สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/Sericin โดยวิธีการฉายรังสี และการปรับสภาพทางความร้อน

T 049247

นางสาวนวลจันทร์ โชคทวีทรัพย์
นางสาวนิภาพรรณ โสตถิยานนท์
นางสาวศิริเนตร ประดับวงศ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49247
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

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

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation of Hydrogel Film from PVA/Sericin by Gamma Radiation and Thermal Treatment

Miss Nuanchan Choktaweesap

Miss Niphaphun Soatthiyanon

Miss Sirinate Pradabwong

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

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/Sericin โดยวิธีการฉายรังสี และการปรับสภาพทางความร้อน	
นักศึกษา	นางสาวนวลจันทร์	โชคทวีทรัพย์
	นางสาวนิภาพรรณ	โสตถิยานนท์
	นางสาวศิริเนตร	ประดับวงศ์
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี	ชัยศุภกิจสินธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณสุชาดา	พงษ์พัฒน์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.จุฑารัตน์	ปรัชญาวรากร	
กรรมการ	อ.พรทิพย์	ศัพทอนันต์	
กรรมการ	ผศ.ดร.มาลินี	ชัยศุภกิจสินธ์	
กรรมการ	คุณสุชาดา	พงษ์พัฒน์	

.....

(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/Sericin โดยวิธีการฉายรังสี และการปรับสภาพทางความร้อน
นักศึกษา	นางสาวนวลจันทร์ โชคทวีทรัพย์
	นางสาวนิภาพรรณ โสตถิยานนท์
	นางสาวศิริเนตร ประดับวงศ์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2545
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณสุชาดา พงษ์พัฒน์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล จากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง 3% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); 3% PVA) กับ 1% เซริซิน (Sericin) ในอัตราส่วนต่างๆ ที่เหมาะสม โดยอาศัยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนที่ 100 °C นาน 4 นาที และเทคนิคการฉายรังสี นอกจากนี้ยังศึกษาถึงปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการดูดซับน้ำในสารละลายต่างๆ ค่าสัดส่วนเจล และสมบัติเชิงกล ศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค DSC และ TGA เมื่อพิจารณาการดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 4 และ 9 สารละลายเกลือและในน้ำ พบว่าฟิล์มไฮโดรเจลทุกสูตรดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงจุดสูงสุดภายในเวลา 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสัดส่วนเจล (Gel fraction) มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเซริซินในฟิล์ม ผลจากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสี มีค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) และค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูง แต่ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ต่ำกว่าฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน ผลจากเทคนิค DSC พบว่าฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสีมีความเป็นผลึกต่ำกว่าฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน ผลจากเทคนิค TGA พบว่าค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจล PVA จะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของเซริซินเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preparation of Hydrogel Film from PVA/Sericin by Gamma Radiation and Thermal Treatment
Name	Miss Nuanchan Choktaweesap
	Miss Niphaphun Soatthiyanon
	Miss Sirinate Pradabwong
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2002
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Malinee Chaisupakitsin
Special Project co-Advisor	Mrs. Suchada Pongpat

ABSTRACT

This special project was prepared hydrogel film from mixture of 3% Poly(vinyl alcohol) (3% PVA) and 1% Sericin in the different ratios by using thermal treatment at 100 °C, 4 minutes and Gamma radiation technique. The study also investigated the various radiation dose which suitable for hydrogel film preparation. Comparison study of water uptake properties, gel fraction and mechanical properties. Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetric Analysis (TGA) technique were used for thermal measurement. The results showed that the water uptake of all formulars in pH4, pH9 and water were immediately increase to optimum point in 2 hours. Gel fraction was decrease with increasing the amount of Sericin. The result of mechanical properties showed that hydrogel film prepared from Gamma radiation has higher Young's modulus and Tensile strength but lower the percentage of Elongation at break than hydrogel film prepared by thermal treatment. The result of DSC showed that Gamma radiation film provide lower crystallinity than thermal treatment film. The result of TGA technique showed that thermal decomposition of PVA hydrogel film increased correspond to the quantity of Sericin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำ จากบุคคลหลายๆท่าน และองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และ คุณสุชาดา พงษ์พัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษที่ช่วยกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจทานแก้ไขโครงงานพิเศษ ฉบับนี้ให้เรียบร้อยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.จินตนา บุนนาค อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมที่กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษา และให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณสุวิมล และเจ้าหน้าที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือต่างๆ และการใช้เครื่องฉายรังสีภายในสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ขอขอบพระคุณ คุณเจษฎาและคุณทวีพร งามเลิศประเสริฐ ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดทำรายงานโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี และภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ ทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการเบิกสารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนเทคนิคในการใช้เครื่องมือตลอดการทำโครงงานพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณบิดา มารดา อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน รุ่นพี่ รุ่นน้อง คุณบัวทิพย์ คุณพัสนัย และคุณชนม์วรรธน์ ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อสถานที่ และให้กำลังใจมาโดยตลอด ตลอดจนขอขอบคุณ วัน เวลาที่ดีที่มีโอกาสศึกษาวิจัย และทำโครงงานพิเศษนี้ให้ลุล่วงไปได้

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากซึ่งมิได้กล่าวถึง ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวนวลจันทร์ โชคทวีทรัพย์
นางสาวนิภาพรรณ โสตถิยานนท์
นางสาวศิริเนตร ประดับวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	2
1.3 วัตถุประสงค์	6
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	6
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ไฮโดรเจล	8
2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	14
2.3 เส้นไหม	16
2.4 ซิลค์โปรตีน	25
2.5 การฉายรังสี	34
2.6 การทดสอบ	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้	39
3.2 วิธีการทดลอง	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจล	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำในน้ำ สารละลายพีเอช 4 สารละลายพีเอช 9 และสารละลายเกลือของฟิล์มไฮโดรเจล	49
4.3 ค่าการดูดซับน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง	61
4.4 การศึกษาปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมโยงจากค่าสัดส่วนเจล (Gel fraction)	63
4.5 สมบัติเชิงกล	71
4.6 สมบัติทางความร้อน	77
4.7 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน	84
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	88
5.2 ข้อเสนอแนะ	89
เอกสารอ้างอิง	90
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.	92
ภาคผนวก ข	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนของเซริซินและไฟโบรอิน 19

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนในเซริซินที่แยกเป็น 4 ชั้น 20

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย 22

ตารางที่ 2.4 แสดงชื่อของกรดแอลฟาอะมิโนที่พบมากในธรรมชาติ มี 20 ชนิด 26

ตารางที่ 2.5 แสดงสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อใช้รังสีและสารเคมีช่วยให้เกิดพันธะเชื่อมโยง 35

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิล
แอลกอฮอล์และผงไหมก่อนและหลังฉายรังสี 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของไฮโดรเจล 9
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของน้ำที่อยู่ในไฮโดรเจล 10
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของโมเลกุลแบบอะแทกติก (Atactic) 15
รูปที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาเคมีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับฟอร์มาลดีไฮด์ 16
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างจุลทรรศน์ของไฟโบรอิน และเซริซิน 17
รูปที่ 2.6 แสดงภาคตัดขวางของเส้นไหมจากรังไหม Bombyx mori 17
รูปที่ 2.7 แสดงสภาพผิวของใยจากรังไหม และใยไฟโบรอินของไหมเลี้ยง (Bombyx mori) 18
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน 28
รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้าง α-เฮลิคส์ของพอลิเพปไทด์ 29
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้าง β–ชีทของพอลิเพปไทด์ 30
รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างแผ่นจีบเบต้าแบบไม่ขนานและขนาน 31
รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างสามมิติของไหม 31
รูปที่ 4.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล 49
รูปที่ 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 4 ของฟิล์มไฮโดรเจล 50
รูปที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 9 ของฟิล์มไฮโดรเจล 51
รูปที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 52
รูปที่ 4.5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 52
รูปที่ 4.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 53
รูปที่ 4.7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 54
รูปที่ 4.8 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 56

รูปที่ 4.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 57

รูปที่ 4.11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 57

รูปที่ 4.12 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 58

รูปที่ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 59

รูปที่ 4.14 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 59

รูปที่ 4.15 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล 60

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในน้ำ สารละลายพีเอช 4 และ 9 ของฟิล์มแต่ละสูตรโดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน 61

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 1 และ0.5 % w/v ของฟิล์มแต่ละสูตรโดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน 61

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 1 และ0.5 % w/v ของฟิล์มแต่ละสูตรโดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน 62

รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 1 และ0.5 % w/v ของฟิล์มแต่ละสูตรโดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 1 และ0.5 % w/v ของฟิล์มแต่ละสูตร โดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน 62

รูปที่ 4.21 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนหลังแช่น้ำ สารละลายพีเอช 4 และสารละลายพีเอช 9 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 63

รูปที่ 4.22 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสีหลังแช่น้ำ สารละลายพีเอช 4 และสารละลายพีเอช 9 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 64

รูปที่ 4.23 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนหลังแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 2 1 และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 64

รูปที่ 4.24 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสีหลังแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 2 1 และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 65

รูปที่ 4.25 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนหลังแช่ในสารละลายเกลือ โพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 1 และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 66

รูปที่ 4.26 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสีหลังแช่ในสารละลายเกลือ โพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 1 และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 66

รูปที่ 4.27 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนหลังแช่ในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 1 และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 67

รูปที่ 4.28 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสีหลังแช่ในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 1 และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.29 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน หลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 1 และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 69

รูปที่ 4.30 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสี หลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 1 และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 69

รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยัง กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างแต่ละสูตร 71

รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยัง กับแผ่น ฟิล์มตัวอย่างแต่ละสูตร ที่เตรียมจากเทคนิค การปรับสภาพทางความร้อน 72

รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยัง กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างแต่ละสูตร ที่เตรียมจากเทคนิค การฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10 และ 15 kGy 73

รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยังกับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน 74

รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง การยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยัง กับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน 75

รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยังกับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน 76

รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก (ΔH) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน 77

รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก (ΔH) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมจาก เทคนิคที่แตกต่างกัน 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก (ΔH) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน 78

รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (Melting Temperature) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน 78

รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (Melting Temperture) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน 79

รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (Melting Temperature) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน 79

รูปที่ 4.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของ PVA และ Sericin 80

รูปที่ 4.44 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของฟิล์มตัวอย่าง PVA เทียบกับสาร PVA มาตรฐาน 81

รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของฟิล์มแต่ละสูตรที่เตรียมโดยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน 81

รูปที่ 4.46 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของฟิล์ม PVA ที่เตรียมโดยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนและเทคนิคการฉายรังสี 82

รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของฟิล์มแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA : Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมโดยเทคนิคการฉายรังสี 82

รูปที่ 4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA : Sericin ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมโดยเทคนิคการฉายรังสี 83

รูปที่ 4.49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของฟิล์มแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA : Sericin ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมโดยเทคนิคที่แตกต่างกัน 83

รูปที่ 4.50 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA : Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมโดยเทคนิคที่แตกต่างกัน 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.51 แสดงสเปกตรัมของเซริซิน 84
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มตัวอย่างแต่ละสูตร ที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน 85
รูปที่ 4.53 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มตัวอย่างในแต่ละสูตรที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี 86

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำนำ

ในปัจจุบันนี้มีการวิจัยและพัฒนาวัสดุต่างๆ ให้มีประโยชน์ใช้สอยมากขึ้น และใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะวัสดุพอลิเมอร์มีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากขึ้น จึงได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากสามารถใช้ทดแทนวัสดุบางประเภทได้ อีกทั้งวัสดุพอลิเมอร์มีน้ำหนักเบา สามารถนำมาขึ้นรูปได้ตามต้องการ ในขณะที่วัสดุชนิดอื่น เช่น โลหะ แก้ว ไม้ ฯลฯ ทำได้ยากกว่า ซึ่งความหลากหลายของวัสดุพอลิเมอร์ ทำให้สามารถเลือกที่จะนำมาใช้งานได้หลายลักษณะขึ้นกับคุณสมบัติที่เหมาะสมของวัสดุพอลิเมอร์นั้นๆ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่างๆ

"ไฮโดรเจล" (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์ดูดซับน้ำที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างแห หรือโครงร่างตาข่ายสามมิติ (Network) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ถึง 90 % หรือมากกว่า อีกทั้งยังสามารถดูดซับไอออน โดยสมบัติเชิงกล และรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง โดยสมบัติดังกล่าวนี้คล้ายคลึงกับอวัยวะบางอย่างในร่างกายคน เช่น กล้ามเนื้อ เอ็น ลำไส้เล็ก นอกจากนี้ไฮโดรเจลยังสามารถเข้าได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง (Burn wound dressing) เลนส์สัมผัส (Contact lenses) หรือนำมาใช้เคลือบวัสดุที่ต้องนำมาสัมผัสกับร่างกายมนุษย์ เช่น ใช้เคลือบอวัยวะเทียมที่ใช้ในร่างกาย เป็นต้น

ทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ไฮโดรเจลให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ โดยเฉพาะงานทางการแพทย์ ได้แก่ การใช้เทคนิคการสังเคราะห์ด้วยการฉายรังสีที่มีพลังงานสูง เช่น รังสีแกมมา เพื่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslinking) ซึ่งเทคนิคนี้เป็นวิธีที่สะอาด เนื่องจากไม่ต้องใช้สารที่ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslinking agent) หรือสารเคมีใดๆ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ไม่มีปัญหาในการกำจัดสารเคมีที่ตกค้างอยู่

การใช้รังสีในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลนั้น เพื่อให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้โดยไม่ละลายน้ำ ซึ่งมีการศึกษาถึงการสังเคราะห์ไฮโดรเจลที่เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) ตลอดจนศึกษาผลของเซริซิน (Sericin) ซึ่งเป็นซิลค์โปรตีน (Silk protein) ที่ได้จากน้ำไหมที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

"ไฮโดรเจล" (Hydrogel) เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่สามารถบวมน้ำ และดูดซับน้ำไว้ภายในโครงสร้างได้ โดยไม่เกิดการละลาย ซึ่งอาจเรียกรูปแบบของวัสดุประเภทนี้ในสภาวะแห้งว่า "Xerogels"

โครงสร้างของไฮโดรเจลเป็นแบบโครงสร้างร่างแหจะมีพันธะเชื่อมโยงสามมิติ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสามารถเตรียมด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบกลุ่ม (Block polymerization) ของมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophilous monomer) กับสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent)
2. การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสารละลายพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophilous polymer)
3. การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันไปพร้อมกับการเชื่อมโยงพันธะของมอนอเมอร์กับสารเชื่อมโยง

ด้วยโครงสร้างที่เป็นโครงร่างแหสามมิตินี้เอง ทำให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซับ และบวมน้ำโดยไม่เกิดการละลาย เนื่องจากพันธะเชื่อมโยง (Crosslinking) ทำให้พอลิเมอร์มีขนาด และน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นในการเชื่อมโยง (Crosslink density) ที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นเหตุให้ความแข็งแรง (Strength) เพิ่มขึ้น ในขณะที่สมบัติการบวมตัวนั้นลดลง

สมบัติของไฮโดรเจลไม่เพียงแต่ดูดซับน้ำได้เท่านั้น แต่ยังสามารถดูดซับสารละลายนำไฟฟ้า (Electrolyte solution) และของเหลวจากร่างกายได้อีกด้วย และจากสมบัติที่กล่าวมานี้จึงมีการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาวัสดุไฮโดรเจล ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางกว่าการเป็นเพียงพอลิเมอร์ดูดซับและนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น ทางการแพทย์ การเกษตร ตลอดจนด้านอุตสาหกรรม

- เนื่องจากไฮโดรเจลมีสมบัติเข้ากันได้ทางชีวภาพ และมีความสามารถในการดูดซับน้ำทำให้ไฮโดรเจลถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์โดย Wichterle and Lim (1962) [14] ได้ศึกษาการเกิดพันธะเชื่อมโยง และสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉายรังสี ซึ่งได้แก่ พอลิไฮดรอกซีเอทิลเมทราคริเลท (PHEMA)

- Kazuo Yamaura และคณะ (1990) [10] ทำการศึกษาสมบัติที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางแสง (Optical properties) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) การบวมตัว (Swelling) การซึมผ่าน (Permeation) และสมบัติทางเคมีเชิงกล (Mechanochemical) ของแผ่นฟิล์มที่ได้จากสารละลายผสมระหว่างใยไหม (Silk Fibroin; SF) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่แทนที่บนสายโซ่แบบซินไดโอแทคติค (Syndiotactic-PVA; s-PVA) พบว่าสารละลายพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวนี้มีอัตราการเกิดเจลต่ำกว่าสารละลายของใยไหม (SF) หรือ s-PVA ที่ความเข้มข้นเดียวกัน จากการทดสอบแผ่นฟิล์ม SF/s-PVA ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอรีเมทรี (Differential Scanning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calorimetry; DSC) ปรากฏพีกการสลายตัวของใยไหมที่ช่วงอุณหภูมิ 288-299 °C และพีค ณ จุดหลอมเหลวของ s-PVA ในช่วงอุณหภูมิ 233-241 °C เมื่อศึกษาแผ่นฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะพบวัฏภาคขนาดเล็ก (Microphase) กระจายตัวอยู่ในวัฏภาคอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของน้ำไม่มีผลต่อองศาการบวมตัว และค่าพีเอชในช่วง 2-12 มีผลน้อยมากต่อสมบัติทางเคมีเชิงกลของแผ่นฟิล์มที่บวมน้ำ ส่วนการที่มีใยไหมเป็นองค์ประกอบจะช่วยให้การซึมผ่านของสารละลายเกลือที่เป็นกลาง (Neutral salt) ผ่านแผ่นฟิล์มดีขึ้น

- Masuhiro Tsukada; Fiuliano and John S.Crighton (1994) [11] ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และความเข้ากันได้ของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับใยไหม (PVA/SF) พบว่าเมื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอรีเมทรี (Differential Scanning Calorimetry; DSC) จะปรากฏพีคการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และใยไหมที่ตำแหน่งอุณหภูมิ 220 °C และ 280 °C ตามลำดับเช่นเดียวกันกับแถบสเปกตรัมของ IR ที่ปรากฏพีกเป็นลักษณะเฉพาะของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และใยไหม ส่วนเทคนิค TMA และ TGA พบว่าแผ่นฟิล์มแสดงสมบัติอยู่ระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับใยไหมที่เป็นองค์ประกอบนอกจากนี้การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (SEM) และแบบส่องผ่าน (TEM) จะสังเกตเห็นวัฏภาค (Phase) ที่มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-7 μm กระจายตัวอยู่ แสดงว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยไหมไม่สามารถเข้ากันได้ (Imcompatible)

- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเกิดเป็นไฮโดรเจลได้ และมีสมบัติความเข้ากันได้ในทางชีวภาพอย่างดีเยี่ยม ทำให้มีการพัฒนาเพื่อที่จะนำไปใช้งานด้านการแพทย์เพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถละลายได้ในน้ำร้อน จึงไม่คงทนต่อการนำไปผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ ด้วยเหตุนี้เอง Yoshii F. และคณะ (1995) [15] ได้พัฒนาไฮโดรเจลให้มีสมบัติทนต่อความร้อนเพื่อประโยชน์สำหรับงานด้านเวชภัณฑ์ โดยทำการปรับปรุงด้วยปฏิกิริยาอะเซตทิลเลชัน (Acetylation) ก่อนหรือหลังทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงด้วยรังสี แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า หลังทำการปรับปรุงไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูงขึ้น มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (% Elongation) ประมาณ 270-320 % ซึ่งสามารถทนต่อความร้อนดีขึ้น ตลอดจนมีสมบัติการยึดติดบาดแผลเป็นอย่างดี และยังช่วยรักษาแผลไฟไหม้ให้หายเร็วยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ผ้ากอซ (Gauze)

- เส้นใยไหม (Silk Fibroin) เป็นวัสดุทางชีวภาพชนิดหนึ่งที่ได้วิจัยและพัฒนาขึ้น โดยมุ่งเน้นประโยชน์ทางด้านเทคโนโลยี และการแพทย์ Giuliano Freddi; Masuhiro Tsukada และ Silvia Beretta (1999) [6] ได้ทดลองศึกษาถึงโครงสร้างของแผ่นฟิล์มที่ได้จากการผสมใยไหมกับพอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) แล้วตรวจสอบด้วยเทคนิค DSC TGA TMA DMA และ FTIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมทั้งทดสอบสมบัติต่างๆ ทางกายภาพ เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) เป็นต้น

- ในทางการแพทย์ยอมรับสูตรไฮโดรเจลที่ Janusz M.Rosiak [8] เตรียมจาก N-vinyl pyrrolidone ผสมกับเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) และวุ้น (Agar) ที่ผลิตขึ้นภายใต้ชื่อทางการค้าว่า HDR ไฮโดรเจลตกแต่งแผลชนิดนี้เริ่มพัฒนาขึ้นในประเทศโปแลนด์ ด้วยเทคนิคการสังเคราะห์โดยการฉายรังสีในประมาณ 25 kGy ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเกิดพันธะเชื่อมโยงสามมิติที่เสถียรภายในโครงสร้าง และเพียงพอต่อการฆ่าเชื้อโรค

เทคโนโลยีการผลิต HDR มีข้อดีหลายประการดังนี้

1. เป็นเทคโนโลยีธรรมดาที่ง่าย และสะอาด (ไม่ก่อให้เกิดของเสีย น้ำทิ้ง ไอของสาร หรืออื่นๆ ที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง)
2. ไม่จำเป็นต้องมีการดูแลเป็นพิเศษ หรือแม้แต่การใช้ห้องปลอดเชื้อ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็สามารถอยู่ในสภาพปราศจากเชื้ออย่างสมบูรณ์
3. สามารถดำเนินการเป็นแบบกระบวนการต่อเนื่อง หรือกระบวนการแบบครั้ง

- Mondino; A.V และคณะ (1999) [12] ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาพบว่าการฉายรังสีทำให้วัสดุนี้มีสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ดีขึ้น

- M.T. Razzak และคณะ (1999) [13] ศึกษาลักษณะเฉพาะของผ้าปิดบาดแผล (Wound dressing) ที่เตรียมจากไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับพอลิไวนิลไพโรลิดีน (Poly(vinyl alcohol)-Poly(vinyl pyrrolidine); PVA-PVP) โดยผ่านการฉายรังสี ซึ่งปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์ (kGy) จะให้สมบัติที่ดี มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 40-250 %

- สุมิตรา และสุรเกียรติ (2542) [5] ได้ศึกษาและทดลองเพื่อทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิอะครีลิคแอซิดด้วยวิธีการฉายรังสี และทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมผงไหม (Silk protein) ที่นำมาจากประเทศญี่ปุ่นโดยผ่านการไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) แล้ว อีกทั้งยังมีการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน

- Kunya; Jintana and Tamikazu ได้ศึกษาถึงปริมาณน้อยที่สุดของซิลค์โปรตีน (Silk protein) ที่ฉายรังสีโดยทำการศึกษาในช่วง 5-15 % แล้วสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยศึกษาการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Escherichia coil, Bacillus subtilis และ Staphylococcus aureus ซึ่งพบว่า ปริมาณต่ำสุดของซิลค์โปรตีนที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของ Escherichia coil และ Staphylococcus aureus คือ 5 % ที่ละลายในน้ำกลั่น และทุกๆ ความเข้มข้นที่ทำการศึกษาพบว่าไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ Bacillus subtilis ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Masao Kunioka ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของไฮโดรเจลโดยใช้รังสีแกมมา ซึ่งเปลี่ยนสารละลาย Poly(ε-lysine) ให้เป็นไฮโดรเจลโดยใช้รังสี นอกจากนี้ยังพบว่า Poly(ε-lysine) จะบวมตัวในสภาวะที่เป็นกรด

- Yoshii F. และคณะ ทำการศึกษาไฮโดรเจลที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนออกไซด์ (Poly(ethylene oxide); PEO) โดยการฉายรังสีที่ความเข้มข้นต่ำๆ เพื่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงเนื่องจากฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมโดยการฉายรังสีในสารละลายพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้นั้น นำมาใช้เป็นผ้าปิดบาดแผล โดยสามารถรักษาบาดแผลในสภาวะที่ไฮโดรเจลเปียก ซึ่งไฮโดรเจลมีประโยชน์ดังนี้ เมื่อเทียบกับผ้ากอซ (Gauze) ซึ่งอยู่ในสภาวะที่แห้ง คือ

1. ช่วยในการรักษาได้มากขึ้น
2. สะดวกในการเปลี่ยนผ้าปิดแผล เช่น ไฮโดรเจลสามารถลอกออกได้ง่าย โดยไม่ทำลายผิวหน้าของบาดแผล
3. วัสดุปิดบาดแผลจะไม่ตกค้างอยู่ในบาดแผล

- Malin Zhai และคณะ ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลที่เตรียมจาก พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) ผสมกับแป้ง (Starch) โดยใช้การฉายรังสีแกมมา และแหล่งอิเล็กตรอนพลังงานสูง (Electron beam)

- H.Y. Kweon และคณะ (2001) [7] ทำการเตรียมพอลิเมอร์โครงร่างแหแบบกึ่งสอดประสาน (Semi-Interpenetratring Polymer Networks; SIPNs) จากเส้นใยไหม (Silk Fibroin; SF) กับพอลิเอทิลีนไกลคอลแม็คโครเมอร์ (Poly(ethylene glycol); PEG Macromer) พบว่าความเป็นผลึกของเส้นใยไหม และพอลิเอทิลีนไกลคอลไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (% Elongation) ของพอลิเมอร์โครงร่างแหแบบสอดประสานมีค่าสูงกว่าของเส้นใยไหม หรือเส้นใยไหมผสมกับพอลิเอทิลีนไกลคอล (SF/PEG blend) และมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอล

- ธีระพล, สุวิทย์ และอรกมล (2544) [1] ศึกษาการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารเมือก (Mucilage) ที่ได้จากการพองตัวของเมล็ดแมงลัก (Ocimum canum sims.) กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA 3 %w/v) พบว่าสมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมจะแปรผันตามปริมาณสารเมือกที่ใช้ และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพทางความร้อนที่ 100 °C โดยฟิล์มผสมระหว่างสารเมือกและ PVA ในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ซึ่งผ่านการปรับสภาพทางความร้อนเป็นเวลา 2.5 นาทีให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด มีค่าการดูดซับน้ำ (Water uptake) 605.34 % ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) 584 MPa และค่าความสามารถในการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) 16 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- J. Pe'rez-Rigueiro และคณะ (2002) [9] ศึกษาถึงสมบัติความแข็งแรงดึง (Tensile properties) ของเส้นใยไหมที่ได้จากรังไหม Bombyx mori หลังการลอกกาว (Degumming) โดยค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเริ่มต้น (Initial elastic modulus) และค่าความแข็งแรงดึง (Yield strength) มีค่าลดลง

- Yu-Qing Zhang (2002) [16] นำเซริซิน (Sericin) ซึ่งเป็นซิลค์โปรตีน (Silk protein) ที่ได้จากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในวัสดุทางชีวภาพ (Biomaterials) โดยมีคุณสมบัติต้านการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ต้านทานแบคทีเรีย (Antibacterial) ทนต่อรังสียูวี (UV) และสามารถดูดซับความชื้นได้ดี นอกจากนี้เซริซินสามารถเกิดการเชื่อมโยง เกิดพอลิเมอร์ร่วม และเกิดการผสมกับวัสดุอื่นได้ในโมเลกุลมหภาค (Macromolecular)

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและทดลองเตรียมแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลโดยใช้รังสีทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแหในสารละลายพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสารละลายเซริซิน (Sericin)
2. ศึกษาและทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสารละลายเซริซิน (Sericin)
3. ศึกษาสมบัติต่างๆ ของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการฉายรังสี และไม่ผ่านการฉายรังสี

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจาก 3 % พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) โดยเติมสารละลาย 1 % เซริซิน (Sericin) เพื่อปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสมบัติของเจลให้เหมาะสม ซึ่งโปรตีนเซริซินได้จากน้ำไหมเหลือทิ้งที่มีในประเทศไทย นอกจากนี้ยังศึกษาการใช้ปริมาณรังสีแกมมาเพื่อให้เกิดโครงสร้างร่างแหของพอลิเมอร์ผสมนี้ และศึกษาสมบัติต่างๆ ของฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อม ทางการเกษตร หรือทางการแพทย์ต่อไป

1.5 ขั้นตอนการวิจัย และวิธีการดำเนินงาน

ในการวิจัยนี้ทำการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ผสมระหว่าง 3 % พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) กับ 1 % เซริซิน (Sericin) โดยเตรียมสารละลายทั้งสองนี้ในอัตราส่วนต่างๆ ที่นำมาผสมกัน จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C โดยการเทลงในถาดเรียบขนาดเท่าๆ กัน เพื่อเตรียมแผ่นฟิล์มไฮโดรเจล และนำสารละลายผสมนี้ที่ยังไม่ผ่านการอบ ไปฉายรังสีความเข้มต่างๆ กัน แล้วนำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการฉายรังสี และไม่ผ่านการฉายรังสี มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือชนิดต่างๆ สารละลายพีเอช 4 และ 9 อีกทั้งหาค่าสัดส่วนเจล ฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมจากสาร(Gel fraction) หาความเป็นผลึก และอุณหภูมิที่ทำให้สารสลายตัว โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสารละลายเซริซิน ฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสี และไม่ผ่านการฉายรังสี ทำการสรุปผลการวิจัย

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงวิธีการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสารละลายเซริซิน เพื่อให้ได้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีสมบัติดีที่สุด
2. ทราบถึงขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มที่มีความสวยงาม และมีคุณภาพสูง
3. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซิน เพื่อให้ได้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีสมบัติดีที่สุด
4. ทราบถึงสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้
5. ทราบถึงวิธีการเตรียมน้ำไหมให้เป็นเกล็ด หรือผง เพื่อสามารถนำไปใช้เตรียมสารละลายเซริซินได้ง่าย

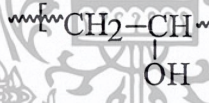
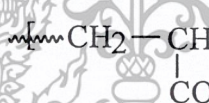
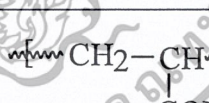
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไฮโดรเจล (Hydrogel)

ไฮโดรเจลเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่ายสามารถดูดซับน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างได้มากกว่า 90 % ซึ่งเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น วุ้น (Agar) เจลาติน (Gelatin) หรือเป็นวัสดุพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA)

พอลิเมอร์หรือมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดเป็นไฮโดรเจลได้ยังมีสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และสามารถละลายน้ำได้ โดยในโครงสร้างจะมีหมู่ฟังก์ชันดังต่อไปนี้คือ -OH, -COOH และ $-CONH_2$ ตัวอย่างเช่น

พอลิเมอร์	สูตรโครงสร้าง
Poly(vinyl alcohol)	
Poly(acrylic acid)	
Polyacrylamide	

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>พันธะเคมีไฮโดรเจล</u>

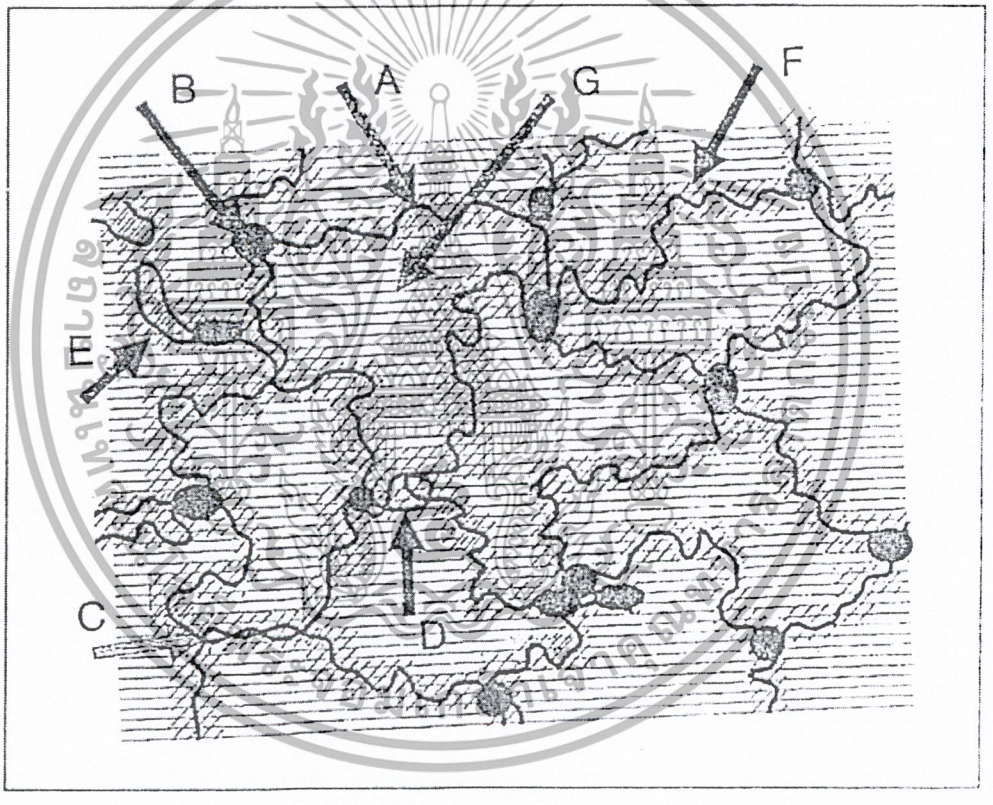
พันธะเคมีในไฮโดรเจลอาจจะเกิดในสายโซ่เดียวกัน (Intramolecular Linkages) หรือระหว่างสายโซ่ (Intermolecular Linkages) ก็ได้ พันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้น ได้แก่ พันธะโควาเลนท์และพันธะไฮโดรเจน หรือแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (ในกรณีที่มีการเชื่อมโยงทางกายภาพ) ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1. <u>พันธะเชื่อมโยงทางเคมี</u> (Chemical crosslinked) แต่ละสายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกันด้วยพันธะโควาเลนท์ที่มีความแข็งแรงจึงทำให้สลายตัวได้ในกรณีที่โมเลกุลมหภาค (Macromolecule) ถูกทำลายเท่านั้น ซึ่งวิธีการที่ใช้เตรียมไฮโดรเจลคือ เทคนิคการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉายรังสี และเทคนิคการใช้สารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslinking agent) โดยในการทดลองนี้จะศึกษาโดยใช้เทคนิคการฉายรังสี

2. <u>พันธะเชื่อมโยงทางกายภาพ</u> (Physical crosslinked) ซึ่งไฮโดรเจลที่มีพันธะเชื่อมโยงชนิดนี้ เรียกว่า Physical hydrogel, Reversible gel หรือ Pseudogel โดยจะมีโครงสร้างเป็นโครงร่างแหสามมิติ โดยแต่ละสายโซ่มีการเชื่อมโยงกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอ่อนๆ หรือแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งสามารถเตรียมไฮโดรเจลชนิดนี้ด้วยเทคนิคที่เรียกว่า "Freezing and thawing" โดยจะให้ไฮโดรเจลที่มีความแข็งแรงสูงแต่จะหลอมเหลวเป็นสารละลายได้ที่อุณหภูมิ 55 °C เนื่องจากไม่มีพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ มีเพียงการเชื่อมโยงทางกายภาพเท่านั้น



A – Hydrophylic chain B – Inter-chain link C – Entanglement

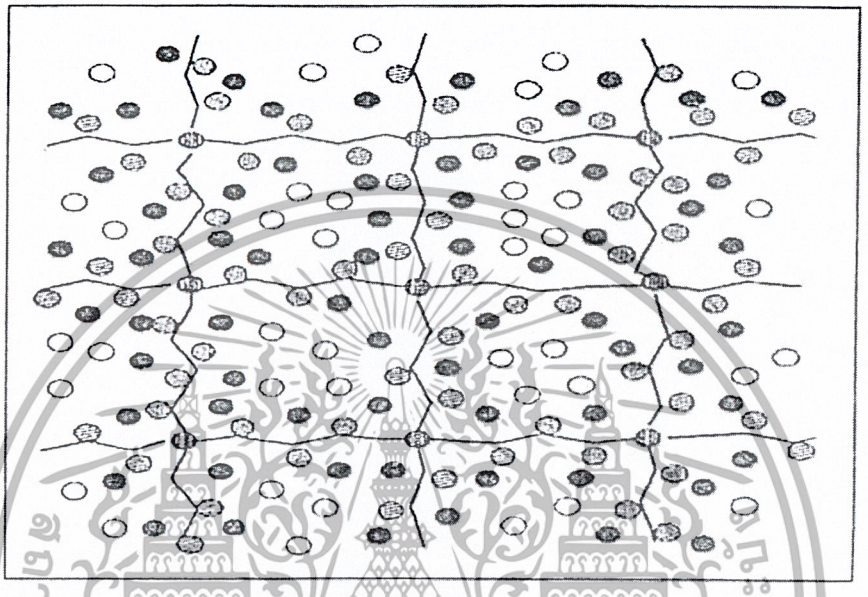
E- Loop F – Bound water G – Free water

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของไฮโดรเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของน้ำในไฮโดรเจล มี 3 ชนิดได้แก่

1. Tightly bound (hydrate) ◌
2. Loosely bound (restricted) ◍
3. Free (freezing) ○



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของน้ำที่อยู่ในไฮโดรเจล

<u>ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล</u> มี 2 วิธี ดังนี้

1. เตรียมสารละลายมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ → เทลงในแม่พิมพ์ → ฉายรังสีในแม่พิมพ์ที่ปิดฝา → ได้ไฮโดรเจลที่เกิดพันธะเชื่อมโยง → อบให้แห้ง

2. เตรียมสารละลายมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ → เทลงในหลอดทดลอง → ฉายรังสี → นำไฮโดรเจลที่ได้เทลงแม่พิมพ์ → อบให้แห้ง

การเกิดไฮโดรเจลด้วยเทคนิคการฉายรังสี อธิบายกลไกได้ดังนี้

แรงกระทำต่อมวลสารเนื่องมาจากการฉายรังสี จะทำให้สารถูกเร้าอยู่ในสภาวะกระตุ้น (Excited state) แล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสารมัธยันต์ (Intermediate) ที่มีความว่องไว จึงก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ขึ้นมากมาย โดยอนุมูลอิสระดังกล่าวนี้อาจเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของตัวทำละลาย หรือตัวกลางด้วยก็ได้ ถ้าอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นบนแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งกันและกัน จะเกิดการรวมตัวกันเป็นพันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งปริมาณของพันธะที่เกิดขึ้นใหม่นี้มีมากเพียงพอในการเกิดส่วนที่สามารถบวมตัวได้ แต่ไม่ละลายน้ำที่เรียกว่า “Gel” ขึ้นในระบบ อย่างไรก็ตามยังคงมีบางส่วนที่ไม่ได้เกิดพันธะเชื่อมโยง ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกส่วนนี้ว่า "Sol" และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณรังสีที่ฉายให้แก่ระบบ พบว่าส่วนของเจลจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย

พิจารณาสมการ

$$M \longrightarrow R^{\cdot} \quad \text{.....(1)}$$

$$S\,(H_2O) \longrightarrow S^{\cdot}\,(OH^{\cdot}, H^{\cdot}, e_{aq}) \quad \text{.....(2)}$$

$$S^{\cdot} + M \longrightarrow R^{\cdot} \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อ M คือ โมเลกุลของมอนอเมอร์

$R^{\cdot}$ คือ อนุมูลอิสระของมอนอเมอร์

S คือ โมเลกุลของตัวทำละลาย

$S^{\cdot}$ คือ อนุมูลอิสระของตัวทำละลาย

$OH^{\cdot}$ คือ อนุมูลอิสระไฮดรอกซี

$H^{\cdot}$ คือ อนุมูลอิสระไฮโดรเจน

e_{aq} คือ Solvated electron

จะเห็นว่าปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ไม่เพียงแต่ถูกริเริ่มด้วยอนุมูลอิสระของมอนอเมอร์ แต่ยังสามารถริเริ่มได้ด้วยอนุมูลอิสระของน้ำ จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในสมการ (2) และ (3) มีปริมาณมากกว่า (1) ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณอนุมูลอิสระของน้ำที่มีบทบาทในการแผ่ขยายสายโซ่

หลังจากมอนอเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ 80–90 % แล้ว อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อทำการฉายรังสีต่อไปจะเกิดการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระมหภาค เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย อนุมูลอิสระขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลโดยตรงจากการฉายรังสีให้แก่พอลิเมอร์หรือ) เป็นผลมาจากสารมัธยันต์ที่เกิดการแตกตัวของน้ำเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลมหภาค (Macromoleculeสำหรับโครงสร้างร่างแหนั้นอาจเกิดการรวมกันของอนุมูลอิสระที่อยู่บนแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์ โดยถือว่าเป็นการเกิดพันธะเชื่อมโยงอย่างง่าย หรืออาจเกิดจากการรวมกันของอนุมูลอิสระที่อยู่บนปลายสายโซ่กับอนุมูลอิสระขนาดใหญ่ตัวอื่น โดยเรียกการรวมกันแบบนี้ว่า "Endlinking"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของไฮโดรเจล และการนำไปใช้งาน

ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำ และไอออนได้ โดยสมบัติเชิงกล และรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสมบัติดังกล่าวนี้คล้ายคลึงกับอวัยวะบางอย่างในร่างกายคน เช่น กล้ามเนื้อ เอ็น ลำไส้เล็ก เป็นต้น นอกจากนี้ไฮโดรเจลยังมีสมบัติเข้ากันได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง เนื้อเยื่อ จึงสามารถนำมาทำเลนส์สัมผัส วัสดุแต่งบาดแผลจากไฟไหม้ ตลอดจนใช้เคลือบวัสดุที่ต้องนำมาใช้สัมผัสกับร่างกายอีกทั้งยังสามารถใช้เคลือบอวัยวะเทียมที่ใช้ในร่างกายได้

Hydrogel dressing

แผลที่เกิดจากอุบัติเหตุไฟไหม้ หรือน้ำร้อนลวก มีความเสี่ยงสูงมากต่อการเกิดเชื้อโรคจากสิ่งแวดล้อม และการสูญเสียน้ำจากร่างกาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการรักษาบาดแผลไฟไหม้ธรรมดาจนถึงแผลฉกรรจ์ ทำได้โดยวิธีปลูกถ่ายเนื้อเยื่อ หรือการทำศัลยกรรมแต่งผิวเท่านั้น เพื่อช่วยแก้ปัญหาการสูญเสียผิวหนัง และเร่งการรักษาบาดแผลให้เร็วยิ่งขึ้น โดยแผ่นผิวหนังที่ใช้อาจเป็นผิวหนังที่สมบูรณ์ หรือแผ่นผิวหนังที่ผ่านการเพาะเลี้ยงจากห้องปฏิบัติการ เนื่องจากวิธีดังกล่าวนี้มีข้อเสีย ดังนั้นผิวหนังเทียมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่อาจช่วยแก้ปัญหาได้ โดย Hydrogel dressing เป็นวัสดุที่มีแนวโน้มนำมาใช้เป็นผิวหนังเทียมปิดรักษาบาดแผลที่นิยมมากที่สุด

วัสดุตกแต่งบาดแผล หรือหนังเทียมที่ใช้ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มธรรมดา (Convertional) ได้แก่ ผ้ากอซ (Gauze) ผ้าพันแผลที่อิ่มตัวด้วยขี้ผึ้ง หรือน้ำมันซิลิโคน เป็นต้น

2. กลุ่มชีวภาพ (Biological) ได้แก่ ผิวหนังจากศพ ผิวหนังสัตว์ ฟองน้ำ และคอลลาเจน (Collagen) เป็นต้น

3. กลุ่มสังเคราะห์ (Synthesis) ได้มาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์

วัสดุตกแต่งบาดแผลจะมีการนำมาใช้แบบครั้งต่อครั้ง ซึ่งความถี่ของการเปลี่ยนในแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุ เช่น สมบัติการขัดถู หรืออาจขึ้นกับปฏิกิริยาการต่อต้านของร่างกายเมื่อมีสิ่งแปลกปลอมเข้ามา

สมบัติของวัสดุตกแต่งบาดแผลมีดังนี้

1. สามารถดูดซับของเหลวออกจากร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. มีความยืดหยุ่น และความแข็งแรงเชิงกลสูง
3. ยอมให้ก๊าซออกซิเจนแพร่ซึมผ่านเข้าไปถึงผิวหน้าของบาดแผลได้
4. สามารถควบคุมการปล่อยยาได้
5. ปราศจากเชื้อโรค
6. ดูแลสุขภาพผิวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. มีความเสถียรคงทน
8. มีความโปร่งใส
9. ใช้ง่าย สะดวก และเก็บรักษาง่าย
10. หาได้ทั่วไป และราคาถูก

นอกจากนี้วัสดุตกแต่งบาดแผลต้องมีสมบัติเพิ่มเติม ได้แก่

- ความสามารถในการยึดติดกับแผล

วัสดุตกแต่งบาดแผลควรมีความสามารถในการยึดเกาะกับแผลได้แนบสนิทแต่ไม่ควรจะแน่นเกินไปจนทำลายเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นใหม่เมื่อทำการลอกวัสดุตกแต่งออกจากบาดแผล

- การควบคุมความชื้นของแผล

วัสดุตกแต่งแผลควรมีสมบัติในการควบคุมความชื้นของแผลให้เหมาะสมไม่เปียกชุ่มเกินไปด้วยน้ำเหลืองที่ออกจากแผล หรือปล่อยให้แผลแห้งจนเป็นสะเก็ด เพราะว่าแผลที่เปียกชุ่มเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของจุลชีพ แต่ถ้าแผลแห้งจนเป็นสะเก็ดจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของเซลล์ผิวหนังที่พยายามจะเคลื่อนที่มาสมานแผลด้วยกลไกธรรมชาติ ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาใช้ปิดบาดแผลจะต้องมีความสามารถในการดูดซับของเหลวได้ในอัตราเดียวกับการผลิตของเหลวจากบาดแผล และสามารถให้ไอน้ำระเหยออกจากบาดแผลได้ซึ่งสามารถรักษาระดับความชื้นของบาดแผลไว้ได้

<u>สมบัติบางประการของ Hydrogel dressing</u>

ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้มาก เมื่อทำเป็นแผ่นบางจะมีความยืดหยุ่น ใส สะดวกต่อการนำไปใช้ แต่มีปัญหาบางประการได้แก่ เมื่อทำเป็นแผ่นบางแล้ว อัตราการสูญเสียน้ำจากไฮโดรเจลสูง ทำให้เจลแห้ง แข็ง เปราะ และทำให้ติดผิวหนัง รวมทั้งดูดซับน้ำและของเหลวออกจากร่างกาย ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยเติมสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอล (Poly(ethylene glycol)) หรือ พอลิพรอพิลีนไกลคอล (Poly(propylene glycol)) และสารที่ทำให้คงรูปร่าง เช่น วุ้น หรือเจลาติน เป็นต้น ถ้าเพิ่มปริมาณของเอทิลีนไกลคอล และวุ้น จะทำให้อัตราการบวมตัวเปลี่ยนโดยถ้าเพิ่มปริมาณของเอทิลีนไกลคอล จะทำให้ไฮโดรเจลมีสมบัติการดูดซับน้ำดีขึ้น แต่ถ้ามีวุ้นในปริมาณมากจะส่งผลให้ไฮโดรเจลมีสมบัติการดูดซับน้ำต่ำลง

สมบัติเชิงกลของ Hydrogel dressing บางประการ เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ไม่เพียงแต่แปรตามปริมาณองค์ประกอบในไฮโดรเจลเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีที่ถูกดูดกลืนด้วย ซึ่งพบว่าที่ปริมาณรังสีมากจะทำให้มีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของไฮโดรเจลจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า

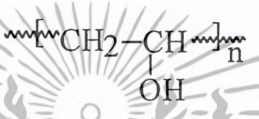
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากความหนาแน่นการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น

Hydrogel dressing มีความสามารถในการดูดซับน้ำ จึงยอมให้มีการซึมผ่านของออกซิเจนหรือก๊าซอื่นๆ เข้าไปในบาดแผลได้ นอกจากนี้ Hydrogel dressing ยอมให้สารบางชนิดที่เป็นของแข็งแพร่ผ่านจากผิวด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง

2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA)

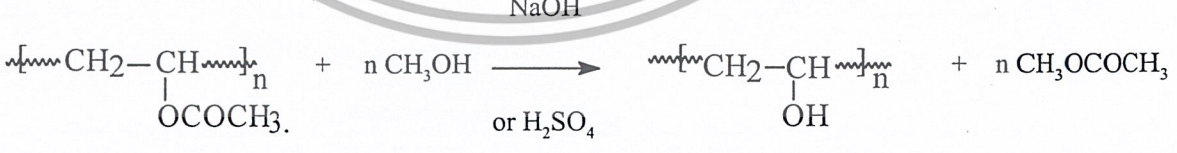
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีความสำคัญตัวหนึ่ง ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังนี้



สามารถนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่น ใช้ทำฟิล์มเคลือบผิวเส้นใย ใช้เป็นสารช่วยในการถอดแบบจากแม่พิมพ์ ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือสารข้น ใช้เป็นกาวในอุตสาหกรรมกระดาษ อีกทั้งใช้เป็นวัสดุในทางการแพทย์

<u>การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์</u> [2]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เตรียมได้โดยการไฮโดรลิซิสพอลิไวนิลเอสเทอร์ เนื่องจากไวนิลแอลกอฮอล์อยู่ในลักษณะ Tautomeric form คือ Acetaldehyde โดยส่วนใหญ่จะใช้พอลิไวนิลแอซิเตต (Poly(vinyl acetate); PVAc) เป็นสารตั้งต้น โดยการไฮโดรลิซิสในกรดหรือเบส ซึ่งจะเกิดทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าปฏิกิริยา Saponification สามารถเขียนสมการเคมีได้ดังนี้



Poly(vinyl acetate) Poly(vinyl alcohol)

ผลของการไฮโดรลิซิสในปฏิกริยานี้ คือ เมทิลแอซิเตต (Methyl acetate) การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลแอซิเตตจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็น Autocatalytic ภายใต้เงื่อนไขปกติการไฮโดรลิซิสเกิดขึ้นเกือบสมบูรณ์ประมาณ 90 % แต่เพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไฮโดรลิซิสเกิดขึ้น 100 % ต้องมีเงื่อนไขพิเศษ และการเกิดไฮโดรลิซิสบางส่วนนั้นเป็นไปได้ยาก เพราะกระบวนการเกิดเร็วมาก

สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความหนาแน่น 1.293 g/cm^3 มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) 80 °C มีคุณสมบัติคล้ายแป้ง คือ เมื่อนำมาทดสอบกับไอโอดีน จะเกิดสีน้ำเงิน นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำเย็น และด่างอ่อนได้

โครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบอะแทกติก (Atactic) แต่มีความเป็นผลึกมากกว่าพอลิไวนิลแอซิเตต เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซี (-OH) มีขนาดเล็กกว่าหมู่แอซิเตต (-OCOCH$_3$) น้ำหนักโมเลกุลที่ใช้ในอุตสาหกรรมมี 3 ช่วง คือ 250,000–300,000 120,000-150,000 และ 25,000–30,000 ตามลำดับ

รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของโมเลกุลแบบอะแทกติก (Atactic)

สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับ

- ดีกรีของแอลกอฮอล์ลิซิส คือ ถ้าถูกไฮโดรไลส์สมบูรณ์ 100 % จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น ทนทานต่อการฉีกขาดมากขึ้น และมีพันธะไฮโดรเจนมากขึ้นด้วย
- ความชื้นของสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำสามารถเป็นพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ให้กับพอลิเมอร์ชนิดนี้ได้ เช่น ถ้ามีความชื้น 50 % เป็นผลให้มีค่าความทนต่อแรงดึงลดลง แต่จะเพิ่มความสามารถในการยืดออกมากขึ้น
- น้ำหนักโมเลกุล พบว่า พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะทนต่อแรงดึง และแรงฉีกขาดได้น้อยกว่า พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

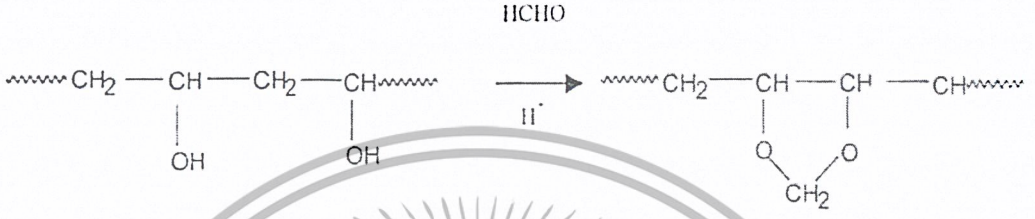
สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ ความสามารถในการละลายน้ำได้ แต่จากสมบัตินี้เอง ทำให้เส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้นั้น ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ในสภาพความเป็นจริง จึงมีการปรับปรุงพอลิเมอร์ชนิดนี้ ให้อยู่ในสภาพของพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปรับปรุงสมบัติของไฮโดรเจลมีดังนี้

1. การปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์

นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาทำปฏิกิริยาปฏิกิริยาเคมีกับฟอร์มาลดีไฮด์1/3 หมู่ของ –OH ไปเป็นหมู่ฟอร์มาล (Formal)



รูปที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาเคมีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับฟอร์มาลดีไฮด์

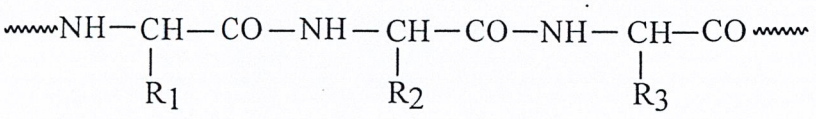
ปฏิกิริยาของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และฟอร์มาลดีไฮด์จะเกิดขึ้นตามสมการข้างต้น ปฏิกิริยานี้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะอยู่ในสภาพของแข็ง ดังนั้น ฟอร์มาลดีไฮด์จะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้เฉพาะในส่วนอสัณฐาน แต่ไม่เข้าไปทำปฏิกิริยาในส่วนที่เป็นผลึกของพอลิเมอร์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในสภาพที่เป็นของแข็งจะมีส่วนที่เป็นผลึกและไม่เป็นผลึก ถ้าส่วนที่เป็นผลึกนั้นมีปริมาณไม่มากพอก็จะทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดังกล่าวสามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิ 50° C

2. การปรับสภาพทางความร้อน(Heat Treatment)

นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาผ่านกระบวนการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ° C จะทำให้ความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นจะไม่ละลายน้ำแม้เพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 80° C

2.3 เส้นไหม [3]

เส้นไหมเป็นเส้นใยพอลิเอไมด์ (Polyamide) ที่หนอนไหมสร้างใยขึ้นมา (เป็นกรด α-อะมิโน) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโซ่ยาวด้วยการควบแน่น

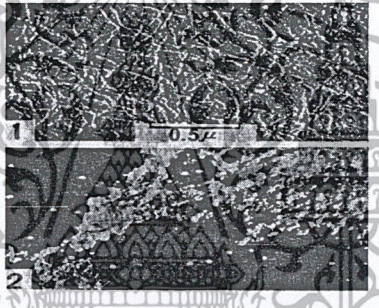


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

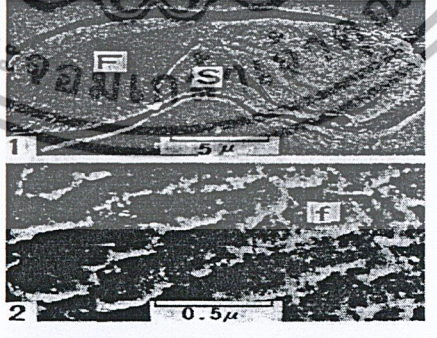
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(R_1, R_2, R_3, ... เป็นโซ่ข้างเคียง) ความเร็วในการสร้างเส้นใยประมาณ 7-8 เซนติเมตรต่อวินาที ยืดออกไปด้วยความเร็วต่ำ และเส้นใยเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารคอลลอยด์ที่บริสุทธิ์

การสังเคราะห์โปรตีนในเส้นไหม ทำในเซลล์ของต่อมไหมที่อยู่ในตัวของหนอนไหม สารไหมเหลว (Liquid silk) จะถูกขับออกมาทางต่อมไหมส่วนท้าย (Posterior silk gland) และหลังจากนั้นส่งไปยังต่อมไหมส่วนกลาง (Middle silk gland) ระหว่างที่อยู่ในต่อมไหมส่วนกลาง สารไหมเหลวกลายเป็นเจลาติน (Gelatin) ส่วนเซริซิน (Sericin) ถูกขับออกมาจากส่วนอื่นของต่อมไหมส่วนกลาง เพื่อที่จะเคลือบเจลาติน หลังจากนั้นเจลาตินของไฟโบรอินจะมีความเหนียวขึ้น โดยอาศัยการส่ายหัวของหนอนไหม อาการเคลื่อนไหวนี้เกิดขึ้นที่ต่อมไหมส่วนหน้า หลังจากที่ใยไฟโบรอิน 2 เส้นรวมเป็นเส้นใยไหมโดยเคลือบด้วยกาวเซริซิน เมื่อผ่านรูเล็กๆ (Orifice of spinneret) ก็กลายเป็นเส้นใยที่นำมาใช้เป็นสิ่งทอ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างจุลทรรศน์ของไฟโบรอิน และเซริซิน 1) ไมโครไฟบริล 2) เซริซิน (Cr-shadowing, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน)

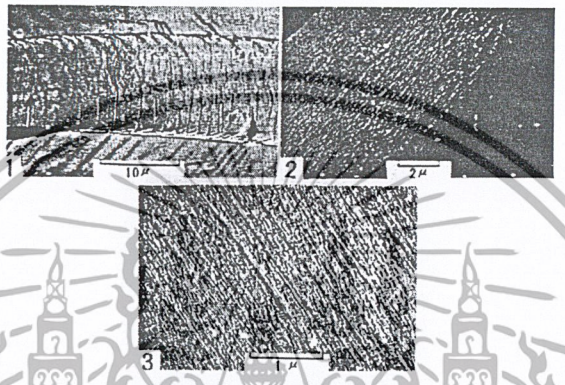


รูปที่ 2.6 แสดงภาคตัดขวางของเส้นไหมจากรังไหม Bombyx mori
F; ใยไฟโบรอิน (Fibroin), S; กาวเซริซิน (Sericin), f; ไฟบริล (Fibril)
(Carbon–Replica, Cr-shadowing กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
49247

ลักษณะผิวของเส้นไหม

โดยทั่วไปแล้วผิวของเส้นไหมชั้นนอกมีกาวเซริซินมาก และเซริซินมีโครงสร้างเป็นคลื่นมากมายไปตามแนวความยาวปกคลุมเส้นใยไฟโบรอิน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แต่เซริซินที่ชั้นกลางและชั้นในจะมีโครงสร้างการเคลือบที่สม่ำเสมอกว่าโครงสร้างผิวของไฟโบรอินของเส้นไหมเลี้ยงที่ลอกกาวเซริซินออกหมดแล้ว



รูปที่ 2.7 แสดงสภาพผิวของใยจากรังไหม และใยไฟโบรอินของไหมเลี้ยง (Bombyx mori)

1) สภาพที่เคลือบด้วยกาวเซริซิน
2) โครงสร้างไฟบริลของผิวเส้นใยที่ลอกกาวออกแล้ว
3) โครงสร้างไมโครไฟบริลของผิวเส้นใย

(Carbon-Replica, Cr-shadowing กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน)

โครงสร้างทางเคมีของเซริซิน

เส้นใยของไหมเลี้ยงมีกรดอะมิโน 4 ตัว คือ ไกลซีน (Glycine) อะลานีน (Alanine) เซรีน(Serine) และไทโรซิน (Tyrosine) รวมกันได้ 83 % ของกรดอะมิโนทั้งหมด ไกลซีนมีมากกว่าอะลานีน ส่วนเซรีนมีมากกว่าไทโรซีน นอกจากนี้มีกรดอะมิโนที่มีขั้วอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งมีโซ่ข้างเคียงเป็นกรดหรือเบส

เซริซินเคลือบเส้นใยไฟโบรอินอยู่ มีเซรีน (Serine) ธรีโอนีน (Threonine) ของกรดออกซีอะมิโนจำนวนมาก และมีกรดแอสพาติค (Aspartic acid) และกรดกลูตามิค (Glutamic acid) ของกรดอะมิโนที่เป็นกรดอาจีนีน (Arginine) และไลซีน (Lysine) ของกรดอะมิโนที่เป็นเบสจำนวนค่อนข้างมาก ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนของเซริซินและไฟโบรอิน
(กรดอะมิโนเป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม)

กรดอะมิโน		เซริซินทั้งหมด	ไฟโบรอิน
Non-polar Amino acid	Glycine	8.66	41.25
	Alanine	3.51	28.87
	Valine	3.14	2.63
	Leucine	1.02	0.32
	Isoleucine	0.77	0.44
	Proline	0.66	-
	Phenylalanine	0.50	0.58
Acid amino acid	Aspartic acid	17.03	0.76
	Glutamic acid	7.46	0.69
Basic amino acid	Arginine	6.07	0.86
	Histidine	1.88	-
	Lysine	4.95	0.17
Oxy amino acid	Serine	27.32	13.22
	Threonine	7.48	0.81
	Tyrosine	4.43	10.96
Sulfur-complex Amino acid	Methionine	-	-
	Cystine	0.20	-
	รวม	95.08	101.56

ส่วนประกอบนี้แตกต่างจากใยไฟโบรอิน เมื่อนำส่วนประกอบกรดอะมิโนของชั้นเซริซิน 4 ชนิด สกัดจากรังไหมที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่ำ (0-5°C) ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1 นอร์มอล มีส่วนประกอบเหล่านี้จำนวนมากคือ กรดกลูตามิค (Glutamic acid) อะลานีน (Alanine) ลิวซีน (Leucine) ไอโซลิวซีน (Isoleucine) ฟีนีลอะลานีน (Phenylalanine) และไลซีน (Lysine) ฯลฯ ที่ชั้นของเซริซิน F_1 และ F_2 ละลายได้ง่าย แต่ชั้นเซริซิน F_3 และ F_4 เป็นส่วนที่ละลายยาก เพราะมีสารเหล่านี้มากคือ เซรีน ธรีโอนีน ไทโรซีน กรดแอสพาติค (Aspartic acid) และฮีสติดีน (Hystidine) ฯลฯ ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนในเซริซินที่แยกเป็น 4 ชั้น
(กรดอะมิโนเป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม)

กรดอะมิโน		ชั้นของเซริซิน			
		F_1	F_2	F_3	F_4
Non-polar Amino acid	Glycine	8.59	8.44	8.91	8.99
	Alanine	3.64	3.56	2.80	2.37
	Valine	3.12	3.01	3.04	2.98
	Leucine	1.27	1.11	1.42	0.78
	Isoleucine	0.97	1.02	0.76	0.59
	Proline	0.98	0.43	0.12	0.25
	Phenylalanine	0.65	0.52	0.29	0.19
Acid amino acid	Aspartic acid	16.50	16.94	17.72	18.94
	Glutamic acid	7.61	7.40	6.84	5.82
Basic amino acid	Arginine	5.82	6.08	5.71	5.70
	Histidine	1.91	2.07	2.39	2.39
	Lysine	4.78	4.81	4.15	3.91
Oxy amino acid	Serine	26.31	26.95	27.97	29.68
	Threonine	6.94	7.29	8.18	8.41
	Tyrosine	3.60	4.53	4.50	4.59
Sulfur-complex Amino acid	Methionine	0.34	-	-	-
	Cystine	0.66	0.12	-	-
รวม		93.69	94.28	94.80	95.59

ปกติจะแบ่งเซริซินเป็น 3 ส่วน คือ เซริซิน I (ละลายได้ง่าย ประมาณ 40 %) เซริซิน II (ละลายได้ปานกลาง ประมาณ 40-50 %) และเซริซิน III (ละลายยาก ประมาณ 10-20 %) โดยใช้ความแตกต่างของการละลายด้วยน้ำร้อน แต่โดยวิธีนี้การสกัดด้วยน้ำร้อนจะให้ปริมาณเซริซินต่ำ และเซริซินเกิดการเปลี่ยนแปลงจากความร้อนได้ง่าย

สาเหตุที่เซริซินมีส่วนประกอบมากกว่า 3 ส่วน เนื่องมาจากคุณสมบัติจากเซริซิน มีกรดอะมิโนมาก เช่น เซรีน และธรีโอนีน ฯลฯ สภาพไม่สม่ำเสมอทำให้มีส่วนประกอบมากกว่า 3 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของผงไหมชนิดต่างๆ

1. การทำเครื่องสำอาง

   Silk fibroin

   - เป็น Moisturizer คงสภาพความชุ่มชื้นแก่ผิวหนัง
   - ป้องกันแสงยูวี

   Silk peptide

   - บำรุงเส้นผม เพิ่มความมันวาวและการสปริงตัวของเส้นผม
   - ส่งเสริมการเจริญเติบโตของเส้นผม
   - สามารถซึมซับเข้าในเส้นผมได้ จึงช่วยซ่อมแซมเส้นผมที่เสียได้
   - ยับยั้งการสร้าง Mealanin ป้องกันการจุดกระบนผิวหนัง
   - ช่วยยืดอายุของเซลล์ผิวหนัง
   - ป้องกันผิวหนังจากเชื้อแบคทีเรียในอากาศ

   Sericin powder

   - ป้องกันการเกิดฝ้า
   - ช่วยให้ผิวหน้าชุ่มชื่น

2. ด้านการแพทย์
   - ช่วยในการรักษาแผลให้หายเร็วขึ้น
   - ลดคลอเรสเตอรอลในเลือด
   - ป้องกันแผลไม่ให้เป็นหนอง
   - ป้องกันการเกิดโรคหัวใจและกระตุ้นหัวใจ
   - ช่วยในด้านความจำ
3. ด้านอาหารและเครื่องดื่ม
   - ช่วยลดแอลกอฮอล์ในผู้ที่เมาค้าง
   - ช่วยป้องกันตับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย

ชนิดกรดอะมิโนในผงไหม	หน้าที่และคุณสมบัติ
Glycine[#]	- ควบคุมระดับคลอเรสเตอรอล - ป้องกันและรักษาความดันโลหิตสูง - ช่วยเสริมสร้างการทำงานของตับ
Alanine[#]	- เป็นแหล่งพลังงานสำคัญต่อเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ สมอง และระบบประสาทส่วนกลาง - ผลิต antibodies ที่ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น - ช่วยในระบบการทำงานของน้ำตาลและกรดอินทรีย์, digest alcohol (สลายแอลกอฮอล์)
Serine[#]	- เป็นแหล่งในการสะสมน้ำตาลกลูโคสในตับ และกล้ามเนื้อ จึงช่วยส่งเสริมระบบการทำงานของอินซูลิน (Insulin) เป็นการลดน้ำตาลในเลือดซึ่งช่วยในการเผาผลาญไขมันที่สะสมในร่างกาย - ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรงขึ้น - ช่วยสังเคราะห์กรดไขมันล้อมรอบ Nerver fibers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aspatic acid	- ช่วยขับไล่อาการบาดเจ็บ และสารพิษแอมโมเนียออกจากร่างกาย - ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเหนื่อยอ่อน - ช่วยระบบกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหว
Tyrosine	- ช่วยในการส่งผ่านเส้นประสาทไปยังสมอง อีกทั้งมีผลดีต่อระบบประสาท - ช่วยความจำ - กระตุ้นการเต้นของหัวใจ
Glutamic acid	- ช่วยลดแอมโมเนียในเลือดซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับโปรตีนในสมอง และระบบการทำงานของน้ำตาล - ช่วยควบคุมโรคสุรา (Alccoholism) - รักษาปริมาณน้ำของผิวหนัง และป้องกันผิวแห้ง
Threonine*	- ป้องกันการเกิดไขมันในตับ - ช่วยย่อยและช่วยระบบการทำงานของร่างกาย
Isolesine*	- กระตุ้นการทำงานของสมองส่วนบน
Leusine*	- ลดน้ำตาลในเลือด - ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น
Arginine	- เสริมสร้างภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเซลล์เนื้องอก - ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น - ช่วยเสริมสร้างตับ
Cystine	- ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และเพิ่มความแข็งแกร่งให้ร่างกายในการต่อต้านรังสี และมลพิษ - ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน - มีความจำเป็นต่อการสร้างผิวหนัง ซึ่งจะช่วยให้แผลไฟไหม้ และแผลผ่าตัดหายเร็วขึ้น - ส่วนของผมและผิวหนังจะประกอบด้วย Cystine 10-14 %
Lysine*	- ต่อต้านเริม งูสวัด โดยจะช่วยให้เกิดความสมดุลของธาตุอาหาร และไปลดการเจริญของไวรัส - การขาด Lysine มีผลทำให้เหนื่อยง่าย ยับยั้งการเติบโต ผมร่วง โรคโลหิตจาง และเกิดปัญหาต่อระบบสืบพันธุ์
Phenylalanine*	- มีผลดีต่อระบบเส้นประสาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Methionine*	- เป็นแหล่งที่ให้สารกำมะถันซึ่งป้องกันการเกิดโรคเกี่ยวกับผม ผิวหนังและเล็บ - ช่วยลดระดับคลอเรสเตอรอล โดยการผลิตเลซิตินในตับ - ลดไขมันตับ และป้องกันไต - ป้องกันผมร่วงและส่งเสริมการเจริญของเส้นผม
Valine*	- ช่วยให้จิตใจกระปรี้กระเปร่า ประสานการทำงานของกล้ามเนื้อ
Trptophan*	- สนับสนุนการผลิตเม็ดเลือดแดง - ป้องกันและช่วยลดอันตรายที่จะเกิดกับเส้นโลหิตแดง และการชักกระตุกของหัวใจ - ทำงานร่วมกับ Lysine ในการลดคลอเรสเตอรอล
Proline	- รักษาความดันโลหิตสูง - มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของข้อ และเอ็น - ช่วยบำรุงรักษากล้ามเนื้อหัวใจ
Histidin	- พบมากในเม็ดเลือดแดง ใช้ในการรักษารูมาตอยโรคข้ออักเสบ อาการผื่นคัน โรคผื่นคัน แผลพุพอง และโรคโลหิตจาง - ถ้าขาด จะมีผลต่อการได้ยินเสียงลดลง - ส่งเสริมการผลิตเซลล์เม็ดเลือด ช่วยขยายหลอดเลือด

หมายเหตุ * กรดอะมิโนที่มีความจำเป็น (Essential amino acid)

กรดอะมิโนในไหมที่พบมาก และมีความสำคัญต่อร่างกายมากที่สุด (4 ชนิด)

<u>กระบวนการลอกกาว</u>

การลอกกาวคือ กระบวนการพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยนำเส้นไหม เส้นด้าย และผ้าไหมดิบมาลอกกาวเซริซินที่เคลือบบนผิวของเส้นใย นอกจากเซริซินแล้ว ก็ยังมีส่วนประกอบอย่างอื่นอีกเล็กน้อย เช่น ขี้ผึ้ง คาร์โบไฮเดรต สี สารอนินทรีย์ สิ่งสกปรก เศษดักแด้ และสารปรุงแต่งเส้นใย

ในปัจจุบันการลอกกาวจะใช้สบู่ และเกลือด่าง เช่น โซเดียมซิลิเกต โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต โซเดียมฟอสเฟต มีการลอกกาวแบบใช้สบู่ แบบใช้โซเดียม และแบบผสมใช้สบู่และโซเดียม โดยอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการละลายระหว่างเซริซิน และไฟโบรอิน

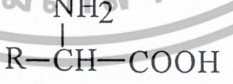
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลอกกาวมีวิธีหลักๆ อยู่ คือ วิธีการลอกกาวโดยใช้มือ เช่น การลอกกาวจากไจไหมโดยใช้แท่งไม้ไผ่ในถุง ต้มเป็นห่วง และวิธีการลอกกาวโดยใช้เครื่องมือ เช่น เครื่องย้อมไจไหมแบบสเปรย์ เครื่องย้อมแบบวินช์ (Winch) หรือจิ๊ก (Jig) เครื่องลอกกาวแบบโฟแรม (Foram) แบบใช้ความดันสูง และเครื่องลอกกาวแบบต่อเนื่องโดยใช้ความดันสูง

วิธีการลอกกาวสามารถจำแนกโดย ดีกรีของการลอกเซริซิน ชนิดของสารลอกกาว เครื่องมือและชนิดของด้าย ซึ่งโดยทั่วไปการลอกกาวหมายถึง การลอกเซริซินออก 100 % แต่บางครั้งมีการลอกกาวออกเพียง 30 % 50 % และ 70 % ทั้งนี้ ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์

2.4 ซิลค์โปรตีน

ซิลค์โปรตีนเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมวลโมเลกุลสูง โปรตีนทุกชนิดประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน (O) และกำมะถัน (S) แต่โปรตีนบางชนิดมีธาตุฟอสฟอรัส (P) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) เพิ่มเข้ามา หน่วยโครงสร้างของโปรตีนคือ กรดอะมิโน ซึ่งสามารถถูกแยกออกจากโปรตีนได้โดยการไฮโดรไลส์ด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด ดังตารางที่ 2.3 โดยแต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวที่เรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์ ต่อกันอยู่ในลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีการแตกกิ่ง พันธะโคเวเลนท์ที่เชื่อมอยู่ระหว่างกรดอะมิโนมีชื่อว่า พันธะเพปไทด์ ซึ่งพันธะนี้เป็นพันธะเอไมด์ที่เกิดการสูญเสียน้ำจากหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับหมู่แอลฟาอะมิโนของกรดอะมิโนที่อยู่ถัดไป โมเลกุลของโปรตีนอาจประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เพียงโซ่เดียวหรือมากกว่าก็ได้ โดยมีความยาวที่แตกต่างกันออกไป โดยมีกรดอะมิโนตั้งแต่ประมาณ 40 ถึงมากกว่า 4,000 หน่วย ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี มวลโมเลกุล และการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะโดยกรดอะมิโนมีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ



ภายในโมเลกุลของกรดแอลฟาอะมิโน จะมีหมู่อะมิโนต่ออยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอนของกรดคาร์บอกซิลิก (กรดอะมิโนทุกตัวมีแอลฟาคาร์บอน ยกเว้นไกลซีน) แต่เนื่องจากเอมีนเป็นเบสและคาร์บอกซิลิกเป็นกรดจึงเกิดการส่งผ่านโปรตอนจากกรดให้เบส ซึ่งสูตรโมเลกุลของกรดอะมิโนจึงเขียนอยู่ในรูปที่แตกตัวเป็นไอออน หรือรูปที่มีประจุสองขั้วได้ ดังนี้

โครงสร้างที่เป็นประจุของกรดแอลฟาอะมิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงชื่อของกรดแอลฟาอะมิโนที่พบมากในธรรมชาติ มี 20 ชนิด [4]

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

<u>โปรตีน</u> แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยอาศัยโครงรูป (Conformation) หรือรูปร่างสามมิติได้ดังนี้ คือ

1. <u>โปรตีนก้อนกลม</u> (Globular Proteins)

ประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์มาขดม้วนแน่นในลักษณะกลมโดยเอาหมู่ R ที่มีขั้วของกรดอะมิโนอยู่ข้างนอกโมเลกุล ซึ่งจะถูกไฮเดรตด้วยน้ำ และเอาหมู่ R ที่ไม่ชอบน้ำไว้ข้างในโมเลกุล ซึ่งโครงสร้างของโปรตีนพวกนี้ประกอบด้วยเกลียวแอลฟา และโครงรูปเบต้าในปริมาณต่างๆ กัน โดยส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ ตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เอนไซม์ (Enzyme) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาต่างๆ ของร่างกาย
- โปรตีนที่ทำหน้าที่ลำเลียงสารต่างๆ ไปยังเซลล์ เช่น ซีรัม (Serum) อัลบลูมิน (Alblumin) พบในไข่ขาว และฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) พบในเม็ดเลือด
- โปรตีนที่ทำหน้าที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมให้ร่างกาย เรียกว่า แอนติบอดี (Antibody)
- โปรตีนที่ช่วยควบคุมเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต เรียกว่า อินซูริน (Insulin) จัดเป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่ง อยู่ในตับอ่อน

2. โปรตีนเส้นใย (Fibrous Proteins)

ประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เป็นเส้นยาวขนานกับแกนในลักษณะเป็นเส้นใย หรือเป็นแผ่น มีความแข็ง เหนียว และอาจจะยืดหยุ่น ไม่ละลายน้ำ หรือในสารละลายเกลือที่เจือจาง ซึ่งโปรตีนพวกนี้เป็นโปรตีนโครงสร้างที่สำคัญในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ชั้นสูง ตัวอย่างเช่น

- เคราติน (Keratin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบในขนสัตว์ เขาสัตว์ เล็บ และเส้นผม
- คอลลาเจน (Collagen) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง ได้แก่ ส่วนของเอ็น กระดูกอ่อน และฟัน คอลลาเจนมีประมาณร้อยละ 25 ของโปรตีนทั้งหมดในร่างกาย
- ไฟโบรอิน (Fibroin) เป็นโปรตีนที่พบในเส้นไหม
- ไมโอซิน (Myosin) เป็นโปรตีนกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการยืด-หดของกล้ามเนื้อ

โครงสร้างของโปรตีน สามารถแบ่งได้ 4 ชนิด ได้แก่

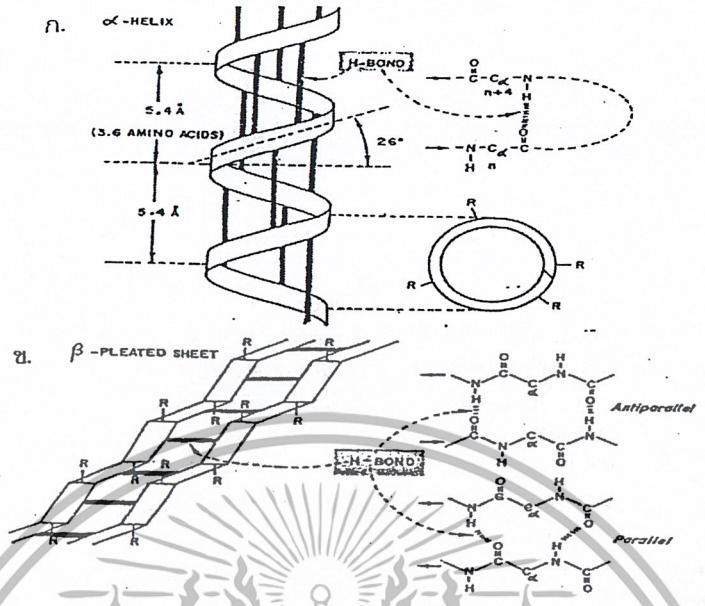
1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure)

หมายถึง โครงสร้างของโปรตีนที่ประกอบด้วยการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะเป็นสายโซ่ยาวของพอลิเพปไทด์ และยึดกันด้วยพันธะเพปไทด์ ตัวอย่างเช่น แองจิโอเทนซิน II (Angiotensin II) เป็นฮอร์โมนที่อยู่ในน้ำเลือด (Blood plasma) ทำหน้าที่ปรับความดันโลหิต มีโครงสร้างชนิดปฐมภูมิดังนี้ H-Asp-Arg-Val-Tyr-Ile-His-Pro-Phe-OH

2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure)

เป็นโครงสร้างที่แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่มีรูปแบบสม่ำเสมอ โปรตีนทั้งหลายในธรรมชาติประกอบด้วย สายโซ่พอลิเพปไทด์ที่มีโครงสร้างแบบทุติยภูมิ 3 แบบด้วยกัน คือ α-เฮลิคส์ β-ชีท และ β–เบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

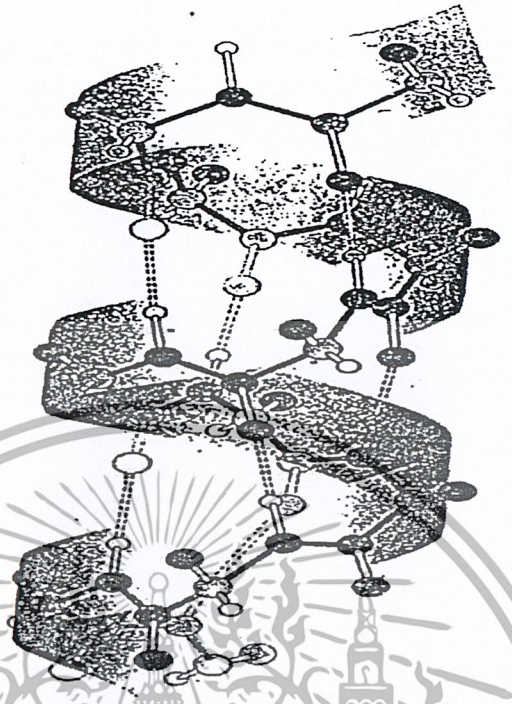


รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน ก. เกลียวแอลฟา ข. แผ่นพลีทเบต้า

2.1 α -เฮลิคส์

เป็นโครงสร้างระดับทุติยภูมิของสายพอลิเพปไทด์ที่พบมากที่สุด ซึ่งโครงสร้างของสายพอลิเพปไทด์จะขดวนเป็นเกลียวเหมือนสปริง หมู่คาร์บอนิลมีพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ NH ของเอมีดที่ห่างออกเป็น 4 ยูนิต และการหมุนวนของขดสปริงที่พบส่วนใหญ่เป็นแบบวนขวา ความเสถียรของ α-เฮลิคส์เกิดจากการที่มีพันธะไฮโดรเจนสำหรับหมู่คาร์บอนิลของทุกยูนิตของกรดอะมิโนแอซิดเรซิดิว และยังเป็นโครงสร้างที่ทำให้มีการจัดเรียงตัวของสายพอลิเพปไทด์ที่ประหยัด คือ อัดตัวกันแน่นเป็นเกลียว ซึ่งในการเขียนรูปโครงสร้างของโปรตีนนิยมใช้รูปขดสปริงแทนโครงสร้างแบบ α-เฮลิคส์ ดังรูปที่ 2.8 ก. และรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

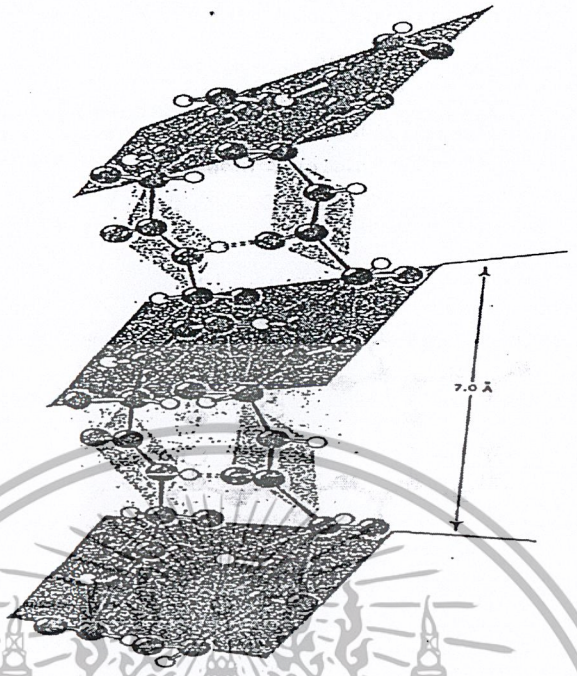


รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้าง α-เฮลิคส์ของพอลิเพปไทด์

2.2 β-ชีท

เป็นโครงสร้างระดับทุติยภูมิที่พบมากเป็นอันดับสองรองจาก α-เฮลิคส์ โดยβ-ชีทเกิดจากการที่สายพอลิเพปไทด์ 2 สายมาอยู่คู่ขนานกัน และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอนิลของสายหนึ่งกับหมู่ NH ของเอมีดจากอีกสายหนึ่ง ซึ่งแผ่นหรือระนาบที่เกิดจากการวางขนานกันของสายพอลิเพปไทด์ จะมีการหักขึ้นลงเป็นพลีท (Pleated) เหมือนรอยหยักขึ้น–ลงของพับกระดาษ ทั้งนี้β–ชีทที่คู่สายพอลิเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่งธาตุไนโตรเจน (N) ไปฝั่งธาตุคาร์บอน (C) ที่เหมือนกัน เรียกว่า พาราเลลβ–ชีท (Parallel β-sheet) ส่วนβ-ชีทที่คู่สายพอลิเพปไทด์มีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C ในทิศทางตรงกันข้ามกัน เรียกว่า แอนติพาราเลลβ-ชีท (Antiparallel β-sheet) โดยการเขียนโครงสร้างของโปรตีน นิยมใช้รูปเส้นลูกศรแบนในการแสดงโครงสร้างแบบβ-ชีท ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ข. และรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้าง β–ชีทของพอลิเพปไทด์

2.3 β-เบนด์

โครงรูป (Conformation) แบบ β–เบนด์จะพบบริเวณจุดหักมุมเพื่อกลับทิศทางของสาย α-เฮลิคส์ หรือ β–ชีท ซึ่งลักษณะทั่วไปจะเป็นลูกสูบ (Loop) โดยจะเกิดจากการที่หมู่คาร์บอนิลเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ถัดไป 3 ยูนิต

3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure)

หมายถึง โครงสร้างที่มีโซ่พอลิเพปไทด์มาขดม้วนแน่นในลักษณะกลมของโปรตีนก้อนกลม โดยพันธะที่เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้โครงสร้างนี้เสถียรอยู่ได้ คือ พันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนด์ และพันธะอ่อน เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรโฟบิก หรือพันธะนอนโพลาร์ และแรงวาลเดอร์วาลล์ นอกจากนี้ยังมีลักษณะเฉพาะที่สำคัญประการหนึ่งคือ การม้วนพับเข้าหากันจะให้ส่วนมีขั้วที่ชอบน้ำเรียกว่า ไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) อยู่ด้านนอก เพราะในสภาวะแวดล้อมทั่วไปมักเป็นน้ำ ส่วนที่ไม่มีขั้วเรียกว่า ไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) จึงอยู่ด้านใน ตัวอย่างเช่น ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีฮีม (Heme) เป็นองค์ประกอบ

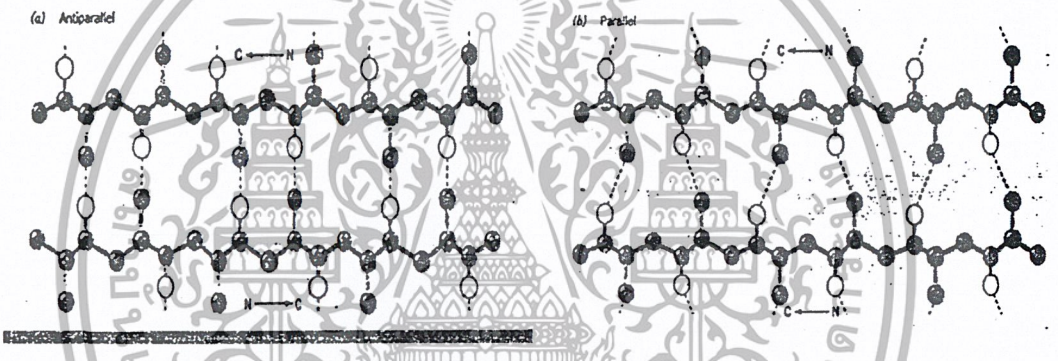
4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure)

หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์มากกว่าหนึ่งโซ่อยู่รวมกันด้วยพันธะอ่อน ซึ่งแต่ละโซ่พอลิเพปไทด์ หรือหน่วยย่อย หรือโปรโตเมอร์ (Protomer) อาจเหมือนกัน หรือ

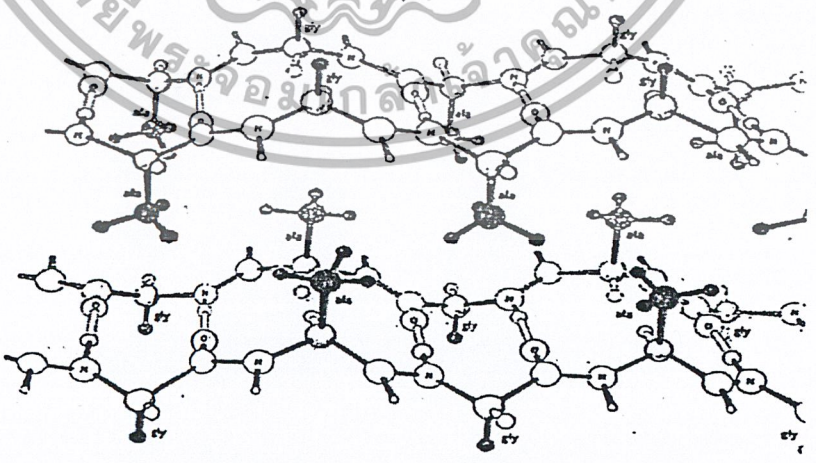
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกันได้ โดยโปรตีนที่มีโครงสร้างลักษณะนี้เรียกว่า โอลิโกเมอริกโปรตีน ตัวอย่างเช่น ฮีโมโกลบิน ประกอบด้วย โซ่แอลฟา 2 โซ่ และโซ่เบต้า 2 โซ่

ซิลค์โปรตีน เป็นโปรตีนพวกไฟโบรอินที่พบในเส้นไหม ประกอบด้วย กรดอะมิโนดังนี้ คือ ไกลซีน 40 % อะลานีน 29 % และเซรีน 12 % นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างปฐมภูมิที่ซ้ำกันคือ $(Gly\text{-}Ser\text{-}Gly\text{-}Ala\text{-}Gly\text{-}Ala)_n$ โดยโครงสร้างไฟโบรอินจะเป็นแผ่นพลีทเบต้า ซึ่งชนิดที่มีสายเพปไทด์วิ่งสวนทางกัน ทำให้ไฟโบรอินมีลักษณะเป็นแผ่นพลีท (Pleated) หลายๆ แผ่นมาซ้อนทับกัน ทั้งนี้ในแผ่นพลีทเบต้าสายเพปไทด์จะวิ่งขนานกัน มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่ม และกลุ่มของพันธะเพปไทด์ของสายเพปไทด์ที่เคียงคู่กัน โดยแขนข้าง (หมู่ R) จะชี้ออกสู่ด้านล่าง และด้านบนของสายเพปไทด์ แขนข้างที่มีขนาดเล็ก เช่น ไกลซีน เซรีน และอะลานีน จะช่วยทำให้แผ่นพลีทอยู่ตัวได้ดี ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12 เป็นโครงสร้างของซิลค์โปรตีน



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างแผ่นจีบเบต้าแบบไม่ขนานและขนาน



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างสามมิติของไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สมบัติและปฏิกิริยาบางประการของโปรตีน</u>

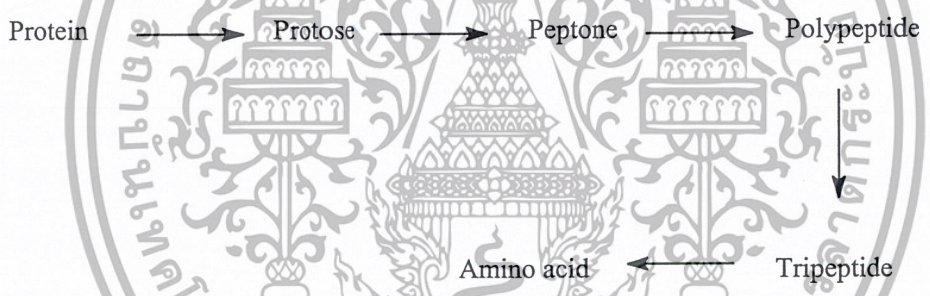
<u>สมบัติทางกายภาพ</u>

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

<u>สมบัติทางเคมี</u>

โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้หลายปฏิกิริยา

1. <u>ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส</u> (Hydrolysis reaction)โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำ โดยมีสารละลายกรด-เบส หรือเอนไซม์บางชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โปรตีนจะถูกไฮโดรไลส์จากโมเลกุลใหญ่ค่อยๆ กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ และถ้าการเกิดไฮโดรลิซิสเป็นไปอย่างสมบูรณ์ในที่สุดจะได้กรดอะมิโน เขียนสมการแสดงการเกิดไฮโดรลิซิส ได้ดังนี้



2. <u>ปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีน</u> (Biuret reaction) เป็นปฏิกิริยาเฉพาะสำหรับทดสอบโปรตีน และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลส์ โปรตีนที่ยังมีพันธะเพปไทด์อยู่ เช่น Protose, Peptone, Polypeptide และ Tripeptide โดยนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย $CuSO_4$ ในเบส NaOH ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาให้สีต่างๆ กัน ตั้งแต่สีน้ำเงิน หรือม่วงจนถึงชมพู ซึ่งสีเหล่านี้เป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนของทองแดงกับสารที่มีพันธะเปปไทด์ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป เรียกปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีนดังกล่าวนี้ว่า Biuret reaction ถ้าเป็นโปรตีนจะได้สารประกอบสีน้ำเงินอมม่วง ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลส์โปรตีนจะให้สีต่างๆ กัน ตั้งแต่สีม่วงจนถึงสีชมพู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล สำหรับกรดอะมิโนจะไม่เกิดปฏิกิริยานี้ เนื่องจากโมเลกุลของกรดอะมิโนไม่มีพันธะเพปไทด์ และการทดสอบนี้เป็นปฏิกิริยาเฉพาะที่จะให้ผลกับสารที่มีพันธะเพปไทด์ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. <u>การแปลงสภาพของโปรตีน</u> (Denature of protein) การที่โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากยึดติดกันด้วยพันธะเพปไทด์ ซึ่งภายในโมเลกุลอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งกันและกัน ทำให้โมเลกุลมีลักษณะเป็นเกลียวเป็นแผ่นมีการขดม้วนตัวด้วยแรงวาลเดอร์วาลล์ พันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติแบบต่างๆ โครงสร้างเหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ เพราะแรงดังกล่าวถูกทำลาย เช่น เกิดการคลายเกลียวของโปรตีนก้อนกลม เป็นสายโปรตีนที่ไร้ระเบียบ และเกิดการสูญเสียสมรรถนะทางชีวภาพ โปรตีนจะเกิดการแข็งตัวและไม่ละลายน้ำ

ปัจจัยที่ทำให้โปรตีนแปลงสภาพได้ มีดังนี้

(1) ความร้อน การให้ความร้อนเป็นการทำให้โปรตีนแปลงสภาพไป เกิดการแข็งตัว เช่น การต้มไข่ขาว การทำลายแบคทีเรียในอาหารด้วยความร้อนที่ 50 °C ทำให้โปรตีนแปลงสภาพได้

(2) ความเป็นกรดและเบส เมื่อค่าพีเอชของโปรตีนเปลี่ยนไป เนื่องจากได้รับ หรือเสียโปรตอน H^+ ซึ่งทำให้โปรตีนเกิดประจุขึ้น และสามารถจับกับไอออนอื่นได้ ไอออนที่มาจากกรดหรือเบสกระเด็นเข้าตาจะทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนในดวงตา ถ้าได้รับกรดหรือเบสปริมาณมาก อาจทำให้ตาบอด

(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 การแปลงสภาพของโปรตีนวิธีนี้นำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ ในการล้างท้องผู้ป่วยที่รับประทานยาพิษ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีไอออนของโลหะหนัก แพทย์จะให้คนไข้รับประทานไข่ขาวดิบ ไอออนของโลหะหนักจะเกิดการรวมตัวกับไข่ขาวดิบ เกิดการแปลงสภาพแล้ว ทำให้เกิดการอาเจียนออกมาก่อนที่ไอออนของโลหะหนักจะเข้าไปสู่เซลล์ของร่างกายไปทำการแปลงสภาพโปรตีนซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย ในสภาพความเข้มข้นของเกลือบางชนิด เช่น $(NH_4)_2SO_4$ ความเข้มข้นสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการละลายได้น้อยลง เพราะไอออนของเกลือดึงโมเลกุลของน้ำออกจากโปรตีนที่ละลายไม่ได้จึงเกิดการตกตะกอน มิใช่เกิดการแปลงสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การฉายรังสี

การแผ่รังสีหมายถึง การนำพาพลังงานทั้งในรูปของคลื่นและอนุภาค โดยตัวที่นำพาพลังงานในรูปของคลื่นเรียกว่า โฟตอน ซึ่งในการแผ่พลังงานนี้ โฟตอนจะประพฤติตัวเป็นลักษณะคล้ายคลื่นเมื่อมันเคลื่อนไหว และประพฤติตัวคล้ายอนุภาคเมื่อถูกดูดกลืน หรือปลดปล่อยโดยอะตอมหรือโมเลกุล

การแผ่รังสีสามารถเกิดได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยการเร่งจากไอโซโทปของธาตุที่แผ่รังสีที่เกิดในธรรมชาติ หรือไอโซโทปที่เกิดจากการสังเคราะห์ แต่แหล่งของการควบคุมการแผ่รังสีคือ ไอโซโทปที่เกิดจากการสังเคราะห์ที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์

รังสีแกมมาเป็นรังสีคลื่นสั้นๆ โดยเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก แต่ไม่มีประจุโฟตอนของรังสีแกมมาสามารถทะลุทะลวง แม้ในสสารที่มีความหนาแน่นมากที่สุด โดยถ้าต้องการที่จะหยุดการทะลุทะลวงของรังสีแกมมาต้องใช้คอนกรีตที่มีความหนามากกว่า 1 เมตร

เมื่อพอลิเมอร์ได้รับรังสีจะเกิดปฏิกิริยาเคมีแข่งขันกัน 2 ปฏิกิริยา ได้แก่

1. ปฏิกิริยาการแตกสลายพันธะ (Scission) ซึ่งถ้ามีออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
2. ปฏิกิริยาการเกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslinking)

ถ้าพิจารณาโครงสร้างพบว่า พอลิเมอร์ที่มีหมู่ข้างเคียงอยู่ 1 ข้าง หรือไฮโดรเจนอะตอมอยู่ 1 อะตอมมีแนวโน้มที่จะเกิดพันธะเชื่อมโยงมากกว่าการสลายพันธะ ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของพอลิเมอร์นั้นๆ จะเกิดอนุมูลอิสระที่เสถียร เกิดพันธะเชื่อมโยงมาก เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) พันธะเชื่อมโยงจะเกิดได้มาก แม้แต่พอลิเมอร์ที่ปกติเกิดการสลายพันธะมากที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นพันธะเชื่อมโยงจะกลายเป็นปฏิกิริยาหลัก

รังสีเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเมอร์ โดยก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ และการแตกสลายพันธะ ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ การแพร่ของออกซิเจนเข้าไปในพลาสติกมีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกซิเดชันด้วย เนื่องจากในอุตสาหกรรมการฉายรังสีทำในขณะที่มีอากาศ

<u>ผลของพันธะเชื่อมโยงที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์</u>

1. พันธะเชื่อมโยงทำให้มวลโมเลกุลของพอลิเมอร์สูงขึ้น ส่งผลให้เมื่อนำพอลิเมอร์ไปหลอม ความหนืดจะเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวจะสูงขึ้น ความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น มีความคงรูปร่างดีขึ้น ค่ามอดูลัสลดลง และความทนแรงดึงสูงขึ้นด้วย แต่ถ้าพันธะเชื่อมโยงมากเกินไปความยาวณ จุดขาด และความทนแรงดึงจะลดลง

2. พอลิเมอร์ที่เกิดพันธะเชื่อมโยง หากนำมาหลอมแล้วทำให้เย็นตัวลง พบว่าความเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกลดลง ขนาดของชั้นลาเมลลา (Lamella) ลดลง

3. พันธะเชื่อมโยงไม่มีผลต่อความหนาแน่น

4. ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์จะลดลง เพียงแต่บวมตัวเพราะพันธะเชื่อมโยงยึดโซ่พอลิเมอร์ไว้

5. พันธะเชื่อมโยงมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าและแสง แต่อาจมีผลข้างเคียงของการฉายรังสีเพื่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง โดยจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้า

6. พันธะเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์มีส่วนที่ไม่ละลายในตัวทำละลายขณะร้อนเรียกว่า เจล (Gel fraction) ยิ่งมีจำนวนพันธะเชื่อมโยงมาก พอลิเมอร์จะมีเจลมาก

7. เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า หน่วยความจำ (Memory effect) ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้กับพลาสติกหดตัวได้เมื่อถูกความร้อน

<u>เปรียบเทียบการเกิดพันธะเชื่อมโยงเมื่อใช้รังสี และสารเคมี</u>

ตารางที่ 2.5 แสดงสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อใช้รังสีและสารเคมีช่วยให้เกิดพันธะเชื่อมโยง

	รังสี	สารเคมี
อุณหภูมิขณะทดลอง	เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง	เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิขณะนั้นพอลิเมอร์อยู่ในลักษณะหลอม
การกระจายของพันธะเชื่อมโยง	เกิดในส่วนอสัณฐาน และพื้นผิวเป็นส่วนมาก	มีการกระจายของพันธะเชื่อมโยงอย่างทั่วถึงในระบบ
การเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึก เมื่อนำมาหลอมและทำให้เย็น	ความเป็นผลึกลดลงอย่างชัดเจนตามปริมาณพันธะเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้น	ความเป็นผลึกก่อนและหลังหลอม แล้วทำให้เย็นไม่ต่างกันมากนัก
สิ่งปนเปื้อน	ไม่มี	ตัวริเริ่มจะเหลืออยู่ในระบบ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาเวลานำไปใช้
ปัญหา	ความไม่สม่ำเสมอของความเข้มที่วัสดุได้รับ เนื่องจากความหนาของวัสดุทำให้การกระจายของพันธะเป็นแบบไม่ทั่วถึง	ไม่มีปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการฉายรังสี

1.สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าในกระบวนการทางเคมีปกติ

2.สามารถทะลุทะลวงได้ดี ถึงแม้ว่ารังสีแกมมาจาก Cobalt-60 สามารถทะลุทะลวงได้มากถึง 12 นิ้ว (300 mm.) แต่จะเคลื่อนที่ในอัตราที่ช้า และใช้เวลานาน ขณะที่รังสีอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในอัตราที่รวดเร็วมาก แต่สามารถทะลุทะลวงได้ในความหนาเพียง 0.36 นิ้ว (10 mm.) ด้วยเหตุนี้ผลิตภัณฑ์จากการฉายรังสี 90 % จึงถูกผลิตโดยการใช้แหล่งอิเล็กตรอนพลังงานสูง

3.ไม่จำเป็นต้องใช้สารตัวเติมพวกสารริเริ่ม หรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ทำให้สารปราศจากสิ่งปนเปื้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสะอาดสูง

4.ใช้ได้กับมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถเกิดโครงสร้างร่างแหได้โดยตัวริเริ่มทางเคมี

5.ความว่องไวของปฏิกิริยาไม่ลดลงถึงแม้ว่าจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและเกิดโครงสร้างร่างแหแล้ว

6. มีผลกระทบต่อสารเติมแต่ง (Additive) ที่มีอยู่ในชิ้นงานพอลิเมอร์น้อยมาก

7. สามารถทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้

8. สามารถควบคุมผลิตภัณฑ์ได้ มีความน่าเชื่อถือ

9. ช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการผสม และการเก็บสารเคมีที่ต้องใช้ในกระบวนการ

ข้อเสียของการฉายรังสี

1. การติดตั้งเครื่องฉายรังสีแกมมามีราคาแพง
2. ต้องการการดูแลรักษาและบุคลากรผู้ชำนาญงานโดยเฉพาะ
3. มีศักยภาพในการเกิดอันตรายสูง

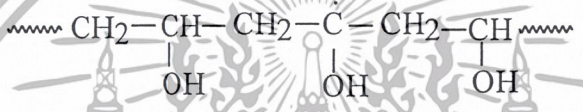
รังสีแกมมาจัดเป็นรังสีที่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนโดยทางอ้อม การใช้รังสีแกมมาจาก Co-60 เนื่องจากมีราคาถูก เมื่อเทียบกับไอโซโทปอื่นๆ ที่แผ่รังสีชนิดเดียวกัน และมีครึ่งชีวิตที่พอเหมาะคือ 5.25 ปี ซึ่ง Co-60 มีความคงทนภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีปริมาณรังสีสูง และสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 100 ºC โดย Co-60 ให้รังสีแกมมา 2 โฟตอนต่อการสลายตัวหนึ่งนิวเคลียส โดยพลังงานโฟตอนทั้งสองเท่ากับ 1.17 MeV และ 1.33 MeV ตามลำดับ หรือคิดโดยเฉลี่ยแล้วให้พลังงานโฟตอน 2.5 MeV ต่อการสลายตัวหนึ่งครั้ง ในกระบวนการฉายรังสีทางอุตสาหกรรมซึ่งจะใช้ต้นกำเนิด Co-60 ที่ให้ความแรงรังสีระดับหมื่นและแสนคูรี ลักษณะของต้นกำเนิดอาจเป็นแท่งทรงกระบอก เป็นแผ่น เป็นเม็ดบรรจุในท่อเหล็กกล้าไร้สนิม หรือแบบอื่นๆ ตามแต่ความสะดวก ดังนั้นการใช้รังสีแกมมาที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถฉายรังสีได้อย่างต่อเนื่องเสื่อมสภาพได้ช้า และไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีบ่อยครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการฉายรังสีแสดงถึงคุณสมบัติในการควบคุมการซึมผ่าน และความเข้มได้ ซึ่งคุณสมบัติพิเศษนี้จึงนำมาใช้ในการสังเคราะห์และปรับปรุงพอลิเมอร์พวกวัสดุชีวภาพโดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เทคนิคการฉายรังสีของพวกวัสดุชีวภาพ และยาที่ใช้กับสิ่งมีชีวิต จึงเป็นที่สนใจและมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ในการนำไปใช้งานด้านต่างๆ ได้แก่

1. การเตรียมไฮโดรเจล
2. ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของผิววัสดุชีวภาพ
3. ใช้สังเคราะห์พวก Microsphere
4. เป็นตัวก่อให้เกิดโครงสร้างร่างแหบนพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ และพวกไฮโดรเจล

<u>การเกิดอนุมูลอิสระของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์</u>

PVA  70 %

2.5 การทดสอบ

<u>สมบัติทางกายภาพ</u>

<u>การดูดซับน้ำ (Water uptake)</u>

ศึกษาปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ที่บวมตัว คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น โดยเทียบกับน้ำหนักของน้ำที่เพิ่มขึ้นกับน้ำหนักของฟิล์มแห้งตอนเริ่มต้น หาได้จาก

❖ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เวลาใดๆ $= \frac{(\text{น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำ-น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่น้ำ})\times 100}{\text{น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่น้ำ}}$

<u>สมบัติเชิงกล</u>

<u>การทดสอบแรงดึง (Tensile Tests)</u>

การทดสอบแรงดึงเป็นการวัดความสามารถของวัสดุหนึ่งที่จะทนทานต่อแรงดึงออกจากกัน จากแรงดึงที่ใช้และการยืดออกของตัวอย่างสามารถคำนวณค่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้ดังนี้

- ความเค้นดึง (Tensile stress); $\sigma = F/A$
- ความเครียดดึง (Tensile strain); $\varepsilon = (l-l_0)/l_0$
- เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (% Elongation) = $(l-l_0)100/l_0$
- มอดุลัสของยัง (Young's modulus); $E = \sigma/\varepsilon$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ F คือแรงที่ใช้ในการดึงยืดตัวอย่าง (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

A คือพื้นที่หน้าตัดตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร; $mm.^2$)

l คือระยะห่างระหว่างขีดสองเส้นบนตัวอย่างขณะดึง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm.)

l_0 คือระยะห่างขีดสองเส้นบนตัวอย่างก่อนดึง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm.)

สมบัติทางความร้อน

เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอรีเมทรี (Differential Scanning Calorimeter; DSC)

สามารถหาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (Melting temperature; Tm) และพลังงานความร้อนในการหลอมผลึกได้

เทคนิคการวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)

สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสาร ซึ่งสามารถหาองค์ประกอบได้อย่างคร่าวๆ โดยทราบเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไป และศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน นอกจากนี้ยังสามารถหาอุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature; Td) ได้

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

ศึกษาจากอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมตรี (Infrared spectrophotometry; IR) ซึ่งเป็นการวัดการสั่นสะเทือนของอะตอมในสายโซ่โมเลกุล การเตรียมชิ้นงานจะต้องเตรียมให้ชิ้นงานมีความหนาน้อยมากๆ เพื่อจะได้เห็นพีกชัดเจน โดยใช้หาหมู่ฟังก์ชัน และความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

สารเคมี

1. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 70,000–100,000
2. เศษรังไหมเหลือทิ้งจากจังหวัดร้อยเอ็ด
3. น้ำกลั่น
4. สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้น 0.5 1 และ 2 %w/v
5. สารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เข้มข้น 0.5 1 และ 2 %w/v
6. สารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) เข้มข้น0.5 1 และ 2 %w/v
7. สารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เข้มข้น0.5 1 และ 2 %w/v
8. สารละลายพีเอช 4
9. สารละลายพีเอช 9

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 1000 มิลลิลิตร
   ขนาด 500 มิลลิลิตร
   ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. กระบอกตวง ขนาด 500 มิลลิลิตร
   ขนาด 250 มิลลิลิตร
   ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. แท่งแก้วคน
4. แท่นให้ความร้อน (Hot plate)
5. จานเพาะเชื้อ
6. ปากคีบ
7. ถุงมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. แผ่นอะลูมิเนียมฟลอยด์
9. พาราฟิล์ม
10. ขวดทนความดันสูง
11. ผ้าขาวบาง
12. กระดาษกรองเบอร์ 1 และเบอร์ 4
13. ชุดกรองแบบสุญญากาศ (Suction)
14. ถาดเตรียมแผ่นฟิล์ม (ถาดเมลามีน)
15. กระบอกน้ำกลั่น
16. แท่งกวนแม่เหล็ก
17. เทอร์โมมิเตอร์
18. ช้อนตักสาร
19. กรรไกร
20. นาฬิกาจับเวลา
21. ตะแกรงลวด 100 เมช

เครื่องมือที่ใช้

1. เครื่องชั่ง
2. เครื่องกรองแบบลดความดัน
3. ตู้ Freezer
4. เดซิเคเตอร์ (Desicator)
5. ตู้อบธรรมดา
6. เครื่องฉายรังสีแกมมา : สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
7. เครื่อง Auto Clave (หม้อต้มความดัน)
8. เครื่อง Freeze dryer
9. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile testing machine)
10. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter; DSC)
11. เครื่อง Thermalgravimatric Analyzer (TGA) รุ่น DuPont 900 TA
12. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Infrared spectrometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมผงไหมเซริซิน (Sericin) และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.2.1.1) <u>การเตรียมผงไหมเซริซิน (Sericin)</u>

1. นำเศษรังไหมล้างด้วยน้ำประปาจนสะอาด แล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง
2. เติมน้ำกลั่นลงในเศษรังไหมที่ทำความสะอาดแล้ว ในอัตราส่วน 20 : 1 ตามลำดับ
3. นำไปใส่ในเครื่องหม้อต้มความดัน ที่อุณหภูมิ 121 ºC นาน 15 นาที
4. นำมากรองขณะที่ยังร้อนอยู่โดยใช้ผ้าขาวบางแล้วกรองอีกโดยใช้ชุด Suction ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 จำนวน 2 แผ่นต่อครั้ง
5. นำสารละลายที่ได้ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 ºC
6. นำไปทำให้แห้งโดยใช้เครื่อง freeze dryer นานประมาณ 2-3 วัน ขึ้นกับปริมาณของน้ำไหม
7. เก็บผงไหมเซริซิน ที่ได้ในเดซิเคเตอร์

3.2.1.2) <u>การเตรียมสารละลายเซริซิน (Sericin) 1 %w/v</u>

1. ชั่งผงไหมเซริซิน 2 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร โดยคนสารละลายนาน 5 ชั่วโมง
2. กรองผงไหมที่ไม่ละลายออกโดยใช้ชุดกรองแบบสุญญากาศ (Suction) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 จำนวน 2 แผ่นต่อครั้ง (ต้องชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง)
3. นำสารละลายที่ได้ไปใช้ในการผสมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ส่วนเซริซินที่ไม่ละลาย (ส่วนที่กรองได้) นำกากไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 ºC แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นคำนวณหาน้ำหนักของเซริซินที่ละลายได้ และคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายเซริซินที่เตรียมได้

❖ ความเข้มข้นของสารละลายเซริซิน = $\frac{\text{น้ำหนักของเซริซินที่ละลายได้} \times 100}{\text{ปริมาตรน้ำกลั่นที่ใช้}}$

หมายเหตุ : ผงไหมเซริซินที่เตรียมได้สามารถละลายน้ำได้เพียง 50 %

3.2.1.3) <u>การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 3 %w/v</u>

1. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 30 กรัม เทใส่ในขวดทนความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เติมน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาขวด แต่ต้องไม่แน่นมาก เพื่อต้องการให้มีการระบายอากาศออกได้
3. นำไปวางในหม้อต้มความดัน ที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 15 นาที
4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จะได้สารละลาย 3 %w/v PVA

3.2.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

3.2.2.1) <u>การเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างโดยวิธีการปรับสภาพทางความร้อน</u>

1. สูตรที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีดังนี้

สูตร	อัตราส่วน 3%PVA : 1%Sericin โดยปริมาตร
PH	1:0
P4H	4:1
P2H	2:1

2. เทสารละลายตามอัตราส่วน โดยควบคุมปริมาตรโดยรวมของสารละลายให้เท่ากันทุกครั้ง คือ 450 มิลลิลิตร ลงในถาดเตรียมฟิล์ม ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C นานประมาณ 48 ชั่วโมง
4. นำไปปรับสภาพทางความร้อนโดยอบที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 4 นาที
5. ลอกแผ่นฟิล์มตัวอย่างออกจากถาดเตรียมฟิล์ม

3.2.2.2) <u>การเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างโดยวิธีการฉายรังสี</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สูตรที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีดังนี้

สูตร	อัตราส่วน 3%PVA : 1%Sericin โดยปริมาตร	ปริมาณรังสี (kGy)
PR10	1:0	10
P4R10	4:1	10
P2R10	2:1	10
PR15	1:0	15
P4R15	4:1	15
P2R15	2:1	15
P4R20	4:1	20
P2R20	2:1	20
P2R25	2:1	25

2. เทสารละลายตามอัตราส่วน โดยควบคุมปริมาตรโดยรวมของสารละลายให้เท่ากันทุกครั้ง คือ 450 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
3. นำอะลูมิเนียมฟลอยด์มาปิดที่ปากบีกเกอร์ ใช้กระดาษกาวปิดโดยรอบซึ่งจะต้องให้มีการระบายอากาศออกมาได้
4. นำไปเข้าเครื่องฉายรังสีตามปริมาณรังสีในแต่ละสูตร
5. ลงในถาดเตรียมฟิล์มโดยต้องไล่ฟองอากาศออกให้หมด
6. นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 ºC นานประมาณ 36-48 ชั่วโมง
7. ลอกแผ่นฟิล์มตัวอย่างออกจากถาดเตรียมฟิล์ม

3.2.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

3.2.3.1) <u>สมบัติทางกายภาพ</u>

3.2.3.1.1) ทดสอบการดูดซับน้ำ (Water uptake)

1. ตัดแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ขนาด 1×1 นิ้ว และตัดตะแกรงลวดขนาด 100 เมช ให้มีขนาด 1.5×1.5 นิ้ว แล้วชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. นำตะแกรงลวดห่อแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นฟิล์มขึ้นมาซับให้แห้ง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. นำชิ้นงานขึ้นมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นฟิล์มขึ้นมาซับให้แห้ง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง จนถึงชั่วโมงที่ 8
5. แช่ในน้ำกลั่นต่อเนื่องถึงชั่วโมงที่ 24 แล้วนำแผ่นฟิล์มขึ้นมาซับให้แห้ง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. คำนวณหาน้ำหนักฟิล์มหลังแช่ในน้ำกลั่นทุกๆ 1 ชั่วโมง และคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เวลาใดๆ

❖ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เวลาใดๆ $= \frac{(\text{น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำ-น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่น้ำ})\times 100}{\text{น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่น้ำ}}$

3.2.3.1.2) ทดสอบอัตราการดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 4 และสารละลายพีเอช 9

1. เตรียมสารละลายพีเอช 4 และพีเอช 9
2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการดูดซับน้ำในข้อ3.2.3.1.1โดยเปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายพีเอช 4 และ 9
3. คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 4 และสารละลายพีเอช 9 เช่นเดียวกับการดูดซับน้ำ

3.2.3.1.3) ทดสอบอัตราการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ

1. เตรียมสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้

สารละลายเกลือ	ความเข้มข้น (%w/v)
NaCl	0.5, 1.0, 2.0
KCl	0.5, 1.0, 2.0
$MgCl_2$	0.5, 1.0, 2.0
$CaCl_2$	0.5, 1.0, 2.0

2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดสอบการดูดซับน้ำ ในข้อ 3.2.3.1.1 โดยเปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายเกลือชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ เช่นเดียวกับการดูดซับน้ำ

3.2.3.1.4) หาค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจล (Gel fraction)

1. ตัดแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ขนาด 1×1 นิ้ว และตัดตะแกรงลวดขนาด 100 เมช ให้มีขนาด 1.5×1.5 นิ้ว แล้วชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. นำตะแกรงลวดห่อแผ่นฟิล์มตัวอย่าง
3. แช่ในน้ำกลั่น สารละลายพีเอช 4 สารละลายพีเอช 9 สารละลายเกลือ NaCl สารละลายเกลือ KCl สารละลายเกลือ $MgCl_2$ สารละลายเกลือ $CaCl_2$ เข้มข้น 2 %w/v 1 %w/v และ 0.5 %w/v นาน 24 ชั่วโมง
4. นำชิ้นงานไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอนทศนิยม 4 ตำแหน่ง จนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง
5. คำนวณเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

❖ $$\text{เปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจล} = \frac{\text{น้ำหนักฟิล์มหลังแช่} \times 100}{\text{น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่}}$$

หมายเหตุ ใช้ W แทน น้ำกลั่น

A4 แทน สารละลายพีเอช 4

B9 แทน สารละลายพีเอช 9

Na2 แทน สารละลาย NaCl เข้มข้น 2 %w/v

Na1 แทน สารละลาย NaCl เข้มข้น 1 %w/v

Na0.5 แทน สารละลาย NaCl เข้มข้น 0.5 %w/v

K2 แทน สารละลาย KCl เข้มข้น 2 %w/v

K1 แทน สารละลาย KCl เข้มข้น 1 %w/v

K0.5 แทน สารละลาย KCl เข้มข้น 0.5 %w/v

Mg2 แทน สารละลาย $MgCl_2$ เข้มข้น 2 %w/v

Mg1 แทน สารละลาย $MgCl_2$ เข้มข้น 1 %w/v

Mg0.5 แทน สารละลาย $MgCl_2$ เข้มข้น 0.5 %w/v

Ca2 แทน สารละลาย $CaCl_2$ เข้มข้น 2 %w/v

Ca1 แทน สารละลาย $CaCl_2$ เข้มข้น 1 %w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ca0.5 แทน สารละลาย $CaCl_2$ เข้มข้น 0.5 %w/v

3.2.3.2) สมบัติเชิงกล

3.2.3.2.1) ทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และมอดุลัสของยัง (Young's modulus) ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile testing machine)

1. ตัดแผ่นฟิล์มเป็นรูปดัมเบลล์ ที่มีความยาวเกจ (Gauge length) 25 มิลลิเมตร ประมาณ 10 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง
2. วัดความกว้าง และความหนาของชิ้นงาน บริเวณความยาวเกจ
3. ใช้ Load cell 100 N และตั้งสภาวะของเครื่องโดยใช้อัตราเร็วในการดึง (Crosshead speed) 50 mm./min. และ กำหนดการหาค่ามอดุลัสของยังในช่วงความเครียด (Strain) 3-4 %
4. ทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง และบันทึกค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และมอดุลัสของยัง (Young's modulus)

3.2.3.3) สมบัติทางความร้อน

3.2.3.3.1) ทดสอบอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter; DSC)

1. นำแผ่นฟิล์มมาชั่งน้ำหนัก 5-10 มิลลิกรัม
2. นำมาอัดเม็ดด้วย Aluminium pan
3. ตั้งสภาวะของเครื่องดังนี้

3.1 Hold 1 min. at 50 °C

3.2 Heat from 500 °C to 350 °C at 10 °C/min.

3.3 Cool from 500 °C to 350 °C at 10 °C/min.

ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

4. ทดสอบแผ่นฟิล์มตัวอย่างด้วยเครื่อง DSC
5. หาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก และพลังงานความร้อนในการหลอมเหลวผลึก

3.2.3.3.2) ทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวของ โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชั่งสาร หรือฟิล์มตัวอย่างลงบน Pt pan ประมาณ 10-30 มิลลิกรัม (1 mg = 20 mV)
2. ตั้งสภาวะของเครื่อง ดังนี้

   2.1 Initial temperature 80 °C

   2.2 Isothermal 5 min

   2.3 Heating rate (ramp) 20 °C/min. to 900 °C
3. ทดสอบหาอุณหภูมิการสารสลายตัวของสาร

3.2.3.4) <u>การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน</u>

3.2.3.4.1) การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างโดยวิธี Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR)

1. ตัดแผ่นฟิล์มตัวอย่าง ขนาดประมาณ 2.2 เซนติเมตร
2. นำไปใส่ในตัวยึดเซลล์
3. บันทึกสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไฮโดรเจล

ฟิล์มไฮโดรเจลเตรียมได้จากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 3% และสารละลายเซริซินเข้มข้น 1% โดยทำการผสมสารละลายในอัตราส่วนต่างๆ แล้วทำการฉายรังสีในปริมาณรังสี 10 15 20 และ 25 kGy สังเกตลักษณะของสารตัวอย่างได้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และผงไหมก่อนและหลังฉายรังสี

สูตร	อัตราส่วน PVA:Sericin	ปริมาณรังสี (kGy)	ลักษณะของสารก่อนฉายรังสี	ลักษณะของสารหลังฉายรังสี
PR10	1:0	10	ของเหลวใส	ของเหลวใสหนืด
PR15	1:0	15	ของเหลวใส	เจลของแข็งใส
P4R10	4:1	10	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	ของเหลวสีเหลืองหนืดเล็กน้อย
P4R15	4:1	15	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	ของเหลวสีเหลืองหนืดมาก
P4R20	4:1	20	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	เจลของแข็งสีเหลือง
P2R10	2:1	10	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	ของเหลวสีเหลืองหนืดเล็กน้อย
P2R15	2:1	15	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	ของเหลวสีเหลืองหนืดปานกลาง
P2R20	2:1	20	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	ของเหลวสีเหลืองหนืดมาก
P2R25	2:1	25	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	เจลของแข็งสีเหลือง

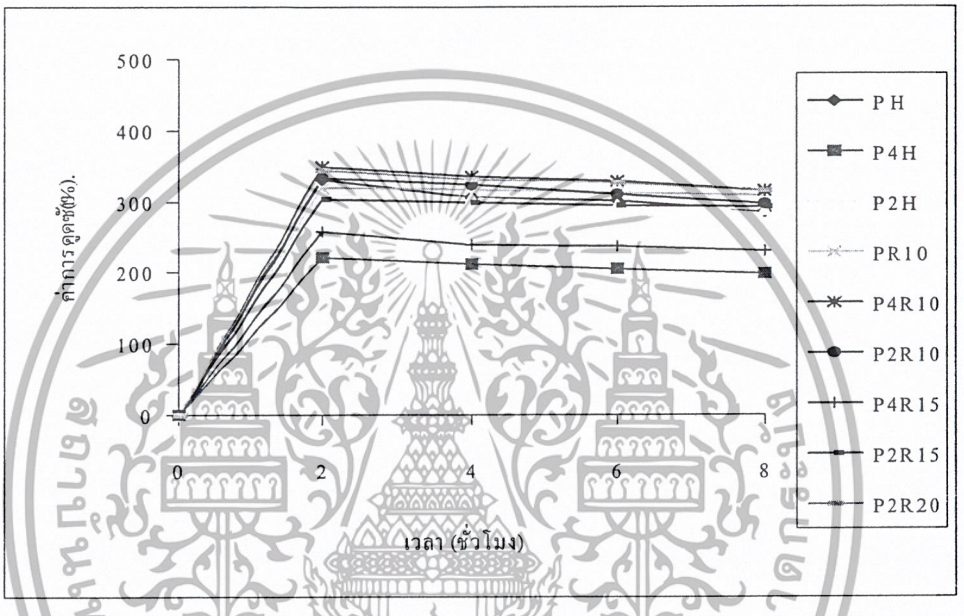
จากลักษณะของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว ทำให้สามารถเตรียมฟิล์มของไฮโดรเจลได้ในทุกตัวอย่าง ยกเว้น PR15 P4R20 P2R25 เนื่องจากสารทั้งสามสูตรหลังการฉายรังสีแล้วได้สารลักษณะเป็นเจลของแข็งจึงไม่สามารถเตรียมฟิล์มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาสมบัติการดูดซับในน้ำ สารละลายพีเอช 4 สารละลายพีเอช 9 และสารละลายเกลือของฟิล์มไฮโดรเจล

4.2.1 สมบัติการดูดซับน้ำ

ไฮโดรเจลเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ และเกิดการบวมตัวได้ โดยปริมาณการดูดซับน้ำจะแปรตามเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ซึ่งในช่วงแรกปริมาณการดูดซับน้ำจะมีค่ามาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณการดูดซับน้ำจะลดลง และเริ่มคงที่เมื่อถึงจุดสมดุล

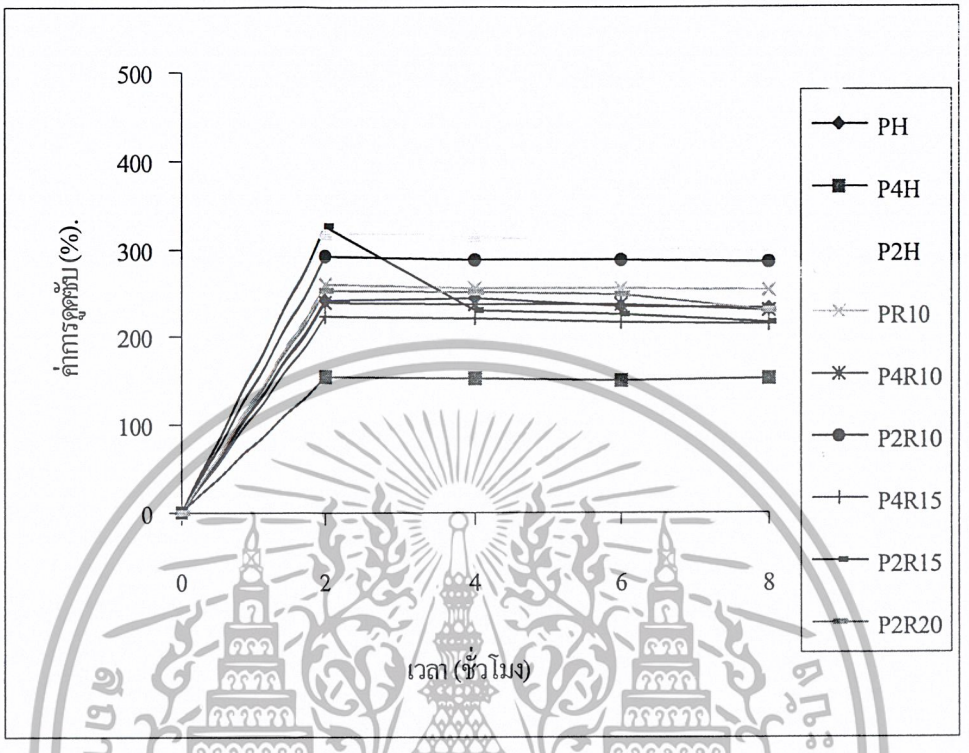


รูปที่ 4.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าในช่วง 0-2 ชั่วโมงแรก ปริมาณการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และหลังจากชั่วโมงที่ 2 ค่าการดูดซับน้ำเริ่มคงที่ โดย P4H มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. สมบัติการดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 4

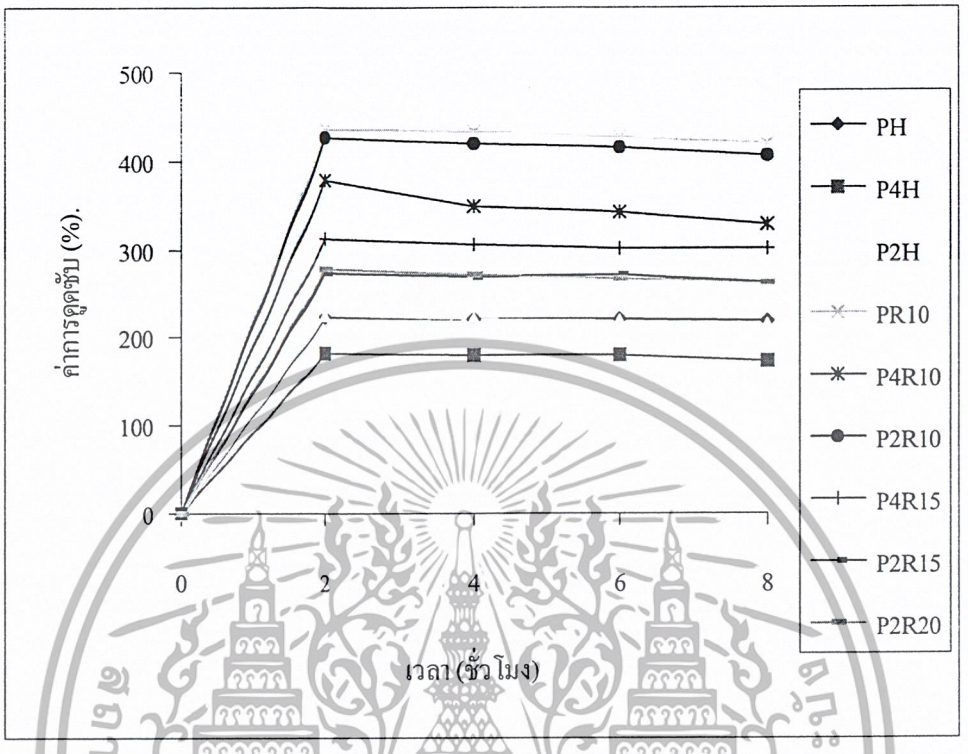


รูปที่ 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 4

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าสมบัติการดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 4 จะมีแนวโน้มคล้ายกับการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล โดย P4H มีค่าการดูดซับต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3. สมบัติการดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 9



รูปที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 9 ของฟิล์มไฮโดรเจล

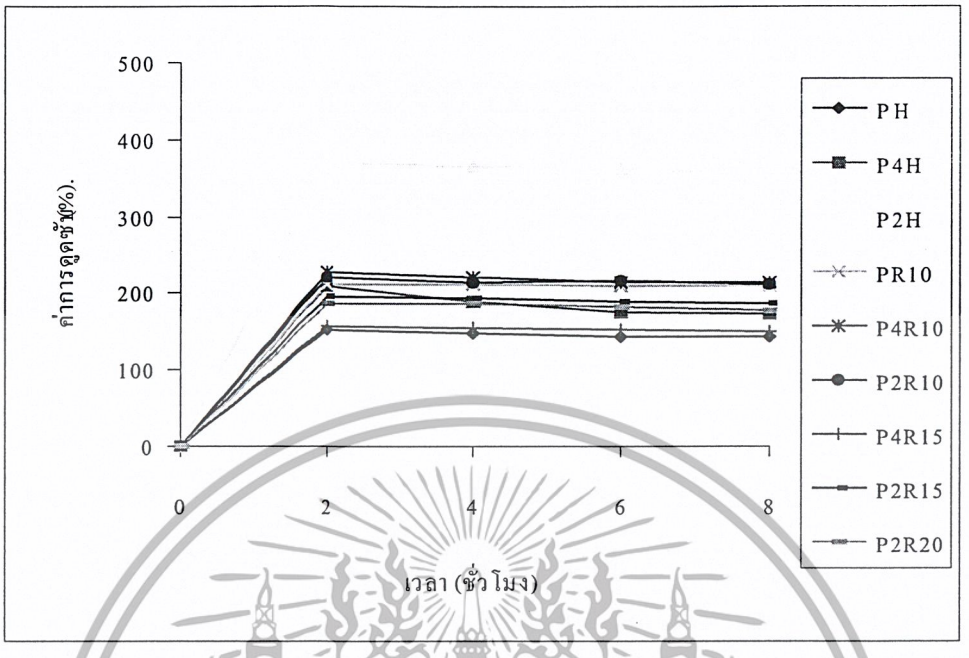
จากรูปที่ 4.3 พบว่าการดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช 9 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0-2 ชั่วโมงแรก และหลังจากชั่วโมงที่ 2 ค่าการดูดซับเริ่มคงที่ โดย PR10 มีค่าการดูดซับสูงที่สุด และ P4H มีค่าการดูดซับต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอื่นๆ

4.2.4 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ

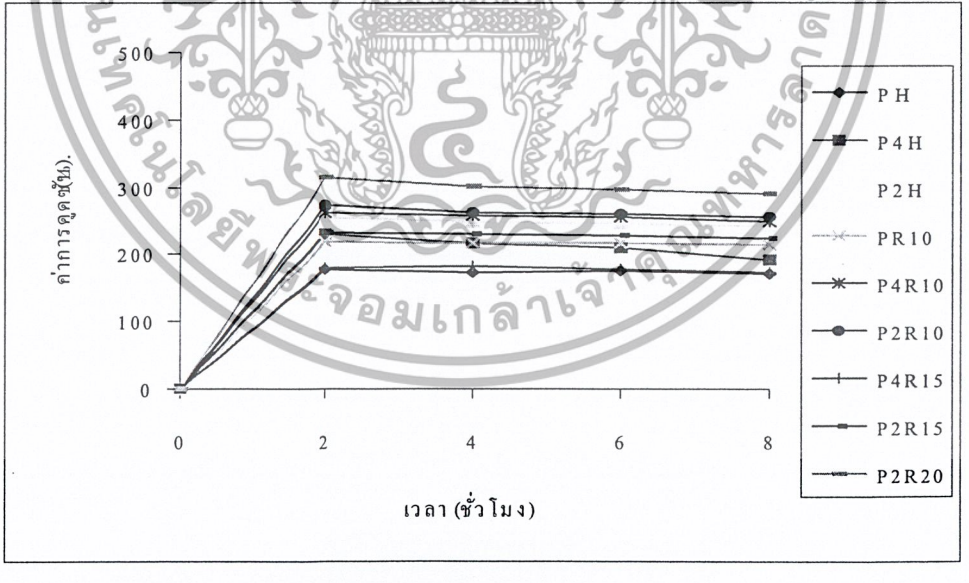
พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือของฟิล์มไฮโดรเจล ได้แก่ ปริมาณของเซริซิน (Sericin) เทคนิคที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์ม ปริมาณของรังสี และความเข้มข้นของสารละลายเกลือ

4.2.4.1. สมบัติการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

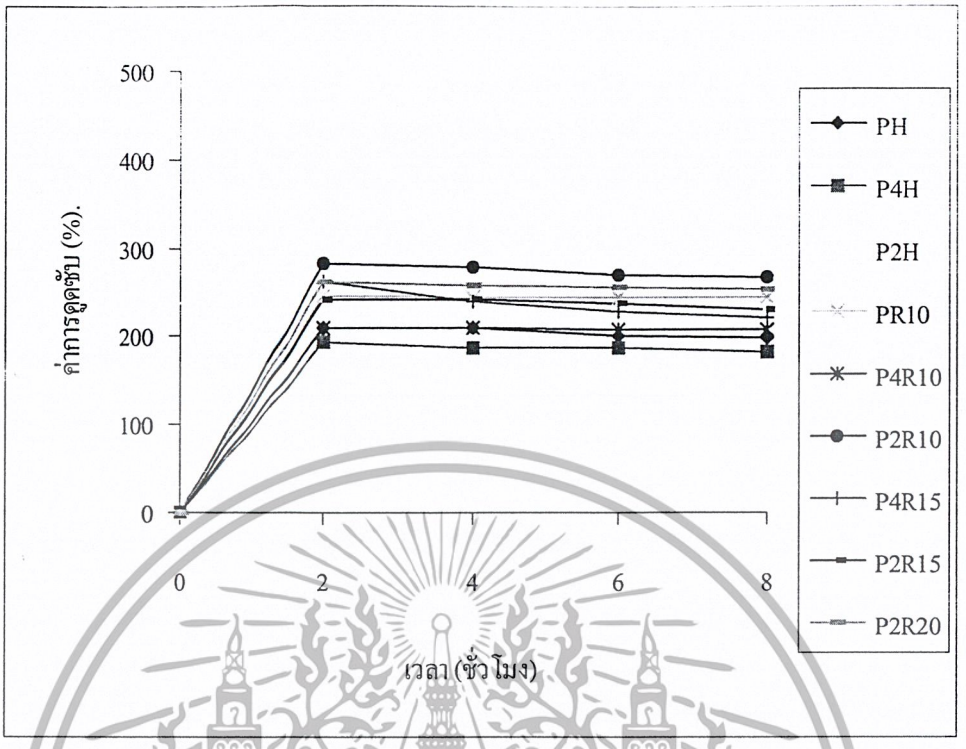


รูปที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล



รูปที่ 4.5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล

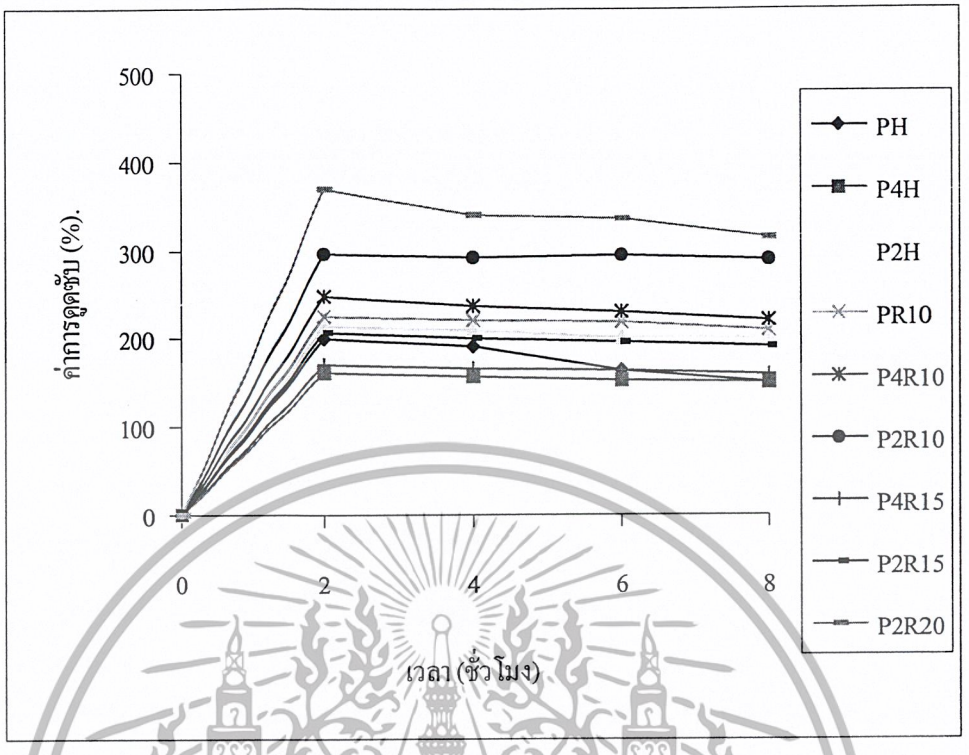
จากรูป 4.4 พบว่า PH มีค่าการดูดซับต่ำที่สุด และ P2H มีค่าการดูดซับสูงที่สุด

จากรูป 4.5 พบว่า P2R20 มีค่าการดูดซับสูงที่สุด และ PH มีค่าการดูดซับต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอื่นๆ

จากรูปที่ 4.6 พบว่า PH มีค่าการดูดซับสูงที่สุด

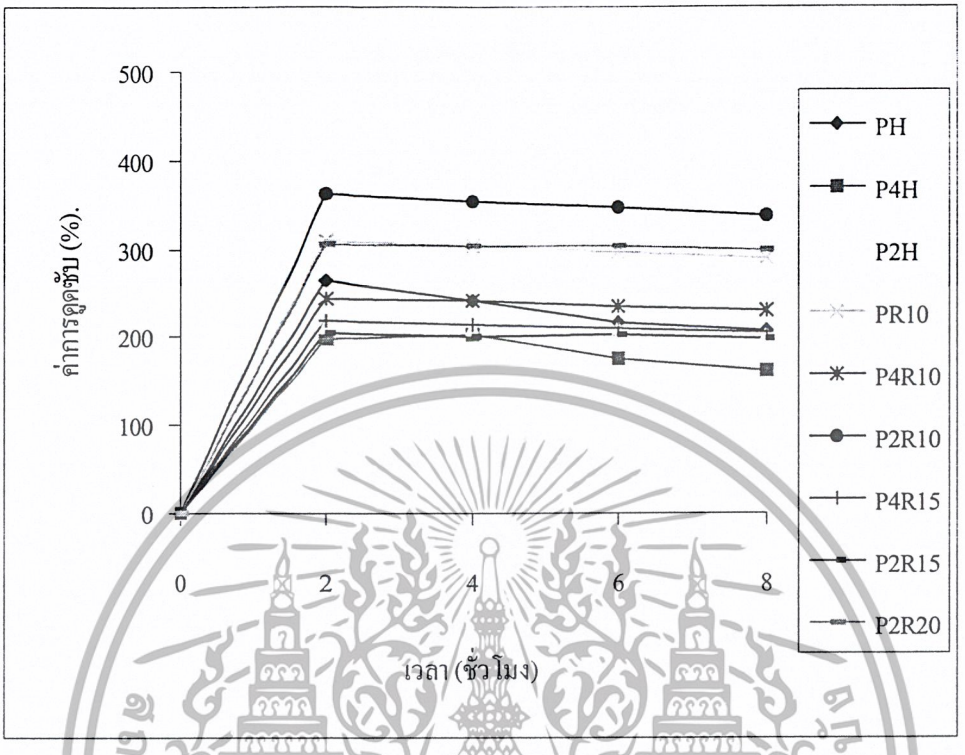
4.2.4.1. สมบัติการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



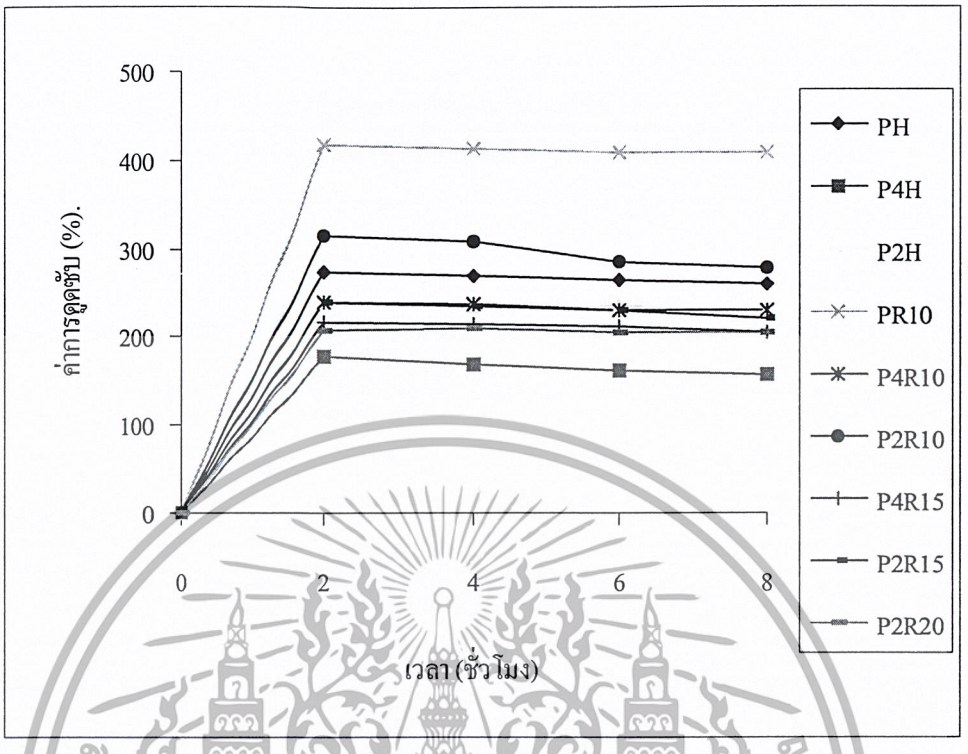
รูปที่ 4.7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1%w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

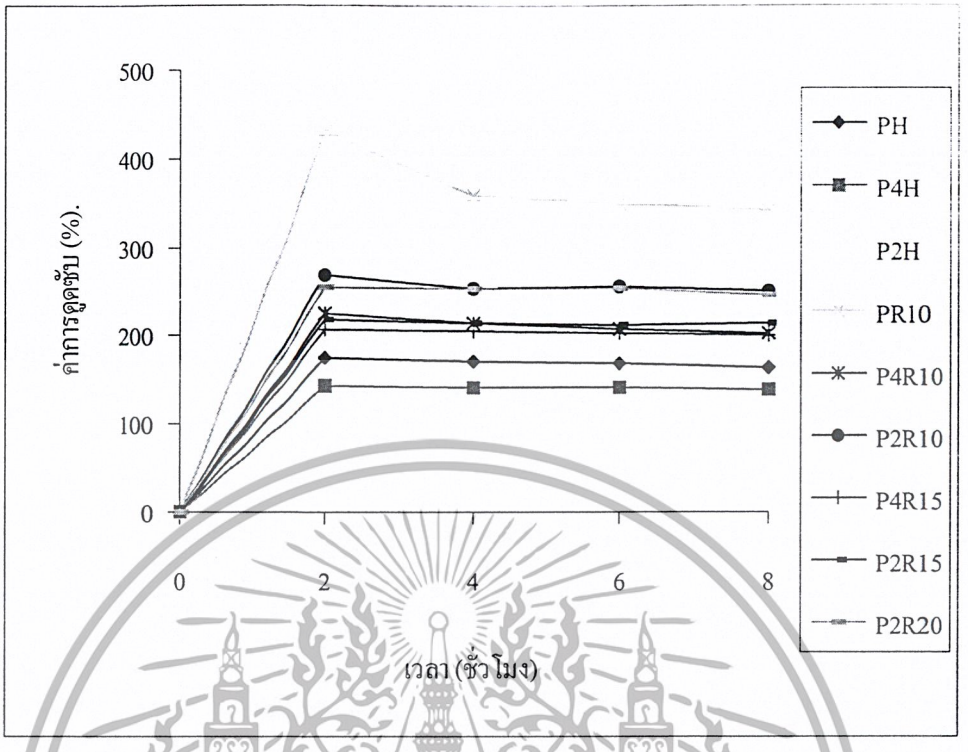


รูปที่ 4.9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล

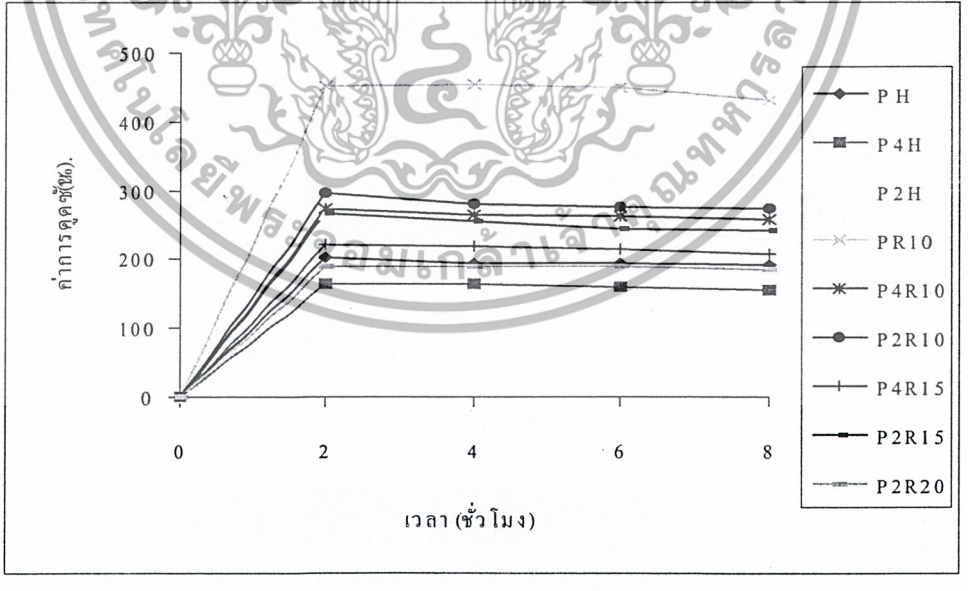
จากรูป 4.7 4.8 และ 4.9 พบว่า P4H มีค่าการดูดซับต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอื่นๆ

4.2.4.3.สมบัติการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

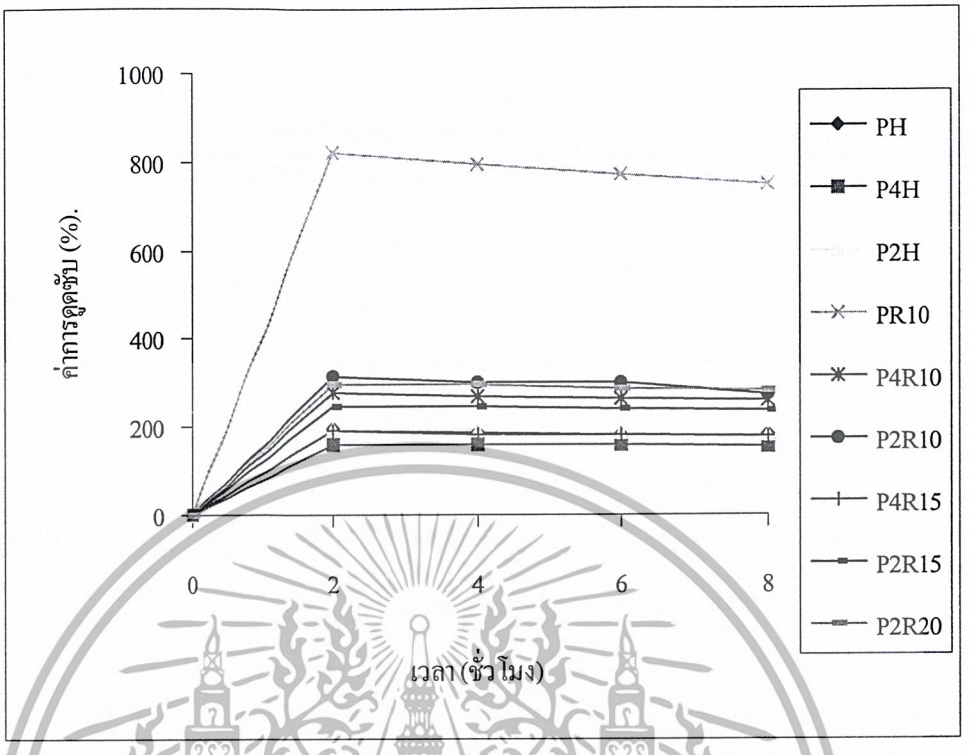


รูปที่ 4.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล



รูปที่ 4.11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1%w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

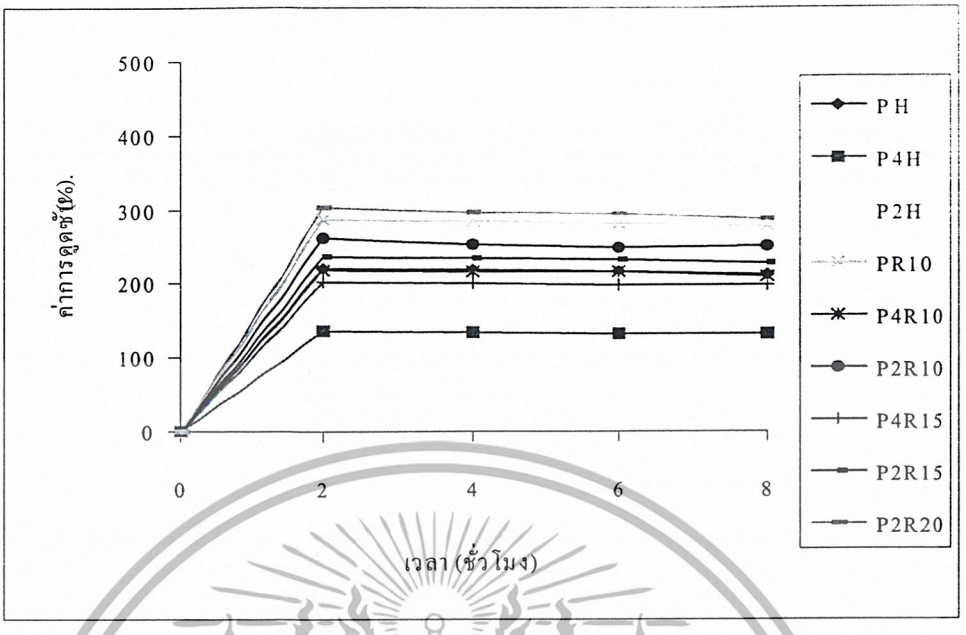


รูปที่ 4.12 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล

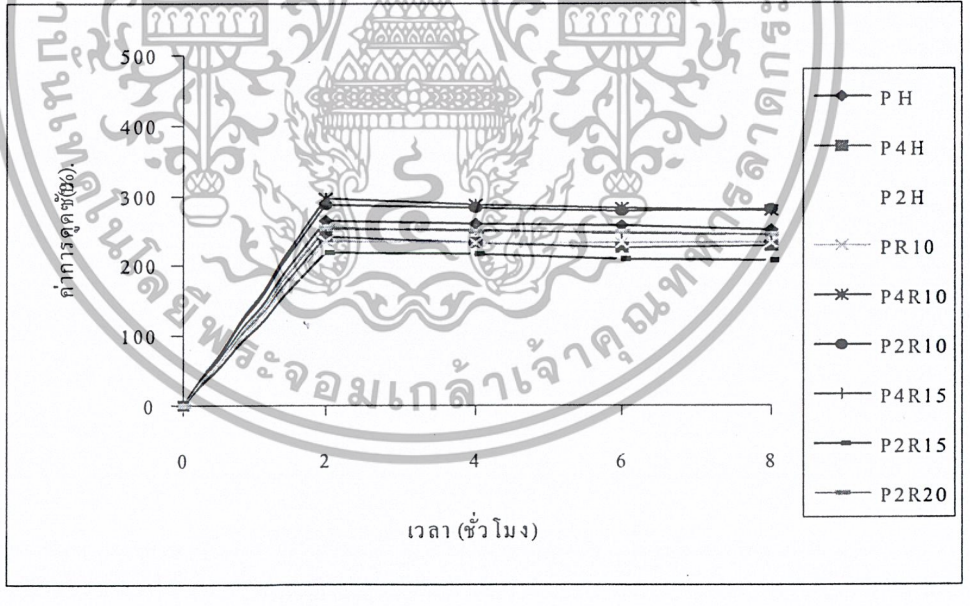
จากรูป 4.10 4.11 และ4.12 พบว่า PR10 มีค่าการดูดซับสูงที่สุด และ P4H มีค่าการดูดซับต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอื่นๆ

4.2.4.4.สมบัติการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

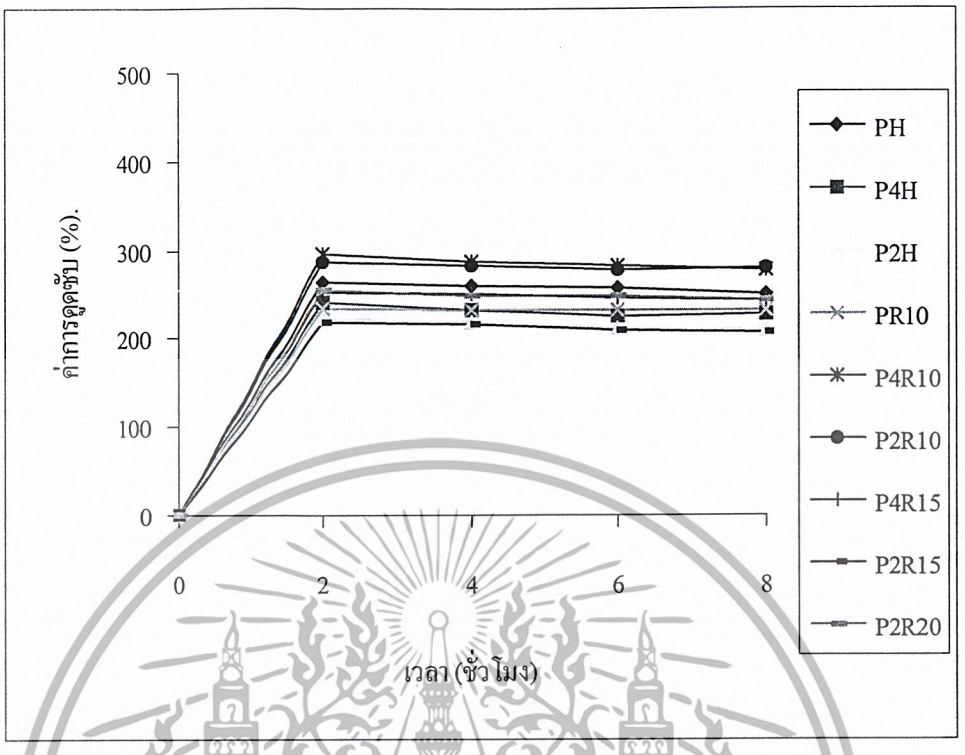


รูปที่ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล



รูปที่4.14แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความ เข้มข้น 1 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



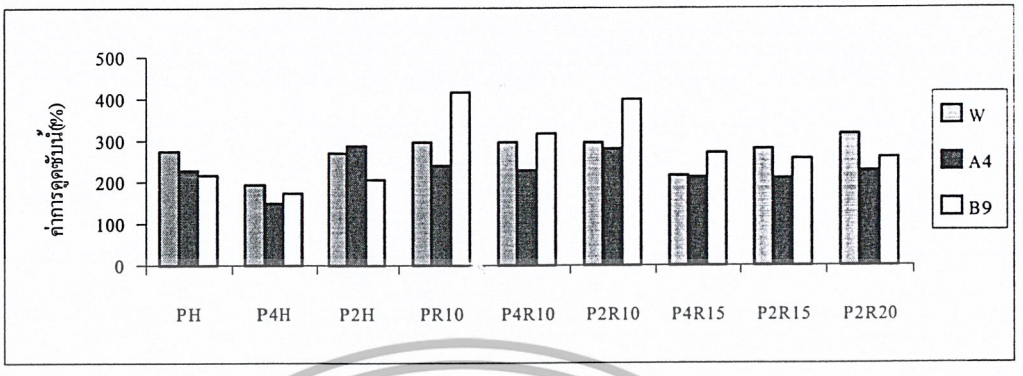
รูปที่ 4.15 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 %w/v ของฟิล์มไฮโดรเจล

จากรูป 4.13 และ 4.14 พบว่า P4H มีค่าการดูดซับต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอื่นๆ

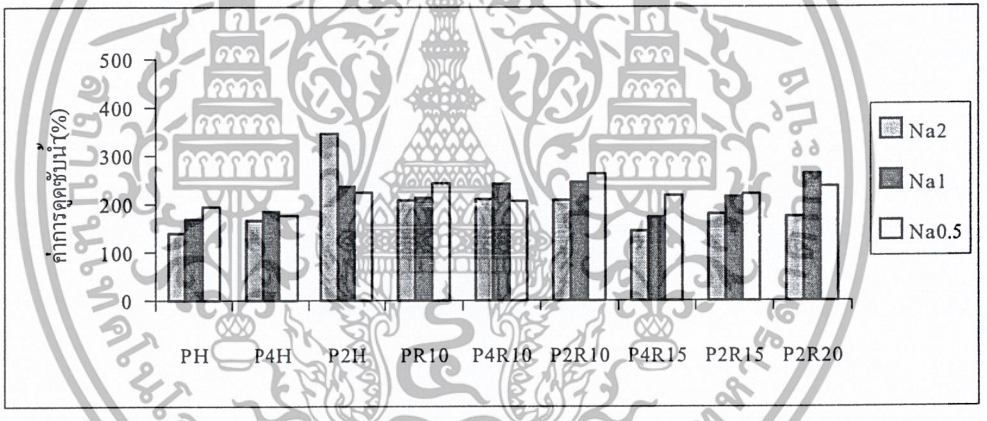
จากรูป 4.15 พบว่า P2R15 มีค่าการดูดซับต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ค่าการดูดซับน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง

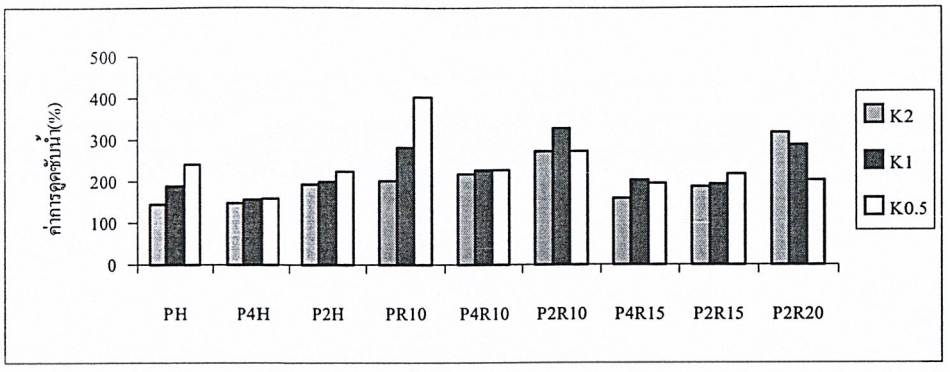


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในน้ำ สารละลายพีเอช 4 และ 9 ของฟิล์มแต่ละสูตร โดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน

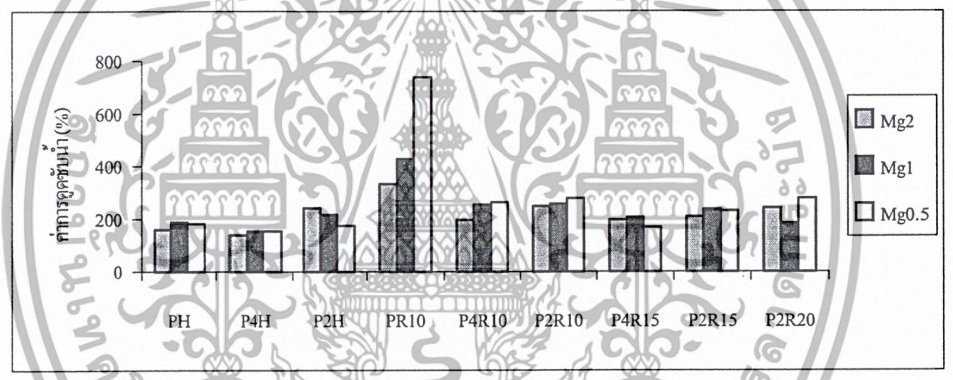


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 1 และ0.5 % w/v ของฟิล์มแต่ละสูตร โดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน

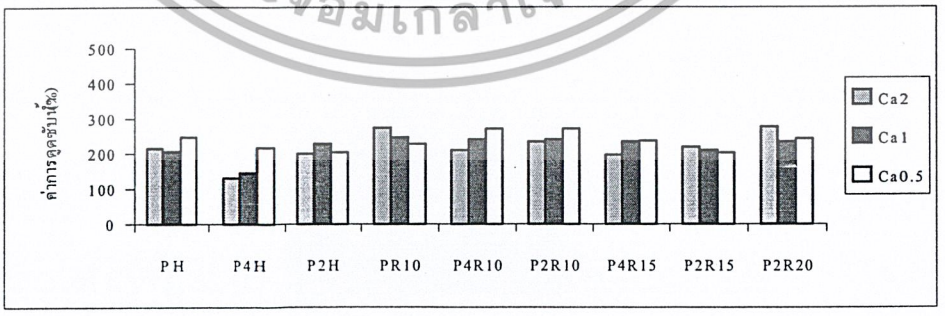
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 1 และ0.5 % w/v ของฟิล์มแต่ละสูตรโดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน



รูปที่4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 1 และ0.5 % w/v ของฟิล์มแต่ละสูตรโดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน



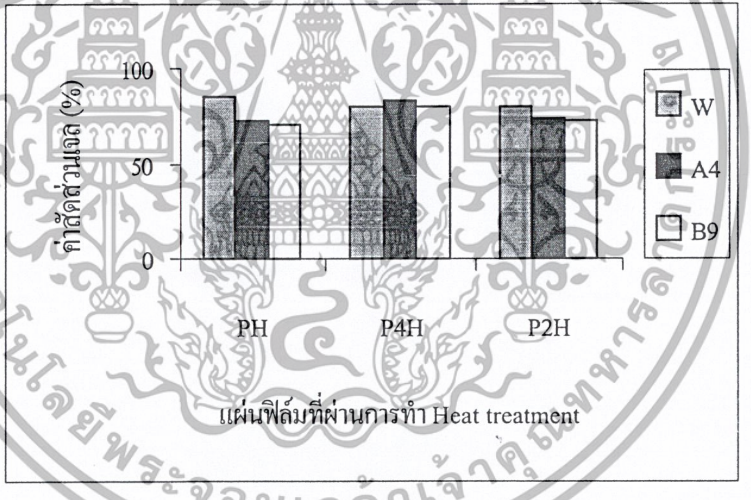
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 1 และ0.5 % w/v ของฟิล์มแต่ละสูตรโดยมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16-4.20 พบว่า แผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสีให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน เนื่องจากเทคนิคการฉายรังสี อาจทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่เป็นพันธะคาร์บอน-คาร์บอน ดังนั้นในสายโซ่ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซีมาก จึงดูดซับน้ำได้มาก ส่วนเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน อาจเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้เหลือปริมาณของหมู่ไฮดรอกซีที่สามารถดูดซับน้ำได้น้อยลง จึงทำให้แผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี

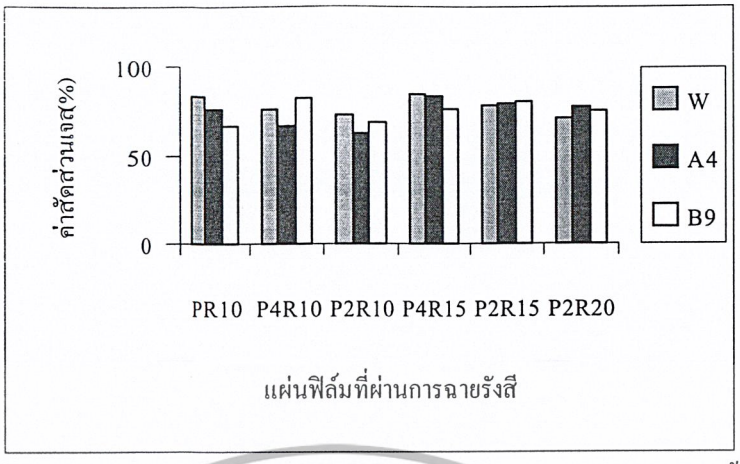
4.4 การศึกษาปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมโยงจากค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจล (Gel fraction)

4.4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลของฟิล์มหลังแช่น้ำ สารละลายพีเอช 4 และสารละลายพีเอช 9 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



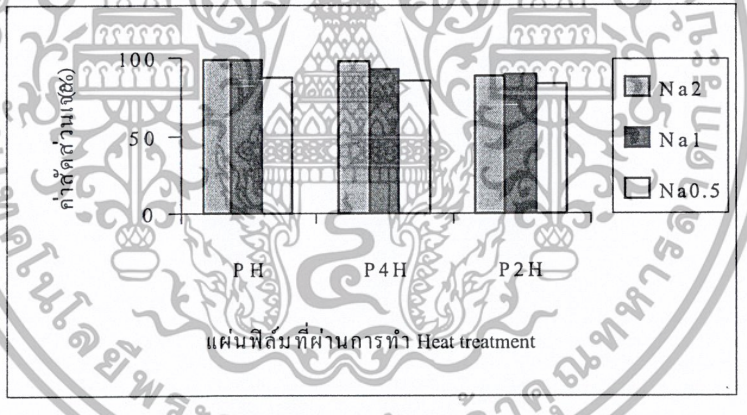
รูปที่ 4.21 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนหลังแช่น้ำ สารละลายพีเอช 4 และสารละลายพีเอช 9 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



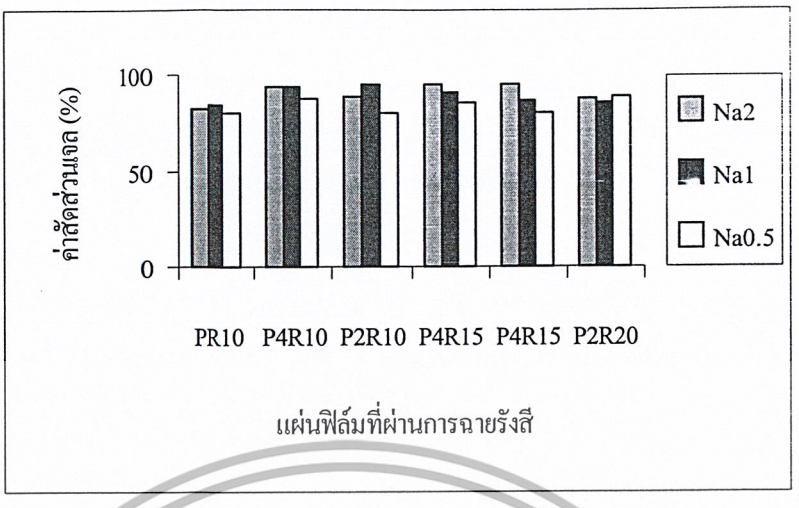
รูปที่4.22 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสี หลังแช่น้ำ สารละลายพีเอช 4 และสารละลายพีเอช 9 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.4.2. ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลของฟิล์มหลังแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.23 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน หลังแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v 1%w/v และ 0.5 %w/v

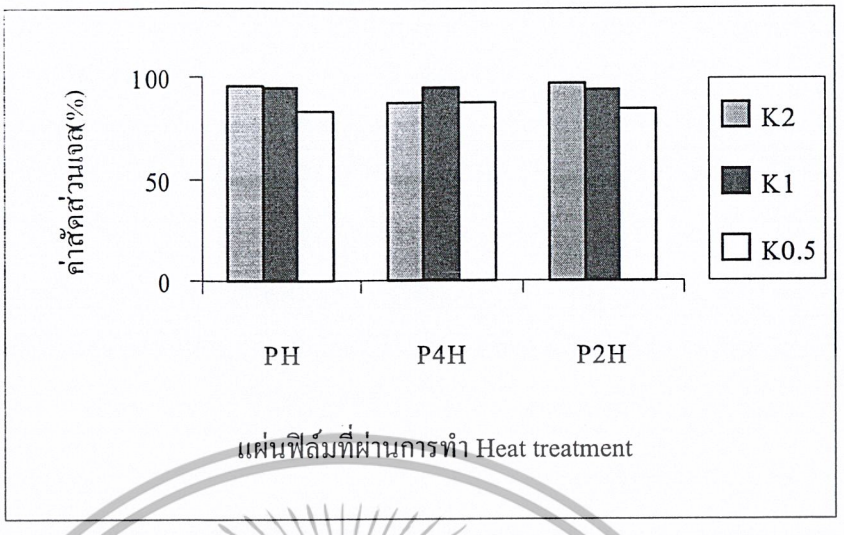
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



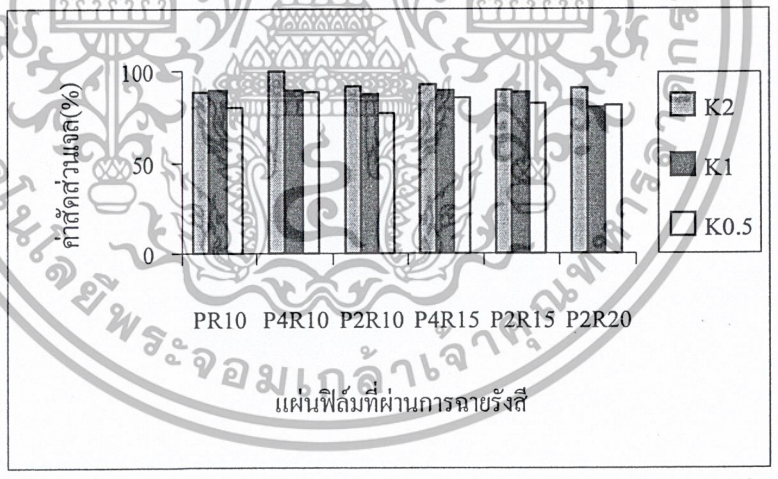
รูปที่ 4.24 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสี หลังแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v 1%w/v และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลของฟิล์มหลังแช่ในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



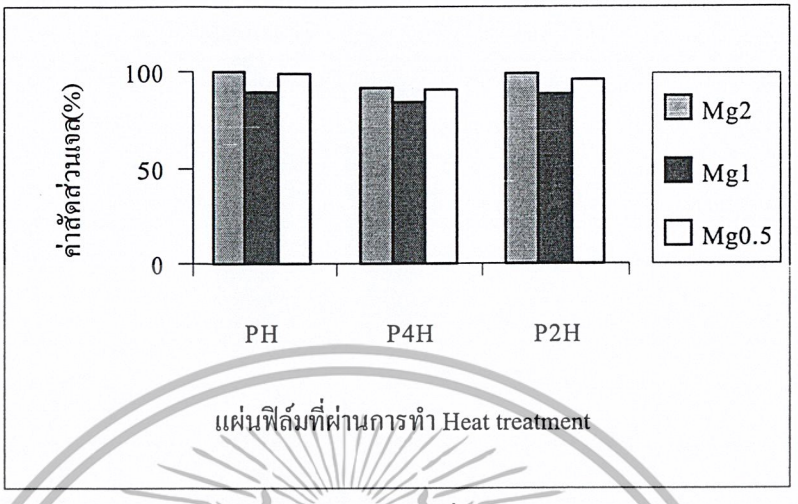
รูปที่ 4.25 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการทำการปรับสภาพทางความร้อน หลังแช่ในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v 1%w/v และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



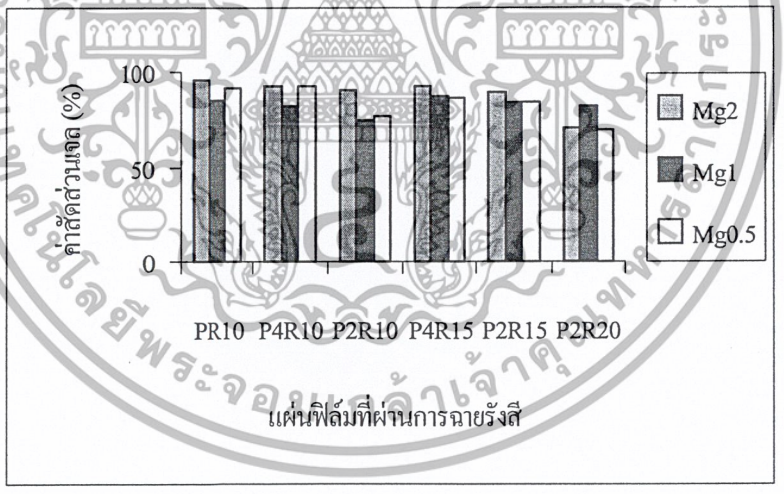
รูปที่ 4.26 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสี หลังแช่ในสารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v 1%w/v และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลของฟิล์มหลังแช่ในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ที่24 ชั่วโมง



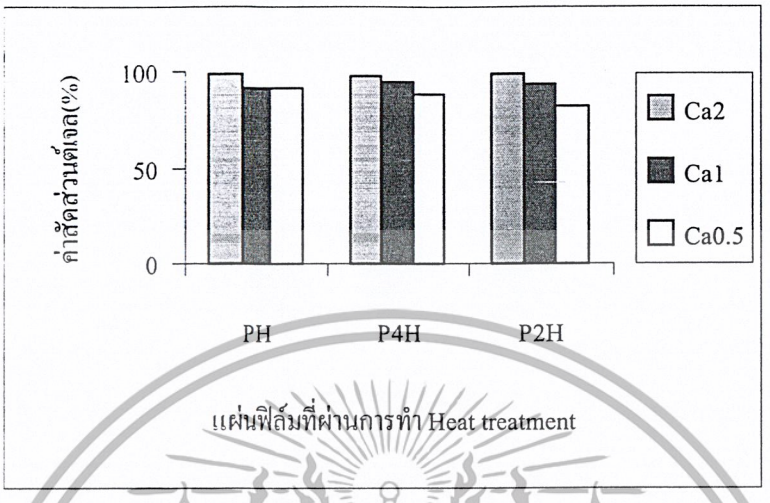
รูปที่ 4.27 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน หลังแช่ในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v 1%w/v และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา24 ชั่วโมง



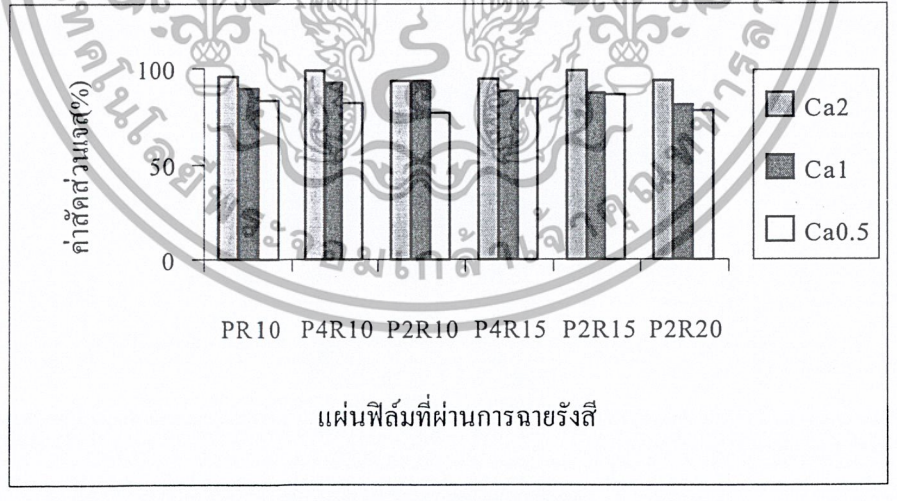
รูปที่ 4.28 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสี หลังแช่ในสารละลาเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v 1%w/v และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลของฟิล์มหลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.29 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน หลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v 1%w/v และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.30 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนเจลของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสี หลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v 1%w/v และ 0.5 %w/v ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.29 พบว่าค่าสัดส่วนเจลของฟิล์ม PH มีค่าสูงสุด หลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v อีกทั้งพบว่าค่าสัดส่วนเจลของฟิล์ม PH มีค่าสูงสุด หลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.5 %w/v

จากรูปที่ 4.30 พบว่าค่าสัดส่วนเจลของฟิล์ม P2R20 มีค่าต่ำสุด หลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 %w/v นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสัดส่วนเจลของฟิล์ม P2R10 มีค่าสูงสุด หลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 %w/v อีกทั้งพบว่าค่าสัดส่วนเจลของฟิล์ม P2R15 มีค่าสูงสุด หลังแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.5 %w/v

จากรูปที่ 4.21-4.30 พบว่า แผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน ให้ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลใกล้เคียงกับแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสี แต่เมื่อพิจารณาแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสีด้วยกันแล้ว พบว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่มากขึ้น ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลเพิ่มขึ้น

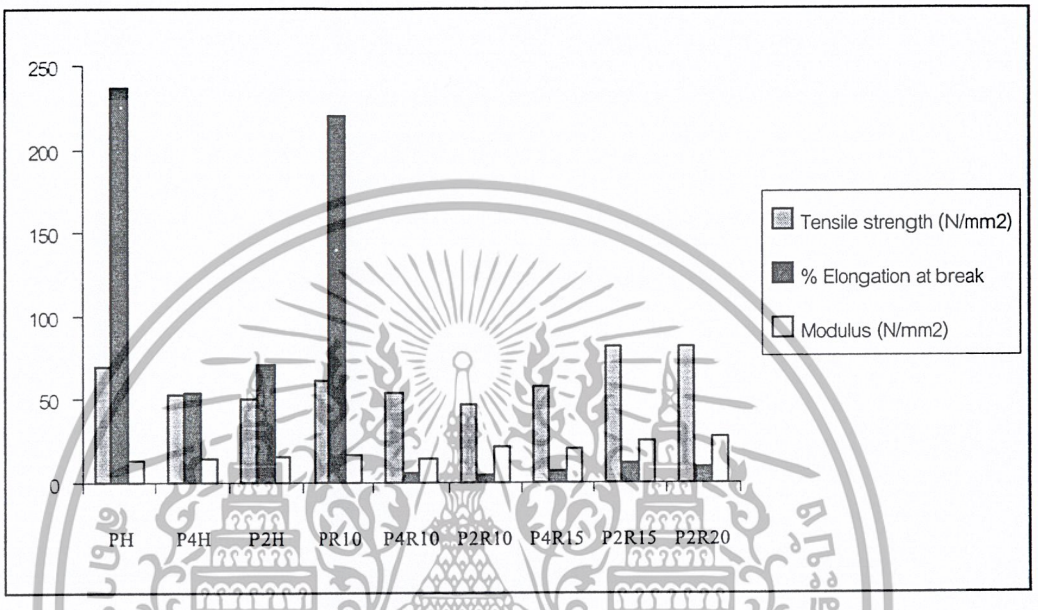
นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณเซริซินเพิ่มขึ้น ปริมาณของ PVA น้อยลง ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลมีค่าลดลง ที่ปริมาณรังสีที่เท่ากัน อาจเนื่องมาจาก เมื่อทำการฉายรังสีทำให้สายโซ่ PVA เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ดังนั้นถ้ามีปริมาณของ PVA มาก จะมีโอกาสเกิดการเชื่อมโยงกันได้มาก ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลสูง แต่ถ้ามีปริมาณของ PVA น้อย จะมีโอกาสเกิดการเชื่อมโยงกันได้น้อย ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สมบัติเชิงกล

4.5.1 การเปรียบเทียบความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และมอดุลัสของยัง (Young's modulus)

4.5.1.1 แผ่นฟิล์มตัวอย่างทุกสูตร

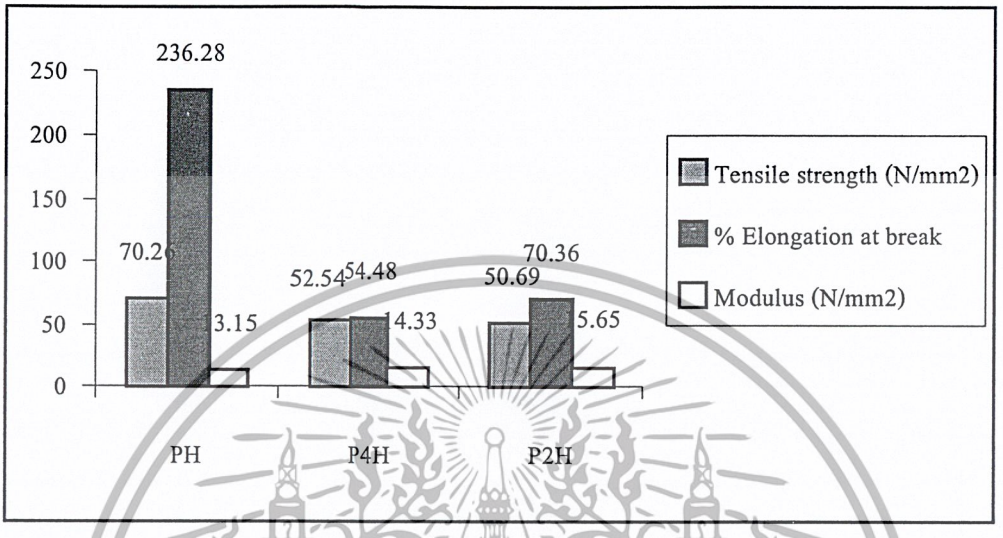


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยัง กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างแต่ละสูตร

จากรูปที่ 4.31 พบว่า แผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมโดยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนนั้น จะให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) มีแนวโน้มสูงกว่า แผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมโดยเทคนิคการฉายรังสี แต่มีแนวโน้มของค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ที่ต่ำกว่า คือ แผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA : Sericin ในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ด้วยเทคนิคการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 20 kGy (P2R20) ให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสของยังสูงสุด คือ 81.42 N/mm^2 และ 27.46 N/mm^2 ตามลำดับ และแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน (PH) ให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดสูงสุด คือ 236.28 N/mm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.2 แผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันโดยเทคนิคการปรับสภาพทาง ความร้อน

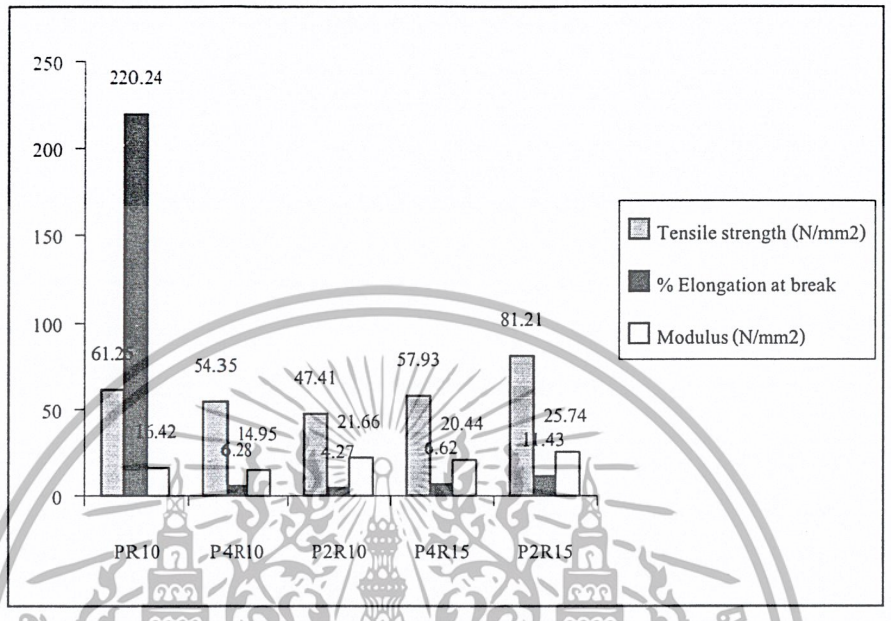


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยัง กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างแต่ละสูตรที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน

จากรูปที่ 4.32 พบว่า เมื่อปริมาณเซริซิน (Sericin) เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ลดลง เนื่องจากเซริซิน(Sericin) จะไปขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของ PVA ทำให้แรงดึงดูดระหว่างสายโซ่ลดลง จึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ลดลง ทั้งนี้การขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ PVA จะทำให้สายโซ่ของ PVA เกิดการหดกลับไปอยู่ในส่วนที่มีความเป็นระเบียบ จึงทำให้ค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) สูงขึ้น และเมื่อเซริซิน (Sericin) มีอัตราส่วนโดยปริมาณเพิ่มขึ้น ปริมาณ PVA ลดลงทำให้ความสามารถในการยืดหยุ่นของสายโซ่น้อยลง ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.3 แผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันโดยเทคนิคการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10 และ 15 kGy

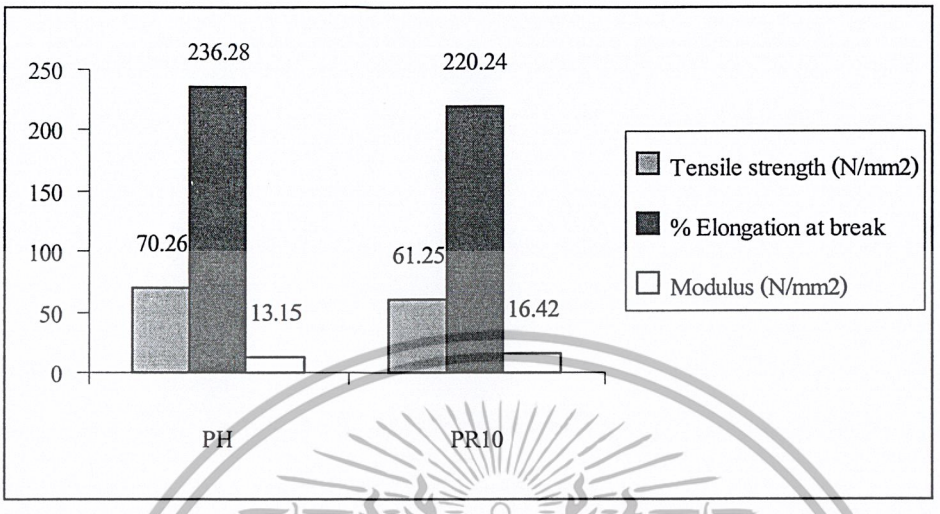


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาดและมอดุลัสของยัง กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างแต่ละสูตรที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10 และ 15kGy

จากรูปที่ 4.33 จะเห็นว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10 kGy พบว่าเมื่อปริมาณเซริซิน (Sericin) เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จะเห็นว่ามีทิศทางเป็นไปตามการเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนของฟิล์มตัวอย่าง PVA ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แสดงว่าเทคนิคการเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่แตกต่างกันไม่มีผลมากนัก เมื่อเทียบกับอัตราส่วนที่แตกต่างกันของ PVA และเซริซิน (Sericin) ในแต่ละสูตร นอกจากนี้ปริมาณรังสีที่ใช้แปรผันตรงกับสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง กล่าวคือ เมื่อปริมาณการฉายรังสีเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.4 แผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

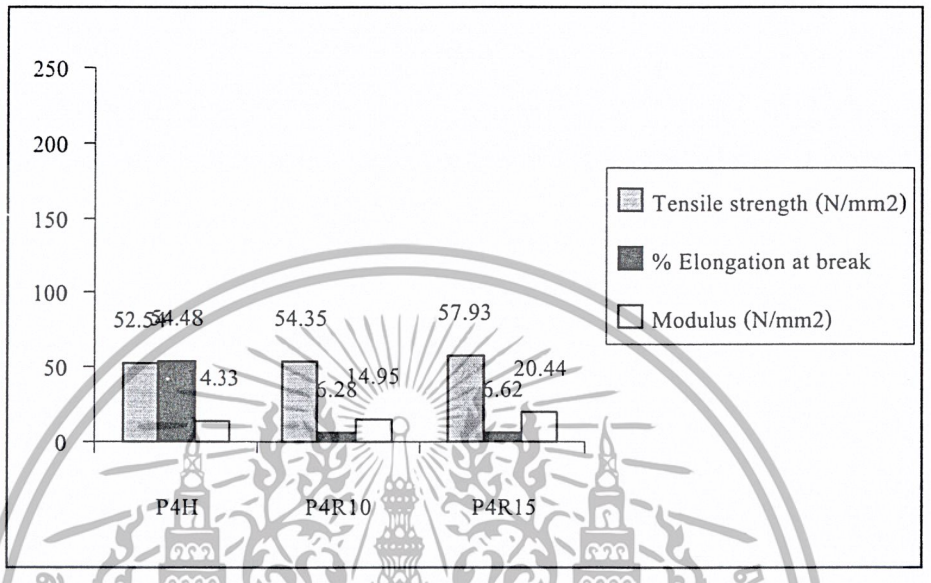


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยังกับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.34 พบว่า เทคนิคจากการเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างโดยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน จะให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) สูง แต่มีค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.5 แผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

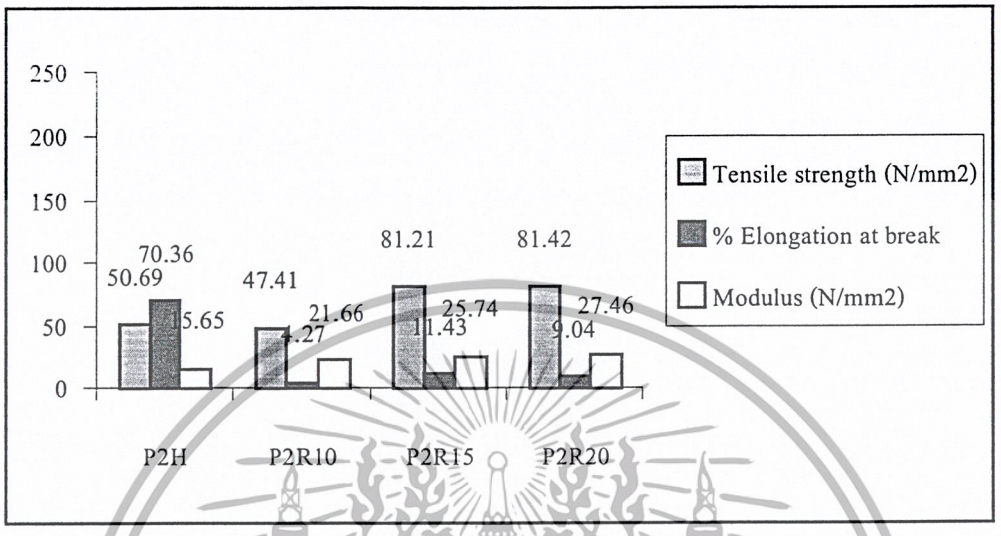


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง การยืด ณ จุดขาดและมอดุลัสของยังกับแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.35 พบว่า แผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และเซริซิน (Sericin) ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนจะให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) สูงกว่า แต่ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และเซริซิน (Sericin) ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.6 แผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของยัง กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.36 พบว่า เทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนจะให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) สูงกว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และเซริซิน (Sericin) ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี อีกทั้งยังพบว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสีในปริมาณที่เหมาะสมจะให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) สูงกว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน

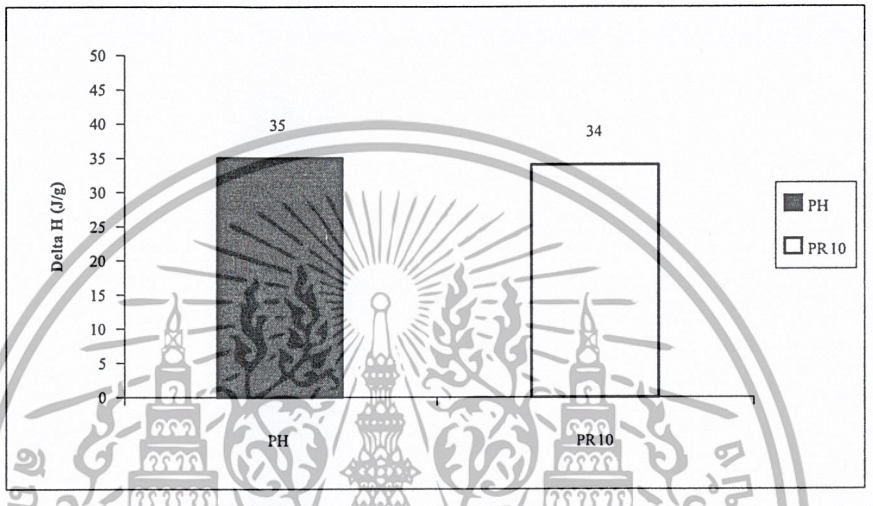
จากรูปที่ 4.31 พบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ใกล้เคียงกับแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี สำหรับค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) พบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) สูงกว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี เนื่องจากแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี อาจเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ PVA เกิดการตรึงแน่นของสายโซ่ ทำให้การดึงยืดยากขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

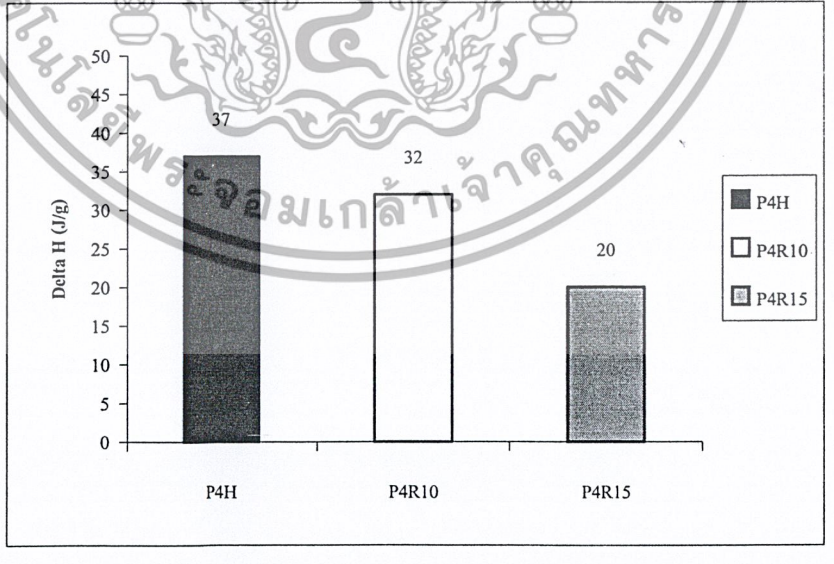
ว่า ปริมาณรังสีมากขึ้น ทำให้การเชื่อมโยงของสายโซ่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

4.6 สมบัติทางความร้อน

4.6.1 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

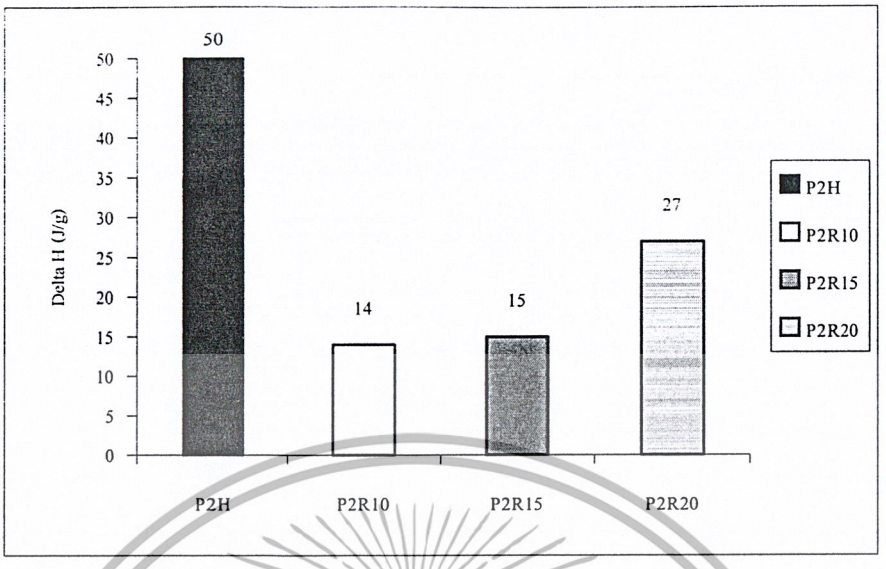


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก (ΔH) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

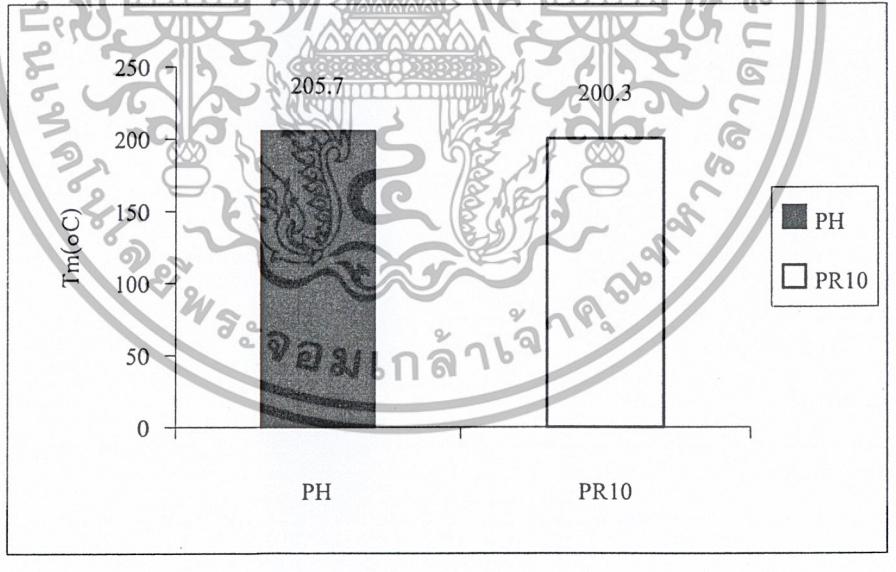


รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก (ΔH) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

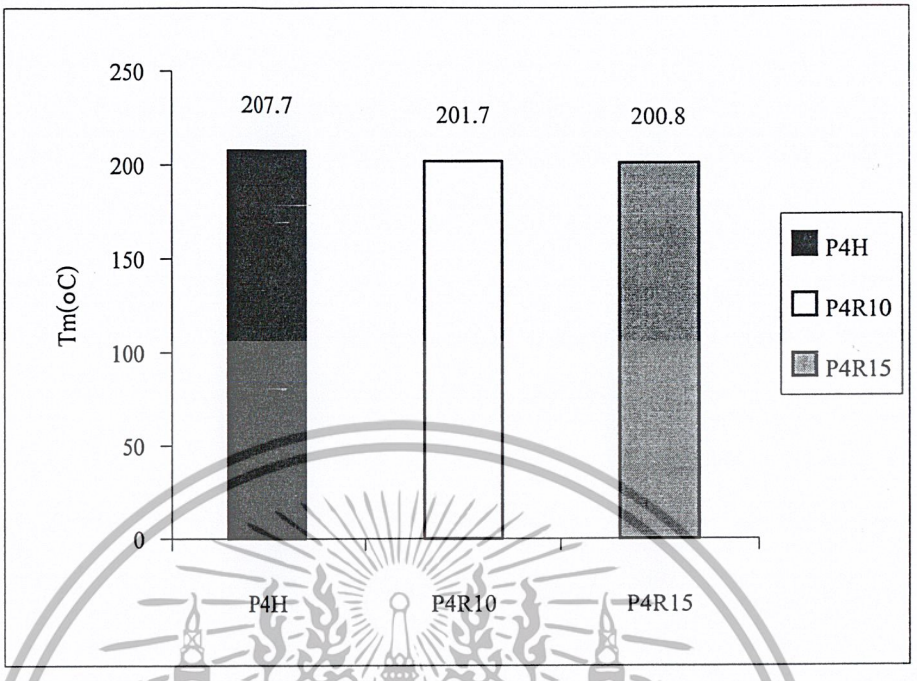


รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก (ΔH) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสมPVA และ Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

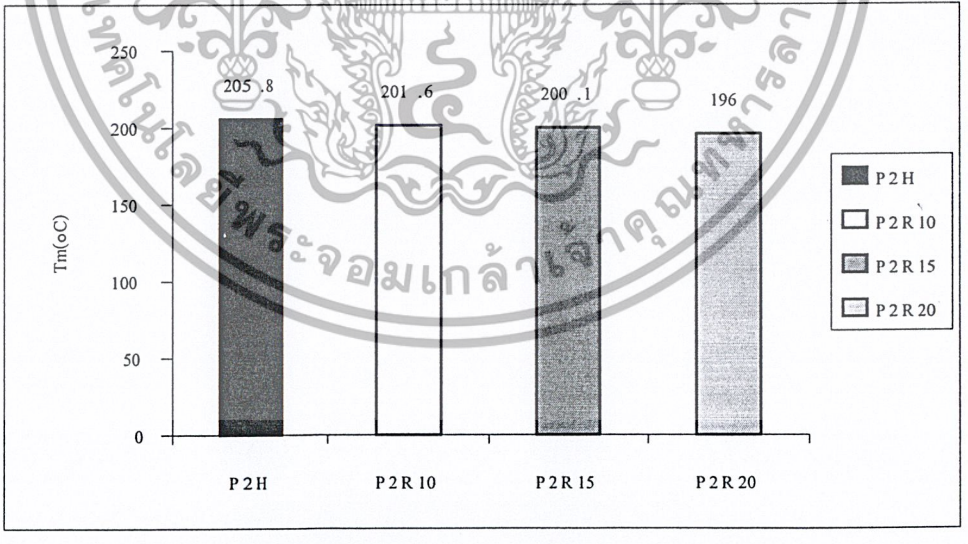


รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (Melting Temperature) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (Melting Temperture) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 4:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (Melting Temperature) กับแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA และ Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมจากเทคนิคที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

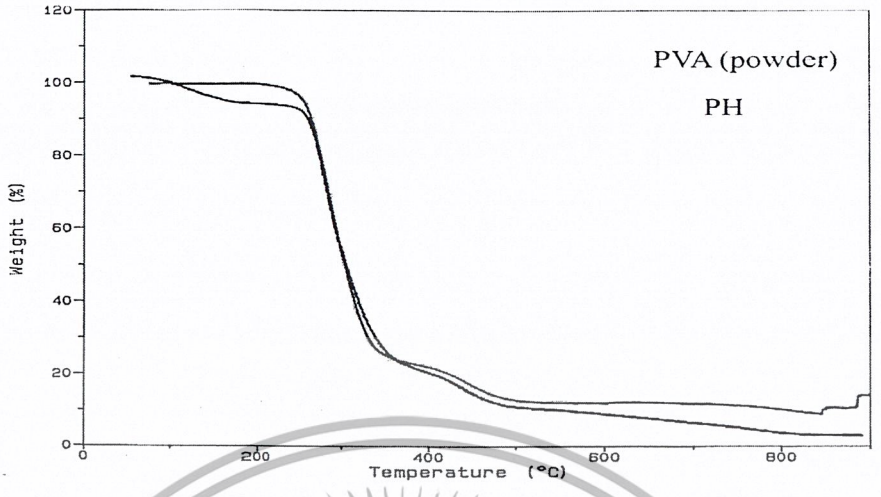
จากรูปที่ 4.37-4.39 พบว่า แผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสี ให้ค่าพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก (ΔH) ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน และเมื่อพิจารณาแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสี พบว่า เมื่อปริมาณรังสีมากขึ้น ทำให้ค่าพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก (ΔH) ลดลง เนื่องจากปริมาณรังสีมากขึ้น มีโอกาสเหนี่ยวนำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงหนาแน่นขึ้น สายโซ่จัดเรียงตัวเป็นระเบียบได้ยาก ความเป็นผลึกลดลง ค่าพลังงานความร้อนในการหลอมผลึก (ΔH) จึงต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเซริซินลงใน PVA มากขึ้น ทำให้ความเป็นผลึกของ PVA ลดลง แสดงว่าเซริซินไปรบกวนความเป็นผลึกของ PVA

จากรูปที่ 4.40-4.42 พบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนให้ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (Melting Temperature) สูงกว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสีเพียงเล็กน้อย

4.6.2 Thermogravimetric Analysis (TGA)

รูปที่ 4.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของ PVA และ Sericin

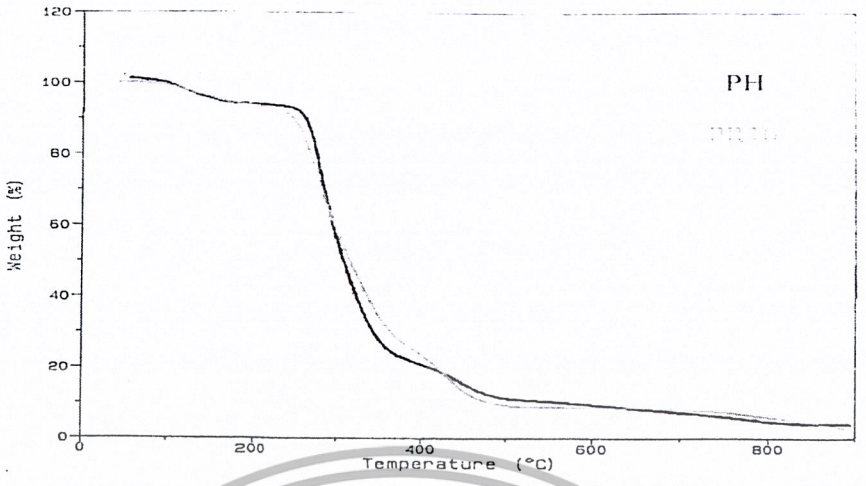
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของฟิล์มตัวอย่าง PVA เทียบกับ สาร PVA มาตรฐาน

รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของฟิล์มตัวอย่างแต่ละสูตรที่เตรียมโดยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน

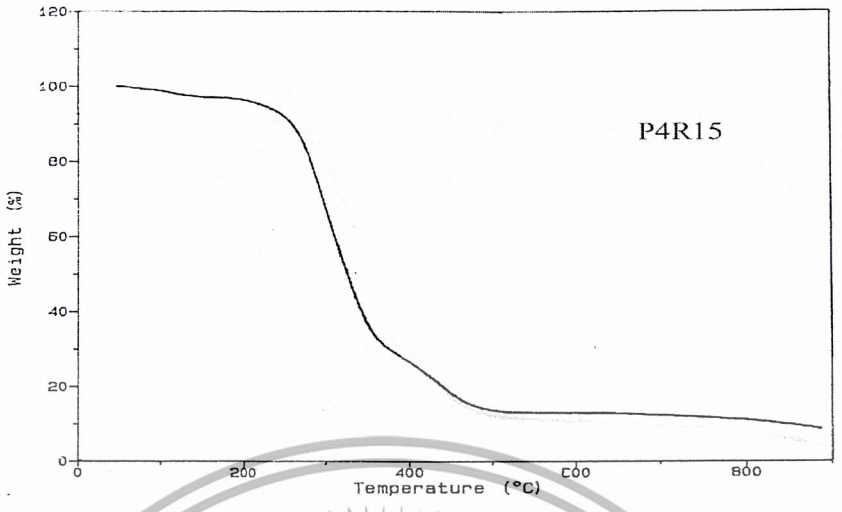
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



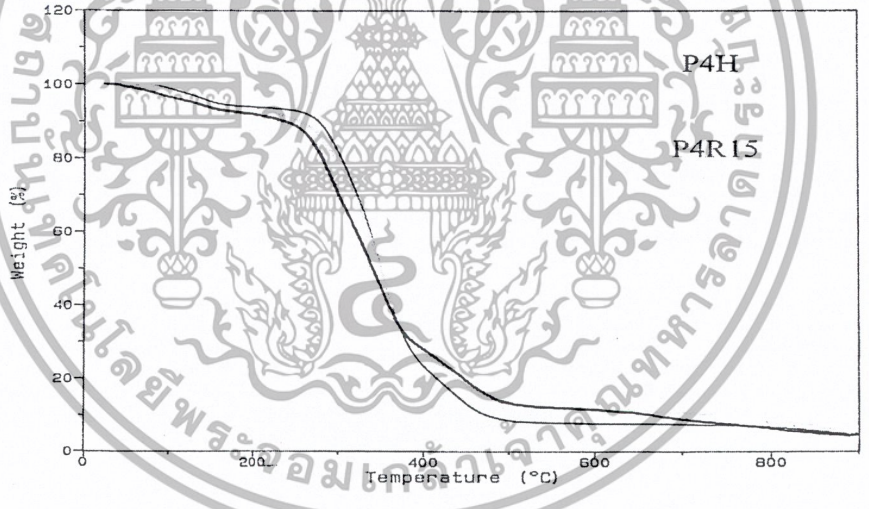
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของฟิล์มตัวอย่าง PVA ที่เตรียมโดยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนและเทคนิคการฉายรังสี

รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA : Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมโดยเทคนิคการฉายรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

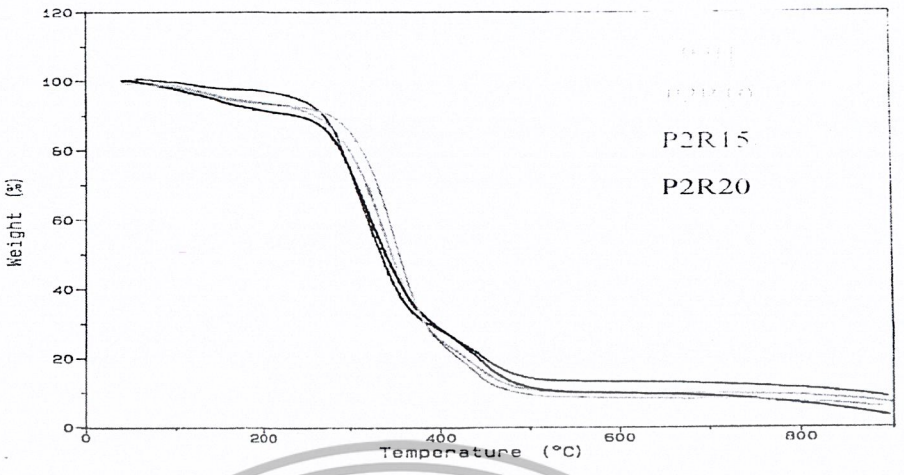


รูปที่ 4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA : Sericin ในอัตรา ส่วน 4:1 ที่เตรียมโดยเทคนิคการฉายรังสี



รูปที่ 4.49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA : Sericin ใน อัตรา ส่วน 4:1ที่เตรียมโดยเทคนิคที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

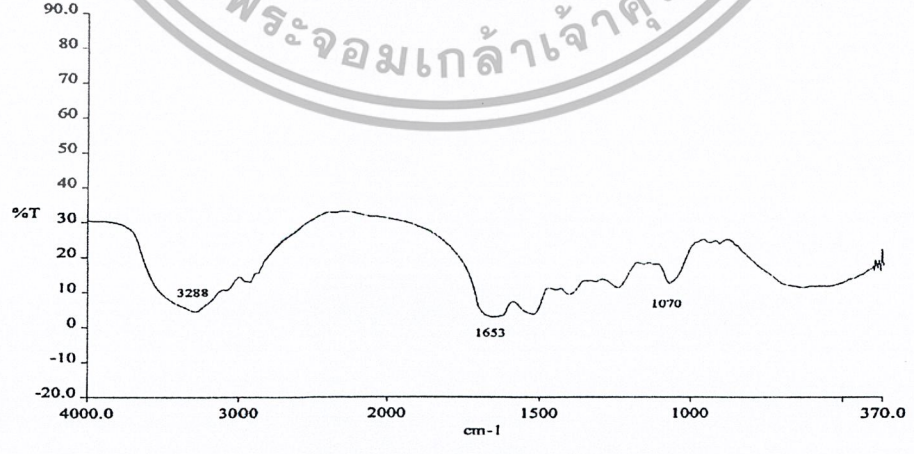


รูปที่ 4.50 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเส้นกราฟของแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม PVA : Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมโดยเทคนิคที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.43 พบว่า เซริซินมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และจากรูปที่ 4.45 พบว่า P2H มีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่า P4H และ PH อีกทั้ง P4H มีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่า PH แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเซริซินลงในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากขึ้น ทำให้แผ่นฟิล์มตัวอย่างผสมมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงขึ้น เนื่องจากเซริซินมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

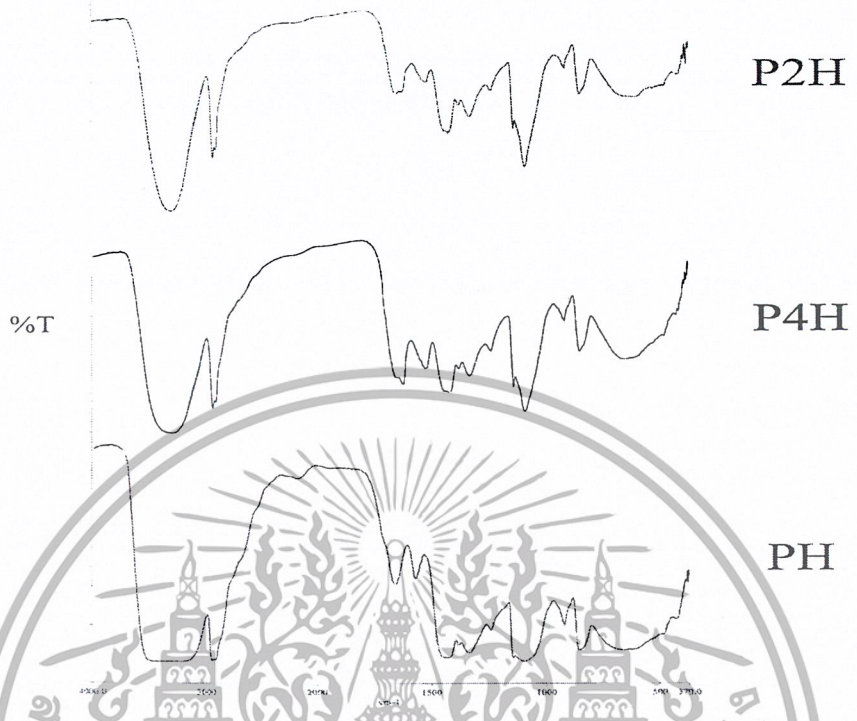
4.7 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

4.7.1 Foueier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)



รูปที่ 4.51 แสดงสเปกตรัมของเซริซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มตัวอย่างแต่ละสูตรที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.53 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มตัวอย่างในแต่ละสูตรที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี

จากรูปที่ 4.51 พบว่าพีก O-H Stretching ปรากฏที่ 2400-3400 cm^{-1} พีก N-H Stretching ปรากฏที่ 3100-3500 cm^{-1} ซึ่งสเปกตรัมที่ปรากฏจะแสดงพีกของ O-H Stretching เพียงอย่างเดียว เพราะพีก O-H Stretching กว้าง จึงบดบังพีกของ N-H Stretching เกือบทั้งหมด ทำให้เห็นพีกของ N-H Stretching ไม่ชัดเจน นอกจากนี้มีพีก C=O Stretching ปรากฏที่ 1600-1700 cm^{-1} พีก C-N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stretching ปรากฏที่ 1640-1690 cm^{-1} ซึ่งสเปกตรัมที่ปรากฏจะแสดงพีกของ C=O Stretching ชัดเจน เนื่องจากพีกค่อนข้างกว้าง ทั้งนี้ในเซริซินมีองค์ประกอบของสารหลายตัว จึงทำให้พีก C=O Stretching ปรากฏในตำแหน่งเดียวกับพีกของ N-H Stretching

จากรูปที่ 4.52 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมจากเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน พบว่าพีกที่ปรากฏขึ้นอยู่ในตำแหน่งที่คล้ายกับสเปกตรัมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยมีพีก O-H ของแอลกอฮอล์ปรากฏที่ 3000-3500 cm^{-1} พีก C-O Stretching ของแอลกอฮอล์ปรากฏที่ 1050-1200 cm^{-1} และพีก $-CH_2-$ Stretching ปรากฏที่ 1400-14700 cm^{-1}

จากรูปที่ 4.53 แสดงสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสี ซึ่งไม่พบความแตกต่างของพีกที่เด่นชัด อาจเป็นผลมาจากแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสี มีความหนาของแผ่นฟิล์มมากเกินไป เนื่องจากไม่สามารถเตรียมแผ่นฟิล์มที่มีความบางมากกว่านี้ได้ เพราะจะไม่สามารถลอกออกจากภาชนะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลจากค่าการดูดซับน้ำ พบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสีมีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน
2. ผลจากค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจล พบว่า สำหรับแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสี เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลสูงขึ้น
3. ผลจากสมบัติเชิงกล พบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อนให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) สูงกว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสี ส่วนค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากทั้งสองเทคนิคมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้สำหรับแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสี พบว่าเมื่อปริมาณรังสีมากขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) สูงขึ้น
4. ผลจากเทคนิค DSC พบว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสีให้ค่าพลังงานความร้อนในการหลอมเหลวผลึกต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิคการปรับสภาพทางความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเทคนิคการฉายรังสีด้วยกันเอง พบว่าปริมาณรังสีมากขึ้น ทำให้ค่าพลังงานความร้อนในการหลอมเหลวผลึกต่ำลง
5. ผลจากเทคนิค TGA พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มขึ้นกับปริมาณเซริซินที่ผสมลงในฟิล์มตัวอย่าง โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเซริซินในฟิล์มตัวอย่างมากขึ้นมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มตัวอย่างสูงขึ้นด้วย
6. ผลจากเทคนิค FTIR แสดงสเปกตรัมเฉพาะของเซริซิน และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
7. สำหรับการนำไปใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มสูง และมีค่าการดูดซับน้ำสูงพอเหมาะ คือแผ่นฟิล์มตัวอย่าง PVA:Sericin ในอัตราส่วน 2:1 ที่เตรียมด้วยเทคนิคการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 15 kGy (P2R15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาอัตราการดูดซับไอออนด้วยเทคนิค AAS (Atomic Absorption Spectrometry) ของโลหะในสารละลายเกลือที่ส่งผลต่อน้ำหนักของฟิล์มตัวอย่าง เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารละลายเกลือ
2. ควรศึกษาความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย โดยทำการตรวจสอบการเพาะเชื้อในแผ่นฟิล์มตัวอย่างผสม
3. ควรศึกษาอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และไอน้ำ
4. ในการเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างควรมีการควบคุมช่วงเวลาในการอบฟิล์มที่เท่ากันทุกครั้ง และควรควบคุมความหนาของแผ่นฟิล์มให้เท่ากันทั่วทั้งแผ่น
5. ควรเก็บฟิล์มตัวอย่างไฮโดรเจลไว้ในเดซิเคเตอร์ทุกครั้งเนื่องจากฟิล์มไฮโดรเจลสามารถดูดความชื้นได้ดี มีผลทำให้สมบัติเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ธีระพล มณีวรานนท์กุล, สุวิทย์ เอื้อโสภณ และอรกมล ทองใบ. 2544. **การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารเมือก (Mucillage) จากเมล็ดแมงลัก (Ocimum cannm sims.) กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)** โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และดร. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ. **ปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์.** กรุงเทพฯ : โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
3. มินะกาวะ โมโตอิ. 2530. **หนังสือวิทยาการไหม เล่ม 1.** คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
4. สุนันทา วิบูลย์จันทร์. 2539. **เคมีอินทรีย์.** โครงการเอกสารวิชาการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
5. สุมิตรา เกษมชัยนันท์ และสุรเกียรติ คำตา. 2542. **การสังเคราะห์ไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิอะไครลิกแอซิด และทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมผงไหม.** โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. Giuliano Freddi; Masuhiro Tsukada and Silvia Beretta. 1999. **Journal of Applied Polymer Science.** 71: 1563.
7. H.Y.Kweon; et. al. 2001. Preparation of Semi-Interpenetrating Polymer Networks Composed of Silk Fibroin and Poly(ethylene glycol) Macromer. **Journal of Applied Polymer Science.** 80: 1848-1853.
8. Janusz M. Rosiak. **Radiation Effect on Polymers.** 271.
9. J. Pe'rez-Rigueiro; et.al. 2002. Effect of Degumming on the tensile Properties of Silkworm (Bombyx mori) Silk Fiber. **Journal of Applied Polymer Science.** 84:1431-1437.
10. Kazuo Yamaura; et. al. 1990. **Journal of Applied Polymer Science.** 41: 2409-2425.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

11. Masuhiro Tsukada; Fiuliano and John S. Crighton. 1994. **Journal of Polyme Science: part B.** 32: 243-248.

12. Mondino A.V.; et. al. 1999. Physical properties of gamma irradiated poly(vinyl alcohol) hydrogel prepartions. **Radiation Physics and Chemistry.** 55: 723-726.

13. M.T. Razzak; et. al. 1999. The characterization of dressing compont materials and radiation formation of PVA-PVP hydrogel. **Radiation Physics and Chemistry.** 55: 153-165.

14. Wichterle and Lim, 1962. **Nature** 114: 185.

15. Yoshii F.; et. al. 1995.Heat resistance poly(vinyl alcohol) hydrogel. **Radiation Physics and Chemistry.** 46(2): 169.

16. Yu-Qing Zhang. 202. Application of natural silk protein sericin in biomaterials. **Biotechnology Advance.** 20: 91-100.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในน้ำ สารละลาย pH4 และ pH 9 ของฟิล์มไฮโดรเจล

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในน้ำ สารละลาย pH4 และ pH 9 ของฟิล์มไฮโดรเจล										
	เวลา (ชั่วโมง)	PH	P4H	P2H	PR10	P4R10	P2R10	P4R15	P2R15	P2R20
W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	331.62	220.68	309.38	319.37	349.5	332.75	259.12	304.45	344.47
	4	306.84	212.96	305.8	316.23	335	323.39	238.63	300	330.15
	6	300.85	206.48	294.62	312.57	329	309.94	236.8	295.13	326.13
	8	284.62	199.69	287.05	308.38	315.5	297.66	229.51	291.1	315.33
	24	274.49	194.75	271.88	296.86	297.5	295.32	217.27	281.36	317.09
A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	242.6	154.57	319.83	260.5	240.78	292.27	222.64	327.37	254.21
	4	244.38	154	314.88	256.72	238.55	287.11	220.41	230.95	252.1
	6	235.5	151.43	303.31	254.62	236.31	288.66	216.81	226.96	249.01
	8	232.54	152.57	297.52	253.78	231.28	284.54	214.49	217.06	231.23
	24	229	149.71	288.43	241.6	230.17	279.9	212.95	211.28	228.32
B9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	222.75	182.72	226.98	436.96	377.92	427.14	311.86	273.98	277.94
	4	220.63	180.4	221.9	434.78	350	420	304.92	269.3	270.92
	6	221.16	179.24	219.05	426.09	342.86	416.43	301.69	270.61	267.65
	8	219.58	172.46	214.92	419.57	329.87	407.14	300.51	262.66	262.91
	24	217.46	173.46	206.98	416.3	317.53	397.86	271.36	258.19	260.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ NaCl ของฟิล์มไฮโดรเจล

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ NaCl ของฟิล์มไฮโดรเจล										
	เวลา (ชั่วโมง)	PH	P4H	P2H	PR10	P4R10	P2R10	P4R15	P2R15	P2R20
Na2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	152	210.67	372.21	212.85	228.45	220.84	158.19	196.52	187.61
	4	148.48	189.33	364.95	213.42	221.72	214.91	155.11	193.84	188.14
	6	142.88	176.22	362.54	209.26	213.54	215.87	153.95	189.89	182.79
	8	143.48	172.56	353.78	210.59	214.36	212.05	149.88	187.94	177.97
	24	140.64	167.38	347.13	208.88	210.5	208.8	144.48	179.3	174.05
Na1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	178.77	231.08	254.8	218.41	262.99	273.91	181.43	232.57	315.59
	4	174.32	216.67	250	217.06	258.09	262.9	182.91	230.59	302.15
	6	175.06	209.91	247.6	217.23	254.59	259.42	178.47	228.61	296.51
	8	172.1	191.89	242.4	215.54	249.61	256.58	174.56	224.81	289.78
	24	168.89	185.59	237.6	213.51	242.52	254.49	173.89	215.83	263.98
Na0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	209.71	193.72	247.43	246.61	210.72	282.08	262	243	262.82
	4	210.53	186.96	239.43	244.96	209.61	279.65	239.29	241.46	258.4
	6	201.43	187.44	235.71	245.29	207.38	268.58	227.34	237.28	255.46
	8	199.14	182.13	230	244.46	207.94	266.15	222.1	229.52	253.99
	24	194.29	176.57	224	243.47	206.27	262.39	217.86	220.87	237.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ KClของฟิล์มไฮโดรเจล

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ KCl ของฟิล์มไฮโดรเจล										
	เวลา (ชั่วโมง)	PH	P4H	P2H	PR10	P4R10	P2R10	P4R15	P2R15	P2R20
K2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	201.83	162.35	214.08	225.9	248.08	297.33	170.69	207.82	370.53
	4	192.68	156.86	211.08	220.68	237.5	293.33	166.09	200.34	341.05
	6	165.25	152.55	201.27	218.88	231.07	294	164.77	196.43	334.74
	8	151.05	150.34	200.95	210.37	220.34	289.03	160.33	192.01	315.26
	24	145.8	149.02	194.3	201.48	217.8	272.67	159.39	188.1	316.84
K1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	263.86	199.28	212.37	309.74	245.43	362.16	218.72	204.85	306.72
	4	241.08	202.7	209.19	304.01	241.22	354.59	213.81	201.74	303.64
	6	216.76	176.04	210.68	296.28	234.29	348.11	210.16	202.11	302.52
	8	208.65	163.24	202.12	288.89	231.19	337.62	206.58	198.51	298.85
	24	189.14	157.3	200.79	282.1	226.93	327.03	202.85	193.53	288.52
K0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	272.93	177.64	239.47	417.53	239.34	314.85	217.24	240.69	208.33
	4	269.61	168.05	234.21	414.34	238.41	309.09	215.52	234.31	209.72
	6	264.64	162.12	235.09	407.98	231.19	285.41	211.65	229.9	205.28
	8	260.77	156.89	229.98	408.85	229.74	278.01	204.78	220.42	204.44
	24	240.7	159.44	224.56	403.57	226.79	272.94	195.22	218.63	202.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ $MgCl_2$ ของฟิล์มไฮโดรเจล

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ $MgCl_2$ ของฟิล์มไฮโดรเจล										
	เวลา (ชั่วโมง)	PH	P4H	P2H	PR10	P4R10	P2R10	P4R15	P2R15	P2R20
Mg2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	176.37	143.78	266.25	431.21	225.11	269.49	208.08	219.67	255.41
	4	171.92	142.48	263.75	358.97	215.7	254.24	206.19	215.2	253.39
	6	168.15	141.7	257.5	348.72	207.62	256.36	203.71	212.97	252.67
	8	163.36	139.23	251.88	343.59	203.14	251.27	201.09	213.86	245.45
	24	159.59	140.37	241.25	332.48	195.96	249.58	196.36	209.99	240.98
Mg1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	203.5	165.03	265.38	453.19	272.96	296.97	221.49	266.67	190.28
	4	194.16	163.89	239.01	454.61	265.41	281.82	218.55	255.17	188.36
	6	193.77	159.55	236.81	450.39	263.06	276.19	215.26	245.42	189.11
	8	192.12	155.77	229.67	432.62	259.12	274.46	208.38	241.72	184.51
	24	188.42	153.5	217.58	427.66	254.89	257.58	207.52	238.21	184.92
Mg0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	194.46	160	196.01	822.73	277.03	316.67	191.26	245.12	298.58
	4	185.12	161.94	193.45	795.45	269.39	301.32	184.33	247.47	297.45
	6	184.43	157.9	188.32	772.73	267.12	299.12	182.96	242.26	288.1
	8	183.39	154.68	181.77	750	262.16	275	175.97	237.71	282.44
	24	182.7	153.39	174.64	738.64	263.06	278.95	168.99	232.32	277.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ $CaCl_2$ของฟิล์มไฮโดรเจล

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ $CaCl_2$ ของฟิล์มไฮโดรเจล										
	เวลา (ชั่วโมง)	PH	P4H	P2H	PR10	P4R10	P2R10	P4R15	P2R15	P2R20
Ca2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	220.44	136.02	212	286.76	218.82	261.73	202.35	237.53	302.58
	4	218.98	135.08	214	284.78	216	253.09	201.21	235.48	297.42
	6	216.42	133.4	209.43	280.83	217.18	249.38	198.06	232.13	294.83
	8	211.31	132.46	198.57	279.05	209.18	250.31	198.87	227.76	287.08
	24	215.69	132.08	202	275.49	210.59	234.26	196.68	219.02	276.38
Ca1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	215.06	149.44	246.38	258.28	258.79	252.54	252.05	222.16	245.23
	4	213.25	147.76	240.79	254.19	252.54	250.25	246.49	218.47	246.86
	6	212.47	146.36	235.58	254.58	250.25	249.24	247.51	215.45	244.62
	8	210.91	144.12	232.24	250.87	246.45	246.45	243.13	214.81	239.96
	24	207.27	145.66	230.26	247.76	241.12	241.12	234.36	210.03	234.89
Ca0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	265.48	241.99	223.26	234.91	295.95	286.67	253.51	219.15	255.52
	4	260.71	233.15	218.6	233.22	286.67	284.2	250.16	216.67	250
	6	257.54	225.97	212.5	231.87	284.2	279.01	246.81	210.7	248.4
	8	250.79	229.28	209.01	232.88	279.01	280.49	244.82	206.97	245.4
	24	248.02	218.23	206.1	227.99	271.36	271.36	237.38	202.98	243.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลของฟิล์มไฮโดรเจล

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจล ของฟิล์มไฮโดรเจล										
		PH	P4H	P2H	PR10	P4R10	P2R10	P4R15	P2R15	P2R20
	W	85.29	80.22	79.78	83.34	76.21	72.76	84.23	77.75	70.09
	A4	72.19	82.86	73.64	75.63	66.48	62.37	83.62	79.09	76.38
	B9	70.37	80.23	72.38	66.09	81.82	68.57	76.27	80.25	74.67
S	Na2	98.9	97.58	88.66	82.47	93.67	88.46	94.31	94.28	87.87
O	Na1	98.88	92.44	89.62	84.29	93.49	94.41	90.3	86.76	84.95
L	Na0.5	87.68	85.28	83.68	80	86.99	80.23	85.38	79.9	87.99
U	K2	95.49	87.06	97.15	88.89	99.52	91.33	92.67	89.12	90.53
T	K1	94.59	94.47	93.29	89.51	89.23	87.57	89.04	88.18	80.39
I	K0.5	82.87	87.54	84.65	79.65	88.29	76.73	85.47	82.19	81.11
O	Mg2	99.59	91.77	98.88	96.15	92.87	91.02	92.86	88.97	70.85
N	Mg1	89.88	84.5	88	85.11	82.39	74.89	87.54	84.21	82.33
	Mg0.5	98.62	90.32	96.3	91.36	92.34	77.19	86.48	84.68	69.82
	Ca2	99.41	98.09	98.91	96.31	98.91	94.11	94.9	98.71	94.06
	Ca1	91.6	95.07	93.3	89.19	92.12	93.97	88.86	87.42	81.54
	Ca0.5	91.46	88.09	82.08	83.24	81.62	76.35	84.08	86.07	77.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงผลของสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของฟิล์มในแต่ละสูตร

สูตร	Tensile strength (MPa)	% Elongation at break	Young's modulus (MPa)
PH	70.26	236.28	13.15
P4H	52.54	54.48	14.33
P2H	50.69	70.36	15.65
PR10	61.25	220.24	16.42
P4R10	54.35	6.28	14.95
P2R10	47.41	4.27	21.66
P4R15	57.93	6.62	20.44
P2R15	81.21	11.43	25.74
P2R20	81.42	9.04	27.46

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกและพลังงานความร้อนในการหลอมเหลวผลึกโดยอาศัยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก Tm(°C)	พลังงานความร้อนในการหลอมเหลวผลึก (ΔH; J/g)
PH	205.716	35.156
P4H	207.740	37.621
P2H	205.873	50.822
PR10	200.349	34.314
P4R10	201.724	32.233
P2R10	201.605	14.873
P4R15	200.884	20.557
P2R15	200.095	15.413
P2R20	196.024	27.898

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงค่าอุณหภูมิสลายตัวของสาร โดยอาศัยเทคนิค Thermogravimatric Analysis (TGA)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวของสาร (°C)
PH	300
P4H	348
P2H	361
PR10	313
P4R10	348
P2R10	339
P4R15	339
P2R15	322
P2R20	343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

รูปที่ 1 แสดงผล DSC ของฟิล์มตัวอย่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 แสดงผล DSC ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินใน อัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 แสดงผล DSC ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 แสดงผล DSC ของฟิล์มตัวอย่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 แสดงผล DSC ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 แสดงผล DSC ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินใน อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 แสดงผล DSC ของฟิล์มตัวอย่างผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 15 kGy

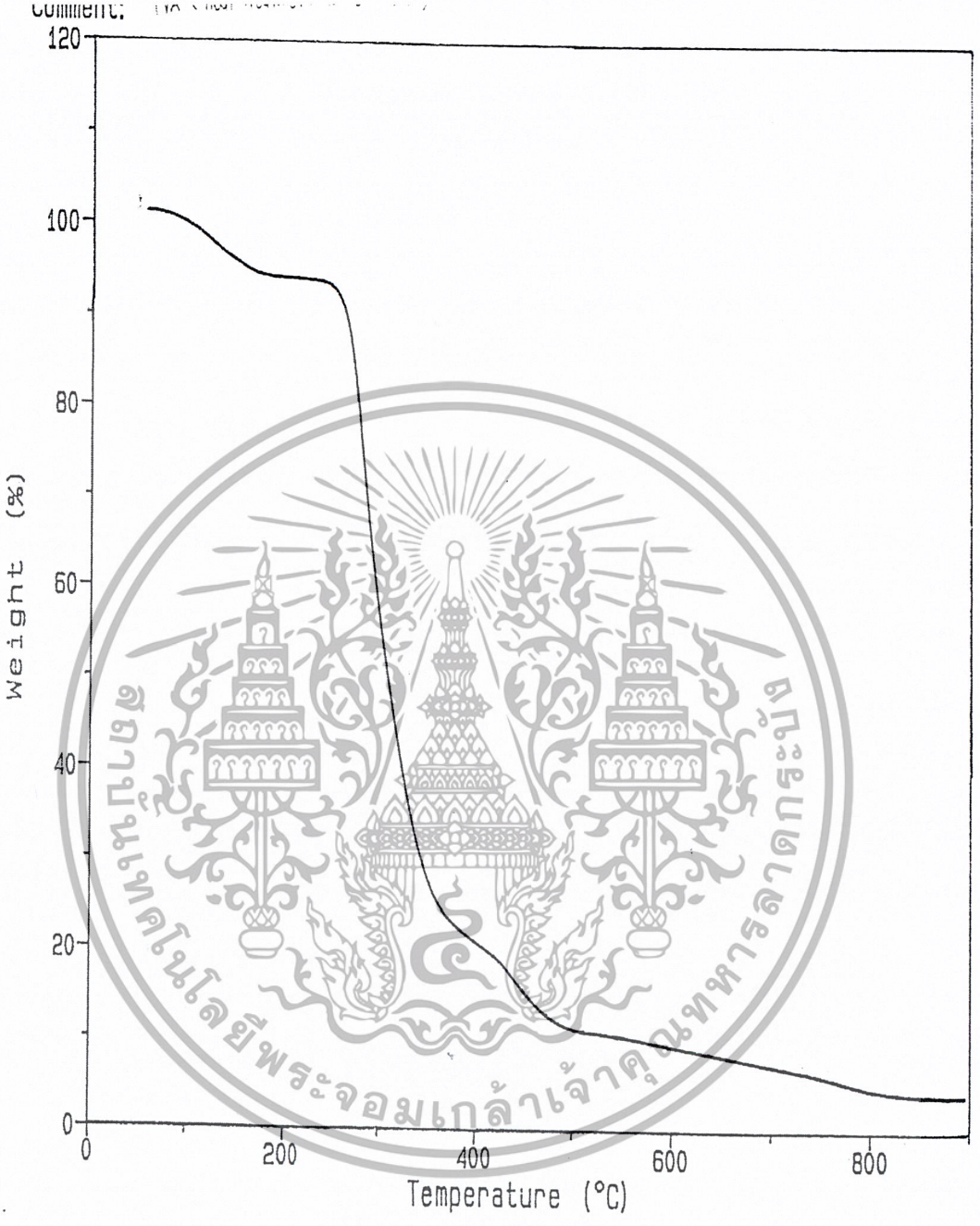
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8 แสดงผล DSC ของฟิล์มตัวอย่างผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 15 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

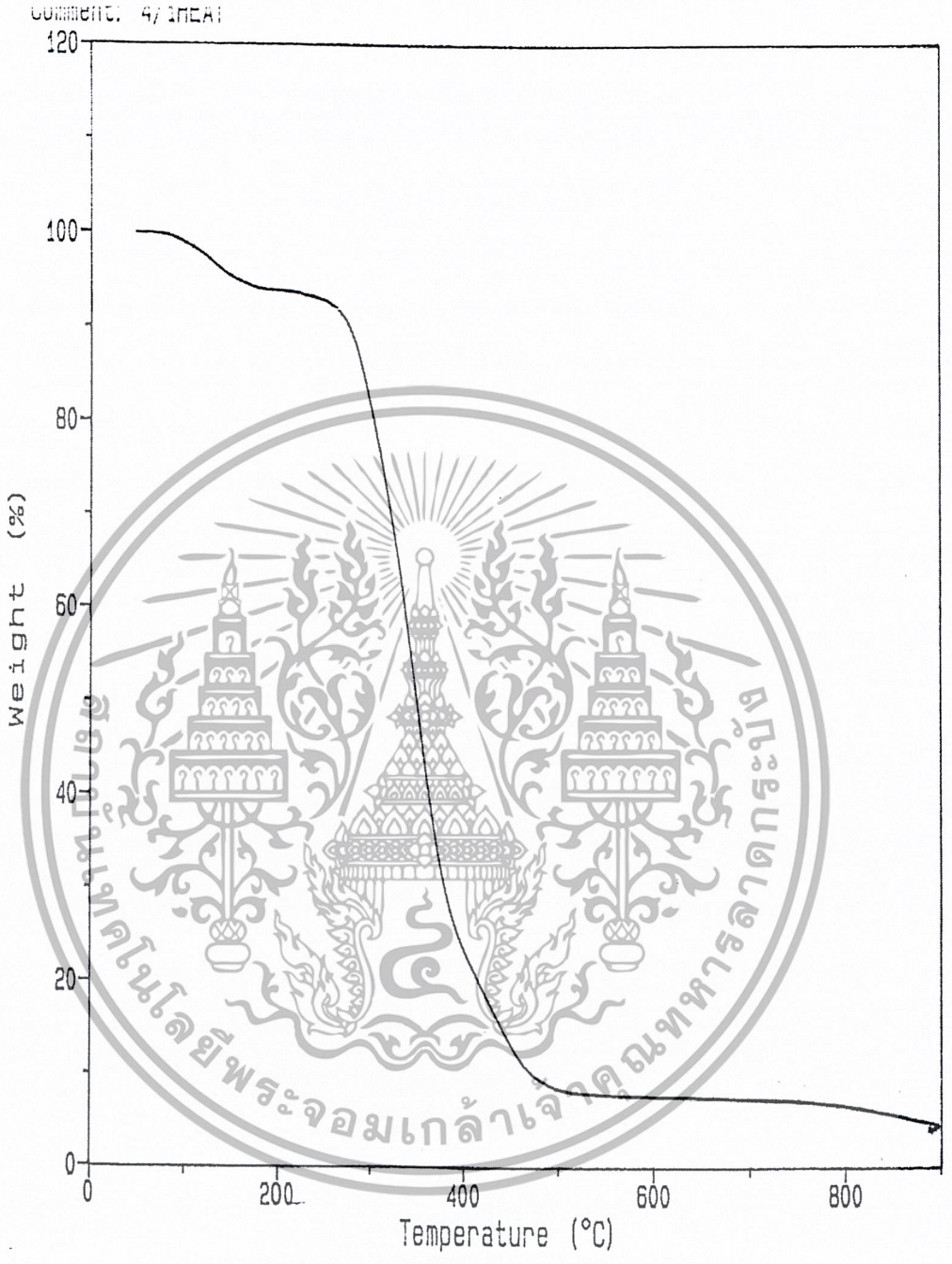
รูปที่ 9 แสดงผล DSC ของฟิล์มตัวอย่างผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 20 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



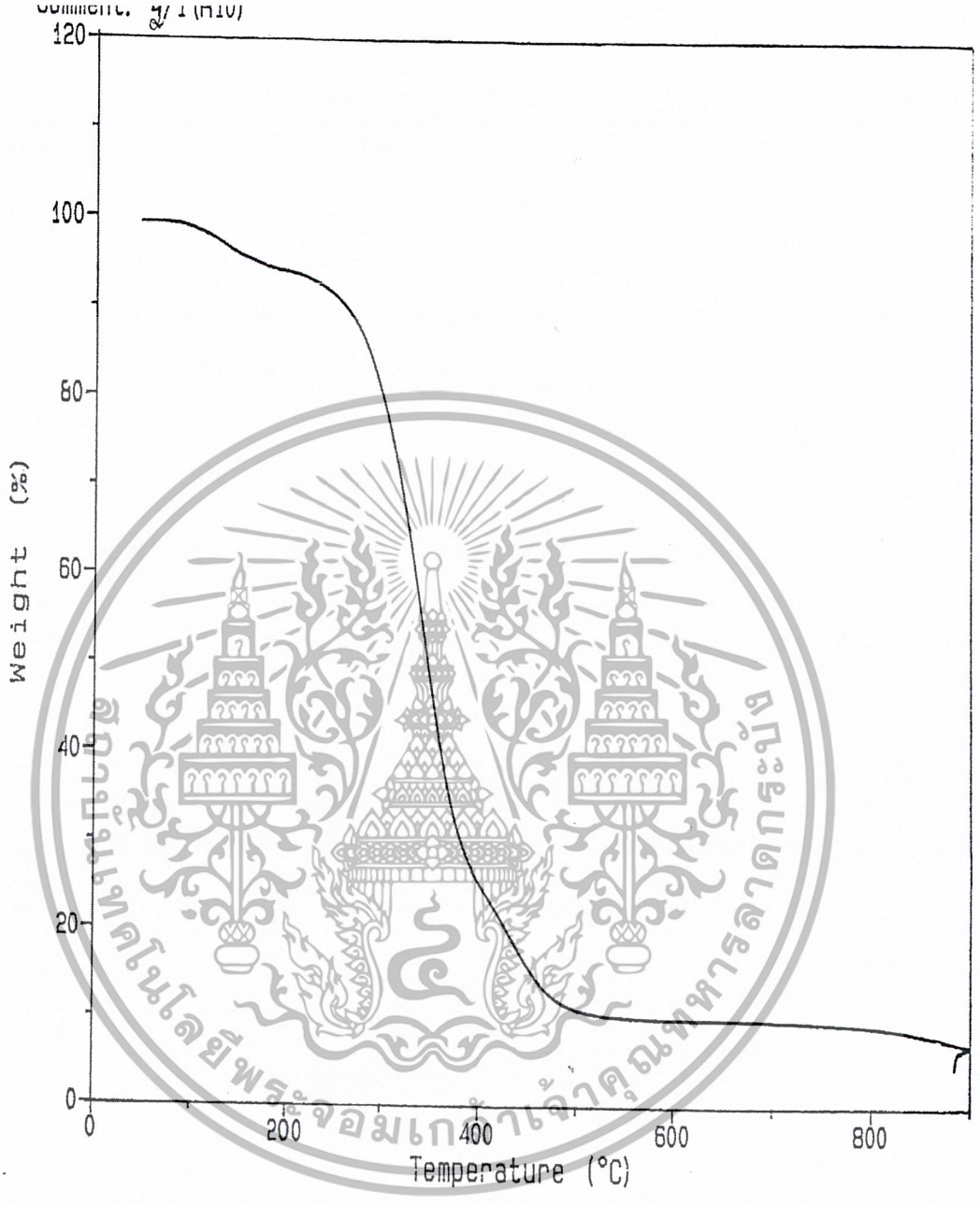
รูปที่ 10 แสดงผล TGA ของฟิล์มตัวอย่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



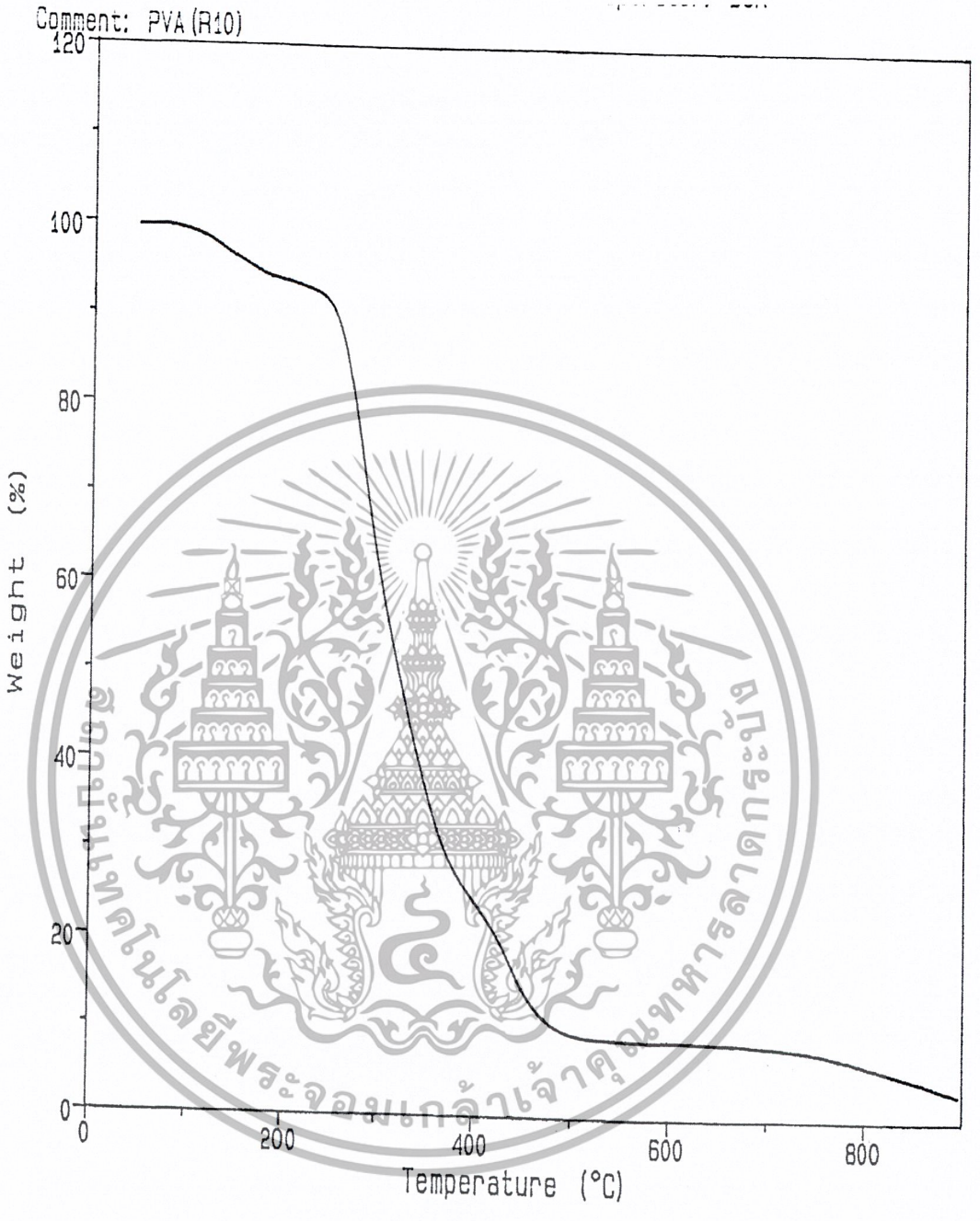
รูปที่ 11 แสดงผล TGA ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



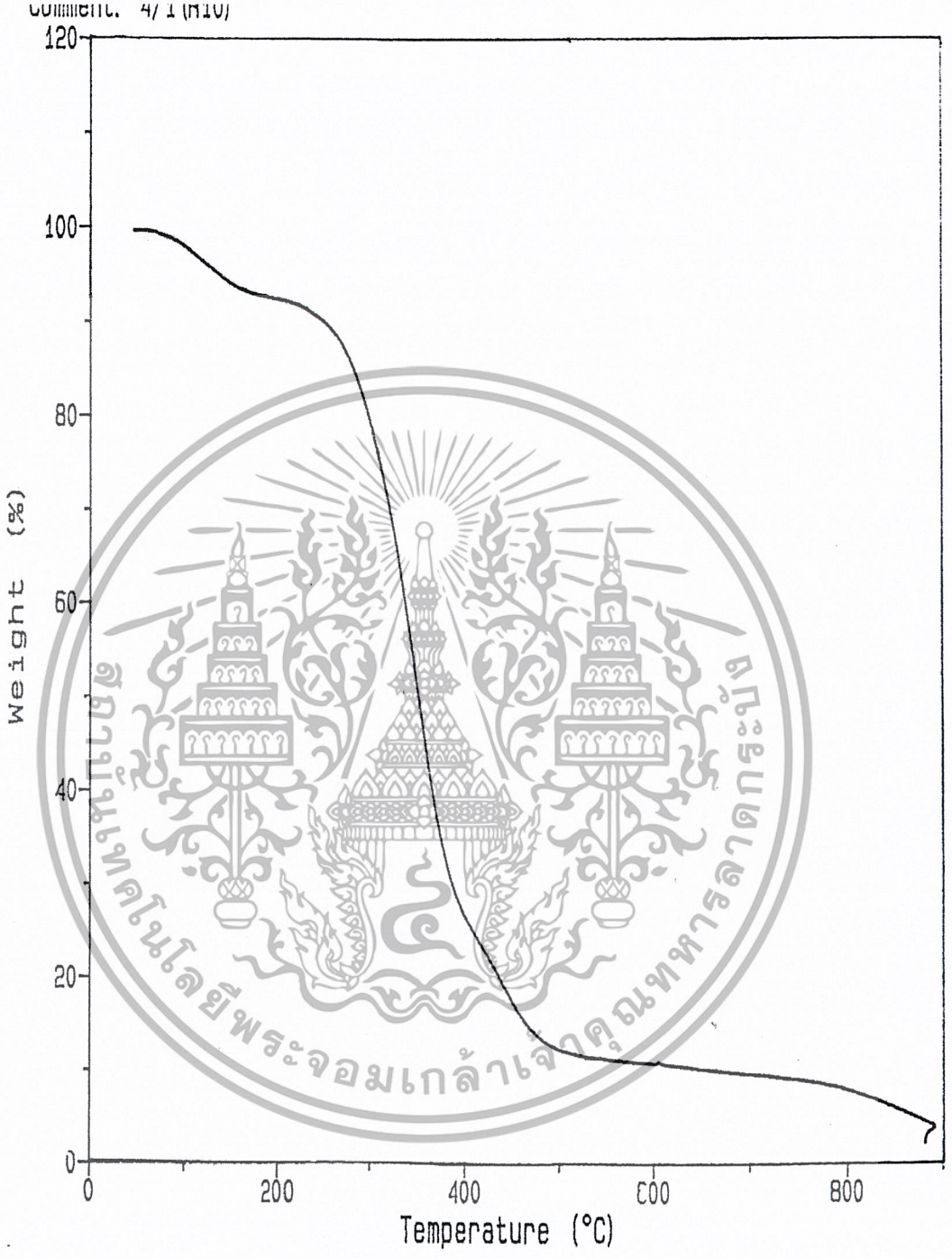
รูปที่ 12 แสดงผล TGA ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



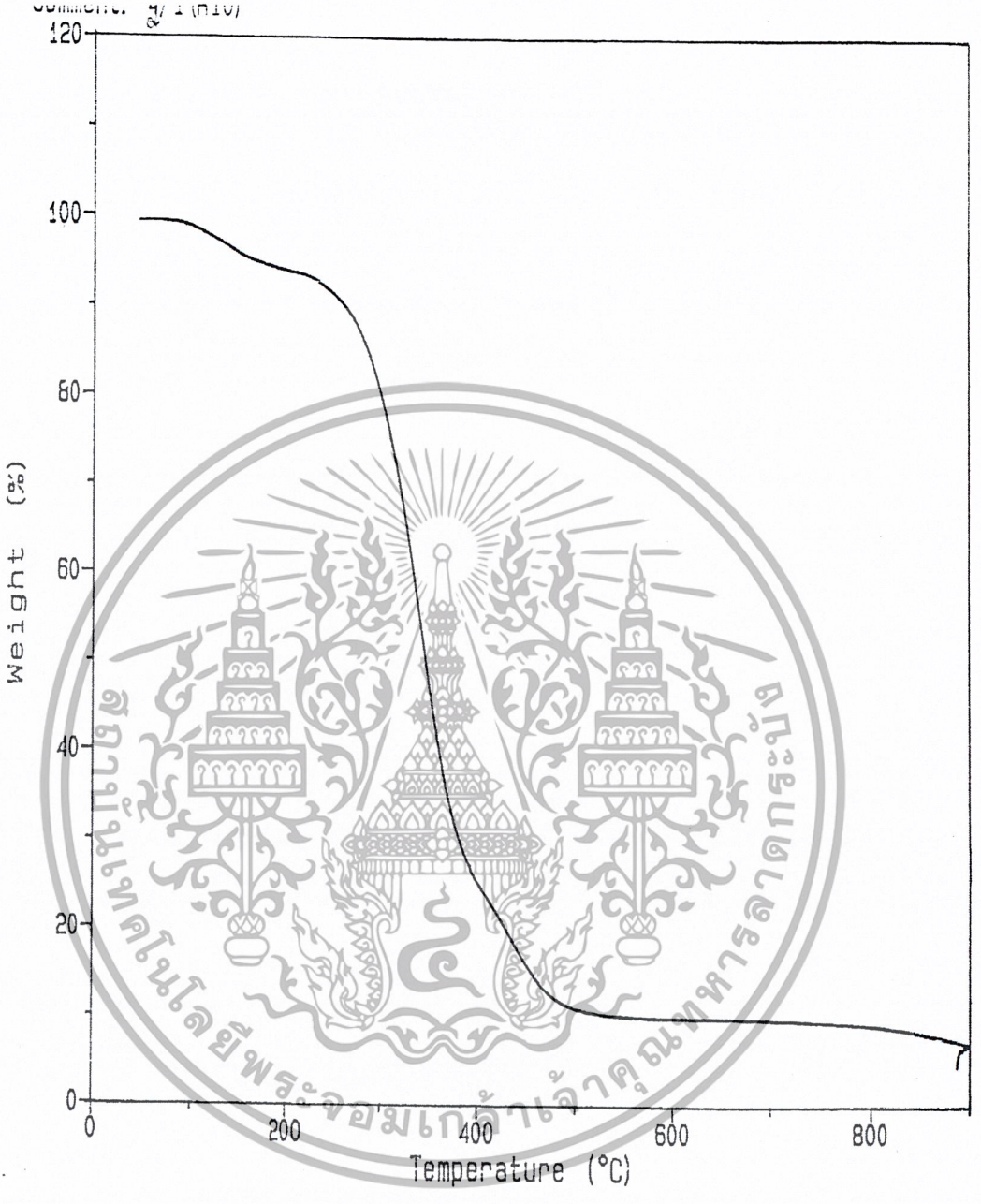
รูปที่ 13 แสดงผล TGA ของฟิล์มตัวอย่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



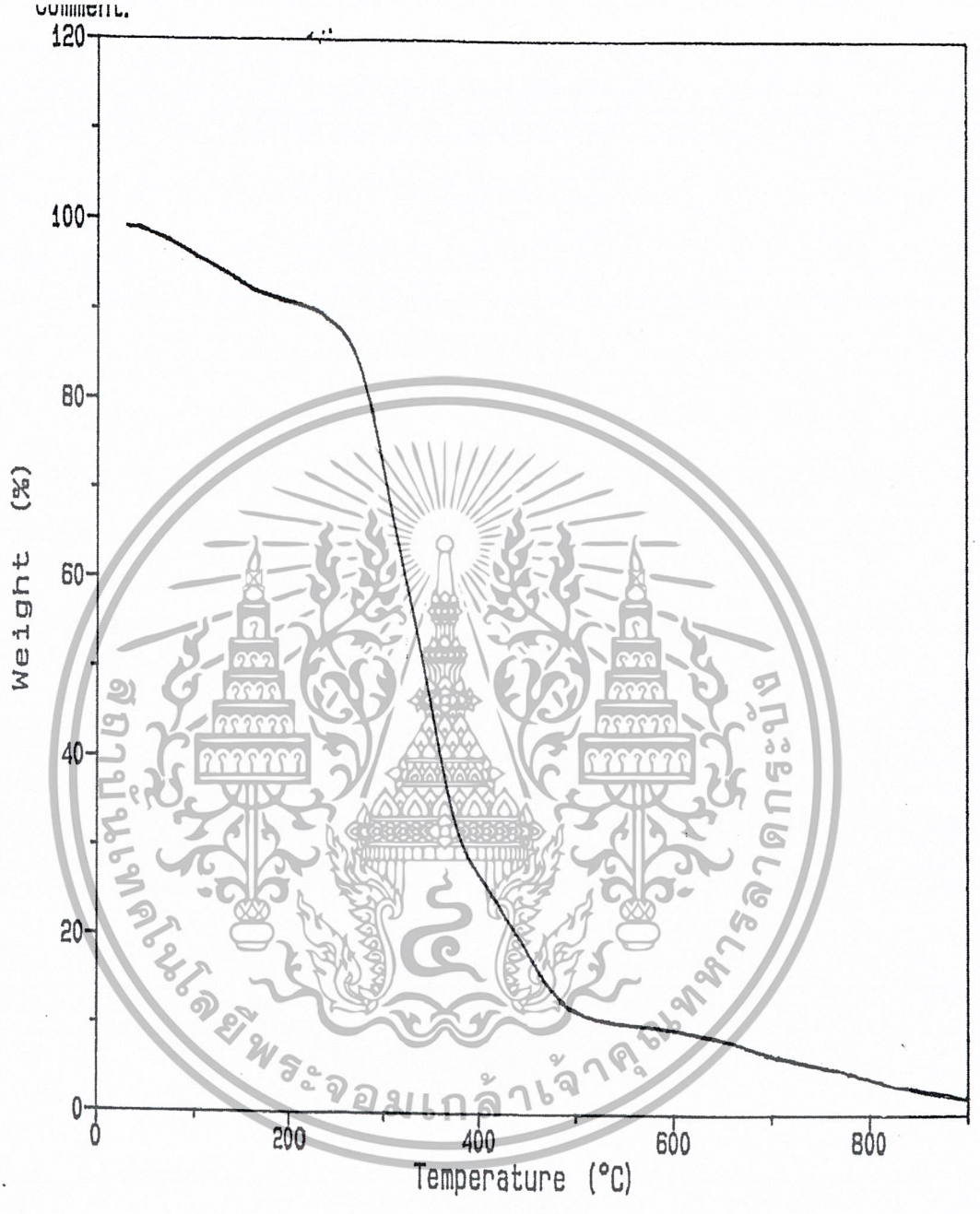
รูปที่ 14 แสดงผล TGA ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



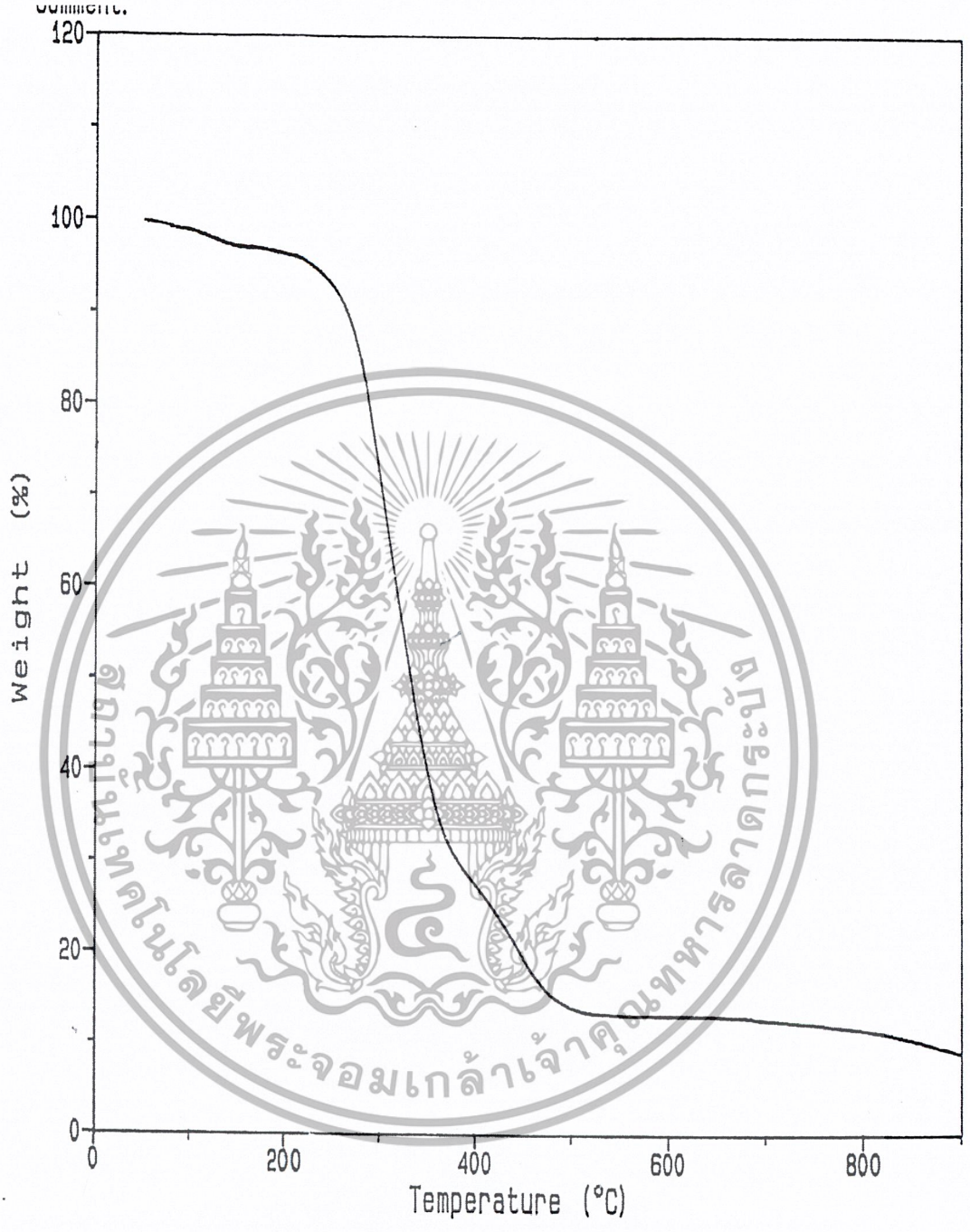
รูปที่ 15 แสดงผล TGA ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



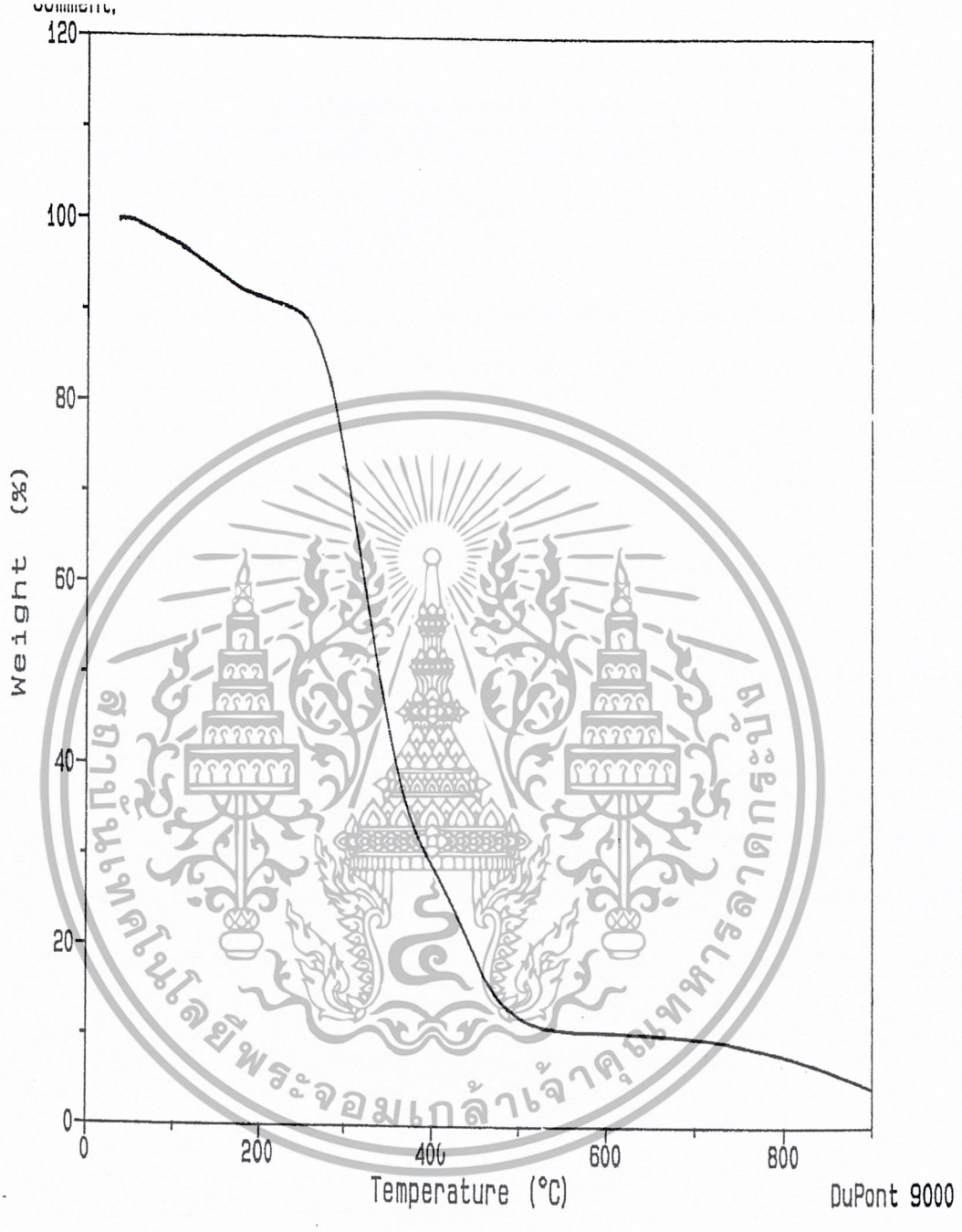
รูปที่ 16 แสดงผล TGA ของฟิล์มตัวอย่างผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 15 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 แสดงผล TGA ของฟิล์มตัวอย่างผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 15 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 แสดงผล TGA ของฟิล์มตัวอย่างผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 20 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 19 แสดงผล FTIR ของฟิล์มตัวอย่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 20 แสดงผล FTIR ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 21 แสดงผล FTIR ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2 :1 โดยปริมาตร ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 22 แสดงผล FTIR ของฟิล์มตัวอย่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 23 แสดงผล FTIR ของฟิล์มตัวอย่างผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 10 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 24 แสดงผล FTIR ของฟิล์มตัวอย่างผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 15 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 25 แสดงผล FTIR ของฟิล์มตัวอย่างผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 15 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 26 แสดงผล FTIR ของฟิล์มตัวอย่างผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเซริซินในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการฉายรังสีที่ 20 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้