

การเตรียมแผ่นฟิล์มโพลีไครเอทจาก
PVA / PVP / SERICIN

นางสาว ปฎิยาภา กาศยศ
นาย ประธานวาท กิตติไกรว้อ
นางสาว ผ่องเพ็ญ อารักษ์วารี

โครงการบัณฑิตศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สาขานวัตกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

การเตรียมแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/PVP/Sericin



นางสาวปริญญา
นายประธาน
นางสาวพองเพ็ญ

กาดายศ
กิตติไควล์
อรรคสิ่วร

รฟ.
๗/๑๕/๗
๒๕๔๕

เลขที่.....
เลขทะเบียน 49254
วัน, เดือน, ปี ๑๘ ก.พ. ๒๕๔๗

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๔๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/PVP/Sericin



นางสาวปริญญา

กาลายศ

นายประธานถ

กิตติไกวัด

นางสาวพ่องเพ็ญ

อรรคสีวร

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

11-24-11455

PREPARATION OF HYDROGEL FROM PVA/PVP/SERICIN



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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/PVP/Sericin

นักศึกษา นางสาว ปฏิญา กาลายศ
นาย ประชานาถ กิตติไกววัล
นางสาว ผ่องเพ็ญ อรรคสีวร

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คุณ สุชาดา พงษ์พัฒน์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| คณะกรรมการการตรวจสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|--|
| ประธานกรรมการ ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารการ |  |
| กรรมการ อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์ |  |
| กรรมการ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ |  |
| กรรมการ คุณ สุชาดา พงษ์พัฒน์ |  |



(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------------------|--|----------------|
| โครงการพิเศษเรื่อง | การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิไวนิลไพโรลิโดน(PVP) และเซริซิน (Sericin) | |
| นักศึกษา | นางสาวปริญญา | กาลายศ |
| | นายประธานาถ | กิตติไกวัด |
| | นางสาวพ้องเพ็ญ | อรรคสีวร |
| ภาควิชา | เคมี | คณะวิทยาศาสตร์ |
| สาขาวิชา | เคมีอุตสาหกรรม | |
| ปีการศึกษา | 2545 | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ. ดร. มาลีณี | ชัยสุภกิจสินธ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | คุณสุชาดา | พงษ์พัฒน์ |

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล จากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง 5% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); 5% PVA) 5% พอลิไวนิลไพโรลิโดน (Poly(vinyl pyrrolidone)); 5% PVP) และ 1% เซริซิน (Sericin) ในอัตราส่วนต่างๆ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน รวมทั้งทำการเปรียบเทียบสมบัติการดูดซับสารละลายต่างๆ ค่าเปอร์เซ็นต์เจล (% Gel Fraction) สมบัติเชิงกล การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้ IR สมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA และ DSC ผลการทดลอง พบว่า ค่าการดูดซับน้ำในน้ำ สารละลายเกลือ สารละลายฟิเอช ของฟิล์มไฮโดรเจลทุกสูตร จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงในช่วงโมงแรก และจะเริ่มคงที่จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 24 ชั่วโมง ค่าการดูดซับน้ำและค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์เจลและค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการปรับสภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นส่วนค่าเปอร์เซ็นต์เจล ค่าความแข็งแรงดึง และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดนผลจากDSC พบว่าปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดนและเซริซินไม่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวของผลึก (T_m) แต่จะส่งผลถึง องศาความเป็นผลึก กล่าวคือ องศาความเป็นผลึกจะลดลงเมื่อปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดนเพิ่มขึ้น และ องศาความเป็นผลึกจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีเซริซินและพอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นองค์ประกอบ ผลจาก TGA พบว่าพอลิไวนิลไพโรลิโดนและเซริซิน ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม และผลจาก IR พบว่าฟิล์มไฮโดรเจลจะเกิดการเชื่อมโยงทางกายภาพเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Preparation of Hydrogel Film from Poly(vinyl alcohol) , Poly(vinyl pyrrolidone) and Sericin

Name Miss Patinya Kalayote
Mr. Prachanart Kittikaiwan
Miss Pongpen Accaseavorn

Department Chemistry

Program Industrial Chemistry

Degree Bachelor of Science

Academic Year 2002

Special Project Advisor Asst.Prof.Dr.Malinee Chaissupakitsin

Special Project Co-adviser Miss Suchada Phongphat

ABSTRACT

This special project was prepared hydrogel film from mixture of Poly(vinyl alcohol); 5% PVA , Poly(vinyl pyrrolidone); 5% PVP and 1% Sericin in the different ratio by Heat Treatment at difference temperature. Water up take properties, gel fraction, mechanical properties were investigated. Thermal properties was measured by using Thermogravimetric Analysis (TGA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) technique. The results showed that the water uptake in water, salt solution and pH buffer for all films were immediately increased in first hour and it started constantly as long as time of test reached 24 hour. Water uptake and % Elongation at break was decreased but Gel fraction and Tensile strength was increased when Heat treatment at 150 °C .In addition to water uptake was increased but Gel fraction, Tensile strength and % Elongation at break was decreased with increasing the quacity of Poly(vinyl pyrrolidone) . The result of DSC showed that the quacity of Poly(vinyl pyrrolidone) and sericin have no effect to melting temperature but effect to degree of crystallization. The degree of crystallization was decreased with increasing the quacity of Poly(vinyl pyrrolidone) and increased when hydrogel film have sericin and Poly(vinyl pyrrolidone) .The result of TGA showed that both Poly(vinyl pyrrolidone) and sericin have no effect to the decomposition temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้ สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่คณะและผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณ สุชาดา พงษ์พัฒน์ ที่ให้คำปรึกษาและความอนุเคราะห์สถานที่ในการเตรียมพงใหม่

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ พรทิพย์ ศัพท์อนันต์ และ ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารการ อาจารย์กรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ช่วยกรุณาตรวจทานแก้ไขโครงการฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยไต่ถามและให้กำลังใจตลอดเวลา ตลอดจนเพื่อนๆ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้การทำโครงการพิเศษนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายที่ยังมิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวปริญญา กาลายศ
นายประธานถ กิตติไกวัด
นางสาว ผ่องเพ็ญ อรรคสีวร

สารบัญ

| | หน้า |
|-----------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ฅ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 คำนำ | 1 |
| 1.2 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ | 6 |
| 1.4 ขอบเขตของการวิจัย | 6 |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 6 |
| 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 7 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 8 |
| 2.1 ไฮโดรเจล | 8 |
| 2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ | 13 |
| 2.3 พอลิไวนิลไพโรลิโดน | 14 |
| 2.4 พอลิเมอร์ผสม | 17 |
| 2.5 พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/PVP | 17 |
| 2.6 โพรตีน | 19 |
| 2.7 ซิลค์โปรตีน | 22 |
| 2.8 กระบวนการลอกกาว | 26 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย | 27 |
| 3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี | 27 |
| 3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ | 27 |
| 3.1.2 อุปกรณ์ | 27 |
| 3.1.3 สารเคมี | 28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.2 วิธีการทดลอง | 28 |
| 3.2.1 การเตรียมผงไหมเซรีซิน (Sericin) | 28 |
| 3.2.2 การเตรียมสารละลายเซรีซินเข้มข้น 1 %w/v | 29 |
| 3.2.3 การเตรียมสารละลายเข้มข้น 5 %w/v ของสารละลาย พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) | 30 |
| 3.2.4 การเตรียมแผ่นฟิล์ม | 31 |
| 3.2.5 การปรับปรุงสมบัติของแผ่นฟิล์ม (Heat treatment) | 32 |
| 3.2.6 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ได้ | 32 |
| 3.2.6.1 การทดสอบอัตราการดูดซับน้ำ | 32 |
| 3.2.6.2 ทดสอบอัตราการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ | 33 |
| 3.2.6.3 ทดสอบอัตราการดูดซับน้ำในสภาวะที่ pH ต่างๆ | 33 |
| 3.2.6.4 ทดสอบอุณหภูมิที่ทำให้แผ่นฟิล์มสลายตัว โดยเทคนิคการวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis) | 34 |
| 3.2.6.5 ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน โดยใช้เครื่อง ทดสอบทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter) | 34 |
| 3.2.6.6 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง โดยอาศัยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมตรี (Infrared spectrophotometry) | 35 |
| 3.2.6.7 ทดสอบความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile testing machine) | 35 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง | 36 |
| 4.1 การทดสอบทางกายภาพ | 37 |
| 4.1.1 การดูดซับน้ำ | 37 |
| 4.1.2 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) | 41 |
| 4.1.2.1 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5% KI | 41 |
| 4.1.2.2 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 %KI | 44 |
| 4.1.3 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl ₂) | 48 |
| 4.1.3.1 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % MgCl ₂ | 48 |
| 4.1.3.2 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % MgCl ₂ | 52 |
| 4.1.4 การดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช (pH) | 56 |
| 4.1.4.1 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 4 | 56 |
| 4.1.4.2 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 9 | 59 |
| 4.1.5 การหาค่าเปอร์เซ็นต์เจล | 63 |
| 4.2 สมบัติทางความร้อน | 69 |
| 4.2.1 Thermalgravimetric Analysis | 69 |
| 4.2.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC) | 72 |
| 4.3 การทดสอบเชิงกล | 73 |
| 4.3.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) | 73 |
| 4.3.2 ร้อยละการดึงยืด (%Elongation at break) | 74 |
| 4.4 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน | 76 |
| เอกสารอ้างอิง | 82 |
| ภาคผนวก ก | 84 |
| ภาคผนวก ข | 106 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ความจำเพาะเจาะจงของ Luviskol ^R K grades | 15 |
| 2.2 สมบัติต่างๆของ Luviskol ^R K grades | 16 |
| 2.3 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนของเซรีซินและไฟโบรอิน | 24 |
| 2.4 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนในเซรีซินที่แยกเป็น 4 ชั้น | 25 |
| 3.1 แสดงสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม | 31 |
| 3.2 แสดงความเข้มข้นของสารละลาย KCl และ MgCl ₂ | 33 |
| 4.1 แสดงส่วนประกอบของฟิล์ม | 36 |
| 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มสูตรต่างๆ | 69 |
| 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) ของฟิล์มแต่ละชนิด | 72 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ลักษณะโครงสร้างของไฮโดรเจล | 9 |
| 2.2 ลักษณะของน้ำที่อยู่ในไฮโดรเจล | 10 |
| 2.3 อัตราการแพร่ผ่านจากผิวหนังเข้าไปในไฮโดรเจลของสีย้อม methyl red ที่อยู่ในรูปผงแป้ง (powder) | 12 |
| 2.4 แสดงสมการปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของพอลิไวนิลอะซิเตด (Poly(vinyl acitate)) | 13 |
| 2.5 แสดงโครงสร้างของโมเลกุลแบบอแทกติก (Atactic) | 13 |
| 2.6 รูปโครงสร้างแผ่นจิบเบต้าแบบไม่ขนานและขนาน | 22 |
| 2.7 รูปโครงสร้างสามมิติของไหม | 23 |
| 4.1 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่ อุณหภูมิ 100 ^o C | 37 |
| 4.2 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่ อุณหภูมิ 150 ^o C | 38 |
| 4.3 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่าง ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ^o C กับอุณหภูมิ 150 ^o C | 38 |
| 4.4 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบ ระหว่าง ฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบ และผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ^o C | 39 |
| 4.5 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่าง ฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและผ่าน การปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 ^o C | 40 |
| 4.6 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม | 40 |
| 4.7 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % KI ของฟิล์มที่ ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ^o C | 41 |
| 4.8 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือKIเข้มข้น 0.5 %ของฟิล์มที่ผ่าน การปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 ^o C | 41 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.9 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5% KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C กับอุณหภูมิ 150°C | 42 |
| 4.10 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 %KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C | 43 |
| 4.11 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 %KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C | 43 |
| 4.12 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลายเกลือ 0.5 % KI เป็นเวลา 24 ชม. | 44 |
| 4.13 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % KI ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C | 44 |
| 4.14 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % KI ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C | 45 |
| 4.15 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5% KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C กับอุณหภูมิ 150°C | 46 |
| 4.16 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 %KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C | 46 |
| 4.17 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 %KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C | 47 |
| 4.18 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลายเกลือ 1.5 % KI เป็นเวลา 24 ชม | 47 |
| 4.19 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ KI ที่ความเข้มข้นต่างกันของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C | 48 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.20 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ KI ที่ความเข้มข้นต่างกัน ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C | 48 |
| 4.21 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % MgCl ₂ ของฟิล์มที่ผ่านการ ปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C | 49 |
| 4.22 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % MgCl ₂ ของฟิล์มที่ผ่านการ ปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C | 49 |
| 4.23 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % MgCl ₂ ที่แช่น้ำ เป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทาง ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C กับ อุณหภูมิ 150°C | 50 |
| 4.24 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % MgCl ₂ ที่แช่น้ำ เป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบ และฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C | 51 |
| 4.25 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % MgCl ₂ ที่แช่น้ำ เป็นเวลา 24 ชม เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบ และฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการ ปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C | 51 |
| 4.26 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม ที่แช่ในสารละลายเกลือ 0.5% MgCl ₂ เป็นเวลา 24 ชม | 52 |
| 4.27 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % MgCl ₂ ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C | 53 |
| 4.28 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % MgCl ₂ ของฟิล์ม ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C | 53 |
| 4.29 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % MgCl ₂ ที่แช่น้ำ เป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพ ทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C กับอุณหภูมิ 150°C | 54 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.30 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % $MgCl_2$ ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซิน เป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ | 54 |
| 4.31 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % $MgCl_2$ ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$ | 55 |
| 4.32 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลายเกลือ 1.5 % $MgCl_2$ เป็นเวลา 24 ชม | 56 |
| 4.33 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5% $MgCl_2$ ที่ความเข้มข้นต่างกันของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ | 56 |
| 4.34 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5% $MgCl_2$ ที่ความเข้มข้นต่างกันของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$ | 57 |
| 4.35 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH 4 ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ | 57 |
| 4.36 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH 4 ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$ | 58 |
| 4.37 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH4 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ กับอุณหภูมิ $150^{\circ}C$ | 59 |
| 4.38 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH4 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซิน เป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ | 59 |
| 4.39 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH4 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซิน เป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$ | 60 |

สารบัญญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.40 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลาย pH 4 เป็นเวลา 24 ชม | 60 |
| 4.41 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH 9 ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ⁰ C | 61 |
| 4.42 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH 9 ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 ⁰ C | 62 |
| 4.43 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ⁰ C กับอุณหภูมิ 150 ⁰ C | 62 |
| 4.44 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ⁰ C | 63 |
| 4.45 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 ⁰ C | 63 |
| 4.46 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลาย pH 4 เป็นเวลา 24 ชม | 64 |
| 4.47 กราฟแสดง % Gel Fraction ของฟิล์มในน้ำ | 65 |
| 4.48 กราฟแสดง % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย 0.5% KI | 65 |
| 4.49 กราฟแสดง % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย 1.5% KI | 66 |
| 4.50 กราฟแสดง % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย 0.5% MgCl ₂ | 66 |
| 4.51 กราฟแสดง % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย 1.5% MgCl ₂ | 67 |
| 4.52 กราฟแสดง % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย pH4 | 67 |
| 4.53 กราฟแสดง % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย pH9 | 68 |
| 4.54 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มสูตรต่างๆที่ไม่ได้เติมเซริซิน | 69 |
| 4.55 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม PVA, PVAs และ เซริซิน | 70 |
| 4.56 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม PVP, PVPs และเซริซิน | 70 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.57 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม 1:1, 1:1s และเซริซิน | 70 |
| 4.58 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม 3:1, 3:1s และเซริซิน | 71 |
| 4.59 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม 99:1, 99:1s และเซริซิน | 71 |
| 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างฟิล์มพอลิเมอร์ที่ปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C กับความแข็งแรงดึง | 73 |
| 4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟิล์มพอลิเมอร์ที่ปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C กับร้อยละการดึงยืด | 74 |
| 4.62 แสดงสเปกตรัม IR ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างของ PVA | 76 |
| 4.63 แสดงสเปกตรัม IR ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างของ PVP | 76 |
| 4.64 แสดงสเปกตรัม IR ของผง Sericin | 77 |
| 4.65 แสดงสเปกตรัม IR ของพอลิเมอร์ทั้ง 11 สูตร | 78 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1. คำนำ

ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับวัสดุต่างๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ให้ตรงกับความต้องการในด้านต่างๆ โดยเฉพาะวัสดุพอลิเมอร์ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากสามารถใช้ทดแทนวัสดุบางประเภทได้ ประกอบกับคุณสมบัติที่ดีของวัสดุพอลิเมอร์คือมีน้ำหนักเบา ทำให้มีสมบัติจำเพาะสูง และสามารถนำมาขึ้นรูปตามความต้องการได้ ในขณะที่วัสดุประเภทอื่นเช่น โลหะ ไม้ แก้ว ทำได้ยากกว่า นอกจากนี้ความหลากหลายของพอลิเมอร์ทำให้ทำให้นำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายลักษณะ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์

ไฮโดรเจลหรือพอลิเมอร์ดูดซับน้ำ มีโครงสร้างร่างตาข่ายสามมิติหรือโครงสร้างร่างแหเป็นพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่มีความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติดูดน้ำได้ 90 % หรือมากกว่า สามารถดูดซับไอออนโดยสมบัติเชิงกลและรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่าไฮโดรเจลยังเข้าได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง เนื้อเยื่อ จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ทำวัสดุตกแต่งแผลจากไฟไหม้ (burn wound dressing) ทำเลนส์สัมผัส ตลอดจนใช้เคลือบวัสดุที่ต้องนำมาสัมผัสกับร่างกาย เช่น อวัยวะเทียม เป็นต้น

การปรับปรุงคุณภาพในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดี และเหมาะสมที่จะใช้งานทางการแพทย์ ได้แก่ การเติมผงไหม(sericin)ลงไปในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อระงับการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย นอกจากนี้การทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงทำได้โดยการใช้เทคนิคการฉายรังสีที่มีพลังงานสูง เช่น รังสีแกมมา หรือการระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 50 °C ทั้งสองวิธีเป็นวิธีที่ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงที่สะอาดเนื่องจากไม่ต้องใช้สารเชื่อมโยงหรือพันธะเคมีใดๆ หรืออาจนำพอลิเมอร์สองชนิดมาผสมกันเพื่อให้ได้สารที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ โดยเลือกพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติตามที่เราต้องการ และดูความเข้ากันได้ พิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากสารละลายผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลไพโรลิโดนถูกเตรียมขึ้นมาเพื่อทดสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล ค่าการดูดซับน้ำ ตลอดจนศึกษาผลของผงไหมที่เติมลงไปว่ามีผลต่อฟิล์มไฮโดรเจลอย่างไร

1.2. ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ไฮโดรเจลเป็นวัสดุที่สามารถดูดซับน้ำไว้ภายในโครงสร้างได้โดยไม่เกิดการละลาย ซึ่งอาจเรียกวัดรูปแบบนี้ในสถานะแห้งว่า “xerogel”

ภายในโครงสร้างของไฮโดรเจลมีพันธะเชื่อมโยงสามมิติ โดยทั่วไปสามารถเตรียมได้ด้วยวิธีต่างๆดังนี้

1) เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilous polymer)

2) การเกิดปฏิกิริยา Block polymerization ของมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำ

(hydrophilous monomer) กับสารเชื่อมโยง

3) การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันไปพร้อมกับการเชื่อมโยงพันธะของมอนอเมอร์กับสารเชื่อมโยง

ด้วยโครงสร้างที่เป็นร่างแหสามมิตินี้ทำให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซับและบวมน้ำ โดยไม่เกิดการละลาย เนื่องจากพันธะเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์มีขนาดและน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (crosslink density) จะส่งผลให้ความแข็งแรง (strength) เพิ่มขึ้นในขณะที่สมบัติการบวมตัวกลับลดลง

ตามปกติไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้อย่างน้อย 10 เท่าของน้ำหนักตัว และนอกจากนี้ น้ำยังสามารถดูดซับสารละลายนำไฟฟ้า (electrolyte solution) และของเหลวจากร่างกายได้ จากลักษณะดังกล่าวทำให้มีการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับวัสดุไฮโดรเจล เพื่อให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางไม่เพียงแต่เป็นวัสดุที่ใช้ในการดูดซับเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ การเกษตร ตลอดจนด้านอุตสาหกรรมด้วย

- เนื่องจากมีสมบัติเข้ากันได้ทางชีวภาพ และความสามารถในการดูดซับน้ำ ไฮโดรเจลจึงเริ่มมีการใช้ในวงการแพทย์ โดย Wichterle และ Lim [1] ได้ศึกษาการเกิดพันธะเชื่อมโยงและสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉายรังสีให้แก่ พอลิไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลท (PHEMA)

- ไฮโดรเจลสามารถสังเคราะห์ได้จากมอนอเมอร์ (Monomer) หรือพอลิเมอร์ (Polymer) หลายชนิด Goni และคณะ [2] จึงได้ศึกษาถึงการสังเคราะห์และสมบัติการเก็บน้ำ (%Water retention) ของพอลิเมอร์ร่วม(Copolymer) พวกอะคริเลทที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำหลายชนิด โดยทำการต่อกิ่งบน อะไมโลเพกติน ซึ่งใช้ EGDMA และ MBAM เป็นสารเชื่อมโยง พบว่า EGDMA จะให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งมากกว่าเมื่อพิจารณาที่สัดส่วนเดียวกัน ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำจะแปรผกผันกับปริมาณการเชื่อมโยง พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่เกิดจากการต่อกิ่งของมอนอเมอร์ผสมต่างชนิดกันลงบน อะไมโลเพกตินที่ได้นี้ มีความสามารถที่จะเข้ากันได้กับสารชีวภาพจึงเป็นวัสดุอีกตัวหนึ่งที่น่าสนใจ

- Yamaura และคณะ [3] ทำการศึกษาสมบัติที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางแสง (Optical) สมบัติทางความร้อน (Thermal) การบวมตัว (Swelling) การซึมผ่าน (Permeation) และสมบัติทางเคมีเชิงกล (Mechanochemical) ของแผ่นฟิล์มที่ได้จากสารละลายผสมระหว่างใยไหม (Silk Fibroin; SF) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่แทนที่บนสายโซ่แบบซินไดโอแทคติก (Syndiotactic-PVA; s-PVA) พบว่าสารละลายพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวนี้มีอัตราการเกิดเจลต่ำกว่าสารละลายของ SF หรือ s-PVA ที่ความเข้มข้นเดียวกัน จากการทดสอบแผ่นฟิล์ม SF/s-PVA ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry; DSC) ปรากฏพิกการสลายตัวของ SF ที่ช่วงอุณหภูมิ 288 °C ถึง 299 °C และพิก ฌ จุดหลอมเหลวของ s-PVA ในช่วงอุณหภูมิ 233°C ถึง 241°C เมื่อศึกษาแผ่นฟิล์ม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะพบวัฏภาคนาขนาดเล็ก (Microphase) กระจายตัวอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของน้ำไม่มีผลต่อองศาการบวมตัว และค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วง pH 2-12 มีผลน้อยมากต่อสมบัติทางเคมีเชิงกลของแผ่นฟิล์มที่บวมน้ำ ส่วนการที่มี SF เป็นองค์ประกอบจะช่วยให้การซึมผ่านของสารละลายเกลือที่เป็นกลาง (Neutral salt) ผ่านแผ่นฟิล์มดีขึ้น

- Tsukada, Fiuliano และ Crighton [4] ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และความเข้ากันได้ของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับใยไหม (PVA/SF) พบว่าเมื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry; DSC) จะปรากฏพิกการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และใยไหมที่ตำแหน่งอุณหภูมิ 220 °C และ 280 °C ตามลำดับเช่นเดียวกันกับแถบสเปกตรัมของ IR ที่ปรากฏพิกเป็นลักษณะเฉพาะของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และใยไหม ส่วนเทคนิค TMA และ TGA พบว่าแผ่นฟิล์มแสดงสมบัติอยู่ระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับใยไหมที่เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และแบบส่องผ่าน (TEM) จะสังเกตเห็นวัฏภาค (Phase) ที่มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-7 μm กระจายตัวอยู่ แสดงว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยไหมไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatible)

- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเกิดเป็นไฮโดรเจลได้ และมีสมบัติความเข้ากันได้ในทางชีวภาพอย่างดีเยี่ยม ทำให้มีการพัฒนาเพื่อที่จะนำไปใช้งานด้านการแพทย์เพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถละลายได้ในน้ำร้อน จึงไม่คงทนต่อการนำไปผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ ด้วยเหตุนี้เอง Yoshii และคณะ [5] ได้พัฒนาไฮโดรเจลให้มีสมบัติทนต่อความร้อนเพื่อประโยชน์สำหรับงานด้านเวชภัณฑ์ โดยทำการปรับปรุงด้วยปฏิกิริยาอะเซทิลเลชัน (Acetylation) ก่อนหรือหลังทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงด้วยรังสี แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่าหลังทำการปรับปรุงไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จะมีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูงขึ้น มีค่าการดึงยืด (Elongation) 270-320 % โดยประมาณ ซึ่งสามารถทนต่อความร้อนดีขึ้น ตลอดจนมีสมบัติการยึดติดบาดแผลเป็นอย่างดี และยังช่วยรักษาแผลไฟไหม้ให้หายเร็วยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ผ้ากอซ (Guaze)

- ในทางการแพทย์ยอมรับสูตรไฮโดรเจลที่ Rosiak [6] เตรียมจาก N-vinyl pyrrolidone ผสมกับ เอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) และวุ้น (agar) ที่ผลิตขึ้นภายใต้ชื่อทางการค้าว่า HDR ไฮโดรเจลตกแต่งแผลชนิดนี้เริ่มพัฒนาขึ้นในประเทศโปแลนด์ ด้วยเทคนิคการสังเคราะห์โดยการฉายรังสีในประมาณ 25 kGy ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเกิดพันธะเชื่อม โยงสามมิติที่เสถียรภายในโครงสร้างและเพียงพอต่อการฆ่าเชื้อโรค เทคโนโลยีการผลิต HDR มีข้อดีหลายประการดังนี้

1. เป็นเทคโนโลยีธรรมดาที่ง่าย และสะอาด (ไม่ก่อให้เกิดของเสีย น้ำทิ้ง ไอของสาร หรืออื่นๆ ที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง)

2. ไม่จำเป็นต้องมีการดูแลเป็นพิเศษ หรือแม้แต่การใช้ห้องปลอดเชื้อ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็สามารถอยู่ในสภาพปราศจากเชื้ออย่างสมบูรณ์

3. สามารถดำเนินการเป็นแบบกระบวนการต่อเนื่อง หรือกระบวนการแบบครั้ง

- Mondino และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาพบว่า การฉายรังสีทำให้วัสดุนี้มีสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ดีขึ้น

- เส้นใยไหม (Silk Fibroin) เป็นวัสดุทางชีวภาพชนิดหนึ่งที่ถูกวิจัยและพัฒนาขึ้น โดยมุ่งเน้นประโยชน์ทางด้านเทคโนโลยี และการแพทย์ Freddi; Tsukada and Beretta [8] ได้ทดลองศึกษาถึงโครงสร้างของแผ่นฟิล์มที่ได้จากการผสมใยไหมกับพอลิอะคริลาไมด์ (polyacrylamide) แล้วตรวจสอบด้วยเทคนิค DSC TGA TMA DMA และ FTIR รวมทั้งทดสอบสมบัติต่างๆ ทางกายภาพ เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) การดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) เป็นต้น

- สุมิตรา และสุรเกียรติ [9] ได้ศึกษาและทดลองเพื่อทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิอะคริลิกแอซิดด้วยวิธีการฉายรังสี และทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมผงไหม (Silk protein) ที่นำมาจากประเทศญี่ปุ่นซึ่งผ่านการไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) แล้ว อีกทั้งยังศึกษาสมบัติการดูดน้ำและสมบัติทางความร้อน พบว่าแผ่นฟิล์มที่มีพอลิอะคริลิกแอซิดเป็นองค์ประกอบจะมีปริมาณการดูดซับน้ำสูง ขณะที่แผ่นฟิล์มที่มีผงไหมเป็นองค์ประกอบจะมีปริมาณการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างอื่น

- Tuntivisoottikul, Bunnak และ Kume [10] ได้ศึกษาปริมาณที่น้อยที่สุดของผงซิลค์โปรตีน (silk protein) ที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย โดยเตรียมสารละลายจากผงซิลค์โปรตีนที่ผ่านการฉายรังสีที่ 100 kGy ที่ความเข้มข้น 5 %-15% ทดสอบกับแบคทีเรีย 3 ชนิดคือ Escherichia coli B/r,

Bacillus subtilis M3-1, Staphylococcus aureus K. ซึ่งพบว่าปริมาณต่ำสุดของซิลค์โปรตีนที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของ Escherichia coli B/r และ Staphylococcus aureus K. คือ 5% ที่ละลายในน้ำกลั่น และทุกๆความเข้มข้นที่ทำการศึกษาก็ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ Bacillus subtilis M3-1 ได้

- Marcolongo และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไฮโดรเจลของ PVA-co-PVP เพื่อใช้แทนวัสดุที่ใช้เป็นเนื้อเยื่อ โดยศึกษาอัตราส่วนของพอลิไวนิลไพโรลิโดนระหว่าง 0-25% ซึ่งเตรียมจากเทคนิค Freezing-thawing ซึ่งพบว่าไฮโดรเจลที่มีปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.5-5% มีสมบัติเชิงกลดีที่สุดและมีค่า Elastic modulus แรกจะคงที่แต่เวลาจะเพิ่มขึ้น ไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียวและไฮโดรเจลที่มีปริมาณพอลิไวนิลไพโรลิโดนมากๆ จะมีค่า Elastic modulus ลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป ไฮโดรเจลทุกอัตราส่วนที่ทำการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความเป็นผลึกลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการทดสอบนานขึ้น



1.3. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและทดลองการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์, พอลิไวนิลไพโรลิโดน และฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากพอลิเมอร์ผสมทั้งสอง
2. ศึกษาผลของซิลค์โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (sericin) ที่เติมลงไปว่ามีผลต่อสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลอย่างไร
3. ศึกษาผลของการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C และ 150°C
4. ศึกษาสมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้

1.4. ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล จากพอลิเมอร์สองชนิด คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลไพโรลิโดน และยังได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ผสมทั้งสองชนิดในอัตราส่วนต่างกัน ที่มีการเติมซิลค์โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (Sericin) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มให้เหมาะสมและมีการปรับสภาพทางความร้อนเพื่อศึกษาผลของความร้อนที่มีผลต่อแผ่นฟิล์ม นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติของฟิล์มที่เตรียมได้ และผลของซิลค์โปรตีนที่เติมลงไปว่ามีผลอย่างไรกับต่อสมบัติของฟิล์ม เพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่มีสมบัติที่ดีสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อม ทางเภสัชกรรม หรือในทางการแพทย์ต่อไป

1.5. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการวิจัยทำการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ 5 ชนิด คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลไพโรลิโดน และสารละลายผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิไวนิลไพโรลิโดนในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 99:1 ตามลำดับ และเตรียมสารละลายเซริซินที่สกัดจากรังไหม จากนั้นทำการผสมสารละลายพอลิเมอร์กับสารละลายเซริซินในอัตราส่วนที่กำหนดคือ 1% โดยปริมาตร หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้มาเตรียมแผ่นฟิล์มไฮโดรเจล โดยเทลงบนถาดเมลามีนแล้วอบภายใต้บรรยากาศเพื่อกำจัดน้ำและสารอื่นๆออก แบ่งแผ่นฟิล์มเป็น 2 ชุดทำการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C และนำฟิล์มอีกชุดมาปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C นำฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ความเป็นผลึกและความสามารถในการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ โดยทำการเปรียบเทียบฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากสารละลายพอลิเมอร์ผสมกับฟิล์มที่ได้จากสารละลายจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อย่างเดียวและฟิล์มที่ได้จากสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนอย่างเดียว และเปรียบเทียบฟิล์มไฮโดรเจลระหว่าง

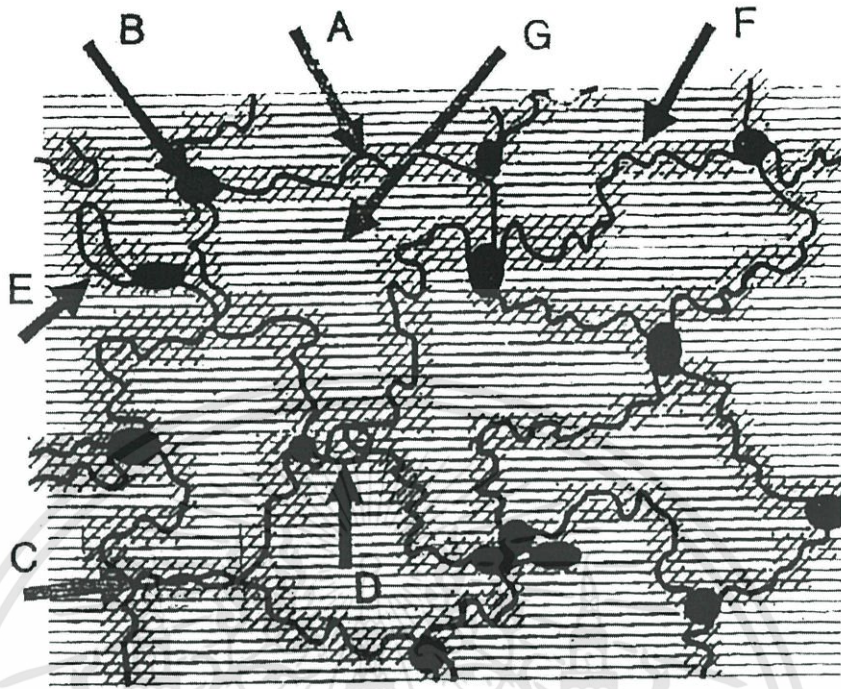
ฟิล์มที่เติมสารละลายเซริซินและไม่เติมสารละลายเซริซินและเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลที่ปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C ทำการสรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้งาน

1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงวิธีการเตรียมฟิล์มจากสารละลายพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้ฟิล์มไฮโดรเจล
2. ทราบถึงขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มเพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความสวยงามและมีคุณภาพสูง
3. ทราบถึงวิธีการที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของไฮโดรเจลที่ได้
4. ทราบถึงสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้
5. ทราบถึงผลของเซริซินที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

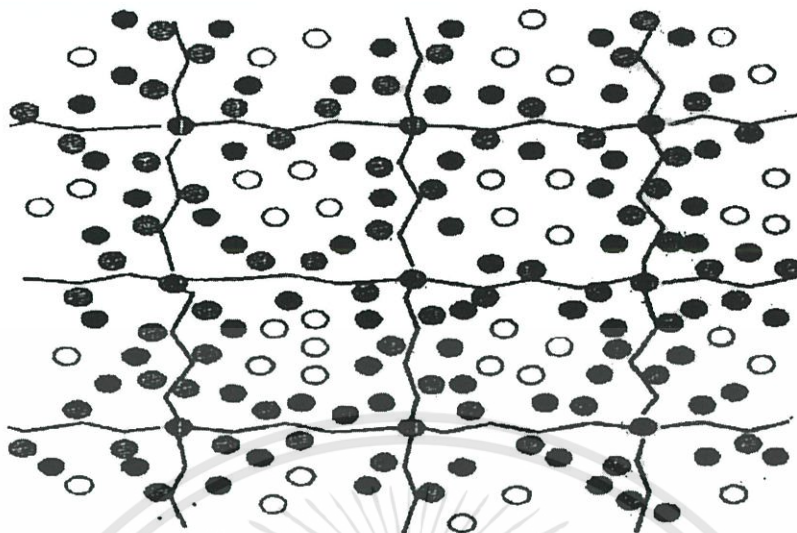


รูปที่ 2.1 ลักษณะ โครงสร้างของไฮโดรเจล

- | | | |
|---------------------|---------------------|----------------|
| A-Hydrophilic chain | B- Inter-chain link | C-Entanglement |
| E-Loop | F- Bound water | G- Free water |

ลักษณะของน้ำในไฮโดรเจลมี 3 ชนิด ได้แก่

1. Tightly bound (hydrate) (—●—)
2. Loosely bound (restricted) (●)
3. Free (freezing) (○)



รูปที่ 2.2 ลักษณะของน้ำที่อยู่ในไฮโดรเจล

สมบัติของไฮโดรเจลและการนำไปใช้งาน

ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำและไอออนได้โดยสมบัติเชิงกลและรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งสมบัติดังกล่าวคล้ายคลึงกับอวัยวะบางส่วนในร่างกายคน เช่น กล้ามเนื้อ เอ็น ลำไส้เล็ก เป็นต้น นอกจากนี้ไฮโดรเจลยังมีสมบัติเข้ากันได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง เนื้อเยื่อ จึงสามารถนำมาทำเลนส์สัมผัส วัสดุตกแต่งบาดแผลจากไฟไหม้ ตลอดจนใช้เคลือบวัตถุที่ต้องนำมาใช้สัมผัสกับร่างกาย เช่น ใช้เคลือบอวัยวะเทียม

Hydrogel dressing

แผลที่เกิดจากไฟไหม้ หรือ น้ำร้อนลวกนั้น มีความเสี่ยงสูงมากต่อการเกิดโรคจากสิ่งแวดล้อม และการสูญเสียน้ำจากร่างกายโดยทั่วไปแล้วการรักษาพยาบาลแผลไฟไหม้ธรรมดาจนถึงแผลฉกรรจ์ทำได้โดยใช้วิธีปลูกถ่ายเนื้อเยื่อหรือการทำศัลยกรรมตกแต่งผิวหนังเพื่อช่วยแก้ปัญหาการสูญเสียผิวหนังและเร่งการรักษาบาดแผลให้เร็วขึ้น โดยแผ่นผิวหนังที่ใช้อาจเป็นแผ่นผิวหนังที่สมบูรณ์ หรือ เป็นแผ่นผิวหนังที่ผ่านการเพาะเลี้ยงจากห้องปฏิบัติการ แต่จากวิธีดังกล่าวมีข้อเสียผิวหนังเทียมจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหา โดย Hydrogel dressing เป็นวัสดุที่มีแนวโน้มว่าจะนำมาใช้เป็นผิวหนังเทียมปิดรักษาบาดแผลมากที่สุด วัสดุตกแต่งบาดแผลหรือผิวหนังเทียมที่ใช้นั้น สามารถแบ่งเป็นกลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มธรรมดา (Conventional) ได้แก่ ผ้ากอซ ผ้าพันแผลที่อิมมัลด้วยซีฟี่หรือน้ำมันซิลิโคน เป็นต้น
 2. กลุ่มชีวภาพ (Biological) ได้แก่ ผิวหนังจากศพ ผิวหนังจากสัตว์ ฟองน้ำ เป็นต้น
 3. กลุ่มสังเคราะห์ (Synthesis) ได้มาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์
- วัสดุตกแต่งบาดแผลจะมีการนำมาใช้แบบครั้งต่อครั้ง ซึ่งความถี่ของการเปลี่ยนแต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเอง เช่น สมบัติการขาด นอกจากนี้นี้ยังขึ้นกับปฏิกิริยาการต่อต้านของร่างกายเมื่อมีสิ่งแปลกปลอมผ่านเข้ามา

สมบัติของวัสดุตกแต่งบาดแผล มีดังนี้

1. สามารถดูดซับของเหลวออกจากร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. มีความโปร่งใส
3. ปราศจากเชื้อโรค และ ดูแลสุขภาพผิวได้
4. ยอมให้ก๊าซออกซิเจนแพร่ซึมเข้าไปถึงผิวหนังของบาดแผลได้
5. สามารถควบคุมปริมาณการปล่อยยาได้
6. มีความยืดหยุ่น
7. มีความแข็งแรงทางเชิงกลสูง
8. มีความเสถียรคงทน หาได้ทั่วไปและราคาถูก
9. ใช้ง่าย สะดวก เก็บรักษาง่าย

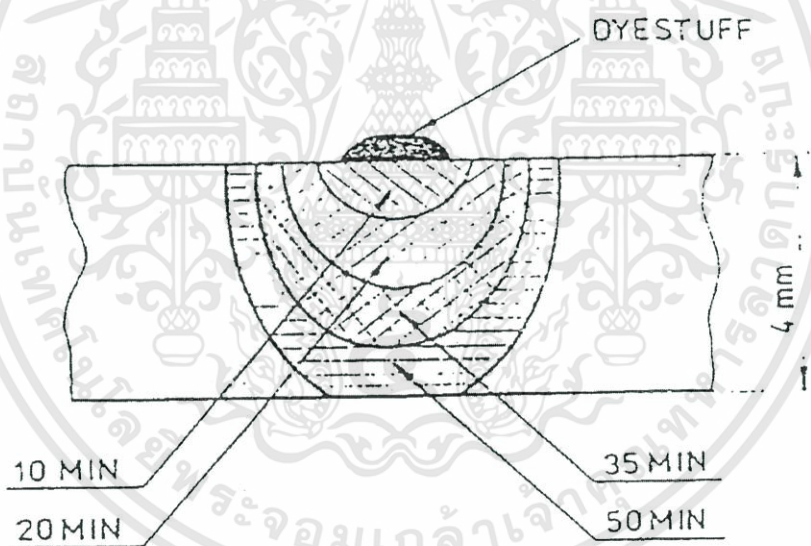
นอกจากนี้วัสดุตกแต่งบาดแผลยังต้องมีคุณสมบัติเพิ่มเติมได้แก่

- การควบคุมความชื้นของแผล วัสดุตกแต่งบาดแผลควรมีสมบัติในการควบคุมความชื้นของแผลให้เหมาะสม ไม่เปียกชุ่มเกินไปด้วยน้ำเหลืองที่ออกจากแผลหรือปล่อยให้แผลแห้ง เพราะแผลที่ชุ่มเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของจุลชีพ แต่ถ้าแผลแห้งจนเป็นสะเก็ดก็จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของเซลล์ผิวหนังที่พยายามจะเคลื่อนที่มาสวมแผลโดยกลไกทางธรรมชาติ ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาปิดแผลจะต้องมีความสามารถในการดูดซับของเหลวได้ในอัตราเดียวกับการผลิตของเหลวจากแผลและสามารถให้น้ำระเหยออกจากแผลได้ ซึ่งจะทำให้สามารถรักษาระดับความชื้นของแผลไว้ได้

- ความสามารถในการยึดติดกับแผล วัสดุที่ใช้ควรสามารถยึดเกาะกับแผลได้สนิทแต่ไม่ควรแน่นเกินไปจนทำลายเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นใหม่เมื่อลอกวัสดุตกแต่งออกจากบาดแผล

สมบัติบางประการของ Hydrogel dressing

ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้มากเมื่อทำเป็นแผ่นบางจะมีความยืดหยุ่น ใส สะดวกต่อการนำไปใช้ แต่มีปัญหาบางประการ คือ เมื่อทำเป็นแผ่นบาง อัตราการสูญเสียน้ำจากไฮโดรเจลจะสูง ทำให้เจลแห้ง แข็ง เปราะ และทำให้ติดผิวหนัง ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยเติมสารละลายพอลิเอทิลีนหรือพอลิพอพิลีนไกลคอลและสารทำให้คงรูปร่าง เช่น วุ้น หรือเจลาติน เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเอทิลีนไกลคอล และวุ้นจะทำให้อัตราการบวมตัวเปลี่ยนดังนี้คือ ถ้าเพิ่มปริมาณของเอทิลีนไกลคอล จะทำให้ไฮโดรเจลมีความสามารถในการดูดน้ำเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้ามีวุ้นในปริมาณมากจะส่งผลให้ไฮโดรเจลมีความสามารถในการดูดน้ำลดลงเนื่องจาก Hydrogel dressing มีความสามารถในการดูดซับน้ำจึงยอมให้มีการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนหรือก๊าซอื่นๆ เข้าไปในบาดแผลได้นอกจากนี้ Hydrogel dressing ยังยอมให้สารบางชนิดที่เป็นของแข็งแพร่ผ่านจากผิวหนังด้านหนึ่งไปยังผิวหนังอีกด้านหนึ่งได้ ดังรูป

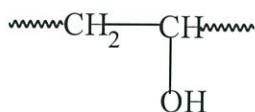


รูปที่ 2.3 อัตราการแพร่ผ่านจากผิวหนังเข้าไปในไฮโดรเจลของสีย้อม methyl red ที่อยู่ในรูปผงแป้ง (powder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) [9]

สูตรโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



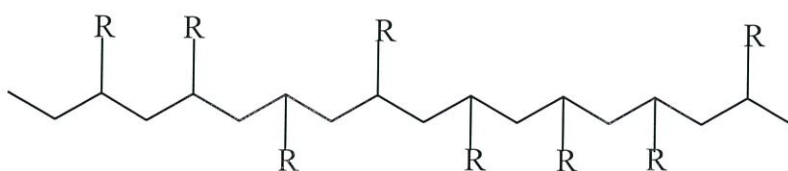
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญตัวหนึ่ง มีการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ เช่น เส้นใย ฟิล์ม และวัสดุทางการแพทย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นไม่อาจเตรียมได้โดยตรงจากไวนิลแอลกอฮอล์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์ เพราะมอนอเมอร์นี้ไม่เสถียร แต่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของพอลิไวนิลเอซิเตด (Poly(vinyl acetate); PVAc) สมการเป็นดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงสมการปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของพอลิไวนิลเอซิเตด (Poly(vinyl acetate))

ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลเอซิเตดจะทำในสารละลายแอลกอฮอล์ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ เมทานอล โดยมีเบสแก่หรือกรดแก่เป็นตัวคะตะลิสต์ และจะเกิดทรานเอสเทอร์ิฟิเคชัน (Tranesterification) ของหมู่เอสเทอร์ (Ester) ของพอลิเมอร์ หรืออาจเรียกว่า เกิดปฏิกิริยาสaponิฟิเคชัน (Saponification)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความหนาแน่น 1.293 g/cm^3 อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) = 80°C มีสมบัติคล้ายแข็ง คือ เกิดสีน้ำเงินกับไอโอดีน ละลายในน้ำเย็นและด่างอ่อน โครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบอแทกติก (Atactic) มีแนวโน้มตกผลึกยากเพราะความไม่เป็นระเบียบดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของโมเลกุลแบบอแทกติก (Atactic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังมีความเป็นผลึกมากกว่าพอลิไวนิลเอซิเตด เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซี (-OH) มีขนาดเล็กกว่าหมู่เอซิเตด น้ำหนักโมเลกุลที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีอยู่ 3 ช่วง คือ 250,000-300,000 120,000-150,000 และ 250,000 ตามลำดับ สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับคิกริชของแอลกอฮอล์ซิส คือ ถ้าถูกไฮโดรไลซ์สมบูรณ์ 100% จะมีค่าทนต่อสูง ขึ้น ทนทานต่อการฉีกขาดมากกว่าและพันธะไฮโดรเจนมากกว่า นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพยังได้รับ อิทธิพลจากความชื้นของสิ่งแวดล้อมด้วย เพราะน้ำจะทำตัวเป็นพลาสติกไซเซออร์ให้กับพอลิเมอร์ตัวนี้ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้ามีความชื้น 50% ความทนต่อแรงดึงจะลดลงแต่จะไปเพิ่มความสามารถในการยืดตัวออกมากขึ้น ส่วนน้ำหนักโมเลกุลก็มีผลต่อสมบัติทางกายภาพด้วย เช่น ถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทนต่อแรงดึงต่ำ ทนต่อแรงฉีกขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

2.3 พอลิไวนิลไพโรลิโดน (Poly(vinylpyrrolidone); PVP) [12]

พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ดีพอๆ กับละลายในตัวทำละลายออร์แกนิกส์ เช่น แอลกอฮอล์ (Alcohols), เอมีน (Amines), กรด (Acids), เอไมด์ (Amides), และ แลคแทม (Lactams) ในทางกลับกันพอลิไวนิลไพโรลิโดนไม่สามารถละลายใน เอสเทอร์ (Esters), อีเทอร์ (Ethers) และ คีโตน (Ketone) การที่พอลิไวนิลไพโรลิโดนสามารถดูดความชื้นและสามารถยึดเกาะกันได้ดีกับตัวมันเองและวัสดุอื่นๆ นี้เอง ทำให้สามารถนำพอลิไวนิลไพโรลิโดน มาเตรียมเป็นฟิล์มได้ ซึ่งฟิล์มที่ได้จะเสถียรเกิดโครงสร้างร่างแห 3 มิติ พอลิไวนิลไพโรลิโดน เตรียมได้จากการสร้างอนุมูลอิสระของ N-vinylpyrrolidone ในน้ำหรือในแอลกอฮอล์โดยตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เหมาะสม การเลือกสถานะในการสังเคราะห์พอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลไพโรลิโดน นอกจากนี้ความหนืดของพอลิไวนิลไพโรลิโดน จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของมันเอง

ตารางที่ 2.1 ความจำเพาะเจาะจงของ Luviskol® K grades

| | K-value | Solid Content / % | Ash Content / % | PH (10 %soln.) | (Residual)-NVP- contenr / % |
|------------------------------------|------------|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------|
| Luviskol K 17 Powder | 15.0-19.0 | 95.0-100.0 | <0.02 | 3.0-7.0 | <0.01 |
| Luviskol K 30 Powder | 27.0-33.0 | 95.0-100.0 | <0.02 | 3.0-7.0 | <0.01 |
| Luviskol K 80 Powder | 74.0-82.0 | 95.0-100.0 | <0.02 | 5.0-8.0 | <0.01 |
| Luviskol K 90 Powder | 88.0-96.0 | 95.0-100.0 | <0.02 | 5.0-9.0 | <0.01 |
| Luviskol K 30 Powder, appr. 30% | 27.0-33.0 | 29.0-31.0 | <0.02 | 7.0-9.0 | <0.01 |
| Luviskol K 60 Powder, appr. 30% | 52.0-62.0 | 44.0-46.0 | <0.02 | 7.0-9.0 | <0.1 |
| Luviskol K 85 Powder, appr. 30% | 83.0-88.0 | 19.0-21.0 | <0.02 | 7.0-9.0 | <0.01 |
| Luviskol K 90 Powder, appr. 30% | 90.0-103.0 | 19.0-21.0 | <0.02 | 7.0-9.0 | <0.01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติต่างๆของ Luviskol K grades

| Luviskol | K 70 | K 30 | K 60 | K 80 | K 85 | K 90 |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Molecular weigh (GPC): | | | | | | |
| Mw/Kdaltons | 7-11 | 45-55 | 400-500 | 700-1000 | 900-1200 | 1 , 2 0 0 - |
| Mn/Kdaltons | 1.5-2.5 | 11-18 | 80-200 | 150-250 | 200-300 | 20,000 300-500 |
| Brookfield RVT-viscosity / mPas in water at 23°C | 80 - 180 (40 % , Sp.2,100 rpm) | 80-140 (30 % , Sp . 1 , 50 rpm) | 60 , 000 - 150 , 000 (45 % , Sp . 7 , 20 rpm) | 2 , 500 - 7 0 0 0 (20 % , Sp.6,100 rpm) | 5 , 000 - 15 , 000 (20 % , Sp . 6 , 50 rpm) | 10 , 000 - 40,000(20% , Sp . 7 , 100 rpm) |
| Rel. viscosity (1% in water, 23°C, capillary viscometer) | 1 . 0 7 5 - 1 . 1 1 0 (5%:1.41 5-1.635) | 1.201- 1.291 | 1 . 7 3 8 - 2.117 | 2 . 7 7 8 - 3.397 | 3 . 4 8 7 - 3.991 | 3.991-6.197 |
| G l a s s - t r a n s i t i o n temperature / °C (DSC) | 110 | 175 | 175 | 180 | 180 | 180 |
| Particle size / μm (Sympatec-Helos Rodos) | | | | | | |
| X ₁₀ % | 15 | 25 | Only | 60 | Only | 90 |
| X ₅₀ % | 50 | 75 | Available | 160 | Available | 180 |
| X ₉₀ % | 100 | 130 | as solution | 300 | as solution | 350 |
| Color (10 % solution; according to Ph. EUR.) | Lighter than BG5 / B5 / R6 | | | | | |
| Moisture absorption at saturation | Approx. 20 % (50 % RH, room temperature) Approx. 40 % (75 % RH, room temperature) | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) [13]

พอลิเมอร์ผสม คือพอลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่ามาผสมกันทางกายภาพ เช่น ใช้วิธีหลอมหรือละลายโดยใช้ตัวทำละลายให้ผสมกันเนื่องจากพอลิเมอร์ไม่สามารถละลายซึ่งกันและกัน

เหตุผลในการทำพอลิเมอร์ผสม

1. ต้องการพอลิเมอร์ที่ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยต้นทุนการผลิตไม่สูง
2. พัฒนาสมบัติของพอลิเมอร์ให้ได้ตามต้องการ
3. ได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดีขึ้นหลายๆ
4. ปรับเปลี่ยนโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมได้ตามความต้องการ

หลักการในการนำพอลิเมอร์มาผสมกัน

1. จะต้องรู้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี
2. เลือกพอลิเมอร์ที่มีลักษณะตามต้องการ
3. เมื่อเลือกคู่พอลิเมอร์ได้แล้วคุณสมบัติความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด
4. สรุปผลว่าจะทำโดยวิธีไหน

2.5 พอลิเมอร์ผสมระหว่าง Poly(vinyl alcohol);PVA และ Poly(vinyl pyrrolidone);PVP [14]

การเตรียมแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ผสม PVA/PVP จะทำให้ฟิล์มที่ได้มีความเสถียรมากขึ้นอีกทั้งยังเพิ่มโครงสร้างร่างแห 3 มิติ ให้กับฟิล์มไฮโดรเจลเนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของสายโซ่ Poly(vinyl alcohol) และหมู่คาร์บอนิลของสายโซ่ Poly(vinyl pyrrolidone)



น้ำหนักโมเลกุลของ Poly(vinyl alcohol) และ Poly(vinyl pyrrolidone) มีผลต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ได้โดย Poly(vinyl alcohol) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้ฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้ แน่นและบวมตัวน้อย เนื่องจากมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงกว่า Poly(vinyl alcohol) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ Poly(vinyl alcohol) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้โครงสร้างร่างแห 3 มิติของฟิล์มที่เกิดขึ้นมีความเสถียรมากกว่าคือสายโซ่ยาวๆจะทำให้โครงสร้างร่างแห 3 มิติของฟิล์มที่เกิดขึ้นละลายน้ำได้ช้าลง ส่วนการเลือกใช้ Poly(vinyl pyrrolidone) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้ฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้บวมตัวสูงและทำให้โครงสร้างร่างแห 3 มิติของฟิล์มที่เกิดขึ้นมีความเสถียร

ความสามารถเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

เราสามารถคำนวณหา Interaction parameter ได้เมื่อเราทราบค่า δ ซึ่งค่า Interaction parameter คำนวณได้จาก

$$X_{AB} = (\delta_A - \delta_B)^2 / 6$$

ถ้า X_{AB} น้อยๆ A,B เข้ากันได้ดี

ค่า $(X_{AB})_{Cr} = 1/2 (1/X_A^{1/2} + 1/X_B^{1/2})^2$

ถ้า $X_{AB} > (X_{AB})_{Cr}$ จะไม่สามารถเข้ากันได้

$X_{AB} < (X_{AB})_{Cr}$ จะสามารถเข้ากันได้

แต่ถ้า สัดส่วนของ A และ B ไม่เท่ากัน เราสามารถคำนวณค่า $(X_{AB})_{SP}$ ได้จาก

$$(X_{AB})_{SP} = 1/2 (1/X_A(\Phi_A)_{SP} + 1/X_B(\Phi_B)_{SP})$$

โดย $\Phi_A = X_B^{1/2} / (X_A^{1/2} + X_B^{1/2})$; $\Phi_B = X_A^{1/2} / (X_A^{1/2} + X_B^{1/2})$

สำหรับพอลิไวนิลไพโรลิโดน (Poly(vinylpyrrolidone); PVP) และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA) จะสามารถหาความสามารถเข้ากันได้หรือไม่ของพอลิเมอร์ทั้งสองได้ดังนี้

กำหนด $A = PVP$; $B = PVA$; $\delta_A = 25.78$; $\delta_B = 25.6$

$$\begin{aligned} X_{AB} &= (\delta_A - \delta_B)^2 / 6 \\ &= (25.78 - 25.6)^2 / 6 \\ &= 0.0054 \end{aligned}$$

$$(X_{AB})_{SP} = 1/2 (1/X_A(\Phi_A)_{SP} + 1/X_B(\Phi_B)_{SP})$$

$$X_A = 300,000/100 = 3,600$$
 ; $X_B = 100,00/100 = 1,000$

$$\begin{aligned} \Phi_A &= (1,000)^{1/2} / (1,000^{1/2} + 3,600^{1/2}) & \Phi_B &= (3,600)^{1/2} / (1,000^{1/2} + 3,600^{1/2}) \\ &= 0.3451 & &= 0.6549 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} (X_{AB})_{SP} &= 1/2 (1/3,600(0.3451) + 1/1,000(0.6549)) \\ &= 0.0011659 \end{aligned}$$

เมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่า $X_{AB} > (X_{AB})_{SP}$ จึงสรุปได้ว่า พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดไม่สามารถเข้ากันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 โปรตีน [15]

โปรตีนเป็นชีวโมเลกุล ที่มีมวลโมเลกุลสูง โปรตีนทุกชนิดประกอบด้วยธาตุ C, H, N, O และ S แต่โปรตีนบางชนิดมีธาตุ P, Fe, Zn และ Cu เพิ่มเข้ามา หน่วยโครงสร้างของโปรตีนคือ กรดอะมิโน ซึ่งสามารถถูกแยกออกจากโปรตีนได้โดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด แต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์ในลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีการแตกกิ่ง พันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมระหว่าง กรดอะมิโนมีชื่อว่า พันธะเพปไทด์ พันธะนี้เป็นพันธะเอไมด์ ที่เกิดจากการสูญเสียน้ำจากหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับ หมู่ α อะมิโนของกรดอะมิโนตัวที่อยู่ถัดไปโมเลกุลของโปรตีนอาจจะประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เพียงโซ่เดียวหรือมากกว่าก็ได้ โซ่พอลิเพปไทด์มีความยาวแตกต่างกันไป โดยมีกรดอะมิโนตั้งแต่ประมาณ 40 ถึงมากกว่า 4,000 หน่วยโปรตีนแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี มวลโมเลกุลและการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะจากการที่โปรตีนประกอบด้วยหน่วยเล็กๆ เรียกว่า กรดอะมิโน ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่มีอยู่เพียง 20 ชนิดที่มีความสำคัญมาก กรดอะมิโนมีสูตรโมเลกุลทั่วไป ดังนี้



ภายในโมเลกุลของกรดแอลฟาอะมิโน จะมีหมู่อะมิโนต่ออยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอนของกรดคาร์บอกซิลิก (กรดอะมิโนทุกตัวมีแอลฟาคาร์บอน ยกเว้นไกลซีน) ด้วยเหตุที่เอมีนเป็นเบสและคาร์บอกซิลิกเป็นกรด จึงเกิดการส่งผ่านโปรตอนจากกรดให้เบส สูตรโมเลกุลของกรดอะมิโนจึงเขียนอยู่ในรูปแตกตัวเป็นไอออนหรือรูปที่มีประจุสองขั้วได้ดังนี้



สมบัติบางประการของโปรตีน

สมบัติทางกายภาพ

1. ไม่ละลายน้ำแต่บางชนิดละลายน้ำได้เล็กน้อยในสภาพคอลลอยด์
2. ขนาดโมเลกุล มีมวลโมเลกุลสูง ขนาดใหญ่
3. สถานะ เป็นของแข็ง
4. การเผาไหม้ เผาแล้วจะเกิดกลิ่น

สมบัติทางเคมี

1. ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับน้ำโดยมีสารละลายกรดเบส หรือ เอนไซม์บางชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโปรตีนจะถูกไฮโดรไลส์จากโมเลกุลใหญ่ค่อยๆ กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ และถ้าเกิดการไฮโดรลิซิสอย่างสมบูรณ์ในที่สุดจะได้กรดอะมิโน เขียนสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้ดังนี้



2. ปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีน (Biuret reaction) เป็นปฏิกิริยาเฉพาะสำหรับทดสอบโปรตีน และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลส์ โปรตีนที่ยังมีพันธะเพปไทด์อยู่ เช่น Protose ,Peptone ,Polypeptide และ Tripeptide โดยนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย CuSO_4 ในเบส NaOH ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาให้สีต่างๆ กัน ตั้งแต่สีน้ำเงิน หรือม่วงจนถึงชมพู ซึ่งสีเหล่านี้เป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนของทองแดงกับสารที่มีพันธะเพปไทด์ ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป เรียกปฏิกิริยาการทดสอบโปรตีนดังกล่าวนี้ว่า Biuret reaction ถ้าเป็นโปรตีนจะได้สารประกอบสีน้ำเงินอมม่วง ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลส์โปรตีนจะให้สีต่างๆ กันตั้งแต่สีม่วงจนถึงสีชมพู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล สำหรับกรดอะมิโนจะไม่เกิดปฏิกิริยานี้เนื่องจากโมเลกุลของกรดอะมิโนไม่มีพันธะเพปไทด์ และการทดสอบนี้เป็นปฏิกิริยาเฉพาะที่จะเป็นผลกับสารที่เป็นโปรตีนหรือสารที่มีพันธะเพปไทด์ ตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป

3. การแปลงสภาพของโปรตีน (Denature of protein) การที่โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากยึดกันด้วยพันธะเพปไทด์ซึ่งภายในโมเลกุล อาจเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งกันและกัน ทำให้โมเลกุลมีลักษณะเป็นเกลียวมีการม้วนตัวด้วยแรงวันเดอร์วาลส์ พันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติแบบต่างๆ โครงสร้างเหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ เพราะแรงดังกล่าวถูกทำลาย เช่น เกิดการคลายเกลียวของโปรตีนก่อนกลม เป็นสายโปรตีนที่ไร้ระเบียบ และเกิดการสูญเสียสมรรถนะทางชีวภาพ โปรตีนจะเกิดการแข็งตัวและไม่ละลายน้ำ

ประเภทของโปรตีน

การที่โปรตีนเกิดจากพันธะเพปไทด์เชื่อมต่อกันจำนวนมาก กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันในลักษณะต่างๆ ทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติจึงอาจแบ่งโปรตีนออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. โปรตีนเส้นใย (fibrous proteins) เป็นสายพอลิเพปไทด์หลายๆ สายมาเรียงขนานกันและขดเป็นเกลียวหรือพันอยู่ด้วยกันเป็นแบบเชือก หรือเรียงขนานกันเป็นจิบ โปรตีนเส้นใยไม่ละลายน้ำและไม่ละลายในสารละลายในสารละลายเกลือเจือจางมีความเหนียวและยืดหยุ่น ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงหรือยึดเหนี่ยวส่วนต่างๆ ไว้ เช่น

- เคราติน (keratin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบในขนสัตว์ เขาสัตว์เล็บและเส้นผม

- คอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง ได้แก่ ส่วนของเอ็นกระดูกอ่อนและฟัน คอลลาเจนมีประมาณร้อยละ 25 ของโปรตีนทั้งหมดในร่างกาย

- ไฟโบรอิน (fibroin) เป็นโปรตีนที่พบในเส้นไหม

- ไมโอซิน (myosin) เป็นโปรตีนกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการยึดหดของกล้ามเนื้อ

2. โปรตีนก้อนกลม (globular proteins) โปรตีนประเภทนี้มีสายเพปไทด์แบบเกลียวแอลฟา ม้วนขดกันจนเป็นก้อนกลม โปรตีนก้อนกลมละลายน้ำได้จะได้สารคอลลอยด์การที่โปรตีนประเภทนี้ละลายน้ำได้เป็นเพราะกรดอะมิโนตรงหมู่แอลคิลเป็นหมู่ที่มีขั้วมากกว่าในโปรตีนเส้นใย โปรตีนก้อนกลมทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น

- เอนไซม์ (enzyme) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาต่างๆ ของร่างกาย

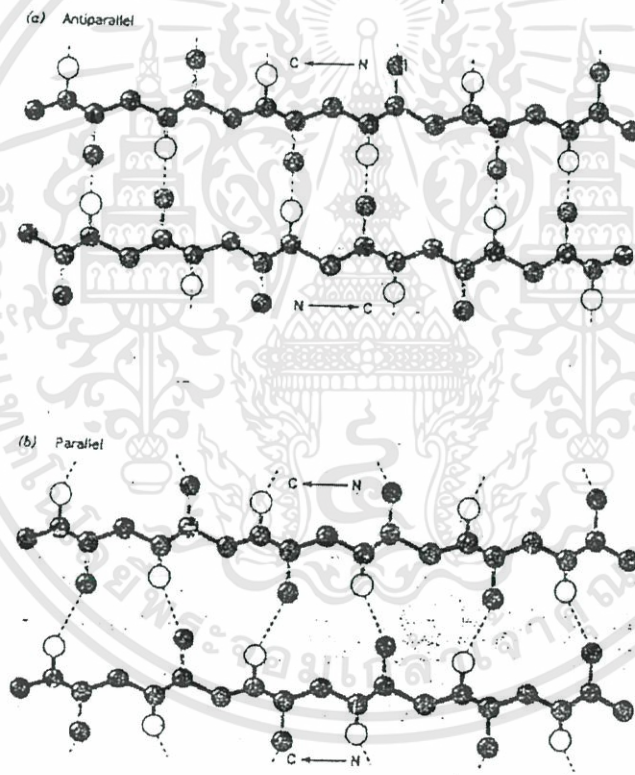
- โปรตีนที่ทำหน้าที่ลำเลียงสารต่างๆ ไปยังเซลล์ เช่น ซีรัม (serum) อัลบูมิน (albumin) และฮีโมโกลบิน (hemoglobin)

- โปรตีนที่ทำหน้าที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมให้ร่างกายเรียกว่า แอนติบอดี (antibody) เช่น อิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin)

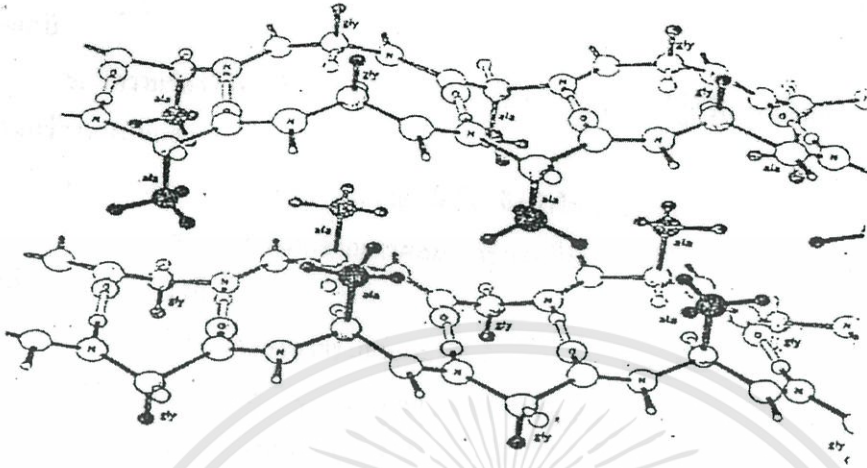
- โปรตีนช่วยควบคุมเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตที่เรียกว่า อินซูลิน (insulin)

2.7 ซิลค์โปรตีน [15]

ซิลค์โปรตีน เป็นโปรตีนพวกไฟโบรอินที่พบในเส้นไหม ประกอบด้วย กรดอะมิโน ดังนี้ คือ ไกลซีน 40% อะลานีน 29% และเซรีน 12% และมีโครงสร้างปฐมภูมิที่ซ้ำกัน คือ $(\text{Gly-Ser-Gly-Ala-Gly-Ala})_n$ โครงสร้างไฟโบรอินจะเป็นแผ่นพลิทบีตา ชนิดที่มีสายเพปไทด์วิ่งสวนทางกัน ทำให้ ไฟโบรอินมีลักษณะเป็นแผ่นพลิทหลายๆ แผ่นมาซ้อนทับกัน ในแผ่นพลิทบีตาสายเพปไทด์จะวิ่งขนานกัน มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มและกลุ่มของพันธะเพปไทด์ของสายเพปไทด์ที่เคียงคู่กัน แขนงข้าง (หมู่ R) จะชี้ออกสู่ด้านล่างและด้านบนของสายเพปไทด์แขนงข้างที่มีขนาดเล็ก เช่น ไกลซีน เซรีนและอะลานีนจะช่วยทำให้แผ่นพลิทอยู่ตัวได้ดี ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 เป็นโครงสร้างของซิลค์โปรตีน



รูปที่ 2.6 รูปโครงสร้างแผ่นจิบเบตแบบไม่ขนานและขนาน [9]



รูปที่ 2.7 รูปโครงสร้างสามมิติของไหม [9]

โครงสร้างทางเคมีของเซรีซิน [18]

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

โดยปกติเส้นใยไหมจะประกอบด้วย ไฟโบรอิน และ เซรีซิน ซึ่งส่วนของเซรีซินจะเคลือบอยู่ด้านนอกของไฟโบรอิน

เซรีซินเป็นโปรตีนโมเลกุลใหญ่เคลือบอยู่ด้านนอกของเส้นใยไหม ประกอบด้วยกรดอะมิโน 18 ชนิด ส่วนมากมีขั้วสูง เช่น ไฮดรอกซิล คาร์บอนิล และ อะมิโนกรุป โดยมี อะมิโนแอซิด 33.4% และ แอสพาร์ติก 16.7% เซรีซินทำหน้าที่ปกป้องใยไหมจากสภาวะแวดล้อม นิยมนำมาใช้งานในด้านต่างๆ เนื่องจากสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ป้องกันแบคทีเรีย รังสียูวี และสามารถดูดและคายความชื้นได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถนำมาทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยง ทำโคพอลิเมอร์ และผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิเมอร์สังเคราะห์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น

เซอรีนเคลื่อนเส้นใยไฟโบรอินอยู่ มีเซอรีน (Serine) ซีโอนิน (Threonine) ของกรดออกซีอะมิโนจำนวนมาก และมีกรดแอสพาทิกและกรดกลูตามิกของกรดอะมิโนที่เป็นกรดอะมิโน (Arginine) และไลซีน (Lysine) ของกรดอะมิโนที่เป็นเบสจำนวนมาก ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนของเซอรีนและไฟโบรอิน
(กรดอะมิโนเป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม)

| กรดอะมิโน | | เซอรีนทั้งหมด | 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 |

ส่วนประกอบนี้แตกต่างจากไฟโบรอิน เมื่อนำส่วนประกอบกรดอะมิโนของชั้นเซอรีน 4 ชนิด สกัดจากรังไหมที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่ำ (0-5 °C) ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1 นอร์มอล มีส่วนประกอบเหล่านี้จำนวนมากคือ กรดกลูตามิก อะลานีน (Glutamic alanine) ลิวซีน (Leucine) ไอโซลิวซีน (Isoleucine) ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) และไลซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Lysine) ฯลฯ ที่ชั้นของเซริซิน F₁ และ F₂ ละลายได้ง่าย แต่ชั้นเซริซิน F₃ และ F₄ เป็นส่วนที่ละลายยากเพราะมีสารเหล่านี้มากที่สุดคือ เซรีน ซีโอนีน ไทโรซีน กรดแอสพาทิก (Aspartic acid) และฮิสติดีน (Histidine) ฯลฯ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนในเซริซินที่แยกเป็น 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 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติจะแบ่งเซริซินเป็น 3 ส่วน คือ เซริซิน I (ละลายได้ง่าย ประมาณ 40 %) เซริซิน II (ละลายได้ง่ายกว่า ประมาณ 40-50 %) และเซริซิน III (ละลายยาก ประมาณ 10-20 %) โดยใช้ความแตกต่างของการละลายด้วยน้ำร้อน แต่โดยวิธีนี้การสกัดด้วยน้ำร้อนให้ปริมาณต่ำ และเซริซินเกิดความเปลี่ยนแปลงจากความร้อนได้ง่าย

สาเหตุที่เซริซินมีส่วนประกอบมากกว่า 3 ส่วน เนื่องจากคุณสมบัติจากเซริซิน มีกรดอะมิโนมาก เช่น เซรีน และรีโอนีน ฯลฯ สภาพไม่สม่ำเสมอทำให้มีส่วนประกอบมากกว่า 3 ส่วน

2.8 กระบวนการลอกกาว

การลอกกาว คือ กระบวนการพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยนำเส้นไหม เส้นด้าย และผ้าไหมดิบมาลอกกาวเซริซินที่เคลือบผิวของเส้นใย นอกจากเซริซินแล้ว ก็ยังมีส่วนประกอบอย่างอื่นอีกเล็กน้อย เช่น ซึ่ผึ้ง คาร์โบไฮเดรต สี สารอนินทรีย์ สิ่งสกปรก เศษดักแด้ และสารปรุงแต่งเส้นใย

ในปัจจุบันการลอกกาวจะใช้สบู่และเกลือต่าง เช่น โซเดียมซัลเฟต โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต โซเดียมฟอสเฟต มีการลอกกาวแบบใช้สบู่ แบบใช้โซเดียม และแบบผสมใช้สบู่และโซเดียม โดยอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการละลายระหว่างเซริซิน และไฟโบรอิน

การลอกกาวมีวิธีหลักๆ อยู่ คือ วิธีการลอกกาวโดยใช้มือ เช่น การลอกกาวจากใจไหม และวิธีการลอกกาวโดยใช้เครื่องมือ เช่น เครื่องย้อมใจไหมแบบสเปรย์ เครื่องย้อมแบบวินช์ (Winch) หรือจิก (Jig) เครื่องลอกกาวแบบ foram แบบใช้ความดันสูง และเครื่องลอกกาวแบบต่อเนื่องโดยใช้ความดันสูง วิธีการลอกกาวจำแนกโดย ดัชนีของการลอกเซริซิน ชนิดของสารลอกกาว เครื่องมือ และชนิดของด้าย ซึ่งโดยทั่วไปการลอกกาวหมายถึง การลอกเซริซินออก 100% แต่บางครั้งมีการลอกกาวออกเพียง 30 %, 50 % และ 70 % ทั้งนี้ ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1) เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1) เครื่องมือที่ใช้

1. เครื่องชั่ง
2. เครื่องกรองแบบลดความดัน
3. ตู้ Freezer
4. เดซิเคเตอร์ (Desicator)
5. ตู้อบธรรมดา และตู้อบสูญญากาศ
6. เครื่อง Auto Clave
7. เครื่อง Freeze dryer
8. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile testing machine) Shimadzu Autograph รุ่น S-100-C
9. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter; DSC) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Model Pyris DIAMOND DSC
10. เครื่อง Thermalgravimetric Analyzer (TGA) รุ่น Model TGA 51 S/N TG-A51-129
11. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Infrared spectrophotometer) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Model FT-IR SPECTRUM GX

3.1.2) อุปกรณ์

| | | | |
|--------------------|------|------|-----------|
| 1. ปีกเกอร์ | ขนาด | 1000 | มิลลิลิตร |
| | ขนาด | 500 | มิลลิลิตร |
| | ขนาด | 100 | มิลลิลิตร |
| 2. กระบอบกดวง | ขนาด | 500 | มิลลิลิตร |
| | ขนาด | 250 | มิลลิลิตร |
| | ขนาด | 100 | มิลลิลิตร |
| | ขนาด | 500 | มิลลิลิตร |
| 3. ขวดรูปชมพู | ขนาด | 500 | มิลลิลิตร |
| 4. กระบอบกน้ำกลั่น | ขนาด | 500 | มิลลิลิตร |
| 5. จุกยาง | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แท่งแก้วคน
7. ซ้อนตักสาร
8. คีมคีบสาร
9. จานเพาะเชื้อ
10. แท่งกวนแม่เหล็ก
11. เทอร์โมมิเตอร์
12. ถาดเมลามีน
13. ชุดกรองแบบสุญญากาศ (Suction)
14. กระดาษกรอง เบอร์ 1 และ เบอร์ 4
15. แผ่นอะลูมิเนียมฟลอยด์

3.1.3) สารเคมี

1. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinylalcohol); PVA) น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 80,000-100,000
2. พอลิไวนิลไพโรลิโดน (Poly(vinylpyrrolidone); PVP) K-90 น้ำหนักโมเลกุล 360,000 Cat.no. 020-63235 Chemeleon Chemical reagent
3. เศษรังไหมเหลือทิ้ง
4. น้ำกลั่น
5. ไนโตรเจนเหลว
6. สารละลายเกลือโพแทสเซียมไอโอดाइด์ (KI)
7. สารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$)
8. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) วิธีการทดลอง

3.2.1) การเตรียมผงไหมเซรีซิน (Sericin)

นำเส้นไหมมาล้างด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออก



จากนั้นนำเส้นไหมที่ทำความสะอาดแล้วมาใส่ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปในอัตราส่วน 1:20 (เส้นไหม : น้ำ)



แล้วนำบีกเกอร์ที่ใส่เส้นไหมมาปิดปากบีกเกอร์ด้วยแผ่นอะลูมิเนียมฟลอยด์



จากนั้นนำบีกเกอร์ที่ได้ไปเข้าเครื่อง Auto clamp ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที



ทำการกรองของเหลวขณะที่ร้อนด้วยชุดกรอง Suction โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 4 ซ้อนกัน 2 ชั้น



นำของเหลวที่ได้ทำการกรองอีกครั้งหนึ่งด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1



ปล่อยให้สารละลายทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำสารละลายที่ได้ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ 0°C



นำสารละลายที่ถูกแช่แข็งแล้วไปทำให้แห้งโดยใช้เครื่อง Freeze dryer โดยใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณสารละลาย



นำผงไหมเซรีซินที่ได้ไปเก็บในเดซิเคเตอร์ (Desicator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2) การเตรียมสารละลายเซริซินเข้มข้น 1 %w/v

ชั่งผงไหมเซริซินที่เตรียมได้มา 2 กรัม เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร



ทำการปั่นจนให้เข้ากัน



กรองเอาตะกอนที่เหลือของเซริซินออกผ่านกระดาษกรอง



นำตะกอนที่ได้ไปอบแล้วนำไปชั่ง เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอน
ของสารละลายเซริซิน

3.2.3) การเตรียมสารละลายเข้มข้น 5 %w/v ของสารละลายพอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (PVP) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

ชั่งพอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (PVP) มา 50 กรัม ใส่ลงในขวดที่ทนความดัน



เติมน้ำกลั่นลงไป 1000 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาแต่ไม่ต้องแน่นนำไปใส่
ถุงพลาสติกแล้วมัดปากถุงไม่ต้องแน่น



นำไปเข้าเครื่อง Auto Clave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที



จะได้สารละลายใส นำสารละลายที่ได้ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

จะได้สารละลายเข้มข้น 5 %w/v PVP

ส่วนการเตรียมสารละลายเข้มข้น 5 %w/v PVA จะทำการเตรียมเช่นเดียวกันโดยจะเปลี่ยน
จากพอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (PVP) เป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4) การเตรียมแผ่นฟิล์ม

3.2.4.1) การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์

ทำการเตรียมสารละลายดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม

| สัญลักษณ์ | ส่วนประกอบ (มิลลิลิตร) | | |
|-----------|-----------------------------|--------|--------|
| | 1%เซริซิน | 5% PVA | 5% PVP |
| PVA | - | 400 | - |
| PVAs | 20 | 380 | - |
| PVP | - | - | 400 |
| PVPs | 20 | - | 380 |
| 1*1 | - | 200 | 200 |
| 1*1s | 20 | 190 | 190 |
| 3*1 | - | 300 | 100 |
| 3*1s | 20 | 285 | 95 |
| 99*1 | - | 396 | 4 |
| 99*1s | 20 | 376.2 | 3.8 |

จากนั้นนำสารละลายพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิด เทใส่ถาดเมลามีน
ชนิดระกาดแล้วทำการไล่ฟองอากาศออก



นำไปอบด้วยตู้อบแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ทำการลอกแผ่นฟิล์มออกอย่างระมัดระวังแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3.2.5) การปรับปรุงสมบัติของแผ่นฟิล์ม (Heat treatment)

นำแผ่นฟิล์มที่ได้แบ่งเป็น 2 ชุดไปทำการปรับสภาพด้วยความร้อน
ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 4 นาที



นำแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนไปทดสอบสมบัติต่างๆ



นำแผ่นฟิล์มที่เหลืออีกส่วนนำไปปรับสภาพด้วยความร้อน
ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 4 นาที เพื่อเปรียบเทียบกับชุดแรก



นำแผ่นฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนไปทดสอบสมบัติต่างๆ

3.2.6) การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ได้

3.2.6.1) การทดสอบอัตราการดูดซับน้ำ

นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้ที่มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน



จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



นำขึ้นมาชั่งน้ำให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน



นำแผ่นฟิล์มขึ้นมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 8 ชั่วโมง
แล้วทิ้งไว้ให้ครบ 24 ชั่วโมงจึงชั่งอีกครั้ง



นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มตามสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังการแช่} - \text{น้ำหนักก่อนแช่})}{\text{น้ำหนักก่อนแช่}} * 100 \text{ ที่เวลาใดๆ}$$



จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่แช่น้ำแล้ว 24 ชั่วโมงไปอบจนแห้งสนิทเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เจล

$$\text{เปอร์เซ็นต์เจล} = \frac{\text{น้ำหนักฟิล์มหลังแช่ที่ทำการอบแห้งแล้ว}}{\text{น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่}} * 100$$

3.2.6.2) ทดสอบอัตราการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ

เตรียมสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นของสารละลาย KCl และ MgCl₂

| สารละลาย | ความเข้มข้น (%w/v) |
|-------------------|--------------------|
| KCl | 0.5, 1.5 |
| MgCl ₂ | 0.5, 1.5 |

ทำการทดลองเหมือนหัวข้อที่ 3.2.6.1

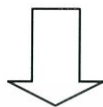
3.2.6.3) ทดสอบอัตราการดูดซับน้ำในสถานะที่ pH ต่างๆ

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 9

ทำการทดลองเหมือนหัวข้อที่ 3.2.6.1

3.2.6.4) ทดสอบอุณหภูมิที่ทำให้แผ่นฟิล์มสลายตัว โดยเทคนิคการวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis)

นำแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์มาใส่ใน Pt pan ประมาณ 10-30 mg (1 mg = 20 mV)



ตั้งสถานะของเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) ดังนี้

Initial temperature 50 °C

Isothermal 5 min

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



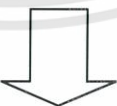
ทำการทดสอบแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยเครื่อง TGA

3.2.6.5) ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่องทดสอบทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter)

นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมได้ มาชั่งน้ำหนักประมาณ 5-10 กรัม



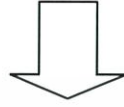
นำมาอัดเม็ดด้วย aluminium pan



ทำการทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่อง DSC

3.2.6.6) การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มตัวอย่างโดยอาศัยเทคนิค
อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมตรี (Infrared spectrophotometry)

นำฟิล์มที่ได้ไปใส่ในตัวยึดเซลล์



ทำการวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง IR

3.2.6.7) ทดสอบความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด
ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile testing machine)

ตัดแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์เป็นรูปคัมเบล ประมาณ 4-8 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง



นำตัวอย่างจำนวน 1 ชิ้น มายึดติดกับที่จับ (Grip) ทั้งสองข้าง โดยใช้ความยาวเกจ
(Gauge length) 25 มิลลิเมตร อัตราเร็วที่ใช้ในการดึง 7.5 มิลลิเมตร/นาที และ Load cell 100N



ทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength)



ทำการบันทึกค่าความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในการทดลองเตรียมฟิล์มทั้งหมด 10 ชนิด เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจจะใช้สัญลักษณ์ PVA, PVAs, PVP, PVPs, 1:1, 1:1s, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s แทนฟิล์มชนิดต่างๆดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของฟิล์ม

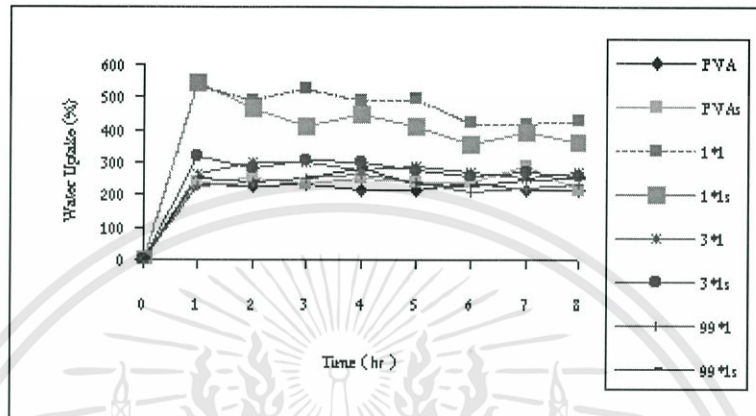
| สัญลักษณ์ | ส่วนประกอบ (มิลลิลิตร) | | |
|-----------|-----------------------------|--------|--------|
| | 1%เซริซิน | 5% PVA | 5% PVP |
| PVA | - | 400 | - |
| PVAs | 20 | 380 | - |
| PVP | - | - | 400 |
| PVPs | 20 | - | 380 |
| 1*1 | - | 200 | 200 |
| 1*1s | 20 | 190 | 190 |
| 3*1 | - | 300 | 100 |
| 3*1s | 20 | 285 | 95 |
| 99*1 | - | 396 | 4 |
| 99*1s | 20 | 376.2 | 3.8 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดสอบทางกายภาพ

4.1.1 การดูดซับน้ำ

ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

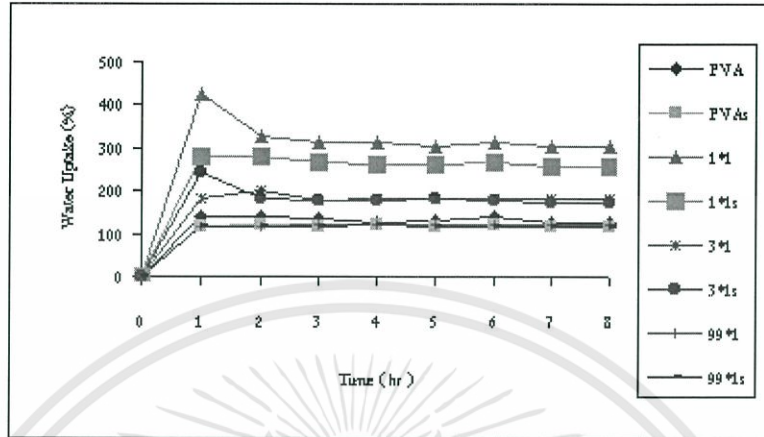


รูปที่ 4.1 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูป 4.1 ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 200-300% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 400-600% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s การผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) มีลักษณะเป็น Amorphous มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ การผสม PVP ลงใน PVA จึงช่วยเพิ่มสมบัติการดูดซับน้ำของฟิล์มนอกจากนี้ พอลิไวนิลไพโรลิโดน ปลอดภัยและเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ลงทำให้ฟิล์มมีส่วนที่สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเล็กน้อย จนถึงระยะเวลาที่ 8 ชั่วโมง สำหรับฟิล์มที่มี พอลิไวนิลไพโรลิโดนผสมอยู่มากได้แก่ 1:1, 1:1s จะเริ่มละลายเมื่อการแช่น้ำผ่านไป 2 ชั่วโมง ทำให้การดูดซับน้ำลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะ พอลิไวนิลไพโรลิโดนสามารถดูดน้ำได้ดีมาก แต่ก็ละลายน้ำได้เป็นอย่างดี

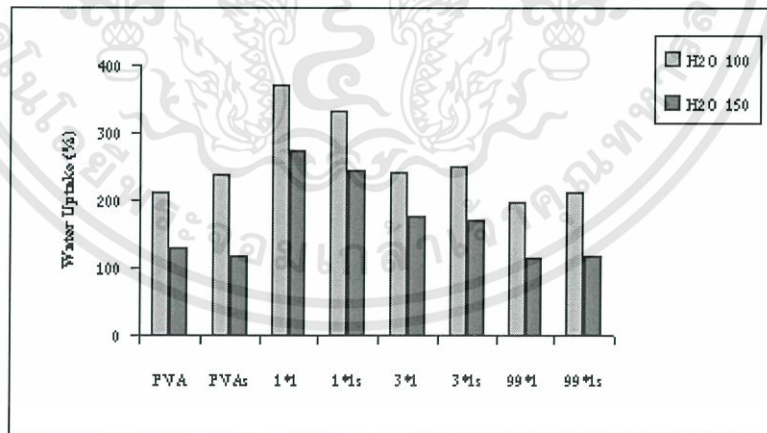
****หมายเหตุ** เนื่องจากฟิล์มพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) และ ฟิล์มพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่มี เซริซินเป็นองค์ประกอบ (PVPs) ละลายหมดไปในชั่วโมงแรกจึงไม่สามารถวัดค่าการดูดซับน้ำได้

ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C



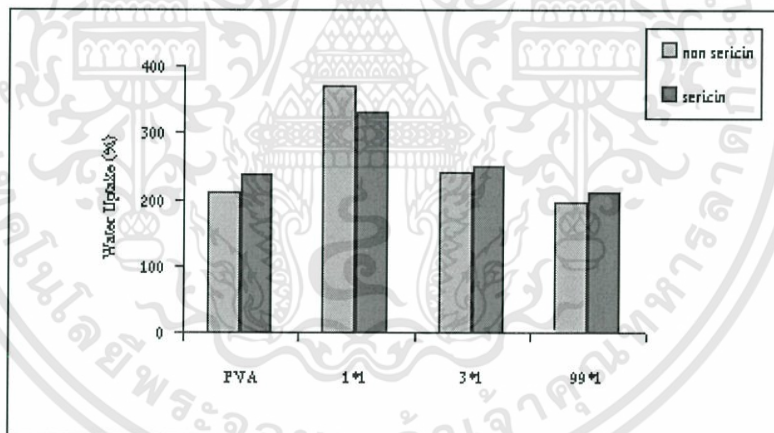
รูปที่ 4.2 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.2 ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 100-200% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 350-400% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง



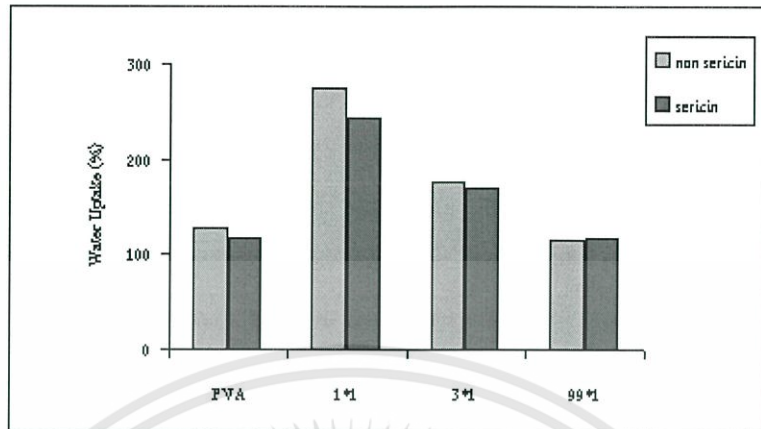
รูปที่ 4.3 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับอุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.3 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำ ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับอุณหภูมิ 150 °C พบว่าฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C อธิบายได้โดยทฤษฎีและหลักการ แสดงบริเวณของน้ำที่จะอยู่ในไฮโดรเจลจะแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณ ได้แก่ 1. บริเวณล้อมรอบของโมเลกุลไฮโดรเจล 2. บริเวณภายในโมเลกุลไฮโดรเจล ซึ่งเป็นช่องว่างอยู่ และ 3. บริเวณหมู่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เกิดพันธะไฮโดรเจนอ่อนๆ กับน้ำ ในการทดลองโมเลกุลไฮโดรเจลได้แก่ PVA, PVA/PVP การนำฟิล์มไฮโดรเจลมาทำการปรับสภาพทางความร้อนจะเป็นการทำให้สายโซ่ของ PVA เกิดการหดตัวใกล้ชิดกันมากขึ้น มีการจัดเรียงตัวมากขึ้น ดังนั้นน้ำที่จะสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในบริเวณต่างๆ ดังกล่าว จะมีแนวโน้มน้อยลง และการที่สายโซ่มีการหดตัวใกล้ชิดกัน ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลเรียงตัวอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน กันเอง หรือเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลก่อน ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลอิสระน้อยลง เมื่อนำไปแช่น้ำจะเหลือหมู่ไฮดรอกซิลที่จะให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำน้อยลง



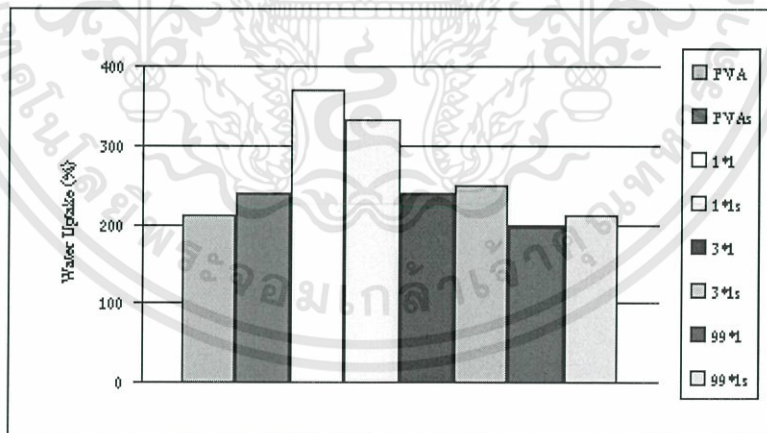
รูปที่ 4.4 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม.เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซิน เป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบ และผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับอุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เซรีซินเข้าไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ยกเว้นฟิล์มสูตร 1: 1



รูปที่ 4.5 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบ และ ฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.5 จะเห็นได้ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C มีผลทำให้สายโซ่อยู่ใกล้ชิดกันมาก ส่งผลทำให้การเติมเซรีซินไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำ



รูปที่ 4.6 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม.

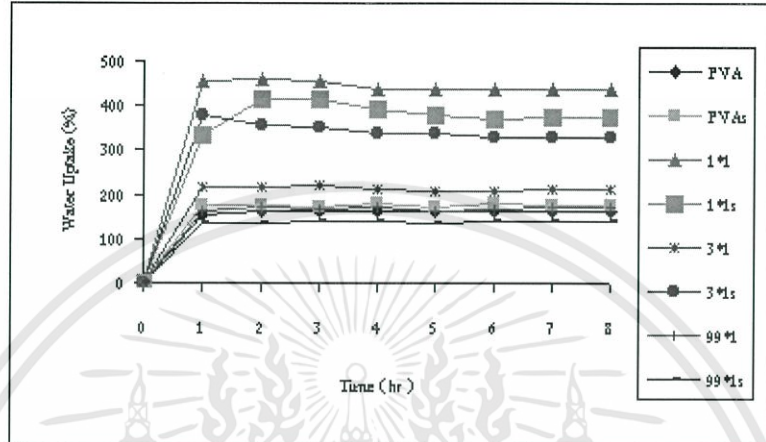
จากรูป 4.6 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 1:1 > 3:1 > PVA ~ 99:1 เนื่องจากการผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งมีสัณฐานวิทยาเป็น Amorphous ลงไปทำให้พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ปลอดภัยความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลงทำให้ฟิล์มมีส่วนที่สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ยกเว้นกรณี 99:1 อัตราส่วนของ PVP น้อยทำให้ค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์ม PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)

4.1.2.1 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5% KI

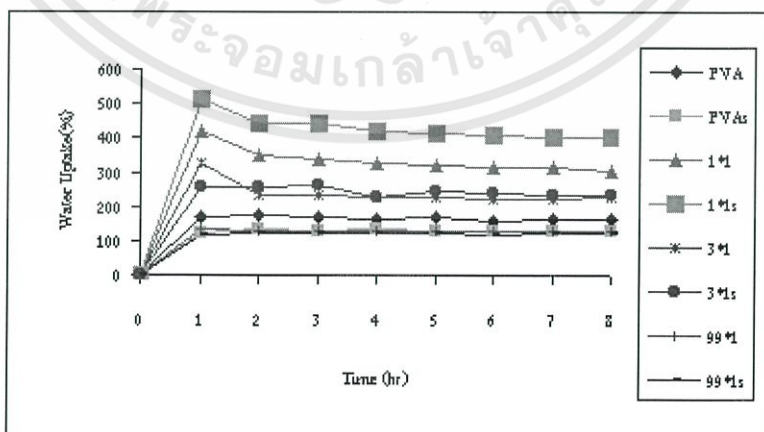
ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C



รูปที่ 4.7 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % KI ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูป 4.7 ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 150-350% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 350-450% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง

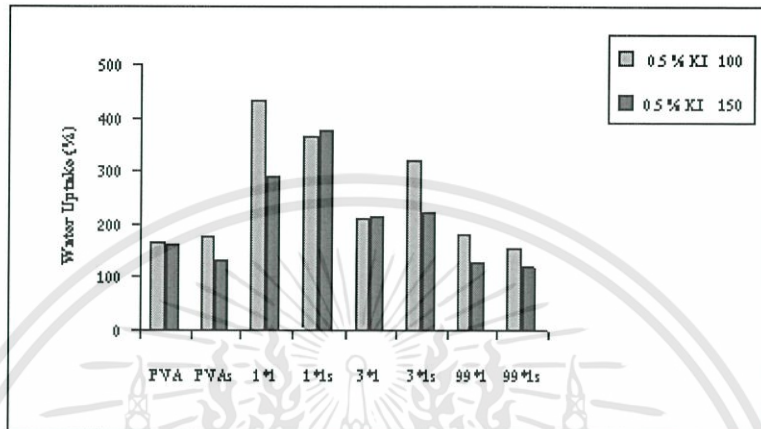
ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C



รูปที่ 4.8 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ KI เข้มข้น 0.5 % ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

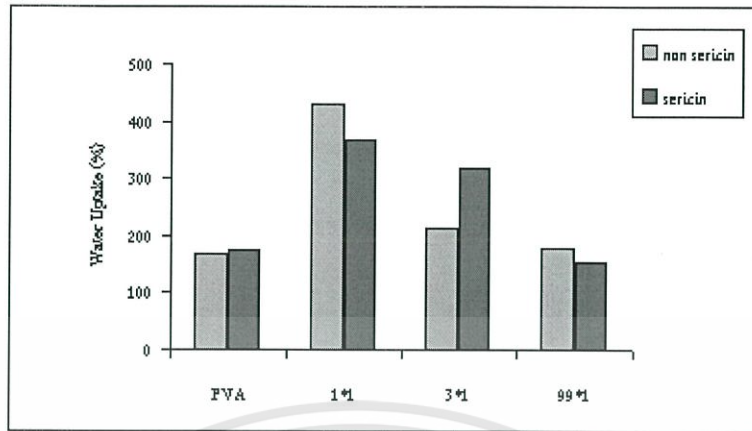
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.8 फिल्मทุกชนิดมีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 100-250% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 300-500% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซึมน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง



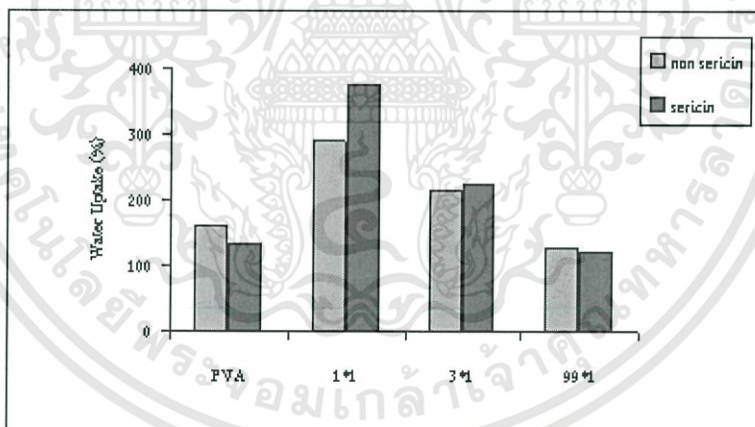
รูปที่ 4.9 ค่าการดูดซึมน้ำในสารละลายเกลือ 0.5% KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่าง फिल्मที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนอุณหภูมิ 100 °C กับอุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.9 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของ फिल्मที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C พบว่า फिल्मที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า फिल्मที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เนื่องจากสายโซ่เกิดการหดตัวใกล้ชิดกันมากขึ้น มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น ดังนั้นน้ำที่จะสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในบริเวณต่างๆ จะมีแนวโน้มลดลง



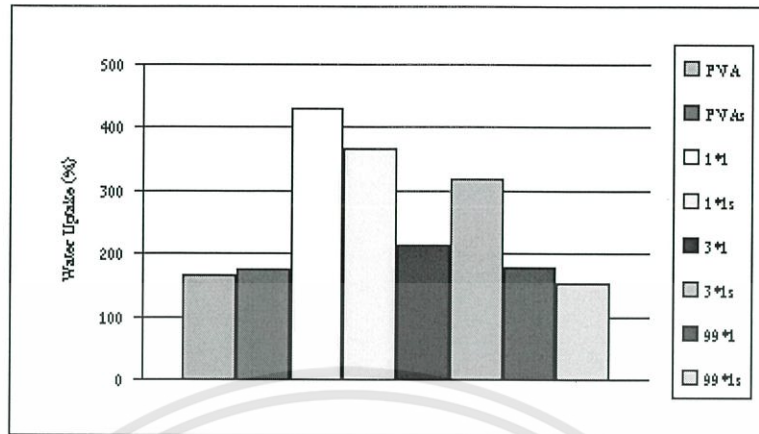
รูปที่ 4.10 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 %KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม.เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบ ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูป 4.10 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 3:1 จะมีค่ามากกว่าเมื่อมีการเติมเซรีซิน ซึ่งต่างจากสูตรอื่นๆ



รูปที่ 4.11 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 %KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

จากรูปที่ 4.11 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 %KI ของฟิล์ม PVA, 3:1 และ 99:1 มีค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มใกล้เคียงกันทั้งที่มีเซรีซินและไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบ ส่วนฟิล์ม 1:1 ค่าการดูดซับน้ำมีค่ามากขึ้นเมื่อมีการเติมเซรีซิน

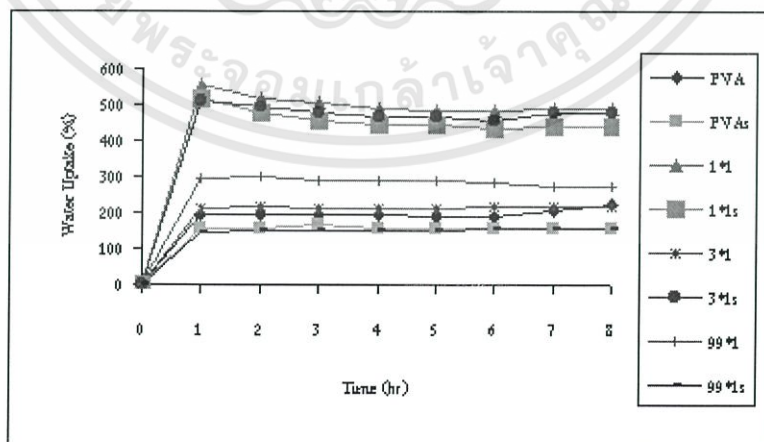


รูปที่ 4.12 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลายเกลือ 0.5% KI เป็นเวลา 24 ชม.

จากรูป 4.12 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 1:1 > 3:1 > PVA ~ 99:1 เนื่องจากการผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งมีสถานะเป็น Amorphous ลงไปทำให้พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ใกล้เคียงความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลงทำให้ฟิล์มมีส่วนที่สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ยกเว้นกรณี 99:1 อัตราส่วนของ PVP น้อยทำให้ค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์ม PVA

4.1.2.2 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % KI

ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

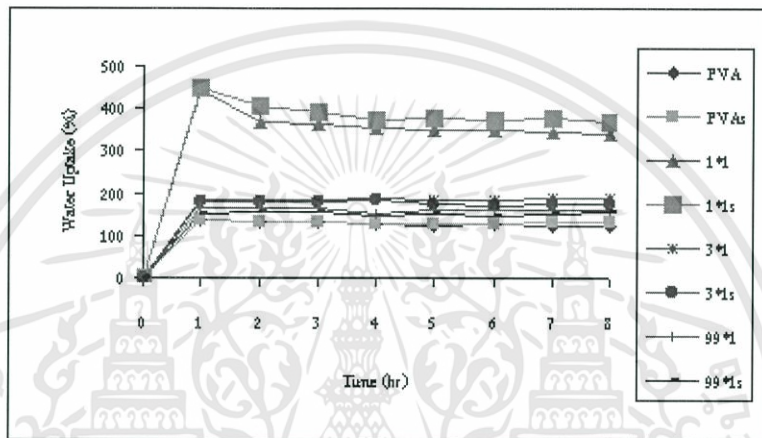


รูปที่ 4.13 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % KI ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

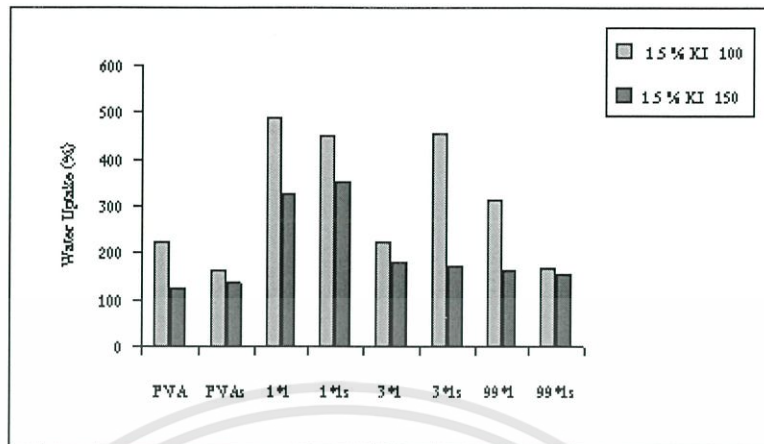
จากรูป 4.13 फिल्मทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 100-300% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 400-600% สำหรับฟิล์ม 3:1s, 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง

ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C



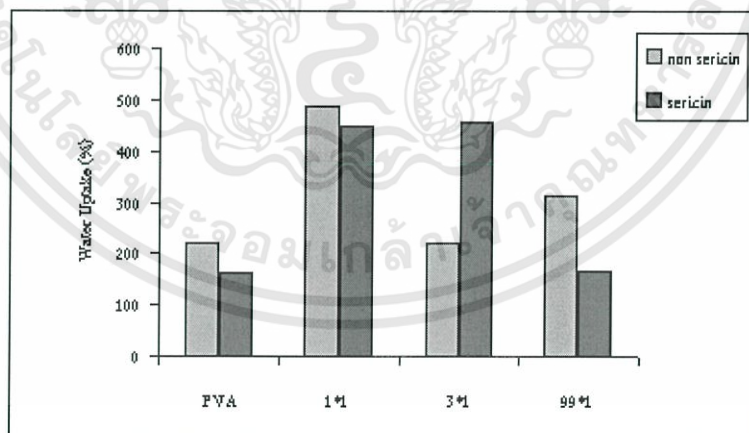
รูปที่ 4.14 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % KI ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.14 फिल्मทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 100-200% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 300-450% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง



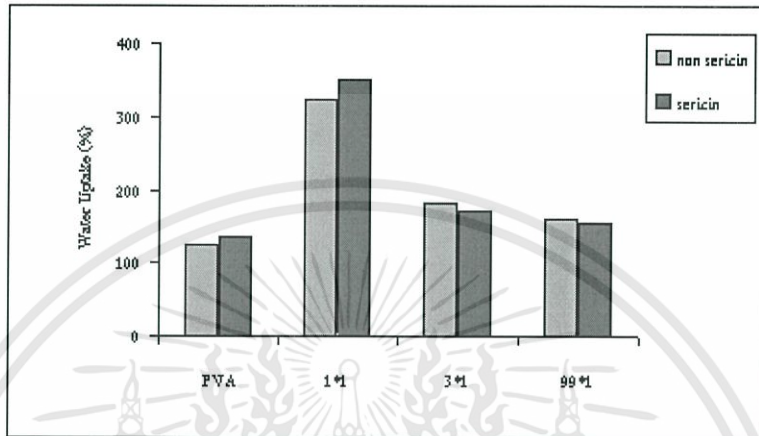
รูปที่ 4.15 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5% KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับ อุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.15 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C พบว่า ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C



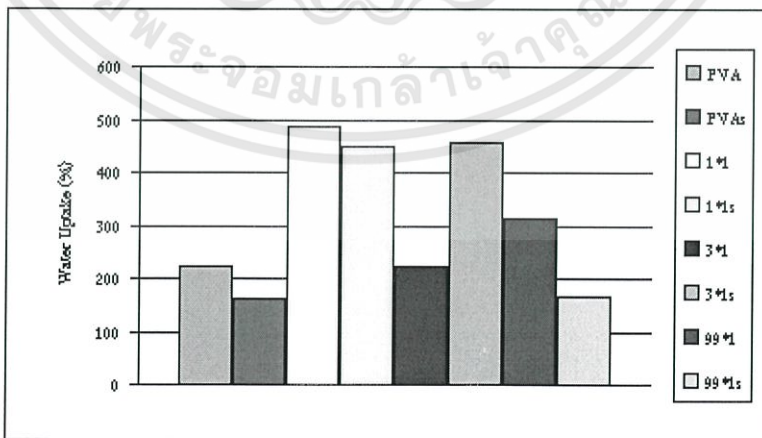
รูปที่ 4.16 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 %KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูป 4.16 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม PVA , 1:1 และ 99:1 จะมีค่ามากกว่าเมื่อมีการเติมเซริซิน ซึ่งต่างจากสูตร 3:1 เนื่องจากค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มขึ้นอยู่กับ 1. ชนิดของฟิล์ม 2. ชนิดของสารละลายเกลือ และ 3. ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ



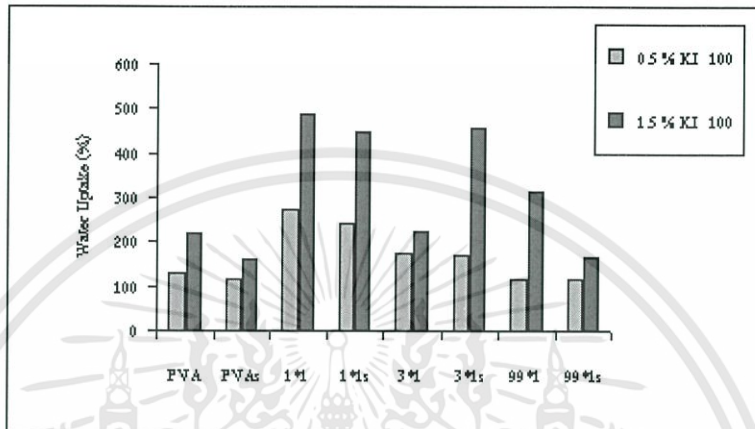
รูปที่ 4.17 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 %KI ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C

จากรูป 4.17 จะเห็นได้ว่าค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C มีผลทำให้สายโซ่อยู่ใกล้ชิดกันมากส่งผลทำให้การเติมเซริซินไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำ



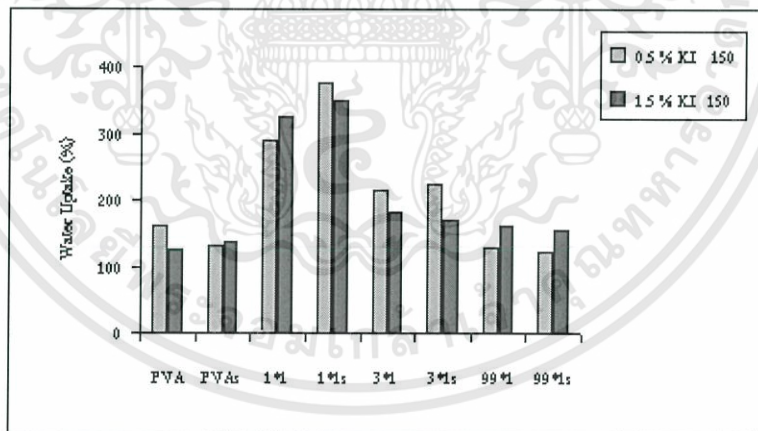
รูปที่ 4.18 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลายเกลือ 1.5%KI เป็นเวลา 24 ชม.

จากรูป 4.18 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 1:1 > 3:1 > 99:1 > PVA เนื่องจากการผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งมีสัณฐานวิทยาเป็น Amorphous ลงไปทำให้พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไปลดความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลงทำให้ฟิล์มมีส่วนที่สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น



รูปที่ 4.19 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ KI ที่ความเข้มข้นต่างกันของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูป 4.19 ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือมากขึ้นฟิล์มสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น



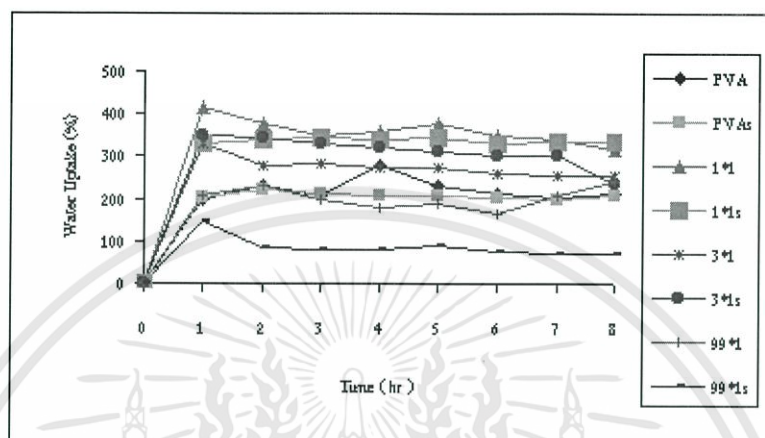
รูปที่ 4.20 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ KI ที่ความเข้มข้นต่างกันของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.20 ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือมากขึ้นฟิล์ม PVAs, 1:1, 99:1, 99:1s สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ซึ่งต่างจากฟิล์มอื่นๆที่มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มขึ้นอยู่กับ 1. ชนิดของฟิล์ม 2. ชนิดของสารละลายเกลือ และ 3. ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ

4.1.3 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$)

4.1.3.1 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % $MgCl_2$

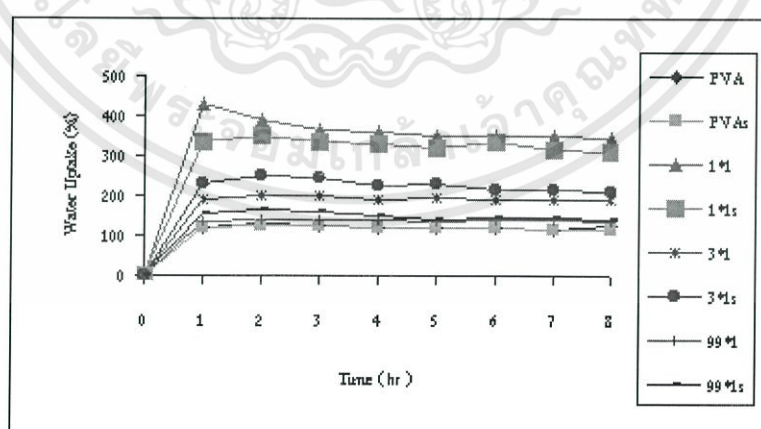
ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}C$



รูปที่ 4.21 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}C$

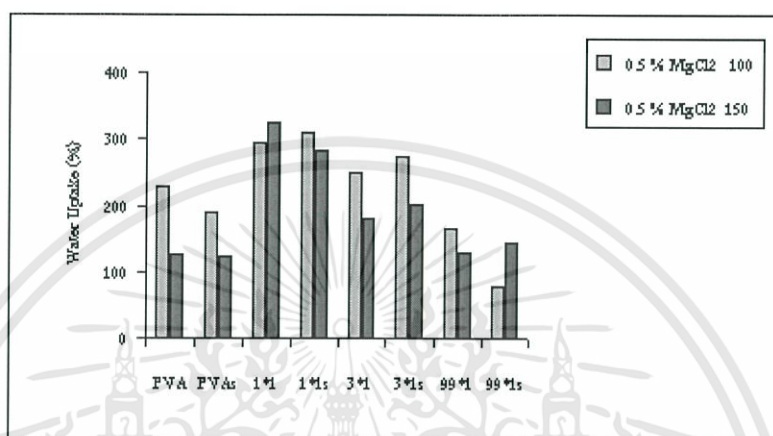
จากรูป 4.21 ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงเล็กน้อย จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง

ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $150\text{ }^{\circ}C$



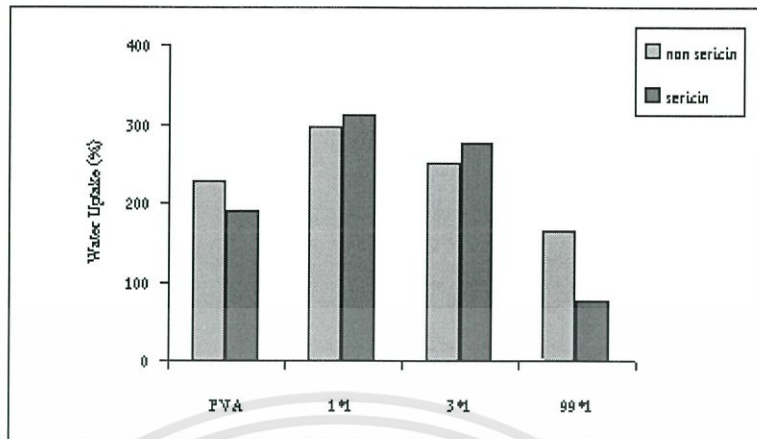
รูปที่ 4.22 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $150\text{ }^{\circ}C$

จากรูป 4.22 फिल्मทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 100-250% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 300-450% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.23 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % $MgCl_2$ ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ กับอุณหภูมิ $150^{\circ}C$

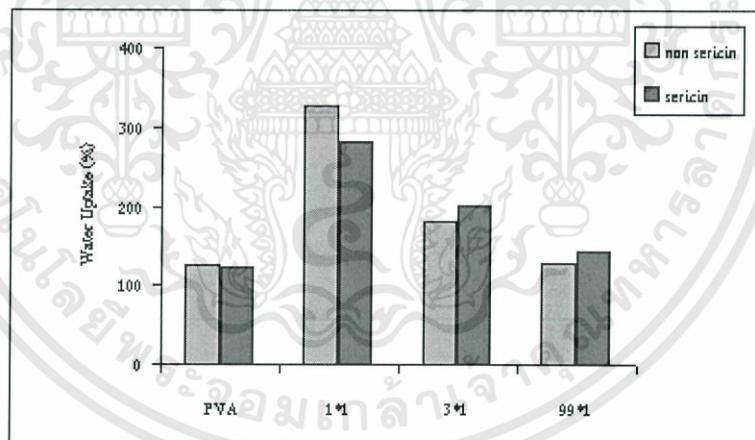
จากรูป 4.23 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ และ $150^{\circ}C$ พบว่า ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$ จะมีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ เนื่องจากสายโซ่เกิดการหดตัวใกล้ชิดกันมากขึ้น มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น ดังนั้นน้ำที่จะสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในบริเวณต่างๆ จะมีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 4.24 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % $MgCl_2$ ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม.

เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$

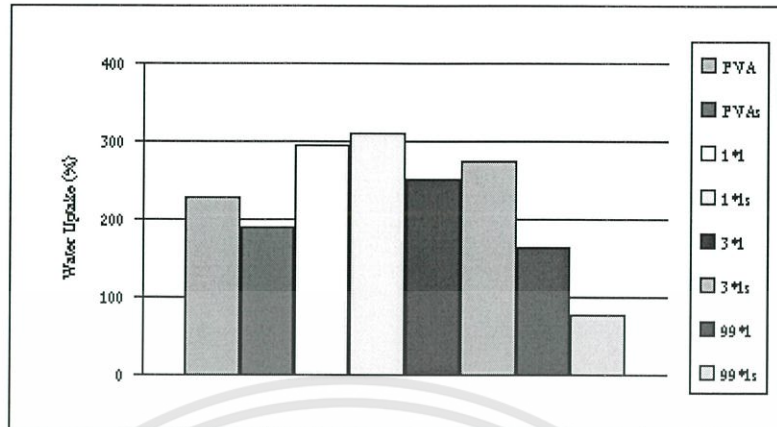
จากรูป 4.24 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม PVA และ 99:1 จะมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเซรีซินซึ่งต่างจากฟิล์ม 1:1 และ 3:1



รูปที่ 4.25 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % $MgCl_2$ ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม.

เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$

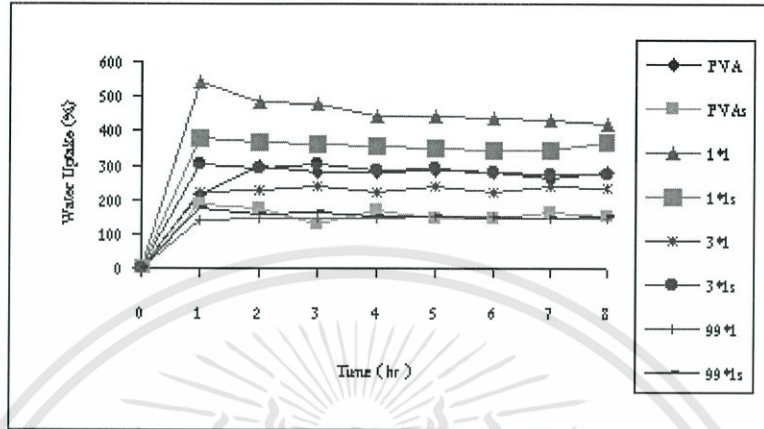
จากรูปที่ 4.25 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์ม PVA, 3:1 และ 99:1 มีค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มใกล้เคียงกันทั้งที่มีเซรีซินและไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบ ส่วนฟิล์ม 1:1 ค่าการดูดซับน้ำมีค่าลดลงขึ้นเมื่อมีการเติมเซรีซิน



รูปที่ 4.26 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม ที่แช่ในสารละลายเกลือ 0.5% $MgCl_2$ เป็นเวลา 24 ชม.

จากรูป 4.26 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 1:1 > 3:1 > PVA > 99:1 เนื่องจากการผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งมีสัณฐานวิทยาเป็น Amorphous ลงไปทำให้พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไปได้ลดความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลงทำให้ฟิล์มมีส่วนที่สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ยกเว้น 99:1 ที่มี PVP น้อยทำให้ PVP ที่ไม่เสถียรเกิดการละลายออกมาทำให้ค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าฟิล์ม PVA

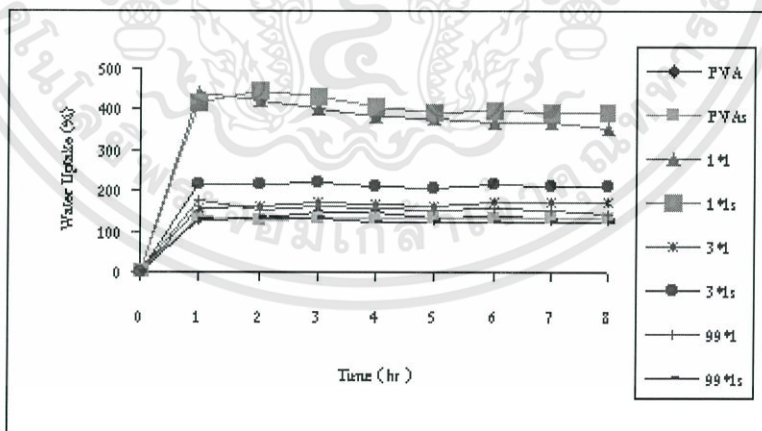
4.1.3.2 การดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % $MgCl_2$
ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$



รูปที่ 4.27 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$

จากรูป 4.27 ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง

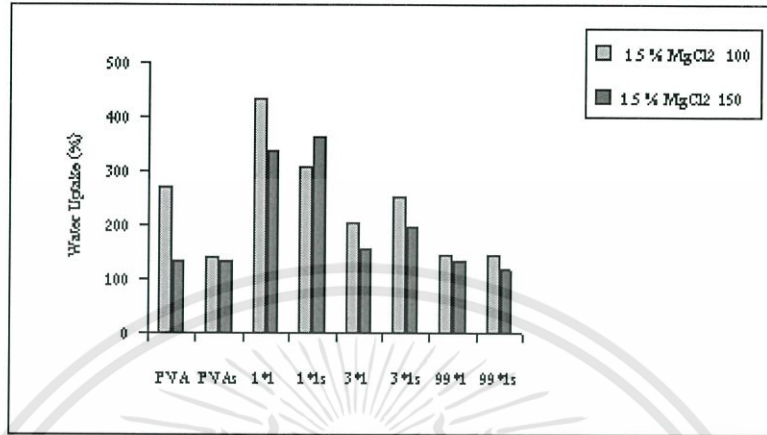
ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$



รูปที่ 4.28 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$

จากรูป 4.28 ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 100-200% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 350-450% สำหรับ

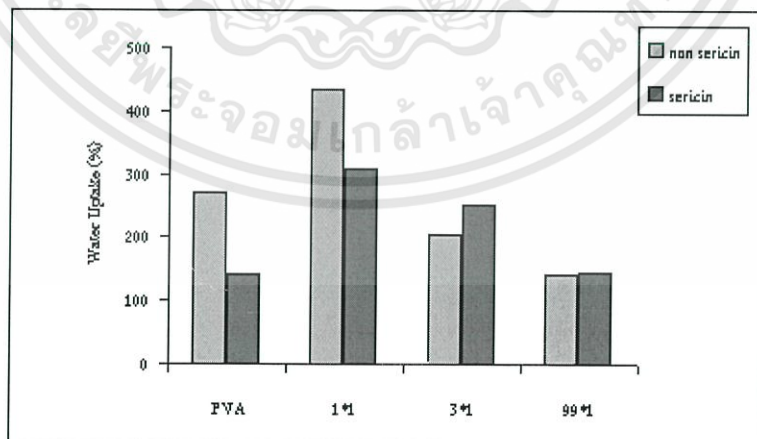
ฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.29 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % MgCl₂ ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม.

เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C กับอุณหภูมิ 150 °C

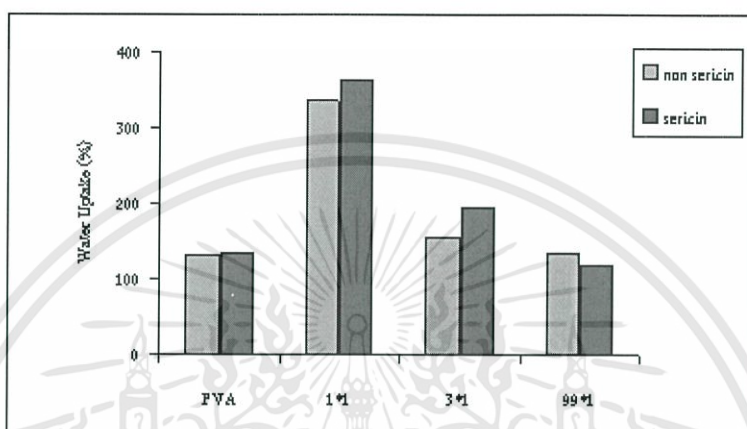
จากรูป 4.29 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C พบว่า ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เนื่องจากสายโซ่เกิดการหดตัวใกล้ชิดกันมากขึ้น มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น ดังนั้นน้ำที่จะสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในบริเวณต่างๆ จะมีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 4.30 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % MgCl₂ ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม.เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

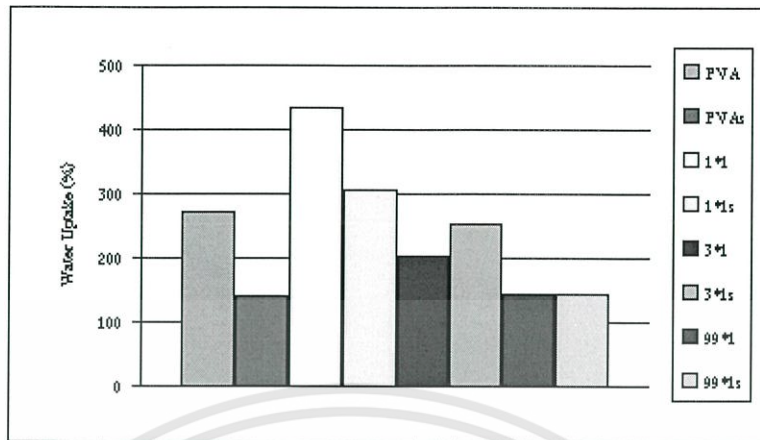
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.30 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม PVA, 1:1 จะมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเซริซิน ซึ่งต่างจากฟิล์ม 3:1 ซึ่งมีค่ามากขึ้นเมื่อมีการเติมเซริซิน และฟิล์ม 99:1 ซึ่งมีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม นอกจากจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของฟิล์มแล้ว ยังขึ้นกับ ชนิดของสารละลายเกลือ และ ความเข้มข้นของสารละลายเกลือด้วย



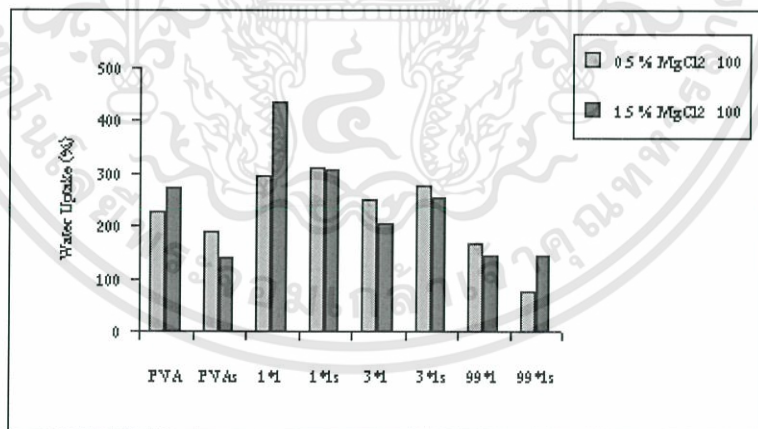
รูปที่ 4.31 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % $MgCl_2$ ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซริซิน เป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$

จากรูปที่ 4.31 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์ม PVA, 1:1 และ 99:1 มีค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มใกล้เคียงกันทั้งที่มีเซริซินและไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบ ส่วนฟิล์ม 3:1 ค่าการดูดซับน้ำมีค่ามากขึ้นเมื่อมีการเติมเซริซิน



รูปที่ 4.32 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลายเกลือ 1.5 % MgCl₂ เป็นเวลา 24 ชม.

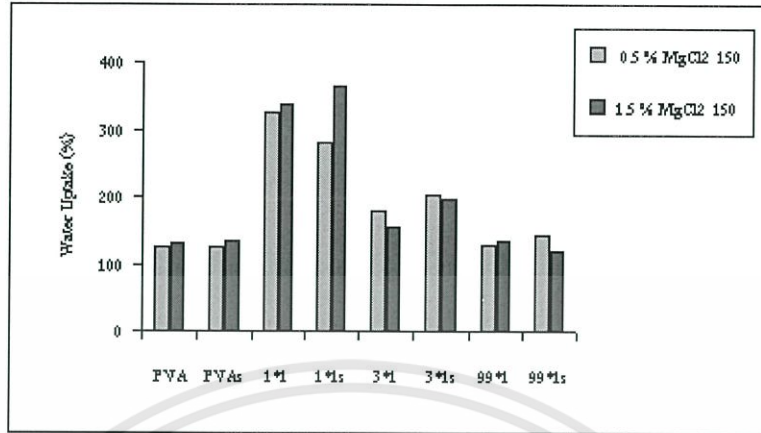
จากรูป 4.32 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 1:1 > 3:1 > PVA ~ 99:1 เนื่องจากการผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งมีสัณฐานวิทยาเป็น Amorphous ลงไปทำให้พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไปลดความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลงทำให้ฟิล์มมีส่วนที่สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ยกเว้นกรณี 99:1 อัตราส่วนของ PVP น้อยทำให้ค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์ม PVA



รูปที่ 4.33 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ MgCl₂ ที่ความเข้มข้นต่างกันของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูป 4.33 ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือมากขึ้นฟิล์ม PVA, 1:1, 99:1 สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ซึ่งต่างจากฟิล์มอื่นๆที่มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



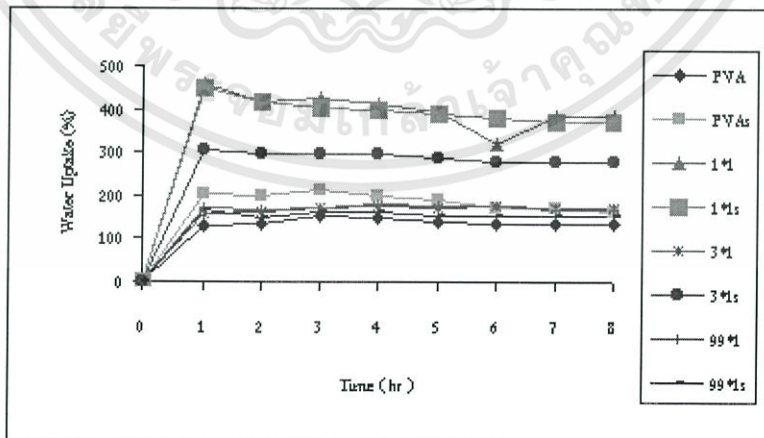
รูปที่ 4.34 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ $MgCl_2$ ที่ความเข้มข้นต่างกัน ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $150\text{ }^{\circ}C$

จากรูป 4.34 ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือมากขึ้นฟิล์ม PVA, PVAs, 1:1, 1:1s, 99:1 สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้นซึ่งต่างจากฟิล์มอื่นๆที่มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือมากขึ้น

4.1.4 การดูดซับน้ำในสารละลายพีเอช (pH)

4.1.4.1 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 4

ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}C$

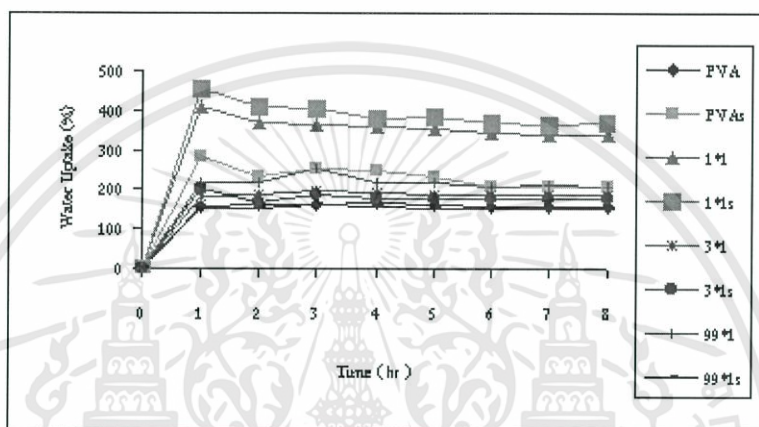


รูปที่ 4.35 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH4 ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

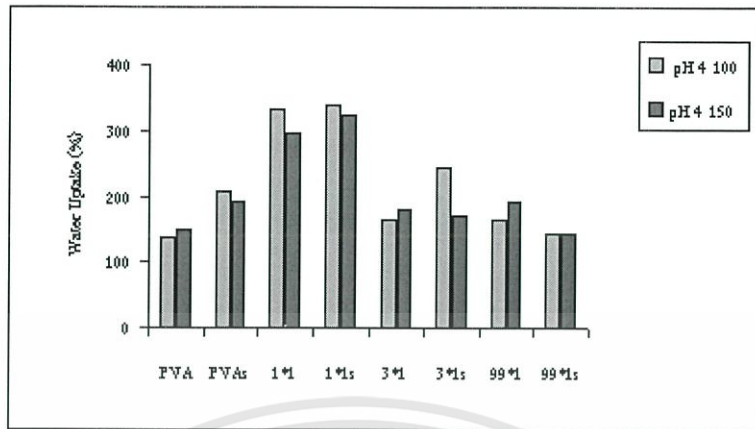
จากรูป 4.35 फिल्मทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 150-250% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 350-450% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง

ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C



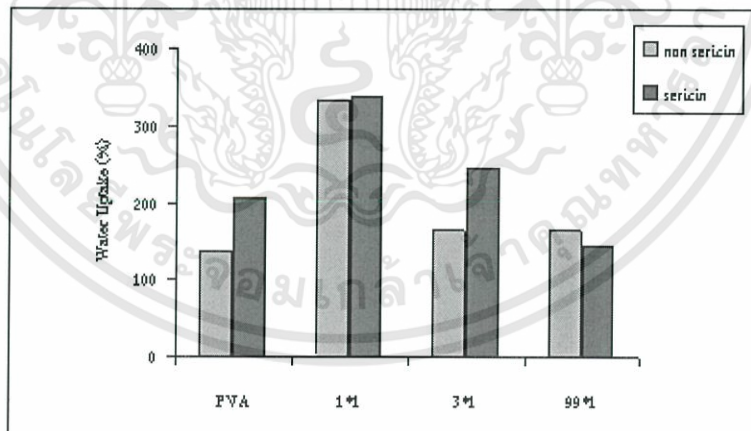
รูปที่ 4.36 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH4 ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.36 फिल्मทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 150-250% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 350-450% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง



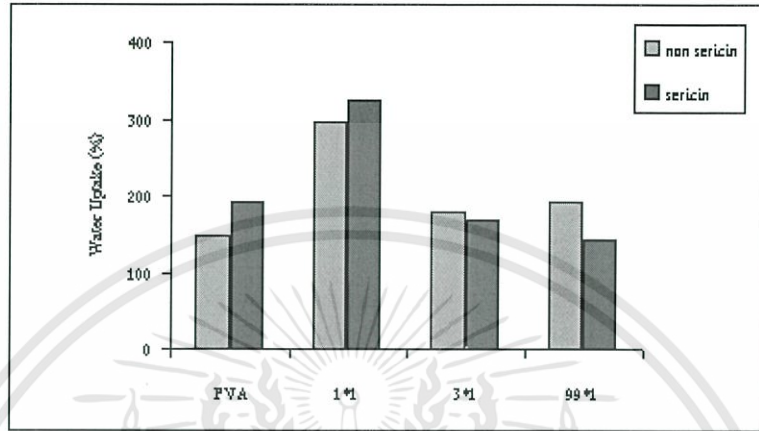
รูปที่ 4.37 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH4 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับอุณหภูมิ 150 °C

จากรูป 4.37 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C พบว่า ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เนื่องจากสายโซ่เกิดการหดตัวใกล้ชิดกันมากขึ้น มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น ดังนั้นน้ำที่จะสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในบริเวณต่างๆ จะมีแนวโน้มลดลง



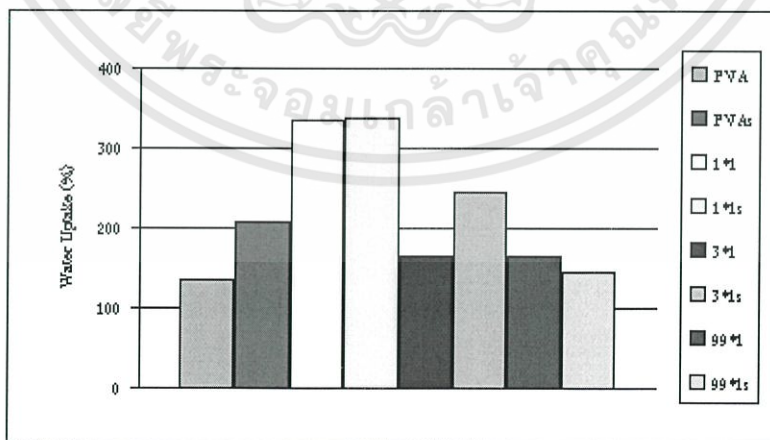
รูปที่ 4.38 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH4 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูป 4.38 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม PVA และ 3:1 จะมียค่ามากขึ้นเมื่อมีการเติมเซรีซิน ส่วนค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 1:1 มีค่าใกล้เคียงกันทั้งที่มีเซรีซินและไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบ ส่วนฟิล์ม 99:1 ค่าการดูดซับน้ำมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเซรีซิน



รูปที่ 4.39 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH4 ที่แช่เป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

จากรูปที่ 4.39 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH4 ของฟิล์ม PVA และ 1:1 ค่าการดูดซับน้ำมีค่ามากขึ้นเมื่อมีการเติมเซรีซิน ต่างจากฟิล์ม 3:1 และ 99:1 ค่าการดูดซับน้ำมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเซรีซิน



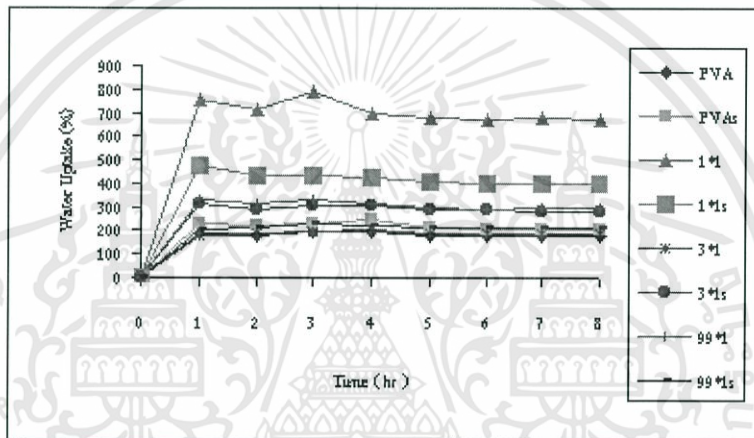
รูปที่ 4.40 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลาย pH4 เป็นเวลา 24 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.40 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 1:1 > 3:1 > PVA ~ 99:1 เนื่องจากการผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งมีสถานะเป็น Amorphous ลงไปทำให้พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไปลดความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลงทำให้ฟิล์มมีส่วนที่สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ยกเว้นกรณี 99:1 อัตราส่วนของ PVP น้อยทำให้ค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียง PVA

4.1.4.2 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 9

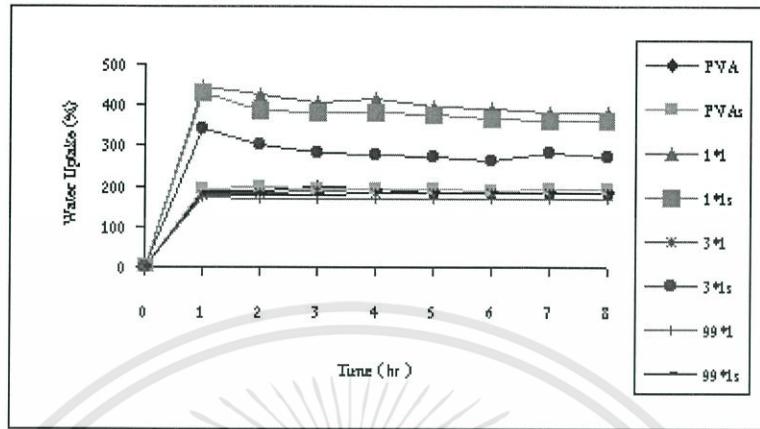
ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C



รูปที่ 4.41 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

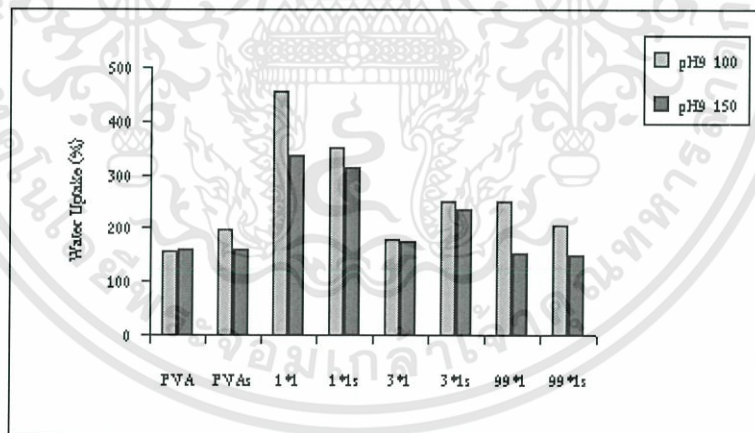
จากรูป 4.41 ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 200-300% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 400-800% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง

ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C



รูปที่ 4.42 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

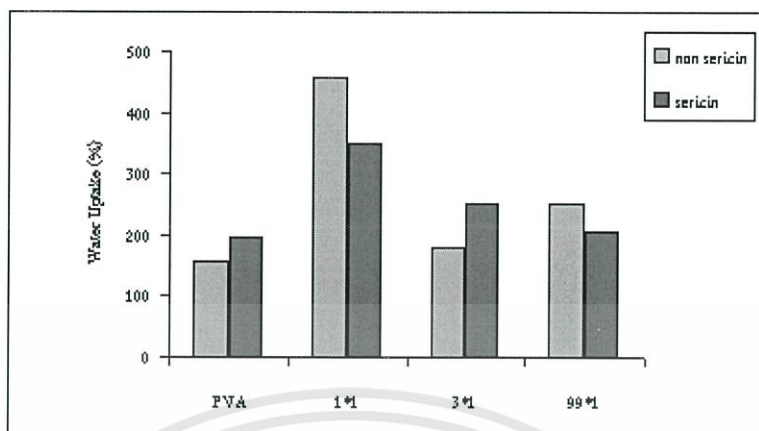
จากรูป 4.42 ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือจาก 0% เป็น 150-250% สำหรับฟิล์ม PVA, PVAs, 3:1, 3:1s, 99:1, 99:1s และจาก 0% เป็น 350-450% สำหรับฟิล์ม 1:1 และ 1:1s ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะค่อนข้างคงที่ จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.43 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C กับอุณหภูมิ 150 °C

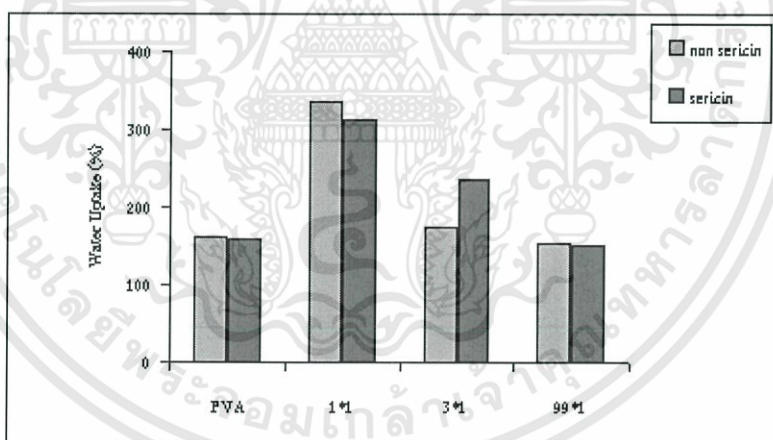
จากรูป 4.43 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C พบว่า ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เนื่องจากสายโซ่เกิดการหดตัวใกล้ชิดกันมากขึ้น มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น ดังนั้นน้ำที่จะสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในบริเวณต่างๆ จะมีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



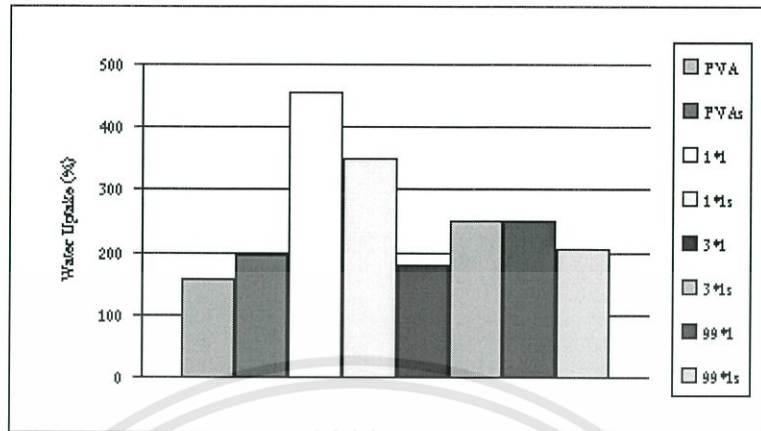
รูปที่ 4.44 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C

จากรูป 4.44 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH 9 ของฟิล์ม PVA และ 3:1 จะมียค่ามากขึ้นเมื่อมีการเติมเซรีซิน ส่วนฟิล์ม 1:1 และ 99:1 จะมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเซรีซิน



รูปที่ 4.45 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชม. เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบและฟิล์มที่ไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

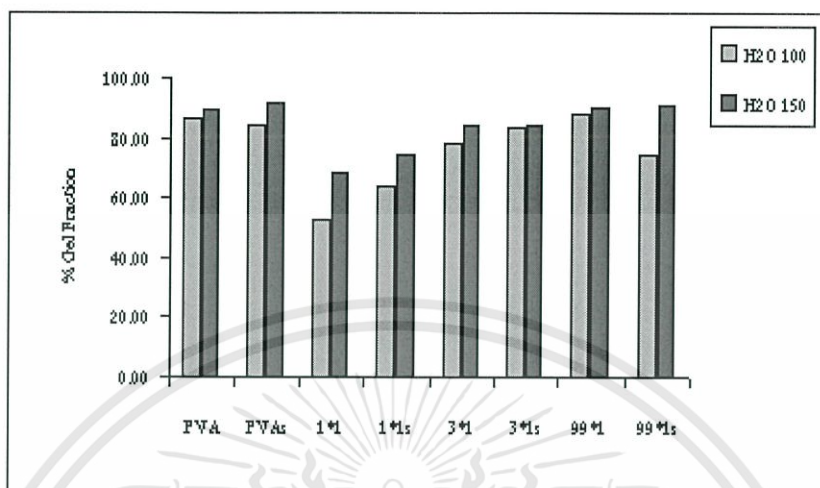
จากรูปที่ 4.45 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ของฟิล์ม PVA, 1:1 และ 99:1 มีค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มใกล้เคียงกันทั้งที่มีเซรีซินและไม่มีเซรีซินเป็นองค์ประกอบ ส่วนฟิล์ม 3:1 ค่าการดูดซับน้ำมีค่ามากขึ้นเมื่อมีการเติมเซรีซิน



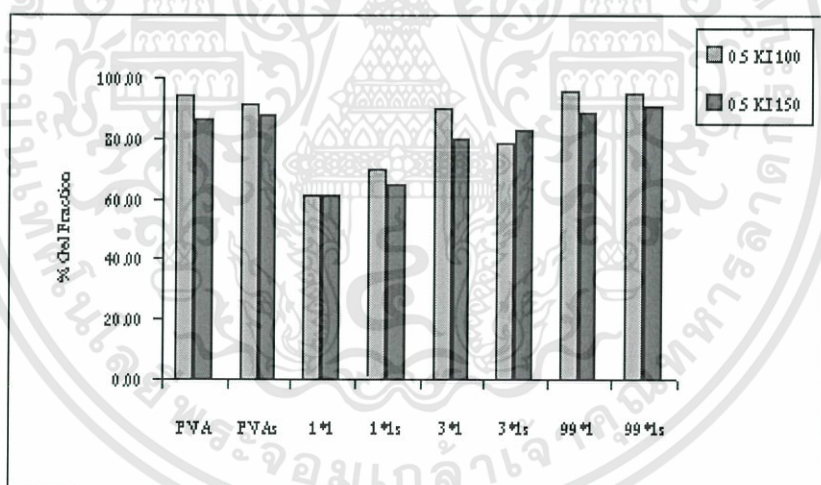
รูปที่ 4.46 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่ในสารละลาย pH9 เป็นเวลา 24 ชม.

จากรูป 4.46 ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 1:1 > 3:1 > 99:1 > PVA เนื่องจากการผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งมีลักษณะเป็น Amorphous ลงไปทำให้พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไปลดความเป็นผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลงทำให้ฟิล์มมีส่วนที่สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น

4.1.2 การหาค่าเปอร์เซ็นต์เจล

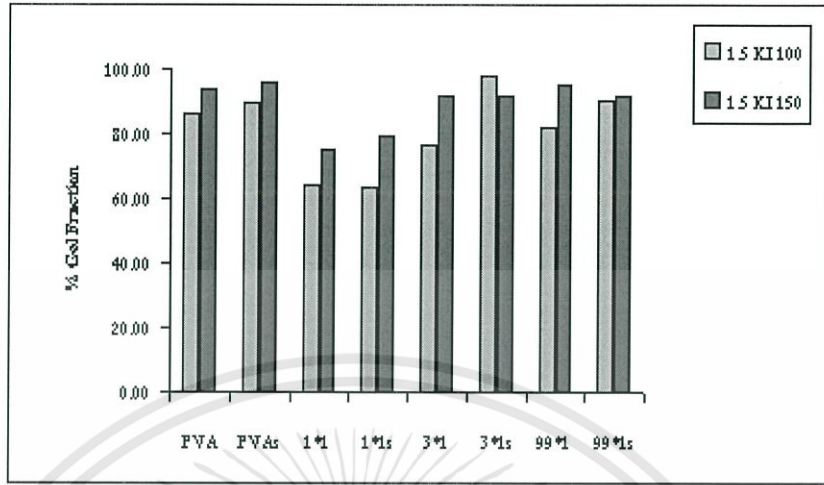


รูปที่ 4.47 % Gel Fraction ของฟิล์มในน้ำ

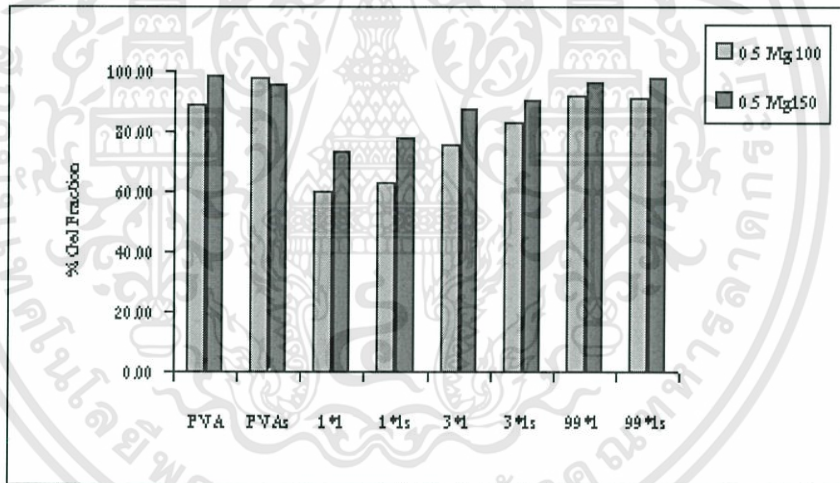


รูปที่ 4.48 % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย 0.5% KI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

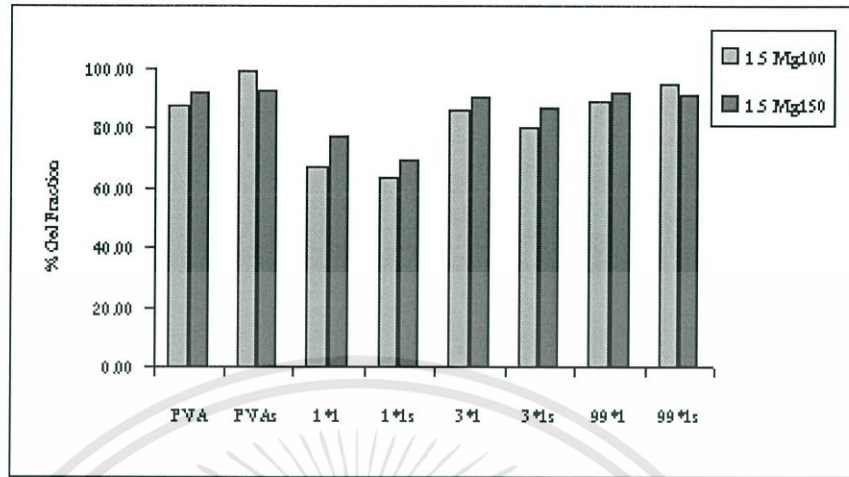


รูปที่ 4.49 % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย 1.5% KI

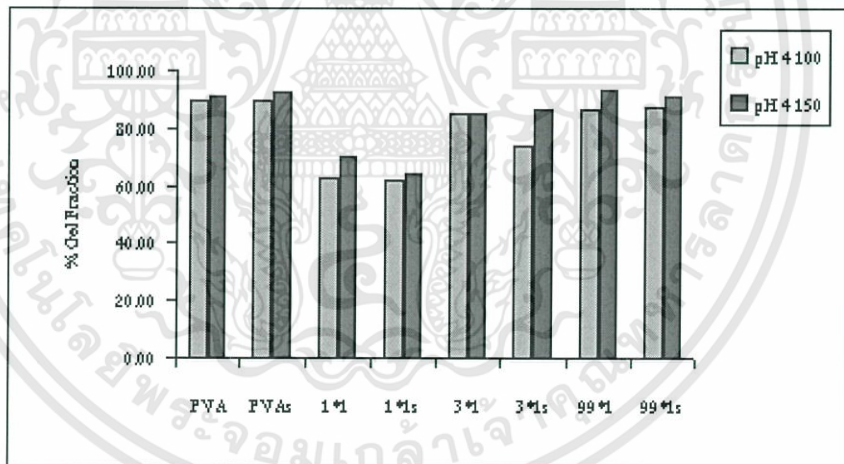


รูปที่ 4.50 % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย 0.5% MgCl₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

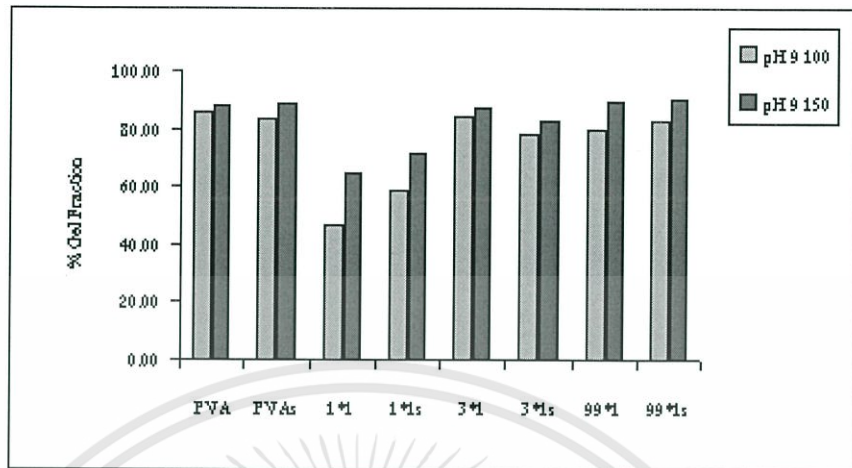


รูปที่ 4.51 % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย 1.5% MgCl₂



รูปที่ 4.52 % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย pH4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.53 % Gel Fraction ของฟิล์มในสารละลาย pH9

จากรูป 4.47-4.52 จะเห็นได้ว่า % Gel Fraction ของฟิล์มสูตร PVA > 99:1 > 3:1 > 1:1 ตามลำดับ สังเกตได้ว่า ฟิล์มที่มีพอลิไวนิลไพโรลิโดนมากจะทำให้ % Gel Fraction น้อยลง เนื่องจากว่า ในสถานะที่ทำการทดลองไม่สามารถทำให้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเกิดการเชื่อมโยงทางกายภาพได้ ส่วนที่เกิดการเชื่อมโยง จะเกิดขึ้นกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เท่านั้น สอดคล้องกับค่าการดูดซับน้ำ เมื่อ % Gel Fraction เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำลดลงเนื่องจาก ฟิล์มที่เกิดการเชื่อมโยงทางกายภาพจะทำให้สายโซ่เกิดการเกี่ยวพันกัน โมเลกุลของน้ำจึงแทรกตัวเข้าไปอยู่บริเวณต่างๆ ในไฮโดรเจลได้น้อย ค่าการดูดซับน้ำจึงลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C และ ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C พบว่า ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C มี % Gel Fraction มากกว่า และส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำลดลง เนื่องจากการปรับสภาพฟิล์มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้โมเลกุลของไฮโดรเจลอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น โอกาสที่จะเกิดการเกี่ยวพันกัน จึงมากกว่าฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C

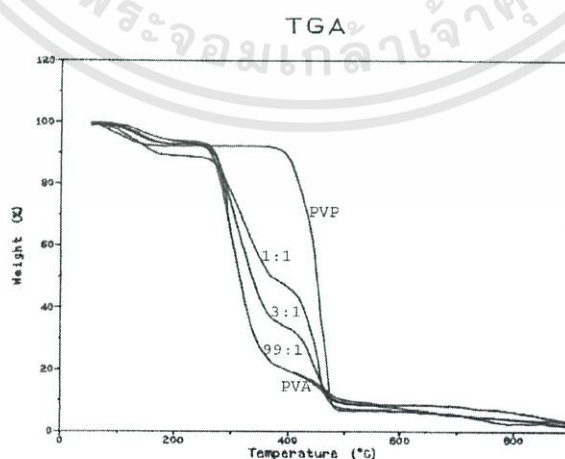
4.2 สมบัติทางความร้อน

4.2.1 Thermogravimetric Analysis

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มสูตรต่างๆ

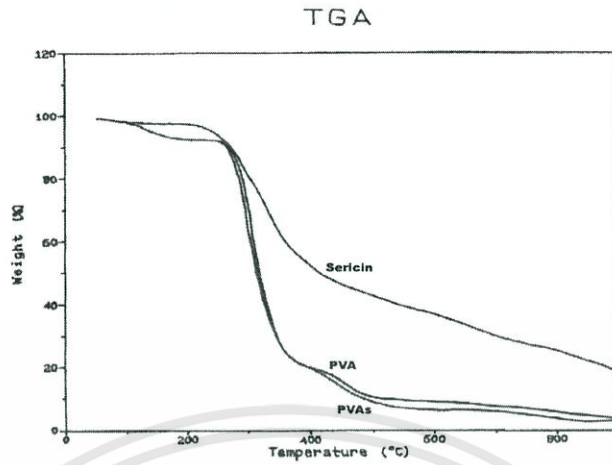
| สูตร | อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) | |
|-------|---|-----------|
| | ขั้นที่ 1 | ขั้นที่ 2 |
| PVA | 302 | 450 |
| PVAs | 300 | 452 |
| PVP | 452 | - |
| PVPs | 450 | - |
| 1:1 | 312 | 449 |
| 1:1s | 303 | 450 |
| 3:1 | 310 | 452 |
| 3:1s | 305 | 452 |
| 99:1 | 302 | 450 |
| 99:1s | 302 | 450 |

จากตารางพบว่าแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีการสลายตัวสองขั้น ซึ่งการสลายตัวขั้นที่สองจะน้อยกว่าขั้นที่หนึ่งซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักมาก แต่แผ่นฟิล์มพอลิไวนิลไพโรลิโดนจะมีการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียว ส่วนแผ่นฟิล์มผสมจะมีการสลายตัวเป็นขั้นตามปริมาณขององค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 4.54

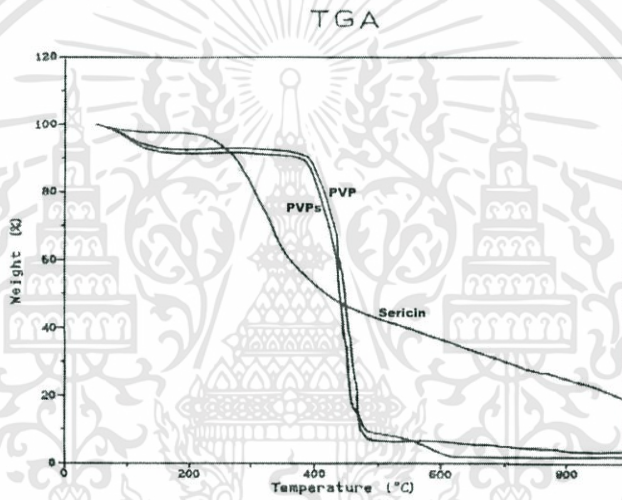


รูปที่ 4.54 อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มสูตรต่างๆที่ไม่ได้เติมเซริซิน

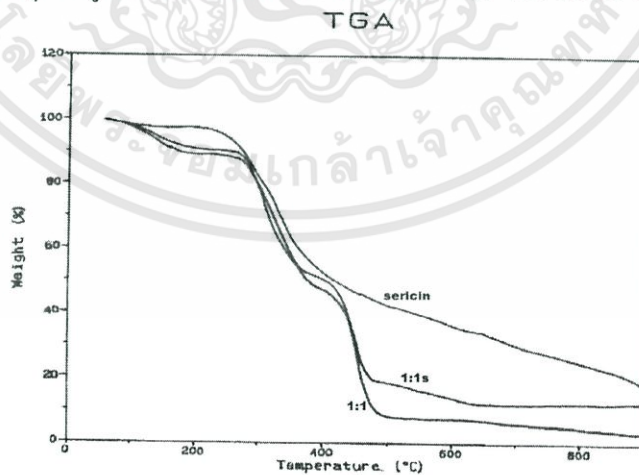
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม PVA, PVAs และ เซริซิน

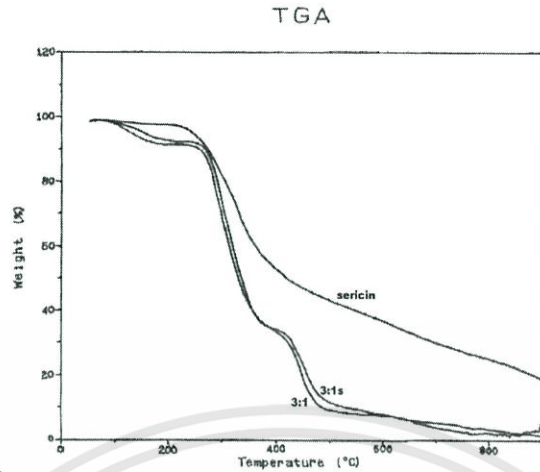


รูปที่ 4.56 อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม PVP, PVPs และเซริซิน

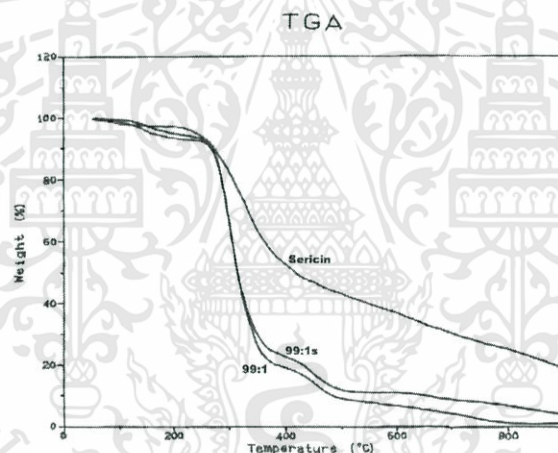


รูปที่ 4.57 อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม 1:1, 1:1s และเซริซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม 3:1, 3:1s และเซริซิน



รูปที่ 4.59 อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม 99:1, 99:1s และเซริซิน

จากรูปที่ 4.54-4.59 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นฟิล์มแต่ละสูตรที่เติมเซริซินและไม่ได้เติมเซริซินพบว่าเมื่อเติมเซริซินลงไปอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มจะลดลงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งอาจสรุปได้ว่าเซริซินที่เติมลงไปไม่มีผลกับอุณหภูมิการสลายตัว (T_d) ของแผ่นฟิล์ม ซึ่งอาจเป็นเพราะเติมเซริซินเข้าไปในปริมาณที่น้อยมาก จึงไม่สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

4.2.2 Differential Scanning Calorimetry

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของฟิล์มแต่ละชนิด

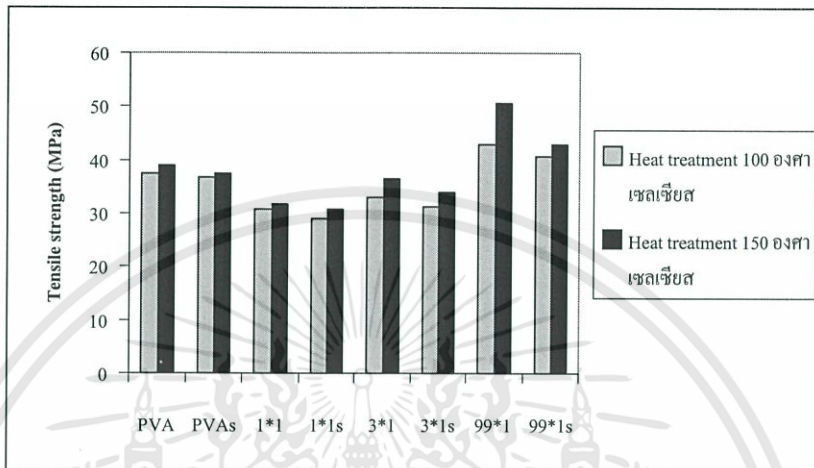
| สูตร | T_m (onset) ($^{\circ}\text{C}$) | Delta H (J/g) |
|------------|--------------------------------------|----------------|
| PVA powder | 222 | 38.030 |
| PVA | 212 | 59.129 |
| PVAs | 219 | 53.349 |
| 99*1 | 209 | 54.962 |
| 99*1s | 211 | 65.842 |
| 3*1 | 204 | 33.976 |
| 3*1s | 206 | 39.888 |
| 1*1 | 199 | 5.975 |
| 1*1s | 205 | 8.393 |
| PVP | - | - |
| PVPs | - | - |
| Sericin | - | - |

จากตารางพบว่า อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของผงพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่า 222°C ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของฟิล์ม PVA, PVAs, 99:1, 99:1s, 3:1, 3:1s, 1:1 และ 1:1s มีค่า 212°C , 219°C , 209°C , 211°C , 204°C , 206°C , 199°C , และ 205°C ตามลำดับซึ่งเปลี่ยนไปอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดน ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) แต่ส่งผลต่อปริมาณของผลึก กล่าวคือ เมื่อปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดนเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของผลึกลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของฟิล์มที่มีเซริซินและไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบพบว่า อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของฟิล์มเปลี่ยนไปอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าเซริซินไม่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของฟิล์ม

4.3 การทดสอบเชิงกล

4.3.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

ศึกษาอัตราส่วนของพอลิเมอร์และผลของเซริซินที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างฟิล์มพอลิเมอร์ที่ปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C กับความแข็งแรงดึง

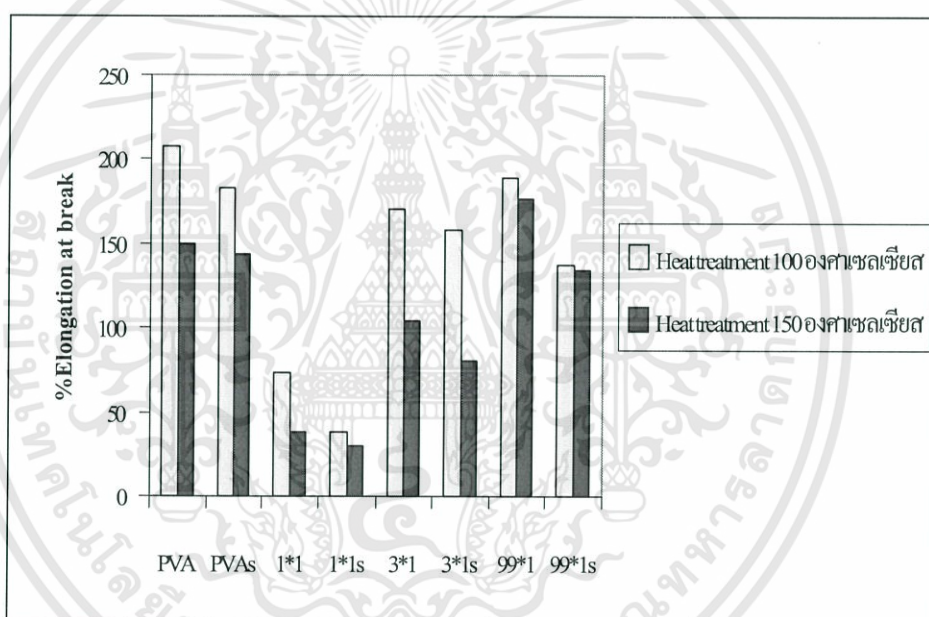
หมายเหตุ* เนื่องจากพอลิไวนิลไพโรลิโดนไม่สามารถตัดฟิล์มเป็นรูปคัมเบลได้เพราะมีความแผ่นฟิล์มที่ได้กรอบจึงไม่สามารถนำไปวัดสมบัติเชิงกลได้

จากรูปที่ 4.60 เป็นการเปรียบเทียบฟิล์มพอลิเมอร์สูตรต่างๆ ที่ทำการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ทุกสูตรที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์ที่ปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในฟิล์มถูกระเหยออกไป ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์จึงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ความแข็งแรงดึงสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่ผสมเซริซินและไม่ผสมเซริซินพบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผสมเซริซินจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมเซริซิน ทั้งนี้เนื่องจากเซริซินอาจจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างรอยต่อของวัฏภาคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิไวนิลไพโรลิโดน จึงทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของฟิล์มพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ และเมื่อดูที่อัตราส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ พบว่าเมื่อปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดนมากขึ้นก็จะทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ที่ได้มีค่าความแข็งแรงดึงลดลง เนื่องจากว่าพอลิไวนิลไพโรลิโดนเมื่อนำมาเตรียมเป็นฟิล์มจะมีลักษณะที่แข็งและเปราะเมื่อนำพอลิไวนิลไพโรลิโดนมาผสม

กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ก็จะทำให้ได้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีความแข็งแรงตามอัตราส่วนของพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ผสมลงไป โดยถ้าผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดนมากก็จะทำให้ได้ฟิล์มที่มีความเปราะมาก แต่ที่อัตราส่วน 99:1 จะทำให้ได้ฟิล์มที่มีค่าความแข็งแรงถึงสูงสุด เนื่องมาจากเมื่อผสมพอลิไวนิลไพโรลิโดนลงไปปริมาณเพียงเล็กน้อยจะทำให้ได้ฟิล์มที่ได้มีสมบัติดีขึ้น แต่ถ้าผสมมากเกินไปฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะเปราะ ซึ่งจะมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งในฟิล์มพอลิเมอร์ที่ทำการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C

4.3.2 ร้อยละการดึงยืด (%Elongation at break)

ศึกษาอัตราส่วนของพอลิเมอร์และผลของเซรีซินที่มีผลต่อร้อยละการดึงยืด



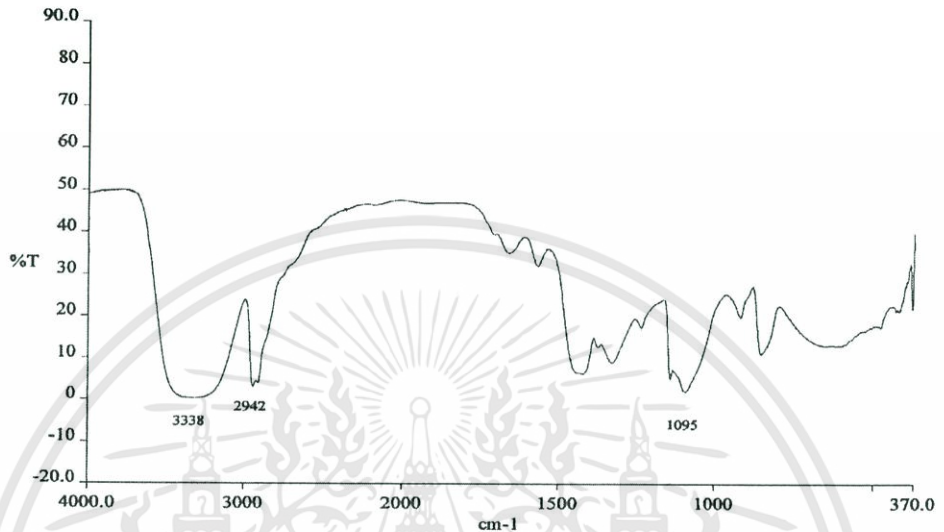
รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างฟิล์มพอลิเมอร์ที่ปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C กับร้อยละการดึงยืด

หมายเหตุ* เนื่องจากพอลิไวนิลไพโรลิโดนไม่สามารถตัดฟิล์มเป็นรูปคัมเบลได้เพราะมีความแผ่นฟิล์มที่ได้กรอบจึงไม่สามารถนำไปวัดสมบัติเชิงกลได้

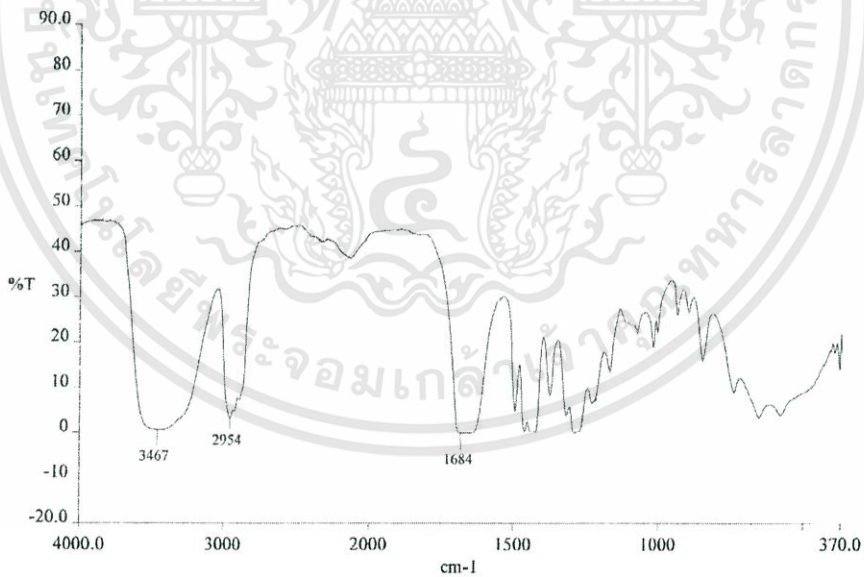
จากรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบฟิล์มพอลิเมอร์สูตรต่างๆ ที่ทำการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ 150 °C พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ทุกสูตรที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีร้อยละการดึงยึดน้อยกว่าฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เนื่องจากว่าโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในฟิล์มถูกระเหยออกไป ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้น มีผลทำให้ปริมาณสายโซ่อิสระของพอลิเมอร์ในแผ่นฟิล์มลดน้อยลง ดังนั้นค่าร้อยละการดึงยึดจึงลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับพอลิไวนิลไพโรลิโดน ในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 99:1 จะมีร้อยละการดึงยึดลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียว และร้อยละการดึงยึดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 1:1 จะมีค่าต่ำสุด เนื่องจากพอลิไวนิลไพโรลิโดนเมื่อเตรียมเป็นฟิล์มแล้วจะได้ฟิล์มที่มีลักษณะแข็งเปราะเมื่อนำไปผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะแข็งเปราะตามปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ผสมลงไป ถ้ามีปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดนมาก ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมก็จะมีลักษณะแข็งเปราะมาก และอาจเกิดจากการยึดติดกันไม่ดีของวัฏภาคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และวัฏภาคของพอลิไวนิลไพโรลิโดน ส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผสมเซริซินจะแนวโน้มของร้อยละการดึงยึดลดลง เนื่องจากเซริซินที่ผสมลงไปอาจจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างรอยต่อของวัฏภาคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิไวนิลไพโรลิโดน จึงทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของฟิล์มพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ และอาจเกิดจากการยึดติดกันไม่ดีของวัฏภาคของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และวัฏภาคของพอลิไวนิลไพโรลิโดนอีกด้วย

4.4. การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

Infrared absorption spectroscopy (IR)

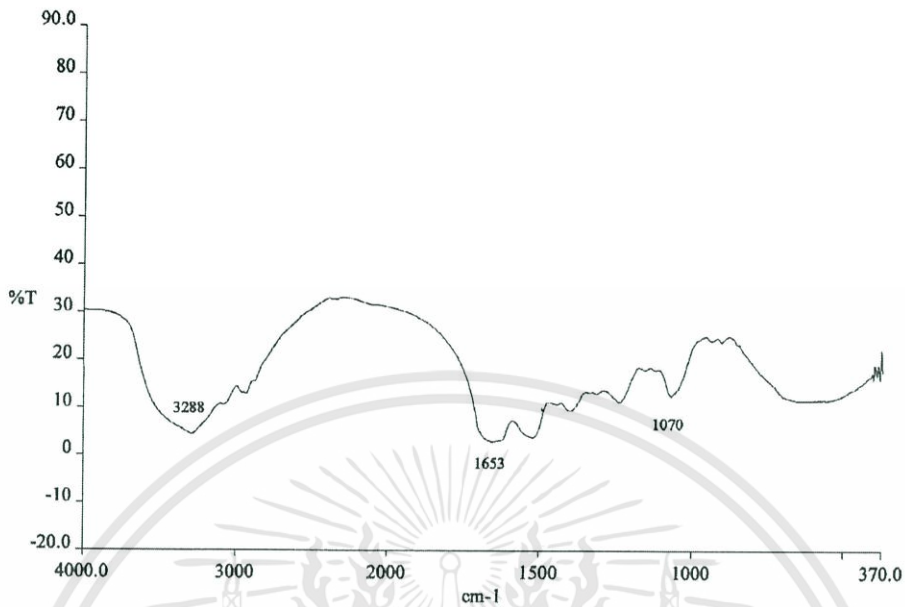


รูปที่ 4.62 สเปกตรัม IR ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างของ PVA



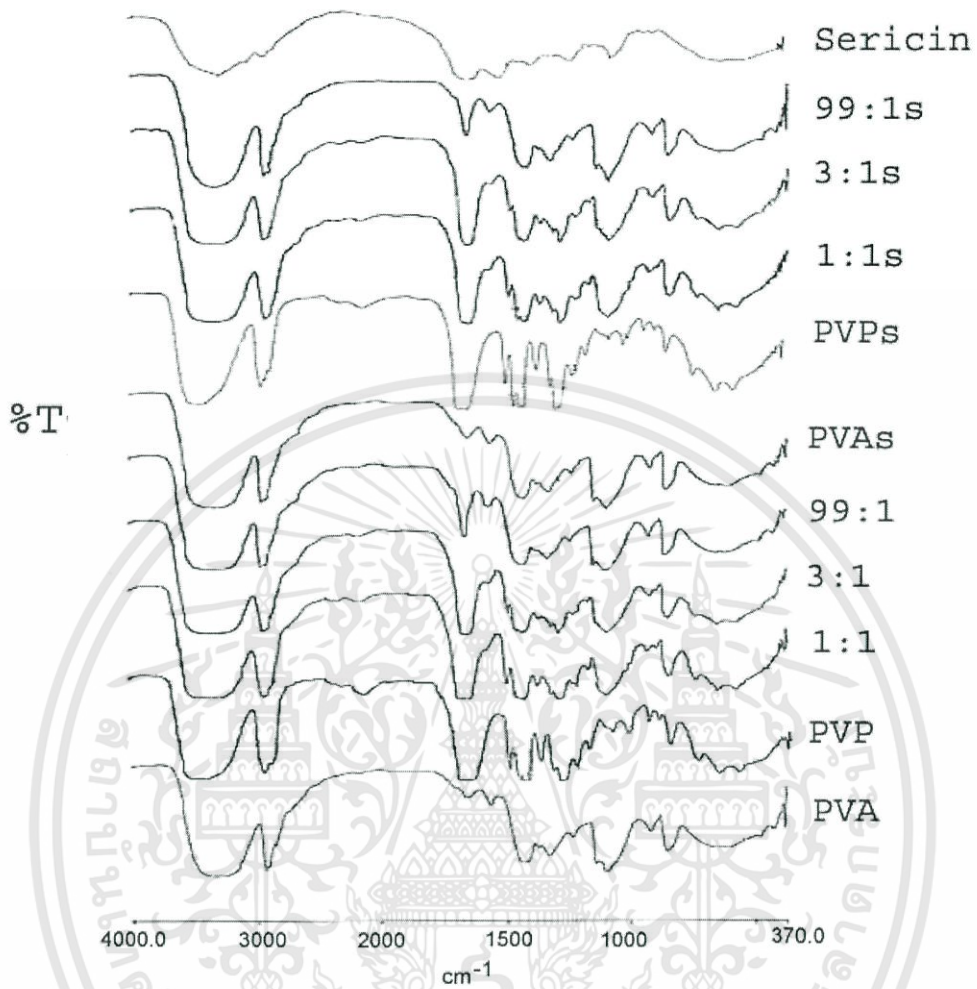
รูปที่ 4.63 สเปกตรัม IR ของแผ่นฟิล์มตัวอย่างของ PVP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.64 สเปกตรัม IR ของผง Sericin

จากรูป 4.62 พบว่าสเปกตรัมที่ได้จากฟิล์ม PVA เพียงอย่างเดียว จะมีพีกปรากฏขึ้นที่ประมาณ 1100 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ C—O stretching ที่เป็น secondary alcohol ส่วนที่ประมาณ $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ sat. C—H stretching และที่ประมาณ $3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ O—H stretching ซึ่งพีกที่ปรากฏนี้จะเป็นพีกหลักๆ ที่บอกถึงหมู่ฟังก์ชันของ PVA. จากรูปที่ 4.63 พบว่าสเปกตรัมที่ได้จาก PVP เพียงอย่างเดียว จะมีพีกปรากฏที่ประมาณ 1700 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ C=O stretching ส่วนที่ประมาณ $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ sat. C—H stretching และที่ตำแหน่งประมาณ $3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ จะเป็นของ N—H stretching แต่เนื่องจาก PVP เป็นพอลิเมอร์ที่ดูดน้ำได้ไวมากเมื่อนำฟิล์มพอลิเมอร์ของ PVP มาวัดสเปกตรัมอาจทำให้สเปกตรัมที่วัดได้เกิดพีกที่ตำแหน่งประมาณ $3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ O—H stretching ซึ่งพีกที่ตำแหน่งนี้จะไปซ้อนทับพีกของ N—H stretching ทำให้เห็นเป็นพีกของ O—H stretching. และจากรูปที่ 4.64 จะพบว่าสเปกตรัมที่ได้จากเซริซิน จะมีพีกปรากฏที่ตำแหน่งประมาณ 1100 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ C—O stretching ที่เป็น secondary alcohol ส่วนที่ประมาณ 1700 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ C=O และที่ประมาณ $3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ O—H stretching.



รูปที่ 4.65 สเปกตรัม IR ของพอลิเมอร์ทั้ง 11 สูตร

จากรูป 4.65 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบฟีก IR ของพอลิเมอร์ทั้ง 11 สูตร ดังแสดงในรูป จะพบว่าพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 1:1, 3:1, 99:1 เมื่อนำฟีกของพอลิเมอร์ทั้ง 3 สูตร มาเปรียบเทียบกับฟีกของ PVA และ PVP จะเห็นว่า สเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมทั้ง 3 สูตร จะปรากฏฟีกของ PVA และ PVP ในสเปกตรัมของพอลิเมอร์ทั้ง 3 สูตรนี้ โดยที่ตำแหน่งฟีกหลักของ PVA และ PVP ในพอลิเมอร์ทั้ง 3 สูตร จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนสเปกตรัมของ PVAs, PVPs, 1:1s, 3:1s และ 99:1s จะมีสเปกตรัมคล้ายกับ PVA, PVP, 1:1, 3:1 และ 99:1 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะสเปกตรัมของเซริซินจะมีตำแหน่งฟีกหลักใกล้เคียงกับของ PVA และ PVP และเซริซินถูกผสมลงไป ในอัตราส่วนที่น้อย ดังนั้นฟีกหลักของเซริซินจึงถูกฟีกของ PVA และ PVP บดบัง และจากการที่ตำแหน่งฟีกของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงสรุปได้ว่า PVA, PVP และ

เซรีชิน เมื่อผสมกันแล้วจะทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะไม่มีแรงกระทำทางเคมีซึ่งกันและกัน แต่จะยึดเกาะและเกี่ยวพันกันด้วยแรงทางกายภาพเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบของฟิล์มทั้ง 10 สูตร ที่มีองค์ประกอบและความแตกต่างทางการปรับสภาพด้วยความร้อนที่แตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นในช่วงโมเมนต์แรก หลังจากนั้นค่าการดูดซับน้ำจะค่อนข้างคงที่จนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 8 ชั่วโมง ยกเว้นฟิล์มของ PVP และ PVPs ที่ไม่สามารถวัดการดูดซับน้ำได้ เนื่องจากฟิล์มละลายหมดไปในชั่วโมงแรก
2. สามารถเรียงลำดับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำจากมากไปน้อยของฟิล์มทั้ง 4 สูตร ได้ดังนี้ ฟิล์ม 1:1 > ฟิล์ม 3:1 > ฟิล์ม 99:1 ~ ฟิล์ม PVA
3. เมื่อเปรียบเทียบฟิล์ม 2 ชุดระหว่างฟิล์มที่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบและไม่มีเซริซินเป็นองค์ประกอบ พบว่า ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มจะไม่ขึ้นกับเซริซินเพียงอย่างเดียว ยังขึ้นกับ 1) ชนิดและองค์ประกอบของฟิล์ม 2) ชนิดของสารละลายเกลือ 3) ความเข้มข้นของสารละลายเกลือด้วย
4. ค่าเปอร์เซ็นต์เจลของฟิล์มสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ ฟิล์มสูตร PVA > 99:1 > 3:1 > 1:1
5. ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงดึง ของฟิล์ม สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ ฟิล์ม PVA > ฟิล์ม 99:1 > ฟิล์ม 3:1 > ฟิล์ม 1:1
6. เซริซินที่เติมลงไปส่งผลให้ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงดึง ของฟิล์มลดลง
7. ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีการดูดซับน้ำ และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ลดลง แต่ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C
8. อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่า 222 °C อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของฟิล์ม PVA, PVAs, 99:1, 99:1s, 3:1, 3:1s, 1:1 และ 1:1s มีค่า 212 °C , 219 °C , 209 °C , 211 °C 204 °C , 206 °C 199 °C , และ 205 °C ตามลำดับซึ่งค่าที่วัดได้เปลี่ยนไปอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดนและผงเซริซิน ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) แต่ส่งผลต่อปริมาณของผลึก กล่าวคือ เมื่อปริมาณของพอลิไวนิลไพโรลิโดนเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของผลึกลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เมื่อนำฟิล์มทั้ง 10 สูตรไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่า อุณหภูมิการสลายตัว (T_d) ของฟิล์ม PVA มีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 302 °C และ 450 °C แผ่นฟิล์ม PVP สลายตัวที่อุณหภูมิ 457 °C ส่วนแผ่นฟิล์มผสมจะมีการสลายตัวสองขั้นตามปริมาณขององค์ประกอบหลักคือ PVP และ PVA และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มแต่ละสูตรที่เติมเซริซินและไม่เติมเซริซิน พบว่าเมื่อเติมเซริซินลงไปอุณหภูมิการสลายตัวจะลดลงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ สรุปได้ว่า ไม่มีผลกับอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม ซึ่งอาจเป็นเพราะเติมเซริซินเข้าไปในปริมาณที่น้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน
10. เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมต่างๆ สูตร กับสเปกตรัมของ PVA, PVP และเซริซิน เพียงอย่างเดียว พบว่า ตำแหน่งสเปกตรัมของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับสเปกตรัมของ PVA, PVP และเซริซิน เพียงอย่างเดียว แสดงว่า สายโซ่พอลิเมอร์ของ PVA, PVP และเซริซิน ไม่มีแรงกระทำทางเคมีซึ่งกันและกัน
11. ฟิล์มที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง คือ ฟิล์มที่มีองค์ประกอบของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิไวนิลไพโรลิโดนอยู่ในช่วงอัตราส่วน 3:1 หรือ 99:1 ที่ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C ทั้งนี้ควรพิจารณาถึงค่าการดูดซับน้ำ และความสามารถจึงฟิล์มเป็นสำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มวิธีอื่น เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม เช่น การใช้สารเคมี
2. ศึกษาสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิไวนิลไพโรลิโดน
3. ศึกษาความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มที่มีการเติมเซริซิน

เอกสารอ้างอิง

1. Wichterle, O. and Lim, K. 1962. **Nature**. 114: 185.
2. Goni, I.; et. al. 1989. Proceedings of international conference on recent developments. **Petrochemical and polymer technologies**. 12: s1-s6
3. Kazuo Yamaura; et. al. 1990. **Journal of Applied Polymer Science**. 41: 2409-2425.
4. Masuhiro Tsukada; Fiuliano and John S. Crighton. 1994. **Journal of Polymer Science: Part B**. 32: 243-248.
5. Yoshii, F.; et. al. 1995. Heat resistance poly(vinyl alcohol) hydrogel. **Radiation Physic and Chemistry**. 46(2): 169.
6. Rosiak, Janusz M. n.d. **Radiation Effect on Polymers**.
7. Mondino, A.V.; et. al. 1999. Physical properties of gamma irradiated poly(vinyl alcohol) hydrogel preparations. **Radiation physics and Chemistry**. 55: 723-726.
8. Giuliano Freddi; Masuhiro Tsukada and Silvia Beretta. 1999. **Journal of Applied Polymer Science**. 71: 1563.
9. สุมิตรา เกษมชัยนันท์ และสุรเกียรติ์ คำคา. 2542. การสังเคราะห์ไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิอะคริลิกแอซิด และทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมผงไหม. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
10. Kunya Tuntivisoottikul; Jintana Bunnak and TamiKazu Kume. 2001. **Minimum Inhibitory Concentration of Irradiated Silk Protein Powder for Bacterial Activity**.
11. <http://thesis.library.drexel.edu/archive/0000004>
12. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์. 2540. เคมีพอลิเมอร์ โครงการตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 261.
13. ชลลดา ฤทธิวีรุษ. 2545. เอกสารประกอบการเรียนวิชาพอลิเมอร์ผสม
14. <http://sysserver.library.drexel.edu/er/theses/thimas/ch6.pdf>.
15. มินากาวะ , โมโตอิ. 2530. วิทยาการไหม แปลโดย เข้มชัย เหมาะะจันทร์ และ เออิชิ คาวาอิ คณะกรรมการส่งเสริมไหมไทย กรมส่งเสริมการส่งออก. กรุงเทพฯ.
16. Polymer Handbook fourth Edition VII / 705 – VII / 711

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. [www.aaainternational.com / T / PVP . html](http://www.aaainternational.com/T/PVP.html)
18. Hydrogel: Spacially Plastics for Biomedical and Pharmaceutical Application. 2537. ห้องสมุดคณะเภสัชฯ สำนักหอสมุด มหาลัยมหิดล
19. Yu Qing Zhang. 2002. Application of natural silk protein sericin in biomaterials. **Biotechnology Advance.** 20: 91-100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 1 ค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มที่ทำกร Heat Treatment ที่ 100°C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.7290 | 0.9358 | 0.7350 | 0.7161 | 0.8564 | 0.8291 | 0.7311 | 0.7969 | 0.8892 | 0.7388 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.0928 | 0.1012 | 0.0992 | 0.1674 | 0.1476 | 0.2236 | 0.0973 | 0.1371 | 0.0984 | 0.0785 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.8218 | 1.0370 | 0.8342 | 0.8835 | 1.0040 | 1.0527 | 0.8284 | 0.9340 | 0.9876 | 0.8173 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 1.0338 | 1.2701 | 0.7578 | 0.8228 | 1.8006 | 2.2722 | 1.0868 | 1.3678 | 1.2092 | 1.0141 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 1.0266 | 1.2894 | 0.7534 | 0.6199 | 1.7255 | 2.0991 | 1.1189 | 1.3218 | 1.2235 | 1.0064 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 1.0298 | 1.2701 | 0.7481 | 0.6151 | 1.7852 | 1.9751 | 1.1209 | 1.3552 | 1.2335 | 1.0126 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 1.0135 | 1.2921 | 0.7423 | 0.6952 | 1.7241 | 2.0593 | 1.0361 | 1.3447 | 1.2477 | 1.0373 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 1.0167 | 1.2772 | 0.7425 | 0.7421 | 1.7359 | 1.9671 | 1.1094 | 1.3101 | 1.2225 | 1.0012 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 1.0380 | 1.2759 | 0.7488 | 0.7354 | 1.6317 | 1.8501 | 1.0880 | 1.2908 | 1.1942 | 0.9969 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 1.0135 | 1.3256 | 0.7451 | 0.7201 | 1.6196 | 1.9291 | 1.0748 | 1.3027 | 1.2019 | 1.0103 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 1.1130 | 1.0495 | 0.8106 | 0.7159 | 1.5198 | 1.0371 | 0.3604 | 0.4866 | 0.3269 | 0.2779 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 1.0129 | 1.2791 | 0.7519 | 0.7145 | 1.5496 | 1.7925 | 1.0622 | 1.2669 | 1.1802 | 0.9826 |

ตารางที่ 2 ค่าการดูดซึมน้ำของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 150 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.5740 | 0.5582 | 0.5565 | 0.5387 | 0.5947 | 0.6501 | 0.4572 | 0.6347 | 0.5968 | 0.5279 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.0822 | 0.1020 | 0.0763 | 0.0885 | 0.0979 | 0.1096 | 0.1353 | 0.1615 | 0.1252 | 0.1244 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.6562 | 0.6602 | 0.6328 | 0.6272 | 0.6926 | 0.7597 | 0.5925 | 0.7962 | 0.7220 | 0.6523 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 0.7694 | 0.7795 | 0.5777 | 0.6874 | 1.1090 | 1.0690 | 0.8354 | 1.1880 | 0.8711 | 0.7977 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 0.7714 | 0.7849 | 0.5626 | 0.5478 | 1.0103 | 1.0679 | 0.8618 | 1.0893 | 0.8703 | 0.7993 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 0.7674 | 0.7800 | 0.5672 | 0.5479 | 0.9968 | 1.0521 | 0.8346 | 1.0823 | 0.8724 | 0.7978 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 0.7616 | 0.7834 | 0.5685 | 0.5478 | 0.9991 | 1.0484 | 1.2877 | 1.0820 | 0.8749 | 0.8018 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 0.7651 | 0.7824 | 0.5676 | 0.5486 | 0.9917 | 1.0476 | 0.8410 | 1.0905 | 0.8720 | 0.8009 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 0.7707 | 0.7834 | 0.5662 | 0.5490 | 0.6349 | 0.6920 | 0.8362 | 1.0811 | 0.8734 | 0.7982 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 0.7611 | 0.7809 | 0.5650 | 0.5495 | 0.9878 | 1.0444 | 0.8395 | 1.0767 | 0.8740 | 0.7999 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 0.7612 | 0.7809 | 0.5663 | 0.5499 | 0.9891 | 1.0441 | 0.8397 | 1.0769 | 0.8742 | 0.7994 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 0.7629 | 0.7807 | 0.5634 | 0.5484 | 0.9605 | 1.0261 | 0.8306 | 1.0726 | 0.8691 | 0.8000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่าการดูดซึมน้ำในสารละลาย 0.5 % KI ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 100 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.7431 | 0.7079 | 0.5261 | 3.7541 | 0.7410 | 0.4741 | 0.6912 | 0.7366 | 0.8702 | 0.8629 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.1234 | 0.0917 | 0.1645 | 0.1229 | 0.0761 | 0.1881 | 0.1701 | 0.0971 | 0.1413 | 0.1372 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.8665 | 0.7996 | 0.6906 | 3.8770 | 0.8171 | 0.6622 | 0.8613 | 0.8337 | 1.0115 | 1.0001 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 1.0548 | 0.9592 | 0.5469 | 3.9286 | 1.1617 | 1.2876 | 1.2269 | 1.2031 | 1.2430 | 1.1841 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 1.0669 | 0.9594 | 0.5403 | 3.7568 | 1.1674 | 1.4423 | 1.2301 | 1.1800 | 1.2501 | 1.1884 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 1.0665 | 0.9579 | 0.5379 | 3.7594 | 1.1637 | 1.4406 | 1.2372 | 1.1773 | 1.2481 | 1.1904 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 1.0662 | 0.9631 | 0.5397 | 3.7564 | 1.1494 | 1.3968 | 1.2228 | 1.1646 | 1.2509 | 1.1936 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 1.0674 | 0.9585 | 0.5350 | 3.7578 | 1.1505 | 1.3774 | 1.2176 | 1.1607 | 1.2438 | 1.1867 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 1.0668 | 0.9634 | 0.5308 | 3.7579 | 1.1479 | 1.3616 | 1.2171 | 1.1554 | 1.2475 | 1.1920 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 1.0669 | 0.9622 | 0.5310 | 3.7583 | 1.1508 | 1.3631 | 1.2183 | 1.1526 | 1.2549 | 1.1912 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 1.0672 | 0.9610 | 0.5309 | 3.7581 | 1.1509 | 1.3552 | 1.2188 | 1.1531 | 1.2547 | 1.1921 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 1.0625 | 0.9618 | 0.5382 | 3.7680 | 1.1454 | 1.3508 | 1.2213 | 1.1434 | 1.2648 | 1.2103 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ค่าการดูดซึมน้ำในสารละลาย 0.5 % KI ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 150 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.5620 | 0.5457 | 0.5421 | 0.4226 | 0.5931 | 0.6330 | 0.4152 | 1.0606 | 0.4706 | 0.5928 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.0825 | 0.1499 | 0.0752 | 0.0660 | 0.1583 | 0.1104 | 0.1201 | 0.1651 | 0.1619 | 0.1510 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.6445 | 0.6956 | 0.6173 | 0.4886 | 0.7514 | 0.7434 | 0.5353 | 1.2257 | 0.6325 | 0.7438 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 0.7835 | 0.8838 | 0.5696 | 0.5448 | 1.4132 | 1.3126 | 0.9276 | 1.6521 | 0.8462 | 0.9211 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 0.7879 | 0.8939 | 0.5477 | 0.4298 | 1.3027 | 1.2326 | 0.8172 | 1.6453 | 0.8413 | 0.9285 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 0.7840 | 0.8928 | 0.5462 | 0.4313 | 1.2865 | 1.2324 | 0.8147 | 1.6646 | 0.8429 | 0.9281 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 0.7808 | 0.8936 | 0.5453 | 0.4238 | 1.2708 | 1.2072 | 0.8066 | 1.5987 | 0.8397 | 0.9261 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 0.7853 | 0.8934 | 0.5448 | 0.4235 | 1.2608 | 1.1994 | 0.8085 | 1.6282 | 0.8397 | 0.9254 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 0.7761 | 0.8918 | 0.5459 | 0.4237 | 1.2508 | 1.1908 | 0.8016 | 1.6240 | 0.8429 | 0.9247 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 0.7816 | 0.8927 | 0.5439 | 0.4231 | 1.2505 | 1.1905 | 0.8050 | 1.6104 | 0.8429 | 0.9320 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 0.7814 | 0.8947 | 0.5442 | 0.4244 | 1.2503 | 1.1904 | 0.8051 | 1.6103 | 0.8397 | 0.9318 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 0.7779 | 0.8943 | 0.5429 | 0.4253 | 1.2103 | 1.1588 | 0.7931 | 1.5939 | 0.8381 | 0.9287 |

ตารางที่ 5 ค่าการดูดซึมน้ำในสารละลาย 1.5 % KI ของฟิล์มที่ทำกร Heat Treatment ที่ 100 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.8589 | 0.8627 | 0.9107 | 0.6880 | 0.7754 | 0.7275 | 0.7901 | 0.7574 | 0.8264 | 0.7581 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.1138 | 0.1358 | 0.1461 | 0.1524 | 0.1043 | 0.1535 | 0.1337 | 0.0746 | 0.0924 | 0.1547 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.9727 | 0.9985 | 1.0568 | 0.8404 | 0.8797 | 0.8810 | 0.9238 | 0.8320 | 0.9188 | 0.9128 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 1.1917 | 1.2064 | 0.9307 | 0.9652 | 1.4592 | 1.6753 | 1.2062 | 1.2145 | 1.1921 | 1.1390 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 1.1926 | 1.2106 | 0.9591 | 0.6992 | 1.4181 | 1.6139 | 1.2153 | 1.1991 | 1.1955 | 1.1434 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 1.1913 | 1.2214 | 0.9262 | 0.6895 | 1.4046 | 1.3116 | 1.2092 | 1.1900 | 1.1844 | 1.1437 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 1.1957 | 1.2103 | 0.9280 | 0.6921 | 1.3908 | 1.5611 | 1.2067 | 1.1824 | 1.1844 | 1.1445 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 1.1898 | 1.2082 | 0.9249 | 0.6542 | 1.3827 | 1.5614 | 1.2062 | 1.1787 | 1.1846 | 1.1472 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 1.1902 | 1.2086 | 0.9238 | 0.6678 | 1.3837 | 1.5437 | 1.2161 | 1.1711 | 1.1810 | 1.1559 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 1.2065 | 1.2099 | 0.9335 | 0.6900 | 1.3886 | 1.5553 | 1.2115 | 1.1853 | 1.1731 | 1.1517 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 1.2243 | 1.2111 | 1.1397 | 0.6895 | 1.3887 | 1.5559 | 1.2112 | 1.1884 | 1.1729 | 1.1525 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 1.2243 | 1.2179 | 0.9436 | 0.6866 | 1.3890 | 1.5704 | 1.2207 | 1.1724 | 1.2079 | 1.1723 |

ตารางที่ 6 ค่าการดูดซึมน้ำในสารละลาย 1.5 % KI ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 150 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.6474 | 0.5927 | 0.5803 | 0.5353 | 0.5248 | 0.7585 | 0.5383 | 0.4089 | 0.3928 | 0.8672 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.1021 | 0.0911 | 0.0552 | 0.0759 | 0.1143 | 0.1138 | 0.1412 | 0.1490 | 0.0838 | 0.1243 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.7495 | 0.6838 | 0.6355 | 0.6112 | 0.6391 | 0.8723 | 0.6795 | 0.5579 | 0.4766 | 0.9915 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 0.8916 | 0.8093 | 0.5986 | 0.6715 | 1.1450 | 1.3854 | 0.9411 | 0.8288 | 0.6159 | 1.1808 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 0.8871 | 0.8057 | 0.5903 | 0.5464 | 1.0581 | 1.3363 | 0.9432 | 0.8243 | 0.6132 | 1.1859 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 0.8838 | 0.8048 | 0.5895 | 0.5424 | 1.0573 | 1.3228 | 0.9386 | 0.8251 | 0.6163 | 1.1889 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 0.8783 | 0.8002 | 0.5889 | 0.5360 | 1.0449 | 1.2998 | 0.9453 | 0.8305 | 0.6051 | 1.1751 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 0.8768 | 0.8021 | 0.5878 | 0.5371 | 1.0414 | 1.3002 | 0.9430 | 0.8182 | 0.6121 | 1.1791 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 0.8784 | 0.8007 | 0.5891 | 0.5374 | 1.0373 | 1.2991 | 0.9432 | 0.8156 | 0.6109 | 1.1760 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 0.9424 | 0.8026 | 0.5904 | 0.5361 | 1.0326 | 1.3012 | 0.9484 | 0.8182 | 0.6116 | 1.1822 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 0.8766 | 0.6214 | 0.5901 | 0.5358 | 1.0248 | 1.3006 | 0.9483 | 0.8141 | 0.6115 | 1.1827 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 0.8779 | 0.8078 | 0.5916 | 0.5364 | 1.0110 | 1.2711 | 0.9353 | 0.8131 | 0.6116 | 1.1840 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5 %MgCl₂ ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 100 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.5828 | 0.7118 | 0.6108 | 0.4087 | 0.4192 | 0.7601 | 0.8350 | 0.7767 | 0.6794 | 0.8686 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.1122 | 0.1184 | 0.1964 | 0.1130 | 0.1615 | 0.2489 | 0.1132 | 0.1369 | 0.1204 | 0.1457 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.6950 | 0.8302 | 0.8072 | 0.5217 | 0.5807 | 1.0090 | 0.9482 | 0.9136 | 0.7998 | 1.0143 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 0.9199 | 1.0732 | 0.6781 | 0.5270 | 1.2486 | 1.8302 | 1.3206 | 1.3945 | 1.0514 | 1.2257 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 0.9550 | 1.0940 | 0.6192 | 0.4462 | 1.1890 | 1.8590 | 1.2609 | 1.3818 | 1.0814 | 1.1422 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 0.9284 | 1.0808 | 0.6117 | 0.4541 | 1.1489 | 1.8618 | 1.2671 | 1.3679 | 1.0381 | 1.1327 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 1.0092 | 1.0770 | 0.6126 | 0.4241 | 1.1578 | 1.8578 | 1.2590 | 1.3526 | 1.0134 | 1.1351 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 0.9537 | 1.0773 | 0.6137 | 0.4393 | 1.1896 | 1.8650 | 1.2567 | 1.3373 | 1.0255 | 1.1463 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 0.9351 | 1.0734 | 0.6125 | 0.4343 | 1.1431 | 1.8350 | 1.2414 | 1.3252 | 0.9999 | 1.1222 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 0.9216 | 1.0673 | 0.6115 | 0.4222 | 1.1323 | 1.8385 | 1.2358 | 1.3280 | 1.0513 | 1.1219 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 0.9311 | 1.0753 | 0.6113 | 0.4384 | 1.0910 | 1.8396 | 1.2394 | 1.2371 | 1.0485 | 1.2076 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 0.9513 | 1.0553 | 0.6127 | 0.4167 | 1.0594 | 1.7846 | 1.2330 | 1.2903 | 0.9992 | 1.1275 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5 %MgCl₂ ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 150 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.8938 | 0.8778 | 1.0635 | 0.8869 | 0.7551 | 0.9997 | 0.6445 | 0.8866 | 0.8292 | 0.7590 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.0984 | 0.1084 | 0.0745 | 0.1019 | 0.1006 | 0.1004 | 0.1220 | 0.0838 | 0.1157 | 0.0749 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.9922 | 0.9862 | 1.1380 | 0.9888 | 0.8557 | 1.1001 | 0.7665 | 0.9704 | 0.9449 | 0.8339 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 1.1126 | 1.1145 | 1.0800 | 1.0112 | 1.2907 | 1.4349 | 1.0002 | 1.1642 | 1.1002 | 0.9493 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 1.1191 | 1.1218 | 1.0749 | 0.9423 | 1.2468 | 1.4495 | 1.0099 | 1.1819 | 1.1069 | 0.9582 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 1.1177 | 1.1234 | 1.0859 | 0.9284 | 1.2243 | 1.4377 | 1.0121 | 1.1755 | 1.1094 | 0.9530 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 1.1107 | 1.1151 | 1.0777 | 0.9101 | 1.2165 | 1.4328 | 1.0010 | 1.1612 | 1.1068 | 0.9458 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 1.1121 | 1.1179 | 1.0746 | 0.9034 | 1.2058 | 1.4218 | 1.0043 | 1.1615 | 1.1030 | 0.9401 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 1.1084 | 1.1164 | 1.0733 | 0.9067 | 1.2107 | 1.4375 | 0.9980 | 1.1523 | 1.1065 | 0.9431 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 1.1074 | 1.1131 | 1.0710 | 0.9040 | 1.2076 | 1.4180 | 0.9962 | 1.1503 | 1.1050 | 0.9413 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 1.1139 | 1.1126 | 1.0699 | 0.9037 | 1.2049 | 1.4104 | 0.9960 | 1.1583 | 1.1027 | 0.9410 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 1.1152 | 1.1215 | 1.0738 | 0.8997 | 1.1842 | 1.3839 | 0.9870 | 1.1403 | 1.0940 | 0.9416 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5 %MgCl₂ ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 100 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.4224 | 0.8339 | 0.4151 | 0.8601 | 0.8728 | 0.8985 | 0.8832 | 1.0699 | 0.6857 | 0.7674 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.0930 | 0.1441 | 0.1788 | 0.1287 | 0.1758 | 0.2076 | 0.1422 | 0.1465 | 0.1338 | 0.1259 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.5154 | 0.9780 | 0.5939 | 0.9888 | 1.0486 | 1.1061 | 1.0254 | 1.2164 | 0.8195 | 0.8933 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 0.7185 | 1.2445 | 0.4916 | 1.2225 | 2.0034 | 1.8942 | 1.3378 | 1.6584 | 1.0102 | 1.1126 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 0.7950 | 1.2324 | 0.4445 | 1.0027 | 1.8977 | 1.8696 | 1.3530 | 1.6485 | 1.0155 | 1.0955 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 0.7782 | 1.1661 | 0.4412 | 0.9015 | 1.8840 | 1.8592 | 1.3617 | 1.6575 | 1.0130 | 1.1035 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 0.7733 | 1.2203 | 0.4331 | 0.8736 | 1.8297 | 1.8487 | 1.3438 | 1.6374 | 1.0343 | 1.0837 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 0.7828 | 1.1909 | 0.4324 | 0.8823 | 1.8251 | 1.8389 | 1.3665 | 1.6421 | 1.0211 | 1.0855 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 0.7745 | 1.1870 | 0.4279 | 0.8762 | 1.8207 | 1.8149 | 1.3420 | 1.6267 | 1.0195 | 1.0754 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 0.7577 | 1.2146 | 0.4351 | 0.9794 | 1.8077 | 1.8227 | 1.3624 | 1.6219 | 1.0151 | 1.0790 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 0.7748 | 1.1947 | 0.4427 | 0.8824 | 1.7868 | 1.8650 | 1.3588 | 1.6161 | 1.0119 | 1.0837 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 0.7692 | 1.1827 | 0.4268 | 0.8701 | 1.7118 | 1.7454 | 1.3153 | 1.5861 | 1.0116 | 1.0748 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 การดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5 %MgCl ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 150 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.9270 | 1.1199 | 0.5404 | 0.6838 | 1.0292 | 0.8707 | 0.5755 | 0.6080 | 0.8297 | 0.8783 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.1256 | 0.1188 | 0.1065 | 0.1026 | 0.0722 | 0.0681 | 0.1469 | 0.1018 | 0.0916 | 0.1160 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 1.0526 | 1.2387 | 0.6469 | 0.7864 | 1.1014 | 0.9388 | 0.7224 | 0.7098 | 0.9213 | 0.9943 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 1.2161 | 1.4026 | 0.5896 | 0.9094 | 1.4197 | 1.2225 | 0.9553 | 0.9285 | 1.0839 | 1.1435 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 1.2164 | 1.3919 | 0.5598 | 0.7078 | 1.4058 | 1.2433 | 0.9635 | 0.9320 | 1.0599 | 1.1471 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 1.2378 | 1.3943 | 0.5565 | 0.7122 | 1.3907 | 1.2324 | 0.9777 | 0.9329 | 1.0701 | 1.1505 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 1.2307 | 1.3955 | 0.5515 | 0.7047 | 1.3766 | 1.2180 | 0.9650 | 0.9261 | 1.0671 | 1.1373 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 1.2171 | 1.3979 | 0.5491 | 0.6970 | 1.3752 | 1.2050 | 0.9643 | 0.9206 | 1.0611 | 1.1375 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 1.2225 | 1.3967 | 0.5495 | 0.6981 | 1.3688 | 1.2085 | 0.9739 | 0.9289 | 1.0653 | 1.1390 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 1.2198 | 1.3931 | 0.5482 | 0.6973 | 1.3677 | 1.2061 | 0.9727 | 0.9263 | 1.0616 | 1.1369 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 1.2190 | 1.3964 | 0.5474 | 0.6934 | 1.3562 | 1.2063 | 0.9749 | 0.9234 | 1.0514 | 1.1357 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 1.2191 | 1.3895 | 0.5473 | 0.6915 | 1.3450 | 1.1866 | 0.9514 | 0.9095 | 1.0451 | 1.1318 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 4 ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 100 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.7584 | 0.8866 | 0.8709 | 0.5780 | 0.9034 | 0.5755 | 0.4174 | 0.5464 | 0.8635 | 0.6105 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.1877 | 0.1213 | 0.0663 | 0.1012 | 0.1518 | 0.1397 | 0.2196 | 0.0973 | 0.1054 | 0.1060 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.9461 | 1.0079 | 0.9372 | 0.6792 | 1.0552 | 0.7152 | 0.6370 | 0.6437 | 0.9689 | 0.7165 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 1.1894 | 1.2589 | 0.8947 | 0.6367 | 1.7542 | 1.3450 | 0.9835 | 0.8496 | 1.1497 | 0.8952 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 1.1969 | 1.2476 | 0.8915 | 0.5886 | 1.6859 | 1.2964 | 0.9965 | 0.9330 | 1.1465 | 0.8760 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 1.235 | 1.2663 | 0.9045 | 0.5911 | 1.7021 | 1.2808 | 1.0155 | 0.9324 | 1.1514 | 0.8903 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 1.2209 | 1.2477 | 0.8963 | 0.6041 | 1.6844 | 1.2705 | 1.0257 | 0.9321 | 1.1583 | 0.8897 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 1.2061 | 1.2380 | 0.8887 | 0.5895 | 1.6525 | 1.2619 | 1.0132 | 0.9211 | 1.1557 | 0.8813 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 1.2014 | 1.2182 | 0.8907 | 0.5858 | 1.5420 | 1.2464 | 1.0244 | 0.9161 | 1.1548 | 0.8777 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 1.2024 | 1.2151 | 0.8942 | 0.5817 | 1.6391 | 1.2351 | 1.0171 | 0.9152 | 1.1457 | 0.8812 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 1.2005 | 1.2062 | 0.8908 | 0.5819 | 1.6399 | 1.2307 | 1.0184 | 0.9149 | 1.1436 | 0.8806 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 1.202 | 1.2600 | 0.8809 | 0.5799 | 1.5635 | 1.1887 | 1.0021 | 0.8812 | 1.1419 | 0.8705 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 4 ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 150 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.7579 | 0.8341 | 0.5806 | 0.5235 | 0.7740 | 0.6510 | 0.4215 | 0.5367 | 0.8852 | 0.5744 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.1287 | 0.0499 | 0.0714 | 0.0786 | 0.1302 | 0.1217 | 0.1539 | 0.1786 | 0.0543 | 0.0928 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.8866 | 0.8840 | 0.6520 | 0.6021 | 0.9042 | 0.7727 | 0.5754 | 0.7153 | 0.9395 | 0.6672 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 1.0882 | 1.0050 | 0.5951 | 0.6632 | 1.4353 | 1.3283 | 0.8562 | 1.0811 | 1.0571 | 0.8085 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 1.0942 | 0.9995 | 0.5885 | 0.5347 | 1.3870 | 1.2700 | 0.8632 | 1.0177 | 1.0578 | 0.8068 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 1.0953 | 1.0104 | 0.6077 | 0.5406 | 1.3815 | 1.2669 | 0.8768 | 1.0487 | 1.0784 | 0.8160 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 1.102 | 1.0077 | 0.5962 | 0.5366 | 1.3734 | 1.2350 | 0.8690 | 1.0309 | 1.0571 | 0.8127 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 1.0931 | 0.9999 | 0.5928 | 0.5337 | 1.3634 | 1.2384 | 0.8659 | 1.0306 | 1.0566 | 0.8099 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 1.0919 | 0.9881 | 0.5907 | 0.5328 | 1.3500 | 1.2210 | 0.8618 | 1.0287 | 1.0526 | 0.8065 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 1.0893 | 0.9877 | 0.5872 | 0.5335 | 1.3443 | 1.2188 | 0.8622 | 1.0296 | 1.0536 | 0.8077 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 1.0893 | 0.9873 | 0.5865 | 0.5298 | 1.3441 | 1.2211 | 0.8619 | 1.0297 | 1.0532 | 0.8075 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 1.0792 | 0.9801 | 0.5851 | 0.5266 | 1.2903 | 1.1672 | 0.8522 | 1.0205 | 1.0436 | 0.7993 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 9 ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 100 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.6468 | 0.4081 | 0.5274 | 0.8541 | 0.7546 | 0.6345 | 0.6796 | 0.8929 | 0.9881 | 0.6446 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.0972 | 0.0606 | 0.0842 | 0.1026 | 0.0741 | 0.1162 | 0.1701 | 0.1184 | 0.0554 | 0.1629 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.7440 | 0.4687 | 0.6116 | 0.9567 | 0.8287 | 0.7507 | 0.8497 | 1.0113 | 1.0435 | 0.8075 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 0.9256 | 0.6079 | 0.5433 | 0.9891 | 1.3887 | 1.3065 | 1.1592 | 1.3861 | 1.2262 | 1.1386 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 0.9198 | 0.6028 | 0.5426 | 0.8760 | 1.3555 | 1.2763 | 1.1685 | 1.3546 | 1.2193 | 1.1501 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 0.9356 | 0.6076 | 0.5427 | 0.8855 | 0.8142 | 1.2564 | 1.1785 | 1.3758 | 1.2266 | 1.1783 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 0.9363 | 0.6187 | 0.5382 | 0.8953 | 1.3460 | 1.2410 | 1.2013 | 1.3780 | 1.2177 | 1.1686 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 0.9197 | 0.5996 | 0.5388 | 0.8679 | 1.3313 | 1.2214 | 1.1695 | 1.3495 | 1.2094 | 1.1540 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 0.9183 | 0.5944 | 0.5364 | 0.8683 | 1.3249 | 1.2145 | 1.1738 | 1.3565 | 1.2028 | 1.1537 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 0.9190 | 0.5941 | 0.5361 | 0.8670 | 1.3307 | 1.2153 | 1.1691 | 1.3416 | 1.2095 | 1.1555 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 0.9189 | 0.5943 | 0.5362 | 0.8658 | 1.3246 | 1.2156 | 1.1689 | 1.3411 | 1.2091 | 1.1545 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 0.8984 | 0.5882 | 0.5386 | 0.8738 | 1.1667 | 1.1576 | 1.1553 | 1.3088 | 1.1826 | 1.1418 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 9 ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 150 °C

| น้ำหนัก(กรัม) | PVA | PVAs | PVP | PVPs | 1*1 | 1*1s | 3*1 | 3*1s | 99*1 | 99*1s |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| น้ำหนักตะแกรง | 0.5607 | 0.8690 | 0.5918 | 0.5578 | 1.0632 | 1.0284 | 0.5378 | 0.9615 | 0.5609 | 0.7097 |
| ฟิล์มแห้ง | 0.0795 | 0.0852 | 0.0699 | 0.0796 | 0.1095 | 0.1252 | 0.1776 | 0.1103 | 0.0833 | 0.0949 |
| ชั่วโมงที่ 0 | 0.6402 | 0.9542 | 0.6617 | 0.6374 | 1.1727 | 1.1536 | 0.7154 | 1.0718 | 0.6442 | 0.8046 |
| ชั่วโมงที่ 1 | 0.792 | 1.1197 | 0.6119 | 0.6688 | 1.6624 | 1.6911 | 1.0323 | 1.4477 | 0.7877 | 0.9796 |
| ชั่วโมงที่ 2 | 0.8902 | 1.1230 | 0.6030 | 0.5668 | 1.6406 | 1.6401 | 1.0417 | 1.4034 | 0.7829 | 0.9755 |
| ชั่วโมงที่ 3 | 0.7969 | 1.1200 | 0.6207 | 0.5675 | 1.6189 | 1.6339 | 1.0534 | 1.3867 | 0.7839 | 0.9726 |
| ชั่วโมงที่ 4 | 0.7924 | 1.1179 | 0.6159 | 0.5710 | 1.6267 | 1.6301 | 1.0395 | 1.3782 | 0.7844 | 0.9775 |
| ชั่วโมงที่ 5 | 0.796 | 1.1175 | 0.6045 | 0.5706 | 1.6063 | 1.6222 | 1.0415 | 1.3752 | 0.7851 | 0.9783 |
| ชั่วโมงที่ 6 | 0.785 | 1.1167 | 0.6044 | 0.5675 | 1.6000 | 1.6144 | 1.0442 | 1.3633 | 0.7849 | 0.9787 |
| ชั่วโมงที่ 7 | 0.7842 | 1.1188 | 0.6050 | 0.5664 | 1.5911 | 1.6055 | 1.0397 | 1.3831 | 0.7841 | 0.9779 |
| ชั่วโมงที่ 8 | 0.7847 | 1.1182 | 0.6030 | 0.5659 | 1.5907 | 1.6064 | 1.0400 | 1.3723 | 0.7840 | 0.9770 |
| ชั่วโมงที่ 24 | 0.8088 | 1.0911 | 0.5945 | 0.5679 | 1.5424 | 1.5456 | 1.0252 | 1.3311 | 0.7724 | 0.9480 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 % การดูดซับน้ำของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 100°C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 235 | 227 | 231 | 213 | 216 | 240 | 213 | 216 | 212 |
| PVAs | 240 | 249 | 230 | 252 | 237 | 236 | 285 | 214 | 239 |
| 1*1 | 540 | 489 | 529 | 488 | 496 | 425 | 417 | 429 | 370 |
| 1*1s | 545 | 468 | 413 | 450 | 409 | 357 | 392 | 364 | 331 |
| 3*1 | 266 | 299 | 301 | 275 | 289 | 267 | 253 | 270 | 240 |
| 3*1s | 316 | 283 | 307 | 300 | 274 | 260 | 269 | 255 | 250 |
| 99*1 | 225 | 239 | 250 | 264 | 239 | 211 | 218 | 232 | 196 |
| 99*1s | 251 | 241 | 249 | 280 | 234 | 229 | 246 | 254 | 211 |

ตารางที่ 16 % การดูดซับน้ำของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ 150°C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 138 | 140 | 135 | 128 | 132 | 139 | 128 | 127 | 129 |
| PVAs | 117 | 122 | 117 | 120 | 119 | 120 | 118 | 118 | 118 |
| 1*1 | 425 | 325 | 311 | 313 | 306 | 311 | 302 | 303 | 274 |
| 1*1s | 282 | 281 | 266 | 263 | 262 | 266 | 259 | 259 | 243 |
| 3*1 | 180 | 199 | 179 | 181 | 183 | 180 | 182 | 183 | 176 |
| 3*1s | 242 | 181 | 176 | 176 | 182 | 176 | 173 | 173 | 170 |
| 99*1 | 119 | 118 | 120 | 122 | 120 | 121 | 121 | 122 | 116 |
| 99*1s | 116 | 118 | 116 | 120 | 119 | 117 | 118 | 118 | 118 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 % การดูดซึมน้ำในสารละลาย 0.5 % KI ของฟิล์มที่ทำการ
Heat Treatment ที่ 100 °C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 153 | 162 | 162 | 162 | 163 | 162 | 162 | 163 | 167 |
| PVAs | 174 | 174 | 172 | 178 | 173 | 178 | 177 | 176 | 176 |
| 1*1 | 453 | 460 | 455 | 437 | 438 | 435 | 439 | 439 | 431 |
| 1*1s | 332 | 414 | 413 | 390 | 380 | 371 | 372 | 372 | 366 |
| 3*1 | 215 | 217 | 221 | 213 | 209 | 209 | 210 | 210 | 212 |
| 3*1s | 380 | 356 | 353 | 340 | 336 | 331 | 328 | 328 | 318 |
| 99*1 | 164 | 169 | 167 | 169 | 164 | 167 | 172 | 172 | 179 |
| 99*1s | 134 | 137 | 138 | 141 | 136 | 139 | 139 | 139 | 153 |

ตารางที่ 18 % การดูดซึมน้ำในสารละลาย 0.5 % KI ของฟิล์มที่ทำการ
Heat Treatment ที่ 150 °C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 168 | 173 | 169 | 165 | 170 | 159 | 166 | 165 | 161 |
| PVAs | 125 | 132 | 131 | 132 | 131 | 130 | 131 | 131 | 132 |
| 1*1 | 418 | 348 | 338 | 328 | 321 | 315 | 315 | 305 | 290 |
| 1*1s | 515 | 443 | 442 | 420 | 413 | 405 | 404 | 403 | 376 |
| 3*1 | 326 | 234 | 232 | 225 | 227 | 221 | 224 | 226 | 214 |
| 3*1s | 258 | 254 | 265 | 225 | 243 | 241 | 233 | 231 | 223 |
| 99*1 | 132 | 129 | 130 | 128 | 128 | 130 | 130 | 128 | 127 |
| 99*1s | 117 | 122 | 122 | 120 | 120 | 119 | 124 | 123 | 122 |

ตารางที่ 19 % การดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5 % KI ของฟิล์มที่ทำการ
Heat Treatment ที่ 150 °C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 192 | 193 | 192 | 195 | 190 | 191 | 205 | 221 | 221 |
| PVAs | 153 | 156 | 164 | 155 | 154 | 154 | 155 | 156 | 161 |
| 1*1 | 555 | 516 | 503 | 490 | 482 | 483 | 487 | 488 | 488 |
| 1*1s | 517 | 477 | 456 | 443 | 443 | 431 | 439 | 439 | 449 |
| 3*1 | 211 | 218 | 213 | 211 | 211 | 218 | 215 | 214 | 222 |
| 3*1s | 512 | 492 | 479 | 469 | 464 | 454 | 476 | 477 | 456 |
| 99*1 | 295 | 299 | 287 | 287 | 287 | 283 | 275 | 275 | 312 |
| 99*1s | 146 | 149 | 149 | 149 | 151 | 157 | 154 | 154 | 167 |

ตารางที่ 20 % การดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5 % KI ของฟิล์มที่ทำการ
Heat Treatment ที่ 100 °C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 139 | 134 | 131 | 126 | 124 | 126 | 124 | 123 | 125 |
| PVAs | 137 | 133 | 132 | 127 | 129 | 128 | 130 | 133 | 136 |
| 1*1 | 442 | 366 | 365 | 355 | 351 | 348 | 344 | 340 | 325 |
| 1*1s | 450 | 407 | 392 | 375 | 376 | 375 | 376 | 370 | 350 |
| 3*1 | 185 | 186 | 183 | 188 | 186 | 186 | 190 | 191 | 181 |
| 3*1s | 181 | 178 | 179 | 182 | 174 | 172 | 174 | 173 | 171 |
| 99*1 | 166 | 163 | 166 | 153 | 161 | 160 | 161 | 161 | 161 |
| 99*1s | 152 | 156 | 158 | 147 | 150 | 148 | 153 | 154 | 154 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 21 % การดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ $100\text{ }^{\circ}C$

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 200 | 231 | 208 | 280 | 230 | 213 | 201 | 210 | 228 |
| PVAs | 205 | 222 | 211 | 208 | 208 | 205 | 200 | 207 | 190 |
| 1*1 | 413 | 376 | 351 | 357 | 377 | 348 | 341 | 315 | 296 |
| 1*1s | 329 | 341 | 342 | 341 | 343 | 331 | 333 | 333 | 311 |
| 3*1 | 329 | 276 | 281 | 274 | 272 | 259 | 254 | 257 | 251 |
| 3*1s | 349 | 342 | 331 | 320 | 309 | 300 | 302 | 236 | 275 |
| 99*1 | 209 | 233 | 197 | 177 | 187 | 166 | 208 | 240 | 165 |
| 99*1s | 145 | 87 | 81 | 82 | 90 | 74 | 73 | 73 | 77 |

ตารางที่ 22 % การดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ $150\text{ }^{\circ}C$

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 122 | 128 | 127 | 120 | 121 | 118 | 117 | 123 | 125 |
| PVAs | 118 | 125 | 126 | 118 | 121 | 120 | 117 | 116 | 124 |
| 1*1 | 432 | 388 | 366 | 358 | 348 | 352 | 349 | 347 | 326 |
| 1*1s | 333 | 348 | 336 | 331 | 320 | 336 | 316 | 309 | 282 |
| 3*1 | 191 | 199 | 201 | 192 | 194 | 189 | 188 | 188 | 180 |
| 3*1s | 231 | 252 | 244 | 227 | 228 | 217 | 214 | 212 | 202 |
| 99*1 | 134 | 140 | 142 | 139 | 136 | 139 | 138 | 136 | 128 |
| 99*1s | 154 | 165 | 159 | 149 | 141 | 145 | 143 | 142 | 143 |

ตารางที่ 23 % การดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ $100\text{ }^{\circ}C$

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 218 | 300 | 282 | 277 | 287 | 278 | 260 | 278 | 272 |
| PVAs | 184 | 176 | 130 | 168 | 148 | 145 | 164 | 150 | 142 |
| 1*1 | 543 | 482 | 475 | 444 | 441 | 439 | 431 | 418 | 434 |
| 1*1s | 379 | 367 | 362 | 357 | 352 | 341 | 345 | 365 | 307 |
| 3*1 | 219 | 230 | 236 | 223 | 239 | 222 | 236 | 234 | 203 |
| 3*1s | 301 | 294 | 301 | 287 | 290 | 280 | 276 | 272 | 252 |
| 99*1 | 142 | 146 | 144 | 147 | 150 | 149 | 146 | 143 | 143 |
| 99*1s | 174 | 160 | 166 | 151 | 152 | 144 | 147 | 151 | 144 |

ตารางที่ 24 % การดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5 % $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment ที่ $150\text{ }^{\circ}C$

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 130 | 130 | 147 | 149 | 130 | 135 | 133 | 132 | 132 |
| PVAs | 138 | 129 | 131 | 132 | 134 | 133 | 130 | 133 | 134 |
| 1*1 | 440 | 421 | 400 | 381 | 379 | 370 | 368 | 352 | 337 |
| 1*1s | 416 | 447 | 431 | 409 | 390 | 396 | 392 | 392 | 363 |
| 3*1 | 158 | 164 | 173 | 165 | 164 | 171 | 170 | 171 | 155 |
| 3*1s | 214 | 218 | 219 | 212 | 207 | 215 | 212 | 209 | 196 |
| 99*1 | 177 | 151 | 162 | 159 | 152 | 157 | 153 | 142 | 135 |
| 99*1s | 128 | 131 | 134 | 123 | 123 | 124 | 122 | 121 | 118 |

ตารางที่ 25 % การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 4 ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment
ที่ 100 °C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 129 | 133 | 153 | 146 | 138 | 136 | 136 | 135 | 136 |
| PVAs | 206 | 197 | 213 | 197 | 189 | 173 | 170 | 163 | 207 |
| 1*1 | 460 | 415 | 426 | 414 | 393 | 320 | 384 | 385 | 334 |
| 1*1s | 450 | 416 | 404 | 397 | 391 | 380 | 372 | 369 | 338 |
| 3*1 | 157 | 163 | 172 | 177 | 171 | 176 | 173 | 173 | 166 |
| 3*1s | 304 | 297 | 296 | 296 | 285 | 279 | 279 | 278 | 244 |
| 99*1 | 171 | 168 | 173 | 179 | 177 | 176 | 167 | 165 | 164 |
| 99*1s | 168 | 150 | 163 | 163 | 155 | 152 | 155 | 154 | 145 |

ตารางที่ 26 % การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 4 ของฟิล์มที่ทำการ Heat Treatment
ที่ 150 °C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 156 | 161 | 162 | 167 | 160 | 159 | 157 | 157 | 149 |
| PVAs | 282 | 232 | 253 | 247 | 232 | 208 | 207 | 207 | 192 |
| 1*1 | 407 | 370 | 366 | 360 | 352 | 342 | 338 | 337 | 296 |
| 1*1s | 456 | 408 | 406 | 379 | 382 | 368 | 366 | 368 | 324 |
| 3*1 | 182 | 187 | 195 | 190 | 188 | 186 | 186 | 186 | 179 |
| 3*1s | 204 | 169 | 186 | 176 | 176 | 175 | 175 | 176 | 170 |
| 99*1 | 216 | 217 | 255 | 216 | 215 | 208 | 210 | 209 | 191 |
| 99*1s | 152 | 150 | 160 | 156 | 153 | 150 | 151 | 151 | 143 |

ตารางที่ 27 % การดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ของฟิล์มที่ทำกร Heat Treatment
ที่ 100 °C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 186 | 180 | 197 | 197 | 180 | 179 | 180 | 179 | 158 |
| PVAs | 229 | 221 | 229 | 247 | 216 | 207 | 206 | 207 | 197 |
| 1*1 | 755 | 710 | 793 | 698 | 678 | 669 | 677 | 669 | 456 |
| 1*1s | 478 | 429 | 435 | 421 | 405 | 399 | 399 | 400 | 350 |
| 3*1 | 181 | 187 | 193 | 206 | 188 | 190 | 187 | 187 | 179 |
| 3*1s | 316 | 289 | 307 | 309 | 285 | 291 | 278 | 278 | 251 |
| 99*1 | 329 | 317 | 330 | 314 | 299 | 287 | 299 | 298 | 251 |
| 99*1s | 203 | 210 | 227 | 221 | 212 | 212 | 213 | 213 | 205 |

ตารางที่ 28 % การดูดซับน้ำในสารละลาย pH9 ของฟิล์มที่ทำกร Heat Treatment
ที่ 150 °C

| ชั่วโมงที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PVA | 190 | 188 | 197 | 191 | 183 | 182 | 181 | 181 | 161 |
| PVAs | 194 | 198 | 194 | 192 | 191 | 190 | 192 | 192 | 160 |
| 1*1 | 447 | 427 | 407 | 414 | 395 | 390 | 382 | 381 | 337 |
| 1*1s | 429 | 388 | 383 | 380 | 374 | 368 | 360 | 361 | 313 |
| 3*1 | 178 | 183 | 190 | 182 | 183 | 185 | 182 | 182 | 174 |
| 3*1s | 340 | 300 | 281 | 277 | 274 | 264 | 282 | 272 | 235 |
| 99*1 | 172 | 166 | 167 | 168 | 169 | 168 | 167 | 167 | 153 |
| 99*1s | 184 | 180 | 177 | 182 | 183 | 183 | 182 | 181 | 151 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

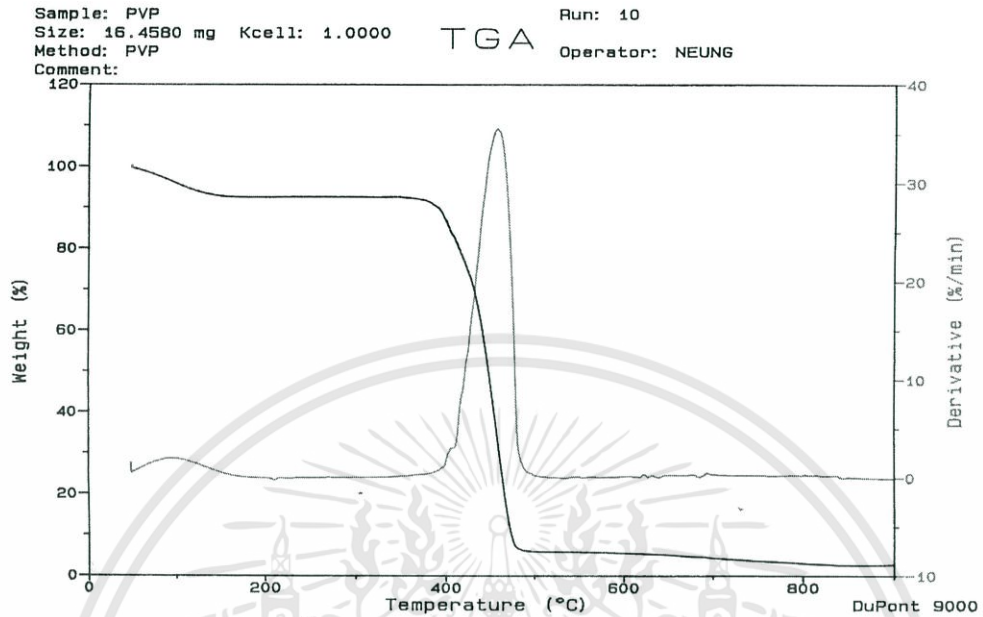
ตารางที่ 29 ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด
ของฟิล์มที่ทำการ Heat treatment ที่ 100 °C

| Polymer | Tensile (MPa) | %Elongation |
|---------|---------------|-------------|
| PVA | 37.49 | 207.27 |
| PVAs | 36.8 | 183.28 |
| 1*1 | 30.64 | 73.05 |
| 1*1s | 29.13 | 38.36 |
| 3*1 | 32.86 | 169.98 |
| 3*1s | 31.26 | 157.94 |
| 99*1 | 42.98 | 189.45 |
| 99*1s | 40.7 | 137.86 |
| PVP | No data | No data |
| PVPs | No data | No data |

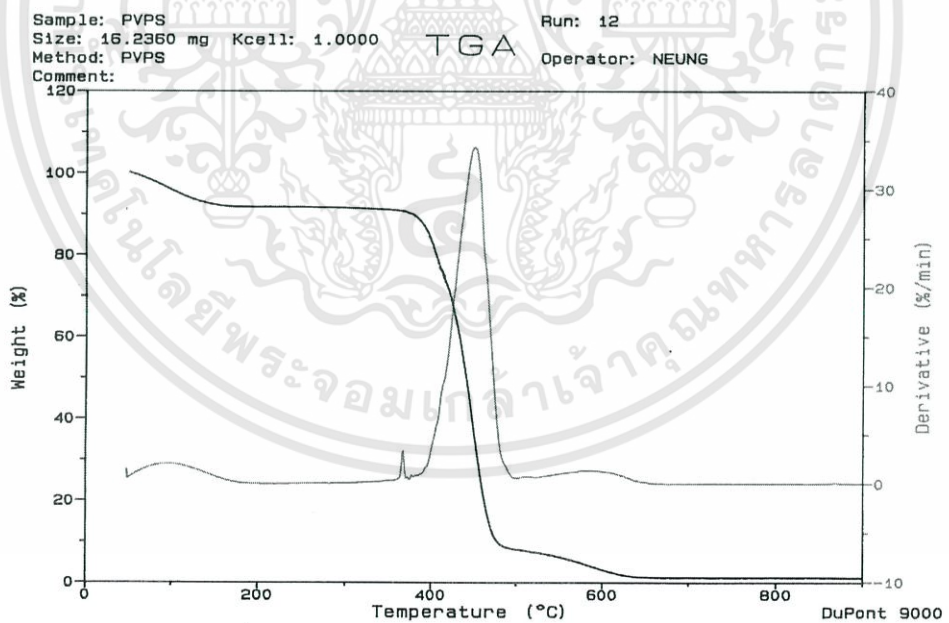
ตารางที่ 30 ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด
ของฟิล์มที่ทำการ Heat treatment ที่ 150 °C

| Polymer | Tensile (MPa) | %Elongation |
|---------|---------------|-------------|
| PVA | 38.82 | 150.12 |
| PVAs | 37.35 | 143.56 |
| 1*1 | 31.74 | 37.78 |
| 1*1s | 30.81 | 30.11 |
| 3*1 | 36.52 | 104.6 |
| 3*1s | 33.95 | 80.74 |
| 99*1 | 50.48 | 176.88 |
| 99*1s | 42.93 | 134.42 |
| PVP | No data | No data |
| PVPs | No data | No data |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

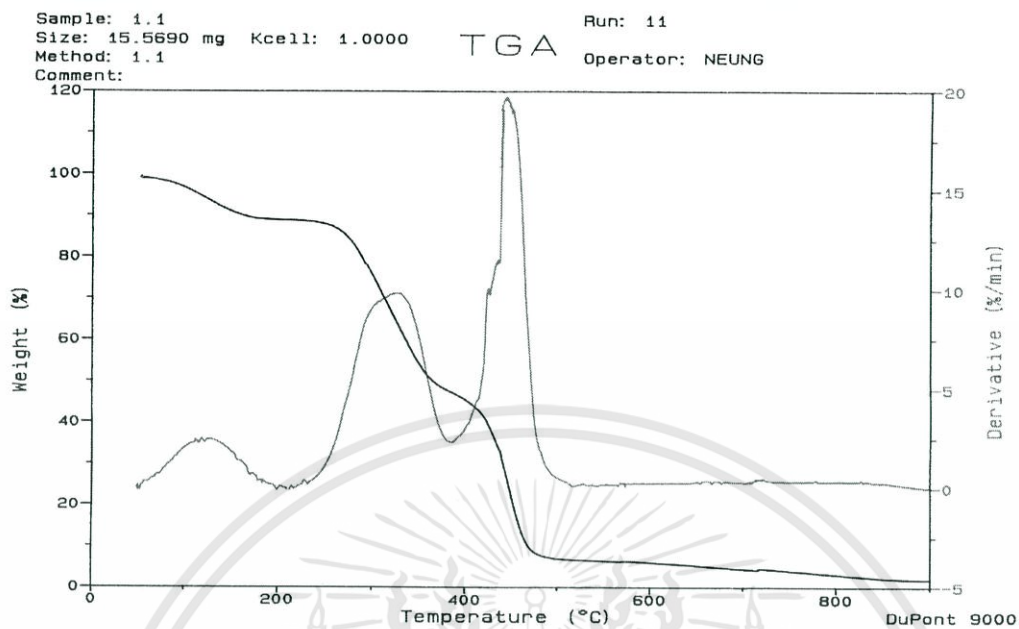


รูปที่ 3 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม PVP

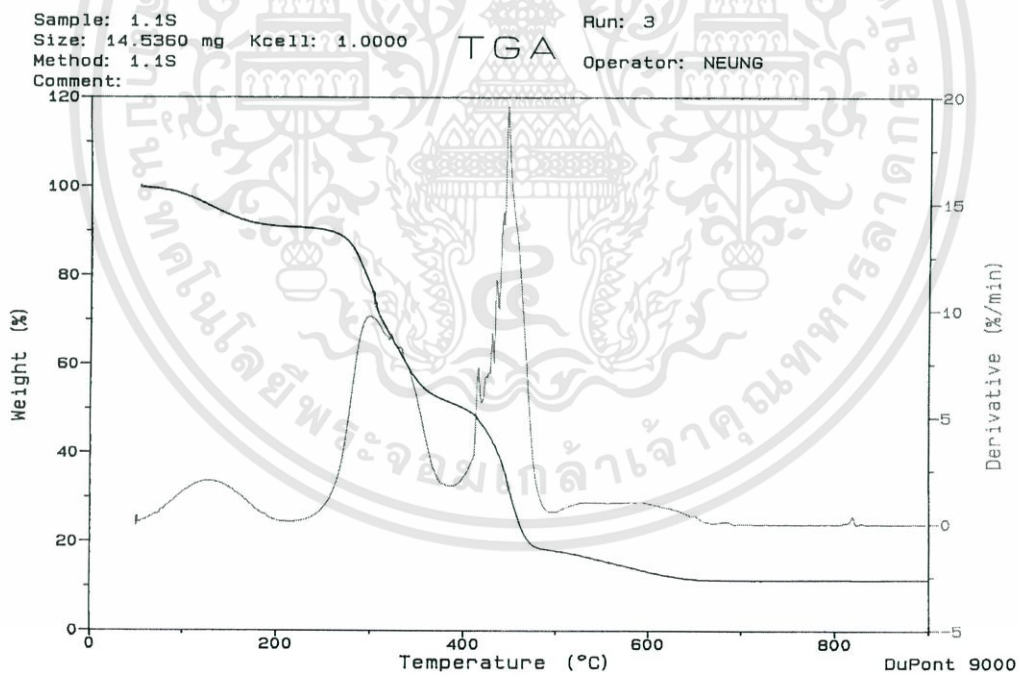


รูปที่ 4 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม PVPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



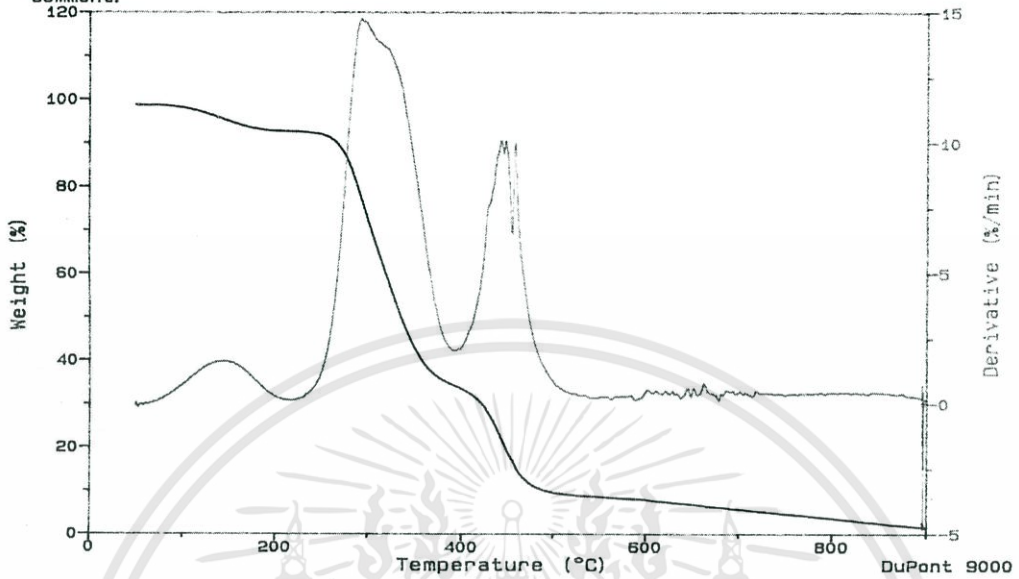
รูปที่ 5 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม 1:1



รูปที่ 6 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม 1:1s

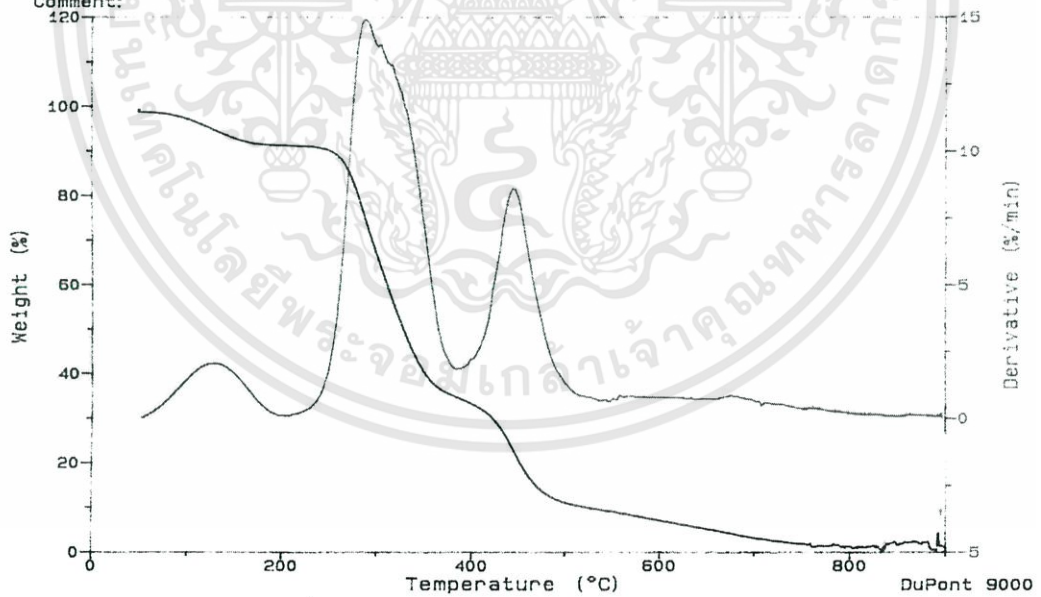
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample: 3.1 Run: 16
 Size: 15.5830 mg Kcell: 1.0000 TGA Operator: MAI
 Method: 3.1
 Comment:



รูปที่ 7 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม 3:1

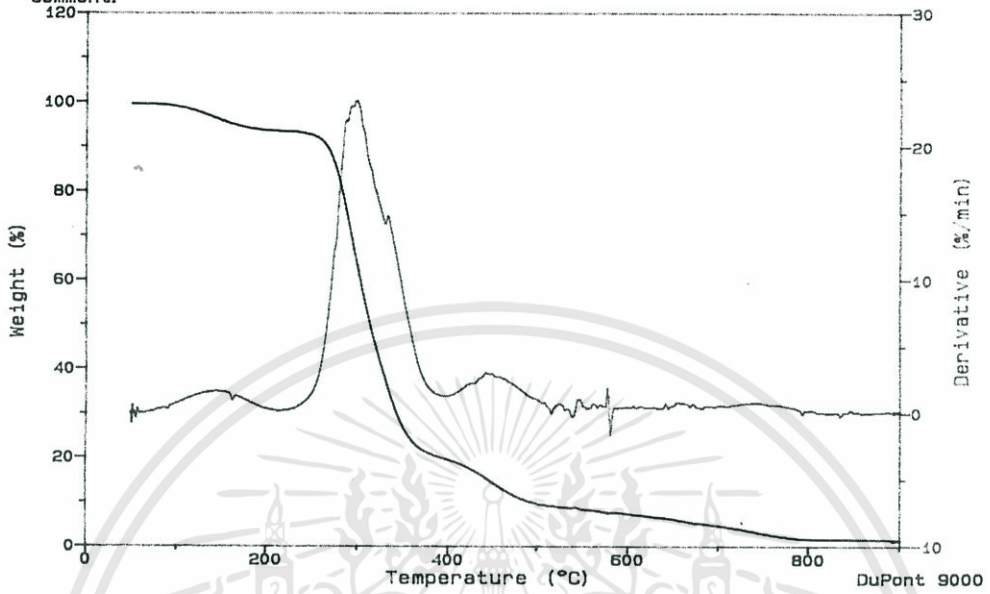
Sample: 3.1S Run: 18
 Size: 15.1880 mg Kcell: 1.0000 TGA Operator: NEUNG
 Method: 3.1S
 Comment:



รูปที่ 8 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม 3:1s

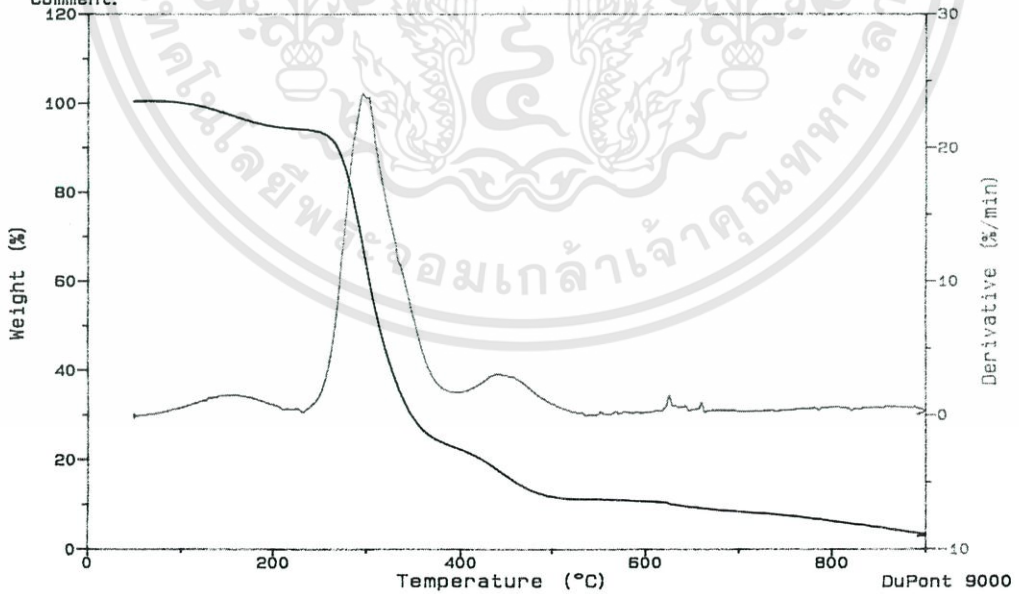
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample: 99.1
 Size: 15.5440 mg Kcell: 1.0000 TGA Run: 15
 Method: 99.1 Operator: MAI
 Comment:



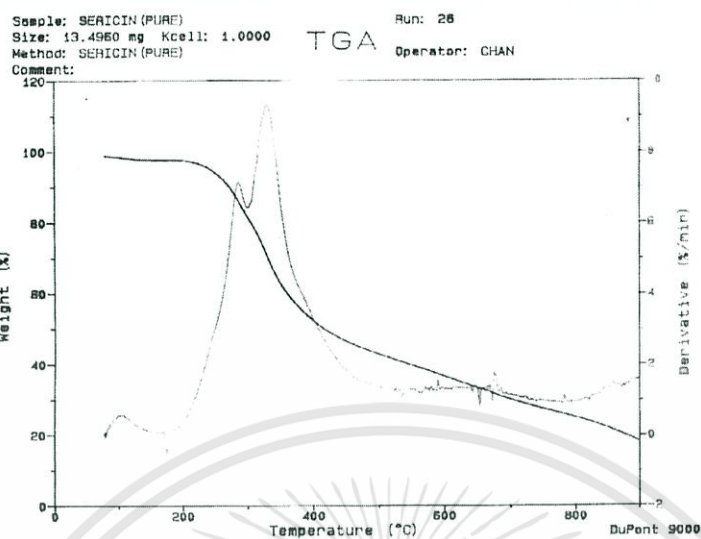
รูปที่ 9 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม 99:1

Sample: 99.1S
 Size: 15.7320 mg Kcell: 1.0000 TGA Run: 19
 Method: 99.1S Operator: NEUNG
 Comment:

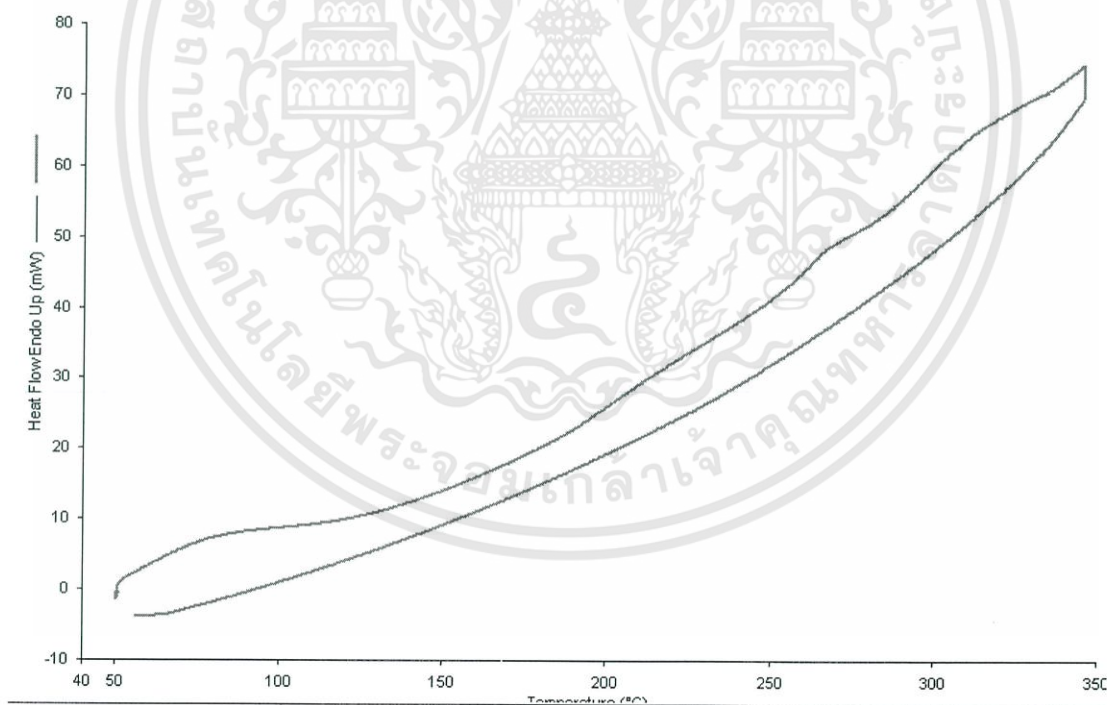


รูปที่ 10 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม 99:1s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

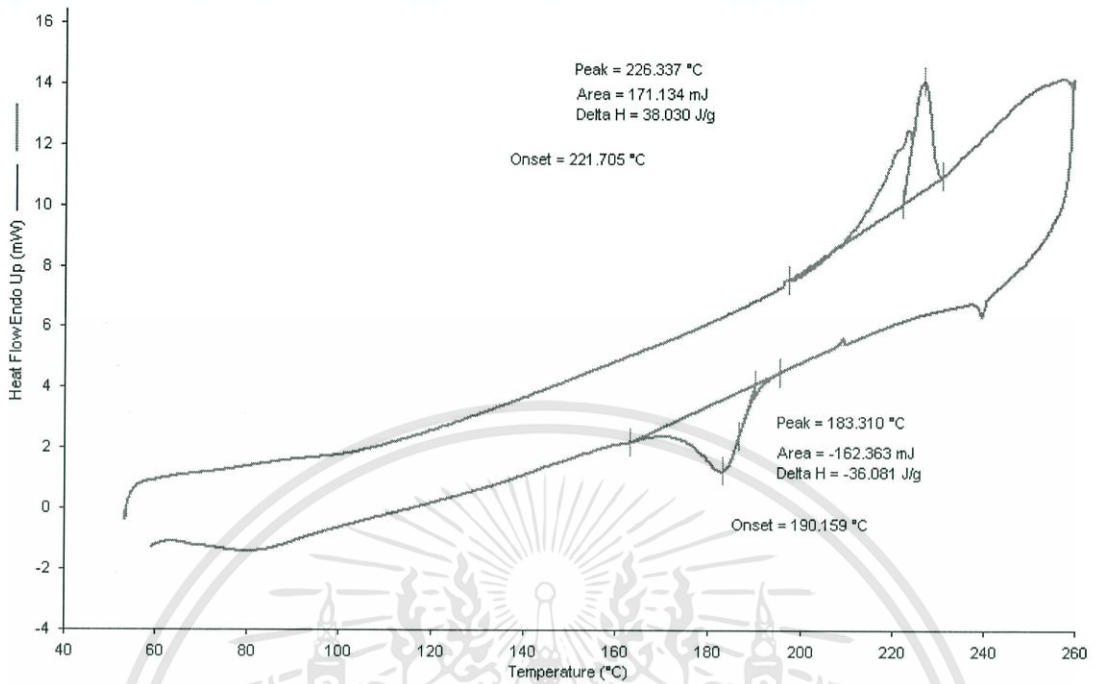


รูปที่ 11 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มเซริซิน

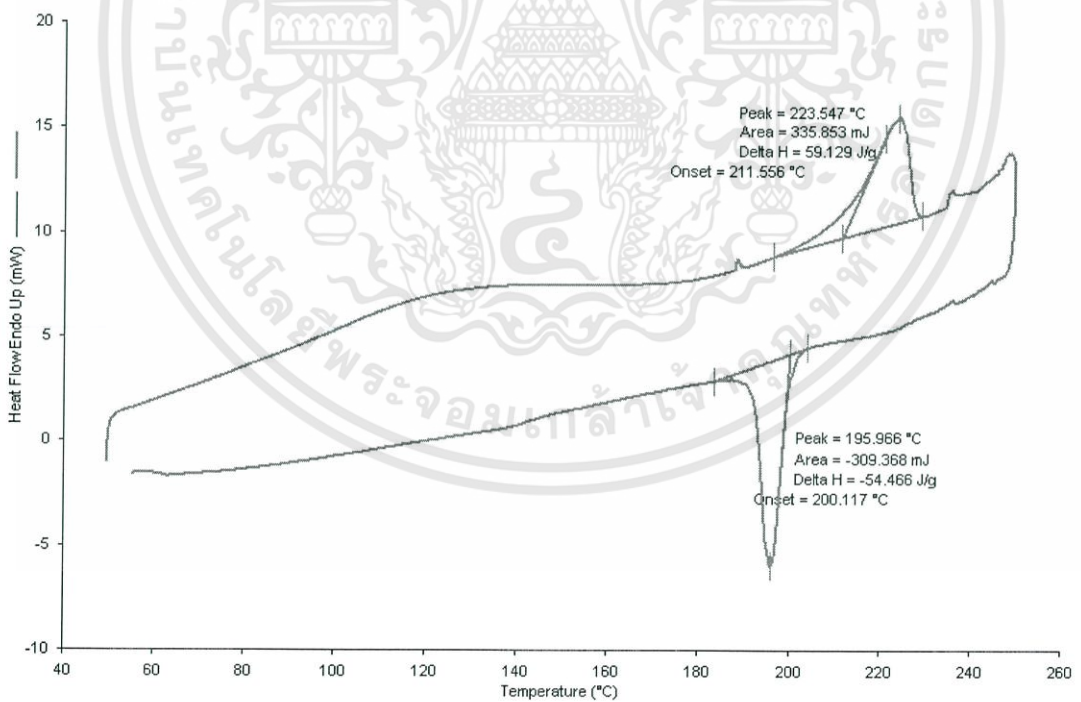


รูปที่ 12 ผล DSC ของผงเซริซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

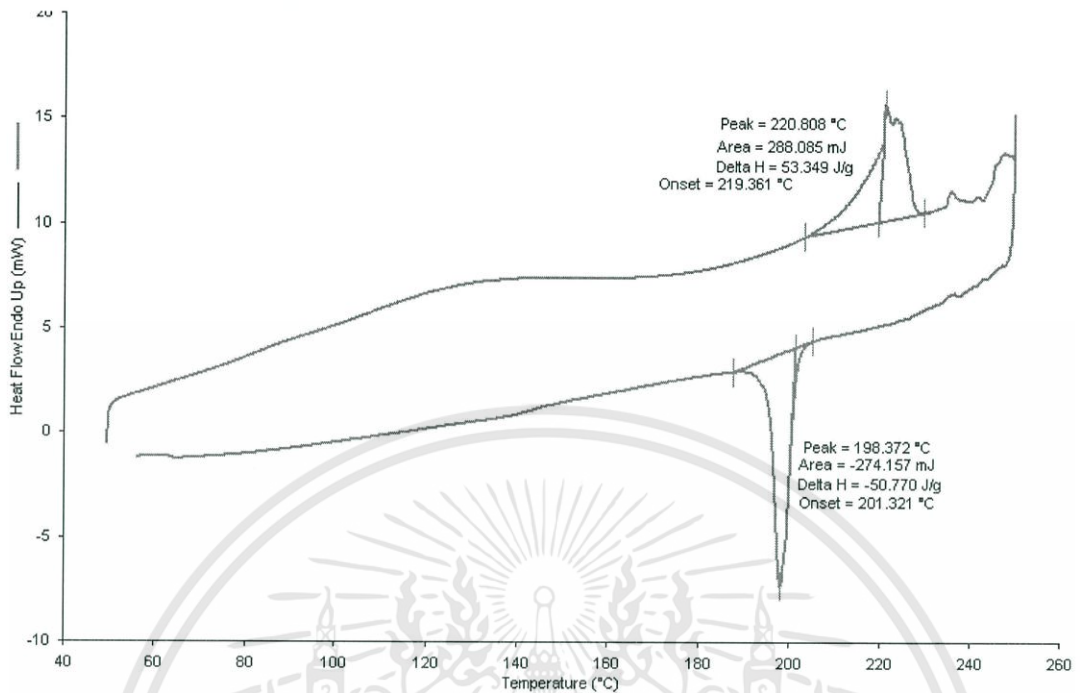


รูปที่ 13 ผล DSC ของผง PVA

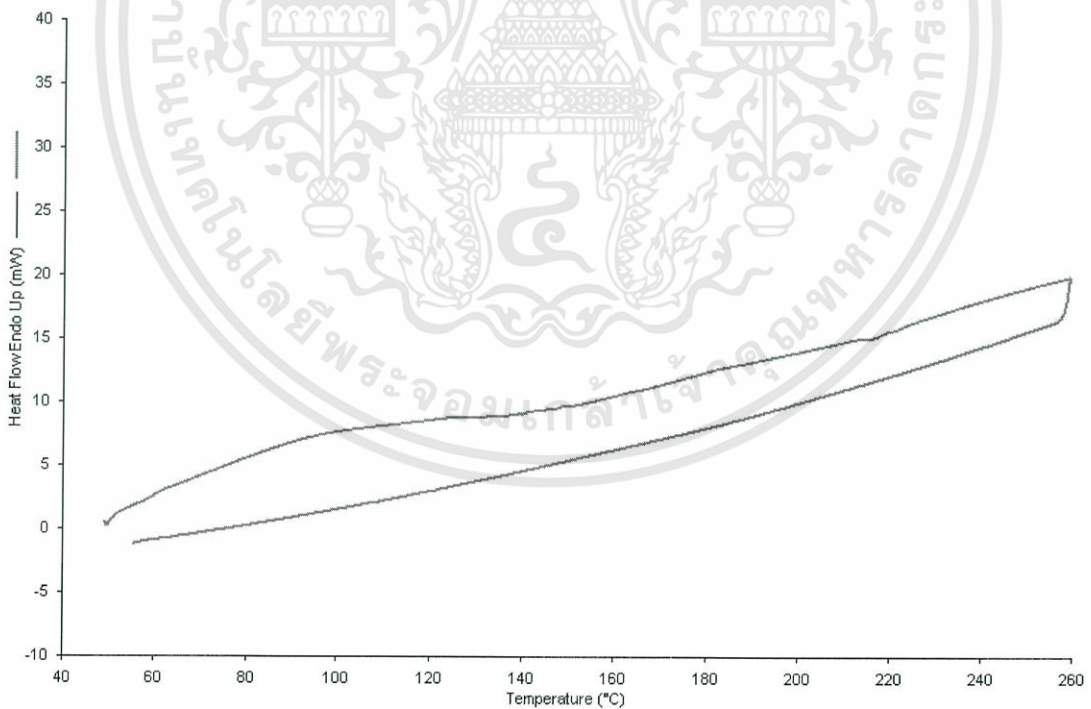


รูปที่ 14 ผล DSC ของฟิล์ม PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

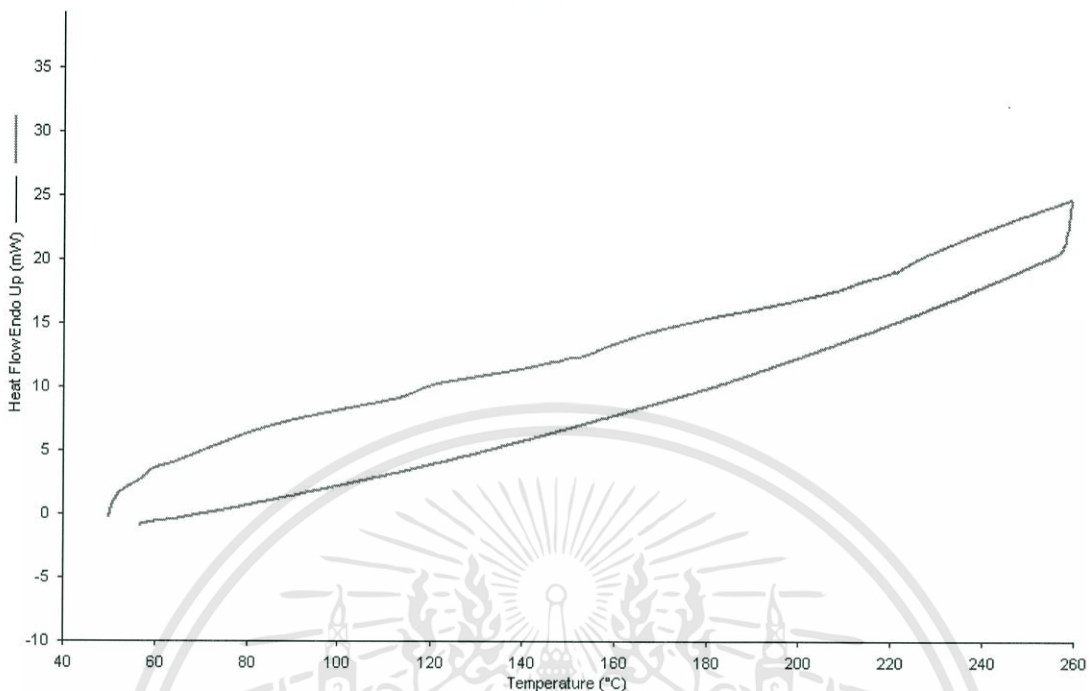


รูปที่ 15 ผล DSC ของฟิล์ม PVAs

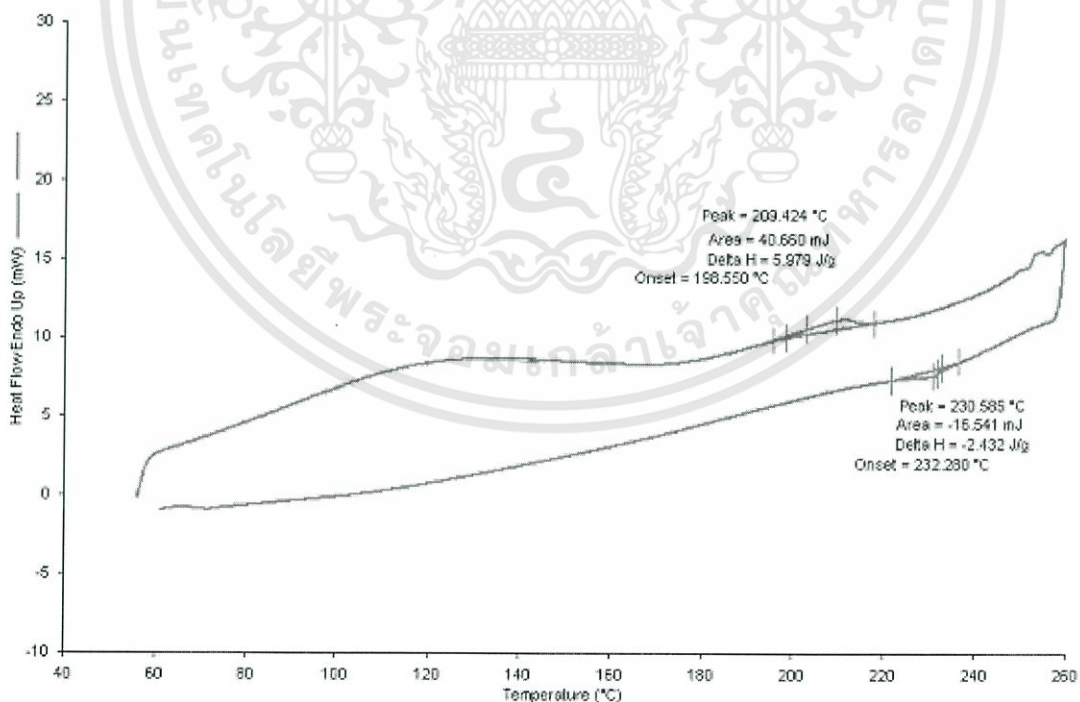


รูปที่ 16 ผล DSC ของฟิล์ม PVP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

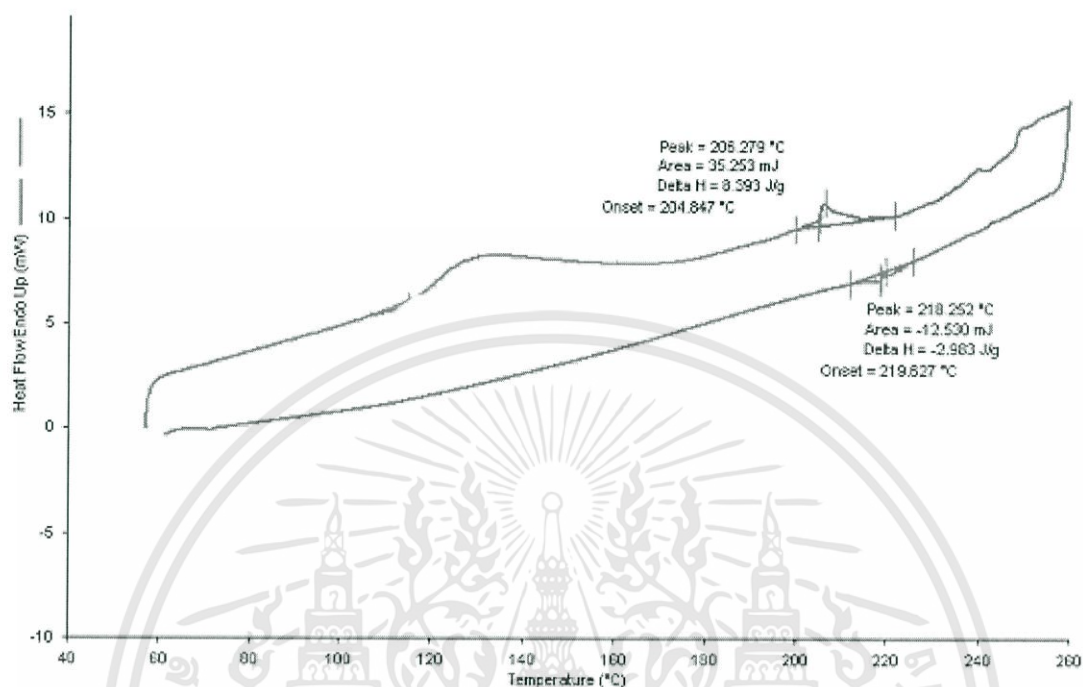


รูปที่ 17 ผล DSC ของฟิล์ม PVPs

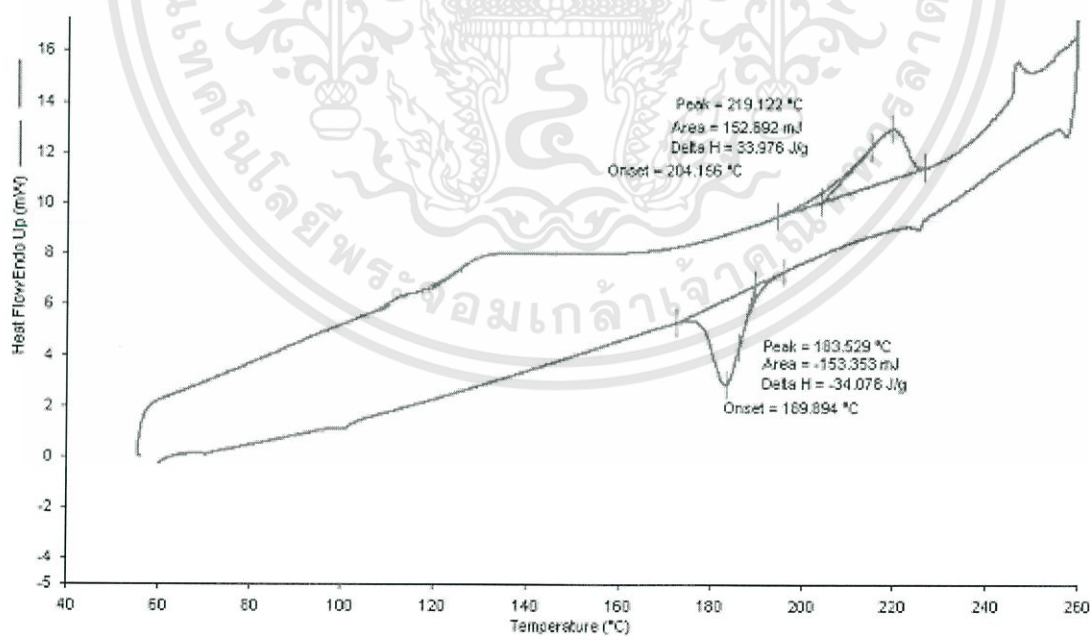


รูปที่ 18 ผล DSC ของฟิล์ม 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

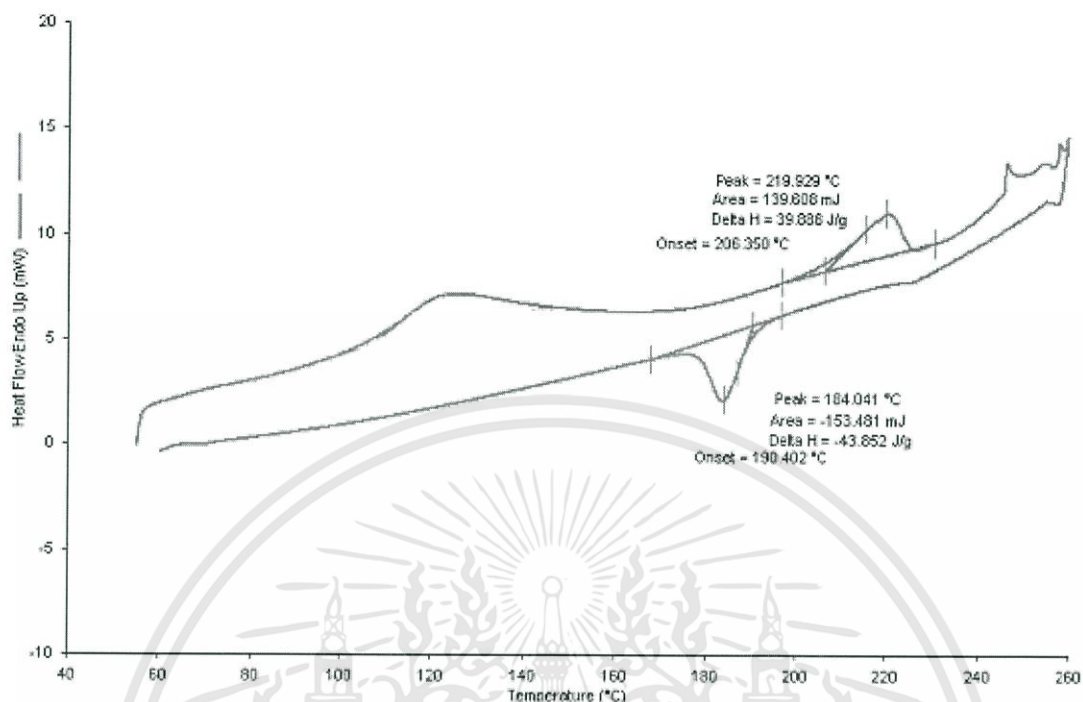


รูปที่ 19 ผล DSC ของฟิล์ม 1:1s

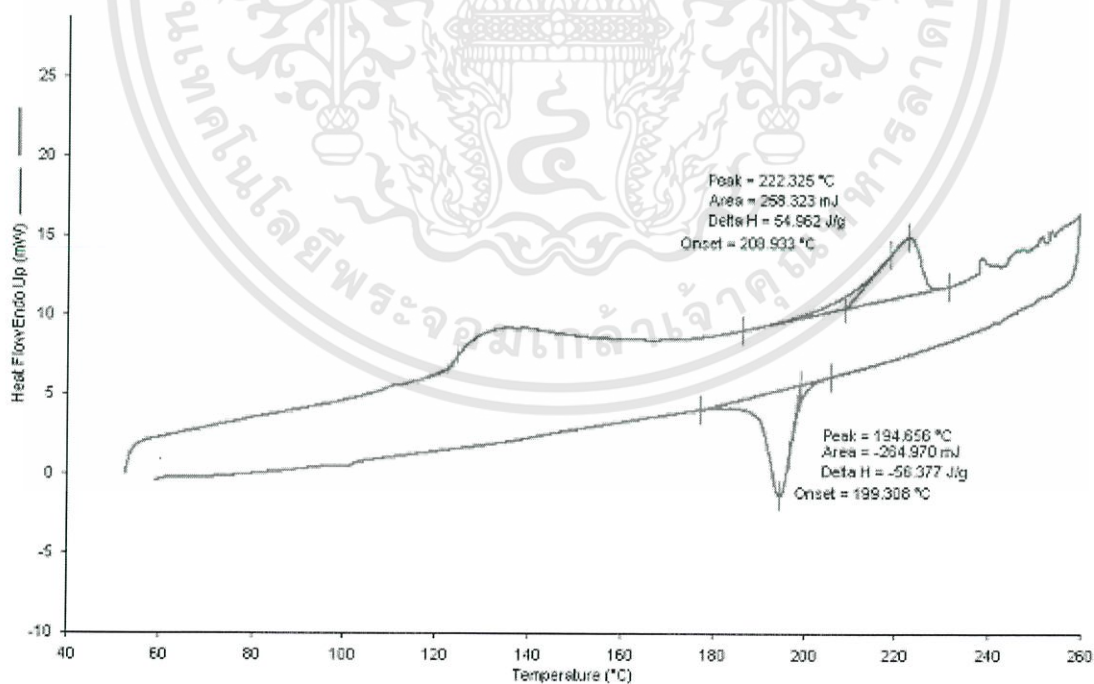


รูปที่ 20 ผล DSC ของฟิล์ม 3:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

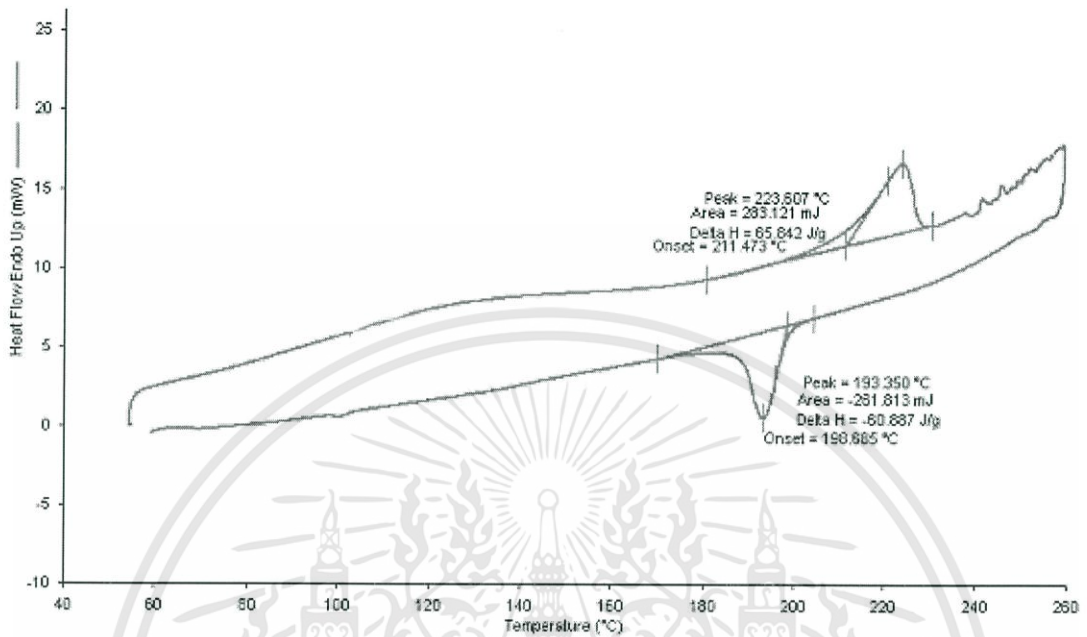


รูปที่ 21 ผล DSC ของฟิล์ม 3:1s

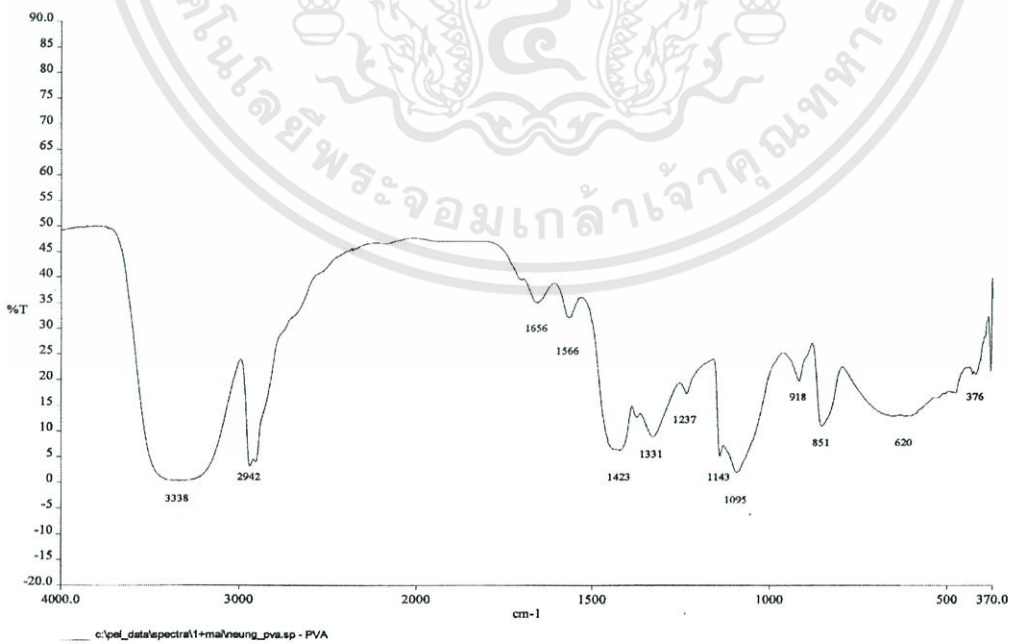


รูปที่ 22 ผล DSC ของฟิล์ม 99:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

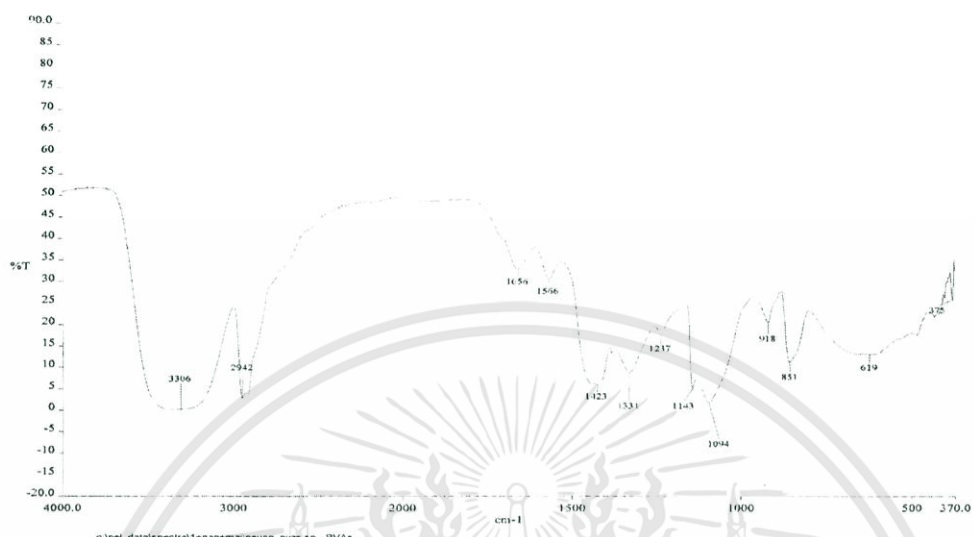


รูปที่ 23 ผล DSC ของฟิล์ม 99:1s

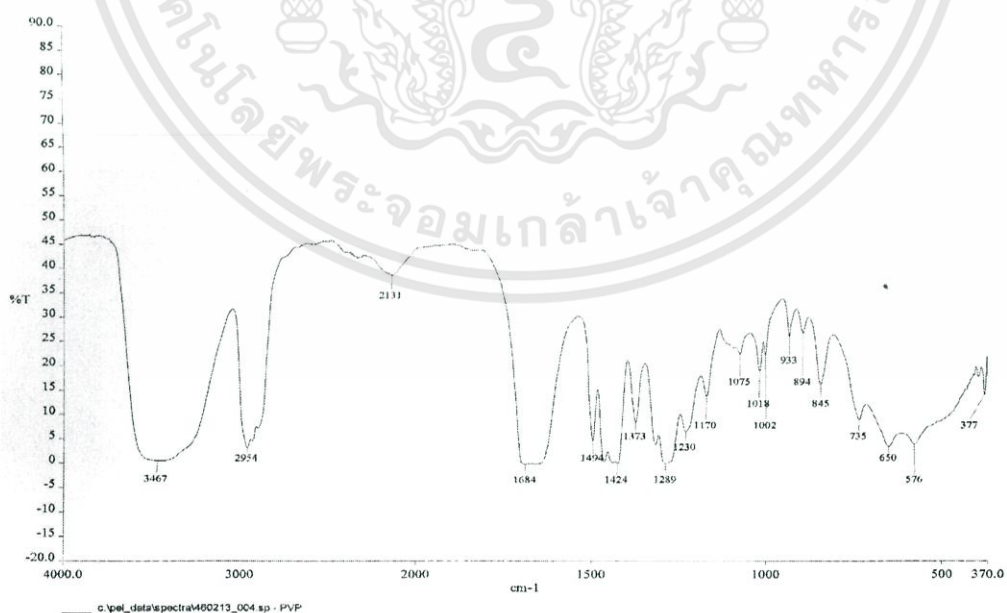


รูปที่ 24 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

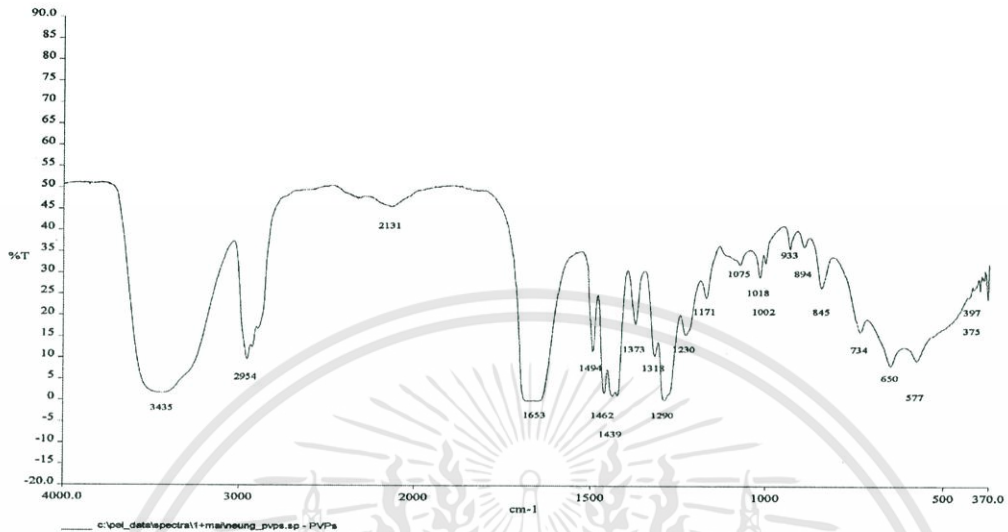


รูปที่ 25 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม PVAs

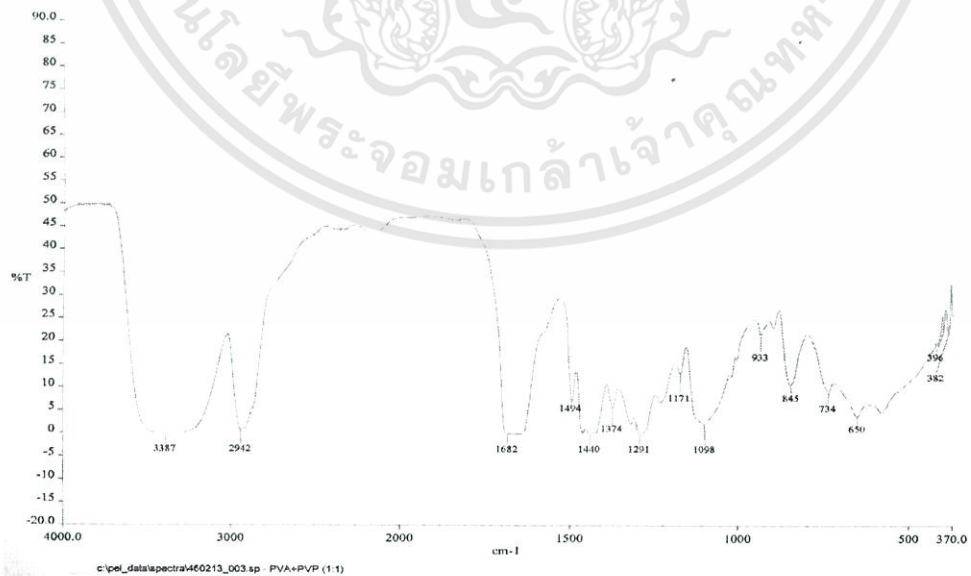


รูปที่ 26 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม PVP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

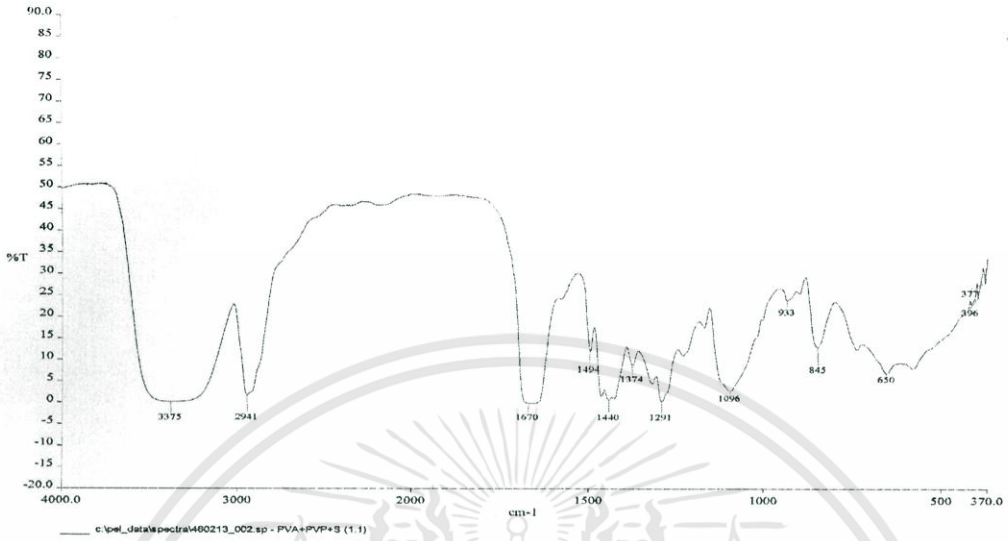


รูปที่ 27 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม PVPs

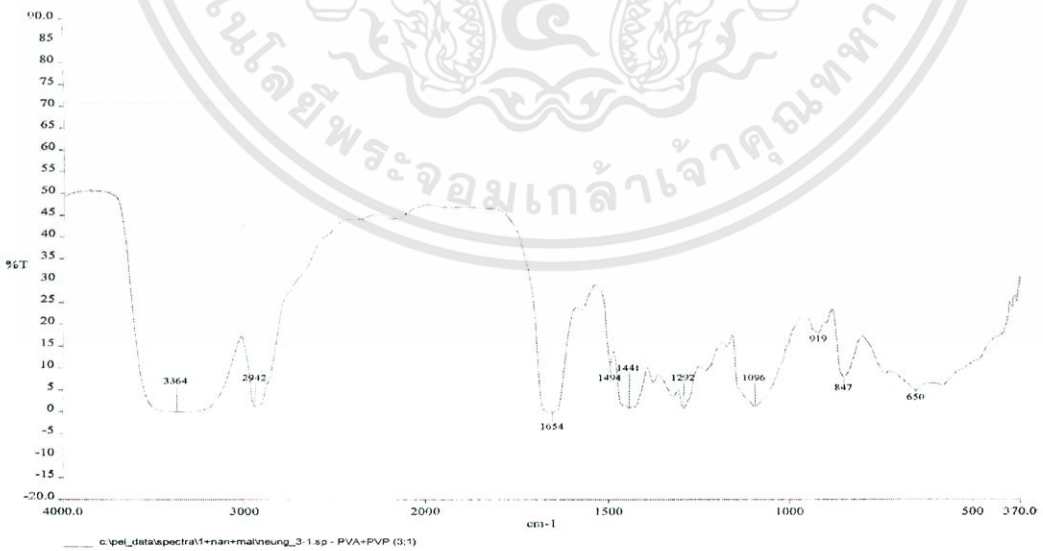


รูปที่ 28 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

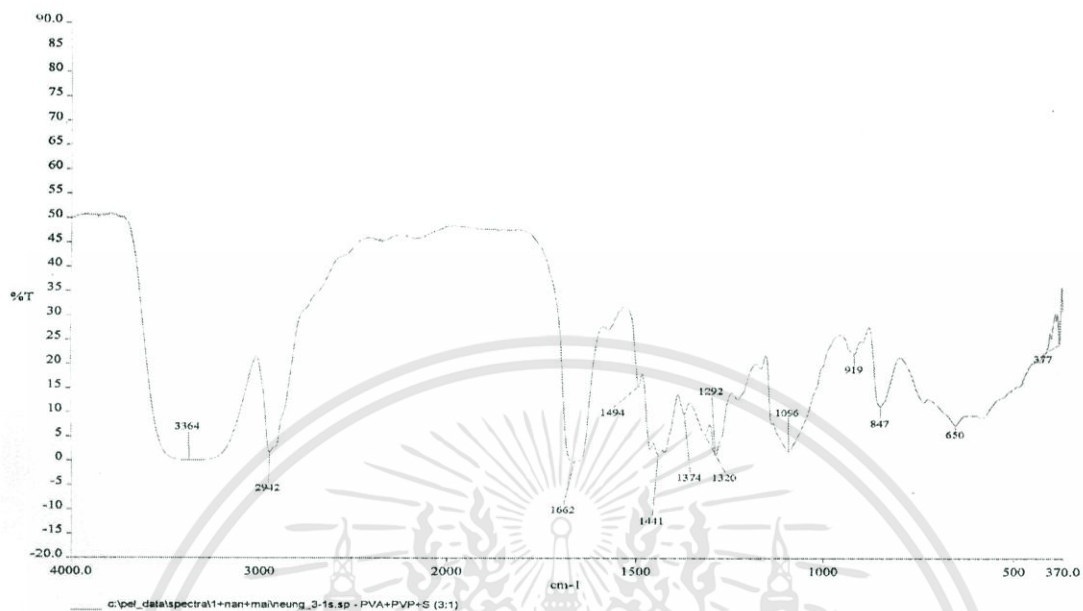


รูปที่ 29 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม 1:1s

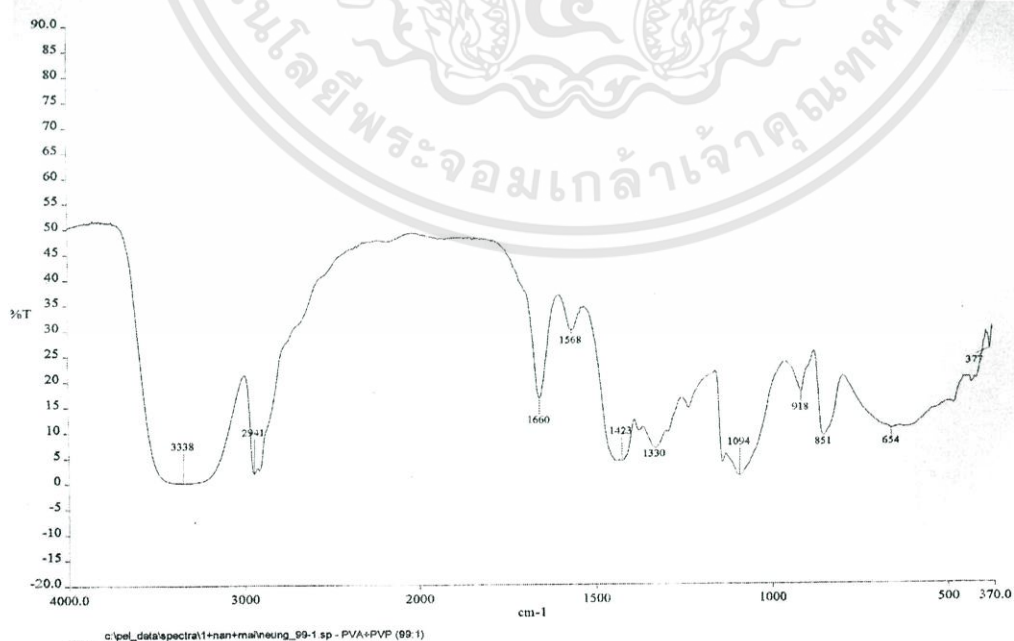


รูปที่ 30 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม 3:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

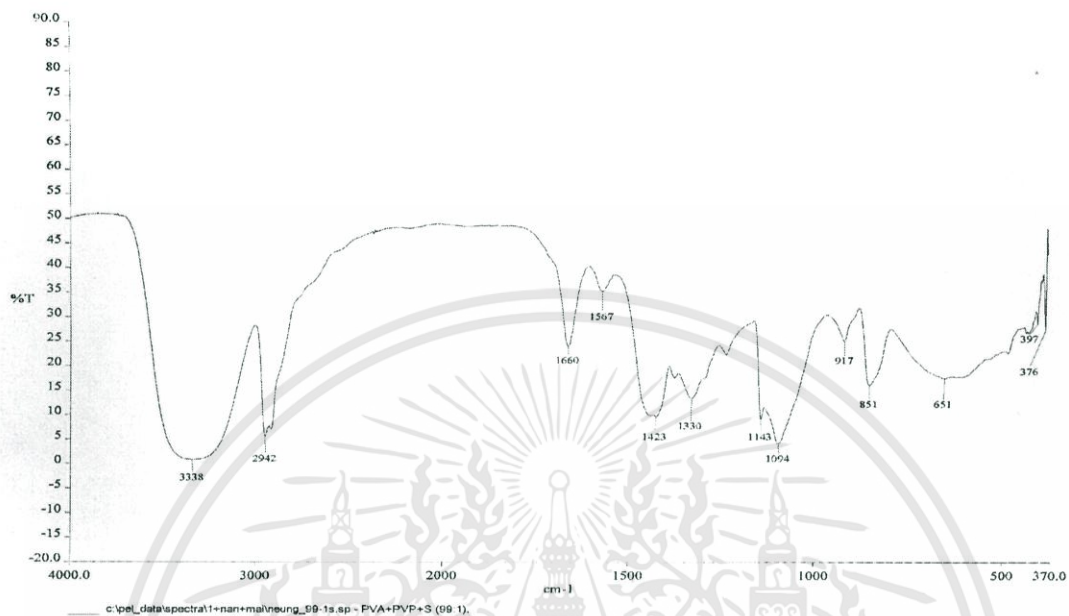


รูปที่ 31 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม 3:1s

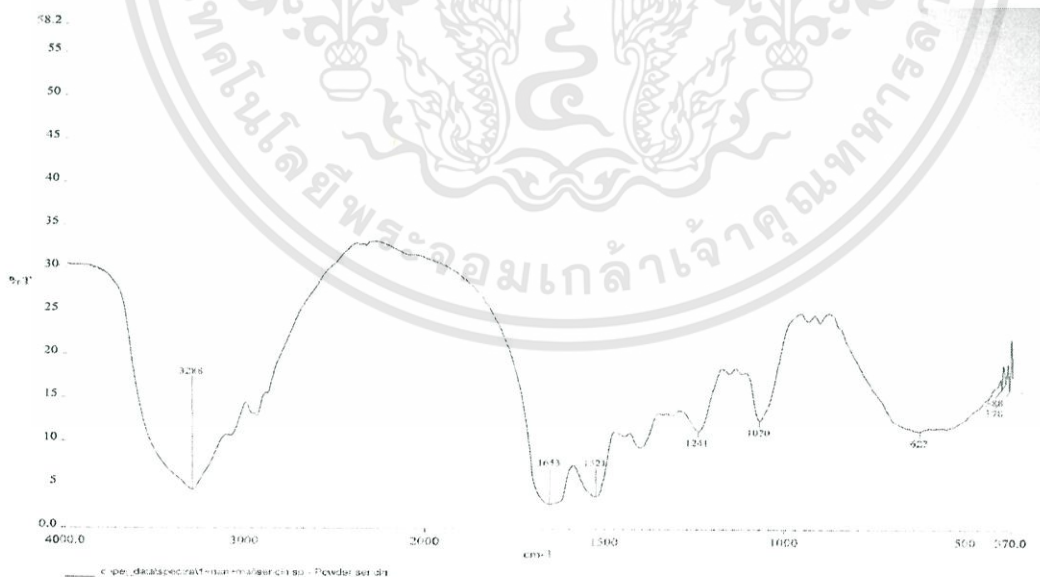


รูปที่ 32 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม 99:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 33 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม 99:1s



รูปที่ 34 สเปกตรัม IR ของฟิล์ม Sercin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้