# การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

# A STUDY OF SOY PROTEIN ISOLATED BASED EDIBLE FILM PRODUCTION


จัดทำโดย

นางสาวนุชนารถ ทรัพย์พาณิชย์

นางสาวมาริสา เพิ่มเติมสิน

นางสาวอัญญารัตน์ ศิริพรพันธ์



รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15757

สำนักหอสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

# A STUDY OF SOY PROTEIN ISOLATED BASED EDIBLE FILM PRODUCTION

T096478

นางสาวนุชนารถ ทรัพย์พาณิชย์
นางสาวมาริสา เพิ่มเติมสิน
นางสาวอัญญารัตน์ ศิริพรพันธ์

ปพ.
น726ก
2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....S6478
วัน,เดือน,ปี.....- 8 JUN 2000

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชา อุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ใบรับรองปัญหาพิเศษ**

**เรื่อง**

**การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง**

**A STUDY OF SOYPROTEIN ISOLATED BASED**

**EDIBLE FILM PRODUCTION**

**โดย**


| | |
|---|---|
| นางสาวนุชนารถ | ทรัพย์พาณิชย์ |
| นางสาวมาริสา | เพิ่มแต้มสิน |
| นางสาวอัญญารัตน์ | ศิริพรพันธ์ |


**ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก**

..... 17/2/42 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(.....)


15757

4 มี.ค. 2542


**ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร**

.....

( )

**หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร**

**วันที่** 1 **เดือน** ก.พ. **พ.ศ.** 42


ว.พ.
26726 ก
2541,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทคัดย่อ

นุชนารถ ทรัพย์พาณิชย์, มาริสา เพิ่มเติมสิน และ อัญญารัตน์ ศิริพรพันธ์ . 2542. : การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง (A STUDY OF SOY PROTEIN ISOLATED BASED EDIBLE FILM PRODUCTION). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา , 57 หน้า

การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ทำการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 นอร์มอล ปรับ pH 9 และตกตะกอนโปรตีนด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล ปรับ pH 4.5 จะได้ประสิทธิภาพการแยกสกัดโปรตีนออกจากถั่วเหลือง 86.36 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการตกตะกอนโปรตีนออกจากสารละลายได้ 86.08 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยที่ใช้ศึกษาในการผลิตฟิล์ม คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง (ปริมาณโปรตีน) ต่อ ปริมาณของเหลว ที่ระดับ 10 : 90 ,12 : 88 ,14 : 86 และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 5% ,6% ,7% นำส่วนผสมมาปรับ pH = 8 ผสมด้วยความเร็ว 180 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 40 นาที นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยใช้ถาดอะคริลิก และทำให้แห้งในห้องเย็นอุณหภูมิ 13 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จะได้ฟิล์มที่มีลักษณะใส สีเหลืองอ่อน

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการ พบว่าฟิล์มที่มีคุณสมบัติดีผลิตได้จากอัตราส่วนของปริมาณโปรตีนต่อปริมาณของเหลว และกลีเซอรอลที่ระดับ 14 : 86 (5%) โดยฟิล์มที่ได้มีความชื้น 23.72% หนา 0.1233 mm. การซึมผ่านของไอน้ำ 18.97 $g/m^2/day$ ดัชนีการละลายน้ำ 61.06% ค่าความต้านทานแรงดึงขาด 18.66 $\times 10^3$ $kg/m^2$ และความต้านทานน้ำมันมากกว่า 72 ชั่วโมง ในขณะที่ฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนของปริมาณโปรตีน ต่อปริมาณของเหลวและกลีเซอรอลที่ระดับ 10 : 90 (7%) ให้คุณสมบัติที่ดีของฟิล์มต่ำสุด

การศึกษาปัจจัยการผลิตฟิล์มที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของฟิล์ม พบว่า ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้แรงดึงขาดและความหนาเพิ่มสูงขึ้น ค่าดัชนีการละลายน้ำและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำน้อยลง ส่วนปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดลดลง ค่าดัชนีการละลายน้ำ และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาจาก รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ได้ให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ และเรียบเรียงข้อมูลต่างๆ และขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ช่วยเหลือให้ปัญหาพิเศษสามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีรวมทั้งเพื่อนๆที่ให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดาที่ท่านได้ให้การสนับสนุนและกำลังใจมาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำ

9 มีนาคม 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


บทคัดย่อ I

กิตติกรรมประกาศ II

สารบัญ III

สารบัญตาราง V

สารบัญภาพ VI

บทที่

1. บทนำ

วัตถุดิบ 1

การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง 1

ฟิล์มที่รับประทานได้ 2

วัตถุประสงค์ 8

2. อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ 9

สารเคมี 9

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง 10

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ 10

การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง 12

การเตรียมฟิล์มจากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง 15

การศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง 17

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 21

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ 23

การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง 23

การเตรียมฟิล์มจากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง 25

การศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองจากสูตรที่เหมาะสม 28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


4. สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ 43

การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง 43

การเตรียมฟิล์มจากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง 43

การศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองจากสูตรที่เหมาะสม 44

บรรณานุกรม 45

ภาคผนวก

ก. การปรับอัตราส่วนของส่วนผสมในการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง 47

ข. วิธีวิเคราะห์หาประสิทธิภาพที่สำคัญของการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง 48

ค. ข้อมูลผลการทดลอง 50

ง. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 52

ประวัติผู้เขียน 57




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


1. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ 23
2. แสดงปริมาณความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง 29
3. แสดงปริมาณความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง 32
4. แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง 35
5. แสดงดัชนีการละลายน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง 38
6. แสดงผลการทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง 41
7. ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ 50
8. ข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง 50
9. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติด้านปริมาณความชื้นของฟิล์ม 52
10. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติด้านความหนาของฟิล์ม 53
11. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม 54
12. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติด้านดัชนีการละลายน้ำของฟิล์ม 55
13. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอลต่อคุณสมบัติด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม 56




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


1. แสดงขั้นตอนในการสกัดไขมันออกจากแป้งถั่วเหลือง 13
2. แสดงขั้นตอนการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง 14
3. แสดงขั้นตอนการเตรียมฟิล์มจากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง 16
4. แสดงวิธีการทดสอบความต้านทานน้ำมัน ดัดแปลงวิธี TAPPI-T454 18
5. แสดงวิธีการทดสอบแรงดึงขาดของฟิล์มด้วยเครื่อง texture analysis 19
6. แสดงวิธีการทดสอบหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำด้วยวิธี dish method 21
7. แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแป้งถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้สกัดไขมันกับแป้งถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้ว 24
8. แสดงโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลืองในขณะที่ตกตะกอนโปรตีน 25
9. แสดงลักษณะของแผ่นฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองจากปัจจัยในระดับต่าง ๆ 27
10. กราฟแสดงปริมาณความชื้นของฟิล์ม 30
11. กราฟแสดงความหนาของฟิล์ม 33
12. กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม 36
13. กราฟแสดงดัชนีการละลายน้ำของฟิล์ม 39
14. กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม 42




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1. วัตถุดิบ

ถั่วเหลืองเป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูล Leguminoceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ Glycine max, (Linn) Merrill (วารสารวิจัยพืชน้ำมัน , 2540 : 1) โดยที่ในเมล็ดถั่วเหลืองจะมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

| | |
|---|---|
| ความชื้น | 8 – 9 % |
| ไขมัน | 18 – 21 % |
| โปรตีน | 36 – 40 % |
| คาร์โบไฮเดรต | 30 – 35 % |
| ไฟเบอร์ | 15 – 20 % |
| เถ้า | 2 – 4 % |

## 2 การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง

จากองค์ประกอบของถั่วเหลือง พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันสูงถึง 18 – 21 % ดังนั้นจึงต้องสกัดไขมันออกก่อน โดยใช้การกวนในเฮกเซน ที่อัตราส่วนระหว่างแป้งถั่วเหลือง ต่อ เฮกเซน เท่ากับ 1 : 4 กวนที่ 25 C เป็นเวลานาน 30 นาที และทำการสกัด 2 ซ้ำ หลังจากนั้นจึงสกัดโปรตีนออกจากถั่วเหลือง โดยปรับ pH ให้ได้ 9.0 ด้วยสารละลาย 0.1 N $Na_2CO_3$ เพื่อละลายโปรตีนให้อยู่ในสารละลาย และปรับ pH ให้ได้ 4.5 ด้วยสารละลาย 0.1N HCl เพื่อตกตะกอนโปรตีนโดยอาศัยวิธีการ Isoelectric point ซึ่งเป็นจุด pH ที่โปรตีนละลายได้น้อยที่สุด โปรตีนจึงเกิดการตกตะกอนลงมา (ธัญญาภรณ์ ,2540 : 25-27 ;Were et.al., 1997 : 821-822)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. ฟิล์มที่รับประทานได้

ในปัจจุบันภาชนะบรรจุได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากการใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมจะสามารถช่วยรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานโดยไม่เกิดการเสื่อมเสีย ซึ่งการใช้ภาชนะก็จะแตกต่างกันไป ตามคุณสมบัติที่เหมาะสมกับความต้องการของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ แต่พบว่า มีปัญหาเกิดขึ้นตามมา คือ เรื่องของการกำจัดของเสียที่เหลือทิ้ง อันเนื่องมาจากการใช้ภาชนะบรรจุซึ่งทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาภาชนะบรรจุที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย โดยผลิตจากวัสดุธรรมชาติ เช่น ฟิล์มที่รับประทานได้ (edible film) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ห่อหุ้ม (wrap ) อาหารโดยสัมผัสกับอาหารโดยตรง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งจะช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในส่วนของภาชนะบรรจุในปัจจุบันให้ดีขึ้น

ฟิล์มที่รับประทานได้ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่ใช้ห่อหุ้มอาหารโดยสัมผัสกับผิวอาหารโดยตรงสามารถรับประทานได้ ทำหน้าที่เป็นภาชนะบรรจุอาหาร ช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหารจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น ซึ่งจัดอยู่ในประเภทภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัวที่ส่วนใหญ่ใช้ในรูปฟิล์มเคลือบ (coated film) หรือฟิล์มประกบ (laminated film) เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพคล้ายกันคือ มีลักษณะเป็นวัสดุบางมีความอ่อนตัวและมีความยืดหยุ่นสามารถย่อยสลายได้ง่าย

ประเภทของสารที่ใช้ผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้นั้น ได้แก่ สารพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิปิด ซึ่งความสามารถในการเกิดฟิล์มของสารเหล่านี้จะให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้อดีของฟิล์มที่รับประทานได้ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกมีดังนี้ คือ

1. สามารถบริโภคฟิล์มได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ ทำให้ปัญหาในเรื่องขยะ เนื่องจากการใช้ฟิล์มลดลง
2. ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้โดยง่ายเป็นการช่วยลดปัญหามลพิษ
3. เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากฟิล์มนี้ช่วยในการเก็บรักษาสารประกอบที่ให้กลิ่นรสและความหวาน เป็นต้น
4. เสริมคุณค่าอาหาร โดยเฉพาะฟิล์มที่ทำจากโปรตีน
5. ใช้หุ้มผลิตภัณฑ์อาหารโดยแยกออกเป็นแต่ละชิ้นได้ และใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการถ่ายเทความชื้น และไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน
6. ทำหน้าที่เก็บสารป้องกันจุลินทรีย์และสารกันหืน ทั้งยังควบคุมอัตราการซึมของสารก้นเสียจากฟิล์มเข้าสู่เนื้ออาหาร
7. ที่ใส่ในอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ
8. สามารถใช้ร่วมกับฟิล์มพลาสติก โดยให้ฟิล์มที่รับประทานได้สัมผัสกับอาหารโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตัวอย่างของการนำฟิล์มที่รับประทานได้มาประยุกต์ใช้จริง**

ตัวป้องกัน หน้าที่หนึ่งที่มีประโยชน์ที่สุดของ edible film คือทำหน้าที่คล้ายเป็นตัวป้องกันแก๊ส น้ำมันหรือบ่อยครั้งที่ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันน้ำ ระดับความชื้นในอาหารต่าง ๆ นั้นมีความสำคัญมาก ในการรักษาความสดของอาหาร ควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเพื่ออรรถรสและเนื้อสัมผัสที่ดีของอาหาร edible film สามารถควบคุมค่า water activity ( Aw ) เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นหรือความชื้นที่มากเกินไป

คุณสมบัติซึมผ่านได้ของโปรตีนข้าวโพดสามารถนำมาใช้เป็นฟิล์มหรือตัวเคลือบ เพื่อจะเป็นตัวป้องกันระดับความชื้นและอากาศให้กับเนื้อถั่วและผลไม้ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังนำมาเคลือบลูกเกดเพื่อใช้ในอาหารเช้าที่ธัญพืชพร้อมรับประทาน เพราะการเคลือบด้วยโปรตีนข้าวโพด ( Zein ) นั้นสามารถป้องกันการเปลี่ยนถ่ายความชื้นจากลูกเกดไปสู่ธัญพืชแห้งได้และนั่นก็เป็นการช่วยรักษาคุณภาพอีกด้วย สำหรับในเนื้อถั่ว สารเคลือบ Zein จะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันออกซิเจนและสามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษาออกไปได้อีก 50 % โดยป้องกันความหืน ถั่ว Pecan ( ถั่วชนิดหนึ่งมีในทางตอนกลางและใต้ของสหรัฐ ฯ ) ที่ผ่านการเคลือบที่ 70 F และความชื้นสัมพัทธ์ 50 % จะมีอายุการเก็บยาวนานขึ้น คือสามารถเก็บได้ 3 เดือนเมื่อเปรียบเทียบกับ ถั่วPecan ที่ไม่ได้เคลือบซึ่งเก็บได้นานเพียงแค่ 1 เดือนเท่านั้น นอกจากเป็นตัวป้องกันความชื้นและออกซิเจนแล้ว edible film ยังป้องกันน้ำมันได้อีก ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ลดไขมันกับอาหารประเภทชุปแป้งทอดหรือชุบขนมปังทอด การเคลือบนี้เกี่ยวข้องปฏิกิริยาสารละลายเปคตินกับผงขนมปังหรือแป้งนวดที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมอยู่ มันฝรั่งทอดเฟรนด์ฟรายที่ใช้เปคตินดูดซับน้ำมันออกนั้น สามารถลดน้ำมันลงได้ครึ่งหนึ่งของมันฝรั่งทอดทั่วไป สำหรับยาง gellan คือยางที่ได้รับการยอมรับจาก (US) FDA ว่าเป็น stabillizer และ thickener มีชื่อทางการค้าว่า Kelcogel สามารถทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการดูดซับน้ำมันในอาหารชุปแป้งทอดได้ นอกจากนี้ยังมี methylcellulose ใช้เคลือบผลไม้เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ส่วน hydroxypropyl cellulose นั้น มีลักษณะพิเศษที่ไม่เหมือนใครคือ เป็นยางพลาสติกที่ทนความร้อนได้ และสามารถถูกขับออกมาได้ในขณะยังอยู่ในขั้นการละลาย

การจับตัว edible film ได้ถูกนำมาใช้กับบริเวณผิวสัมผัสของขนมขบเคี้ยวต่าง ๆ เพื่อเป็นฐาน หรือที่ยึดเกาะของวัตถุปรุงแต่งรสอาหาร การเคลือบแบบนี้มีประโยชน์มากในอาหารประเภทไขมันต่ำที่ต้องการตัวเกาะติดที่ทำหน้าที่เหมือนตัวเคลือบเพื่อจับติดกับเกลือ และ / หรือ เครื่องปรุงรสต่าง ๆ ส่วนผสมของน้ำตาลจากข้าวโพด น้ำ และ กลีเซอรีล (glycerine) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นการเกาะติด สารละลายนี้จะใช้กับถั่วลิสงในระหว่างการกระเทาะเมล็ดถั่ว หลังจากที่เคลือบถั่วแล้วก็จะเริ่มการใส่เกลือ หรือเครื่องปรุงรสเพิ่มเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลือบมัน edible film สามารถทำหน้าที่เป็นสารเคลือบมันเพื่อเพิ่มความน่ารับประทานให้กับอาหารอบต่าง ๆ Optaglaze คือชื่อการค้าของสารเคลือบแป้งสาลีซึ่งได้ถูกนำมาใช้แทนการเคลือบด้วยไข่ ฟิล์มแป้งสาลีสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาทางจุลินทรีย์ได้ และยังมีคุณสมบัติควบคุมความชื้นได้อีกด้วย ซึ่งไม่เหมือนกับผลิตภัณฑ์ของไข่ดิบที่อาจเสี่ยงต่อปัญหาด้านจุลินทรีย์

ในการเตรียมฟิล์มต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

- ส่วนโพลิเมอร์ (polymer)
- ส่วนพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer)

**1. ส่วนของโพลิเมอร์ :**

จะทำหน้าที่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้าง (structure) ของฟิล์มโดยทั่วไป โพลิเมอร์ที่สามารถทำให้เกิดฟิล์มได้ดี ได้แก่ โปรตีน(protein) โพลีแซคคาไร ด์(polysaccharide) และไขมัน (lipid)

1.1 โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) โพลิเมอร์ในส่วนนี้ฟิล์มจะมีคุณสมบัติในการ รวมตัวกับน้ำ ไม่เหมาะที่จะกั้นการซึมผ่านของความชื้น แต่สามารถที่จะป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ดี และออกซิเจนผ่านได้ต่ำ ตัวอย่างของโพลิแซคคาไรด์บางชนิดที่สามารถผลิตเป็นฟิล์มที่รับ ประทานได้ เช่น สตาร์ช (starch) อัลจิเนต (alginate) เพคติน (pectin) คาราจีแนน (carageenan ) เด็กซ์ตริน (dextrin) เป็นต้น

1.2 ไขมัน (lipid) ฟิล์มชนิดนี้มีคุณสมบัติในการกั้นการซึมผ่านของความชื้นได้ดี จึงสามารถที่จะป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดี เช่น ฟิล์มจากไข (wax) กรดปาล์มิติก (palmitic acid) และสารลดแรงตึงผิว (surfactant)เป็นต้น

1.3 โปรตีน (protein) ฟิล์มชนิดนี้มีคุณสมบัติเด่นในแง่ของการยอมให้ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่นรส ซึมผ่านได้ต่ำ แต่ฟิล์มจากโปรตีนจะเป็นตัวกั้นไอน้ำที่ไม่ดี ปานกลาง เมื่อ RH ต่ำ ตัวอย่างชนิดของโปรตีนที่ทำให้เกิดฟิล์มได้ ได้แก่ คอลลาเจน เจลาติน เคซีน เวย์โปรตีน (whey protein) กลูเตนของข้าวสาลี (wheat gluten)โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein)

**2. ส่วนของพลาสติกไซเซอร์ :**

ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้ เนื่องจากถ้าในการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากโพลิเมอร์โดยไม่มีการใช้พลาสติกไซเซอร์ร่วมด้วยจะทำให้ได้ฟิล์มที่เปราะ (brittle) มาก ไม่มีคุณสมบัติของการเป็นฟิล์มที่ดี ซึ่งวัตถุประสงค์ของการใช้พลาสติกไซเซอร์ เพื่อช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติอ่อนตัว และสามารถแผ่ขยายได้ เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์จะช่วยลดแรงยึดจับ

เอกสารนี้ขอสงวนสิทธิ์ในการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในโมเลกุล (intermolecular force) ระหว่างสายโพลิเมอร์ ( polymer chain) และช่วยทำให้สายโพลิเมอร์มีการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น จึงมีผลให้ฟิล์มมีลักษณะไม่แตกหักง่าย แต่พลาสติกไซเซอร์ก็จะมีผลไปลดคุณสมบัติในการเป็นตัวกั้นก๊าซ ไอน้ำ และตัวถูกละลายของฟิล์ม และยังอาจทำให้ความยืดหยุ่น และการเกาะตัวกันลดลงด้วย ชนิดของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้สำหรับการเตรียมฟิล์มได้แก่ สารโพลิอัล (polyol) เช่น กลีเซอรอล คาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาลต่างๆ และไขมัน และอนุพันธ์ของไขมัน เช่น กรดปาล์มิติก เป็นต้น

ซึ่งการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้โปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง (soy protein) เป็นส่วนของโพลิเมอร์ (ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนทำให้เกิดโครงสร้าง ) เนื่องจากในเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนสูงถึงประมาณ 35 – 40 % และถ้าสกัดเอาไขมันออกไปก่อนโปรตีนจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 60 % และเป็นโปรตีนที่คุณภาพสูง และใช้กลีเซอรอลเป็นส่วนของพลาสติกไซเซอร์ โดยจะนำทั้งสองส่วนมาผสมกัน และปรับ pH ให้ได้ค่าประมาณ 8 จากการศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองของ Brandendurg et.al (1993:1086-1089) ซึ่งได้ทำการทดลองผลิตฟิล์มที่ pH 6,8,10,10,12 พบว่า ที่ pH6 ไม่สามารถเกิดฟิล์มได้ เนื่องจากเป็นจุดที่ใกล้ Isoelectric point ของโปรตีนโดยทั่วไปที่ pH4.5 ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายได้ต่ำ และที่ pH8,9,10และ12 โปรตีนจะสามารถละลายได้ดีโดยพบว่าที่ pH 8 จะทำให้เกิดลักษณะของฟิล์มที่สมบูรณ์ที่สุดจากนั้นนำมาให้ความร้อนในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งก็จะเกิดกลไกในการเกิดฟิล์มขึ้น โดยจะทำให้โปรตีนเกิดการดีเนเจอร์บางส่วนเป็นผลให้หมู่ไฮโดรโฟบิกเคลื่อนตัวออกมาอยู่ด้านนอกของโมเลกุล ซึ่งมีผลทำให้โปรตีนละลายน้อยลง และเกิดการรวมตัวของพันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มโปรตีน (aggregate) โดยกลีเซอรอลที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์จะแทรกอยู่ระหว่างสายของโพลิเมอร์ส่งผลให้ฟิล์มเกิดความยืดหยุ่นและอ่อนตัวได้

สำหรับกรรมวิธีในการขึ้นรูปฟิล์มนั้น ใช้วิธีการขึ้นรูปโดยใช้ตัวทำละลาย ( solvent casting ) เป็นการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยการนำสารผสมของฟิล์มที่เตรียมได้ชั่งน้ำหนัก เทลงบนถาดหรือภาชนะเฉพาะที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้แห้ง แล้วลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การศึกษาวิธีการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้**

- วิธีของ Brandenburg และคณะ : (1993: 1086 – 1089 ) ได้ทดลองทำฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง และมีการเติมสารอัลคาไลด์ลงไป ( treated with alkali isolated soy protein : ATISP ) โดยศึกษาคุณสมบัติในการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP ) การซึมผ่านของออกซิเจน ($O_2$) และเปอร์เซนต์ของแรงยืดตัว ( elongation percent ) ของแรงยืดตัว (elongation percent) ของโปรตีนที่พีเอช 6, 8,10 และ 12พบว่าฟิล์ม ATIST ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ที่พีเอช 6 เนื่องจากเป็นจุดที่ใกล้ Isoelectric point ของโปรตีนโดยทั่วไป pH 4.5 ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายได้ต่ำ และที่พีเอช 8,9,10 และ12 โปรตีนจะสามารถที่จะละลายได้ดี สามารถที่จะเกิดพันธะข้าม (cross link) ทำให้เกิดลักษณะโครงสร้างของฟิล์ม ค่าของแรงยืดตัว พบว่า ATISPจะให้ค่าที่สูงและการซึมผ่านของไอน้ำ ออกซิเจนคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับ( isolated soy protein : ISP)ฟิล์มที่ได้จาก ATISP นั้นจะมีผิวที่เรียบฟองอากาศเกิดขึ้นน้อย ทั้งนี้เนื่องจากว่า โปรตีนมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าฟิล์มที่ได้จึงแข็งแรง มีความหนาที่สม่ำเสมอไม่ปรากฏลักษณะที่เป็นตาข่าย (net work) สรุปว่าฟิล์มที่ได้จากพีเอช 6 จะให้อนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอ ทึบ มัว ขณะที่พีเอช 8 จะให้ลักษณะของฟิล์มที่สมบูรณ์ที่สุดนอกจากโปรตีนจากพืชต่างๆแล้วยังสามารถผลิตฟิล์มที่ได้จากโปรตีนสัตว์
- วิธีของ Gennadios และคณะ ( 1997: 622,624 ) ใช้ soy protein 5 g . : น้ำกลั่น 100 ml. เติมกลีเซอรีน 50 % w/w ของ protein ปรับ pH8 –11 ด้วย KOH , $NH_4OH$ และมีการเติมกรดไขมัน เช่น lauric acid , myristic acid , palmitic acid และoleic acid เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านการซึมผ่านของไอน้ำให้ดีขึ้น โดยผลที่ได้ คือการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มน้อยลงโดย 30 % lauric acid ให้ผลดีที่สุด คือ 0.3 $g.mm/m^2.hw.kPa$ เมื่อเทียบกับไม่เติมกรดไขมัน

**การปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม**

คุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนถั่วเหลือง (มยุรี , 2540 : 31)

| | |
|---|---|
| FILM PREPARATION | AQUEOUS |
| MOISTURE BARRIER | 10 –100 $g.mm/m^2d$ – kPa , Test Condition : 38°C 90/0%RH |
| OXYGEN BARRIER | 9 – 10 $cm^3$ um/ $m^2d$ kPa , Test Condition : 25°C , 0 –50 % RH |
| MECHANICAL PROPERTIES | 10 – 100 Mpa , Test Condition : 25°C , 50 % RH |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปรับปรุง

1. การปรับปรุงคุณสมบัติความแข็งแรงของฟิล์ม และคุณสมบัติการเป็นตัวกั้นความชื้น โดยการใช้สารประกอบอัลดีไฮด์ และการใช้เอ็นไซม์กลูตาอะมิเนส (glutaminase) ในระหว่างการให้ความร้อน เพื่อช่วยให้โมเลกุลโปรตีนเกิดการเชื่อมไขว้กัน
2. การปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นตัวกั้นความชื้น ทำได้โดยการใช้สารประกอบประเภทไขมัน เช่น ขี้ผึ้ง หลาย ๆ ชนิด และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว หลายๆ ชนิด
3. การเลือกใช้พลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสม มีการศึกษาสารพลาสติกไซเซอร์ 3 ชนิด คือ กลีเซอรีน โพลีเอธิลีนไกลคอล และ ซอร์บิทอล ที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มด้านต่างๆ คือ ความแข็งแรงของฟิล์ม สมบัติการยืดตัว ณ.ตำแหน่งจุดหักและการแพร่ผ่านของไอน้ำ พบว่า เมื่อใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ จะให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด ในขณะที่ฟิล์มที่เตรียมด้วยโพลีเอธิลีนไกลคอลให้ค่าการยืดตัวมากที่สุดที่จุดแตกหัก และการใช้ซอร์บิทอลและโพลีเอธิลีนไกลคอลเป็นพลาสติกไซเซอร์นี้ทำให้ฟิล์มที่ได้มีค่าความแข็งแรงมากกว่าการใช้กลีเซอรีนเป็นพลาสติไซเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง
2. เพื่อศึกษาถึงวิธีการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง
3. เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของฟิล์มที่ผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# อุปกรณ์และวิธีการ

## 1. อุปกรณ์

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1.1 | อุปกรณ์เครื่องแก้ว | | | |
| 1.2 | ตู้อบลมร้อน (hot air oven) | WTB binder | E53 S/N89352 | Germany |
| 1.3 | เครื่องวัดพีเอช (pH meter) | SUNTEX | SP-70 S/N930700587 | Thailand |
| 1.4 | เครื่องวัดค่า Aw | NOVASINA | Nr.9702014 | Switzerland |
| 1.5 | เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (kjeldahl) | GERHARDT | Yap000627 | Germany |
| 1.6 | เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (soxtherm) | GERHARDT | 016/28.19.36 | Germany |
| 1.7 | อ่างน้ำร้อน (waterbath) | MEMMERT | F.Nr.1595.0190 | Germany |
| 1.8 | เครื่องเขย่า (shaker) | GERHARDT | App.Nr.433480 | Germany |
| 1.9 | เครื่องบด | RETSCH | S/N50189015 | Germany |
| 1.10 | เครื่องวิเคราะห์หาแรงดึงขาด (texture analyser) | | | |
| 1.11 | แผ่นพลาสติกอะคริลิคขนาด 20×30 เซนติเมตร | | | |
| 1.12 | micrometer | | | |
| 1.13 | เครื่องวิเคราะห์หาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) | | | |

## 2. สารเคมี

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2.1 | โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) | S-9 | MERCK | Germany |
| 2.2 | กรดไฮโดรคลอริก (HCl) | SH-1 | LABSCAN | |
| 2.3 | โซเดียมคาร์บอเนต ($Na_2CO_3$) | S-5 | MERCK | Germany |
| 2.4 | เฮกเซน (Hexane) | SH-3 | LABSCAN | |
| 2.5 | โซเดียมเอไซด์ ($NaN_3$) | S-33 | MERCK | Germany |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

### 3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

เมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง นำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ (Proximate analysis) ด้วยวิธีดังต่อไปนี้ คือ

3.1.1 ความชื้น โดยใช้วิธีของ AOAC Method No. 925.10 (1995 : Chapter 32 หน้า 1)

เตรียมตัวอย่างโดยบดผ่านตะแกรงร่อน เบอร์ 20 (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร) ผสมให้ทั่วกัน และเตรียม Aluminium can ที่เย็นและทราบน้ำหนักแล้ว (โดยอบที่ 130 $\pm$ 3°C) แล้วใส่ตัวอย่าง 2 กรัม (น้ำหนักแห้งที่แน่นอน) เปิดฝาอบในตู้อบนาน 1 ชั่วโมง (เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 130°C) ทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น คือ

$$\text{ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไปในการอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3.1.2 ไขมัน ใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก AOAC Method No. 954.02 (1995 : Chapter 4 หน้า 17)

ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 5 กรัม ใส่ใน thimble ปิดด้านบนของตัวอย่างด้วยสำลี หรือกระดาษกรอง แล้วใส่ thimble ลงใน extraction tube ที่ด้านบนต่อกับ condensor ด้านล่างต่อกับขวดแก้วก้นกลม ใส่ petrolium ether 130 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วก้นกลม ต่อเครื่อง soxlet ทั้งหมด ปรับระดับความร้อนของ heating mantle สกัดนาน 2 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไประเหย ether ออกด้วย vacuum rotary evaporator และนำส่วนของไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 30 นาที ทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งหาน้ำหนักไขมัน

$$\%\ \text{ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 โปรตีน โดยใช้วิธีการของ AOAC Method No. 984.13 (1995 : Chapter 4 หน้า 11)

ดัดแปลงโดยใช้คอปเปอร์ซัลเฟตและโปตัสเซียมซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำตัวอย่างจำนวน 1 กรัม มาย่อยด้วยกรดซัลฟูริคเข้มข้น 20 มิลลิลิตรโดยมีตัวเร่งดังปฏิกิริยาดังกล่าวอยู่ด้วย ทำการย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส จึงทำให้เย็นแล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่น เก็บส่วนที่เป็นแอมโมเนีย ซึ่งควบแน่นในสารละลายกรดบอริคเข้มข้น 2 % (และในสารละลายกรดบอริคจะใส่ mix indicator ซึ่งจะมีสีชมพูและเมื่อกลั่นเสร็จจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า) นำไปไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นใสไม่มีสี นำปริมาณกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ในการไตเตรทไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน แล้วด้วยคูณด้วยแฟคเตอร์ 6.25 จะได้ปริมาณโปรตีน (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ไตเตรท) ตามต้องการ

$$\% \text{ ไนโตรเจน} = \frac{\text{ปริมาณ HCl ที่ใช้ในการไตเตรท} \times [\text{HCL}] \times 14 \times 100 \times 100}{5 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times 1{,}000}$$

$$\% \text{ โปรตีน} = (\% \text{ ไนโตรเจน}) \times 6.25$$

3.1.4 เยื่อใย โดยใช้วิธีการของ AOAC Method No. 962.09 (1995 : Chapter 4 หน้า 24)

เตรียมตัวอย่างที่วิเคราะห์โดยบดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร) และอบ filter paper ที่อุณหภูมิ 80-100 °C นาน 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร สกัดไขมันออกโดยใช้ chloroform : methanol เท่ากับ 2 : 1 แยกตัวอย่างออกใส่บีกเกอร์ เติมกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 1.25 % 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองผ่าน linin cloth โดยใช้ suction flask และ buncher funnle ล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดจนหมดกรด ตรวจสอบด้วยกระดาษลิตมัส ล้าง linin cloth ด้วยด่าง NaOH 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดอีก 30 นาที กรองผ่าน linin cloth ทันทีและล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดจนหมดฤทธิ์ด่าง และล้างด้วยแอลกอฮอล์ สุดท้ายนำกระดาษกรองที่มีเยื่อใย อบที่อุรหภูมิ 135 °C นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาใน crusible บน hot plate จนหมดควันและนำมาใส่ muffle furnace 550-600 °C จนเป็นเถ้าสีขาว ทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณเยื่อใย

$$\% \text{ เยื่อใย} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 เถ้า โดยใช้วิธีการของ AOAC Method No. 923.03 (1995 : Chapter 4 หน้า 32)

ชั่งตัวอย่าง 2-3 กรัม ใส่ใน crusible ที่เผาในเตาเผา ทำให้เย็นใน desiccator และชั่งน้ำหนัก แล้วเผาบน hot plate จนเถ้าเป็นสีเทาหรือขาว ไม่มีควันและนำไปเผาต่อในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550 °C จนเถ้าเป็นสีขาว หรือมีน้ำหนักคงที่ทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก และคำนวนหาปริมาณเถ้า

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าที่ได้} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3.1.6 คาร์โบไฮเดรต

คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการ Total by differrent ดังนี้ คือ

% คาร์โบไฮเดรต = 100 – (% ความชื้น + % โปรตีน + % ไขมัน + % เยื่อใย + % เถ้า)

**3.2 การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง**

ในการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง ในการทดลองนี้ ได้ดัดแปลงวิธีการบางขั้นตอนของ วุฒิชัย (2526 : 26) และ WERE et.al. (1997 : 821 , 822) (แสดงดังรูปที่ 2) โดยเริ่มจากการนำเมล็ดถั่วเหลืองมาบดให้เป็นแป้งถั่วเหลืองด้วยเครื่องบด แต่แป้งถั่วเหลืองที่ได้นี้ยังคงมีไขมันอยู่ จึงต้องนำมาทำการสกัดไขมันออกก่อน โดยนำมากวนในเฮกเซน ในอัตราส่วนแป้งถั่วเหลือง : เฮกเซน เท่ากับ 1 : 4 (W/V) เป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนที่ละลายได้ในตัวทำละลายและส่วนที่ไม่ละลายออกจากกัน นำส่วนที่ไม่ละลายในตัวทำละลายมาทำการสกัดไขมันออกอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นทำให้แห้งโดยวางทิ้งไว้ใน hood จะได้แป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีไขมัน (difatted soy flour) (แสดงดังรูปที่ 1) ซึ่งก็จะนำมาทำการสกัดโปรตีนต่อไป โดยเริ่มจากการนำแป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีไขมันมาละลายในน้ำกลั่น (อัตราส่วนของถั่วเหลือง : น้ำกลั่น เท่ากับ 1 : 10 W/V) ปรับ pH ให้ได้ 9.0 ด้วย 0.1N $Na_2CO_3$ และนำของผสมที่ได้มาแยกส่วนที่ละลายได้ในตัวทำละลายและส่วนที่ไม่ละลายออกจากกันโดยการนำมาหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 10,000 * g ,25 °C นาน 10 นาที จากนั้นนำสารละลายโปรตีนที่แยกได้มาตกตะกอนโปรตีนที่ pH 4.5 ด้วย 0.1N HCl แล้วแยกตะกอนโปรตีน โดยนำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000* g , 25 °C เป็นเวลา 10 นาที จะได้ตะกอนโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้ในระหว่างการสกัดไขมันมาวิเคราะห์หา % ไขมันที่เหลือ หลังจากการสกัดไขมันออกจากแป้งถั่วเหลือง เพื่อหาประสิทธิภาพในการสกัดไขมันออกจากแป้งถั่วเหลือง โดยที่

$$\text{ประสิทธิภาพในการสกัดไขมัน} = \frac{\%\text{ไขมันที่สกัดออกไปได้} \times 100}{\%\text{ไขมันที่มีอยู่เริ่มต้น}}$$

และนำข้อมูลที่ได้ในระหว่างการสกัดโปรตีนมาวิเคราะห์หา %โปรตีน และประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีน (extraction efficiency) ออกจากแป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีไขมันด้วย 0.1 N $Na_2CO_3$ โดยที่

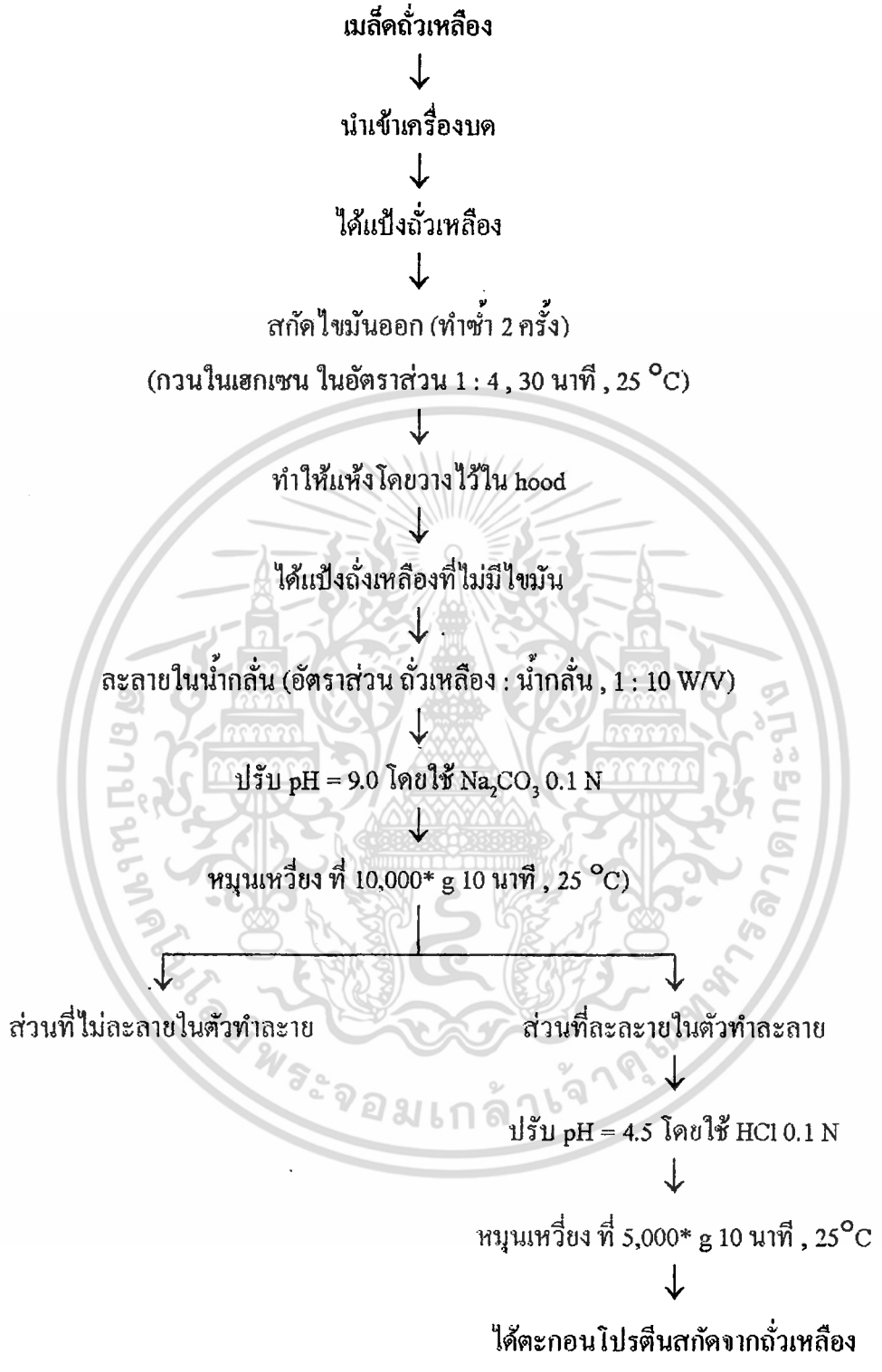
$$\text{extraction efficiency} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลาย 350 ml.} \times 100}{\text{ปริมาณโปรตีนที่มีในวัตถุดิบเริ่มต้น (35 กรัม)}}$$

จากนั้นนำส่วนของสารละลายโปรตีนที่แยกออกมาได้มาตกตะกอนโปรตีนด้วย 0.1 N HCl และนำปริมาณโปรตีนที่ตกตะกอนได้ มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการแยก (precipitation efficiency)

$$\text{procipitation efficiency} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนที่ตกตะกอนได้ใน 350 ml.} \times 100}{\text{ปริมาณโปรตีนในสารละลาย 350 ml.}}$$

รูปที่ 1 : แสดงขั้นตอนในการสกัดไขมันออกจากแป้งถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2 : แสดงขั้นตอนการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง**

**ที่มา** : ดัดแปลงมาจาก วุฒิชัย (2526 : 26) และ WERE et.al. (1997 : 821 , 822)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเตรียมฟิล์มจากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ เพื่อทดลองหาวิธีการที่เหมาะสมในความเป็นไปได้ของการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง โดยศึกษาผลของปัจจัยในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองที่สำคัญ 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 : อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง (ปริมาณโปรตีน) (% น้ำหนักของของผสม) ต่อ ปริมาณของเหลว เปรียบเทียบ 3 ระดับ คือ 10 : 90 , 12 : 88 , 14 : 86

ปัจจัยที่ 2 : ปริมาณของกลีเซอรอล ( %น้ำหนักของของผสม ) เปรียบเทียบ 3 ระดับ คือ 5 % , 6 % , 7 %

โดยสามารถสรุปอัตราส่วนของ % โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง , % กลีเซอรอล , % น้ำกลั่น ได้ 9 treatment ดังนี้

| treatment | ปริมาณโปรตีน (%)* (ปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว) | ปริมาณกลีเซอรอล (%) * (ปริมาณกลีเซอรอล : ปริมาณน้ำกลั่น) |
|---|---|---|
| 1 | 10 ( 10 : 90 ) | 5 ( 5 : 85 ) |
| 2 | 10 ( 10 : 90 ) | 6 ( 6 : 84 ) |
| 3 | 10 ( 10 : 90 ) | 7 ( 7 : 83 ) |
| 4 | 12 ( 12 : 88 ) | 5 ( 5 : 83 ) |
| 5 | 12 ( 12 : 88 ) | 6 ( 6 : 82 ) |
| 6 | 12 ( 12 : 88 ) | 7 ( 7 : 81 ) |
| 7 | 14 ( 14 : 86 ) | 5 ( 5 : 81 ) |
| 8 | 14 ( 14 : 86 ) | 6 ( 6 : 80 ) |
| 9 | 14 ( 14 : 86 ) | 7 ( 7 : 79 ) |

หมายเหตุ : ( % )* หมายถึง % ต่อน้ำหนักของของผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

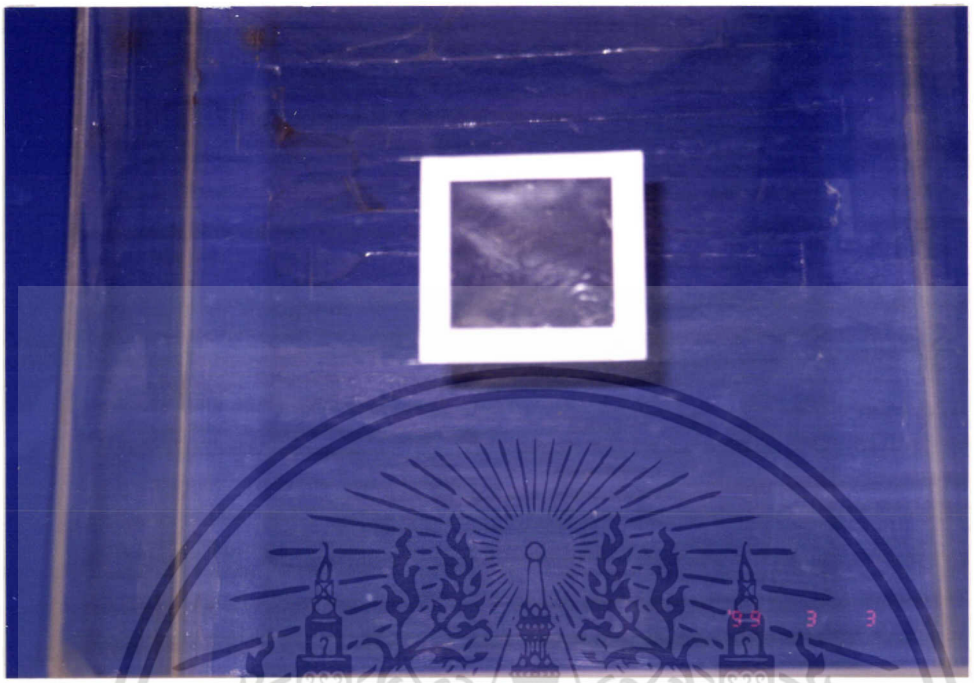
นำส่วนผสมทั้งหมดมาปรับ pH ให้ได้ 8.0 ด้วย 1.0 N NaOH จากนั้น นำไปกวนผสมในเครื่องผสมที่มีความเร็วรอบ 180 รอบ /นาที โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลานาน 40 นาที ซึ่งในการผสมนี้จะทำให้โปรตีนเกิดเจลเลชั่น (gelation) ที่สมบูรณ์ จากนั้นนำส่วนผสมปริมาณ 100 กรัม มาแผ่เป็นแผ่นบางลงบนแผ่นพลาสติกอะคริลิค ขนาด 20 × 30 เซนติเมตร แล้วนำมาทำให้ฟิล์มแห้ง ที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง และลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง (แสดงดังรูปที่ 3)

รูปที่ 3 : แสดงขั้นตอนการเตรียมฟิล์มจากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก ชัญญาภรณ์ (2540 : 28 ) และ WERE et.al. (1997 : 821 , 822)

หมายเหตุ : (*) หมายถึง % ต่อน้ำหนักของของผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 : แสดงวิธีการทดสอบความต้านทานน้ำมัน ดัดแปลงวิธี TAPPI-T 454

3.4.4 การทดสอบแรงดึงขาด (tensile strength : TS) ของฟิล์ม ตามวิธีของ standard method E8S2-88 ASTM (1974 : 1-10) (แสดงดังรูปที่ 5)

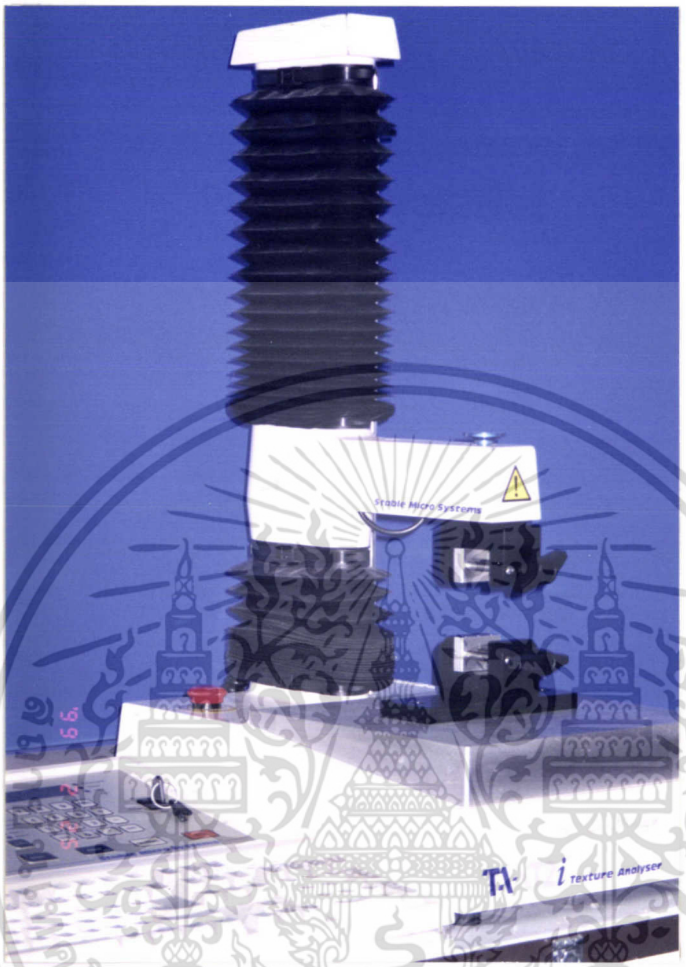
อุปกรณ์ : เครื่องวัดแรงดึงขาด (texture analyser) , ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 2.5 × 7.0 เซนติเมตร

วิธีการ : กำหนดสภาวะของเครื่องทดสอบแรงดึงขาด ที่อุณหภูมิ 27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 65 % ความเร็ว 100 มิลลิเมตร ต่อนาที หลังจากนั้น นำฟิล์มที่ตัดตามขนาดดังกล่าวมาทดสอบแรงดึงขาดด้วยเครื่อง texture analyser

การคำนวณ : นำค่าจากการทดสอบ มาคำนวณหาค่าแรงดึงขาด ดังนี้

$$\text{tensile strength } (g / cm^2) = \frac{\text{ค่าของแรงที่ดึงได้สูงสุด (g)}}{\text{พื้นที่ผิวของฟิล์ม } (cm^2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5 : แสดงการทดสอบแรงดึงขาดของฟิล์มด้วยเครื่อง texture analyser

3.4.5 การทดสอบดัชนีการละลายน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง (water solubility index : WSI) ตามวิธีของ Gontard et.al (1992 : 190-199)

อุปกรณ์ : ชุดทดสอบหาอัตราการละลาย , แผ่นฟิล์มกลมตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร , สารละลายโซเดียมเอไซด์ ($NaN_3$) 0.2 % , เครื่องเหวี่ยง , ตู้อบลมร้อนปรับอุณหภูมิ 100$^{\circ}$C

วิธีการ : นำแผ่นฟิล์มตามขนาดที่กำหนดชั่งน้ำหนักเริ่มต้น และแช่แผ่นฟิล์มที่ได้ในน้ำกลั่นที่เติมสารละลายโซเดียมเอไซด์ ความเข้มข้น 0.2 % บ่มเก็บที่อุณหภูมิ 20-25 $^{\circ}$C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พร้อมทั้งเขย่าเป็นระยะ ๆ หลังจากนั้นนำฟิล์มแยกออกจากสารละลายและทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำฟิล์มที่อบมาทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักหลังการอบแห้งของฟิล์ม และคำนวณค่าการละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ : ค่าการละลายน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้ คำนวณ ดังนี้

$$\% \text{ water solubility index} = \frac{(A - B) \times 100}{A}$$

หมายเหตุ : A คือ น้ำหนักเริ่มต้นของแผ่นฟิล์ม

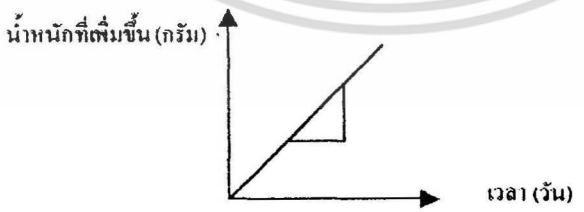
B คือ น้ำหนักหลังการอบแห้งของแผ่นฟิล์ม (คือ ส่วนที่ไม่ละลายน้ำ)

3.4.6 การทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapour transmition rate : WVTR) แบบ dish-method ตามวิธีการของ ASTM (1974 : 1-10) (แสดงดังรูปที่ 6)

อุปกรณ์ : ชุดทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง ตามลักษณะต้นแบบของชุดถ้วยสแตนเลสสำหรับวัดค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 9.6 เซนติเมตร ภายใน 7.8 เซนติเมตร ลึก 2.0 เซนติเมตร มีพื้นที่ทั้งหมดเฉลี่ย 50 ตารางเซนติเมตร , ซิลิการ์เจล (siliga gel) , โถดูดความชื้น (desiccator) , พาราฟิน (parafin wax)

วิธีการ : ตัดแผ่นฟิล์มขนาดพื้นที่ผิวเท่ากับ 50 ตารางเซนติเมตร วางบนชุดอุปกรณ์วัดค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ซึ่งภายในบรรจุซิลิการ์เจล ปริมาณ 30 กรัม ปิดขอบฟิล์มกับชุดอุปกรณ์วัดค่าการซึมผ่านของไอน้ำด้วยพาราฟิน เก็บชุดอุปกรณ์ดังกล่าวใน desicctor ที่ปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 90 % เก็บที่อุณหภูมิ 38 $^{\circ}$C ชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนไปทุก 4 ชั่วโมง จนน้ำหนักแตกต่างกัน 0.0001 กรัม

การคำนวณ : นำค่าที่วัดได้ทุก 4 ชั่วโมง ไปหาความชัน (slope) ดังนี้




$$\text{slope } (S) = g(H_2O) / \text{day}$$

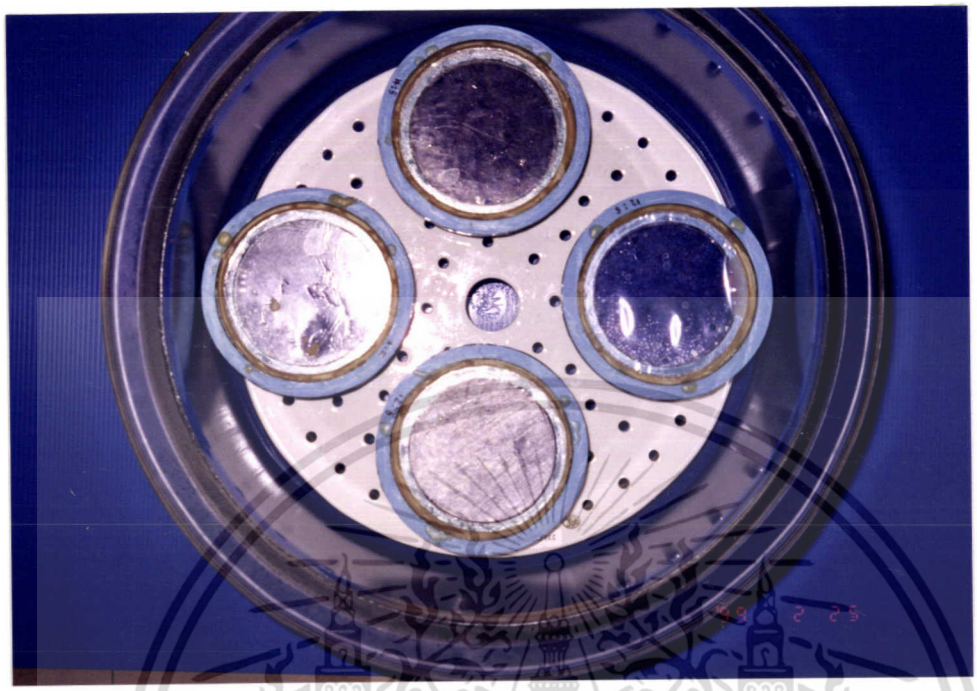
$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อ 1 ตารางเมตร} = \frac{S \times 100 \times 100}{50}$$

WVTR = น้ำหนักน้ำ (กรัม) ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ต่อ 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15757





รูปที่ 6 : แสดงวิธีการทดสอบหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำด้วยวิธี dish method

## 4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองจากสูตรที่เหมาะสม วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial design) ที่มีผลของปัจจัยในการผลิตฟิล์มที่สำคัญ 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง (ปริมาณโปรตีน)(% น้ำหนักของของผสม) ต่อปริมาณของเหลวเปรียบเทียบ 3 ระดับ คือ 10 : 90 , 12 : 88 , 14 : 86

ปัจจัยที่ 2 : ปริมาณของกลีเซอรอล ( % น้ำหนักของของผสม) เปรียบเทียบ 3 ระดับ คือ 5 % , 6 % , 7 %

| อัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ของเหลว | 10 : 90 | 12 : 88 | 14 : 86 |
|---|---|---|---|
| กลีเซอรอล 5% | | | |
| กลีเซอรอล 6% | | | |
| กลีเซอรอล 7% | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

นำข้อมูลของฟิล์มที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการที่ได้มาทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยทั้งสอง ที่มีต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของฟิล์ม ซึ่งได้แก่ ปริมาณความชื้น (moisture content) , ความหนา ( thickness) , ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength : TS) , ดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index : WSI) , อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapour transmission : WVTR) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# ผลการทดลองและวิจารณ์

## 1. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

จากการทดลองใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านการกระเทาะเปลือกออกแล้ว วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง พบว่ามีปริมาณโปรตีนอยู่ในเกณฑ์ที่สูง เหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์มาก และมีองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ความชื้น , ไขมัน , เยื่อใย , เถ้า , คาร์โบไฮเดรต (แสดงดังตารางที่ 1)

| องค์ประกอบทางเคมี | ร้อยละ |
|---|---|
| ความชื้น | 8.60 $\pm$ 0.165 |
| ไขมัน | 20.80 $\pm$ 0.067 |
| โปรตีน | 36.64 $\pm$ 0.398 |
| เยื่อใย | 1.73 $\pm$ 0.005 |
| เถ้า | 3.34 $\pm$ 0.012 |
| คาร์โบไฮเดรต | 28.89 $\pm$ 0.058 |

## 2. การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง

ก่อนการสกัดโปรตีนออกจากถั่วเหลือง จะต้องทำการสกัดไขมันออกจากแป้งถั่วเหลืองก่อน โดยใช้วิธีการกวนในเฮกเซน ที่อัตราส่วนแป้งถั่วเหลือง : เฮกเซน เท่ากับ 1 : 4 (W/V) และนำแป้งถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้วมาวิเคราะห์หา %ไขมันที่เหลือหลังการสกัด เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการสกัดไขมัน พบว่ามี %ไขมันที่เหลือในถั่วเหลืองโดยเฉลี่ย = 1.54 $\pm$ 0.065 % แต่ทั้งนี้พบว่า ความบริสุทธิ์ของเฮกเซนก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดไขมัน เนื่องจากเมื่อนำเฮกเซนที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว มากลั่นใช้ใหม่ พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดไขมันลดลง จึงมีเปอร์เซ็นต์ไขมันที่เหลือในแป้งถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย = 3.73 $\pm$ 0.192 %

และในการศึกษาประสิทธิภาพในการสกัดไขมัน โดยใช้เฮกเซน พบว่า ประสิทธิภาพในการสกัดไขมันออกจากแป้งถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 92.60 % (ภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า แป้งถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้วจะมีสีเหลืองซีดกว่าแป้งถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้สกัดไขมันออก (แสดงดังรูปที่ 7)

(ก) (ข)

รูปที่ 7 : แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแป้งถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้สกัดไขมัน (ก) กับ แป้งถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้ว (ข)

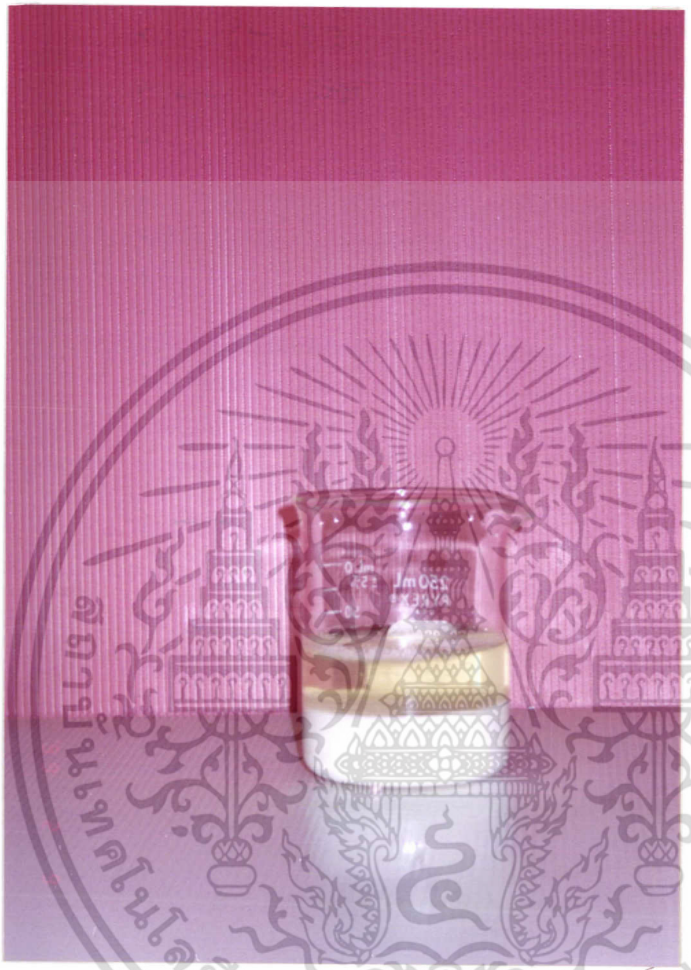
นำแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว มาทำการสกัดโปรตีนออกจากถั่วเหลือง โดยเริ่มจากการนำแป้งถั่วเหลืองมาละลายในน้ำกลั่น (อัตราส่วนของถั่วเหลือง : น้ำกลั่น = 1 :10 (W/V) ปรับ pH ให้ได้ 9.0 ด้วย 0.1 N $NaCO_3$ พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนออกจากถั่วเหลือง (extraction efficiency) มีค่าเท่ากับ 86.36 % (ภาคผนวก ข)

จากนั้นนำสารละลายโปรตีนที่แยกได้มาตกตะกอนโปรตีน โดยปรับ pH ให้ได้ 4.5 ด้วย 0.1 N HCl เนื่องจากค่า pH ในช่วงนี้เป็นช่วง Isoelectric piont (PI) ของโปรตีน ซึ่งโปรตีนละลายได้ในระดับต่ำที่สุด จึงสามารถทำให้โปรตีนตกตะกอนลงมาได้มากที่สุดเช่นเดียวกัน พบว่าประสิทธิภาพในการตกตะกอนโปรตีนออกจากถั่วเหลือง (precipitation efficiency) มีค่าเท่ากับ 86.08 % (ภาคผนวก ข)

จากการทดลอง พบว่าในการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง ถ้าใช้แป้งถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการสกัดไขมันออกก่อน จะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดและการตกตะกอนโปรตีนไม่ดี โดยจะมีไขมันลอยอยู่ที่ผิวหน้าของสารละลายโปรตีนทำให้การแยกตะกอนโปรตีนเกิดได้ไม่ดี ดังนั้นจึงต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดไขมันออกก่อน ซึ่งโปรตีนที่ตกตะกอนได้จะมีสีค่อนข้างขาวจนถึงสีเหลืองอ่อน ๆ (แสดงดังรูปที่ 8)



รูปที่ 8 : แสดงโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลืองในขณะที่ตกตะกอนโปรตีน

## 3. การเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง

จากการทดลองถึงความเป็นไปได้ของการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นก่อน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณโปรตีน ต่อปริมาณกลีเซอรอล (% ต่อน้ำหนักของของผสม) ที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม พบว่าระดับอัตราส่วนของปริมาณโปรตีนที่น้อยกว่า 10 % (ต่อน้ำหนักของของผสม) การขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มจะกระทำได้ยาก เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่ใช้เป็นส่วนของโพลิเมอร์ในการทำให้เกิดโครงสร้างของฟิล์มมีน้อยเกินไป และเมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอลในระดับที่ต่ำกว่า 5% พบว่าการลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มจะกระทำได้ยาก และจะทำให้ฟิล์มขาดได้ง่าย เนื่องจากส่วนของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้น้อยเกินไป ทำให้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยืดหยุ่นตัวของฟิล์มไม่ดี แต่ถ้าใช้ปริมาณของกลีเซอรอลในระดับที่มากกว่า 7% พบว่าจะได้ฟิล์มที่มีความชื้นค่อนข้างสูง และฟิล์มมีลักษณะเปื่อยยุ่ย ยากต่อการลอกออกเป็นแผ่นฟิล์ม

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงกำหนดปัจจัยในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 : อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง (ปริมาณโปรตีน) : ปริมาณของเหลว เปรียบเทียบกัน 3 ระดับ คือ 10 : 90 , 12 : 88 , 14 : 86

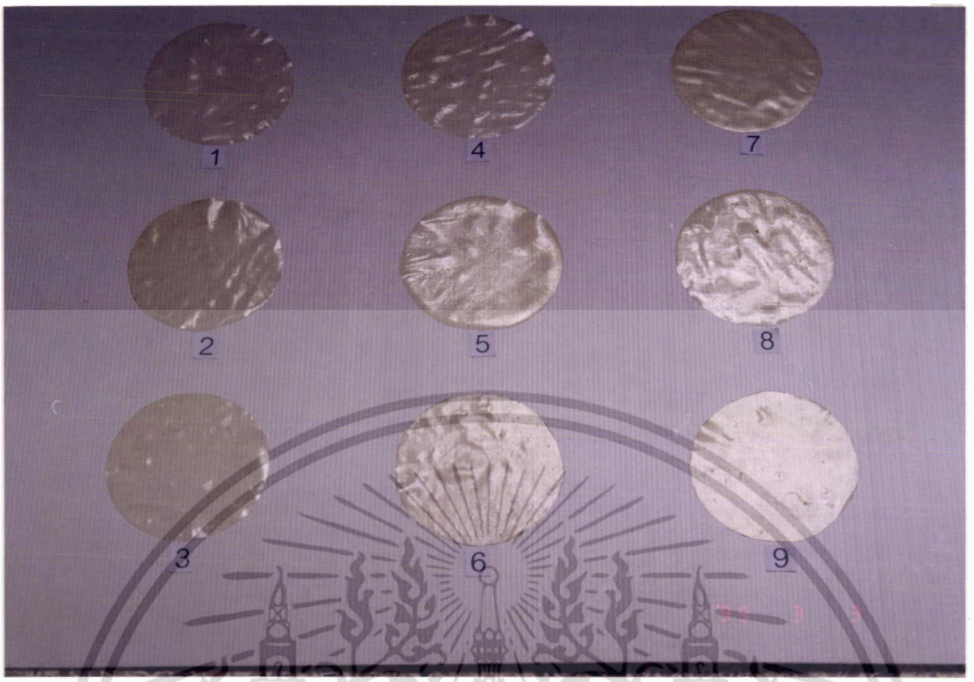
ปัจจัยที่ 2 : ปริมาณกลีเซอรอล (% ต่อน้ำหนักของของผสม) ที่ 3 ระดับ คือ 5% , 6% , 7%

และในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง ได้ทดลองเติมสารอัคคาไลด์ลงไปในโปรตีนสกัดถั่วเหลือง (treated with alkali isolated soy protein : ATISP) เปรียบเทียบกับโปรตีนสกัด (isolated soy protein : ISP) พบว่าฟิล์มที่ได้จาก ATISP นั้น จะมีความใส และผิวที่เรียบ สม่ำเสมอ ฟองอากาศเกิดขึ้นน้อยกว่าฟิล์มที่ได้จาก ISP แต่ฟิล์มที่ได้ยังคงมีสีค่อนข้างเหลือง เนื่องจากไม่ได้ทำการสกัดเอา pigment ที่ให้สีออกไปก่อน

ส่วนความร้อนที่ให้กับของผสมในการผลิตฟิล์ม ในระหว่างขั้นตอนการผสม พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 40 นาที ด้วยเครื่องผสมแบบมีใบพัดกวนที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 180 รอบ / นาที ซึ่งเหมาะสมที่จะทำให้ของผสมเกิดเจลได้ดี และสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ได้ และในการทำแห้งแผ่นฟิล์มเปรียบเทียบระหว่างการทำให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง กับการทำให้แห้งในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 13 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า ฟิล์มที่ได้จากการทำแห้งในตู้อบลมร้อน จะมีความชื้นต่ำกว่า สามารถลอกออกเป็นแผ่นได้ดี แต่จะมีสีเหลืองเข้ม ส่วนฟิล์มที่ได้จากการทำแห้งในห้องเย็น อาจต้องใช้เวลานานกว่าจะทำให้ฟิล์มแห้ง สามารถลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มได้ แต่มีข้อดีคือ ฟิล์มที่ได้จะมีสีเหลืองอ่อนกว่า

จากการทดลองผลิตฟิล์มโดยวิธีดังกล่าวข้างต้น ตามปัจจัยในการผลิตที่ระดับต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกัน จะได้ฟิล์มที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีเหลือง ใส และมีความยืดหยุ่นค่อนข้างดี (แสดงดังรูปที่ 9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 9 : แสดงลักษณะของแผ่นฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง ที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง (ปริมาณโปรตีน) : ปริมาณของเหลว และ ปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับต่าง ๆ กัน (9 treatment)

หมายเหตุ :

ฟิล์มหมายเลข 1 = 10 : 90 (5%)
2 = 10 : 90 (6%)
3 = 10 : 90 (7%)
4 = 12 : 88 (5%)
5 = 12 : 88 (6%)
ฟิล์มหมายเลข 6 = 12 : 88 (7%)
7 = 14 : 86 (5%)
8 = 14 : 86 (6%)
9 = 14 : 86 (7%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. การศึกษาคุณสมบติทางฟิลิกส์และเคมีบางประการของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองจากสูตรที่เหมาะสม

### 4.1 ความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ในสารละลายผสมที่ระดับ 10 : 90 , 12 : 88 , 14 : 86 ในทุกอัตราส่วนของปริมาณกลีเซอรอล 5% , 6% , 7% (ต่อน้ำหนักของของผสม) พบว่าปริมาณความชื้นของแผ่นฟิล์มอยู่ระหว่าง 21.50 – 24.19 % (แสดงดังตารางที่ 2)

โดยฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณของกลีเซอรอลที่ระดับ 90 : 10 (5%) มีความชื้นสูงที่สุด ในขณะที่ฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณของกลีเซอรอลที่ระดับ 14 : 86 (7%) มีความชื้นต่ำที่สุด (แสดงดังรูปที่ 10) เนื่องจากปริมาณของน้ำกลั่นในส่วนผสมมีปริมาณน้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ ฟิล์มที่ได้จึงมีความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่าอัตราส่วนอื่น และจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อหาค่าความแตกต่างทางสถิติ (ภาคผนวก ง) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยทั้งสองของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณของกลีเซอรอล ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของฟิล์มที่ผลิตได้

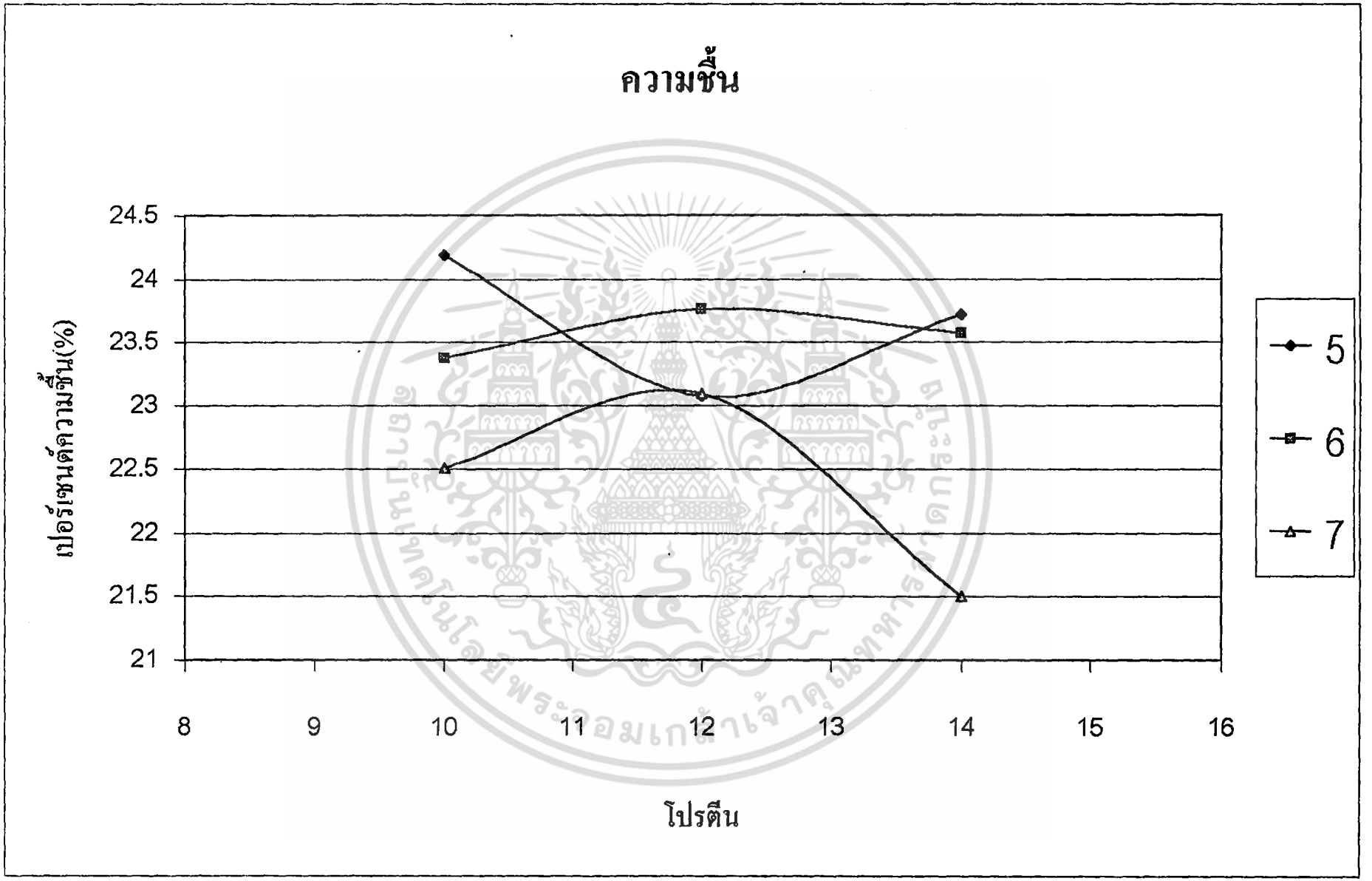
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 : แสดงปริมาณความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

| Treatment NO. | Factor | | Physical and Chemical properties |
|---|---|---|---|
| | Protein* (solid : liquid) | Glycerol* ( glycerol : distilled water) | Moisture( % ) |
| 1 | 10 ( 10:90 ) | 5 ( 5:85 ) | 24.19±0.293 |
| 2 | 10 ( 10:90 ) | 6 ( 6:84 ) | 23.37±0.880 |
| 3 | 10 ( 10:90 ) | 7 ( 7:83 ) | 22.51±0.456 |
| 4 | 12 (12:88 ) | 5 ( 5:83 ) | 23.07±0.019 |
| 5 | 12 (12:88 ) | 6 ( 6:82 ) | 23.76±0.112 |
| 6 | 12 (12:88 ) | 7 ( 7:81 ) | 23.09±0.523 |
| 7 | 14 (14:86 ) | 5 ( 5:81 ) | 23.09±0.523 |
| 8 | 14 (14:86 ) | 6 ( 6:80 ) | 23.57±0.852 |
| 9 | 14 (14:86 ) | 7 ( 7:79 ) | 23.72±0.292 |

หมายเหตุ : * หมายถึง % ต่อน้ำหนักของของผสม (100 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 10 : กราฟแสดงปริมาณความชื้นของฟิล์ม

### 4.2 ความหนาของแผ่นฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง (thickness)

จากการทดลองผลิตฟิล์มที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ในสารละลายผสมที่ระดับ 10 : 90 , 12 : 88 , 14 : 86 ในทุกอัตราส่วนของปริมาณกลีเซอรอล 5% , 6% , 7% (ต่อน้ำหนักของของผสม) พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีความหนาอยู่ระหว่าง 0.0617 – 0.1333 มิลลิเมตร (แสดงดังตารางที่ 3)

โดยที่ฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณของกลีเซอรอล ที่ระดับ 14 : 86 (6%) มีความหนาสูงสุด ในขณะที่ฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 10 : 90 (5%) มีความหนาต่ำที่สุด และจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของฟิล์ม คือปริมาณโปรตีน ซึ่งแสดงค่าแตกต่างทางสถิติ (ภาคผนวก ง) โดยความหนาของฟิล์มจะแปรผันตามปริมาณของโปรตีน หมายความว่า ถ้ามีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น ความหนาของฟิล์มก็จะมากขึ้น (แสดงดังรูปที่ 11)

เปรียบเทียบความหนาของฟิล์มพลาสติกโดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่า 0.01 มิลลิเมตร (ANON 1973 : 568) แต่ฟิล์มที่ได้จากการทดลองมีความหนามากกว่า 0.01 มิลลิเมตร เนื่องจากขั้นตอนการผลิตจะใช้วิธี solvent casting ด้วยการนำของผสมของฟิล์มมาเกลี่ยลงบนแผ่นพลาสติกอะคริลิค และเนื่องจากของผสมของฟิล์มที่ได้ในการทดลองนี้ค่อนข้างเหลว ทำให้การควบคุมความหนาทำได้ลำบาก เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีอื่น ๆ ดังนั้นในขั้นตอนของการเตรียมแผ่นฟิล์มจึงขอแนะนำให้นำของผสมของฟิล์มไปกลั่นหรือระเหยเอาน้ำออก เพื่อให้ได้ของผสมที่ข้นหนืดมากขึ้น และใช้เครื่องมือในการทำแห้ง เช่น drum dryer ซึ่งจะสามารถปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 2 ลูกได้ ก็จะทำให้สามารถควบคุมความหนาได้สม่ำเสมอยิ่งขึ้น

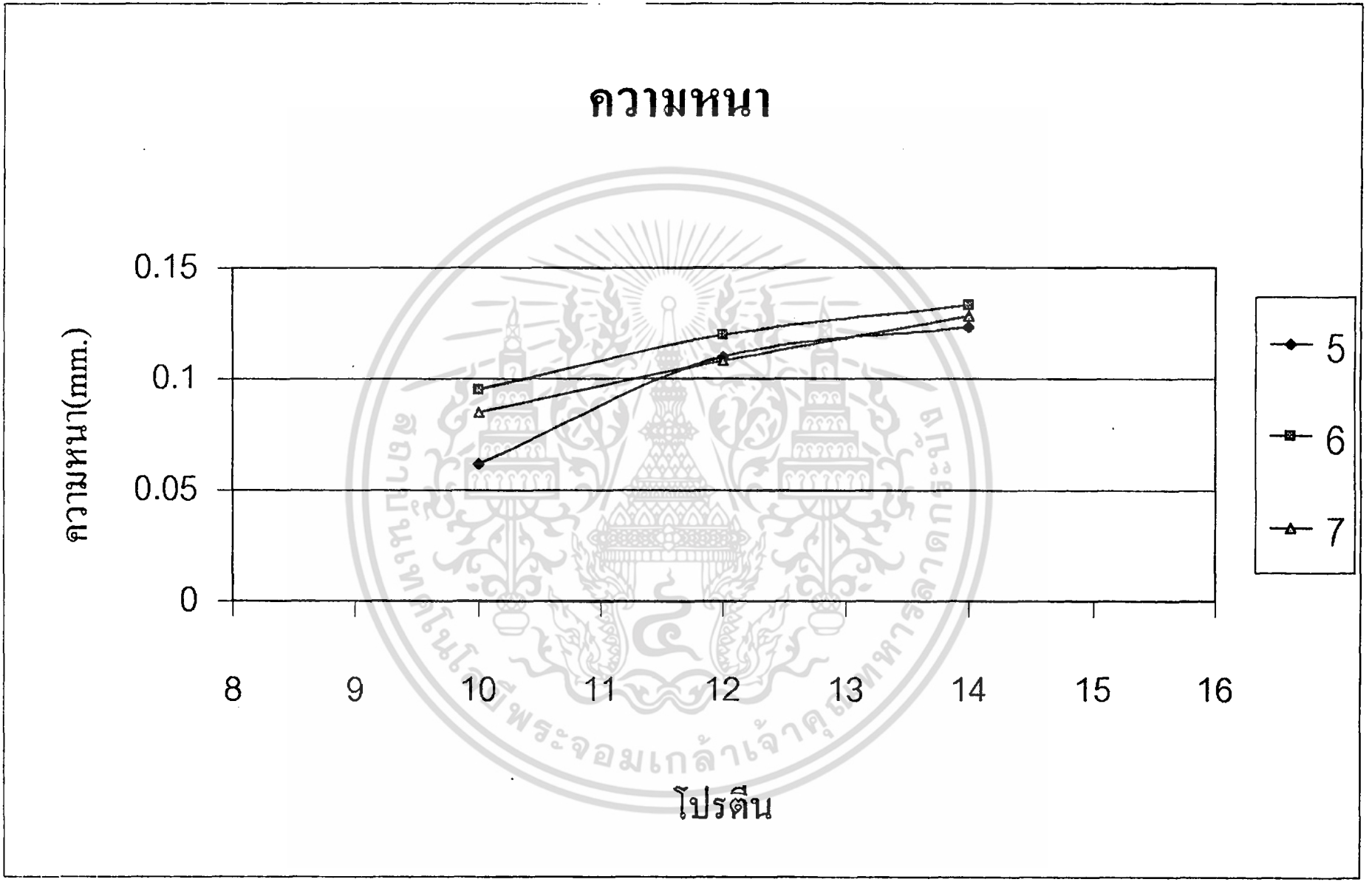
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 : แสดงปริมาณความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

| Treatment NO. | Factor | | Physical and Chemical properties |
|---|---|---|---|
| | Protein* (solid : liquid) | Glycerol* ( glycerol : distilled water) | Thickness ( mm.) |
| 1 | 10 ( 10:90 ) | 5 ( 5:85 ) | 0.0617±0.0056 |
| 2 | 10 ( 10:90 ) | 6 ( 6:84 ) | 0.0950±0.0617 |
| 3 | 10 ( 10:90 ) | 7 ( 7:83 ) | 0.0850±0.0167 |
| 4 | 12 (12:88 ) | 5 ( 5:83 ) | 0.1100±0.0200 |
| 5 | 12 (12:88 ) | 6 ( 6:82 ) | 0.1200±0.0267 |
| 6 | 12 (12:88 ) | 7 ( 7:81 ) | 0.1083±0.0211 |
| 7 | 14 (14:86 ) | 5 ( 5:81 ) | 0.1233±0.0122 |
| 8 | 14 (14:86 ) | 6 ( 6:80 ) | 0.1333±0.0256 |
| 9 | 14 (14:86 ) | 7 ( 7:79 ) | 0.1283±0.0156 |

หมายเหตุ : * หมายถึง % ต่อน้ำหนักของของผสม (100 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 11 : กราฟแสดงความหนาของฟิล์ม

**4.3 การทดสอบความต้านทานน้ำมัน (grease and oil resistance)ของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง**

จากการทดสอบความต้านทานน้ำมันของฟิล์มที่ผลิตได้จากอัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ที่ระดับ 10 : 90 , 12 : 88 , 14 : 86 และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 5% , 6% , 7% (% ต่อน้ำหนักของของผสม) พบว่าไม่มีการซึมผ่านของน้ำมันในฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองในเวลาที่มากกว่า 72 ชั่วโมง

**4.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength : TS) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง**

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงขาด พบว่าฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ที่ระดับ 14 : 86 และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 5% ให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด ในขณะที่อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ที่ระดับ 10 : 90 และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 7% ให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดต่ำสุด (แสดงดังตารางที่ 4)

จากผลการทดลอง พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม คือ อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณของกลีเซอรอล ในส่วนผสมของฟิล์ม ด้วยการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อหาค่าแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีค่าแตกต่างทางสถิติของปริมาณโปรตีนและปริมาณกลีเซอรอล (ภาคผนวก ง) ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า ถ้าปริมาณของโปรตีน (ปริมาณของแข็ง) เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงขาดจะสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลง อย่างมีนัยสำคัญ (แสดงดังรูปที่ 12) ทั้งนี้เนื่องจาก โปรตีนจะทำหน้าที่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้าง (structure) ของฟิล์ม โดยโปรตีนจะเกิดการสร้างพันธะข้าม (cross link) เกิดเป็นร่างแหของสายโพลิเมอร์ของโปรตีน ทำให้ลักษณะโครงสร้างของฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดสูงขึ้น ส่วนของกลีเซอรอลที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโพลิเมอร์ของโปรตีน ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลโพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มมีค่าลดลง แต่ก็จะทำให้ได้ฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น มีความอ่อนตัวดี และทำให้ฟิล์มที่ได้มีการขยายตัวมากขึ้น

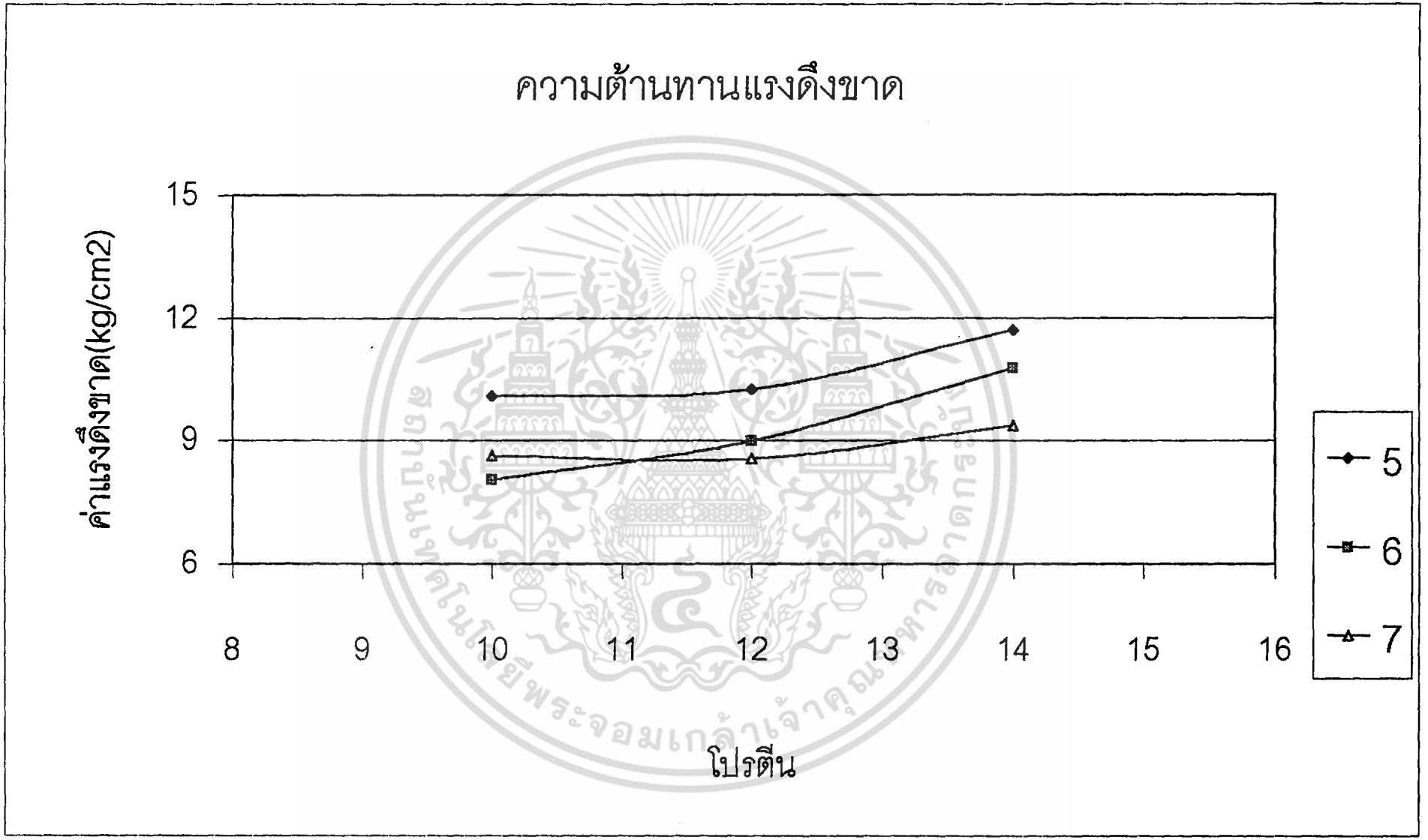
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 : แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จาก โปรตีนสกัดถั่วเหลือง

| Treatment NO. | Factor | | Physical and Chemical properties |
|---|---|---|---|
| | Protein* (solid : liquid) | Glycerol* ( glycerol : distilled water) | Tensile strength ($kg/cm^2$) |
| 1 | 10 ( 10:90 ) | 5 ( 5:85 ) | 10.08 ± 0.100 |
| 2 | 10 ( 10:90 ) | 6 ( 6:84 ) | 8.05 ± 0.100 |
| 3 | 10 ( 10:90 ) | 7 ( 7:83 ) | 8.64 ± 0.020 |
| 4 | 12 (12:88 ) | 5 ( 5:83 ) | 10.24 ± 0.090 |
| 5 | 12 (12:88 ) | 6 ( 6:82 ) | 8.99 ± 0.280 |
| 6 | 12 (12:88 ) | 7 ( 7:81 ) | 8.55 ± 0.170 |
| 7 | 14 (14:86 ) | 5 ( 5:81 ) | 11.70 ± 0.065 |
| 8 | 14 (14:86 ) | 6 ( 6:80 ) | 10.76 ± 0.080 |
| 9 | 14 (14:86 ) | 7 ( 7:79 ) | 9.36 ± 0.160 |

หมายเหตุ : * หมายถึง % ต่อน้ำหนักของของผสม (100 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 12 : กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงขาด

### 4.5 การทดสอบดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index : WSI) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลืองที่อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 12 : 88 (7%) ให้ค่าการละลายน้ำสูงสุด เท่ากับ 68.65 % ในขณะที่อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอลที่ระดับ 14 : 86 (5%) ให้ค่าการละลายน้ำต่ำสุด เท่ากับ 61.06 % (แสดงดังตารางที่ 5) อย่างไรก็ตาม ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง จัดได้ว่า มีดัชนีการละลายน้ำที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากลักษณะธรรมชาติของโปรตีนที่ชอบน้ำ (hydrophillic property)

จากผลการทดสอบหาดัชนีการละลายน้ำของฟิล์ม พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มในด้านการละลายน้ำ คือ อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของปริมาณโปรตีนและกลีเซอรอล ด้วยการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล พบว่า ปริมาณโปรตีน (ปริมาณของแข็ง) ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของปริมาณโปรตีนและกลีเซอรอล มีค่าความแตกต่างทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณของโปรตีนเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำของฟิล์มจะลดลง (แสดงดังรูปที่ 13) เนื่องจาก เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น จะทำให้โครงสร้างของสายโพลิเมอร์ของโปรตีนมีความแข็งแรงมากขึ้นพอที่จะต้านทานการละลายน้ำของฟิล์มได้ แต่ถ้าปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำกลั่นลดลง ค่าดัชนีการละลายน้ำของฟิล์มจะสูงขึ้น (แสดงดังรูปที่ 13) เนื่องจากกลีเซอรอลจะไปทำให้โครงสร้างของโปรตีนแบบตาข่ายมีความหนาแน่นลดลง และผลของการเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ จึงทำให้ฟิล์มมีการละลายน้ำได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 : แสดงดัชนีการละลายน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

| Treatment NO. | Factor | | Physical and Chemical properties |
|---|---|---|---|
| | Protein* (solid : liquid) | Glycerol* ( glycerol : distilled water) | Water solubility index (%) |
| 1 | 10 ( 10:90 ) | 5 ( 5:85 ) | 63.47±0.221 |
| 2 | 10 ( 10:90 ) | 6 ( 6:84 ) | 64.51±0.341 |
| 3 | 10 ( 10:90 ) | 7 ( 7:83 ) | 67.21±0.266 |
| 4 | 12 (12:88 ) | 5 ( 5:83 ) | 62.00±0.469 |
| 5 | 12 (12:88 ) | 6 ( 6:82 ) | 63.05±0.074 |
| 6 | 12 (12:88 ) | 7 ( 7:81 ) | 68.65±0.628 |
| 7 | 14 (14:86 ) | 5 ( 5:81 ) | 61.06±0.192 |
| 8 | 14 (14:86 ) | 6 ( 6:80 ) | 62.54±0.206 |
| 9 | 14 (14:86 ) | 7 ( 7:79 ) | 65.85±0.091 |

หมายเหตุ : * หมายถึง % ต่อน้ำหนักของของผสม (100 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 13 : กราฟแสดงดัชนีการละลายน้ำของฟิล์ม

### 4.6 การทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapour transmition rate : WVTR) ของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

ฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง ที่อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 14 : 86 (5%) ให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 18.97% ในขณะที่อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 10 : 90 (7%) ให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงสุด เท่ากับ 26.90% (แสดงดังตารางที่ 6)

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) ของฟิล์ม โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อหาค่าแตกต่างทางสถิติ พบว่าปริมาณโปรตีน (ปริมาณของแข็ง) ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของปริมาณโปรตีนและกลีเซอรอล มีค่าความแตกต่างทางสถิติ (ภาคผนวก ง) จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม คือ ปริมาณโปรตีน (ปริมาณของแข็ง) ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของปริมาณโปรตีนและกลีเซอรอล โดยแสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณของโปรตีนเพิ่มขึ้น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มจะลดลง (แสดงดังรูปที่ 14) เนื่องจาก เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างของสายโพลิเมอร์ของฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้นพอที่จะต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มได้ แต่ถ้าปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจะสูงขึ้น (แสดงดังรูปที่ 14) เนื่องจากกลีเซอรอลจะไปทำให้โครงสร้างของโปรตีนแบบตาข่ายมีความหนาแน่นลดลง จึงทำให้ฟิล์มมีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำลดลง

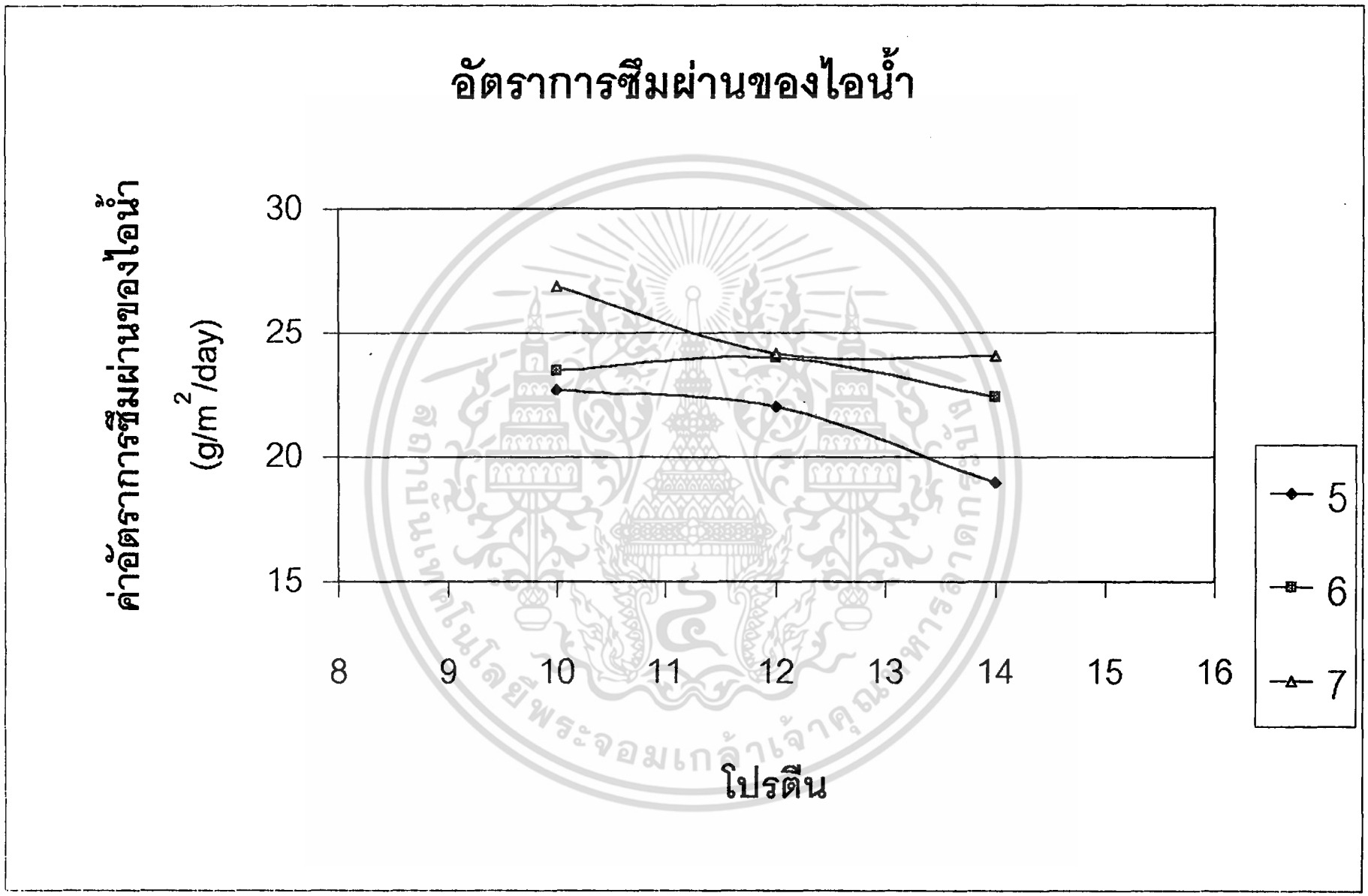
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 : แสดงผลการทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

| Treatment NO. | Factor | | Physical and Chemical properties |
|---|---|---|---|
| | Protein* (solid : liquid) | Glycerol* ( glycerol : distilled water) | Water vapour transmition rate (g / $m^2$ / day) |
| 1 | 10 ( 10:90 ) | 5 ( 5:85 ) | 22.71 ± 0.103 |
| 2 | 10 ( 10:90 ) | 6 ( 6:84 ) | 23.45 ± 0.242 |
| 3 | 10 ( 10:90 ) | 7 ( 7:83 ) | 26.91 ± 0.325 |
| 4 | 12 (12:88 ) | 5 ( 5:83 ) | 22.02 ± 0.304 |
| 5 | 12 (12:88 ) | 6 ( 6:82 ) | 23.96 ± 0.892 |
| 6 | 12 (12:88 ) | 7 ( 7:81 ) | 24.15 ± 0.403 |
| 7 | 14 (14:86 ) | 5 ( 5:81 ) | 18.97 ± 0.609 |
| 8 | 14 (14:86 ) | 6 ( 6:80 ) | 22.41 ± 0.140 |
| 9 | 14 (14:86 ) | 7 ( 7:79 ) | 24.03 ± 0.254 |

หมายเหตุ : * หมายถึง % ต่อน้ำหนักของของผสม (100 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 14 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

# บทที่ 4
# สรุปผลการทดลอง

## 1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง พบว่า มีปริมาณความชื้น เท่ากับ 8.60 % , ปริมาณไขมัน เท่ากับ 20.80 % , ปริมาณโปรตีน เท่ากับ 36.64 % , ปริมาณเยื่อใย เท่ากับ 1.73 % , ปริมาณเถ้า เท่ากับ 3.34 % และปริมาณคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 28.89 %

## 2. การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง

การสกัดไขมันออกจากถั่วเหลืองโดยใช้การกวนในเฮกเซนในอัตราส่วนแป้งถั่วเหลือง ต่อเฮกเซน เท่ากับ 1 : 4 (W/V) มีประสิทธิภาพในการสกัดไขมันได้สูงสุด เท่ากับ 92.60 %

การสกัดโปรตีนออกจากแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว โดยการปรับ pH ให้ได้ 9.0 ด้วยสารละลาย 0.1 N $Na_2CO_3$ มีประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนได้ เท่ากับ 86.36 %

การตกตะกอนโปรตีนแยกออกจากสารละลายโปรตีนสกัดจากแป้งถั่วเหลือง โดยการปรับ pH ให้ได้ 4.5 ด้วยสารละลาย 0.1 N HCl มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนโปรตีนได้ เท่ากับ 86.08%

## 3. การเตรียมฟิล์มจากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง

ความเป็นไปได้ในการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง ศึกษาอิทธิพลของ 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว ที่ระดับ 10 : 90 , 12 : 88 , 14 : 86 และปริมาณกลีเซอรอล (% ต่อน้ำหนักของของผสม) ที่ระดับ 5% , 6% , 7% พบว่าที่อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 14 : 86 (5 %) มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถเกิดเป็นฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง และมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของฟิล์มในด้านความต้านทานแรงดึงขาด ดัชนีการละลายน้ำและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำดีที่สุด ในขณะที่อัตราส่วนของปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ที่ระดับ 10 : 90 (7%) ความสามารถในการเกิดเป็นฟิล์ม และได้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติโดยรวมไม่ดีเท่าที่อัตราส่วนดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4. การศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง**

4.1 ฟิล์มที่ผลิตได้ มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 21.50 – 24.19 % , ความหนา อยู่ในช่วง 0.0617 – 0.1333 มิลลิเมตร , มีความต้านทานน้ำมันมากกว่า 72 ชั่วโมง , ความต้านทานแรงดึงขาดอยู่ในช่วง 8.05 – 11.70 กก./ตร.ซม. , ดัชนีการละลายน้ำอยู่ในช่วง 61.06 – 68.65 % และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำอยู่ในช่วง 18.97 – 26.91 ก./ตร.ม./วัน เมื่อเปรียบเทียบกับมยุรี (2540:31) พบว่าฟิล์มที่ได้มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำอยู่ในช่วง 10-100 ก.มม./ตร.ม. วัน-กิโลปาสคาล

4.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่า

ปริมาณโปรตีนมีผลต่อ ความหนาของฟิล์ม , แรงดึงขาดของฟิล์ม , ดัชนีการละลายน้ำของฟิล์ม และ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม

ปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อ แรงดึงขาดของฟิล์ม , ดัชนีการละลายน้ำของฟิล์ม และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2540. การศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วัฒนา วิริวุฒิกร. 2541. การผลิตฟิล์มและสารเคลือบอาหารจากไข่ขาว. วารสารอาหาร. 28 (1 ) : 58-61

วุฒิชัย นาครักษา. 2535. หลักการบรรจุ. ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 588 หน้า

มยุรี ภาคลำเจียก. 2540. Edible and Biodegradable Polymer Films. วารสารพลาสติก. 14 ( 3 ) : 27-35

AOAC. Official Method of Analysis. 12th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Washington , D.C., (1995)

ASTM Method of Analysis. The American Society for Testing and Materials committee on Standard. Philadelphia. (1974) : 1-10.

Brandeburg A.H. , Welier C.L. , and Testin R.F. 1993 . Edible films and Coatings from Soy Protein . JOURNAL OF FOOD SCIENCE . Vol. 58 ,No. 5 : 1086-1089

Gennadios A., Weller C.L., and Hanna M.A. 1997. Soy protein/fatty acid films and coatings. INFORM. Vol. 8 No.6 : 622-624

Gontard N., Guilbert S., Cuq J.L. 1992. Edible wheat gluten films : influence of the main procss variables on film properties using response surface mtethodology Journal of food science 57 : 190-199

Technical association of the Pulp and Paper Industry .1989 Turpentine for grease resistance of paper. T454 os-77. TAPPI Test Method. Technology Park, Atlanta : 112

Were L. , Hettiarachchy N.S. , Kalapathy U. 1997. Modified Soy Proteins with Improved Foaming and Water Hydration Properties. JOURNAL OF FOOD SCIENCE. Vol. 62 , No. 4 , : 821-823 , 850



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

## การปรับอัตราส่วนของส่วนผสมในการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

1. อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว

การทดลองศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง และ ปริมาณของเหลว เป็น 100 ส่วน โดยส่วนของแข็ง คือปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลือง และส่วนของเหลว คือ ส่วนของกลีเซอรอล กับ ส่วนของน้ำกลั่น (% ต่อน้ำหนักของของผสม)

2. ตัวอย่างการคำนวณ

ยกตัวอย่าง อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็ง : ปริมาณของเหลว เท่ากับ 10 : 90 และปริมาณกลีเซอรอล เท่ากับ 5 % (ต่อน้ำหนักของของผสม 100 กรัม)

| | | | |
|---|---|---|---|
| ส่วนที่เป็นของแข็ง (ปริมาณโปรตีน) | = | 10 | กรัม |
| ส่วนที่เป็นของเหลว (กลีเซอรอล + น้ำกลั่น) | = | 90 | กรัม |
| - ส่วนของกลีเซอรอล (%) | = | 5 | กรัม |
| - ส่วนของน้ำกลั่น (%) | = | 85 | กรัม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

## วิธีวิเคราะห์หาประสิทธิภาพที่สำคัญของการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง

1. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการสกัดไขมันออกจากแป้งถั่วเหลือง

การสกัดไขมันออกจากแป้งถั่วเหลือง โดยใช้วิธีการกวนในเฮกเซนที่อัตราส่วนระหว่างแป้งถั่วเหลือง : เฮกเซน เท่ากับ 1 : 4 (W/V) แล้วนำแป้งถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้วมาวิเคราะห์หา %ไขมัน ที่เหลือหลังการสกัดได้ 1.54% โดยที่ %ไขมันในแป้งถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการสกัดไขมันออกมีค่าเท่ากับ 20.80%

$$\text{ประสิทธิภาพในการสกัดไขมัน} = \frac{(A - B) \times 100}{A}$$

$$= \frac{(20.80 - 1.54) \times 100}{20.80}$$

$$= 92.60\ \%$$

หมายเหตุ : A หมายถึง %ไขมันที่มีอยู่เริ่มต้นในแป้งถั่วเหลือง

B หมายถึง %ไขมันที่เหลือในแป้งถั่วเหลือง หลังการสกัดไขมัน

2. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการสกัดโปรตีนออกจากถั่วเหลือง(Extraction efficiency)

การสกัดโปรตีนออกจากแป้งถั่วเหลือง โดยใช้อัตราส่วนของแป้งถั่วเหลือง : น้ำกลั่น เท่ากับ 1 : 10 (W/V) ปรับ pH ให้ได้ 9.0 ด้วยสารละลาย 0.1 N $Na_2CO_3$ แล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายให้มาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ได้ 3.165% โดยที่ปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบถั่วเหลืองเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 36.64%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Extraction efficiency} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลาย 350 ml.} \times 100}{\text{ปริมาณโปรตีนที่มีในวัตถุดิบเริ่มต้น (35 กรัม)}}$$

$$= \frac{(3.165 \times 350/100) \times 100}{(36.64 \times 35 / 100)}$$

$$= 86.36\ \%$$

3. การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการตกตะกอนโปรตีน (Precipitation efficiency)

นำสารละลายใสที่ได้จากการสกัดโปรตีนมาตกตะกอนโปรตีน โดยปรับ pH ให้ได้ 4.5 ด้วยสารละลาย 0.1 N HCl โดยสารละลายปริมาณ 350 ml. ได้ปริมาณ protein curd = 20 กรัม ที่มีค่าความชื้น เท่ากับ % และมีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 47.68%

จาก protein curd 100 กรัม มีปริมาณโปรตีน 47.68 กรัม

ถ้า protein curd 20 กรัม มีปริมาณโปรตีน $\frac{47.68 \times 20}{100} = 9.536$ กรัม

$$\text{Precipitation efficiency} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนที่ตกตะกอนได้ใน 350 ml.} \times 100}{\text{ปริมาณโปรตีนในสารละลาย 350 ml.}}$$

$$= \frac{9.536 \times 100}{11.077}$$

$$= 86.08\ \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค

**ข้อมูลผลการทดลอง**

ตารางที่ 7 : ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ (ถั่วเหลือง)

| ตัวอย่างถั่วเหลือง (ซ้ำที่) | คุณสมบัติทางเคมี (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความชื้น | ไขมัน | โปรตีน | เยื่อใย | เถ้า | คาร์โบไฮเดรต |
| 1 | 8.4148 | 20.7375 | 37.2384 | 1.7385 | 3.3320 | 28.5388 |
| 2 | 8.5416 | 20.7531 | 36.4659 | 1.7250 | 3.3385 | 29.1759 |
| 3 | 8.8504 | 20.8962 | 36.2188 | 1.7330 | 3.3622 | 28.9394 |

ตารางที่ 8 : ข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

| Solid : Liquid (Glycerol) | Moisture[1] | Thickness[2] | TS[3] | WSI[4] | WVTR[5] |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 : 90 | 24.0223 | 0.0600 | 10.07 | 63.6872 | 22.6023 |
| (5%) | 24.6264 | 0.0550 | 10.09 | 63.2445 | 22.8080 |
| | 23.9104 | 0.0700 | | | |
| 10 : 90 | 24.6853 | 0.0950 | 8.04 | 64.8537 | 23.2070 |
| (6%) | 22.3426 | 0.0700 | 8.06 | 64.1718 | 23.6910 |
| | 23.0684 | 0.1200 | | | |
| 10 : 90 | 22.6278 | 0.0900 | 8.61 | 67.4713 | 27.2301 |
| (7%) | 21.8308 | 0.0600 | 8.66 | 63.9399 | 26.5801 |
| | 23.0846 | 0.1050 | | | |

(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 (ต่อ) : ข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

| Solid : Liquid (Glycerol) | Moisture[1] | Thickness[2] | TS[3] | WSI[4] | WVTR[5] |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 : 88 | 23.0466 | 0.1400 | 10.12 | 61.5329 | 22.3233 |
| (5%) | 23.0857 | 0.0800 | 10.35 | 62.4716 | 21.7159 |
| | 23.0942 | 0.1100 | | | |
| 12 : 88 | 23.9219 | 0.1100 | 9.28 | 62.9713 | 23.0709 |
| (6%) | 23.5972 | 0.0900 | 8.71 | 63.1188 | 24.8543 |
| | 23.7746 | 0.1600 | | | |
| 12 : 88 | 23.8767 | 0.0900 | 8.72 | 69.2769 | 23.7512 |
| (7%) | 23.0348 | 0.0950 | 8.38 | 68.0217 | 24.5563 |
| | 22.3629 | 0.1400 | | | |
| 14 : 86 | 24.0119 | 0.1250 | 11.76 | 61.2558 | 19.5809 |
| (5%) | 23.8745 | 0.1050 | 11.63 | 60.8719 | 18.3628 |
| | 23.2856 | 0.1400 | | | |
| 14 : 86 | 22.8550 | 0.0950 | 10.69 | 62.3304 | 22.5543 |
| (6%) | 23.0138 | 0.1450 | 10.84 | 62.7423 | 22.2743 |
| | 24.8516 | 0.1600 | | | |
| 14 : 86 | 22.4776 | 0.1050 | 9.54 | 65.7582 | 23.7771 |
| (7%) | 20.0428 | 0.1350 | 9.19 | 65.9411 | 24.2857 |
| | 21.9802 | 0.1450 | | | |

หมายเหตุ :
1. หมายถึง Moisture (%)
2. หมายถึง Thickness (mm.)
3. หมายถึง Tensile strength : TS ($Kg/cm^2$)
4. หมายถึง Water solubility index : WSI (%)
5. หมายถึง Water vapour transmition rate : WVTR ($g / m^2/day$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

## การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1. ความชื้นของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

ตารางที่ 9 : การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อ ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ต่อคุณสมบัติด้านปริมาณความชื้นของฟิล์ม

ANOVA

| SOV. | df. | SS. | MS. | F-ratio |
|---|---|---|---|---|
| **Treatment** | 8 | 15.18 | 1.90 | $0.2987^{ns}$ |
| **Protein :P** | 2 | 0.80 | 0.40 | $0.0629^{ns}$ |
| **Glycerol :G** | 2 | 9.19 | 4.59 | $0.7217^{ns}$ |
| **PG** | 4 | 5.19 | 1.30 | $0.2044^{ns}$ |
| **Error** | 18 | 114.56 | 6.36 | |
| **Total** | 26 | 129.74 | | |

จากตาราง ANOVA สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ว่า ผลของปริมาณโปรตีน ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แสดงให้เห็นว่าปริมาณของโปรตีน ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล ไม่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านความชื้นของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความหนาของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

ตารางที่ 10 : การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อ ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ต่อคุณสมบัติด้านความหนาของฟิล์ม

ANOVA

| SOV. | df. | SS. | MS. | F-ratio |
|---|---|---|---|---|
| **Treatment** | 8 | 0.0128 | 0.0016 | $2.2857^{ns}$ |
| **Protein :P** | 2 | 0.0107 | 0.0053 | 7.5714* |
| **Glycerol :G** | 2 | 0.0014 | 0.0007 | $1.0000^{ns}$ |
| **PG** | 4 | 0.0007 | 0.0003 | $0.4286^{ns}$ |
| **Error** | 18 | 0.0119 | 0.0007 | |
| **Total** | 26 | 0.0247 | | |

จากตาราง ANOVA สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ว่า ผลของปริมาณโปรตีน มีค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณโปรตีนที่เติมลงไปในส่วนผสมของฟิล์มมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านความหนาของฟิล์ม ส่วนปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แสดงให้เห็นว่าปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล ไม่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านความหนาของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

ตารางที่ 11 : การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อ ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ต่อคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม

ANOVA

| SOV. | df. | SS. | MS. | F-ratio |
|---|---|---|---|---|
| **Treatment** | 8 | 22.3074 | 2.788 | 19.914* |
| **Protein :P** | 2 | 9.4739 | 4.737 | 33.836* |
| **Glycerol :G** | 2 | 10.8118 | 5.406 | 38.614* |
| **PG** | 4 | 2.0217 | 1.011 | 7.221* |
| **Error** | 9 | 1.2641 | 0.140 | |
| **Total** | 17 | 23.5715 | | |

จากตาราง ANOVA สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ว่า ผลของปริมาณโปรตีน ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แสดงให้เห็นว่าปริมาณของโปรตีน ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม โดยที่เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงขาดจะสูงขึ้น แต่ถ้าปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงขาดจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ดัชนีการละลายน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

ตารางที่ 12 : การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อ ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ต่อคุณสมบัติด้านดัชนีการละลายน้ำของฟิล์ม

ANOVA

| SOV. | df. | SS. | MS. | F-ratio |
|---|---|---|---|---|
| **Treatment** | 8 | 101.86 | 12.73 | 60.62* |
| **Protein :P** | 2 | 11.81 | 5.91 | 28.14* |
| **Glycerol :G** | 2 | 83.93 | 41.91 | 199.57* |
| **PG** | 4 | 6.12 | 1 .53 | 7.26* |
| **Error** | 9 | 1.88 | 0.21 | |
| **Total** | 17 | 103.74 | | |

จากตาราง ANOVA สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ว่า ผลของปริมาณโปรตีน ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แสดงให้เห็นว่าปริมาณของโปรตีน ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านการละลายน้ำของฟิล์ม โดยที่เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำของฟิล์มจะลดลง แต่ถ้าปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำของฟิล์มจะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนสกัดถั่วเหลือง

ตารางที่ 13 : การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยระหว่างอัตราส่วนของปริมาณของแข็งต่อ ปริมาณของเหลว และปริมาณกลีเซอรอล ต่อคุณสมบัติด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม

ANOVA

| SOV. | df. | SS. | MS. | F-ratio |
|---|---|---|---|---|
| Treatment | 8 | 71.98 | 9.00 | 23.68* |
| Protein :P | 2 | 19.84 | 9.92 | 26.11* |
| Glycerol :G | 2 | 43.37 | 21.69 | 57.08* |
| PG | 4 | 8.77 | 2.19 | 5.76* |
| Error | 9 | 3 .38 | 0.38 | |
| Total | 18 | 75.36 | | |

จากตาราง ANOVA สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ว่า ผลของปริมาณโปรตีน ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แสดงให้เห็นว่าปริมาณของโปรตีน ปริมาณกลีเซอรอล และ interaction ของโปรตีนและกลีเซอรอล มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม โดยที่เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มจะลดลง แต่ถ้าปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มจะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

นางสาวนุชนารถ ทรัพย์พาณิชย์. เกิดวันที่ 30 พฤษภาคม 2520. สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ปี พ.ศ. 2538 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ในปี พ.ศ. 2538

นางสาวมาริสา เพิ่มเติมสิน. เกิดวันที่ 21 กรกฎาคม 2520. สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า ปี พ.ศ. 2538 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ในปี พ.ศ. 2538

นางสาวอัญญารัตน์ ศิริพรพันธ์. เกิดวันที่ 30 ธันวาคม 2520. สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียนหอวัง. ปี พ.ศ. 2538 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ในปี พ.ศ. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้