
20	0.1149	99.59	1.4960	14.10	0.3388
21	0.0967	99.76	4.1790	16.51	0.2978
22	0.3266	99.83	9.0700	0.00	0.3396
23	0.1938	99.83	6.9400	58.26	0.2941

**หมายเหตุ** Rt<sub>1</sub> คือ ค่า stress ที่ strain = 15 N

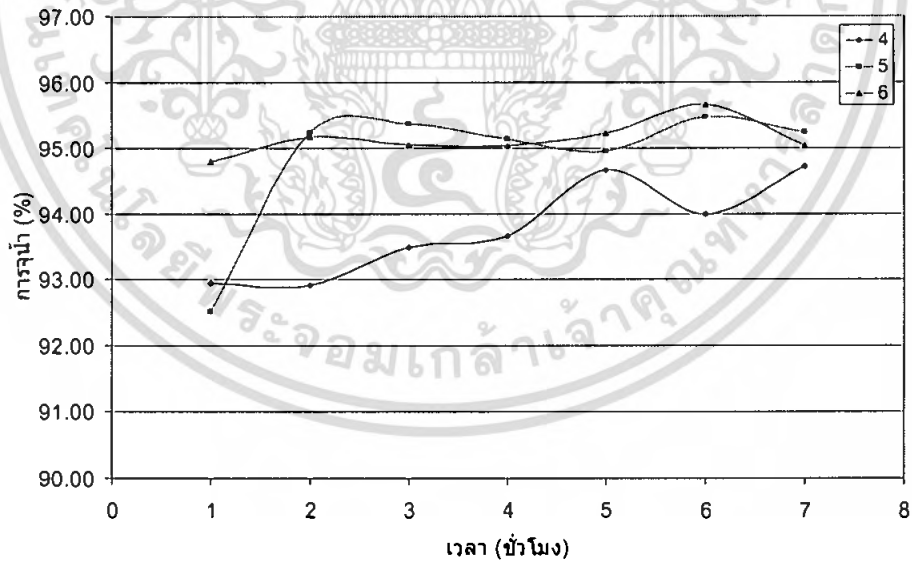
Rt<sub>2</sub> คือ ค่า stress ที่ strain = 50 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

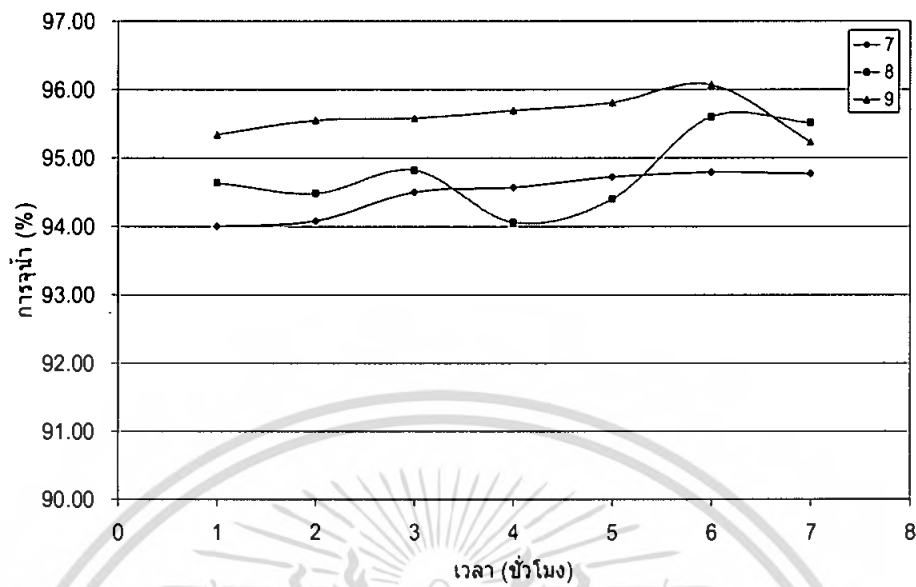


รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าการจุน้ำ (%) ของสูตรที่ 1-3

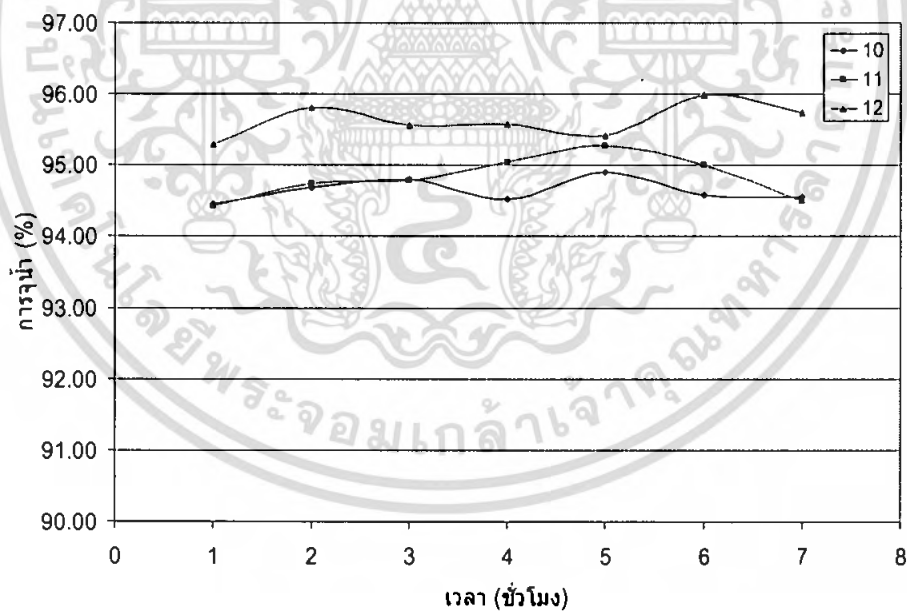


รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าการจุน้ำ (%) ของสูตรที่ 4-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

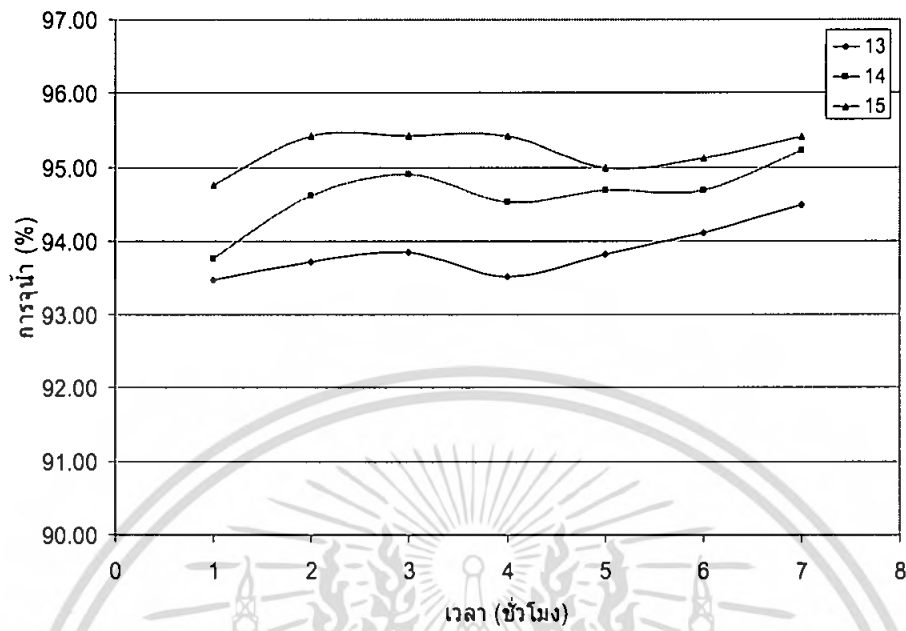


รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าการจุน้ำ (%) ของสูตรที่ 7-9

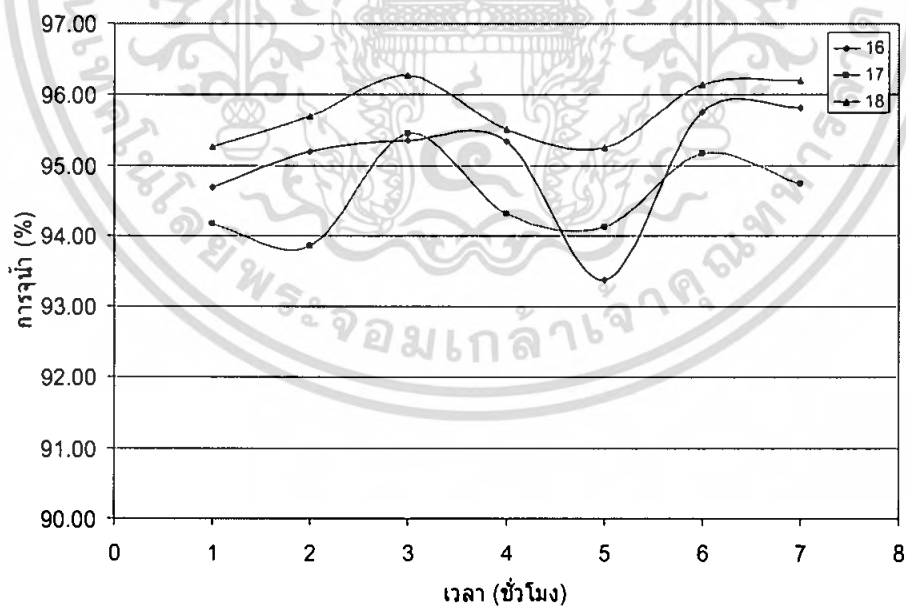


รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าการจุน้ำ (%) ของสูตรที่ 10-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

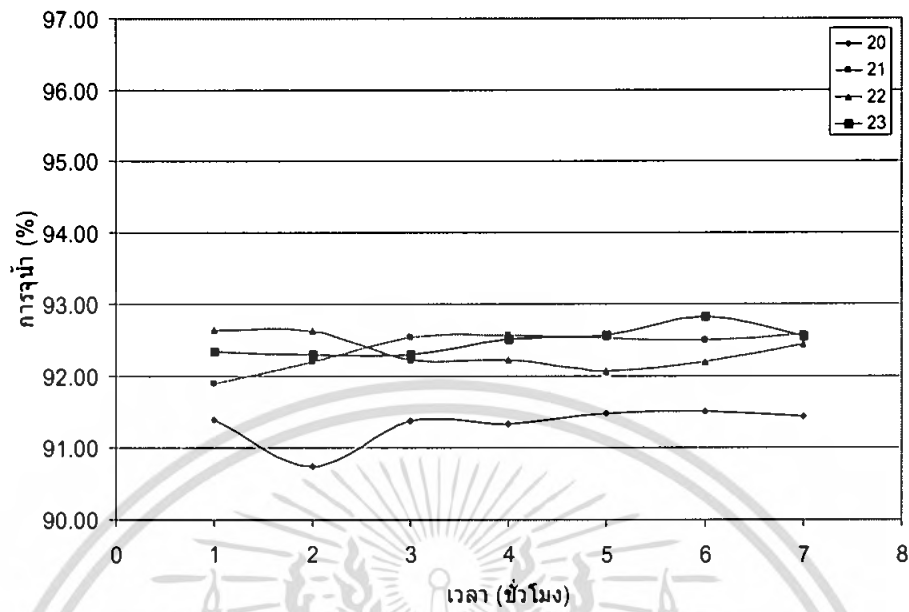


รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าการจมน้ำ (%) ของสูตรที่ 13-15



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าการจมน้ำ (%) ของสูตรที่ 16-18

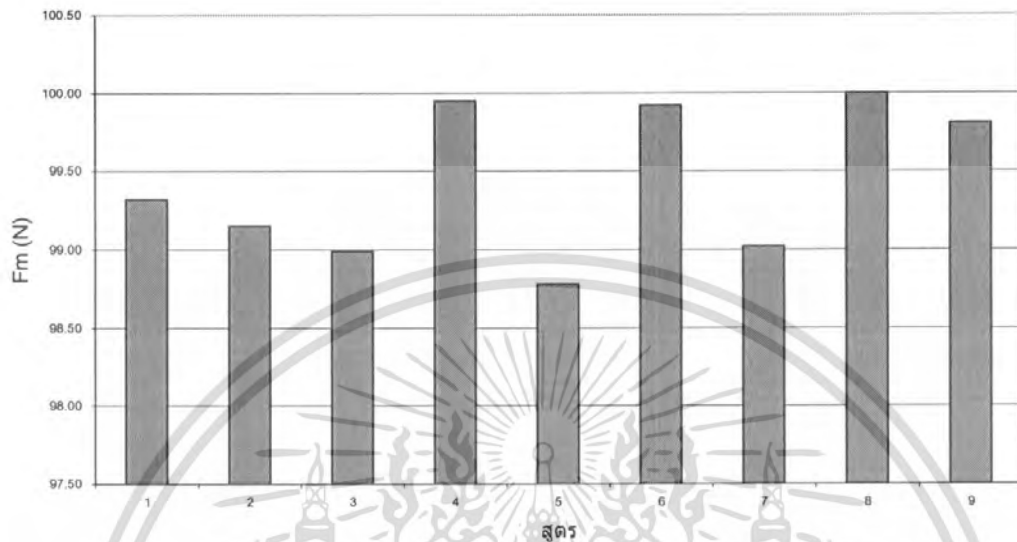
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



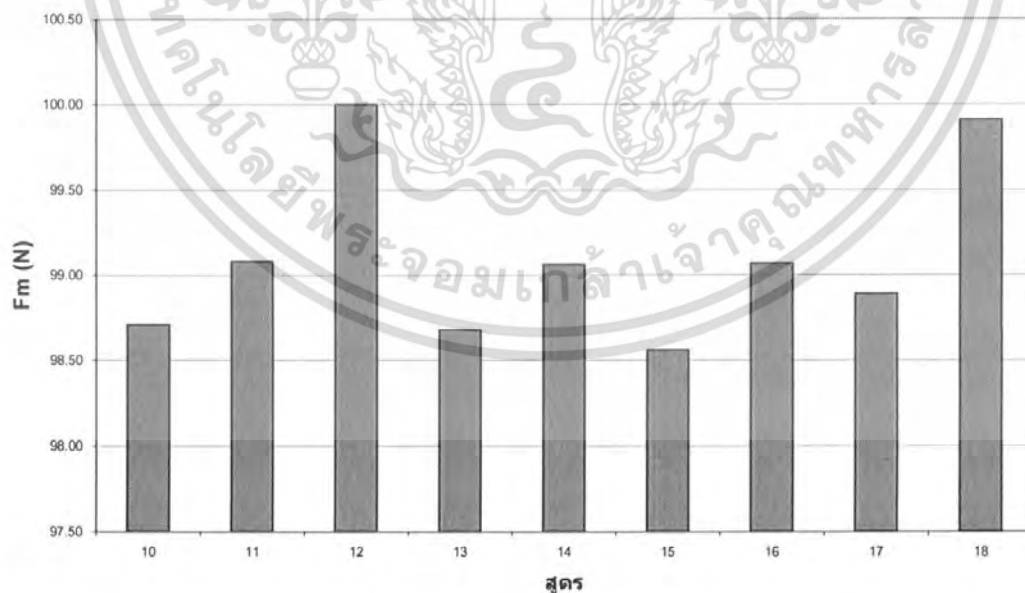
รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าการจูน (%) ของสูตรที่ 20-23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค.

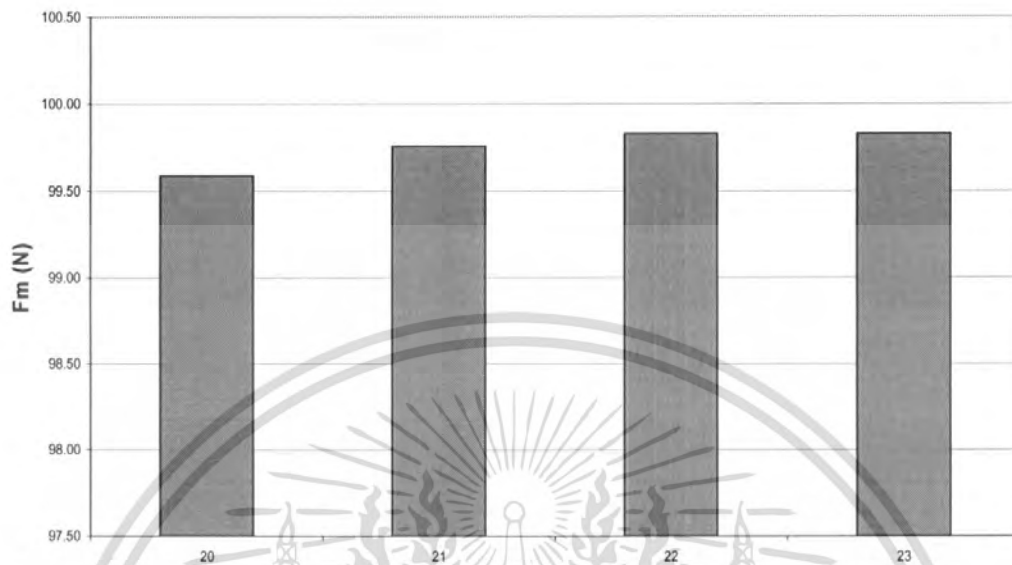


รูปที่ 1 กราฟแสดงค่า Fm (N) ของสูตรที่ 1-9



รูปที่ 2 กราฟแสดงค่า Fm (N) ของสูตรที่ 10-18

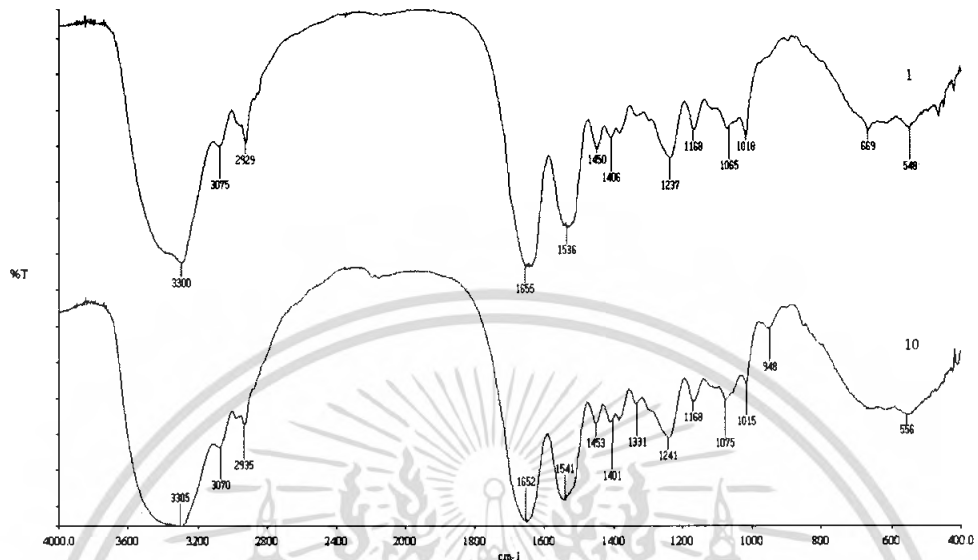
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



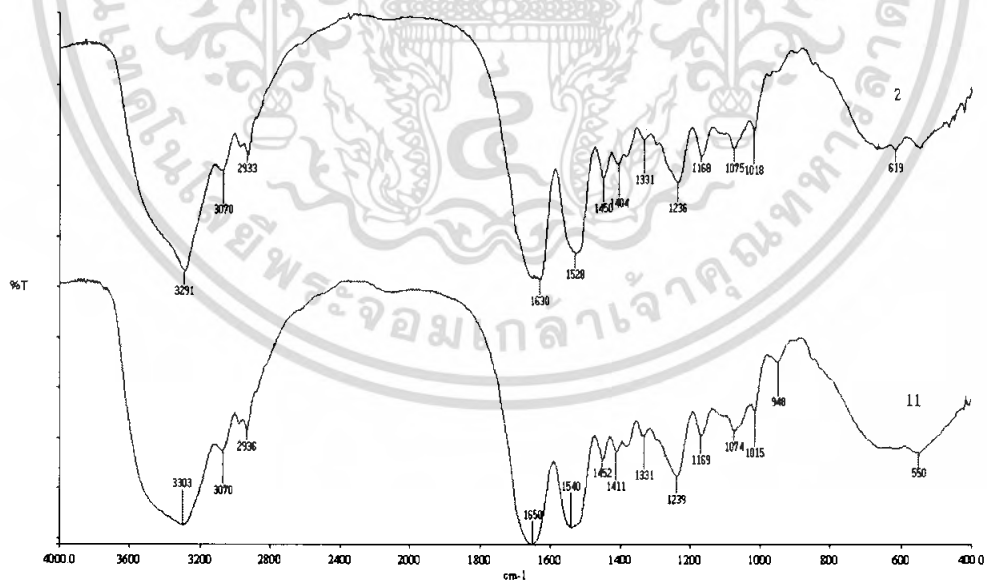
รูปที่ 3 กราฟแสดงค่า Fm (N) ของสูตรที่ 20-23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง.

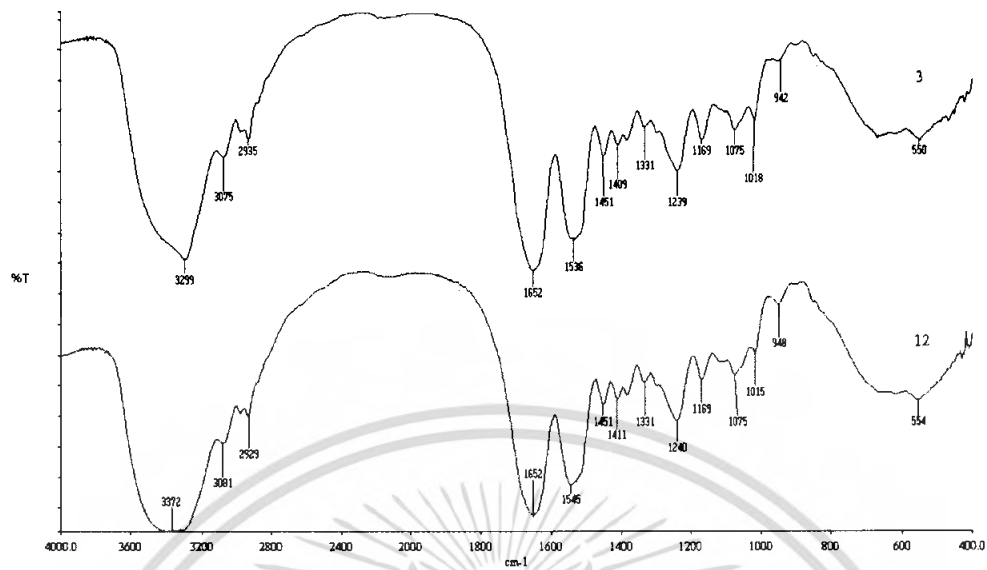


รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบของอินฟราเรดสเปกตรัม ของสูตรที่ 1 กับ 10

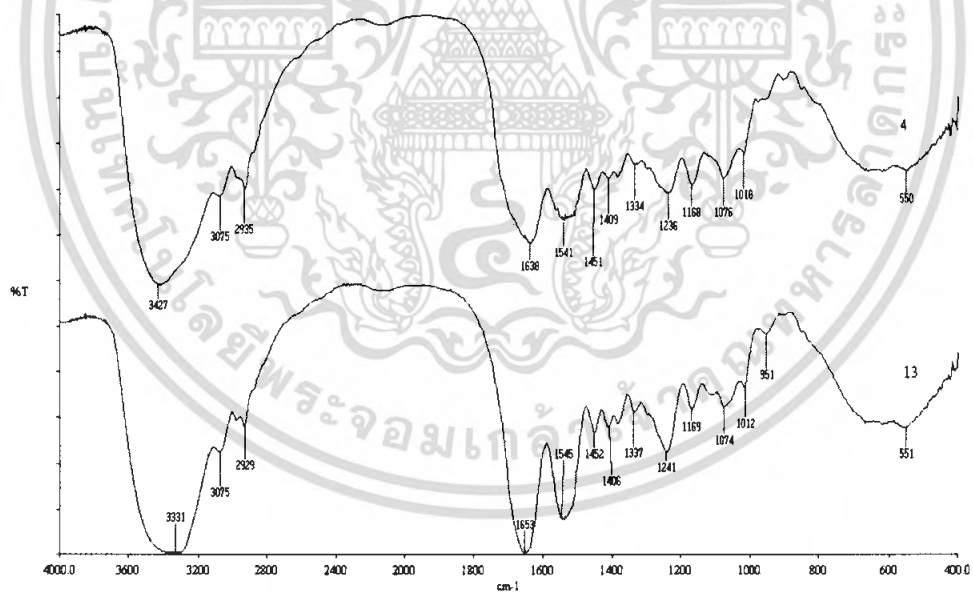


รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบของอินฟราเรดสเปกตรัม ของสูตรที่ 2 กับ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

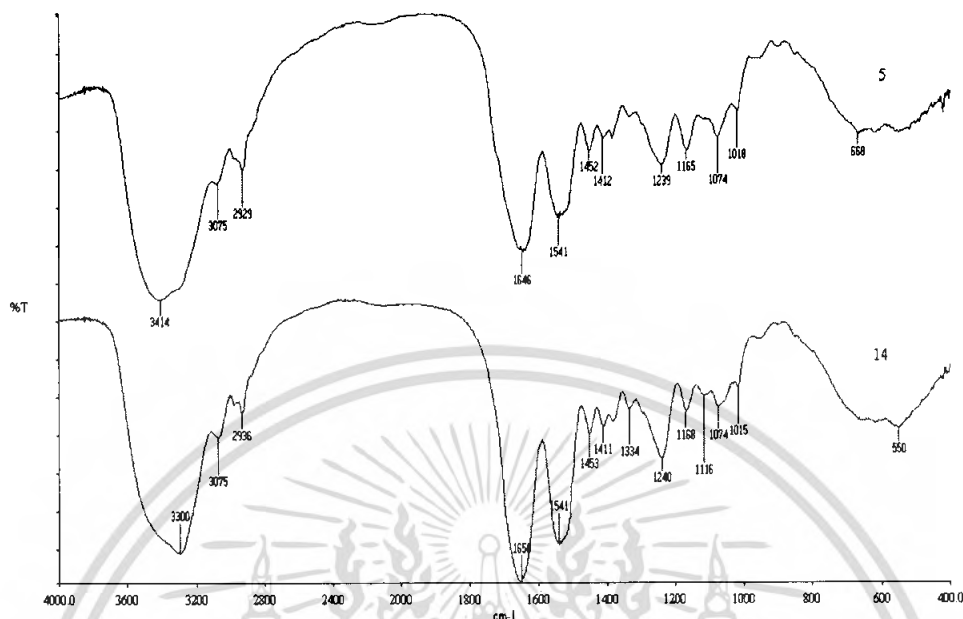


รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบของอินฟราเรดสเปกตรัม ของสูตรที่ 3 กับ 12

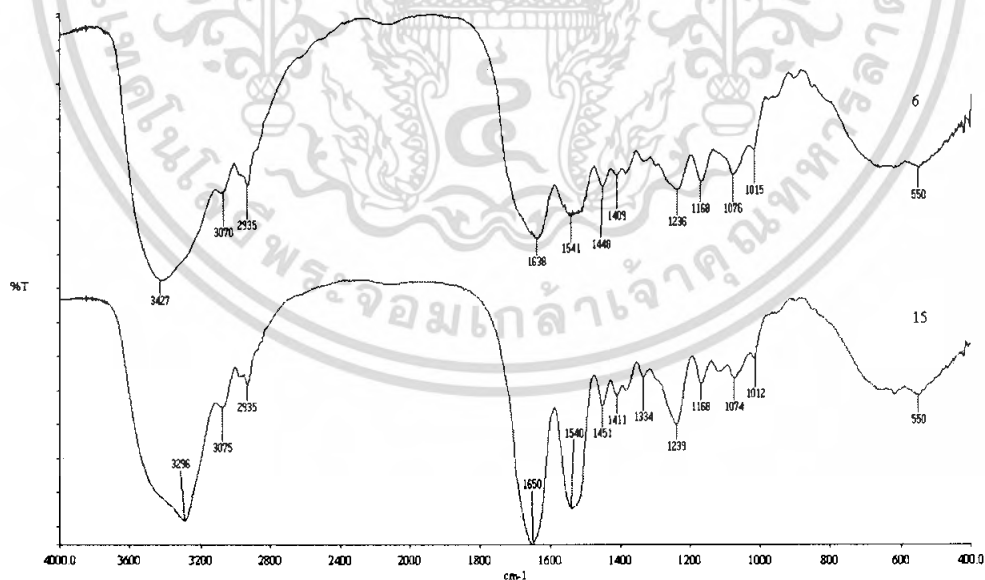


รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบของอินฟราเรดสเปกตรัม ของสูตรที่ 4 กับ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

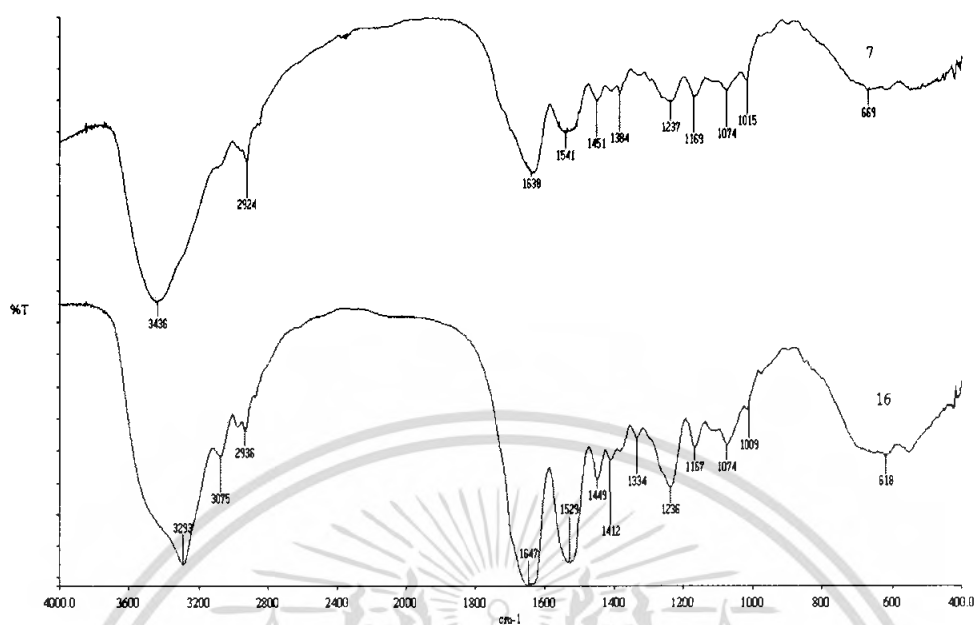


รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบของอินฟราเรดสเปกตรัม ของสูตรที่ 5 กับ 14

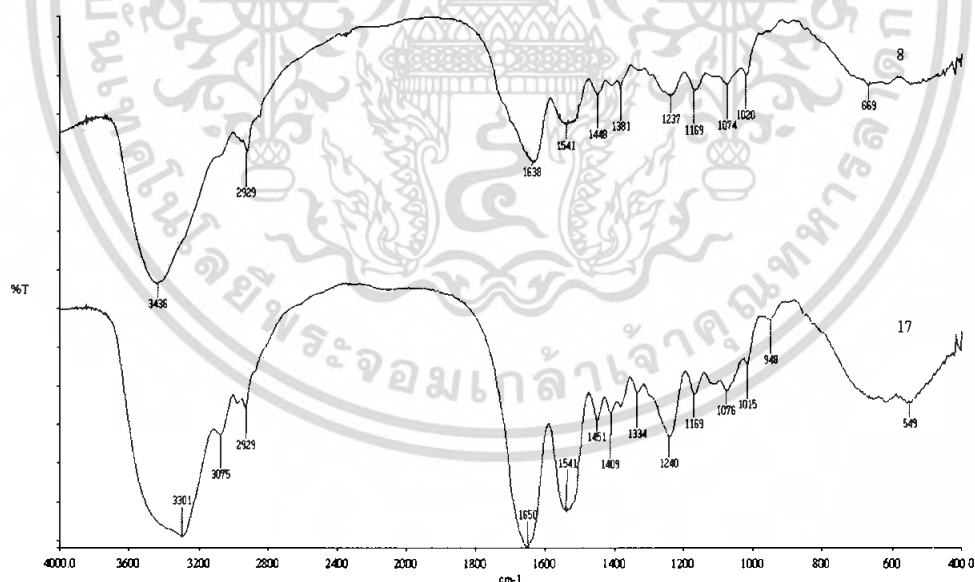


รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบของอินฟราเรดสเปกตรัม ของสูตรที่ 6 กับ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

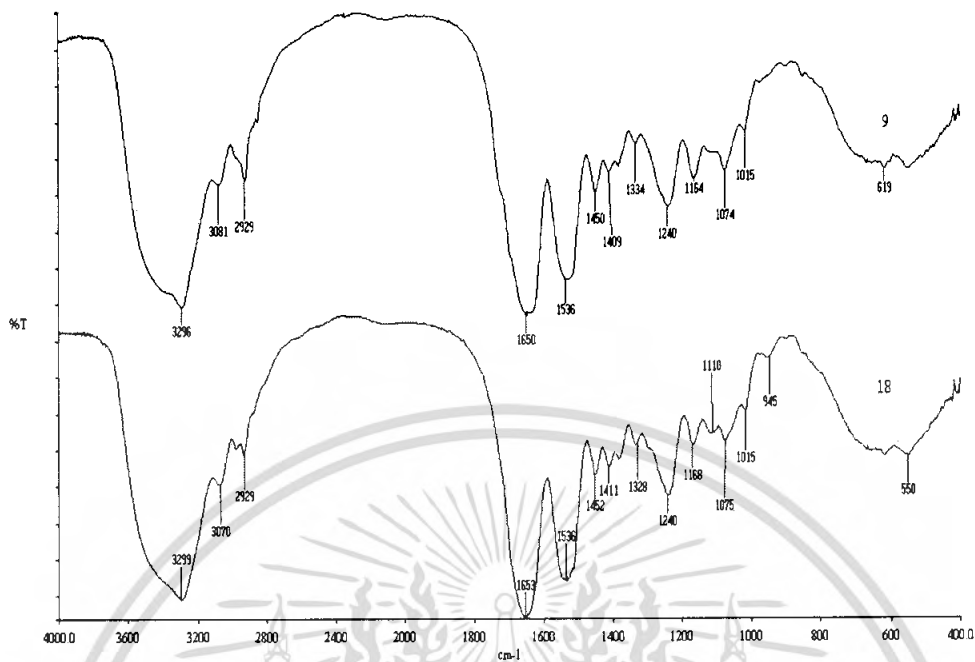


รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบของอินฟราเรดสเปกตรัม ของสูตรที่ 7 กับ 16



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบของอินฟราเรดสเปกตรัม ของสูตรที่ 8 กับ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบของอินฟราเรดสเปกตรัม ของสูตรที่ 9 กับ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ.

ตารางที่ 7 แสดงความถี่ของหมู่ฟังก์ชัน

Compound	Group	Absorption frequency (cm <sup>-1</sup> )
Amides	(a)Primary  $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$	3500 ,3400  1690 , 1650
	(b)Secondary  $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{NH}-\text{R} \end{array}$	3400 1700-1670 1680-1630
Amines	(a)Primary  Alkyl-NH <sub>2</sub>	3500-3300  1650-1590 1220-1020
	(b)Secondary  Alkyl-NH-R  Alkyl-NH-R  Alkyl-NH-R	3350-3310  1650-1550  1220-1020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Compound	Group	Absorption frequency (cm <sup>-1</sup> )
Aliphatic esters	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{OR} \end{array}$	1740 ± 5
a) Formates	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}-\text{C}-\text{OR} \end{array}$	1300-1050
b) Acetaes	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{O}-\text{R} \end{array}$	1200-1180
c) Aliphatic esters	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{O}-\text{R} \end{array}$	1250-1230
d) Methyl esters	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{O}-\text{Me} \end{array}$	1200-1150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Compound	Group	Absorption frequency ( $\text{cm}^{-1}$ )
Intermolecular hydrogen bonded	Polymeric OH	3400-3200
	Dimeric OH	3600-3500



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ.

ตารางที่ 8 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสาร

สาร	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	หมายเหตุ
ไฟโบรอินของ ไหมไทยนาง น้อย	236 602	คาดว่าพีคที่ 236°C เป็นพีคในส่วนที่เป็นอสังฐาน และ พีคที่ 602°C เป็นพีคในส่วนที่เป็นผลึก
2-ไฮดรอกซี เอทิลเมทาคริ เลต	309	พีคที่เกิดขึ้นเป็นพีคการสลายตัวของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเม ทาคริเลต
1	261	คาดว่าพีคของไหมที่เกิดการรวมตัวกับพีคของ2-ไฮ ดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
2	245 303 532	คาดว่าพีคที่ 245°C และ 532°C เป็นพีคของไหม และพีค ที่ 303°C เป็นพีคของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
3	246 325	คาดว่าพีคที่ 246°C เป็นพีคของไหม และพีคที่ 325°C เป็นพีคของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
4	250 314 577	คาดว่าพีคที่ 250°C และ 577°C เป็นพีคของไหม และพีค ที่ 314°C เป็นพีคของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
5	255 320	คาดว่าพีคที่ 255°C เป็นพีคของไหม และพีคที่ 320°C เป็นพีคของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
6	259 320 562	คาดว่าพีคที่ 259°C และ 562°C เป็นพีคของไหม และพีค ที่ 320°C เป็นพีคของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
7	252 323 558	คาดว่าพีคที่ 252°C และ 558°C เป็นพีคของไหม และพีค ที่ 323°C เป็นพีคของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
8	255 320	คาดว่าพีคที่ 255°C เป็นพีคของไหม และพีคที่ 320°C เป็นพีคของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
9	249 291 532	คาดว่าพีคที่ 249°C และ 532°C เป็นพีคของไหม และพีค ที่ 291°C เป็นพีคของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
10	244 298 555	คาดว่าพีคที่ 244°C และ 555°C เป็นพีคของไหม และพีค ที่ 298°C เป็นพีคของ2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาร	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	หมายเหตุ
11	245 301 530	คาดว่าพีคที่ 245°C และ 530°C เป็นพีคของใหม่ และพีคที่ 301°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
12	249	คาดว่าเป็นพีคของใหม่ที่เกิดการรวมตัวกับพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
13	247 312	คาดว่าพีคที่ 247°C เป็นพีคของใหม่ และพีคที่ 312°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
14	243 294 544	คาดว่าพีคที่ 243°C และ 544°C เป็นพีคของใหม่ และพีคที่ 294°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
15	245 304 564	คาดว่าพีคที่ 245°C และ 564°C เป็นพีคของใหม่ และพีคที่ 304°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
16	248 298 554	คาดว่าพีคที่ 248°C และ 554°C เป็นพีคของใหม่ และพีคที่ 298°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
17	250 321 592	คาดว่าพีคที่ 250°C และ 592°C เป็นพีคของใหม่ และพีคที่ 321°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
18	253	คาดว่าเป็นพีคของใหม่ที่เกิดการรวมตัวกับพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
19	252 310 517	คาดว่าพีคที่ 252°C และ 517°C เป็นพีคของใหม่ และพีคที่ 310°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
20	248 301 556	คาดว่าพีคที่ 248°C และ 556°C เป็นพีคของใหม่ที่เกิดการเชื่อมโยง และพีคที่ 301°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่เกิดการเชื่อมโยง
21	250 325 590	คาดว่าพีคที่ 250°C และ 558°C เป็นพีคของใหม่และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดการเชื่อมโยง และพีคที่ 323°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
22	241 290 465 510	คาดว่าพีคที่ 241°C และ 465°C เป็นพีคของใหม่และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดการเชื่อมโยง พีคที่ 290°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต และพีคที่ 510°C เป็นพีคของใหม่ที่ไม่เกิดการเชื่อมโยง

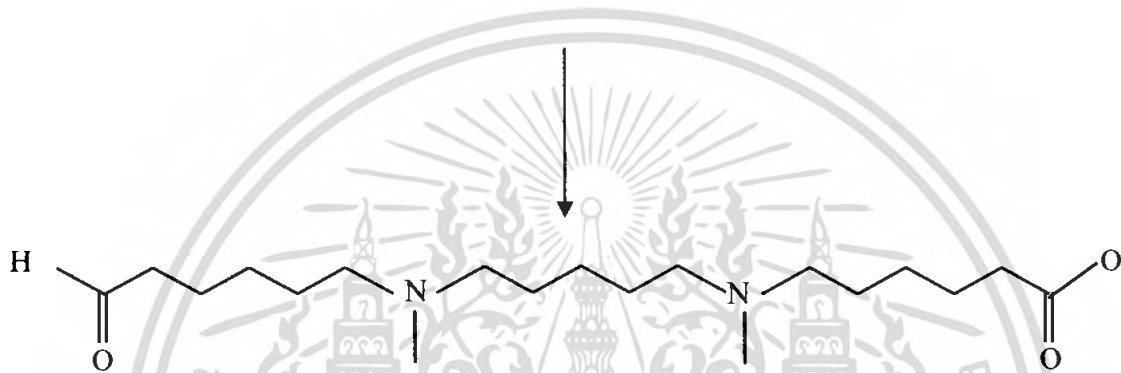
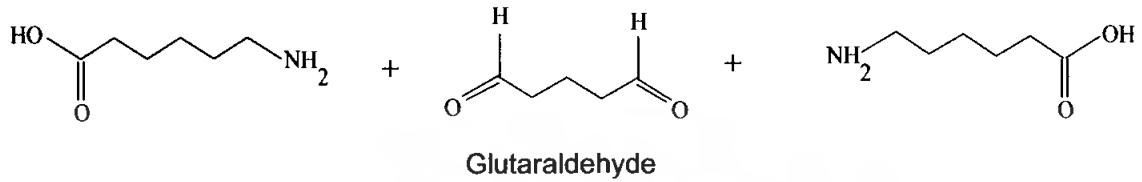
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาร	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	หมายเหตุ
23	243 289 456	คาดว่าพีคที่ 243°C และ 456°C เป็นพีคของไหมที่เกิดการเชื่อมโยง และพีคที่ 289°C เป็นพีคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่เกิดการเชื่อมโยง
24	193 272 482	คาดว่าพีคที่ 272°C และ 482°C เป็นพีคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดการเชื่อมโยง และพีคที่ 193°C เป็นพีคการสลายตัวของกลูตาไรลดีไฮด์
25	102 360	คาดว่าพีคที่ 102°C เป็นพีคการสลายตัวของน้ำ และพีคที่ 360°C เป็นพีคการสลายตัวของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตที่เกิดการเชื่อมโยง
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	228 415	พีคที่เกิดขึ้นเป็นพีคการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเชื่อมโยง	180 440	พีคที่เกิดขึ้นเป็นพีคการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเชื่อมโยง
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเชื่อมโยงและมีน้ำไหม	275 440	พีคที่เกิดขึ้นเป็นพีคการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไหมที่เกิดการเชื่อมโยง

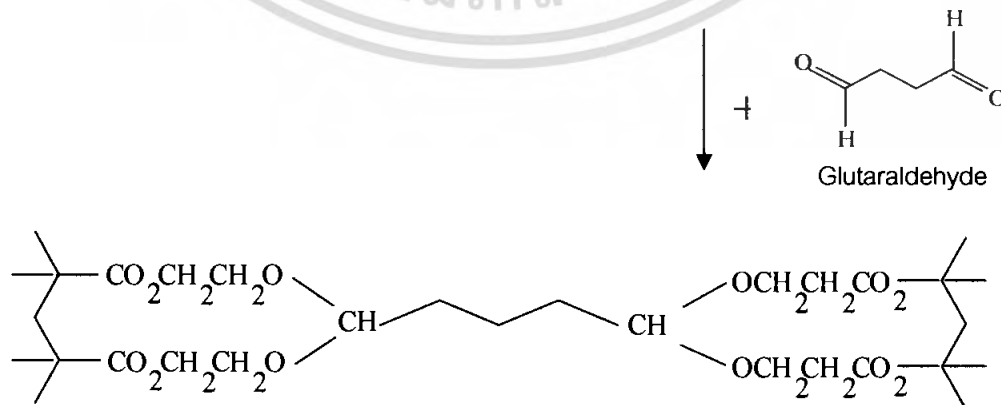
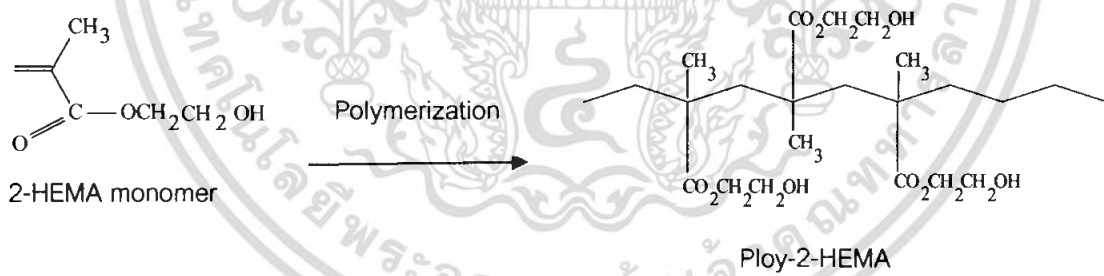
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

1. ปฏิกิริยาระหว่างโหมกับกลูตารัลดีไฮด์

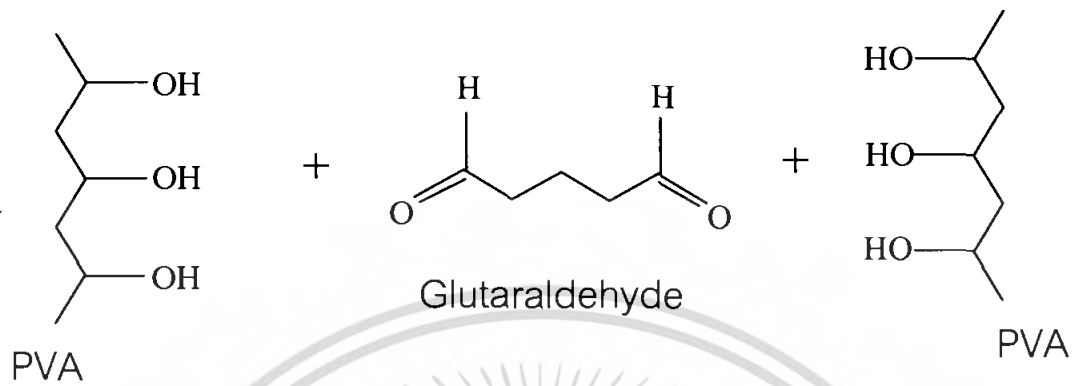


2. เกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิ-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตกับกลูตารัลดีไฮด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ปฏิกิริยาระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAI) กับกลูตารัลดีไฮด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้