

ผลของลิปิตและการบ่มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันโปรตีนถั่วเหลือง

นางสาวนลินทิพย์ คงแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF LIPIDS AND HEAT CURING ON SOY PROTEIN EMULSION FILM
PROPERTIES

Miss Nalinthip Khongkaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของลิวติดและการบ่มด้วยความร้อนต่อสมบัติ
ของฟิล์มอิมัลชันโปรตีนถั่วเหลือง

โดย

นางสาวนลินทิพย์ คงแก้ว

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย

คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ดร. สุพจน์หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยาเลาหสงคราม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ดร.ธนจันทร์มหาวนิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ดร. วาณี ชนเห็นชอบ)

นลินทิพย์ คงแก้ว: ผลของลิพิดและการบ่มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันโปรตีนถั่วเหลือง
(EFFECTS OF LIPIDS AND HEAT CURING ON SOY PROTEIN EMULSION FILM PROPERTIES)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์

ดวงมาลัย, 90 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมลิพิดและการบ่มด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติของฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของลิพิดต่อสมบัติของฟิล์มลิพิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนต น้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มไฮโดรจีเนต น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันถั่วเหลืองไฮโดรจีเนต แปรความเข้มข้นของลิพิดเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 10 และ 20% ของน้ำหนักโปรตีนถั่วเหลืองสกัด พบว่าฟิล์มอิมัลชันมีความหนาสูงกว่าและมีความโปร่งแสงต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด (ตัวอย่างควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ด้านสมบัติเชิงกลพบว่าการเติมลิพิดส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) มีค่าลดต่ำลง อย่างไรก็ตามการเติมลิพิดไม่ส่งผลต่อการยืดตัวถึงจุดขาด (elongation at break) ของฟิล์มอิมัลชันมากนัก การเติมลิพิดสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองโดยฟิล์มอิมัลชันมีสภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ (water vapor permeability) และความสามารถในการละลายน้ำที่ลดลงรวมทั้งมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับความเข้มข้นของลิพิดพบว่าการเติมลิพิดเข้มข้น 10 หรือ 20% มีผลค่อนข้างน้อยต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชัน ในด้านผลของชนิดของลิพิดพบว่าฟิล์มที่เติมลิพิดไฮโดรจีเนตมีความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดต่ำกว่าและมีสมบัติความไม่ชอบน้ำสูงกว่าฟิล์มที่เติมลิพิดที่ไม่ไฮโดรจีเนต จากงานวิจัยนี้พบว่าฟิล์มที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% มีสมบัติความไม่ชอบน้ำที่สูงที่สุด แต่มีข้อจำกัดในสมบัติเชิงกล ในขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนโดยใช้ตัวอย่างฟิล์มที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% แปรอุณหภูมิการบ่มเป็น 70, 80 และ 85 °C และแปรระยะเวลาการบ่มเป็น 30, 45 และ 60 นาที พบว่าการบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที ส่งผลให้ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดสูงที่สุดแต่มีผลให้สมบัติความไม่ชอบน้ำของฟิล์มด้อยลง ซึ่งเห็นได้จากสภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและความสามารถในการละลายน้ำที่สูงขึ้น รวมทั้งมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มที่ลดลง ในขั้นตอนที่สามเป็นการศึกษาการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนโดยใช้ตัวอย่างฟิล์มที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% ที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่ 70 °C เป็นเวลา 60 นาทีหรือ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที นำแผ่นฟิล์มมาบ่มด้วยความร้อนโดยแปรอุณหภูมิการบ่มเป็น 70, 80 และ 90 °C และแปรระยะเวลาการบ่มเป็น 0, 5 และ 10 ชั่วโมง พบว่าการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนทำให้ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการยืดตัวถึงจุดขาดมีค่าลดต่ำลง นอกจากนี้การบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนยังช่วยปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของฟิล์ม โดยพบว่าการบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง มีผลให้ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดและมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มสูงที่สุดในขณะที่สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ปลายมือชื่อ นิลิต.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ปลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา..... 2554..... ปลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5272361023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : EMULSION FILM/ SOY PROTEIN/ LIPID/ BARRIER PROPERTY/ HEAT CURING

NALINTHIP KHONGKAEW : EFFECTS OF LIPIDS AND HEAT CURING ON SOY PROTEIN

EMULSION FILM PROPERTIES. ADVISOR: THANACHAN MAHAWANICH, Ph. D.,

CO-ADVISOR: ASST. PROF. KIATTISAK DUANGMAL, Ph. D., 90pp.

The objective of this study was to investigate the effect of lipid incorporation and heat curing on properties of soy protein isolate film. In the first part of the study, the effect of type and concentration of lipid on film properties was examined. The lipids used in this study were palm kernel oil, hydrogenated palm kernel oil, palm oil, hydrogenated palm oil, soybean oil and hydrogenated soybean oil. Lipid concentration was varied at 10 and 20% by weight of soy protein isolate. The emulsion films were found to exhibit higher thickness and lower transparency, as compared to the film with no added lipid (control) ($p \leq 0.05$). In terms of mechanical property, lipid incorporation resulted in an emulsion film with lower tensile strength than the control while elongation at break was affected only slightly by lipid addition. Adding lipid was shown to help improve the film hydrophobicity, as shown through a decrease in water vapor permeability and water solubility and an increase in contact angle with a water droplet ($p \leq 0.05$). Lipid concentration, on the other hand, did not place an important effect on properties of the emulsion film. The films added with 10 and 20% lipid possessed similar properties. Hydrogenation of lipid, in contrast, significantly affected the emulsion film properties. The films containing hydrogenated lipid demonstrated lower tensile strength and elongation at break, and higher hydrophobicity than those containing non-hydrogenated lipid. From this study, greatest hydrophobicity was denoted by the film containing 20% hydrogenated palm kernel oil. However, this film sample was inferior concerning the mechanical property. In the second part, the study of the effect of heat curing of film-forming solution was carried out. The film containing 20% hydrogenated palm kernel oil was used. The curing was done at 70, 80 and 85 °C for 30, 45 and 60 min. Curing of film-forming solution at 70 °C for 60 min resulted in a film with greatest tensile strength and elongation at break. However, heat curing of film-forming solution caused a decrease in the film hydrophobicity, as evidenced by the increased water vapor permeability and water solubility, and the decreased contact angle. In the third part, the effect of heat curing of the dried film was investigated. The film samples used were those obtained by curing the film forming solution at 70 °C for 60 min and at 85 °C for 45 min. The dried film samples were heated at 70, 80 and 90 °C for 0, 5 and 10 hrs. Heat curing of dried film was shown to help increase tensile strength while the film elongation at break was found to decrease. Moreover, heat curing of dried film helped improve the film hydrophobicity. The dried films cured at 90 °C for 10 hrs possessed the greatest tensile strength and contact angle while being lowest in water vapor permeability and water solubility.

Department : Food Technology Student's Signature.....

Field of Study : Food Technology Advisor's Signature

Academic Year : 2011 Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิด ตลอดจนความเอาใจใส่ดูแลและให้ความช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดมาโดยตลอด รวมถึงตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยรองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม รองศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภักทราวรรณและรองศาสตราจารย์ ดร.วาณี ชนเห็นชอบ ที่ให้ความรู้ พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัท ยูไนเต็ด แดรี่ฟู๊ดส์ จำกัด รวมทั้งคุณวิรัชและคุณลลนา ธีระนุสรณ์ กิจ รองกรรมการผู้จัดการคุณศรีสุคนธ์ ศักดิ์กัจจผู้จัดการในการอนุเคราะห์วัดฤทธิพิลิตชนิดต่างๆ และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณบริษัท เบอริลี ยูเคเกอร์จำกัด ในการอนุเคราะห์วัดฤทธิพิลิตซีเอสแอลโมโนส เตียเรท

ขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในความอนุเคราะห์ การใช้เครื่องมือวัดมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มรวมทั้งรองศาสตราจารย์ ดร.วาณี ชนเห็นชอบและคุณภัทรินทร์ สีสลาวิวัฒน์สำหรับคำแนะนำในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภักทราวรรณในความอนุเคราะห์การใช้ ตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

ขอขอบคุณพี่น้องและเพื่อนปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดการวิจัยรวมถึงเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านสำหรับการอำนวยความสะดวกและความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย พี่สาว ที่คอยสั่งสอนให้ผู้วิจัยมีความอดทน ให้กำลังใจและดูแลห่วงใยตลอดมาจนสามารถประสบความสำเร็จลุล่วงในการทำวิจัยครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 फिल्मย่อยสลายได้.....	3
2.2 พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้ผลิตฟิล์มและสารเคลือบย่อยสลายได้.....	3
2.3 ฟิล์มประกอบ.....	4
2.4 โปรตีนถั่วเหลือง.....	5
2.4.1 โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate).....	5
2.4.2 การเกิดเป็นฟิล์มของโปรตีนถั่วเหลือง.....	5
2.5 ลิพิดที่ใช้ในการผลิตฟิล์มและสารเคลือบ.....	6
2.6 การปรับปรุงสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มโดย การเติมลิพิด.....	7
2.7 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนโดยการบ่มด้วยความร้อน.....	11
2.7.1 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนโดยการบ่มสารละลายฟิล์ม ด้วยความร้อน.....	11
2.7.2 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนโดยการบ่มแผ่นฟิล์มด้วย ความร้อน.....	13
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	14
3.1 วัตถุประสงค์.....	14

	หน้า
3.2 อุปกรณ์.....	14
3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	15
3.3.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของลิพิดต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิต จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด.....	15
3.3.2 ผลของการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันที่ ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด.....	16
3.3.3 ผลของการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิต จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด.....	16
3.3.4 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม.....	17
3.3.4.1 ความหนา.....	17
3.3.4.2 ปริมาณความชื้น.....	17
3.3.4.3 สมบัติเชิงกล.....	17
3.3.4.4 ความโปร่งแสง (transparency).....	18
3.3.4.5 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ.....	18
3.3.4.6 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม (contact angle).....	19
3.3.4.7 ความสามารถในการละลายน้ำ.....	19
3.3.4.8 ลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวาง.....	19
3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	20
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์การทดลอง.....	21
4.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของลิพิดต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีน ถั่วเหลือง.....	21
4.1.1 ความหนา.....	21
4.1.2 ปริมาณความชื้น.....	22
4.1.3 ความโปร่งแสง.....	23
4.1.4 สมบัติเชิงกล.....	24
4.1.5 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม.....	27
4.1.6 ความสามารถในการละลายน้ำ.....	29

4.1.7 ลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวาง	30
4.2 ผลของการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันจาก โปรตีนถั่วเหลือง	33
4.2.1 ความหนา	33
4.2.2 ปริมาณความชื้น	34
4.2.3 ความโปร่งแสง	35
4.2.4 สมบัติเชิงกล	36
4.2.5 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและมุมนสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม	38
4.2.6 ความสามารถในการละลายน้ำ	40
4.2.7 ลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวาง	41
4.3 ผลของการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีน ถั่วเหลือง	43
4.3.1 ความหนา	43
4.3.2 ปริมาณความชื้น	45
4.3.3 ความโปร่งแสง	47
4.3.4 สมบัติเชิงกล	48
4.3.5 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและมุมนสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม	52
4.3.6 ความสามารถในการละลายน้ำ	55
4.3.7 ลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวาง	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	61
รายการอ้างอิง	63
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก ข้อมูลการวิเคราะห์	69
ภาคผนวก ข ข้อมูลน้ำมันที่เป็นวัตถุดิบ	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	90

สารบัญญัตินำ

ตารางที่	หน้า
2.1 ลิพิดและอิมัลชันไฟเออร์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์มและสารเคลือบ.....	6
2.2 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดในปาล์มและ น้ำมันถั่วเหลือง.....	8

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 Thiol-disulfide exchange ในโปรตีน.....	12
4.1 ความหนาของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด.....	22
4.2 ปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด.....	23
4.3 ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด.....	24
4.4 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด.....	25
4.5 การยึดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด.....	26
4.6 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด.....	27
4.7 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด.....	28
4.8 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด.....	30
4.9 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง.....	31
4.10 ลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง.....	32
4.11 ความหนาของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	34
4.12 ปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	35
4.13 ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	36
4.14 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	37

ภาพที่	หน้า
4.15 การยึดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่าง.....	37
4.16 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	39
4.17 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	39
4.18 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	40
4.19 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	41
4.20 ลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	42
4.21 ความหนาของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	44
4.22 ความหนาของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	44
4.23 ปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	46
4.24 ปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	46
4.25 ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	47

ภาพที่	หน้า
4.26 ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ.....	48
4.27 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิตโดยบ่ม แผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	50
4.28 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิตโดยบ่ม แผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	50
4.29 การยึดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	51
4.30 การยึดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่ อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	51
4.31 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิตโดยบ่ม แผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	53
4.32 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิตโดยบ่ม แผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	53
4.33 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติม HPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิต โดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	54
4.34 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติม HPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิต โดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	54

ภาพที่	หน้า
4.35 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	55
4.36 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	55
4.37 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	57
4.38 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	58
4.39 ลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 60 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	59
4.40 ลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมHPKO ความเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เวลา 45 นาทีที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	60

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันได้มีความสนใจพัฒนาวัสดุบรรจุภัณฑ์จากพอลิเมอร์ชีวภาพเพื่อทดแทนวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุปิโตรเลียมซึ่งย่อยสลายได้ยาก โดยพอลิเมอร์ชีวภาพที่นิยมนำมาใช้ผลิตฟิล์มและสารเคลือบย่อยสลายได้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ฟิล์มและสารเคลือบพอลิแซ็กคาไรด์ ฟิล์มและสารเคลือบโปรตีน และสารเคลือบลิพิด

โปรตีนหลายชนิดมีสมบัติในการเกิดเป็นฟิล์ม โปรตีนที่นิยมนำมาผลิตเป็นฟิล์ม ได้แก่ คอลลาเจน เจลาติน โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ โปรตีนไข่ขาว เคซีน เวย์โปรตีน ซีน กลูเต็น โปรตีนเมดัลต์ฝ่าย รวมถึงโปรตีนถั่วเหลือง (Park *et al.*, 2002) องค์ประกอบหลักของโปรตีนถั่วเหลือง ได้แก่ ไกลซินิน (ไกลบูลินชนิด 11S) และเบต้า-คอนไกลซินิน (ไกลบูลินชนิด 7S) ซึ่งสามารถเกิดพันธะไดซัลไฟด์และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกที่จำเป็นต่อการเกิดเป็นฟิล์ม (Anonymous, 1997) ฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองมีสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส ไอสารอินทรีย์ และน้ำมันค่อนข้างดี แต่มีข้อจำกัดสำคัญในด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและสมบัติเชิงกล ทำให้การนำฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองไปใช้ประโยชน์ยังมีค่อนข้างจำกัด

การเติมลิพิดซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มโปรตีน ลิพิดที่มีการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มโปรตีน ได้แก่ น้ำมันและไขมันจากพืชและสัตว์ เช่น น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม โกโก้บัตเตอร์ เนย น้ำมันที่ดัดแปรโดยกระบวนการไฮโดรจีเนชัน หรือทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน คาร์นูบาแว็กซ์ แคนเดิลลลาแว็กซ์ ไขผึ้ง กัมแล็ค และน้ำมันหอมระเหย (Morillonet *al.*, 2002)

สำหรับการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนสามารถทำได้หลายวิธี การบ่มสารละลายฟิล์มและการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีรายงานว่าสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนได้ (Gennadioset *al.*, 1996; Jangchud and Chinnan, 1999; Perez-Gago and Krochta, 2001) โดยการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มมีผลให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติบางส่วน (partial denaturation) ทำให้เกิดการคลายตัวของโมเลกุลโปรตีน หมู่ซัลไฟไฮโดรซิลและหมู่มะมีที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำซึ่งอยู่ด้านในของโมเลกุลจะปรากฏขึ้นที่ผิวหน้า ทำให้สามารถเกิดพันธะไดซัลไฟด์และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างโมเลกุลโปรตีนซึ่งจำเป็นต่อการ

เกิดเป็นฟิล์มได้ (Kelley and Pressey, 1966) ส่วนการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนสามารถช่วยให้เกิดการเชื่อมข้ามทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลโปรตีนเพิ่มมากขึ้น (Cheftel, Cuq and Lorient, 1985) ฟิล์มโปรตีนจึงมีความแข็งแรงมากขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของลิพิด รวมทั้งการบ่มสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ รวมทั้งสมบัติอื่นๆ ของฟิล์มอิมัลชันของโปรตีนถั่วเหลือง

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 พอลิเมอร์ย่อยสลายได้

พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ในที่นี้หมายถึงพอลิเมอร์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ชีวภาพจากธรรมชาติ (naturally occurring biopolymer) ซึ่งถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ มีเทน และกากชีวมวล (biomass residue) (Anonymous, 1993) โดยมีได้หมายความรวมถึงพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ (synthetic biodegradable polymer) พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทำหน้าที่หลากหลาย ได้แก่ ป้องกันการซึมผ่านของสารต่างๆ (เช่น ความชื้น ออกซิเจน ไอสารอินทรีย์ และน้ำมัน) เป็นตัวพา (carrier) ของสารต่างๆ (เช่น สารยับยั้งจุลินทรีย์ และสารยับยั้งออกซิเดชัน) ให้ความแข็งแรงเชิงกล และปรับปรุงลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ (เช่น ความเงา และสี) พอลิเมอร์ย่อยสลายได้มีข้อดีคือสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ในภาวะที่มีอุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรดต่าง สารอาหาร และออกซิเจนที่เหมาะสม จึงช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกตระหนักอยู่ในปัจจุบัน การใช้พอลิเมอร์ย่อยสลายได้เพื่อการบรรจุอาหารมีวัตถุประสงค์โดยทั่วไปคล้ายคลึงกับการใช้พอลิพลาสติก ได้แก่ เพื่อชะลอความชื้น ห่อหุ้มอาหารให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และป้องกันการแตกหักเสียหาย เป็นต้น (Kester and Fennema, 1986)

2.2 พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้ผลิตฟิล์มและสารเคลือบย่อยสลายได้

ฟิล์มและสารเคลือบย่อยสลายได้แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดหลักๆ ตามประเภทของพอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ได้แก่ ฟิล์มและสารเคลือบพอลิแซ็กคาไรด์ สารเคลือบลิพิด และฟิล์มและสารเคลือบโปรตีน

สำหรับฟิล์มและสารเคลือบพอลิแซ็กคาไรด์ พอลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟิล์มและสารเคลือบ ได้แก่ แอลจินเต เพกทิน คาราจีแนน สตาร์ช สตาร์ชไฮโดรไลเสต และอนุพันธ์ของเซลลูโลส เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ฟิล์มประเภทนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ อย่างไรก็ตามพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิดอาจให้ลักษณะฟิล์มหรือสารเคลือบที่มีลักษณะเหมือนวุ้นและมีความชื้นสูง จึงช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารได้ในช่วงอายุการเก็บรักษาสั้นๆ นอกจากนี้ฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิดยังมี

สมบัติป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดและองค์ประกอบอื่นๆ ของอาหาร (Kester and Fennema, 1986)

สำหรับลิพิดไม่นิยมขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มแต่จะใช้ในรูปสารเคลือบ (coating) จากสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของลิพิด สารเคลือบลิพิดจึงป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังอาจมีผลด้านอื่นด้วย เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนส่ง และป้องกันการเกิดสีน้ำตาล นอกจากนี้ยังอาจใช้ลิพิดร่วมกับพอลิแซ็กคาไรด์หรือโปรตีนในการผลิตฟิล์มประกอบ (composite film) เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและความยืดหยุ่น (Krochta *et al.*, 1994)

ฟิล์มและสารเคลือบโปรตีนมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส ไอสารอินทรีย์ และน้ำมันค่อนข้างดี แต่มีข้อจำกัดในด้านสมบัติเชิงกลและการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ โปรตีนที่มีการนำมาผลิตเป็นฟิล์มและสารเคลือบ ได้แก่ คอลลาเจน เจลาติน โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ โปรตีนไข่ขาว เคซีน เวย์โปรตีน ซีน กลูเต็น โปรตีนเมล็ดฝ้าย รวมถึงโปรตีนถั่วเหลือง

2.3 ฟิล์มประกอบ

เนื่องจากพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟิล์มมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน จึงมีการพัฒนาฟิล์มประกอบขึ้นเพื่อให้ได้ฟิล์มตามสมบัติที่ต้องการ สำหรับฟิล์มโปรตีนซึ่งมีข้อจำกัดในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ การผลิตเป็นฟิล์มประกอบร่วมกับลิพิดที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำจึงอาจช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการป้องกันซึมผ่านของไอน้ำให้ดีขึ้น (Greener and Fennema, 1989)

สำหรับเทคนิคการผลิตฟิล์มประกอบของโปรตีนกับลิพิดมี 2 เทคนิคหลัก คือ เทคนิคการผลิตเป็นอิมัลชัน (emulsion technique) และเทคนิคการเคลือบ (coating technique) โดยเทคนิคการผลิตเป็นอิมัลชันเป็นการเติมลิพิดลงในสารละลายฟิล์มโปรตีนและทำให้เป็นอิมัลชัน ซึ่งฟิล์มที่ได้จะมีโปรตีนทำหน้าที่ให้โครงสร้างที่เป็นร่างแหต่อเนื่อง (continuous network) และมีลิพิดเป็นวัฏภาคกระจาย (dispersed phase) อยู่ในร่างแหนั้น (Quezada Gallo *et al.*, 2000) ส่วนเทคนิคการเคลือบคือการเคลือบลิพิดที่หลอมเหลวลงบนแผ่นฟิล์มโปรตีนที่ขึ้นรูปแล้ว ซึ่งฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะเป็นฟิล์มสองชั้น (bilayer film) (Kamper and Fennema, 1984; Kester and Fennema, 1989)

2.4 โปรตีนถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองประกอบไปด้วยโปรตีนประมาณ 40% โดยน้ำหนักแห้ง สามารถจำแนกโปรตีนถั่วเหลืองเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือไกลบูลินซึ่งสามารถละลายได้ในสารละลายเกลือเจือจาง โปรตีนไกลบูลินมีปริมาณมากถึง 90% ของโปรตีนทั้งหมดของถั่วเหลือง ส่วนที่เหลืออีก 10% คืออัลบูมินซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำ (Fukushima, 1991)

โปรตีนไกลบูลินในถั่วเหลืองประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ เบต้า-คอนไกลซินินและไกลซินิน หรือไกลบูลินชนิด 7S และ 11S ตามลำดับ เบต้า-คอนไกลซินินสามารถทนความร้อนได้น้อยกว่าไกลซินิน โดยจะเสียสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิประมาณ 70°C ส่วนไกลซินินจะเสียสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิประมาณ 80°C เมื่ออยู่ในภาวะที่เป็นกลางและไม่มีเกลือ (Hermansson, 1978; Utsumi, Matsumura and Mori, 1997) การเสียสภาพธรรมชาติดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญในการเกิดเป็นเจลและการเกิดเป็นฟิล์มของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Renkema and van Vliet, 2002)

2.4.1 โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate)

โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเป็นผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกหมดและผ่านกระบวนการแยกโปรตีนถั่วเหลืองออกจากส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตทั้งส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ จึงได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนที่มีโปรตีนสูงถึง 90% มีสีและกลิ่นเฉพาะตัวและมีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วนเช่นเดียวกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์หรือไข่ มีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตต่ำ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่หลากหลาย เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ การเกิดโฟม การเกิดเจล รวมถึงการเกิดเป็นฟิล์ม (Zayas, 1997; United Soybean Board, 2004)

2.4.2 การเกิดเป็นฟิล์มของโปรตีนถั่วเหลือง

เบต้า-คอนไกลซินินและไกลซินินของถั่วเหลืองมีโครงสร้างถึงระดับจตุรภูมิ ในการเกิดเป็นฟิล์มของโปรตีนถั่วเหลืองจำเป็นจะต้องทำให้โปรตีนเหล่านี้เสียสภาพธรรมชาติบางส่วน โดยให้ความร้อนแก่สารละลายโปรตีนถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูงกว่า 60°C ทำให้โมเลกุลของโปรตีนเกิดการคลายตัว ส่งผลให้หมู่ซัลไฟไฮไดรลและหมู่ไฮโดรโฟบิกที่อยู่ภายในปรากฏขึ้นที่ด้านนอกของโมเลกุล ในระหว่างที่ทำให้สารละลายฟิล์มแห้งตัวลงสายพอลิเพปไทด์ที่คลายตัวจะ

เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กัน และเกิดการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก ทำให้เกิดโครงสร้างของฟิล์มขึ้น (Anonymous, 1997)

2.5 ลิพิดที่ใช้ในการผลิตฟิล์มและสารเคลือบ

ลิพิดเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้จำกัด แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้วหรือมีขั้วต่ำ ลิพิดไม่นิยมนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยตรง โดยส่วนใหญ่มักใช้ในรูปสารเคลือบ ลิพิดที่นิยมใช้เป็นสารเคลือบ ได้แก่ ไขผึ้งและคาร์นูบาแว็กซ์ เนื่องจากลิพิดมีสมบัติไม่ชอบน้ำจึงมีสมบัติสำคัญในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ลิพิดสามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มประกอบร่วมกับโปรตีนหรือพอลิแซ็กคาไรด์เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มทั้งสองชนิดได้ ตัวอย่างของลิพิดที่มีการนำมาใช้ในการผลิตฟิล์มและสารเคลือบแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลิพิดและอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์มและสารเคลือบ (ที่มา: ดัดแปลงจาก Morillon *et al.*, 2002)

ประเภทของลิพิด	ตัวอย่าง
น้ำมัน ไขมัน ซอร์บิทเทนนิ่ง และมาการีน	น้ำมันและไขมันจากพืชและสัตว์ เช่น น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม โกล์บัตเตอร์ เนย น้ำมันที่ดัดแปรโดยกระบวนการไฮโดรจีเนชันหรือ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เช่น มาการีน ซอร์บิทเทนนิ่ง
แว็กซ์	แว็กซ์จากพืช เช่น คาร์นูบาแว็กซ์ โจโจบาแว็กซ์ แคนเดลิลาแว็กซ์ แว็กซ์จากสัตว์ เช่น ไขผึ้ง ไขวาฟ แว็กซ์สังเคราะห์ เช่น พาราฟิน มินเนอรัลแว็กซ์
แล็ค	เชลแล็ค กัมแล็ค
น้ำมันหอมระเหย	น้ำมันจากการบูร สะระแหน่ ผลไม้ตระกูลส้ม
อิมัลซิไฟเออร์	เลซิทีน โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ และอนุพันธ์เอสเทอร์ กรดไขมัน

งานวิจัยนี้ศึกษาไขมันจากพืช 3 ชนิด ได้แก่ ไขมันปาล์ม (palm oil) ไขมันเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) และน้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) รวมทั้งไขมันไฮโดรจีเนตของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดนี้

ไขมันปาล์มคือไขมันที่ได้จากส่วนเปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นกลาง (exocarp and mesocarp) ของผลปาล์มไขมันประกอบด้วยกรดไขมันหลัก ได้แก่ กรดพาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ในปริมาณ 45, 40 และ 10% ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ

ไขมันเมล็ดในปาล์ม หมายถึงไขมันที่ได้จากเมล็ดใน (kernel) ของผลปาล์มไขมันกรดไขมันหลักของไขมันเมล็ดในปาล์ม ได้แก่ กรดลอริก กรดไมริสติก และกรดโอเลอิก ในปริมาณ 48, 16 และ 15% ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ

น้ำมันถั่วเหลืองสกัดได้จากเมล็ดถั่วเหลือง ประกอบด้วยกรดไขมันหลัก ได้แก่ กรดลิโนเลอิก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลนิก ในปริมาณ 53, 23 และ 8% ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ ตารางที่ 2.2 แสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยนี้

2.6 การปรับปรุงสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มโดยการเติมลิวติด

เนื่องด้วยธรรมชาติของโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยหมู่เคมีที่มีสมบัติชอบน้ำ อยู่เป็นจำนวนมาก ฟิล์มโปรตีนและฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์โดยทั่วไปจึงมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่ต่ำ วิธีหนึ่งที่สามารถใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มโปรตีนและฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ การเติมองค์ประกอบที่มีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ เช่น ลิวติด (Avena-Bustilosand Krochta, 1993)

Kamper และ Fennema (1984) ศึกษาสภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ (water vapor permeability, WVP) ของฟิล์มจากไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและลิวติดชนิดต่างๆ ได้แก่ ไข่ผง พาราฟิน และไขมันปาล์มไฮโดรจีเนต พบว่าฟิล์มที่เติมลิวติดทุกชนิดมีค่า WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่เติมลิวติด นอกจากนี้ผู้วิจัยยังศึกษาผลของระดับความไม่อิ่มตัวและความยาวของสายโซ่คาร์บอนของกรดไขมันที่มีต่อสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส กรดไขมันที่ศึกษา ได้แก่ กรดสเตียริกผสมกับกรดพาล์มมิติก กรดลอริก กรดสเตียริก และกรดโอเลอิก พบว่าฟิล์มที่เติมกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีค่า WVP ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่เติมกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่เติมกรดไขมันที่มีความยาวของสายโซ่คาร์บอนสูงมีค่า WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมกรดไขมันที่มีความยาวของสายโซ่คาร์บอน

ตารางที่ 2.2กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมัน ถั่วเหลือง (ที่มา: Gunstone F.D.,2002)

กรดไขมัน	สูตรเคมี	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	น้ำมันถั่วเหลือง
Caproic	6:0	-	0.3	-
Caprylic	8:0	-	4.4	-
Capric	10:0	-	3.7	-
Lauric	12:0	0.2	48.4	-
Myristic	14:0	1.1	15.6	0.1
Palmitic	16:0	44	7.7	11
Palmitoleic	16:1	0.1	-	0.1
Stearic	18:0	4.5	1.9	4
Oleic	18:1	39.2	15	23.4
Linoleic	18:2	10.1	2.7	53.2
Linolenic	18:3	0.4	-	7.8
Arachidic	20:0	0.4	-	0.3
Gadoleic	20:1	-	-	-
Eicosadienoic	20:2	-	-	-
Behenic	22:0	-	-	0.1
Lignoceric	24:0	-	-	-
อื่น ๆ		-	0.2	-

McHugh และ Krochta (1994) ศึกษาผลของชนิดลิพิดที่มีต่อ WVP ของฟิล์มอิมัลชันของเวย์โปรตีนและลิพิด แปรชนิดของลิพิด ได้แก่ กรดพาล์มมิติก กรดไมริสติก ไขมัน สเตียริลแอลกอฮอล์ เฮกซาเดคานอล และเตตระเดคานอล พบว่าเมื่อความยาวสายโซ่คาร์บอนของลิพิดเพิ่มสูงขึ้น ฟิล์มที่ได้มีค่า WVP ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความยาวสายโซ่คาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ความมีขั้ว (polarity) ของโมเลกุลของลิพิดมีค่าลดต่ำลง นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังศึกษาผลของความเข้มข้นของลิพิด ได้แก่ ไขมัน กรดพาล์มมิติก และสเตียริลแอลกอฮอล์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของลิพิดเพิ่มขึ้น WVP ของฟิล์มอิมัลชันมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของลิพิด

พบว่าฟิล์มที่เติมกรดพาล์มมิติกหรือกรดไมริสติกมีค่า WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมไขมันสังเคราะห์หรือแอลกอฮอล์ เฮกซาเดคานอล หรือเตตระเดคานอล โดยผู้วิจัยเสนอว่าค่า WVP มีความสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลวของลิพิด

Shellhammer และ Krochta (1997) ศึกษาผลของชนิดลิพิดต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันจากเวย์โปรตีน โดยแปรชนิดของลิพิด ได้แก่ ไขมัน คาร์บูบาเว็กซ์ แคนเดิลลลาเว็กซ์ และไขมันนมปราศจากน้ำ (anhydrous milk fat) พบว่าฟิล์มที่เติมไขมันและฟิล์มที่เติมไขมันนมปราศจากน้ำมีค่า WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมคาร์บูบาเว็กซ์และฟิล์มที่เติมแคนเดิลลลาเว็กซ์

Yang และ Paulson (2000) ศึกษาผลของลิพิดต่อสมบัติเชิงกลและ WVP ของฟิล์มจากเจลแลนแกม ลิพิดที่ศึกษาได้แก่ ไขมัน และกรดพาล์มมิติกผสมกับกรดสเตียริก แปรความเข้มข้นของลิพิดตั้งแต่ 0-20% พบว่าที่ความเข้มข้นของลิพิดเท่ากับ 20% ฟิล์มมีค่า WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่เติมลิพิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างลิพิดต่างชนิดพบว่าฟิล์มที่เติมไขมันมีค่า WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมกรดพาล์มมิติกผสมกับกรดสเตียริก อย่างไรก็ตามการเติมลิพิดยังส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มด้วย โดยพบว่าความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength, TS) ของฟิล์มมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของลิพิดเพิ่มสูงขึ้น และฟิล์มที่เติมไขมันมีค่า TS สูงกว่าฟิล์มที่เติมกรดพาล์มมิติกผสมกับกรดสเตียริก

Peroval และคณะ (2002) ศึกษาผลของชนิดลิพิดต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) และสมบัติเชิงกลของฟิล์มจากอะราบิโนไซแลน โดยลิพิดที่ศึกษา ได้แก่ กรดพาล์มมิติก กรดสเตียริก ไตรโอเลอิน และน้ำมันปาล์มไฮโดรจีเนตพบว่าฟิล์มที่เติมน้ำมันปาล์มไฮโดรจีเนตมี WVP ต่ำที่สุดและมุมสัมผัส (contact angle) ระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่เติมลิพิดชนิดอื่น ๆ สำหรับด้านสมบัติเชิงกลพบว่าการเติมลิพิดส่งผลให้ฟิล์มมีค่า TS ลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด และฟิล์มที่เติมไตรโอเลอินมีการยืดตัวถึงจุดขาด (elongation at break, EB) สูงกว่าฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด

Fernandez และคณะ (2006) ศึกษาผลของความเข้มข้นและระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันต่อความชุ่มชื้น สมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และสมบัติเชิงกลของฟิล์มเวย์โปรตีน กรดไขมันที่ศึกษา ได้แก่ กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30 และ 40% เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรดไขมันต่างชนิด พบว่าฟิล์มที่เติมกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (กรดสเตียริก) มีค่าความชุ่มชื้นสูงกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (กรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิก)

และสำหรับฟิล์มที่เติมกรดสเตียริกพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มสูงขึ้น ความชุ่มของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เดียวกันพบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่สูงขึ้นมีผลให้ค่า WVP ของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยฟิล์มที่เติมกรดสเตียริกมีค่า WVP ต่ำกว่ากรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิก ส่วนด้านสมบัติเชิงกลพบว่าสำหรับฟิล์มที่เติมกรดสเตียริก เมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มสูงขึ้น TS ของฟิล์มมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ EB มีค่าลดต่ำลง

Han และคณะ (2006) ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากสตาร์ชจาก Canadian yellow field pea โดยแปรความเข้มข้นของไขมันเป็น 0, 10, 20, 30 และ 40% พบว่าเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มสูงขึ้น ฟิล์มที่ได้มีความหนาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ TS และ EB ของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยฟิล์มที่เติมไขมันเข้มข้น 40% มีค่า TS ต่ำที่สุด นอกจากนี้ผู้วิจัยยังรายงานว่าเมื่อความเข้มข้นของไขมันเพิ่มสูงขึ้น WVP ของฟิล์มมีค่าลดต่ำลง

Perez-Mateos และคณะ (2007) ศึกษาผลของการเติมน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันในฟิล์มเจลาตินที่ผลิตจากปลาเค็ม แปรความเข้มข้นของน้ำมันเป็น 0, 0.3, 0.6 และ 1% พบว่าฟิล์มที่ไม่เติมน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันมีความสามารถในการละลายน้ำสูงกว่าฟิล์มที่เติมน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และฟิล์มมีความสามารถในการละลายน้ำลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันสูงขึ้น

Monedero และคณะ (2009) ศึกษาผลของการทดแทนกรดโอเลอิกด้วยไขมันและผลของอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อลิพิดที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม โดยแปรปริมาณไขมันที่ทดแทนเป็น 5, 15, 30, 50, 70 และ 100% โดยน้ำหนักของกรดโอเลอิก และแปรอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อลิพิดเป็น 1:0.25 และ 1:0.50 พบว่าปริมาณของไขมันที่ทดแทนกรดโอเลอิกไม่มีผลต่อ TS, EB และ WVP ของฟิล์ม ในด้านผลของอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อลิพิด พบว่าฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อลิพิดเท่ากับ 1:0.25 มีค่า TS และ EB สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อลิพิดเท่ากับ 1:0.50 ในขณะที่ฟิล์มที่ใช้อัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อลิพิดต่างกันมีค่า WVP ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามฟิล์มที่เติมลิพิดมี WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด

Kokoszka และคณะ (2010) ศึกษาการเติมน้ำมันเรพซีดในฟิล์มเวียโปรตีน โดยแปรความเข้มข้นของน้ำมันเรพซีดเป็น 0, 1, 2, 3, และ 4% โดยน้ำหนักของเวียโปรตีน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันเรพซีดเพิ่มสูงขึ้น มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

Zahedi และคณะ (2010) ศึกษาผลของการเติมกรดสเตียริกและกรดพาล์มมิติกในฟิล์มโปรตีนจากพิสตาชิโอ โดยแปรความเข้มข้นของกรดไขมันเป็น 2, 4 และ 6% พบว่าชนิดและความเข้มข้นของกรดไขมันไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

2.7 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนโดยการบ่มด้วยความร้อน

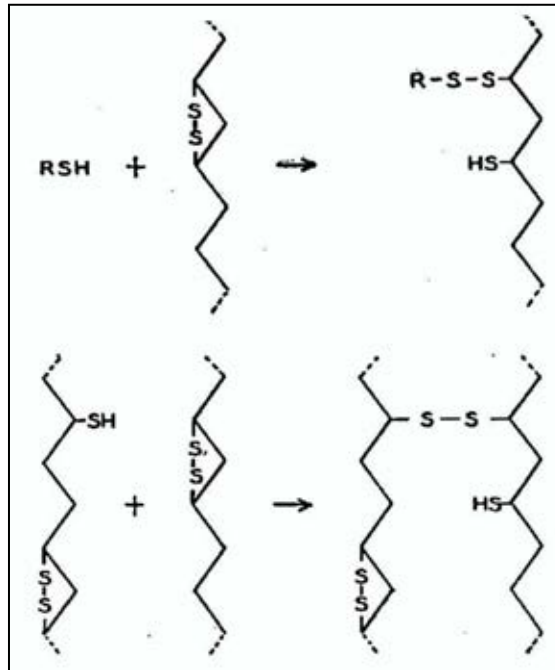
การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมีหรือเอนไซม์ที่เร่งการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลโปรตีน การใช้รังสี เป็นต้น การบ่มสารละลายฟิล์มและการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีรายงานว่าสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนได้ (Gennadios *et al.*, 1996; Jangchud and Chinnan, 1999; Perez-Gago and Krochta, 2001)

การบ่มโปรตีนด้วยความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีนถั่วเหลือง สามารถช่วยเพิ่มการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลโปรตีนได้ (Park *et al.*, 2002) โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °C ในภาวะที่เป็นต่าง นอกจากจะทำให้สายโซ่พอลิเพปไทด์คลายตัวออก เป็นผลให้หมู่ซัลไฟไฮดริลและหมู่ไฮโดรโฟบิกที่อยู่ภายในปรากฏขึ้นที่ด้านนอกของโมเลกุลและสามารถเกิดพันธะเชื่อมข้ามได้แล้ว ภาวะที่เป็นต่างยังช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยา thiol-disulfide exchange (รูปที่ 2.1) ซึ่งเพิ่มการเชื่อมข้ามของโมเลกุลโปรตีนด้วย (Jensen, 1959)

2.7.1 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนโดยการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อน

Roy และคณะ (1999) บ่มสารละลายฟิล์มกลูเตนด้วยความร้อน โดยแปรอุณหภูมิที่ใช้บ่มเป็น 55, 75 และ 95°C ระยะเวลาการบ่มเท่ากับ 10 นาที จากการศึกษารูปแบบของแถบโปรตีนโดยใช้ SDS-PAGE ยืนยันการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างสารละลายฟิล์มที่บ่ม

ที่อุณหภูมิ 75 และ 95°C ผู้วิจัยเสนอว่าหมู่ซัลไฟไฮดริลที่ปรากฏขึ้นจากการที่โปรตีนได้รับความร้อนสามารถถูกออกซิไดส์และเกิดเป็นพันธะไดซัลไฟด์เชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของโปรตีนได้



รูปที่ 2.1 Thiol-disulfide exchange ในโปรตีน (ที่มา: Jensen, 1959)

Perez-Gago และคณะ (1999) ศึกษาผลของการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มเวียโปรตีน พบว่าฟิล์มที่ผลิตโดยมีขั้นตอนการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนมีค่า TS สูงกว่าฟิล์มที่ผลิตโดยไม่มีขั้นตอนการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อน อย่างไรก็ตามพบว่าการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนไม่มีผลต่อ WVP ของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

Perez-Gago และ Krochta (2001) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มต่อสมบัติของฟิล์มเวียโปรตีน โดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 °C เป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มเพิ่มสูงขึ้น ฟิล์มที่ได้มีค่า TS สูงขึ้น ในขณะที่ WVP มีค่าลดต่ำลง ผู้วิจัยเสนอว่าที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติมากขึ้นและเกิดพันธะเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลโปรตีนได้มากขึ้น

2.7.2 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนโดยการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อน

Gennadios และคณะ (1996) ศึกษาผลของการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัด โดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 80 และ 90 °C เป็นเวลา 2, 6, 14 และ 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มเพิ่มสูงขึ้น ฟิล์มมี TS และค่าสีเหลือง (+b) สูงขึ้น ในขณะที่ EB ปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ และ WVP มีค่าลดลง

Jangchud และ Chinnan (1999) ศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายฟิล์มและการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติของฟิล์มโปรตีนถั่วลิสงเข้มข้น (peanut protein concentrate) โดยเตรียมสารละลายฟิล์มที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.0, 7.5 และ 9.0 ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม แล้วบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง พบว่าฟิล์มมีความสามารถในการละลายน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิการบ่มเพิ่มสูงขึ้นหรือค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายฟิล์มลดลง ตัวอย่างฟิล์มมีค่า TS และค่า EB เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ WVP และสภาพให้ซึมผ่านได้ของออกซิเจน (oxygen permeability) มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการบ่มสูงขึ้น โดยฟิล์มที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 9.0 และบ่มที่ 90°C มี TS สูงที่สุด (4.10 MPa) และ WVP และสภาพให้ซึมผ่านได้ของออกซิเจนต่ำที่สุด (8.83 g mm/m² day kPa และ 1.16 cm³ μm/m day kPa ตามลำดับ)

Rhim และคณะ (2000) ศึกษาผลของการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัด พบว่าฟิล์มที่ผ่านการบ่มด้วยความร้อนมีปริมาณความชื้นและ EB ลดลง ในขณะที่ TS มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่ผ่านการบ่มด้วยความร้อน

Hernández-Muñoz, Villalobos และ Chiralt (2004) ศึกษาผลของการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติของฟิล์มกลูเตนิน โดยแปรอุณหภูมิการบ่มเป็น 6 ระดับ คือ 40, 55, 70, 85, 95 และ 115°C และบ่มเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่ออุณหภูมิการบ่มสูงขึ้น ฟิล์มมีค่า TS เพิ่มขึ้น ในขณะที่ EB และ WVP มีค่าลดลง

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (บริษัท โมทีตี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด, กรุงเทพฯ)

น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (PKO) (บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน, สมุทรปราการ)

น้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนต (HPKO) (บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน, สมุทรปราการ)

น้ำมันปาล์ม (PO) (บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน, สมุทรปราการ)

น้ำมันปาล์มไฮโดรจีเนต (HPO) (บริษัท ธนาคารผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด, สมุทรปราการ)

น้ำมันถั่วเหลือง (SO) (บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน, สมุทรปราการ)

น้ำมันถั่วเหลืองไฮโดรจีเนต (HSO) (บริษัท ธนาคารผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด, สมุทรปราการ)

Glycerol(Ajax Finechem,New South Wales, Australia)

Glycerolmonostearate (Danisco,Copenhagen, Denmark)

Tris-(hydroxymethyl)-methylamine, AR grade (Fisher Scientific, Leicestershire, UK)

3.2 อุปกรณ์

Contact angle measuring instrument, model OCA15EC (DataPhysics Instruments, Filderstadt, Germany)

Gel electrophoresis system, model miniVE (Hoefer, Holliston, MA)

Homogenizer, model X10/25 (Ystral, Ballrechten-Dottingen, Germany)

Laboratory hot air oven, model 600 (Memmert, Schwabach, Germany)

Laboratory hot air oven, Beschickung-Loading, model 300 (Memmert, Schwabach, Germany)

Laboratory shaker (New Brunswick Scientific, Edison, NJ)

Scanning electron microscope, model JSM-5410 LV (JEOL, Tokyo, Japan)

Shaking water bath, model SW23 (JulaboLabortechnik, Seelbach, Germany)

Ultrasonic bath, Ultrasonik™, model 136H (Fisher Scientific, Schwerte, Germany)

Universal materials testing machine, Instron[®], model 5565 (Instron, Norwood, MA)

UV/Vis spectrophotometer, model V-530 (Jasco, Easton, MD)

3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของลิปิตต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

เตรียมฟิล์มอิมัลชันของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและลิปิตโดยดัดแปลงจากวิธีของ Jiang และคณะ (2007) โดยเตรียมสารละลายโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเข้มข้น 5% แปรชนิดของลิปิตเป็น 6 ชนิด ได้แก่ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (PKO) น้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนต (HPKO) น้ำมันปาล์ม (PO) น้ำมันปาล์มไฮโดรจีเนต (HPO) น้ำมันถั่วเหลือง (SO) และน้ำมันถั่วเหลืองไฮโดรจีเนต (HSO) และแปรความเข้มข้นของลิปิตเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 10 และ 20% โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ใช้กลีเซอรอลเข้มข้น 55% โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเป็นพลาสติกไซเซอรและกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทเข้มข้น 10% โดยน้ำหนักของลิปิตเป็นอิมัลซิไฟเออร์

เตรียมสารละลายฟิล์มโดยผสมกลีเซอรอลกับสารละลายบัฟเฟอร์ Tris-HCl เข้มข้น 0.05 โมลาร์ที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 8.0 ต่อจากนั้นเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและผสมจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน ไฮโมจีไนส์สารละลายฟิล์มด้วย Ystral homogenizer (รุ่น X10/25, Ballrechten-Dottingen, Germany) จากนั้นให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (รุ่น SW23, JulaboLabortechnik, Seelbach, Germany) ที่ 70 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทและลิปิต ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ไฮโมจีไนส์สารละลายฟิล์มอีกครั้งด้วย Ystral homogenizer (รุ่น X10/25, Ballrechten-Dottingen, Germany) นำสารละลายฟิล์มไปกำจัดฟองอากาศโดยใช้ ultrasonic bath (รุ่น 136H, Fisher Scientific, Schwerte, Germany) แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยบีบอัดสารละลายฟิล์ม 25 ml ลงบนจานเลี้ยงเชื้อ (Petri dish) ที่ทำด้วยแก้วซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 150 mm วางจานเลี้ยงเชื้อที่บรรจุสารละลายฟิล์มไว้บนพื้นระนาบ ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกและนำไปเก็บรักษาในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% เป็นเวลา 2 วัน ก่อนนำมาวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มตามข้อ 3.3.4 วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely

randomized design, CRD) ทดลอง 3 ซ้ำคัดเลือกตัวอย่างฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ (water vapor permeability, WVP) ต่ำเพื่อนำไปศึกษาต่อในข้อ 3.3.2

3.3.2 ผลของการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

เตรียมสารละลายของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลีเซอรอลในบัฟเฟอร์ Tris-HCl ตามวิธีในข้อ 3.3.1 หลังจากโฮโมจีไนส์แล้วนำสารละลายฟิล์มมาบ่มด้วยความร้อน โดยแปรอุณหภูมิการบ่มเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 70, 80 และ 85 °C และแปรเวลาการบ่มเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 30, 45 และ 60 นาที แล้วจึงเติมลิพิดตามชนิดและความเข้มข้นที่คัดเลือกได้ในข้อ 3.3.1 ใช้กลีเซอรอลโมโนสเตียเรทเข้มข้น 10% โดยน้ำหนักของลิพิดเป็นอิมัลซิไฟเออร์ โฮโมจีไนส์สารละลายฟิล์มอีกครั้งด้วย Ystral homogenizer (รุ่น X10/25, Ballrechten-Dottingen, Germany) นำสารละลายฟิล์มไปกำจัดฟองอากาศโดยใช้ ultrasonic bath (รุ่น 136H, Fisher Scientific, Schwerte, Germany) แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยบีบอัดสารละลายฟิล์ม 25 ml ลงบนจานเลี้ยงเชื้อที่ทำด้วยแก้วซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 150 mm วางจานเลี้ยงเชื้อที่บรรจุสารละลายฟิล์มไว้บนพื้นระนาบ ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกและนำไปเก็บรักษาในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% เป็นเวลา 2 วัน ก่อนนำมาวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มตามข้อ 3.3.4 วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลขนาด 3×3 ทดลอง 3 ซ้ำคัดเลือกตัวอย่างฟิล์มที่มี TS และ EB ที่สูงสุดและต่ำสุดไปใช้ศึกษาต่อในข้อ 3.3.3

3.3.3 ผลของการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

เตรียมฟิล์มอิมัลชันของโปรตีนถั่วเหลืองและลิพิดตามภาวะที่คัดเลือกในข้อ 3.3.2 นำแผ่นฟิล์มมาบ่มด้วยความร้อนโดยแปรอุณหภูมิการบ่มเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 70, 80 และ 90 °C และแปรเวลาในการบ่มเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0, 5 และ 10 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นฟิล์มไปเก็บรักษาในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% เป็นเวลา 2 วัน ก่อนนำมาวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มตามข้อ 3.3.4 วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลขนาด 3×3 ทดลอง 3 ซ้ำ

3.3.4 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม

3.3.4.1 ความหนา

ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 30 mm × 100 mm วัดความหนาของฟิล์มโดยใช้ไมโครมิเตอร์ (รุ่น 7301, Mitutoyo, Tokyo, Japan) วัดความหนาขึ้นละ 15 จุดนับเป็น 1 ซ้ำ

3.3.4.2 ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (2000) โดยตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งตัวอย่างฟิล์มประมาณ 5 g ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน บรรจุลงในจานอลูมิเนียมที่อบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำตัวอย่างเข้าอบในตู้อบ (รุ่น 600, Memmert, Schwabach, Germany) ที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นและนำมาชั่งน้ำหนักหลังการอบ คำนวณปริมาณความชื้นเป็นร้อยละโดยน้ำหนักสด

3.3.4.3 สมบัติเชิงกล

วิเคราะห์สมบัติเชิงกล โดยใช้เครื่อง Instron® universal materials testing machine (รุ่น 5565, Instron, Norwood, MA) ซึ่งติดตั้งด้วย load cell ขนาด 5 kg ใช้หัววัด pneumatic side-action grips ซึ่งมีลักษณะเป็นส่วนยึดจับ 2 ชิ้นติดตั้งในตำแหน่งตรงกันแนวตั้ง ตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด 30 mm × 100 mm ติดตั้งลงบนส่วนยึดจับทั้งสองด้าน กำหนดระยะห่างของส่วนยึดจับเท่ากับ 50 mm ดึงตัวอย่างฟิล์มด้วยความเร็ว 5.0 mm/s จนกระทั่งขาดออกจากกัน ได้ผลการวัดในรูปแบบของแรงที่ใช้ในการดึงขึ้นตัวอย่างให้ขาดออกจากกัน (หน่วยเป็น g force) และระยะทางที่สามารถดึงขึ้นตัวอย่างให้ยืดออกไปได้มากที่สุดก่อนที่จะขาดออกจากกัน (หน่วยเป็น mm) คำนวณความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength, TS) และการยืดตัวถึงจุดขาด (elongation at break, EB) โดยใช้สมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ วัดตัวอย่างละ 8 ชิ้น นับเป็น 1 ซ้ำ

$$\text{TS (MPa)} = \frac{\text{แรงที่ใช้ในการดึงตัวอย่างให้ขาด (gforce)} \times 0.009807 \times 10^{-6}}{\text{ความกว้างของตัวอย่าง (m)} \times \text{ความหนาของตัวอย่าง (m)}} \quad (3.1)$$

$$EB(\%) = \frac{\text{ระยะการยืดของตัวอย่าง (mm)}}{\text{ความยาวเดิมของตัวอย่าง(mm)}} \times 100 \quad (3.2)$$

3.3.4.4 ความโปร่งแสง (transparency)

วัดความโปร่งแสงของตัวอย่างฟิล์มโดยดัดแปลงจากวิธีของ Chana-Thaworn และคณะ (2011) โดยตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาดพอดีกับด้านที่แสงส่องผ่านของคิวเวิร์ตแก้ว บรรจุฟิล์มลงในคิวเวิร์ต แล้วนำไปวัดค่าร้อยละของแสงส่องผ่าน (%transmittance) ที่ความยาวคลื่น 500 nm โดยใช้ UV/Vis spectrophotometer (รุ่น V-530, Jasco, Easton, MD) ใช้คิวเวิร์ตเปล่า (คิวเวิร์ตที่มีอากาศภายใน) เป็นแบล็กก็โดยกำหนดให้ร้อยละของแสงส่องผ่านของแบล็กก็มีค่าเท่ากับ 100 วัดตัวอย่างละ 3 ซึ้นนับเป็น 1 ซ้ำ นำค่าร้อยละของแสงส่องผ่านมาคำนวณค่าความโปร่งแสงโดยใช้สูตรที่ 3.3

$$\text{ความโปร่งแสง} = \frac{\log T_{500}}{x} \quad (3.3)$$

เมื่อ T_{500} คือ ร้อยละของแสงส่องผ่านที่ความยาวคลื่น 500nm

X คือ ความหนาของฟิล์ม(m)

3.3.4.5 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ

วิเคราะห์สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของตัวอย่างฟิล์มตามวิธีของ ASTM E96-95 (1999) ตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด 6 cm × 6 cm โดยปราศจากรอยขีดข่วน รอยพับ และรูรั่วที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า บรรจุซิลิกาเจลปริมาณ 30g ใส่ลงขวดแก้ว ทาสีลิโคนกรีสบริเวณปากขวดให้ทั่ว วางตัวอย่างฟิล์มลงบนปากขวด ซึ่งให้ตั้งและรัดให้แน่นด้วยพาราฟิล์ม บันทึกน้ำหนักขวดที่ติดฟิล์มแล้ว จากนั้นนำไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นที่บรรจุน้ำไว้ภายใน เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30°C บันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณสภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำตามสูตรที่ 3.4

$$\text{สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ} = \frac{wL}{At(P_2 - P_1)} \quad (3.4)$$

- เมื่อ w คือ น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (mg)
 L คือ ความหนาของฟิล์ม (mm)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของฟิล์ม (m^2)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการทดลอง (h)
 $(P_2 - P_1)$ คือ ความแตกต่างของความดันไอน้ำที่ด้านทั้งสองของฟิล์ม (Pa)

3.3.4.6 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม (contact angle)

วิเคราะห์มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มโดยใช้ contact angle measuring instrument (รุ่น DataPhysics Instruments, Filderstadt, Germany) โดยตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด $5\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ นำแผ่นฟิล์มวางบนแท่นวางตัวอย่าง หยดน้ำกลั่น $4\text{ }\mu\text{l}$ บนผิวหน้าของตัวอย่างฟิล์ม วัดมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม วัดตัวอย่างละ 3 ซึ้นนับเป็น 1 ซ้ำ

3.3.4.7 ความสามารถในการละลายน้ำ

วิเคราะห์ตามวิธีของ Jangchud และ Chinnan (1999) ตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ นำแผ่นฟิล์มตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $70\text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักแผ่นฟิล์ม บรรจุแผ่นฟิล์มในหลอดทดลองขนาด 50 ml เติมน้ำกลั่น 20 ml เขย่าตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ที่อบแห้งแล้ว ล้างตัวอย่างบนกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 10 ml แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ $70\text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก วัดตัวอย่างละ 3 ซึ้นนับเป็น 1 ซ้ำ คำนวณความสามารถในการละลายน้ำโดยใช้สูตรที่ 3.5

$$\text{การละลายทั้งหมด} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้นของฟิล์ม} - \text{น้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของฟิล์ม}} \times 100 \quad (3.5)$$

3.3.4.8 ลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวาง

ศึกษาลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวางของตัวอย่างฟิล์ม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, รุ่น JSM-5410LV, JEOL, Tokyo, Japan) ตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ เก็บไว้ในโถดูดความชื้นที่มีซิลิกา

กาลเป็นเวลา 1 สัปดาห์ สำหรับตัวอย่างฟิล์มที่ใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวเตรียมตัวอย่างโดยติดเทปกาวสองหน้าแบบบางลงบนแท่งทองเหลืองสำหรับวางตัวอย่าง วางตัวอย่างฟิล์มลงไปและตัดแต่งขอบให้เรียบโดยใช้กรรไกร ส่วนตัวอย่างฟิล์มที่ใช้ศึกษาลักษณะภาคตัดขวางใช้แท่งทองเหลืองสำหรับวางตัวอย่างซึ่งมีลักษณะเป็นร่องตั้งฉากกับพื้นผิวสำหรับติดตัวอย่าง นำตัวอย่างฟิล์มแช่ลงในไนโตรเจนเหลวให้ฟิล์มแข็งตัว แล้วหักตัวอย่างฟิล์มทิ้งตัวอย่างฟิล์มให้อ่อนตัวลง ติดเทปกาวสองหน้าแบบบางลงบนแท่งทองเหลืองบริเวณที่เป็นร่องที่ตั้งฉาก แล้วติดตัวอย่างฟิล์มให้ด้านที่ถูกหักวางตั้งฉากกับแท่งทองเหลือง นำตัวอย่างไปอบด้วยทอง แล้วศึกษาลักษณะพื้นผิวและภาคตัดขวางของตัวอย่างฟิล์มโดยใช้กำลังขยาย 750 เท่า

3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับ $p=0.05$ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test

บทที่ 4

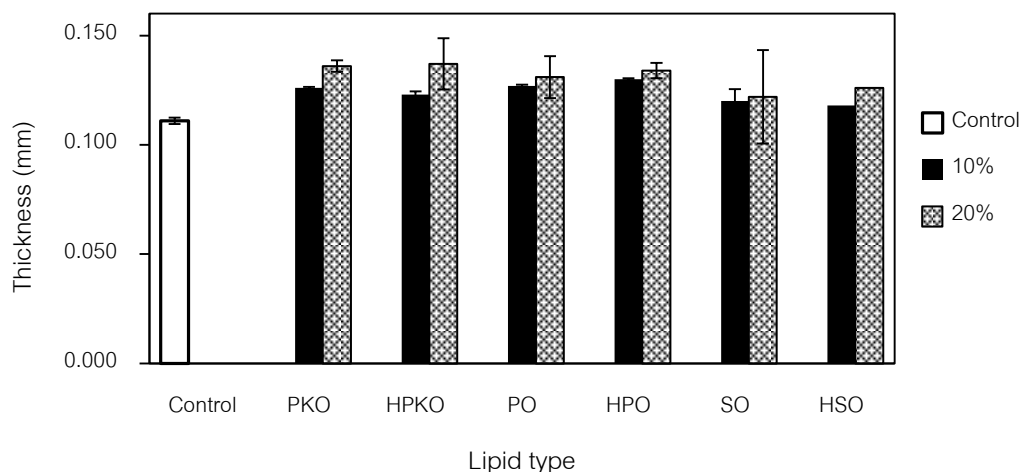
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของลิพิดต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง

ลิพิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (PKO) น้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนต (HPKO) น้ำมันปาล์ม (PO) น้ำมันปาล์มไฮโดรจีเนต (HPO) น้ำมันถั่วเหลือง (SO) และน้ำมันถั่วเหลืองไฮโดรจีเนต (HSO) แปรความเข้มข้นของลิพิดเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 10 และ 20% โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กำหนดให้ฟิล์มที่ไม่เติมลิพิดเป็นตัวอย่างควบคุม ผลการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มมีดังนี้

4.1.1 ความหนา

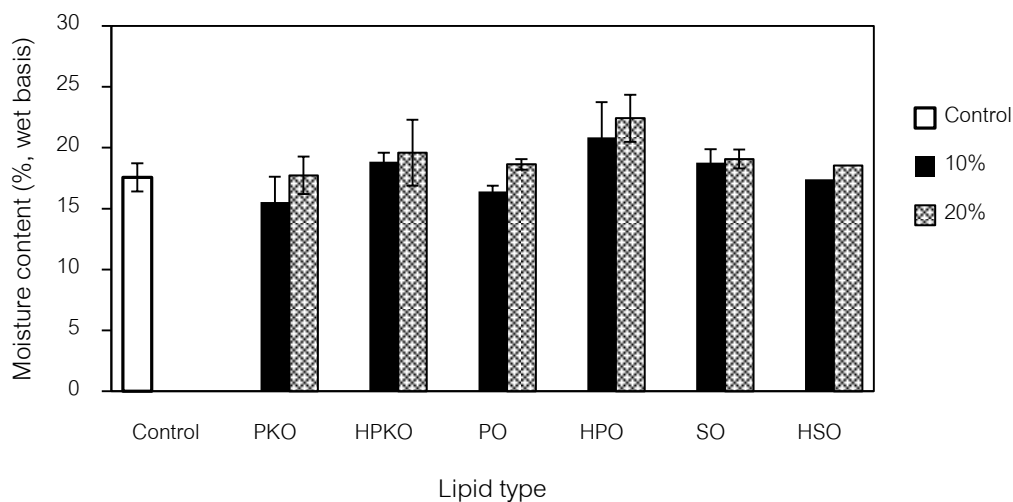
ความหนาของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองแสดงดังภาพที่ 4.1 (ตารางที่ ก.1)โดยทั่วไปพบว่าฟิล์มที่เติมลิพิดมีความหนามากกว่าฟิล์มควบคุมที่ไม่เติมลิพิด โดยฟิล์มที่เติมลิพิดมีความหนาอยู่ในช่วง 0.118-0.137 mm ในขณะที่ฟิล์มควบคุมที่ไม่เติมลิพิดมีความหนาเท่ากับ 0.111 mm เมื่อความเข้มข้นของลิพิดเพิ่มมากขึ้น ความหนาของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในขณะเดียวกันพบว่าความเข้มข้นของลิพิดไม่มีผลต่อความหนาของฟิล์มอิมัลชันยกเว้นฟิล์มที่เติม HPO โดย Cuq และคณะ (1997) เสนอว่าปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อความหนาของฟิล์มคือปริมาณของแข็งในสารละลายฟิล์ม ผลที่ได้จากการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Han และคณะ (2006) ซึ่งศึกษาผลของการเติมไขมันในฟิล์มสตาร์ชจาก Canadian yellow field pea โดยแปรปริมาณไขมันเป็น 0,10,20,30 และ 40% พบว่าเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่ได้มีความหนาเพิ่มขึ้น และฟิล์มที่เติมไขมัน 40% มีความหนาสูงสุด นอกจากนี้ Limpisophon, Tanaka และ Osako (2010) ซึ่งศึกษาสมบัติของฟิล์มเจลาตินจากหนังปลาที่เติมกรดไขมัน ได้แก่ กรดสเตียริกและกรดโอเลอิก เข้มข้น 0-100% พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดสเตียริกหรือกรดโอเลอิกเพิ่มขึ้น ความหนาของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับผลของชนิดและการไฮโดรจีเนชันของลิพิด พบว่าฟิล์มทุกอย่างมีความหนาอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.1 ความหนาของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด ตัวอย่างควบคุมคือฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด

4.1.2 ปริมาณความชื้น

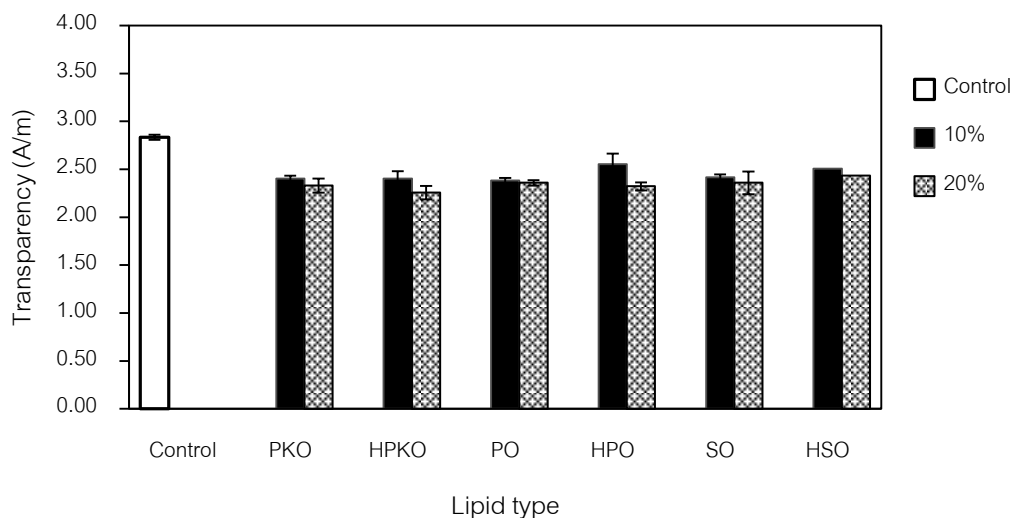
การเติมลิพิดมีผลต่อปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองดังแสดงในภาพที่ 4.2(ตารางที่ ก.2) สำหรับผลของความเข้มข้นของลิพิดพบว่าเมื่อความเข้มข้นของลิพิดเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แม้ว่าฟิล์มทุกอย่างยกเว้นฟิล์มที่เติม HPO จะมีปริมาณความชื้นที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างฟิล์มที่เติมลิพิดความเข้มข้นต่างกัน ลิพิดอาจมีผลขัดขวางการระเหยออกของน้ำจากภายในฟิล์มในระหว่างการทำแห้งแผ่นฟิล์ม สำหรับผลของชนิดของลิพิด โดยทั่วไปพบว่าฟิล์มที่เติมลิพิดไฮโดรจีเนตมีปริมาณความชื้นสูงกว่าฟิล์มที่เติมลิพิดที่ไม่ไฮโดรจีเนตทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลิพิดไฮโดรจีเนตมีสมบัติเป็นของแข็งสูงกว่าลิพิดที่ไม่ไฮโดรจีเนต(Morillon *et al.*, 2002) ฟิล์มที่เติมลิพิดไฮโดรจีเนตจึงมีสมบัติเป็นของแข็งสูงกว่าและส่งผลให้น้ำระเหยออกจากเมทริกซ์ของฟิล์มได้ยากกว่า



ภาพที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด ตัวอย่างควบคุมคือฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด

4.1.3 ความโปร่งแสง

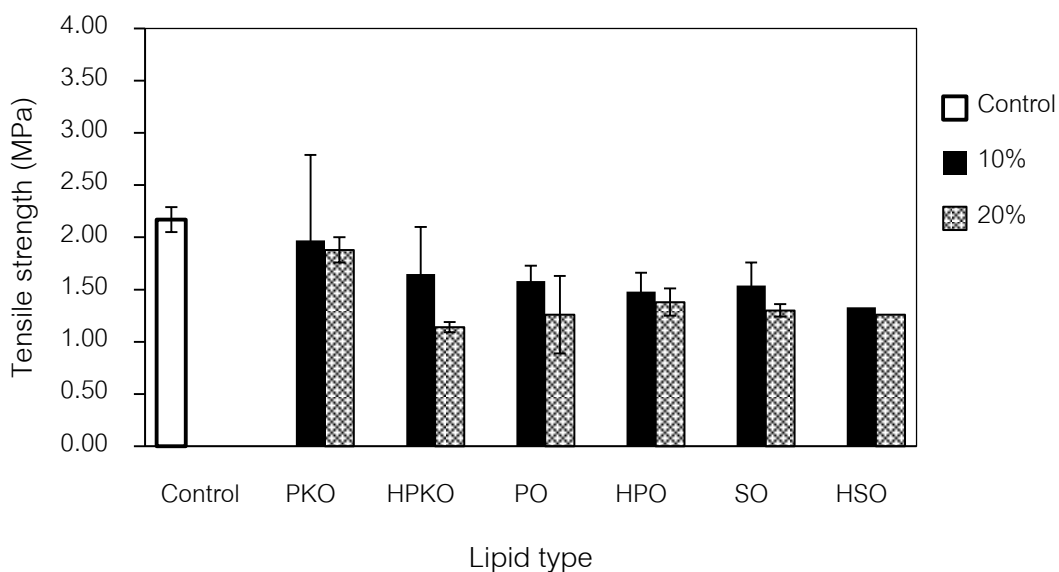
ภาพที่ 4.3(ตารางที่ ก.3) แสดงค่าความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง จากงานวิจัยนี้พบว่าความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันมีค่าต่ำกว่าฟิล์มควบคุมที่ไม่เติมลิพิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ความขุ่นของระบบอิมัลชันเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของดัชนีหักเหของแสง (refractive index) ระหว่างวัฏภาคกระจาย (ลิพิด) และวัฏภาคต่อเนื่อง (เมทริกซ์ของฟิล์ม) (Morse, 1936) เมื่อความเข้มข้นของลิพิดเพิ่มขึ้นความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันจึงมีค่าลดลง ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang และ Paulson (2000) ซึ่งรายงานว่าฟิล์มเจลแลนก็มีความขุ่นเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของลิพิด (ไข่แดงหรือกรดสเตียริกผสมกรดพาล์มมิติกในอัตราส่วน 1:1) มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Limpisophon และคณะ (2010) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดสเตียริกและกรดโอเลอิกเพิ่มสูงขึ้น ความโปร่งแสงของฟิล์มฟิล์มเจลลาตินจากหนังปลามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สำหรับผลของชนิดของลิพิดโดยทั่วไปพบว่าชนิดของลิพิดไม่มีผลต่อความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชัน



ภาพที่ 4.3 ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด ตัวอย่างควบคุมคือฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด

4.1.4 สมบัติเชิงกล

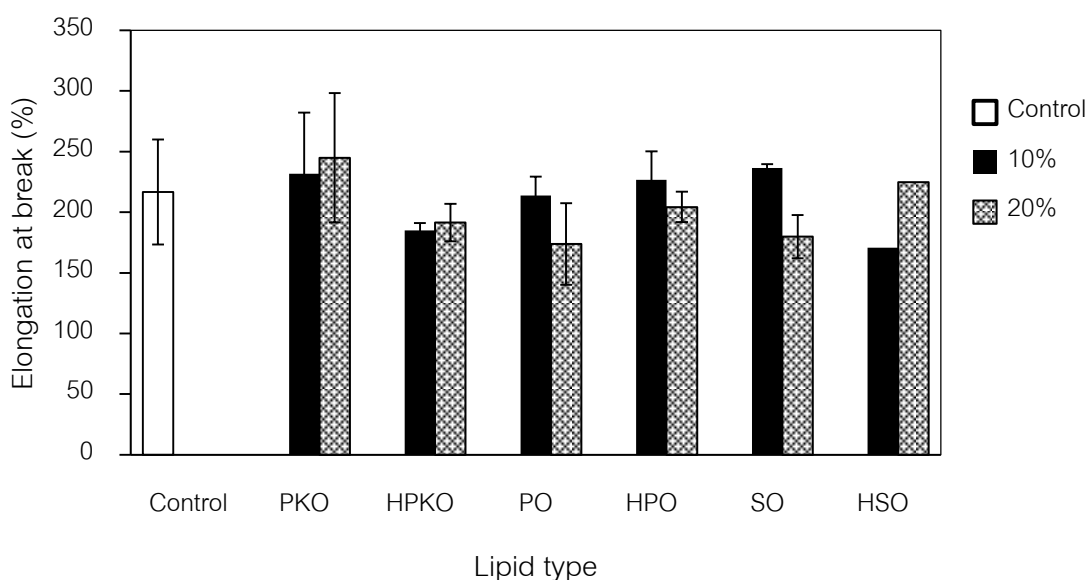
ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength, TS) คือความเครียดที่เกิดขึ้นในขณะดึงที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของแผ่นฟิล์มที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นฟิล์มนั้นขาด ส่วนการยืดตัวถึงจุดขาด (elongation at break, EB) คือร้อยละของระยะทางที่ฟิล์มยืดออกด้วยแรงดึงจนขาด ต่อความยาวเดิม Guilbert (1986) เสนอว่า TS ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์มากกว่าความแข็งแรงของพันธะภายในโมเลกุลพอลิเมอร์ในขณะที่ EB ขึ้นอยู่กับระยะระหว่างหมู่ที่เกิดอันตรกิริยาของโมเลกุลพอลิเมอร์ หากระยะระหว่างหมู่เคมีที่เกิด อันตรกิริยามีค่าน้อย EB ของฟิล์มจะมีค่าต่ำ ภาพที่ 4.4 และ 4.5 (ตารางที่ ก.4 และ ตารางที่ ก.5) แสดง TS และ EB ของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด ตัวอย่างควบคุมคือฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด

จากภาพที่ 4.4(ตารางที่ ก.4) พบว่าฟิล์มที่เติมลิพิดมีค่า TS ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มควบคุมที่ไม่เติมลิพิด ($p \leq 0.05$) และในขณะเดียวกันพบว่าเมื่อความเข้มข้นของลิพิดเพิ่มขึ้น TS ของฟิล์มอิมัลชันมีแนวโน้มลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากลิพิดที่เติมลงไปมีผลขัดขวางการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลโปรตีนซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของฟิล์ม ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang และ Paulson (2000) ซึ่งศึกษาผลของไขมันและกรดพาล์มมิติกผสมกรดสเตียริกต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลแลนแกม พบว่า TS ของฟิล์มมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของลิพิดเพิ่มสูงขึ้นจาก 0 เป็น 20% ในทำนองเดียวกัน Peroval และคณะ (2002) ศึกษาผลของลิพิดที่มีต่อ TS ของฟิล์มอะราบิโนไซแลน ลิพิดที่ศึกษาในงานวิจัยดังกล่าว ได้แก่ กรดพาล์มมิติก กรดสเตียริก ไตรโอเลอิน และน้ำมันปาล์มไฮโดรจีเนต พบว่า TS ของฟิล์มที่เติมลิพิดมีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด และฟิล์มที่เติมลิพิดเข้มข้น 20% มีค่า TS ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมลิพิดเข้มข้น 10% นอกจากนี้ Han และคณะ (2006) ซึ่งศึกษาผลของการเติมไขมันต่อสมบัติของฟิล์มสตาร์ชจาก Canadian yellow field pea พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไขมันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 40% ฟิล์มที่ได้มีค่า TS ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) Monedero และคณะ (2009) รายงานว่าฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ทดแทนด้วยไขมันและกรดโอเลอิกมี TS ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ

ฟิล์มที่ไม่เติมลิพิดนอกจากนี้พบว่าฟิล์มที่เติมลิพิดจากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (เมล็ดในปาล์ม เปลือกของผลปาล์มและถั่วเหลือง) ให้ TS ที่มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากลิพิดที่ใช้นอกจากจะมีกรดไขมันหลัก(กรดลอริก กรดพาล์มมิติก และลิโนเลอิกตามลำดับ)แล้วยังมีกรดไขมันอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย (ตาราง 2.2) นอกจากนี้ตำแหน่งของกรดไขมันในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ยังมีผลต่อสมบัติของไขมันจึงทำให้ผลที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ผลในการทำงานเดียวกันนี้ยังสามารถพบในสมบัติด้านอื่นๆ ของฟิล์มที่เติมลิพิดจากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (หัวข้อ 4.1.1-4.1.6)



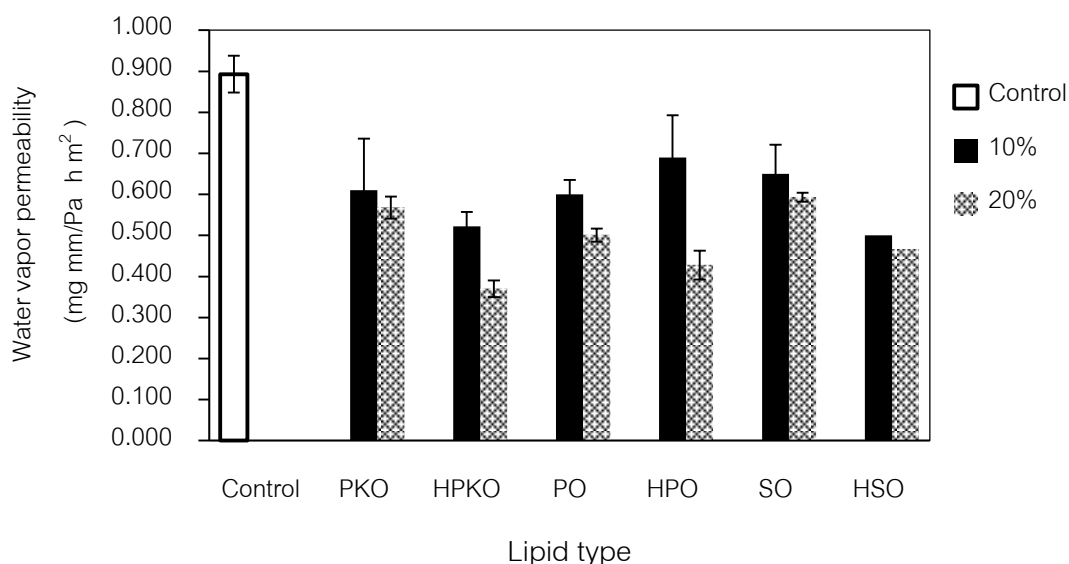
ภาพที่ 4.5 การยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด ตัวอย่างควบคุมคือฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด

สำหรับ EB (ภาพที่ 4.5 และตารางที่ ก. 5) พบว่าการเติมลิพิดมีผลค่อนข้างน้อยต่อ EB ของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลือง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่เติมลิพิดผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Han และคณะ (2006) ซึ่งศึกษาสมบัติของฟิล์มสตาร์ชจาก Canadian yellow field pea ที่เติมไขมัน โดยแปรความเข้มข้นของไขมันตั้งแต่ 0-40% พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไขมันเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่ได้มีค่า EB ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลชนิดของลิพิด (ภาพที่ 4.4 และ 4.5) พบว่าฟิล์มที่เติมน้ำมันไฮโดรจีเนตมี TS และ EB ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมน้ำมันที่ไม่ไฮโดรจีเนต ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำมันไฮโดรจีเนตมีความเป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันที่ไม่ไฮโดรจีเนต จึงมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอในอิมัลชันและเกิดเป็นอนุภาคลิพิดที่มีขนาดใหญ่ซึ่งอาจ

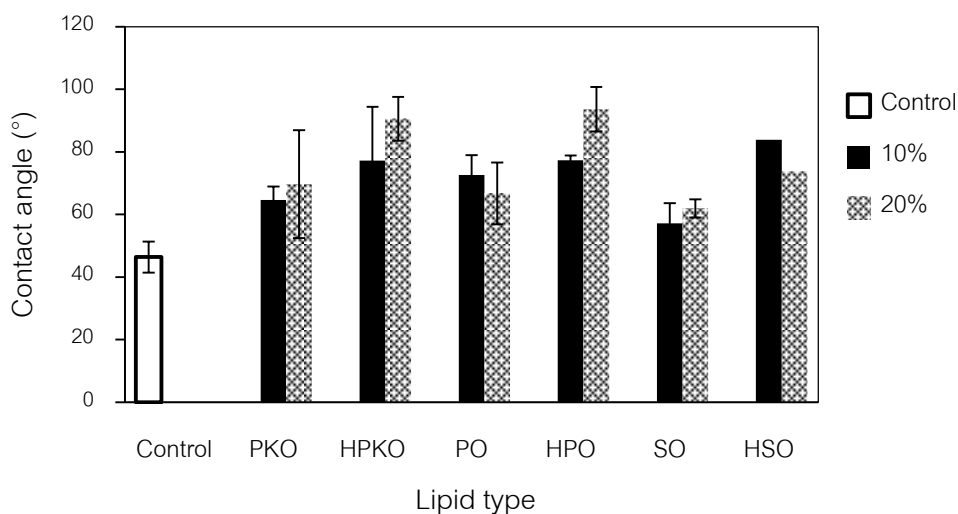
เป็น “weak spot” ที่ทำให้ฟิล์มเกิดการฉีกขาดได้ง่ายเมื่อถูกดึง Fernandez และคณะ (2006) ซึ่งศึกษาผลของระดับความไม่อิ่มตัวและความเข้มข้นของกรดไขมันต่อสมบัติของฟิล์มเวย์โปรตีนลิพิดที่ศึกษาได้แก่กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก แปรความเข้มข้นตั้งแต่ 0-40% พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น EB ของฟิล์มมีค่าลดต่ำลง และฟิล์มที่เติมกรดสเตียริกซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและมีความเป็นของแข็งสูงกว่ามีค่า EB ที่ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.1.5 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและมูมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม

สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ (water vapor permeability, WVP) คือปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าด้านหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยความหนาของฟิล์มในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้ภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนมูมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มบ่งบอกถึงสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำของผิวฟิล์ม หากผิวฟิล์มมีสมบัติไม่ชอบน้ำค่ามูมสัมผักระหว่างน้ำหยดกับผิวฟิล์มจะมีค่าสูง (Rios *et al.*, 2007) ภาพที่ 4.6 และ 4.7 แสดง WVP และมูมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดตามลำดับ



ภาพที่ 4.6 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิดตัวอย่างควบคุมคือฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด



ภาพที่ 4.7 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิดตัวอย่างควบคุมคือฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด

จากภาพที่ 4.6 และ 4.7 (ตารางที่ ก.6 และตารางที่ ก.7) พบว่าฟิล์มที่เติมลิพิดมี WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่เติมลิพิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยฟิล์มที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% มี WVP ต่ำที่สุดและมีมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มสูง ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ Kamper และ Fennema (1984) ซึ่งศึกษา WVP ของฟิล์มอิมัลชันจากไฮดรอกซีโทรพิลเมทิลเซลลูโลสและลิพิดชนิดต่างๆ ได้แก่ ไข่แดง พาราฟิน และน้ำมันปาล์มไฮโดรจีเนต และพบว่าฟิล์มที่เติมลิพิดมี WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด นอกจากนี้ Kamper และ Fennema (1984) ยังรายงานว่าฟิล์มไฮดรอกซีโทรพิลเมทิลเซลลูโลสที่เติมกรดไขมัน ได้แก่ กรดลอริก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดสเทียริกผสมกรดพาล์มมิติก มี WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่เติมกรดไขมัน และ Monedero และคณะ (2009) ศึกษาผลของการเติมไข่แดงต่อ WVP ของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด พบว่าการเติมไข่แดงส่งผลให้ WVP ของฟิล์มมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่เติมไข่แดง

ในด้านผลของความเข้มข้นของลิพิด โดยทั่วไปพบว่าเมื่อความเข้มข้นของลิพิดเพิ่มขึ้น WVP มีค่าลดลง สอดคล้องกับมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มที่มีค่าเพิ่มขึ้น Shellhammer และ Krochta (1997) ศึกษาผลของปริมาณลิพิดต่อ WVP ของฟิล์มเวย์โปรตีนและ

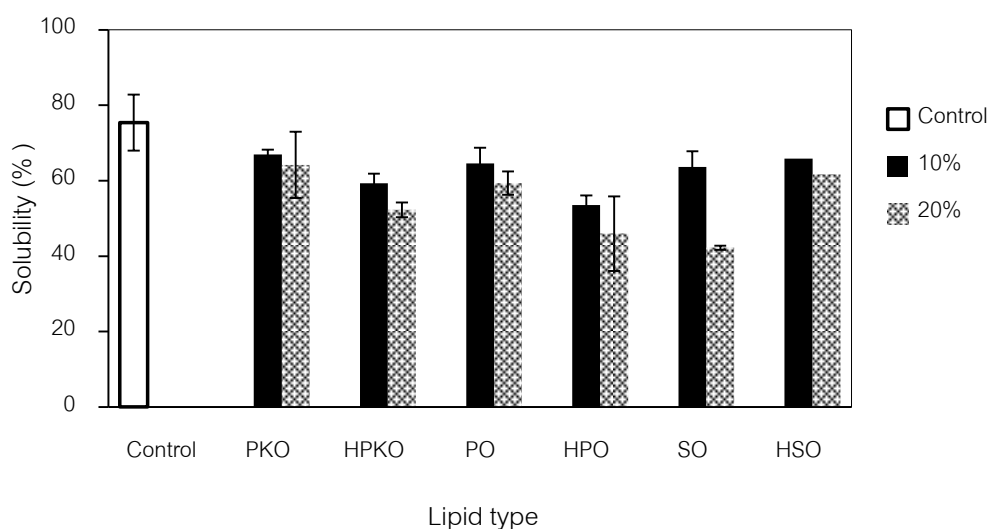
รายงานผลในทำนองเดียวกัน โดยลิพิดที่ใช้ในการศึกษาของ Shellhammer และ Krochta (1997) ได้แก่ ไขมันนม ไขมันพืช แคนเดิลลิลลาแว็กซ์ และคาร์นูบาแว็กซ์ นอกจากนี้ Yang และ Paulson (2000) ศึกษาผลของการเติมลิพิดต่อ WVP ของฟิล์มเจลแลนกัน โดยลิพิดที่ใช้ศึกษา ได้แก่ ไขมันพืช และกรดพาล์มมิติกผสมกรดสเตียริก แปรความเข้มข้นของลิพิดตั้งแต่ 0-20% พบว่าเมื่อความเข้มข้นของลิพิดเท่ากับ 20% ค่า WVP ของฟิล์มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วน Han และคณะ (2006) ศึกษาผลของปริมาณไขมันพืชต่อ WVP ของฟิล์มสตาร์ชจาก Canadian yellow field pea และรายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไขมันพืชเพิ่มขึ้น WVP ของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วน Kokoszka และคณะ (2010) รายงานว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันเรพชืดที่เติมในฟิล์มเวบ์โปรตีนเพิ่มสูงขึ้น มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของไฮโดรจีเนชันของลิพิด โดยทั่วไปพบว่าฟิล์มที่เติมลิพิดไฮโดรจีเนตมี WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมลิพิดที่ไม่ไฮโดรจีเนต ในทำนองเดียวกันพบว่าฟิล์มที่เติมลิพิดไฮโดรจีเนตมีความมุมสัมผัสสูงกว่าฟิล์มที่เติมลิพิดที่ไม่ไฮโดรจีเนต ทั้งนี้เนื่องจากลิพิดไฮโดรจีเนตมีความเป็นขั้วต่ำกว่าและมีความไม่ชอบน้ำสูงกว่า (Peroval *et al.*, 2002) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kamper และ Fennema (1984) ซึ่งศึกษาผลของลิพิดต่อ WVP ของฟิล์มไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส และพบว่าฟิล์มที่เติมกรดสเตียริกซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวมี WVP ต่ำกว่าฟิล์มที่เติมกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว McHugh และ Krochta (1994) เสนอว่า WVP ของฟิล์มอิมัลชันสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลวและการละลายของลิพิด โดยลิพิดที่มีจุดหลอมเหลวสูงและมีความสามารถในการละลายต่ำจะมีผลลด WVP ของฟิล์มได้มากกว่า

4.1.6 ความสามารถในการละลายน้ำ

ภาพที่ 4.8(ตารางที่ ก. 8) แสดงความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง พบว่าการเติมลิพิดส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยความสามารถในการละลายน้ำมีค่าลดต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของลิพิดเพิ่มขึ้น โดยผลที่ได้นี้สอดคล้องกับมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม (หัวข้อ 4.1.5) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Perez-Mateos และคณะ (2007) ที่ศึกษาผลของการเติมน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันต่อความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มเจลาตินที่ผลิตจากปลาเค็ม โดยแปรความเข้มข้นของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันเป็น 0, 0.3, 0.6 และ 1% พบว่าฟิล์มที่ไม่เติมน้ำมันมีความสามารถในการละลายน้ำสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม Zahedi และคณะ (2010) รายงานผลที่ต่างไป โดยพบว่าชนิด (กรดสเตียริกและกรดพาล์มมิติก) และความเข้มข้น (2,

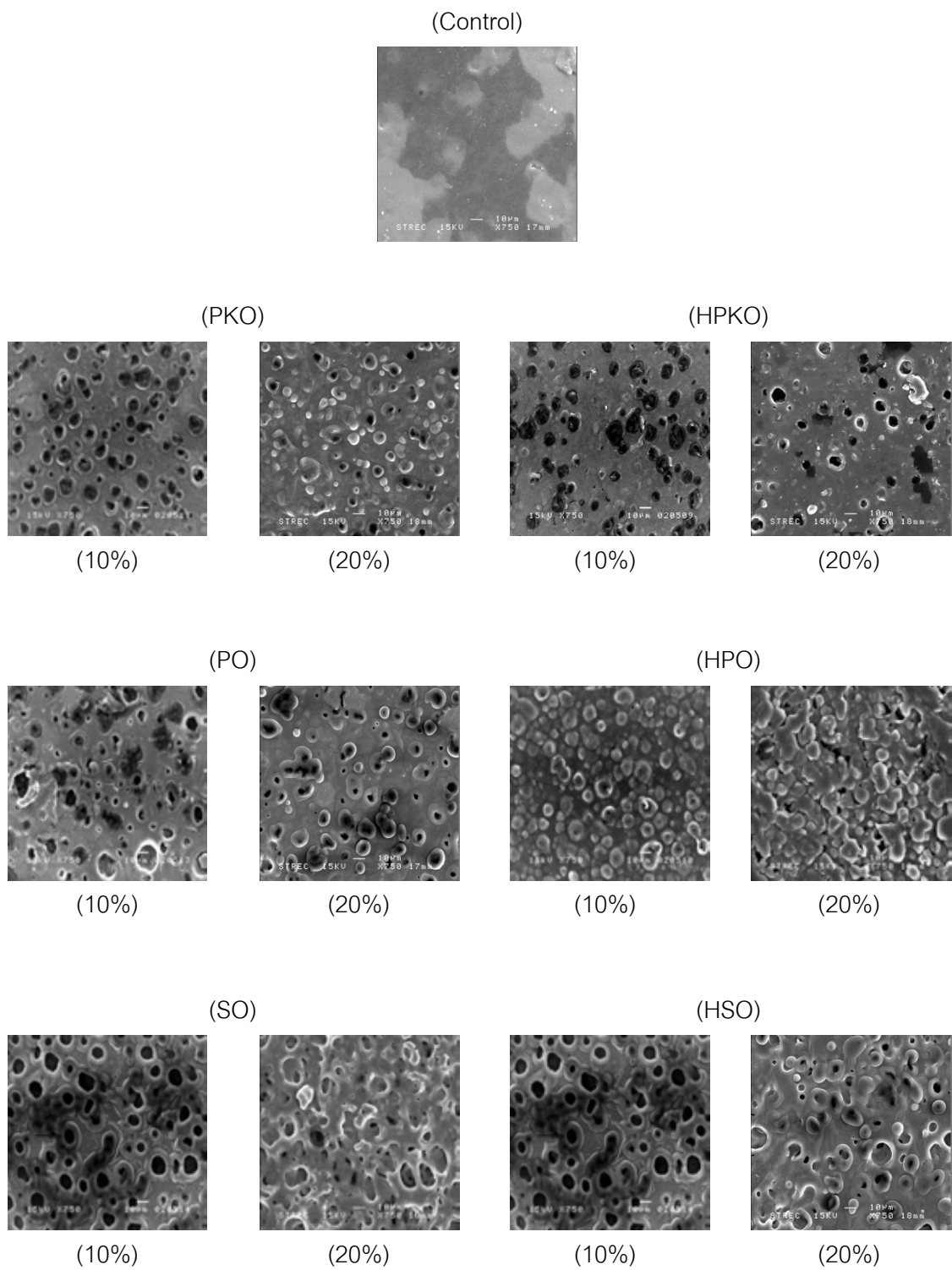
4 และ 6%) ของกรดไขมันไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มโปรตีนจากพิสตาชิโออย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดไขมันมีความเป็นขั้วสูงกว่าไตรกลีเซอไรด์ การเติมกรดไขมันจึงไม่ส่งผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มโปรตีนเท่ากับกรณีการเติมไตรกลีเซอไรด์



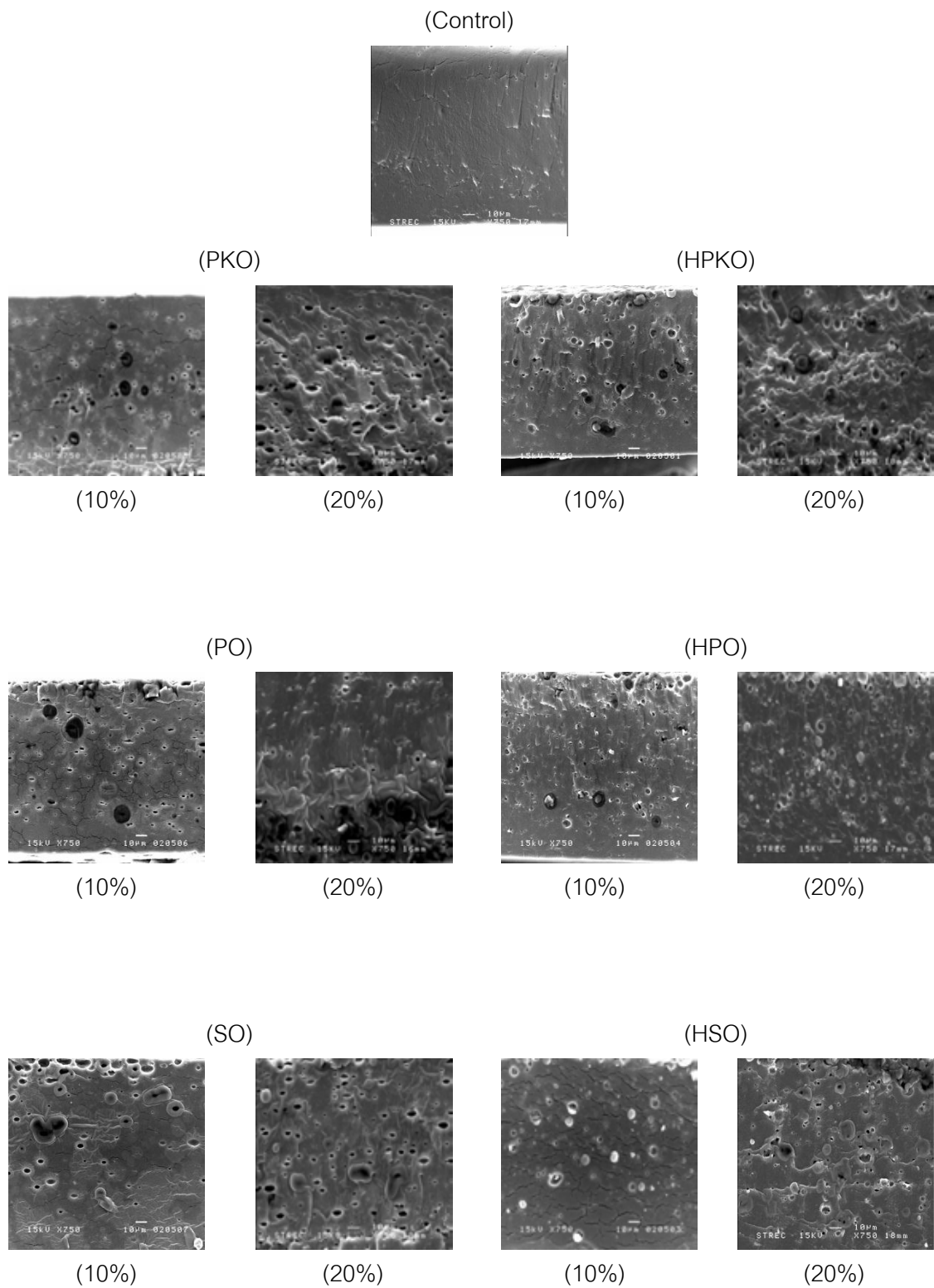
ภาพที่ 4.8 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิดตัวอย่างควบคุมคือฟิล์มที่ไม่เติมลิพิด

4.1.7 ลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวาง

ภาพที่ 4.9 และ 4.10 แสดงลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองตามลำดับพบว่าลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มควบคุมที่ไม่เติมลิพิด Control มีลักษณะที่เรียกว่าตัวอย่างฟิล์มที่เติมลิพิด เมื่อพิจารณาฟิล์มที่เติมน้ำมันไฮโดรจีเนต (HPKO, HPO และ HSO) พบว่ามีอนุภาคลิพิดหรือกลุ่มของอนุภาคลิพิดขนาดใหญ่ซึ่งการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่เติมน้ำมันที่ไม่ไฮโดรจีเนต (PKO, PO และ SO) ผลที่ได้สนับสนุนผลการวิจัยในหัวข้อ 4.1.4 ที่พบว่าการเติมลิพิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งลิพิดไฮโดรจีเนตมีผลให้ฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมี TS และ EB ลดต่ำลงเนื่องจากอนุภาคของลิพิดมีผลขัดขวางโครงสร้างที่เป็นร่างแหต่อเนื่องของโปรตีน และผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vargas และคณะ (2009) ซึ่งรายงานว่ฟิล์มโคโคซานที่ไม่เติมกรดโอเลอิกมีลักษณะพื้นผิวที่เรียกว่าฟิล์มที่เติมกรดโอเลอิก และเมื่อความเข้มข้นของกรดโอเลอิกเพิ่มสูงขึ้น ขนาดอนุภาคของลิพิดในเมทริกซ์ของฟิล์มมีขนาดใหญ่ขึ้น



ภาพที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง



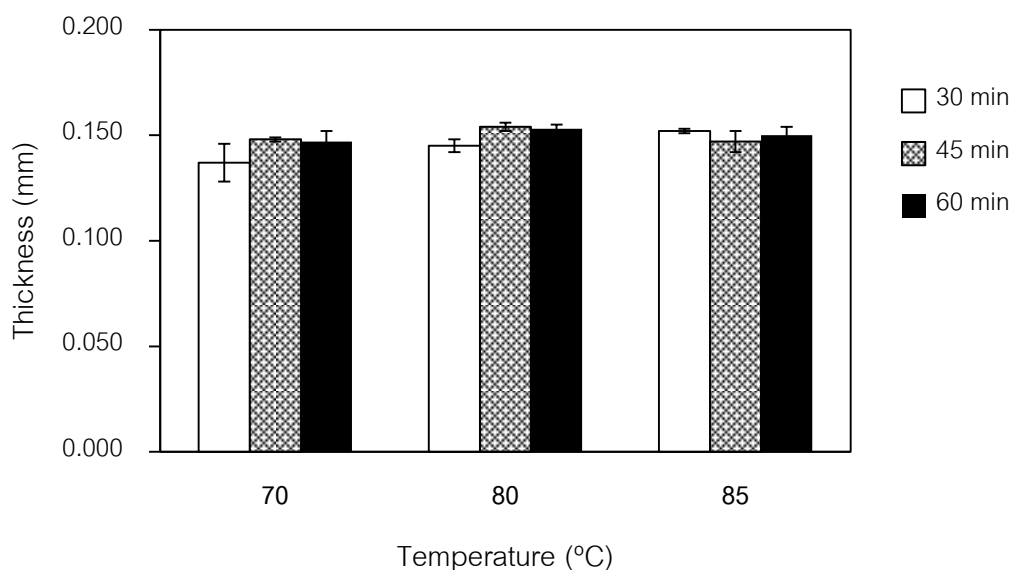
ภาพที่ 4.10 ลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง

4.2 ผลของการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง

งานวิจัยในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อน โดยคัดเลือกตัวอย่างฟิล์มจากในหัวข้อ 4.1 ที่มี WVP ต่ำ ซึ่งได้แก่ฟิล์มที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% โดยแปรอุณหภูมิการบ่มสารละลายฟิล์มเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 70, 80 และ 85 °C และแปรระยะเวลาการบ่มสารละลายฟิล์มเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 30, 45 และ 60 นาที ผลการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มมีดังนี้

4.2.1 ความหนา

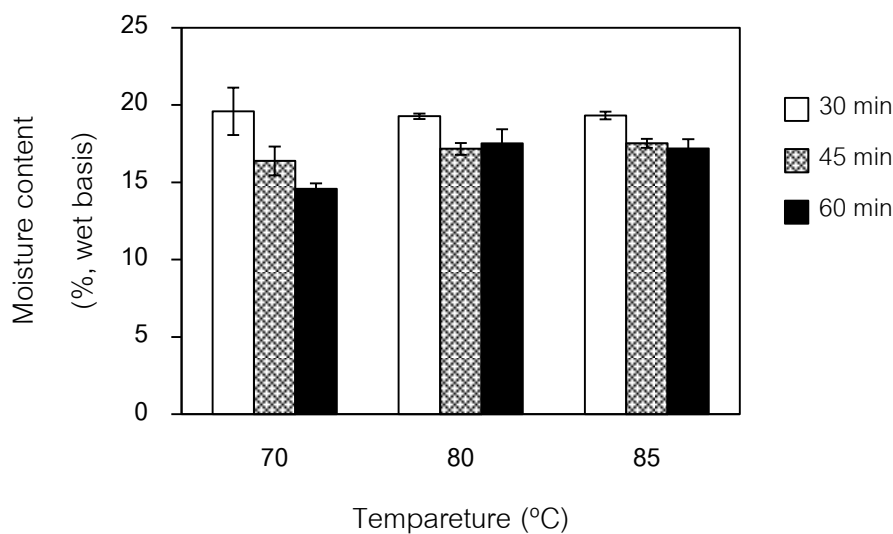
ภาพที่ 4.11 (ตารางที่ ก.9) แสดงความหนาของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ พบว่าระยะเวลา และอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อความหนาของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และอุณหภูมิมีผลต่อความหนาของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยพบว่า การบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิสูงและ/หรือเป็นระยะเวลานานทำให้ตัวทำละลายในสารละลายฟิล์มระเหยออกได้มากกว่า ส่งผลให้ปริมาณของแข็งในสารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นและฟิล์มมีความหนา



ภาพที่ 4.11 ความหนาของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่ อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

4.2.2 ปริมาณความชื้น

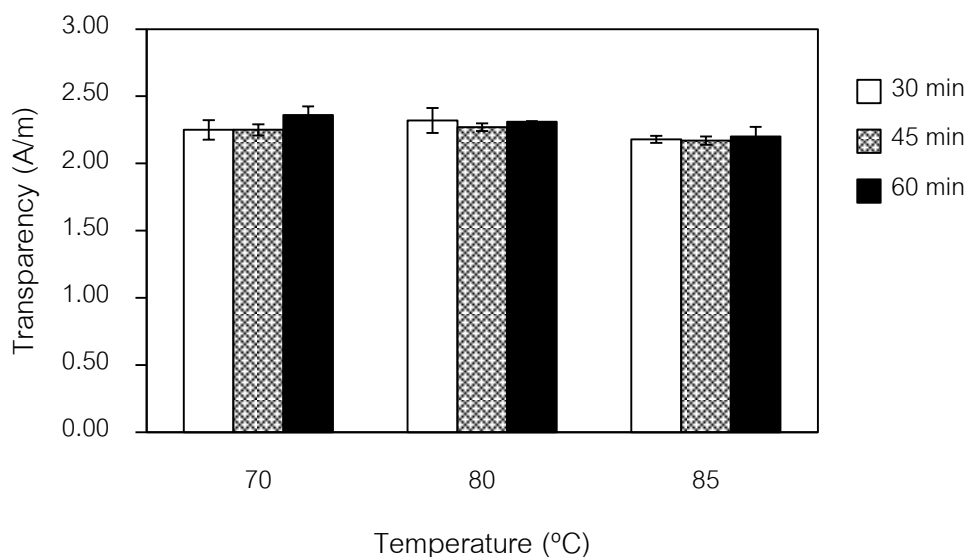
ภาพที่ 4.12 และตารางที่ ก.9 แสดงปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิต โดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ พบว่าอุณหภูมิและอิทธิพลร่วมของ อุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มมีผลต่อปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชัน จากโปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และระยะเวลามีผลต่อปริมาณความชื้น ของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) สำหรับผลของอุณหภูมิการ บ่มสารละลายฟิล์มพบว่าฟิล์มที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่ 80 และ 85°C มีปริมาณความชื้น ใกล้เคียงกัน ในขณะที่เดียวกันเมื่อระยะเวลาการบ่มสารละลายฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นพบว่าปริมาณ ความชื้นของฟิล์มมีค่าลดลง โดยฟิล์มที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มเป็นระยะเวลา 60 นาที มี ปริมาณความชื้นต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.12 ปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

4.2.3 ความโปร่งแสง

ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.13(ตารางที่ ก.9) พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) เมื่ออุณหภูมิการบ่มสารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้น ความโปร่งแสงของฟิล์มมีค่าลดต่ำลง โดยฟิล์มที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่ 85 °C มีความโปร่งแสงต่ำที่สุด ความโปร่งแสงที่ลดลงนี้อาจเนื่องจากความหนาที่เพิ่มสูงขึ้น สำหรับระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาพบว่าไม่มีผลต่อความโปร่งแสงของฟิล์ม ($p > 0.05$) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Choi และ Han (2002) ซึ่งศึกษาการบ่มสารละลายฟิล์มโปรตีนจาก Canadian yellow field pea ที่ 90°C เป็นเวลา 0, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 นาทีพบว่าระยะเวลาการบ่มสารละลายฟิล์มไม่มีผลต่อความโปร่งแสงของฟิล์ม



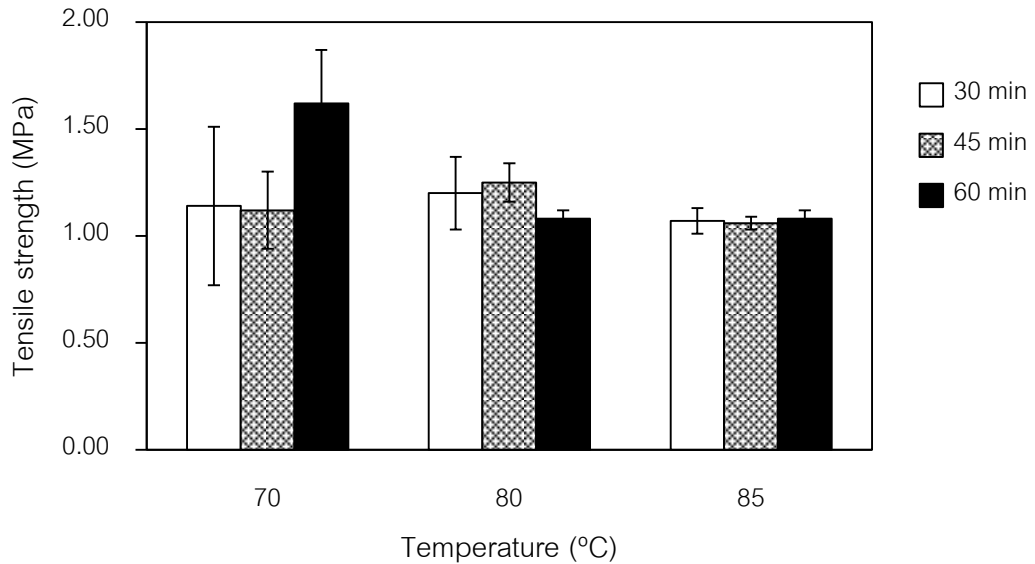
ภาพที่ 4.13 ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

4.2.4 สมบัติเชิงกล

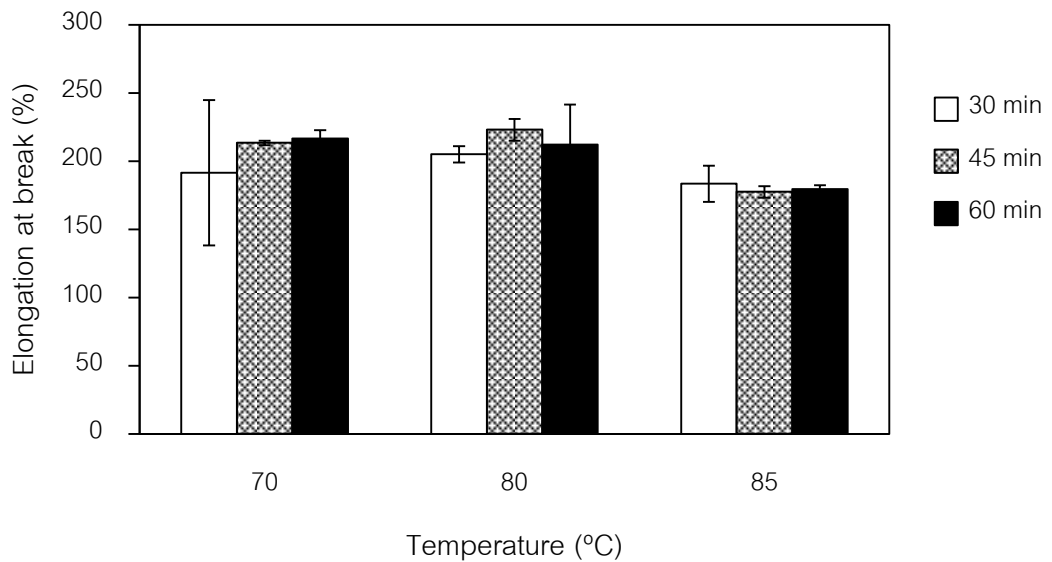
ภาพที่ 4.14 และ 4.15 (ตารางที่ ก. 10) แสดง TS และ EB ของฟิล์มอิมัลชันตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มมีผลต่อ TS ของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มไม่มีผลต่อ TS ของฟิล์ม ($p > 0.05$) สำหรับ EB พบว่าอุณหภูมิในการบ่มสารละลายฟิล์มมีผลต่อ EB ของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) แต่ระยะเวลาและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาไม่มีผลต่อ EB ของฟิล์ม ($p > 0.05$)

การบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นระยะเวลา 60 นาทีส่งผลให้ฟิล์มมีค่า TS และ EB สูงที่สุด (1.62 MPa และ 216.48 % ตามลำดับ) Park และคณะ (2002) เสนอว่าการบ่มสารละลายโปรตีนด้วยความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีนถั่วเหลือง สามารถช่วยเพิ่มการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลโปรตีนได้ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °C ในภาวะที่เป็นด่างจะทำให้สายโซ่พอลิเพปไทด์คลายตัวออก เป็นผลให้หมู่ซัลฟ์ไฮดริลและหมู่ไฮโดรโฟบิกที่อยู่ภายในปรากฏขึ้นที่ด้านนอกของโมเลกุล และสามารถเกิดพันธะเชื่อมข้ามได้ นอกจากนี้ Jensen (1959) ภาวะที่เป็นด่างยังช่วยเสริมการ

เกิดปฏิกิริยา thiol-disulfide exchange ซึ่งเพิ่มการเชื่อมข้ามของโมเลกุลโปรตีนด้วยพันธะไดซัลไฟด์อีกด้วย



ภาพที่ 4.14 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ



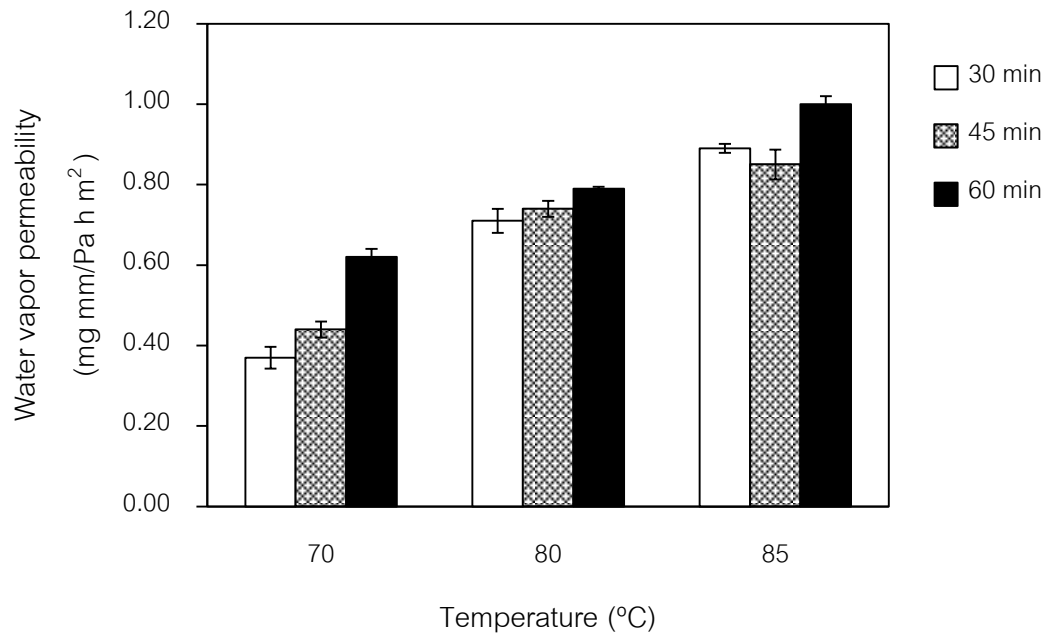
ภาพที่ 4.15 การยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนที่มากเกินไปอาจส่งผลเชิงลบต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มตัวอย่างเช่น ฟิล์มที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 60 นาทีมี TS และ EB ต่ำที่สุด เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ และไม่สามารถเกิดเป็นโครงร่างแหที่แข็งแรงได้

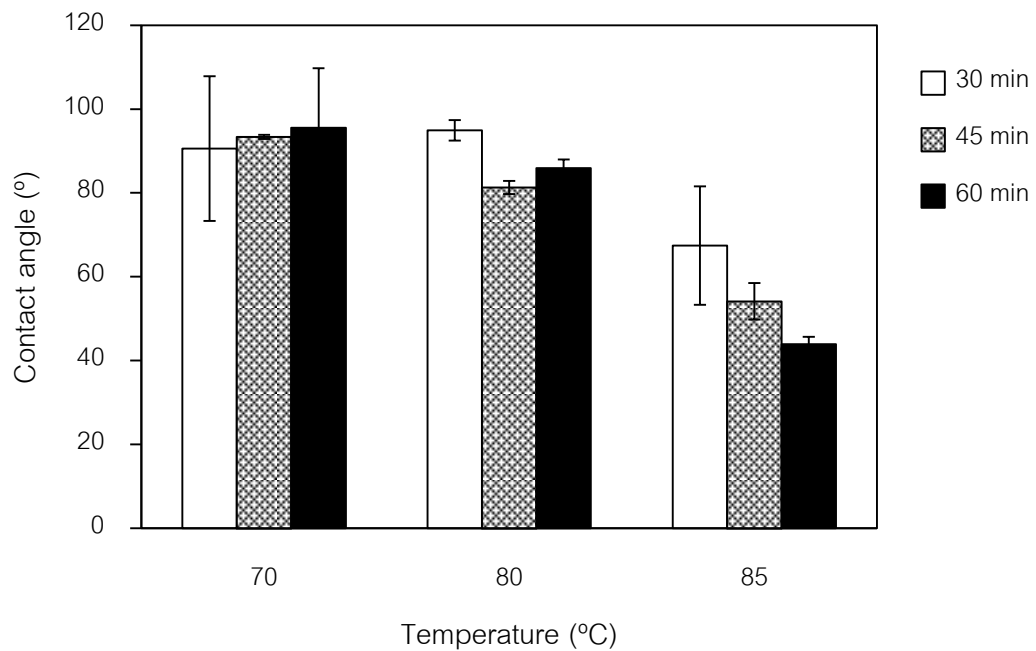
4.2.5 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและมัมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม

ภาพที่ 4.16 และ 4.17 (ตารางที่ ก.11) แสดง WVP และมัมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันตามลำดับพบว่าอุณหภูมิระยะเวลา และอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มมีผลต่อ WVP ของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) เมื่ออุณหภูมิหรือระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้น WVP ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิสูงหรือระยะเวลานานทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติส่งผลทำให้โครงสร้าร่างแหของฟิล์มเชื่อมต่อกันไม่หนาแน่นเกิดเป็นลักษณะรูพรุนทำให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ดี

สำหรับมัมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มพบว่าอุณหภูมิในการบ่มสารละลายฟิล์มมีผลต่อมัมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ในขณะที่ระยะเวลาและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาไม่มีผลต่อค่ามัมสัมผัส ($p > 0.05$) โดยมัมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น ผลที่ได้สัมพันธ์กับ WVP ที่เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยนี้พบว่าฟิล์มที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 60 นาทีมีค่า WVP สูงที่สุดและมีมัมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มต่ำที่สุด (1.00 mg mm/Pa h m² และ 43.91°ตามลำดับ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนมีผลให้สมบัติความไม่ชอบน้ำของฟิล์มลดต่ำลง



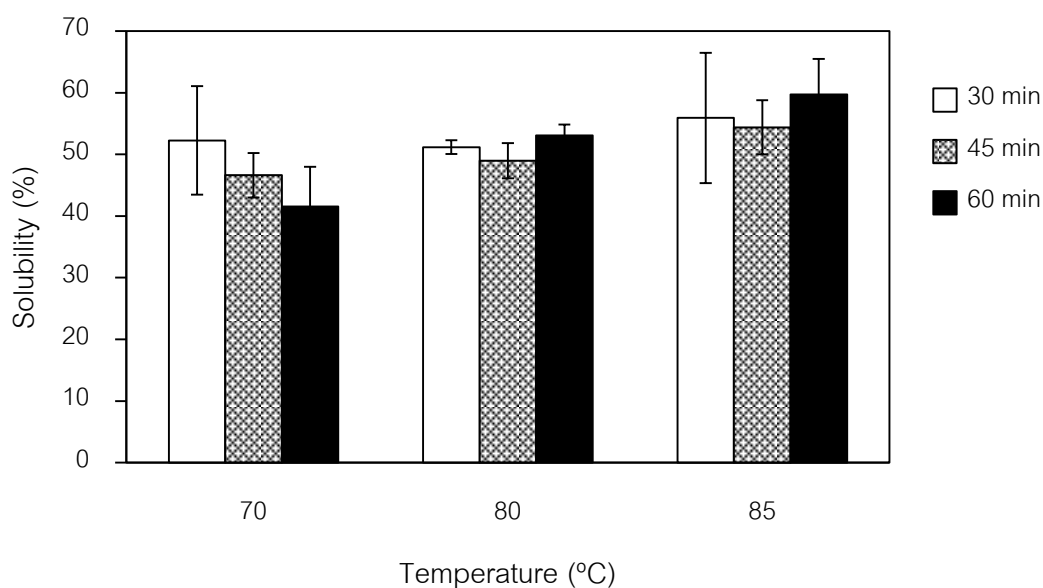
ภาพที่ 4.16 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.17 มุมสัมผัสผิระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

4.2.6 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม

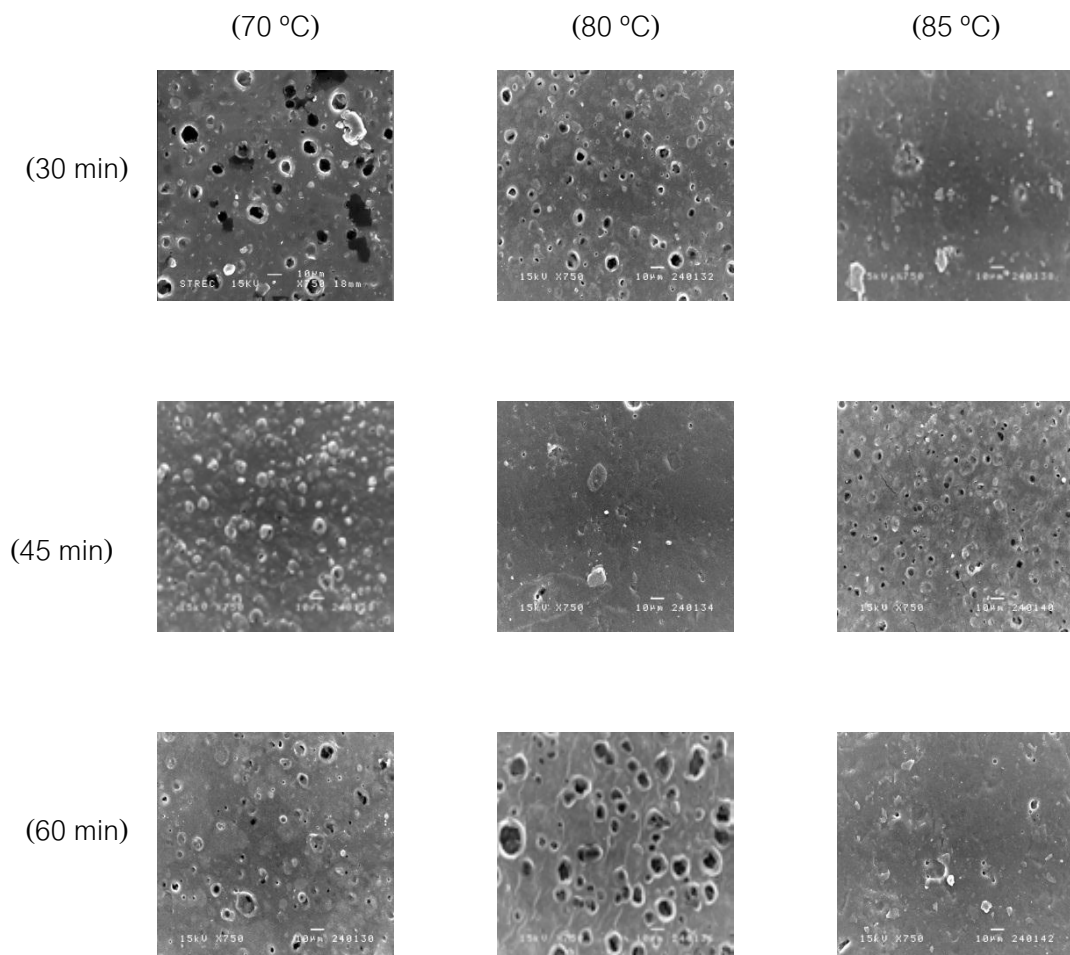
อุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ในขณะที่ระยะเวลาและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มสารละลายฟิล์มไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม ($p > 0.05$) จากภาพที่ 4.18 (ตารางที่ ก.11) จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการบ่มสารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้นความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ตัวอย่างฟิล์มที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างฟิล์มที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C มีความสามารถในการละลายน้ำสูงที่สุด ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิจัยในหัวข้อ 4.2.5 ซึ่งพบว่าการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนมีผลให้สมบัติความไม่ชอบน้ำของฟิล์มอิมัลชันลดต่ำลง



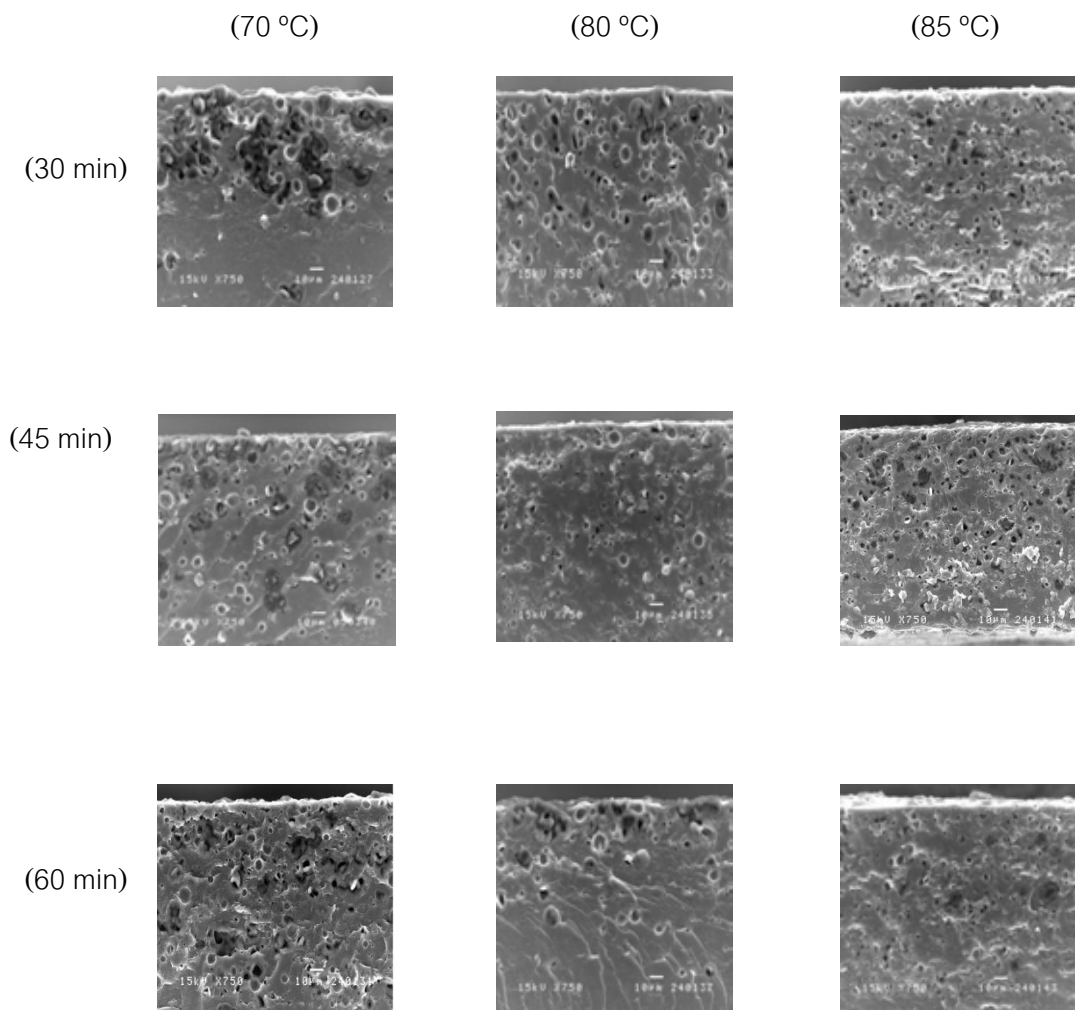
ภาพที่ 4.18 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

4.2.7 ลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวาง

ลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันดังแสดงดังภาพที่ 4.19 และ 4.20 โดยจะเห็นอนุภาคของลิพิดกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างของฟิล์ม ฟิล์มที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันมีลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวางที่ไม่ต่างกันมากนัก แสดงว่าการบ่มสารละลายฟิล์มไม่มีผลสำคัญต่อการกระจายตัวหรือขนาดอนุภาคของลิพิดในระบบอิมัลชันสมบัติของฟิล์มที่เป็นผลจากการบ่มสารละลายฟิล์มจึงอาจเป็นผลจากโครงสร้างระดับโมเลกุลของโปรตีนเนื่องจากการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนสามารถช่วยเพิ่มการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของโปรตีน (Parket *al.*, 2002)



ภาพที่ 4.19 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 85 °C เป็นระยะเวลา 30, 45 และ 60 นาที



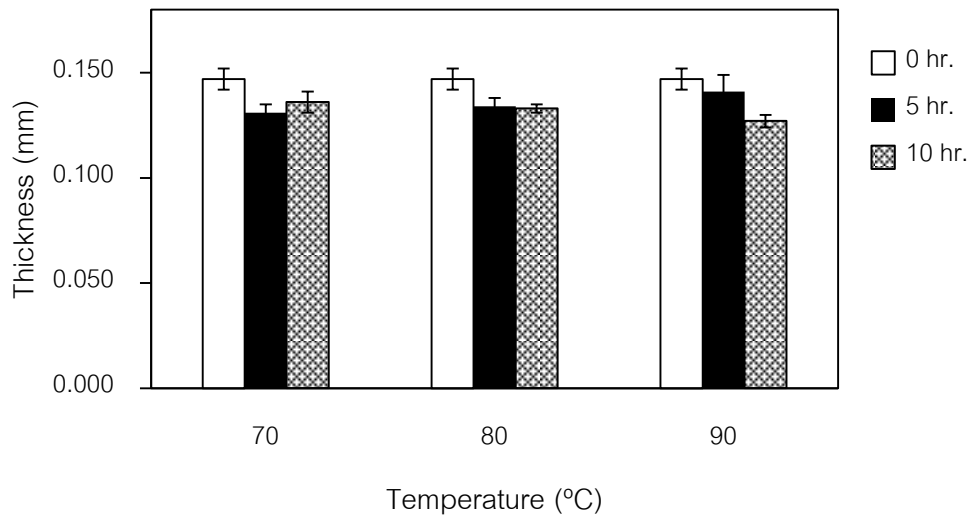
ภาพที่ 4.20 ลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 85 °C เป็นระยะเวลา 30, 45 และ 60 นาที

4.3 ผลของการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง

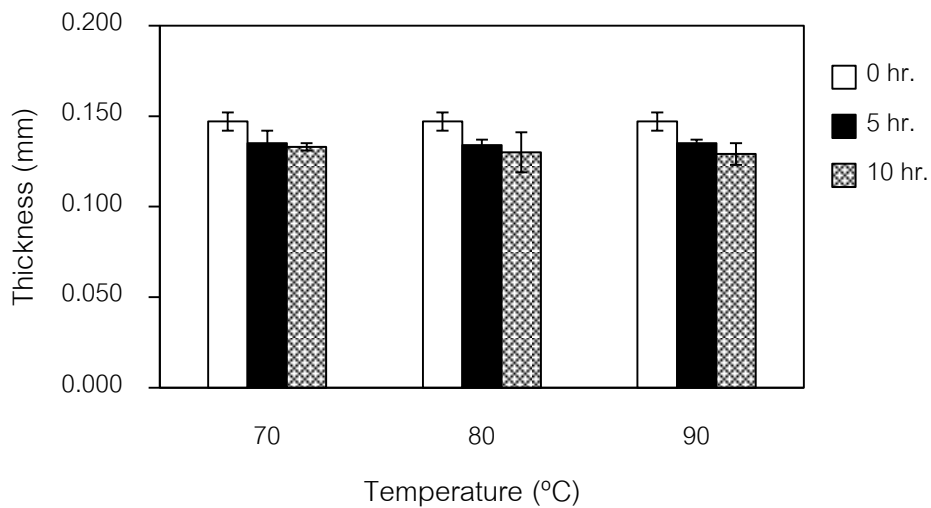
สำหรับการศึกษาผลการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อน ได้คัดเลือกภาวะการผลิตจากหัวข้อ 4.2 ที่ให้ฟิล์มที่มี TS และ EB สูงที่สุด ซึ่งได้แก่ฟิล์มที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนต (HPKO) เข้มข้น 20% ที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งต่อไปนี้จะใช้สัญลักษณ์แทนว่า SC 70/60 และภาวะการผลิตที่ให้ฟิล์มที่มี TS และ EB ต่ำที่สุด ซึ่งได้แก่ฟิล์มที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนต (HPKO) เข้มข้น 20% ที่ผลิตโดยบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที ซึ่งต่อไปนี้จะใช้สัญลักษณ์แทนว่า SC 85/45 โดยในขั้นตอนนี้แปรอุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 70, 80 และ 90 °C และแปรระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0, 5 และ 10 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มมีดังนี้

4.3.1 ความหนา

ภาพที่ 4.21 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อความหนาของ SC 70/60 และภาพที่ 4.22 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อความหนาของ SC 85/45 จากภาพที่ 4.21 และ 4.22 (ตารางที่ ก.12 และตารางที่ ก.13) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ความหนาของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ในขณะที่อุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาไม่มีผลต่อความหนา ($p > 0.05$) โดยแผ่นฟิล์มที่บ่มด้วยความร้อนมีความหนาอยู่ในช่วง 0.127-0.141 mm (ตารางที่ ก. 12) และ 0.129-0.135 mm (ตารางที่ ก. 13) ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมที่ไม่บ่มแผ่นฟิล์มมีความหนาเท่ากับ 0.147 mm พบว่าการบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมงให้ฟิล์มที่มีความหนาท่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนช่วยเร่งการระเหยของความชื้นที่อยู่ในฟิล์ม (ดังจะแสดงต่อไปในหัวข้อ 4.3.2) ก่อนหน้านี้ Jangchud และ Chinnan (1999) รายงานว่าอุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มมีผลต่อความหนาของฟิล์มโปรตีนถั่วลิสงเข้มข้น (peanut protein concentrate) ในงานวิจัยดังกล่าวบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความหนาลดลง



ภาพที่ 4.21 ความหนาของฟิล์มอีพ็อกซีจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



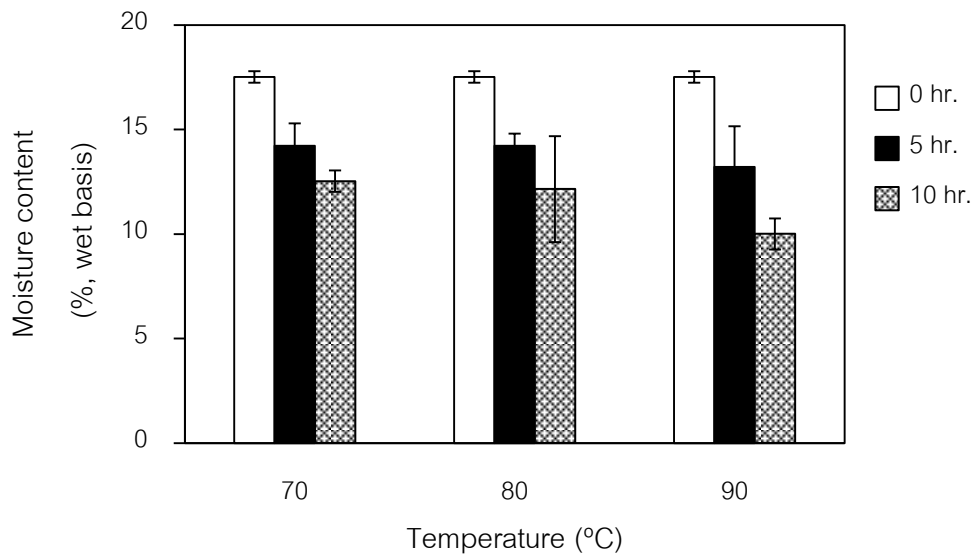
ภาพที่ 4.22 ความหนาของฟิล์มอีพ็อกซีจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง

4.3.2 ปริมาณความชื้น

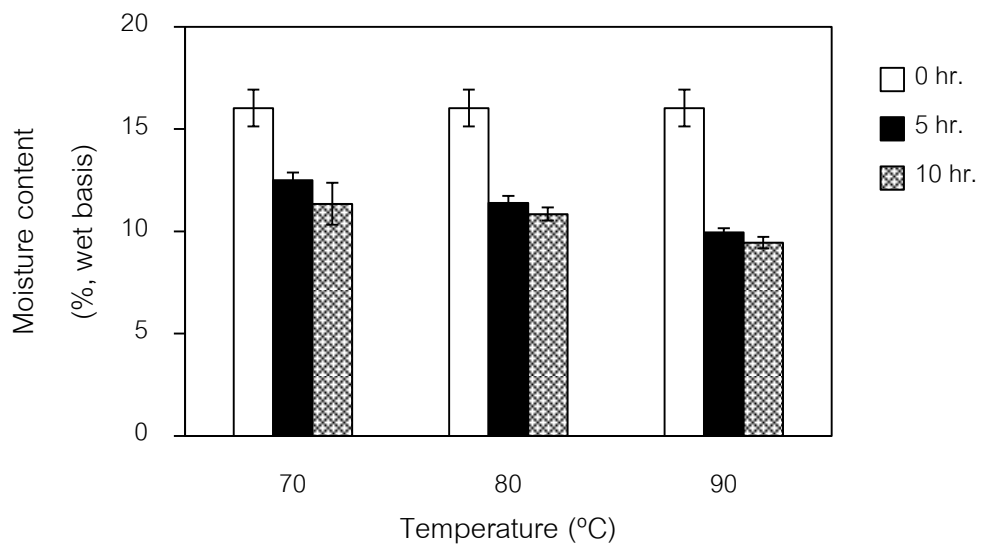
ภาพที่ 4.23 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อปริมาณความชื้นของ SC 70/60 และภาพที่ 4.24 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อปริมาณความชื้น SC 85/45

สำหรับ SC 70/60 (ภาพที่ 4.23 และตารางที่ ก.12) พบว่าอุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลา มีผลต่อปริมาณความชื้นของฟิล์ม โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$)

อย่างไรก็ตาม สำหรับ SC 85/45 (ภาพที่ 4.24 และตารางที่ ก.13) พบว่าระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มมีผลต่อปริมาณความชื้น ($p \leq 0.01$) ในขณะที่อุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ($p > 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง Gennadios และคณะ (1996) ศึกษาการบ่มแผ่นฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่อุณหภูมิ 80 และ 90 °C เป็นเวลา 2, 6, 14 และ 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง นอกจากนี้ Jangchud และ Chinnan (1999) รายงานในทำนองเดียวกันว่าเมื่ออุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มโปรตีนถั่วลิสงเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง



ภาพที่ 4.23 ปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง

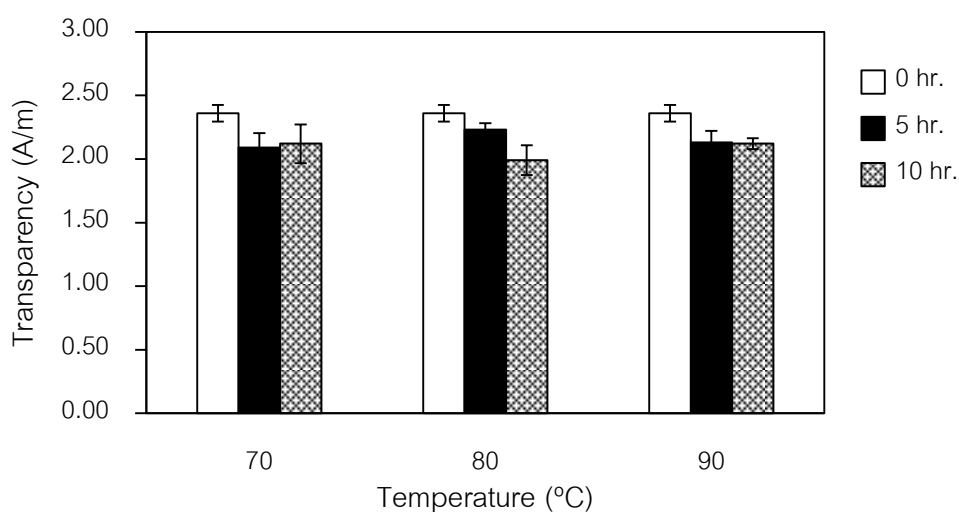


ภาพที่ 4.24 ปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง

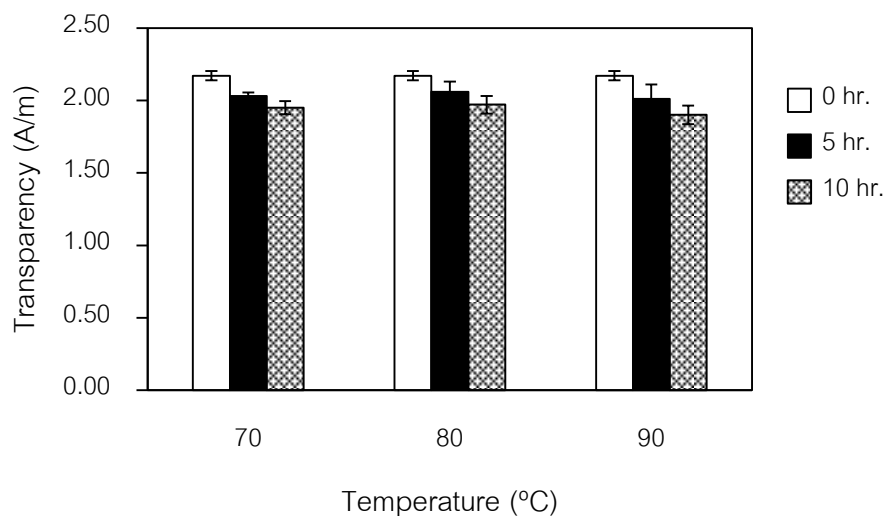
4.3.3 ความโปร่งแสง

ภาพที่ 4.25 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อความโปร่งแสงของ SC 70/60 และภาพที่ 4.26 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อความโปร่งแสงของ SC 85/45

จากภาพที่ 4.25 และ 4.26 (ตารางที่ ก.12 และตารางที่ ก.13) พบว่าระยะเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์มมีผลต่อความโปร่งแสงของฟิล์ม โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ความโปร่งแสงของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ในขณะที่อุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาไม่มีผลต่อความโปร่งแสง ($p > 0.05$) ความโปร่งแสงที่ลดลงนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณความชื้นที่ลดลง (หัวข้อ 4.3.2) ซึ่งส่งผลให้ความเข้มข้นของของแข็งในฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.25 ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.26 ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง

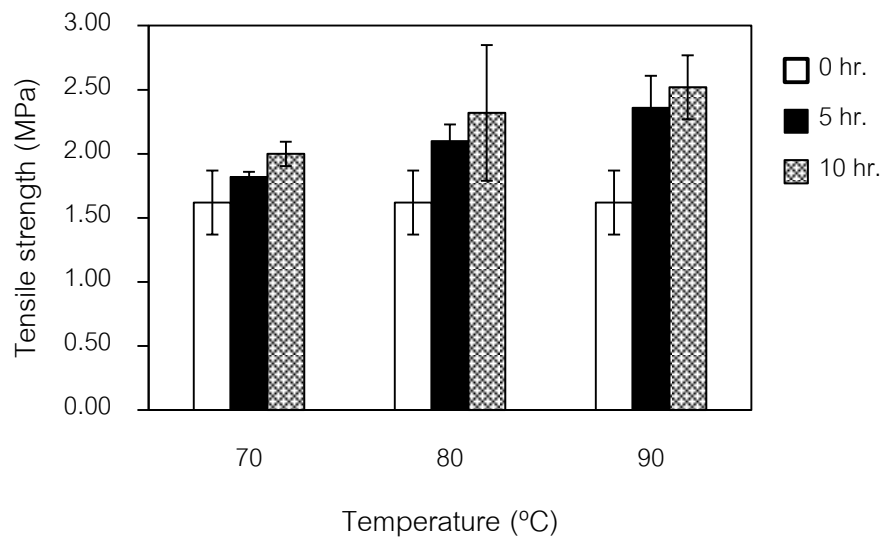
4.3.4 สมบัติเชิงกล

ภาพที่ 4.27 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อ TS ของ SC 70/60 ภาพที่ 4.28 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อ TS ของ SC 85/45 ภาพที่ 4.29 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อ EB ของ SC 70/60 และภาพที่ 4.30 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อ EB ของ SC 85/45

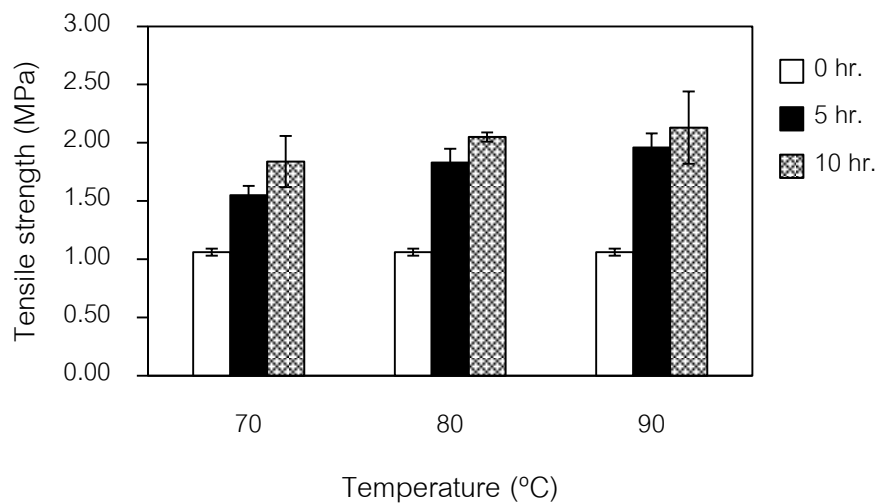
จากภาพที่ 4.27 และ 4.28 (ตารางที่ ก.14 และ ตารางที่ ก.15) พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น TS มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$ และ $p \leq 0.01$ ตามลำดับ) แต่อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาไม่มีผลต่อ TS ของฟิล์ม ($p > 0.05$) โดยแผ่นฟิล์มที่บ่มที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมงมีค่า TS สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการบ่มแผ่นฟิล์มสามารถช่วยเพิ่มการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลโปรตีนได้ เช่นเดียวกับการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อน โดยอันตรกิริยาที่เกิดขึ้น ได้แก่ อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกและพันธะไดซัลไฟด์ (Jangchud and Chinnan, 1999) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gennadios และคณะ (1996) ซึ่งศึกษาผลการบ่มแผ่นฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัดด้วยความร้อน โดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 80 และ 90 °C เป็นเวลา 2, 6, 14 และ 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อ

อุณหภูมิและระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น ฟิล์มที่ได้มี TS เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน Rhim และคณะ (2000) รายงานว่าการบ่มแผ่นฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัดด้วยความร้อนส่งผลให้ TS มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการบ่มด้วยความร้อน

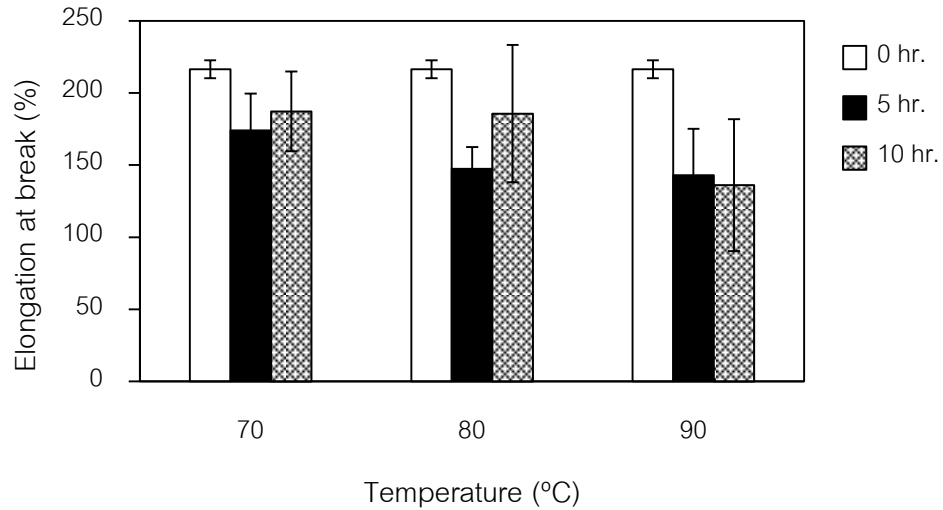
สำหรับ EB ของ SC 70/60 และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง (ภาพที่ 4.29 และตารางที่ ก.14) พบว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น EB มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาไม่มีผลต่อ EB ($p > 0.05$) แผ่นฟิล์มที่บ่มเป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมงมีค่า EB ต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นส่งผลให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลโปรตีนในฟิล์มมีค่าน้อยลง ฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นลดลง (Gennadios *et al.*, 1996) สำหรับ EB ของ SC 85/45 และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง (ภาพที่ 4.30 และตารางที่ ก.15) พบว่าอุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มและระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มมีผลต่อ EB อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยเมื่ออุณหภูมิหรือระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่ได้มีค่า EB ลดลง อย่างไรก็ตามอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาไม่มีผลต่อ EB ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gennadios และคณะ (1996) ซึ่งรายงานว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น EB มีค่าลดลง ในทำนองเดียวกัน Hernández-Muñoz, Villalobos และ Chiralt (2004) ศึกษาการบ่มแผ่นฟิล์มกนูเตนินด้วยความร้อน โดยแปรอุณหภูมิการบ่มเป็น 40, 55, 70, 85, 95 และ 115 °C และบ่มเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงพบว่าเมื่ออุณหภูมิการบ่มสูงขึ้น EB มีค่าลดลง



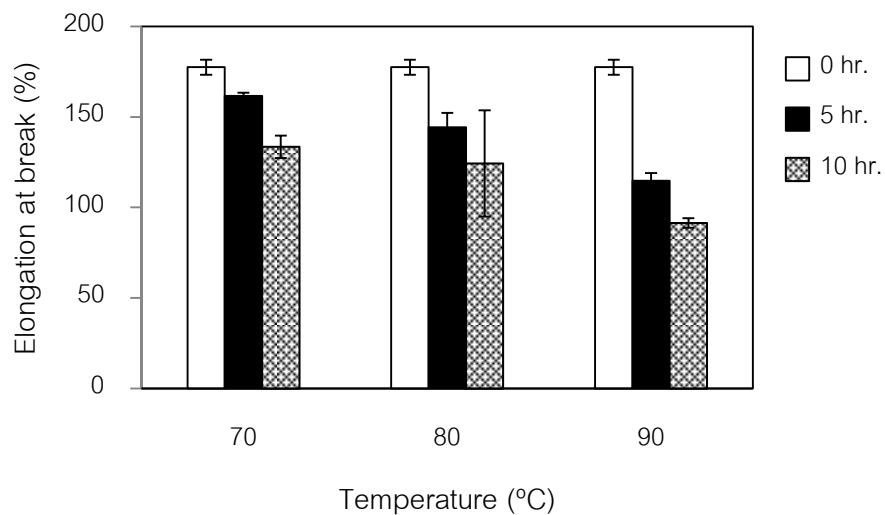
ภาพที่ 4.27 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.28 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.29 การยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์ม ที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



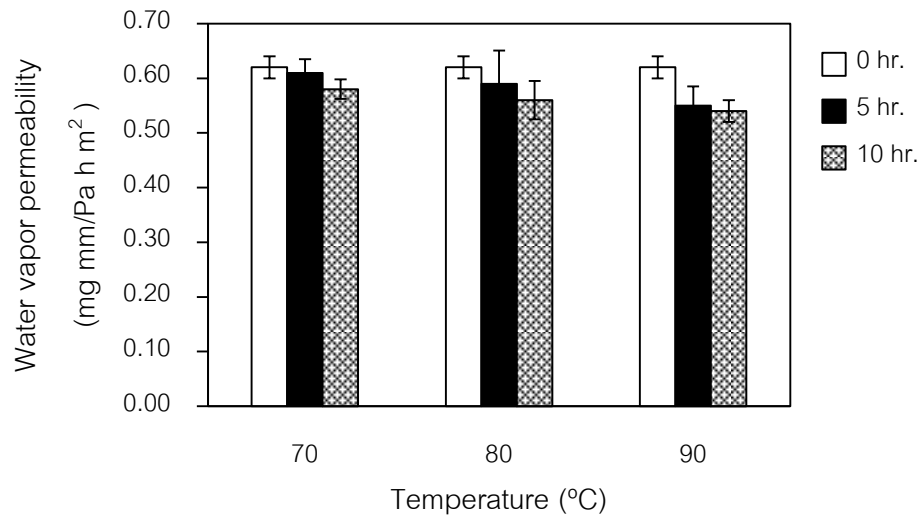
ภาพที่ 4.30 การยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์ม ที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง

4.3.5 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและมูมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์ม

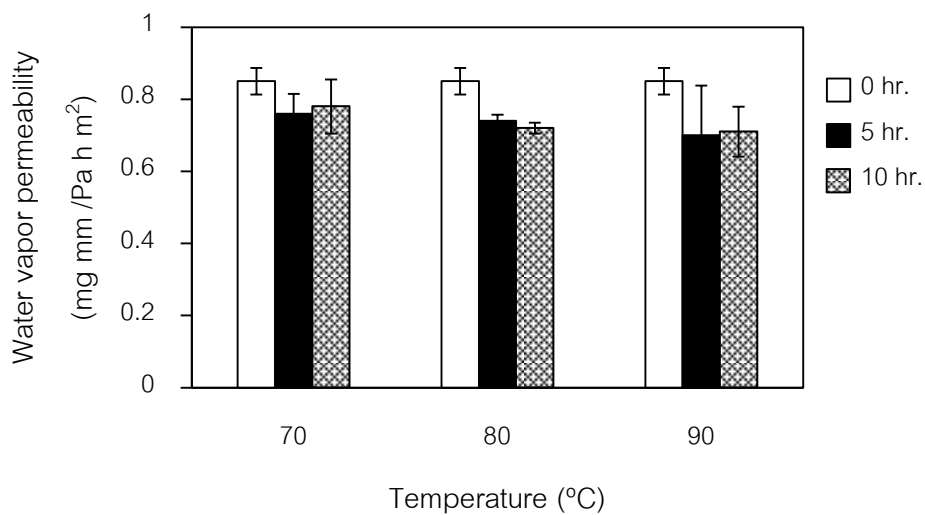
ภาพที่ 4.31 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อ WVP ของ SC 70/60 ภาพที่ 4.32 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อ WVP ของ SC 85/45 ภาพที่ 4.33 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อมูมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของ SC 70/60 และภาพที่ 4.34 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อมูมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของ SC 85/45

สำหรับ WVP ของ SC 70/60 (ภาพที่ 4.31 และตารางที่ ก.16) พบว่าคุณสมบัติการบ่มแผ่นฟิล์ม ระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์ม และอิทธิพลร่วมของคุณสมบัติและระยะเวลาไม่มีผลต่อ WVP ของฟิล์ม ($p > 0.05$) สำหรับ SC 85/45 (ภาพที่ 4.32 และตารางที่ ก.17) พบว่าระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์มมีผลต่อ WVP ของฟิล์ม ($p \leq 0.01$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในแผ่นฟิล์มที่บ่มด้วยความร้อนทำให้การแพร่ (diffusion) และความสามารถในการละลาย (solubility) ของน้ำในฟิล์มมีค่าลดลง (Perez-Gago and Krochta, 2000) อย่างไรก็ตามพบว่าคุณสมบัติการบ่มแผ่นฟิล์มและอิทธิพลร่วมของคุณสมบัติและระยะเวลาไม่มีผลต่อ WVP ($p > 0.05$) ก่อนหน้านี้ Gennadios และคณะ (1996) รายงานว่าการบ่มแผ่นฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่อุณหภูมิ 80 และ 90 °C เป็นเวลา 2, 6, 14 และ 24 ชั่วโมง ส่งผลให้ WVP มีค่าลดลง นอกจากนี้ Hernández-Muñoz และคณะ (2004) รายงานในงานของตัวเองกันว่าแผ่นฟิล์มกลูเตนินที่บ่มที่อุณหภูมิ 40, 55, 70, 85, 95 และ 115 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มี WVP ลดต่ำลง

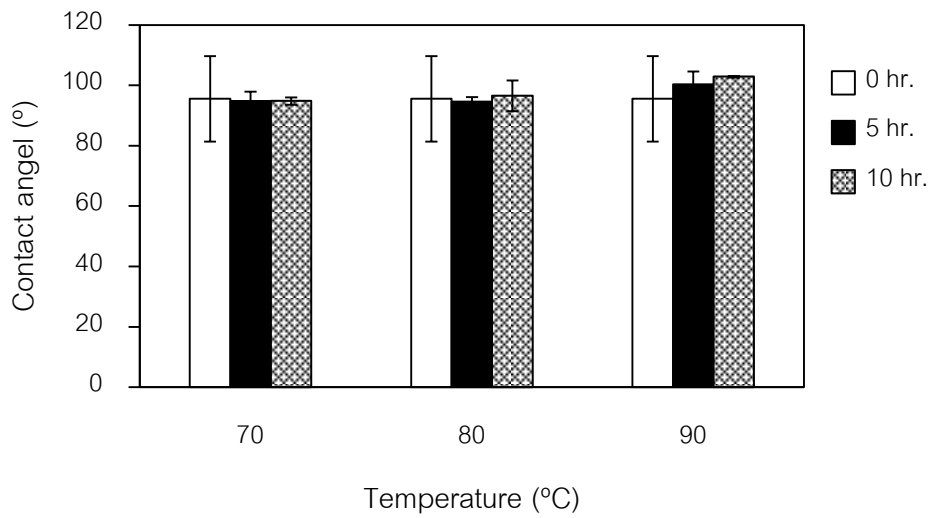
สำหรับมูมสัมผักระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของ SC 70/60 (ภาพที่ 4.33 และตารางที่ ก.16) พบว่าคุณสมบัติการบ่มแผ่นฟิล์ม ระยะเวลาการบ่มแผ่นฟิล์ม และอิทธิพลร่วมของคุณสมบัติและระยะเวลาไม่มีผลต่อค่ามูมสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) สำหรับ SC 85/45 (ภาพที่ 4.34 และตารางที่ ก.17) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มสูงขึ้นมูมสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.01$) ในขณะที่อุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มและอิทธิพลร่วมของคุณสมบัติและระยะเวลาไม่มีผลต่อค่ามูมสัมผัส ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการบ่มแผ่นฟิล์มมีผลทำให้ฟิล์มมีสมบัติไม่ชอบน้ำเพิ่มสูงขึ้น



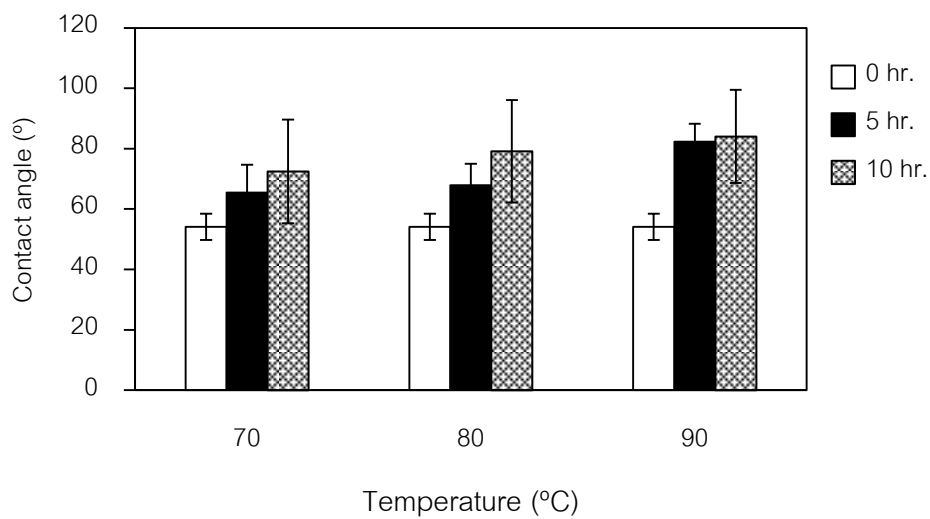
ภาพที่ 4.31 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.32 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



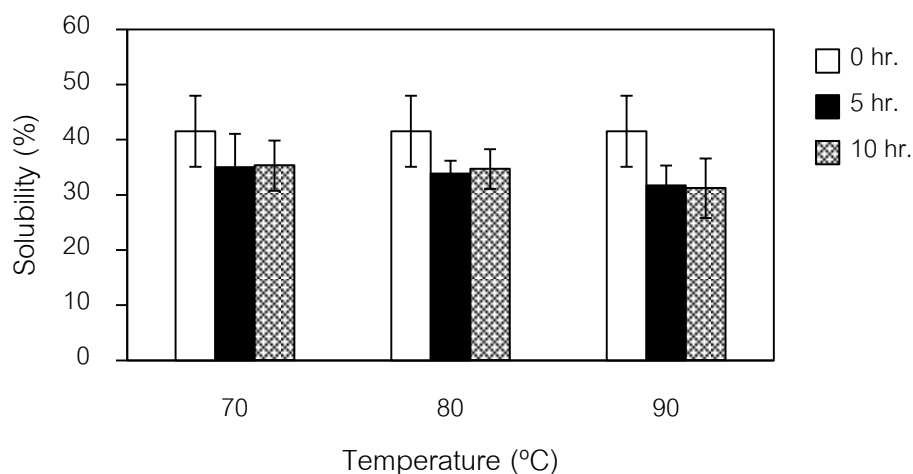
ภาพที่ 4.33 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



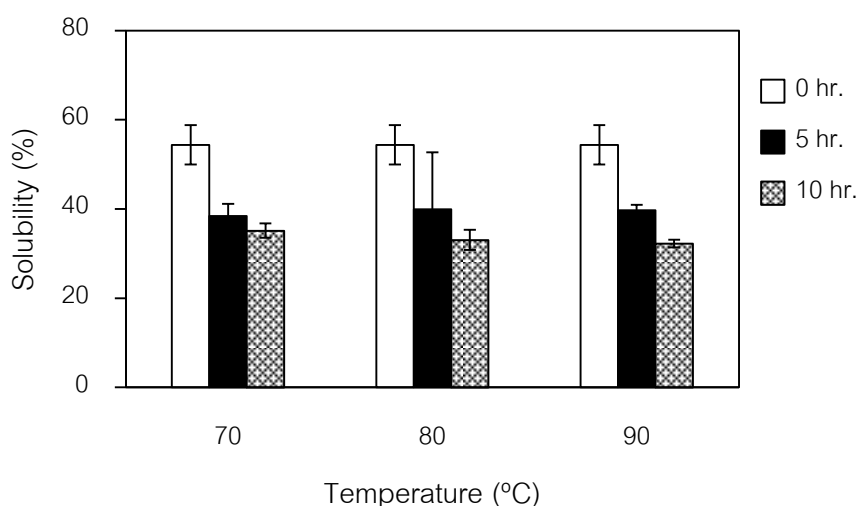
ภาพที่ 4.34 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง

4.3.6 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม

ภาพที่ 4.35 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อความสามารถในการละลายน้ำของ SC 70/60 และภาพที่ 4.36 แสดงผลของภาวะในการบ่มแผ่นฟิล์มต่อความสามารถในการละลายน้ำของ SC 85/45



ภาพที่ 4.35 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง

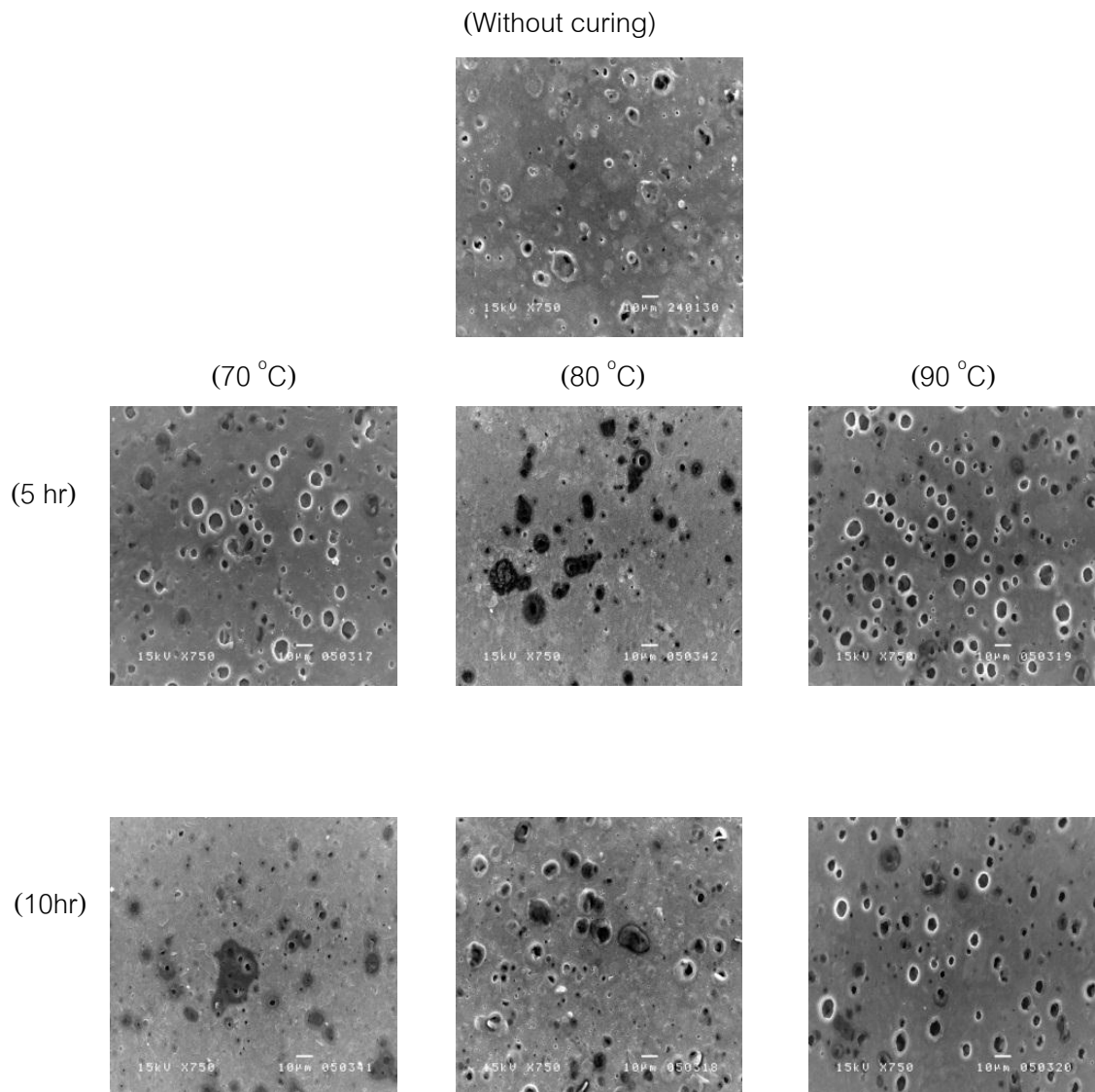


ภาพที่ 4.36 ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง

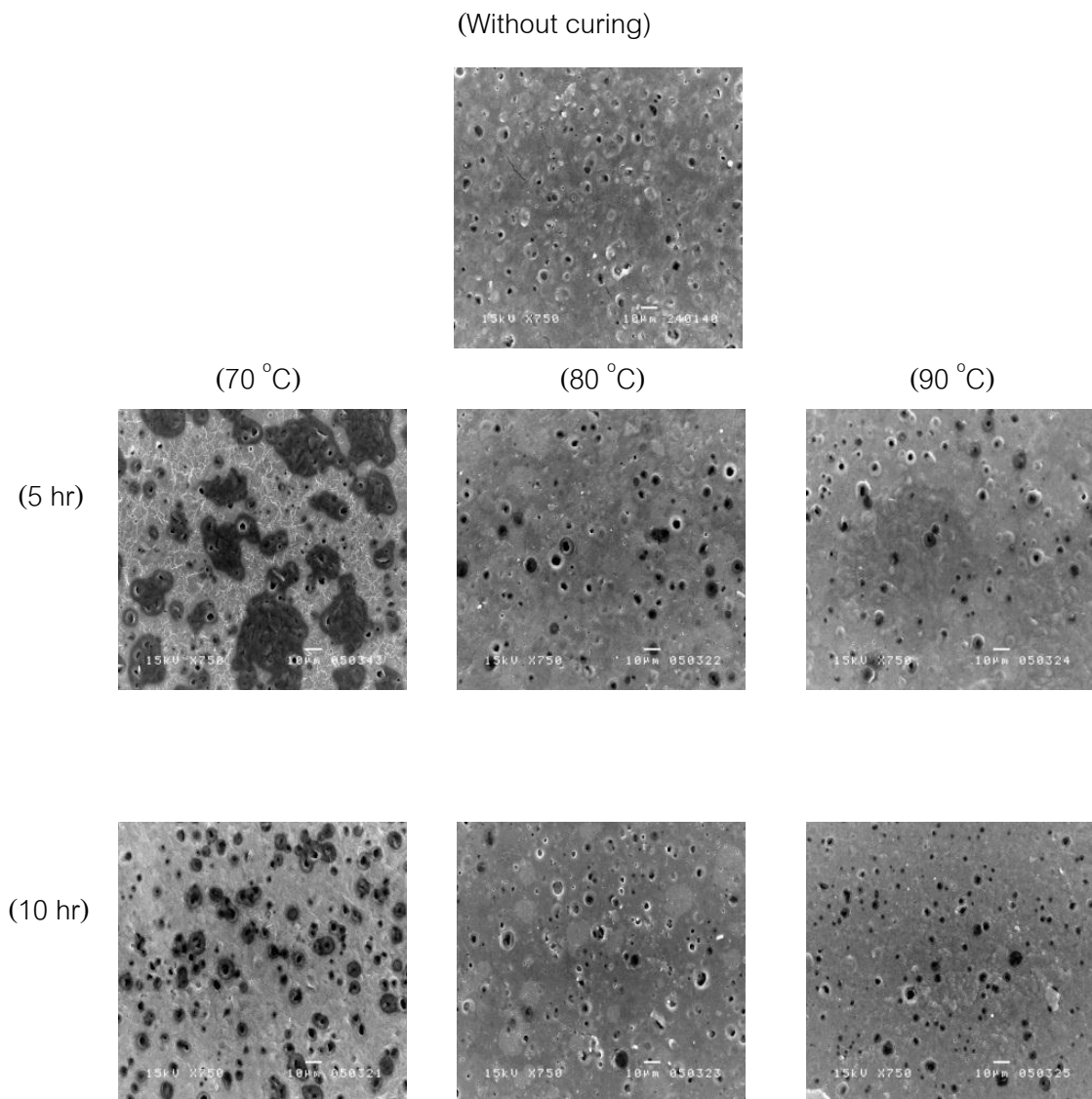
สำหรับความสามารถในการละลายน้ำของ SC 70/60 (ภาพที่ 4.35 และตารางที่ ก.16) และ SC 85/45 (ภาพที่ 4.36 และตารางที่ ก.17) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) ในขณะที่อุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มและอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและระยะเวลาไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม ($p > 0.05$) โดยพบว่าแผ่นฟิล์มที่บ่มที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมงมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด การลดลงของความสามารถในการละลายน้ำนี้อาจเนื่องมาจากอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลโปรตีนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gennadios และคณะ (1996) ซึ่งรายงานว่าการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น ฟิล์มที่ได้มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำลง นอกจากนี้ Jangchud และ Chinnan (1999) พบว่าฟิล์มโปรตีนถั่วลิสงเข้มข้นมีความสามารถในการละลายน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิการบ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มสูงขึ้น

4.2.7 ลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวาง

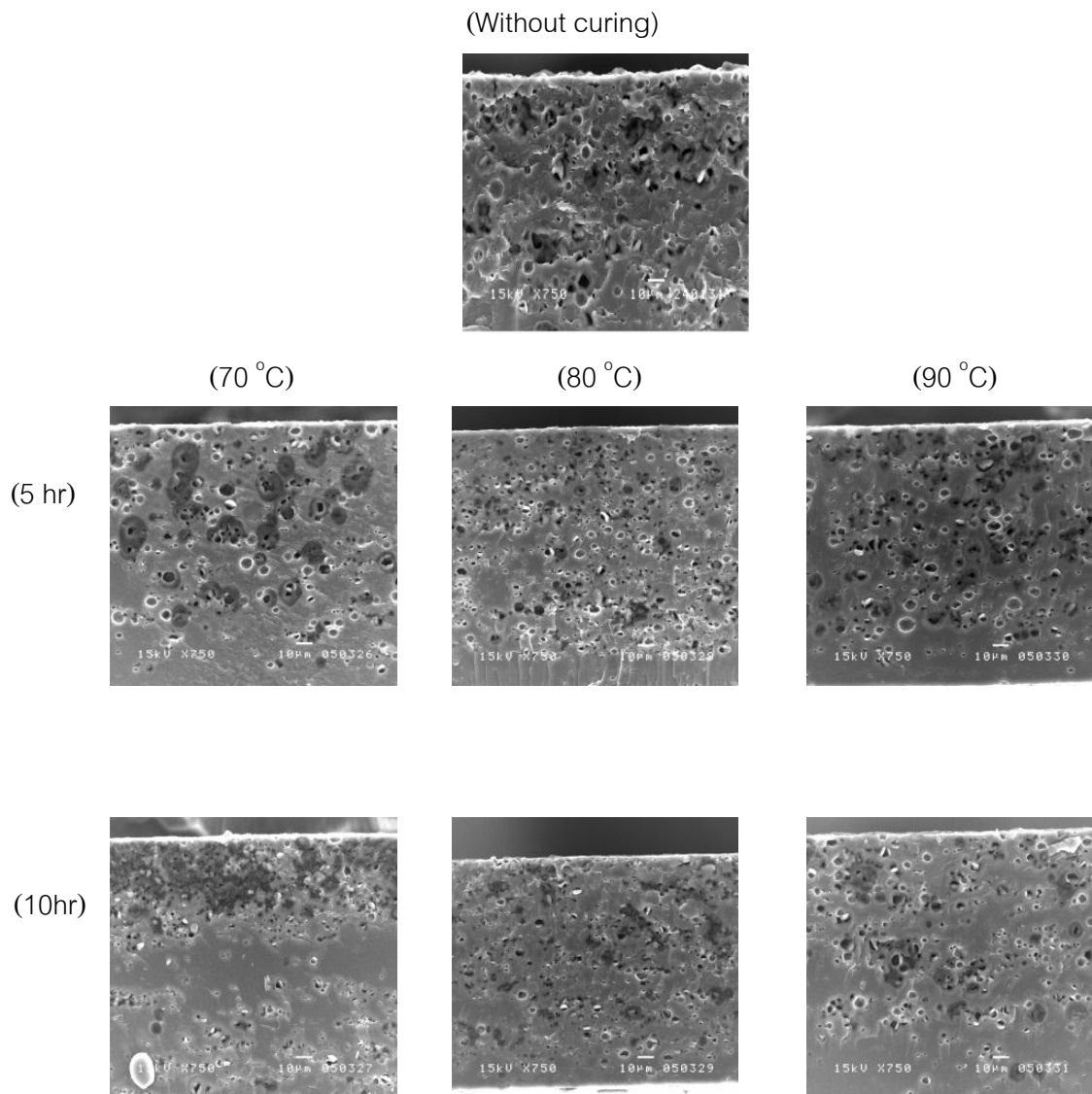
ภาพที่ 4.37 และ 4.38 แสดงลักษณะพื้นผิว ส่วนภาพที่ 4.39 และ 4.40 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันที่บ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าฟิล์มที่ผลิตโดยบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันมีลักษณะพื้นผิวและลักษณะภาคตัดขวางที่ไม่ต่างกันมากนัก แสดงว่าการบ่มแผ่นฟิล์มไม่มีผลสำคัญต่อการกระจายตัวหรือขนาดอนุภาคของลิพิด สมบัติของฟิล์มที่เป็นผลจากการบ่มแผ่นฟิล์มจึงอาจเป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างระดับโมเลกุลของโปรตีน



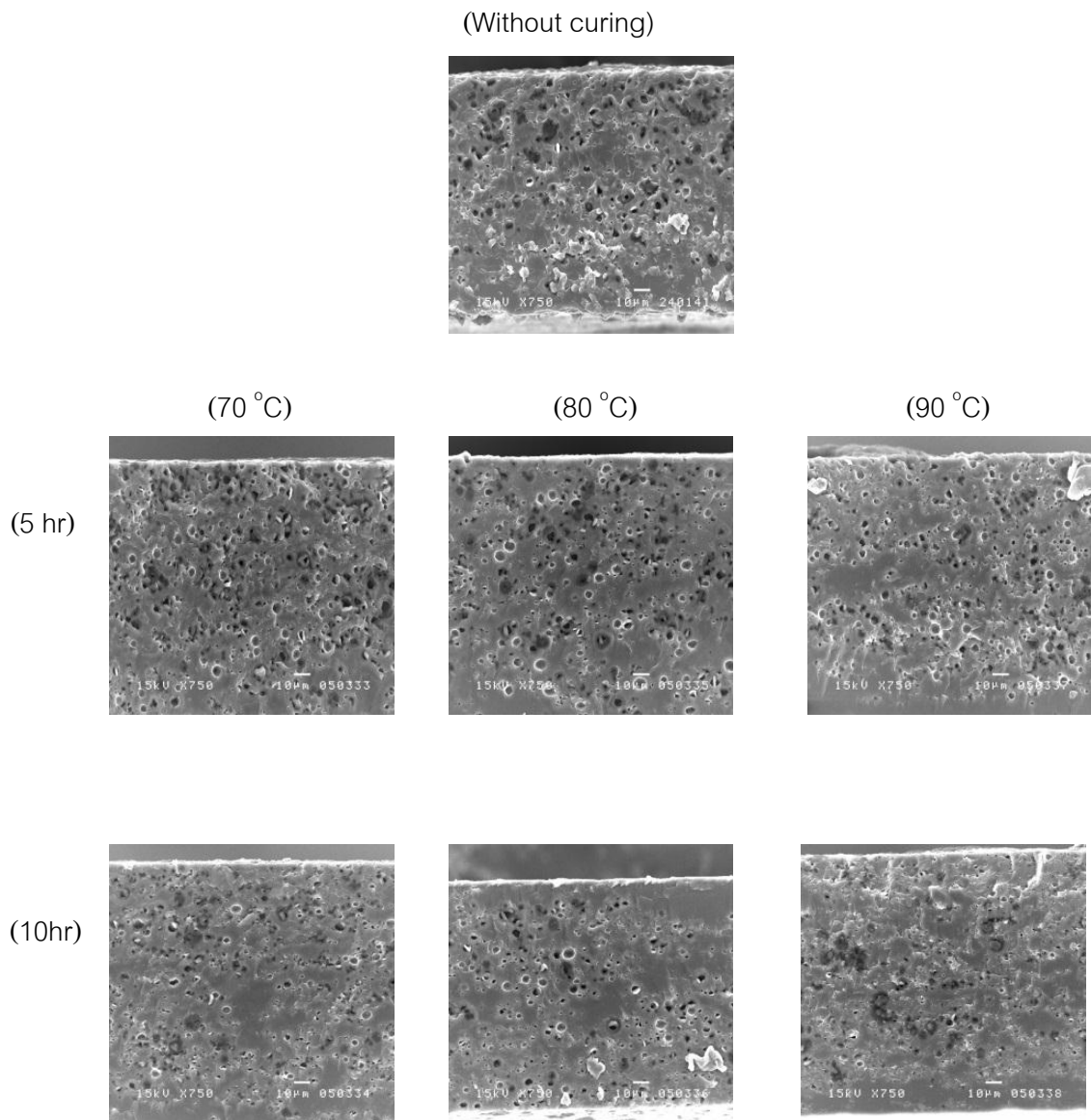
ภาพที่ 4.37 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.38 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.39 ลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.40 ลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% บ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 45 นาที และบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 0-10 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การผลิตเป็นฟิล์มอิมัลชันมีผลในการดัดแปรสมบัติของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัด โดยทั่วไปพบว่าฟิล์มอิมัลชันมีความหนาสูงกว่าฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองที่ไม่เติมลิปิด (ตัวอย่างควบคุม) และมีความโปร่งแสงที่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเติมลิปิดส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มถั่วเหลืองสกัดมีค่าลดต่ำลง ในขณะที่การยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม การเติมลิปิดมีผลช่วยปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ดังจะเห็นได้จากสภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำที่ลดลงและมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มอิมัลชันมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม

สำหรับผลของความเข้มข้นของลิปิด โดยทั่วไปพบว่า การเติมลิปิดเข้มข้น 10 และ 20% ของน้ำหนักโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีผลค่อนข้างน้อยต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชัน ส่วนผลของชนิดลิปิด พบว่าไฮโดรจีเนชันของลิปิดมีผลสำคัญต่อสมบัติเชิงกล โดยฟิล์มที่เติมลิปิดไฮโดรจีเนตมีความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดต่ำกว่าฟิล์มที่เติมลิปิดที่ไม่ไฮโดรจีเนต นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่เติมลิปิดไฮโดรจีเนตมีสมบัติความไม่ชอบน้ำสูงกว่าดังจะเห็นได้จากสภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำที่ต่ำกว่าและมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่เติมลิปิดที่ไม่ไฮโดรจีเนต

จากงานวิจัยนี้พบว่าฟิล์มที่เติมน้ำมันเมล็ดในปาล์มไฮโดรจีเนตเข้มข้น 20% มีสมบัติความไม่ชอบน้ำที่สูงที่สุด แต่มีข้อจำกัดในสมบัติเชิงกล จึงนำตัวอย่างฟิล์มดังกล่าวมาใช้วิธีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยการบ่มสารละลายฟิล์มและการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อน

สำหรับการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อน พบว่าการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยภาวะที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลได้ โดยการบ่มสารละลายฟิล์มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 60 นาทีได้ฟิล์มที่มีความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเกินไปอาจมีผลให้ฟิล์มมีสมบัติเชิงกลที่ด้อยลงได้ อย่างไรก็ตามการบ่มสารละลายฟิล์มด้วยความร้อนมีสภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น และมีมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มลดลง

สำหรับการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนพบว่าสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดได้ โดยแผ่นฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการยืดตัวถึงจุดขาดมีค่าลดต่ำลง การบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนมีผลช่วยปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของฟิล์มอิมัลชัน โดยการบ่มแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมงให้ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดและมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มสูงที่สุด และมีสภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำและความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการบ่มสารละลายฟิล์มและการบ่มแผ่นฟิล์มด้วยความร้อนต่างก็มีผลต่อสมบัติของฟิล์มอิมัลชันจากโปรตีนถั่วเหลือง อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้เป็นการศึกษาการบ่มสารละลายฟิล์มในขั้นตอนแรกแล้วจึงนำแผ่นฟิล์มที่ได้มาศึกษาผลของการบ่มแผ่นฟิล์ม จึงอาจศึกษาผลของการบ่มทั้งสองชนิดแยกกันเพื่อสามารถระบุผลของการบ่มแผ่นฟิล์มแต่เพียงอย่างเดียว

รายการอ้างอิง

- Anonymous. 1993. Biodegradable polymers forge ahead. Biocycle 34 (9): 72-74.
- Anonymous, 1997. Edible films solve problems. Food Technology 51 (2): 60-64.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. Washington, D. C.: The Association of Official Analytical Chemists.
- ASTM. 1999. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Avena-Bustillos, R. J. and Krochta, J. M. 1993. Water vapor permeability of caseinate-based edible films as affected by pH, calcium cross-linking and lipid content. Journal of Food Science 58: 904-907.
- Chana-Thaworn, J., Chanthachum, S. and Wittaya, T. 2011. Properties and antimicrobial activity of edible films incorporated with kiam wood (*Cotyleobium lanceotatum*) extract. LWT; Food Science and Technology 44: 284-292.
- Cheftel, J.C., Cuq, J.L and Lorient, D. 1985. Amino acids, peptides, proteins. In: Fennema, O.R. (Ed.), Food Chemistry. New York: Marcel Dekker. p 80 .
- Choi, W. S. and Han, J.H. 2002. Film-forming mechanism and heat denaturation effect on the physical and chemical properties of pea-protein-isolate edible films. Journal of Food Science 67(4): 1399-1406.
- Cuq, B., Gontard, N., Cuq, J. L. and Guilbert, S. 1997. Selected functional of fish myofibrillar protein-based films as affected by hydrophilic plasticizers. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45 (3): 622-626.
- Fernandez, L., de Apodaca, E. D., Cebrian, M., Villaran, M.C. and Mate, J.I. 2006. Effect of the unsaturation degree and concentration of fatty acids on the properties of whey protein isolate based edible films. European Food Research and Technology 224: 415-420.
- Fukushima, D. 1991. Recent progress of soybean protein foods: Chemistry, technology and nutrition. Food Reviews International. 7(3): 323-351.

- Han, J. H., Seo, G. H., Park, I. M., Kim, G. N. and Lee, D. S. 2006. Physical and mechanical properties of pea starch edible films containing beeswax emulsions. Journal of Food Science 71: E290-E296.
- Hermansson, A. M. 1978. Physico-chemical aspects of soy proteins structure formation. Journal of Texture Studies. 9(1-2): 33-58.
- Hernández-Muñoz, P., Villalobos, R. and Chiralt, A. 2004. Effect of thermal treatment on functional properties of edible films made from wheat gluten fractions. Food Hydrocolloids 18: 647-654.
- Gennadios, A., Ghorpade, V. M., Weller, C. L. and Hanna, M. A. 1996. Heat curing of soy protein films. Trans. ASAE 39: 575-579.
- Greener, I. K. and Fennema, O. N. 1989. Barrier properties and surface characteristics of edible, bilayer films. Journal of Food Science 54: 1393-1399.
- Guilbert, S. 1986. Technology and application of edible protective films. In M. Mathlouthi (ed.), Food Packaging and Preservation, pp. 371-394. New York: Elsevier Applied Science.
- Gunstone, F. D. 2002. Vegetable oils in food technology. Boca Raton, CRC Press.
- Jangchud, A. and Chinnan, M. S. 1999. Peanut protein film as affected by drying temperature and pH of film forming solution. Journal of Food Science 64: 153-157.
- Jensen, E. V. 1956. Sulfhydryl-disulfide interchange. Science 130: 1319 -1323.
- Jiang, Y., Tang, C. H., Wen, Q. B., Li, L. and Yang, X. Q. 2007. Effect of processing parameters on the properties of transglutaminase-treated soy protein isolate films. Innovative Food Science and Emerging Technologies 8 (2): 218-225.
- Kamper, S. L. and Fennema, O. N. 1984. Water vapor permeability of an edible fatty acid, bilayer films. Journal of Food Science 49: 1482-1485.
- Kelley, J. J. and Pressey, R. 1966. Studies with soybean protein and fiber formation. Cereal Chemistry 43: 195-206.
- Kester, J. J. and Fennema, O. R. 1986. Edible films and coatings: A review. Food Technology 40(12): 47-59.

- Kester, J. J. and Fennema, O. R. 1989. An edible film of lipid and cellulose ether : Performance in a model frozen-food system.Journal of Food Science. 54 (6) : 1390-1392, 1406.
- Kokoszka, S., Debeaufort, F., Lenart, A. and Voilley, A. 2010. Liquid and vapour water transfer through whey protein/lipid emulsion films. Journal of the Science of Food and Agriculture 90: 1673-1680.
- Krochta, J.M., Baldwin, E.A. and Nisperos-Carriedo, M.O. 1994. Edible coatings and films to improve food quality. Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania. pp. 379
- Limpisophon, K., Tanaka, M. and Osako, K. 2010. Characterisation of gelatin–fatty acid emulsion films based on blue shark (*Prionace glauca*) skin gelatin. Journal of Food Chemistry 122 (4): 1095–1101.
- McHugh, T. H. and Krochta, J. M. 1994. Water vapor permeability properties of edible whey protein-lipid emulsion films. Journal of the American Oil Chemists' Society 71 (3): 307-312.
- Monedero, F. M., Fabra, M. J., Talens, P. and Chiralt, A. 2009. Effect of oleic acid-beeswax mixtures on mechanical, optical and water barrier properties of soy protein isolate based films. Journal of Food Engineering 91: 509-515.
- Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M. and Voilley, A. 2002. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 42: 67-89.
- Morse, J. F. 1936. The colour and opacity of emulsions. Transactions of the Faraday Society 32 (0): 941-947.
- Park, S. K., Hettiarachchy, N. S., Ju, Z. Y. and Gennadios, A. 2002. Formation and properties of soy protein films and coatings. In A. Gennadios (ed.), Protein-Based Films and Coatings, pp. 123-137. Boca Raton: CRC Press.
- Perez-Gago, M. B., Nadaud, P. and Krochta, J.M. 1999. Water vapor permeability, solubility, and tensile properties of heat-denatured versus native whey protein films. Journal of Food Science 64 (6): 1034-1037

- Perez-Gago, M. B. and Krochta, J. M. 2001. Denaturation time and temperature effect on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. Journal of Food Science 66 (5): 705-710.
- Perez-Mateos, M., Montero, P. and Gomez-Guillen, M. C. 2007. Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. Food Hydrocolloids 23: 53-61.
- Peroval, C., Debeaufort, F., Despre, D. and Voilley, A. 2002. Edible arabinoxylan-based films, effects of lipid type on water vapor permeability, film structure, and other physical characteristics. Journal of Agricultural and Food Chemistry.50: 3977-3983.
- Quezada-Gallo, J. A., Debeaufort, F., Callegarin, F and Voilley, A. 2000. Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based edible films. Journal of Membrane Science 180: 37- 46.
- Renkema, J. M. S., and van Vliet, T. 2002. Heat-induced gel formation by soy protein at neutral pH. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50 (6): 1569-1573.
- Rhim, J. W., Gennadios, A., Handa, A., Weller, C. L. and Hanna M. A. 2000. Solubility, tensile, and color properties of modified soy protein isolate films. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48: 4937-4941.
- Rios, P. F., Dodiuk, H., Kenig, S., McCarthy, S. and Dotan, A. 2007. Transparent ultra-hydrophobic surfaces. Journal of Adhesion Science and Technology 21 (5-6): 399-408.
- Roy, S., Weller, C. L., Gennadios, A., Zeece, M. G. and Testin, R. F. 1999. Physical and molecular properties of wheat gluten films cast from heated film-forming solutions. Journal of Food Science 64 (1): 57-60.
- Shellhammer, T. H. and Krochta, J. M. 1997. Whey protein emulsion film performance as affected by lipid type and amount. Journal of Food Science 66 (2): 390-394
- United Soybean Board. 2004. Soy Protein Isolate [Online]. Available from: <http://talksoy.com> [2005, January 14]

- Utsumi, S., Matsumura, Y., and Mori, T. 1997. Structure-Function Relationships of Soy Protein. In S. Damodaran; and A. Paraf (eds.), Food Protein and Their Applications, pp. 257-285. New York: Marcel Dekker.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A. and Gonzalez-Martinez, C. 2009. Characterization of chitosan-oleic acid composite films. Food Hydrocolloids 23: 536-547.
- Yang L. and Paulson A.T. 2000. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. Food Research International 33 (7): 571–578
- Zahedi, Y., Ghanbarzadeh, B. and Sedaghat, N. 2010. Physical properties of edible emulsified films based on pistachio globulin protein and fatty acids. Journal of Food Engineering. 100: 102-108
- Zayas, J. F. 1997. Functionality of Proteins in Food. New York: Springer-Verlag.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการวิเคราะห์

ตารางที่ ก.1 ความหนาของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด

Lipid type	Thickness (mm)	
	10 % lipid	20 % lipid
Control	0.111 ± 0.0015 ^a	0.111 ± 0.0015 ^a
PKO ^{NS}	0.126 ± 0.0015 ^{de}	0.136 ± 0.0117 ^b
HPKO ^{NS}	0.123 ± 0.0005 ^{cd}	0.137 ± 0.0096 ^b
PO ^{NS}	0.127 ± 0.0035 ^{de}	0.131 ± 0.0065 ^b
HPO	0.130 ± 0.0005 ^{eA}	0.134 ± 0.0026 ^{bb}
SO ^{NS}	0.120 ± 0.0005 ^{bc}	0.122 ± 0.0035 ^{ab}
HSO ^{NS}	0.118 ± 0.0055 ^b	0.126 ± 0.0214 ^{ab}

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a-e} ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{A,B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในแถวแนวนอน

ตารางที่ ก.2 ปริมาณความชื้นของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด

Lipid type	Moisture content (%, wet basis)	
	10 % lipid	20 % lipid
Control	17.57 ± 1.16 ^{ab}	17.57 ± 1.16 ^{ab}
PKO ^{NS}	15.55 ± 1.33 ^a	19.59 ± 1.54 ^a
HPKO ^{NS}	18.85 ± 2.07 ^{bc}	22.41 ± 0.43 ^{bb}
PO ^{NS}	16.41 ± 0.74 ^{ab}	18.54 ± 0.78 ^a
HPO	20.85 ± 0.48 ^{cA}	17.73 ± 1.28 ^a
SO ^{NS}	18.77 ± 2.88 ^{bc}	18.63 ± 2.70 ^a
HSO ^{NS}	17.40 ± 1.11 ^{ab}	19.07 ± 1.94 ^a

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{A,B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในแถวแนวนอน

ตารางที่ ก.3 ความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด

Lipid type	Transparency (A/m)	
	10 % lipid	20 % lipid
Control	2.835 ± 0.026 ^c	2.835 ± 0.026 ^c
PKO ^{NS}	2.403 ± 0.161 ^{ab}	2.330 ± 0.082 ^{ab}
HPKO	2.403 ± 0.029 ^{abB}	2.256 ± 0.073 ^{aA}
PO ^{NS}	2.383 ± 0.078 ^a	2.359 ± 0.070 ^{ab}
HPO	2.555 ± 0.027 ^{bB}	2.322 ± 0.029 ^{abA}
SO ^{NS}	2.416 ± 0.108 ^{ab}	2.359 ± 0.043 ^{ab}
HSO ^{NS}	2.507 ± 0.032 ^{ab}	2.432 ± 0.119 ^b

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{A,B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในแถวแนวนอน

ตารางที่ ก.4 ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลือง สกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด

Lipid type	Tensile strength (MPa)	
	10 % lipid	20 % lipid
Control	2.17 ± 0.14 ^b	2.17 ± 0.14 ^b
PKO ^{NS}	1.97 ± 0.06 ^b	1.88 ± 0.12 ^b
HPKO ^{NS}	1.65 ± 0.82 ^a	1.14 ± 0.37 ^a
PO ^{NS}	1.58 ± 0.45 ^a	1.38 ± 0.37 ^a
HPO	1.48 ± 0.15 ^{abB}	1.23 ± 0.02 ^{aA}
SO ^{NS}	1.54 ± 0.18 ^a	1.30 ± 0.13 ^a
HSO ^{NS}	1.33 ± 0.22 ^a	1.26 ± 0.06 ^a

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a,b} ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{A,B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในแถวแนวนอน

ตารางที่ ก.5 การยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มเอมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด

Lipid type	Elongation at break (%)	
	10 % lipid	20 % lipid
Control	216.76 ± 43.27 ^{ab}	216.76 ± 43.27 ^{ab}
PKO ^{NS}	231.76 ± 15.41 ^b	244.81 ± 29.74 ^b
HPKO ^{NS}	185.09 ± 50.34 ^{ab}	191.57 ± 53.29 ^{ab}
PO	213.79 ± 5.99 ^{bB}	173.89 ± 15.43 ^{aA}
HPO ^{NS}	226.67 ± 15.48 ^b	204.37 ± 33.66 ^{ab}
SO	236.56 ± 23.42 ^{abB}	179.92 ± 12.47 ^{aA}
HSO	170.65 ± 3.04 ^{aA}	224.82 ± 17.84 ^{abB}

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a, b} ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{A, B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในแถวแนวนอน

ตารางที่ ก.6 สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มเอมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด

Lipid type	Water vapor permeability (mg.mm/Pa.h.m ²)	
	10 % lipid	20 % lipid
Control	0.893 ± 0.045 ^d	0.893 ± 0.045 ^e
PKO	0.610 ± 0.003 ^{abcB}	0.568 ± 0.009 ^{dA}
HPKO ^{NS}	0.522 ± 0.126 ^{ab}	0.370 ± 0.027 ^a
PO	0.600 ± 0.035 ^{abcB}	0.501 ± 0.02 ^{cA}
HPO	0.690 ± 0.035 ^{cB}	0.428 ± 0.016 ^{bA}
SO ^{NS}	0.650 ± 0.103 ^{bc}	0.593 ± 0.035 ^d
HSO ^{NS}	0.500 ± 0.071 ^a	0.466 ± 0.011 ^{bc}

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a-e} ตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{A, B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในแถวแนวนอน

ตารางที่ ก.7 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด

Lipid type	Contact angle (°)	
	10 % lipid	20 % lipid
Control	46.388 ± 5.00 ^a	46.388 ± 5.00 ^a
PKO ^{NS}	64.636 ± 2.09 ^{bc}	69.692 ± 7.36 ^b
HPKO ^{NS}	77.204 ± 4.32 ^{cd}	90.592 ± 17.25 ^c
PO ^{NS}	72.654 ± 17.19 ^{cd}	66.760 ± 7.03 ^{ab}
HPO ^{NS}	77.357 ± 6.28 ^{cd}	93.599 ± 9.85 ^c
SO ^{NS}	57.217 ± 1.50 ^{ab}	61.949 ± 7.12 ^{ab}
HSO ^{NS}	83.897 ± 6.42 ^d	73.728 ± 2.94 ^b

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a-d} เป็นตัวอักษรที่ต่างกันในระดับเดียวกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในแถวแนวนอน

ตารางที่ ก.8 ความสามารถในการละลายทั้งหมดของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดและความเข้มข้นของลิพิด

Lipid type	Solubility (%)	
	10 % lipid	20 % lipid
Control	75.43 ± 7.42 ^c	75.43 ± 7.42 ^d
PKO ^{NS}	66.98 ± 2.97 ^b	64.19 ± 5.03 ^c
HPKO ^{NS}	59.34 ± 1.28 ^{ab}	52.26 ± 8.78 ^{ab}
PO ^{NS}	64.63 ± 2.55 ^b	59.36 ± 1.95 ^{bc}
HPO ^{NS}	53.52 ± 4.16 ^a	45.97 ± 3.09 ^a
SO	63.70 ± 2.57 ^{bb}	42.23 ± 9.87 ^{aA}
HSO ^{NS}	65.85 ± 4.09 ^b	61.69 ± 0.58 ^{bc}

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในระดับเดียวกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{A, B} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัย ($p > 0.05$) ในแถวแนวนอน

ตารางที่ ก. 9 ความหนา ปริมาณความชื้นและความโปร่งแสงของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิด อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม

Temperature (°C)	Time (min)	Thickness (mm)	Moisture content (% , wet basis)	Transparency (A/m)
70	30	0.137 ± 0.009	19.59 ± 1.54	2.25 ± 0.073
70	45	0.148 ± 0.001	16.38 ± 0.93	2.25 ± 0.041
70	60	0.147 ± 0.005	16.03 ± 0.90	2.36 ± 0.065
80	30	0.145 ± 0.003	19.27 ± 0.18	2.32 ± 0.092
80	45	0.154 ± 0.002	17.16 ± 0.38	2.27 ± 0.028
80	60	0.153 ± 0.002	14.58 ± 0.36	2.31 ± 0.005
85	30	0.152 ± 0.001	19.32 ± 0.25	2.18 ± 0.026
85	45	0.147 ± 0.005	17.52 ± 0.28	2.17 ± 0.032
85	60	0.150 ± 0.004	17.18 ± 0.61	2.20 ± 0.072
Main effect:				
Temperature (T)		**	*	**
Time (Tm)		*	**	NS
Interaction:				
T × Tm		*	*	NS

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$

^{NS} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ตารางที่ ก. 10 ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มอิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิด อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม

Temperature (°C)	Time (min)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
70	30	1.14 ± 0.37	191.57 ± 53.29
70	45	1.12 ± 0.18	213.33 ± 1.67
70	60	1.62 ± 0.25	216.48 ± 6.20
80	30	1.20 ± 0.17	205.00 ± 6.00
80	45	1.25 ± 0.09	222.96 ± 7.90
80	60	1.08 ± 0.04	212.22 ± 29.35
85	30	1.07 ± 0.06	183.45 ± 13.22
85	45	1.06 ± 0.03	177.40 ± 4.17
85	60	1.08 ± 0.04	179.62 ± 2.62
Main effect:			
Temperature (T)		*	**
Time (Tm)		NS	NS
Interaction:			
T × Tm		*	NS

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$

^{NS} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ตารางที่ ก. 11 สภาพซึมผ่านได้ของไอน้ำ มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มและความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม
อิมัลชันที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่แปรชนิดอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์ม

Temperature (°C)	Time (min)	Water vapor permeability (mg.mm/Pa.h.m ²)	Contact angle (°)	Solubility (%)
70	30	0.37 ± 0.030	90.59 ± 17.25	52.26 ± 8.78
70	45	0.44 ± 0.020	93.36 ± 0.47	46.61 ± 3.61
70	60	0.62 ± 0.020	95.54 ± 14.17	41.52 ± 6.44
80	30	0.71 ± 0.030	94.92 ± 2.41	51.17 ± 1.13
80	45	0.75 ± 0.025	81.33 ± 1.57	48.97 ± 2.84
80	60	0.80 ± 0.005	85.93 ± 2.05	53.06 ± 1.77
85	30	0.89 ± 0.011	67.44 ± 14.12	55.91 ± 10.58
85	45	0.85 ± 0.037	54.13 ± 4.36	54.39 ± 4.39
85	60	1.00 ± 0.020	43.91 ± 1.78	59.72 ± 5.77
Main effect:				
Temperature (T)		**	**	**
Time (Tm)		**	NS	NS
Interaction:				
T × Tm		**	NS	NS

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$

^{NS} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ตารางที่ ก. 12 ความหนา ปริมาณความชื้นและความโปร่งแสงของฟิล์มSC 70/60 ที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์ม

Temperature (°C)	Time (hr.)	Thickness (mm)	Moisture content (%, wet basis)	Transparency (A/m)
70	0	0.147 ± 0.005	16.03 ± 0.90	2.36 ± 0.065
70	5	0.131 ± 0.004	12.51 ± 0.37	2.09 ± 0.113
70	10	0.136 ± 0.005	11.35 ± 1.02	2.12 ± 0.152
80	0	0.147 ± 0.005	16.03 ± 0.90	2.36 ± 0.065
80	5	0.134 ± 0.004	11.39 ± 0.35	2.23 ± 0.051
80	10	0.133 ± 0.002	10.85 ± 0.32	1.99 ± 0.117
90	0	0.147 ± 0.005	16.03 ± 0.90	2.36 ± 0.065
90	5	0.141 ± 0.008	9.95 ± 0.20	2.13 ± 0.090
90	10	0.127 ± 0.003	9.45 ± 0.28	2.12 ± 0.043
Main effect:				
Temperature (T)		NS	**	NS
Time (Tm)		**	**	**
Interaction:				
T × Tm		NS	*	NS

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$

^{NS} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ตารางที่ ก. 13 ความหนา ปริมาณความชื้นและความโปร่งแสงของฟิล์ม SC 85/45 ที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์ม

Temperature (°C)	Time (hr.)	Thickness (mm)	Moisture content (%, wet basis)	Transparency (A/m)
70	0	0.147 ± 0.005	17.52 ± 0.28	2.17 ± 0.032
70	5	0.135 ± 0.007	14.22 ± 1.08	2.03 ± 0.025
70	10	0.133 ± 0.002	12.53 ± 0.51	1.97 ± 0.061
80	0	0.147 ± 0.005	17.52 ± 0.28	2.17 ± 0.032
80	5	0.134 ± 0.003	14.23 ± 0.58	2.06 ± 0.070
80	10	0.130 ± 0.011	12.15 ± 2.54	1.95 ± 0.061
90	0	0.147 ± 0.005	17.52 ± 0.28	2.17 ± 0.032
90	5	0.135 ± 0.002	13.22 ± 1.94	2.01 ± 0.100
90	10	0.129 ± 0.006	10.01 ± 0.74	1.90 ± 0.064
Main effect:				
Temperature (T)		NS	NS	NS
Time (Tm)		**	**	**
Interaction:				
T × Tm		NS	NS	NS

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$

^{NS} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ตารางที่ ก. 14 ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์ม SC 70/60 ที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์ม

Temperature (°C)	Time (hr.)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
70	0	1.62 ± 0.25	216.48 ± 6.20
70	5	1.82 ± 0.04	173.98 ± 25.62
70	10	2.00 ± 0.095	187.22 ± 27.65
80	0	1.62 ± 0.25	216.48 ± 6.20
80	5	2.10 ± 0.13	147.41 ± 15.08
80	10	2.32 ± 0.53	185.64 ± 47.51
90	0	1.62 ± 0.25	216.48 ± 6.20
90	5	2.36 ± 0.25	143.05 ± 32.13
90	10	2.52 ± 0.25	136.12 ± 45.75
Main effect:			
Temperature (T)		*	NS
Time (Tm)		**	**
Interaction:			
T × Tm		NS	NS

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$

^{NS} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ตารางที่ ก. 15 ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์ม SC 85/45 ที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์ม

Temperature (°C)	Time (hr.)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
70	0	1.06 ± 0.03	177.40 ± 4.17
70	5	1.55 ± 0.08	161.66 ± 1.67
70	10	1.84 ± 0.22	133.51 ± 6.20
80	0	1.06 ± 0.03	177.40 ± 4.17
80	5	1.83 ± 0.12	144.26 ± 7.90
80	10	2.05 ± 0.04	124.25 ± 29.35
90	0	1.06 ± 0.03	177.40 ± 4.17
90	5	1.96 ± 0.12	114.81 ± 4.17
90	10	2.13 ± 0.31	91.47 ± 2.62
Main effect:			
Temperature (T)		*	NS
Time (Tm)		**	**
Interaction:			
T × Tm		NS	NS

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$

^{NS} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ตารางที่ ก. 16สภาพซึมผ่านได้ของไอน้ำ มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มและความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม SC 70/60 ที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์ม

Temperature (°C)	Time (hr.)	Water vapor permeability (mg.mm/Pa.h.m ²)	Contact angle (°)	Solubility (%)
70	0	0.62 ± 0.020	95.54 ± 14.17	41.52 ± 6.44
70	5	0.61 ± 0.025	94.84 ± 3.11	35.03 ± 6.05
70	10	0.58 ± 0.018	94.78 ± 1.25	35.30 ± 4.55
80	0	0.62 ± 0.020	95.54 ± 14.17	41.52 ± 6.44
80	5	0.59 ± 0.061	94.66 ± 1.41	33.87 ± 2.34
80	10	0.56 ± 0.035	96.50 ± 5.07	34.70 ± 3.60
90	0	0.62 ± 0.020	95.54 ± 14.17	41.52 ± 6.44
90	5	0.55 ± 0.035	100.36 ± 4.24	31.74 ± 3.57
90	10	0.54 ± 0.020	102.87 ± 0.26	31.19 ± 5.39
Main effect:				
Temperature (T)		NS	NS	NS
Time (Tm)		NS	NS	**
Interaction:				
T × Tm		NS	NS	NS

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$

^{NS} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ตารางที่ ก. 17 สภาพซึมผ่านได้ของไอน้ำ มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มและความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม SC 85/45 ที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการบ่มแผ่นฟิล์ม

Temperature (°C)	Time (hr.)	Water vapor permeability (mg.mm/Pa.h.m ²)	Contact angle (°)	Solubility (%)
70	0	0.85 ± 0.037	54.13 ± 4.36	54.39 ± 4.39
70	5	0.76 ± 0.055	65.51 ± 9.17	38.41 ± 2.72
70	10	0.78 ± 0.075	72.42 ± 17.19	35.13 ± 1.61
80	0	0.85 ± 0.037	54.13 ± 4.36	54.39 ± 4.39
80	5	0.74 ± 0.017	67.87 ± 7.11	39.95 ± 12.75
80	10	0.72 ± 0.015	79.12 ± 16.99	33.07 ± 2.28
90	0	0.85 ± 0.037	54.13 ± 4.36	54.39 ± 4.39
90	5	0.70 ± 0.138	82.35 ± 5.89	39.73 ± 1.18
90	10	0.71 ± 0.069	84.06 ± 15.41	32.25 ± 0.87
Main effect:				
Temperature (T)		NS	NS	NS
Time (Tm)		**	**	**
Interaction:				
T × Tm		NS	NS	NS

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.01$

^{NS} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลน้ำมันที่เป็นวัตถุติด

Certificate of Analysis

ชื่อผลิตภัณฑ์ Palm kernel oil

บริษัทผู้ผลิต บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน, สมุทรปราการ

Item	Analysis	Unit	Specification	Result	Analysis Method
1	FREE FATTY (% AS LAURIC ACID)	%	0.10 MAX	0.05	A.O.C.S Ca 5a-40
2	MOISTURE AND VOLATILE MATTER	%	0.10 MAX	0.03	A.O.C.S Ca 2c-25
3	IODINE VALUE (WIJS)		19.00 MAX	17	A.O.C.S Cd 1b-87
4	COLOUR (5 ¼ INCH LOVIBOND)		1.5 R MAX 15.00 Y MAX	0.8 10	A.O.C.S Cc 13b-87

Remark :

PACKING : TANK CAR : THE SPECIFIED QUALITY IS SUBJECTED TO RECEIVING DATE.

Certificate of Analysis

ชื่อผลิตภัณฑ์ Palm oil

บริษัทผู้ผลิต บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน, สมุทรปราการ

Item	Analysis	Unit	Specification	Result	Analysis Method
1	FREE FATTY (% AS PALMITIC ACID)	%	0.08 MAX	0.03	A.O.C.S Ca 5a-40
2	MOISTURE AND VOLATILE MATTER	%	0.10 MAX	0.07	A.O.C.S Ca 2c-25
3	IODINE VALUE (WIJS)		40.00 MIN	52	A.O.C.S Cd 1b-87
4	COLOUR (5 ¼ INCH LOVIBOND)		1.5 R MAX 15.00 Y MAX	1.3 11	A.O.C.S Cc 13b-87
5	PEROXIDE VALUE (MEQ/KG)		1.5 MAX	1.2	A.O.C.S Cd 8-53
6	SLIP MELTING POINT (DEGREE C)		42.00 MAX	40	A.O.C.S Cc 13b-45

Remark :

PACKING : TANK CAR : THE SPECIFIED QUALITY IS SUBJECTED TO RECEIVING DATE.

Certificate of Analysis

ชื่อผลิตภัณฑ์ Soybean oil

บริษัทผู้ผลิต บริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด

Item	Analysis	Unit	Specification	Result	Analysis Method
1	FREE FATTY OF OIL/FAT	%	0.10 MAX	0.03	A.O.C.S Ca 5a-40
2	MOISTURE AND VOLATILE MATTER	%	0.10 MAX	0.01	A.O.C.S Ca 2c-25
3	IODINE VALUE (WIJS)		126-130	130	A.O.C.S Cd 1d-92
4	COLOUR (5 ¼ INCH LOVIBOND)		1.5 R MAX 20.00 Y MAX	0.90 6	A.O.C.S Cc 13e-92
5	PEROXIDE VALUE (MEQ/KG)		2 MAX	0.32	A.O.C.S Cd 8-53
6	SPONIFICATION VALUE	mgKOH/g	189- 195	192	A.O.C.S Cd 3-25

Remark :

PACKING : TANK CAR : THE SPECIFIED QUALITY IS SUBJECTED TO RECEIVING DATE.

Certificate of Analysis

ชื่อผลิตภัณฑ์ Hydrogenated palm kernel oil

บริษัทผู้ผลิต บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน, สมุทรปราการ

Item	Analysis	Unit	Specification	Result	Analysis Method
1	FREE FATTY (% AS LAURIC ACID)	%	0.10 MAX	0.03	A.O.C.S Ca 5a-40
2	IODINE VALUE (WIJS)		1.5 MAX	1.1	A.O.C.S Cd 1b-87
3	SPONIFICATION VALUE	mgKOH/g	240 - 255	247	A.O.C.S Cd 3-25
4	COLOUR (5 ¼ INCH LOVIBOND);Liquid		1.00 R MAX 15.00 Y MAX	0.87 10	A.O.C.S Cc 13b-87
5	SLIP MELTING POINT (DEGREE C)		34.5 – 36.5	35.1	A.O.C.S Cc 3-25

Remark :

THE PRODUCT QUALITY IS SPECIFIED ON PRODUCTION DATE.

Certificate of Analysis

ชื่อผลิตภัณฑ์ Hydrogenated palm oil

บริษัทผู้ผลิต บริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด

Item	Analysis	Unit	Specification	Result
1	FREE FATTY (AS PALMITIC ACID)	%	0.10 MAX	0.06
2	MOISTURE AND VOLATILE MATTER	%	0.10 MAX	0.04
3	COLOUR (5 ¼ INCH LOVIBOND)		2.0 R MAX 20.00 Y MAX	1.2 10
4	PEROXIDE VALUE (MEQ/KG)		2 MAX	0.54
5	SLIP MELTING POINT (DEGREE C)			51.0 ± 1.0

Certificate of Analysis

ชื่อผลิตภัณฑ์ Hydrogenated soybean oil

บริษัทผู้ผลิต บริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด

Item	Analysis	Unit	Specification	Result
1	FREE FATTY (AS OLEIC ACID)	%	0.10 MAX	0.04
2	MOISTURE AND VOLATILE MATTER	%	0.10 MAX	0.02
3	IODINE VALUE (WIJS)			69 ± 3.0
4	COLOUR (5 ¼ INCH LOVIBOND)		2.0 R MAX 20.00 Y MAX	0.9 12
5	PEROXIDE VALUE (MEQ/KG)		2 MAX	0.46
6	SLIP MELTING POINT (DEGREE C)			37.0 ± 1.0

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนลินทิพย์ คงแก้วเกิดเมื่อวันที่ 9 ธันวาคมพ.ศ. 2527 ที่จังหวัดสตูลสำเร็จ การศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร จากมหาวิทยาลัยหอการค้า ไทยเมื่อปีการศึกษา 2549จากนั้นเข้าทำงานที่บริษัทยูโนเด็ด แดรี่ฟูดส์ จำกัดจังหวัด กรุงเทพมหานคร เป็นระยะเวลา 2 ปี และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรเทคโนโลยีทางอาหาร คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552

รายงานสิ่งตีพิมพ์และเผยแพร่

Khongkaew, N., Duangmal, K.and Mahawanich, T. 2012.Effectof lipid hydrogenation on moisture barrier and mechanical properties of emulsion film from soy protein isolate.Presented at the Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON) 2012.The Empress Chiang Mai Hotel, Chiang Mai, Thailand. January 11-13.