สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นไหมเหลือทิ้ง

T040067

นางสาว นฤมล ศรีวิฑูรย์
นางสาว วัลยา ศรีสง่า

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 40067
วัน, เดือน, ปี 24 ก.ค. 2544
b.....
i.....
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation of Hydrogel from Poly(vinyl alcohol) and silk waste

Miss Nareumon Srivithoon

Miss Wanlaya Srisa-nga

A special Project Subbmitted 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นไหมเหลือทิ้ง
นักศึกษา	นางสาว นฤมล ศรีวิฑูรย์
	นางสาว วัลยา ศรีสง่า
ภาควิชา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์
	อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย) หัวหน้าภาควิชาเคมี

.....
(ดร.พัชนี เจริญยิ่ง) ประธานกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

.....
(ดร.จุฑารัตน์ ศิริชัยสิทธ์) กรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

.....
(ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์) กรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

.....
(อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์) กรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นไหมเหลือทิ้ง
นักศึกษา นางสาวนฤมล ศรีวิฑูรย์
นางสาววัลยา ศรีสง่า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์
อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล (hydrogel) จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยเติมพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และซิลค์โปรตีน (silk protein) แล้วทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงโดยกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดพันธะเชื่อมโยงคือ 20 นาที เพื่อให้ได้สมบัติการดูดซับน้ำที่ดีที่สุด และไม่ควรเกิน 40 นาที ความสามารถในการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) , โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) , แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) และแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ของฟิล์มที่มีและไม่มีพันธะเชื่อมโยงขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายเกลือ โดยฟิล์มสามารถดูดซับน้ำที่ความเข้มข้นต่ำได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นสูง ความสามารถในการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ของฟิล์มที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง ที่ pH 9 สามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าที่ pH 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Preparation of Hydrogel from Poly(vinylalcohol) and silk waste

Name Miss Nareumon Srivithoon

Miss Wanlaya Srisa-nga

Special Project Adviser Asst.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin

Mrs. Porntip Subanan

Department Chemistry

Academic Year 2000

Abstract

Several kinds of hydrogel were prepared from PVA, PVA/PAA/SP, PVA/SP, and SP by solution blending technique. Glutaraldehyde was used as a crosslinking agent. The results showed that 20 minutes is suitable time for crosslinking which gave the best water absorption property and should not be over 40 minutes. Water absorption ability in salt solutions of sodium chloride, potassium iodide, magnesium chloride and calcium chloride of crosslinked films and uncrosslinked films depened on the concentration of salt solutions. Water absorption at low concentration was higher than at high concentration. For buffer solutions, water absorption ability of uncrosslinked films at pH 9 was higher than at pH 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้ หากไม่ได้รับความร่วมมือ ความช่วยเหลือ ตลอดทั้งคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์จากหลายๆท่าน

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และ อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานและอาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจทานแก้ไขโครงงานพิเศษนี้ให้เรียบร้อยสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี ตึกจุฬาภรณวลัยลักษณ์ทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการเบิกสารเคมีและอุปกรณ์ รวมทั้งคอยให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน และเพื่อนๆที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบคุณภาควิชาเคมีที่เป็นที่บ่มเพาะความรู้และทำให้มีโอกาสศึกษาวิจัย และขอขอบคุณทุกๆกำลังใจที่ทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นางสาว นฤมล ศรีวิฑูรย์
นางสาว วัลยา ศรีสง่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.3 วัตถุประสงค์	5
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	5
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	7
2.2 สารที่ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงใน PVA	8
2.3 พอลิอะคริลิคแอซิด	10
2.4 ซิลค์โปรตีน	11
2.5 ไฮโดรเจล	15
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินการ	
3.1 สารเคมี	20
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	20
3.3 วิธีการทดลอง	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	62
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบในสารละลายพอลิเมอร์ผสม 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทุติยภูมิแบบ α-เฮลิคส์ 12

รูปภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทุติยภูมิแบบ β-plated sheet 12

รูปภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างพาราเลล β-ชีท 13

รูปภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างแอนติพาราเลล β-ชีท 13

รูปภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้าง 3 มิติของไหม 18

รูปภาพที่ 4.1 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 26

รูปภาพที่ 4.2 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที 26

รูปภาพที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที 27

รูปภาพที่ 4.4 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที 28

รูปภาพที่ 4.5 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที 28

รูปภาพที่ 4.6 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl
ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 29

รูปภาพที่ 4.7 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl
ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที 30

รูปภาพที่ 4.8 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl
ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที 31

รูปภาพที่ 4.9 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl
ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที 31

รูปภาพที่ 4.10 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl
ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที 32

รูปภาพที่ 4.11 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl
ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 33

รูปภาพที่ 4.12 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl
ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที 34

รูปภาพที่ 4.13 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl
ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปภาพที่ 4.14 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที 36
รูปภาพที่ 4.15 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที 36
รูปภาพที่ 4.16 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 37
รูปภาพที่ 4.17 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที 38
รูปภาพที่ 4.18 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที 38
รูปภาพที่ 4.19 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที 39
รูปภาพที่ 4.20 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที 40
รูปภาพที่ 4.21 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 41
รูปภาพที่ 4.22 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที 42
รูปภาพที่ 4.23 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที 43
รูปภาพที่ 4.24 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที 43
รูปภาพที่ 4.25 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที 44
รูปภาพที่ 4.26 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปภาพที่ 4.27 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที 46
รูปภาพที่ 4.28 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที 46
รูปภาพที่ 4.29 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที 47
รูปภาพที่ 4.30 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที 48
รูปภาพที่ 4.31 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 48
รูปภาพที่ 4.32 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที 49
รูปภาพที่ 4.33 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที 50
รูปภาพที่ 4.34 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที 51
รูปภาพที่ 4.35 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที 52
รูปภาพที่ 4.36 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 53
รูปภาพที่ 4.37 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที 53
รูปภาพที่ 4.38 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที 54
รูปภาพที่ 4.39 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปภาพที่ 4.40 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที 55
รูปภาพที่ 4.41 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 56
รูปภาพที่ 4.42 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที 57
รูปภาพที่ 4.43 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที 58
รูปภาพที่ 4.44 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที 58
รูปภาพที่ 4.45 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที 59
รูปภาพที่ 4.46 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 ของฟิล์ม A0, A1 และ A2 60
รูปภาพที่ 4.47 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9 ของฟิล์ม A0, A1 และ A2 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำนำ

ในปัจจุบันวัสดุพอลิเมอร์มีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้ทดแทนวัสดุบางประเภทได้ มีน้ำหนักเบา สามารถขึ้นรูปได้ตามต้องการ และความหลากหลายของวัสดุพอลิเมอร์เป็นเหตุให้เลือกนำมาใช้งานได้ในหลายลักษณะ ขึ้นกับคุณสมบัติที่เหมาะสมของพอลิเมอร์นั้น จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

"ไฮโดรเจล" เป็นพอลิเมอร์ดูดซับน้ำที่มีโครงสร้างเป็นโครงสร้างร่างแหหรือโครงร่างตาข่าย 3 มิติ มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ 90% หรือมากกว่า สามารถดูดซับไอออนโดยสมบัติเชิงกลและรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง สมบัติดังกล่าวคล้ายคลึงกับอวัยวะบางอย่างในร่างกายมนุษย์ เช่น กล้ามเนื้อ ลำไส้เล็ก นอกจากสมบัติที่กล่าวมา ไฮโดรเจลยังสามารถเข้าได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง เนื้อเยื่อ จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็น วัสดุตกแต่งจากบาดแผลไฟไหม้ (burn wound dressing) ทำเลนส์สัมผัส (contact lense) หรือนำมาใช้เคลือบวัตถุที่ต้องสัมผัสกับร่างกายมนุษย์

ทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ไฮโดรเจลให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้แก่ การใช้เทคนิคการสังเคราะห์โดยการใช้สารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (crosslinking agent) เพื่อให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้โดยไม่ละลายน้ำ

1.2 ความเป็นมาของโครงงาน

"ไฮโดรเจล" เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่สามารถดูดซับน้ำไว้ภายในโครงสร้างได้โดยไม่เกิดการละลาย อาจเรียกรูปแบบของวัสดุประเภทนี้ในสภาวะแห้งว่า " xerogels "

ดังได้กล่าวแล้วว่าโครงสร้างของไฮโดรเจลเป็นแบบโครงสร้างร่างแห 3 มิติ โดยทั่วไปสามารถเตรียมได้ดังนี้

1. การเกิดปฏิกิริยา Block Polymerization ของมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำกับสารเชื่อมโยง
2. การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสารละลายพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilous polymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันไปพร้อมกับการเชื่อมโยงพันธะของมอนอเมอร์กับสารเชื่อมโยง

ด้วยโครงสร้างที่เป็นร่างแห 3 มิตินี้เอง ไฮโดรเจลจึงสามารถดูดซับและบวมน้ำโดยไม่เกิดการละลาย เนื่องจากพันธะเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์มีขนาดและน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นในการเชื่อมโยงเป็นเหตุให้ความแข็งแรง (strength) เพิ่มขึ้น ในขณะที่สมบัติการบวมตัวลดลง

สมบัติของไฮโดรเจลไม่เพียงแต่สามารถดูดซับน้ำได้เท่านั้น ยังสามารถดูดซับสารละลายนำไฟฟ้า (electrolyte solution) และของเหลวจากร่างกายได้อีกด้วย จากสมบัติที่กล่าวมาจึงมีการศึกษาและค้นคว้าเพื่อพัฒนาเกี่ยวกับไฮโดรเจล เพื่อสามารถใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางกว่าการเป็นเพียงพอลิเมอร์ดูดซับและนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่น ทางการเกษตร อุตสาหกรรมและทางการแพทย์ได้ด้วย

- เนื่องจากมีสมบัติเข้ากันได้ทางชีวภาพ และความสามารถในการดูดซับน้ำ ไฮโดรเจลจึงถูกนำมาใช้ทางการแพทย์ในปี 1969. โดย Wichterle และ Lim[1] โดยได้ศึกษาการเกิดพันธะเชื่อมโยงและสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉายรังสี ได้แก่ พอลิไฮดรอกซีเอทิลเมทราไครเลท (PHEMA)
- Jonnggeon Jegal และ KEW-HO LEE[2] ได้ทำการศึกษาพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมไอออนิกพอลิเมอร์พวกโซเดียมอัลจิเนต หรือไคโตซาน ซึ่งเตรียมโดยการหล่อขึ้นรูปจากสารละลายพอลิเมอร์ดังกล่าว แล้วทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงด้วยกลูตารัลดีไฮด์ องศาของการเชื่อมโยงควบคุมด้วยเวลาในการเกิดปฏิกิริยา สมบัติการซึมผ่านของฟิล์มจะศึกษาอัตราส่วนการปล่อยทิ้ง โดยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการซึมผ่านแผ่นฟิล์ม ได้แก่ สปีชีส์ของตัวถูกละลายและสมบัติทางเคมีของผิวแผ่นฟิล์ม เช่น องศาการเชื่อมโยง เป็นต้น ทั้งนี้แผ่นฟิล์มที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยการให้ความร้อนและคุณสมบัติเด่นทำให้ฟิล์มดังกล่าวเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเยื่อเลือกผ่าน (nanofiltration membrane) ในระบบรีเวอร์สออสโมซิสได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ไฮโดรเจลสามารถสังเคราะห์ได้จากมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ได้หลายชนิด Goni ,I. และคณะได้ศึกษาถึงการสังเคราะห์และสมบัติการดูดซับน้ำ (% water retention) ของพอลิเมอร์ร่วมพวกอะครีเลทที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำหลายชนิด ทำการต่อกิ่งบนอะไมโลเพกติน โดยใช้ EGDMA และ MBAM เป็นสารเชื่อมโยง พบว่า EGDMA จะให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งมากกว่าเมื่อพิจารณาที่สัดส่วนเดียวกัน ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำจะแปรผกผันกับปริมาณการเชื่อมโยง พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่เกิดจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อกิ่งของมอนอเมอร์ผสมต่างชนิดลงบนอะไมโลเพกตินที่ได้นี้มีความสามารถเข้ากันได้กับสารชีวภาพ จึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจอีกตัวหนึ่ง

- เส้นใยไหม (silk fibroin) เป็นวัสดุทางชีวภาพชนิดหนึ่งที่มีการวิจัยและพัฒนาขึ้นโดยมุ่งเน้นประโยชน์ทางด้านเทคโนโลยีและทางการแพทย์ Giuliano Freddi ,Masuhiro Tsukada และ Silvia Beretta[3] จึงได้มีการศึกษาและทดลองถึงโครงสร้างของแผ่นฟิล์มที่ได้จากการผสมใยไหมกับพอลิอะครีลาไมด์ แล้วตรวจสอบโดยเทคนิค DSC, TGA, TMA, DMA, และ FTIR รวมทั้งทดสอบสมบัติทางกายภาพต่างๆเช่น ความแข็งแรงดึง อัตราการการดึงยืด ณ จุดขาด เป็นต้น
- นางสาวสุมิตรา เกษมชัยนันท์ และนายสุรเกียรติ คำตา[10] ได้ศึกษาและทดลองเพื่อทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิอะครีลิคแอซิด และทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมซิลค์โปรตีนซึ่งนำมาจากประเทศญี่ปุ่นและผ่านการไฮโดรไลซีสแล้ว ตลอดจนศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์หนึ่งในหลายชนิดที่สามารถเกิดเป็นไฮโดรเจล และมีสมบัติการเข้ากันได้ทางชีวภาพยอดเยี่ยม จึงมีการพัฒนาใช้งานด้านการแพทย์เพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากมีข้อเสียคือ สามารถละลายได้ในน้ำร้อน จึงไม่คงทนต่อการนำไปผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ เป็นสาเหตุให้ Yoishi, F. และคณะ[4] พัฒนาไฮโดรเจลที่มีสมบัติทนต่อความร้อนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านเวชภัณฑ์ โดยทำการปรับปรุงด้วยปฏิกิริยา acetylation ก่อนหรือหลังทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงด้วยรังสี แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า หลังทำการปรับปรุง ไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จะมีความแข็งแรงดึงสูงขึ้น มีค่าการดึงยืด 270-320% โดยประมาณ สามารถทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น ตลอดจนมีสมบัติการยึดติดกับบาดแผลเป็นอย่างดี และยังช่วยรักษาแผลไฟไหม้ให้หายเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าก๊อซ

ในทางการแพทย์ยอมรับสูตรไฮโดรเจลที่ Janusz M. Rosiak[5] เตรียมจาก n-vinyl pyrrolidone ผสมกับเอทธิลีนไกลคอลและวุ้น agar ที่ผลิตขึ้นภายใต้ชื่อทางการค้าว่า HDR ไฮโดรเจลตกแต่งแผลชนิดนี้ได้ริเริ่มมีการพัฒนาขึ้นในประเทศโปแลนด์ ด้วยเทคนิคการสังเคราะห์โดยการฉายรังสีในปริมาณ 25 KGy ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเกิดพันธะเชื่อมโยง 3 มิติที่เสถียรภายในโครงสร้างและเพียงพอต่อการฆ่าเชื้อโรค เทคโนโลยีการผลิต HDR มีข้อดีหลายประการดังนี้

1. เป็นเทคโนโลยีธรรมดาที่ง่ายและสะอาด (ไม่ก่อให้เกิดของเสีย น้ำทิ้ง ไอของสารหรืออื่นๆที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไม่จำเป็นต้องมีการดูแลเป็นพิเศษหรือแม้แต่การใช้ห้องปลอดเชื้อ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็สามารถอยู่ในสภาพปราศจากเชื้ออย่างสมบูรณ์

3. สามารถดำเนินการเป็นแบบกระบวนการต่อเนื่อง หรือกระบวนการแบบครั้ง

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและทดลองหาอัตราส่วนระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับพอลิเมอร์อื่นๆ รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแหในพอลิเมอร์ผสมนั้น
2. ศึกษาผลของพอลิเมอร์อื่น เช่น พอลิอะครีลิคแอซิด และซิลค์โปรตีนที่เติมลงไปว่ามีผลต่อสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลอย่างไร
3. ศึกษาสมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงและไม่ผ่านการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงด้วยกลูตารัลดีไฮด์

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยเติมพอลิอะคริลิคแอซิด (PAA) และซิลค์โปรตีน เพื่อปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสมบัติของเจลให้เหมาะสม โดยเส้นใยไหมที่ใช้เป็นเส้นใยไหมที่มีในประเทศไทย ได้จากเส้นใยไหมเหลือทิ้ง ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงและศึกษาสมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านสิ่งแวดล้อม ทางการเกษตรหรือทางการแพทย์ต่อไป

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

โครงงานพิเศษนี้เป็นการสังเคราะห์ไฮโดรเจล จากสารละลายผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิอะครีลิคแอซิด และซิลค์โปรตีน นำสารละลายผสมที่ได้เตรียมแผ่นฟิล์มไฮโดรเจล โดยเทลงจานเพาะเชื้อแล้วอบภายใต้สุญญากาศเพื่อกำจัดน้ำและสารอื่น ๆ ออกจากแผ่นฟิล์ม นำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลส่วนหนึ่งแช่ในกลูตารัลดีไฮด์เพื่อทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยง จากนั้นนำฟิล์มไฮโดรเจลทั้งที่ผ่านการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงและไม่ผ่านการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงมาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ, ความสามารถในการดูดซับน้ำที่มีเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดต่างๆละลายอยู่ และความสามารถในการดูดซับน้ำที่ pH 4 และ pH 9 ทำการสรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้งาน

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารละลายพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีสมบัติดีที่สุด
2. ทราบถึงระยะเวลาการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงที่ดีที่สุด
3. ทราบถึงขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์มเพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความสวยงามและมีคุณภาพสูง
4. ทราบถึงสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) [10,11]

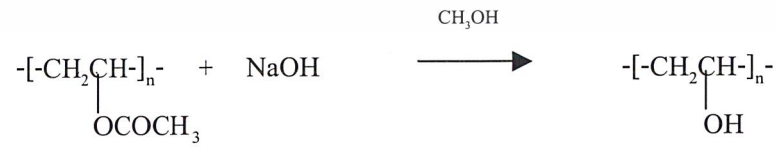
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกที่มีความสำคัญมากตัวหนึ่ง มีสูตรโครงสร้างดังนี้

สามารถนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปประยุกต์ใช้งานต่างๆได้หลายด้าน ตัวอย่างเช่น ใช้เป็นสารช่วยในการถอดแบบจากแม่พิมพ์ ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือสารข้น ใช้เป็นกาวในอุตสาหกรรมกระดาษ เซรามิค เครื่องสำอาง เป็นเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และใช้เป็นวัสดุในทางการแพทย์

<u>การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์</u>

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถเตรียมได้โดยตรงจากไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์ เนื่องจากมอนอเมอร์ชนิดนี้ไม่เสถียร ดังนั้นจึงเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอซิเตต (PVAc) ในสารละลายแอลกอฮอล์ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เมทานอล โดยมีเบสแก่หรือกรดแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และจะเกิด transesterification ของหมู่เอสเทอร์ในพอลิเมอร์ (เรียกได้อีกอย่างว่า saponification)

ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



<u>สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์</u> [10]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความหนาแน่น 1.293 g/cm^3 มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) 80 °C มีสมบัติคล้ายแป้ง คือ เมื่อนำมาทดสอบกับไอโอดีนจะเกิดสีน้ำเงิน ละลายได้ในน้ำเย็นและด่างอ่อน โครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบอะแทกติกแต่มีความเป็นผลึกมากกว่าพอลิไวนิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอซิเตต เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลมีขนาดเล็กกว่าหมู่แอซิเตต น้ำหนักโมเลกุลที่ใช้ในอุตสาหกรรมมี 3 ช่วง คือ 250,000 - 300,000 , 120,000-150,000 และ 25,000-30,000 ตามลำดับ

<u>สมบัติทางกายภาพ</u>

สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับ

- ดีกรีแอลกอฮอลิซิส คือ ถ้าถูกไฮโดรไลซ์สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น สามารถทนทานต่อการฉีกขาดได้มากและมีพันธะไฮโดรเจนมากด้วย

- ความชื้นของสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำสามารถเป็นพลาสติกไซเซอร์ให้กับพอลิเมอร์ชนิดนี้ได้ เช่น ถ้ามีความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ ความทนต่อแรงดึงจะลดลงแต่ความสามารถในการยืดตัวจะมีมากขึ้น

- น้ำหนักโมเลกุล พอลิเมอร์ที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทนต่อแรงดึงและแรงฉีกขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

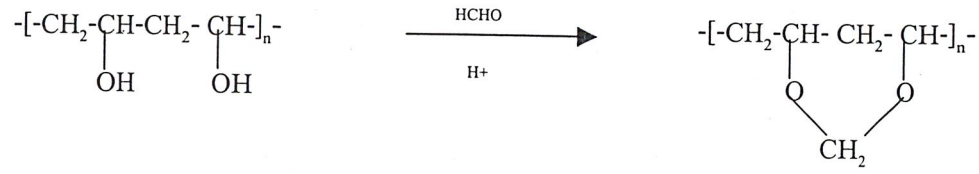
สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของ PVA คือความสามารถในการละลายน้ำได้ แต่เนื่องจากสมบัตินี้เองทำให้เส้นใย PVA ไม่สามารถนำมาใช้ได้ในสภาพความเป็นจริง จึงมีการปรับปรุงเปลี่ยนพอลิเมอร์นี้ให้อยู่ในสภาพที่ไม่สามารถละลายน้ำได้

2.2 สารที่ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงใน PVA

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความสามารถในการละลายน้ำได้ จึงมีการปรับปรุงเปลี่ยนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้อยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำ โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับสารที่ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ และกลูตารัลดีไฮด์

2.2.1 ฟอร์มาลดีไฮด์

นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ โดยเปลี่ยน 1/3 หมู่ของ -OH ไปเป็นหมู่ฟอร์มาล (formal,CH_2O)



ปฏิกิริยาของ PVA และฟอร์มาลดีไฮด์เกิดดังสมการข้างต้น โดยหมู่ –OH ข้างเคียงภายในโซ่ของ PVA จะเข้าทำปฏิกิริยากับ HCHO ทำให้เกิดวงแหวนของ 1,3-dioxane ขึ้นภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

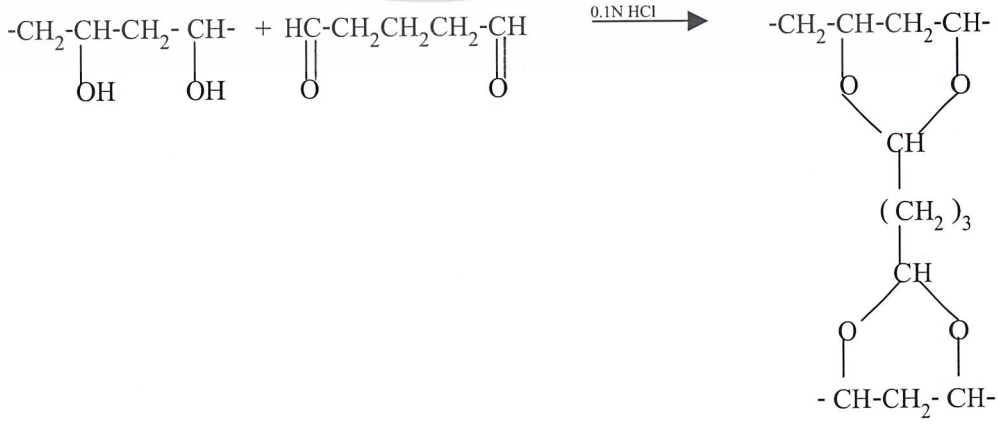
สายโซ่ โดย PVA ที่ใช้ในปฏิกิริยานี้จะอยู่ในสภาพของแข็ง ดังนั้นฟอร์มาลดีไฮด์จะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้เฉพาะส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) ไม่สามารถเข้าไปในส่วนที่เป็นผลึกของพอลิเมอร์ โดยทั่วไปแล้ว PVA ที่มีสภาพเป็นของแข็งจะมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและไม่เป็นผลึก ถ้าส่วนที่เป็นผลึกมีปริมาณไม่มากพอ PVA นั้นก็สามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิ 50 °C แต่ถ้านำ PVA นี้มาผ่านการทำ heat treatment ที่อุณหภูมิ 200 °C ก่อน ก็จะทำให้ความเป็นผลึกของ PVA มากขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ และ PVA นั้นก็จะไม่ละลายน้ำแม้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มถึง 80 °C ดังนั้นเมื่อนำ PVA ที่ผ่านการทำ heat treatment มาทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ ส่วนที่เป็นอสัณฐานเท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถควบคุมเปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง PVA กับฟอร์มาลดีไฮด์ได้ตามปริมาณความเป็นผลึกของ PVA

2.2.2 กลูตารัลดีไฮด์

กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงสำหรับเจลาติน (gelatin) , พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) มีน้ำหนักโมเลกุล 100.12 ความหนาแน่นเท่ากับ 1.106 มีสูตรโครงสร้างดังนี้

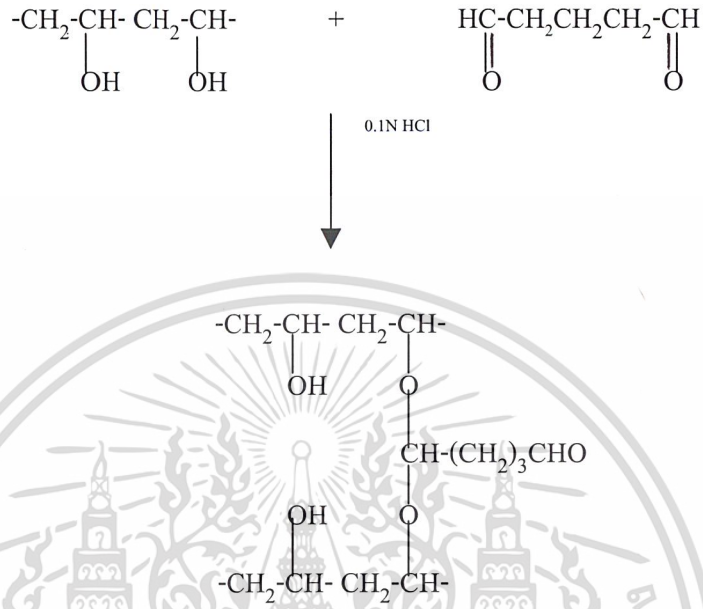
ปฏิกิริยาของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกลูตารัลดีไฮด์จะเกิดขึ้นตามสมการซึ่งสามารถเกิดได้ 2 แบบ

1. Intramolecular Acetylation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Intermolecular Acetylation

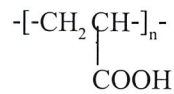


ในปฏิกิริยานี้ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้จะอยู่ในสภาพของแข็ง ดังนั้นกลูตารัลดีไฮด์จะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้เฉพาะในส่วนอสัณฐาน (amorphous) แต่จะไม่เข้าไปทำปฏิกิริยาในส่วนที่เป็นผลึกของพอลิเมอร์

2.3 พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA)[10,11]

พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) สามารถเตรียมได้โดยตรงจากเอธิลีนไซยาโนไฮดริน หรือเตรียมได้จากการพอลิเมอไรเซชันเกลือของกรดเมธาคริลิก แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับกรด หรืออาจเตรียมได้จากปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชันของพอลิอะคริเลตหรือพอลิเมธาคริเลต ในการเตรียมพอลิอะคริลิกแอซิดจากมอนอเมอร์โดยตรง นิยมใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มเกิดพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัวโดยฟรีแรดดิคอล

สูตรโครงสร้างพอลิอะคริลิกแอซิด

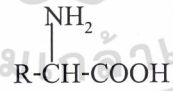


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิอะคริลิกแอซิดจะไม่ละลายในมอนอเมอร์ของมันเองและตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ แต่สามารถละลายได้ในน้ำและเบสเจือจาง มีสมบัติเปราะเมื่อแห้ง เมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนเป็นโครงร่างตาข่าย จากสมบัติเหล่านี้ทำให้การใช้งานของพอลิอะคริลิกแอซิดมีจำกัด นิยมทำเป็นกาวและสารเพิ่มความหนา (thickening agent) แต่ส่วนใหญ่จะใช้ทำโคพอลิเมอร์กับพวกไวนิลและไดอีนมอนอเมอร์

2.4 ซิลค์โปรตีน[10]

ซิลค์โปรตีนเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมวลโมเลกุลสูง โปรตีนทุกชนิดประกอบด้วยธาตุ C H N O และ S แต่โปรตีนบางชนิดมีธาตุ P Fe Zn และ Cu เพิ่มเข้ามา หน่วยโครงสร้างของโปรตีนคือกรดอะมิโน ซึ่งสามารถถูกแยกออกจากโปรตีนได้โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด กรดอะมิโนที่พบในโปรตีนมีทั้งหมด 20 ชนิด แต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R กรดอะมิโนต่อกันเป็นสายยาวเรียกว่า พอลิเพพไทด์ ต่อกันอยู่ในลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีการแตกกิ่ง พันธะโคเวเลนท์ที่เชื่อมอยู่ระหว่างกรดอะมิโนเรียกว่า พันธะเพพไทด์ พันธะนี้เป็นพันธะเอไมด์ที่เกิดจากการสูญเสียน้ำจากหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวที่หนึ่งกับหมู่ α อะมิโนของกรดอะมิโนที่อยู่ถัดไป โมเลกุลขของโปรตีนอาจจะประกอบด้วยโซ่พอลิเพพไทด์เพียงโซ่เดียวหรือมากกว่าก็ได้ โดยมีความยาวต่างกันออกไป มีกรดอะมิโนตั้งแต่ 40 หรือมากกว่า 4000 หน่วย
สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโน



โปรตีนสามารถแบ่งตามโครงรูป (conformation) ได้เป็น 2 กลุ่ม

1. โปรตีนกลอบูลาร์ ประกอบด้วยโซ่พอลิเพพไทด์ขดม้วนแน่นมีลักษณะกลม โดยเอาหมู่ R ที่ขั้วของกรดอะมิโนอยู่ข้างนอกโมเลกุล ซึ่งจะถูกไฮเดรตด้วยน้ำและเอาหมู่ R ที่ไม่ชอบน้ำไว้ข้างในโมเลกุล โครงสร้างของโปรตีนพวกนี้ประกอบด้วยเกลียวอัลฟาและโครงรูปเบตา ในปริมาณต่างๆกัน ส่วนใหญ่ละลายในน้ำได้ เช่น เอนไซม์เกือบทุกชนิด แอนติบอดี และฮอร์โมนบางชนิด
2. โปรตีนเส้นใย ประกอบด้วยโซ่พอลิเพพไทด์เป็นเส้นยาวขนานกับแกนในลักษณะเป็นเส้นใยหรือเป็นแผ่น มีความแข็ง เหนียว และอาจยืดหยุ่นได้ ไม่สามารถละลายน้ำหรือสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลือที่เจือจาง เป็นโปรตีนที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ชั้นสูง เช่น คอลลาเจนของเอ็น คีราทินของเส้นผม ขน และไฟโบรอินของเส้นไหม

โครงสร้างของโปรตีนแบ่งได้เป็น 4 ชนิด

1. โครงสร้างปฐมภูมิ

หมายถึงโครงสร้างของโปรตีนที่ประกอบด้วยการเรียงลำดับของกรดอะมิโนที่จำเพาะเป็นสายยาวของโซ่พอลิเพพไทด์ ด้วยพันธะเพพไทด์

2. โครงสร้างทุติยภูมิ

โปรตีนในธรรมชาติประกอบขึ้นด้วยสายพอลิเพพไทด์ที่มีโครงสร้างแบบทุติยภูมิ 3 แบบ ด้วยกัน

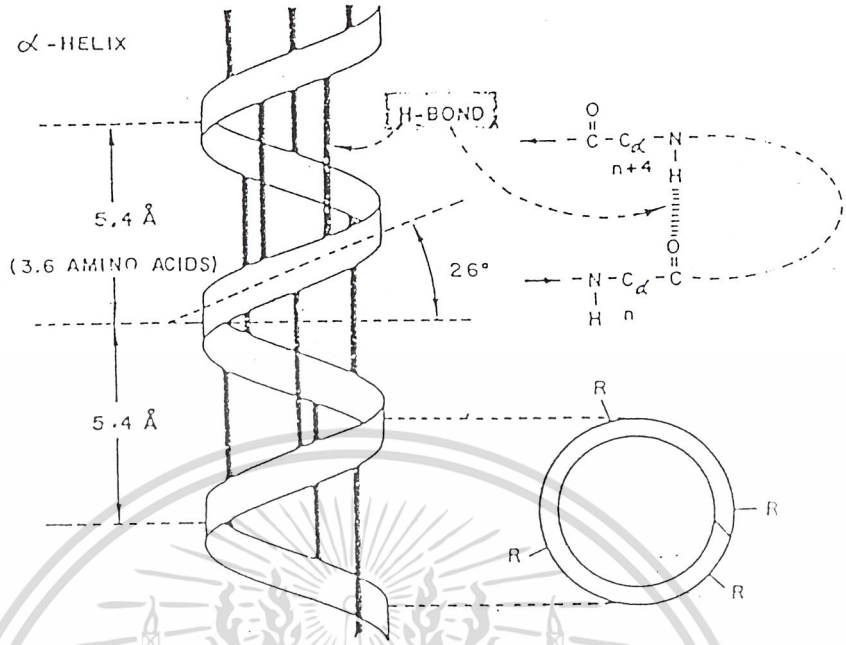
- α-เฮลิคส์

เป็นโครงสร้างระดับทุติยภูมิที่พบมากที่สุด ซึ่งโครงสร้างของสายโซ่จะขดวนเป็นเกลียวเหมือนสปริง หมู่คาร์บอนิลมีพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ NH ของเอมีนที่ห่างออกไป 4 ยูนิต การหมุนวนของขดสปริงที่พบส่วนใหญ่เป็นแบบวนขวา ความเสถียรของ α -เฮลิคส์ เกิดจากการที่มีพันธะไฮโดรเจนสำหรับหมู่คาร์บอนิลของทุกหน่วยของอะมิโน เป็นโครงสร้างที่ทำให้มีการจัดตัวของสายพอลิเพพไทด์ที่ประหยัดเนื้อที่ คือ อัดตัวกันอยู่อย่างแน่นหนาเป็นเกลียว

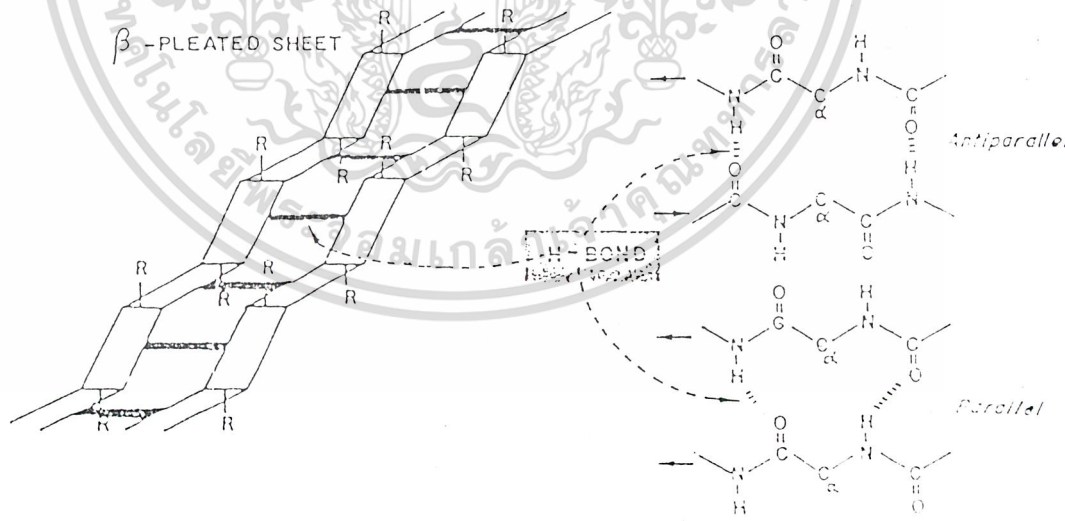
- β-ชีท

เป็นโครงสร้างระดับทุติยภูมิที่พบมากเป็นอันดับสองรองจาก α-เฮลิคส์ โดย β-ชีท เกิดจากการที่พอลิเพพไทด์ 2 สายมาอยู่คู่ขนานกัน หมู่คาร์บอนิลมีพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ NH ของเอมีนจากอีกสายหนึ่ง แผ่นหรือระนาบที่เกิดจากการขนานกันของสายพอลิเพพไทด์จะมีการหักขึ้นลงเป็นพลีทเหมือนรอยหยักขึ้นลงของพับกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทุติยภูมิแบบ α-เฮลิคส์[10]

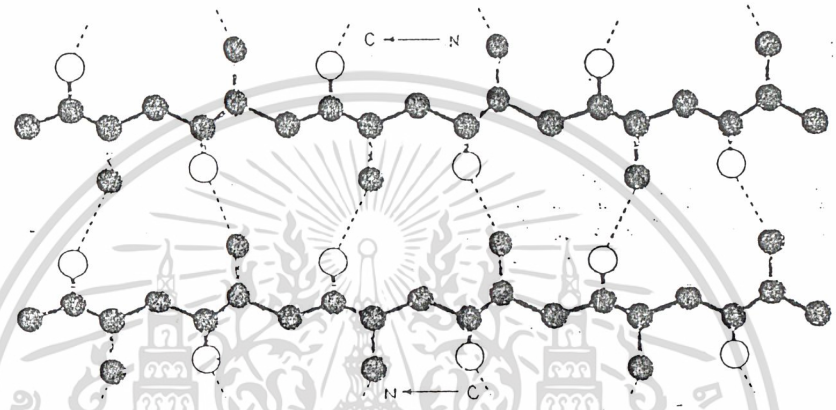


รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทุติยภูมิแบบ β-plated sheet[10]

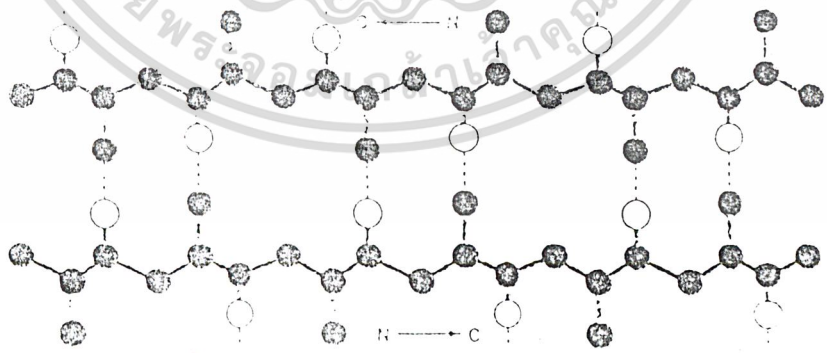
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

β-ชีท ที่สายพอลิเพพไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C เหมือนกัน เรียกว่า พาราเลล β-ชีท

β-ชีท ที่สายพอลิเพพไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C ตรงข้ามกัน เรียกว่า แอนติพาราเลล β-ชีท



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้าง พาราเลล β-ชีท[10]



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้าง แอนติพาราเลล β-ชีท[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- β-เบนด์

โครงสร้างแบบนี้พบบริเวณจุดหักมุมเพื่อกลับทิศทางของสาย α-เฮลิคส์ หรือ β-ชีท ลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นหลูบ ซึ่งเกิดจากการที่หมู่คาร์บอนิลมีพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ -NH ของเอมีนที่อยู่ถัดไป 3 หน่วย

3. โครงสร้างตติยภูมิ

หมายถึงโครงสร้างที่มีสายโซ่พอลิเพพไทด์มาขดม้วนแน่นในลักษณะกลมของโปรตีนกลอบูลาร์ พันธะที่เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้โครงสร้างนี้เสถียรอยู่ได้ คือ พันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะโคเวเลนท์ และพันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรฟอบิกหรือพันธะนอนโพลาร์ ซึ่งเป็นพันธะอ่อน และแรงแวนเดอร์วาลส์

4. โครงสร้างจตุรภูมิ

หมายถึง โครงสร้างที่ประกอบด้วยสายโซ่พอลิเพพไทด์มากกว่าหนึ่งโซ่อยู่รวมกันด้วยพันธะอ่อน แต่ละสายโซ่พอลิเพพไทด์หรือโปรโมเตอร์จะเหมือนหรือต่างกันก็ได้ โปรตีนที่มีลักษณะนี้เรียกว่า โอลิโกเมอริกโปรตีน เช่น ฮีโมโกบิน

ซิลค์โปรตีน เป็นโปรตีนพวกไฟโบอินที่พบในเส้นไหม ประกอบด้วยกรดอะมิโนคือ ไกลซีน (Gly) 40 เปอร์เซ็นต์ อะลานีน (Ala) 29 เปอร์เซ็นต์ และเซรีน (Ser) 12 เปอร์เซ็นต์ มีโครงสร้างปฐมภูมิที่ซ้ำกันคือ $(Gly\text{-}Ser\text{-}Gly\text{-}Ala\text{-}Gly\text{-}Ala)_n$ โครงสร้างไฟโบอินจะเป็นแผ่นพลีทบีตาชนิดที่มีสายเพพไทด์วิ่งสวนทางกัน ทำให้ไฟโบอินมีลักษณะเป็นแผ่นพลีทหลายๆแผ่นมาซ้อนทับกัน ในแผ่นพลีทบีตาสายเพพไทด์วิ่งขนานทางกัน มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มและกลุ่มของพันธะเพพไทด์ของสายเพพไทด์ที่เคียงคู่กัน แขนงข้างจะชี้ออกด้านล่างและด้านบนของสายเพพไทด์แขนงข้างที่มีขนาดเล็ก เช่น ไกลซีน เซรีน และอะลานีน จะช่วยทำให้แผ่นพลีทอยู่ตัวได้ดี

2.5 ไฮโดรเจล[10]

ไฮโดรเจลเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่ายสามารถดูดซับน้ำเข้าไปไว้ภายในโครงสร้างได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ มีทั้งที่เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น agar, gelatin หรือเป็นวัสดุพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น poly(vinyl alcohol)

ลักษณะของพอลิเมอร์หรือมอนอเมอร์ที่สามารถเตรียมเป็นไฮโดรเจลได้จะต้องมีสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และสามารถละลายน้ำได้ โดยในโครงสร้างมีหมู่ฟังก์ชันดังต่อไปนี้ คือ -OH, -COOH, $-CONH_2$, $-SO_3H$ และ -CONH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

พอลิเมอร์	สูตรโครงสร้าง
Poly(vinyl alcohol)	-[-CH_2-CH(OH)-CH_2-CH(OH)-]$_n$-
Poly(acrylic acid)	-[-CH_2-CH(COOH)-CH_2-CH(COOH)-]$_n$-
Poly(acrylamide)	-[-CH_2-CH($CONH_2$)-CH_2-CH($CONH_2$)-]$_n$-

<u>พันธะเคมีในไฮโดรเจล</u>

1. พันธะเชื่อมโยงทางเคมี (chemical crosslinked) แต่ละสายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกันด้วยพันธะโคเวเลนท์ที่มีความแข็งแรง ดังนั้นจึงทำให้สลายตัวได้เพียงในกรณีที่โมเลกุลมหภาค (macromolecule) ถูกทำลายเท่านั้น วิธีการที่นิยมใช้ในการเตรียมไฮโดรเจล คือ เทคนิคการฉายรังสี และเทคนิคการใช้สารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง ซึ่งในการทดลองนี้จะศึกษาจากวิธีการใช้สารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง
2. พันธะเชื่อมโยงทางกายภาพ (physical crosslinked) ไฮโดรเจลที่มีพันธะเชื่อมโยงชนิดนี้ เรียกว่า physical hydrogel, reversible gel หรือ psuedogel โดยมีโครงสร้างเป็นร่างแห 3 มิติ แต่ละสายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอ่อนๆ หรือแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ สามารถเตรียมได้โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Freezing and thawing วิธีการนี้จะให้ไฮโดรเจลที่มีความแข็งแรงสูง แต่จะหลอมเหลวกลับไปเป็นสารละลายได้ที่อุณหภูมิ 55 °C เนื่องจากไม่มีพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ มีเพียงการเชื่อมโยงทางกายภาพเท่านั้น

<u>สมบัติของไฮโดรเจลและการนำไปใช้งาน</u>

ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำและไอออนได้ โดยสมบัติเชิงกลและรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสมบัติดังกล่าวคล้ายคลึงกับอวัยวะบางอย่างในร่างกายคน เช่น กล้ามเนื้อ เอ็น ลำไส้เล็ก เป็นต้น นอกจากนี้ไฮโดรเจลยังมีสมบัติเข้ากันได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง เนื้อเยื่อ จึงสามารถนำมาทำเลนส์สัมผัส วัสดุตกแต่งบาดแผลจากไฟไหม้ ตลอดจนใช้เคลือบวัตถุที่ต้องนำมาใช้สัมผัสกับร่างกาย ใช้เคลือบอวัยวะเทียมที่ใช้กับร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydrogel dressing

แผลที่เกิดจากอุบัติเหตุไฟไหม้ หรือน้ำร้อนลวก มีความเสี่ยงสูงมากต่อการเกิดเชื้อโรคจากสิ่งแวดล้อม และการสูญเสียน้ำจากร่างกาย โดยทั่วไปแล้วการรักษาบาดแผลไฟไหม้ธรรมดาจนถึงแผลฉกรรจ์ ทำได้โดยวิธีปลูกถ่ายเนื้อเยื่อ หรือการทำศัลยกรรมตกแต่งผิวเท่านั้น เพื่อช่วยแก้ปัญหาการสูญเสียผิวหนัง และเร่งการรักษาบาดแผลให้เร็วยิ่งขึ้น โดยแผ่นผิวหนังที่ใช้อาจเป็นแผ่นผิวหนังที่สมบูรณ์ หรือผิวหนังที่ผ่านการเพาะเลี้ยงจากห้องปฏิบัติการ แต่วิธีดังกล่าวมีข้อเสีย ต่อมาจึงใช้ผิวหนังเทียมมาช่วยในการแก้ปัญหา โดย hydrogel dressing เป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้เป็นผิวหนังเทียมมากที่สุด

หนังเทียมที่ใช้สามารถแยกได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มธรรมดา (conventional) ได้แก่ ผ้ากอซ ผ้าพันแผลที่อิ่มตัวด้วยขี้ผึ้งหรือน้ำมันซิลิโคน เป็นต้น
2. กลุ่มชีวภาพ (biological) ได้แก่ ผิวหนังจากศพ ผิวหนังสัตว์ ฟองน้ำ และคอลลาเจน เป็นต้น
3. กลุ่มสังเคราะห์ (synthesis) ได้มาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์

วัสดุตกแต่งแผลจะนำมาใช้แบบครั้งต่อครั้ง ความถี่ของการเปลี่ยนแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุ เช่น สมบัติการขัดถู หรืออาจขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการต่อต้านของร่างกายเมื่อมีสิ่งแปลกปลอมผ่านเข้ามา

สมบัติของวัสดุตกแต่งบาดแผล

1. สามารถดูดซับของเหลวออกจากร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. มีความยืดหยุ่นและความแข็งแรงเชิงกลสูง
3. ยอมให้ก๊าซออกซิเจนแพร่ซึมเข้าไปถึงผิวหน้าของบาดแผลได้
4. ปราศจากเชื้อโรค
5. ดูแลสุขภาพผิวได้
6. สามารถควบคุมปริมาณการปล่อยยาได้
7. มีความโปร่งใส
8. มีความเสถียรคงทน
9. ใช้ง่าย สะดวก และเก็บรักษาง่าย
10. หาได้ทั่วไป ราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

นอกจากนี้วัสดุตกแต่งบาดแผลต้องมีสมบัติเพิ่มเติม ได้แก่

- ความสามารถในการยึดติดกับแผล

วัสดุที่ใช้ควรมีความสามารถยึดเกาะกับแผลได้แนบสนิท แต่ไม่แน่นจนเกินไปจนทำลายเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นใหม่เมื่อลอกวัสดุตกแต่งออกจากแผล

- การควบคุมความชื้นของแผล

วัสดุตกแต่งแผลควรมีสมบัติในการควบคุมความชื้นของแผลให้เหมาะสม ไม่เปียกชุ่มด้วยน้ำเหลืองที่ออกจากแผลหรือปล่อยให้แผลแห้งจนเป็นสะเก็ด เพราะว่าแผลที่เปียกชุ่มจนเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธ์ของพวกจุลินทรีย์ แต่ถ้าแผลแห้งจนเกินไปสะเก็ดก็จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของเซลล์ผิวหนังที่พยายามจะเคลื่อนที่มาสมานบาดแผลโดยกลไกธรรมชาติ ดังนั้นวัสดุที่นำมาใช้ปิดแผลต้องมีความสามารถในการดูดซับของเหลวได้ในอัตราการผลิตของเหลวจากแผล และสามารถให้ไอน้ำระเหยออกจากแผลได้ ซึ่งจะทำให้สามารถรักษาระดับความชื้นของแผลไว้ได้

<u>สมบัติบางประการของ hydrogel dressing</u>

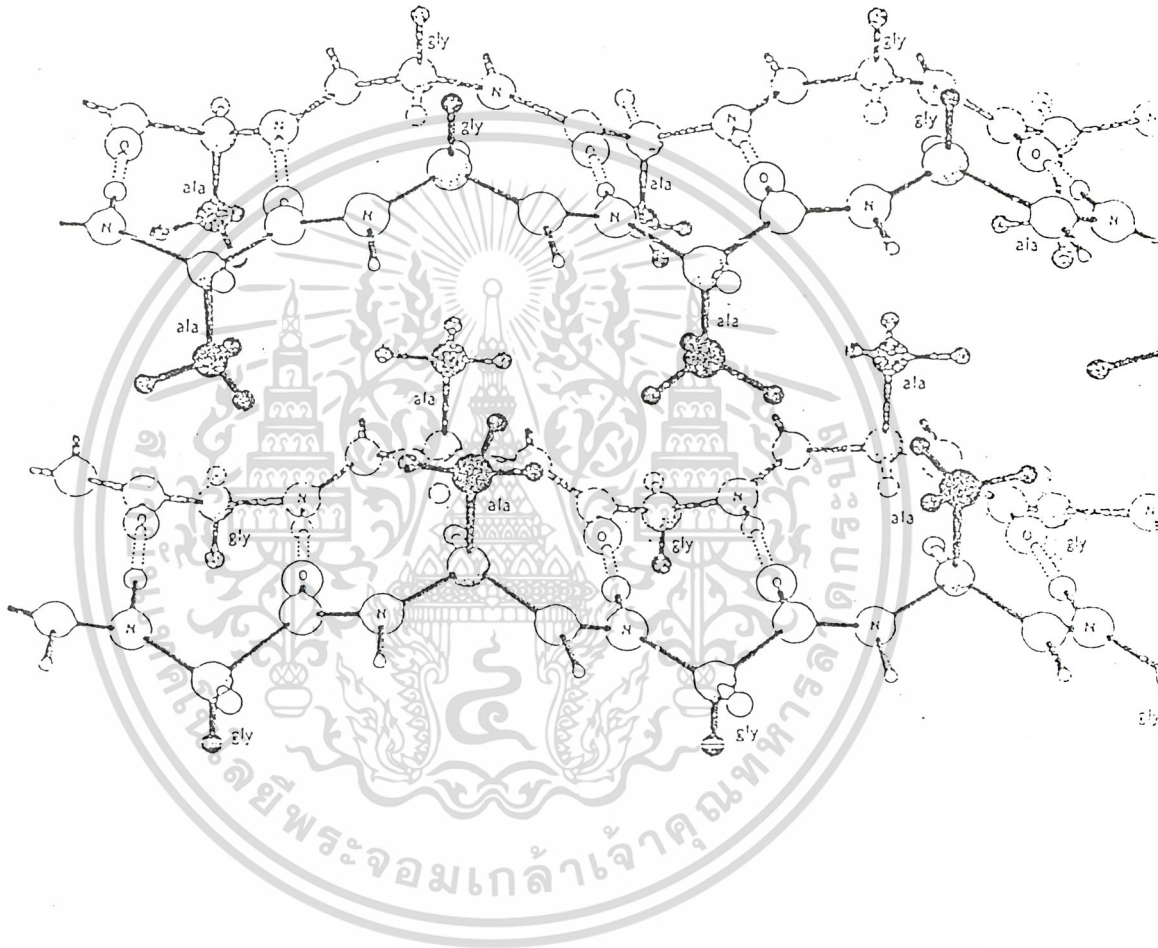
ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้มาก เมื่อทำเป็นแผ่นบางจะมีความใส ยืดหยุ่น สะดวกต่อการนำไปใช้ แต่มีปัญหาบางประการได้แก่ เมื่อทำเป็นแผ่นบาง อัตราการสูญเสียน้ำจากไฮโดรเจลจะสูงทำให้เจลแข็ง แห้ง เปราะและทำให้ติดผิวหนัง รวมทั้งดูดซับน้ำและของเหลวออกจากร่างกาย สามารถแก้ไขปัญหานี้โดยการเติมสารละลายพอลิเอทิลีนหรือพอลิพรอพิลีน ไกลคอล และสารทำให้คงรูปร่าง เช่น วุ้น หรือ เจลลาติน เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเอทิลีนไกลคอล และวุ้นจะทำให้อัตราการบวมตัวเปลี่ยน คือ ถ้าเพิ่มปริมาณของเอทิลีน ไกลคอล จะทำให้ไฮโดรเจลมีสมบัติการดูดซับน้ำได้ดีขึ้น แต่ถ้ามีวุ้นในปริมาณมากจะทำให้ไฮโดรเจลมีสมบัติการดูดซับน้ำได้ต่ำลง

สมบัติเชิงกลของ hydrogel dressing บางประการ เช่น ความแข็งแรงดึงและอัตราการดึงยืด ณ จุดขาด นอกจากจะแปรตามองค์ประกอบของไฮโดรเจลแล้วยังแปรตามระยะเวลาในการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงด้วย พบว่าที่ระยะเวลาในการทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงมาก ค่าความแข็งแรงดึงของไฮโดรเจลจะเพิ่มขึ้น แต่อัตราการดึงยืด ณ จุดขาดจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากที่ระยะเวลามากๆ ค่าองศาการเชื่อมโยงสูงขึ้น

hydrogel dressing มีความสามารถในการดูดซับน้ำ จึงยอมให้มีการซึมผ่านของออกซิเจนหรือก๊าซอื่นๆ เข้าไปในบาดแผลได้ นอกจากนี้ hydrogel dressing ยังยอมให้สารบางชนิดที่เป็นของแข็งแพร่ผ่านจากผิวด้านหนึ่งไปยังผิวอีกด้านหนึ่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40067



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้าง 3 มิติ ของไหม[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิจัยและการดำเนินการ

3.1 สารเคมี

- เศษไหม STB II (BOMBYX MORI)
- น้ำที่ปราศจากไอออน (deionised water,น้ำ DI)
- เมทานอล (CH_3OH)
- เอทานอล (C_2H_5OH)
- สารซักล้าง (detergent)
- กลูตารัลดีไฮด์
- 1 N. ไฮโดรคลอริก
- แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ($CaCl_2.2H_2O$)
- 0.5% โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
- 5% พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA)
- 5% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)
- 0.5% และ 1.5% โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
- 0.5% และ 1.5% โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI)
- 0.5% และ 1.5% แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)
- 0.5% และ 1.5% แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$)
- สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH9
- 2, 4 ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

- บีกเกอร์ ขนาด 1000 cm^3, 500 cm^3 และ 250 cm^3
- กระบอกตวง ขนาด 50 cm^3 และ 10 cm^3
- แท่งแก้ว
- แท่นให้ความร้อน (hotplate)
- กระดาษลิตมัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระดาษลิตมัส
- ถุงมือ
- เทอร์โมมิเตอร์
- ขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 cm^3 และ 500 cm^3
- กระจกนาฬิกา
- จานเพาะเชื้อ
- เครื่องชั่ง
- ตู้อบธรรมดาและสุญญากาศ

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การทำความสะอาดเศษไหม

นำไหม 5 กรัม ต้มในน้ำ DI 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 50-60 °C เป็นเวลา 2 ชม.

↓

กรองไหมออกจากน้ำ DI จากนั้นนำไปแช่ในเมทานอล 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชม.

↓

กรองไหมออก แล้วนำไหมไปแช่ในสารละลายซักล้างที่เจือจางแล้ว 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชม.

↓

กรองไหมออก นำไหมที่กรองได้แช่ใน 0.5% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 200 มิลลิลิตร โดยใช้แท่งแก้วคนอยู่ตลอดเป็นเวลา 1/2 ชม.

↓

ล้างไหมด้วยน้ำ DI หลายๆ ครั้ง จนกระทั่งน้ำจากการล้างไหมเป็นกลาง (ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส)

↓

นำไหมที่ล้างแล้วอบให้แห้งในตู้อบธรรมดา ที่อุณหภูมิ 50 °C

↓

เก็บเส้นไหมแห้งไว้ในเดซิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ละลายแคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ($CaCl_2.2H_2O$) ในน้ำ DI และเอทานอล ดังอัตราส่วน (หน่วยเป็นกรัม)

$CaCl_2.2H_2O$	C_2H_5OH	น้ำ DI
73.5	47	54

3.3.3 การละลายไหม

ละลายไหม 10 กรัม ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 จนไหมละลายหมด

↓

ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.3.4 การทำ Dialysis

ตัดถุง dialysis ยาวประมาณ 15 เซนติเมตร แช่ไว้ในน้ำ DI

↓

ใช้ตัวหนีบติดที่ปลายด้านหนึ่งของถุง แล้วล้างด้านในถุงด้วยน้ำ DI หลายๆครั้ง

↓

ตวงสารละลายไหมประมาณ 5-8 มิลลิลิตร ใส่ลงในถุง dialysis ใช้ตัวหนีบติดปลายอีกด้านที่เหลือ

↓

นำถุง dialysis ที่มีไหมอยู่ไปแช่ในภาชนะที่บรรจุน้ำ DI ทำการปั่นกวนตลอดเวลา

↓

เปลี่ยนน้ำ DI ทุก ½ วัน แช่ถุง dialysis เป็นเวลา 3 วัน

↓

เมื่อครบ 3 วัน เทสารละลายไหมออกจากถุง dialysis แล้วนำไปทำการทดลองขั้นต่อไป

3.3.5 การหาความเข้มข้นสารละลายไหม

ชั่งน้ำหนักถ้วย aluminium foil เปล่าที่จะใช้ใส่ไหม

↓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

↓

ใส่สารละลายไหม 5 มิลลิลิตร ลงในถ้วย aluminium foil แล้วชั่งน้ำหนัก

↓

อบให้แห้งในตู้อบธรรมดา ที่อุณหภูมิ 50 °C

↓

ชั่งน้ำหนักไหมแห้ง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซนต์ความเข้มข้นสารละลายไหม

$$\text{เปอร์เซนต์ความเข้มข้นสารละลายไหม} = \frac{(\text{น้ำหนักไหมแห้ง} \times 100)}{5}$$

3.3.6 การเตรียมฟิล์ม

ผสมสารละลายไหม, พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ดัง

อัตราส่วน (หน่วยเป็นกรัม)

Code	ไหม (3%)	PAA(5%)	PVA(5%)
A_0	6.25	-	18.75
A_1	6.25	0.5	18.25
A_2	6.25	1.0	17.75
A_3	25	-	-
A_4	-	-	25

นำสารละลายแต่ละอัตราส่วนผสมเทลงในจานเพาะเชื้อ

↓

กำจัดฟองอากาศ จากนั้นไปอบในตู้อบธรรมดา ที่อุณหภูมิ 50 °C จนกระทั่งสารละลายแห้งกลายเป็นฟิล์ม

↓

ลอกฟิล์มออกจากจานเพาะเชื้อ

↓

นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปอบในตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 3 ชม.

↓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งฟิล์มเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหเชื่อมโยง (crosslink)
ส่วนที่ 2 เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

3.3.7 การเตรียม 1% สารละลายกลูตารัลดีไฮด์

ผสมกลูตารัลดีไฮด์ 1 กรัม ใน 1N กรดไฮโดรคลอลิก 99 กรัม

↓

เก็บสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ในขวดสีชา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด Oxidation

3.3.8 การเตรียม crosslinked film

นำฟิล์มแห้งแต่ละอัตราส่วนผสม แช่ใน 1% สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ ระยะเวลาในการแช่ 5, 20, 40 และ 80 นาที

↓

ล้างฟิล์มด้วยน้ำ DI หลายๆ ครั้ง เพื่อล้างกลูตารัลดีไฮด์ (ทดสอบโดยใช้ 2, 4 ไดไนโตรฟีนิลไฮดราซีน ถ้ามีกลูตารัลดีไฮด์อยู่จะเกิดตะกอนสีเหลือง)

↓

ตากฟิล์มให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

↓

เก็บฟิล์มแห้งไว้ในเดซิเคเตอร์ เพื่อรอนำไปทดสอบ

3.3.9 ทดสอบสมบัติของฟิล์ม

3.3.9.1 ทดสอบการดูดซับน้ำ

แบ่งฟิล์มเป็นชิ้นเล็กๆ มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน หุ้มฟิล์มด้วยถุงอลูมิเนียม

↓

แช่ในน้ำ DI นาน 1 ชั่วโมง

↓

นำขึ้นมาซับน้ำให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก

↓

ทำการทดลองซ้ำทุกๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 6 ชั่วโมง
ชั่งน้ำหนักฟิล์มที่ 24 และ 168 ชั่วโมง

↓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ที่เวลาใดๆ} = \frac{(\text{น้ำหนักฟิล์มหลังการแช่} - \text{น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่}) \times 100}{\text{น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่}}$$

3.3.9.2 ทดสอบการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือชนิดต่าง ๆ

เตรียมสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้

สารละลาย	ความเข้มข้น (%w/v)
NaCl	0.5 และ 1.5
KI	0.5 และ 1.5
$MgCl_2$	0.5 และ 1.5
$CaCl_2$	0.5 และ 1.5

↓

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.9.1

โดยเปลี่ยนจากน้ำ DI เป็นสารละลายเกลือชนิดต่าง ๆ

↓

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

3.3.9.3 ทดสอบการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 9

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.9.1

โดยเปลี่ยนจากน้ำ DI เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 9 ตามลำดับ

↓

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในการทดลองเตรียมฟิล์มทั้งหมด 5 ชนิด เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจจะใช้สัญลักษณ์ A0, A1, A2, A3 และ A4 แทนฟิล์มชนิดต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบในสารละลายพอลิเมอร์ผสม

สัญลักษณ์	ส่วนประกอบ (มิลลิลิตร)		
	3% สารละลายไหม	5% PAA	5% PVA
A0	6.25	-	18.75
A1	6.25	0.5	18.25
A2	6.25	1.0	17.75
A3	25	-	-
A4	-	-	25

4.1 การดูดซับน้ำ

<u>ฟิล์มที่ไม่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์</u>

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก คือ จาก 0% เป็น 200-250% สำหรับฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 และจาก 0% เป็น 120% สำหรับฟิล์ม A3 โดยฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกัน ค่าการดูดซับน้ำหลังจากชั่วโมงแรกจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงเล็กน้อยจนถึงระยะเวลาการทดลองที่ 168 ชั่วโมง สำหรับฟิล์ม A3 จะมีค่าการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่ แต่หลัง 24 ชั่วโมงค่าจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 4.1

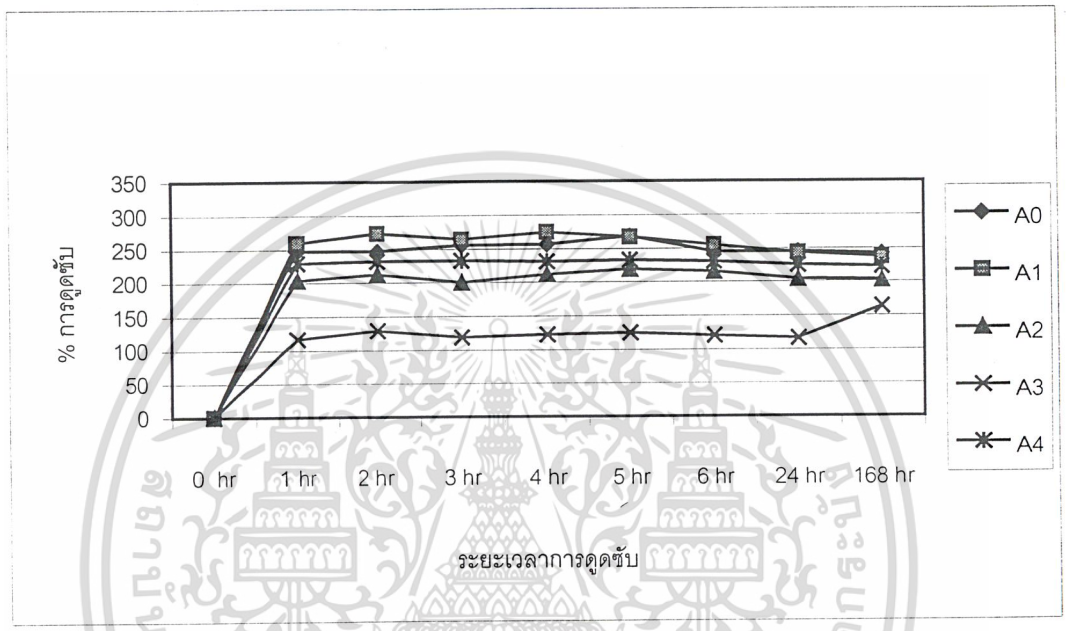
<u>ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์</u>

- ระยะเวลาในการแช่ กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

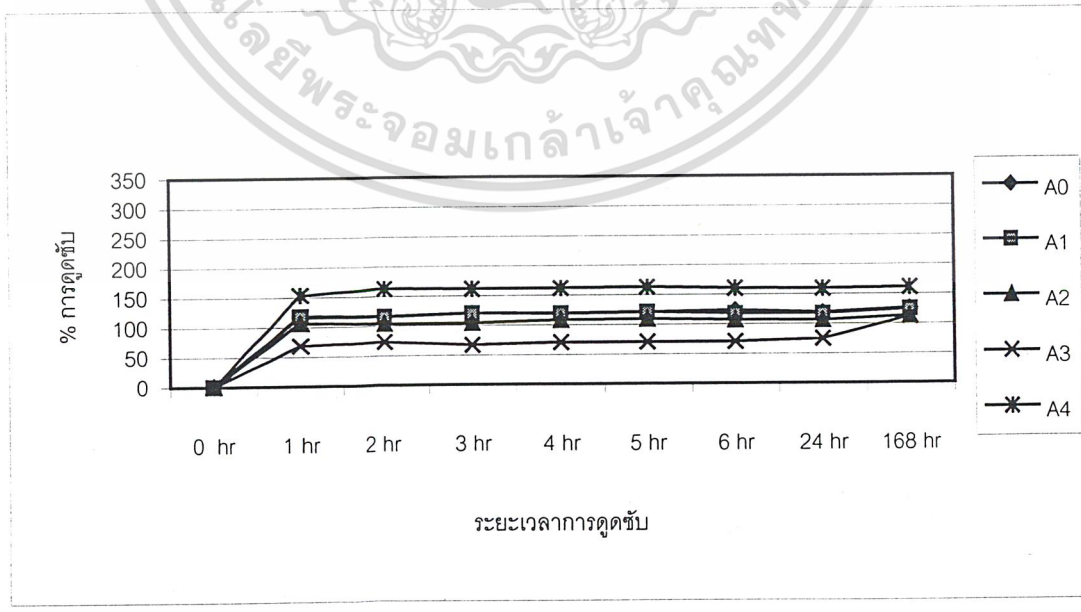
ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะคงที่จนถึง 168 ชั่วโมง ยกเว้นฟิล์ม A3 มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากระยะเวลาการทดลอง 24 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A4 มีค่าการดูดซับน้ำสูงสุดคือ 160% ฟิล์ม A0, A1 และ A2 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันและฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุดคือ 70% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แช่กลูตารัลดีไฮด์พบว่า ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที มีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่าโดยลดลงจาก 200-250% เหลือเพียง 100-160% สำหรับฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 และลดลงจาก 120% เหลือ 70% สำหรับฟิล์ม A3 ดังแสดงในรูป 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

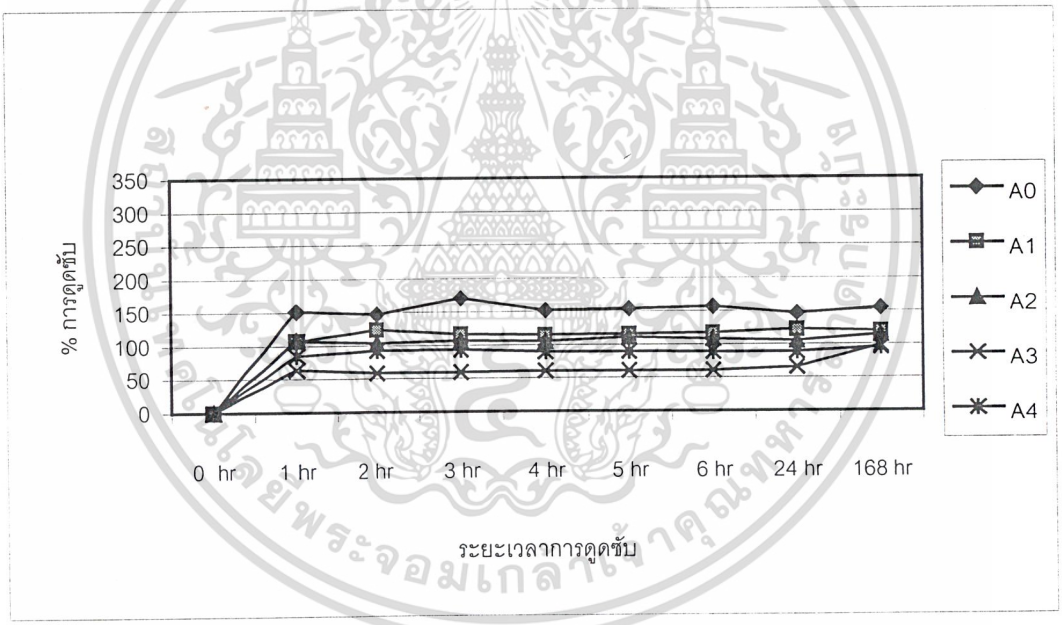


รูปที่ 4.2 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะคงที่จนถึง 168 ชั่วโมง ยกเว้นฟิล์ม A3 มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากระยะเวลาการทดลอง 24 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A0 มีค่าการดูดซับน้ำสูงสุด คือ 150% ฟิล์ม A0, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุดคือ 60% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที พบว่า ฟิล์ม A1, A2 และ A3 ที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที และ 20 นาที มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ฟิล์ม A4 ที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที มีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่าฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที คือ ลดลงจาก 160% เป็น 90% ส่วนฟิล์ม A0 มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 120% เป็น 150% ดังแสดงในรูป 4.3



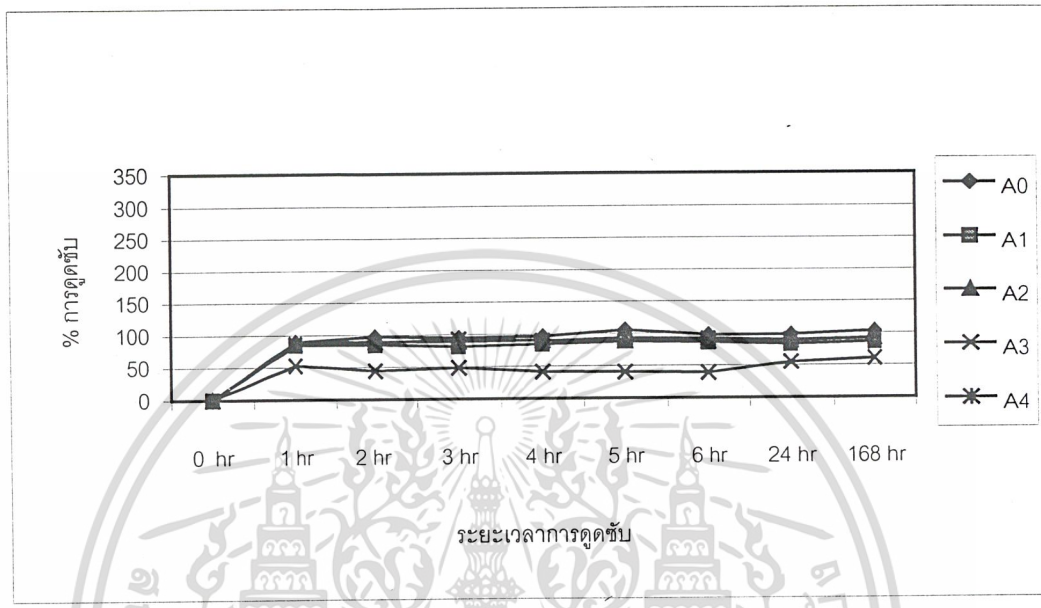
รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

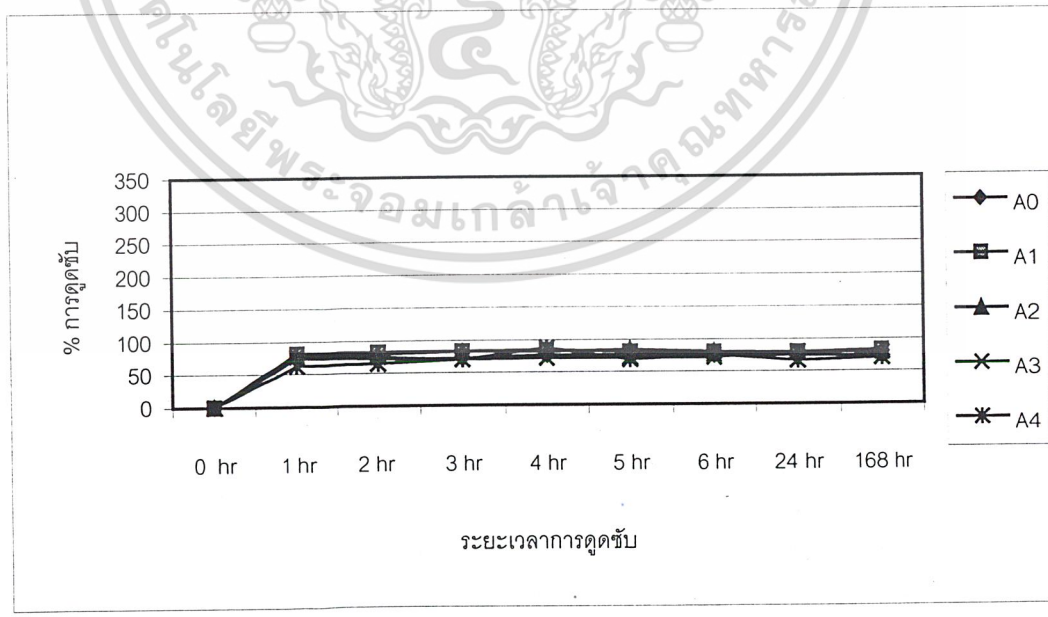
ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก และมีค่าการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่ในชั่วโมงต่อมาจนถึง 168 ชั่วโมง ยกเว้นฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากชั่วโมงที่ 6 โดยที่ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุดคือ 50% และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮด์ 20 นาที พบว่า ฟิล์มทุกชนิดที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที มีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่าฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที ดังแสดงในรูป 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที



รูปที่ 4.5 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

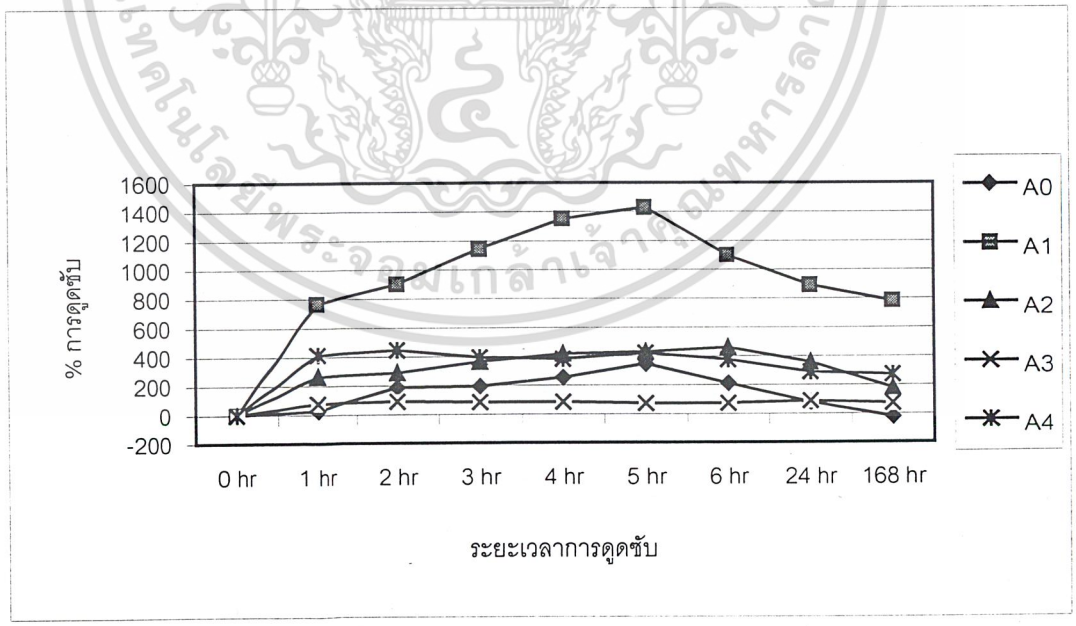
ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมงแรก และมีค่าการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่ในชั่วโมงต่อมาจนถึง 168 ชั่วโมง โดยค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มทุกชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 60% - 80% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที พบว่า ฟิล์มทุกชนิดที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที มีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่าฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที ดังแสดงในรูป 4.5

4.2 การดูดซับน้ำของฟิล์มในสารละลายเกลือชนิดต่าง ๆ

4.2.1 การดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl

<u>ฟิล์มที่ไม่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์</u>

แนวโน้มการดูดซับน้ำของฟิล์ม A0, A1 และ A2 จะเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาการทดลอง 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเริ่มลดลง ฟิล์ม A4 ดูดซับน้ำได้ค่อนข้างคงที่จนถึงระยะเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดลง ส่วนฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่และมีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด คือ 100% โดยที่ฟิล์ม A1 ดูดซับน้ำได้ดีที่สุด ดังแสดงในรูป 4.6



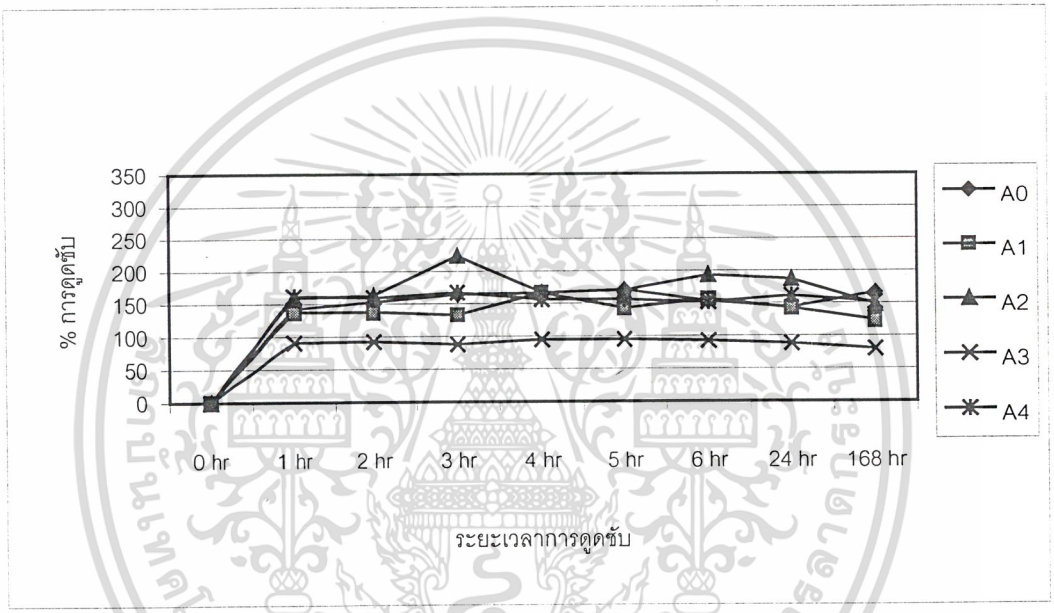
รูปที่ 4.6 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ และค่าการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 120% -180% ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุดคือ 90% ดังแสดงในรูป 4.7

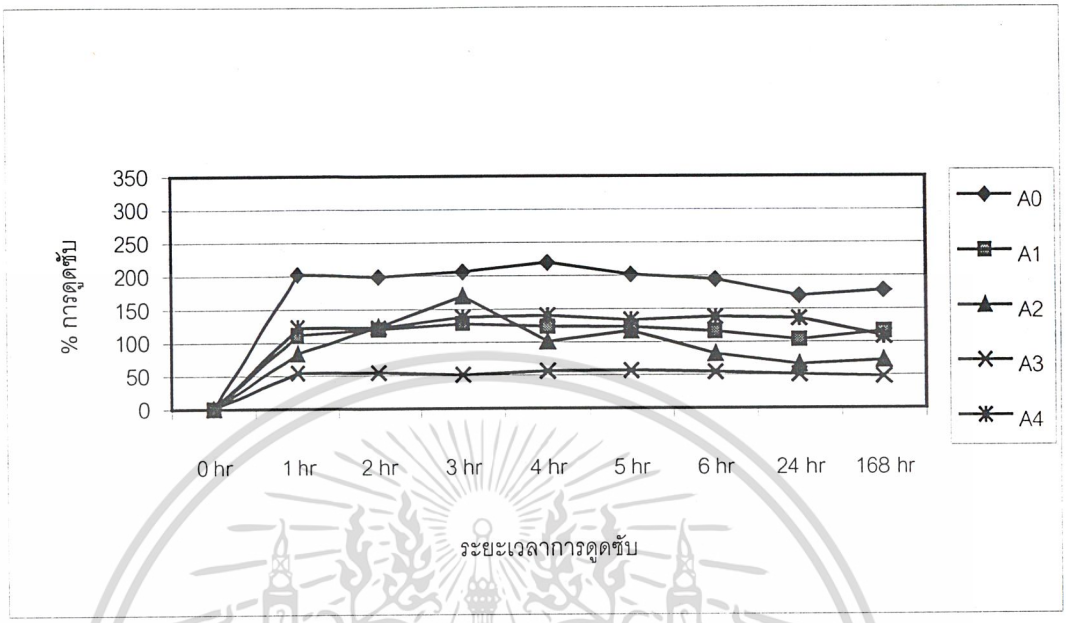


รูปที่ 4.7 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

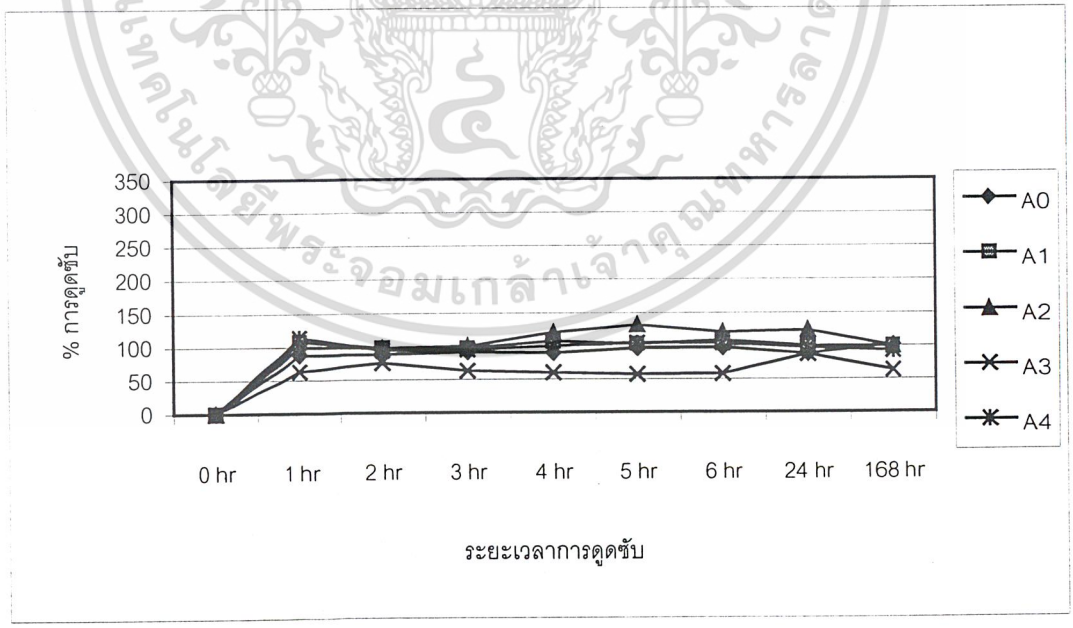
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

ฟิล์ม A0, A2, A3 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที โดยฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด คือ 50% ส่วนฟิล์ม A0 ที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 150% เป็น 200% ดังแสดงในรูป 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที



รูปที่ 4.9 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

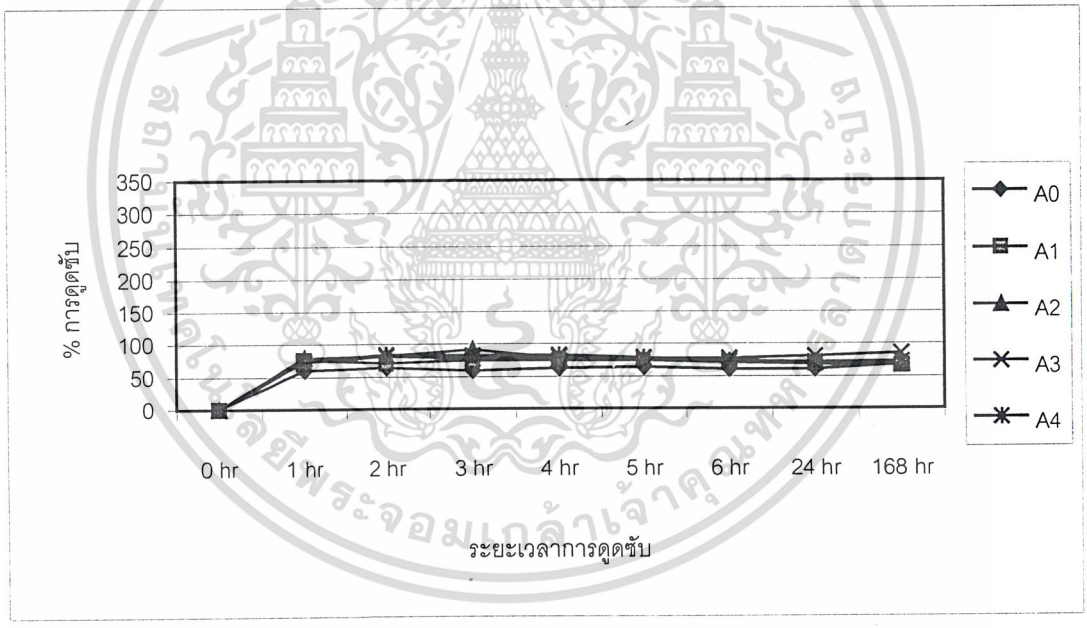
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกันคือ 70% - 110% และมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที ฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุดและมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที ดังแสดงในรูป 4.9

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

ฟิล์ม A1, A2, A3 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันคือ 60% - 80% ฟิล์ม A0 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที พบว่าฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำลดลง ส่วนฟิล์ม A3 ที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที และ 80 นาที มีค่าการดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูป 4.10



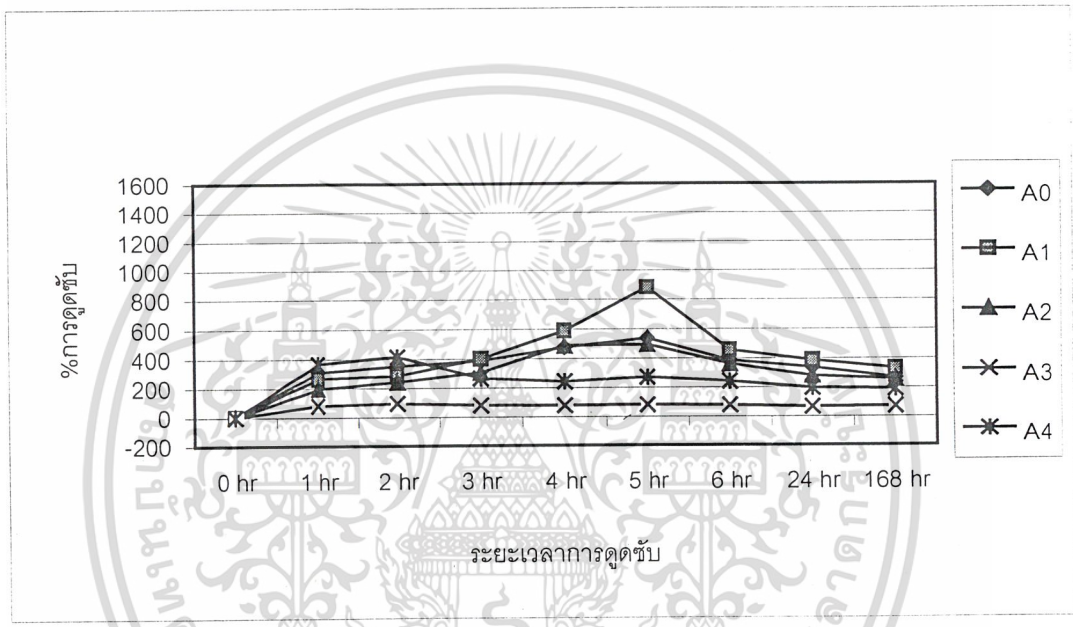
รูปที่ 4.10 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl

ฟิล์มที่ไม่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

ฟิล์ม A0, A2, A3 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl โดยฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุด คือ 80% ฟิล์ม A1 มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl ดังแสดงในรูป 4.11



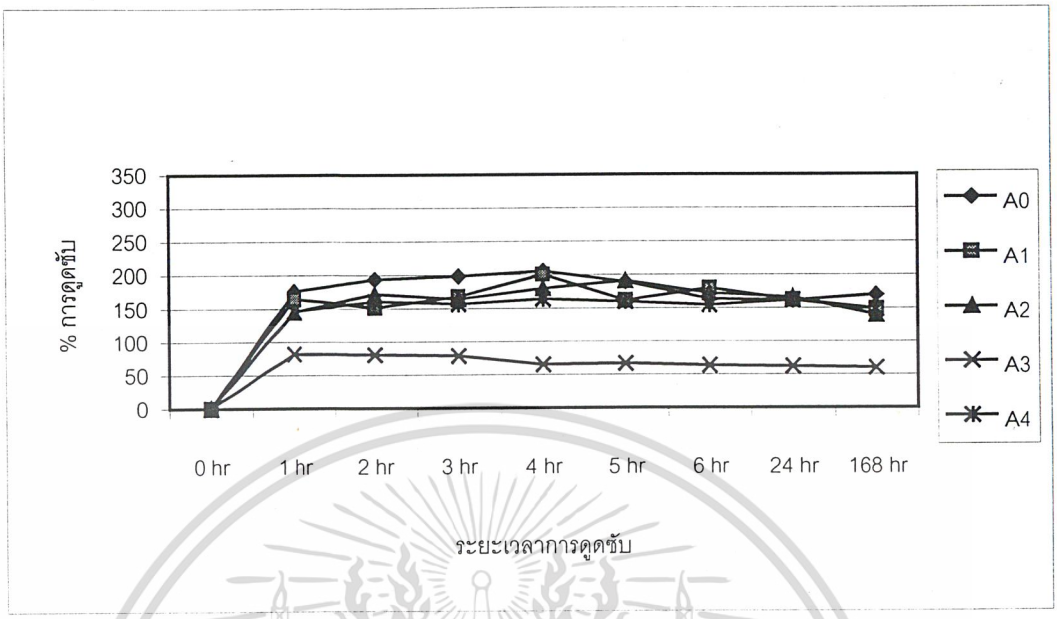
รูปที่ 4.11 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ โดยฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl พบว่าค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มทุกชนิดที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% NaCl มีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl ดังแสดงในรูป 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

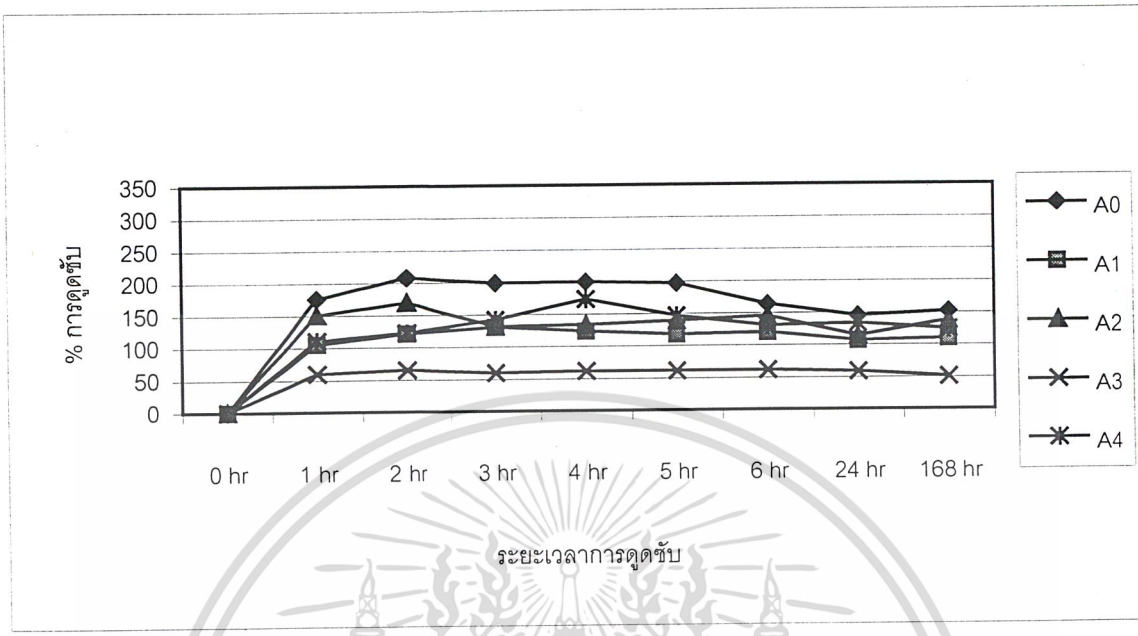
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

ฟิล์ม A0, A2 และ A3 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที ฟิล์ม A1 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl พบว่า ฟิล์มทุกชนิดที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% NaCl มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl ดังแสดงในรูป 4.13

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl พบว่า ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มทุกชนิดที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% NaCl มีค่าใกล้เคียงกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl ดังแสดงในรูป 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

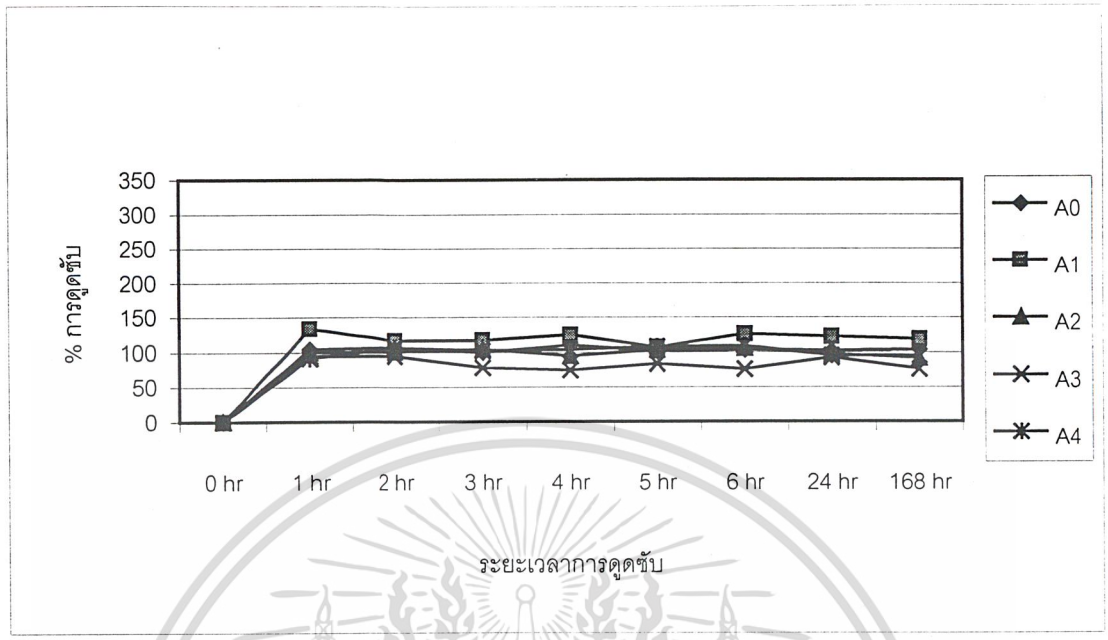
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl พบว่า ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มทุกชนิดที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% NaCl มีค่าใกล้เคียงกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl ดังแสดงในรูป 4.14

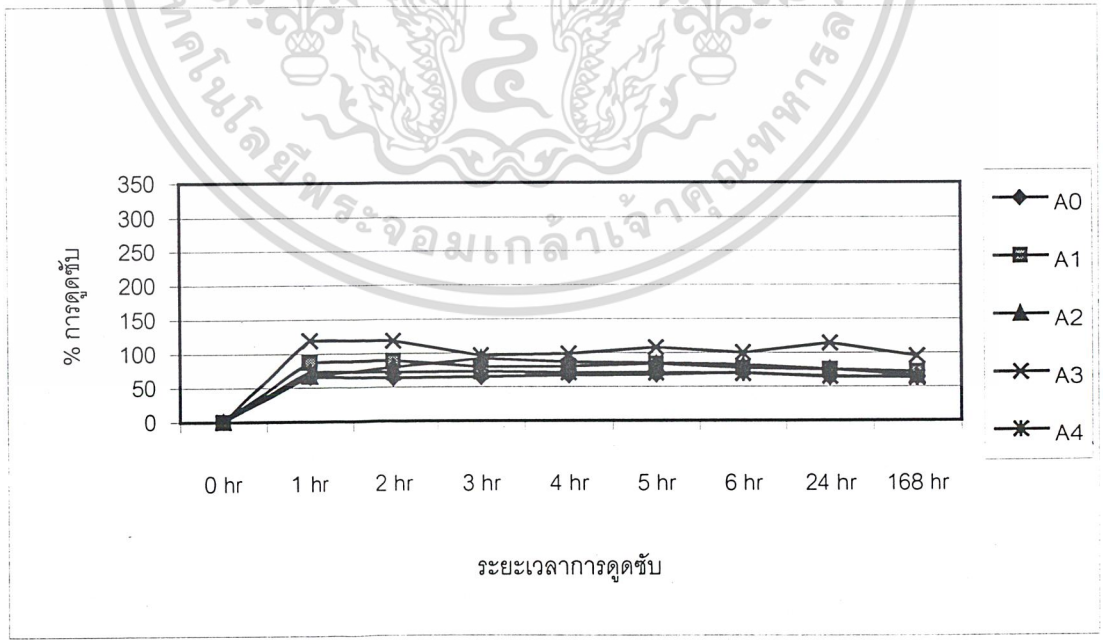
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน คือ 60% - 80% และมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที แต่ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้นจาก 70% เป็น 100% และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl พบว่า ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% NaCl มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl โดยที่ฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% NaCl ดังแสดงในรูป 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที



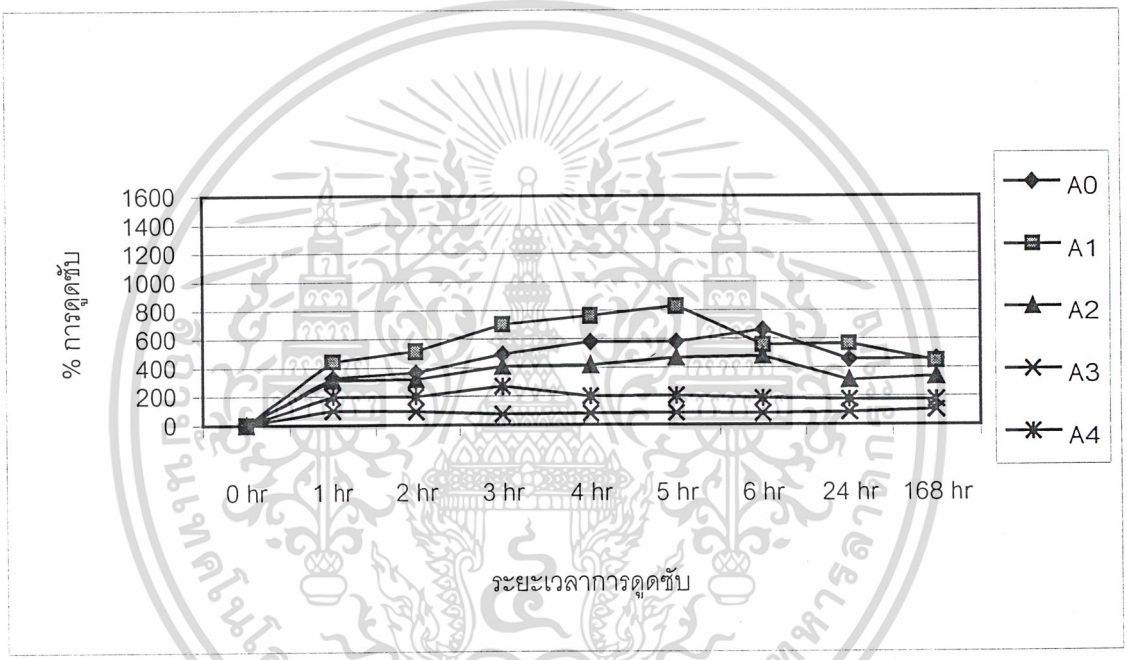
รูปที่ 4.15 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI

ฟิล์มที่ไม่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

ฟิล์ม A0, A1 และ A2 มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 5 หลังจากนั้นค่าการดูดซับน้ำจะลดลง ส่วนฟิล์ม A3 และ A4 ค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A1 ดูดซับน้ำได้ดีที่สุด ฟิล์ม A0, A2, A4 และ A3 ดูดซับน้ำได้น้อยลงมาตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.16



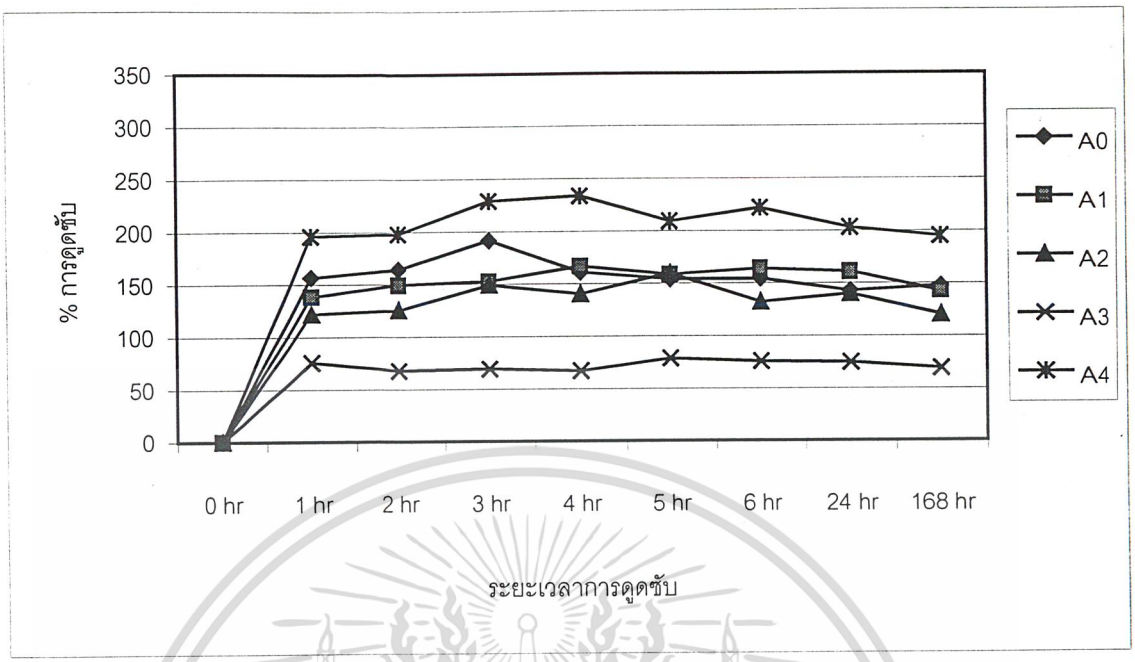
รูปที่ 4.16 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

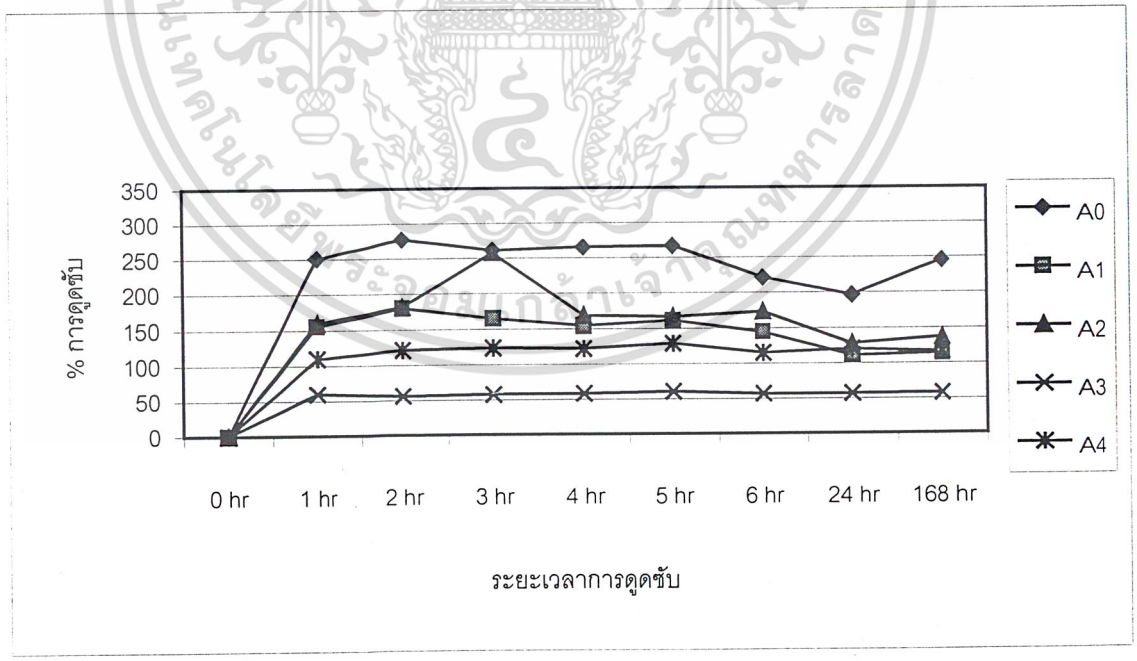
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A4 สามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด คือ 210% ฟิล์ม A0, A1 และ A2 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกันในช่วง 120% -160% ฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด คือ 75% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ พบว่า ฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที มีค่าการดูดซับน้ำลดลง ดังแสดงในรูป 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที



รูปที่ 4.18 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

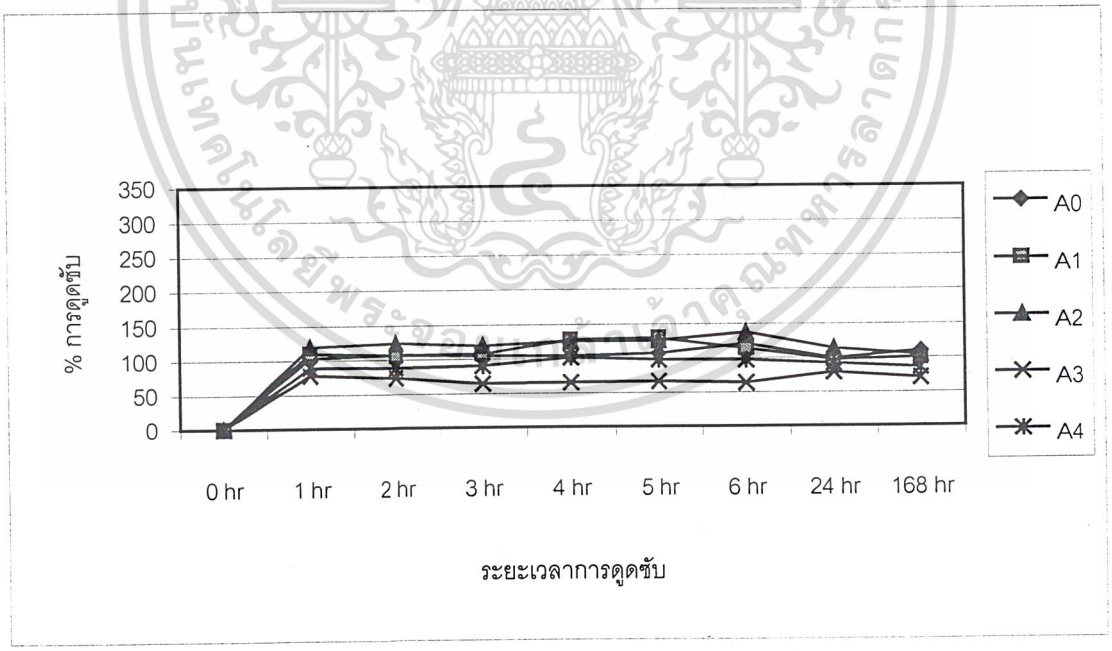
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A0 สามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด คือ 260% ฟิล์ม A1 และ A2 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกันคือ 170% ฟิล์ม A4 มีค่าการดูดซับน้ำ 120% ฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด คือ 60% และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที พบว่า ฟิล์ม A0 และ A2 ที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ฟิล์ม A3 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำลดลง ส่วนฟิล์ม A1 ฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที และ 20 นาที มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูป 4.18

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก จากนั้นจะคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง และค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มทุกชนิดใกล้เคียงกัน ในช่วง 70% - 120% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที พบว่า ฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที มีค่าการดูดซับน้ำลดลง ดังแสดงในรูป 4.19

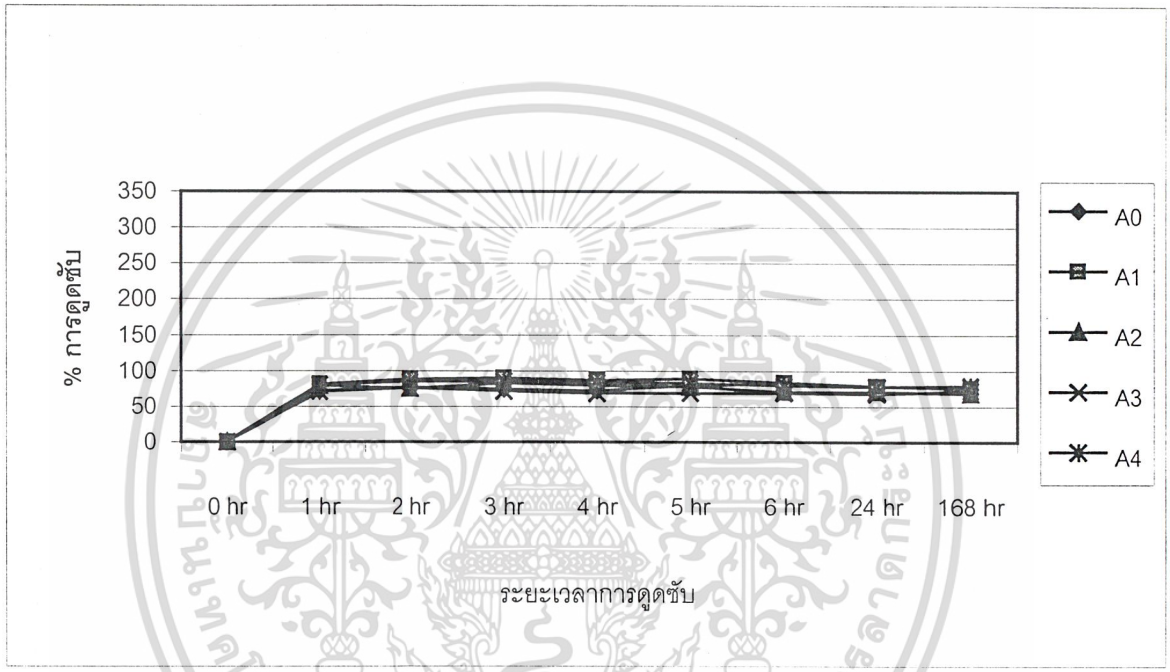


รูปที่ 4.19 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก จากนั้นจะคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง และค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มทุกชนิดใกล้เคียงกันมาก ในช่วง 70% -80% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที พบว่าฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที มีค่าการดูดซับน้ำลดลง ดังแสดงในรูป 4.20



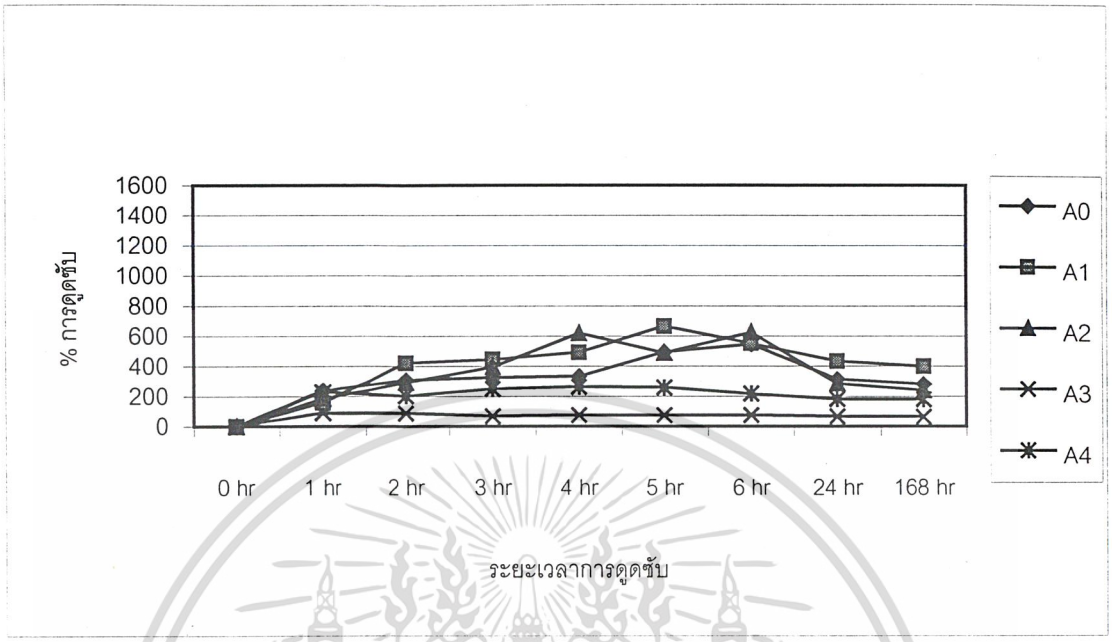
รูปที่ 4.20 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

4.2.4 การดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI

<u>ฟิล์มที่ไม่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์</u>

ฟิล์ม A0, A1 และ A2 มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงชั่วโมงที่ 5 หลังจากนั้นค่าการดูดซับน้ำจะลดลง ส่วนฟิล์ม A3 และ A4 ค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุด คือ 90% ดังแสดงในรูป 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

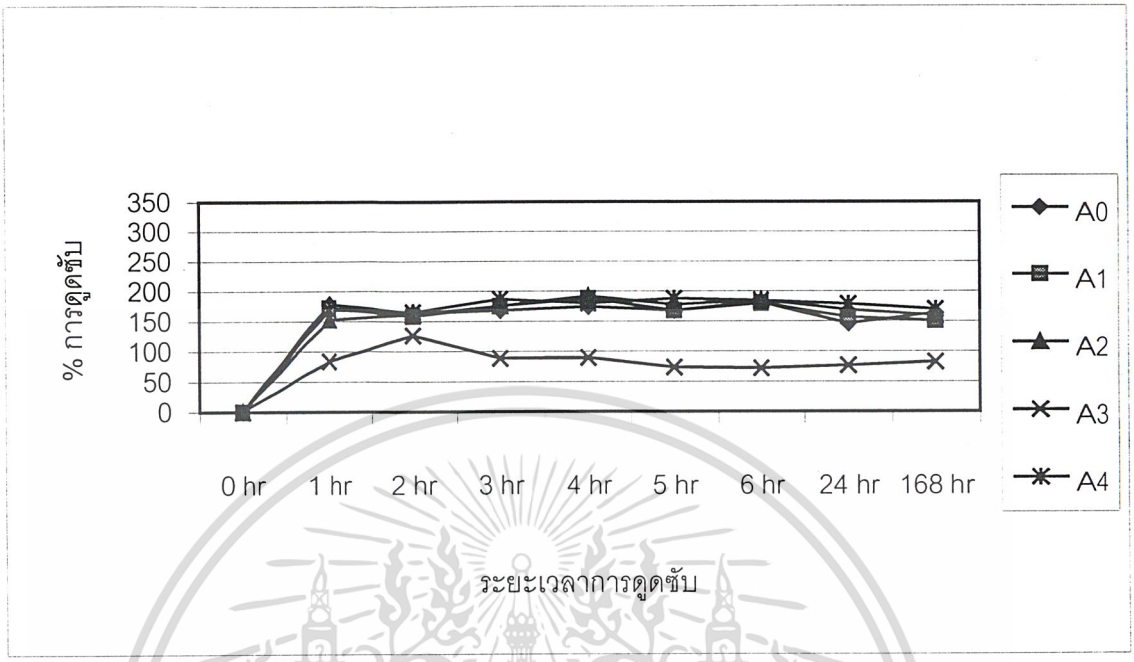
<u>ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์</u>

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันมาก คือ 170% -190% ฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด ดังแสดงในรูป 4.22

นอกจากนี้ฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% KI พบว่า ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 1.5%KI มีค่าสูงกว่าฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% KI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



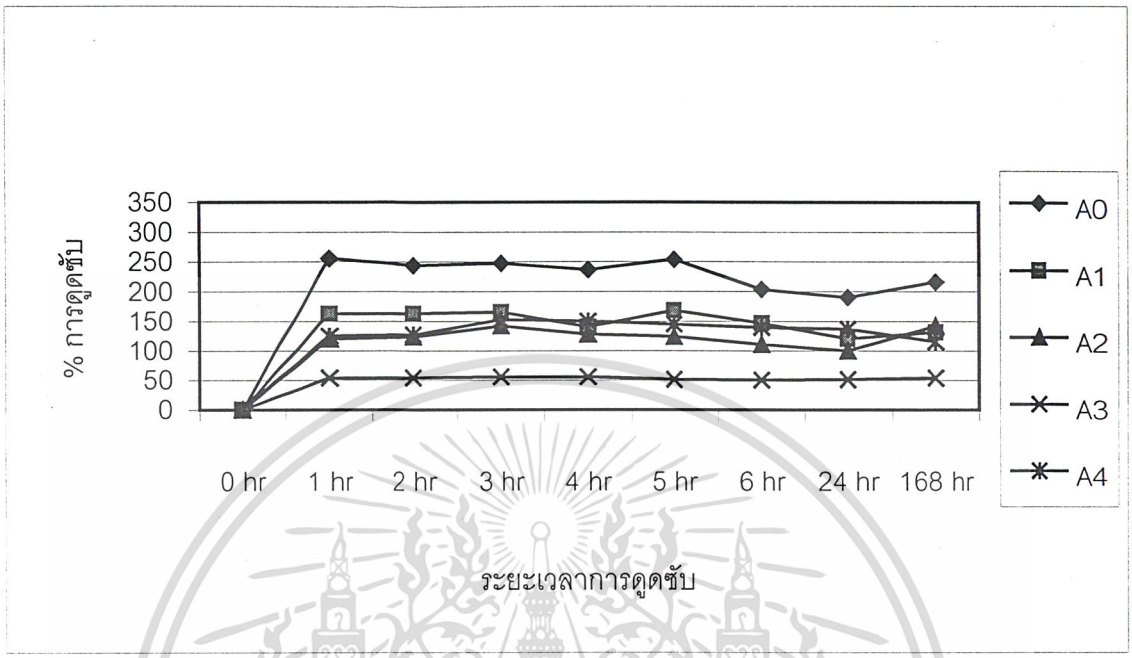
รูปที่ 4.22 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

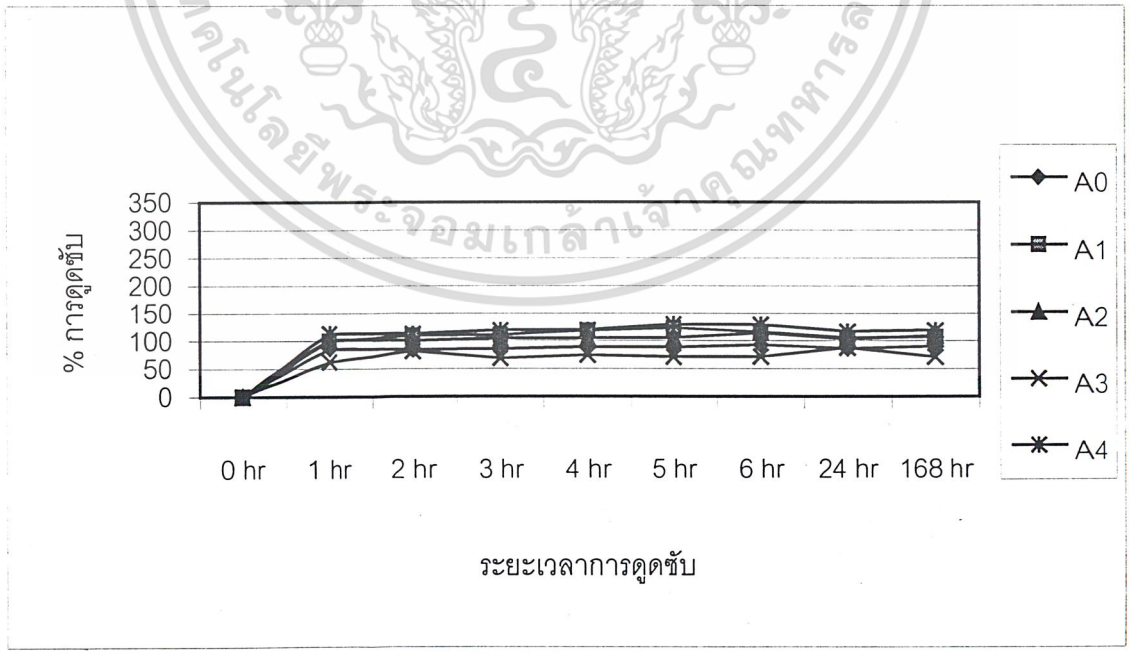
ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง ฟิล์ม A0 มีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด คือ 250% ฟิล์ม A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันในช่วง 130% -160% ส่วนฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด คือ 50% ดังแสดงในรูป 4.23

นอกจากนี้เมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที พบว่า ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม A0 ที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที มีค่าเพิ่มขึ้น ฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำลดลง ส่วนฟิล์ม A1, A2 และ A4 ที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที และ 20 นาที มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% KI พบว่า ฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% KI และ 1.5% KI มีค่าการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที



รูปที่ 4.24 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

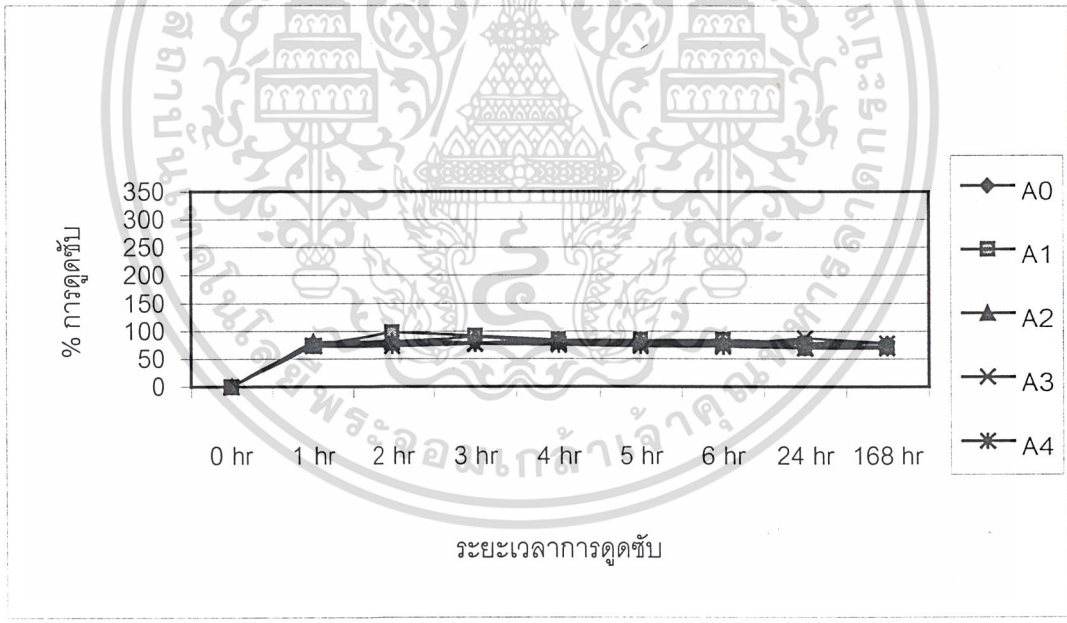
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยที่ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ในช่วง 70% - 110% ดังแสดงในรูป 4.24 เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที พบว่าค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที มีค่าลดลง ยกเว้นฟิล์ม A3 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% KI พบว่าค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% KI มีค่าต่ำกว่ากับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% KI เพียงเล็กน้อย

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นในชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยที่ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันมากคือ 70% - 80% นอกจากนี้ยังมีค่าใกล้เคียงกันกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% KI ดังแสดงในรูป 4.25



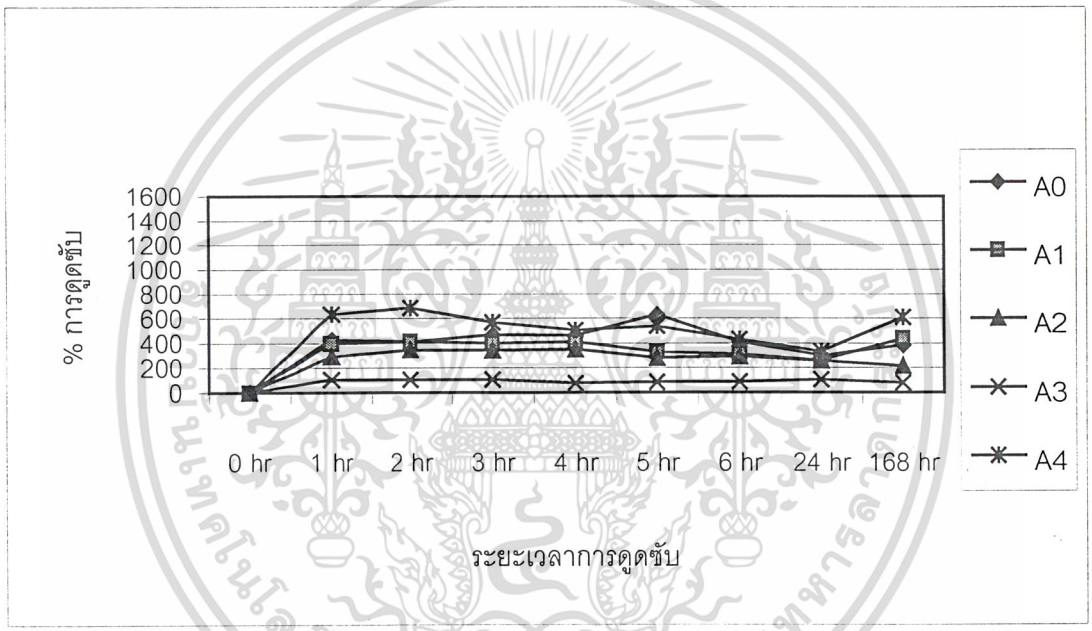
รูปที่ 4.25 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$

<u>ฟิล์มที่ไม่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์</u>

แนวโน้มการดูดซับน้ำของฟิล์มในชั่วโมงแรก หลังจากนั้นค่าการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่ โดยฟิล์ม A4 ดูดซับน้ำได้ดีที่สุด คือ 600% ฟิล์ม A0, A1 และ A2 ดูดซับน้ำได้รองลงมา ส่วนฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด คือ 100% ดังแสดงในรูป 4.26



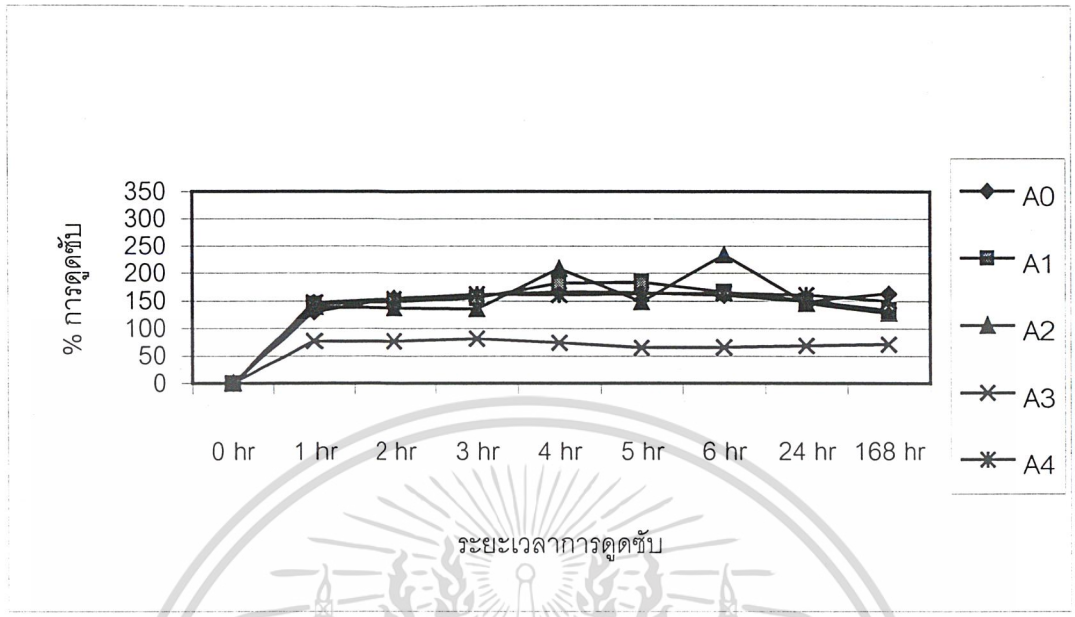
รูปที่ 4.26 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

<u>ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์</u>

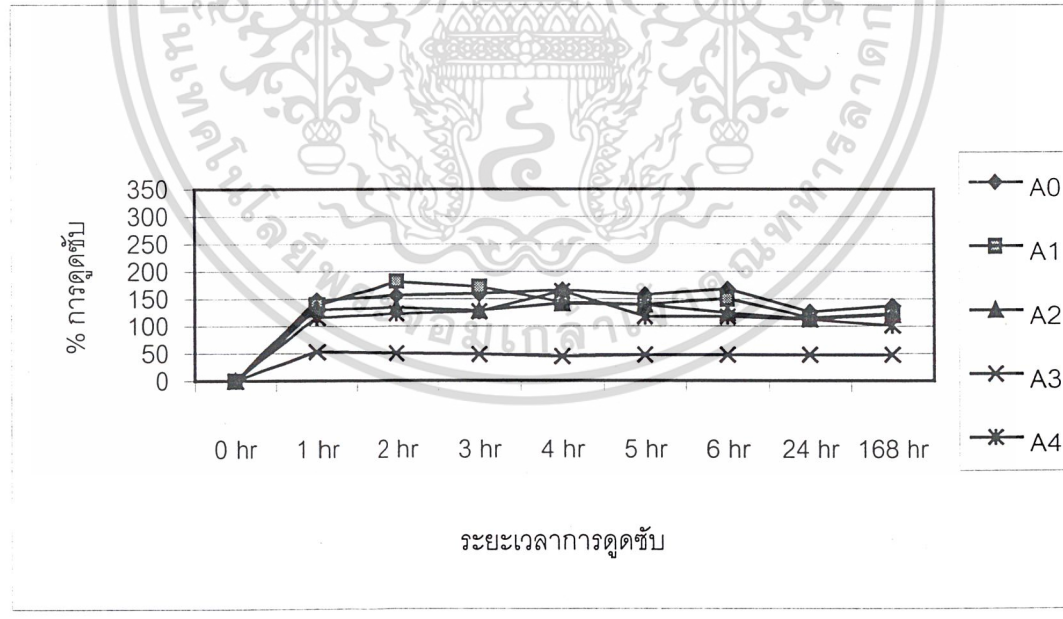
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ แนวโน้มการดูดซับน้ำของฟิล์มหลังระยะเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ค่อนข้างคงที่ โดยที่ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันในช่วง 150% - 180% ส่วนฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุด คือ 70% ดังแสดงในรูป 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที



รูปที่ 4.28 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

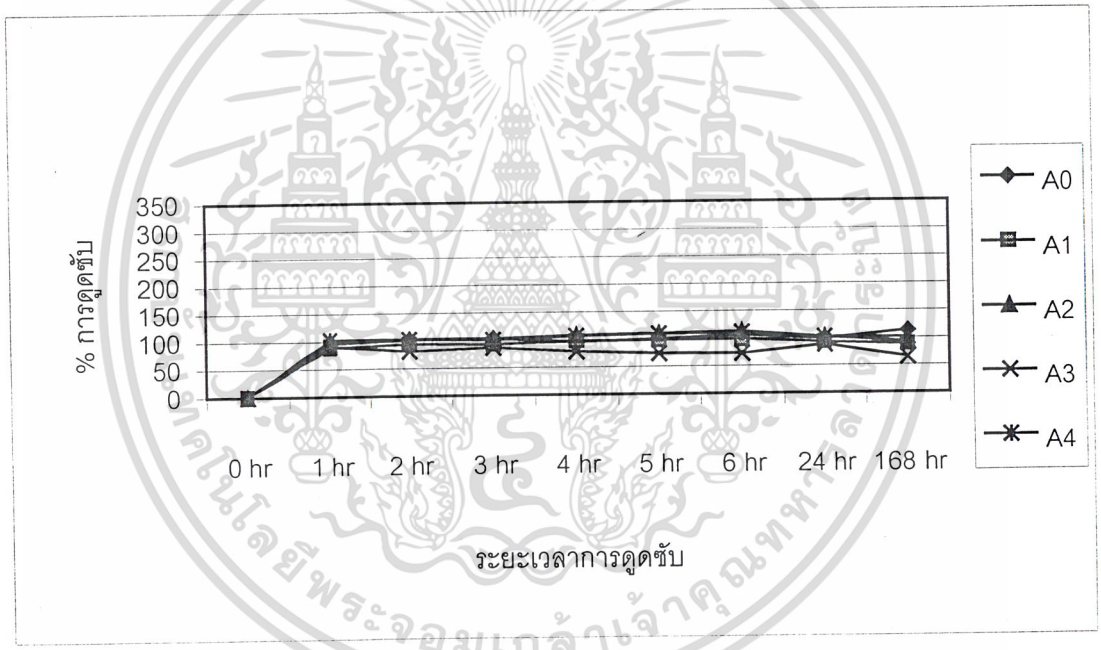
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีแนวโน้มและค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที แต่ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที จาก 70% เป็น 50% ดังแสดงในรูป 4.28

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

ฟิล์ม A0, A1, A2, A3 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที พบว่า ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำลดลง ส่วนฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้นจาก 50% เป็น 70% ดังแสดงในรูป 4.29

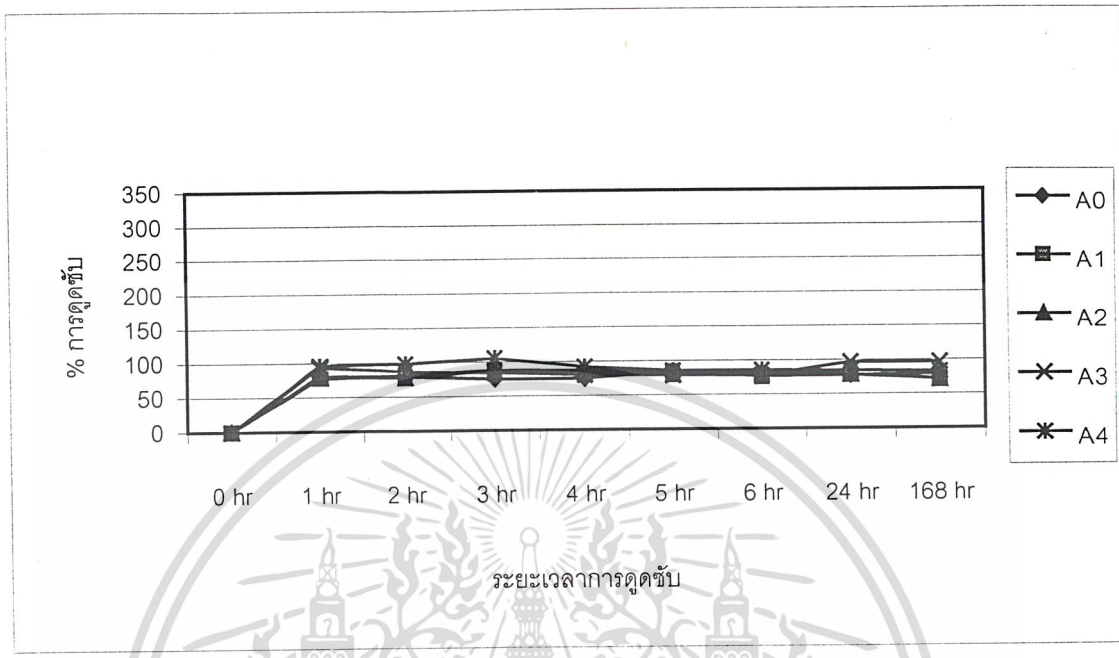


รูปที่ 4.29 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

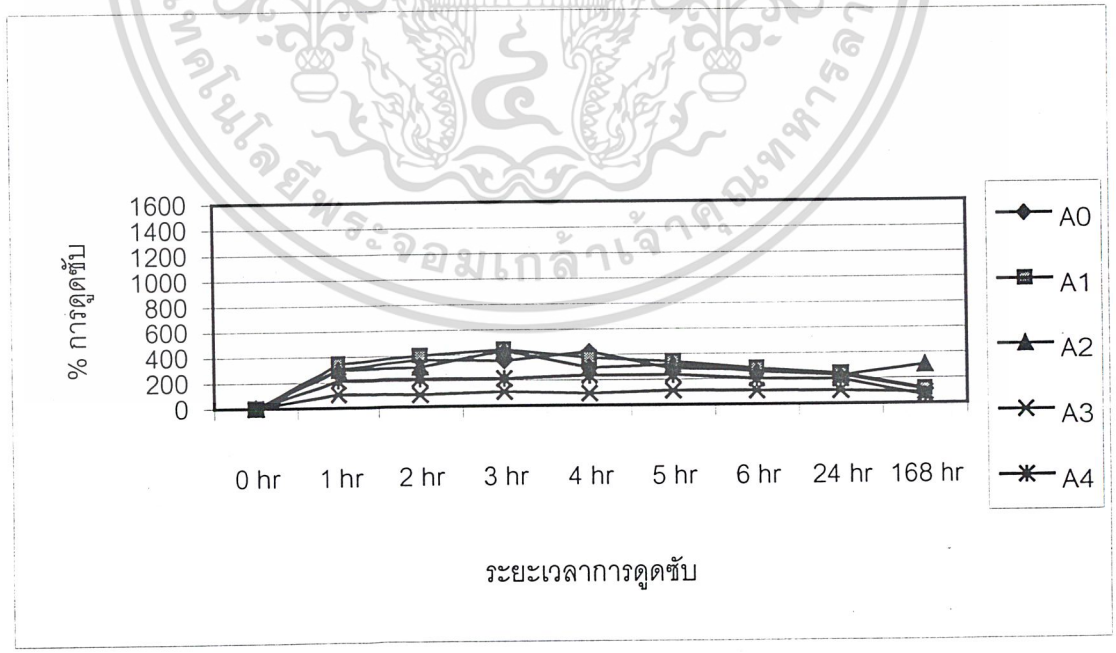
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีแนวโน้มและค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที ดังแสดงในรูป 4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที



รูปที่ 4.31 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 การดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$

<u>ฟิล์มที่ไม่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์</u>

ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ส่วนฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มกับฟิล์มที่ทดสอบใน 0.5% $MgCl_2$ คือ 100% ดังแสดงในรูป 4.31

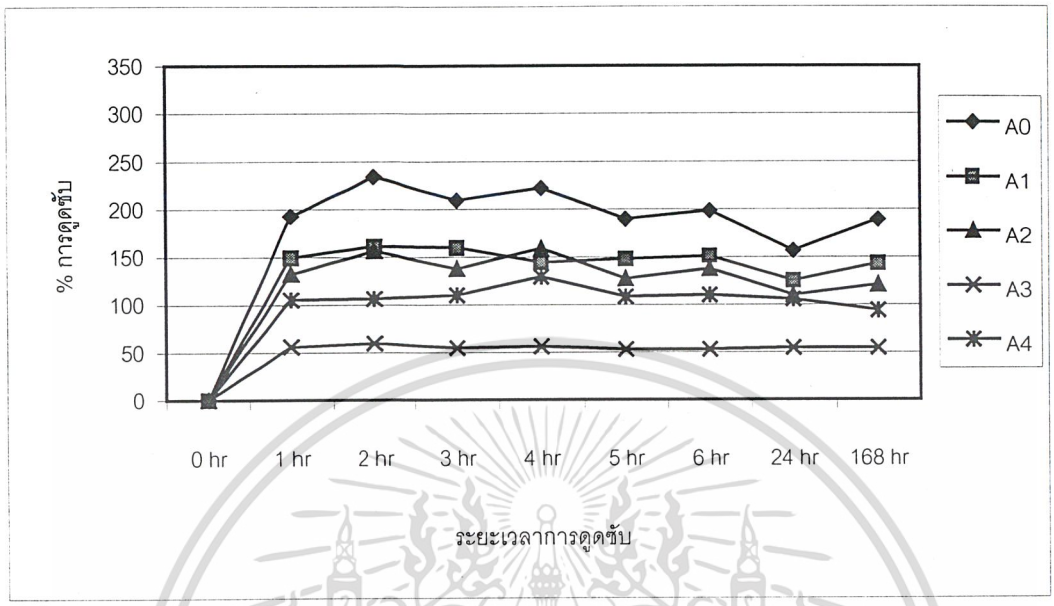
<u>ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์</u>

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ โดยฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด คือ 70% ดังแสดงในรูป 4.32 เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ พบว่า ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A3 ที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ และ 1.5% $MgCl_2$ มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ส่วนฟิล์ม A4 ที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$

รูปที่ 4.32 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

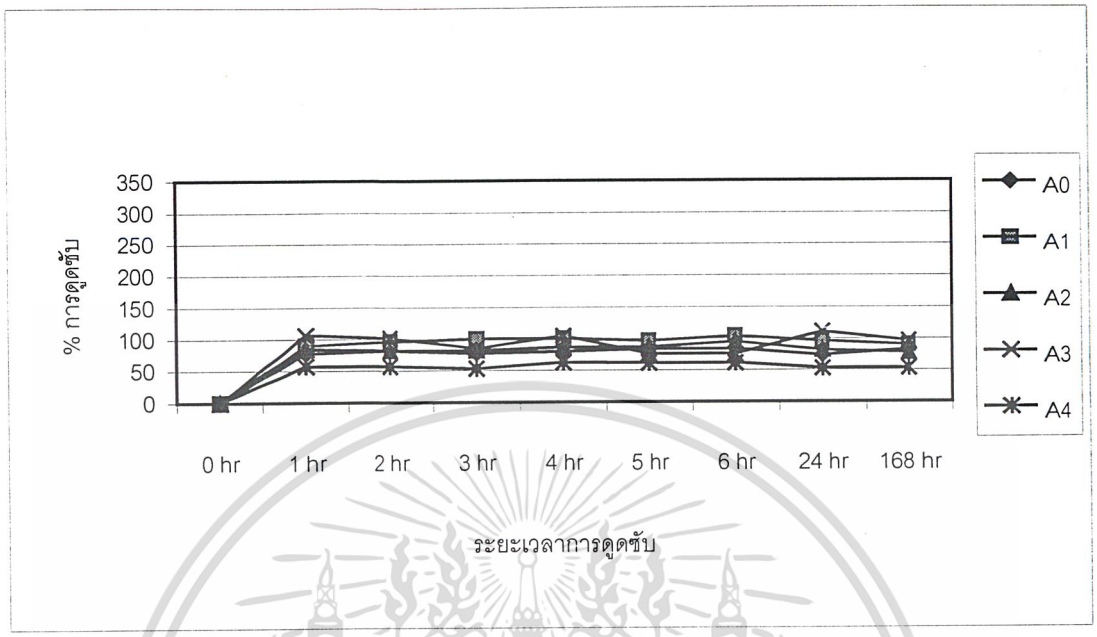
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

ฟิล์ม A0 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที ฟิล์ม A3 และ A4 ดูดซับน้ำได้ลดลง ส่วนฟิล์ม A1 และ A2 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที ดังแสดงในรูป 4.33 เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ พบว่า ฟิล์ม A1, A2, A3 และ A4 ที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ และ 1.5% $MgCl_2$ มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ส่วนฟิล์ม A0 ที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที แต่ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 4.34 เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ พบว่า ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A3 ที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ และ 1.5% $MgCl_2$ มีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ส่วนฟิล์ม A4 มีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

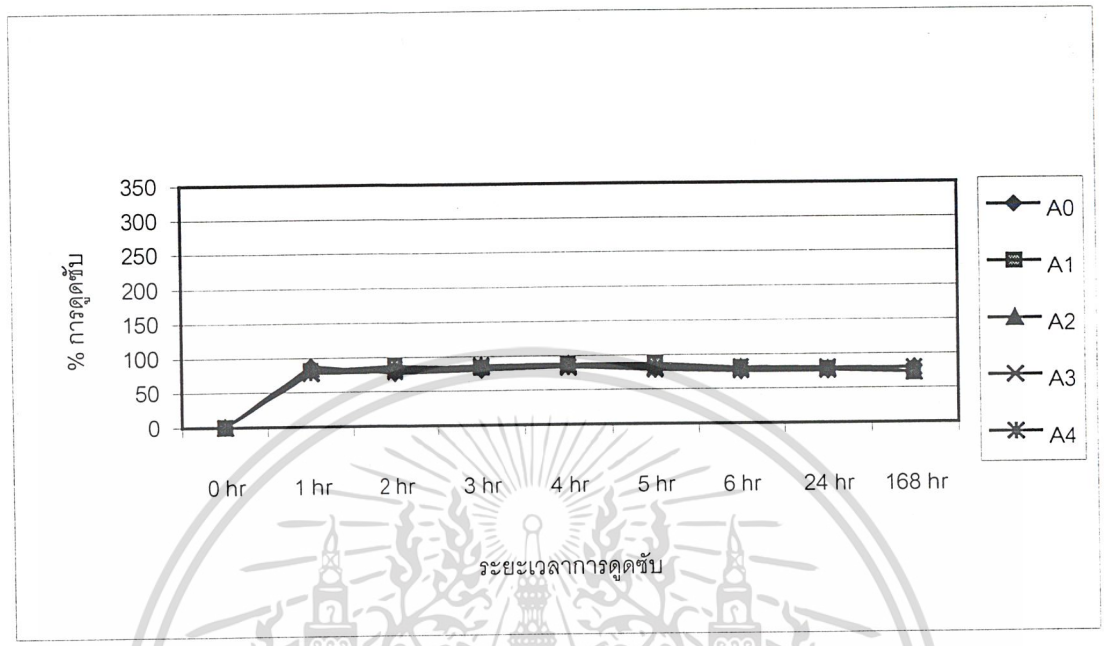


รูปที่ 4.34 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง และมีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ 80% เมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที พบว่า ฟิล์ม A0, A1 และ A2 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ลดลง ส่วนฟิล์ม A4 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 4.35 และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ พบว่า ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มทุกชนิดที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ มีค่าใกล้เคียงกันกับค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

4.2.7 การดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$

ฟิล์มที่ไม่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

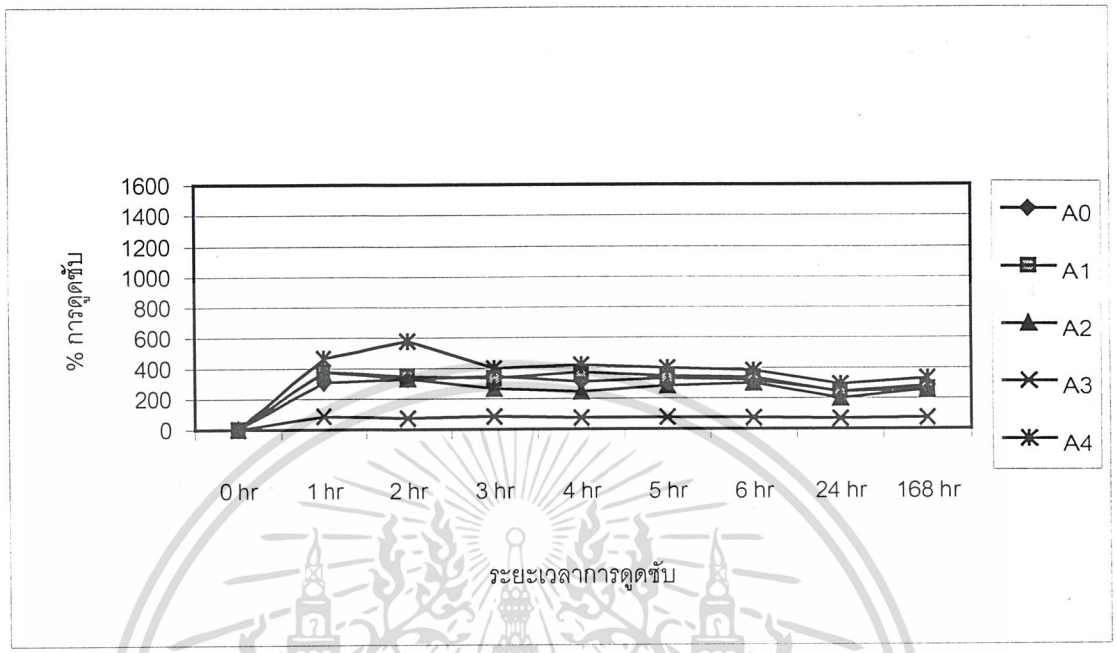
แนวโน้มการดูดซับน้ำของฟิล์มทุกชนิดหลังระยะเวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง ค่อนข้างคงที่ โดยฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกัน ในช่วง 300% - 400% ส่วนฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุด คือ 80% ดังแสดงในรูป 4.36

ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

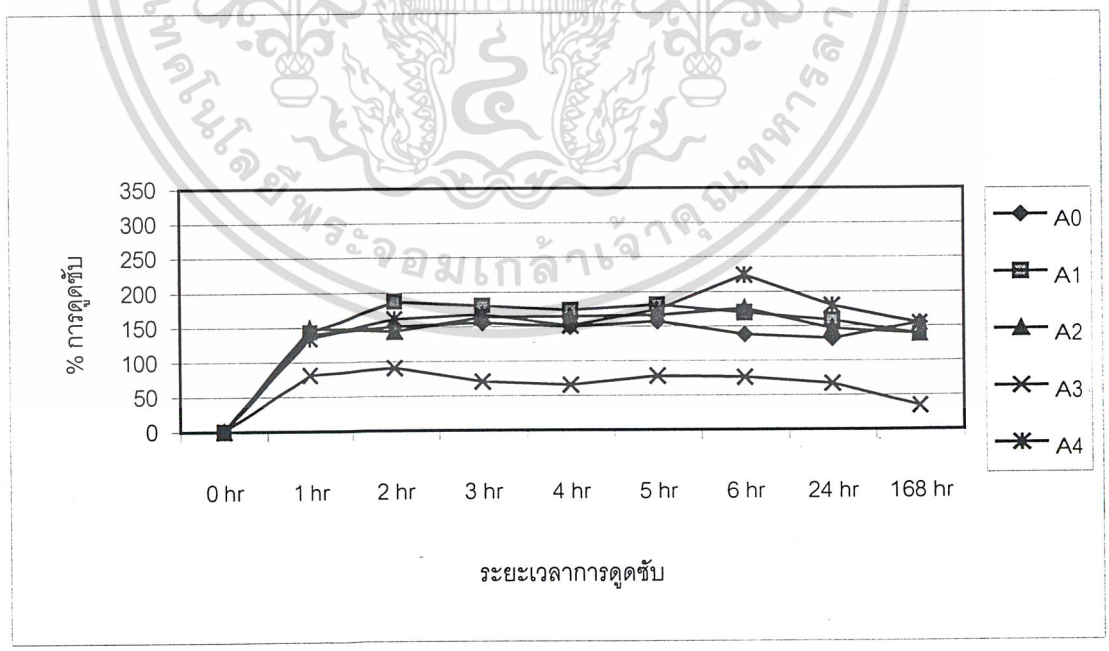
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกัน ในช่วง 150% - 180% และมีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ ส่วนฟิล์ม A3 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุดและมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ คือ ลดลงจาก 80% เป็น 70% ดังแสดงในรูป 4.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

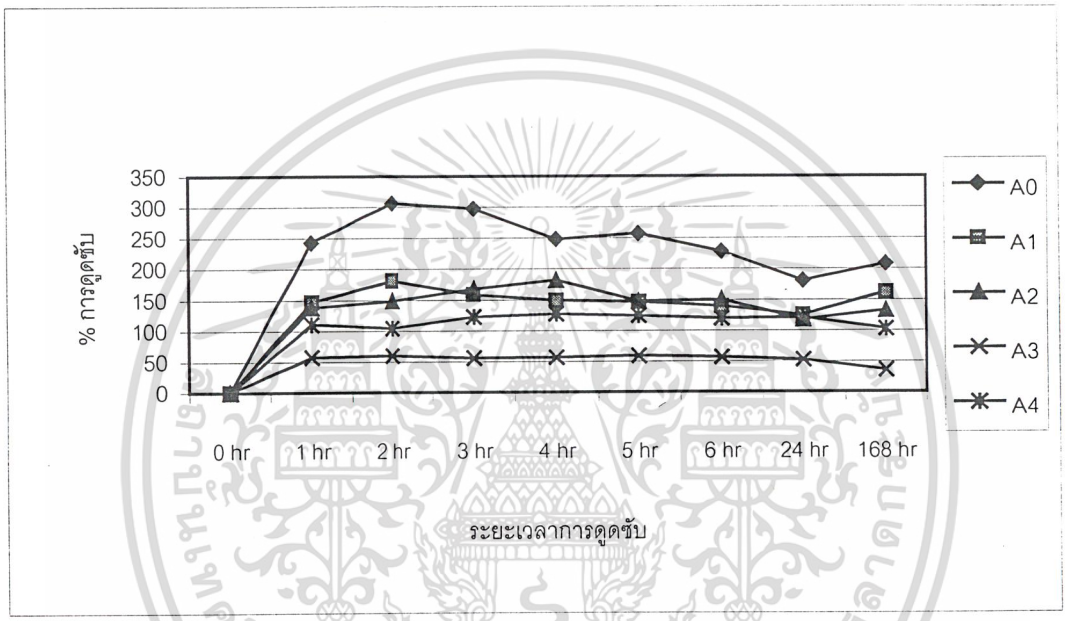


รูปที่ 4.37 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

ฟิล์ม A0 ดูดซับน้ำได้ดีที่สุด และมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที ฟิล์ม A1 และ A2 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกันและค่าการดูดซับยังใกล้เคียงกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที ส่วนฟิล์ม A3 และ A4 ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที โดยที่ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุด คือ 60% ดังแสดงในรูป 4.38



รูปที่ 4.38 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

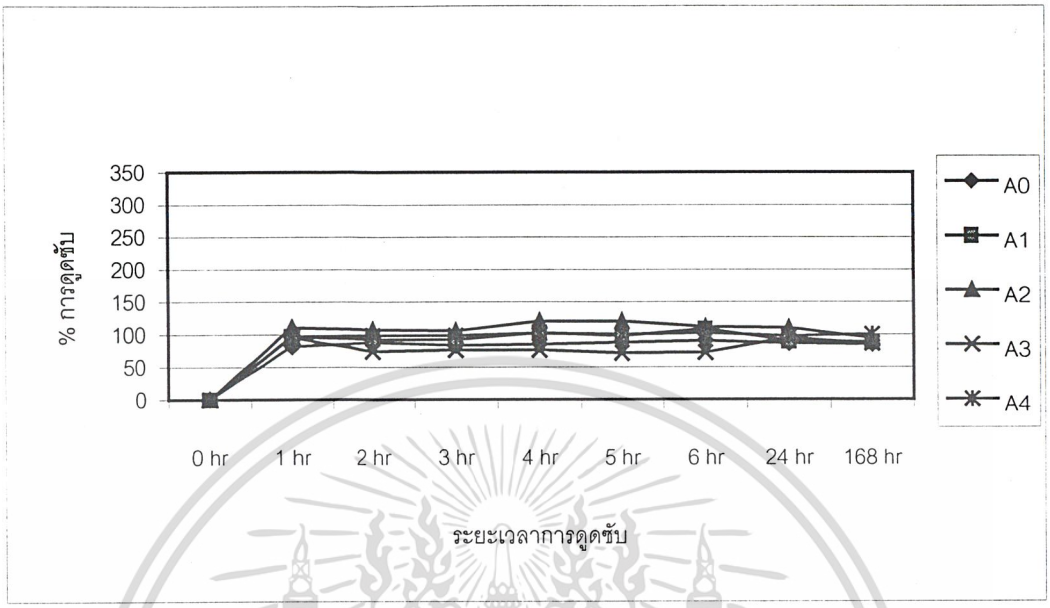
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

ฟิล์มทุกชนิดดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกัน ในช่วง 70% - 110% และแนวโน้มการดูดซับค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที ส่วนฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที ดังแสดงในรูป 4.39

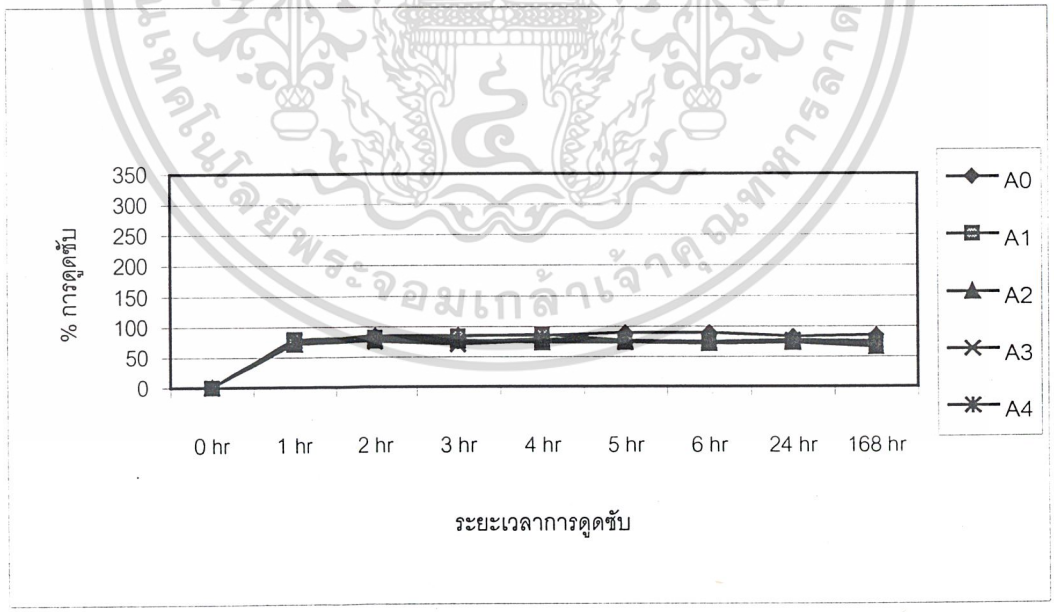
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

ฟิล์มทุกชนิดดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกันมาก คือ 70% - 80% และมีค่าการดูดซับคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที ส่วนฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที ดังแสดงในรูป 4.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที



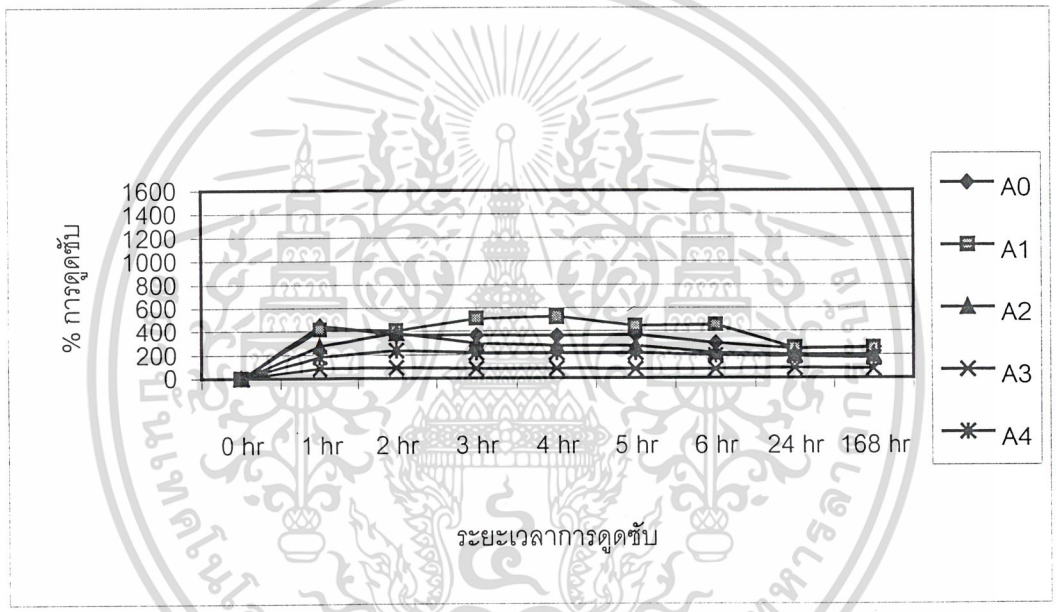
รูปที่ 4.40 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 การดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$

ฟิล์มที่ไม่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

แนวโน้มในการดูดซับน้ำของฟิล์ม A0 และ A2 ใกล้เคียงกับการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ฟิล์ม A1 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้น ฟิล์ม A4 ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ โดยที่ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ คือ 80% ดังแสดงในรูป 4.41



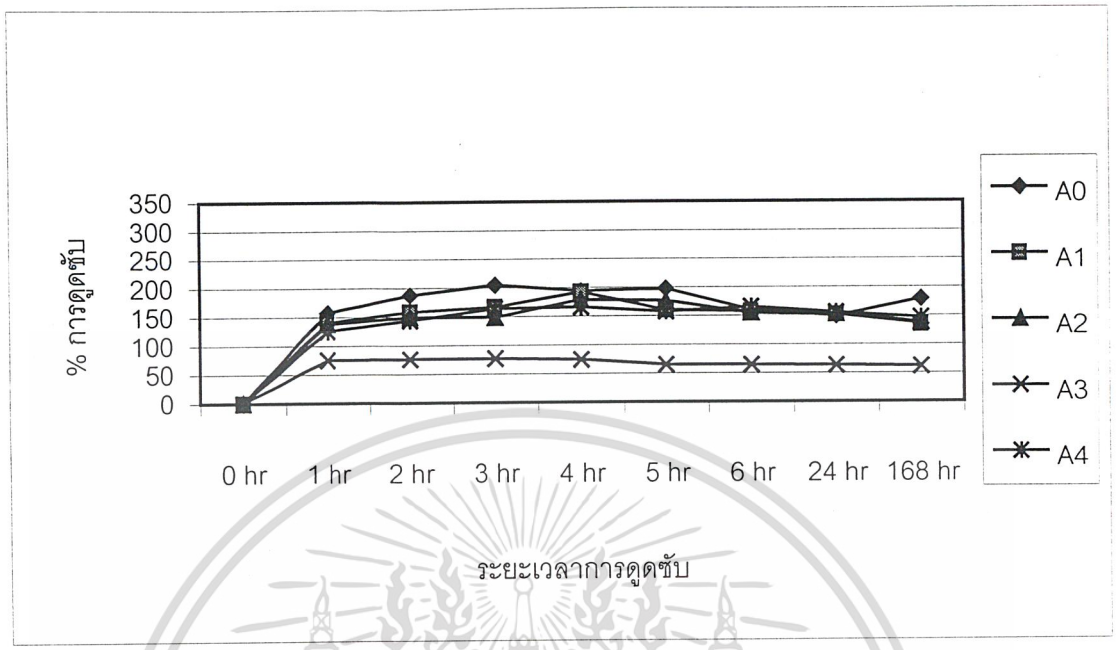
รูปที่ 4.41 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

ฟิล์มที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

ฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุดและดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ โดยที่ฟิล์มทุกชนิดมีแนวโน้มการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่ และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ พบว่า ฟิล์มทุกชนิดที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และ 1.5% $CaCl_2$ มีค่าการดูดซับใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูป 4.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

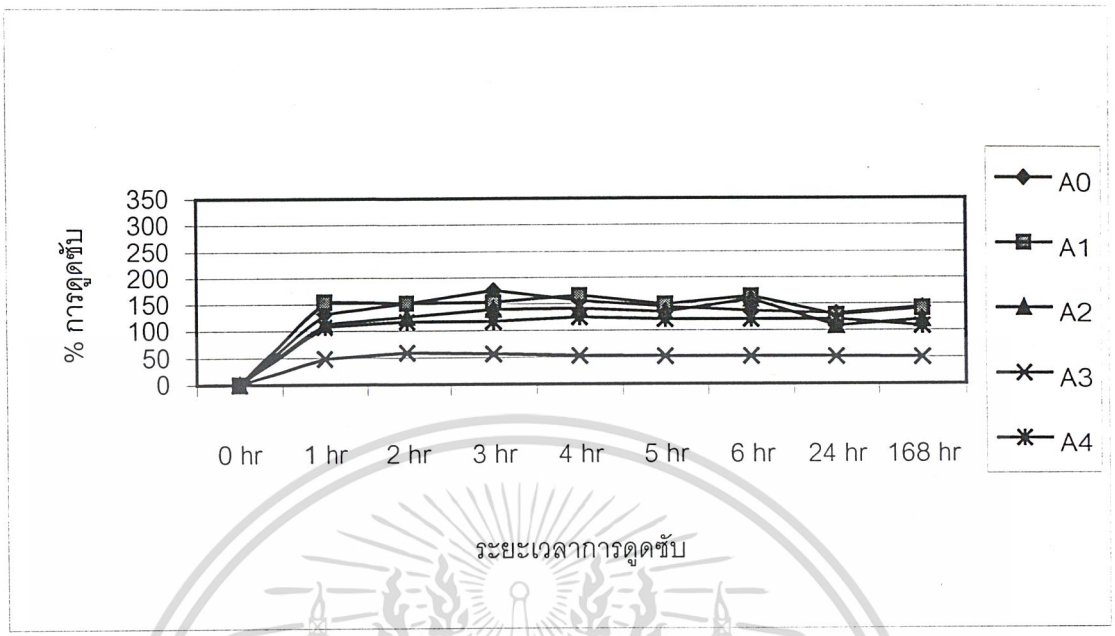
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีแนวโน้มการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่หลังระยะเวลาในการดูดซับ 1 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที ฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุดและมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดไฮด์ 5 นาที คือ 50% และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ พบว่า ฟิล์ม A0 ที่ทดสอบในสารละลาย 1.5%$CaCl_2$ ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ส่วนฟิล์ม A1, A2, A3 และ A4 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ดังแสดงในรูป 4.43

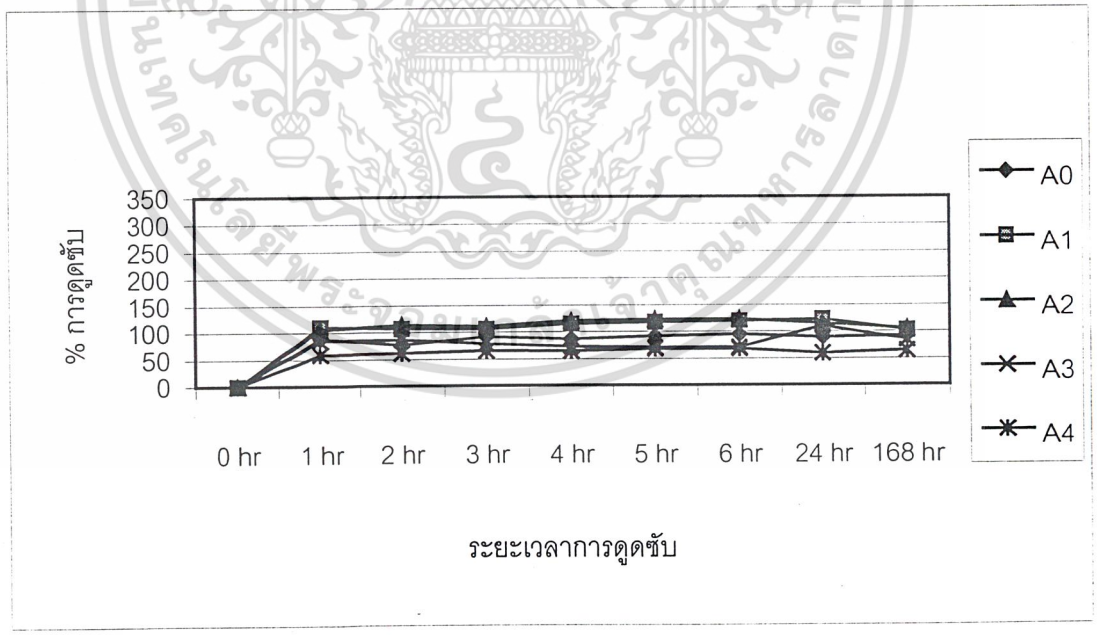
- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีแนวโน้มการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่หลังระยะเวลาในการดูดซับ 1 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A0, A1, A2 และ A4 ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที ส่วนฟิล์ม A3 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือ 60% ดังแสดงในรูป 4.44 และเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ พบว่าฟิล์ม A0, A1, A2 และ A3 ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ แต่ฟิล์ม A4 ที่ทดสอบในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

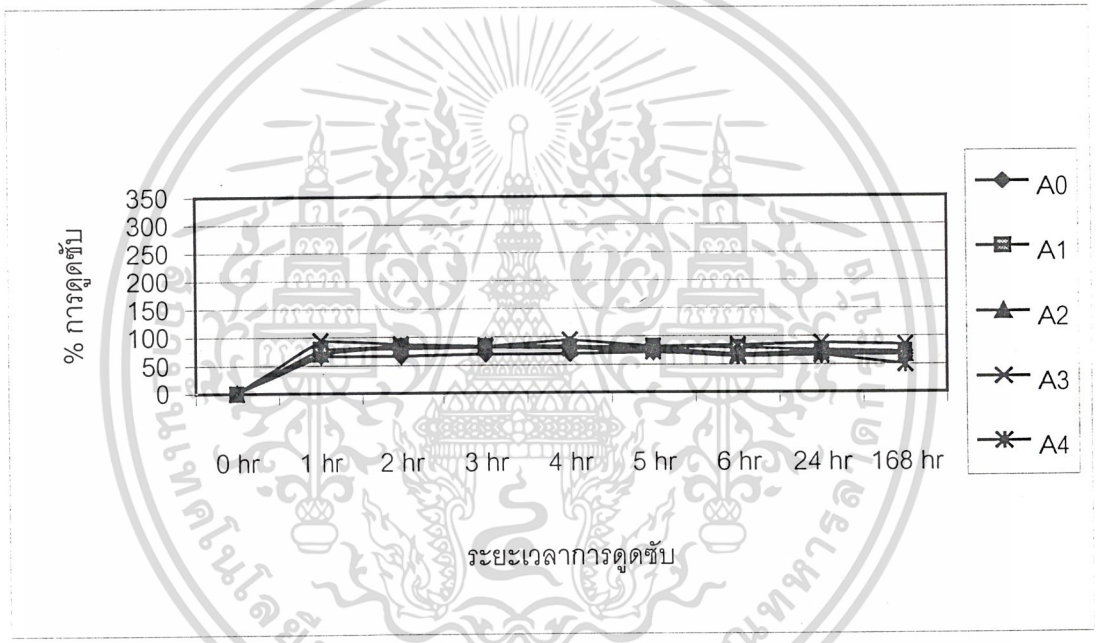


รูปที่ 4.44 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ในช่วง 70% - 90% และมีแนวโน้มการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่หลังระยะเวลาในการดูดซับ 1 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A0, A1 และ A2 ดูดซับน้ำได้ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที ส่วนฟิล์ม A3 และ A4 ดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในรูป 4.45 เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ พบว่า ฟิล์มทุกชนิดมีแนวโน้มและค่าการดูดซับน้ำเมื่อทดสอบในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ใกล้เคียงกับฟิล์มที่ทดสอบในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$



รูปที่ 4.45 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

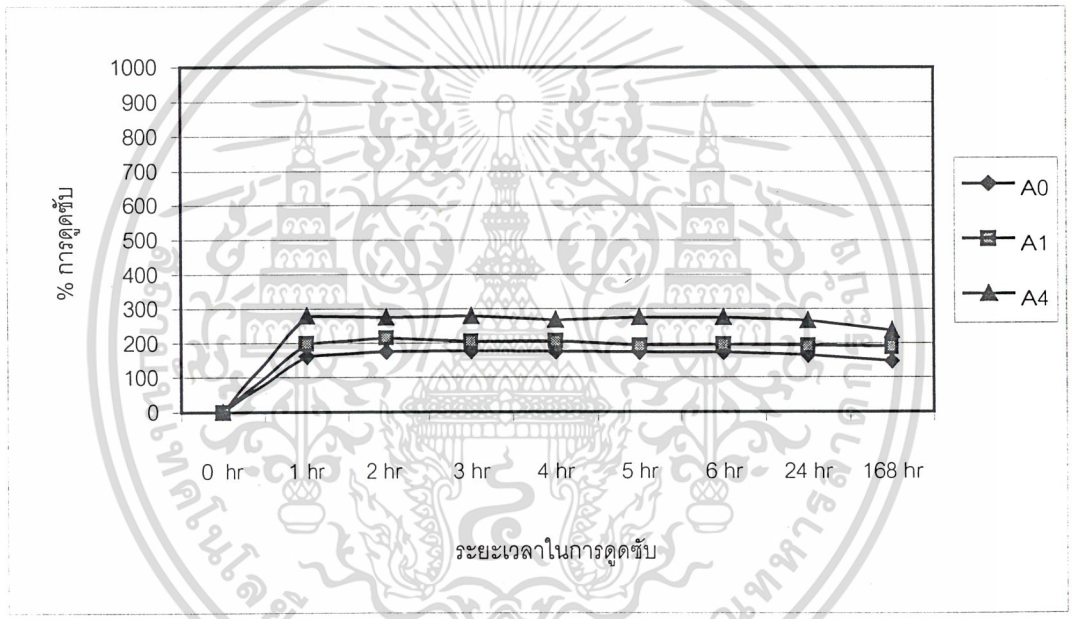
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 9

หลังจากพิจารณาผลการทดลองของฟิล์ม จากการทดลองการดูดซับน้ำทั้งที่มีเกลือชนิดต่าง ๆ และไม่มีเกลือ เลือกตัวอย่างฟิล์ม A0, A1 และ A4 ที่ไม่ได้แช่ในกลูตารัลดีไฮด์ มาทดสอบการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 9

4.3.1 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 4

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่ โดยฟิล์ม A4 ดูดซับน้ำได้ดีที่สุด คือ 280% ฟิล์ม A1 ดูดซับน้ำได้ 200% และฟิล์ม A0 ดูดซับน้ำได้ต่ำที่สุด คือ 180% ดังแสดงในรูป 4.46

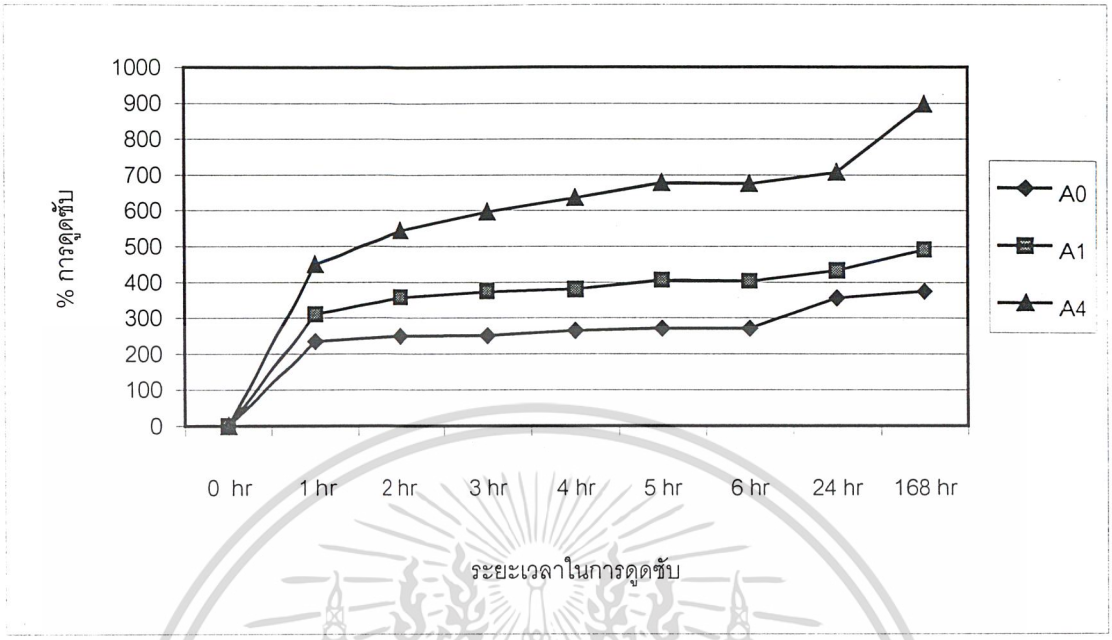


รูปที่ 4.46 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 ของฟิล์ม A0, A1 และ A4 ที่ไม่ได้แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

4.3.2 การดูดซับน้ำในสารละลาย pH 9

ฟิล์มทุกชนิดมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลอง 168 ชั่วโมง โดยฟิล์ม A4 มีค่าการดูดซับน้ำดีที่สุด ฟิล์ม A1 และ A0 มีค่าการดูดซับน้ำได้ลดลงมาตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9 ของฟิล์ม A0, A1 และ A4 ที่ไม่ได้แช่ในกลูตารัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากค่าการดูดซับน้ำของฟิล์ม 5 ชนิดที่มีองค์ประกอบต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ให้ข้อมูลดังนี้

1. ฟิล์มที่ไม่แช่ในสารที่ก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (กลูตารัลดีไฮด์) ดูดซับน้ำได้ดีกว่าฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์และเมื่อระยะเวลาการแช่กลูตารัลดีไฮด์นานขึ้นจาก 5, 20, 40 และ 80 นาที ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง ที่เวลา 40 และ 80 นาทีการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันมาก และให้ค่าการดูดซับน้ำต่ำสุด ดังนั้นระยะเวลาที่แช่ในกลูตารัลดีไฮด์ที่เหมาะสมควรเป็น 20 นาที และไม่เกิน 40 นาที
2. ฟิล์มทุกชนิด ยกเว้น A3 เมื่อแช่ในสารละลายเกลือชนิดต่างๆพบว่าดูดซับน้ำในสารละลายเกลือความเข้มข้นต่ำคือ 0.5% ได้มากกว่าความเข้มข้นสูงคือ 1.5% เพราะที่ความเข้มข้นสูง ไอออนนอกเจลมีมากกว่าจึงต้องการน้ำล้อมรอบมากกว่า น้ำที่เหลือเข้าในเจลลดลง
3. ฟิล์ม A0 เป็นฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายผสมระหว่าง PVA กับไหมเท่านั้น ความสามารถในการดูดซับน้ำขึ้นกับ ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ ชนิด และความเข้มข้นของสารละลายเกลือ พบว่า ฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

   ดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 0.5% KI~$CaCl_2$>NaCl>$MgCl_2$

   ดูดซับน้ำในสารละลายเกลือ 1.5% KI>NaCl~$MgCl_2$>$CaCl_2$
4. ฟิล์ม A1 และ A2 เป็นฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายผสมระหว่าง PVA กับไหม โดยมีสารละลายพอลิอะคริลิกอยู่ด้วยในปริมาณต่างกัน พบว่า A1 ซึ่งมีพอลิอะคริลิกน้อยกว่าแต่มี PVA มากกว่า A2 มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่า A2 ในทุกกรณีศึกษา
5. ฟิล์ม A3 เป็นฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายไหมเท่านั้น พบว่าฟิล์มไหมที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ที่ระยะเวลาต่างๆ ดูดซับน้ำได้ใกล้เคียงกันและมีค่าการดูดซับน้ำต่ำกว่าฟิล์มไหมที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์ เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการแช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที พบว่า การดูดซับน้ำไม่ขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของสารละลายเกลือเพราะให้ค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันหมดในทุกกรณี
6. ฟิล์ม A4 เป็นฟิล์มของสารละลาย PVA เท่านั้น การดูดซับน้ำขึ้นกับเวลาในการแช่ฟิล์มดังกล่าวแล้วในข้อ 1 นอกจากนี้ในสารละลายเกลือเข้มข้น การดูดซับน้ำจะลดลงเล็กน้อยและการดูดซับน้ำไม่ขึ้นกับชนิดของเกลือเมื่อพิจารณาที่ 20 นาทีของการแช่กลูตารัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การทดสอบการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 9 ของฟิล์ม A0, A1 และ A4 มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน คือ ความสามารถในการดูดซับน้ำของ A4 >A1 >A0 และในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 ฟิล์มทุกชนิดดูดซับน้ำได้น้อยกว่าในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9 เนื่องจากในสภาวะเบส หมู่คาร์บอกซิลิค (-COOH) ถูกทำปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็น ($-COO^-$) ซึ่งมีประจุลบ ทำให้แรงผลักกันระหว่างประจุเป็นผลให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคมากขึ้น น้ำจึงสามารถเข้าไปแทรกได้มากกว่าในสภาวะกรด[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. WICHTERLE O.,LIM D.,NATURE, 185,114, 1962.
2. JONGGEON J.;KEW H.L. J.*Appl Polym Sci, 1999*, **72**, 1755.
3. GIULIANO F.;MASUHIRO T.;SILVIA B. J Appl Polym Sci 1999, 71, 1563.
4. YOSHII F.;MAKUUCHI K.;DARWIS D.; IRIAWAN T.; RAZZAK M. T.;JANUSZ M.ROSIAK.*Radiat. Phys. Chem.* 1995, 46(2), 169.
5. JANUSZ M.ROSIAK,Radiation Effect on Polymers, 271.
6. Dibakar Dhara, C.K. Nisha and P.R. Chalterji., *J.M.S.-PURE APPL. CHEM.*, A36 (2), 1999,197-210.
7. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์, ผศ.ดร., เคมีอินทรีย์ 2, โครงการตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2527,หน้า 8/1.
8. โสภณ เริงสำราญ, เคมีอินทรีย์ 2, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539, ครั้งที่ 1,หน้า 274-278.
9. กมลรัตน์ คูรัตน์ชัชวาล และดุจดาว ปรีชาวงศ์ , " บทบาทของมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและความร้อนของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างขวด HDPEที่ใช้แล้วกับพอลิพรอพิลีนผสมกับชานอ้อย", โครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2541.
10. สุมิตรา เกษมชัยนันท์ และสุรเกียรติ คำตา, "การสังเคราะห์ไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิอะไครลิกแอซิด และทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมซิลค์โปรตีน", โครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2542.
11. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์, ผศ.ดร., "เคมีพอลิเมอร์" โครงการตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.หน้า 241-274.
12. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์,ผศ.ดร., "ปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์" โครงการตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2543.หน้า 32-3.
13. หนังสือแบบเรียนเคมี สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2533.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1885	0.2072	0.1987	0.2142	0.2029
ฟิล์มแห้ง	0.0104	0.0138	0.0146	0.0049	0.0262
ชม.ที่ 0	0.1989	0.2210	0.2133	0.2191	0.2291
ชม.ที่ 1	0.2246	0.2568	0.2430	0.2248	0.2893
ชม.ที่ 2	0.2246	0.2588	0.2444	0.2254	0.2900
ชม.ที่ 3	0.2255	0.2575	0.2425	0.2249	0.2901
ชม.ที่ 4	0.2256	0.2589	0.2442	0.2251	0.2896
ชม.ที่ 5	0.2268	0.2579	0.2453	0.2252	0.2901
ชม.ที่ 6	0.2244	0.2562	0.2448	0.2250	0.2895
ชม.ที่ 24	0.2244	0.2546	0.2431	0.2248	0.2880
ชม.ที่ 168	0.2241	0.2537	0.2429	0.2271	0.2874

ตารางที่ 2 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2002	0.2165	0.1917	0.2070	0.2048
ฟิล์มแห้ง	0.0336	0.0283	0.0291	0.0203	0.0343
ชม.ที่ 0	0.2338	0.2448	0.2208	0.2273	0.2391
ชม.ที่ 1	0.2728	0.2782	0.2517	0.2412	0.2916
ชม.ที่ 2	0.2726	0.2776	0.2510	0.2421	0.2949
ชม.ที่ 3	0.2741	0.2787	0.2509	0.2409	0.2943
ชม.ที่ 4	0.2736	0.2785	0.2522	0.2416	0.2946
ชม.ที่ 5	0.2741	0.2789	0.2525	0.2416	0.2948
ชม.ที่ 6	0.2752	0.2780	0.2519	0.2416	0.2940
ชม.ที่ 24	0.2737	0.2779	0.2516	0.2425	0.2937
ชม.ที่ 168	0.2760	0.2799	0.2535	0.2499	0.2942

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2407	0.2084	0.2065	0.2107	0.2029
ฟิล์มแห้ง	0.0164	0.0297	0.0202	0.0167	0.0607
ชม.ที่ 0	0.2571	0.2381	0.2267	0.2274	0.2636
ชม.ที่ 1	0.2820	0.2701	0.2484	0.2380	0.3150
ชม.ที่ 2	0.2813	0.2749	0.2477	0.2372	0.3195
ชม.ที่ 3	0.2850	0.2727	0.2483	0.2373	0.3200
ชม.ที่ 4	0.2820	0.2722	0.2479	0.2375	0.3180
ชม.ที่ 5	0.2824	0.2724	0.2492	0.2376	0.3179
ชม.ที่ 6	0.2828	0.2730	0.2485	0.2376	0.3176
ชม.ที่ 24	0.2811	0.2745	0.2479	0.2383	0.3174
ชม.ที่ 168	0.2825	0.2735	0.2497	0.2438	0.3213

ตารางที่ 4 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2313	0.2340	0.1840	0.2018	0.1854
ฟิล์มแห้ง	0.0248	0.0262	0.0290	0.0153	0.0325
ชม.ที่ 0	0.2561	0.2602	0.2130	0.2171	0.2179
ชม.ที่ 1	0.2783	0.2821	0.2382	0.2251	0.2459
ชม.ที่ 2	0.2801	0.2823	0.2388	0.2239	0.2465
ชม.ที่ 3	0.2796	0.2814	0.2387	0.2244	0.2478
ชม.ที่ 4	0.2800	0.2822	0.2391	0.2234	0.2468
ชม.ที่ 5	0.2822	0.2831	0.2386	0.2233	0.2482
ชม.ที่ 6	0.2804	0.2828	0.2384	0.2231	0.2477
ชม.ที่ 24	0.2804	0.2817	0.2384	0.2255	0.2468
ชม.ที่ 168	0.2817	0.2828	0.2397	0.2263	0.2477

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1774	0.2067	0.2070	0.2038	0.1841
ฟิล์มแห้ง	0.0384	0.0431	0.0309	0.0281	0.0355
ชม.ที่ 0	0.2158	0.2498	0.2379	0.2319	0.2196
ชม.ที่ 1	0.2441	0.2851	0.2621	0.2533	0.2418
ชม.ที่ 2	0.2436	0.2852	0.2624	0.2529	0.2427
ชม.ที่ 3	0.2437	0.2855	0.2634	0.2516	0.2444
ชม.ที่ 4	0.2450	0.2859	0.2630	0.2520	0.2507
ชม.ที่ 5	0.2449	0.2845	0.2640	0.2521	0.2439
ชม.ที่ 6	0.2445	0.2842	0.2629	0.2520	0.2464
ชม.ที่ 24	0.2441	0.2840	0.2618	0.2543	0.2431
ชม.ที่ 168	0.2440	0.2852	0.2628	0.2539	0.2445

ตารางที่ 6 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5%NaCl ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.7088	0.6465	0.6363	0.2076	0.4560
ฟิล์มแห้ง	0.0453	0.0280	0.0480	0.0115	0.0558
ชม.ที่ 0	0.7541	0.6745	0.6843	0.2191	0.5208
ชม.ที่ 1	0.7663	0.8889	0.8118	0.2281	0.7522
ชม.ที่ 2	0.8390	0.9270	0.8239	0.2295	0.7693
ชม.ที่ 3	0.8424	0.9954	0.8592	0.2286	0.7410
ชม.ที่ 4	0.8687	1.0527	0.8851	0.2286	0.7345
ชม.ที่ 5	0.9116	1.0743	0.8912	0.2274	0.7558
ชม.ที่ 6	0.8501	0.981	0.9050	0.2276	0.7298
ชม.ที่ 24	0.7912	0.9293	0.8558	0.2291	0.6833
ชม.ที่ 168	0.7433	0.8933	0.7712	0.2274	0.6719

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.6292	0.6846	0.6884	0.2048	0.4458
ฟิล์มแห้ง	0.0490	0.0435	0.0555	0.0114	0.1078
ชม.ที่ 0	0.6782	0.7281	0.7439	0.2162	0.5536
ชม.ที่ 1	0.8292	0.8443	0.8521	0.2255	0.9450
ชม.ที่ 2	0.8490	0.8519	0.8772	0.2271	0.9992
ชม.ที่ 3	0.8676	0.9022	0.9124	0.2253	0.8396
ชม.ที่ 4	0.9120	0.9840	1.0137	0.2251	0.8150
ชม.ที่ 5	0.9400	1.1115	1.0170	0.2253	0.8428
ชม.ที่ 6	0.8669	0.9257	0.9441	0.2250	0.8154
ชม.ที่ 24	0.8429	0.8954	0.8982	0.2238	0.7663
ชม.ที่ 168	0.8081	0.8709	0.8850	0.2242	0.7564

ตารางที่ 8 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	1.1715	1.1133	1.2069	0.2088	0.4698
ฟิล์มแห้ง	0.0319	0.0413	0.0666	0.0110	0.1955
ชม.ที่ 0	1.2034	1.1546	1.2735	0.2198	0.6653
ชม.ที่ 1	1.3086	1.3357	1.4795	0.2309	1.0504
ชม.ที่ 2	1.3197	1.3679	1.4850	0.2302	1.0503
ชม.ที่ 3	1.3599	1.4437	1.5446	0.2282	1.1870
ชม.ที่ 4	1.3883	1.4692	1.5504	0.2285	1.0533
ชม.ที่ 5	1.3876	1.4970	1.5833	0.2290	1.0570
ชม.ที่ 6	1.4143	1.3838	1.5904	0.2284	1.0266
ชม.ที่ 24	1.3484	1.3874	1.4795	0.2294	1.0094
ชม.ที่ 168	1.3499	1.3375	1.4979	0.2312	1.0077

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.8054	0.8290	0.7557	0.2122	0.4948
ฟิล์มแห้ง	0.0367	0.0446	0.0518	0.0117	0.1834
ชม.ที่ 0	0.8421	0.8736	0.8075	0.2239	0.6782
ชม.ที่ 1	0.9289	0.9436	0.9038	0.2343	1.0984
ชม.ที่ 2	0.9551	1.0613	0.9576	0.2340	1.0496
ชม.ที่ 3	0.9606	1.0742	1.0110	0.2319	1.1360
ชม.ที่ 4	0.9638	1.0937	1.1279	0.2325	1.1568
ชม.ที่ 5	1.0236	1.1703	1.0606	0.2326	1.1502
ชม.ที่ 6	1.0430	1.1198	1.1312	0.2326	1.0760
ชม.ที่ 24	0.9568	1.0670	0.9544	0.2317	1.0104
ชม.ที่ 168	0.9447	1.0508	0.9318	0.2314	1.0055

ตารางที่ 10 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.5128	0.5184	0.5893	0.2000	0.4605
ฟิล์มแห้ง	0.0477	0.0406	0.0451	0.0088	0.0579
ชม.ที่ 0	0.5605	0.5590	0.6344	0.2088	0.5184
ชม.ที่ 1	0.7627	0.7192	0.7651	0.2182	0.8856
ชม.ที่ 2	0.7565	0.7264	0.7889	0.2181	0.9154
ชม.ที่ 3	0.7832	0.7203	0.7873	0.2182	0.8466
ชม.ที่ 4	0.7813	0.7252	0.7909	0.2156	0.8100
ชม.ที่ 5	0.8611	0.6915	0.7608	0.2163	0.8300
ชม.ที่ 6	0.7540	0.6857	0.7643	0.2166	0.7665
ชม.ที่ 24	0.7037	0.6647	0.7505	0.2179	0.7093
ชม.ที่ 168	0.7422	0.7371	0.7305	0.2159	0.8715

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.5976	0.5695	0.5585	0.2153	0.4617
ฟิล์มแห้ง	0.0433	0.0474	0.0511	0.0081	0.1384
ชม.ที่ 0	0.6409	0.6169	0.6096	0.2234	0.6001
ชม.ที่ 1	0.7717	0.7785	0.7601	0.2321	0.8944
ชม.ที่ 2	0.7993	0.8057	0.7680	0.2310	0.8969
ชม.ที่ 3	0.7934	0.8257	0.8314	0.2322	0.8930
ชม.ที่ 4	0.8222	0.7927	0.7602	0.2309	0.9219
ชม.ที่ 5	0.7621	0.7769	0.7711	0.2322	0.9210
ชม.ที่ 6	0.7569	0.7513	0.7395	0.2320	0.8749
ชม.ที่ 24	0.7384	0.7285	0.7223	0.2318	0.8681
ชม.ที่ 168	0.6872	0.6717	0.7643	0.2303	0.6855

ตารางที่ 12 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.5865	0.5351	0.5306	0.2130	0.4680
ฟิล์มแห้ง	0.0391	0.0396	0.0471	0.0115	0.0642
ชม.ที่ 0	0.6256	0.5747	0.5777	0.2245	0.5322
ชม.ที่ 1	0.7456	0.7223	0.7546	0.2343	0.8295
ชม.ที่ 2	0.7529	0.7117	0.7326	0.2326	0.9025
ชม.ที่ 3	0.7608	0.7060	0.7020	0.2338	0.7878
ชม.ที่ 4	0.7459	0.7212	0.6933	0.2328	0.8002
ชม.ที่ 5	0.7543	0.7107	0.7095	0.2330	0.7889
ชม.ที่ 6	0.7501	0.7085	0.7188	0.2329	0.7779
ชม.ที่ 24	0.7208	0.6700	0.6718	0.2320	0.7200
ชม.ที่ 168	0.7358	0.6775	0.6973	0.2327	0.7428

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.4343	0.5278	0.5158	0.2122	0.4673
ฟิล์มแห้ง	0.0391	0.0338	0.0385	0.0093	0.1854
ชม.ที่ 0	0.4734	0.5616	0.5543	0.2215	0.6527
ชม.ที่ 1	0.6478	0.7009	0.6597	0.2294	0.9864
ชม.ที่ 2	0.6171	0.6981	0.7019	0.2296	1.0926
ชม.ที่ 3	0.6152	0.7328	0.6680	0.2289	1.0550
ชม.ที่ 4	0.6143	0.7382	0.6592	0.2288	1.0538
ชม.ที่ 5	0.6165	0.7116	0.6580	0.2284	1.0545
ชม.ที่ 6	0.5895	0.7148	0.6380	0.2285	1.0035
ชม.ที่ 24	0.5690	0.6466	0.6302	0.2294	0.9878
ชม.ที่ 168	0.5744	0.6466	0.6289	0.2285	0.9620

ตารางที่ 14 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1976	0.4495	0.4800	0.2088	0.3805
ฟิล์มแห้ง	0.0462	0.1046	0.0793	0.0121	0.1630
ชม.ที่ 0	0.2438	0.5541	0.5593	0.2209	0.5435
ชม.ที่ 1	0.3097	0.6975	0.6859	0.2319	0.8065
ชม.ที่ 2	0.3143	0.6974	0.6878	0.2321	0.8035
ชม.ที่ 3	0.3197	0.6929	0.7441	0.2315	0.8163
ชม.ที่ 4	0.3205	0.7281	0.6916	0.2323	0.7977
ชม.ที่ 5	0.3226	0.7030	0.6941	0.2323	0.7969
ชม.ที่ 6	0.3147	0.7177	0.7124	0.2321	0.7914
ชม.ที่ 24	0.3102	0.7031	0.7076	0.2316	0.8056
ชม.ที่ 168	0.3207	0.6831	0.6766	0.2306	0.7910

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2018	0.5303	0.4595	0.2115	0.3520
ฟิล์มแห้ง	0.0443	0.0899	0.0609	0.0104	0.1338
ชม.ที่ 0	0.2451	0.6202	0.5204	0.2219	0.4858
ชม.ที่ 1	0.3230	0.7688	0.6086	0.2304	0.6812
ชม.ที่ 2	0.3308	0.7562	0.6246	0.2303	0.7013
ชม.ที่ 3	0.3329	0.7708	0.6204	0.2300	0.6946
ชม.ที่ 4	0.3363	0.8004	0.6298	0.2286	0.7052
ชม.ที่ 5	0.3290	0.7652	0.6363	0.2288	0.6986
ชม.ที่ 6	0.3157	0.7814	0.6250	0.2285	0.6919
ชม.ที่ 24	0.3149	0.7664	0.6214	0.2283	0.7017
ชม.ที่ 168	0.3186	0.7544	0.6053	0.2281	0.6832

ตารางที่ 16 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1882	0.3706	0.4434	0.2097	0.3771
ฟิล์มแห้ง	0.0470	0.0834	0.1146	0.0127	0.0780
ชม.ที่ 0	0.2352	0.4540	0.5580	0.2224	0.4551
ชม.ที่ 1	0.3089	0.5695	0.6974	0.2320	0.6081
ชม.ที่ 2	0.3123	0.5787	0.7017	0.2310	0.6096
ชม.ที่ 3	0.3252	0.5810	0.7289	0.2312	0.6336
ชม.ที่ 4	0.3109	0.5928	0.7189	0.2309	0.6370
ชม.ที่ 5	0.3076	0.5862	0.7409	0.2324	0.6182
ชม.ที่ 6	0.3079	0.5909	0.7098	0.2320	0.6280
ชม.ที่ 24	0.3030	0.5883	0.7184	0.2319	0.6133
ชม.ที่ 168	0.3046	0.5727	0.6957	0.2312	0.6072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2000	0.4413	0.4712	0.2077	0.3704
ฟิล์มแห้ง	0.0293	0.0661	0.1264	0.0068	0.1324
ชม.ที่ 0	0.2293	0.5074	0.5976	0.2145	0.5064
ชม.ที่ 1	0.2816	0.6210	0.7909	0.2202	0.7304
ชม.ที่ 2	0.2772	0.6118	0.8013	0.2231	0.7245
ชม.ที่ 3	0.2784	0.6233	0.8194	0.2205	0.7534
ชม.ที่ 4	0.2804	0.6313	0.8396	0.2206	0.7442
ชม.ที่ 5	0.2784	0.6182	0.8217	0.2195	0.7546
ชม.ที่ 6	0.2824	0.6261	0.8310	0.2194	0.7508
ชม.ที่ 24	0.2722	0.6113	0.8112	0.2197	0.7428
ชม.ที่ 168	0.2772	0.6069	0.7993	0.2201	0.7315

ตารางที่ 18 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1770	0.5323	0.4712	0.2127	0.3939
ฟิล์มแห้ง	0.0283	0.0516	0.0677	0.0100	0.1632
ชม.ที่ 0	0.2053	0.5839	0.5389	0.2227	0.5571
ชม.ที่ 1	0.2419	0.6583	0.6329	0.2304	0.7973
ชม.ที่ 2	0.2493	0.6603	0.6317	0.2304	0.8068
ชม.ที่ 3	0.2506	0.6638	0.6303	0.2308	0.8202
ชม.ที่ 4	0.2524	0.6778	0.6799	0.2301	0.8192
ชม.ที่ 5	0.2518	0.6786	0.6387	0.2298	0.8228
ชม.ที่ 6	0.2505	0.6699	0.6970	0.2293	0.8240
ชม.ที่ 24	0.2475	0.6614	0.6368	0.2295	0.8196
ชม.ที่ 168	0.2516	0.6526	0.6254	0.2298	0.8019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1877	0.4350	0.5001	0.2161	0.4210
ฟิล์มแห้ง	0.0241	0.0566	0.0757	0.0168	0.0739
ชม.ที่ 0	0.2118	0.4916	0.5758	0.2329	0.4949
ชม.ที่ 1	0.2517	0.5687	0.6787	0.2445	0.6248
ชม.ที่ 2	0.2521	0.5881	0.6877	0.2451	0.6495
ชม.ที่ 3	0.2604	0.5763	0.7071	0.2454	0.6544
ชม.ที่ 4	0.2610	0.5972	0.6937	0.2437	0.6462
ชม.ที่ 5	0.2576	0.5950	0.6984	0.2443	0.6426
ชม.ที่ 6	0.2562	0.5720	0.6881	0.2444	0.6496
ชม.ที่ 24	0.2508	0.5735	0.6803	0.2442	0.6478
ชม.ที่ 168	0.2550	0.5609	0.6697	0.2440	0.6346

ตารางที่ 20 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1865	0.4168	0.4826	0.2091	0.4342
ฟิล์มแห้ง	0.0261	0.0581	0.0654	0.0078	0.1708
ชม.ที่ 0	0.2126	0.4749	0.5480	0.2169	0.6050
ชม.ที่ 1	0.2490	0.5579	0.6453	0.2232	0.8350
ชม.ที่ 2	0.2521	0.5833	0.6419	0.2240	0.8805
ชม.ที่ 3	0.2532	0.5795	0.6552	0.2224	0.8913
ชม.ที่ 4	0.2516	0.5759	0.6556	0.2220	0.8628
ชม.ที่ 5	0.2535	0.5799	0.6565	0.2230	0.9030
ชม.ที่ 6	0.2487	0.5734	0.6631	0.2228	0.9897
ชม.ที่ 24	0.2472	0.5668	0.6439	0.2221	0.9118
ชม.ที่ 168	0.2530	0.5554	0.6388	0.2196	0.8626

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 21 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2013	0.4352	0.4837	0.2118	0.4356
ฟิล์มแห้ง	0.0414	0.0769	0.0780	0.0111	0.1603
ชม.ที่ 0	0.2427	0.5121	0.5617	0.2229	0.5959
ชม.ที่ 1	0.3076	0.6197	0.6688	0.2312	0.7968
ชม.ที่ 2	0.3201	0.6334	0.6780	0.2313	0.8254
ชม.ที่ 3	0.3273	0.6398	0.6771	0.2314	0.8578
ชม.ที่ 4	0.3229	0.6595	0.7009	0.2311	0.8604
ชม.ที่ 5	0.3246	0.6351	0.6995	0.2301	0.8483
ชม.ที่ 6	0.3089	0.6327	0.6820	0.2300	0.8608
ชม.ที่ 24	0.3042	0.6285	0.6810	0.2299	0.8443
ชม.ที่ 168	0.3168	0.6163	0.6695	0.2297	0.8305

ตารางที่ 22 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2091	0.2039	0.1947	0.2160	0.4311
ฟิล์มแห้ง	0.0231	0.0588	0.0228	0.0146	0.0754
ชม.ที่ 0	0.2322	0.2627	0.2175	0.2306	0.5065
ชม.ที่ 1	0.2790	0.3280	0.2364	0.2386	0.5991
ชม.ที่ 2	0.2782	0.3330	0.2456	0.2386	0.5985
ชม.ที่ 3	0.2798	0.3377	0.2561	0.2380	0.6105
ชม.ที่ 4	0.2830	0.3351	0.2405	0.2388	0.6117
ชม.ที่ 5	0.2788	0.3345	0.2441	0.2389	0.6071
ชม.ที่ 6	0.2770	0.3306	0.2361	0.2385	0.6102
ชม.ที่ 24	0.2714	0.3230	0.2325	0.2380	0.6084
ชม.ที่ 168	0.2733	0.3307	0.2339	0.2376	0.5880

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 23 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1954	0.1985	0.2058	0.2055	0.4029
ฟิล์มแห้ง	0.0308	0.0396	0.0258	0.0146	0.0575
ชม.ที่ 0	0.2262	0.2381	0.2316	0.2201	0.4604
ชม.ที่ 1	0.2834	0.2796	0.2704	0.2288	0.5242
ชม.ที่ 2	0.2902	0.2861	0.2753	0.2296	0.5310
ชม.ที่ 3	0.2875	0.2898	0.2655	0.2288	0.5418
ชม.ที่ 4	0.2878	0.2870	0.2661	0.2291	0.5600
ชม.ที่ 5	0.2868	0.2845	0.2674	0.2290	0.5446
ชม.ที่ 6	0.2766	0.2857	0.2692	0.2291	0.5355
ชม.ที่ 24	0.2708	0.2804	0.2611	0.2286	0.5371
ชม.ที่ 168	0.2730	0.2816	0.2672	0.2275	0.5319

ตารางที่ 24 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2205	0.1927	0.1990	0.2088	0.4408
ฟิล์มแห้ง	0.0183	0.0343	0.0174	0.0151	0.1756
ชม.ที่ 0	0.2188	0.2270	0.2164	0.2239	0.6164
ชม.ที่ 1	0.2647	0.2801	0.2438	0.2329	0.8093
ชม.ที่ 2	0.2696	0.2887	0.2476	0.2323	0.8282
ชม.ที่ 3	0.2666	0.2835	0.2609	0.2326	0.8323
ชม.ที่ 4	0.2674	0.2799	0.2453	0.2327	0.8307
ชม.ที่ 5	0.2677	0.2823	0.2449	0.2330	0.8421
ชม.ที่ 6	0.2593	0.2764	0.2461	0.2325	0.8246
ชม.ที่ 24	0.2548	0.2652	0.2384	0.2325	0.8271
ชม.ที่ 168	0.2638	0.2662	0.2398	0.2326	0.8212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 25 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1954	0.2091	0.2056	0.2146	0.4561
ฟิล์มแห้ง	0.0182	0.0283	0.0294	0.0181	0.0764
ชม.ที่ 0	0.2136	0.2374	0.2350	0.2327	0.5325
ชม.ที่ 1	0.2601	0.2833	0.2701	0.2425	0.6280
ชม.ที่ 2	0.2581	0.2833	0.2712	0.2424	0.6290
ชม.ที่ 3	0.2587	0.2842	0.2767	0.2427	0.6491
ชม.ที่ 4	0.2568	0.2771	0.2724	0.2427	0.6469
ชม.ที่ 5	0.2508	0.2809	0.2715	0.2419	0.6430
ชม.ที่ 6	0.2507	0.2788	0.2675	0.2418	0.6388
ชม.ที่ 24	0.2481	0.2714	0.2642	0.2420	0.6366
ชม.ที่ 168	0.2530	0.2746	0.2767	0.2424	0.6202

ตารางที่ 26 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1939	0.2049	0.1960	0.2114	0.4055
ฟิล์มแห้ง	0.0200	0.0395	0.0212	0.0196	0.0836
ชม.ที่ 0	0.2139	0.2444	0.2172	0.2310	0.4891
ชม.ที่ 1	0.2434	0.2992	0.2448	0.2413	0.5860
ชม.ที่ 2	0.2452	0.3161	0.2456	0.2408	0.5922
ชม.ที่ 3	0.2457	0.3123	0.2445	0.2405	0.5954
ชม.ที่ 4	0.2472	0.3016	0.2473	0.2397	0.6259
ชม.ที่ 5	0.2453	0.2995	0.2466	0.2402	0.5873
ชม.ที่ 6	0.2475	0.3036	0.2436	0.2402	0.5874
ชม.ที่ 24	0.2390	0.2904	0.2412	0.2402	0.5828
ชม.ที่ 168	0.2413	0.2925	0.2427	0.2402	0.5737

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 27 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1915	0.1891	0.1835	0.2056	0.3810
ฟิล์มแห้ง	0.0156	0.0314	0.0287	0.0129	0.1529
ชม.ที่ 0	0.2071	0.2205	0.2122	0.2185	0.5339
ชม.ที่ 1	0.2372	0.2674	0.2502	0.2257	0.6948
ชม.ที่ 2	0.2437	0.2711	0.2570	0.2262	0.6961
ชม.ที่ 3	0.2398	0.2707	0.2516	0.2255	0.7019
ชม.ที่ 4	0.2418	0.2658	0.2578	0.2257	0.7315
ชม.ที่ 5	0.2367	0.2669	0.2486	0.2253	0.6993
ชม.ที่ 6	0.2381	0.2679	0.2517	0.2253	0.7021
ชม.ที่ 24	0.2315	0.2597	0.2437	0.2255	0.6956
ชม.ที่ 168	0.2366	0.2653	0.2468	0.2255	0.6778

ตารางที่ 28 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1918	0.1970	0.1876	0.2028	0.4058
ฟิล์มแห้ง	0.0194	0.0308	0.0249	0.0206	0.1013
ชม.ที่ 0	0.2112	0.2278	0.2125	0.2234	0.5071
ชม.ที่ 1	0.2584	0.2729	0.2467	0.2351	0.6186
ชม.ที่ 2	0.2707	0.2863	0.2494	0.2357	0.6121
ชม.ที่ 3	0.2690	0.2766	0.2542	0.2349	0.6313
ชม.ที่ 4	0.2583	0.2737	0.2577	0.2350	0.6360
ชม.ที่ 5	0.2612	0.2728	0.2491	0.2355	0.6323
ชม.ที่ 6	0.2556	0.2707	0.2497	0.2350	0.6280
ชม.ที่ 24	0.2463	0.2662	0.2418	0.2341	0.6291
ชม.ที่ 168	0.2516	0.2777	0.2454	0.2307	0.6103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 29 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 20 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1965	0.2013	0.1897	0.2127	0.4203
ฟิล์มแห้ง	0.0208	0.0280	0.0231	0.0130	0.1402
ชม.ที่ 0	0.2173	0.2293	0.2128	0.2257	0.0561
ชม.ที่ 1	0.2446	0.2723	0.2389	0.2319	0.7105
ชม.ที่ 2	0.2488	0.2715	0.2416	0.2333	0.7251
ชม.ที่ 3	0.2537	0.2721	0.2451	0.2331	0.7243
ชม.ที่ 4	0.2497	0.2758	0.2454	0.2325	0.7356
ชม.ที่ 5	0.2474	0.2710	0.2438	0.2324	0.7301
ชม.ที่ 6	0.2457	0.2751	0.2493	0.2324	0.7304
ชม.ที่ 24	0.2447	0.2652	0.2377	0.2323	0.7303
ชม.ที่ 168	0.2471	0.2690	0.2404	0.2322	0.7127

ตารางที่ 30 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2279	0.2256	0.2200	0.2113	2570.0000
ฟิล์มแห้ง	0.0218	0.0489	0.0433	0.0094	0.0510
ชม.ที่ 0	0.2497	0.2745	0.2633	0.2207	0.3080
ชม.ที่ 1	0.2686	0.3270	0.3062	0.2266	0.3658
ชม.ที่ 2	0.2688	0.3222	0.3054	0.2277	0.3558
ชม.ที่ 3	0.2694	0.3218	0.3064	0.2266	0.3560
ชม.ที่ 4	0.2692	0.3269	0.3154	0.2263	0.3588
ชม.ที่ 5	0.2706	0.3247	0.3202	0.2260	0.3613
ชม.ที่ 6	0.2708	0.3273	0.3154	0.2261	0.3610
ชม.ที่ 24	0.2688	0.3231	0.3166	0.2289	0.3573
ชม.ที่ 168	0.2718	0.3231	0.3062	0.2266	0.3552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 31 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2102	0.2588	0.2125	0.2142	0.2559
ฟิล์มแห้ง	0.0172	0.0580	0.0556	0.0078	0.0722
ชม.ที่ 0	0.2274	0.3168	0.2681	0.2220	0.3281
ชม.ที่ 1	0.2453	0.3849	0.3238	0.2294	0.3945
ชม.ที่ 2	0.2457	0.3758	0.3242	0.2294	0.4047
ชม.ที่ 3	0.2446	0.3763	0.3260	0.2281	0.4016
ชม.ที่ 4	0.2464	0.3800	0.3207	0.2278	0.4028
ชม.ที่ 5	0.2448	0.3715	0.3258	0.2285	0.4061
ชม.ที่ 6	0.2452	0.3808	0.3269	0.2279	0.4070
ชม.ที่ 24	0.2450	0.3791	0.3223	0.2292	0.3971
ชม.ที่ 168	0.2452	0.3769	0.3192	0.2279	0.3963

ตารางที่ 32 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1943	0.2773	0.2050	0.2101	0.2539
ฟิล์มแห้ง	0.0202	0.0637	0.0457	0.0117	0.0720
ชม.ที่ 0	0.2145	0.3410	0.2507	0.2218	0.3259
ชม.ที่ 1	0.2352	0.4107	0.3053	0.2309	0.3899
ชม.ที่ 2	0.2360	0.4082	0.3073	0.2304	0.3892
ชม.ที่ 3	0.2355	0.4095	0.3054	0.2293	0.3907
ชม.ที่ 4	0.2354	0.4221	0.3077	0.2294	0.3989
ชม.ที่ 5	0.2361	0.4231	0.3081	0.2295	0.3962
ชม.ที่ 6	0.2388	0.4130	0.3133	0.2292	0.3956
ชม.ที่ 24	0.2345	0.4026	0.3026	0.2310	0.3920
ชม.ที่ 168	0.2367	0.4046	0.2979	0.2300	0.3875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 33 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2347	0.2261	0.1897	0.2088	0.2334
ฟิล์มแห้ง	0.0302	0.0655	0.0312	0.0127	0.0731
ชม.ที่ 0	0.2649	0.2916	0.2209	0.2215	0.3065
ชม.ที่ 1	0.2308	0.3570	0.2528	0.2294	0.3892
ชม.ที่ 2	0.2902	0.3633	0.2521	0.2318	0.3891
ชม.ที่ 3	0.2907	0.3639	0.2534	0.2302	0.3934
ชม.ที่ 4	0.2917	0.3691	0.2536	0.2309	0.3941
ชม.ที่ 5	0.2915	0.3722	0.2538	0.2305	0.4014
ชม.ที่ 6	0.2929	0.3677	0.2564	0.2306	0.4011
ชม.ที่ 24	0.2909	0.3606	0.2530	0.2326	0.3920
ชม.ที่ 168	0.2902	0.3617	0.2551	0.2305	0.3935

ตารางที่ 34 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2033	0.2204	0.2265	0.2107	0.2515
ฟิล์มแห้ง	0.0320	0.0626	0.0586	0.0073	0.0528
ชม.ที่ 0	0.2353	0.2830	0.2851	0.2180	0.3043
ชม.ที่ 1	0.2671	0.3384	0.3414	0.2246	0.3584
ชม.ที่ 2	0.2681	0.3420	0.3446	0.2239	0.3586
ชม.ที่ 3	0.2684	0.3407	0.3449	0.2243	0.3573
ชม.ที่ 4	0.2659	0.3438	0.3479	0.2237	0.3604
ชม.ที่ 5	0.2676	0.3443	0.3492	0.2234	0.3616
ชม.ที่ 6	0.2694	0.3448	0.3509	0.2233	0.3627
ชม.ที่ 24	0.2669	0.3405	0.3445	0.2244	0.3577
ชม.ที่ 168	0.2713	0.3380	0.3391	0.2227	0.3573

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 35 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1748	0.2280	0.2296	0.2143	0.2584
ฟิล์มแห้ง	0.0222	0.0478	0.0628	0.0068	0.0841
ชม.ที่ 0	0.1970	0.2758	0.2924	0.2211	0.3425
ชม.ที่ 1	0.2141	0.3189	0.3455	0.2283	0.3911
ชม.ที่ 2	0.2151	0.3215	0.3436	0.2280	0.3901
ชม.ที่ 3	0.2140	0.3234	0.3437	0.2269	0.3874
ชม.ที่ 4	0.2146	0.3237	0.3468	0.2282	0.3949
ชม.ที่ 5	0.2155	0.3220	0.3470	0.2263	0.3941
ชม.ที่ 6	0.2155	0.3253	0.3518	0.2262	0.3944
ชม.ที่ 24	0.2133	0.3214	0.3439	0.2286	0.3868
ชม.ที่ 168	0.2153	0.3186	0.3411	0.2276	0.3876

ตารางที่ 36 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2051	0.2226	0.2237	0.1989	0.2530
ฟิล์มแห้ง	0.0320	0.0522	0.0555	0.0088	0.0850
ชม.ที่ 0	0.2371	0.2748	0.2792	0.2077	0.3380
ชม.ที่ 1	0.2633	0.3252	0.3406	0.2161	0.4194
ชม.ที่ 2	0.2651	0.3231	0.3386	0.2142	0.4216
ชม.ที่ 3	0.2638	0.3224	0.3377	0.2144	0.4216
ชม.ที่ 4	0.2641	0.3286	0.3460	0.2144	0.4244
ชม.ที่ 5	0.2652	0.3257	0.3459	0.2140	0.4226
ชม.ที่ 6	0.2660	0.3312	0.3412	0.2141	0.4247
ชม.ที่ 24	0.2646	0.3216	0.3400	0.2160	0.4212
ชม.ที่ 168	0.2641	0.3208	0.3312	0.2153	0.4229

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 37 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 40 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2242	0.2376	0.2237	0.2154	0.2458
ฟิล์มแห้ง	0.0348	0.0442	0.0469	0.0099	0.0808
ชม.ที่ 0	0.2590	0.2818	0.2706	0.2253	0.3266
ชม.ที่ 1	0.2896	0.3304	0.3198	0.2336	0.3734
ชม.ที่ 2	0.2857	0.3292	0.3240	0.2338	0.3762
ชม.ที่ 3	0.2908	0.3288	0.3226	0.2330	0.3792
ชม.ที่ 4	0.2893	0.3323	0.3270	0.2325	0.3784
ชม.ที่ 5	0.2910	0.3337	0.3278	0.2323	0.3811
ชม.ที่ 6	0.2918	0.3346	0.3281	0.2323	0.3812
ชม.ที่ 24	0.2899	0.3363	0.3241	0.2362	0.3747
ชม.ที่ 168	0.2908	0.3267	0.3197	0.2336	0.3781

ตารางที่ 38 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1421	0.1891	0.1962	0.2108	0.1862
ฟิล์มแห้ง	0.0234	0.0772	0.0498	0.0147	0.0485
ชม.ที่ 0	0.1655	0.2663	0.2460	0.2255	0.2347
ชม.ที่ 1	0.1795	0.3250	0.2854	0.2362	0.2698
ชม.ที่ 2	0.1804	0.3214	0.2868	0.2375	0.2752
ชม.ที่ 3	0.1794	0.3244	0.2915	0.2369	0.2751
ชม.ที่ 4	0.1801	0.3239	0.2848	0.2373	0.2748
ชม.ที่ 5	0.1804	0.3239	0.2835	0.2369	0.2729
ชม.ที่ 6	0.1798	0.3206	0.2821	0.2369	0.2704
ชม.ที่ 24	0.1798	0.3186	0.2815	0.2374	0.2696
ชม.ที่ 168	0.1814	0.3176	0.2802	0.2381	0.2700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 39 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย1.5% NaCl ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1347	0.1958	0.1836	0.2133	0.2003
ฟิล์มแห้ง	0.0239	0.0436	0.0273	0.0077	0.0459
ชม.ที่ 0	0.1586	0.2394	0.2109	0.2210	0.2462
ชม.ที่ 1	0.1743	0.2773	0.2292	0.2302	0.2802
ชม.ที่ 2	0.1738	0.2781	0.2326	0.2301	0.2791
ชม.ที่ 3	0.1741	0.2740	0.2361	0.2284	0.2794
ชม.ที่ 4	0.1745	0.2743	0.2344	0.2286	0.2786
ชม.ที่ 5	0.1747	0.2761	0.2339	0.2293	0.2785
ชม.ที่ 6	0.1755	0.2731	0.2333	0.2287	0.2781
ชม.ที่ 24	0.1739	0.2722	0.2316	0.2298	0.2761
ชม.ที่ 168	0.1740	0.2708	0.2290	0.2283	0.2752

ตารางที่ 40 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1991	0.1937	0.1970	0.2123	0.1860
ฟิล์มแห้ง	0.0213	0.0313	0.0379	0.0149	0.0491
ชม.ที่ 0	0.2204	0.2250	0.2349	0.2272	0.2351
ชม.ที่ 1	0.2356	0.2504	0.2648	0.2377	0.2748
ชม.ที่ 2	0.2368	0.2526	0.2634	0.2385	0.2765
ชม.ที่ 3	0.2363	0.2531	0.2660	0.2378	0.2770
ชม.ที่ 4	0.2357	0.2521	0.2648	0.2374	0.2763
ชม.ที่ 5	0.2372	0.2529	0.2643	0.2375	0.2759
ชม.ที่ 6	0.2379	0.2511	0.2618	0.2375	0.2739
ชม.ที่ 24	0.2370	0.2496	0.2617	0.2373	0.2730
ชม.ที่ 168	0.2365	0.2487	0.2607	0.2379	0.2739

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 41 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% KI ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2124	0.1868	0.1881	0.2048	0.2200
ฟิล์มแห้ง	0.0298	0.0363	0.0354	0.0116	0.0563
ชม.ที่ 0	0.2422	0.2231	0.2235	0.2164	0.2763
ชม.ที่ 1	0.2654	0.2497	0.2519	0.2250	0.3170
ชม.ที่ 2	0.2667	0.2587	0.2522	0.2256	0.3169
ชม.ที่ 3	0.2658	0.2562	0.2549	0.2253	0.3164
ชม.ที่ 4	0.2664	0.2535	0.2524	0.2253	0.3181
ชม.ที่ 5	0.2660	0.2535	0.2516	0.2251	0.3173
ชม.ที่ 6	0.2673	0.2533	0.2513	0.2250	0.3165
ชม.ที่ 24	0.2656	0.2512	0.2481	0.2265	0.3153
ชม.ที่ 168	0.2654	0.2485	0.2488	0.2254	0.3153

ตารางที่ 42 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1709	0.1722	0.1984	0.2103	0.2454
ฟิล์มแห้ง	0.0255	0.0346	0.0316	0.0079	0.0404
ชม.ที่ 0	0.1964	0.2068	0.2300	0.2182	0.2858
ชม.ที่ 1	0.2169	0.2334	0.2550	0.2255	0.3244
ชม.ที่ 2	0.2166	0.2349	0.2545	0.2250	0.3251
ชม.ที่ 3	0.2154	0.2371	0.2576	0.2248	0.3283
ชม.ที่ 4	0.2155	0.2350	0.2573	0.2245	0.3229
ชม.ที่ 5	0.2178	0.2356	0.2552	0.2244	0.3202
ชม.ที่ 6	0.2161	0.2330	0.2559	0.2243	0.3200
ชม.ที่ 24	0.2159	0.2335	0.2547	0.2258	0.3194
ชม.ที่ 168	0.2163	0.2316	0.2525	0.2258	0.3188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 43 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $MgCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1939	0.2142	0.1951	0.2030	0.1934
ฟิล์มแห้ง	0.0314	0.0280	0.0260	0.0140	0.0417
ชม.ที่ 0	0.2253	0.2422	0.2211	0.2170	0.2351
ชม.ที่ 1	0.2529	0.2650	0.2430	0.2278	0.2681
ชม.ที่ 2	0.2492	0.2665	0.2426	0.2280	0.2697
ชม.ที่ 3	0.2503	0.2655	0.2436	0.2289	0.2711
ชม.ที่ 4	0.2514	0.2667	0.2437	0.2286	0.2700
ชม.ที่ 5	0.2499	0.2665	0.2424	0.2284	0.2679
ชม.ที่ 6	0.2490	0.2646	0.2419	0.2284	0.2672
ชม.ที่ 24	0.2488	0.2641	0.2414	0.2281	0.2666
ชม.ที่ 168	0.2505	0.2627	0.2399	0.2280	0.2652

ตารางที่ 44 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2238	0.1980	0.1950	0.2117	0.1735
ฟิล์มแห้ง	0.0302	0.0354	0.0374	0.0215	0.0544
ชม.ที่ 0	0.2540	0.2334	0.2324	0.2332	0.2279
ชม.ที่ 1	0.2768	0.2616	0.2591	0.2497	0.2703
ชม.ที่ 2	0.2798	0.2623	0.2611	0.2494	0.2707
ชม.ที่ 3	0.2798	0.2629	0.2616	0.2484	0.2688
ชม.ที่ 4	0.2795	0.2641	0.2596	0.2496	0.2709
ชม.ที่ 5	0.2810	0.2606	0.2600	0.2490	0.2694
ชม.ที่ 6	0.2808	0.2594	0.2589	0.2492	0.2682
ชม.ที่ 24	0.2790	0.2598	0.2595	0.2497	0.2680
ชม.ที่ 168	0.2798	0.2582	0.2570	0.2494	0.2655

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 45 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลาย 1.5% $CaCl_2$ ของฟิล์มที่แช่กลูตารัลดีไฮด์ 80 นาที

นน. (กรัม)	A0	A1	A2	A3	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.1854	0.1946	0.1979	0.2077	0.1929
ฟิล์มแห้ง	0.0215	0.0358	0.0329	0.0107	0.0387
ชม.ที่ 0	0.2069	0.2304	0.2308	0.2184	0.2316
ชม.ที่ 1	0.2212	0.2587	0.2542	0.2285	0.2621
ชม.ที่ 2	0.2211	0.2604	0.2584	0.2278	0.2624
ชม.ที่ 3	0.2217	0.2600	0.2585	0.2274	0.2631
ชม.ที่ 4	0.2217	0.2596	0.2582	0.2285	0.2621
ชม.ที่ 5	0.2221	0.2597	0.2570	0.2272	0.2599
ชม.ที่ 6	0.2214	0.2587	0.2532	0.2274	0.2563
ชม.ที่ 24	0.2211	0.2574	0.2547	0.2278	0.2574
ชม.ที่ 168	0.2214	0.2563	0.2528	0.2275	0.2567

ตารางที่ 46 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.2854	0.3216	0.2936
ฟิล์มแห้ง	0.0144	0.0131	0.0154
ชม.ที่ 0	0.2998	0.3347	0.3090
ชม.ที่ 1	0.3231	0.3607	0.3519
ชม.ที่ 2	0.3249	0.3628	0.3513
ชม.ที่ 3	0.3251	0.3615	0.3519
ชม.ที่ 4	0.3249	0.3616	0.3501
ชม.ที่ 5	0.3247	0.3600	0.3513
ชม.ที่ 6	0.3248	0.3603	0.3511
ชม.ที่ 24	0.3235	0.3600	0.3499
ชม.ที่ 168	0.3209	0.3595	0.3454

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 47 แสดงค่าการดูดซับน้ำในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9 ของฟิล์มที่ไม่แช่กลูตารัลดีไฮด์

นน. (กรัม)	A0	A1	A4
ถุงอลูมิเนียม	0.3199	0.2701	0.2974
ฟิล์มแห้ง	0.0163	0.0139	0.0113
ชม.ที่ 0	0.3362	0.2840	0.3087
ชม.ที่ 1	0.3754	0.3272	0.3594
ชม.ที่ 2	0.3768	0.3337	0.3702
ชม.ที่ 3	0.3770	0.3358	0.3760
ชม.ที่ 4	0.3794	0.3380	0.3806
ชม.ที่ 5	0.3804	0.3404	0.3853
ชม.ที่ 6	0.3804	0.3400	0.3850
ชม.ที่ 24	0.3941	0.3441	0.3886
ชม.ที่ 168	0.3973	0.3523	0.4100

ตารางที่ 48 แสดงขนาดไอออนของอะตอม[13]

ไอออน	ขนาดไอออน
Na^{+}	0.96
K^{+}	1.33
Mg^{2+}	0.65
Ca^{2+}	0.94
Cl^{-}	1.81
I^{-}	2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้