

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทรายแดงตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995) ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
ความชื้น	77.09
โปรตีน	17.77
ไขมัน	4.07
เถ้า	1.01
คาร์โบไฮเดรต	0.06

4.2 การสกัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง

จากการทดลองสกัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง และทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ได้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ออกมาในลักษณะเป็นผงสีขาวนวล น้ำหนักเบา และจากการคำนวณ %yield ของการสกัดโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง โดยทดลอง 3 ซ้ำ ได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 %yield ของการสกัดโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงคิดเทียบกับส่วนต่างๆ ของปลาทรายแดง

เปรียบเทียบกับ	%yield
ปลาทั้งตัว (หนัก 203.41 ± 18.69 กรัม)	1.14 ± 0.16
เนื้อปลาที่แล้ได้จากปลา 1 ตัว (หนัก 83.60 ± 7.84 กรัม)	2.78 ± 0.41
โปรตีนทั้งหมดในเนื้อปลา (17.77% ของเนื้อปลา)	16.26 ± 0.28

เมื่อสกัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงและทำให้แห้งแล้วจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และเมื่อจะนำโปรตีนที่สกัดได้ข้างต้นมาผลิตเป็นฟิล์มบริโกลได้จึงจำเป็นต้องทราบปริมาณโปรตีนในโปรตีนผงที่สกัดได้ก่อน จึงจะสามารถนำมาคำนวณความเข้มข้นของโปรตีนที่ถูกต้องในการผลิตฟิล์มบริโกลได้ในขั้นต่อไป โดยการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในโปรตีนผงที่สกัดได้จะใช้วิธี Biuret assay (Copeland, 1994) ทดลอง 3 ซ้ำ ได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ต้องใช้เพื่อผลิตสารละลายโปรตีน 3% โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Biuret assay

ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในโปรตีนผงที่สกัดได้ (%)	ปริมาณโปรตีนที่ต้องใช้เพื่อผลิตสารละลาย 3% โปรตีน
97.63	3.07

4.3 การศึกษาผลของ pH และอุณหภูมิในการให้ความร้อน ที่มีผลต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบรีโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง

4.3.1 การผลิตฟิล์มบรีโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง

จากการทดลองพบว่าเมื่อนำโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงมาละลายในน้ำกลั่นจะได้อาหารละลายที่มีค่า pH โดยเฉลี่ยเป็น 6.43 ± 0.24

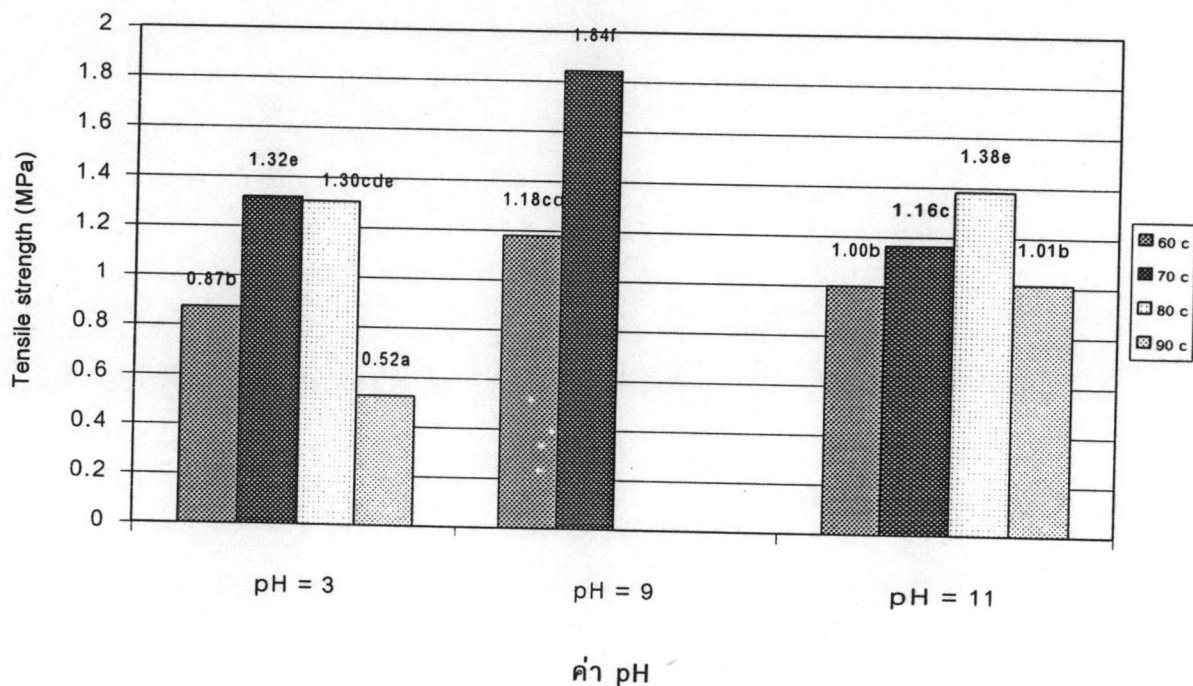
แผ่นฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงมีลักษณะโดยทั่วไปคือ เป็นแผ่นที่มีพื้นผิวต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น ไม่มีรูพรุนหรือรอยแยกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีสีเหลืองอ่อนๆ โปร่งแสง ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อน ยืดหยุ่นเล็กน้อย ฉีกขาดและดึงให้ขาดได้ง่าย

เมื่อทำการปรับ pH ของสารละลายโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงเป็น 3 5 7 9 และ 11 และนำมาขึ้นรูป พบว่า ที่ pH เท่ากับ 5 และ 7 ไม่สามารถนำสารละลายมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ ที่ pH เท่ากับ 5 film-forming solution จะมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย เมื่อนำไปให้ความร้อน จะทำให้ขุ่นขาวมากขึ้นจนมีลักษณะคล้ายน้ำมัน เมื่อนำมาขึ้นรูปจะไม่สามารถนำออกจากแม่พิมพ์ซิลิโคนได้ เนื่องจากเนื้อฟิล์มมีลักษณะแตก่วน ไม่ติดกันเป็นแผ่น ไม่สามารถนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ ส่วนที่ pH เท่ากับ 7 film-forming solution จะมีสีขาวขุ่นค่อนข้างมาก เมื่อนำไปให้ความร้อนเพียงเล็กน้อยจะตกตะกอนเป็นขุยสีขาวกระจายอยู่ทั่วไปในสารละลาย ไม่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ นอกจากนี้เมื่อปรับ pH ของสารละลาย film-forming solution เป็น 9 และให้ความร้อนที่ 80 – 90 องศาเซลเซียส จะทำให้โปรตีนตกตะกอนเป็นขุยสีขาวคล้ายกับที่ pH เท่ากับ 7 คือสารละลายไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และไม่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้สามารถผลิตฟิล์มบรีโภาคได้จากโปรตีนที่ละลายน้ำจากปลาทรายแดงได้ที่ pH เท่ากับ 3 9 (ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส) และ 11 เท่านั้น ลักษณะของฟิล์มที่ได้ค่อนข้างอ่อนนุ่มทุกภาวะการผลิต ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางและรูปดังต่อไปนี้

4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโคโคได้

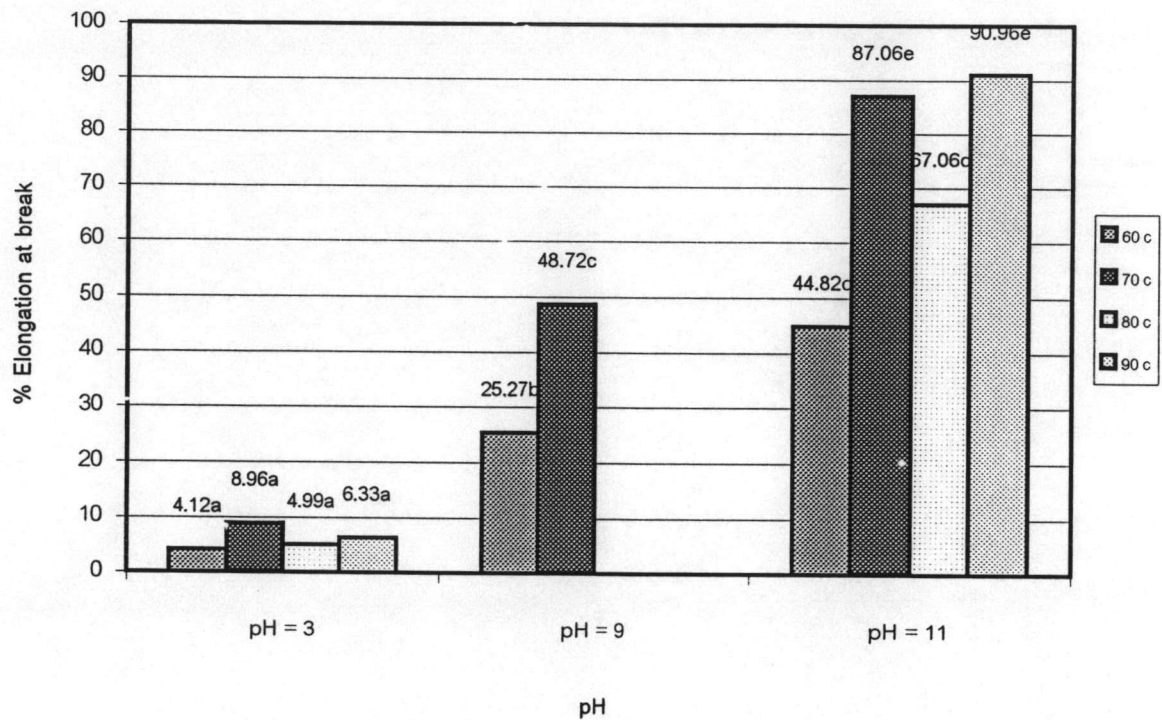
จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโคโคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง ที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% โดยแปรค่า pH และอุณหภูมิในการให้ความร้อนต่างๆ กันได้ผลดังรูปที่ 6 - 9



รูปที่ 6 ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิต่างๆ ในการผลิต

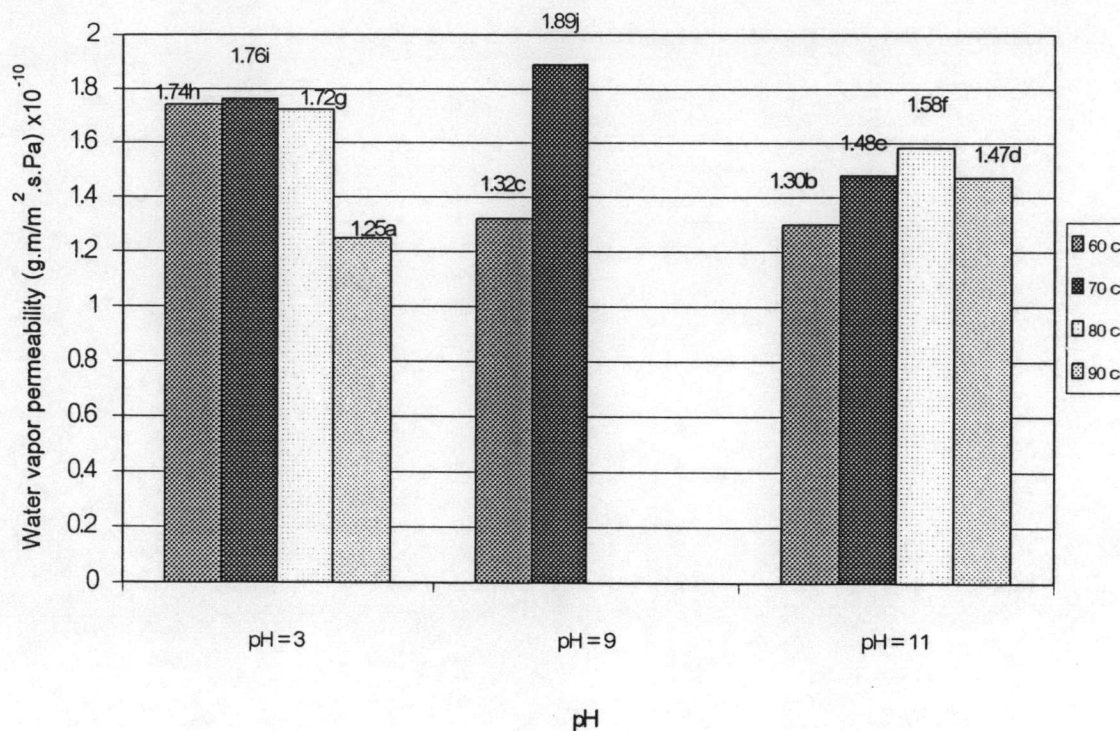
a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนในช่วงแรกคือช่วงอุณหภูมิ 60 - 80 องศาเซลเซียส ค่าการต้านทานแรงดึงขาดจะเพิ่มขึ้น ในทุกๆ ค่าของ pH ของ film-forming solution แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมามากจนเกินไปค่าการต้านทานแรงดึงขาดจะลดต่ำลง เมื่อพิจารณาค่า pH ที่แตกต่างกันพบว่า ภาวะที่มีค่า pH 9 จะให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่าภาวะที่มีค่า pH 3 และ 11 ทุกอุณหภูมิในการให้ความร้อน และภาวะที่ทำให้ฟิล์มมีค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุดคือ ภาวะที่มีค่า pH 9 และใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที



รูปที่ 7 ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิต่างๆ ในการผลิต a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

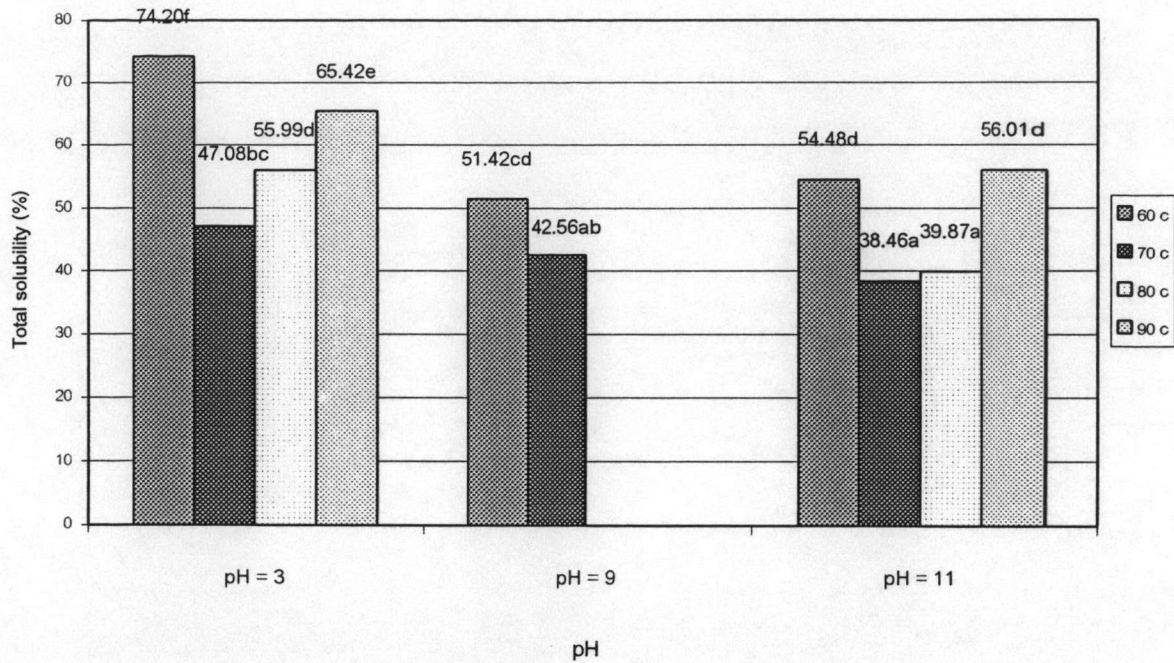
ในภาวะการผลิตฟิล์มที่เป็นกรด หรือที่ pH 3 ฟิล์มจะมีค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดต่ำที่สุด และมีค่าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับภาวะการผลิตที่เป็นด่าง หรือที่ pH 9 และ 11 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p \leq 0.05$ เมื่อพิจารณาถึงค่า pH ที่เพิ่มขึ้นพบว่า เมื่อ pH สูงขึ้น ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มจะมีค่าสูงขึ้นทุกอุณหภูมิในการให้ความร้อน โดยภาวะที่ทำให้ฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดต่ำและสูงที่สุดคือที่ภาวะ pH 3 ให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส และที่ pH 11 ให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 8 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิต่างๆ ในการผลิต

a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ในภาวะการผลิตที่เป็นกรด (pH 3) การเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนในช่วงแรกคือ 60 - 80 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการซึมผ่านของไอน้ำน้อยมาก เมื่อเทียบกับภาวะการผลิตที่เป็นด่าง ถึงแม้ว่าที่ pH 3 จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนในช่วงแรกนี้จะทำให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น และจะมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อให้ความร้อนสูงมากๆ ทุกค่า pH ที่ศึกษา โดยภาวะการผลิตที่ทำให้ฟิล์มมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุดคือ ที่ pH 3 และให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที



รูปที่ 9 ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิในการผลิตต่างๆ

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ที่ pH 3 และ 11 ในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อน คือที่ 60 – 70 องศาเซลเซียส ฟิล์มจะมีค่าร้อยละของการละลายทั้งหมดต่ำลง และจะเริ่มมีค่าการละลายทั้งหมดสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนถึง 80 องศาเซลเซียส แต่ในภาวะที่ pH 9 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนจาก 60 เป็น 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ฟิล์มมีค่าการละลายทั้งหมดสูงขึ้น และพบว่าภาวะการผลิตที่ทำให้ฟิล์มมีค่าการละลายทั้งหมดต่ำที่สุดคือ ที่ pH 11 ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ L a b ของแผ่นฟิล์มบริโคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH และอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายก่อนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มต่างๆ กัน ได้ผลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าสีในระบบ L a b ของแผ่นฟิล์มที่ pH และอุณหภูมิในการผลิตต่างๆ

Treatment		ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
pH	temperature ($^{\circ}$ C)	L ^{ns}	a ^{ns}	b ^{ns}
3	60	83.90 \pm 0.56	1.16 \pm 0.21	2.37 \pm 0.81
3	70	83.41 \pm 0.67	1.05 \pm 0.18	3.27 \pm 0.62
3	80	84.26 \pm 0.60	1.05 \pm 0.26	2.62 \pm 0.97
3	90	83.67 \pm 0.54	0.98 \pm 0.20	2.74 \pm 0.95
9	60	83.47 \pm 1.28	0.86 \pm 0.13	3.05 \pm 0.49
9	70	83.07 \pm 0.43	0.83 \pm 0.07	3.23 \pm 0.30
9	80	ขึ้นรูปไม่ได้	ขึ้นรูปไม่ได้	ขึ้นรูปไม่ได้
9	90	ขึ้นรูปไม่ได้	ขึ้นรูปไม่ได้	ขึ้นรูปไม่ได้
11	60	83.07 \pm 0.55	0.95 \pm 0.18	2.67 \pm 0.77
11	70	83.56 \pm 0.42	0.94 \pm 0.20	3.72 \pm 0.61
11	80	83.08 \pm 0.47	0.89 \pm 0.19	3.44 \pm 0.51
11	90	83.32 \pm 0.71	1.04 \pm 0.21	3.61 \pm 0.72

ns หมายถึงตัวเลขในแต่ละแถวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ฟิล์มบริโคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตได้ในทุกภาวะมีค่า L ค่อนข้างสูง แสดงว่า ฟิล์มที่ผลิตได้มีความสว่างมาก หรือมีความใสมาก มีค่า a และ b อยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำ และค่า b มีค่าสูงกว่าค่า a ค่อนข้างมาก แสดงว่า แผ่นฟิล์มมีสีออกเหลืองอ่อนๆ ทุกภาวะการผลิต

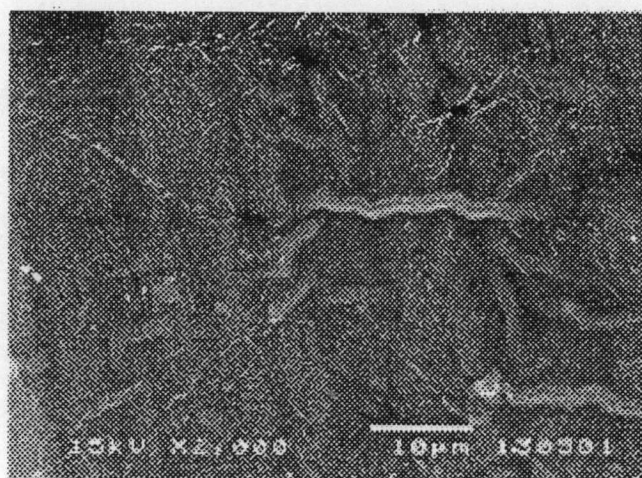
จากการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของแผ่นฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH และอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่สารละลายก่อนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มต่างๆ กัน พบว่า ไม่สามารถวัดค่าได้ในหลายๆ ภาวะการผลิต เนื่องจากฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนมาก จึงไม่สามารถทนสภาวะที่มีการดูดอากาศออกเพียงด้านเดียวของแผ่นฟิล์มโดยเครื่อง OX-TRAN 1000 ได้ แผ่นฟิล์มจะขาดก่อนการวัดค่าต่างๆ โดยเครื่อง OX-TRAN 1000 จะเสร็จสิ้น มีแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากสารละลายที่ pH 9 และให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่สามารถวัดค่าได้ ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของแผ่นฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง

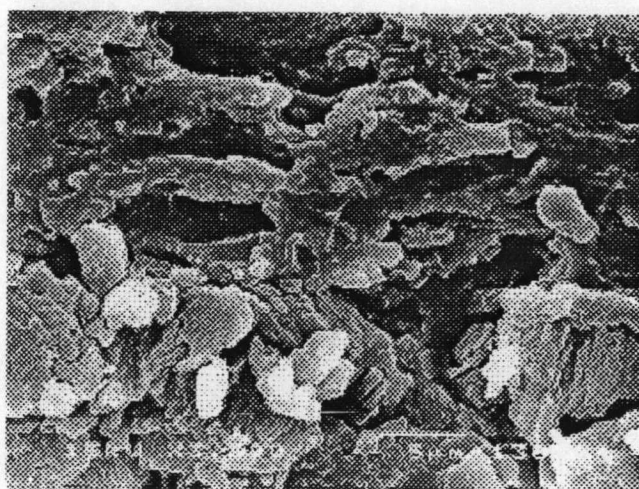
pH	อุณหภูมิ (°C)	การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (mol.m/m ² .s.Pa)
9	70	1.89 x 10 ⁻¹⁸

4.3.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างของแผ่นฟิล์มบริโภาคได้โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างของฟิล์มบริโภาคได้ที่ผลิตโดยปรับ pH ของสารละลายเป็น 3 และ 11 และให้ความร้อนที่ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้ผลดังรูปที่ 10 - 21

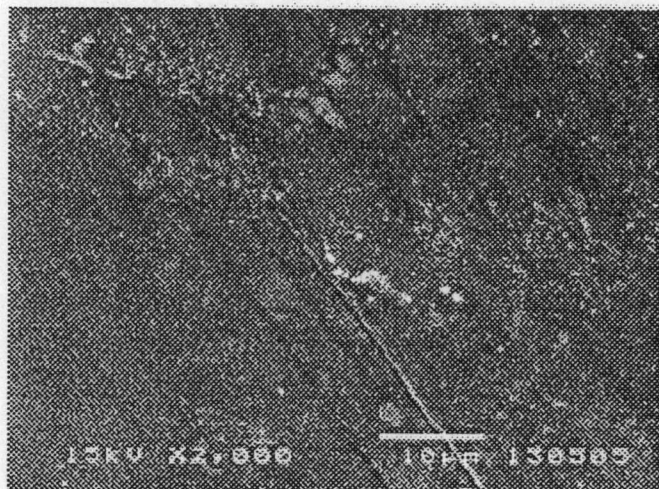


รูปที่ 10 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 3 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 2000 เท่า)

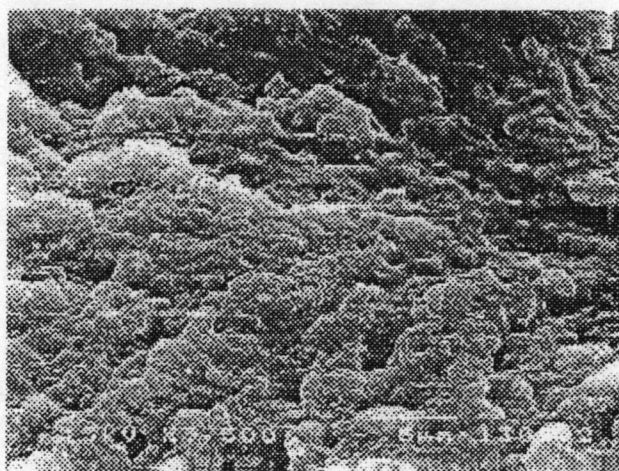


รูปที่ 11 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 3 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 3 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส จะมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ เมื่อพิจารณาภาพตัดขวาง จะพบว่ามีความพรุนมากพอสมควร แต่ยังมีลักษณะที่ต่อเนื่องกันคล้ายฟองน้ำเนื้อโปร่ง

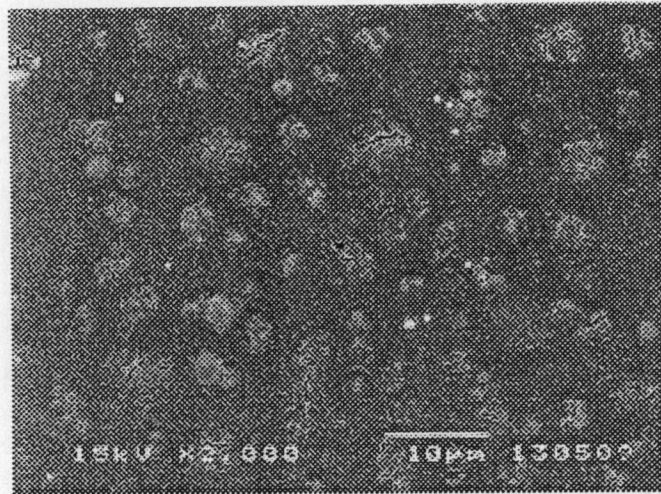


รูปที่ 12 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 3 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 2000 เท่า)

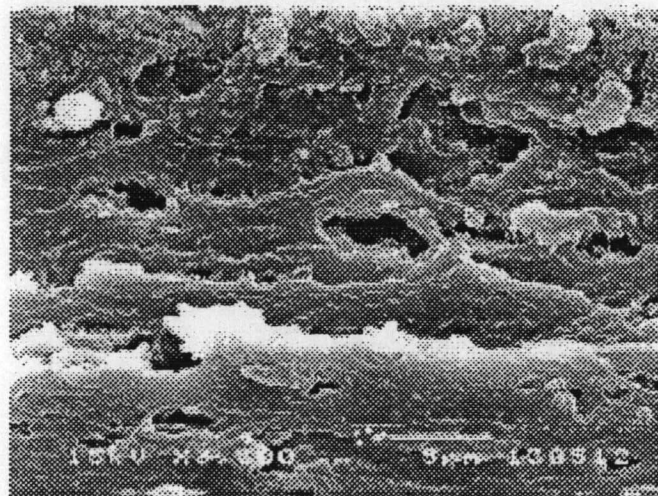


รูปที่ 13 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 3 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 3 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส จะมีพื้นผิวเรียบกว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 3 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาภาพตัดขวางจะพบว่ามีความหนาแน่น และต่อเนื่องมากกว่าด้วย

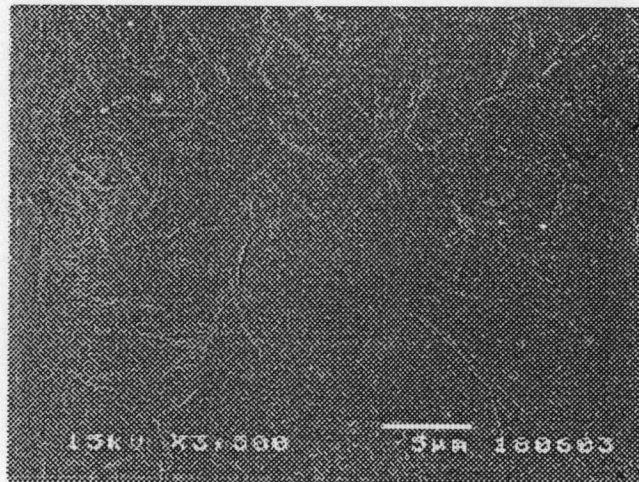


รูปที่ 14 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 3 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 2000 เท่า)

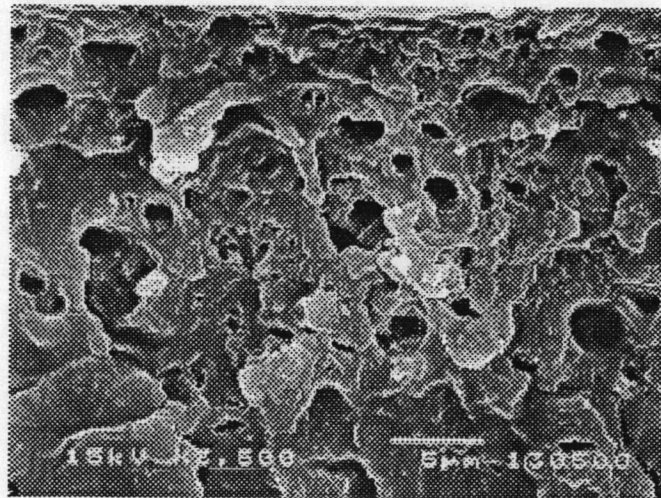


รูปที่ 15 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 3 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 3 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส จะมีพื้นผิวไม่เรียบ ภาพถ่ายพื้นผิวแสดงให้เห็นลักษณะคล้ายเม็ดทรายกระจายอยู่ทั่วไป เมื่อจับดูจะรู้สึกว่ฟิล์มมีผิวสาก แต่เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางจะพบว่า เนื้อฟิล์มมีความแน่นดี แต่มีรูพรุนและดูไม่ต่อเนื่องในบางช่วง ความต่อเนื่องของเนื้อฟิล์มโดยรวมน้อยกว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 3 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส

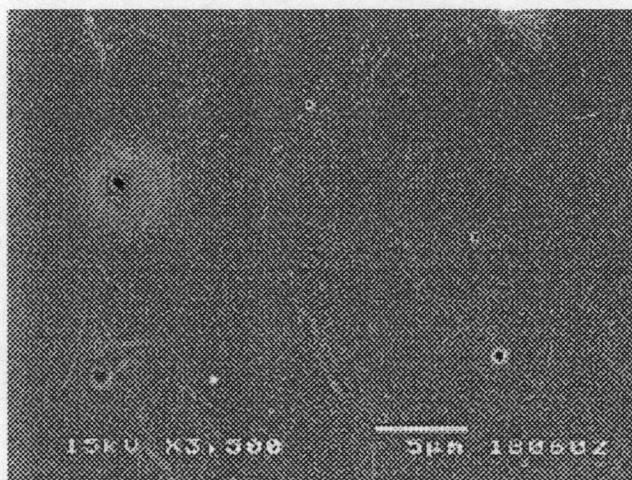


รูปที่ 16 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 11 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

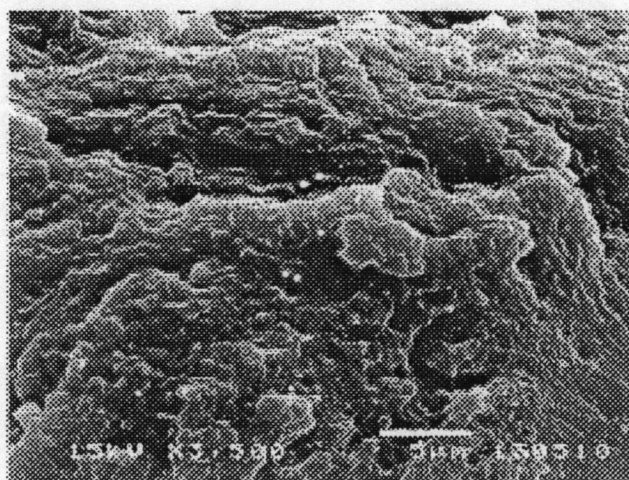


รูปที่ 17 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 11 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 11 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส จะมีพื้นผิวเรียบดี และเมื่อพิจารณาภาพตัดขวางจะเห็นว่ามีความต่อเนื่องดีพอสมควร แต่ยังมีลักษณะที่ค่อนข้างพรุนมาก

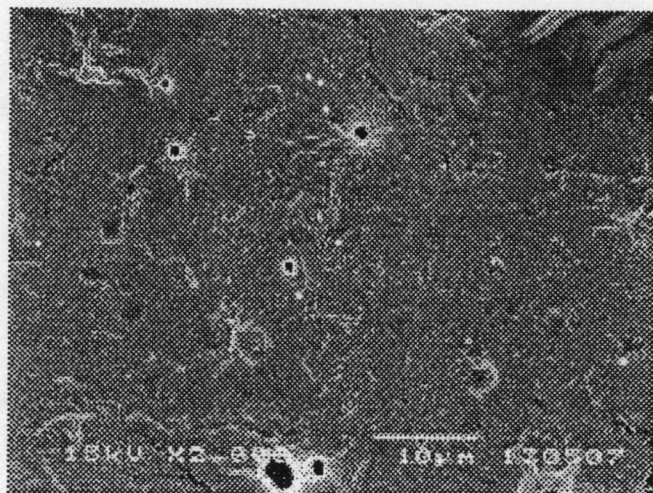


รูปที่ 18 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 11 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

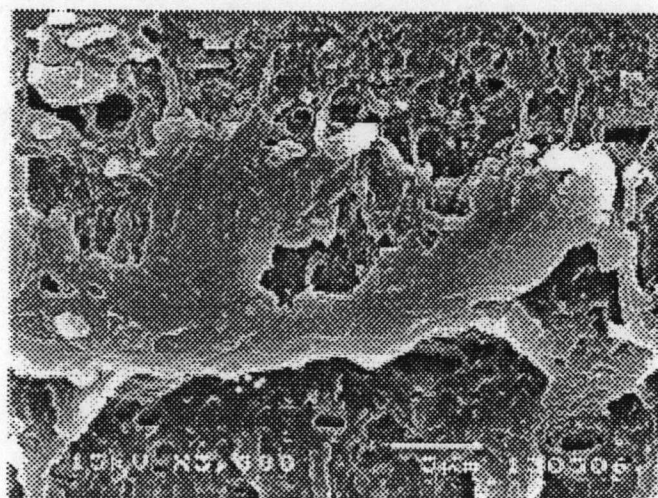


รูปที่ 19 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 11 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 11 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส จะมีพื้นผิวเรียบดี แต่จะพบรูเล็กๆ (pin hole) กระจายอยู่เล็กน้อยในแผ่นฟิล์ม เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางจะเห็นว่า เนื้อฟิล์มมีความต่อเนื่องดีมาก และมีความพรุนน้อยกว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 11 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 20 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 11 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 2000 เท่า)



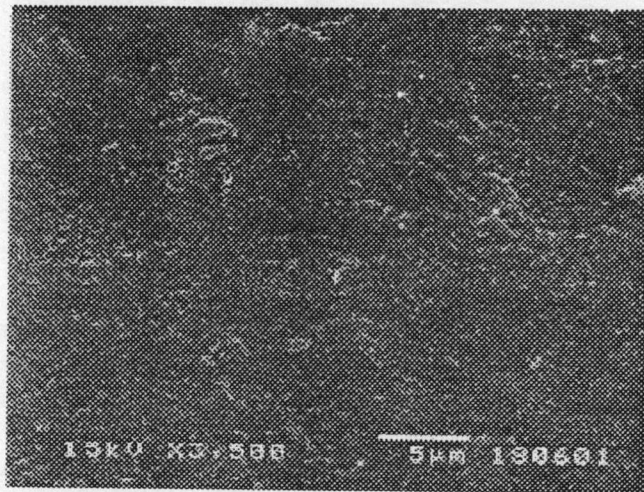
รูปที่ 21 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 11 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 11 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส จะมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ แต่จะพบรูเล็กๆ (pin hole) กระจายอยู่ทั่วๆ ไปในแผ่นฟิล์ม และมีจำนวนรูมากกว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 11 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของฟิล์มจะพบว่า มีความต่อเนื่องดี และมีความพรุนน้อยกว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 11 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส แต่ยังมี

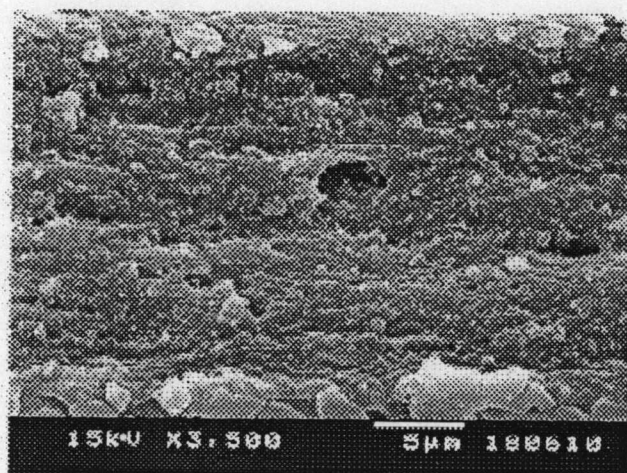
ความโปร่งพูนมากกว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 11 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส เล็กน้อย

นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะโดยรวมของแผ่นฟิล์มที่ผลิตในภาวะเป็นด่างจะมีพื้นผิวที่เรียบกว่าฟิล์มที่ผลิตในภาวะเป็นกรด และยังมีลักษณะเนื้อฟิล์มที่ต่อเนื่องดีมีความพูนน้อยกว่าฟิล์มที่ผลิตในภาวะเป็นกรดอีกด้วย

จากนั้นได้วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างของฟิล์มบริเวณที่ได้ให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงที่สุด ซึ่งเป็นแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยปรับ pH ของสารละลายเป็น 9 และให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้ผลดังรูปที่ 22 และ 23



รูปที่ 22 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ pH 9 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

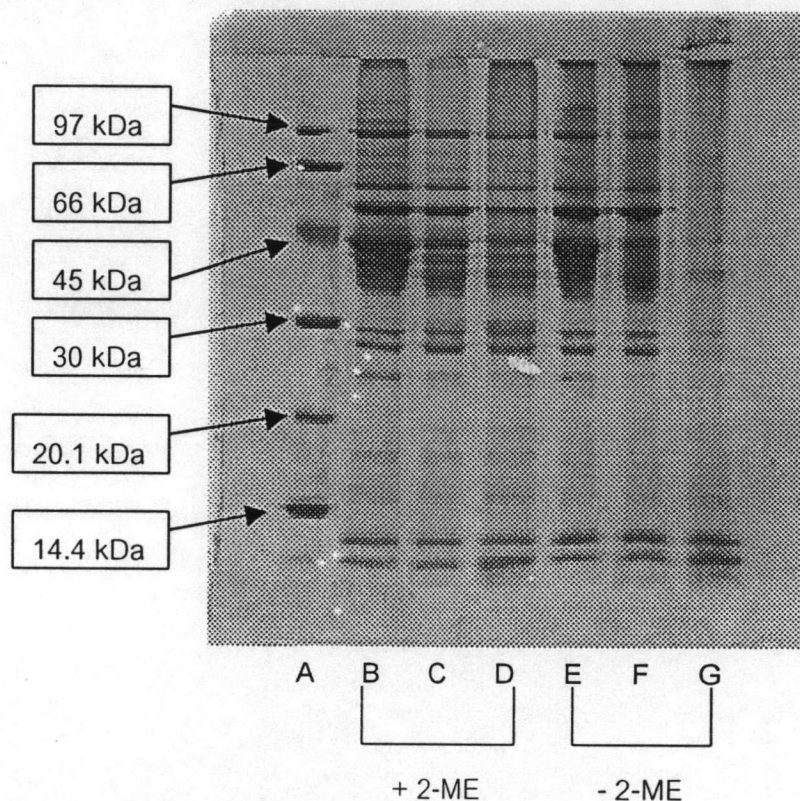


รูปที่ 23 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ pH 9 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะ pH 9 อุณหภูมิในการให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส จะมีพื้นผิวเรียบดี และเมื่อพิจารณาภาพตัดขวางจะพบว่า เนื้อฟิล์มมีความต่อเนื่องดีมาก และมีความพรุนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ภาวะอื่นๆ

4.3.4 การติดตามการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตแผ่นฟิล์ม บริโกลด์โดยวิธี SDS-PAGE electrophoresis

ติดตามการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่ใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มบริโกลด์โดยใช้วิธี SDS-PAGE electrophoresis ตามวิธีของ Leammli (1970) ซึ่งปรับปรุงโดย Iwata และคณะ (2000) ในการทดลองใช้ 12.5% separating gel และ 4% stacking gel ได้ผลดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 แบบแผนการแยกโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง ที่ pH 9 ให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียส

A : low molecular weight standard proteins

B: sarcoplasmic proteins with 2-ME

C : film-forming solution at pH 9 with 2-ME

D : film-forming solution at pH 9, 70°C with 2-ME

E : sarcoplasmic proteins without 2-ME

F : film-forming solution at pH 9 without 2-ME

G : film-forming solution at pH 9, 70°C without 2-ME

4.4 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซอรที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆ ของฟิล์ม บรีโอบได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง

4.4.1 การผลิตฟิล์มบรีโอบได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงโดยใช้ชนิด และปริมาณพลาสติกไซเซอรต่างกัน

จากการทดลองผลิตฟิล์มบรีโอบได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง พบว่า
แผ่นฟิล์มมีลักษณะโดยทั่วไปคือ เป็นแผ่นที่มีพื้นผิวต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น ไม่มีรูพรุนหรือรอย
แยกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีสีเหลืองอ่อนๆ โปร่งแสง ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อน ยืด
หยุ่นเล็กน้อย ฉีกขาดและดึงให้ขาดได้ง่าย

แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กาลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรจะมีลักษณะพื้นผิวต่อเนื่องกัน
ตลอดทั้งแผ่น ลอกออกจากพิมพ์ได้ง่ายพอสมควร handling ง่าย มีสีเหลืองอ่อนๆ โปร่งแสง
ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อน ยืดหยุ่นดีพอสมควร ฉีกขาดและดึงให้ขาดได้ง่าย

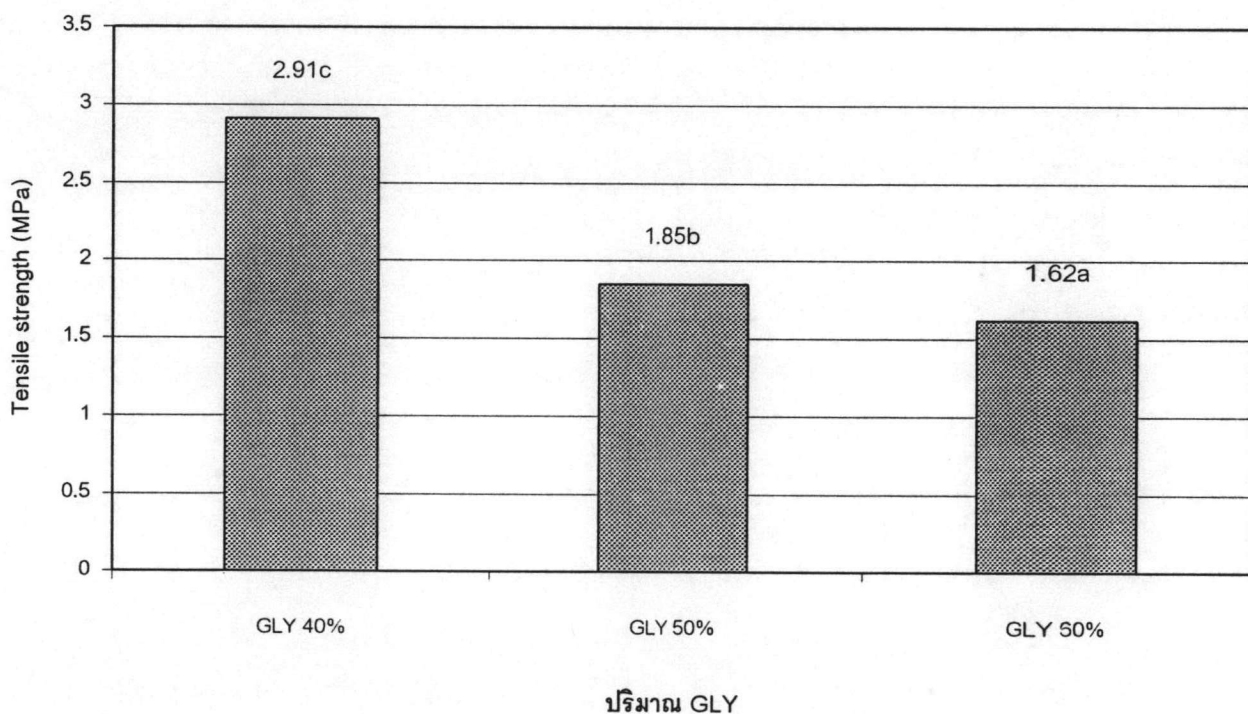
แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ ซอร์บิทอล เป็นพลาสติกไซเซอรจะมีลักษณะพื้นผิวต่อเนื่องกัน
ตลอดทั้งแผ่น ลอกออกจากพิมพ์ได้ง่ายมาก handling ง่าย มีสีเหลืองอ่อนๆ โปร่งแสง แต่ขุ่น
กว่าแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ กาลีเซอรอล และ โพลีเอทิลีน ไกลคอล เป็นพลาสติกไซเซอรเล็กน้อย
ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อน แต่แข็งกว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ กาลีเซอรอล และ โพลีเอทิลีน ไกลคอล
เป็นพลาสติกไซเซอร มีความยืดหยุ่นน้อย ฉีกขาดและดึงให้ขาดได้ง่าย

แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ โพลีเอทิลีน ไกลคอล เป็นพลาสติกไซเซอรจะมีลักษณะพื้นผิว
ต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น ลอกออกจากพิมพ์ได้ค่อนข้างยาก handling ยาก มีสีเหลืองอ่อนๆ
ใส โปร่งแสง ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนมาก ยืดหยุ่นเล็กน้อย ฉีกขาดและดึงให้ขาดได้ง่าย

4.4.2 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์มบรีโกลด์ที่ผลิตโดยใช้ชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซอรส์ต่างๆ กัน

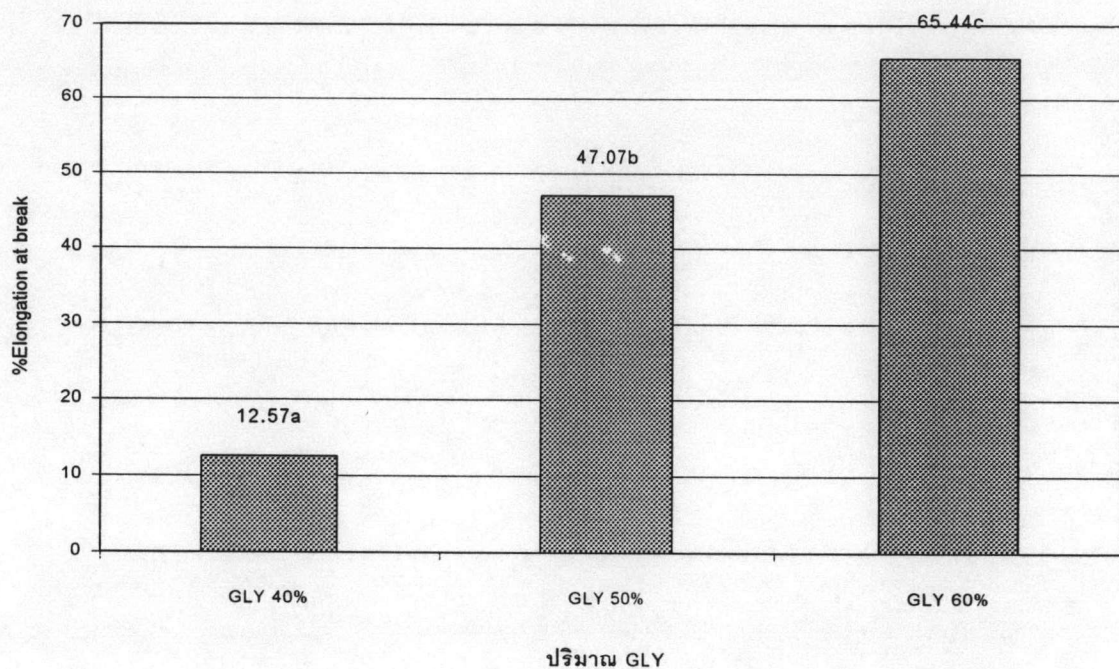
4.4.2.1 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์มบรีโกลด์ ที่ใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติกไซเซอรส์

จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์มบรีโกลด์ได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีน 3% ปรับ pH เป็น 9 ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส และใช้กลีเซอรอล ปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติกไซเซอรส์ ได้ผลดังรูปที่ 25 - 28



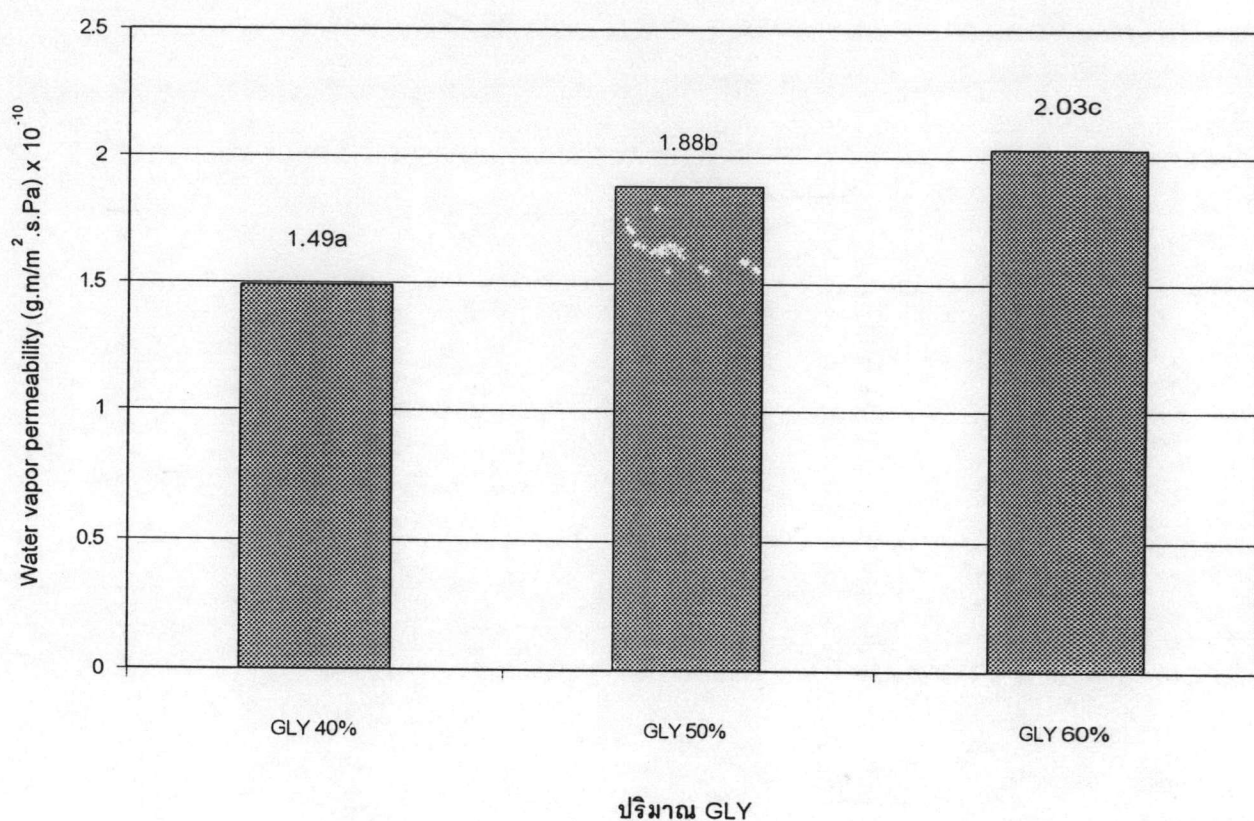
รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์ม a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเพิ่มปริมาณของ กลีเซอรอล ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอรส์ขึ้นจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



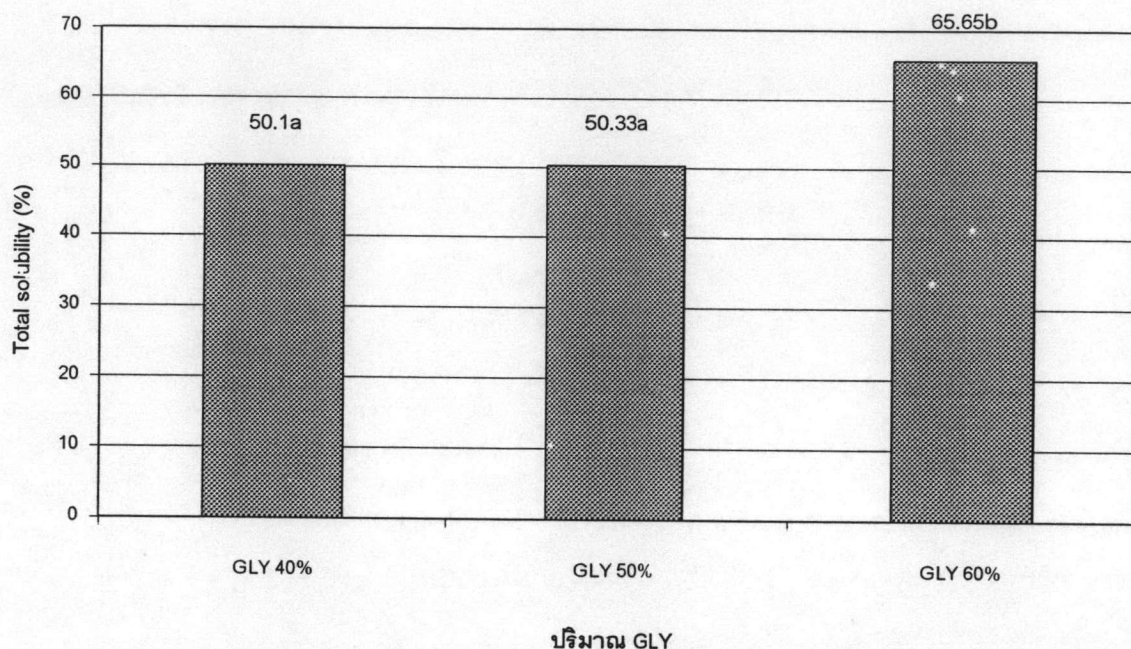
รูปที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์ม
a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเพิ่มปริมาณของ กลีเซอรอล ที่ใช้เป็นพลาสติกไฮเซอรั้นจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์ม
a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอริ์ขึ้นจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



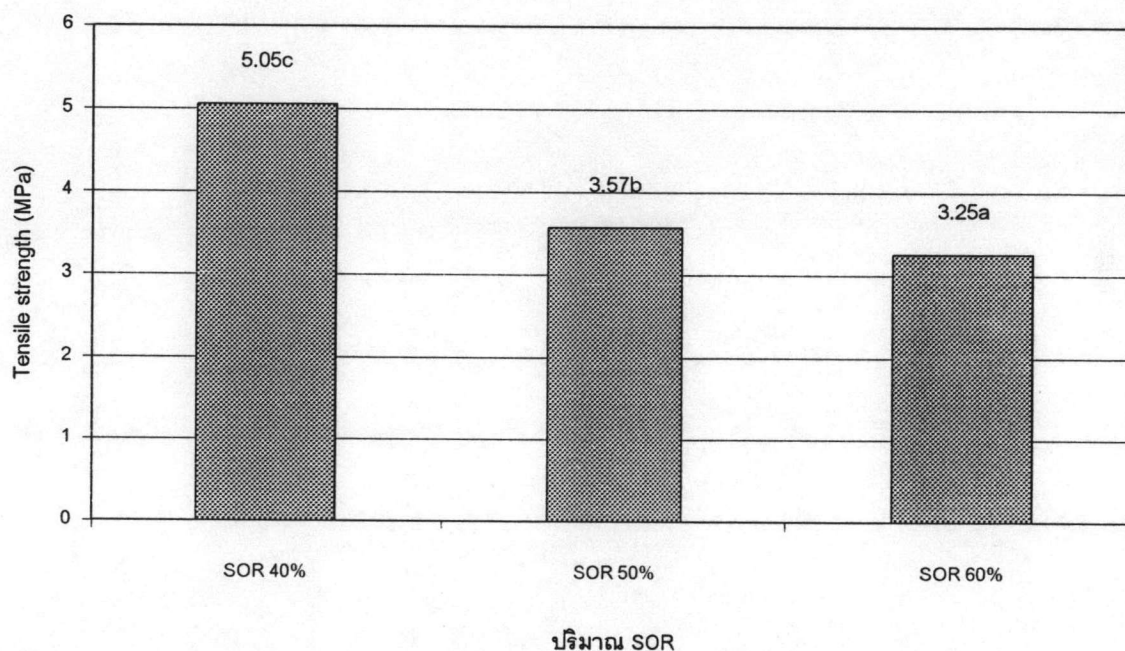
รูปที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลกับค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์ม

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ขึ้นจาก 40% เป็น 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์เป็น 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล 40% และ 50% เป็นพลาสติกไซเซอร์

4.4.2.2 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโคได้ที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอลปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติกไซเซออร์

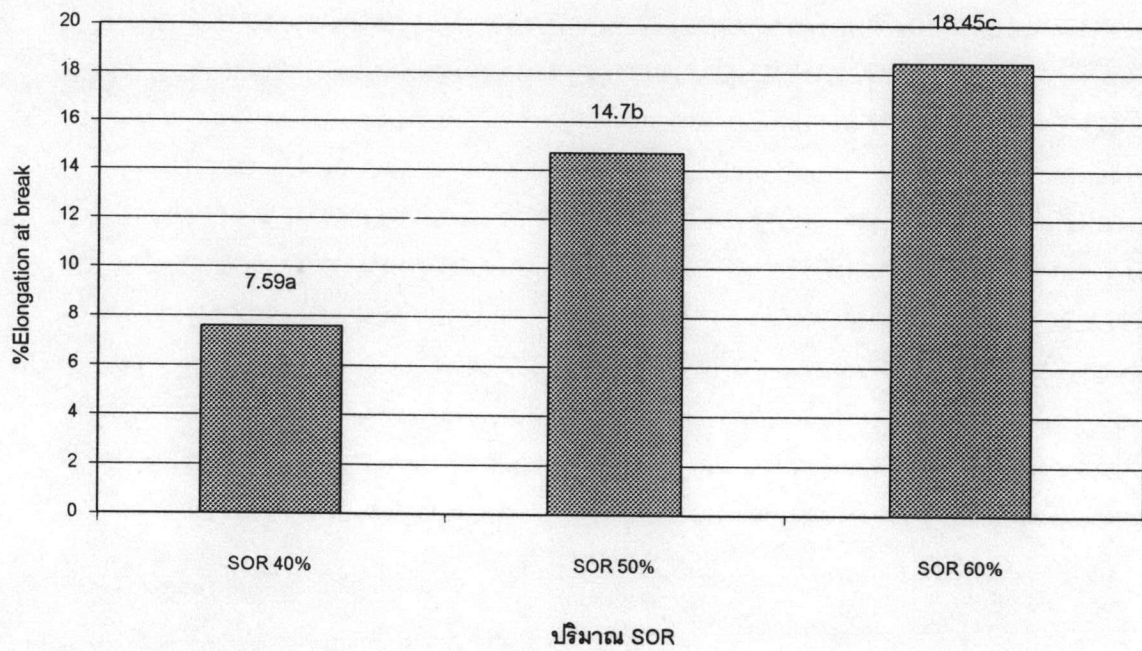
จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีน 3% ปรับ pH เป็น 9 ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส และใช้ซอร์บิทอล ปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติกไซเซออร์ โดยวิธีมาตรฐาน ASTM (1999) ได้ผลดังรูปที่ 29 – 32



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์ม

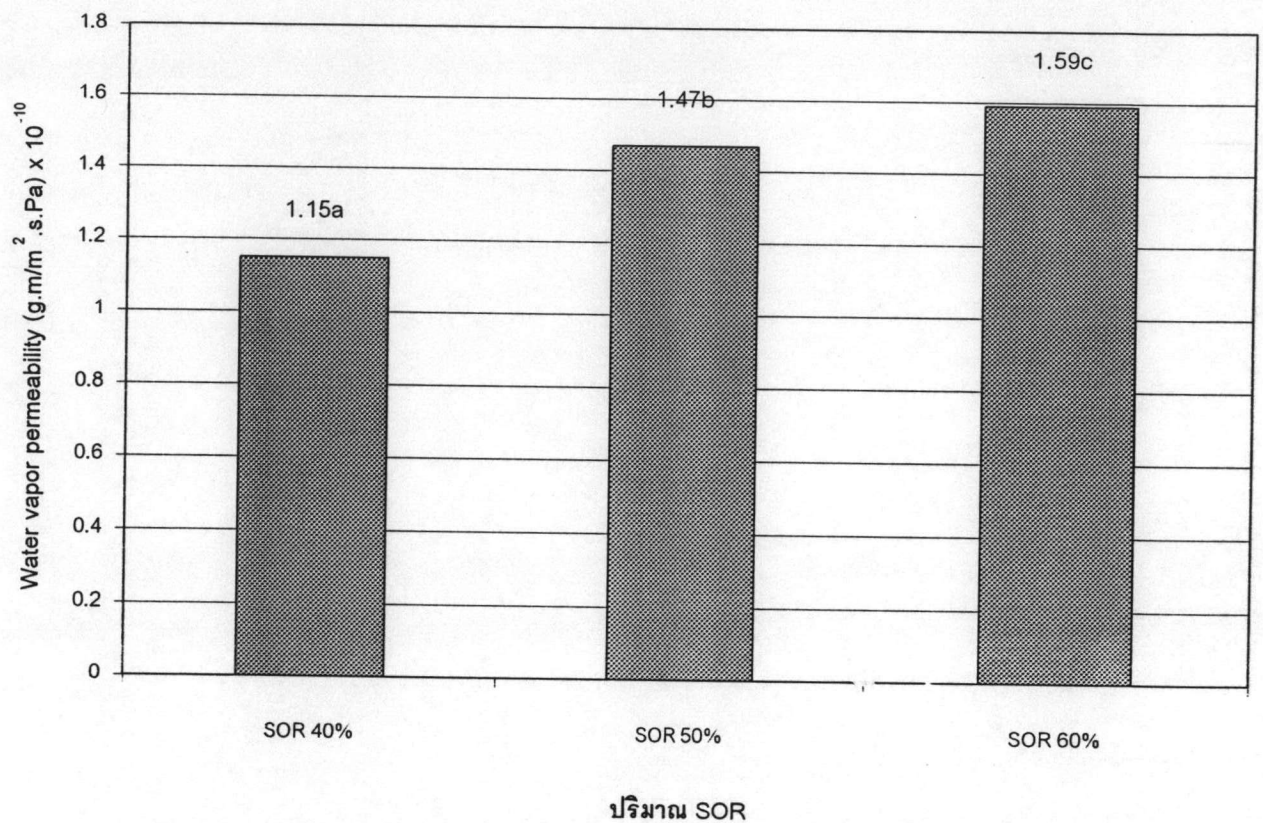
a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเพิ่มปริมาณของซอร์บิทอล ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ขึ้นจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์ม
a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

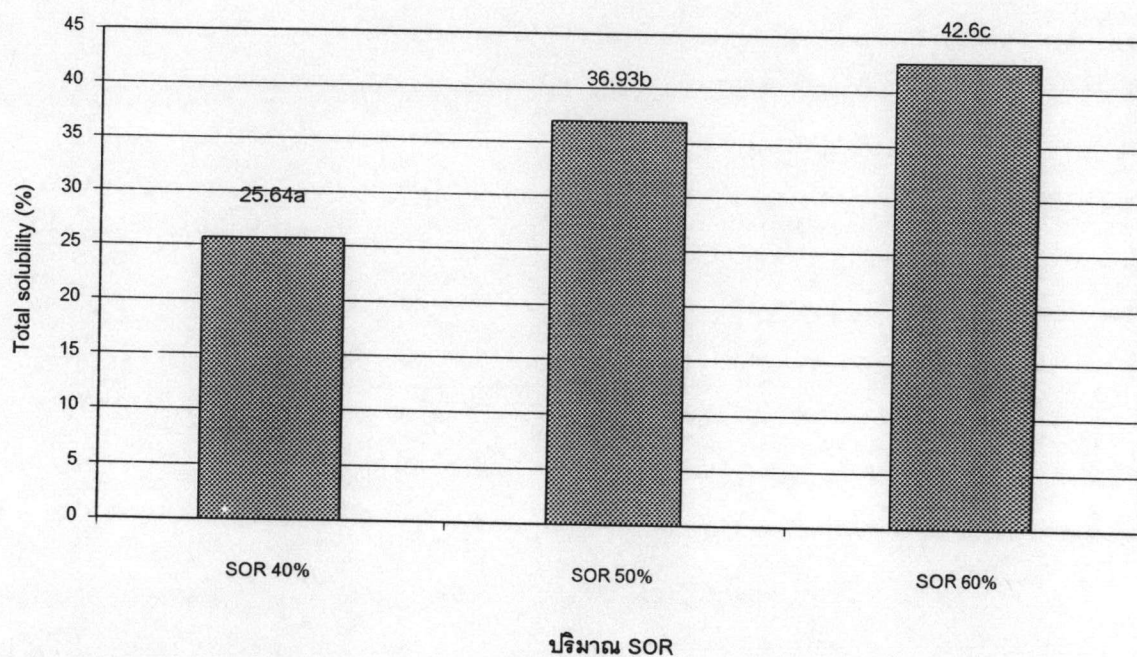
เมื่อเพิ่มปริมาณของซอร์บิทอล ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอริ์นจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าร้อยละการยืดตัวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอลกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์ม

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเพิ่มปริมาณของซอร์บิทอลที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอรินจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

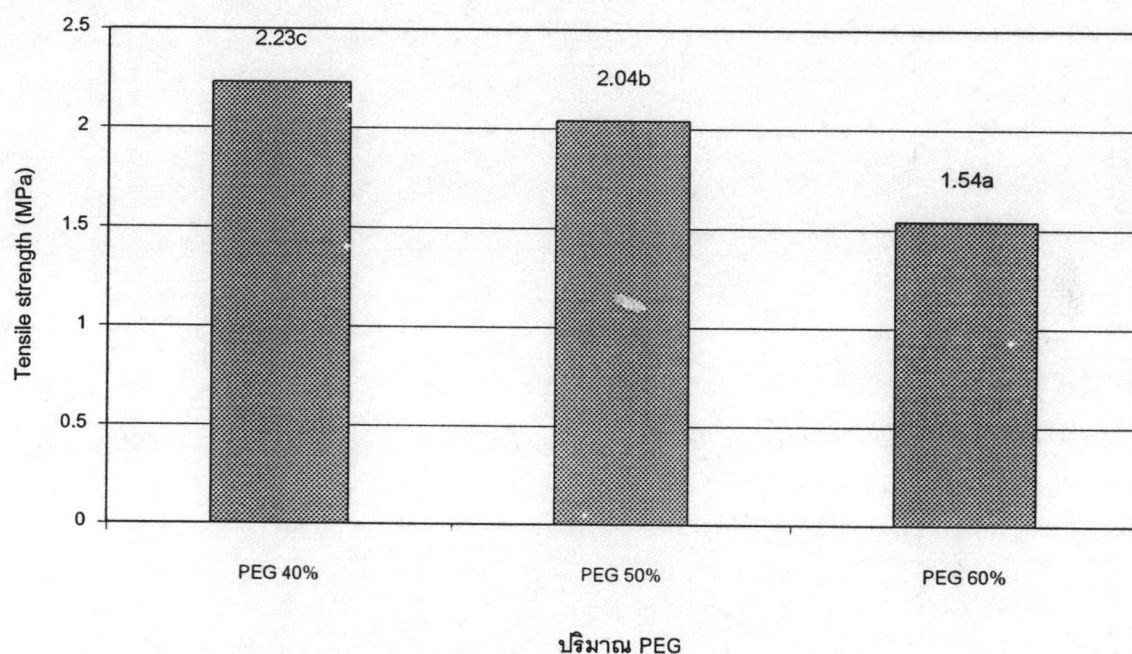


รูปที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซอร์บิทอล กับค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์ม
a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเพิ่มปริมาณของซอร์บิทอลที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอรินจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

4.4.2.3 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโคได้ที่ผลิตโดยใช้โพลีเอทิลีนไกลคอล ปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติกไซเซออร์

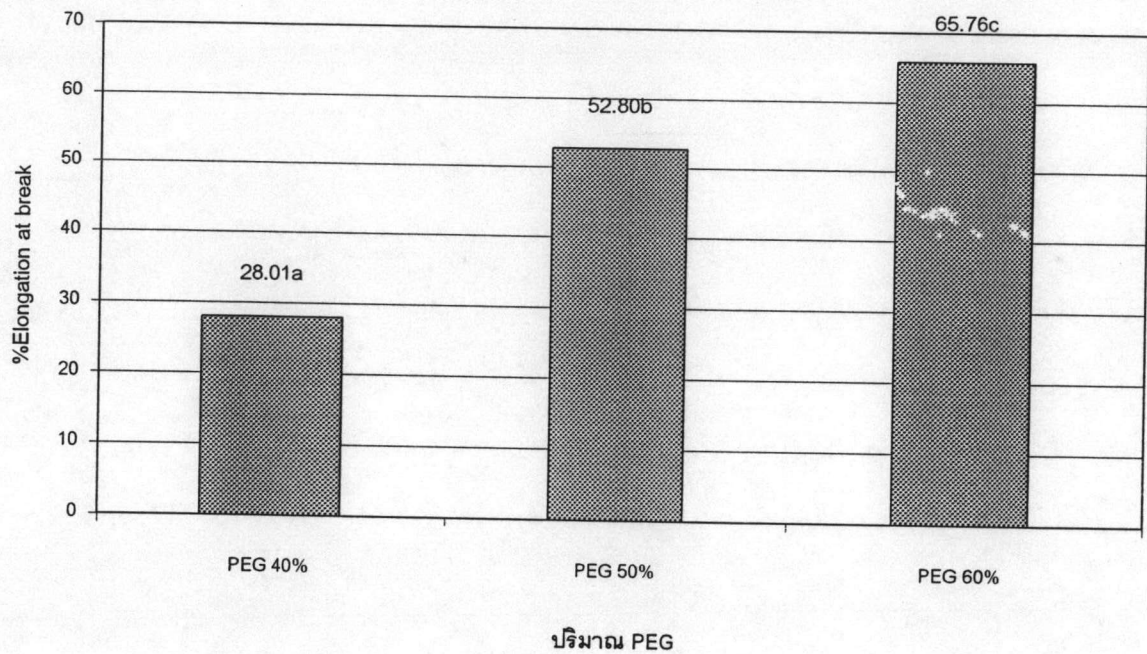
จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีน 3% ปรับ pH เป็น 9 ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส และใช้โพลีเอทิลีน ไกลคอล ปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติกไซเซออร์ โดยวิธีมาตรฐาน ASTM (1999) ได้ผลดังรูปที่ 33 -36



รูปที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอล กับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์ม

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

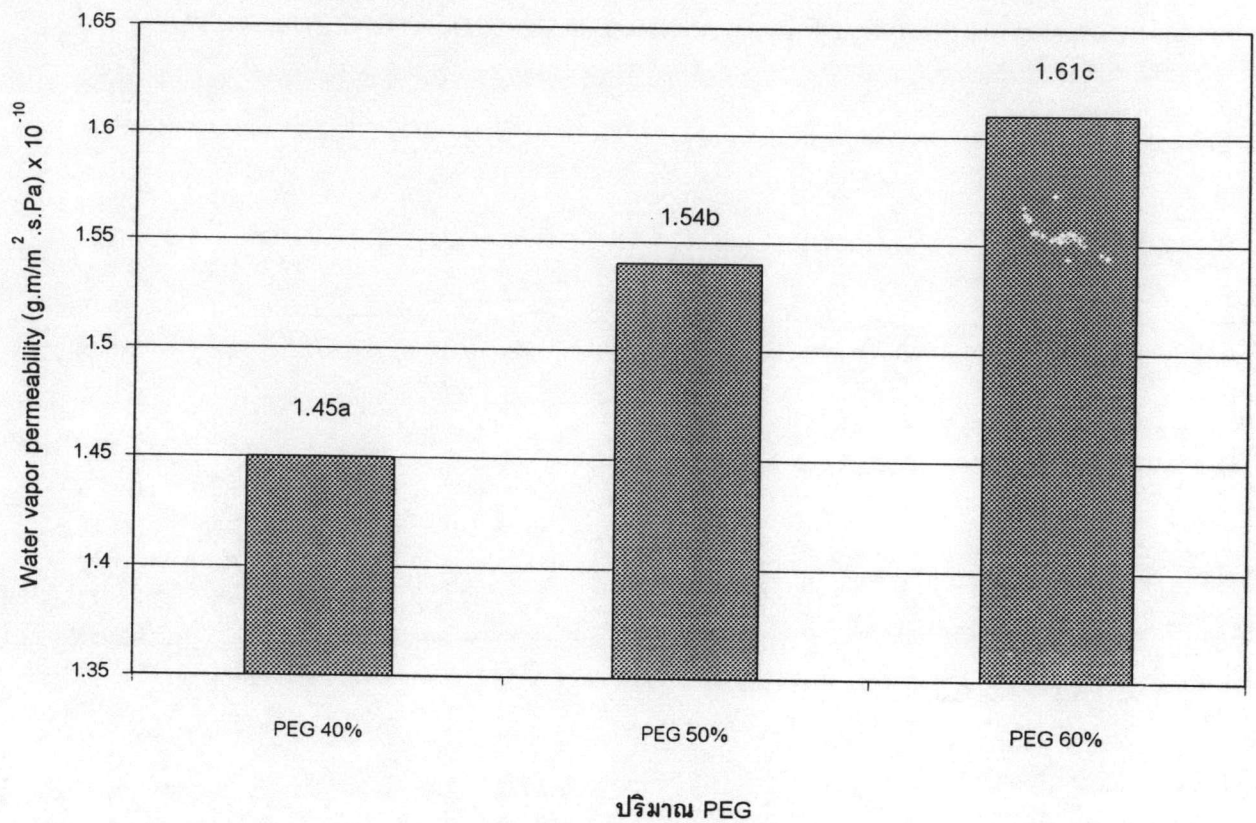
เมื่อเพิ่มปริมาณของโพลีเอทิลีนไกลคอล ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ขึ้นจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิเอทิลีนไกลคอล กับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์ม

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

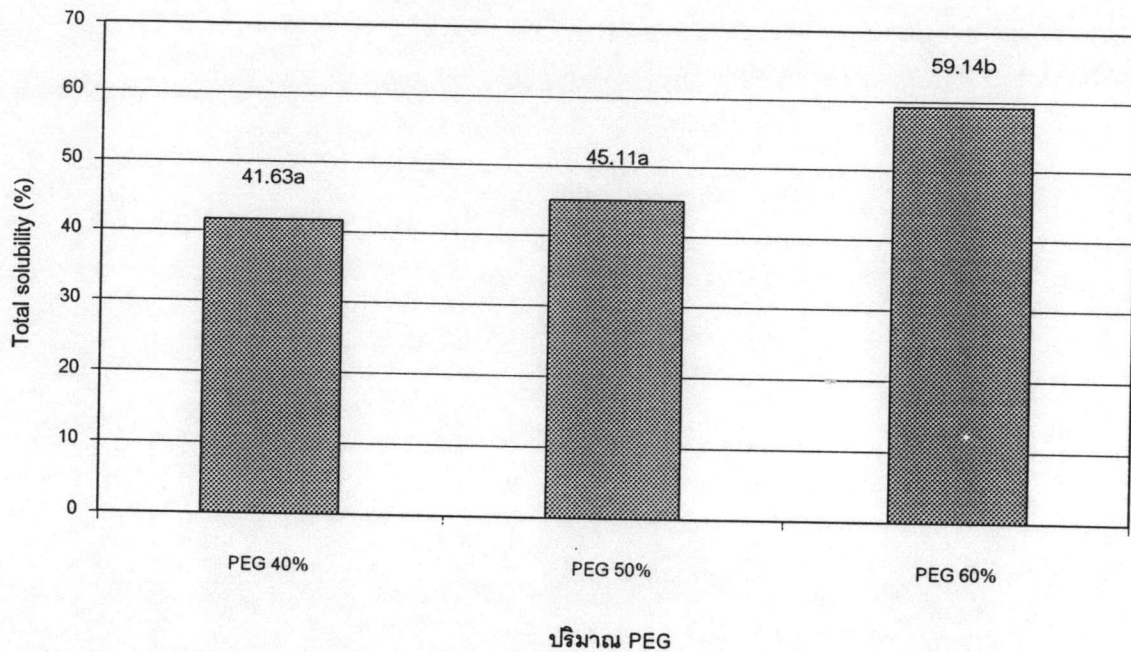
เมื่อเพิ่มปริมาณของโพลิเอทิลีนไกลคอล ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ขึ้นจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าร้อยละการยืดตัวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอล กับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์ม

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเพิ่มปริมาณของโพลีเอทิลีนไกลคอล ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอรื้นจาก 40 เป็น 50 และ 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอล กับค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์ม

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเพิ่มปริมาณของโพลีเอทิลีนไกลคอล ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ขึ้นจาก 40% เป็น 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์เป็น 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ใช้โพลีเอทิลีน ไกลคอล 40% และ 50% เป็นพลาสติกไซเซอร์

จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ L a b ของแผ่นฟิล์มบริเวณที่ได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH เป็น 9 ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซอร์แตกต่างกัน ได้ผลดังตารางที่ 10 - 12

ตารางที่ 10 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติกไซเซอร์

ปริมาณกลีเซอรอล (%)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L ^{ns}	a ^{ns}	b ^{ns}
40	83.86 \pm 0.55	0.55 \pm 0.10	4.53 \pm 0.69
50	83.69 \pm 0.61	0.68 \pm 0.12	4.34 \pm 0.35
60	83.82 \pm 0.73	0.57 \pm 0.09	4.82 \pm 0.55

ns หมายถึงตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 11 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติกไซเซอร์

ปริมาณซอร์บิทอล (%)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L ^{ns}	a ^{ns}	b ^{ns}
40	83.46 \pm 0.39	0.45 \pm 0.10	3.61 \pm 0.49
50	83.51 \pm 0.39	0.42 \pm 0.09	3.99 \pm 0.70
60	83.58 \pm 0.29	0.42 \pm 0.08	4.19 \pm 0.68

ns หมายถึงตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

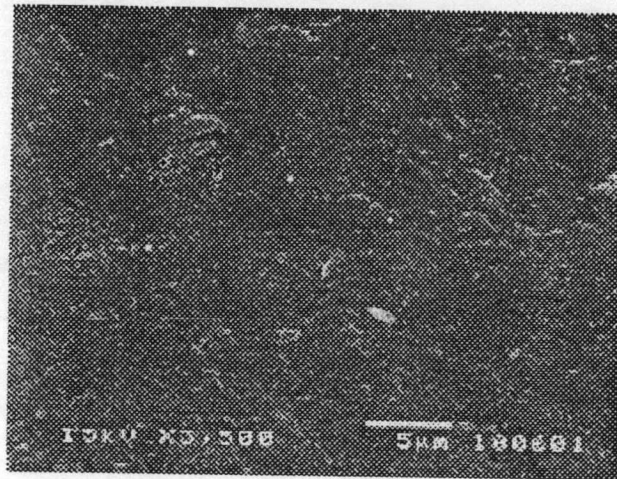
ตารางที่ 12 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ใช้โพลีเอทิลีน ไกลคอลปริมาณต่างๆ กันเป็นพลาสติกไซเซอร์

ปริมาณซอร์บิทอล (%)	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L ^{ns}	a ^{ns}	b ^{ns}
40	83.65 \pm 0.53	0.39 \pm 0.10	6.99 \pm 0.76
50	84.04 \pm 0.41	0.38 \pm 0.09	6.97 \pm 0.93
60	83.08 \pm 0.97	0.48 \pm 0.10	7.41 \pm 0.37

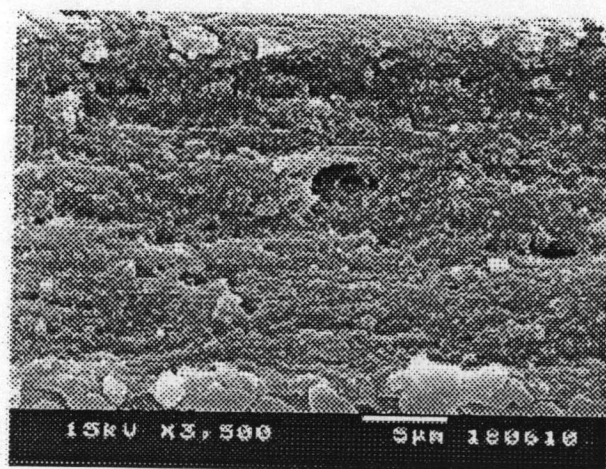
ns หมายถึงตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.4.3 การศึกษาลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้พลาสติกไซเซอร်ต่างชนิดกัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างของฟิล์มบริโคได้ที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีน 3% ปรับ pH ของสารละลายเป็น 9 ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส และใช้พลาสติกไซเซอร်ต่างชนิดกันแต่ใช้ปริมาณ 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนเท่ากันในการผลิตแผ่นฟิล์ม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้ผลดังรูปที่ 37 - 42

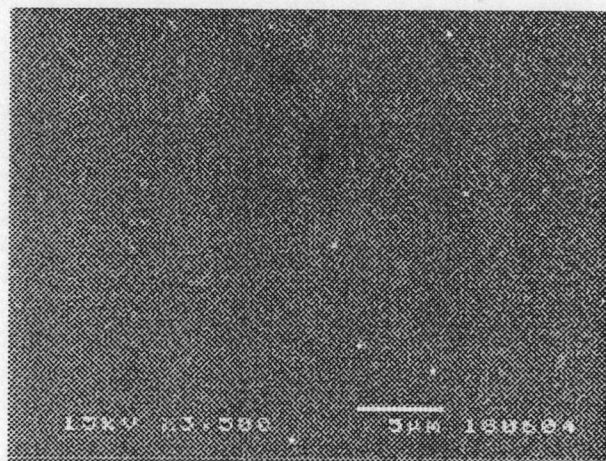


รูปที่ 37 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

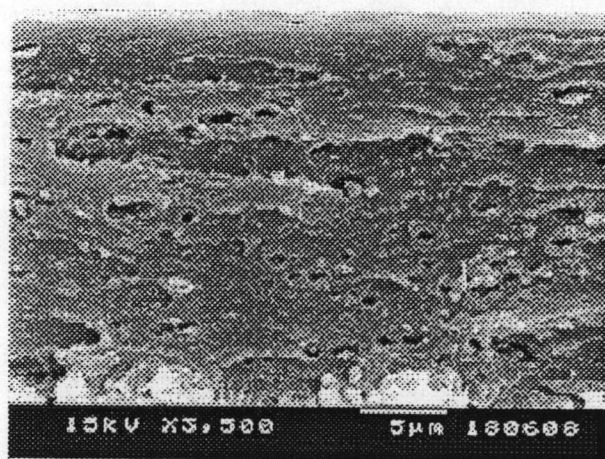


รูปที่ 38 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีน เป็นพลาสติกไฮดรอกซ์จะมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ และเมื่อพิจารณาภาพตัดขวางจะพบว่ามีลักษณะที่ต่อเนื่องสม่ำเสมอดี และมีความพรุนค่อนข้างน้อย

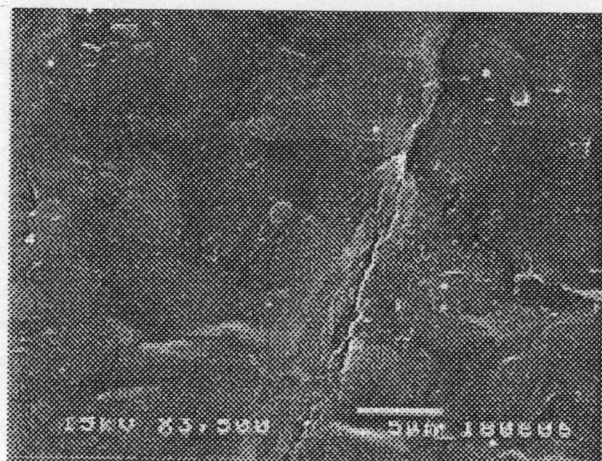


รูปที่ 39 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

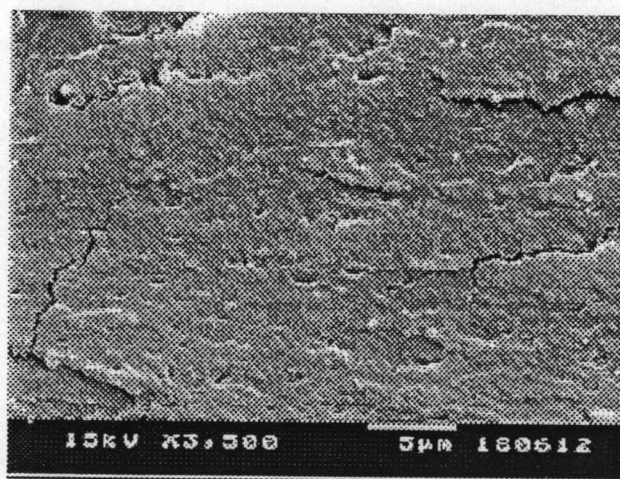


รูปที่ 40 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็นพลาสติกไฮเซอร์ จะมีพื้นผิวเรียบกว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็นพลาสติกไฮเซอร์ และเมื่อพิจารณาภาพตัดขวางจะพบว่า มีลักษณะที่ต่อเนื่องสม่ำเสมอดี และมีความโปร่งพรุนค่อนข้างน้อยมาก



รูปที่ 41 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มที่ใช้ โพลีเอททิลีนไกลคอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีน โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)



รูปที่ 42 ภาพตัดขวางของฟิล์มที่ใช้ โพลีเอททิลีนไกลคอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีน โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ลักษณะของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้โพลีเอทิลีนไกลคอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็นพลาสติกไฮเซอร์จะมีพื้นผิวค่อนข้างย่น ไม่เรียบ เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล และซอร์บิทอล 50% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็นพลาสติกไฮเซอร์ และเมื่อพิจารณาภาพตัดขวางจะพบว่า มีลักษณะต่อเนื่อง มีความแน่นดีมาก แต่จะสังเกตเห็นรอยแตกอยู่ทั่วไปในเนื้อฟิล์ม

4.5 การศึกษาผลของอายุการเก็บที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง

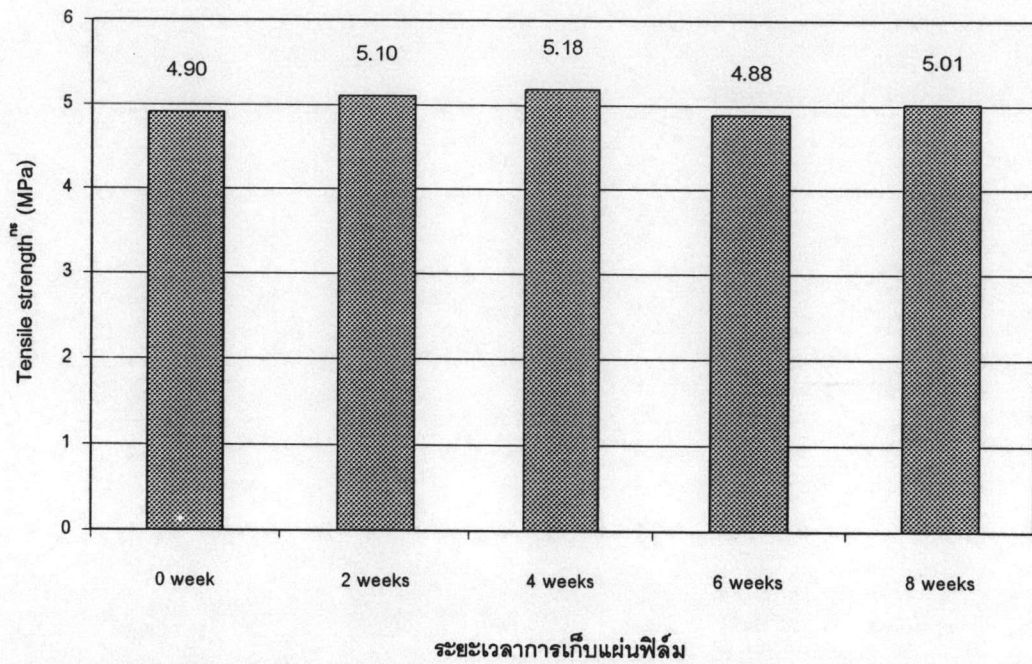
4.5.1 การผลิตแผ่นฟิล์ม

จากการทดลองผลิตแผ่นฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดง โดยใช้ซอร์บิทอล 40% และ กลีเซอรอล 60% โดยน้ำหนักของโปรตีนเป็นพลาสติกไซเซออร์ พบว่า แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ฉีกขาดและดึงให้ขาดได้ง่าย โปร่งแสง และมีสีเหลืองอ่อนๆ

4.5.2 การตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

4.5.2.1 การตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโภาคได้ที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติกไซเซออร์ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

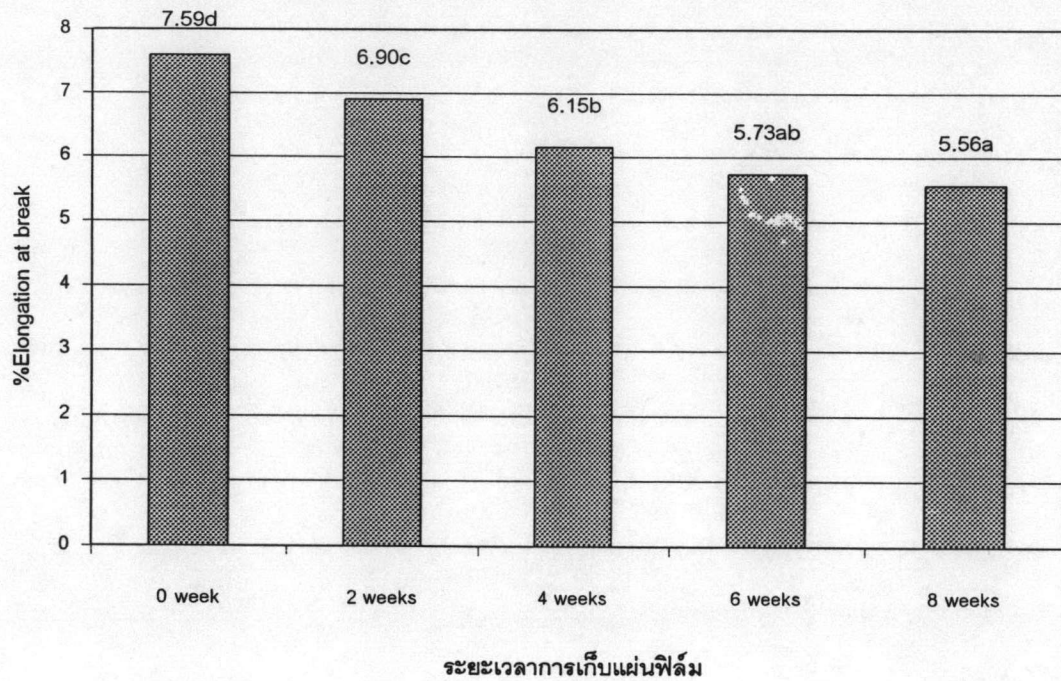
จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีน pH 9 ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส และใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติกไซเซออร์ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กันโดยวิธีมาตรฐาน ASTM (1999) ได้ผลดังรูปที่ 43



รูปที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติกไฮเซอร์

ns หมายถึงตัวเลขในแต่ละแท่งกราฟไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

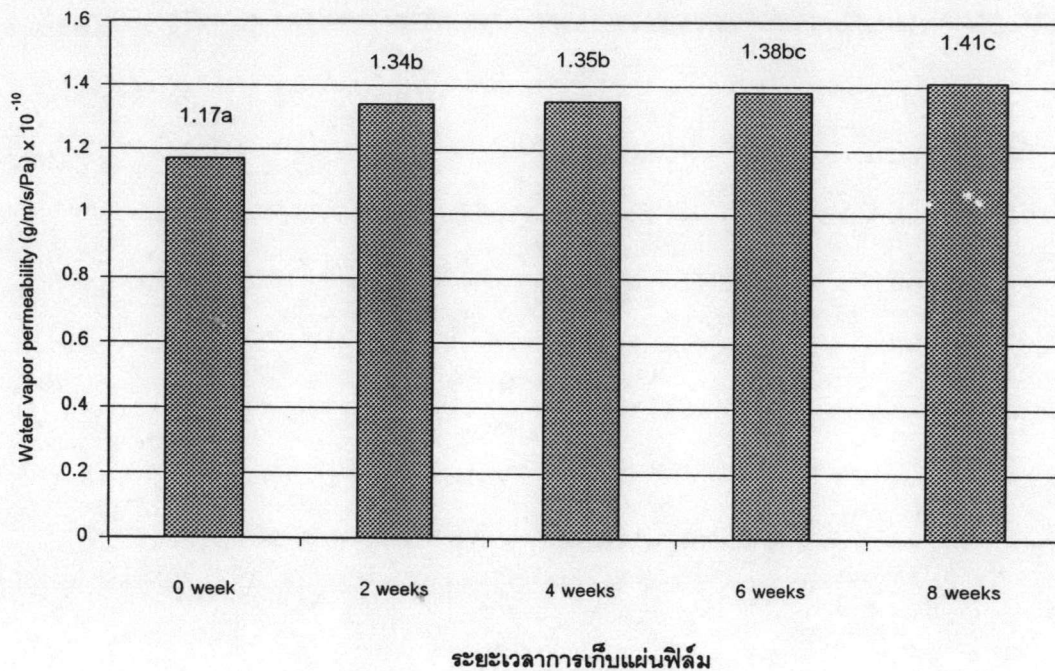
เมื่อระยะเวลาการเก็บแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติกไฮเซอร์ นานขึ้นจาก 0 – 8 สัปดาห์ ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติกไซเซอร์

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

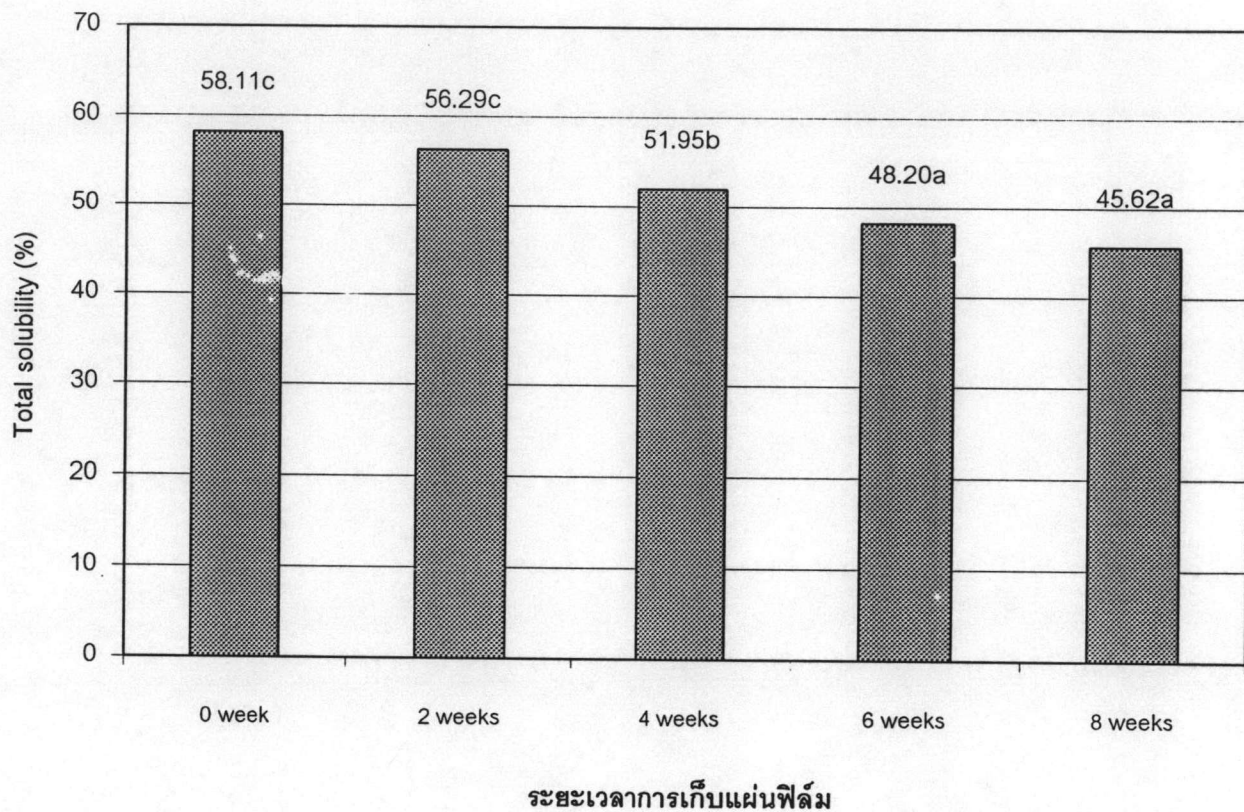
เมื่อระยะเวลาการเก็บแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติกไซเซอร์ นานขึ้นจาก 0 - 8 สัปดาห์ จะมีผลทำให้ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติกไซเซออร์

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อระยะเวลาการเก็บแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็น พลาสติกไซเซออร์ นานขึ้นจาก 0 – 8 สัปดาห์ จะมีผลทำให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



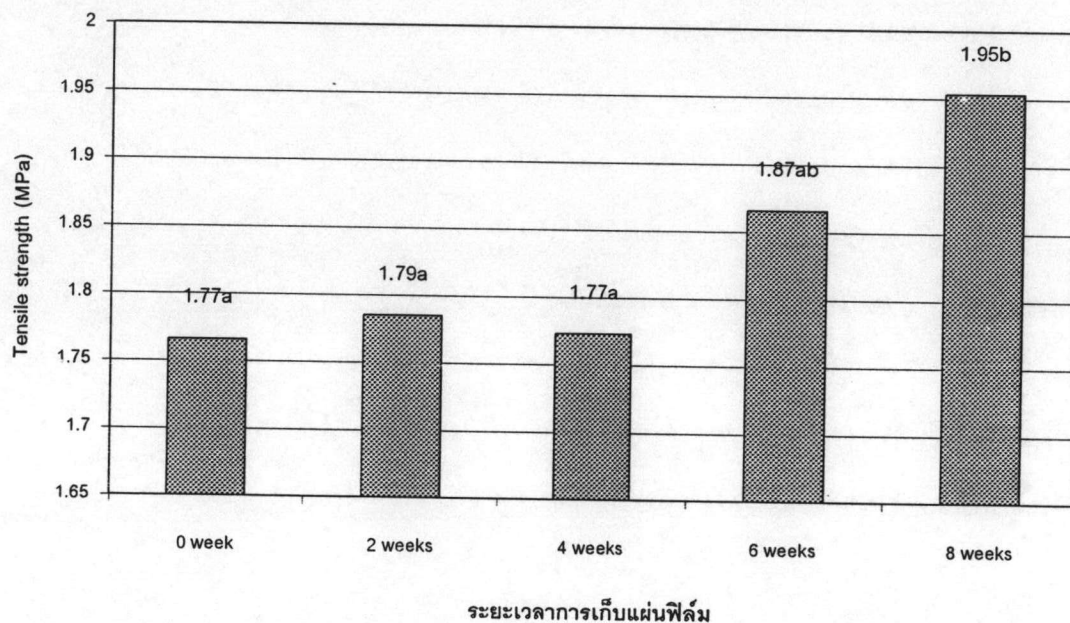
รูปที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติกไซเซออร์

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อระยะเวลาการเก็บแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% เป็นพลาสติกไซเซออร์ นานขึ้นจาก 0 - 8 สัปดาห์ จะมีผลทำให้ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

4.5.2.2 การตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโคโคได้ที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไซเซออร์ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

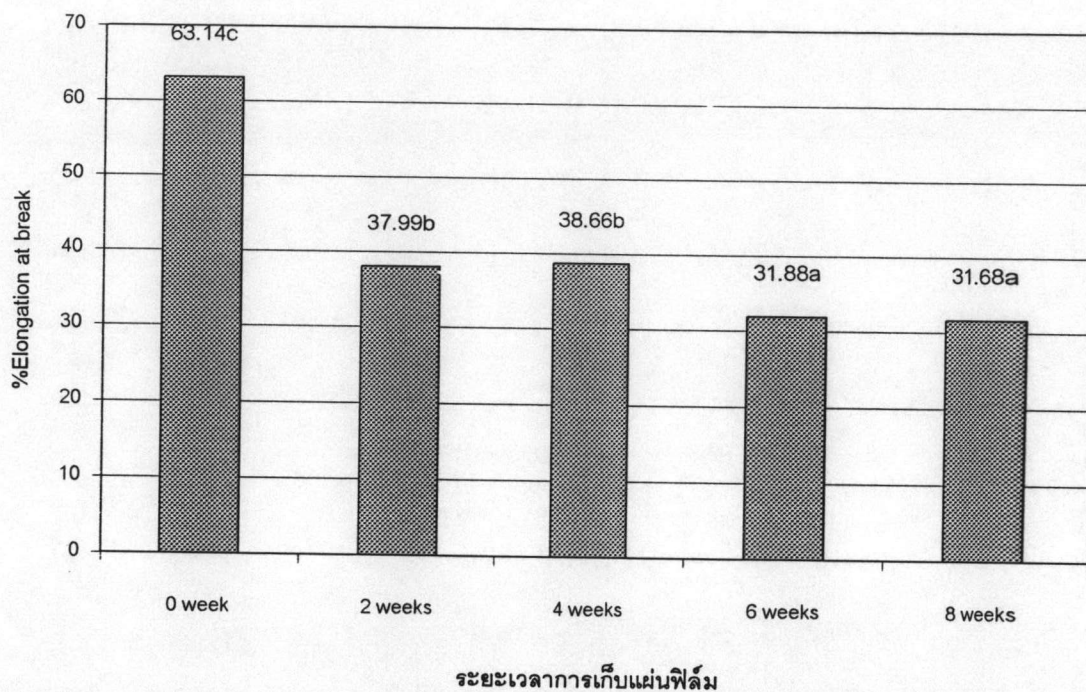
จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีน pH 9 ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส และใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไซเซออร์ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน โดยวิธีมาตรฐาน ASTM (1999) ได้ผลดังรูปที่ 47 – 50



รูปที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไซเซออร์

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

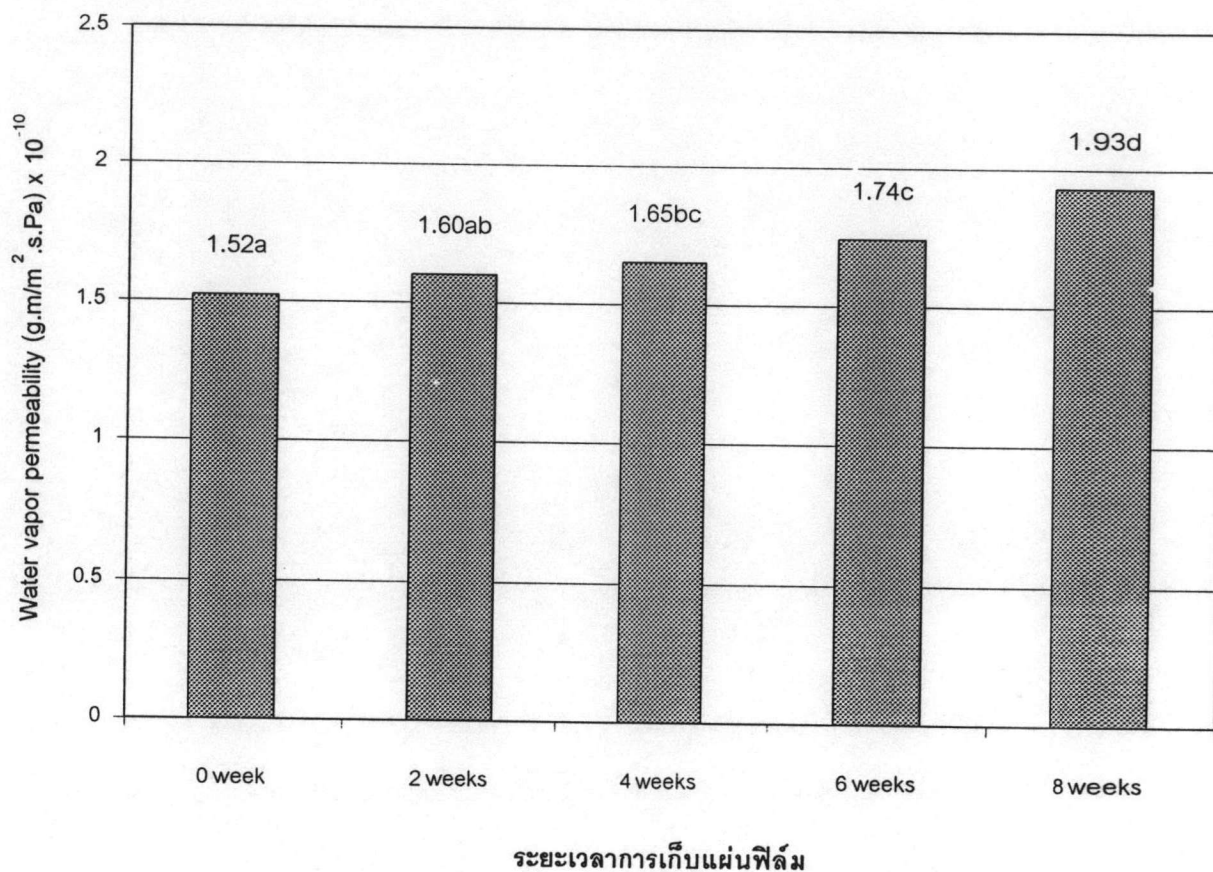
เมื่อระยะเวลาการเก็บแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไซเซออร์ นานขึ้นจาก 0 – 6 สัปดาห์แรกค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไม่มีความสำคัญที่ $p \leq 0.05$ แต่ในสัปดาห์ที่ 8 ค่าการต้านทานแรงดึงขาดจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไฮเซอร์

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

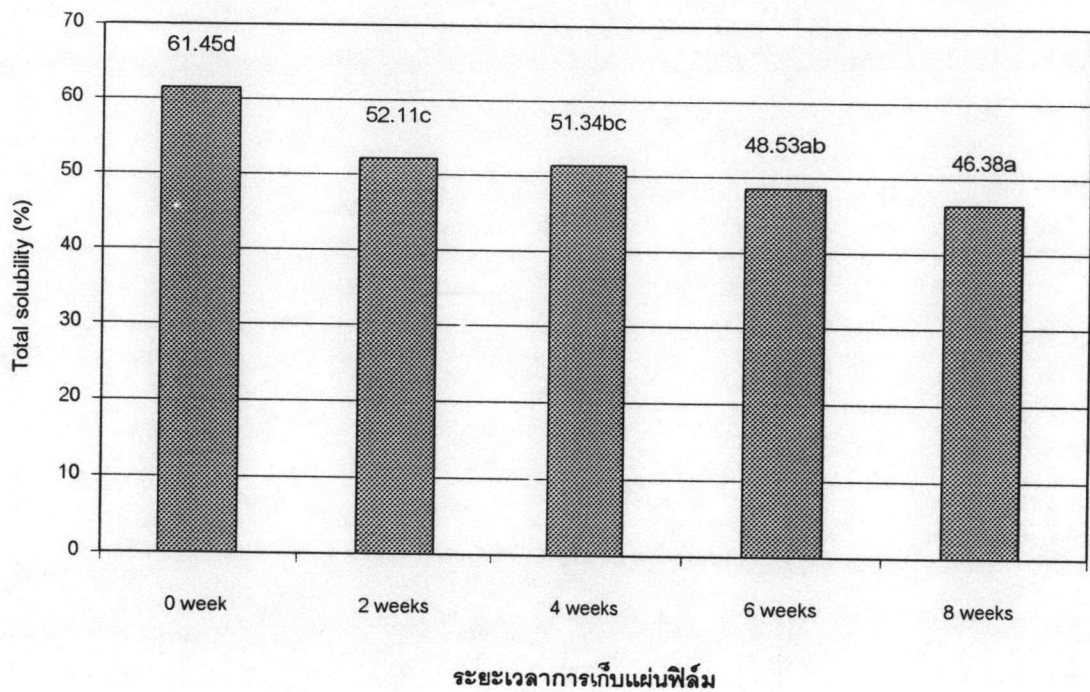
เมื่อระยะเวลาการเก็บแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไฮเซอร์ นานขึ้นจาก 0 – 8 สัปดาห์ จะมีผลทำให้ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไซเซออร์

a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อระยะเวลาการเก็บแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็น พลาสติกไซเซออร์ นานขึ้นจาก 0 - 8 สัปดาห์ จะมีผลทำให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไซเซออร์

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อระยะเวลาการเก็บแผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไซเซออร์ นานขึ้นจาก 0 - 8 สัปดาห์ จะมีผลทำให้ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ L a b ของแผ่นฟิล์มบริโคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH เป็น 9 ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ซอร์บิทอล 40% และ กลีเซอรอล 60% เป็นพลาสติกไซเซออร์ และเก็บรักษาในถุง low density polyethylene ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ กัน ได้ผลดังตารางที่ 13 และ 14

ตารางที่ 13 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ซอร์บิทอล 40% โดยน้ำหนักของโปรตีน เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่เวลาการเก็บรักษาต่างๆ

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L	a	b
0	81.01 ^b \pm 0.18	0.28 ^a \pm 0.05	3.47 ^a \pm 0.18
2	81.09 ^{ab} \pm 0.19	0.34 ^{ab} \pm 0.03	3.88 ^b \pm 0.23
4	80.89 ^{ab} \pm 0.42	0.34 ^{ab} \pm 0.04	4.03 ^b \pm 0.12
6	80.79 ^a \pm 0.31	0.37 ^{bc} \pm 0.04	3.92 ^b \pm 0.21
8	80.47 ^a \pm 0.34	0.41 ^c \pm 0.04	4.19 ^b \pm 0.24

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 14 ค่าสีในระบบ L a b ของฟิล์มที่ผลิตโดยใช้กลีเซอรอล 60% โดยน้ำหนักของโปรตีน เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่เวลาการเก็บรักษาต่างๆ

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L	a	b
0	81.53 ^c \pm 0.22	0.43 ^a \pm 0.03	4.57 ^a \pm 0.14
2	81.33 ^{bc} \pm 0.11	0.47 ^{ab} \pm 0.03	4.67 ^{ab} \pm 0.26
4	81.16 ^{ab} \pm 0.15	0.49 ^b \pm 0.02	4.96 ^{bc} \pm 0.23
6	81.09 ^{ab} \pm 0.04	0.49 ^b \pm 0.03	4.97 ^{bc} \pm 0.12
8	81.04 ^a \pm 0.07	0.49 ^b \pm 0.02	5.14 ^c \pm 0.05

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)