

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปรียบเทียบสมบัติของเนื้อเยื่อ โครงสร้างจาก Fibroin และ PHEMA/Fibroin



T107787



๑/๑๕
๑/๑๕
๑๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107787
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b..... 12292165
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison on the Properties of scaffold made from Fibroin
and PHEMA/Fibroin



A Special Project Submitted in partial Fulfillment of the Requirement
For the Degree of Bachelor Science
Department of Chemistry
Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การเปรียบเทียบสมบัติของเนื้อเยื่อ โครงสร้างจาก Fibroin และ PHEMA/Fibroin

นักศึกษา นางสาว ปฐมาวดี แสงสุข
นางสาว พิมพ์พรรณ เดชาสิทธิ์
นางสาว อาจารย์ นะมุลพันธ์

ภาควิชา เคมี
สาขา เคมีอุตสาหกรรม
คณะ วิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้ โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญารากร	
กรรมการ รศ.ดร.กัญญา ตันติวิสุทธิกุล	
กรรมการ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ประชาสัมพันธ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การเปรียบเทียบสมบัติของเนื้อเยื่อโครงสร้างจาก Fibroin และ PHEMA/Fibroin

นักศึกษา นางสาวปฐมาวดี แสงสุข
นางสาวพิมพ์พรรณ เดชาสิทธิ์
นางสาวอาจารย์ นະมุลพันธ์

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

คณะ วิทยาศาสตร์

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาตินี ชัยศุกกิจดิษฐ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมเนื้อเยื่อโครงสร้าง จากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HEMA (2-hydroxyethylmethacrylate) กับผงไหมไฟโบรอิน (Fibroin) ในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้ APS (Ammonium persulfate) และ TMED (N,N,N',N' Trimethylethylenediamine) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยการทดลองมี 3 ขั้นตอนคือ การเตรียมผงไหมไฟโบรอิน, การเตรียมFibroin scaffold และ ต่อกิ่ง โดยแช่ 2-HEMA เป็นเวลา 7 วันและ 14 วัน

ผลการทดลองพบว่า Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate และ Sodium Chloride โดยไม่แช่สารละลาย HEMA ให้ค่าการดูดซึมน้ำดีกว่าที่แช่สารละลาย HEMA 7 วัน และ 14 วัน ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเมื่อเวลานานขึ้นมีการเกาะของพอลิเมอร์บริเวณพื้นผิวของ Scaffold เพิ่มขึ้น ผลจากเทคนิค TGA พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของ scaffold เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อใช้เวลาในการแช่สารละลาย HEMA นานขึ้น ผลจากการศึกษาหุ้มฟังก์ชัน โดย Infrared spectroscopy ปรากฏหุ้มฟังก์ชันของ PHEMA เพิ่มขึ้นจากไหม Fibroin เมื่อนำมาสกัดด้วย Methanol พบว่าหุ้มฟังก์ชันของ PHEMA หายไป ดังนั้นภายใต้สภาวะการทดลองนี้ PHEMA เกิดขึ้นแต่ไม่เกิดการต่อกิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Comparison on the Properties of scaffold made form Fibroin and PHEMA/Fibroin	
Name	Miss. Pimpan Dechasisit	Miss. Ajaree Namulphan
	Miss. Patamawadee Saengsuk	
Department	Chemistry	
Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2006	
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Dr.Malinee Chaisupakitsin	

ABSTRACT

This special project aimed to prepare scaffold from Thai silk fibroin, Nang Noi, and modified surface of scaffold by grafting with 2-hydroxyethylmethacrylate (HEMA). Ammoniumpersulfate (APS) and N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine were used as redox initiator. The experiment were divided into 3 steps; preparation fibroin powder, preparation fibroin scaffold and grafting into 2-HEMA for 7 and 14 days.

The experimental results found that scaffold which prepared from Ammonium Oxalate and Sodium Chloride showed water absorption property better than scaffold from both salt after soaking in 2-HEMA for 7 and 14 days. SEM micrograph found that the amount of polymer deposited on scaffold increased as a function of time. TGA results indicated that the decomposition temperature of scaffold slightly increased with increasing time. FTIR spectrum of scaffold after soaking in 2-HEMA showed specific functional group of PHEMA but its lost after methanol extraction. This result suggested that under this experimental condition, PHEMA occurred but not grafting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้ หากไม่ได้รับความร่วมมือ ความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์จากหลายๆท่าน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและอาจารย์ คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษนี้ให้เรียบเรียงร้อยสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี ตีควิทย์เก่าชั้น 5 ทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการเบิกสารเคมีอุปกรณ์ รวมทั้งคอยให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์กัญญา ต้นติวีสุนทรกุล อาจารย์ห้องปฏิบัติการ คณะครุศาสตร์ อุตสาหกรรม ที่ให้ความสะดวกในการเบิกสารเคมีอุปกรณ์ รวมทั้งคอยให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน และเพื่อนๆที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบคุณภาควิชาเคมีที่เป็นที่บ่มเพาะความรู้ และทำให้มีโอกาสศึกษาวิจัย และขอขอบคุณทุกๆกำลังใจที่ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นางสาว ปฐมาวดี

แสงสุข

นางสาว พิมพ์พรรณ

เดชาลิทธิ

นางสาว อาจารย์

นะมุลพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	
2.1 บทนำ	4
2.2 โพรตีน	5
2.3 ไหมไฟโบรอิน	8
2.4 ไฮโดรเจล	20
2.5 วัสดุสำหรับทำ Scaffold	22
2.6 โพรอเจน (Porogen)	25
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	33
3.2 อุปกรณ์	34
3.3 เครื่องมือที่ใช้	35
3.4 วิธีการทดลอง	35
3.5 การทดสอบสมบัติของไฟโบรอินscaffold	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลอง	40
4.1 ผลการดูดซับน้ำ	41
4.2 การทดสอบ compression	43
4.3 สัณฐานวิทยาโดย Scanning electron microscopy (SEM)	45
4.4 อุณหภูมิการสลายตัว ด้วยเทคนิค Themogravimetric Analysis (TGA)	49
4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	60
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติ และหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย	15
ตารางที่ 3.1 แสดงการละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ในน้ำกลั่น และเอทานอล	35
ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนวันของการหมักนอมอร์	38
ตารางที่ 4.1 แสดงสัญลักษณ์ของ scaffold	40
ตารางที่ 4.2 แสดง ผลการดูดซับน้ำ	41
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบแรงกดอัดของ Scaffold ที่เตรียมได้จากเกลือ Ammonium Oxalate	43
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบแรงกดอัดของ Scaffold ที่เตรียมได้จากเกลือ Sodium Chloride	44
ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัวของ Scaffold เตรียมจากเกลือ Ammonium oxalate และเปอร์เซ็นต์ของกากเหลือ	51
ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการสลายตัวของ Scaffold เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride และเปอร์เซ็นต์ของกากเหลือ	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้าง α -เฮลิคัล	5
รูปที่ 2.2 โครงสร้าง β -ชีทของพอลิเพปไทด์	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสามมิติของไหม	9
รูปที่ 2.4 (ก) แสดงภาคตัดขวางของเส้นไหมจากรังไหม <i>Bombyx mori</i> F; ไผไฟโบรอิน (Fibroin), S; กาวเซรีซิน (Sericin) (ข) ไผไฟโบรอิน	10
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเส้นไหม	10
รูปที่ 2.6 (ก) สูตรโครงสร้างทางเคมีของ PGA (ข) สูตรโครงสร้างทางเคมีของ PLA	23
รูปที่ 2.7 (ก) สูตรโครงสร้างทางเคมีของ PCL (ข) สูตรโครงสร้างทางเคมีของ PHB	23
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการดูดซับน้ำของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate	42
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการดูดซับน้ำของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride	42
รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบแรงกดอัดของเกลือ Ammonium Oxalate	43
รูปที่ 4.2.2 แสดงการทดสอบแรงกดอัด (compression) ของเกลือ Sodium Chloride	44
รูปที่ 4.5 (a) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen	45
(b) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days	45
(b') ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol	45
(c) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days	45
(c') ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol	45
รูปที่ 4.6 (d) ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days	46
(d') ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol	46
(f) ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days	46
(f') ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 (g) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen	47
(h) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days	47
(h') ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol	47
(i) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days	47
(i') ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol	47
รูปที่ 4.8 (j) ภาพ SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days	48
(j') ภาพ SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol	48
(k) ภาพ SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days	48
(k') ภาพ SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol	48
รูปที่ 4.9 กราฟ TGA ของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate	49
รูปที่ 4.10 กราฟ Derivative TGA ของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate	50
รูปที่ 4.11 กราฟ TGA ของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride	52
รูปที่ 4.12 กราฟ Derivative TGA ของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride	53
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ Scaffold แต่ละตัวอย่างของเกลือ Ammonium Oxalate	55
รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ Scaffold แต่ละตัวอย่างของเกลือ Sodium Chloride	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุต่างๆ ให้มีประโยชน์ใช้สอยมากขึ้น และใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะวัสดุพอลิเมอร์มีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากขึ้น จึงได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากสามารถใช้ทดแทนวัสดุบางประเภทได้ อีกทั้งวัสดุพอลิเมอร์มีน้ำหนักเบาสามารถขึ้นรูปได้ตามต้องการและความหลากหลายของวัสดุพอลิเมอร์ เป็นเหตุให้เลือกนำมาใช้งานได้หลายลักษณะ ในขณะที่วัสดุอื่น เช่น โลหะ แก้ว ไม้ ทำได้ยากกว่า ซึ่งความหลากหลายของวัสดุพอลิเมอร์ทำให้สามารถเลือกที่จะนำมาใช้งาน ได้หลายลักษณะ ขึ้นกับสมบัติที่เหมาะสมของวัสดุพอลิเมอร์นั้นๆ จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์ดูดซับน้ำที่มีโครงสร้างเป็น โครงร่างแห หรือ โครงร่างตาข่ายสามมิติ สามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างได้โดยไม่เกิดการละลาย ซึ่งอาจเรียกรูปแบบของวัสดุประเภทนี้ในสถานะแห้งว่า "Xerogels" ไฮโดรเจลได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ถึง 90% หรือมากกว่า และยังสามารถดูดซับไอออน โดยสมบัติเชิงกลและรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง สมบัติดังกล่าวนี้คล้ายคลึงกับอวัยวะบางอย่างในร่างกายมนุษย์ เช่น กล้ามเนื้อ เอ็น ต้ำไส้เล็ก นอกจากนี้ไฮโดรเจลยังสามารถเข้าได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง

ทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ไฮโดรเจล ให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ โดยเฉพาะงานทางการแพทย์ ได้แก่ การใช้เทคนิคการสังเคราะห์ โดยการใส่สารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง เพื่อให้ไฮโดรเจลมีความสามารถดูดซับน้ำได้ดีขึ้น

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่า โครงสร้างของไฮโดรเจล เป็นแบบ โครงสร้างร่างแหสามมิติ โดยทั่วไปสามารถเตรียมด้วยวิธีต่างๆ ได้ดังนี้

1. การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบกลุ่ม (Block polymerization) ของมอนอเมอร์กับสารเชื่อมโยง
2. การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสารละลายพอลิเมอร์
3. การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ไปพร้อมกับการเชื่อมโยงพันธะของมอนอเมอร์กับสารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ไปพร้อมกับการเชื่อมโยงพันธะของมอนอเมอร์กับสารเชื่อมโยง

ด้วยโครงสร้างที่เป็นร่างแหสามมิตินี้เอง ทำให้ไฮโดรเจล สามารถดูดซับน้ำ และบวมน้ำ โดยไม่เกิดการละลาย เนื่องจากพันธะเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์มีขนาด และน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นในการเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นเหตุให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในขณะที่สมบัติการบวมตัวลดลง

สมบัติของไฮโดรเจลไม่เพียงแต่สามารถดูดซับน้ำได้เท่านั้น ยังสามารถดูดซับสารละลายนำไฟฟ้า (Electrolyte solution) และของเหลวได้จากร่างกายอีกด้วย และจากสมบัติที่กล่าวมานี้ จึงมีการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาเกี่ยวกับไฮโดรเจล ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางกว่าการเป็นเพียงพอลิเมอร์ดูดซับ และนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น ทาง การแพทย์ การเกษตร ตลอดจนด้านอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ของ Hydrogel Scaffold ที่ปรับปรุงด้วย PHEMA และที่ยังไม่ปรับปรุงด้วย PHEMA
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการดูดซับน้ำของ Hydrogel Scaffold ที่ปรับปรุงด้วย PHEMA และที่ยังไม่ปรับปรุงด้วย PHEMA
3. เพื่อศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวของ Hydrogel Scaffold ที่ปรับปรุงด้วย PHEMA และที่ยังไม่ปรับปรุงด้วย PHEMA
4. เพื่อศึกษาหุ้่มฟังก์ชันของ Hydrogel Scaffold ที่ปรับปรุงด้วย PHEMA และที่ยังไม่ปรับปรุงด้วย PHEMA

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการเตรียมวัสดุดูดซับน้ำ scaffold จาก Poly (2-hydroxyethyl Methacrylate) และ โพรตีนไฟโบรอินจากรังไหมไทยนางน้อย เพื่อปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสมบัติของไฮโดรเจล โพรตีนไฟโบรอินได้จากการสกัดไหมไทยนางน้อยที่มีในประเทศไทย นอกจากนี้ยังศึกษาระยะเวลาที่ทำให้เกิดพอลิเมอร์ และศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านสิ่งแวดล้อม ทาง การเกษตร หรือทางการแพทย์ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัย และวิธีการดำเนินงาน

เป็นการเตรียมวัสดุดูดซับน้ำแบบมีรูพรุนทำได้โดยการนำผงโพลีโบรอนมาละลายใน 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-propanal ในหลอดทดลอง และทำการเติมเกลือลงในสารละลายที่ได้ โดยเลือกใช้เกลือ 2 ชนิด ได้แก่ Ammonium oxalate และ Sodium chloride นำวัสดุดูดซับน้ำส่วนหนึ่งแช่ในสารละลาย (2-hydroxyethyl)Methacrylate จากนั้นหยดสารละลายผสมของ TMED และ APS เพื่อทำให้เกิดพอลิเมอร์ นำวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้ ทั้งที่ผ่านการแช่ HEMA และไม่ผ่าน มาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา อุณหภูมิที่ทำให้สารละลายตัว และทำการสรุปผลการวิจัย

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงขั้นตอนการเตรียม Scaffold จากริงโหมไทยนางน้อย
2. ทราบถึงสถานะเงื่อนไขการเตรียม Fibroin scaffold/HEMA ที่ทำให้ได้ชิ้นงานมีสมบัติที่ดี
3. ทราบถึงผลของ HEMA ที่มีต่อสมบัติต่างๆของ Fibroin scaffold



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการ

2.1 บทนำ

เส้นใยไหมมีปริมาณของซัลเฟอร์จำนวนเล็กน้อยมาก เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมวลออกซิเจน (O) และกำมะถัน (S) แต่โปรตีนบางชนิดมีธาตุฟอสฟอรัส (P) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) เพิ่มเข้ามา เส้นไหมเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า โปรตีน (Protein) สามารถถูกแยกออกจากโปรตีนได้โดยการไฮโดรไลส์ด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด ดังตารางที่ 2.1 โดยแต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวเรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์ ต่อกันอยู่ในลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีการแตกกิ่ง พันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมอยู่ระหว่างกรดอะมิโนมีชื่อว่า พันธะเพปไทด์ ซึ่งพันธะนี้เป็นพันธะเอไมด์ ที่เกิดการสูญเสียน้ำจากหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับหมู่แอลฟาอะมิโนของกรดอะมิโนที่อยู่ถัดไป โมเลกุลของโปรตีนอาจประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เพียงโซ่เดียวหรือมากกว่าก็ได้ โดยมีความยาวที่แตกต่างกันออกไป โดยมีกรดอะมิโนตั้งแต่ประมาณ 40 ถึงมากกว่า 4,000 หน่วย ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี มวล โมเลกุล และการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะ โดยกรดอะมิโนมีสูตร โมเลกุลทั่วไปคือ



ภายใน โมเลกุลของกรดแอลฟาอะมิโน จะมีหมู่อะมิโนต่ออยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอนของกรดคาร์บอกซิลิก (กรดอะมิโนทุกตัวมีแอลฟาคาร์บอน ยกเว้นไกลซีน) แต่เนื่องจากเอมีนเป็นเบสและคาร์บอกซิลิกเป็นกรดจึงเกิดการส่งผ่านโปรตอนจากกรดให้เบส ซึ่งสูตร โมเลกุลของกรดอะมิโนจึงเขียนอยู่ในรูปที่แตกตัวเป็นไอออน หรือรูปที่มีประจุสองขั้วได้ ดังนี้



โครงสร้างที่เป็นประจุของกรดแอลฟาอะมิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นไหมจัดเป็นเส้นใยประเภทพอลิเอไมด์ (Polyamide) เกิดจากการมีหน่วยของโมเลกุลขนาดเล็กที่เรียกว่า กรดอะมิโน (Amino acid) มาต่อกันเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ด้วยพันธะเพปไทด์

2.2 โปรตีน

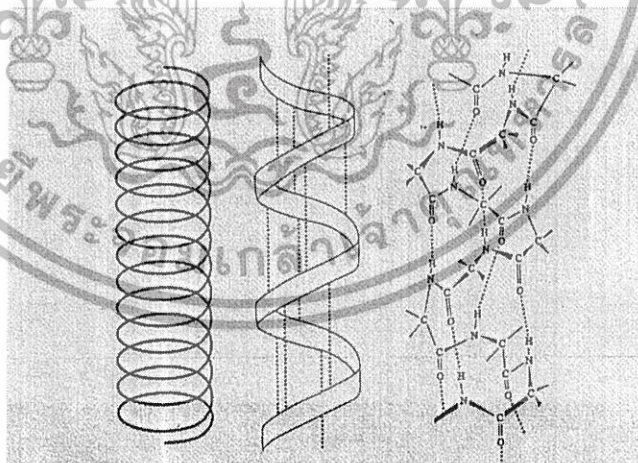
2.2.1 โครงสร้างของโปรตีน [1-3,5,6,]

จำแนกโครงสร้างของโปรตีนได้เป็น 4 แบบ คือ

2.2.1.1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure) โครงสร้างแบบนี้เป็นโครงสร้างแบบพื้นฐานที่สุด หมายถึง โครงสร้างของโมเลกุลเส้นยาวที่ต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ และรวมถึงพันธะไดซัลไฟด์

2.2.1.2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure) โดยทั่วไปโมเลกุลที่เป็นเส้นยาว จะไม่คงอยู่ในสภาพที่เป็นเส้นยาว แต่จะจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ 2 แบบ คือ แอลฟา-เฮลิคส์และเบตา-พริตเทตชีท

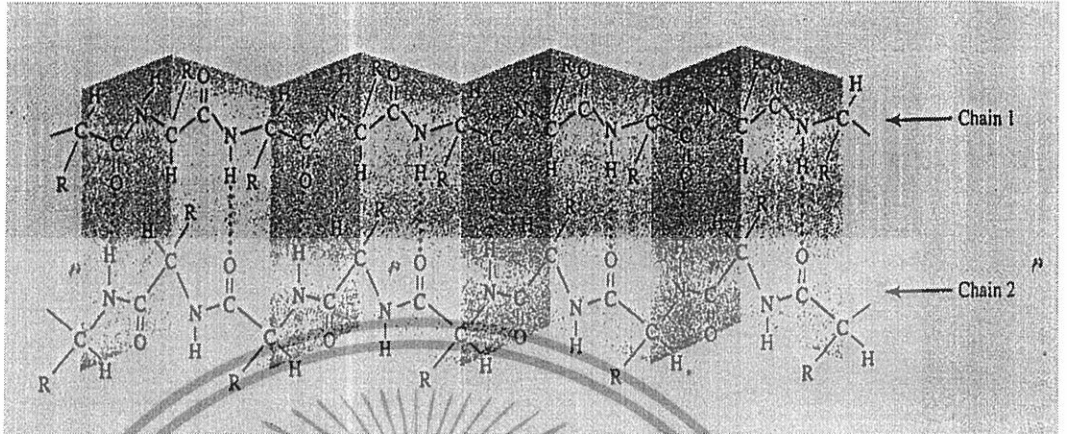
- α -เฮลิคส์ (α -helix) สายโซ่ยาวจะขดตัวโดยมีหมู่อะตอมไฮโดรเจนขั้วออกด้านนอก แรงพันธะไฮโดรเจนระหว่าง O ของหมู่คาร์บอนิล และ H ของ $-NH-$ จะยึดโมเลกุลไว้ มีจำนวนกรดอะมิโน 3.6 ตัว ในแต่ละรอบของเฮลิคส์ ตัวอย่างโปรตีนที่มีโครงสร้างแบบนี้คือ myosin โปรตีนของกล้ามเนื้อ α -keratin ในผม ขนสัตว์ เล็บ (รูปที่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



รูปที่ 2.1 โครงสร้าง α -เฮลิคส์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- β -พ्लीทเทดชีท (β -pleated sheet) โมเลกุลจะมาเรียงตัวในลักษณะเป็นแผ่นขนานกัน แรงพันธะไฮโดรเจนระหว่างแผ่น โมเลกุลที่ขนานกัน เป็นแรงยึดโมเลกุลไว้ด้วยกัน หมู่ R จะชี้ขึ้นด้านบนและด้านล่างของแผ่นที่ขนานกัน พบโครงสร้างชนิดนี้ในไฟโบรอิน (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง β -ชีทของพอลิเพปไทด์ [3]

- β -เบนด์ โครงรูป (Conformation) แบบ β -เบนด์จะพบบริเวณจุดหักมุมเพื่อกลับทิศทางของสาย α -เฮลิกซ์ หรือ β -ชีท ซึ่งลักษณะทั่วไปจะเป็นลูกสูบ (Loop) โดยจะเกิดจากการที่หมู่คาร์บอนิลเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ถัดไป 3 หน่วย

2.2.1.3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure) หมายถึง โครงสร้างที่มีโซ่พอลิเพปไทด์มาขดม้วนแน่นในลักษณะกลมของโปรตีนก่อนกลมโดยพันธะที่เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้โครงสร้างนี้เสถียรอยู่ได้ คือ พันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ และพันธะอ่อน เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิก หรือพันธะนอน โพลาร์ และแรงวาดเคอร์วัลล์ นอกจากนี้ยังมีลักษณะเฉพาะที่สำคัญประการหนึ่งคือ การม้วนพับเข้าหากันจะให้ส่วนมีขั้วที่ชอบน้ำเรียกว่า ไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) อยู่ด้านนอก เพราะในสถานะแวดล้อมทั้งหมดมักเป็นน้ำ ส่วนที่ไม่มีขั้วเรียกว่า ไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ซึ่งอยู่ด้านใน ตัวอย่างเช่น ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีฮีม (Heme) เป็นองค์ประกอบ

2.2.1.4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure) หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์มากกว่าหนึ่งโซ่อยู่รวมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งแต่ละโซ่พอลิเพปไทด์ หรือหน่วยย่อย หรือโปรโตเมอร์ (Protomer) อาจเหมือนกัน หรือต่างกันก็ได้ โดยโปรตีนที่มีโครงสร้างลักษณะนี้เรียกว่า โอลิโกเมอร์โปรตีน ตัวอย่างเช่น ฮีโมโกลบิน ประกอบด้วย โซ่แอลฟา 2 โซ่ และ โซ่เบตา 2 โซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สมบัติบางประการและปฏิกิริยาของโปรตีน

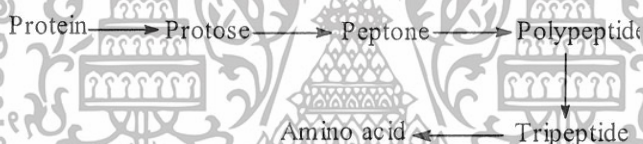
2.2.2.1 สมบัติบางประการทางกายภาพ

1. การละลาย-ไม่ละลาย แต่บางชนิดละลายน้ำได้เล็กน้อยในสภาพคอลลอยด์
2. ขนาดโมเลกุล มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่
3. สถานะเป็นของแข็ง
4. การเผาไหม้ เผาแล้วจะเกิดกลิ่น

2.2.2.2 สมบัติทางเคมี

โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้หลายปฏิกิริยา

1. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction) โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำโดยมีสารละลายกรด-เบส หรือเอนไซม์บางชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โปรตีนจะถูกไฮโดรไลสจากโมเลกุลใหญ่ ๆ กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ และถ้าการเกิดไฮโดรไลซิสเป็นไปอย่างสมบูรณ์ในที่สุดจะได้กรดอะมิโน เขียนสมการเกิดไฮโดรไลซิส ได้ดังนี้



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

3. การแปลงสภาพของโปรตีน (Denature of protein) การที่โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากยึดติดกันด้วยพันธะเพปไทด์ ซึ่งภายในโมเลกุลอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งกันและกัน ทำให้โมเลกุลมีลักษณะเป็นเกลียวเป็นแผ่นมีการขม้วนตัวด้วยแรงวาลเดอรัวาลด์ พันธะไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติแบบต่าง ๆ โครงสร้างเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงได้ เพราะแรงดังกล่าว ถูกทำลาย เช่น เกิดการคลายเกลียวของโปรตีนก่อนกลม เป็นสายโปรตีนที่ไร้ระเบียบ และเกิดการสูญเสียสมรรถนะทางชีวภาพ โปรตีนจะเกิดการแข็งตัวและไม่ละลายน้ำ

ปัจจัยที่ทำให้โปรตีนแปลงสภาพได้ มีดังนี้

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

(2) ความเป็นกรดและเบส เมื่อค่าพีเอชของโปรตีนเปลี่ยนไป เนื่องจากได้รับหรือเสียโปรตอน (H^+) ซึ่งทำให้โปรตีนเกิดประจุขึ้น และสามารถจับกับไอออนอื่นได้ ไอออนที่มาจากกรดหรือเบสกระเด็นเข้าตาจะทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนในดวงตา ถ้าได้รับกรดหรือเบสปริมาณมากอาจทำให้ตาบอด

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

(4) ไอออนของโลหะหนัก เช่น Pb^{2+} , Hg^{2+} และ Ag^+ ไอออนเหล่านี้จะไปจับกับกรดอะมิโนตรงด้านที่เป็นกรด เกิดเป็นเกลือคาร์บอกซิเลตได้ ซึ่งทำให้โปรตีนละลายน้ำได้น้อยลง และเกิดการแปลงสภาพไป การแปลงสภาพของโปรตีนเป็นวิธีนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ ในการล้างท้องผู้ป่วยรับประทานพิษ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีไอออนของโลหะหนัก แพทย์จะให้คนไข้รับประทานไข่ขาวดิบ ไอออนของโลหะหนักจะเกิดการรวมตัวกับไข่ขาวดิบ เกิดการแปลงสภาพแล้วทำให้เกิดการอาเจียนออกมาก่อนที่ไอออนของโลหะหนักจะเข้าไปสู่เซลล์ของร่างกายไปทำการแปลงสภาพโปรตีนซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย ในสภาพความเข้มข้นของเกลือบางชนิด เช่น $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ความเข้มข้นสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการละลายได้น้อยลง เพราะไอออนของเกลือดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโปรตีนที่ละลายไม่ได้จึงเกิดการตกตะกอน มิใช่เกิดการแปลงสภาพ

2.3 ไหมไฟโบรอิน (Silk Fibroin) [1-4,7,8]

เส้นไหมมืองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ โปรตีนที่เรียกว่าไฟโบรอิน (Fibroin) เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ (ประมาณ 78% ของน้ำหนักไหมดิบ) ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 15 ชนิด กรดอะมิโนหลักๆ ที่พบในเส้นไหมได้แก่ ไกลซีน (Glycine, 40%) อะลานีน (Alanine, 29%) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซรีน (Serine, 12%) แต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R (โซ่ข้าง) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า โพลีเพปไทด์เป็นเส้นยาวขนานกับแกนในลักษณะเป็นเส้นไหมหรือเป็นแผ่น มีความแข็ง เหนียวและอาจยืดหยุ่นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และมีโครงสร้างปฐมภูมิที่ซ้ำกัน คือ $(\text{Gly-Ala-Gly-Ala-Gly-Ser})_n$



2.3.1 สมบัติของเส้นไหมไฟโบรอิน (Properties of Silks Fibroin) [1-3,6]

สมบัติของเส้นไหมจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติการใช้งานเฉพาะด้านของผลิตภัณฑ์ดังนั้นต้องเข้าใจและเลือกใช้เส้นไหมให้เหมาะสมกับงาน โดยทั่วไปสมบัติของเส้นไหมจะถูกกำหนดจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาเส้นไหมออกได้เป็นสองส่วนคือสมบัติกายภาพและสมบัติทางเคมี

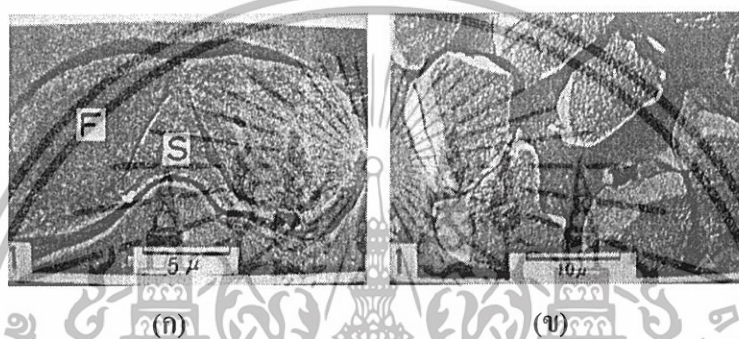
2.3.1.1 สมบัติทางกายภาพ

1. ลักษณะที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์และรูปร่าง

ไหมเป็นเส้นไหมยาวต่อเนื่องตลอดเส้นมีความยาวประมาณ 900 - 1700 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 - 11 ไมครอน สีของเส้นไหมดิบจะมีสีเหลืองถึงสีครีมเส้นไหมที่

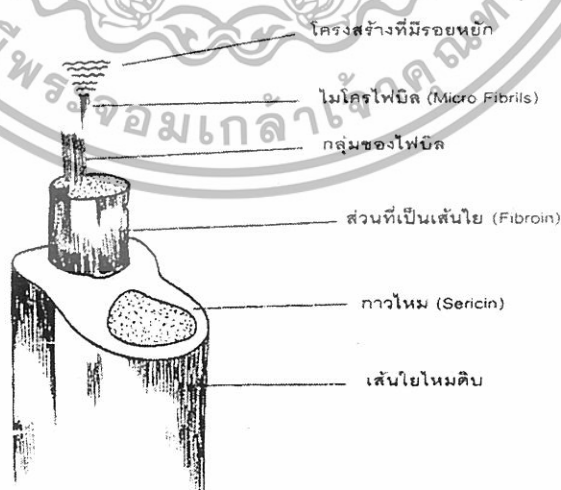
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำใช้ทอผ้าขึ้นเกิดจากการพันของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมขนาดใหญ่สองต่อมภายในตัวหนอนไหมที่โตเต็มวัย โดยส่วนที่เป็นของเหลวหนืด คือ ไฟโบรอินจะถูกเคลือบด้วยโปรตีนอีกชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่าเซรีซินซึ่งเป็นกาวไหมที่ทำให้เส้นใย 2 เส้นติดกันเมื่อโปรตีนทั้งสองชนิดสัมผัสกับอากาศ จะเกิดการแข็งตัวทำให้เส้นใยยึดติดกันกลายเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง และเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นรอยแตกตามความยาวของเส้นใยด้านตัดขวางจะมีลักษณะรี ส่วนนอกของเส้นใยเป็นกาวไหมที่หุ้มโปรตีนไฟโบรอินคล้ายรูปสามเหลี่ยมเรียงคู่กันดังแสดงให้เห็นในภาพตัดขวางและภาพตัดตามยาวของเส้นใยทั้งสองชนิด (รูปที่ 2.4 (ก) และรูปที่ 2.4 (ข)) และสำหรับเส้นใยไหมป่าจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวทำให้ดูคล้ายลินินและเส้นใยจะมีความหยาบกระด้าง ไม่เรียบค่อนข้างจะไม่มันเงาเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมบอมบิกซ์โมริ



รูปที่ 2.4 (ก) แสดงภาคตัดขวางของเส้นไหมจากรังไหม *Bombyx mori* F; ใยไฟโบรอิน (Fibroin), S; กาวเซรีซิน (Sericin) (ข) ใยไฟโบรอิน [3]

ซึ่งหลังจากการลอกกาวไหมแล้วเส้นใยยาวที่เป็นลักษณะสามเหลี่ยมปลายมนทั้งสองเส้นจะแยกตัวออกมาทำให้เส้นใยมีรูปร่างต่างจากเส้นใยไหมดิบ คือมีความละเอียดกว่าและเส้นใยมีความมันเงาสูงกว่า โดยรายละเอียดของโครงสร้างของเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเส้นใยไหม [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 สมบัติทางเคมีของไหมไฟโบรอิน (Chemical Properties of Silks Fibroin) [1-3]

เนื่องจากการใช้งานของผ้าไหมมีโอกาสที่จะสัมผัสกับสารเคมี อุณหภูมิ แสงแดดและสภาวะแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพหรือสมบัติของไหมเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงมีการศึกษาสมบัติทางเคมีเพื่อนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม ดังนี้

1. กรดและด่าง สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเพปไทด์ในเส้นใย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 4-8 จะทำให้เส้นใยเสียหายน้อยมาก

กรดจะทำให้พันธะเพปไทด์ขาดออกจากกัน กรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจะละลายเส้นใยได้ กรดไนตริกทำให้เส้นใยเหลือง ในขณะที่กรดเจือจางจะไม่ทำลายเส้นใย

ด่างจะตัดปลายของพันธะเพปไทด์ออกก่อน โดยด่างโซดาไฟเข้มข้นจะละลายเส้นใยทันที ส่วนด่างอ่อน เช่น สบู่ บอเร็คซ์ หรือแอมโมเนีย จะละลายแก่กว่าไหมแต่ถ้าด่างที่เค็ดนานๆ อาจละลายเส้นใยได้

2. สารออกซิไดส์และสารรีดิวซ์ เส้นใยไหมทนทานต่อสารออกซิไดส์ดังนั้นเวลาฟอกเส้นใยจะต้องระวังการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้สำหรับฟอกไหม การฟอกนี้ ไม่ทำลายพันธะของเพปไทด์ (Peptide) แต่ในบางครั้งก็ตัดส่วนของโซ่โมเลกุลของพอลิเพปไทด์ ทำให้เส้นไหมมีความเหนียวและความยืดหยุ่นเล็กน้อย แต่เส้นใยจะทนทานต่อสารรีดิวซ์ ได้ดี เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์

3. ไหมถูกทำลายด้วยสารที่มีส่วนผลสมของเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ ได้แก่ เหนือ น้ำยาดับกลิ่นและน้ำเกลือทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหนื่อจะทำให้ผ้าไหมติดคราบ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ไหมที่ต้องสัมผัสผิวหนังดังการใช้งานทุกครั้งจะต้องทำความสะอาด

4. สารละลายอินทรีย์ ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ไหมมักใช้การซักแห้งอยู่เสมอเนื่องมาจากโครงสร้างของเส้นด้ายไหมหรือสีที่ช่วยย้อมทำให้ไหมสามารถทนสารละลายอินทรีย์ทุกชนิด

5. สารซักฟอก ไหมทนต่อสารซักฟอกคล้ายขนสัตว์แต่ถูกทำลายได้ด้วยสารซักฟอกประเภท ออกซิไดส์ เช่น พวกที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์ผสมอยู่เพราะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงควรใช้สารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเปอร์บอเรตจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม

6. แสงแดดและความร้อน แสงแดดและความร้อนสูงเป็นเวลานานๆ จะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากทำให้โปรตีนเกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น

7. การย้อมสีไหมมีความสามารถในการรับสีย้อมได้ดีมากสามารถย้อมได้ด้วยสีที่เป็นแอซิด สีเบสิกหรือ สีวอต สีมอร์แคนท์ เมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์จะได้สีที่เข้มกว่าและย้อมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 สมบัติทางชีวภาพ

ราและแมลง ไหมไม่เกิดราได้ง่ายยกเว้นถูกทิ้งไว้ในสภาวะที่ค่อนข้างชื้นเป็นเวลานาน แมลงไม่กัดกินหากไม่มีสิ่งสกปรกติดอยู่ที่ผ้า

2.3.1.4 สมบัติในการติดไฟ ไหมเมื่อติดไฟจะลุกไหม้ช้าๆ เมื่อนำออกจากแหล่งให้ความร้อน เปลวไฟจะดับเอง

2.3.1.5 สมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ไม่ดี

มีการใช้งานของไหมกันอย่างกว้างขวางด้วยไหมมีสมบัติเด่นหลายประการ นอกจากการใช้งานผ้าไหมเป็นไหม 100 % แล้วยังมีการนำไหมไปผสมกับเส้นใยชนิดอื่นได้ด้วย เช่น ไหมผสมฝ้าย ไหมผสมลินินหรือไหมผสมขนสัตว์ เป็นต้น

2.3.2 การปรับปรุงเส้นใยไหมด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical Treatment of Silks) [4,10-13]

ไหมดิบที่ได้จากรังไหมในแต่ละรังมีความแข็งกระด้างและให้สัมผัสที่ไม่ดีเนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีองค์ประกอบของกวาไหมและสารอื่นๆ เคลือบอยู่ดังนั้นก่อนนำไหมไปใช้งานจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยก่อนนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องผ่านกระบวนการลอกกวาไหมและการตกแต่งสำเร็จ เช่น การตกแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติทางความร้อน การตกแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการใช้งาน เป็นต้น

2.3.2.1 กระบวนการลอกกวา

การลอกกวา คือ กระบวนการพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยนำเส้นไหมเส้นด้าย และผ้าไหมดิบ มาลอกกวาเซรีซิน ที่เคลือบบนผิวของเส้นใย นอกจากเซรีซินแล้วก็ยังมีส่วนประกอบอื่นอีกเล็กน้อย เช่น ขี้ผึ้ง คาร์โบไฮเดรต ลิ สารอินทรีย์ สิ่งสกปรก เศษดักแด้ และสารปรุงแต่งเส้นใย

ในปัจจุบันการลอกกวาโดยใช้สบู่ม และเกลือด่าง เช่น โซเดียมซัลไฟเกต โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต โซเดียมฟอสเฟต มีการลอกกวาแบบใช้สบู่ม แบบใช้โซเดียม และแบบผสมใช้สบู่มและโซเดียม โดยอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการละลายระหว่างเซรีซิน และไฟโบรอิน

การลอกกวามีวิธีหลักๆอยู่คือ วิธีลอกกวาโดยใช้มือ เช่น การลอกกวาจากใจไหมโดยใช้แท่งไม้ไผ่ในถุง ต้มเป็นห้วง และวิธีการลอกกวาโดยใช้เครื่องมือ เช่น เครื่องข้อมใจไหมแบบสเปรย์ เครื่องข้อมแบบวินช์ (Winch) หรือจิก(Jig) เครื่องลอกกวาแบบโฟรัม (Foram) แบบใช้ความดันสูง และเครื่องลอกกวาแบบต่อเนื่องโดยใช้ความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการลอกกาวสามารถจำแนกโดย ศีกร์ของการลอกเซรีซิน ชนิดของสารลอกกาว เครื่องมือ และชนิดของด้าย ซึ่งโดยทั่วไปการลอกกาว หมายถึง การลอกเซรีซินออก 100 % แต่บางครั้งมีการลอกกาวออกเพียง 30% 50% และ 70% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์

กระบวนการลอกกาวมีวิธีใช้อยู่ทั่วไป อย่างเช่น

(1) การลอกกาวด้วยโซดา (Degumming)

สารละลายโซดาที่ใช้ในการลอกกาวเส้นใยที่นิยมใช้ คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และ โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2-9 ชั่วโมงจากนั้นล้างด้วยน้ำอุ่น $40-50^\circ\text{C}$ และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้งวิธีนี้สามารถลอกกาวได้สม่ำเสมอแต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ สารเคมีที่ใช้มีความเป็นด่างสูงทำให้เส้นใยมีสมบัติเชิงกลลดลง

(2) การลอกกาวด้วยสบู่

การลอกกาวไหมด้วยสบู่เริ่มจากแช่เส้นใยไหมดิบที่อุณหภูมิ 40°C 30 นาทีแล้วเติมสบู่ 15-20% โดยน้ำหนักของเส้น (30-50 เท่าของน้ำหนักไหมดิบ) และต้มต่อเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงทำให้ได้เส้นไหมที่เงางามและเรียบสวย ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ถ้าใช้น้ำกระด้างจะทำให้เกิดโคลสบู่ที่เกิดจากแคลเซียมไอออนในน้ำเช่น แคลเซียม แมกนีเซียมและเหล็กทำให้เส้นใยที่ได้มีการลอกกาวที่ไม่สม่ำเสมอและมีสีหมองคล้ำ

(3) การลอกกาวด้วยสบู่ - โซดา

การลอกกาวด้วยสบู่ผสมโซดาจะใช้สบู่ 8-15 % o.w.f และ โซเดียมคาร์บอเนต 5-8 % o.w.f ใช้อัตราส่วนของวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:5 ที่อุณหภูมิ 90°C ใช้เวลา 2-3 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำเส้นใยมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เป็นด่างอ่อนกว่าที่อุณหภูมิ $40-50^\circ\text{C}$ ตามค่าน้ำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้งวิธีนี้จัดว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากวิธีหนึ่งทำให้ได้เส้นใยที่ขาวและมีความสม่ำเสมอในการลอกกาวมากขึ้นและช่วยลดข้อเสียในการลอกกาวด้วยสบู่จากการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดความกระด้าง

2.3.3 คุณสมบัติ และการใช้ประโยชน์ของผงไหมชนิดต่างๆ [9]

2.3.3.1 การทำเครื่องสำอาง

Silk fibroin

- เป็น Moisturizer คงสภาพความชุ่มชื้นแก่ผิว
- ป้องกันแสงยูวี

Silk peptide

- บำรุงเส้นผม เพื่อเพิ่มความมันวาว และการสปริงตัวของเส้นผม
- ส่งเสริมการเจริญเติบโตของเส้นผม
- สามารถซึมซับเข้าไปในเส้นผมได้ จึงช่วยซ่อมแซมเส้นผมที่เสียได้
- ยับยั้งการสร้าง Melanin ป้องกันการเกิดจุดกระบนผิวหนัง
- ช่วยยืดอายุของเซลล์ผิวหนัง
- ป้องกันผิวหนังจากเชื้อแบคทีเรียในอากาศ

Sericin powder

- ป้องกันการเกิดฝ้า
- ช่วยให้ผิวหนังชุ่มชื้น

2.3.3.2 ด้านการแพทย์

- ช่วยในการรักษาแผลให้หายเร็วขึ้น
- ลดคอเลสเตอรอลในเลือด
- ป้องกันแผลไม่ให้เป็นหนอง
- ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ และการกระตุ้นหัวใจ
- ช่วยในด้านความจำ

2.3.3.3 ด้านอาหาร และเครื่องดื่ม

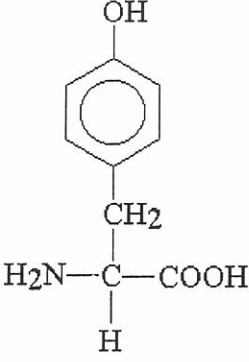
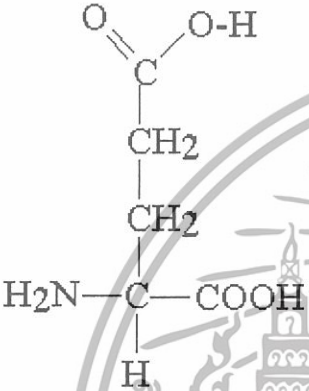
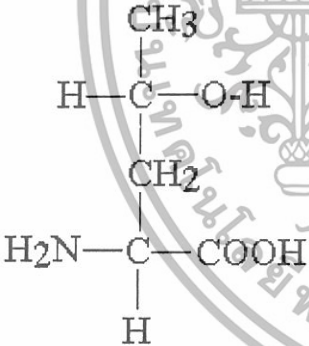
- ช่วยลดแอลกอฮอล์ในผู้ที่เมาค้าง
- ช่วยป้องกันตับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติ และหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย [5]

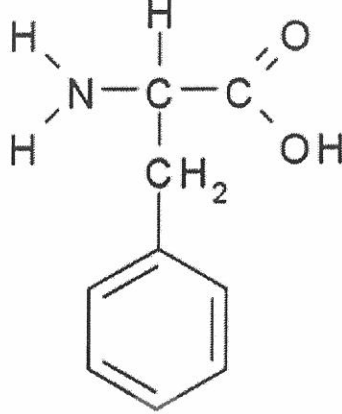
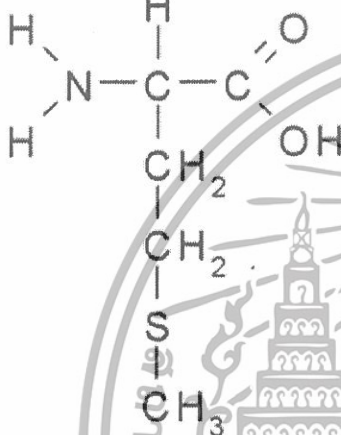
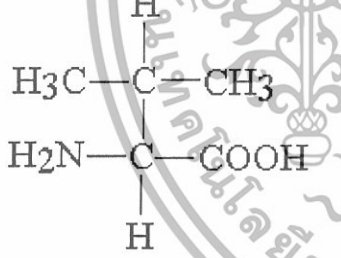
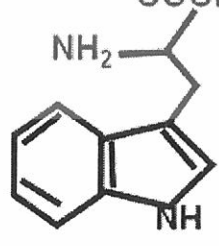
ชนิดกรดอะมิโนในผงไหม	หน้าที่และคุณสมบัติ
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$ <p>glycine</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ควบคุมระดับคลอเรสเตอรอล - ป้องกันและรักษาความดันโลหิตสูง - ช่วยเสริมสร้างการทำงานของตับ
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$ <p>alanine</p>	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นแหล่งพลังงานสำคัญต่อเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ สมอง และระบบประสาทส่วนกลาง - ผลิต antibodies ที่ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น - ช่วยในระบบการทำงานของน้ำตาล และกรดอินทรีย์, digest alcohol (สลายแอลกอฮอล์)
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{O} \\ & & // \\ \text{H}-\text{N}-\text{C}-\text{C} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{OH} \\ & & \\ & \text{CH}_2 & \\ & & \\ & \text{OH} & \end{array}$ <p>Serine</p>	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นแหล่งในการสะสมน้ำตาลกลูโคสในตับ และกล้ามเนื้อ จึงช่วยส่งเสริมระบบการทำงานของอินซูลิน (Insulin) เป็นการลดน้ำตาลในเลือด ซึ่งช่วยในการเผาผลาญไขมันที่สะสมในร่างกาย - ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรงขึ้น - ช่วยสังเคราะห์กรดไขมันล้อมรอบ Nerve fibers
Aspartic acid#	<ul style="list-style-type: none"> - ช่วยขับไล่อะการบาดเจ็บและสารพิษแอมโมเนียออกจากร่างกาย - ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเหนื่อยอ่อน - ช่วยระบบกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

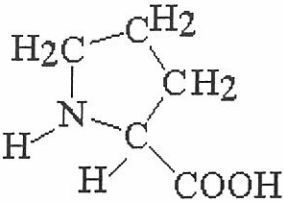
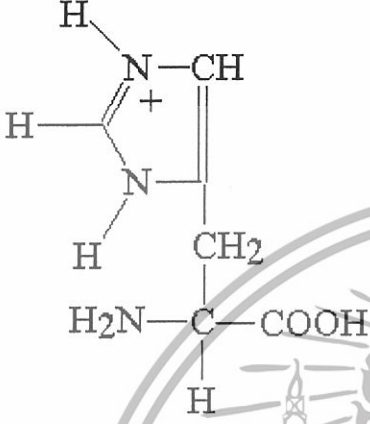
 <p style="text-align: center;">tyrosine</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ช่วยในการส่งผ่านเส้นประสาทไปยังสมอง อีกทั้งมีผลดีต่อระบบประสาท - ช่วยความจำ - กระตุ้นการเต้นของหัวใจ
 <p style="text-align: center;">glutamic acid</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ช่วยลดแอมโมเนียในเลือด ซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับโปรตีนในสมอง และระบบการทำงานของน้ำตาล - ช่วยควบคุมโรคนิสสุรา (Alcoholism) - รักษาปริมาณน้ำของผิวหนัง และป้องกันผิวแห้ง
 <p style="text-align: center;">threonine</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ป้องกันการเกิดไขมันในตับ - ช่วยย่อย และช่วยระบบการทำงานของร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$ \begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{N} & - \text{C} & - \text{C} \\ & / & & \backslash \\ \text{H} & & & \text{O} \\ & & & \\ & & & \text{OH} \\ & & & \\ & & \text{CH}_2 & \\ & & & \\ & & \text{CH}_2 & \\ & & & \\ & & \text{CH}_2 & \\ & & & \\ & & \text{NH} & \\ & & & \\ & & \text{C} & \\ & / & \backslash & \\ \text{H}_2\text{N} & & \text{NH} & \end{array} $	<ul style="list-style-type: none"> -เสริมสร้างภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเซลล์เนื้องอก -ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น -ช่วยเสริมสร้างตับ
<p>Cystine</p>	<ul style="list-style-type: none"> -ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และเพิ่มความแข็งแรงให้ร่างกายในการต่อต้านรังสีและมลพิษ -ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน -มีความจำเป็นต่อการสร้างผิวหนัง ซึ่งจะช่วยให้แผลไฟไหม้ และแผลผ่าตัดหายเร็วขึ้น -ส่วนของผม และผิวหนัง จะประกอบด้วยCystine 10-14%
$ \begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{COOH} \\ \\ \text{H} \\ \text{lysine} \end{array} $	<ul style="list-style-type: none"> -ต่อต้านริ้วรอย ช่วยให้เกิดความสมดุลของธาตุอาหาร และไปลดการเจริญเติบโตของไวรัส -การขาด Lysine มีผลทำให้เหนื่อยง่าย ยับยั้งการเติบโต ผมร่วง โรคโลหิตจาง และเกิดปัญหาต่อระบบสืบพันธุ์

	<p>-มีผลดีต่อระบบเส้นประสาท</p>
	<p>-เป็นแหล่งที่ให้สารกำมะถัน ซึ่งป้องกันการเกิดโรคเกี่ยวกับผม ผิวหนังและเล็บ</p> <p>-ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล โคนการผลิตเลซิทินในตับ</p> <p>-ลดไขมันตับ และป้องกันไต</p> <p>-ป้องกันผมร่วง และส่งเสริมการเจริญของเส้นผม</p>
 <p>valine</p>	<p>-ช่วยให้จิตใจกระปรี้กระเปร่า ประสานการทำงานของกล้ามเนื้อ</p>
 <p>Trptophan*</p>	<p>-สนับสนุนการผลิตเม็ดเลือดแดง</p> <p>-ป้องกัน และช่วยลดอันตรายที่จะเกิดกับเส้นโลหิตแดง และการชักกระตุกของหัวใจ</p> <p>-ทำงานร่วมกับ Lysine ในการลดคอเลสเตอรอล</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>proline</p>	<ul style="list-style-type: none"> -รักษาความดันโลหิตสูง -มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของข้อ และเอ็น -ช่วยบำรุงรักษากล้ามเนื้อหัวใจ
 <p>histidine</p>	<ul style="list-style-type: none"> -พบมากในเม็ดเลือดแดง ใช้ในการรักษา รูมาตอย โรคข้ออักเสบ -อาการผื่นคัน โรคผื่นคัน แผลพุพอง และโรคโลหิตจาง -ถ้าขาดจะมีผลต่อการได้ยีนเสียงลดลง -ส่งเสริมการผลิตเซลล์เม็ดเลือด ช่วยขยายหลอดเลือด
Isoleucine*	-กระตุ้นการทำงานของสมองส่วนบน
Leucine*	<ul style="list-style-type: none"> -ลดน้ำตาลในเลือด -ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น

หมายเหตุ *กรดอะมิโนที่มีความจำเป็น (Essential amino acid)

*กรดอะมิโนใหม่ที่พบมาก และมีความสำคัญต่อร่างกายมากที่สุด (4 ชนิด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไฮโดรเจล (Hydrogel) [14]

2.4.1 ลักษณะสำคัญของไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลเป็นหนึ่งในหลายๆชนิดของพอลิเมอร์ ที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างแหสามมิติ และสามารถดูดน้ำและสารละลายบางชนิดได้มากกว่า 90% จากคุณสมบัติเด่นของไฮโดรเจลที่สามารถดูดน้ำได้มากนี้ ทำให้ทราบว่าโครงสร้างหรือองค์ประกอบของไฮโดรเจลน่าจะมีส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic structure) และสามารถละลายได้ในน้ำ หมู่ฟังก์ชันในไฮโดรเจลที่มีสมบัติความชอบน้ำ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) หมู่คาร์บอกซิล (-COOH group) หมู่เอไมด์ (-CONH₂ group) และหมู่ต่างๆที่เป็นอนุพันธ์ของหมู่ดังกล่าว เป็นต้น

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

2.4.1.1 พันธะทางเคมีของไฮโดรเจล สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก. พันธะภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Intermolecular interaction) เนื่องจากการเชื่อมต่อกันของมอนอเมอร์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอน (C) จึงทำให้มีพันธะโควาเลนต์ เพื่อยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของคาร์บอน

ข. พันธะระหว่างโมเลกุล (Intermolecular interaction) สามารถแบ่งออกได้หลายแบบเช่น พันธะไฮโดรเจน ที่เกิดจากการดึงดูดอะตอมไฮโดรเจน (H) โดยอะตอมของธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (EN) สูง เช่น F, O, N, Cl เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแรงไดโพล-ไดโพล ที่เกิดจากการมีแรงยึดเหนี่ยวหรือมีแรงหลักของโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ซึ่งแรงนี้เป็นแรงที่อ่อนมากที่สุด

จากพันธะต่างๆข้างต้น จะเห็นว่าพันธะภายในโมเลกุลมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะระหว่างโมเลกุล ดังนั้นการที่จะทำลายโครงสร้างของโมเลกุลพอลิเมอร์ ต้องใช้พลังงานที่สูงมาก

2.4.1.2 พันธะเชื่อมโยงของไฮโดรเจล มี 2 ลักษณะ คือ

ก. พันธะเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslinked) โดยจะมีการทำให้เกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติ ด้วยพันธะไฮโดรเจน หรือแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ โดยจะมีการอยู่รวมกันเป็นกลุ่มคล้ายปมของเชือก ไฮโดรเจลชนิดนี้สามารถเตรียมได้จากเทคนิคที่เรียกว่า Freezing and thawing สมบัติของไฮโดรเจลที่เตรียมได้จะมีการหลอมเหลวที่อุณหภูมิไม่สูง ประมาณ 55 องศาเซลเซียส และเรียกไฮโดรเจลที่มีพันธะเชื่อมโยงในลักษณะนี้ว่า Physical hydrogel หรือ Pseudogel

ข. พันธะเชื่อมโยงทางเคมี (Chemical crosslinked) โดยจะมีการให้เกิดพันธะเชื่อมโยงที่เป็นพันธะโควาเลนต์ หรือเป็นพันธะทางเคมีอื่นๆ โดยมีการใช้สารเชื่อมโยงเป็นสารเคมี เช่น สารประกอบพวกแอลดีไฮด์ และมีการใช้แสงหรือความร้อนในการเชื่อมโยง เช่น รังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา

ซึ่งการเชื่อมโยงโดยวิธีนี้จะได้พันธะเชื่อมโยงเป็นพันธะโควาเลนต์ชนิดคาร์บอน-คาร์บอน (C-C bond) ที่มีความแข็งแรงสูง

2.4.2 การเตรียมไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลสามารถเตรียมได้จากสารละลายพอลิเมอร์ที่มีสมบัติการคูดน้ำ หรือสามารถละลายในน้ำได้ เทลงในแม่พิมพ์ โดยส่วนมากจะใช้เทคนิคการเทหล่อ (Casting process) ในการเตรียม จากนั้นทำการเชื่อมโยงไฮโดรเจล โดยใช้เทคนิคการฉายรังสี ความร้อน ไรต์คัทชัน-ออกซิเดชัน หรือ nucleophilic attack ในวิธีการฉายรังสีต้องทำการฉายรังสีเสียก่อนแล้วค่อยนำไปอบให้แห้ง แต่ถ้าใช้สารเคมีในการเชื่อมโยง จะต้องนำสารละลายในแม่พิมพ์ไปอบให้แห้งเสียก่อน จึงค่อยทำการเชื่อมโยง ในปี 1968 มีการพอลิเมอไรเซชัน โดยใช้มอนอเมอร์ล้อมรอบผลิตภัณฑ์เมตริกซ์ ได้แก่ เกลือ น้ำตาล และผลิตภัณฑ์น้ำแข็ง เป็นพวกโปรเจน (Porogen) และเมื่อเอาผลิตภัณฑ์ออก จะเกิดเป็นพอลิเมอร์เชื่อมโยงที่เป็นรู ไฮโดรเจลที่เป็นรูใช้ประโยชน์เป็นพื้นผิวบางในโครมาโตกราฟี และเป็นเนื้อเยื่อวิศวกรรมทางการแพทย์

2.4.3 สมบัติของไฮโดรเจลและการนำไปใช้งาน

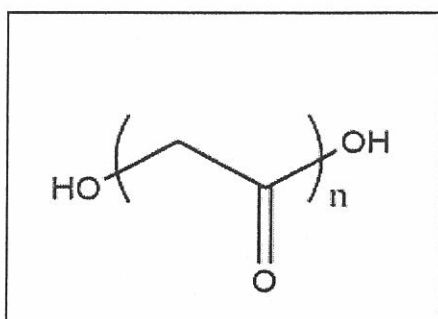
ไฮโดรเจลมีความสามารถในการดูดซับน้ำหรือสารละลายบางชนิด เช่น สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และสารละลายทางชีวภาพ ได้มากกว่า 90% โดยเมื่อหลังจากดูดซับ จะมีสมบัติเชิงกลที่ดี ไม่เกิดการละลายและสลายตัว และไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างซึ่งสมบัตินี้จะมีความคล้ายคลึงกันในอวัยวะบางอย่างของร่างกายมนุษย์ เช่น เส้นเอ็น กล้ามเนื้อ ถ้าใช้เล็ก เซลล์ห่อหุ้มอวัยวะภายใน เป็นต้น และจากสมบัติการเข้ากันได้กับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง เนื้อเยื่อ เซลล์ ผิวหนัง จึงสามารถนำมาใช้ทำเลนส์สัมผัส ใช้ในการเคลือบอวัยวะเทียมเมื่อนำไปใช้ในร่างกายมนุษย์ สามารถใช้เป็นวัสดุปิดแผลที่รักษาหน้าแผลให้มีความเรียบ และไม่ทำลายเซลล์ผิวใหม่เมื่อมีการลอกออก ไฮโดรเจลที่ใช้เป็นเนื้อเยื่อวิศวกรรมจะยอมให้เซลล์เจริญงอกเข้าไปข้างในและควบคุมการขยายตัวอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อสำหรับการส่งผ่านต่อขนาดไมโคร หรือต่อภายนอกที่ต้องการ และยังสามารถใช้ในงานด้านต่างๆที่ไฮโดรเจลมีความเหมาะสมและมีสมบัติที่ครอบคลุมการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

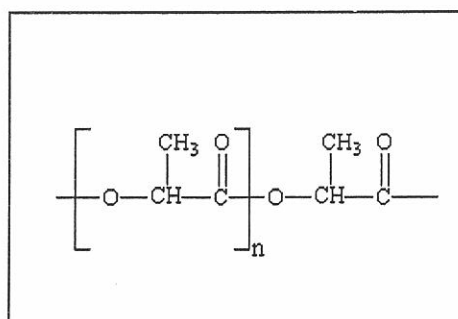
2.5 วัสดุสำหรับทำ Scaffold (Material for Scaffold) [15]

พอลิเมอร์เป็นวัสดุแรกสำหรับ scaffold ตัวอย่างเช่น Poly(glycolic acid)(PGA)รูปที่ 2.6 (ก), poly(lactic acid)(PLA) รูปที่ 2.6 (ข), และโคพอลิเมอร์ poly(lactic acid-co-glycolic acid)(PLGA) เป็นตระกูลของ linear aliphatic polyesters ซึ่งจะใช้ส่วนใหญ่ในเนื้อเยื่อวิศวกรรม พอลิเมอร์จะเสื่อมสลายผ่านการไฮโดรไลซิสของพันธะเอสเทอร์ PGA เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เป็น scaffold เพราะมีธรรมชาติที่ชอบน้ำ PGA เสื่อมสลายเร็วในน้ำหรือในสิ่งมีชีวิต แต่สูญเสียสมบัติเชิงกลภายใน 2 ถึง 4 สัปดาห์ ใช้ผลิตเป็นเส้นใยที่ไม่นำมาถักทอเป็นผืน ซึ่งเป็น scaffold แบบหนึ่งที่ใช้สำหรับเนื้อเยื่อวิศวกรรม PLA เป็น scaffold ที่ใช้กันทั่วไป มีหมู่เมทิลในหน่วย PLA (เปรียบเทียบกับ PGA) ซึ่งไม่ชอบน้ำ จึงลดโมเลกุลที่เข้าใกล้กับน้ำ นำไปสู่อัตราการไฮโดรไลซิสที่ช้า ใช้เวลาหลายเดือนหรือเป็นปี มีการทดลองปลูกฝัง scaffold PLA ในสิ่งมีชีวิตเพื่อศึกษาอัตราการเสื่อมสลายระหว่าง PGA และ PLA เพื่อใช้เป็นอัตราส่วนของแลคติกและกรดไกลโคลิกในการสังเคราะห์ PLGA พวกลinear aliphatic polyester เช่น poly(ϵ -caprolactone) (PCL) รูปที่ 2.7 (ก) และ poly(hydroxyl butyrate) PHB รูปที่ 2.7 (ข) ซึ่งใช้ในเนื้อเยื่อวิศวกรรม PCL จะมีอัตราการเสื่อมสลายที่ช้ากว่า PLA, PGA และ PLGA อัตราการเสื่อมสลายที่ช้าทำให้ PCL เป็นที่น่าสนใจน้อยสำหรับการใช้ประโยชน์ในเนื้อเยื่อวิศวกรรม แต่เหมาะสมสำหรับในเรื่องการปลูกฝังและสามารถควบคุมการปลดปล่อยที่ต้องการการเสื่อมสลายช้า ในปัจจุบันโคพอลิเมอร์ของ PCL จะวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงสมบัติการเสื่อมสลาย ส่วน PHB ทำมาจากการหมักสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก PHB และโคพอลิเมอร์ PHB จะเสื่อมสลายได้ช้ามากเพราะตามธรรมชาติจะไม่ชอบน้ำ จึงมีความสนใจน้อยเมื่อเทียบกับ PGA, PLA และ PLGA การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่สามารถเสื่อมสลายทางชีวภาพอื่นๆ คือ poly(propylene fumarate)(PPF) จะเสื่อมสลายผ่านการไฮโดรไลซิสของพันธะเอสเทอร์ คล้ายกับไกลโคไลด์และแลคโตไลด์ แม้กระนั้นก็ตาม การใช้ประโยชน์สำหรับเนื้อเยื่อวิศวกรรม จะมีความต้องการคล้ายๆกันคือ ความสามารถที่เข้ากันได้ทางชีวภาพและความสามารถในการเสื่อมสลายทางชีวภาพ ในเมตริกซ์และ scaffold เนื้อเยื่อวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.6 (ก) สูตรโครงสร้างทางเคมีของ PGA (ข) สูตรโครงสร้างทางเคมีของ PLA [15]



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.7 (ก) สูตรโครงสร้างทางเคมีของ PCL (ข) สูตรโครงสร้างทางเคมีของ PHB [15]

พอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น โพรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์เป็นประโยชน์ใช้สำหรับเนื้อเยื่อวิศวกรรม คอลลาเจนเป็นเส้นใยโปรตีนและองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลล์ธรรมชาติ ซึ่งใช้สำหรับการเกิดเนื้อเยื่อใหม่ สำหรับซ่อมแซมเนื้อเยื่ออ่อน การจัดการหนึ่งของคอลลาเจนเป็นองค์ประกอบเซลล์ธรรมชาติที่มีสมบัติทางชีววิทยาซึ่งเป็นที่ปรารถนาสำหรับการใช้ประโยชน์ของเนื้อเยื่อวิศวกรรม โคพอลิเมอร์ collagen-glycosaminoglycan (GAG) ถูกนำมาสร้าง scaffold สำหรับเนื้อเยื่อวิศวกรรมโดยการเปลี่ยนลักษณะคอลลาเจน (เจลาติน) เพื่อผลิตวัสดุพรุนสำหรับซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ในด้านอื่นที่เกี่ยวข้องกับคอลลาเจน อาจจะมีการส่งต่อของโรค การต่อต้านเชื้อโรค การจัดการและสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี และการควบคุมการเสื่อมสลายทางชีวภาพได้น้อย ส่วนกลุ่มอื่นๆของเส้นใยโปรตีนธรรมชาติ คือไหม ซึ่งใช้ในกระบวนการสิ่งทอมา 20 ปี และใช้ในการเย็บแผลมา 10 ปี เพราะว่ามีสมบัติเชิงกลที่ยืดหยุ่นดี ถึงแม้ว่าไหมเป็นลักษณะของวัสดุที่ไม่เสื่อมสลาย แต่สามารถเสื่อมสลายในกลไกของเอนไซม์ได้ อย่างไรก็ตามอัตราการเสื่อมสลายจะช้ามาก ๆ ซึ่งอาจจะเกี่ยวเนื่องกับการเป็นพิษต่อเซลล์ จึงได้มีการปรับเปลี่ยนทางเคมีของวัสดุไหมเพื่อเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถที่เข้ากันได้ และชนิดของไหมอื่นๆ เช่น ไยแมงมุมและไหมพันธุวิศวกรรม ส่วนพอลิแซ็กคาไรด์เป็นประเภทของพอลิเมอร์ธรรมชาติ ตัวอย่าง เช่น alginate, chitosan และ hyaluronate จะใช้เป็น scaffold รูปทรงแบบเนื้อเยื่อวิศวกรรม solid-state ดังนั้น โมเลกุลธรรมชาติขนาดใหญ่ที่บริสุทธิ์จะสกัดมาจาก เนื้อเยื่อสัตว์หรือเนื้อเยื่อพืช

2.5.1 สมบัติที่จำเป็นที่สุดของ Scaffold [16]

- ความสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ Scaffold จะต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต

- รูปทรงแบบ scaffold จะต้องมีการเปิดช่องทำให้การเชื่อมต่อภายในโครงสร้างรูปทรงแบบอัตร่าพื้นผิวต่อพื้นที่ปริมาตรจะกว้าง เซลล์จะเจริญภายใน และเซลล์จะแพร่ตลอดโครงสร้างรูปทรงแบบอัตร่า ทำให้ง่ายต่อการมีหลอดเลือดใหม่ของโครงสร้างเนื้อเยื่อรอบๆ scaffold จะแสดงพฤติกรรม microporosity ที่เพียงพอ รูปทรงแบบและการติดกันนั้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการแพร่ของสารอาหารและก๊าซ เพื่อเอาของเสียจากการเผาผลาญออกจากเซลล์ ที่เติบโตภายใน scaffold เป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญในเนื้อเยื่อวิศวกรรมกระดูก เพราะเนื่องจากลักษณะการเผาผลาญกระดูก ปริมาณการส่งผ่านของเสียจะมีอัตราสูงเกิดขึ้นภายใต้สภาวะการทดลองการปลูกฝังเนื้อเยื่อ อย่างไรก็ตาม ระดับของรูปทรงแบบจะมีอิทธิพลต่อสมบัติอื่นๆของ scaffold นั่นคือ ความเสถียรทางเชิงกล ดังนั้นค่าจะเท่ากันกับความต้องการเชิงกลของเนื้อเยื่อวิศวกรรม เพื่อใช้ในการแทนที่

- ขนาดรูปทรงแบบ เป็นประเด็นสำคัญมากเพราะถ้ารูปทรงแบบที่ใช้ขนาดเล็ก รูปทรงแบบจะถูกปิดกั้นโดยเซลล์ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะป้องกันเซลล์แทรกซึมเข้าไป ป้องกันการเกิดเมตริกซ์เซลล์พิเศษและป้องกันการเกิดหลอดเลือดใหม่ภายในพื้นที่ของ scaffold โดยที่ขนาดรูปทรงแบบภายในเป็น 200-900 μm ซึ่งแล้วแต่แนวคิดที่แตกต่าง ที่เป็นที่ต้องการของผู้ทดลอง เชื่อว่ากระดูกที่สร้างขึ้นใหม่ จะได้มาโดยเมตริกซ์ชั่วคราว 3D ซึ่งรูปทรงแบบใหญ่ โครงสร้างจะติดกัน ที่อัตราพื้นผิว/ปริมาตรสูง ง่ายต่อเซลล์เนื้อเยื่อและเส้นเลือดเจริญภายใน อย่างไรก็ตาม จะไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

- สมบัติของพื้นผิว ทั้งทางเคมีและลักษณะรูปร่างสามารถควบคุม และส่งผลกระทบต่อ การติดกันของเซลล์ และการเติบโตของเซลล์

1. สมบัติทางเคมี จะสัมพันธ์กับความสามารถการติดกันของเซลล์กับวัสดุ นั่นคือ ปฏิกริยาภายในโปรตีนกับวัสดุ

2. สมบัติของลักษณะรูปร่าง เป็นส่วนที่น่าสนใจเมื่อหัวข้อ คือการสื่อ นำกระดูก (osteoconduction) การสื่อ นำกระดูกจะกระทำโดยย้ายที่เซลล์เนื้อเยื่อกระดูกไปยังผิวของเส้นใย scaffold ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากการปลูกฝังวัสดุ การย้ายก้อนเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกจะเอาออกจากเส้น

ใยเมตริกซ์ชั่วคราว ดังนั้น เส้นใยเมตริกซ์เป็นสิ่งสำคัญมากที่สุดที่ได้มาจาก scaffold หรืออีกในหนึ่งเมื่อเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกเริ่มจะเป็นก้อนบนเส้นใยแยกออกจาก scaffold ขณะที่บาดแผลหดตัว พื้นผิวที่หยาบมาก ๆ สามารถกักเส้นใยเมตริกซ์ได้มากกว่าพื้นผิวเรียบ และจากนี้ไปการย้ายที่ของเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกไปยังผิวของวัสดุจะง่ายขึ้น

2.6 โพรเจน (Porogen) [17]

รูพรุนตัวของไฮโดรเจลถูกเตรียมโดยใช้เกลือ น้ำตาลหรือผลึกน้ำแข็ง

2.6.1 การเลือกและการเติมโพรเจน

รูพรุนของวัสดุไฮโดรเจลจะส่งผลเนื่องจากการแขวนลอยที่อิมิตวียังยวดของโพรเจนในสารละลายมอนอเมอร์ โพรเจนจะต้องไม่ละลายในสารละลายมอนอเมอร์ แต่จะละลายในสารละลายการชะล้างที่ใช้ โดยที่โซเดียมคลอไรด์ชอบใช้เป็นโพรเจน ส่วนโพแทสเซียมคลอไรด์ น้ำแข็ง น้ำตาลและโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ก็จะถูกนำมาใช้ ซึ่งจะควบคุมขนาดอนุภาคโพรเจนที่น้อยกว่า 25 ไมครอน ซึ่งควรเลือกให้น้อยกว่า 10 ไมครอน ขนาดเล็ก ๆ จะช่วยการแขวนลอยของโพรเจนในตัวทำละลาย ความเข้มข้นของโพรเจนอยู่ในช่วงจาก 5 % w/w - 50% w/w โดยการเลือก 10% w/w - 20% w/w ในสารละลายของมอนอเมอร์

2.6.2 ตัวอย่างโพรเจนที่ใช้

1. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)

- สูตรโมเลกุล	NaCl
- คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	เป็นผลึกของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	58.44
จุดเดือด	1465 °C
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	~800 °C
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	2.16
ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.)	37
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5-8
- ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา	
ความคงตัว	สารนี้มีความเสถียร
สารที่เข้ากันไม่ได้	ทำปฏิกิริยากับโบรมีน ไตรฟลูออไรด์ (BF ₃), โบรอนไตรออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ (B ₂ O ₃ +CAO) และกรดซัลฟูริก โซเดียม สังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอันตรายจากการสลายตัว ฟลูม/ก๊าซพิษของคลอไรด์ (Cl-) เกิดเมื่ออุณหภูมิ
สูงกว่า 1600 °C
เมื่อสัมผัสกับความชื้นสูง จะทำให้เกิดไอระเหยที่ฤทธิ์ระคายเคืองขึ้น

- อันตรายต่อสุขภาพอนามัย

สัมผัสทางหายใจ

การหายใจเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคือง
จมูก คอ และ ปอด

สัมผัสทางผิวหนัง

การสัมผัสถูกผิวหนังทำให้ระคายเคือง การ
สัมผัสเป็นเวลานานจะทำให้ปวดแสบปวดร้อน
และแผลไหม้

กินหรือกลืนเข้าไป

การกลืนกินเข้าไปทำให้ระคายเคืองกระเพาะ
อาหารและลำไส้ ทำให้คลื่นไส้และอาเจียน

สัมผัสถูกตา

การสัมผัสถูกตา ทำให้เกิดการระคายเคือง ต่อ
ตา ตาแดง เจ็บตา

การก่อมะเร็ง

สารนี้ถูกรายงานว่าเป็นสารไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง
โดย NTP, IARC, OSHA

ความผิดปกติ อื่น ๆ

การสัมผัสกับสารเป็นระยะเวลาสั้นหรือการ
สัมผัสสารซ้ำ จะทำให้เกิดแผลพุพอง

2. แอมโมเนียมออกซาลेट โมโนไฮเดรต (Ammonium Oxalate monohydrate)

- สูตรโมเลกุล

$\text{NH}_4\text{COCOO}\cdot\text{H}_2\text{O}$

- คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

เป็นผลึกหรือเป็นเม็ด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น

น้ำหนักโมเลกุล

142.11

จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง

70°C

ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)

1.50

ความสามารถในการละลายน้ำ

11.8 g/100 g ของน้ำ ละลายที่ 50 °C

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อันตรายจากสารพิษ

สัมผัสทางหายใจ

เป็นอันตรายเมื่อหายใจเข้าไป จะระคายเคือง จมูก ลำคอ และปอด เป็นเหตุให้เกิดการไอ หอบ หรือหายใจสั้น

สัมผัสทางผิวหนัง

ถ้าสัมผัสถูกผิวหนังจะระคายเคืองอาจทำให้ผิวหนังไหม้

สัมผัสถูกตา

ถ้าสัมผัสถูกตา ทำให้ไหม้และปวดทรมาน

3. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammoniumpersulfate)

- สูตรโมเลกุล

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

- คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

เป็นผลึกของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น

น้ำหนักโมเลกุล

228.20

จุดเดือด

-

จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง

120 °C (248F)

ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)

-

ความสามารถในการละลายน้ำที่

25 °C (กรัม/100 มล.)

80

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

-

- ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา

ความคงตัว

สารนี้มีความเสถียรภายใต้สภาวะปกติ, ความเสถียรลดลงในสภาวะที่มีความชื้น

สารอันตรายจากการสลายตัว

เสถียรภาพในสภาวะที่มีความชื้น สร้างออกซิเจน และ โอโซน, จากการเผาไหม้จะสร้างไนโตรเจนไดออกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, กรดซัลฟูริก

- อันตรายต่อสุขภาพอนามัย

สัมผัสทางผิวหนัง

การสัมผัสถูกผิวหนังทำให้ระคายเคือง การสัมผัสเป็นเวลานานจะทำให้ปวดแสบปวดร้อน และแผลไหม้

กินหรือกลืนเข้าไป

การกลืนกินเข้าไปทำให้ระคายเคืองกระเพาะอาหารและลำไส้ ทำให้คลื่นไส้และอาเจียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสถูกตา

การสัมผัสถูกตา ทำให้เกิดการระคายเคือง ต่อตา ตาแดง เจ็บตา

4. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite)

- สูตรโมเลกุล	$\text{Na}_2 \text{S}_2\text{O}_5$
- คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	เป็นผงผลึก สีขาว มีกลิ่นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์
น้ำหนักโมเลกุล	190.11
จุดเดือด	-
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	150 °C (302F)
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	1.48
ความสามารถในการละลายน้ำที่	470กรัม/1000 ml (ละลายในน้ำ ไม่ละลายในแอลกอฮอล์)
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.5-5
- ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา	
ความคงตัว	เมื่อสัมผัสกับความชื้นจะทำให้เป็นพิษจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
อันตรายจากการสลายตัว	ออกไซด์ของซัลเฟอร์ และโซเดียม อาจเกิดขึ้น เมื่อเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน
สารที่เข้ากันไม่ได้	น้ำ, กรด, อัลคาไลน์, โซเดียมไนไตรต์, ตัวออกซิไดซ์, ฟอสฟอริเนียม
- อันตรายต่อสุขภาพอนามัย	
สัมผัสทางผิวหนัง	การสัมผัสถูกผิวหนังทำให้ระคายเคือง การสัมผัสเป็นเวลานานจะทำให้ปวดแสบปวดร้อนและแผลไหม้
สัมผัสถูกตา	ถ้าสัมผัสถูกตา ทำให้เกิดการระคายเคือง ต่อตา ตาแดง เจ็บตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (Hydroxyethyl methacrylate)

- สูตรโมเลกุล	$H_2C=(CH_3)COOCH_2CH_2OH$
- คุณสมบัติทางกายภาพ	สารละลายใส
น้ำหนักโมเลกุล	130.14 g/mol
จุดเดือด	205 °C
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	-12 °C
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	1.072-1.076
ความสามารถในการละลายน้ำที่	ไม่ละลายน้ำ
จุดวาบไฟ	107 °C
ความบริสุทธิ์	97%
อันตราย	ระคายเคืองต่อผิวหนัง เป็นของเหลวที่ไวต่อไฟ เมื่อให้ความร้อน

6. เตตระเมทิลอีเทนไดเอมีน (N,N,N,N-tetramethyl-ethane-1,2-diamine)

- สูตรโมเลกุล	$C_8H_{16}N_2$
- คุณสมบัติทางกายภาพ	ของเหลวไม่มีสี
น้ำหนักโมเลกุล	116.24 g/mol
จุดเดือด	120-122 °C
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	-55 °C
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	1.072-1.076
ความสามารถในการละลายน้ำที่	ละลายน้ำ
จุดวาบไฟ	50 °F
ความหนาแน่น (g/cm ₃)	0.78
อันตราย	มีความสามารถติดไฟ, มีกลิ่นเหม็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- H.Y. Kweon และคณะ (2001) [18] ทำการเตรียมพอลิเมอร์โครงร่างแหแบบกิ่งสอดประสาน (Semi-Interpenetrating Polymer Network: SIPNs) จากเส้นใยไหม (Silk Fibroin: SF) กับพอลิเอทิลีนไกลคอลเม็คโครเมอร์ (Poly(ethylene glycol) : PEG Macromer) พบว่าความเป็นผลึกของเส้นใยไหม และพอลิเอทิลีนไกลคอลไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%Elongation) ของพอลิเมอร์โครงร่างแหแบบสอดประสานมีค่าสูงกว่าของเส้นใยไหม หรือเส้นใยไหมผสมกับพอลิเอทิลีนไกลคอล และมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอล

H. Kweon และคณะ [19] ทำการศึกษารเตรียมฟิล์มผสมระหว่างสารละลายไหมไฟโบรอินกับสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติก 2% ที่อัตราส่วนต่างๆ จากนั้นนำไปตรวจสอบด้วย FTIR, XRD, DTG, DSC และ SEM ซึ่งผลการทดสอบด้วย FTIR, XRD และ DSC จะแสดงลักษณะโครงสร้างของฟิล์มผสมเป็น β -sheet เนื่องจากกรดอะซิติกที่ใช้ในการละลายไคโตซาน โดยเกิดปฏิกิริยาภายในระหว่าง Antherea pernyi SF และไคโตซาน ซึ่งมีอิทธิพลจากหมู่ NH ของ SF และ C=O, NH₂ ของไคโตซาน นั่นคือ ตัวทำละลายกรดอะซิติกจะเหนี่ยวนำความเป็นผลึกโดยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก random coil ไปเป็น β -sheet ส่วนการทดสอบ SEM ของผิวที่แตกหักของฟิล์มผสม ฟิล์มผสมที่มีไคโตซาน 25% จะมีรูปร่างสม่ำเสมอ ส่วนฟิล์มผสมที่มีไคโตซานมากกว่า 40% จะแสดงอนุภาคกลมๆ ที่ฝังอยู่ในเนื้อเมตริกซ์ ซึ่งจะถูกแยกเฟสเป็น 2 องค์ประกอบของ SF และไคโตซาน

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

R. Nazarov และคณะ [21] ได้ทำการศึกษารเกิดรูพรุน 3 มิติจากกระบวนการ Freeze-drying, Salt leaching และ Gas foaming จากวัสดุไหมธรรมชาติ แล้วนำไปทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEM, FTIR, XRD สมบัติเชิงกล และความหนาแน่น ความพรุนตัวของ Scaffold ซึ่งผลมาจากการทดสอบจากวิธี Salt leaching จะมีรูพรุนอยู่ระหว่าง 84-98% ความแข็งแรงเชิงกล 175 ± 3 KPa ส่วน Scaffold จากวิธี Gas foamed จะมีรูพรุน 87-97% ความแข็งแรงเชิงกล 280 ± 4 KPa และ Scaffold จากวิธี Freeze-drying เตรียมที่อุณหภูมิแช่แข็ง (-80 และ -20 °C) และเตรียมที่ระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (15 และ 25%) รูพรุนของ scaffold จะสูงถึง 99% และความแข็งแรงเชิงกลที่มากที่สุดเป็น 30 ± 2 KPa เมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดสอบพบว่า เทคนิค Salt leaching และ Gas foaming มีสมบัติการอัดตัวและการเกิดรูพรุนที่สัมพันธ์กับวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก รวมถึงความแข็งแรงเชิงกลที่สูง การเชื่อมต่อภายในรูพรุนดี และขนาดรูมากกว่า 10 microns ส่งผลให้สามารถใช้ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้วัสดุทางธรรมชาติ แต่ Scaffold จากวิธี Gas foaming จะมีสมบัติการอัดตัว การเกิดรูพรุน และการกระจายตัวของรูที่สม่ำเสมอ ซึ่งสัมพันธ์ต่อวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูกมีการเชื่อมต่อภายในเซลล์สูง และอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้า

Y. Liu และคณะ [22] ได้ทำการศึกษา การผสมฟิล์มจากไหมไฟโบรอิน (SF) กับไพลอน 66 ที่ละลายในกรด formic โดยวิธีการหล่อฟิล์ม และทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM, DSC และ XRD จากผลการทดสอบ อัตราการผสมของไหมไฟโบรอินและไพลอน 66 จะกระทบต่อผลึกหรือความเป็นผลึกขององค์ประกอบทั้ง 2 ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 10-30 wt% SF ความเป็นผลึกรวมเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณไหมไฟโบรอินเพิ่มขึ้นถึงระดับที่ 50 wt% SF จะมีการแยกเฟส แม้ว่าตำแหน่งของเฟสจะไม่ชัดเจน โครงสร้างทางเคมีของไหมไฟโบรอินและไพลอน 66 จะใช้ในการอธิบายความเป็นเนื้อเดียวกันของฟิล์มผสม คือก่อนการเตรียมฟิล์มผสม โครงสร้างของไหมไฟโบรอินบริสุทธิ์อยู่ในรูป Amorphous ส่วนไพลอน 66 บริสุทธิ์จะอยู่ในรูป Semicrystalline เมื่อในฟิล์มผสมมีไพลอน 66 เพิ่มขึ้น จะไปเหนี่ยวนำไหมไฟโบรอินเพื่อเป็นผลึกรวม และถ้าไหมไฟโบรอินเพิ่มขึ้นในฟิล์มผสมซึ่งจะไปขัดขวางความเป็นผลึกของไพลอน 66 เพราะความแข็งแรงของปฏิกริยาระหว่างกัน เมื่ออัตราของ ไหมไฟโบรอิน/ไพลอน 66 เป็น 1:1 ทั้งไพลอน 66 และไหมไฟโบรอิน จะไม่เด่นมากไปกว่ากัน จึงทำให้เกิดการแยกเฟส

U-J Kim และคณะ [23] ได้ทำการศึกษา กระบวนการเตรียม scaffold จากสารละลายไหมไฟโบรอินที่ความเข้มข้นต่างๆ และจากวิธีไหมไฟโบรอินที่ละลายใน HFIP ที่ความเข้มข้น 8wt% ของไหมไฟโบรอิน และใช้ NaCl เป็นโปรเจกต์ในการเกิดรูพรุน ทำการทดสอบ scaffold จากวิธีสารละลายไหมไฟโบรอิน เปรียบเทียบความเข้มข้นของไหมไฟโบรอินและขนาดรูพรุนของ NaCl พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไหมไฟโบรอินและลดปริมาณของ NaCl จะทำให้การบวมตัว ความพรุนตัวและสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดรูที่ลดลงและการกระจายตัวของเมทริกซ์ไหมไฟโบรอินที่สม่ำเสมอ ส่วนในเรื่องการเสื่อมสภาพด้วยเอนไซม์ proteases ที่ความเข้มข้น 1U และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20U เป็นเวลา 21 วัน ผลที่ได้คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายไหมไฟโบรอิน 4 wt% จะเสื่อมสภาพเร็วกว่าที่ความเข้มข้น 6 และ 8 wt% ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีไหมไฟโบรอินที่ละลายใน HFIP ที่ความเข้มข้นเดียวกัน 8 wt% พบว่าวิธีสารละลายไหมไฟโบรอินจะเสื่อมสภาพเร็วกว่าวิธีที่ละลายกับ HFIP เนื่องจากลักษณะผิวที่รูพรุนจะขรุขระ ซึ่งจะไปเร่งการเสื่อมสภาพของเอ็นไซม์ proteases

A. Hokugo และคณะ [24] ได้ทำการศึกษา การเตรียม scaffold จากไหมไฟโบรอินผสม Poly (glycolic acid)(PGA) และไม่มี PGA โดยวิธีการ freeze-drying ใช้ปริมาณของ PGA 0, 1.5, 3.0 และ 6.0 mg ของน้ำหนักไหมไฟโบรอิน จากนั้นนำไปทดสอบด้วย SEM, สมบัติเชิงกล, วัดการหดตัว และการเพาะปลูกเซลล์ ผลจาก SEM พบว่า scaffold ทุกๆตัวอย่างจะมีรูพรุนเฉลี่ย 30 μm ซึ่งจะมีรูภายในคล้ายๆกันทุกตัวอย่าง ส่วนผลจากการกดอัด scaffold ที่มี PGA อยู่ ที่น้ำหนัก 3.0 และ 6.0 mg จะมีความแข็งแรงการกดอัดเพิ่มขึ้นตามน้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์การหดตัวของ scaffold นั้นมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับ scaffold ที่ไม่มี PGA อยู่ ด้านการเพาะเซลล์นั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่อมี PGA อยู่ เทียบกับ scaffold ที่ไม่มี PGA เพราะ PGA จะขัดขวางการหดตัวของฟองน้ำ ทำให้มีปริมาตรที่ว่างซึ่งมีการแทรกซึมและแพร่ของเซลล์มากขึ้น แต่ถ้าจำนวน PGA ใน scaffold ที่ปริมาณ 6.0 mg จะทำให้การแพร่ของเซลล์ลดลง ฉะนั้นจำนวน PGA ที่ 3.0 mg จะดีที่สุด ถ้า PGA ที่มีอยู่ใน scaffold มากเกินไป จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อนำมาใช้งาน

S. Jin Park และคณะ [25] พิล์มผสมไหมไฟโบรอินและไคโตซาน ถูกเตรียมโดยวิธีการเทตัวทำละลาย การรวมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างไหมไฟโบรอินและไคโตซานถูกตรวจสอบโดย (Dynamic mechanical thermal analysis, DMTA) เมื่อเติมไคโตซาน โครงสร้างของไหมไฟโบรอินเปลี่ยนแปลงไปตรวจสอบโดย IR spectroscopy รูปร่างที่เปลี่ยนแปลงของไหมไฟโบรอินจาก random coil ไปเป็นโครงสร้าง β -sheet ถูกเหนี่ยวนำโดยการผสมกับไคโตซานเป็นผลให้ผลึกและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นของฟิล์มผสม พิล์มผสมที่มีไคโตซาน 30% โดยน้ำหนักแสดงความเป็นผลึกและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งจะทำให้ tensile strength และ tensile modulus ของฟิล์มผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของไคโตซาน และค่าสูงสุดที่มีไคโตซานผสมคือ 30% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์

- บีกเกอร์ ขนาด 50 cm³
ขนาด 250 cm³
ขนาด 1000 cm³
- กระจกบอทดวง ขนาด 10 cm³
ขนาด 50 cm³
ขนาด 1000 cm³
- แท่งแก้วคน
- แท่นให้ความร้อน (hotplate)
- กระจกยลิตมัส
- จานเพาะเชื้อ
- กระจกบอกร้อมผ้าปิด
- ถาด
- กรรไกร
- ถุงเซลโลเฟน ชื่อ SnakeSkin[®] Pleated Dialysis Tubing
บริษัท PIERCE
- กระจกยกรอง
PARAFILM
- Aluminium Foil
- กรวยกรอง
- หลอดทดลอง
- ปากกีสบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือที่ใช้

- เครื่องชั่ง
- เครื่องกรองลดความดัน
- ตู้ Freezer
- เครื่อง Autoclave
- เครื่อง Freeze-dryer
- เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile testing machine)
- เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter; DSC)
- เครื่อง Thermalgravimetric analyzer (TGA)
- เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Infrared spectrometer)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การสกัดกาวไหมเซริซินครั้งที่ 1

นำรังไหมไทยนางน้อยมา 30 กรัม ทำการตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไหมไปล้างด้วยน้ำ ประมาณ 2-3 ครั้ง แล้วนำไหมใส่ขวด PP ทำการปิดฝา (ไม่ต้องแน่นมาก)

นำกระบอกดังกล่าวเข้าเครื่อง Autoclave ตั้งอุณหภูมิที่ 121 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

กรองแยกน้ำไหมเซริซินออกจากเส้นไหมไฟโบรอิน จากนั้นนำเส้นไหมไฟโบรอินไปตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

3.4.2 การเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ตารางที่ 3.1 แสดงการละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ในน้ำกลั่น และเอทานอล (หน่วยเป็นกรัม)

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	น้ำกลั่น
73	47	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การลอกกาวยาไหมเซรีซินและไขมัน

นำไหมที่ผ่านการ Autoclave ในหัวข้อ 3.3.1 แล้ว มา 20 กรัม แล้วทำการฉีกให้เป็นฝอย

ใส่ไหมลงในน้ำกลั่น 1000 ml ที่มีสารซักล้าง 2.25 กรัม และ 1.59 กรัม ของ Na_2CO_3 อยู่

ทำการคนและให้ความร้อน ประมาณ 1 ชั่วโมง

จากนั้นเทน้ำต้มทิ้ง แล้วล้างเส้นไหมด้วยน้ำกลั่น ที่อุ่นและเย็นสลับกัน ประมาณ 3-4 ครั้ง

แล้วทำการวัด pH จนเป็นกลาง จากนั้นนำไปตากที่อุณหภูมิห้อง

3.4.4 การละลายไหม

ละลายไหม 10 กรัม ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 100 มิลลิลิตร

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C จนไหมละลายหมด

ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.4.5 การทำ Dialysis

ตัดถุงเซลโลเฟน ยาวประมาณ 15 เซนติเมตร แช่ไว้ในน้ำกลั่น

ใช้ตัวหนีบติดที่ปลายด้านหนึ่งของถุง แล้วล้างด้านในถุงด้วยน้ำกลั่น หลายๆ ครั้ง

ตวงสารละลายไหมประมาณ 5-8 มิลลิลิตร ใส่ลงในถุงเซลโลเฟน

ใช้ตัวหนีบติดปลายอีกด้านที่ปลายอีกด้านที่เหลือ

นำถุงเซลโลเฟนที่มีไหมอยู่ไปแช่ในภาชนะที่บรรจุน้ำกลั่น ทำการปั่นกววนตลอดเวลา

เปลี่ยนน้ำกลั่น ทุก $\frac{1}{2}$ วัน แช่ถุงเซลโลเฟน เป็นเวลา 3 วัน

เมื่อครบ 3 วัน เทสารละลายไหมออกจากถุงเซลโลเฟน จัดบันทึกน้ำหนักรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำทั้งหมดไปกรอง เก็บส่วนน้ำใสงานเพาะเชื้อ
 ↓
 นำไปแช่จนแข็งที่ตู้เย็นอุณหภูมิต่ำ -80°C
 ↓
 แล้วทำการนำน้ำออกด้วยเครื่อง Freeze-dryer
 ↓
 จะได้สารเป็นผงไหมไฟโบรอิน จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าที่ได้

การคำนวณหาปริมาณผงไหมไฟโบรอินที่ได้จากการละลายเส้นไหม
 เปอร์เซ็นต์ผงไหมไฟโบรอิน = $\frac{\text{น้ำหนักผงไหมไฟโบรอิน} \times 100}{\text{น้ำหนักเส้นไหม}}$

3.4.6 การเตรียมไฟโบรอิน Scaffold

ชั่งผงไหมไฟโบรอินที่ได้จากขั้น Freeze-dryer จำนวน 0.34 กรัม ในหลอดทดลอง
 ↓
 ใช้ 1,1,1,3,3-hexafluoro-2-propanol เป็นตัวทำละลายและใช้โพรเจนเป็นเกล็ด 2 ชนิด
 ได้แก่เกล็ด Sodium chloride และเกล็ด Ammonium oxalate
 ↓
 นำผงไหมไฟโบรอิน ละลายใน 1,1,1,3,3-hexafluoro-2-propanol ลงในหลอดทดลอง
 ↓
 ปิดฝาให้แน่น รอจนไหมละลาย
 ↓
 เติมเกล็ด 3.4 กรัม ลงในหลอดทดลอง รอจนไหมจับกันเป็นก้อน
 ↓
 จะได้ชิ้นงานตามลักษณะหลอดทดลอง
 ↓
 นำชิ้นงานออกจากหลอดทดลอง แล้วนำไปแช่ด้วย Methanol เป็นเวลา 1 วัน
 ↓
 จากนั้นนำไปแช่น้ำกลั่น เพื่อละลายเกล็ดจนหมด จะได้ชิ้นงาน มีรูพรุนลักษณะคล้ายฟองน้ำ
 ↓
 แบ่งบางส่วนไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 เตรียมสารละลาย HEMA 0.5 mol/dm^3

3.4.8 เตรียมสารละลาย Ammonium per sulfate (APS) 0.005 mol/dm^3

3.4.9 เตรียมสารละลาย N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine(TMED) 0.005 mol/dm^3

3.4.10 ขั้นตอนการทำ Scaffold ผสม (Hybrid scaffold)

นำไฟโบรอิน Scaffold ที่เตรียมได้จาก 3.4.6 ชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนัก

วัดความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลาง

นำไปแช่ในสารละลาย HEMA 0.5 mol/dm^3 ปริมาตร 50 ml

เติมสารละลายผสมของ TMED และ APS ปริมาตร 0.6 และ 0.5 ml ตามลำดับ ลงใน Scaffold

ที่แช่อยู่ในสารละลาย HEMA แช่ไว้ 7 และ 14 วัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนวันของการแช่มอนอเมอร์

ชนิดของเกล็ด	จำนวนวันที่แช่มอนอเมอร์	จำนวนชิ้น
ออกซาเลต	7	2
	14	2
คลอไรด์	7	2
	14	2

ทำการปั่นจนตลอดเวลา

นำชิ้นงานชิ้นมาล้างด้วยเมทานอล แล้วตากชิ้นงานให้แห้ง

นำชิ้นงานที่แช่มอนอเมอร์ 7 และ 14 วันของเกล็ดทั้งสองไปทดสอบสมบัติต่างๆ

นำชิ้นงานที่แช่มอนอเมอร์ 7 และ 14 วันของเกล็ดทั้งสองชนิด ทำการสกัดด้วยเมทานอล

นำชิ้นงานที่ได้จากการสกัดเมทานอลไปทดสอบสมบัติต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทดสอบสมบัติของไฟโบรอินscaffold

3.5.1 การทดสอบการดูดซับน้ำและการบวมน้ำ

นำก้อนไฟโบรอินที่ได้จากการใช้เกลือ Ammonium oxalate และเกลือ Sodium chloride อย่างละชิ้น

ตัดแต่ละก้อนออกเป็น 4 ชิ้น ชั่งน้ำหนัก

นำชิ้นงานที่ได้จากเกลือทั้งสองชนิด มาแช่ในน้ำกลั่น เป็นเวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง

นำชิ้นมาชั่งน้ำหนัก

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เวลาใดๆ} = \frac{(\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังการแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักชิ้นงานก่อนการแช่น้ำ}) \times 100}{\text{น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ}}$$

3.5.2 ศึกษาความแข็งแรงกดอัด

นำชิ้นงานขนาด 2 x 0.7 cm มาทดสอบ โดยเครื่อง Tensile Testing Machine ใช้ Load cell 100N และตั้งสถานะของเครื่องโดยใช้อัตราเร็วในการกด 50 mm/min

3.5.3 ศึกษาพื้นฐานวิทยา

ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตรวจสอบคุณลักษณะรูพรุนที่พื้นผิวของชิ้นงาน

3.5.4 ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว

ใช้เครื่อง TGA เพื่อตรวจสอบว่า PHEMA เกิดการตอกกิ่งบนเส้นไหมไฟโบรอิน หรือเกิดไฮโมพอลิเมอร์แทรกสอดใน Scaffold

3.5.5 ศึกษาหมู่ฟังก์ชัน

ใช้เครื่อง FTIR เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของโปรตีนและตรวจสอบว่า HEMA

มีผลอย่างไรต่อโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทดลองเตรียม Scaffold เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจจะใช้สัญลักษณ์ S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 และ S8 ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงอักษรย่อตัวอย่างต่างๆของไหมไฟโบรอินและ Scaffold จากกระบวนการต่างๆ

สัญลักษณ์	ความหมาย
S1	Silk
S2	Fibroin Freeze-dried
S3	White powder
S4	Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen
S5	Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen
S6	Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days
S7	Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days
S8	Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days
S9	Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days
S10	Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol
S11	Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol
S12	Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol
S13	Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลการดูดซับน้ำ

ตารางที่ 4.2 ผลการดูดซับน้ำ

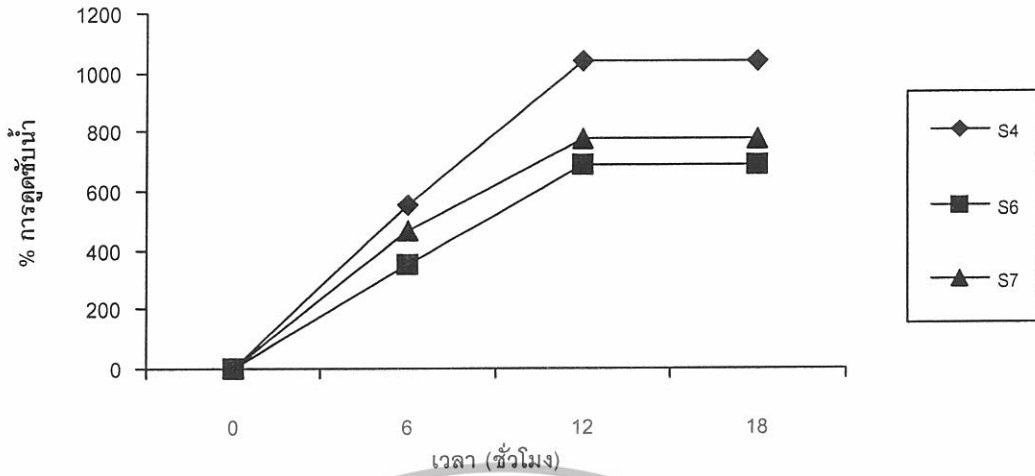
สูตร	น้ำหนักแห้ง ก่อนแช่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักหลังแช่ น้ำ 6 ชั่วโมง (กรัม)	% การดูด ซับน้ำ	น้ำหนักหลังแช่ น้ำ 12 ชั่วโมง (กรัม)	% การดูด ซับน้ำ	น้ำหนักหลังแช่ น้ำ 18 ชั่วโมง (กรัม)	% การดูด ซับน้ำ
S4	0.2887	1.8887	554	3.2780	1035	3.2798	1036
S5	0.2344	1.5344	555	2.5877	1004	2.5900	1004
S6	0.2556	1.1556	352	2.0186	690	2.0200	690
S8	0.2856	1.4856	420	2.4929	773	2.4938	773
S7	0.3217	1.8217	466	2.8215	777	2.8250	778
S9	0.2842	1.6842	493	2.9124	923	2.9174	926

น้ำ Scaffold ที่เตรียมได้จากเกลือ Ammonium Oxalate และ Sodium Chloride ทั้งก่อนและหลังแช่ในสารละลาย HEMA เป็นระยะเวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง มาทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำภายใน 18 ชั่วโมง พบว่า Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate ดูดซับน้ำได้ดีกว่า Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride

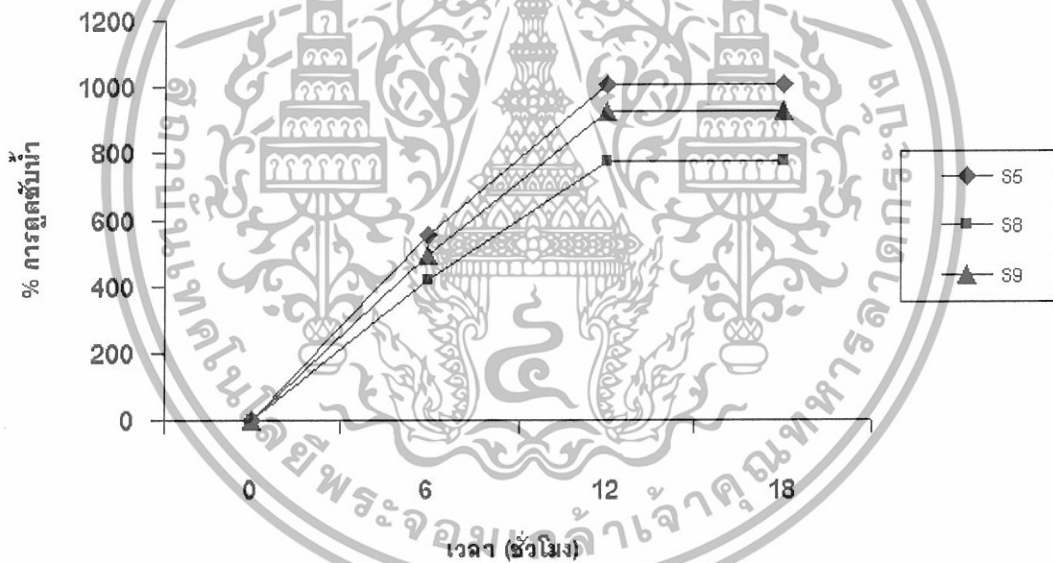
Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate ซึ่งผ่านการแช่ในสารละลาย HEMA เป็นเวลา 7-14 วัน เมื่อนำมาทำให้แห้ง และทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่า ดูดซับน้ำได้น้อยกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้แช่ HEMA คือ ลดลงจาก 1036% ลงมาเป็น 690-778% แสดงว่า PHEMA ที่เกิดขึ้นทำให้รูพรุนของ Scaffold อุดตัน น้ำที่จะเข้าไปในรูพรุนน้อยลง

Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride ให้ผลในการทำงานเดียวกับ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการดูดซับน้ำของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการดูดซับน้ำของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

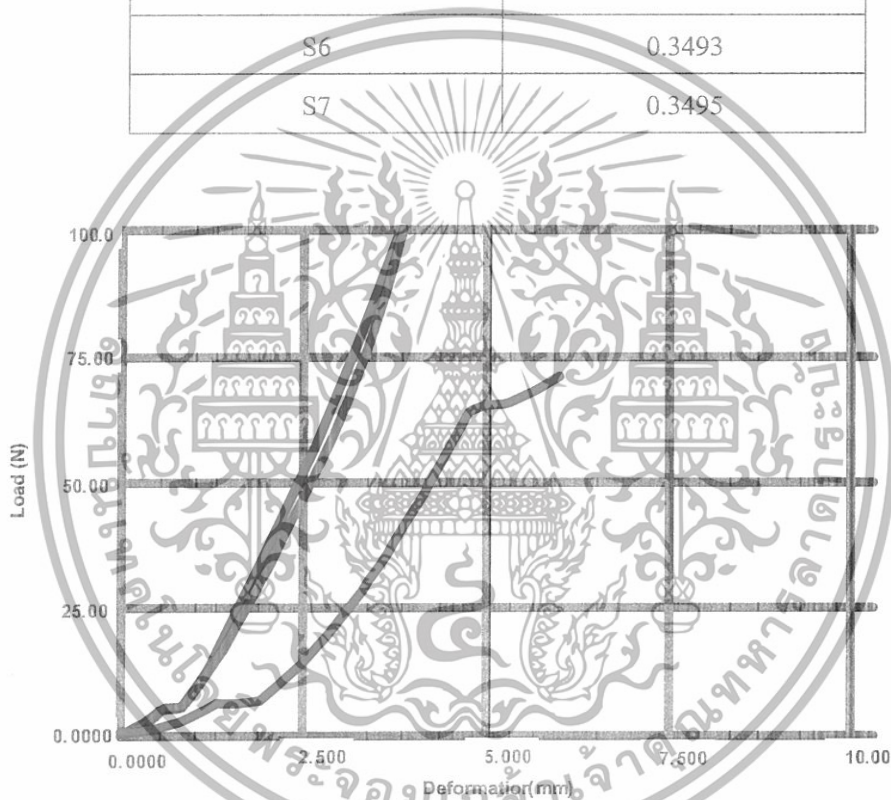
4.2 การทดสอบการรับแรงกดอัด

Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate

เมื่อนำไปทดสอบการรับแรงกดอัด พบว่า S7 สามารถรับแรงกดอัดได้สูงสุด เนื่องจากมี PHEMA ไปเกาะบริเวณ Scaffold มากกว่า S6 และ S4

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบแรงกดอัดของ Scaffold ที่เตรียมได้จากเกลือ Ammonium Oxalate

ตัวอย่าง	ค่า Strength (N/ mm ²)
S4	0.2458
S6	0.3493
S7	0.3495



รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบแรงกดของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate

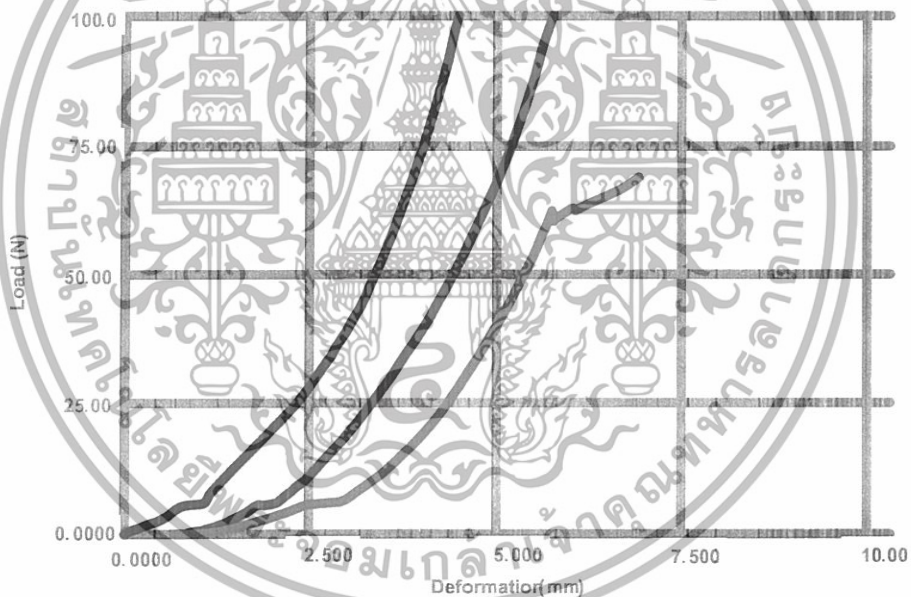
- Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen
- Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days
- Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Scaffold ที่เตรียมได้จากเกลือ Sodium Chloride
เมื่อนำไปทดสอบการรับแรงกดอัด พบว่าให้ผลในทำนองเดียวกับ Scaffold ที่เตรียมจาก
เกลือ Ammonium Oxalate

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบแรงกดอัดของ Scaffold ที่เตรียมได้จากเกลือ Sodium Chloride

ตัวอย่าง	ค่า Strength (N/ mm ²)
S5	0.2472
S8	0.3496
S9	0.3618

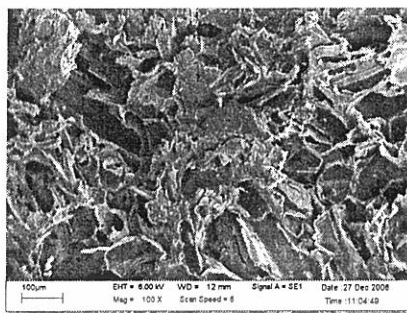


รูปที่ 4.แสดงการทดสอบแรงกดอัดของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride

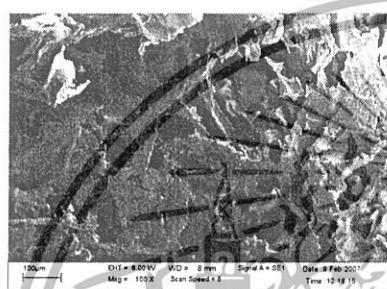
- █ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen
- █ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days
- █ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

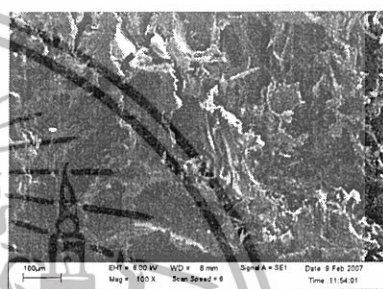
4.3 ฐานวิทยโดย Scanning electron microscopy (SEM) กำลังขยาย 100เท่า ภาพถ่าย SEM ด้านหน้าของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate



(a)



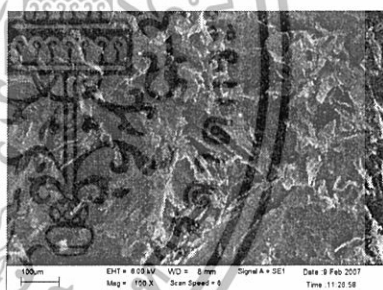
(b)



(b')



(c)

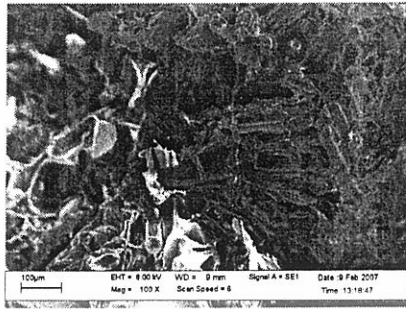


(c')

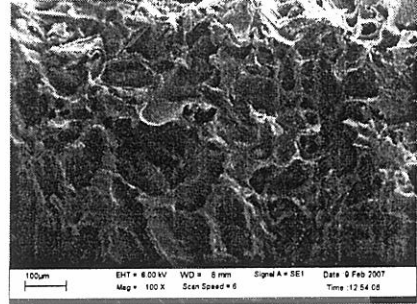
- รูปที่ 4.5 (a) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen
 (b) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days
 (b') ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol
 (c) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days
 (c') ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

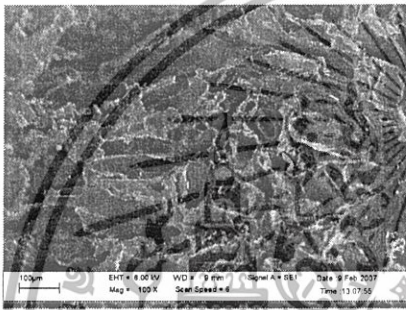
ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate



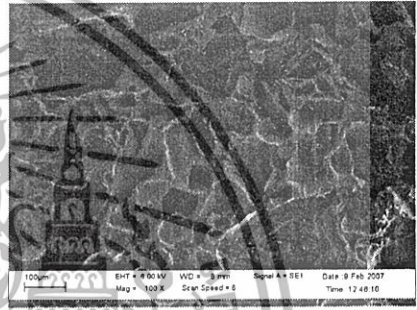
(d)



(d')



(f)



(f')

รูปที่ 4.6 (d) ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days

(d') ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol

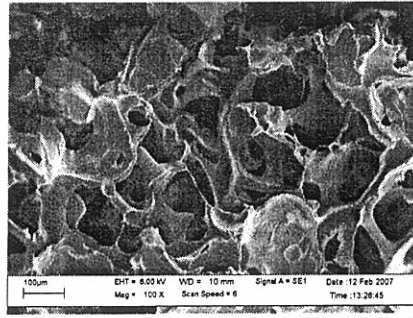
(f) ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days

(f') ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol

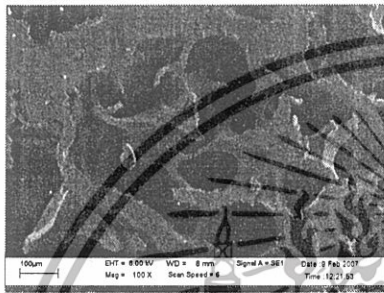
Scaffold ที่เตรียมได้จากเกลือ Ammonium Oxalate พบว่าจะเกิดการเกาะของ PHEMA บน Scaffold เมื่อแช่สารละลาย HEMA เป็นเวลา 7 วัน และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อแช่สารละลาย HEMA เป็นเวลา 14 วัน เมื่อนำไปสกัดด้วยสารละลายเมทานอลพบว่าสารละลายเมทานอลจะละลาย PHEMA ออกมาหมดเมื่อนำไปส่องด้วย SEM อีกครั้งจึงไม่พบการเกาะของ PHEMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

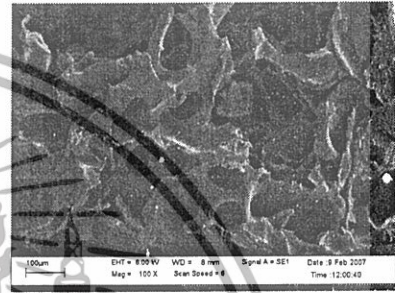
ภาพถ่าย SEM ด้านหน้าของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride



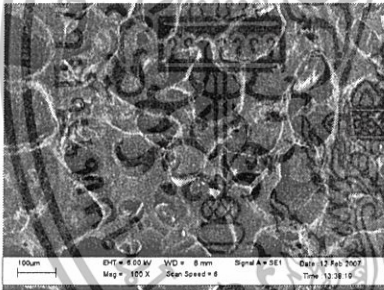
(g)



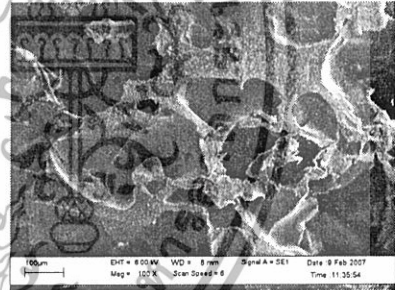
(h)



(h')



(i)

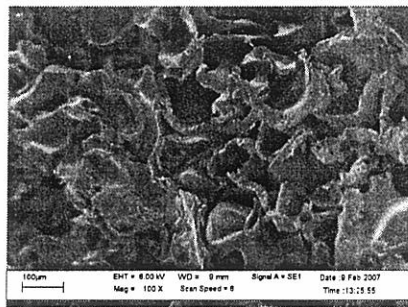


(i')

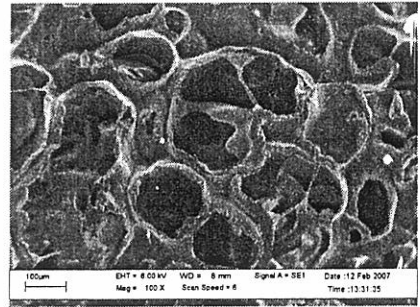
- รูปที่ 4.7 (g) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen
 (h) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days
 (h') ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol
 (i) ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days
 (i') ภาพ SEM ด้านหน้าของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

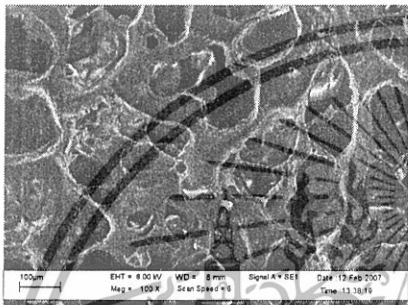
ภาพถ่าย SEM ด้านข้างของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride



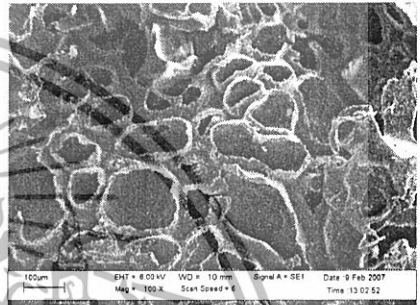
(j)



(j')



(k)



(k')

รูปที่ 4.8 (j) ภาพ SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days

(j') ภาพ SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol

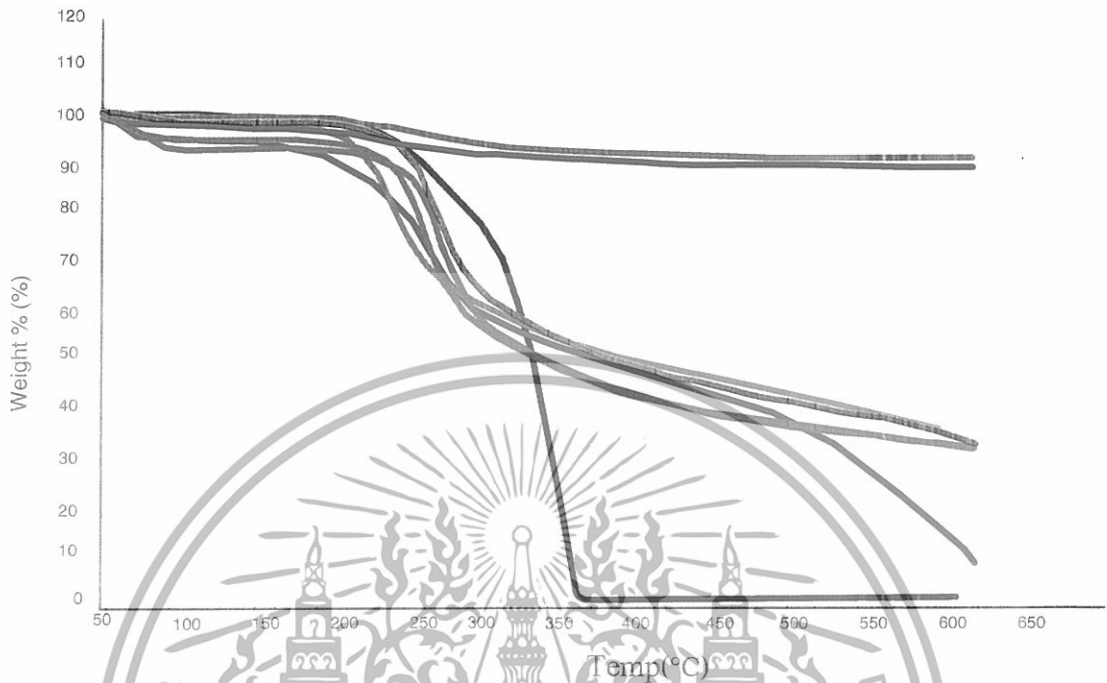
(k) ภาพ SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days

(k') ภาพ SEM ด้านข้างของ Scaffold prepare by using Sodium Chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol

Scaffold ที่เตรียมได้จากเกลือ Sodium chloride พบว่าจะเกิดการเกาะของ PHEMA บน Scaffold เมื่อแช่สารละลาย HEMA เป็นเวลา 7 วัน และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อแช่สารละลาย HEMA เป็นเวลา 14 วัน เมื่อนำไปสกัดด้วยสารละลายเมทานอลพบว่าสารละลายเมทานอลจะละลาย PHEMA ออกมาหมดเมื่อนำไปส่องด้วย SEM อีกครั้งจึงไม่พบการเกาะของ PHEMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

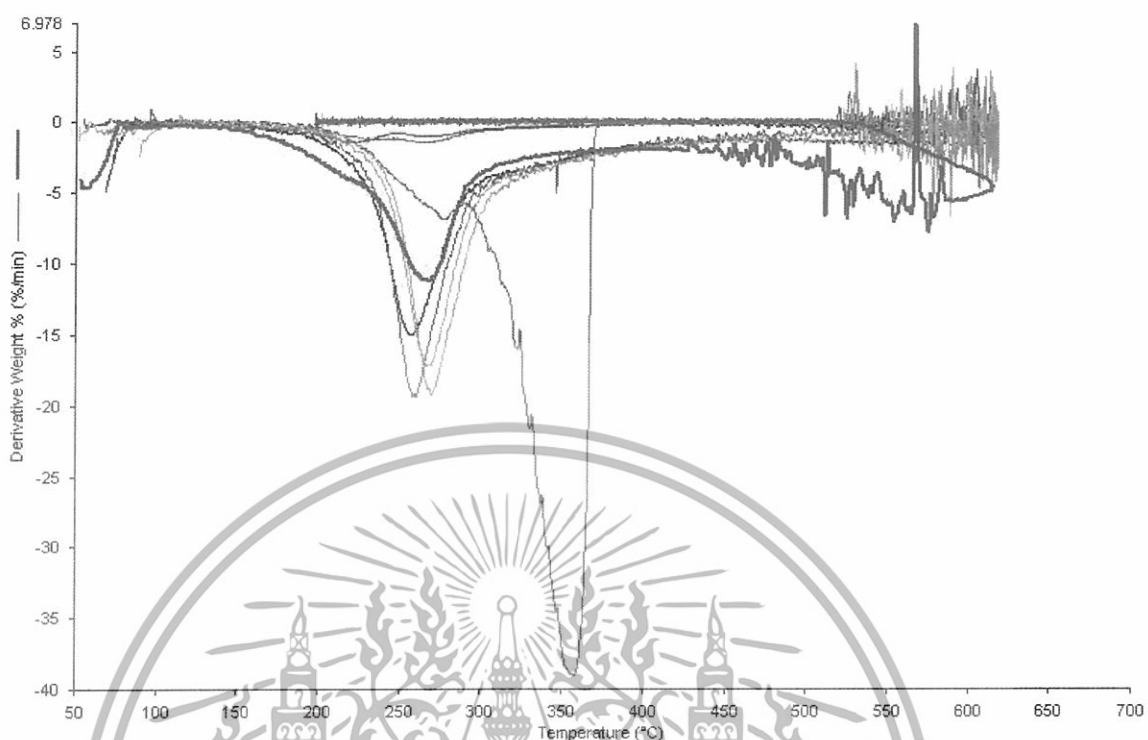
4.4 อุณหภูมิการสลายตัว ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis(TGA)



รูปที่ 4.9 กราฟ TGA ของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate

- █ White Powder precipitate from the reaction during soaking fibroin scaffold in HEMA
- █ Silk
- █ Fibroin Freeze-dried
- █ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen
- █ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days
- █ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days
- █ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol
- █ Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟ Derivative TGA ของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium Oxalate

- Silk
- Fibroin Freeze-dried
- White Powder precipitate from the reaction during soaking fibroin scaffold in HEMA
- Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen
- Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days
- Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days
- Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol
- Scaffold prepare by using Ammonium Oxalate as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol

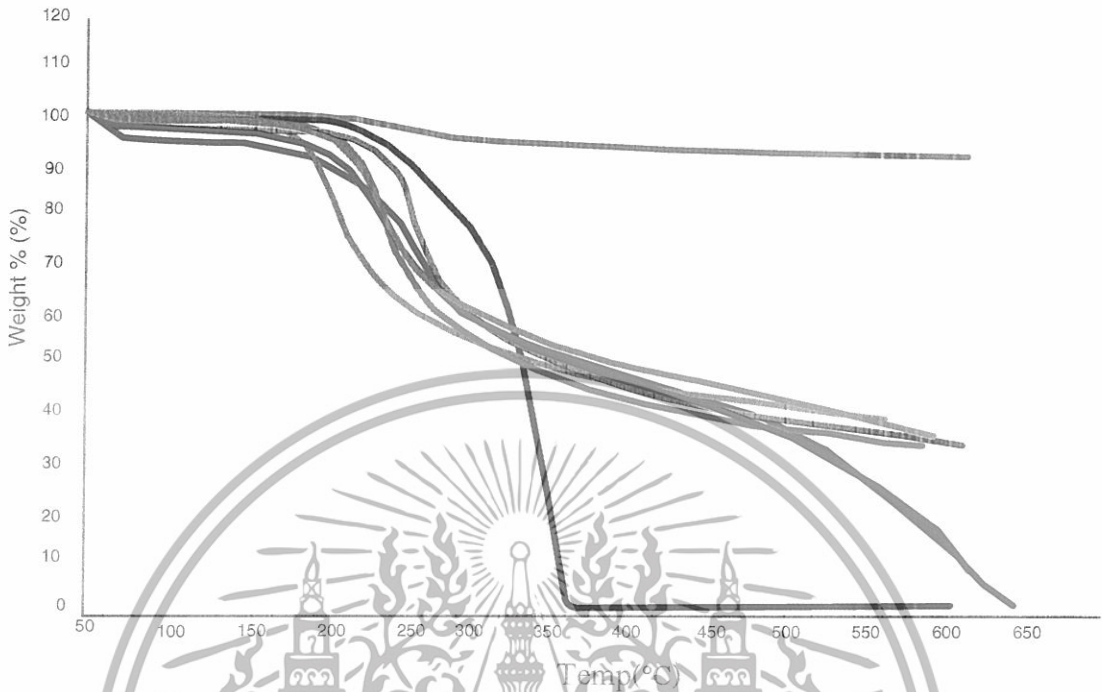
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัวของ Scaffold เตรียมจากเกลือ Ammonium oxalate และเปอร์เซ็นต์ของกากที่เหลือ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	เปอร์เซ็นต์ที่กากเหลือ (%)
S1	267.379	8
S2	258.047	28
S3	358.394	2
S4	259.768	31
S6	264.136	90
S7	222.502	90
	270.732	
S10	270.166	33
S11	267.988	30

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าเมื่อนำ Scaffold ไปแช่สารละลาย HEMA เป็นเวลา 7 วัน ปริมาณในการสลายตัวจะลดลงและอุณหภูมิสลายตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ Scaffold ที่ไม่แช่สารละลาย HEMA เนื่องจากมี PHEMA เข้าไปเกาะอยู่บนบริเวณพื้นผิว แต่เมื่อนำ Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA 7 วัน ไปสกัดด้วยเมทานอล พบว่ามีปริมาณการสลายตัวใกล้เคียงกับ Scaffold ที่ไม่แช่สารละลาย HEMA และมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ Scaffold ที่ไม่แช่สารละลาย HEMA เนื่องจากเมื่อสกัดด้วยเมทานอลจะละลาย ไฮโดรพอลิเมอร์ของ HEMA ออกมา และทำให้ไหมเกิดการจับตัวเป็น β -sheet มากขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่าพอลิเมอร์เกิดการเกาะบนพื้นผิว แต่ไม่เกิดการตอกกับ Scaffold เมื่อสกัดด้วยเมทานอล ไฮโดรพอลิเมอร์จึงละลายออกมา ส่วน Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA 14 วัน มีปริมาณการสลายตัวเช่นเดียวกับ Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA 7 วัน

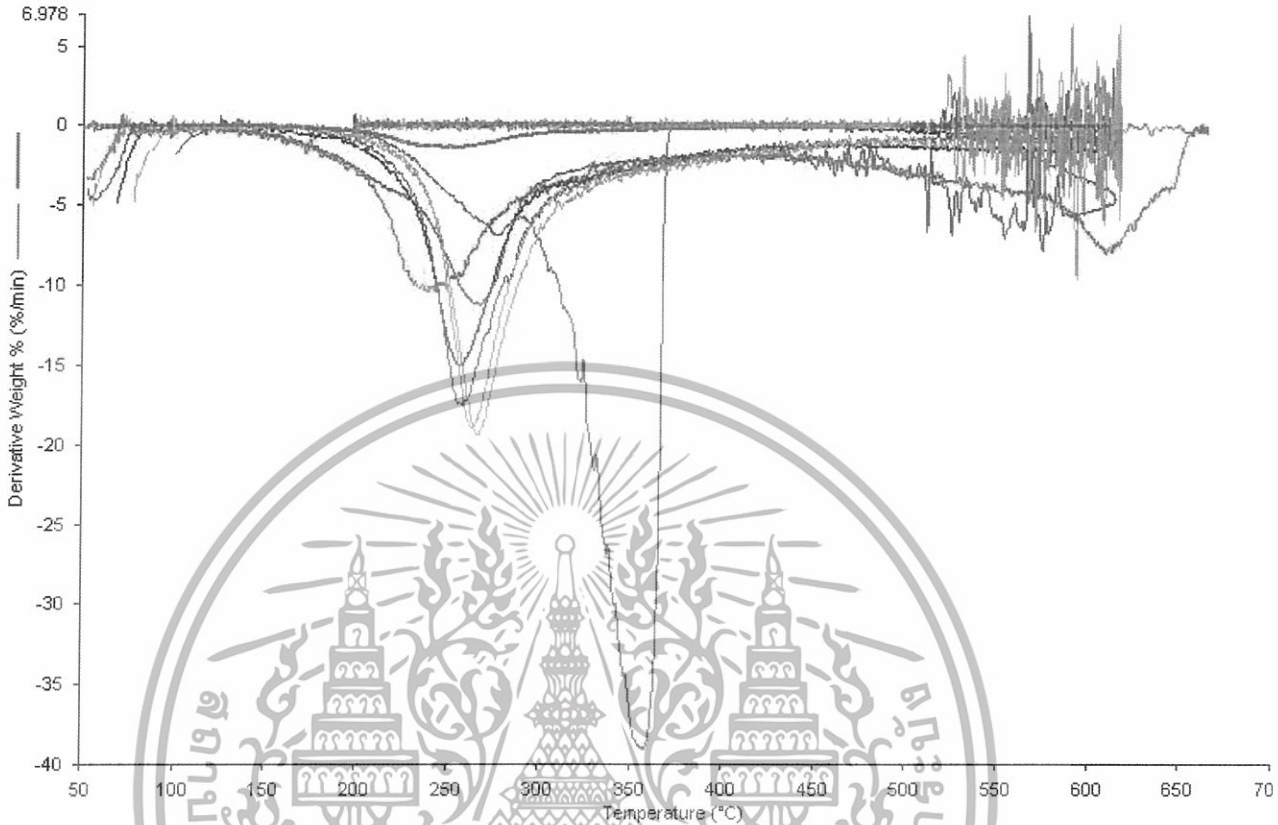
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟ TGA ของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride

- silk
- Fibroin Freeze-dried
- White Powder precipitate from the reaction during soaking fibroin scaffold in HEMA
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟ Derivative TGA ของ Scaffold ที่เตรียมโดยใช้ Sodium Chloride

- Silk
- Fibroin Freeze-dried
- White Powder precipitate from the reaction during soaking fibroin scaffold in HEMA
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen and soaking in HEMA 7 days after extraction with methanol
- Scaffold prepare by using Sodium chloride as Porogen and soaking in HEMA 14 days after extraction with methanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

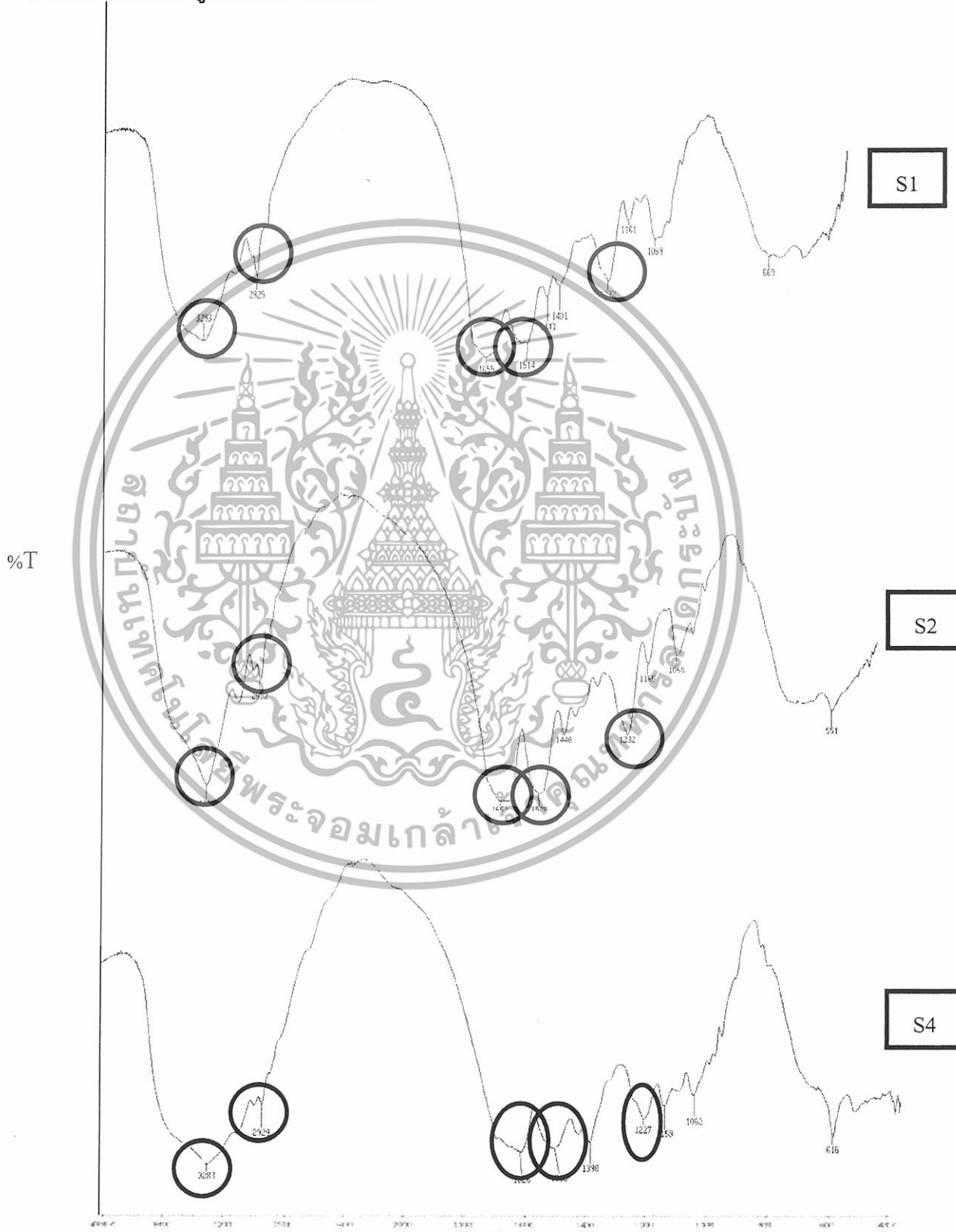
ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการสลายตัวของ Scaffold เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride และเปอร์เซ็นต์ของกากเหลือ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	เปอร์เซ็นต์ที่กากเหลือ (%)
S1	267.379	8
S2	258.047	28
S3	358.394	2
S5	258.308	33
S8	264.670	92
S9	241.933 610.965	-
S12	271.250	26
S13	267.988	31

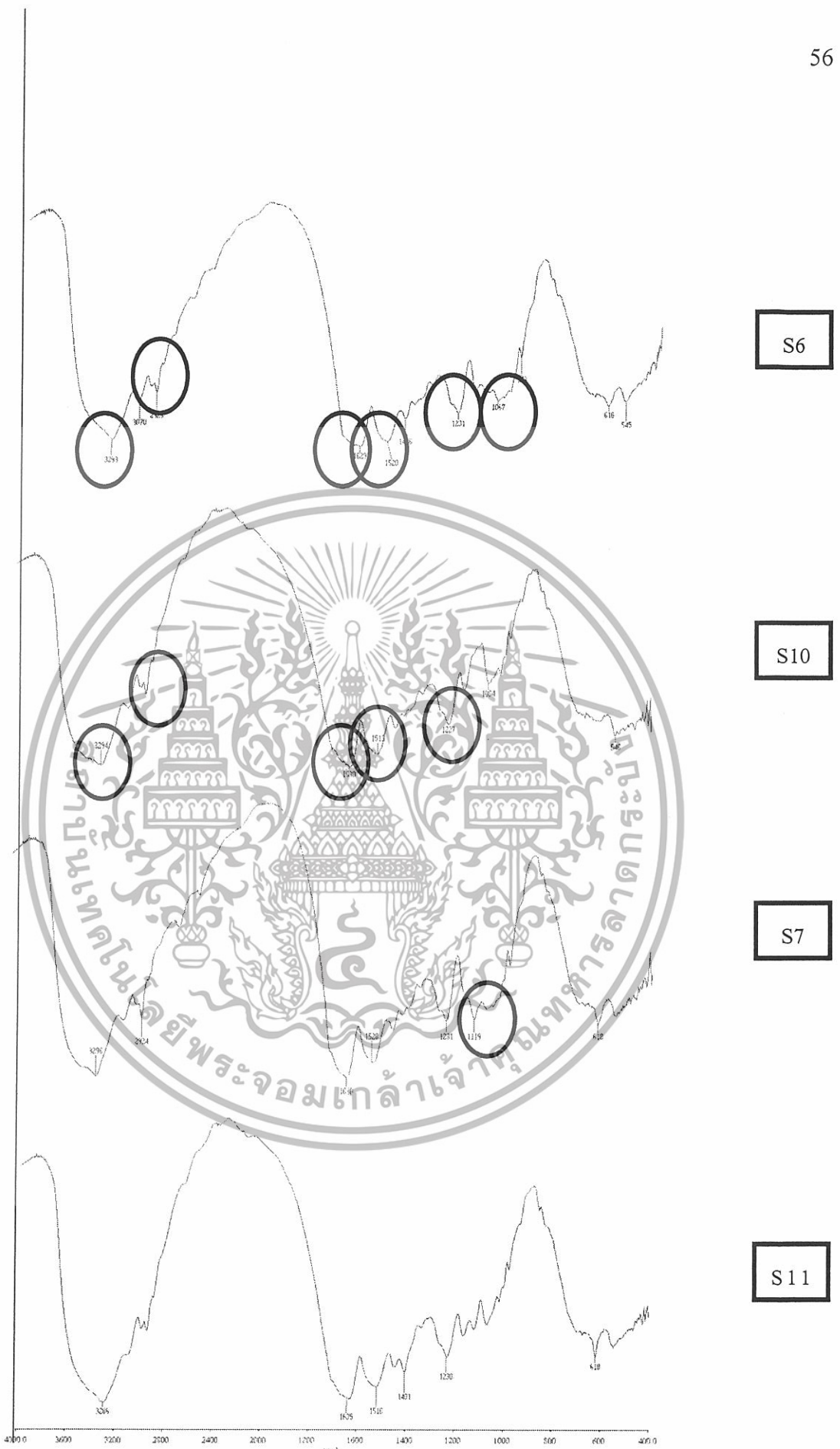
จากรูป 4.11 และ 4.12 พบว่าปริมาณ และอุณหภูมิการสลายตัวของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium chloride ให้ผลในการทำงานเดียวกับ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium oxalate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ Scaffold แต่ละตัวอย่างของเกลือ Ammonium oxalate ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ Scaffold แต่ละตัวอย่างของเกลือ Ammonium oxalate เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 จาก IR spectrum ของ S1 จะปรากฏพีคที่เลขคลื่น 3293 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ N-H Stretching , 2925 cm^{-1} เป็นพีคของ C-H Stretching , $1600\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ เป็นพีคของ Amide I, $1510\text{-}1580\text{ cm}^{-1}$ เป็นพีคของ Amide II และที่เลขคลื่น 1232 cm^{-1} เป็นพีคของ C-N Stretching

IR spectrum ของ S2 และ S4 จะปรากฏพีคที่เลขคลื่นเช่นเดียวกับ S1 แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันเพิ่มขึ้นจาก S1

IR spectrum ของ S6 จะปรากฏพีคเพิ่มขึ้นสองพีคคือ ที่เลขคลื่น 3293 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ O-H Stretching จะปรากฏที่ตำแหน่งเดียวกับ N-H Stretching และที่เลขคลื่น 1121 cm^{-1} เป็นพีค C-O Stretching ของอีเทอร์

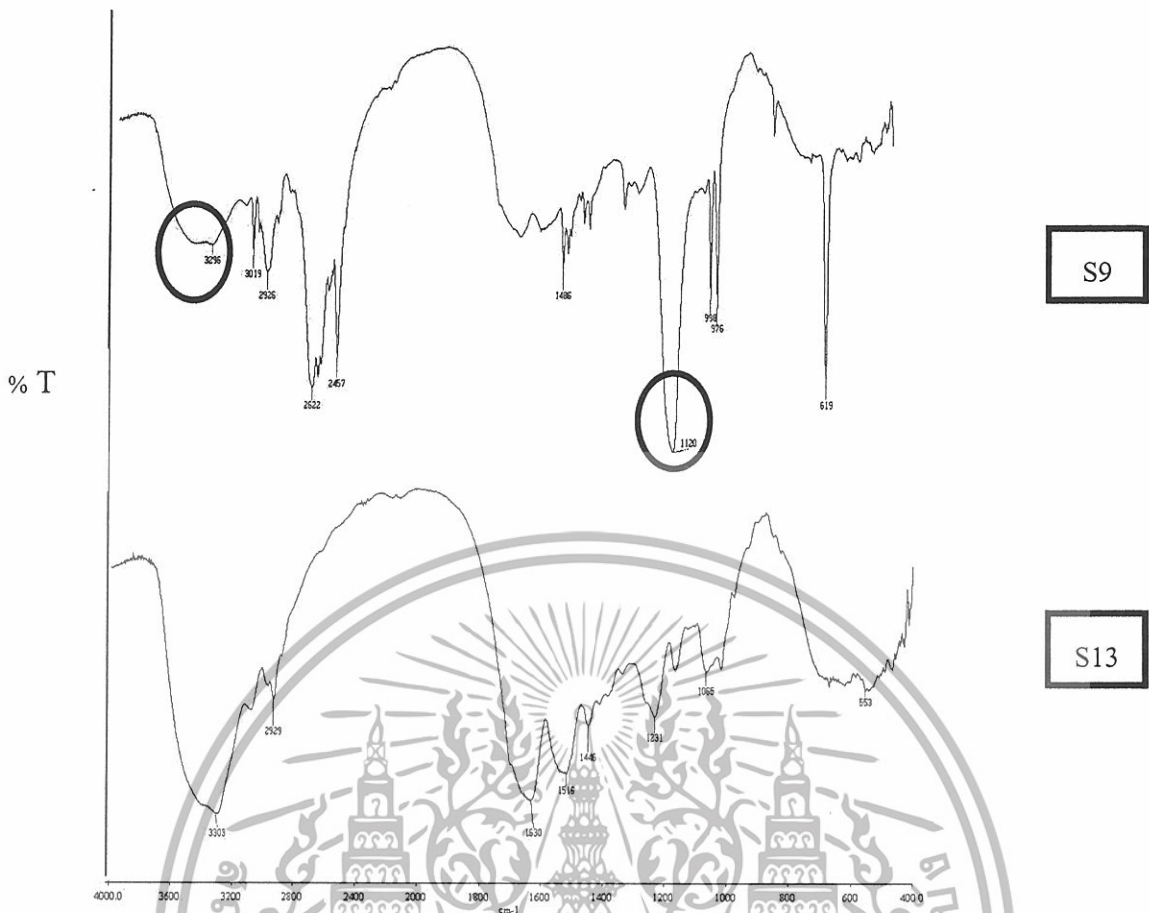
ส่วน IR spectrum ของ S7 จะปรากฏพีคที่ตำแหน่งเดียวกับ S6 แต่เมื่อนำ S6 และ S7 มาสกัดด้วยเมทานอล พบว่าพีคที่เลขคลื่น $1118\text{-}1121\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีค C-O Stretching ของอีเทอร์หายไป แสดงว่าไม่เกิดการต่อกิ่งของ PHEMA บน Scaffold



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ Scaffold แต่ละตัวอย่างของเกลือ Sodium Chloride เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายขาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ Scaffold แต่ละตัวอย่างของเกลือ Sodium Chloride

จากรูปที่ 4.14 IR spectrum ของ Scaffold ที่ทำจากเกลือ Sodium Chloride ให้ผลในทำนองเดียวกับ Scaffold ที่ทำจากเกลือ Ammonium Oxalate คือ IR spectrum ของ S5 จะปรากฏพีคที่เลขคลื่นเช่นเดียวกับ S1 แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันเพิ่มขึ้นจาก S1 เมื่อนำเส้นไหมมาทำเป็น Scaffold

IR spectrum ของ S8 จะปรากฏพีคเพิ่มขึ้นสองพีคคือ ที่เลขคลื่น 3293 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ O-H Stretching จะปรากฏที่ตำแหน่งเดียวกับ N-H Stretching และที่เลขคลื่น 1121 cm^{-1} เป็นพีค C-O Stretching ของ อีเทอร์

ส่วน IR spectrum ของ S9 จะปรากฏพีคที่ตำแหน่งเดียวกับ S8 แต่เมื่อนำ S8 และ S9 มาสกัดด้วยเมทานอล พบว่าพีคที่เลขคลื่น $1118\text{-}1121\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีค C-O Stretching ของอีเทอร์หายไป แสดงว่าไม่เกิดการต่อกิ่งของ PHEMA บน Scaffold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลจากการดูดซับน้ำ พบว่า Scaffold ที่เตรียมจากเกลือทั้งสองชนิดโดยไม่แช่สารละลาย HEMA มีค่าการดูดซับน้ำได้ดีกว่า Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA ทั้ง 7 วัน และ 14 วัน เนื่องจาก PHEMA เข้าไปอุดตามรูพรุนของ Scaffold จึงทำให้ค่าการดูดซับน้ำลดลง แต่ Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA 14 วัน จะมีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่า Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA 7 วัน เนื่องจาก 7 วันแรก PHEMA ไปเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของ Scaffold จึงเกิดการปิดรูพรุน แต่เมื่อใช้เวลานานขึ้น PHEMA ที่ปกคลุมที่ผิวดูดซับน้ำได้บางส่วน ค่าการดูดซับน้ำจึงเพิ่มขึ้น

2. ผลจากสมบัติเชิงกล พบว่า Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium Chloride สามารถรับแรงกดอัดได้มากกว่า Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium oxalate เล็กน้อย แสดงว่า ลักษณะรูพรุนแบบสี่เหลี่ยมรับแรงได้ดีกว่าแบบทรงกระบอก

3. จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning electron microscopy (SEM) พบว่า Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Sodium chloride ที่แช่สารละลาย HEMA ทั้ง 7 วัน และ 14 วัน แสดงให้เห็นถึงการเกาะของ PHEMA บน Scaffold และมีปริมาณมากกว่า Scaffold ที่เตรียมจากเกลือ Ammonium oxalate

4. ผลจากเทคนิค TGA พบว่าเมื่อนำ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือทั้งสองชนิดมาแช่สารละลาย HEMA เป็นเวลา 7 วัน จะมีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับ Scaffold ที่ไม่แช่สารละลาย HEMA แต่เมื่อนำ Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA 7 วัน มาสกัดด้วยสารละลายเมทานอลแล้วนำมาทดสอบอีกครั้งด้วย TGA พบว่า จะมีอุณหภูมิการสลายตัวใกล้เคียงกับ Scaffold ที่ไม่แช่สารละลาย HEMA ส่วน Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA 14 วัน ให้ผลในการทำงานเดียวกันกับ Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA 7 วัน แสดงว่าภายใต้สภาวะการทดลองนี้ไม่เกิดการตอ่กิ่งของ PHEMA บน Scaffold ของไหมไฟโบรอิน

5. ผลจากเทคนิค FTIR ของ Scaffold ที่เตรียมจากเกลือทั้งสองชนิด แสดงสเปกตรัมเฉพาะของไหมไฟโบรอินที่เลขคลื่น 3229 cm^{-1} เป็นพีกของ N-H Stretching และที่เลขคลื่น 1655 กับ 1514 cm^{-1} เป็นพีกของ Amide I, Amide II ตามลำดับ เมื่อนำไปแช่สารละลาย HEMA จะแสดงสเปกตรัมเฉพาะของ HEMA ที่เลขคลื่น 3229 cm^{-1} เป็นพีกของ O-H Stretching และที่เลขคลื่น $1118-1121\text{ cm}^{-1}$ เป็นพีก C-O Stretching ของอีเทอร์ แต่เมื่อนำ Scaffold ที่แช่สารละลาย HEMA มาสกัดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทานอล พบว่าพีคของ O-H Stretching และพีค C-O Stretching ของอีเทอร์หายไป แสดงว่า ภายใต้อุณหภูมิการทดลองนี้ไม่เกิดการต่อกิ่งของ PHEMA บน Scaffold ของไหมไฟโบรอิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาตัวริเริ่มปฏิกิริยา oxidizing และ reducing agent ตัวอื่นที่ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น
2. ควรมีการให้ความร้อนกับสารละลาย HEMA เพื่อให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น
3. ควรเพิ่มสภาวะการทดลองให้หลากหลายมากขึ้น เพื่อศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ต่าง ๆ กัน
4. ควรเก็บผงไหม และตัวอย่าง Scaffold ที่เตรียมได้ในในเดซิเคเตอร์ หรือในภาชนะที่มีมิดชิด เนื่องจากผงไหม และ Scaffold สามารถดูดความชื้น ได้มีผลให้สมบัติเปลี่ยนไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา วิทยาศาสตร์เส้นใย พิมพ์ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2543.
- [2] อภิชาติ สนธิสมบัติ กระบวนการเคมีสิ่งทอ พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ 2543.
- [3] มณฑา จันท์เกตุเถียด วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 1 สมาคมเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชินูปถัมภ์ กรุงเทพฯ 2541.
- [4] ลลิตา บุญโสม “สมบัติทางกายภาพและการย่อยสลายของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ ไวนิลมอนอเมอร์” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546.
- [5] นवलจันทร์ โชคทวีทรัพย์, นิภาพรรณ โสคติยานนท์ และศิริเนตร ประดับวงศ์. 2545. “การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/Sericin โดยวิธีการนำรังสี และการปรับสภาพด้วยความร้อน.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] ชนิตา พงษ์ลิมา นนท์ เคมีอินทรีย์เบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 4 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กรุงเทพฯ 2542.
- [7] อัจฉราพร ไสละสูต “ความรู้เรื่องผ้า” พิมพ์ครั้งที่ 10 สร้างสรรค์-วิชาการ กรุงเทพฯ 2539
- [8] โสภณ เรืองสำราญ ออมร เพชรสม ศุภสร พัฒนอักษรและสุรัชย์ พลภักกุล อินทรีย์เคมี II พิมพ์ครั้งที่ 3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2545.
- [9] <http://employees.csbsju.edu/hjakubowski/classes/ch331/prostructure/olunderstandcomfo.html>
- [10] ชัยวัฒน์ เจนวณิชย์ “เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน” พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ 2527.
- [11] 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
- [12] T. Arai., H. Ishikawa., G. Freddi., S. Winkler and M. Tsukada 2001. Chemical Modification of *Bombyx Mori* Silk Using Isocyanates. **Journal of Applied Polymer Science.** 79: 1756 – 1763.
- [13] วัฒนา คล้ายศรีศรี “ การปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยไหมโดยวิธีการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ใน เอทานอลและน้ำ” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547.

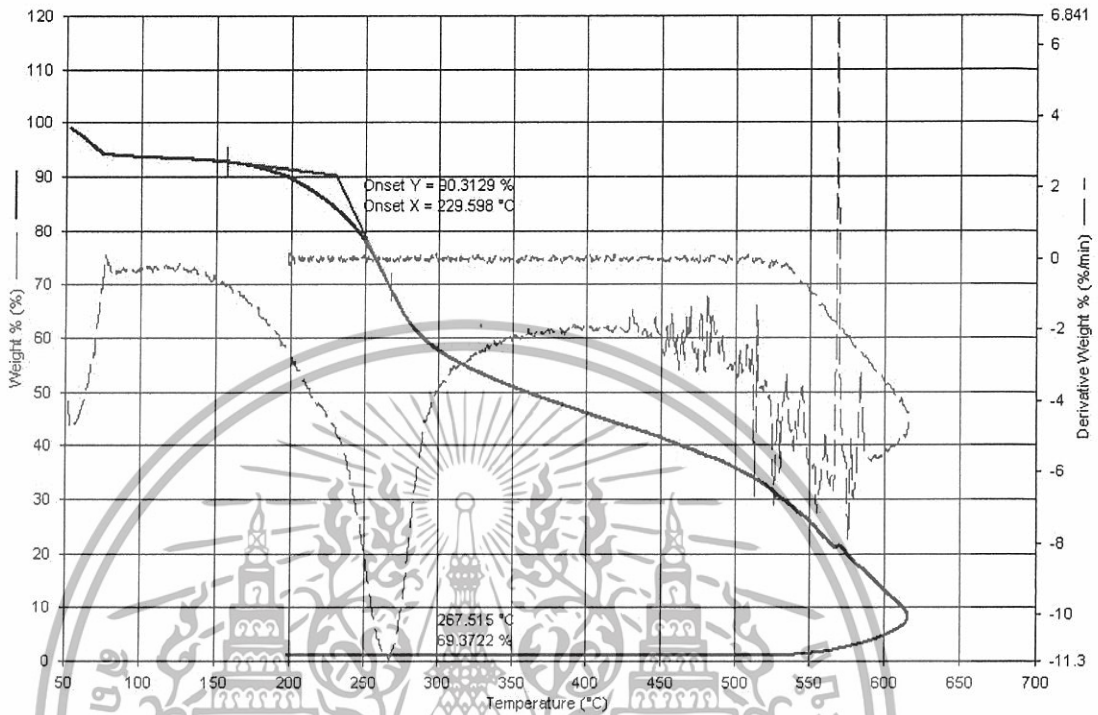
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

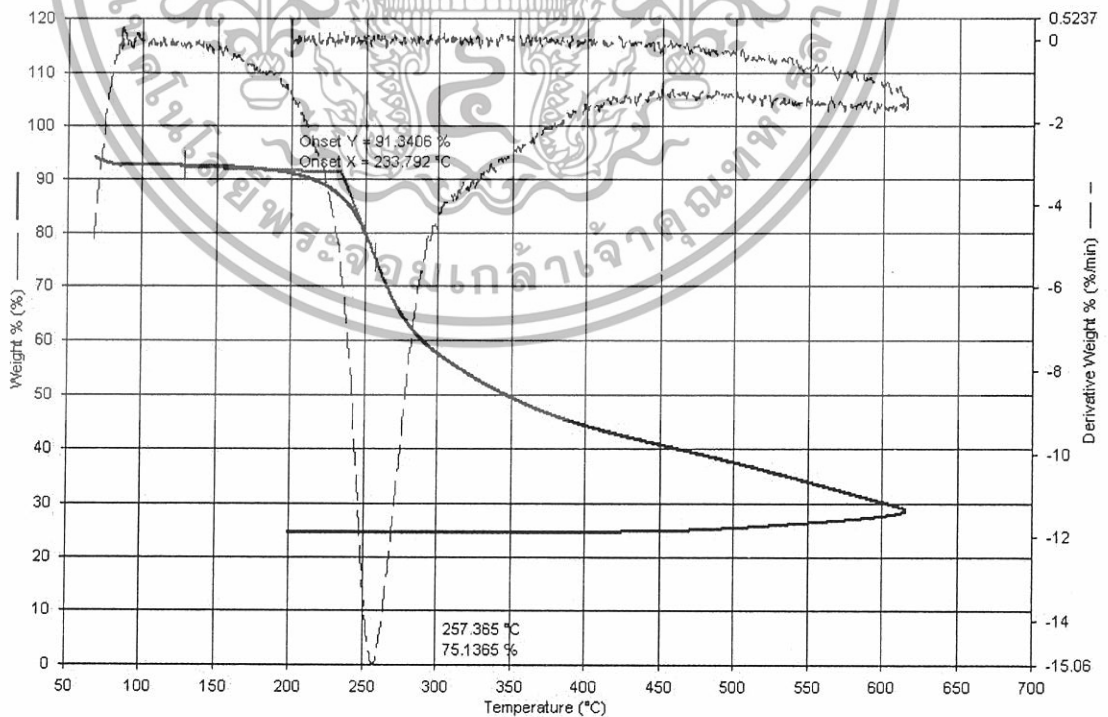
- [14] ภาณุพงศ์ ภูทะวัง. 2547. "การศึกษาผลของเซรีซินชนิดต่างๆที่มีต่อสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์". โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [15] Antonio J.S., Olga P.C. and Rui L.R. 2004. Bone Tissue Engineering state of the art and future trends. **Macromolecular Bioscience**.4:743-765
- [16] www.materialstoday.com/pdfs_7_5/ma.pdf
- [17] Gregory M. and Michael J. 2001. Hydrogels that undergo volumetric expansion in response to changes in their environment and their methods of manufacture and use. **Pharm/Biotech Resources**. 804935.
- [18] H.Y.Kweon; et.al.2001.Preparation of Semi-Interpenetrating Polymer Networks Composed of Silk Eibroin and Poly(ethylene glycol) Macromer, **Journal of Applied Polymer Science**. 80 : 1848-1853
- [19] 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
- [20] M. Li., S. Lu., Z. Wu., K. Tan , N. Minoura and S. Kuga 2002. Structure and properties of silk fibroin-poly(vinyl alcohol) gel. **Biological Macromolecules**. 30: 89-94
- [21] R. Nazarov., H-J. Jim. and D.L. Kplan 2004. Porous 3-D Scaffold from Regenerated Silk Fibroin. **Biomacromolecules**. 5: 718-726
- [22] Y. Liu., Z. Shao., P. Zhou and X. Chen 2004. Thermal and crystalline behaviour of fibroin / nylon 66 blend films. **Polymer**. 45: 7705-7710
- [23] U-J. Kim., J. Park., H.J. Kim., M. Wada and D.L. Kaplan 2005. Three-dimensional aqueous-derived biomaterial scaffolds from silk fibroin. **Biomaterials**. 26: 2775-2785
- [24] A. Hokugo., T. Takamoto and Y. Tabata 2006. Preparation of hybrid scaffold from fibroin and biodegradable polymer fiber. **Biomaterials**. 27: 61-67
- [25] S. Jin Park., K. Yong Lee., W. Shik Ha and S. Young Park. Structural Changes and Their Effect on Mechanical Properties of Silk Fibroin/Chitosan Blends. **Journal of Applied Polymer Science**. 74: 2571-2575

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

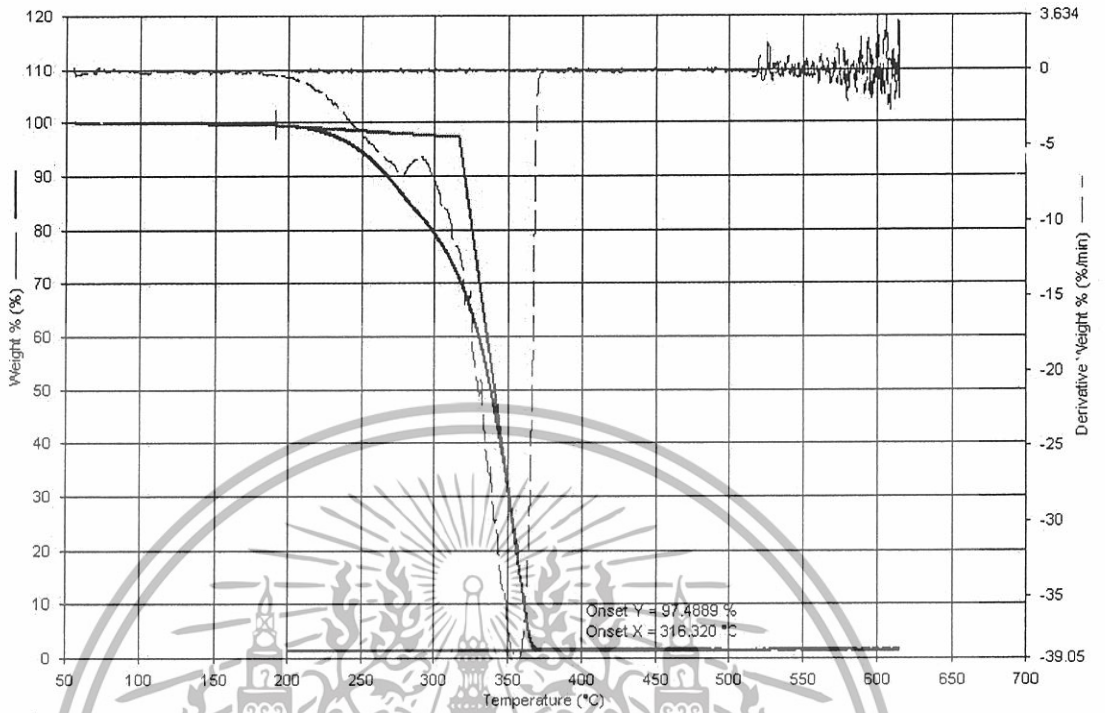


รูปที่ 1 แสดงผล TGA ของ S1

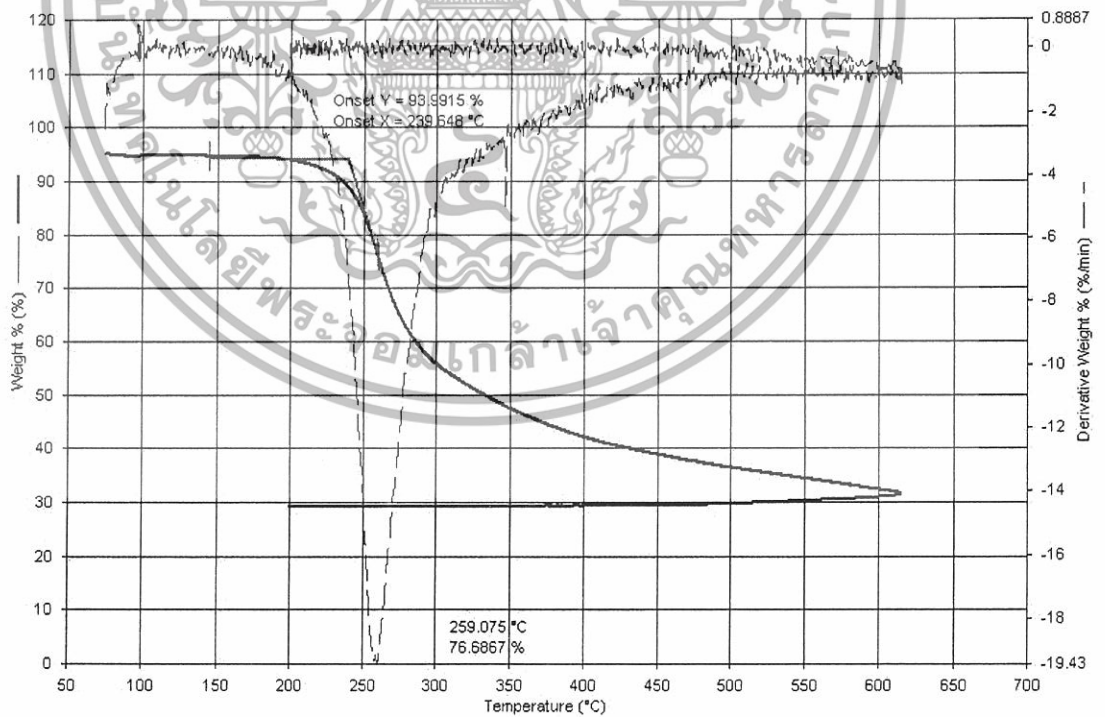


รูปที่ 2 แสดงผล TGA ของ S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

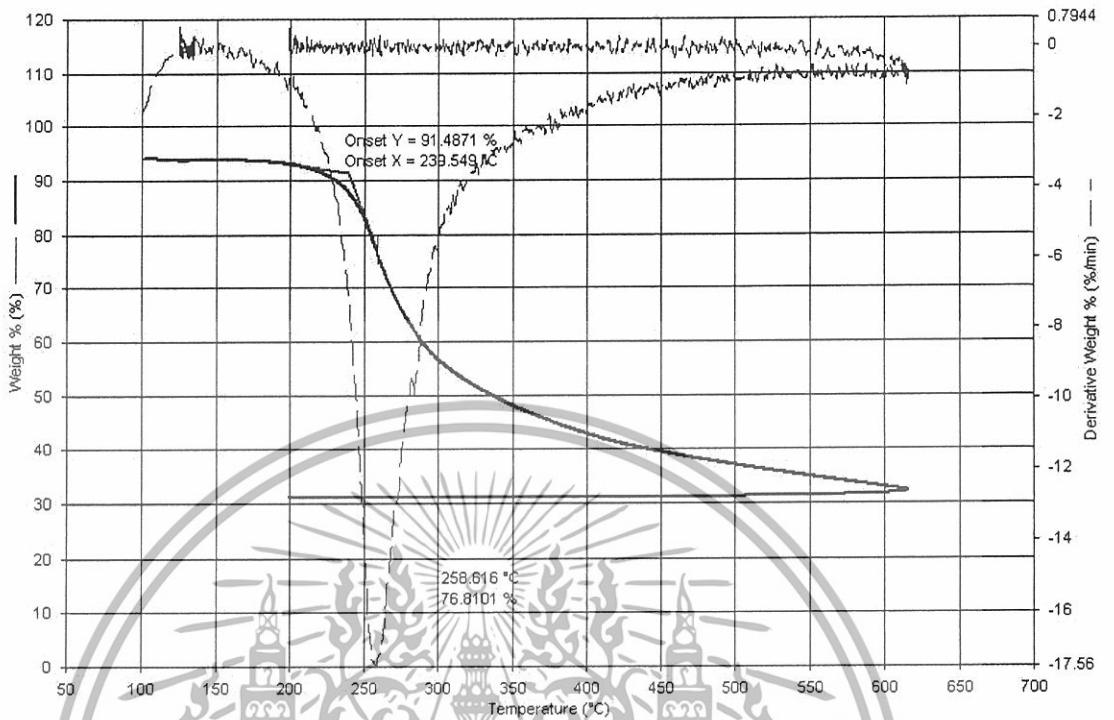


รูปที่ 3 แสดงผล TGA ของ S3

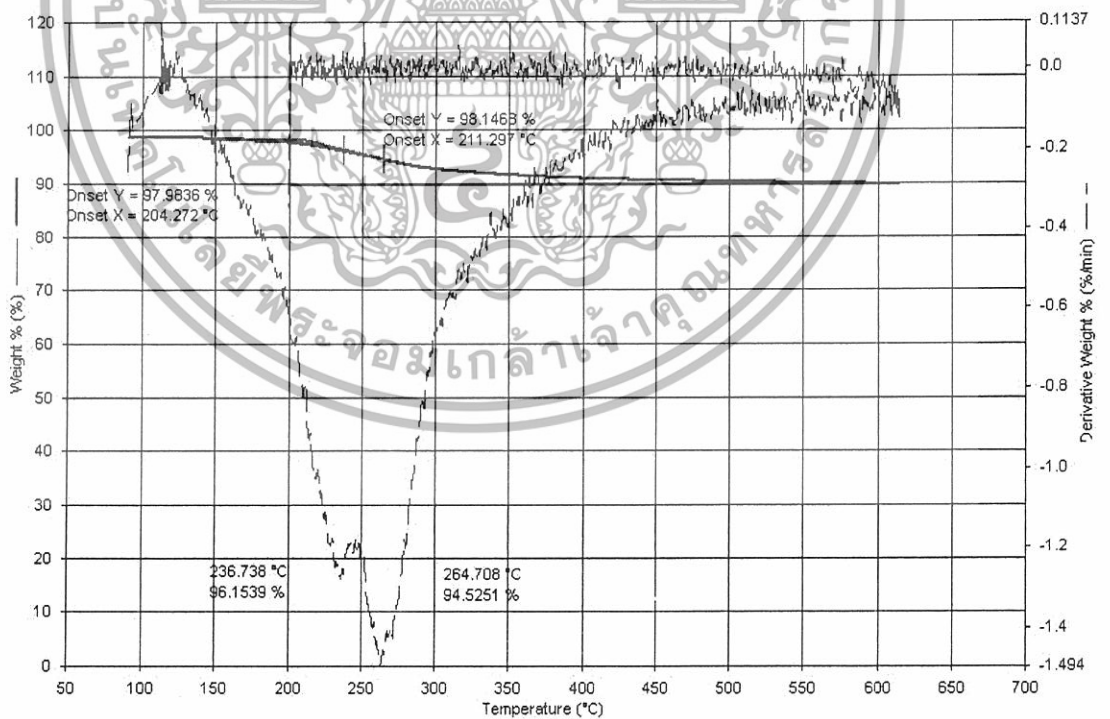


รูปที่ 4 แสดงผล TGA ของ S4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

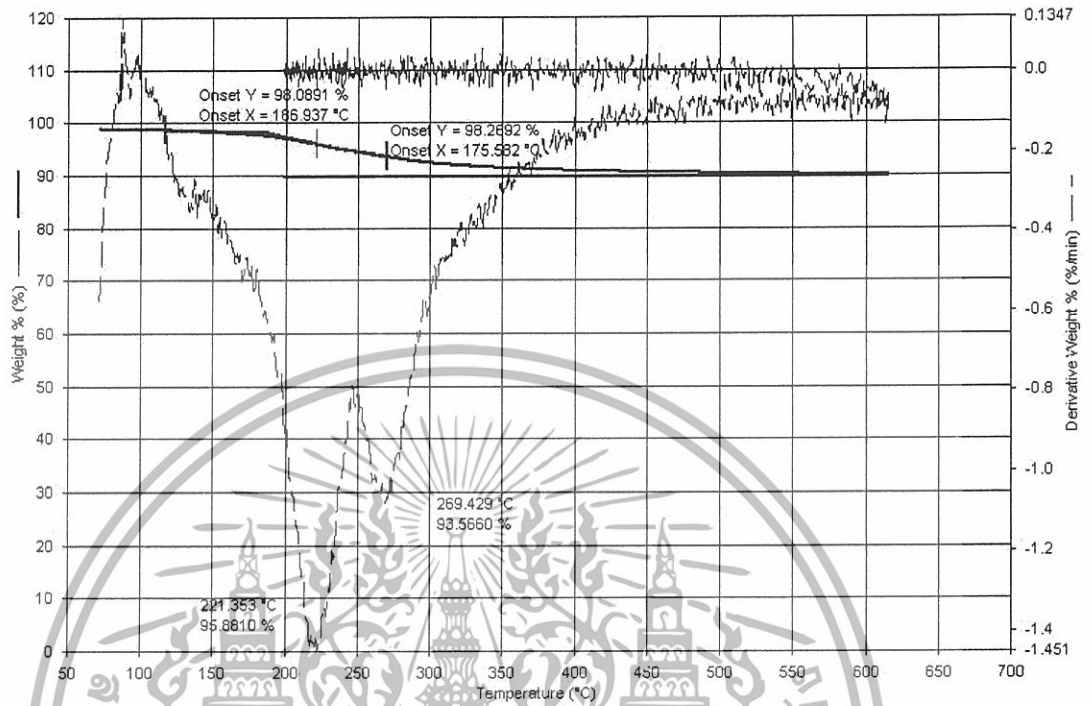


รูปที่ 5 แสดงผล TGA ของ S5

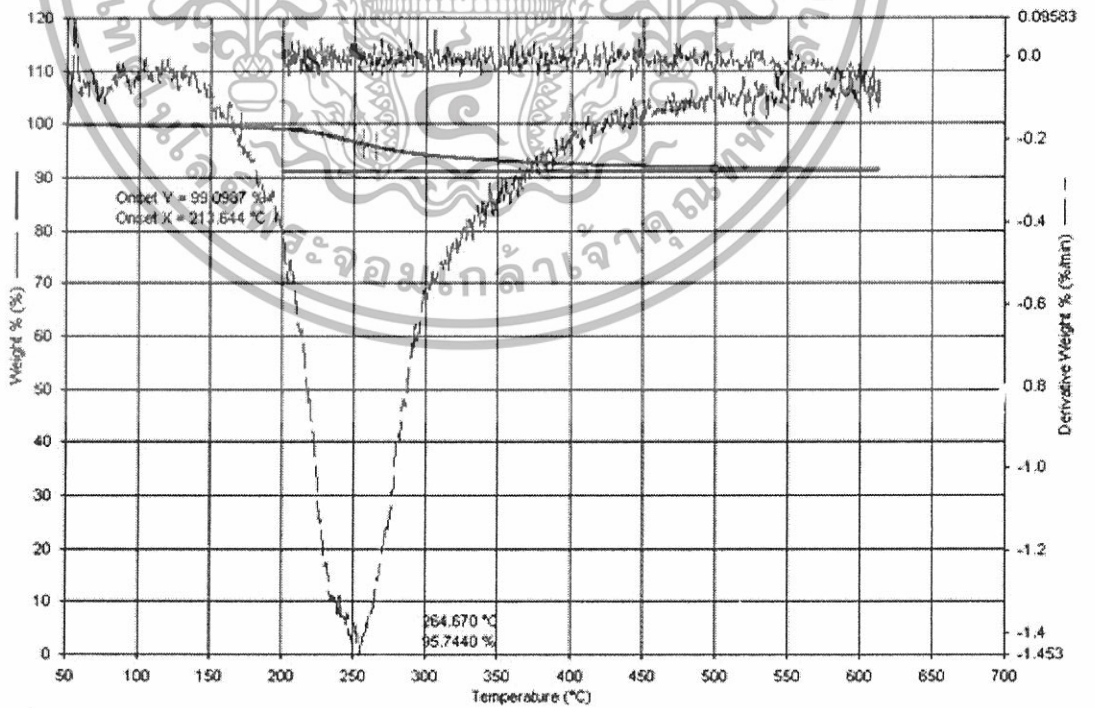


รูปที่ 6 แสดงผล TGA ของ S6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

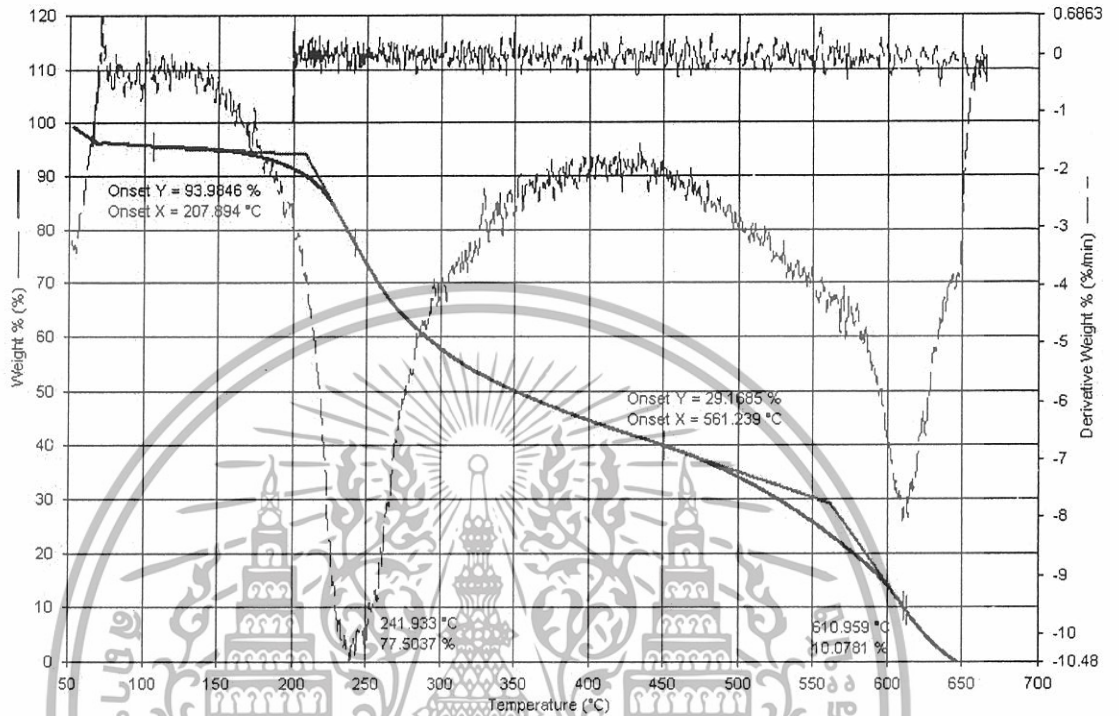


รูปที่ 7 แสดงผล TGA ของ S7

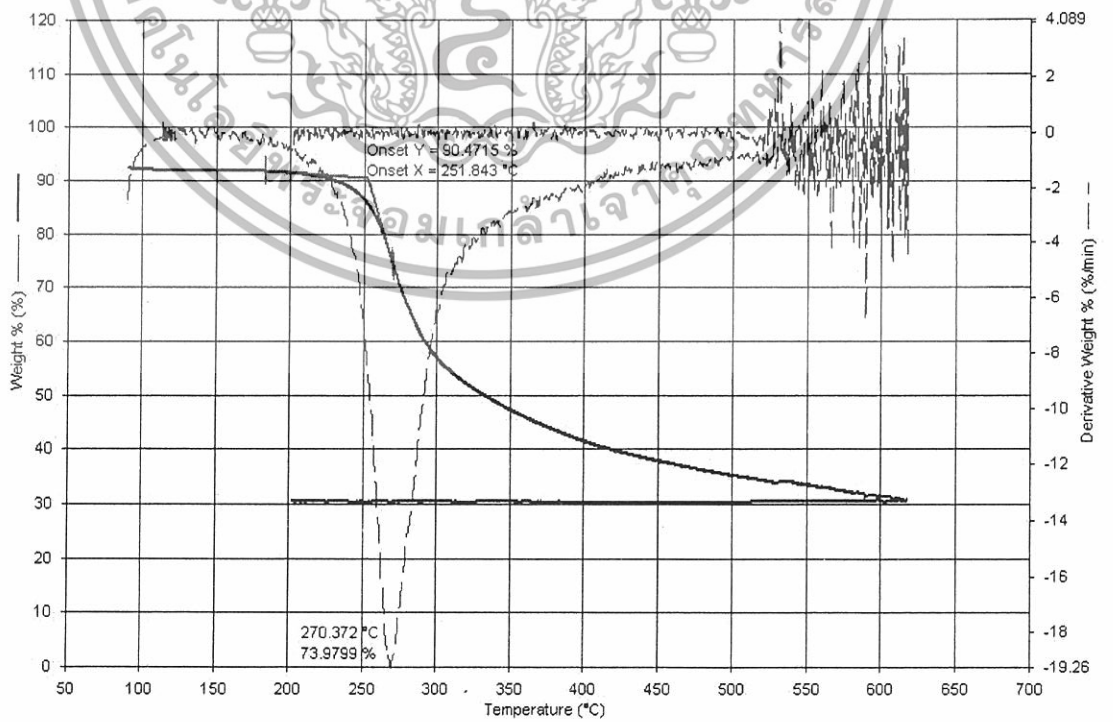


รูปที่ 8 แสดงผล TGA ของ S8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

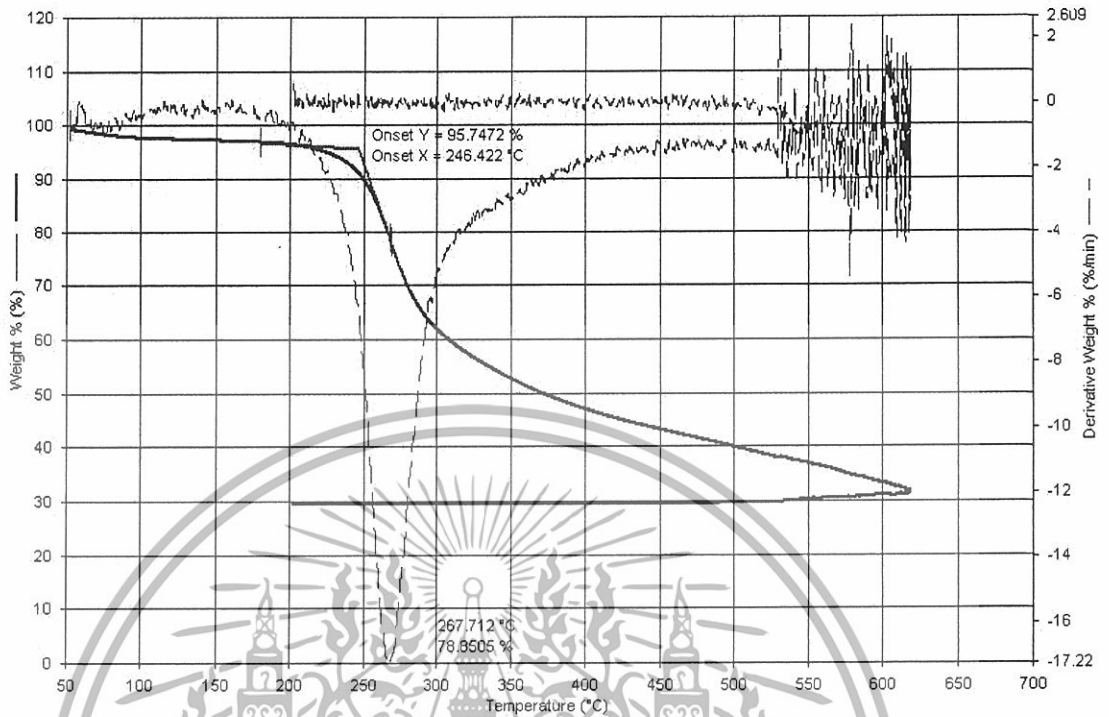


รูปที่ 9 แสดงผล TGA ของ S9

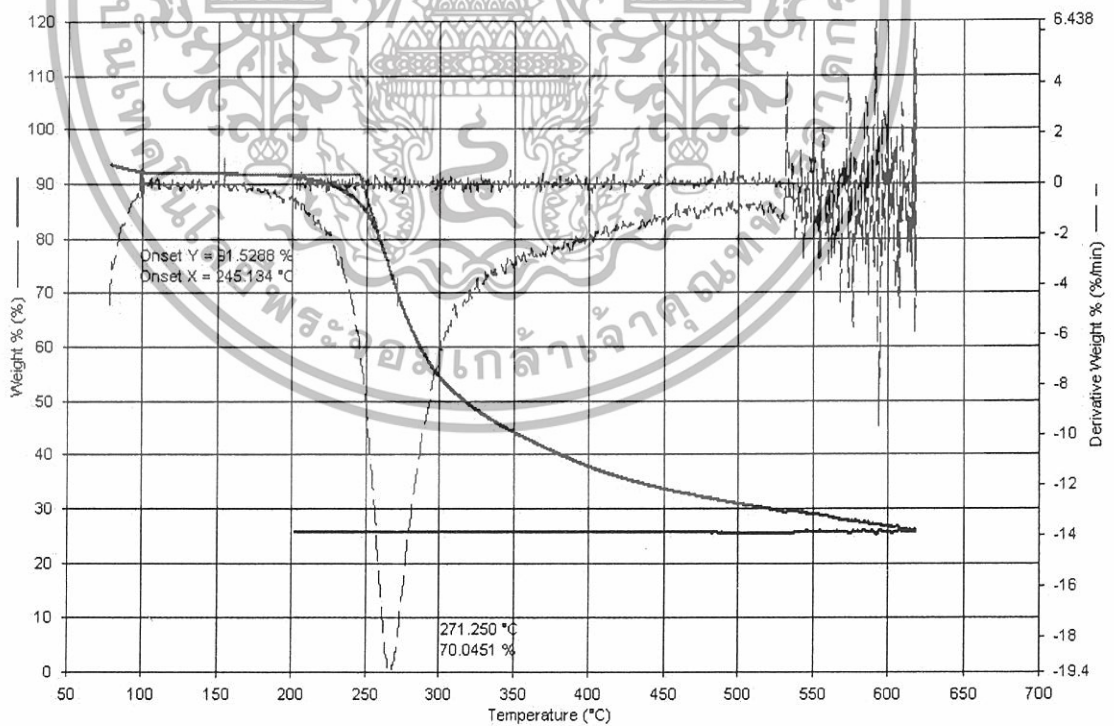


รูปที่ 10 แสดงผล TGA ของ S10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

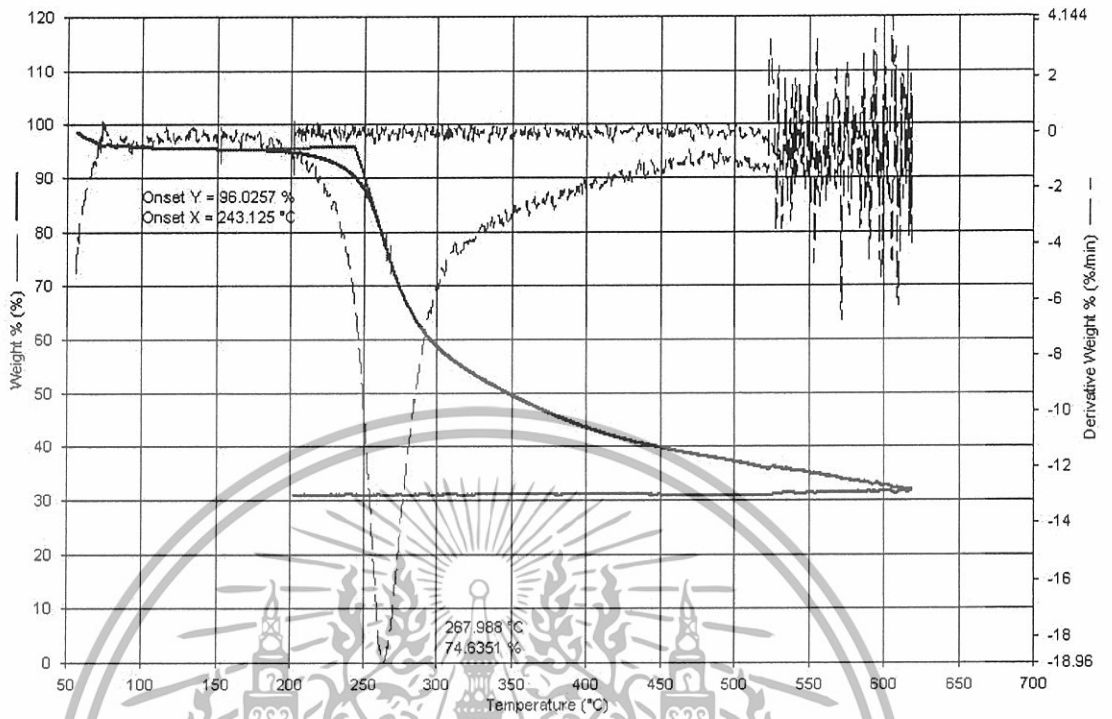


รูปที่ 11 แสดงผล TGA ของ S11



รูปที่ 12 แสดงผล TGA ของ S12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 แสดงผล TGA ของ S13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงน้ำหนักผงไหมไฟโบรอิน

ครั้งที่	น้ำหนักเส้นไหม(กรัม)	น้ำหนักผงไหม(กรัม)
1	10.04	4.08
2	10.04	7.20
3	10.03	5.56
4	10.03	6.73
5	10.04	7.30
6	10.07	5.21

การคำนวณหาปริมาณผงไหมไฟโบรอินที่ได้จากการละลายเส้นไหม

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผงไหมไฟโบรอิน} = \frac{\text{น้ำหนักผงไหมไฟโบรอิน} \times 100}{\text{น้ำหนักเส้นไหม}}$$

เปอร์เซ็นต์ผงไหมไฟโบรอินที่ได้ทั้งหมดโดยเฉลี่ย = 60.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงน้ำหนัก Scaffold ที่เพิ่มขึ้นเมื่อแช่สารละลาย HEMA

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนแช่ สารละลาย HEMA	น้ำหนักหลังแช่ สารละลาย HEMA	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น
S6	0.3288	0.3370	2.4939
S7	0.3188	0.3270	2.5721
S8	0.2922	0.2998	2.6000
S9	0.3242	0.3342	3.0845

การคำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่ HEMA} - \text{น้ำหนักก่อนแช่ HEMA}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่ HEMA}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้