



การใช้แป้งบุกเพื่อการผลิตแผ่นฟิล์มบริโภคได้
Use of Konjac Flour for Edible Film Production

บุณฑริกา ยืนยง
Boondarika Yuenyong

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Science Thesis in Food Technology
Prince of Songkla University

๒๕๔๓

๑

เลขหมู่	TS 198.3.F5	บ73	2543	ล.๑
Book Key	205254			
	24 S.A. 2543			

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้แปรงบอกเพื่อการผลิตแผ่นฟิล์มบรีโกลได้

ผู้เขียน นางสาวบุณฑริกา ยืนยง

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร

คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณะกรรมการสอบ

.....*Twiss (S.M.S)*.....ประธานกรรมการ

.....*Twiss (S.M.S)*.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพรัตน์ โสภโณคร)

(รองศาสตราจารย์ ไพรัตน์ โสภโณคร)

.....ลาศึกษาต่อ.....กรรมการ

.....ลาศึกษาต่อ.....กรรมการ

(อาจารย์ วรัญญ ศรีเดช)

(อาจารย์ วรัญญ ศรีเดช)

*Dr. J.*กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพบุลย์ ชรรมรัตน์วาลิก)

*Dr. S.*กรรมการ

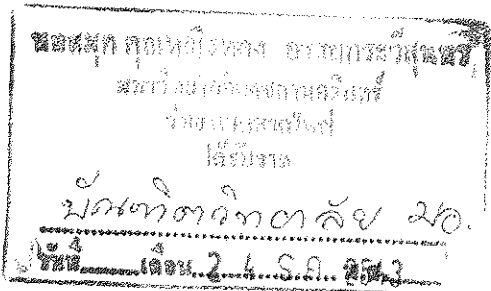
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลีย์ สุวจิตตานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น ส่วน
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

Dr. P.

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติ ทฤษฎีกุณ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้แป้งบุกเพื่อการผลิตแผ่นฟิล์มบรีโกลได้
ผู้เขียน นางสาว บุษมาภริกา ยืนยง
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

การพัฒนาแผ่นฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งบุก โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม ได้แก่ ปริมาณแป้งบุก (ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0) ปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอล (ร้อยละ 0 10 20 และ 30 น้ำหนัก/น้ำหนักแป้งบุก) และ ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน (กรดสเตียริก กรดปาล์มมิติก และกรดสเตียริกผสมกรดปาล์มมิติก (1:1) ร้อยละ 0 25 45 และ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนักแป้งบุก) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแป้งบุกเพิ่มขึ้น ฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการต้านทานแรงดึง การยืดตัวเมื่อขาด และค่าการซึมผ่านไอน้ำ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลเพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มลดลง ($p < 0.05$) และค่าการยืดตัวเมื่อขาดเพิ่มขึ้น และลดลงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนัก / น้ำหนักแป้งบุก) การซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 30 (น้ำหนัก/น้ำหนักแป้งบุก) เมื่อคัดเลือกฟิล์มแป้งบุกเข้มข้นร้อยละ 0.5 มาเติมกรดไขมัน พบว่า เมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ($p < 0.05$) ยกเว้นฟิล์มแป้งบุกผสมกรดสเตียริก ร้อยละ 25 แสดงค่าการต้านทานแรงดึงไม่แตกต่างทางสถิติกับฟิล์มแป้งบุก ($p > 0.05$) และค่าการยืดตัวเมื่อขาดและค่าการซึมผ่านไอน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เมื่อคัดเลือกกรดสเตียริกเข้มข้นร้อยละ 25 มาเตรียมฟิล์มลาร์มินเนทพบว่า ฟิล์มลาร์มินเนทแสดงค่าการต้านทานแรงดึงและค่าการซึมผ่านไอน้ำที่มีแนวโน้มสูงกว่า ส่วนค่าการยืดตัวเมื่อขาดมีแนวโน้มที่ต่ำกว่าฟิล์มแบบผสม อย่างไรก็ตามพบว่าค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อประยุกต์ใช้ฟิล์มแบบผสม และฟิล์มลาร์มินเนทในการห่อหุ้มไส้กรอกไก่ทอด พบว่าตลอดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของไส้กรอกไก่เพียงเล็กน้อย โดยที่ชุดควบคุมมีปริมาณไขมันรวมสูงกว่าชุดที่ห่อหุ้มฟิล์มแบบผสมและฟิล์มลาร์มินเนท และชุดควบคุมมีค่า TBA เพิ่มขึ้น ในขณะที่ชุดที่ห่อหุ้มด้วย

ฟิล์มแบบผสมแสดงค่า TBA ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าชุดการทดลองที่ห่อหุ้มฟิล์มทั้งสองแบบได้รับการยอมรับมากกว่าชุดควบคุม

Thesis Title **Use of Konjac Flour for Edible Film Production**
Author **Miss Boondarika Yuenyong**
Major Program **Food Technology**
Academic Year **2000**

Abstract

For preparation of packaging material, edible film from konjac flour was developed. Factors effecting the properties of the film such as, konjac flour (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0%), polyethylene glycol (0, 10, 20 and 30% (w/w konjac flour) and fatty acids (stearic acid, palmitic acid and stearic acid:palmitic (1:1) (0 25 45 and 50% (w/w konjac flour) were studied. With increasing concentration of konjac flour, the results showed that, the tensile strength, extention at break and water vapor permeability of the film were significantly increased ($p < 0.05$). Composite films made of konjac flour and polyethylene glycol showed decrease in tensile strength with increasing concentration of polyethylene glycol. Extention at break increased when the concentration of polyethylene glycol increased up to 20%, then decreased with 30% (w/w konjac flour). At this concentration of polyethylene glycol, the water vapor permeability of composite film was higher than with the lower concentration of polyethylene glycol. Film made from 0.5% konjac flour was selected for further studies on the effect of fatty acids. As the concentration of any fatty acids were increased, the tensile strength of the films decreased except with films added 25% (w/w konjac flour) stearic acid. Extention at break and water vapor permeability increased with increasing of 0.5% concentration of fatty acids. Laminated film was prepared using 0.5% konjac flour and added 25% stearic acid film. This film was then tested for some physical properties. It was observed that tensile strength and water vapor permeability of the laminated film was higher than whereas extention at break was lower than those of composite films. However, these properties were not significantly different ($p > 0.05$).

The composite film and laminated film were used to wrap chicken sausage prior to deep frying. The fried chicken sausages, both wrapped and control, were kept at 4°C for 10 days. After deep frying the control showed total fat content higher than those sausages wrapped with composite and laminated film. During storage the chemical qualities of the chicken sausage were slightly changed throughout the storage period. The TBA value of control increased whereas that of the composite films increased slightly but not significantly ($p > 0.05$) during storage. Sensory evaluation of the products showed that both sausages in composite film and laminated film were acceptable until 10 days of storage.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ โสภโณคร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำในการวิจัย การค้นคว้าและการเขียนวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณยิ่ง

ขอขอบคุณอาจารย์ วรรุญญ ศรีเดช กรรมการที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก กรรมการผู้แทนคณะอุตสาหกรรมเกษตร รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลีย์ สุวจิตตานนท์ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำต่างๆและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนการศึกษาค้นคว้าวิจัย และขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีในทุกๆด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาวด้วยความเคารพยิ่งที่ให้โอกาสในการศึกษา ให้กำลังใจ ความเข้าใจ ตลอดจนกำลังทรัพย์มาโดยตลอด

บุญทริกา ยืนยง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการตารางภาคผนวก	(11)
รายการภาพ	(13)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(14)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
1. บุค	3
2. फिल्मบริโกลได้	13
3. กลไกการเกิดฟิล์มบริโกลได้	14
4. เทคนิคการผลิตแผ่นฟิล์ม	14
5. สมบัติของแผ่นฟิล์ม	16
6. ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มบริโกลได้	19
7. การเลือกใช้ฟิล์มบริโกลได้	26
8. फिल्मบริโกลได้จากโพลีแซคคาไรด์	27
9. การใช้ประโยชน์ฟิล์มบริโกลได้จากโพลีแซคคาไรด์	30
วัตถุประสงค์	31
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	32
3. ผล และวิจารณ์	38
4. สรุป	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารอ้างอิง	70
ภาคผนวก	82
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	82
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	94
ภาคผนวก ค แบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส	104
ประวัติผู้เขียน	105

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ชนิดของบุกที่พบในประเทศไทย	4
2. สมบัติของแป้งบุกเริ่มต้นเปรียบเทียบกับแป้งบุกบริสุทธิ์	9
3. ปริมาณสารอาหารต่อ 100 กรัมแป้งบุก	11
4. ผลของ functional group ต่อค่าการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน	19
5. ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มชนิดต่างๆ	21
6. ค่าการซึมผ่านไอน้ำของวัสดุที่ทำแผ่นฟิล์ม	22
7. ค่าการซึมผ่านก๊าซของอิมัลชันฟิล์ม	24
8. ผลของพลาสติกไซเซอร์ต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจากเวย์โปรตีน ที่ 25 °ซ	25
9. สมบัติของฟิล์ม โปรตีนข้าว โพลีเอทิลีนชนิดต่างๆ	26
10. ค่าการซึมผ่านออกซิเจนของฟิล์มผสมเพกตินและแป้ง	28
11. สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์ของฟิล์มบริโกลได้จากโพลีแซคคาไรด์	30
12. องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของแป้งบุก	39
13. ลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มจากแป้งบุกผสม โพลีเอทิลีนไกลคอล	47
14. ค่าความหนาและความหนาแน่นผิวหน้าของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้	49
15. ผลของชนิดและปริมาณกรดไขมันต่อสมบัติของฟิล์มแป้งบุก	58
16. คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ความแน่นเนื้อ ความฉ่ำ กลิ่นหืน และการยอมรับรวม ของไส้กรอกไก่ทอดเมื่อ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 10 วัน	66
17. ค่าสหสัมพันธ์ ระหว่างค่าTBA ความฉ่ำ ความแน่นเนื้อ กลิ่นหืน ต่อ ความชอบรวมของผู้บริโภค	67

รายการตารางผนวก

ตารางผนวกที่	หน้า
1. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติของฟิล์มแป้งบุกผสม โพลีเอทรีลีน ไกลคอล	94
2. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มแบบผสม	95
3. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มแบบผสม	96
4. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแบบผสม	96
5. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติของฟิล์มแบบผสมเปรียบเทียบกับฟิล์มลาร์มินเท	97
6. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ 4 องศาเซลเซียส	98
7. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนการสูญเสียน้ำหนักของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ 4 องศาเซลเซียส	98
8. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันรวมของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ 4 องศาเซลเซียส	99
9. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงค่าทีบีเอ ของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ 4 องศาเซลเซียส	99
10. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ 4 องศาเซลเซียส	100
11. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	100
12. ค่าเฉลี่ย สมบัติของแผ่นฟิล์มแป้งบุกและฟิล์มแป้งบุกผสม โพลีเอทรีลีน ไกลคอล	101

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
13. ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ 4 องศาเซลเซียส	102
14. ค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำหนักของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ 4 องศาเซลเซียส	102
15. ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ 4 องศาเซลเซียส	103
16. ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันรวมของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ 4 องศาเซลเซียส	103

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
1. โครงสร้างบางส่วนของกลูโคแมนแนนในแป้งบุก	10
2. เครื่องผลิตฟิล์มอย่างง่าย	15
3. อัตราการหายใจของกล้วยที่เคลือบด้วยฟิล์ม CMC-sucrose fatty acid ester ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	23
4. การห่อหุ้มไส้กรอกไก่ด้วยแผ่นฟิล์มแป้งบุก	37
5. ความหนืดของแป้งบุก ติดตามด้วยเครื่อง Brabender-Visco amylograph	44
6. การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของแป้งบุก	44
7. รูปร่างอนุภาคของแป้งบุก	45
8. ลักษณะผิวหน้าของแผ่นฟิล์มแป้งบุกที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน	48
9. ค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มแป้งบุกและแป้งบุกผสม โพลีเอทิลีนไกลคอล	51
10. ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของแผ่นฟิล์มแป้งบุกและแป้งบุกผสม โพลีเอทิลีนไกลคอล	52
11. ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งบุกและแป้งบุกผสม โพลีเอทิลีนไกลคอล	54
12. สมบัติทางกายภาพของฟิล์มแบบผสมและฟิล์มลาร์มิเนท	60
13. การสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไส้กรอกไก่ทอด ระหว่างการเก็บรักษา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	62
14. การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	63
15. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันรวมและค่า TBA ของไส้กรอกไก่ทอด ระหว่างการเก็บรักษา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	65

ตัวย่อ และสัญลักษณ์

β	= -beta
BU	= Brabender Unit
CMC	= carboxy methyl cellulose
$\text{cm}^3 \mu\text{m}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{k} \cdot \text{Pa}$	= cubicmeter. micrometer / squaremeter. day. kiloPascal
CRD	= completely randomized design
g/cm^3	= gram / cubicmeter
g/msPa	= gram / meter second Pascal
$\text{g}/\text{mm} \cdot \text{kPa} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$	= gram / millimeter / kilo Pascal. hour. squaremeter
HDPE	= high density polyethylene
HPC	= hydroxy propyl cellulose
HPMC	= hydroxy propyl methyl cellulose
kg/m^3	= kilogram / cubicmeter
kN/m^2	= kiloNewton / squaremeter
LDPE	= low density polyethylene
MC	= methyl cellulose
$\text{ml} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$	= milliliter . carbondioxide / kilogram / hour
mm	= millimeter
mPa	= megaPascal
mg/m^2	= milligram / squaremeter
MW	= molecular weight
PVC	= poly vanyl chloride
RCBD	= randomized completely block design
TBA	= thiobarbituric acid
WVP	= water vapor permeability

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

พลาสติกและโฟมที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ มีบทบาทเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราอย่างไม่มีทางเลือกและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวส่วนใหญ่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ ไม่สามารถย่อยสลายได้ในเวลาอันสั้น จึงเป็นสาเหตุของมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ดังนั้นการลดจำนวนพลาสติกที่ใช้บรรจุหรือห่อหุ้มอาหาร โดยใช้วัสดุอื่นที่มีคุณลักษณะคล้ายพลาสติกแต่สามารถย่อยสลายหรือบริโภคได้ จึงเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมีสมบัติที่สำคัญคือสามารถใช้ห่อหุ้มอาหาร ใช้ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ (Greener and Fennema, 1994 ; Drak *et al.*, 1987 ; Farouk *et al.*, 1990) อย่างเช่น พลาสติกหรือสารเคลือบที่สามารถผลิตได้จากผลผลิตจากพืชและสัตว์ เช่น กลูเต็น เวย์โปรตีน และคอลลาเจน (McHugh *et al.*, 1994; Kester and Fennema, 1986) และจากโพลีแซคคาไรด์ เช่น แป้ง อะไมโลส และเซลลูโลส การใช้โพลีแซคคาไรด์เป็นวัสดุในการผลิตฟิล์มได้รับความสนใจเนื่องจากลักษณะของฟิล์มที่ผลิตได้ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นรส ไม่เป็นพิษ ยืดหยุ่นเป็นมันวาว มีสมบัติด้านการซึมผ่านของไขมันได้สูง และออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2534) การพัฒนาการผลิตฟิล์มจากโพลีแซคคาไรด์เป็นทางหนึ่งที่สามารถใช้ผลิตผลทางการเกษตรของประเทศที่มีปริมาณสูง เช่น ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง และบุก

บุกจัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งพบได้ทั่วไปในป่าแถบเอเชียเขตร้อนชื้น และเขตอบอุ่น (ทิพวัลย์ สุกุมลนันท์, 2538) ในประเทศไทยถือว่าบุกเป็นพืชพื้นเมืองโบราณพบแถวที่ราบสูงภาคอีสาน ภาคใต้ ภาคตะวันออก ภาคเหนือ และแถบชายป่าโปร่ง (พนิดา กาญจนภิ, 2538) โดยชาวนบหนำบุกมาประกอบอาหารพื้นบ้าน และบางส่วนใช้เลี้ยงสัตว์ (ชัยพฤกษ์ สวทรพิชัย, 2530) กลุ่มนักวิชาการเกษตรได้ทำการวิจัยพบว่า หัวบุกมีสารกลูโคแมนแนนในปริมาณที่สูงพอสมควรจึงได้ทำการคัดเลือกพันธุ์บุกที่มีลักษณะเด่น และมีคุณภาพทางพฤกษศาสตร์เหมาะสมที่จะนำไปปรับปรุงพันธุ์ เพื่อพัฒนาให้หัวบุกกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่

สามารถปลูกไว้บริโภคภายในท้องถิ่น และแปรรูปเป็นผงบุกหรือผลิตภัณฑ์เพื่อส่งเป็นสินค้าออกได้ (हररररर ररररररररररर, 2527)

เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากพืชที่ได้รับการสนับสนุน และเนื่องจากสมบัติการเกิดฟิล์มของแป้งบุกเมื่อนำสารละลายแป้งบุกมาทำให้แห้งหรือทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ ซึ่งมีลักษณะเหนียว มีความเสถียรทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็นหรือในระบบที่เป็นกรดต่างได้ดี ฟิล์มมีความคงตัวสูงแม้จะนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลาหลายชั่วโมงก็ตาม (Tye, 1991) และจากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากฟิล์มแป้งบุกในการเคลือบผิวผลไม้พบว่า สามารถลดการสูญเสีย น้ำหนักและวิตามินซีในการเก็บรักษาได้ดีกว่าผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบฟิล์ม (กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธ์ และ อติศักดิ์ เอกโสรรณ, 2543) ดังนั้นหากมีการศึกษาพัฒนาการผลิตฟิล์มจากแป้งบุกที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในการห่อหุ้มอาหาร อาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ผลิตผลทางการเกษตรของประเทศให้เกิดประโยชน์ได้มากขึ้น

ตรวจเอกสาร

1. บุก

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับบุก

บุกพบได้ทั่วไปในป่าเขตร้อนชื้นและเขตอบอุ่น ลักษณะเป็นป่าโปร่งและป่าผลัดใบ บางแห่งนำมาปลูกไว้เพื่อใช้เป็นอาหาร ในทวีปเอเชียมีหลายประเทศที่มีการสำรวจแล้วพบว่า มีบุกขึ้นอยู่ตามป่าทั่วไป ได้แก่ ประเทศไทย ญีุ่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย พม่าและ บังกลาเทศ ส่วนในทวีปแอฟริกาสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในเขตทุ่งราบซาวาน่า และในหมู่เกาะบางแห่งทางตอนใต้ของมหาสมุทรแปซิฟิก (ทิพวัลย์ สุกมลนันท์, 2538) ในประเทศไทย ถือว่าบุกเป็นพืชพื้นเมืองพบได้ตามภาคต่างๆ บุกมีชื่อเรียกหลายอย่างตามถิ่นกำเนิด (พนิดา กาญจนภิ, 2538) เช่น มันชูรัน บุกคูกก มันบุก มันหูช้าง มันเท้าช้าง ภาษาอังกฤษเรียกว่า Elephant Yam, Elephant Foot, Elephant Bread มีการจำแนกบุกในท้องถิ่นทั่วโลกได้ถึง 90 ชนิด แต่ในประเทศไทยมีรายงานไว้เพียง 17 ชนิด เฉพาะวงศ์ Araceae และวงศ์อื่นๆอีก 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1 ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *A. campanulatus Blex decne* เป็นบุกป่า (Wild type) และชนิด *A. karatensis qaqnep* เป็นบุกบ้านซึ่งมีการเพาะปลูกในฤดูแล้ง

หัวบุก เป็นหัวใต้ดินมีสีน้ำตาลรูปทรงกลมหรือทรงกระบอก เนื้อในหัวมีสีขาวครีมหรือขาวปนเหลืองถึงส้ม (พนิดา กาญจนภิ, 2538) หัวบุกมีขนาดเล็กหรือใหญ่ตามอายุอาจมีชีวิตได้นาน 4-6 ปี ลักษณะเนื้อในละเอียดเรียบเหมือนแป้งในพืชหัวอื่นๆที่ใช้เป็นอาหาร แต่บุกมีเมือกข้นซึ่งต่างกับหัวมันเทศหรือมันฝรั่ง หัวบุกสดโดยทั่วไปจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 80-90 และส่วนที่เหลือเป็นของแข็ง ร้อยละ 10-20 ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคของกลูโคแมนแนน ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2×10^{-2} มิลลิเมตร ประมาณร้อยละ 60-80 และส่วนที่มีอนุภาคเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1×10^{-2} มิลลิเมตร ประมาณร้อยละ 20-40 ซึ่งจัดว่าเป็นสารเจือปน (tachiko component) ที่จำเป็นต้องกำจัดออกได้แก่ สตาร์ช โปรตีน และสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง (irritant) (Shimizu and Shimahara, 1973) สารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองนั้น ได้แก่ แคลเซียมออกซาลเลท (พนิดา กาญจนภิ, 2538)

ตารางที่ 1 ชนิดของบุกที่พบในประเทศไทย

ชื่อทั่วไป / ชื่อพื้นเมือง	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์
บุก หรือ บุกคูกคก มั่นชูรัน เบ็ย,เบื่อ (เหนื่อ) หัวบุก(ใต้)	<i>Amorphophallus companulatus</i> Blex. Decne	Araceae
บุก (นครศรีธรรมราช)	<i>Arisaema pattaninsis</i> Gapnep.	Araceae
บุกกระเดื่อ (นครสวรรค์)	<i>Amorphophallus linearis</i> Gapnep.	Araceae
บุกเกลี้ยง หรือดอกก้าน เคียง (แม่ฮ่องสอน)	<i>Amorphophallus bulbifera</i> Bl.	Araceae
บุกเขา (เหนื่อ)	<i>Amorphophallus corrugatus</i> .N.E. Br.	Araceae
บุกเขาหรือ บุกอีรอก (อุบล ราชธานี นครศรีธรรมราช)	<i>Pseudodracontinum kerrii</i> Gagnep	Araceae
บุกคางคก (ตรัง)	<i>Arisaema chumponese</i> Gagnep.	Araceae
บุกคางคก หรือ บุกหนาม	<i>Amorphophallus rex</i> Plainex.Hook f.	Araceae
บุกหลวง บุกเครือ หรือกาบังควย (ลำปาง)	<i>Erycibepaniculata</i> Roxb.	Convolvuceae
บุกต่าง(เหนื่อ)	<i>Amorphophallus Kerrii</i> N.E. Br.	Araceae
บุกตีนชุ้ง (เชียงใหม่)	<i>Arisaema erubescens</i> Schott.	Araceae

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อทั่วไป / ชื่อพื้นเมือง	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์
บุกแดง(สระบุรี) อีหลอก (เลข)	<i>Amorphophallus putii</i> Gagnep.	Araceae
บุกเตี้ยง (นครศรีธรรมราช)	<i>Arisaema petiolatum</i> Gagnep.	Araceae
บุกเตี้ยงเขา (ชุมพร)	<i>Arisaema siamicum</i> Gagnep.	Araceae
บุกหยวก (นครศรีธรรมราช)	<i>Santiria conferta</i> benneth.	Berserceae
บุกรอ (สระบุรี)	<i>Amorphophallus saraburiensis</i> Gagnep.	Araceae
บุกฤๅษี หรือคคดิน (ใต้)	<i>Tacca palmata</i> Bl.	Taccaceae
บุกหิน (ตรัง)	<i>Arisaema fimbriatum</i> Mast.	Araceae
กะบุก(นครราชสีมา)	<i>Amorphophallus koratensis</i> Gagnep.	Aracea
บุกอีรอกเขา (สระบุรี)	<i>Amorphophallus brevispathus</i> Gagnep.	Araceae

ที่มา : สะอาด บุญเกิด และคณะ (2525)

1.2 การใช้ประโยชน์จากบุก

บุกเป็นพืชหัวที่มีประโยชน์ใช้ได้ทั้งในลักษณะของหัวบุกสด แป้งบุก และแป้งบุกบริสุทธิ์ สามารถจำแนกประโยชน์ของบุกได้ดังนี้

1. ใช้เป็นอาหารโดยตรง มีการนำยอดอ่อนที่ใบยังไม่คลี่ของต้นบุกมาต้มหรือผัด หัวได้ดินนำมาผลิตแป้ง ซึ่งชาวญี่ปุ่นเป็นกลุ่มผู้บริโภคที่รู้จักผลิตภัณฑ์โดยตรงจากแป้งบุกโดยนิยมนำแป้งบุกมาผลิตเป็นเส้นหรือ ก้อน ซึ่งรู้จักกันในนาม คอนนิยาคุ (koniyaku)

2. ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ สมบัติประการหนึ่งที่สำคัญของแป้งบุกคือ มีความข้นหนืดและสามารถเกิดเจลเมื่อใช้ร่วมกับแป้งหรือไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ จึงมีการนำแป้งบุกมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์อาหาร (Chenney *et al.*, 1984) อติศักดิ์ เอกโสวรรณ (2540) ศึกษาการใช้เจลแป้งบุก (แป้งบุกผสม แชนแทนกัม อัตราส่วน 75 ต่อ 25) ทดแทนปริมาณไขมันในไส้กรอกหมูพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแน่นเนื้อและการยึดเกาะตัวน้อยกว่า แต่มีความหนืดสูงกว่าชุดควบคุม (ไม่ใส่เจลแป้งบุก) และจากการศึกษาของ กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ์ และ อติศักดิ์ เอกโสวรรณ (2543) เตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งบุกเคลือบผิวของส้มเขียวหวานและไข่ไก่พบว่า ฟิล์มแป้งบุกสามารถลดการเปลี่ยนแปลงสีของผิวส้ม ลดการสูญเสียน้ำหนักและวิตามินซีได้ในช่วงเวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28-30°C) ส่วนไข่ไก่ที่เคลือบด้วยฟิล์มแป้งบุกยังคงคุณภาพดีกว่าไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบฟิล์ม ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 30 วัน

3. ทางด้านการแพทย์ จากการการศึกษาของ Sugiyama และ Shimahara (1976) พบว่าแป้งบุกบริสุทธิ์มีประโยชน์ทางการแพทย์ โดยการรับประทานแป้งบุกเป็นประจำในปริมาณ 0.1 – 1.0 กรัม ต่อน้ำหนักตัวผู้บริโภคหนึ่งกิโลกรัม จะมีผลช่วยลดระดับโคเลสเตอรอล ระดับไขมันในเส้นเลือด บำบัดอาการท้องผูก และยังสามารถใช้สำหรับผู้ที่เป็นโรคอ้วนหรือผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักตัวโดยไม่มีผลข้างเคียงต่ออวัยวะอื่นๆในร่างกาย เช่น กระเพาะอาหาร ตับหรือไต

1.3 การผลิตแป้งจากหัวบุก

Tye (1991) ได้รายงานถึงกรรมวิธีการผลิตแป้งบุกจากหัวบุก ซึ่งหัวบุกที่นิยมนำมาผลิตแป้งในประเทศญี่ปุ่นคือหัวบุกพันธุ์ *Amorphophalus konjac C. Koch* สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1.3.1. การผลิตแบบแห้ง (dry traditional method)

หั่นหัวบุกเป็นชิ้นบางขนาด 5 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปทำแห้งให้มีความชื้นเหลือร้อยละ 15 ซึ่งการทำแห้งนั้นอาจทำได้โดยการ ตากแดดหรืออบด้วยอากาศร้อน ทำการบดชิ้นบุกด้วยเครื่อง stamp mill หรือ pin mill ก็ได้ นำส่วนที่บดได้มาแยกแป้งออกจากสารเจือปนด้วยการแยกด้วยลมเป่า (air classification) ผลผลิตที่ได้จากวิธีนี้ค่อนข้างต่ำเนื่องจากเกิดการสูญเสียแป้งบุกบางส่วนในกระบวนการเป่าแยกด้วยลม โดยสารเจือปนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะถูกเป่าสู่ส่วนบนของเครื่องแยกและส่วนของกลูโคแมนแนนซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจะตกลงสู่ก้นถัง นอกจากนี้แผ่นบุกแห้งยังมีความแข็งมาก ทำให้ไม่สะดวกต่อการแยกอนุภาค

1.3.2 การผลิตแบบเปียก (conventional wet method)

หั่นหัวบุกเป็นชิ้นบางขนาด 5 มิลลิเมตร ทำให้แห้งให้มีความชื้นเหลือร้อยละ 15 บดชิ้นบุกพร้อมกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำได้ (water – miscible organic solvent) เช่น เอทานอลที่เติมโซเดียมซัลไฟด์เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100-120 เมช และทำซ้ำอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นล้างส่วนที่เป็นแป้งด้วยสารละลายข้างต้นจนได้แป้งที่มีสีค่อนข้างขาว หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส

1.4 การผลิตแป้งบุกบริสุทธิ์

Sugiyama และคณะ (1974 อ้างโดย นุบผา เศรษฐพร, 2535) ได้ศึกษากระบวนการทำแป้งบุกให้บริสุทธิ์ โดยนำแป้งบุก 10 กรัมไปทำการสกัดด้วยเอทานอลเข้มข้น ร้อยละ 50 จำนวน 3 ครั้ง จากนั้นล้างซ้ำด้วยเอทานอล เข้มข้นร้อยละ 80 แล้วนำไปกรองและอบแห้งได้แป้งบุกมีน้ำหนักเหลือประมาณ 4.1 กรัม นำไปละลายน้ำในอัตราส่วน 1 กรัม ต่อ น้ำ 100 ถึง 200 มิลลิเมตร ในขั้นตอนนี้ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ เช่น กลูโคแมนแนน สารไม่บริสุทธิ์ที่มีโมเลกุลต่ำ และเกลืออนินทรีย์จะละลายอยู่ในน้ำ ส่วนสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น แป้งชนิดอื่นๆ หรือเส้นใยต่างๆจะลอยอยู่บนผิวหน้า และถูกกำจัดออกไปโดยการกรอง

หรือการเหวี่ยง หลังจากทำการแยกสารที่ไม่ละลายน้ำออกไปแล้ว นำสารละลายส่วนใสไปทำการแยกสารไม่บริสุทธิ์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำออกโดยเทคนิคไดอะไลซิส (dialysis) โดยใช้ถุงเซลโลเฟนหรือเซลลูโลสเมมเบรนในน้ำกลั่นนานประมาณ 24 - 48 ชั่วโมง (Sugiyama and Shimahara, 1976) เมื่อครบกำหนดเวลาสารละลายที่ได้จากการแยกด้วยเมมเบรน จะนำมาทำให้แห้งโดยใช้เครื่องระเหิดด้วยความเย็น (lyophilized) อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ภายใต้การลดความดัน เป็นเวลา 30 ชั่วโมง ในที่สุดจะได้แป้งบุกบริสุทธิ์ (Konjac mannan) มีลักษณะสีขาวเหมือนฝ้าย เบาและพองน้ำได้

การผลิตแป้งบุกบริสุทธิ์มีจุดประสงค์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์เป็นส่วนใหญ่ Shimizu และ Shimahara (1973) ได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติแป้งบุกที่บริสุทธิ์กับแป้งบุกก่อนนำไปทำให้บริสุทธิ์ได้ผลดังตารางที่ 2 พบว่าแป้งบุกบริสุทธิ์ต่างจากแป้งบุกเริ่มต้นคือไม่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีน เนื่องจากแป้งบุกบริสุทธิ์ผ่านขั้นตอนการกำจัดสตาร์ช และแป้งบุกบริสุทธิ์ไม่มีสมบัติในการรีดิวซ์ มีผลให้แป้งบุกไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการเก็บรักษา แต่ทั้งแป้งบุกบริสุทธิ์และแป้งบุกเริ่มต้นสามารถละลายน้ำ และมีสมบัติในการเกิดเจล

ตารางที่ 2 สมบัติของแป้งบุกเริ่มต้นเปรียบเทียบกับแป้งบุกบริสุทธิ์

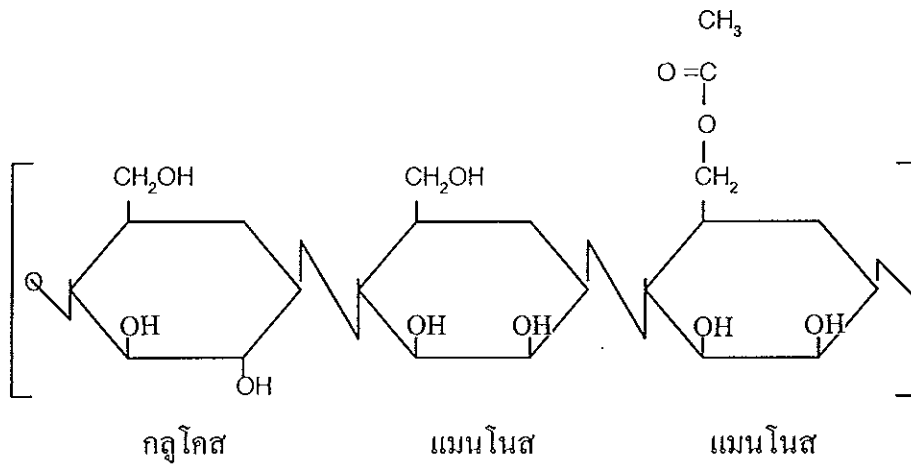
สมบัติ	แป้งบุกเริ่มต้น	แป้งบุกบริสุทธิ์
ความสามารถในการละลายน้ำ	ละลายได้	ละลายได้
ความสามารถในการเกิดเจล	เกิดเจลได้	เกิดเจลได้
ความสามารถในการละลาย ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 20	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย
ความสามารถในการรีดิวซ์	พบ	ไม่พบ
การเกิดปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีน	เกิดปฏิกิริยา	ไม่เกิดปฏิกิริยา

ที่มา : Shimizu และ Shimahara (1973)

1.5 องค์ประกอบของแป้งจากหัวบุก

แป้งจากหัวบุกประกอบด้วยโมเลกุลของเม็ดแป้งที่ค่อนข้างกลมขนาด 100-500 ไมครอน และมีสีที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพันธุ์และวิธีการผลิต เช่น สีขาว สีค่อนข้างขาว ออกน้ำตาล เป็นต้น องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่พบในแป้งบุกคือ กลูโคแมนแนน ซึ่งประกอบด้วย น้ำตาลแมนโนสและน้ำตาลกลูโคสในอัตราส่วนน้ำตาลแมนโนสต่อน้ำตาลกลูโคส 3:2 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β - 1,4 ไกลโคซิดิก ในโมเลกุลเส้นตรงของกลูโคแมนแนนนี้มีกลุ่มอะซิติลกระจายอยู่อย่างไม่มีแบบแผน โดยจะพบกลุ่มอะซิติล 1 กลุ่ม ต่อน้ำตาลกลูโคสหรือน้ำตาลแมนโนส 19 หน่วย แสดงดังภาพที่ 1 มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า 300,000 คาลตัน (Tye, 1991) ส่วนประกอบอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 3 กลูโคแมนแนนมีสมบัติพิเศษคือเมื่อถูกน้ำจะ

ขยายตัวได้ 20 ถึง 30 เท่า โดยที่แป้งกลูโคแมนแนนที่สะอาดบริสุทธิ์จะมีสีขาว ไม่มีกลิ่น
(Sugiyama *et al.*, 1974 อ้างโดย บุปผา เตชะภัทรพร, 2535)



ภาพที่ 1 โครงสร้างบางส่วนของกลูโคแมนแนนในแป้งบุก
ที่มา : Tye (1991)

ตารางที่ 3 ปริมาณสารอาหารต่อ 100 กรัมแป้งบุก

สารอาหาร	ปริมาณ (กรัม)
ความชื้น	2.74
โปรตีน	0.36
ใยอาหาร	19.18
เถ้า	2.79
คาร์โบไฮเดรต	93.19
พลังงาน	384.48 แคลลอรี่
น้ำตาล	81.43
ไขมัน	0.92
ไขมันอิ่มตัว	0.10
คอเลสเตอรอล	0.00
โซเดียม	709.20 มิลลิกรัม
แคลเซียม	17.97 มิลลิกรัม
วิตามินซี	0.00 IU*
วิตามินเอ	18.60 IU*

*International Unit

ที่มา : บริษัทสหผลพืช (2540)

1.6 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งบุก

Tye (1991) กล่าวถึงสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งบุกหลายด้านด้วยกัน ได้แก่

1.6.1 ความข้นหนืด (water thickening)

เมื่อนำแป้งบุกมาผสมกับน้ำ อนุภาคของแป้งบุกสามารถดูดซับน้ำเอาไว้แล้วเกิดการพองตัวทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะเป็นของไหลแบบซูโดพลาสติก (pseudoplastic) อัตราการดูดซับน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมิผลทำให้อัตราการดูดซับน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้นำแป้งบุกมาใช้ร่วมกับแป้ง กัม และสารให้ความคงตัวชนิดอื่นเพื่อเพิ่มความหนืดของผลิตภัณฑ์โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส

แป้งบุกยังส่งผลให้ความหนืดของแป้งหรือไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ร่วมด้วยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก และรักษาความหนืดของระบบให้คงที่ทั้งในกระบวนการให้ความร้อน และการทำให้เย็น เช่น การใช้แป้งบุกร่วมกับ modified waxy maize starch หรือแป้งข้าวโพด ส่งผลให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม

1.6.2 การเกิดเจล (gel formation)

การเกิดเจลของแป้งบุกเป็นที่น่าสนใจมาก โดยทั่วไปเจลที่ได้จากโพลีแซคคาไรด์อื่นๆเมื่อนำมาให้ความร้อนจนถึงระดับอุณหภูมิหนึ่ง เจลจะแตกหรือเกิดการพองตัวของโครงสร้างตาข่ายโพลีเมอร์ ทำให้สูญเสียความเป็นเจลไป แต่ในแป้งบุกที่อยู่ในสถานะค้างอ่อน เช่น โปแตสเซียมคาร์บอเนต แป้งบุกจะให้เจลที่ทนต่อความร้อน และมีความแข็งแรงมาก (Tye, 1991)

1.6.3 การเกิดฟิล์ม (film formation)

แป้งบุกสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมฟิล์มได้ ฟิล์มจากแป้งบุกเป็นฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ประเภท self supporting film เช่นเดียวกับเซลลูโลส แอลจินेट (Passaglia, 1965) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ธรรมชาติ เมื่อสารละลายแป้งบุกเกิดการสูญเสียน้ำหรือนำไปทำแห้งจะได้ฟิล์มมีลักษณะเหนียว ซึ่งฟิล์มที่เกิดขึ้นนี้มีเสถียรภาพทั้งในน้ำร้อน น้ำเย็น หรือในระบบที่เป็นกรดต่าง (Tye, 1991)

2. ฟิล์มบริโกลด์ (Edible film)

คือวัสดุแผ่นบางที่สามารถใช้รับประทานได้ นำมาใช้กับอาหารด้วยวิธีต่างๆ เช่นการห่อหุ้ม การจุ่ม การแปรง หรือพ่นฝอยเพื่อกันไม่ให้ก๊าซ ไอน้ำ และสารละลายผ่านเข้าหรือออกจากอาหารได้ (Kester and Fennema, 1986) เราสามารถใช้ฟิล์มบริโกลด์เป็นส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหรือยืดอายุการเก็บ โดยมีหน้าที่ทั่วไปดังต่อไปนี้

1. ชะลอการซึมผ่านของก๊าซ เช่นออกซิเจน และคาร์บอน ไดออกไซด์
2. ชะลอการซึมผ่านไขมันและน้ำมัน
3. ป้องกันการแตกหักเสียหายของผลิตภัณฑ์
4. ห่อหุ้มอาหารให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์
5. ป้องกันไม่ให้สารหอมระเหยสูญหายไป

Gennadios และ Weller (1990) ได้เสนอข้อดีของฟิล์มบริโกลด์ที่เหนือกว่าฟิล์มสังเคราะห์ดังนี้

1. บริโกลด์พร้อมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อันเป็นจุดเด่นที่เห็นได้ชัดในการลดปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อม
2. ในกรณีที่ไม่มีบริโกลด์ฟิล์ม ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้โดยง่าย เป็นการช่วยลดปัญหามลพิษเช่นกัน
3. เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส ชวนให้น่ารับประทานผลิตภัณฑ์มากขึ้น และไม่ทำให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ด้อยลง
4. เสริมคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะฟิล์มจากโปรตีน
5. ใช้ห่อหุ้มอาหาร โดยแยกออกเป็นแต่ละชิ้น เช่น ถั่ว สตรอเบอร์รี่
6. ใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พืชชำ พาย
7. ทำหน้าที่เก็บสารป้องกันจุลินทรีย์และสารกันเหี่ยว และยังควบคุมอัตราการซึมของสารกันเสียจากฟิล์มเข้าสู่เนื้ออาหาร
8. สามารถทำฟิล์มเป็นแคปซูลบรรจุสารให้กลิ่นรสและสารทำให้ขึ้นฟู (leavening agent) ได้ เพื่อควบคุมการเติมสารที่ใส่ในอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ
9. สามารถใช้ร่วมกับพลาสติก โดยใช้ฟิล์มที่รับประทานได้สัมผัสกับอาหาร โดยตรง

3. กลไกการเกิดฟิล์มบริโกลได้

กลไกการเกิดฟิล์มบริโกลได้แต่ละชนิดสามารถเกิดได้หลายวิธีดังนี้

3.1 การจับกันเป็นก้อน (coacervation)

การจับกันเป็นก้อนแบบง่าย (simple coacervation) เกิดเมื่อโพลีเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเนื่องจากการระเหยของตัวทำละลาย เช่น การเกิดฟิล์มของไขมันเกิดจากการหลอมละลายแล้วตกผลึกเนื่องจากการทำให้เย็น หรือการขจัดตัวทำละลายออกโดยการทำให้แห้งเกิดเป็นผลึกของไขมัน การเติมสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งไฮโดรคอลลอยด์ไม่สามารถละลายได้ (เช่น แอลกอฮอล์) การเติมสารที่ทำให้เกิด salting out การเชื่อมไขว้ หรือการเปลี่ยนแปลงพีเอช (Kester and fennema, 1986)

การจับกันเป็นก้อนแบบเชิงซ้อน (complex coacervation) เกิดเมื่อสารละลาย 2 ชนิดที่มีประจุตรงข้ามกันเกิดการรวมตัวและเกิดปฏิกิริยาต่อกัน เกิดการตกตะกอนของโพลีเมอร์ (Banker, 1966)

3.2 การเกิดเจลด้วยความร้อนหรือการตกตะกอน (thermal gelation or precipitation)

การให้ความร้อนโปรตีน เพื่อให้โปรตีนสูญเสียสภาพตามด้วยการเกิดเป็นเจลหรือการตกตะกอน หรือการให้ความเย็นแก่สารแขวนลอย พวกไฮโดรคอลลอยด์เพื่อให้เกิดเจล

3.3 การทำปฏิกิริยากันระหว่างโมเลกุล (intermolecular properties)

เกิดจากการเกิดพันธะ หรือการสานตัวกันระหว่างโมเลกุลหรืออนุภาค เช่น โคลโคเดน เมื่อนำมาละลายกรดเจือจางเช่นกรดอะซิติก ได้สารละลายชั้นหนืดซึ่งสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มหรือเมมเบรนได้ (Blair *et al.*, 1987) การฟอร์มตัวของฟิล์มโคลโคเดนและโฮโมจีไนซ์เซลลูโลสเริ่มจากการเกิดชิฟเบส (schiff base) โดยการเชื่อมไขว้ระหว่างหมู่คาร์บอนิลของเซลลูโลส และหมู่อะมิโนของโคลโคเดน (Hosakawa *et al.*, 1991)

4. เทคนิคการผลิตแผ่นฟิล์ม

เทคนิคการผลิตแผ่นฟิล์มเพื่อใช้ในการห่อหุ้มอาหารมีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิตแผ่นฟิล์ม และชนิดของผลิตภัณฑ์ (Greener and Fennema, 1994) เช่น

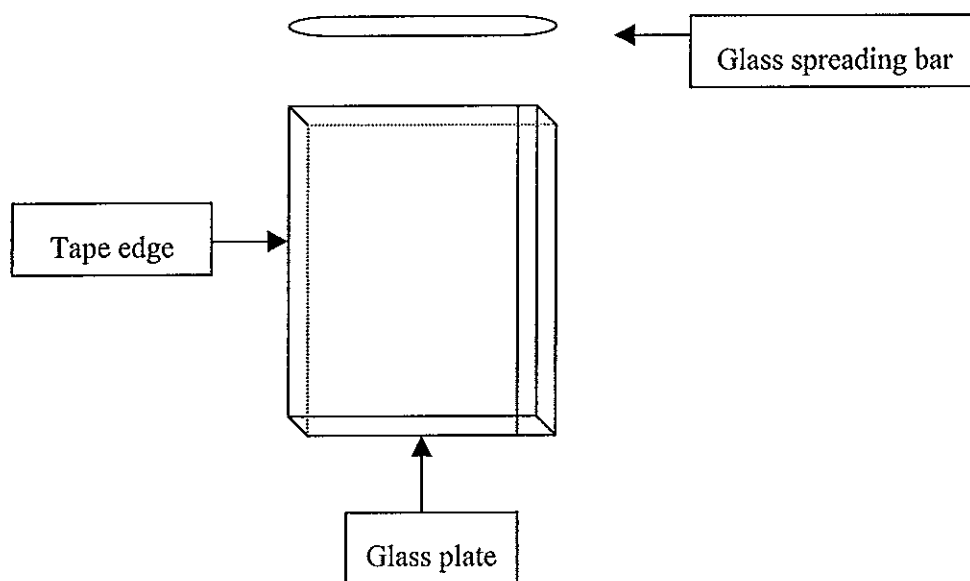
4.1 การจุ่ม (dipping) วิธีนี้จะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เพื่อเคลือบฟิล์มเข้ากับผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ เหมาะกับผลิตภัณฑ์ผิวหน้าไม่เรียบไม่สม่ำเสมอ หลังจากทำการจุ่มฟิล์ม

แล้ว ต้องรอให้ฟิล์มส่วนเกินหยุดไหลแล้วจึงนำไปทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ ปลา และไก่ (Greener and Fennema, 1994) และยังมีการประยุกต์ใช้ในการเคลือบผักผลไม้ แต่วิธีนี้มีข้อเสียคืออาจทำให้เกิดการปนเปื้อนเนื่องจากจุลินทรีย์หรือฝุ่นละอองได้

4.2 การพ่นเคลือบ (spraying) การพ่นเคลือบฟิล์มจะทำให้ลักษณะของฟิล์มบางกว่าวิธีการจุ่ม เหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความสม่ำเสมอ ขนาดใกล้เคียงกัน ใช้อุปกรณ์บริเวณผิวหน้าของชิ้นอาหาร เช่น พืชชำ เนื่องจากฟิล์มที่ได้บางมากจึงสามารถพ่นเคลือบสองชั้นได้ ฟิล์มที่นิยมเช่น แอลจินेट เพกทิน

4.3 การหล่อฟิล์ม (casting) เป็นเทคนิคที่นำมาจากการผลิตฟิล์มพลาสติก วิธีนี้สามารถควบคุมความหนาของแผ่นฟิล์ม และฟิล์มสามารถแผ่กระจายออกเป็นแผ่นได้ สามารถทำได้โดยการนำสารละลายฟิล์มแผ่นบนแผ่นแก้วของเครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องหล่อฟิล์มอย่างง่าย (Wolff *et al.*, 1951) แสดงดังภาพที่ 2 หลังจากนั้นใช้แท่งแก้วเกลี่ยให้สารละลายฟิล์มสม่ำเสมอทั้งแผ่นแล้วจึงนำไปทำแห้ง

4.4 วิธีการใช้ลูกกลิ้ง (drum drier) ทำการเตรียมสารละลายฟิล์มในลักษณะเพสต์ (paste) เจือจางแล้วทำให้เป็นฟิล์มบนลูกกลิ้งร้อน 103 – 108 องศาเซลเซียส หมุนด้วยความเร็ว 70 – 110 รอบต่อวินาที ฟิล์มที่ได้มีลักษณะเป็นดวงๆ บางมากและฟิล์มเปราะแตกได้ง่ายถ้าเก็บโดยไม่ควบคุมความชื้น



ภาพที่ 2 เครื่องหล่อฟิล์มอย่างง่าย

ที่มา : Wolff และคณะ (1951)

4.5 เทคนิคอื่นๆ

เทคนิคการประยุกต์การเคลือบสารละลายฟิล์มด้วยวิธีต่างๆแบบอื่นๆ เช่น การใช้แปร่ง ทา นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีผิวหน้าสม่ำเสมอเช่นผลไม้ โดยผลไม้จะเคลื่อนผ่านแปร่งซึ่งหมุนอยู่โดยที่แปร่งมีสารเคลือบผิว สารเคลือบผิวส่วนมากจะเป็นพาราฟิน หรือ bees wax ที่ละลายในสารละลาย ทาบริเวณผิวนอกของผลไม้แต่วิธีนี้ต้องคอยระวังไม่ให้แปร่งปิดแรงเกินไป เพราะอาจทำให้ผิวผลไม้เสียได้ (Austin and Burns, 1994)

5. สมบัติของแผ่นฟิล์ม

มยุรี ภาคลำเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์พิพัฒน์ (2537) ได้แบ่งสมบัติของแผ่นฟิล์มได้ดังนี้

5.1 สมบัติทางกล

เป็นสมบัติที่เกี่ยวกับความเหนียวและความแข็งแรงของแผ่นฟิล์ม สมบัติที่สำคัญเช่น การต้านแรงดึง การยืดตัว การต้านแรงกระแทก และการต้านแรงฉีกขาด เป็นต้น

5.1.1 การต้านแรงดึง (tensile strength) และการยืดตัว (elongation)

การต้านแรงดึง หมายถึง ความสามารถของฟิล์มที่จะต้านแรงดึงซึ่งกระทำที่ปลายข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ส่วนการยืดตัวคือ ความยาวสูงสุดของแผ่นฟิล์มเมื่อยืดออกจนขาด มีหน่วยเป็นร้อยละของความยาวเดิมของแผ่นทดสอบ เป็นค่าที่บอกถึงความเหนียวของฟิล์ม และความเหมาะสมในการใช้งาน สามารถวัดค่าการต้านทานแรงดึงและการยืดตัวเมื่อขาด โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า universal testing machine กำหนดระยะห่างของที่จับเริ่มต้น (initial grip replication) และความเร็วของการทดสอบ (test speed) เพื่อดึงแผ่นทดสอบขาด สามารถนำมาคำนวณค่าได้โดย

$$\text{การต้านทานแรงดึง (แรง/พ.ท.ผิว)} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุดที่ฟิล์มทนได้}}{\text{พื้นที่ผิว}}$$

$$\text{ค่าการยืดตัว (\%)} = \frac{\text{ความยาวของฟิล์มเมื่อขาด-ความยาวของฟิล์มเริ่มต้น}}{\text{ความยาวฟิล์มเริ่มต้น}} 100$$

5.1.2 การต้านแรงกระแทก (impact resistance)

การต้านแรงกระแทก หมายถึงความสามารถของฟิล์มที่จะต้านน้ำหนักของตุ้มโลหะ ซึ่งเมื่อตกลงมากระแทกฟิล์มแล้วทำให้ฟิล์มนั้นขาด มีหน่วยเป็นกรัม จัดเป็นสมบัติที่แสดงถึงความแข็งแรงของฟิล์ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ฟิล์มนั้นทำเป็นถุงบรรจุสินค้าที่หนัก และมีการกระแทกกระหว่างขนส่ง นิยมใช้วัดแผ่นฟิล์มพลาสติก

5.1.3 การต้านแรงฉีกขาด (tear resistance)

การต้านแรงฉีกขาด เป็นการวัดแรงที่ทำให้ฉีกขาดทดสอบขาด การกำหนดค่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่นถ้าฟิล์มนั้นเป็น tear tape ก็ควรมีค่านี้ต่ำเพื่อให้ฉีกได้ง่าย แต่ถ้าทำเป็นถุงควรมีค่าสูงเพื่อป้องกันการฉีกขาดในการขนส่ง

5.2 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพ เป็นสมบัติที่แสดงถึงลักษณะภายนอกที่มองเห็น และความสามารถในการสกัดกั้นไอน้ำ อากาศ และไขมันรวมทั้งความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

5.2.1 ความหนาแน่น หมายถึงน้ำหนักของชิ้นทดสอบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ อุณหภูมิที่กำหนด หน่วยที่นิยมใช้คือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g / cm^3) และกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg / m^3) สามารถทดสอบได้โดย นำตัวอย่างฟิล์มขนาด 5 x 5 ซม.ชั่งน้ำหนัก (ซึ่งละเอียดถึง 0.0001) นำน้ำหนักที่ได้หารด้วยพื้นที่ผิวตัวอย่าง สมบัติข้อนี้บางครั้งใช้สำหรับการบ่งบอกชนิดของฟิล์มได้เพราะถ้าฟิล์มต่างชนิดกัน จะมีค่าความหนาแน่นแตกต่างกัน

5.2.2 ความหนา หมายถึงระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าของฟิล์ม มีหน่วยเป็นไมโครเมตร (ไมครอน) หรือมิลลิเมตร ความหนามีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความคงรูป การ

ด้านแรงดึง การต้านแรงฉีกขาด ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและอากาศ เป็นต้น สามารถทำการตรวจสอบได้ด้วยเครื่อง ไมโครมิเตอร์

5.2.3 การดูดซับน้ำ หมายถึงปริมาณน้ำที่ฟิล์มดูดซับไว้ในระยะที่กำหนด สมบัตินี้มีความสำคัญเพราะถ้าฟิล์มดูดซับน้ำได้มากมีผลให้เกิดการบวม อีกทั้งทำให้ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและก๊าซลดลงอีกด้วย ค่าการดูดซับน้ำสามารถวัดเป็นหน่วยร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น กำหนดสถานะเป็น 27 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65 ± 2

5.2.4 อัตราการซึมผ่านไอน้ำ หมายถึงปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าหนึ่งไปยังผิวหน้าหนึ่งของพื้นที่ผิวของฟิล์มหนึ่งหน่วย ในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่คงที่มีหน่วยเป็น กรัม / ตารางเมตร / 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 สามารถคำนวณค่าการซึมผ่านไอน้ำได้จากสูตร (McHugh and Krochta, 1994)

$$WVP = \frac{(\text{ปริมาณของไอน้ำ})(\text{ความหนาของฟิล์ม})}{(\text{พ.ท.ฟิล์ม})(\text{เวลา})(\text{ความแตกต่างของความดันไอน้ำทั้งสองด้านของแผ่นฟิล์ม})}$$

5.2.5 อัตราการซึมผ่านของก๊าซ หมายถึงปริมาณของก๊าซที่ซึมผ่านจากผิวหน้าด้านหนึ่งไปยังผิวหน้าด้านหนึ่งของพื้นที่ผิวของฟิล์มหนึ่งหน่วย ในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่คงที่มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร / ตารางเซนติเมตร / วัน / บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2

5.2.6 การต้านทานน้ำมันและไขมัน มีความสำคัญเมื่อผลิตภัณฑ์บรรจุมีไขมันหรือน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณที่สูง คัดแปลงจากวิธีการของ TAPPI-T454 หยคน้ำมันพืชลงบนแผ่นฟิล์มที่ทำการทดสอบ สังเกตแผ่นฟิล์มและจับเวลาดูจนกระทั่งน้ำมันทะลุผ่านแผ่น

ฟิล์มที่ทดสอบจากผิวหน้าของอีกด้านหนึ่ง คิดเป็นค่าความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มซึ่งจะอยู่ในรูปของนาที่หรือชั่วโมง

6. ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มบรีโกลด์

สมบัติของแผ่นฟิล์มบรีโกลด์เป็นตัวที่บ่งบอกถึงความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ ดังนั้นการผลิตแผ่นฟิล์มต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มเพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีคุณภาพ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด ปัจจัยดังกล่าวได้แก่

6.1 สมบัติพื้นฐานทางเคมีของโพลีเมอร์

สมบัติพื้นฐานของโพลีเมอร์ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มบรีโกลด์ ที่สำคัญได้แก่ ความมีขั้ว (polarity) หรือความชอบน้ำ (hydrophilic) ของโพลีแซคคาไรด์และโปรตีน เนื่องจากมีส่วนประกอบของพันธะไฮโดรเจนที่แสดงสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซได้ดี แต่ต้านทานการซึมผ่านไอน้ำได้ต่ำ ตารางที่ 4 แสดงผลของ functional group (X) ในสายโซ่ของโพลีเมอร์ไฮโดรคาร์บอน ต่อค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

ตารางที่ 4 ผลของ functional group ต่อค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

Nature of X in $(\text{CH}_2-\text{CH X})_n$	Oxygen permeability ($\text{cm}^3 \cdot \text{mil} \cdot \text{day} \cdot 100 \text{ in}^2 \cdot \text{atm}$)
-OH	0.01
-CN	0.04
-Cl	8.0
-F	15.0
-COOH ₃	17.0
-CH ₃	150.0
-C ₆ H ₅	420.0
-H	480.0

ที่มา : Ashley (1985)

จากตารางที่ 4 พบว่า -OH, -CN, -Cl, -F และ -COOH₂ แสดงสมบัติในการเป็นตัวกั้นก๊าซออกซิเจนได้ดีเนื่องจากโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงจะมีลักษณะการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรง การซึมผ่านของไอน้ำหรือก๊าซจึงเป็นไปได้ยากกว่าโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบกิ่งก้าน (Ashley, 1985) เนื่องจากไอน้ำและก๊าซซึมผ่านแผ่นฟิล์มโดยผ่านรูขนาดเล็ก หรือการชักนำให้เกิดการแพร่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของส่วนประกอบ เช่นสมบัติในการเป็นตัวกั้นของฟิล์มไขมันเกิดเนื่องจากการตกผลึกของไขมันบริเวณผิวหน้าของแผ่นฟิล์ม ก๊าซและไอน้ำไม่สามารถแพร่ผ่านระหว่างผลึกไขมัน ดังนั้นสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านจึงขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของผลึกไขมัน หากมีการจัดเรียงตัวอย่างหนาแน่นจะป้องกันการซึมผ่านได้ดีกว่าไขมันที่มีการจัดเรียงตัวอย่างหลวมๆ (Greener and Fennema, 1994)

6.2 ชนิดของโพลีเมอร์

โพลีเมอร์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์มบริโภคได้มีหลายชนิด เช่น โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ไขมัน และการผสมของโพลีเมอร์หลายชนิด โพลีเมอร์แต่ละชนิดทำให้ฟิล์มมีสมบัติแตกต่างกันออกไป ฟิล์มชนิดหนึ่งอาจให้สมบัติที่เด่นในด้านหนึ่งแต่อาจให้สมบัติที่ด้อยในอีกด้านหนึ่งเช่น ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าฟิล์มจากเซลลูโลส (MC, HPMC) และฟิล์มจากเซลลูโลสให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าฟิล์มสังเคราะห์ (LDPE, HDPE) ส่วนฟิล์มจากซีพีมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำสุด (ตารางที่ 5) (Cuq *et al.*, 1995) แต่ฟิล์มที่ผลิตได้ไม่แข็งแรง (Yamada and Noguchi, 1995)

ตารางที่ 5 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มชนิดต่างๆ

ชนิดของฟิล์ม	อุณหภูมิ	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ ($10^{-12} \text{ mol.mm}^2.5^{-1}.\text{Pa}^{-1}$)
Soy protein	25	23
Corn zein	21	6.45
HPMC	27	5.96
MC	30	5.23
Wheat gluten	30	5.08
HPC	30	2.89
LDPE	30	0.0482
Bees wax	25	0.0122

ที่มา : Cuq และคณะ (1995)

มีการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มบรีโอกได้โดยการใช้ไขมัน คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนร่วมกันเพื่อลดจุดด้อยของฟิล์มลง เช่น เมื่อต้องการสมบัติการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ ไขมันในฟิล์มจะป้องกันได้ในขณะที่คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนมีส่วนทำให้แผ่นฟิล์มมีความแข็งแรง เรียกฟิล์มชนิดนี้ว่า อิมัลชันฟิล์ม (Greener and Fennema, 1994)

Shellhammer และ Krochta (1997) ได้ทำการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของไขมันที่มีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นอิมัลชันฟิล์มจากเวย์โปรตีน โดยการเติมกรดไขมัน 4 ชนิดที่มาจาก carnauba wax, candelilla wax, milkfat fraction และ bees wax พบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 6

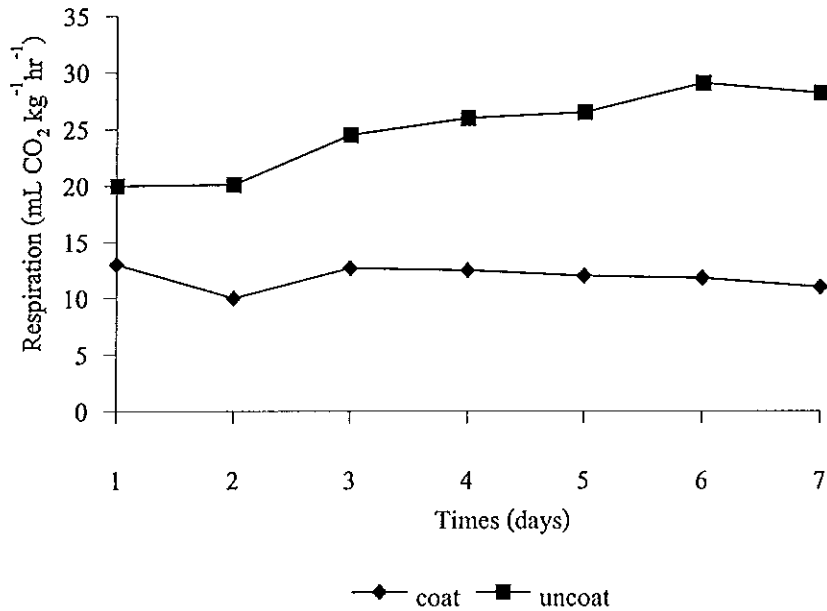
ตารางที่ 6 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของวัสดุที่ทำแผ่นฟิล์ม

วัตถุดิบ	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (กรัม. มม. / กิโลปาสกาล ชม. ตรม.)	อุณหภูมิ(°ซ)
Candelilla wax	0.0005	24.9
Bees wax	0.0013	27.6
Carnauba wax	0.0041	27.5
Milkfat fraction	0.0369	24.9
Whey protein : Glycerol (15:1)	1.8918	26.3

ที่มา : คัดแปลงจาก Shellhammer และคณะ (1997)

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มจากเวย์โปรตีนมีคุณสมบัติชอบน้ำ ดังนั้นจึงเป็นตัวกั้นไอน้ำที่ไม่ดี ค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าฟิล์มที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ และพบว่า candelilla wax ด้านทานการซึมผ่านไอน้ำดีที่สุดตามด้วย bees wax, carnauba wax และ anhydrous milk, ตามลำดับ

Banks (1983) ศึกษาผลของฟิล์ม CMC - sucrose fatty acid ester ต่อปริมาณก๊าซออกซิเจนที่กล้วยใช้ในการหายใจระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการเคลือบ CMC - sucrose fatty acid ester บนผิวกล้วย เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าการหายใจของกล้วยลดลง 5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ไม่เคลือบฟิล์ม ดังภาพที่ 3 เป็นผลให้ชะลอการสุกงอมของกล้วย สามารถเก็บได้นานยิ่งขึ้น



ภาพที่ 3 อัตราการหายใจของกล้วยที่เคลือบด้วยฟิล์ม CMC- sucrose fatty acid ester ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ที่มา : Banks (1983)

มีการศึกษาสมบัติของฟิล์มอิมัลชันอีกหลายชนิดในการเป็นตัวกั้น หรือการต้านทาน การซึมผ่านของก๊าซ เนื่องจากฟิล์มที่มีสมบัติดังกล่าวสามารถชะลอการสุกของผักผลไม้ ป้องกันการเติมออกซิเจนในผลิตภัณฑ์เนื้อ ป้องกันการเกิดกลิ่นหืน โดยแต่ละชนิดต้านทานการ ซึมผ่านของก๊าซแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าการซึมผ่านก๊าซของอิมัลชันฟิล์ม

วัสดุ	สภาวะแวดล้อม	ค่าการซึมผ่านก๊าซ ($\text{cm}^3 \mu\text{m}/\text{m}^2 \text{d.kPa}$)	ที่มา
AM:HPC:PEG ¹	30 °C 0%RH	298	Park and Chinnan (1990)
M:BW:MC:PEG ²	25 °C 0%RH	960	Greener and Fennema (1989)
S:BW:PEG ³	25 °C 0%RH	319	Greener and Fennema (1989)
PA:MC:PEG ⁴	24 °C 0%RH	365-401	Rico and Torres (1990)
AM:Gluten:glycerine	23 °C	785	Allen <i>et al.</i> ,(1963)
Starch	24 °C	13,130	Gennadios <i>et al.</i> ,(1990)
Amylomaize	25 °C	1,480	Mark <i>et al.</i> ,(1966)

¹-acetylated monoglyceride:hydroxypropyl cellulose:polyethylene glycol

²-beeswax applied in molten state

³-beeswax applied in solvent

⁴-methyl cellulose : polyethylene glycol

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าอิมัลชันฟิล์มแสดงค่าการซึมผ่านก๊าซต่ำกว่าฟิล์ม starch และฟิล์ม amylo maize เป็นการพัฒนาสมบัติของแผ่นฟิล์มอิมัลชัน โดยอาศัยลักษณะเด่นของฟิล์มแต่ละชนิดมารวมกันเพื่อส่งเสริมสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้น (Dahle, 1983)

6.3 พลาสติกไซเซอร์

เป็นสารที่มีการระเหยต่ำ จุดเดือดสูง อาจละลายในตัวทำละลายได้ดีเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการแยกตัวออกจากฟิล์มระหว่างการอบฟิล์มแห้ง เติมนลงไปเพื่อลดความกรอบและเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่แผ่นฟิล์ม มีผลให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลงเนื่องจากพลาสติกไซเซอร์สามารถลดแรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ให้อ่อนตัวลง (Kester and Fennema, 1986)

ขณะเดียวกันเกิดโครงสร้างที่จับกันอย่างหลวมๆ เนื่องจากแรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ที่ลดลงทำให้ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำลดลง (Gontard *et al.*, 1993) ซึ่งผลของพลาสติกไซเซอร์ชนิดต่างๆต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแสดงดัง ตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลของพลาสติกไซเซอร์ต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจากเวย์โปรตีน ที่ 25 องศาเซลเซียส

ชนิดของพลาสติกไซเซอร์	ความหนา (mm)	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (g.mm./kPa.h.m ²)
37.5 % Glycerol	0.121	4.99
50 % Glycerol	0.121	6.44
50 % PEG 200	0.166	5.61
50 % PEG 400	0.115	5.40
37.5 % Sorbitol	0.129	2.58
50 % Sorbitol	0.139	3.53

ที่มา : McHugh และคณะ (1994)

6.4 สารต่างๆที่เติมลงในฟิล์มบรีโกลได้

ในการผลิตฟิล์มบรีโกลได้ อาจมีการเติมสารต่างๆเช่น สารกันหืน สารป้องกันจุลินทรีย์ และสารให้กลิ่นรส การเติมสารต่างๆเหล่านี้เข้าไปในฟิล์มบรีโกลได้ อาจส่งผลต่อการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซหรือไอน้ำ ผลกระทบที่เกิดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารต่างๆที่เติมลงไป (Kester and Fennema, 1986) ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สมบัติของฟิล์ม โปรตีนข้าวโพดเมื่อเติมสารต่างๆ

Treatment	Elongation (%)	Water vapor permeability (g / msPa)
Corn Zein Film		
No additive(s)	213.3	11.9
Antioxidant	194.1	5.7
Bacterial enzyme	186.8	6.0
Emulsifier	211.7	6.3
Emulsifier+ enzyme	175.3	9.6
Emulsifier+antioxidant	189.3	7.0
Emulsifier+ enzyme +antioxidant	223.7	8.7

ที่มา : คัดแปลงจาก Herald และคณะ (1995)

7. การเลือกใช้ฟิล์มบรีโกลด์

ลักษณะของฟิล์มหรือสารเคลือบอาหาร มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารต่างชนิดกันต้องการฟิล์มหรือสารเคลือบที่แตกต่างกันโดยพิจารณาถึงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นั้น เพื่อเลือกใช้ฟิล์มให้เหมาะสม เช่น ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ หรืออนุพันธ์ของโพลีแซคคาไรด์ เนื่องจากโพลีแซคคาไรด์มีสมบัติในการชอบน้ำจึงกั้นการซึมผ่านของน้ำได้น้อย แต่ฟิล์มชนิดนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ น้ำมัน ไขมัน และสารให้กลิ่นรสได้ดีในที่มีความชื้นต่ำ (Krochta and De Mulder-Johnston, 1997) นอกจากนี้ ฟิล์มโปรตีน ซึ่งผลิตได้จากโปรตีนหลายชนิด เช่น คอลลาเจน เจลาติน เคซีน เวย์ โปรตีน โปรตีนข้าวโพด กั้นการซึมผ่านของไอน้ำไม่ดี เนื่องจากโปรตีนก็ชอบน้ำ แต่ฟิล์มโปรตีนมีการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำ (Gennadios *et al.*, 1993) การใช้ประโยชน์อาจใช้ในการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสหรือสีที่เดิมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ หรือห่อหุ้มเมล็ดถั่ว (Gennadios and Weller, 1990) ฟิล์มอีกกลุ่มคือ ฟิล์มไขมัน ซึ่งมีการใช้ไขมันหลายชนิดในการห่อหุ้มอาหาร เช่น อซีทีเลต โมโนกลีเซอไรด์

(acetylated monoglycerides) ไชธรรมชาติ และสารตึงผิว (surfactant) เนื่องจากไขมันมีความเป็นขั้วที่ต่ำ ดังนั้นหน้าที่พื้นฐานของฟิล์มไขมันคือป้องกันการสูญเสียความชื้นของชั้นอาหาร (Kester and Fennema, 1986) การใช้ไขมันบริสุทธิ์อาจมีข้อจำกัด เพราะฟิล์มไม่สมบูรณ์และไม่คงทน ดังนั้นมักใช้โครงสร้างอื่นเป็นตัวยึด เช่น โปรตีน หรือ โพลีแซคคาไรด์

8. ฟิล์มบริโกลได้จากโพลีแซคคาไรด์

โพลีแซคคาไรด์หลายชนิดสามารถนำมาผลิตฟิล์มหรือทำเป็นสารเคลือบที่บริโกลได้ โดยกลไกการเกิดฟิล์มของโพลีแซคคาไรด์อยู่ในรูปโครงสร้างเจล อาจเกิดเนื่องจากการทำปฏิกิริยากันของโมเลกุลหรือการเกิดพันธะไขว้ของสายโพลีเมอร์เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย (Glickman, 1982) ดังเช่น

8.1 เซลลูโลส (cellulose) และอนุพันธ์เซลลูโลส (cellulose derivative)

เซลลูโลสได้จากพืชและโครงสร้างของผนังเซลล์พืช เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ประกอบด้วยหน่วยของ (1,4)- β - D glucopyranosyl unit และอนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เมทิลเซลลูโลส (MC) ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) สามารถนำมาเตรียมฟิล์มได้โดยฟิล์มมีความต้านทานต่อแรงดึงและความยืดหยุ่นเป็นอย่างดี โปร่งใส เป็นผลมาจากโครงสร้างของโพลีเมอร์ (Krumel and Lindsay, 1976) ฟิล์มมีคุณสมบัติละลายน้ำและต้านทานไขมันและน้ำมัน เช่น ฟิล์มจาก MC และ HPMC เมื่อนำสารละลายไปให้ความร้อนเกิดเป็นเจลที่สามารถลดการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งระหว่างทอด (Senderson, 1981) เหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารทอดโดยเฉพาะ และชะลอการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Dzieak, 1991) และฟิล์ม HPMC มีคุณภาพสูงในการป้องกันการเกิดกลิ่นหืนในถั่วในระหว่างการเก็บรักษา (Ganz, 1969)

8.2 แป้งและอนุพันธ์ของแป้ง

แป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ได้มาจากพืช มักพบในส่วนของราก หัว เมล็ด และผลบางชนิด แป้งประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกทินในปริมาณและอัตราส่วนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งสิ่งที่สำคัญคืออะไมโลส เนื่องจากฟิล์มที่ผลิตจากแป้งที่มีอะไมโลสสูงมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีและเหมาะในการนำมาใช้ในเชิงการค้า กลไก

การเกิดฟิล์มของแป้งและอนุพันธ์เกิด โดยความร้อนที่ให้แก่แป้งจนถึงอุณหภูมิการเกิดเจล ทำให้โมเลกุลของเม็ดแป้งที่จัดเรียงตัวแบบผลึก เริ่มคลายความแน่นของพันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างแตกออก เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้มากและพองตัวมากขึ้น ส่วนโมเลกุลที่เหลือยังยึดเหนี่ยวกันไว้จึงทำให้เกิดสภาพร่างแห เม็ดแป้งบางส่วนพองตัวจนแตก โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินเป็นอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้งเกิดเป็นสารละลายเจล เมื่อน้ำระเหยออกไปหรือนำไปทำแห้ง ส่วนต่างๆดังกล่าวจะมีการรวมตัวกันเกิดเป็นร่างแหขึ้นที่ผิวหน้าทำให้มีลักษณะเป็นฟิล์ม ความแข็งแรงความเหนียวของฟิล์มที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณอะไมโลสและน้ำหนักโมเลกุลของแป้ง (Krochta and De Mulder-Johnston 1997) และพบว่าฟิล์มจากแป้งมีสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของออกซิเจนที่ดี

จากการศึกษาฟิล์มที่ผลิตจากเพกทินและแป้ง ปรากฏว่าค่าการซึมผ่านของออกซิเจนอยู่ในช่วง 1.2 - 3.7 มล / ม² / วัน ซึ่งต่ำกว่า polyethylene terephthalate ที่มีค่าการซึมผ่านของออกซิเจน เท่ากับ 1,500 - 10,000 มล / ม² / วัน โดยเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นค่าการซึมผ่านออกซิเจนมีแนวโน้มลดลง (Coffin and Fishman, 1994) แสดงดังในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าการซึมผ่านออกซิเจนของฟิล์มผสมเพกทินและแป้ง

อัตราส่วนเพกทิน : แป้ง	กลีเซอรอล (ร้อยละ)	ค่าการซึมผ่าน O ₂ (มล / ม ² / วัน)
100 : 0	30	1.7
80 : 20	30	1.2
100 : 0	50	3.7
80 : 20	50	2.2

ที่มา : Coffin และ Fishman (1994)

8.3 แป้งดัดแปร (modified starch)

เป็นแป้งที่ผ่านการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีทางฟิสิกส์และเคมีให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เค้กซัตรีน นิยมใช้ในการเตรียมฟิล์มและเป็นตัวประสานแทนกัม เคลือบผลิตภัณฑ์ถั่วและลูกกวาด (Smith, 1984) เนื่องจากเค้กซัตรีนเป็นแป้งที่ผ่านการปรับปรุงทางเคมีโดยการทำลายพันธะไฮโดรเจน ทำให้เม็ดแป้งมีขนาดเล็กกลางการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีมากขึ้น อุณหภูมิในการเกิดเจลสูงขึ้น มีผลให้น้ำแทรกเข้าไปได้ยาก (Nisperos, 1994) จึงนิยมใช้เค้กซัตรีนเคลือบผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำดีกว่าฟิล์มจากแป้ง (Allen *et al.*, 1963)

8.4 แอลจินेट (Alginate)

แอลจินेट เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นกรด (acid polysaccharide) นิยมใช้ในรูปแบบโซเดียมแอลจินेटที่สกัดจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล การเกิดฟิล์มของโซเดียมแอลจินेटเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมไอออนและโพลีกลูโรเนต (polygluronate) ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีการเชื่อมโยง 3 มิติ ได้เจลที่มีประสิทธิภาพสูง การเคลือบด้วยฟิล์มแอลจินेटส่วนใหญ่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น ชีสเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ การเคลือบฟิล์มบนชิ้นเนื้อทำให้การสูญเสียให้น้ำน้อยกว่าชิ้นเนื้อที่ไม่ได้เคลือบฟิล์ม เนื่องจากความชื้นของเจลแอลจินेटที่เคลือบมีค่าสูง จึงเกิดการสูญเสียความชื้นไปความชื้นภายในอาหาร นอกจากนี้ฟิล์มแอลจินेटยังช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์บนผิวเนื้อช่วยรักษาสีแดงของเนื้อได้นานกว่าเนื้อปกติ ช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นหืนในอาหารและช่วยให้เนื้อสัมผัสของอาหารดีขึ้น (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535)

8.5 เพกติน (pectin)

เพกตินที่ใช้เคลือบเป็นชนิดที่มีเมทอกซิลต่ำ (low methoxy) เมื่อสารละลายเพกตินทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนเกิดเป็นเจล หลังจากทำให้เจลแห้งจะเกิดเป็นฟิล์มเพกติน มักใช้เคลือบบนตัวอาหารโดยตรง ฟิล์มนี้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาอาหาร (sacrificing agent) ป้องกันอาหารที่ห่อหุ้มไม่ให้สูญเสีย (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535)

9. การใช้ประโยชน์ฟิล์มบรีโกลได้จากโพลีแซคคาไรด์

โพลีแซคคาไรด์ หรืออนุพันธ์ของโพลีแซคคาไรด์ที่สามารถใช้ในการผลิตฟิล์มบรีโกลได้มีหลายชนิด เนื่องจากโพลีแซคคาไรด์มีสมบัติชอบน้ำ ฟิล์มชนิดนี้จึงกั้นการซึมผ่านความชื้นได้ไม่ดี แต่ได้มีการปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆเพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สมบัติและการใช้ประโยชน์ของฟิล์มบรีโกลได้จากโพลีแซคคาไรด์

วัตถุดิบ / การใช้ประโยชน์	สมบัติของฟิล์ม
A.Cellulose	
Methyl cellulose (MC)	
● Pork and Poultry pieces	Breading adhesion
MC and Hydroxypropyl methyl cellulose	
● Potato products, onion ring	Oil barrier
● Food pieces	Batter adhesion
MC and Beeswax	
● Brownies	Moisture barrier
Hydroxypropyl cellulose	
● Nut meats	Moisture and Oxygen barrier
● Candies	Moisture barrier
Carboxymethyl cellulose	
● Bananas	Oxygen and Carbondioxide barrier
● Apples	Oxygen and Carbondioxide barrier
● Fresh fruits and vegetables	Oxygen and Carbondioxide barrier
● Hard cheese, hard sausage	Mold suspression

ตารางที่ 11 (ต่อ)

วัตถุดิบ / การใช้ประโยชน์	สมบัติของฟิล์ม
B. Starch	
Amylose	
● Dried raising	Clumping and sticking prevention
● Potato chips, french fried potatoes	Oil barrier
● Potato products	Oil barrier
Hydroxy propylate starch	
● Confectionery product	Oil barrier
● Almond nut meat	Oxygen barrier
● Jellied candies, caramel	Stickiness prevention
Starch Hydrolysates	
● Almonds	Moisture barrier
● Freshly sliced apples	Oxygen barrier

ที่มา : Krochta และ De Mulder-Johnston (1997)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มบริโกล์ได้จากแป้งบุก
2. ศึกษาเทคนิคการเตรียมแผ่นฟิล์มแป้งบุกต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้
3. ศึกษาแนวทางในการนำฟิล์มที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

1. วัสดุดิบ

- แป้งบุก จากบริษัทสหผลผลิตพืช จำกัด อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี
- ไม้กระบอกไผ่ชนิดคอกเทล บริษัทสหฟาร์ม จำกัด
- น้ำมันถั่วเหลือง ตรารุ่งน

2. สารเคมี

- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี (AR Grade)
- โพลีเอทธิลีน ไกลคอล จากบริษัท Sigma Chemical (MW 8,000)
- กรดไขมัน (กรดปาล์มมีติก จากบริษัท Merk-Schuchardt และ กรดสเตียริก จากบริษัท Fluka Chemic AG)
- โพรตีนหางนมผงเข้มข้นจาก บริษัท IPS international

อุปกรณ์

- เครื่องมือวัดความหนืด ยี่ห้อ Brabender รุ่น Pt-100
- เครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimetry) ยี่ห้อ Perkin-Elmer รุ่น DSC 7
- กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Olympus รุ่น CH-B 145-2
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง ยี่ห้อ Denver instrument รุ่น 150
- สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV 1601
- เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ JUKI รุ่น JP 7100 F
- เครื่องโฮโมจีไนซ์ (Ace homogenizer) ยี่ห้อ Nissei รุ่น AM-8
- เครื่องทำสุญญากาศ (Aspirator) ยี่ห้อ EYELA รุ่น A-3S
- ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น 500
- เครื่องบดผสม (blender) ยี่ห้อ Nationnal รุ่น Circuit breaker
- เครื่อง SEM (Scanning electron microscopy) รุ่น JSM 5,800 LV

- ไมโครมิเตอร์ (Dial micrometer) ยี่ห้อ GOTTECH รุ่น 31-A
- เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (Universal testing machine) ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR 30 K
- เครื่องทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyser) ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA KT 2 I

วิธีการ

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพและเชิงหน้าที่ของแป้งบุก

1.1 องค์ประกอบทางเคมี

- ปริมาณอะมิโลส วิธีของ สมอ. (2539)
- ปริมาณกลูโคแมนแนน คัดแปลงจากการหาค่าใยอาหาร วิธีของ A.O.A.C (1990)

1.2 สมบัติทางกายภาพและเชิงหน้าที่

- ความเป็นกรดต่าง โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง
- สี ตามระบบ Hunter ด้วยเครื่องวัดค่าสี
- สมบัติทางความร้อน วิธีของ Yook และคณะ (1993)
- ความหนืด วิธีของ Bhattachaya และ Sowbhagya (1979)
- สมบัติในการพองตัวของเม็ดแป้ง วิธีของ Leach และคณะ (1979)
- ลักษณะและขนาดของเม็ดแป้ง วิธีของ สมอ. (2539)

2. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มจากแป้งบุก

2.1 การศึกษาผลของปริมาณแป้งบุกและโพลีเอทธิลีนไกลคอลต่อสมบัติของฟิล์ม

การเตรียมแผ่นฟิล์ม

เตรียมสารละลายแป้งบุกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 (น้ำหนัก / ปริมาตร) ในน้ำอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เติมโพลีเอทธิลีนไกลคอลปริมาณร้อยละ 0 10 20 และ 30 (น้ำหนัก / น้ำหนักแป้งบุก) ลงในสารละลายแป้งบุก ปั่นสารละลายด้วยเครื่องบด

ผสมเป็นเวลา 5 นาที แล้วกำจัดฟองอากาศออกโดยใช้เครื่องทำสุญญากาศ เทสารละลาย จำนวน 20 กรัม ลงในงานพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร นำไปอบแห้งที่ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส วางแผนการทดลองแบบ CRD จัดชุดการทดลองแบบแฟคทอเรียล ดังนั้นประกอบด้วยชุดการทดลองทั้งหมด 16 ชุดการทดลอง

การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม

ลอกฟิล์มที่ได้นำไปเก็บในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงทดสอบสมบัติทางด้านการต้านแรงดึง และการยืดตัวเมื่อขาด ด้วยวิธีของ ASTM (1996) หมายเลข D 882-95 ค่าการซึมผ่านไอน้ำ ตามวิธีของ Kamper และ Fennema (1984 a,b) ความหนาและความหนาแน่นผิวหน้าตามวิธีของ Gennadios และคณะ (1993) ลักษณะพื้นผิวหน้าของฟิล์มโดยเครื่อง Scanning electron microscopy (SEM) การต้านทานไขมันตามวิธีของ TAPPI (1984) คัดเลือกฟิล์ม โดยคำนึงถึงสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ การต้านทานแรงดึง การยืดตัวเมื่อขาด และการต้านทานไขมันที่เหมาะสมเพื่อศึกษาต่อไป

2.2 การศึกษาผลของกรดไขมันต่อสมบัติของฟิล์มแป้งบุก

การเตรียมแผ่นฟิล์ม

เตรียมสารละลายกรดไขมันที่ต้องการศึกษาประกอบด้วย กรดสเตียริก กรดปาล์มมิติก และส่วนผสมระหว่างกรดสเตียริกและกับกรดปาล์มมิติกอัตราส่วน 1:1 ให้มีปริมาณของกรดไขมันร้อยละ 0 25 45 และ 50 (น้ำหนัก / น้ำหนักแป้งบุก) โดยละลายในเอทานอล และให้ความร้อนเพื่อให้ไขมันละลาย ผสมกับโปรตีนหางนมความเข้มข้นร้อยละ 6 (น้ำหนัก / น้ำหนักแป้งบุก) นำส่วนผสมของกรดไขมันที่เตรียมเติมลงในส่วนผสมของแป้งบุกและโพลีเอทิลีนไกลคอล เพื่อผลิตฟิล์มที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.1 ปั่นผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์ความเร็วรอบ 15,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที กำจัดฟองอากาศออกด้วยเครื่องทำสุญญากาศ เทสารละลายผสมจำนวน 20 กรัม ลงในงานพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส วางแผนการทดลองแบบ CRD จัดชุดการทดลองแบบแฟคทอเรียล ประกอบด้วยชุดการทดลองทั้งหมด 12 ชุดการทดลอง

การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม

ลอกฟิล์มที่ได้นำไปเก็บในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงทดสอบสมบัติฟิล์มทางด้านการต้านแรงดึง และการยืดตัวเมื่อขาด ด้วยวิธี ASTM (1996) หมายเลข D 882-95 ค่าการซึมผ่านไอน้ำตามวิธีของ Kamper และ Fennema (1984 a,b) ความหนาตามวิธีของ Gennadios และคณะ (1993) การต้านทานไขมันตามวิธีของ TAPPI (1984) คัดเลือกชนิดและปริมาณของกรดไขมันโดยคำนึงถึง สมบัติของฟิล์มในด้านการซึมผ่านไอน้ำ การต้านแรงดึง การยืดตัวเมื่อขาด และการต้านทานไขมันที่เหมาะสมเพื่อศึกษาต่อไป

3. การศึกษาสมบัติของฟิล์มแบบลาร์มินเท

ฟิล์มแบบลาร์มินเท หมายถึงฟิล์มที่เตรียมขึ้นจากวัสดุต่างชนิดซ้อนทับกัน ในการศึกษาครั้งนี้เป็นฟิล์มที่ประกอบด้วยฟิล์มจากแป้งบุกซ้อนทับด้วยฟิล์มไขมัน มีรายละเอียดดังนี้

การเตรียมแผ่นฟิล์ม

เตรียมแผ่นฟิล์มแป้งบุกโดยใช้ส่วนผสมของแป้งบุกและโพลีเอทิลีนไกลคอลที่เหมาะสม (คัดเลือกจากข้อ 2.1) จำนวน 10 กรัม เกลบงานพลาสติกขนาด 9 เซนติเมตร อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นำส่วนผสมของฟิล์มไขมันที่เตรียมจากชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เหมาะสม (คัดเลือกจากข้อ 2.2) ผสมกับสารละลายโปรตีนหางนมผงเข้มข้นร้อยละ 6 (น้ำหนัก / น้ำหนักแป้งบุก) จำนวน 10 กรัม เททับลงบนฟิล์มแป้งบุกที่แห้งแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสามารถลอกฟิล์มออกได้

การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม

ลอกฟิล์มที่ได้นำไปเก็บในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงทดสอบสมบัติฟิล์มทางด้านการต้านแรงดึง และการยืดตัวเมื่อขาด ด้วยวิธี ASTM (1996) หมายเลข D 882-95 ค่าการซึมผ่านไอน้ำตามวิธีของ Kamper และ Fennema (1984 a,b) ความหนาตามวิธีของ Gennadios และคณะ (1993) การต้านทานไขมัน ตามวิธีของ TAPPI (1984)

4. การประยุกต์ใช้แผ่นฟิล์มแบบผสมและแบบลาร์มิเนท

ใช้แผ่นฟิล์มจากแป้งบุกที่เตรียมขึ้นทั้ง 2 รูปแบบคือ แบบผสมและแบบลาร์มิเนท ห่อหุ้มไส้กรอกไก่ก่อนนำไปทอดในน้ำมันพืช เพื่อช่วยลดการสูญเสียไอน้ำหนัก และการดูดซับน้ำมันของไส้กรอกไก่ทอด

การเตรียมแผ่นฟิล์ม

ผลิตแผ่นฟิล์มแป้งบุกแบบผสมและแบบลาร์มิเนท ที่ผ่านการคัดเลือกแล้วจากข้อ 2.2 และ 3 เก็บรักษาแผ่นฟิล์มในโถสุญญากาศเป็นเวลา 2 วันก่อนนำไปห่อหุ้มไส้กรอก

การห่อหุ้มไส้กรอก

ตัดแผ่นฟิล์มเป็นรูปสี่เหลี่ยมให้มีพื้นที่ที่พอเหมาะกับขนาดของไส้กรอก นำแผ่นฟิล์มวางลงบนพื้นเรียบวางไส้กรอกไก่บริเวณกึ่งกลางแผ่นฟิล์ม พับส่วนปลายทั้งสองด้านของแผ่นฟิล์มสู่กึ่งกลางไส้กรอก ปิดปลายด้านข้างของแผ่นฟิล์มที่เหลือ จะได้ไส้กรอกไก่ที่ห่อหุ้มฟิล์มสำเร็จแล้วดังภาพที่ 4 นำไส้กรอกไก่ที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มแป้งบุกทั้ง 2 แบบและชุดควบคุมทอดในน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 170 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที หลังจากทอดให้ซับน้ำมันที่เหลือด้วยกระดาษทิชชู นำไส้กรอกที่ทอดแล้วบรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถแบ่งชุดการทดลองได้ดังนี้

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม (ไส้กรอกไก่ไม่ห่อหุ้มฟิล์ม)

ชุดที่ 2 ไส้กรอกไก่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มแป้งบุกแบบผสมที่คัดเลือกจากข้อ 2.2

ชุดที่ 3 ไส้กรอกไก่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มแป้งบุกแบบลาร์มิเนทที่คัดเลือกจากข้อ 3

การตรวจสอบคุณภาพของไส้กรอกไก่ทอด

ทำการตรวจสอบคุณภาพของไส้กรอกไก่ที่ผ่านการทอดระหว่างการศึกษาทุกๆ 2 วัน เป็นเวลา 10 วัน โดยตรวจสอบคุณภาพดังต่อไปนี้

- การสูญเสียไอน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนัก

- ความชื้น และไขมันรวม (A.O.A.C, 1990)

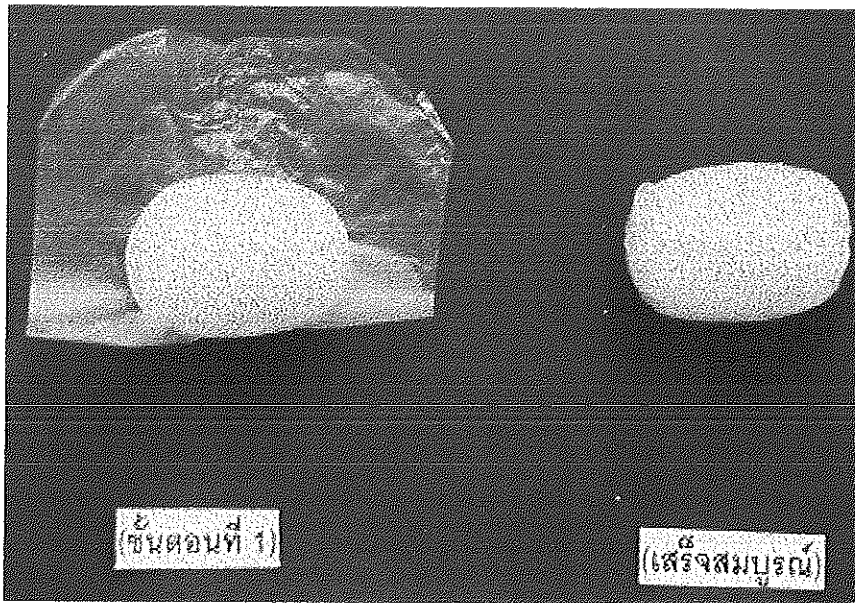
- ค่าทีบีเอ (Egan *et al.*, 1981)

- ความแน่นเนื้อ โดยใช้ Texture Analyser ตามวิธีของ Gontard และ Guilbert (1996)

- คุณภาพทางประสาทสัมผัส ทางด้านความแน่นเนื้อ ความฉ่ำ กลิ่นผิดปกติ (กลิ่นหืน)

โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือก 10 คน ใช้การทดสอบแบบพรรณนาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis : QDA) (ไพโรจน์ วิริยารีย์, 2535) วางแผนการทดลอง

แบบ Factorial in RCBD มีชุดการทดลองทั้งหมด 3 ชุดการทดลอง นำคะแนนที่ได้จากการทดสอบขึ้นมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดการทดลอง โดย DMRT (Duncan, 1955)



ภาพที่ 4 การห่อหุ้มไข่กรอกไก่ด้วยแผ่นฟิล์มแบ่งบุก

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และเชิงหน้าที่ของแป้งบุก

จากการทดลองนำแป้งบุกจากบริษัทสหผลผลิต จำกัด ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นฟิล์มมาตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และเชิงหน้าที่ ได้ผลดังนี้

องค์ประกอบทางเคมี

แป้งบุกที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณกลูโคแมนแนนร้อยละ 86.36 (น้ำหนักเปียก) (ตารางที่ 12) ขณะที่บวบผา เตชะภัทรพร (2525) ตรวจพบปริมาณกลูโคแมนแนนในแป้งบุกร้อยละ 74 (น้ำหนักเปียก) แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าปริมาณกลูโคแมนแนนในแป้งบุกทั้งสองแหล่งมีความแตกต่างกัน เนื่องจากบวบผา เตชะภัทรพรไม่ได้รายงานถึงปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้งบุก และปริมาณของกลูโคแมนแนนในแป้งบุกขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุของหัวบุกสดที่นำมาผลิต และความบริสุทธิ์ของแป้งบุก (Shimizu and Shimahara, 1991) Mishara และคณะ (1989) ได้ศึกษาพบว่าหัวบุกพันธุ์ *A. oncophillus* มีปริมาณกลูโคแมนแนนร้อยละ 47-48 เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตแป้งบุกในขณะที่หัวบุกพันธุ์ *A. companulus* เป็นบุกพันธุ์ที่ไม่มีกลูโคแมนแนน และหัวบุกพันธุ์ที่มีอายุมาก น้ำหนักมากเป็นหัวบุกที่มีปริมาณกลูโคแมนแนนสูง หัวบุกที่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นแป้งบุกนั้นควรเป็นหัวบุกที่มีน้ำหนักประมาณหัวละ 1 กิโลกรัม จะทำให้ได้แป้งบุกที่มีคุณภาพคุ้มค่าต่อการผลิตมากที่สุด นอกจากคุณภาพของหัวบุกสดแล้วกระบวนการผลิตและเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตก็มีส่วนสำคัญที่ทำให้แป้งบุกที่ผลิตได้นั้นมีความบริสุทธิ์มากน้อยต่างกัน จากการวิเคราะห์แป้งบุกที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ไม่พบอะไมโลส ทั้งนี้อาจเนื่องจากกระบวนการผลิตแป้งบุกของบริษัทสหผลผลิต ได้ใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง (dry traditional) ซึ่งมีขั้นตอนการแยกสารจำพวกสตาร์ช (starch) และสารเจือปนอื่นๆออกโดยใช้ลมเป่าจึงไม่พบคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นรวม ทั้งอะไมโลส

บริษัทสหผลผลิต ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งบุกที่นำมาทดลองมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้าร้อยละ 0.37 0.94 19.73 และ 2.87 ตามลำดับ ในขณะที่แป้งบุกของ บวบผา เตชะภัทรพร (2535) ตรวจสอบพบร้อยละ 3.28 0.37 2.37 และ 1.66 ตามลำดับ

สาเหตุที่องค์ประกอบทางเคมีที่ตรวจสอบมีความแตกต่างกัน อาจเนื่องจากหัวบูกสดที่ใช้ในการผลิตแป้งนั้นมีอายุต่างกัน และความทันสมัยของอุปกรณ์ในการผลิตมีความแตกต่างกัน (Shimizu and Shimahara, 1991)

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของแป้งบุก

องค์ประกอบ/สมบัติ	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละ)	10.2±0.02
อะไมโลส (ร้อยละ)	0.00±0.00
กลูโคแมนแนน (ร้อยละ)	86.36±0.11
ค่าความเป็นกรดต่าง	6.10±0.04
ค่าสี	
L	66.68±0.18
a	0.63±0.06
b	7.81±0.04
อัตราการพองตัว (เท่า)	21.65±0.70

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ (น้ำหนักเปียก)

สมบัติทางกายภาพและเชิงหน้าที่

ค่าความเป็นกรดต่าง

จากการตรวจสอบค่าความเป็นกรดต่างของน้ำแป้งบุกโดยการนำแป้งบุกจำนวน 5 กรัม เติมน้ำกลั่นที่ปราศจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (โดยนำน้ำกลั่นบรรจุในขวดกั้นกลมไปต้มให้เดือดหลังจากนั้นปิดฝาไม่ให้อากาศเข้า และทำให้เย็นก่อนการนำไปใช้) ปั่นด้วยเครื่องบดผสมนาน 30 วินาที แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง พบว่าน้ำแป้งบุกมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.10 (ตารางที่ 12) ซึ่งจากข้อมูลของบริษัท Wunderlich (2000) พบว่าแป้งบุกเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิด nonionic สามารถละลายได้ง่ายในน้ำเย็นและมีความหนืดสูงที่ความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 4-7

ค่าสีของแป้งบุก

เมื่อทำการวัดค่าสีของแป้งบุกโดยใช้เครื่องวัดค่าสีในระบบ Hunter พบว่ามีค่า L a b เท่ากับ 66.68 0.63 และ 7.81 เปรียบเทียบกับแป้งบุกที่สกัดแบบเปียกด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ของบุบผา เตชะภัทรพร (2535) พบว่ามีค่า L a b เท่ากับ 69.76 1.51 และ 13.39 ตามลำดับ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการผลิตแป้งบุกแบบแห้งมีผลให้แป้งบุกมีสีเข้มกว่าแป้งบุกที่ได้จากการสกัดแบบเปียก เนื่องจากเกิดกระบวนการออกซิเดชันของโมเลกุลน้ำตาลระหว่างขั้นตอนการอบแห้งหรือการตากแดดของแผ่นบุก ทำให้สีของแป้งบุกเข้มขึ้น

การพองตัวของแป้งบุก

เมื่อดำแป้งบุกสามารถดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวเมื่อผสมกับน้ำ โดยมีกลไกคล้ายกับแป้งโดยทั่วไป (Tye, 1991) ซึ่งการพองตัวของแป้งปกติเกิดเนื่องจากภายในโมเลกุลของแป้งยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่อนำแป้งผสมกับน้ำจะเกิดการแยกพันธะภายในเม็ดแป้งออกแล้วเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำแทน เป็นผลให้เม็ดแป้งดูดซับน้ำเข้าสู่โมเลกุลและเกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง (McWilliam, 1993) อัตราการพองตัวของแป้งบุกสามารถคำนวณจากอัตราส่วนน้ำหนักของแป้งบุกที่เพิ่มขึ้นต่อน้ำหนักแห้ง จากการทดลองพบว่าแป้งบุกมีอัตราการพองตัวเท่ากับ 21.65 เท่า ซึ่งค่าการพองตัวของแป้งบุกใกล้เคียงกับการศึกษาของ Smith และ Srivashara (1959) ที่ว่าแป้งกลูโคแมนแนนมีสมบัติพิเศษคือ เมื่อผสมกับน้ำจะพองตัวได้ถึง 20 ถึง 30 เท่า ที่อุณหภูมิห้อง ต่างจากแป้งชนิดอื่นๆที่มีความสามารถในการพองตัวได้น้อยที่อุณหภูมิต่ำ และสาเหตุที่แป้งบุกสามารถพองตัวได้ดีเนื่องจากขั้นตอนการผลิตแป้งบุก มีการกำจัดสารเจือปนที่ขัดขวางการดูดซับน้ำของโมเลกุลแป้งอย่างเช่น อะไมโลส และโปรตีนออกไป

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งบุก

ในขณะที่เม็ดแป้งดูดซับน้ำและพองตัวแล้วมีการให้ความร้อนแก่น้ำแป้งร่วมด้วย จะส่งผลให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของเม็ดแป้งเป็นไปได้ยากส่งผลให้น้ำแป้งมีความหนืด (Pomeranze, 1991) สามารถติดตามสมบัติความหนืดของน้ำแป้งที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิได้ด้วยเครื่อง Brabender-Visco Amylograph ซึ่งสามารถบันทึกความหนืดของตัวอย่างในขณะที่อุณหภูมิของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึง 95 องศาเซลเซียส แล้วรักษาให้คงที่ที่

อุณหภูมินี้เป็นเวลา 30 นาที ต่อจากนั้นทำให้เย็นลงจนกระทั่งมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และรักษาให้คงที่ที่อุณหภูมินี้อีก 30 นาที ความหนืดของน้ำแป้งชนิดต่างๆจะแตกต่างกันมาก น้อยขึ้นอยู่กับ การพองตัว ความคงทนต่อการกวนของเม็ดแป้ง และการเกิดเจลหลังจากการลดอุณหภูมิ หน่วยความหนืดที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Brabender-Visco Amylograph คือ Brabender Unit (BU) สามารถเปลี่ยนหน่วย BU ไปเป็นเซนติพอยส์ (centipoise) ได้โดยความหนืดของสารละลายแป้งร้อยละ 5 500 BU เทียบเท่ากับ 2,700 เซนติพอยส์ (Bracutlecht, 1953) ผลการทดลองวัดความหนืดของน้ำแป้งบุก (5 กรัมในน้ำ 445 มิลลิลิตร) แสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งประกอบด้วย 6 จุดที่สำคัญ (Mazurs *et al.*, 1957) คือ

ก. อุณหภูมิที่แป้งมีลักษณะหนืด (pasting temperature) จากการตรวจสอบพบว่าแป้งบุกแสดงลักษณะหนืดตั้งแต่เริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 5) ซึ่งจัดว่าเป็นอุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับการศึกษาของ Tye และคณะ (1994) พบว่าแป้งบุกมีลักษณะหนืดที่อุณหภูมิต่ำเช่นเดียวกัน อาจเนื่องจากแป้งบุกมีคุณสมบัติต่างจากแป้งชนิดอื่นๆที่สามารถพองตัวได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ (Smith and Srivashara, 1959) เมื่อเม็ดแป้งบุกพองตัวมากขึ้นทำให้เกิดลักษณะหนืด

ข. จุดที่แป้งมีความหนืดสูงสุด บ่งบอกสภาวะของแป้งที่มีการพองตัวจนหมด และพองตัวมากที่สุด โดยพบว่าแป้งบุกมีความหนืดสูงสุดที่ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 360 BU ซึ่งความหนืดของแป้งบุกเกิดเนื่องจากโมเลกุลของเม็ดแป้งดูดซับน้ำและเกิดการพองตัว เมื่อมีการกวนร่วมด้วยเม็ดแป้งจะพองตัวจนแตก และปล่อยกลูโคแมนแนนออกมาเกิดเป็นสารละลายที่มีความข้นหนืด (Tye, 1991) ค่าความหนืดของแป้งบางชนิดมีค่าสูง บางชนิดมีค่าต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เม็ดแป้งดูดซับเข้าไปและขึ้นอยู่กับสมบัติของแป้ง เช่น แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงมีผลให้ค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งที่มีอะไมโลสต่ำ แต่ถ้าหากแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนมากจะส่งผลให้แป้งมีความหนืดลดต่ำลง เนื่องจากโปรตีนเป็นสารโมเลกุลใหญ่สามารถเกาะตามผิวของเม็ดแป้งทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้งเป็นไปได้ยาก เม็ดแป้งจึงพองตัวได้น้อยลง (Pomeranze, 1991)

ค. เมื่อให้ความร้อนสูงแก่น้ำแป้งจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 95 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปน้ำแป้งจะมีค่าความหนืดเท่ากับหรือต่ำกว่าจุดที่มีความหนืดสูงสุด จากการทดลองพบว่าแป้งบุกมีค่าความหนืดที่จุดนี้เท่ากับ 200 BU ซึ่งต่ำกว่าจุดความหนืดสูงสุดบ่งบอกว่าแป้งบุกสามารถทำให้สุกได้ง่าย (Henry, 1984)

ง. เมื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำแป้งให้คงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เป็นการแสดงถึงความคงทนของเม็ดแป้งต่อการกวนระหว่างการให้ความร้อน (Henry, 1984) ค่าความแตกต่างของความหนืดที่จุดนี้กับความหนืดสูงสุดเรียกว่า breakdown ถ้าหากค่า breakdown มากแสดงว่าเม็ดแป้งไม่คงทนต่อการกวน และจากการทดลองพบว่าค่า breakdown ของแป้งบุกมีค่าเท่ากับ 193.8 BU ซึ่งใกล้เคียงกับค่า breakdown ของแป้งข้าวโพด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 120 BU (Miller *et al.*, 1973) และจากการศึกษาของ Pomeranz (1991) กล่าวว่า แป้งข้าวโพดมีความคงทนต่อการกวนระดับปานกลาง จึงอาจถือได้ว่าแป้งบุกมีความคงทนต่อการกวนระหว่างการให้ความร้อนระดับปานกลางเช่นกัน

จ. เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งลดลงถึง 50 องศาเซลเซียส (set back) พบว่าแป้งบุกมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของแป้งบุกแตกเปลี่ยนพันธะกับน้ำแล้ว โมเลกุลของน้ำปรับสภาพการเรียงตัวในลักษณะโครงสร้างตาข่าย จึงเกิดเป็นเจลที่มีความหนืดมากขึ้น (Henry, 1984)

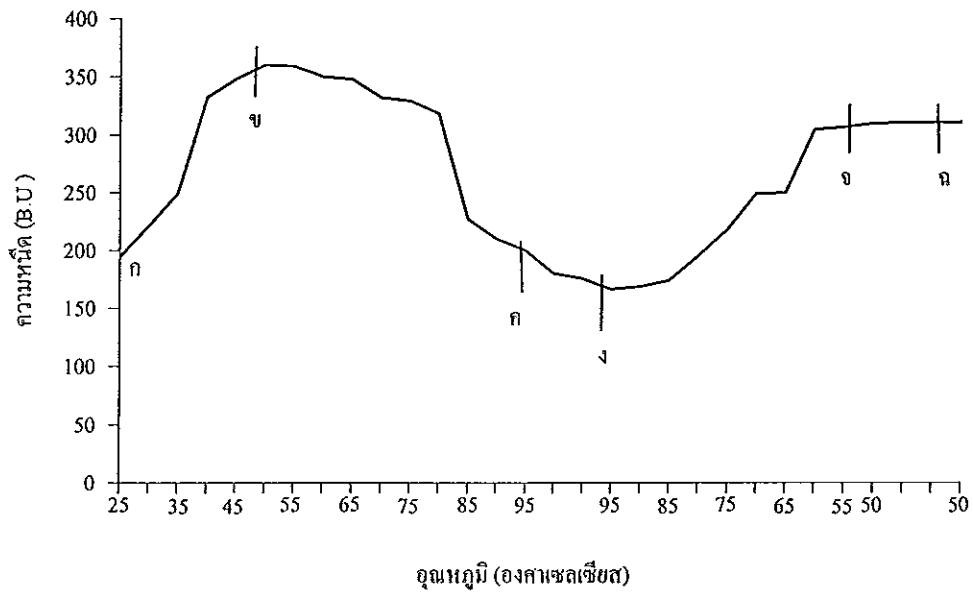
ฉ. เมื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าความหนืดมีลักษณะเกือบคงที่ ซึ่งค่าความต่างของความหนืดที่จุดนี้กับค่าความหนืดที่รักษาอุณหภูมิของน้ำแป้งให้คงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เรียกว่าค่า consistency ถ้าหากค่าที่ได้สูงจะบ่งบอกถึงความคงตัวของเจล และจากการทดลองพบว่าความหนืดของแป้งบุกเมื่อลดอุณหภูมิถึง 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ความหนืดของแป้งบุกมีค่าค่อนข้างคงที่ ที่ 310 BU แสดงว่าเจลของแป้งบุกมีความคงตัวสูง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งบุกด้วยเครื่อง Brabender-Visco Amylograph พบว่าแป้งบุกมีการพองตัวได้เร็วและแสดงลักษณะหนืดที่อุณหภูมิปกติ และมีค่าความหนืดสูงและยังเกือบคงที่ในระหว่างการต้มสุก แม้เมื่อลดอุณหภูมิของน้ำแป้งลง ความหนืดยังคงมีค่าคงที่ระดับสูง ซึ่งให้เห็นถึงความคงตัวของน้ำแป้งสุกที่ผ่านการหุงต้มและทิ้งให้เย็นแล้ว

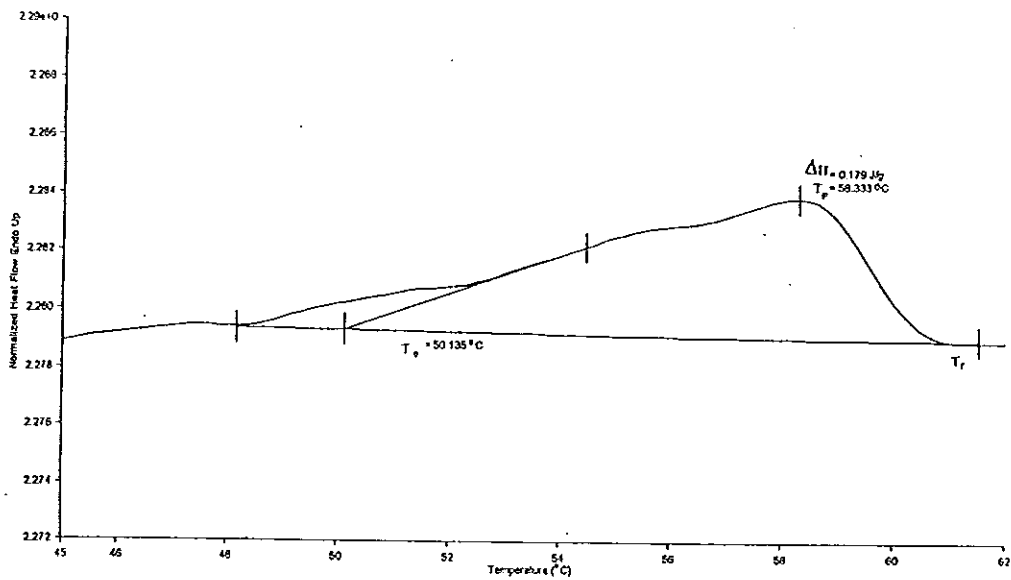
สมบัติทางความร้อนของแป้งบุกเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง DSC

เมื่อแป้งถูกความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงาน เพื่อที่จะดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเม็ดแป้ง ซึ่งจากเครื่องวัดความหนืดโดยทั่วไป เช่น Brabender visco amylograph หรือ Rapid Visco Analyzer สามารถบอกเป็นค่า pasting temperature สำหรับค่าพลังงานความร้อนสามารถตรวจวัดได้โดย Differential Scanning Calorimetry (DSC) ซึ่งแสดงค่าความร้อนเม็ดแป้งรับเข้าไปโดยแสดงเป็นอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มต้นขยายตัว (T_0) ขยายตัวสูงสุด (T_p) และอุณหภูมิสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลง (T_f) รวมทั้งเอนทัลปี (Enthalpy) ที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดเมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อน (ΔH) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ, 2542)

จากการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของแป้งบุก (ภาพที่ 6) พบว่าแป้งบุกมีค่า T_0 ที่ 50.1 องศาเซลเซียส และค่า T_p ที่ 58.3 องศาเซลเซียส และมีค่า ΔH เท่ากับ 0.17 J/g เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาकुที่ผลิตในห้องปฏิบัติการจากการศึกษาของ กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ (2542) พบว่าแป้งสาकुมีค่า T_p อยู่ในช่วง 72.74 องศาเซลเซียส และมีค่า ΔH เท่ากับ 17.47 J/g หมายความว่าแป้งสาकुต้องการพลังงานในการเปลี่ยนรูป (เป็น paste) มากกว่าแป้งบุก ซึ่งสมบัติทางความร้อนของแป้งนั้นแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่นเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่จะแสดงค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปต่ำกว่าเม็ดแป้งขนาดเล็ก เนื่องจากเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณของพันธะไฮโดรเจนมาก เมื่อนำไปผสมกับน้ำจึงเกิดการพองตัวได้ง่าย และ Richmond (1996) ศึกษาพบว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดโมเลกุลเท่ากันแต่ปริมาณอะไมโลสต่างกันส่งผลให้ค่า T_p ต่างกันเนื่องจากแป้งที่มีอะไมโลสสูงต้องใช้ อุณหภูมิสูงในการทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว เพราะอะไมโลสสามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้น้อยในน้ำเย็น



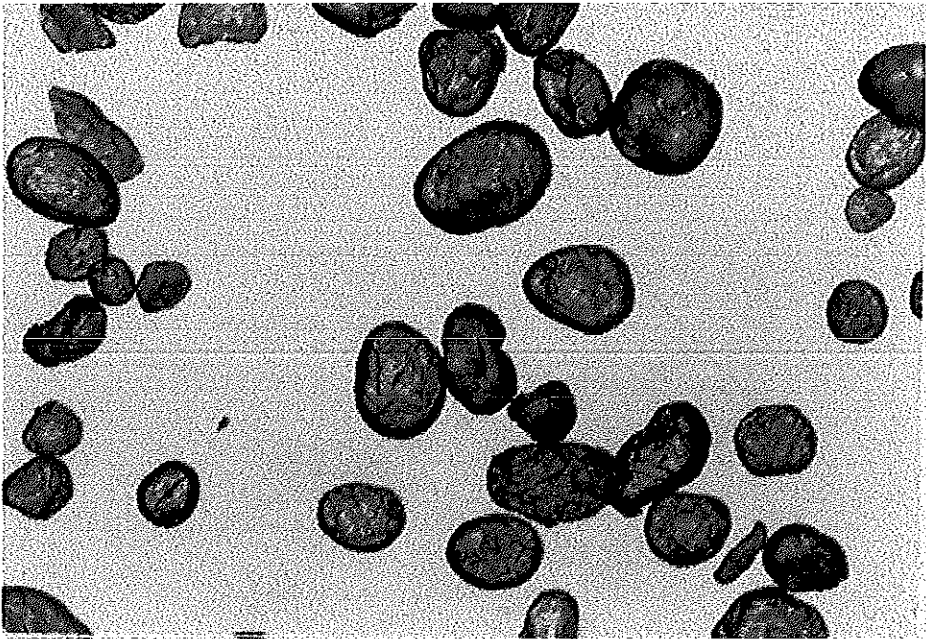
ภาพที่ 6 ความหนืดของแป้งบุกติดตามโดยเครื่อง Brabender-Visco Amylograph



ภาพที่ 7 สมบัติทางความร้อนของแป้งบุกตรวจสอบด้วยเครื่อง DSC

รูปร่างอนุภาคของแป้งบุก

การตรวจสอบรูปร่างอนุภาคของแป้งบุกด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่าเม็ดแป้งบุกมีลักษณะกลมรีเป็นรูปไข่ มีขนาดไม่สม่ำเสมอมีลายคล้ายร่างแห สอดคล้องกับการศึกษาของ Tye (1991) ที่พบว่าแป้งบุกประกอบด้วยอนุภาคที่มีลักษณะคล้ายถุง รูปไข่



ภาพที่ 7 รูปร่างอนุภาคของแป้งบุกซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 320 เท่า

2. ผลของปริมาณแป้งบุกและโพลีเอทธิลีนไกลคอลต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม

จากการทดลองผลิตแผ่นฟิล์มจากแป้งบุกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 และผสมโพลีเอทธิลีนไกลคอล (น้ำหนักโมเลกุล 8,000 คาลตัน) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 และ 30 (น้ำหนัก / น้ำหนักแป้งบุก) แล้วทำการตรวจสอบลักษณะและสมบัติของแผ่นฟิล์มดังกล่าว ได้ผลดังนี้

2.1 ลักษณะของแผ่นฟิล์ม

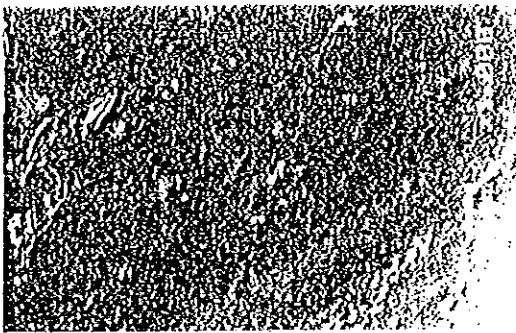
เมื่อตรวจสอบลักษณะของแผ่นฟิล์มด้วยสายตา พบว่าแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้มีลักษณะบางใส และเมื่อปริมาณแป้งบุกเพิ่มขึ้นแผ่นฟิล์มมีสีเข้มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่13) และมีความขรุขระมากขึ้นเนื่องจากโครงสร้างร่างแหของแผ่นฟิล์ม (ภาพที่8) สำหรับแผ่นฟิล์มแป้งบุกผสมโพลีเอทธิลีนไกลคอลพบว่ามีลักษณะขุ่น และความโปร่งแสงลดลงเมื่อปริมาณของโพลีเอทธิลีนไกลคอลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มแป้งบุกที่มีส่วนผสมของโพลีเอทธิลีนไกลคอลที่ระดับความเข้มข้นสูงเกินกว่าร้อยละ 20 เกิดจุดฝ้าสีขาวกระจายอยู่ทั่วแผ่นฟิล์ม อาจเนื่องจากการปรากฏการณ์บลูมมิ่ง (blooming) (Aultin *et al.*, 1981) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโพลีเอทธิลีนไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (เกินกว่า 8,000 คาลตัน) เข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ไม่แข็งแรง เมื่อนำสารละลายฟิล์มไปอบแห้งส่งผลให้เกิดจุดฝ้าขาวเนื่องจากการแยกชั้นของโพลีเอทธิลีนไกลคอลและโพลีเมอร์ (Sakellariou *et al.*, 1986) สอดคล้องกับการทดลองของ Greener และ Fennema (1993) ที่ศึกษาการผลิตฟิล์มจากเมทริลเซลลูโลสผสมโพลีเอทธิลีนไกลคอลเข้มข้นร้อยละ 30 ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกันคือ 400 1,450 8,000 และ 20,000 คาลตัน พบว่าแผ่นฟิล์มที่มีส่วนผสมของโพลีเอทธิลีนไกลคอลน้ำหนักโมเลกุล 8,000 และ 20,000 เกิดจุดฝ้าขาวหลังจากการอบฟิล์มให้แห้งเช่นกัน

ตารางที่ 13 ลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มจากแป้งบุกผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล

ส่วนผสมของแผ่นฟิล์ม		ลักษณะปรากฏ
แป้งบุก (ร้อยละ)	โพลีเอทิลีนไกลคอล (ร้อยละ)	
0.5	0	ใส โปร่งแสง มีความกระด้างเล็กน้อย
	10	ขุ่น ความโปร่งแสงลดลง มีความนุ่ม
	20	ขุ่น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาว กระจายทั่วแผ่น มีความนุ่ม
	30	ขุ่น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาว มีความนุ่ม
1.0	0	สีเข้มขึ้นเล็กน้อย โปร่งแสง มีความกระด้าง
	10	ขุ่นขึ้น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาว มีความนุ่ม
	20	ขุ่นขึ้น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาว กระจายทั่วแผ่น มีความนุ่ม
	30	ขุ่นมากขึ้น มีฝ้าขาว ความโปร่งแสงลดลง มีความนุ่ม
1.5	0	สีเข้ม ความโปร่งแสงลดลง มีความกระด้าง
	10	ขุ่นขึ้น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาว มีความนุ่ม
	20	ขุ่น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาวมีความนุ่ม
	30	ขุ่น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาวกระจาย มีความนุ่ม
2.0	0	สีเข้มขึ้น มีความโปร่งแสง กระด้าง
	10	ขุ่น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาวกระจาย มีความนุ่ม
	20	ขุ่น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาวกระจาย มีความนุ่ม
	30	ขุ่น ความโปร่งแสงลดลง มีฝ้าขาวกระจาย มีความนุ่ม

ลักษณะผิวหน้าของแผ่นฟิล์ม

ผลการตรวจสอบผิวหน้าของแผ่นฟิล์มแป้งบุกโดยใช้วิธี scanning electron microscopy พบว่าผิวหน้าของแผ่นฟิล์มมีความเรียบแตกต่างกันไปตามความเข้มข้นของแป้งบุก (ภาพที่ 8) ซึ่งเป็นผลมาจากกลไกการเกิดฟิล์มของแป้งบุก เมื่อนำแป้งบุกมาผสมกับน้ำและให้ความร้อนร่วมด้วย เม็ดแป้งสามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้มากขึ้นและเกิดสภาพร่างแห บางส่วนของเม็ดแป้งมีการพองตัวจนแตกและปล่อยกลูโคแมนแนนออกมา ซึ่งมีลักษณะเป็นสารขุ่นหนืด เมื่อนำไปทำแห้งส่วนของร่างแหกลูโคแมนแนนจะจับกันเป็นแผ่นฟิล์ม (Tye, 1991) ดังนั้นเมื่อตรวจสอบผิวหน้าของฟิล์มจะเห็นรอยขรุขระเนื่องจากร่างแหกลูโคแมนแนน โดยที่ระดับความเข้มข้นของแป้งบูก้อยละ 2.0 จะเห็นลักษณะของร่างแหที่มีขนาดใหญ่และมีความขรุขระมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นของแป้งบูก้อยละ 1.5 1.0 และ 0.5 ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 8 ลักษณะผิวหน้าของแผ่นฟิล์มแป้งบุกที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

(ก) ร้อยละ 0.5 (ข) ร้อยละ 1.0 (ค) ร้อยละ 1.5 (ง) ร้อยละ 2.0

2.2 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มแป้งบุก

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของแผ่นฟิล์มได้แก่ การต้านทานแรงดึง การยืดตัวเมื่อขาด การซึมผ่านของไอน้ำ โดยทั่วไปมีค่าแปรผันตามความหนาของแผ่นฟิล์ม ดังนั้นในการทดลองจึงทำการผลิตฟิล์มแป้งบุกผสม โพลีเอทิลีน ไกลคอลที่มีปริมาณแตกต่างกัน โดยควบคุมให้มีความหนาใกล้เคียงกัน โดยการคำนวณปริมาณโพลีเมอร์ในแต่ละความเข้มข้นแล้วจึงทดสอบละลายฟิล์มปริมาณที่ต่างกัน (ตารางที่ 14) ซึ่งทำให้ค่าความหนาแน่นผิวหน้าของฟิล์มแป้งบุกและฟิล์มผสม โพลีเอทิลีน ไกลคอลมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

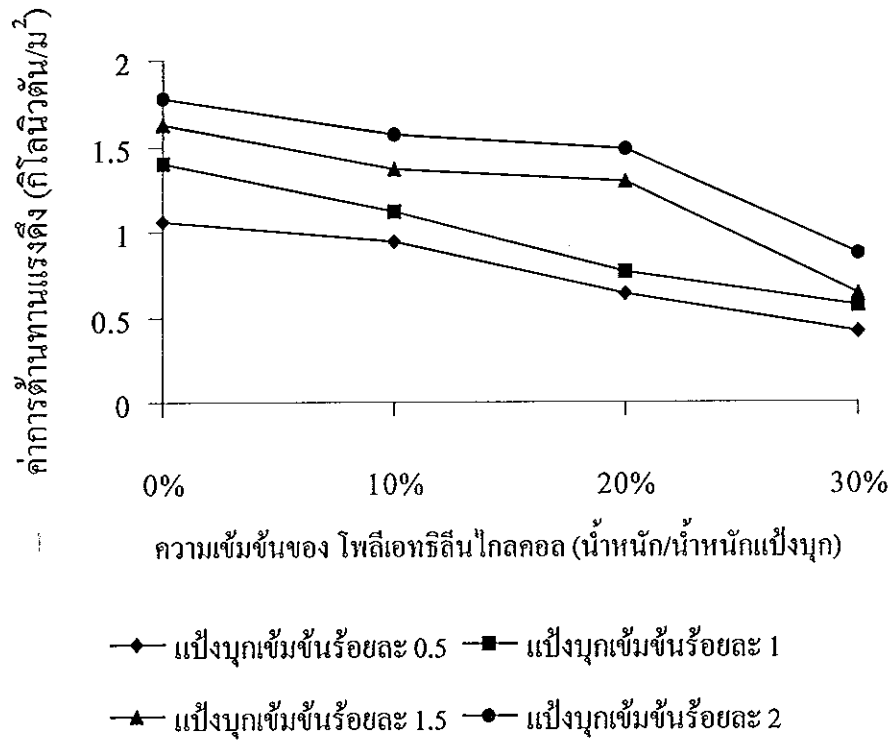
ตารางที่ 14 ค่าความหนาและความหนาแน่นผิวหน้าของแผ่นฟิล์มแป้งบุกผสมโพลีเอทิลีน ไกลคอล

ปริมาณแป้งบุก (ร้อยละ)	ปริมาณโพลีเอทิลีน ไกลคอล (ร้อยละน้ำหนัก/น้ำหนักแป้งบุก)	ความหนา (ม.ม.)	ความหนาแน่นผิวหน้า (กรัม/ตร.ซม.)
0.5	0	0.010	1.69×10^{-3a}
	10	0.010	1.87×10^{-3a}
	20	0.010	1.66×10^{-3a}
	30	0.010	2.00×10^{-3a}
1.0	0	0.012	2.19×10^{-3a}
	10	0.012	2.24×10^{-3a}
	20	0.012	2.19×10^{-3a}
	30	0.012	1.85×10^{-3a}
1.5	0	0.016	2.19×10^{-3a}
	10	0.016	2.07×10^{-3a}
	20	0.012	2.32×10^{-3a}
	30	0.012	2.04×10^{-3a}
2.0	0	0.016	2.36×10^{-3a}
	10	0.012	2.16×10^{-3a}
	20	0.012	2.37×10^{-3a}
	30	0.012	2.36×10^{-3a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสทภก็ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) จากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

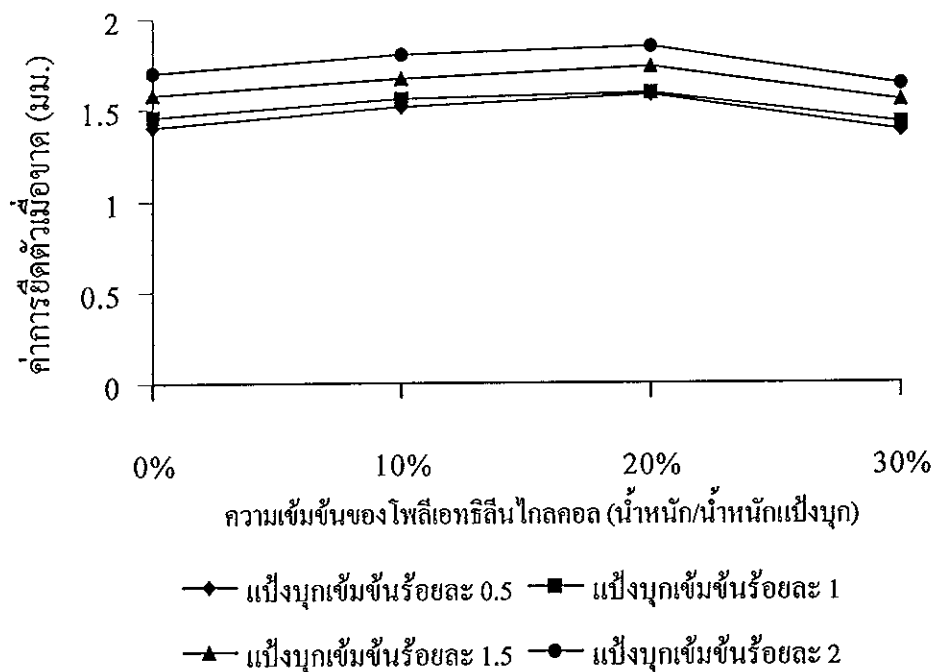
ค่าการต้านทานแรงดึง เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของแผ่นฟิล์ม จากการศึกษาพบว่า แผ่นฟิล์มแป้งบุกมีค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งบุกเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยมีค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของแป้งบุกร้อยละ 2.0 เท่ากับ 1.78 กิโลนิวตัน / ตารางเมตร (ภาพที่ 9) เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของแป้งบุกเพิ่มมากขึ้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีมากและหนาแน่นมาก ส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น และแผ่นฟิล์มที่มีส่วนผสมของโพลีเอทธิลีนไกลคอลซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกไซเซออร์ มีค่าการต้านทานแรงดึงต่ำกว่า เนื่องจากโมเลกุลของโพลีเอทธิลีนไกลคอลสามารถแทรกกระหว่างโมเลกุลของกลูโคแมนแนนทำให้พันธะไฮโดรเจนอ่อนตัวลง เพิ่มช่องว่างระหว่างโมเลกุลส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้นค่าการต้านทานแรงดึงจึงลดลง (Lieberman and Gilbert, 1973) ดังนั้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของโพลีเอทธิลีนไกลคอลสูงขึ้นค่าการต้านทานแรงดึงจึงลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Coffin และ Fishman (1994) พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มเพคตินและแป้งลดลงเมื่อความเข้มข้นของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น

จากการเปรียบเทียบค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มแป้งบุกที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดคือ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 กับฟิล์มไคโตแซนของ นพรัตน์ มะเท (2541) และฟิล์ม PVC พบว่า ฟิล์มแป้งบุกมีค่าการต้านทานแรงดึงสูงกว่าฟิล์มทั้งสองชนิด ซึ่งมีค่าการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 0.72 และ 0.15 กิโลนิวตัน / ตารางเมตร ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าฟิล์มจากแป้งบุกมีความแข็งแรงอาจนำไปประยุกต์ใช้ทดแทนฟิล์มสังเคราะห์ได้



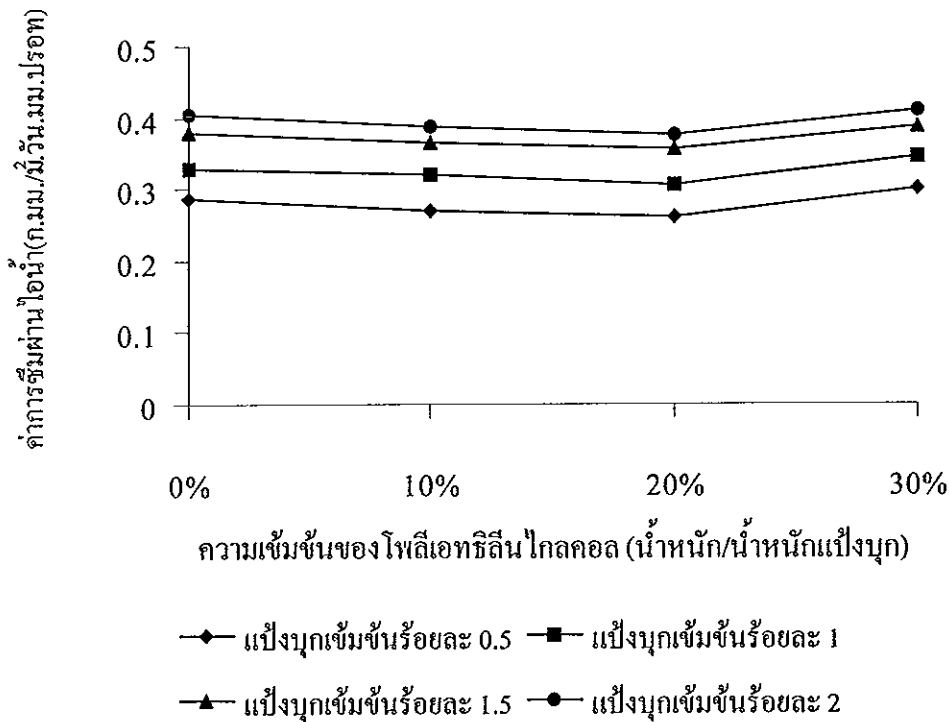
ภาพที่ 9 ค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มแป้งบุกและแป้งบุกผสม โพลีเอทรีลีนไกลคอล

เมื่อพิจารณาค่าการยึดตัวเมื่อขาดของแผ่นฟิล์มแป้งบุก พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแป้งบุกเพิ่มขึ้นค่าการยึดตัวเมื่อขาดของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 10 และศึกษาพบว่าค่าการยึดตัวเมื่อขาดของฟิล์มผสมโพลีเอทรีลีนไกลคอลที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 มีแนวโน้มสูงขึ้น และลดลงเมื่อโพลีเอทรีลีนไกลคอลสูงกว่า ร้อยละ 20 สอดคล้องกับการทดลองของ Sakellariou และคณะ (1986) พบว่าค่าการยึดตัวเมื่อขาดของฟิล์ม HPMC ผสม โพลีเอทรีลีนไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลเกินกว่า 8,000 คาลตัน มีค่าต่ำลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโพลีเอทรีลีนไกลคอลที่เข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ไม่แข็งแรงแผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นลดลง เปราะแตกง่ายและส่งผลให้การต้านทานไอน้ำลดลง



ภาพที่ 10 ค่าการยึดตัวเมื่อขาดของแผ่นฟิล์มแป้งบุกและแป้งบุกผสมโพลีเอทรีลีนไกลคอล

จากการตรวจสอบค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์ม พบว่าเมื่อปริมาณแป้งบุกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของแป้งบุกซึ่งมีพันธะไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบมีสมบัติในการจับกับน้ำได้ ค่าการซึมผ่านไอน้ำจึงเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของปริมาณแป้งบุกที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 11) และในแผ่นฟิล์มแป้งบุกผสมโพลีเอทิลีนไกลคอลเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีแนวโน้มลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากโพลีเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ที่มีขั้วต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกไซเซออร์ชนิดอื่นๆ สอดคล้องกับคำกล่าวของ Chimnan และ Park (1995) ที่ว่าพลาสติกไซเซออร์สามารถเป็นได้ทั้งตัวส่งเสริม และชะลอการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพวกเซลลูโลส ขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ โดยศึกษาผลของโพลีเอทิลีนไกลคอลในฟิล์มเมทิลเซลลูโลส พบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลดลงเมื่อความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 0.22 มล. / กรัม เซลลูโลส นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การละลายของโพลีเอทิลีนไกลคอลมีค่าต่ำ เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูงถึง 8,000 ซึ่ง Banker (1966) กล่าวว่าพลาสติกไซเซออร์ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำน้อยกว่า เนื่องจากสัมประสิทธิ์ในการละลายต่ำและเมื่อปริมาณความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลสูงกว่าร้อยละ 20 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งบุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากฟิล์มมีความเปราะแตกง่าย ทำให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ดี



ภาพที่ 11 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งบุกและแป้งบุกผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล

เมื่อนำแผ่นฟิล์มแป้งบุกและฟิล์มแป้งบุกผสมโพลีเอทิลีนไกลคอลที่ระดับความเข้มข้นต่างๆกันมาตรวจสอบสมบัติการต้านทานไขมันของแผ่นฟิล์มพบว่า ฟิล์มแป้งบุกและฟิล์มแป้งบุกผสมโพลีเอทิลีนไกลคอลทุกชุดการทดลองไม่มีการซึมผ่านของไขมันเลยในเวลา 36 ชั่วโมง เนื่องจากลักษณะการจัดเรียงตัวเป็นร่างแหที่มีความหนาแน่นและแข็งแรงของฟิล์มแป้งบุกทำให้โมเลกุลของไขมันไม่สามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ จากการพิจารณาฟิล์มจากแป้งบุกและแป้งบุกผสมโพลีเอทิลีนไกลคอลพบว่าฟิล์มที่ระดับความเข้มข้นของแป้งบุกร้อยละ 0.5 โพลีเอทิลีนไกลคอลเข้มข้นร้อยละ 0 มีความเหมาะสมในการศึกษาขั้นต่อไปเนื่องจากแสดงค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์มแป้งบุกและฟิล์มผสมโพลีเอทิลีนไกลคอลที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

3. ผลของกรดไขมันต่อสมบัติของฟิล์มแป้งบุก

เนื่องจากฟิล์มแป้งบุกเป็นฟิล์ม โพลีแซคคาไรด์มีสมบัติการชอบน้ำสูง (Kester and Fennema, 1986) โดยไอน้ำสามารถซึมผ่านรูขนาดเล็ก หรือจากการชักนำให้เกิดการแพร่ผ่าน เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของส่วนประกอบ เพื่อปรับปรุงสมบัติการชอบน้ำให้ลดต่ำลงจึงได้ทดลองใช้กรดไขมันเป็นส่วนประกอบของฟิล์ม เนื่องจากกรดไขมันมีลักษณะของหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ สามารถเกิดเป็นผลึกบริเวณผิวหน้าของฟิล์ม ไอน้ำจึงซึมผ่านผลึกของไขมันได้น้อย ทั้งนี้การต้านทานการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของผลึกไขมัน หากไขมันมีการจัดเรียงตัวของผลึกกันอย่างหลวมๆ การต้านทานการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มก็จะลดลง (Fox, 1958)

จากการทดลองผลิตฟิล์มแป้งบุกผสมกรดสเตียริก กรดปาล์มมิติก และส่วนผสมของกรดสเตียริกและปาล์มมิติกในอัตราส่วน 1:1 ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าปริมาณของกรดไขมันมีผลต่อความหนาของแผ่นฟิล์ม (ตารางที่ 15) โดยที่ความหนาของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากเอทานอลมีความเข้มข้นระดับปานกลาง ส่งผลให้กรดไขมันกระจายตัวได้ดีท่าเมื่ออบฟิล์มแห้งทำให้เกิดความขรุขระของเม็ดไขมันกระจายทั่วผิวหน้าของแผ่นฟิล์ม (Dominic *et al.*, 1992) และ Tulloch (1970) กล่าวว่า การเกิดเม็ดไขมันบนแผ่นฟิล์ม เนื่องจากไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงยากที่จะรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับ โพลีเมอร์ แต่สามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดไขมันอย่างรวดเร็วในระหว่างการอบฟิล์ม ดังนั้นเมื่อวัดความหนาของแผ่นฟิล์มโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์ ค่าความหนาของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้เครื่องไมโครมิเตอร์วัดความหนาของแผ่นฟิล์มจะใช้วิธีสัมผัสกับพื้นผิวของแผ่นฟิล์มโดยตรง (Hagenmaier and Shawn, 1990)

ค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มแป้งบุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อผสมกรดปาล์มมิติกและกรดไขมันผสม (ตารางที่ 15) เนื่องจากกรดไขมันไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้งบุกส่งผลให้ความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มลดลง (Greener and Fennema, 1989) สอดคล้องกับการทดลองของ Shellammer และ Krochta (1997) ที่พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มจากเวย์โปรตีนลดลงเมื่อแผ่นฟิล์มมีส่วนประกอบของไขมัน เนื่องจากไขมันเข้าไปแทรกกระหว่างโครงสร้างร่างแหของเวย์โปรตีน ทำให้การยึดเกาะกันของร่างแหลดลง

ในขณะที่ค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มเป็งบุกที่ผสมกรดสเตียริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 25 มีค่าการต้านทานแรงดึงไม่แตกต่างกับฟิล์มเป็งบุก และสูงกว่าฟิล์มที่มีส่วนผสมของกรดปาล์มมิติกและกรดสเตียริกต่อปาล์มมิติกที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน อาจเนื่องจากกรดสเตียริกมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากกว่ากรดปาล์มมิติก จึงเกิดการเชื่อมไขว้กันได้ดีกับโมเลกุลของเป็งบุกดีกว่า และเมื่อความเข้มข้นของกรดสเตียริกสูงกว่าร้อยละ 25 ค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มมีค่าลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากการเชื่อมไขว้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้การยึดเกาะกันของร่างแหลดลง (Dominic, 1992)

ค่าการยึดตัวเมื่อขาดของฟิล์มเป็งบุกที่ผสมกรดไขมันชนิดต่างๆ พบว่าทั้งกรดสเตียริกและกรดปาล์มมิติกส่งผลให้ค่าการยึดตัวเมื่อขาดของแผ่นฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากกรดไขมันเป็นพลาสติกไซเซอร์ชนิดหนึ่ง จึงมีสมบัติในการลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์และเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับแผ่นฟิล์ม (Guilbert, 1986) และกรดไขมันผสมระหว่างกรดสเตียริกต่อปาล์มมิติก ไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติการยึดตัวเมื่อขาดของแผ่นฟิล์มเป็งบุก เนื่องจากแสดงค่าการยึดตัวเมื่อขาดไม่แตกต่างทางสถิติกับฟิล์มเป็งบุก ($P > 0.05$) ซึ่งแสดงผลที่แตกต่างกันบ้างกับการศึกษาของนพรัตน์ มะเห (2541) ที่พบว่าค่าการยึดตัวเมื่อขาดของแผ่นฟิล์มโคโตนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดลอริกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และจากการทดลองของ Park และคณะ (1994) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดปาล์มมิติก และกรดไขมันผสมระหว่างกรดสเตียริกและกรดปาล์มมิติกเพิ่มขึ้น ค่าการยึดตัวเมื่อขาดของฟิล์มโพรตีนเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อความเข้มข้นของกรดลอริกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการยึดตัวเมื่อขาดลดลง

การใช้กรดไขมันไม่ช่วยให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มเป็งบุกลดลง จากการทดลองพบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่มีส่วนผสมกรดไขมันมีค่าสูงกว่าฟิล์มเป็งบุกที่ไม่ได้ผสมกรดไขมัน ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับการศึกษาผลของกรดสเตียริกต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มโคโตนที่พบว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้นค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (นพรัตน์ มะเห, 2541) ซึ่ง Peniisi (1992) กล่าวว่าโมเลกุลของโคโตนโดยปกติจะอยู่ในรูปแบบราบ และกลายเป็นเกลียวเมื่อจับกับไขมัน ส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโมเลกุลกรดไขมันจะเกาะอยู่ตรงกลางเกลียวนี้ และปิดช่องว่างที่จะทำให้โมเลกุล

ของน้ำผ่านได้ ในขณะที่กรดไขมันบางชนิดเข้ากันไม่ได้กับโพลีเมอร์บางชนิดทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเกลียวของโพลีเมอร์ फिल्मที่ได้จึงมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้นผลต่อมาก็ทำให้ฟิล์มมีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้น และจากการศึกษาของ Kamper และ Fennema (1984a) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มสูงขึ้น (มีความหนาแน่นผิวหน้ามากกว่า $1.2 \text{ mg} / \text{m}^2$) ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมักสูงขึ้น เนื่องจากกรดไขมันสามารถซึมผ่านชั้นของโพลีเมอร์และตกตะกอนติดกับวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปฟิล์ม เมื่อดอกแผ่นฟิล์มออกจะสูญเสียกรดไขมันในส่วนที่ติดอยู่กับวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปฟิล์มและแผ่นฟิล์มมีรอยแตกร้าว ดังนั้นเมื่อนำแผ่นฟิล์มไปตรวจสอบค่าการซึมผ่านของไอน้ำพบ ว่าค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ผสมกรดไขมัน

Kamper และ Fennema (1984b) พบว่าที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 80-97 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม HPMC ที่ผสมกรด สเตียริกและกรดปาล์มมีติก มีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากองค์ประกอบที่มีไขมันส่วนประกอบของฟิล์มจะดูดซับน้ำได้สูงขึ้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ สูงๆ

ตารางที่ 15 ผลของชนิดและปริมาณกรดไขมันต่อสมบัติของฟิล์มแป้งบุก

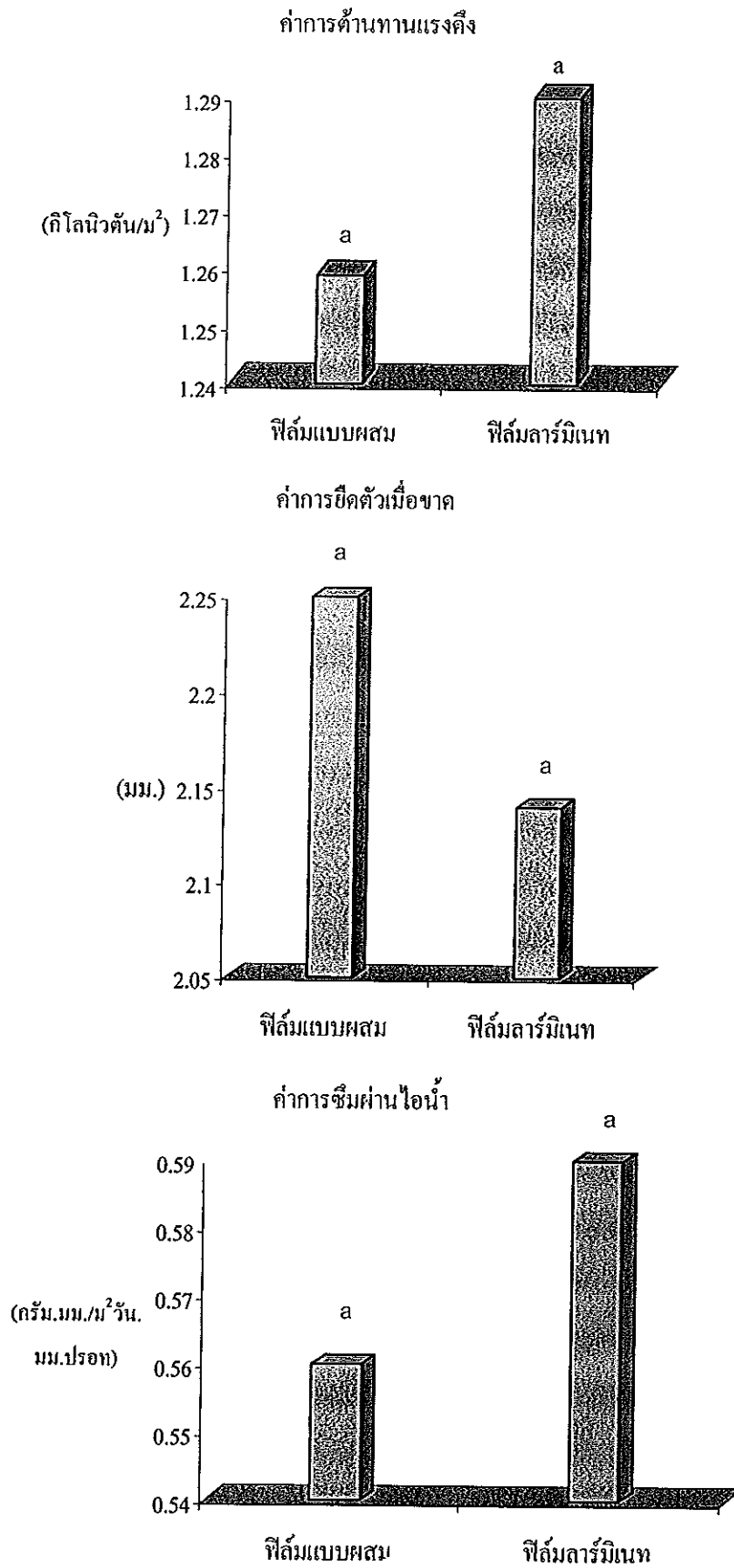
ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณ (นน./นน.แป้งบุก)	ความหนา (มม.)	การต้านทานแรงดึง (กิโลนิวตัน / ม ²)	การยืดตัวเมื่อขาด (มม.)	การซึมผ่านไอน้ำ (ก.มม./ม ² วัน.มม.ปรอท)
กรดสเตียริก	0	0.01±0.002 ^b	1.06±0.22 ^a	1.40±0.44 ^b	0.27±0.00 ^d
	25	0.020±0.004 ^a	1.08±0.26 ^a	1.81±0.21 ^a	0.56±0.00 ^c
	45	0.027±0.004 ^a	0.81±0.11 ^b	1.86±0.26 ^a	0.65±0.00 ^b
	50	0.027±0.003 ^a	0.78±0.28 ^b	1.77±0.53 ^a	0.78±0.00 ^a
กรดปาล์มมิติก	0	0.010±0.000 ^c	1.06±0.22 ^a	1.40±0.44 ^b	0.27±0.00 ^c
	25	0.024±0.001 ^b	0.84±0.11 ^b	1.68±0.59 ^a	0.73±0.00 ^b
	45	0.027±0.001 ^b	0.83±0.30 ^b	1.72±0.17 ^a	0.72±0.00 ^b
	50	0.037±0.006 ^a	0.70±0.30 ^b	1.78±0.37 ^a	0.99±0.00 ^a
กรดสเตียริก +กรดปาล์มมิติก	0	0.010±0.000 ^c	1.06±0.22 ^a	1.40±0.44 ^a	0.27±0.00 ^d
	25	0.029±0.006 ^b	0.51±0.26 ^b	1.39±0.35 ^a	0.74±0.00 ^c
	45	0.036±0.006 ^a	0.44±0.15 ^b	1.35±0.29 ^a	1.00±0.00 ^b
	50	0.037±0.006 ^a	0.43±0.15 ^b	1.25±0.33 ^a	1.02±0.00 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยค่าการซึมผ่านไอน้ำ ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยค่าการต้านทานแรงดึง การยืดตัวเมื่อขาด ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ, อักษรที่เหมือนกันในแต่ละสมรรถของกรดไขมันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อนำแผ่นฟิล์มแป้งบุกที่ผสมกรดไขมันไปตรวจสอบสมบัติการต้านทานไขมัน พบว่าทุกชุดการทดลองไม่มีการซึมผ่านของไขมันตลอด 36 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของสมบัติแผ่นฟิล์มในด้านต่างๆ จึงคัดเลือกส่วนผสมที่มีกรดสเตียริกร้อยละ 25 ศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มต่อไปเนื่องจากคุณสมบัติการต้านแรงดึง และค่าการซึมผ่านไอน้ำ ดีกว่ากรดปาล์มมิติก และกรดไขมันผสม

4. สมบัติทางกายภาพของฟิล์มแบบผสมและฟิล์มลาร์มินเท

จากการทดลองผลิตฟิล์มแบบลาร์มินเทซึ่งประกอบด้วยฟิล์ม 2 ชั้น คือชั้นของฟิล์มแป้งบุกร้อยละ 0.5 และชั้นของฟิล์มกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 นำมาทดสอบสมบัติทางด้าน การต้านทานแรงดึง การยืดตัวเมื่อขาด การซึมผ่านไอน้ำ เปรียบเทียบกับฟิล์มแบบผสมที่มีส่วนประกอบของแป้งบุกผสมกรดสเตียริกเข้มข้น ร้อยละ 25 พบว่า ฟิล์มลาร์มินเทแสดงค่าการต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัวเมื่อขาด และค่าการซึมผ่านไอน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับฟิล์มแบบผสม แม้ว่าจากภาพที่ 12 ค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มลาร์มินเทมีแนวโน้มสูงกว่าก็ตาม อาจเนื่องจากฟิล์มลาร์มินเทเป็นฟิล์มที่มีส่วนประกอบ 2 ชั้น จึงมีความแข็งแรงกว่าฟิล์มแบบผสม เช่นเดียวกับค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลาร์มินเท พบว่ามีแนวโน้มสูงกว่าฟิล์มแบบผสมแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกัน ($p > 0.05$) ต่างจากการทดลองของ Debeaufort และคณะ (1993) ที่พบว่าฟิล์มลาร์มินเท มีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์มแบบผสม แต่เนื่องจากแผ่นฟิล์มทั้งสองชนิดมีความหนาที่แตกต่างกัน คือ 90 และ 130 ไมโครเมตร ในฟิล์มลาร์มินเทและฟิล์มแบบผสมตามลำดับ จึงไม่อาจสรุปได้ว่าฟิล์มลาร์มินเทมีสมบัติในการต้านทานไอน้ำดีกว่าฟิล์มแบบผสม ซึ่ง McHugh และคณะ (1993) กล่าวว่าความหนาของแผ่นฟิล์มเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานการซึมผ่านไอน้ำ โดยฟิล์มที่มีความหนามาก ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีแนวโน้มสูงกว่าฟิล์มที่มีความหนาน้อยกว่า



ภาพที่ 12 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มแบบผสมและฟิล์มลาร์มิเนท

5. การประยุกต์ใช้ฟิล์มแบบผสมและฟิล์มลาร์มินเท

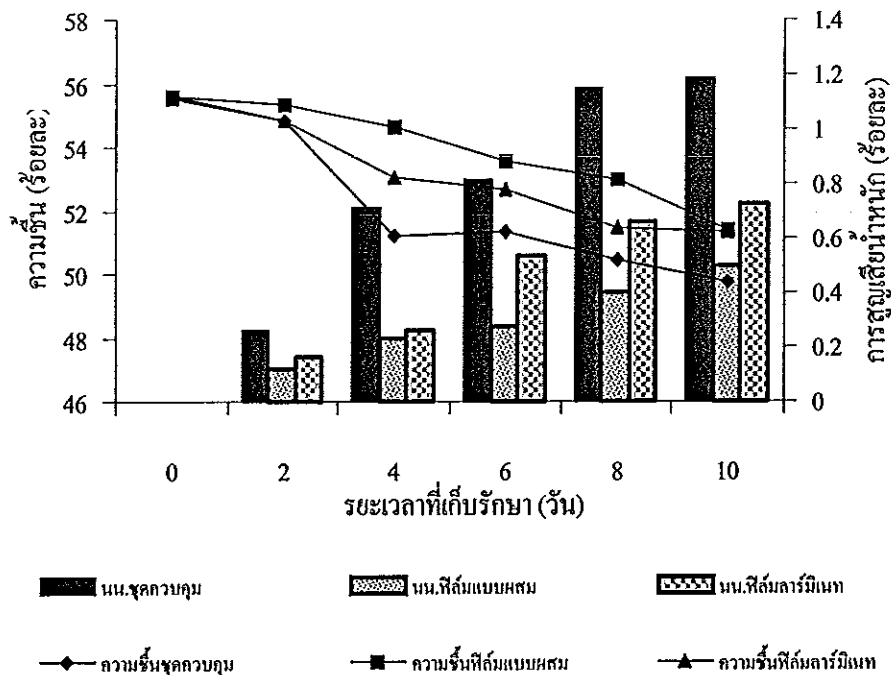
ผลิตภัณฑ์อาหารทอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีลักษณะพิเศษคือ บริเวณเปลือกนอกกรอบแต่ภายในผลิตภัณฑ์มีความฉ่ำน้ำ (Ateba and Mittal, 1994) ในขั้นตอนการทอดแบบชนิดน้ำมันท่วมชิ้นอาหารทำให้ผลิตภัณฑ์ดูดซับน้ำมันเข้าภายในผลิตภัณฑ์ และมีการสูญเสียความชื้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (McDonough *et al.*, 1993) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองห่อหุ้มไส้กรอกด้วยแผ่นฟิล์มแป้งบุกที่เตรียมขึ้น 2 แบบ คือฟิล์มแบบผสมและฟิล์มลาร์มินเทก่อนนำไปทอด เพื่อลดการดูดซับน้ำมันและการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากความชื้นลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงความชื้น และการสูญเสียน้ำหนัก

กลไกที่ทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ทอดเนื่องจากขั้นตอนการทอดแบบน้ำมันท่วมชิ้นอาหาร มีการถ่ายเทความร้อนจากน้ำมันที่ล้อมรอบผิวนอกเข้าไปภายในชิ้นอาหารและเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้นทำให้น้ำในอาหารระเหยกลายเป็นไอ เกิดการสูญเสียความชื้น (Ashkenazi *et al.*, 1984) และจากการตรวจสอบปริมาณความชื้นของไส้กรอกไก่ทอดพบว่า ปริมาณความชื้นของไส้กรอกไก่ทอดมีแนวโน้มลดลงตลอดการเก็บรักษา 10 วัน (ภาพที่ 13) โดยพบว่าปริมาณความชื้นของไส้กรอกไก่ทอดห่อหุ้มด้วยฟิล์มแป้งบุกในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาต่ำกว่าวันเริ่มต้น ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกไก่ทอดทางด้านความฉ่ำ (ตารางที่ 16) พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความฉ่ำของชุดควบคุมในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้น ($p < 0.05$) เช่นเดียวกัน ขณะที่ไส้กรอกไก่ที่ห่อหุ้มฟิล์มทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา และในไส้กรอกไก่ที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มลาร์มินเท พบว่ามีปริมาณความชื้นเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาต่ำกว่าฟิล์มแบบผสม เนื่องจากฟิล์มแบบผสมมีสมบัติด้านทานการซึมผ่านไอน้ำดีกว่าฟิล์มลาร์มินเท ดังนั้นจึงสูญเสียความชื้นต่ำกว่าฟิล์มลาร์มินเท

การสูญเสียน้ำหนักของไส้กรอกไก่ทอด เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียความชื้นในขั้นตอนการทอดและระหว่างการเก็บรักษา แต่ในช่วงของการเก็บรักษาพบว่ามี การสูญเสียน้ำหนักน้อยมากและมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน (ภาพที่ 13) พบว่าไส้กรอกชุดควบคุมมีอัตราการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 1.2 ซึ่ง

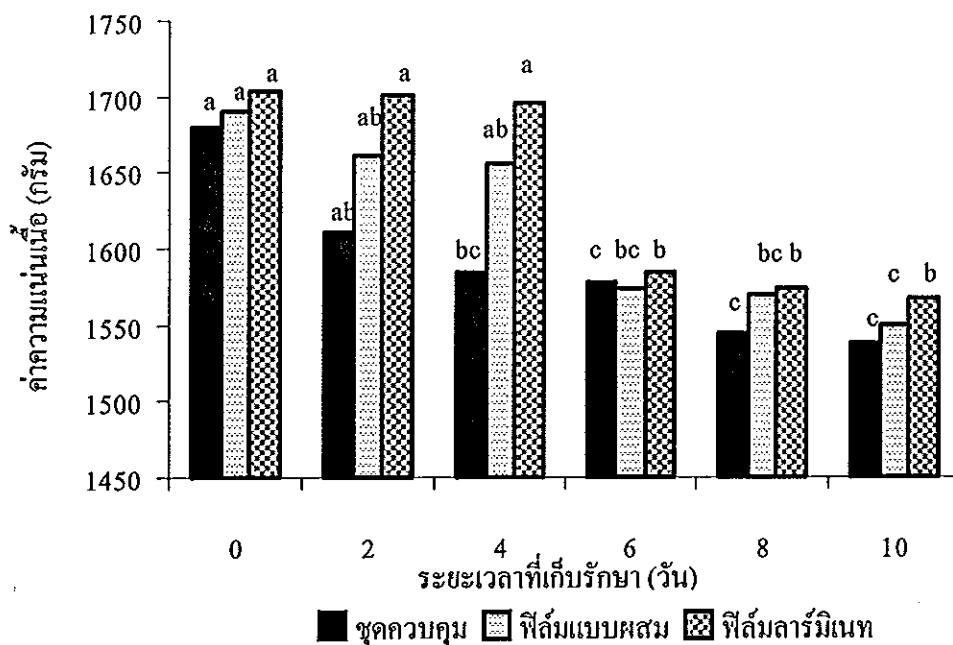
มากกว่าไส้กรอกไก่ที่ห่อหุ้มฟิล์มทั้ง 2 ชนิด ที่มีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 0.49 และ 0.72 ในฟิล์มแบบผสมและฟิล์มลาร์มีเนตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Mountney และ Winter (1960) ที่ทำการศึกษาผลของการใช้เคลือบเคลือบชั้นไก่เพื่อลดการสูญเสีย น้ำหนัก พบว่าชั้นไก่ที่ไม่เคลือบเคลือบชั้นไก่มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 14 เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา 12 วัน ในขณะที่ชั้นไก่ที่เคลือบเคลือบชั้นไก่มีการสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 5.5



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและการสูญเสียน้ำหนักของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ความแน่นเนื้อ

จากการตรวจสอบความแน่นเนื้อของตัวอย่างไส้กรอกไก่ทอดชุบควมและที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยฟิล์มแปงบุก 2 ชนิดด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่าค่าความแน่นเนื้อของไส้กรอกไก่ทอดทั้ง 3 ชุดการทดลองลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 14) อาจเนื่องมาจากปริมาณความชื้นของไส้กรอกที่มีแนวโน้มลดลง และจากการตรวจสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกไก่ทอดในระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความแน่นเนื้อของไส้กรอกไก่ทอดชุบควมเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 วัน ต่ำกว่าวันที่ 0 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 16) ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติความนุ่มและปริมาณความชื้นที่ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 วันเช่นเดียวกัน



*ตัวอักษรที่เหมือนกันในชุดการทดลองเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

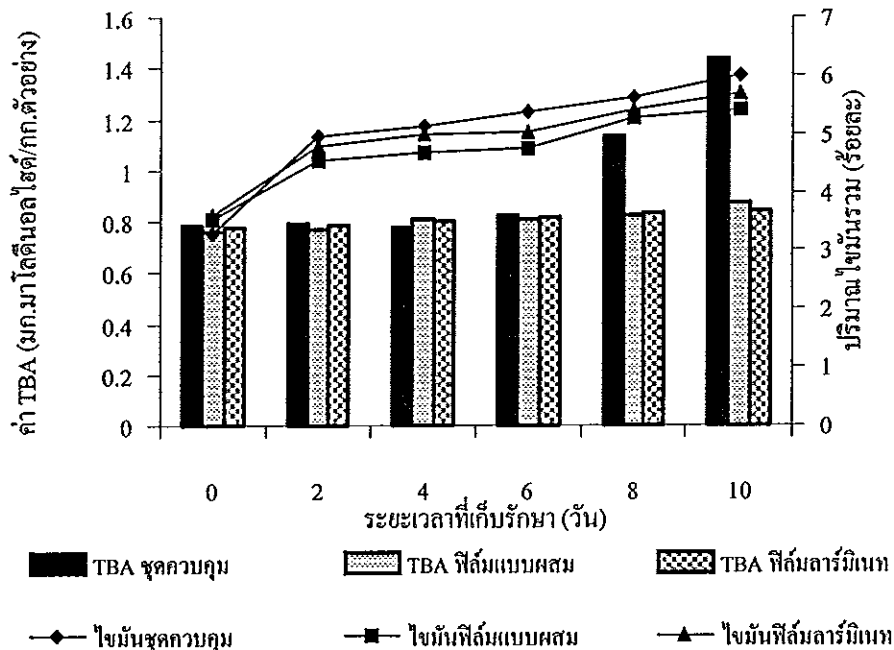
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของไส้กรอกทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วัน
ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันรวม และค่า TBA

ปริมาณไขมันรวมของตัวอย่างไส้กรอกทั้ง 3 ชุดการทดลองเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่15) เนื่องมาจากการดูดซับน้ำมันระหว่างการทอดโดยการเข้าไปแทนที่ความชื้นในชิ้นผลิตภัณฑ์ จากการตรวจสอบปริมาณไขมันรวมของไส้กรอกไก่ในวันเริ่มต้นพบว่า ชุดที่ห่อหุ้มฟิล์มแบบผสม และฟิล์มลาร์มินเท มีปริมาณไขมันรวม ร้อยละ 3.55 และ 3.61 ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีปริมาณร้อยละ 3.30 และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาพบว่า ปริมาณไขมันรวมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 5.99 5.41 และ 5.70 ในชุดควบคุม ไส้กรอกไก่ห่อหุ้มฟิล์มแบบผสม และลาร์มินเทตามลำดับ เนื่องจากแผ่นฟิล์มทำหน้าที่เป็นตัวขวางกั้น ป้องกันการเคลื่อนย้ายของไอน้ำจากภายในผลิตภัณฑ์สู่น้ำมันที่ใช้ทอด และป้องกันไม่ให้น้ำมันที่ใช้ทอดเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ (Balasubramaniam *et al.*, 1997)

สำหรับค่า TBA ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการเกิดกลิ่นหืนของไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ พบว่าไส้กรอกไก่ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่า TBA เริ่มต้นใกล้เคียงกันประมาณ 0.77 มก. มาโลนอลดีไฮด์ / กก.ตัวอย่าง เมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่า TBA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่15) แสดงว่ามีการเกิดออกซิเดชันของไขมันไม่อิ่มตัวอย่างต่อเนื่อง เมื่อเก็บรักษาไส้กรอกเป็นเวลา 6 วัน ค่า TBA ในชุดควบคุมเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ไส้กรอกที่ห่อหุ้มฟิล์มแบบผสมแสดงค่า TBA เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา 10 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวันเริ่มต้น ($p > 0.05$) สาเหตุที่ค่า TBA ในชุดควบคุมสูงกว่าชุดไส้กรอกไก่ที่ห่อหุ้มฟิล์มเนื่องจากในขั้นตอนการทอด ชุดควบคุมมีการดูดซับน้ำมันตัวเหลืองซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวค่อนข้างสูง (Yoshida *et al.*, 1975) สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่า จึงตรวจพบค่า TBA ของชุดควบคุมสูงกว่าชุดการทดลองที่ห่อหุ้มฟิล์ม และจากการตรวจสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกไก่ทอดทางด้านกลิ่นหืน (ตารางที่16) พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนกลิ่นหืนของไส้กรอกไก่ทอดทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดการเก็บรักษา 10 วัน อาจเนื่องจากปริมาณ TBA ที่ตรวจสอบพบมีค่าไม่สูงมาก ซึ่ง Simmhuber และ Yu (1958) กล่าวว่าค่า TBA ที่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนในปลาที่ไม่ต้องการของผู้บริโภค และบ่งบอกถึงการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 4-27 มก. มาโลนอลดีไฮด์ / กก. ตัวอย่าง การเหม็นหืนด้วยวิธีนี้ป้องกันได้โดยภาชนะที่ใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้องไม่ใช้เหล็ก

หรือทองแดงหรือบรรจุอาหารลักษณะสูญญากาศ หรือใช้ก๊าซไนโตรเจนจะช่วยลดปฏิกิริยาการหืนได้ (Wallace, 1968)



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันรวมและค่าTBAไส้กรอกทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

จากการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผู้บริโภคให้คะแนน ค่าความแน่นเนื้อ ความฉ่ำ กลิ่นหืน และความชอบรวมของไส้กรอกทอด ทั้ง 3 ชุดการทดลองลดลง โดยที่ผู้บริโภคให้คะแนนทางด้านความแน่นเนื้อ และความฉ่ำของชุดควบคุมลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวันที่ 0 เมื่อเก็บรักษาได้เพียง 2 วัน ในขณะที่ชุดการทดลองที่มีการห่อหุ้มฟิล์มแบบผสมและฟิล์มลาร์มีเนท คะแนนด้านความแน่นเนื้อลดลงในวันที่ 4 และวันที่ 6 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในคะแนนด้านความฉ่ำ (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้าน ความแน่นเนื้อ ความฉ่ำ กลิ่นหืน และการยอมรับรวม ของไส้กรอกไก่ทอดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ° ซ เป็นเวลา 10 วัน

ลักษณะ / การห่อหุ้ม	ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)					
	0	2	4	6	8	10
ความแน่นเนื้อ						
ชุดควบคุม	6.28 ^a	5.11 ^b	5.18 ^b	4.84 ^b	4.53 ^b	4.38 ^b
ฟิล์มแบบผสม	6.12 ^a	5.96 ^a	5.14 ^{bc}	4.97 ^{bc}	4.63 ^c	4.47 ^c
ฟิล์มลาร์มิเนท	6.14 ^a	6.17 ^a	5.96 ^a	5.02 ^b	4.81 ^b	4.74 ^b
ความฉ่ำ						
ชุดควบคุม	4.50 ^a	3.32 ^b	3.12 ^b	3.06 ^b	3.17 ^b	2.93 ^b
ฟิล์มแบบผสม	4.36 ^a	3.93 ^a	3.84 ^a	3.58 ^a	3.75 ^a	3.55 ^a
ฟิล์มลาร์มิเนท	4.27 ^a	3.94 ^a	3.86 ^a	3.40 ^a	3.64 ^a	3.42 ^a
กลิ่นหืน						
ชุดควบคุม	0.52 ^a	0.98 ^a	1.22 ^a	1.03 ^a	1.40 ^a	1.44 ^a
ฟิล์มแบบผสม	0.61 ^a	0.79 ^a	0.99 ^a	1.03 ^a	1.23 ^a	1.34 ^a
ฟิล์มลาร์มิเนท	0.62 ^a	0.54 ^a	0.80 ^a	1.12 ^a	0.92 ^a	1.44 ^a
การยอมรับรวม						
ชุดควบคุม	6.80 ^a	6.70 ^a	7.20 ^a	7.00 ^a	6.60 ^a	5.30 ^b
ฟิล์มแบบผสม	6.80 ^a	7.10 ^a	6.80 ^a	7.20 ^a	6.80 ^a	7.10 ^a
ฟิล์มลาร์มิเนท	7.10 ^a	7.50 ^a	7.10 ^a	7.20 ^a	6.70 ^a	7.10 ^a

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) คะแนนเฉลี่ยจากผู้ทดสอบชิม 10 คน

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณ ค่า TBA ความฉ่ำ ความแน่นเนื้อ กลิ่นหืนและความชอบรวม มาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของคุณลักษณะดังกล่าวกับค่าความชอบรวม โดยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาความสัมพันธ์ ดังนี้ (รวิชัย งามสันติวงศ์, 2537)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ความสัมพันธ์
0.00-0.20	ไม่มี
0.20-0.40	ต่ำ
0.40-0.60	ปานกลาง
0.60-0.80	ค่อนข้างสูง
0.80-1.00	สูง

พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชอบรวมกับ ความแน่นเนื้อ ความฉ่ำของไส้กรอกไก่ทอดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 17) แสดงว่าเมื่อความแน่นเนื้อและความฉ่ำเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความชอบรวมของผู้บริโภคเพิ่มขึ้นไปด้วย ขณะที่ ค่า TBA กลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์สัมพันธ์เชิงลบกับความชอบรวมของผู้บริโภค แสดงว่าเมื่อค่าTBA และกลิ่นหืนเพิ่มขึ้นมีผลให้ความชอบรวมของผู้บริโภคลดลง

ตารางที่ 17 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง ค่า TBA ความฉ่ำ ความแน่นเนื้อ กลิ่นหืนต่อความชอบรวมของผู้บริโภค

	TBA	กลิ่นหืน	ความฉ่ำ	ความแน่นเนื้อ	ความชอบรวม
TBA	1.00	0.431**	-0.509**	-0.292	-0.475**
กลิ่นหืน		1.00	-0.509**	-0.924	-0.411*
ความฉ่ำ			1.00	0.811	0.349*
ความแน่นเนื้อ				1.00	0.441**
ความชอบรวม					1.000

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

บทที่ 4

สรุป

แป้งบุกที่นำมาศึกษา มีปริมาณกลูโคแมนแนน ร้อยละ 86.36 พองตัวได้ 21.65 เท่า จากการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของแป้งบุก พบว่ามีค่า T_0 ที่ 50.1 องศาเซลเซียส T_p ที่ 58.33 องศาเซลเซียส และมีค่า ΔH เท่ากับ 0.17 J/g แป้งบุกมีความคงทนต่อการกวนปานกลางและมีความหนืดคงที่ที่ระดับสูงหลังจากผ่านการให้ความร้อนสูงและลดอุณหภูมิต่ำลง จากการผลิตฟิล์มแป้งบุกพบว่า แผ่นฟิล์มมีลักษณะ บาง ใส สีเข้มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งบุกเพิ่มขึ้น ฟิล์มมีสีขุ่นและเกิดฝ้าขาวเมื่อเติมโพลีเอทิลีนไกลคอล เมื่อทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มทางด้าน การต้านทานแรงดึง การยืดตัวเมื่อขาดและการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มแป้งบุกพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของแป้งบุกเพิ่มขึ้น และฟิล์มแป้งบุกผสมโพลีเอทิลีนไกลคอลมีค่าการต้านทานแรงดึงลดลง ($p < 0.05$) เมื่อความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลสูงขึ้น การยืดตัวเมื่อขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 20 จากการศึกษาผลของกรดไขมันพบว่า กรดสเตียริกและกรดปาล์มมีดักส่งผลให้ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของฟิล์มแบบผสมสูงกว่าฟิล์มแป้งบุก ($p < 0.05$) ค่าการต้านทานแรงดึงลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ยกเว้นฟิล์มผสมกรดสเตียริกความเข้มข้นร้อยละ 25 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับฟิล์มแป้งบุก ($p > 0.05$) การซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งบุกสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) และฟิล์มลาร์มีเนทแสดงค่าการต้านทานแรงดึงและการซึมผ่านของไอน้ำมีแนวโน้มสูงกว่า และการยืดตัวเมื่อขาดมีแนวโน้มต่ำกว่า แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับฟิล์มแบบผสม ($p > 0.05$)

ไส้กรอกไก่ทอดที่ห่อหุ้มฟิล์มแบบผสมและฟิล์มลาร์มีเนท มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ความชื้น ความแน่นเนื้อ ไขมันรวมและค่า TBA ต่ำกว่าชุดควบคุม และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน ผู้ทดสอบยอมรับไส้กรอกไก่ทอดที่ห่อหุ้มฟิล์มทั้งสองแบบที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับวันเริ่มต้น

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาพบว่ากรดไขมันที่มีความอิ่มตัวสูงไม่สามารถปรับปรุงสมบัติการต้านทานไอน้ำของแผ่นฟิล์มได้ดังนั้นควรมีการศึกษาผลของไขมันชนิดอื่นๆ เพื่อสังเกตผลการต้านทานไอน้ำ และสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มต่อไป

2. จากการศึกษาพบว่า แผ่นฟิล์มแป้งบุกมีความแข็งแรงสูงกว่าฟิล์มสังเคราะห์ เช่น ฟิล์ม PVC ดังนั้นควรมีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากฟิล์มแป้งบุกเพื่อทดแทนฟิล์มจากการสังเคราะห์ต่อไป

3. การใช้โพลีเอทิลีนไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (8,000 ดาลตัน) สามารถปรับปรุงสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ส่งผลให้เกิดฝ้าขาวบนแผ่นฟิล์ม ดังนั้นควรมีการศึกษาผลปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอลที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 8,000 ดาลตัน เพื่อลดโอกาสการเกิดฝ้าขาวบนแผ่นฟิล์มและสังเกตการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ และอดิศักดิ์ เอกโสภาวรรณ. 2543. ฟิล์มแป้งบุกชนิดบริโภคนได้ : การเตรียม สมบัติบางประการ และการนำไปใช้ประโยชน์. อาหาร. 30 (1) : 44-51.

กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกูด ปิยะจอมขวัญ, รังสิมา ชลคุป, สุณีย์ โชตินิรนาท, สุณิรัตน์ หทัยรักษ์ธรรม, สมยศ จรรยาวิลาส, ชีระ ทองเผือก, สาลี บัวลำไย, ฉัตรชัย ปฎิยุทธ, Oates, C.G. และ Hick, A. 2542. คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของสาถุ (*Metroxylon spp.*) ในประเทศไทย. บริษัท เทกซ์ แอนด์ เจอร์นัล พัลลิกเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ. 37 หน้า.

ชัยพฤกษ์ สวณทรัพย์. 2530. บุกญี่ปุ่น. พืชสวน. 21 (2) : 26-28.

ทิพวัลย์ สุขุมลนันท. 2538. พืชอาหารและสมุนไพรที่คนไทยลิ้ม. กสิกร. 68 (6) : 577-579.

ธวัชชัย งามสันติวงศ์. 2539. เอสพี เอส เอส / พีซี+เอสพี เอส เอส ฟอร์วินโดว์ หลักการและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพฯ. บริษัท 21 เซนจูรี. 74.

นพรัตน์ มะเห. 2541. ฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากโคโตแซน : ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มและการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บริษัทสหผลผลิตพืชจำกัด. 2540. อาหารประเภทเส้นใยตราคอนยัคกี้และสารกลูโคแมนแนน. ผลิตภัณฑ์คอนยัคกี้. หน้า 1-17.

บุบผา เตชะภัทรพร. 2535. การสกัดผงบุกจากหัวบุกและการเตรียมผลิตภัณฑ์เจล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

พนิตา กาญจนภี. 2538. ความรู้เรื่องบุก (มันเท้าช้าง). ฉลาดบริโภค. 20 (1) : 12-17.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส. ภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2534. การเตรียมฟิล์มอะมิโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว.
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2535. ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้. อาหาร. 22 (1) : 1-6.

มยุรี ภาคกล้าเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิดี. 2537. คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการหีบห่อ.
ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. หน้า
131-133.

หรรษา จักรพันธ์ ฤ อยุธา. 2527. พืชสะสมแป้ง (เป็นอาหารและยา) เอกสารเผยแพร่ทาง
วิชาการ. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 13.

สะอาด บุญเกิด จเร ศดากร และนพวรรณ ศดากร. 2525. ชื่อพรรณไม้ในเมืองไทย. พิธีการ
พิมพ์. กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2539. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า.
(มอก.638-2539). กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

อลิศักดิ์ เอกโสภาวรรณ. 2540. การผลิตไส้กรอกหมูไขมันต่ำจากแป้งบุก. อาหาร. 27 (1) : 36-
43.

- Allen., L., Nelson., A. I., Steinberg., M. P. 1963. Edible corn carbohydrate food coating I. Development and physical testing of a starch algin coating. *Food Technol.* 17 :1437-1442.
- Ashkenazi., N., Mizrahis., S. and Berk., Z. 1984. Heat and mass transfer in frying. *In Engineering Sciences in Food Industry* (e.d. B. McKenna) London. Elsevier Press.
- A.O.A.C. 1990. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 15th ed. Verginia : The Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Ashley., R. J. 1985. Permeability and plastic packaging. *In Polymer Permeability.* (ed. J. Com) p.p. 269-307. New York . Applied Science Publishers.
- ASTM. 1996. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting D882-95. *In Annual Book of American Standard Testing Method* : Philadephia. Pa. American Society for Testing and Material. pp. 182-190.
- Atebe., P. and Mittal., G. S. 1994. Modeling the deep-fat frying of beef meat balls. *Int. J. Food Sci.* 29 : 429-440.
- Aulton., M. E., Abdul-Razzak., M. H. and Hogan., J. E. 1981. The mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose films derived from aqueous systems part I. The influence of plasticizer. *Drug Dev. Ind. Pharm.* 7 : 649-668
- Austin., L and Burns., J. 1994. Application of coatings. *In Edible Coating and Film to Improve Food Quality.* (e.d. J.M. Krochta) pp. 7-9. U.S.A. Technomic Publishing Company, Inc.

- Balasubramaniam., V. M., Chinnan., M. S., Mallikarjunan., P. and Philip., R. D. 1997. The effect of edible film on oil uptake and moisture retention of deep – fat fried poultry product. *J. Food Process. Eng.* 20 : 17-29.
- Banks., N. H. 1983. Evaluation of method for determining internal gases in banana fruit. *J. Exper. Bot.* 34 : 871.
- Banker., G. S. 1966. Film coating, theory and practice . *J. Pharm Sci.* 55 : 81
- Bhattacharya., K. R. and Sowbhagya, C. M. 1979. Pasting behavior of rice : a new method of viscography. *J. Food Sci.* 44 (1) : 797-801.
- Blair., H. S., Guthrie, J., Law, T. and Turkington, P. 1987. Chitosan and modified chitosan membrane I. Preparation and charecterisation. *J. Appl. Polym. Sci.* 54 : 641-656
- Brautlecht., C. A. 1953. Starch its sources, production and use. Reinhold Publishing Corporation, New York. 408 pp.
- Cheney., A. P., Stares., J. and Verson., A. J. 1984. Food product thickned or gelled with carageenan and glucomannan. US. Pat. 4,427,704.
- Coffin., D. R. and Fishman., M. L. 1994. Physical and mechanical properties of highly plasticizer pectin / starch film. *J. Appl. Polym. Sci.* 54 :1311-1320.
- Cuq., B., Anymard., C., Cuq., J. and Guilbert., S. 1995. Edible packaging films based on fish myofibrilla protein : Formulation and functional properties. *J Food Sci.* 60 (6) : 1369-1374.

- Dahle., L. K. 1983. Two phase food products with reduced interphase moisture transfer. U.S. Pat. 401, 687.
- Deneufort., F., Martin-Polo., M., and Voilley., A. 1993. Polarity homogeneity and structure affect water permeability of model edible films. *J. Food Sci.* 58 (2) : 426-434.
- Dominic., W. S., Gastineau., F. A., Gregorski., K. S., Tillin., S. J. and Paulath., A. E. 1992. Chitosan- lipid films. Microstructure and surface energy. *J. Agri. Food Chem.* 40 : 540-544.
- Drake., S. R., Fellman., J. K. and Nelson, J. W. 1987. Postharvest use of sucrose polyesters for extending the shelf-life of stored 'Golden delicious' apples. *J. Food Sci.* 52 :1283 -1285.
- Duncan., D. B. 1955. Multiple range and multiple F test . *Biometrics.* 11 : 1- 42.
- Dziezeak., J. D. 1991. Special report : A focus on gum. *Food Technol.* 45 (3) : 116-132.
- Egan., H., Kirk., R. S. and Sawyer., R. 1981. *Pearson's Chemical Analysis of Food.* London : Churchill Livingstone.
- Farouk., M. M., Price., J. F. and Salih., A. M. 1990. Effect of an edible collagen film over wrap on exudation and lipid oxidation in beef steak. *J. Food Sci.* 55 : 1510-1512,1563.
- Fox., R. C. 1958. The relationship of wax crystal structure to the water vapor transmission rate of wax films. *TAPPI.* 41 (6) : 283-289.

- Ganz, A. J. 1969. CMC and hydroxypropyl cellulose – versatile gums for food use. *Food Prod. Dev.* 3 (6) : 65.
- Gennadios., A., Weller., C. L. 1990. Edible and coating from wheat and corn proteins. *Food Technol.* 14 (10) : 63-69.
- Gennadios., A., Weller., C. L. and Testin., R. F. 1993. Modification of physical and barrier properties of edible wheat gluten - based films. *Cereal Chem.* 62 : 322-325.
- Gennadios., A., Ghorpade., V. M., Hanna., M. A. and Weller., C. L. 1995. Soy protein isolate / poly (ethylene oxide) films. *Cereal Chem.* 72 (6) : 559-563.
- Glicksman., M. 1982. Functional properties in food hydrocolloids. *In* Functional Properties in Food Hydrocolloids (ed. Glicksman,M) p. 47 Boca Raton. CRC press.
- Gontard., N., Guilbert., S. and Jean-Louis., C. 1993. Water and glycerol as plasticizer affect mechanical and water vapor barrier properties of edible wheat gluten film. *J. Food Sci.* 58(1) : 206-211.
- Gontard., N. and Guilbert, S. 1996. Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging. *J. Food Sci.* 61 (3) : 580-584.
- Greener., I. K. and Fennema., O. 1989. Barrier properties and surface characteristics of edible, bilayer films. *J. Food Sci.* 54. 1393-1399.

- Greener, D. and Fennema, O. 1993. The effect of plasticizer on crystallinity, permeability and mechanical properties of methylcellulose films. *J. Food Process. Preser.* 17: 247-257.
- Greener., D. and Fennema., O. 1994. Edible film and coatings : characteristics, formation, definition and testing method. *In Edible Coating and Film to Improve Food Quality.* (e.d. J.M. Krochta) pp. 7-9. U.S.A. Technomic Publishing Company, Inc.
- Guilbert., S. 1986. Technology and application of edible protective films. *In Food Packaging and Preservation : Theories and Practice* (e.d. M.Mathtouthi) p. 311 New York. Elsevier, Applied Science Publisher.
- Hagenmaier., R. and Shawn., P. 1991. Permeability of shellac coating to gasses and water vapor. *J. Agri. Food Chem.* 39 (5) : 827-829.
- Herald., T. J., Gnanasambandam., R., Mcguire., B. H. and Hachmeister., K. A. 1995. Degradable wheat gluten film : Preparation, properties and application. *J. Food. Sci.* 60 (5) : 1147-1331.
- Henry., F. Z. 1984. Gelatinization of starch and mechanical properties of starch paste. *In Starch Chemistry and Tecnology.* (ed. Whistley.L) London. Academic Press Inc.
- Hosokawa., J., Nishingama., M. and Yoshihara., K. 1991. Reaction between chitosan and cellulose on biodegradable composite film formation. *Ind. Eng. Chem. Res.* 30 : 788-792.
- Kamper., S. L. and Fennema. O. R. 1984a. Water vapor permeability of edible bilayer film. *J. Food Sci.* 49. 1478-1481.

- Kamper., S. L. and Fennema. O. R. 1984b. Water vapor permeability of an edible, fatty acid, bilayer film. *J. Food Sci.* 49. 1482-1485.
- Kester., J. J. and Fennema. O. R. 1986. Edible films and coatings. *Food Technol.* 40 (12) : 47-59.
- Krochta., J. M. and De Mulder-Johnston., C. 1997. Edible and biodegradable polymer films : challenges and opportunities., Scientific Status Summary. *Food Technol.* 51 (2) : 61-74.
- Krumel., K. L. and Lindsay., T. A. 1976. Nonionic cellulose ether. *Food Technol.* 30 (4) : 36-43.
- Leach., H. W., McCowen, L.D. and Schoch., J. J. 1979. Structure of starch granule. I swelling and solubility patterns of various starch. *Cereal Chem.* 36 : 534-544.
- Lieberman., E. R. and Gilbert., S. G. 1973. Gas permeability of collagen films as affected by cross-linking, moisture and plasticizer content. *J. Polym. Sci.* 41 : 33-43.
- Mark., A. M., Roth., W. B., Mehitreter., C. L. and Rist., C. E. 1966. Oxygen permeability of amylo maize starch films. *Food Technol.* 20 (1) : 75-77.
- Mazure., E. G., Schoeg., T. J. and Kite., F. E. 1957. Graphical analysis of the brabender viscosity curve of various starches. *Cereal Chem.* 34 : 141-152.
- McDonough., C., Gomez., M. H., Lee., J. K., Waniska., R. D. and Roney., L. W. 1993. Environmental scanning electron microscopy evaluation of tortilla chip microstructure during deep-fat frying. *J. Food. Sci.* 58 (1) :199-203.

- McHugh., T. H., Avenna-Bustillos., R. and Krochta., J. M. 1993 Hydrophilic edible films : modified procedure for water vapor permeability and explantion of thickness effects. J. Food Sci. 58 (4) : 899-903.
- McHugh., T. H., Aujard., J. F. and Krochta., J. M. 1994. Plasticizer whey protein edible films : water vapor permeability properties. J. Food Sci. 59 (2) : 416-419.
- McWilliam., M. 1993. Starch. In Food : Experimental Perspectives. (2nd ed). p. 174-204. New York. McWilliam publishing.
- Miller., B. S., Derby., R. I. and Timbo., H. B. 1973. Starch. Cereal Chem. 50 : 271.
- Mishara., S., Mishra., S. S. and Ray., P. K. 1989. Production and profit potential of *amorphophallus* as affected by seed size. Indian. J. Agri. Sci. 53 (1) : 27-29.
- Mountney., G. J. and Winter., A. R.1960. The use of calcium alginate film for coating cut-up poultry. Food Technol. 14 : 29-34.
- Nisperos., C., Myrna., O. 1994. Edible coating and films based on polysaccharides. *In* Edible Coating and Film to Improve Food Quality. (e.d. J.M. Krochta) pp. 7-9. U.S.A. Technomic Publishing Company, Inc.
- Park., H. J. and Chinnan., M. S. 1990. Properties of edible coating for fruits and vegetable. American Society of Agricultural Engineers Paper.
- Park., J. W., Testin., R. F., Park., H. J., Vergeno., P. J. and Weller., C. L. 1994. Fatty acid concentration effect on tensile strength, elongation and water vapor permeability of larminated edible films. J. Food Sci. 59 (4) : 916-919.

- Passaglia, E. 1965. Preparation and testing of film. *In* Method in Carbohydrate Chemistry (ed. R.L, Whisler.) p. 211. New York. Academic Press.
- Pennisi, E. 1992 Seal in Edible film. *Science News*. 141 : 12-13.
- Pomeranz, Y. 1991. Functional properties of food components (2nd ed.). Academic Press, Inc. p 24-78.
- Richmond, P., Donald, A. and Frazier, A. 1996. Starch structure and function. *Trend in Food Science & Technology*. 7 : 371-372.
- Rico-Pera, D. C. and Torres, J. A. 1990. Oxygen transmission rate of an edible methylcellulose- palmitic acid film. *J. Food Process Eng*. 13 :125-132.
- Sakellariou, P., Rowe, R. C. and White, E. F. 1986. An evaluation of the interaction and plasticizing efficiency of the polyethylene glycol in ethyl cellulose and hydroxypropyl methylcellulose films using the torsional braid pendulum. *Int. J. Pharm*. 31 : 55-64
- Senderson, G. R. 1981. Polysaccharide in foods. *Food Technol*. 35(7) :50-57,83.
- Shellhammer, T. H. and Krochta, J. M. 1997. Whey protein emulsion film performance as affected by lipid type and amount. *J. Food Sci*. 66 (2) : 390-394.
- Shimizu, N. and Shimahara, H. 1973. Preparation of konjac flour. U.K. Pat. 497,501.
- Shimizu, N. and Shimahara, H. 1991. Method of selective separation of konjac flour from the tubers of *Amorphophallus konjac*. U.S. Pat. 3,767,424

- Sinhuber., R. O. and Yu, T. C. 1958. 2-Thiobabitoric acid method of the measurement of rancidity in fishery products the quantitative determination of malonaldehyde. Food Technol. 2 :9
- Smith., F. and Srivastara., H. C. 1959. Constitution of glucomannan of konjac flour. J. Amer. Chem. Soc. 81 : 1715-1718.
- Smith., P. S. 1984. Food starch and their use. *In* Gum starch and technology 18th Annual Symposium. (ed. D.L.Downning). p.p. 34-42. Cornell University. New York.
- Sugiyama., N., Shimahara., H. 1976. Konjac mannan. U.S. Pat. 3,973,008.
- TAPPI. 1984. Grease resistance of flexible packaging materials. T 507 cm-85. *In* Technical Association of Pulp and Paper Industry. Atlanta. Technology Park.
- Tye., R. J. 1991. Konjac flour : Properties and applications. Food Technol. 45 (3) : 86-91.
- Tye., R.J., Bullens., C. W. and Llanto., M. G. 1994. Thickened and gelled systems based on starch and glucomannan. U.S. Pat. 5,308,636.
- Tulloch., A. P. 1970 The composition of beeswax and other waxes secreted by insects. Lipid. 5 : 247- 254.
- Wallace., G. M. 1968. Mechanical of auto oxidation. Food technol. 15-16.
- Wolff., I. A., Davis., H. A., Cluskey., J. E., Gundum, L. J. and Rist., C. E. 1951. Preparation of film from amylose. Ind. Eng. Chem. 3 : 4.

Wunderlich & Co. 2000. Konjac-glucomannan propol. Humburg.

Yamada., K., Takashi., H. and Noguchi., A. 1995. Improve water resistance in edible zein films and composite for biodegradable food packaging. *Int. J. Food Sci.* 30 : 599-608.

Yook., C., Pek., U. and Park., K. 1993. Gelatinization and retrogradation characteristics of hydroxypropylated and cross-linked rice. *J. Food Sci.* 58 (2) : 405-407.

Yoshida., H., Hisroka., N. and Kajimoto., G. 1975. Microwave energy effect on quantity of some seed oils. *J. Food Sci.* 55 (5) : 1412-1416.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ค่าการต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์ม (TAPPL, 1984)

1.1 วัสดุอุปกรณ์

1. แผ่นแก้ว
2. แผ่นกระดาษขาว
3. ทรายสะอาดแรงผ่านตะแกรงเบอร์ 20 แต่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 30
4. นาฬิกาจับเวลา
5. แผ่นฟิล์มขนาด 4 ตารางนิ้ว
6. บีเปตขนาด 1 มิลลิลิตร
7. น้ำมันสนละลายด้วยดี caprioca ร้อยละ 1 โดยปริมาตร เขย่าให้เข้ากันกรองผ่าน

กระดาษกรอง เก็บไว้ในขวดปิดฝาสนิท

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างทรายหูดละ 2 กรัม วางกองบนแผ่นฟิล์มซึ่งวางอยู่บนกระดาษขาว จัดกองทรายให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว
2. หยคน้ำมันสนประมาณ 0.5 มิลลิลิตร ลงบนกองทราย สังเกตว่าเกือบจะอิมตัวแต่ไม่ให้เลอะออกนอกกองทราย เริ่มจับเวลา ปิดด้วยกระจกนาฬิกา สังเกตทุกๆ 5 นาที เพื่อดูจุดสีแดงบนกระดาษขาวแล้วบันทึกเวลาเมื่อสีทะลุผ่านแผ่นฟิล์ม คิดเวลาทั้งหมดเป็นค่าความต้านทานน้ำมันและไขมันของแผ่นฟิล์ม

2. การวิเคราะห์ค่า TBA (Egan *et al.*, 1981)

2.1 วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดกลั่น (Flask, condenser, receiver)
2. ลูกแก้ว
3. เต้าไฟฟ้า
4. บีเปต

5. หลอดทดสอบมีจุก

6. spectrophotometer

2.2 สารเคมี

1. 4 N Hydrochloric acid

2. Antifoam liquid

3. Thiobabituric acid reagent

ละลาย 0.2883 กรัม Thiobabituric acid ใน 100 มิลลิลิตรของ 90 % glacial acetic acid

2.3 วิธีการวิเคราะห์

1. ปั่นตัวอย่าง 10 กรัม กับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 นาที แล้วถ่ายลงในขวดกลั่น ใช้น้ำ 47.5 มิลลิลิตร ล้างภาชนะที่ใส่ตัวอย่างแล้วเทลงขวด

2. เติม 2.5 มิลลิลิตร 4 N Hydrochloric acid (ที่เอชควรจะเป็น 1.5) แล้วเติมลูกแก้วและ antifoam

3. กลั่นให้ได้ของเหลว 50 มิลลิลิตร ภายใน 10 นาที

4. ดูดสารที่กลั่นได้ 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบที่มีจุกปิด

5. เติม 5 มิลลิลิตร TBA reagent เขย่าและให้ความร้อนด้วยน้ำ

6. ทำ blank โดยวิธีเดียวกันโดยใช้ 5 มิลลิลิตรของน้ำให้ความร้อน 35 นาที

7. นำตัวอย่างและ blank ที่เย็นแล้ววัดค่า OD ที่ 532 nm

$$\text{TBA value (mg malonaldehyde / kg sample)} = 7.8 \times A$$

A = absorbance of sample ที่หักค่า blank แล้ว

3. การวิเคราะห์หาความชื้น (A.O.A.C., 1990)

3.1 วัสดุอุปกรณ์

1. ตู้อบไฟฟ้า
2. โถดูดความชื้น
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.2 วิธีการวิเคราะห์

1. อบอุ่นสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 105 ° องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 – 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. กระทำข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งติดต่อกันไม่เกิน 1 – 3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1 – 3 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนัก นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105° องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 – 5 ชั่วโมง
4. นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำกลับเข้าตู้อบแล้วกระทำเช่นเดิม จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1 – 3 มิลลิกรัม

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ค่าพีเอช

4.1 อุปกรณ์

- 1 เครื่องบด
- 2 เครื่องวัดพีเอช

4.2 วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมน้ำกลั่นปราศจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยต้มน้ำกลั่นในขวดก้นกลมจนเดือด แล้วทำให้เย็นก่อนนำไปใช้ และปิดจุกขวดก้นกลมเพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศ

2. ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นปราศจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาตร 45 มิลลิลิตร นำไปปั่นพร้อมตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปวัดค่า พีเอช ด้วยเครื่องวัด พีเอช

5. การวิเคราะห์หาปริมาณ อะไมโลส (สมอ. 2539)

5.1 อุปกรณ์

1. Spectrophotometer
2. ขวดปรับปริมาตร
3. ปิเปต ขนาด 1,10 มิลลิลิตร
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

5.2 สารเคมี

1. สารละลาย ไอโอดีน

ละลายไอโอดีน 0.200 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.00 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตร เป็น 100 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา

2. 95 % เอทานอล
3. 1 N NaOH
4. 1 N CH_3COOH

5.3 วิธีการการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัมใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติม 95 % เอทานอล 1 มิลลิลิตร และ 1 N NaOH 9 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 15 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติม 1 N CH_3COOH 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที

3. การเตรียม blank ทำเช่นเดียวกับ ข้อ 5.2.1 แต่ไม่ใส่สารตัวอย่าง

4. วัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร แล้วปรับให้เป็นศูนย์ แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

5. นำค่าดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่ได้ มาหาค่าปริมาณอะไมโลสจากกราฟมาตรฐาน หรือ % อะไมโลส

$$\% \text{ อะไมโลส} = \frac{\text{ค่า Absorbance ของตัวอย่าง}}{\text{Slope ของกราฟมาตรฐาน}}$$

5.4 การทำกราฟมาตรฐาน

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน potato อะไมโลส ชั่ง potato อะไมโลส 0.04 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทานอล 1 มิลลิลิตร และ 1 N NaOH ต้มในอ่างน้ำเดือด 10 นาที ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำสารละลายนี้มาเจือจางโดยเติมสารต่างๆ ตามตารางข้างล่างนี้

% อะไมโลส	8	16	24	32	40
สารละลาย					
potato อะไมโลส	1	2	3	4	5
1N CH ₃ COOH	0.2	0.4	0.6	0.8	1.2
สารละลายไอโอดีน	2	2	2	2	2

- ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
- เตรียม blank เช่นเดียวกัน
- วัดค่า absorbance ของ blank เป็นศูนย์ แล้ววัดค่า absorbance ของสารละลายมาตรฐาน ที่ % ความเข้มข้นต่างๆ
- เขียนกราฟร้อยละความเข้มข้นต่างๆของสารละลาย potatoอะไมโลส กับค่า absorbance

6. การวิเคราะห์หา ปริมาณกลูโคแมนแนน (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1990)

6.1 วัสดุอุปกรณ์

1. ปีกเกอร์
2. ปิเปต
3. กระจกนาฬิกา
4. เต้าไฟฟ้า
5. ขวดปรับปริมาตร
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เครื่องเหวี่ยงแยก
8. ตู้อบ
9. เครื่องทำสูญญากาศ
10. แท่งแม่เหล็ก

6.2 สารเคมี

1. α -amylase
2. Isopropyl alcohol

6.3 วิธีการวิเคราะห์

1. ใช้ปิเปตที่สะอาดดูด α -amylase ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ลงในน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่อยู่ในปีกเกอร์
2. ชั่งผงบุกปริมาณ 0.9555-1.0005 กรัม อ่านน้ำหนักที่แน่นอน นำแท่งแม่เหล็กสำหรับกวนน้ำ ใส่ลงในปีกเกอร์แล้วตั้งบนเต้าไฟฟ้า ค่อยๆเติมผงบุกช้าๆลงในปีกเกอร์ ปิดปีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา
3. คอยตรวจอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิขึ้นถึง 80-90 องศาเซลเซียส จับเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที
4. แยกส่วนใส ลงในขวดปรับปริมาตร ส่วนของแข็งนำไปล้างด้วยน้ำเดือด (ปริมาตรประมาณ 150 มิลลิลิตร) แล้วกรองผ่านกระดาษกรองด้วยเครื่องสูญญากาศ นำส่วนที่กรองได้ผสมลงในส่วนใสที่ได้จากการเหวี่ยงแยก

5. นำส่วนใสที่ได้เติม Isopropyl alcohol 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แยกส่วนของ กลูโคแมนแนนออกจากของเหลวลงในกระดาษฟิวส์แล้วนำไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง

$$\text{ปริมาณกลูโคแมนแนน (ร้อยละ)} = \frac{(C-B) \times 100}{A}$$

- A น้ำหนักที่แน่นอนของแป้งบุก
 B น้ำหนักที่แน่นอนของกระดาษฟิวส์ที่อบแห้ง
 C น้ำหนักกระดาษฟิวส์ที่มีกลูโคแมนแนน

7. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 1990)

7.1 อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วยขวดกั้นกลมสำหรับใส่ตัว ทำละลาย ซอกเลต (soxhlet) เครื่องควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)

2. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)
3. สำลี
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด
6. โถดูดความชื้น

7.2 วิธีการวิเคราะห์

1. อบขวดกั้นกลมสำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปใส่ในตู้อบไฟฟ้า ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่าง (ในกรณีที่ตัวอย่างที่มีความชื้นสูงจะทำการอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง) ลงบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1-2 กรัม ห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารละลายมีการกระจายสม่ำเสมอ

3. นำตัวอย่างใส่ชอคเลต เติมสารทำละลายบีโตรีเลียมอีเทอร์ลงในขวดหาปริมาณไขมันปริมาณ 150 มิลลิตร แล้ววางบนเตาให้ความร้อน
4. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
5. เมื่อครบ 14 ชั่วโมง นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากชอคเลต และกลั่นเก็บสารทำละลายจนเหลือสารละลายในขวดกลมเพียงเล็กน้อย
6. นำขวดหาไขมันนั้นไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส จนแห้งทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
7. ชั่งน้ำหนักแล้วทำการอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
8. นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

8. การวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Kester and Fennema., 1983)

8.1 อุปกรณ์

1. ถ้วยอลูมิเนียมปากกว้าง
2. โถดูดความชื้น

8.2 สารเคมี

1. แคลเซียมคลอไรด์
2. โปแตสเซียมซัลเฟต

8.3 วิธีการวิเคราะห์

ใช้แผ่นฟิล์มที่ต้องการวัดการซึมผ่านของไอน้ำปิดผนึกเข้ากับถ้วยอลูมิเนียม ซึ่งบรรจุแคลเซียมคลอไรด์แห้ง (anhydrous calcium chloride) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0 (0 mm.Hg) โดยถ้วยจะวางในโถดูดความชื้น ซึ่งรักษาความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 97 (23 mm.Hg) ด้วยสาร

ละลายอิมิตัวของโปรตีนเชื่อมซัลเฟต ดังนั้นความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์และแรงดันไอน้ำ (water vapor pressure) เท่ากับร้อยละ 97 และ 23 mm.Hg ตามลำดับ फिल्मแต่ละชนิดจะใช้ 4 ตัวอย่าง ค่าการซึมผ่านของไอน้ำคำนวณจาก

$$WVP = \Delta C \cdot X / A \cdot \Delta P = (g) (mm.) / (m^2) \cdot (day) \cdot (mm.Hg)$$

เมื่อ WVP = water vapor permeability

X = ความหนาของแผ่นฟิล์ม

A = พื้นที่ของแผ่นฟิล์ม

ΔP = ความแตกต่างของแรงดันไอน้ำทั้งสองด้านของฟิล์ม

ΔC = ความชื้นของเส้นกราฟระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการซึมผ่านของไอน้ำกับเวลา

9. การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brabender-Visko Amylograph (Bhattachaya and Sowbhagya., 1979)

9.1 อุปกรณ์

เครื่อง Brabender-Visko Amylograph

9.2 วิธีการ

เตรียมน้ำแป้งในถ้วยทรงกระบอก ที่มีการหมุนด้วยความเร็วที่คงที่ และในขณะที่เดียวกันก็ให้ความร้อนแก่น้ำแป้งในอัตราที่คงที่จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จะควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ประมาณ 30 นาที โดยให้การหมุนตลอดเวลา จากนั้นลดอุณหภูมิลงในอัตราเท่ากันจนถึง 50 องศาเซลเซียส รักษาระดับอุณหภูมิไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง

10. ความหนาและความหนาแน่นผิวหน้า (Gennadios *et al.*, 1993)

10.1 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งที่สามารถอ่านได้ถึง 0.0001 กรัม
2. ไมโครมิเตอร์

10.2 วิธีการวิเคราะห์

ตัดตัวอย่างขนาด 5 ซม. x 5 ซม. โดยใช้ 5 ตัวอย่างต่อชนิดของฟิล์ม ทำการสุ่มวัดค่าความหนาโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์จำนวน 5 จุด คือจุดตรงกลาง 1 จุด และจุดโดยรอบอีก 4 จุด ความหนาแน่นผิวหน้า นำแผ่นฟิล์มขนาด 5 ซม. x 5 ซม. ไปชั่งน้ำหนัก (ชั่งละเอียดถึง 0.0001 กรัม) นำน้ำหนักที่ได้หารด้วยพื้นที่ผิวของตัวอย่าง 25 ตารางเซนติเมตร แสดงผลเป็นความหนาแน่นผิวหน้า (กรัม / ตารางเซนติเมตร)

11. การวิเคราะห์สมบัติการพองตัวของเม็ดแป้ง (Leach *et al.*, 1979)

11.1 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักที่สามารถชั่งละเอียดถึง 0.0001 กรัม
2. ตู้อบไฟฟ้า
3. เครื่องเหวี่ยงแยก
4. หลอดเหวี่ยงแยกขนาด 250 มิลลิลิตร

11.2 วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 2 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในหลอดเหวี่ยงแยก เติมน้ำกลั่น ปริมาณ 180 กรัม
2. คนตลอดเวลา นาน 30 นาที แล้วนำสารละลายแป้งไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกด้วยความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที
3. ดูดน้ำต่อนบนออกใส่ในชามอบแห้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส 8 ชั่วโมง นำไปคำนวณร้อยละการละลาย
4. นำส่วนของแป้งเปียกมาวิเคราะห์อัตราการพองตัวจากสูตร

$$\text{อัตราการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเป่งเป็ยก}}{(\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง})(100-\text{ร้อยละการละลาย})}$$

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

12. การทดสอบการต้านทานแรงดึง และค่าการยึดตัวเมื่อขาด (ASTM., 1996)

12.1 อุปกรณ์

เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (universal testing machine) ที่สามารถจับขึ้นทดสอบชนิดรัดด้วยตัวเอง กำหนดระยะห่างของที่จับเริ่มต้น (initial grip separation) เท่ากับ 40 มม. โดยใช้ load cell 100 นิวตัน

12.2 ชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบ เป็นชิ้นทดสอบที่ตัดจากแผ่นฟิล์มตัวอย่าง ด้วยอุปกรณ์ที่สามารถตัดชิ้นทดสอบเป็นแผ่นเรียบตรง ตัดเป็นแถบหนา 10 มม.

12.3 วิธีการทดสอบ

1. เมื่อเตรียมชิ้นทดสอบตามมาตรฐานการเตรียมตัวอย่างแล้ว เขียนเครื่องหมายกำหนดหมายเลขของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นให้ชัดเจน นำมาวัดความกว้าง ความยาวและความหนา บันทึกค่าไว้
2. ตั้งเครื่องดึง ให้ที่แยกจากการกันด้วยความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อนาที เตรียมเครื่องติดตามวัดส่วนยึดและเครื่องบันทึกเครื่องให้พร้อม
3. นำชิ้นทดสอบมาจับในที่จับ (grip) แล้วเดินเครื่อง บันทึกแรงดึงส่วนที่ยึดกำหนด เช่น ร้อยละ 100 200 หรือ 300 และบันทึกแรงดึงสูงสุดเมื่อฟิล์มขาด
4. คำนวณความทนแรงดึง ตามสมการ

ค่าการต้านทานแรงดึง

$$\sigma = S = F/A$$

TS = เป็นความทนแรงดึงสูงสุด (MPa หรือ MN/m)

S = เป็นความเค้นดึงสูงสุด (MPa หรือ MN/mm²)

F = เป็นแรงดึงสูงสุด

ความยืด (elongation) หมายถึงส่วนที่ยืดที่เกิดจากแรงดึง

$$E = [(L - L_0) / L_0] \times 100$$

เมื่อ E = เป็นความยืด

L = เป็นความยาวระหว่างขีดบนขึ้นทดสอบ (mm)

L₀ = เป็นแรงดึงสูงสุด (mm)

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ข 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน สมบัติของฟิล์มแป้งนุกผสม โพลีเอทิลีน ไกลคอล

SV	DF	SS	MS	F
ค่าการต้านแรงดึง				
Treatment	15	27.89	1.85	61.82**
PEG	3	16.39	5.46	181.67**
Konjac	3	10.55	3.51	116.95**
PxK	9	0.94	0.10	3.49**
Error	144	4.33	0.03	
Total	159	32.23		
ค่าการยืดตัว				
Treatment	15	6.19	0.41	11.09**
PEG	3	2.18	0.72	19.56**
Konjac	3	0.96	0.32	8.65**
PxK	9	3.04	0.33	9.08**
Error	144	5.35	0.03	
Total	159	11.55		

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ				
Treatment	15	0.13	0.09	32.05**
PEG	3	0.01	0.004	14.54**
Konjac	3	0.0003	0.000043	145.29**
PxK	9	0.01	0.0002	<1
Error	48	0.01	0.0002	
Total	63	0.15		

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ตารางผนวก ข 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มแป้งบุก
แบบผสม

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	11	6.42	0.58	9.46**
Fatty acid	2	2.28	1.14	18.48**
Concentration	3	3.14	1.04	17.00**
FxC	6	0.99	0.16	2.69*
Error	108	6.66	0.06	
Total	119	13.08		

**แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

*แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางผนวก ข 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ค่าการยึดตัวเมื่อขาดของฟิล์มแป้งบุก
แบบผสม

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	11	8.92	0.81	5.13**
Fatty acid	2	5.08	2.54	16.08**
Concentration	3	1.94	0.64	4.09**
FxC	6	1.89	0.31	2.00 ^{ns}
Error	108	17.08	0.15	
Total	119	26.00		

**แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

* แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวก ข 4 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มแป้งบุก
แบบผสม

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	11	3.44	0.31	13901**
Fatty acid	2	0.30	0.15	6679**
Concentration	3	2.95	0.98	43678**
FxC	6	0.19	0.03	1434**
Error	36	0.00	0.00	
Total	47	3.44		

**แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ตารางผนวก ข 5 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน สมบัติของแป้งบุกแบบผสมเปรียบเทียบกับฟิล์มลาร์มินเท

SV	DF	SS	MS	F
ค่าการต้านทานแรงดึง				
Treatment	1	0.04	0.04	<1
Error	18	1.03	0.05	
Total	19	1.03		

ค่าการยึดตัวเมื่อขาด				
Treatment	1	0.06	0.06	<1
Error	18	5.21	0.28	
Total	19	5.28		

ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ				
Treatment	1	0.00005	0.00005	<1
Error	6	0.09	0.01	
Total	7	0.09		

ตารางผนวก ข 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การเปลี่ยนแปลงความชื้นของไส้กรอกไก่
ทอด ระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ อุณหภูมิ 4 °ซ

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	17	194.19	11.42	17.51**
Film	2	33.03	16.51	25.32**
Day	5	149.19	29.83	45.74**
FxD	10	11.48	1.19	1.83 ^{ns}
Error	36	23.48	0.65	
Total	53	217		

**แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวก ข 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การสูญเสียน้ำหนักของไส้กรอกไก่ทอด
ระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ อุณหภูมิ 4 °ซ

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	17	6.90	0.40	22.48**
Film	2	2.11	1.05	58.57**
Day	5	3.96	0.79	43.85**
FxD	10	0.82	0.082	4.57**
Error	36	0.65	0.01	
Total	53	7.55		

**แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ตารางผนวก ข 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การเปลี่ยนแปลงไขมันรวมของไส้กรอกไก่
ทอด ระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่ อุณหภูมิ 4 °ซ

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	17	28.54	1.67	32.95**
Film	2	1.15	0.57	11.36**
Day	5	26.57	5.31	104.31**
FxD	10	0.80	0.08	1.58 ns
Error	36	1.83	0.05	
Total	53	30.37		

**แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวก ข 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าพีเอชของไส้กรอกไก่ทอด ระหว่างการ
เก็บรักษา 10 วันที่ อุณหภูมิ 4 °ซ

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	17	1.41	0.08	182.86**
Film	2	0.27	0.13	304.32**
Day	5	0.54	0.10	239.72**
FxD	10	0.59	0.059	130.14**
Error	36	0.01	0.0004	
Total	53	1.42		

**แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

ตารางผนวก ข 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าความแน่นเนื้อของไส้กรอกไก่ทอด
ระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4 °ซ

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	17	20.94	1.23	3.77**
Film	2	2.81	1.40	4.31*
Day	5	16.71	3.34	10.22**
FxD	10	1.41	0.14	<1
Error	36	11.77	0.32	
Total	53	32.71		

ตารางภาคผนวก ข 11 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ทางประสาทสัมผัสของไส้กรอก
ไก่ทอดในการเก็บรักษา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 °ซ

SV	DF	SS	MS	F
Block (B)	9	37.16	4.12	4.11**
Treatment	71	3521.05	49.59	49.35**
Film (F)	2	13.35	6.67	6.64**
Effect (E)	3	3369.82	1123.27	1117.84**
Day (D)	5	24.36	4.87	4.85**
FxE	6	12.95	2.15	2.15*
FxD	10	6.21	0.62	<1
ExD	15	72.95	4.86	4.84**
FxExD	30	21.37	0.71	<1
Error	639	642.10	1.00	
Total	719	4200.32		

**แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

*แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางผนวก ข 12 แสดงค่าเฉลี่ย สมบัติของแผ่นฟิล์มแป้งบุก และฟิล์มแป้งบุกผสมโพลีเอทรีลีน ไกลคอล

ความเข้มข้นPEG	ความเข้มข้นของแป้งบุก (ร้อยละ)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
ค่าการต้านทานแรงดึง				
0	1.06±0.22a	1.42±0.18a	1.62±0.24a	1.78±0.28a
10	0.94±0.22a	1.12±0.21b	1.37±0.43b	1.56±0.35b
20	0.64±0.13b	0.76±1.29c	1.29±0.16b	0.48±0.33b
30	0.34±0.14c	0.56±0.22d	0.63±0.25c	0.87±0.20c
ค่าการยืดตัวเมื่อขาด				
0	1.40±0.44b	1.46±0.45a	1.58±0.54a	1.78±0.31a
10	1.51±0.21ab	1.56±0.42a	1.67±0.50a	1.56±0.67b
20	1.58±0.40a	1.59±0.37a	1.73±0.50a	1.48±0.31b
30	1.38±0.20b	1.43±0.12a	1.55±0.15a	0.87±0.06c
ค่าการซึมผ่านไอน้ำ				
0	0.28±0.00ab	0.33±0.00ab	0.37±0.00ab	0.40±0.00a
10	0.27±0.00bc	0.32±0.00bc	0.36±0.00ab	0.38±0.00ab
20	0.26±0.00c	0.30±0.00c	0.35±0.00b	0.37±0.00b
30	0.30±0.00a	0.34±0.00a	0.38±0.00a	0.41±0.00a

ความเข้มข้นของโพลีเอทรีลีนไกลคอล ร้อยละ (น้ำหนัก / น้ำหนักแป้งบุก)

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 10 ซ้ำ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

ตารางผนวก ข 13 แสดงค่าเฉลี่ย การเปลี่ยนแปลงความชื้นของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4 °ซ

Day (D)	Film (F)		
	Control	composite	Larminate
0	55.61±0.26a	55.60±0.25a	55.54±0.22a
2	53.99±0.39b	55.33±0.37a	54.83±0.22a
4	51.21±2.03c	54.63±0.89ab	53.07±0.86b
6	51.02±0.84cd	53.56±0.25bc	52.65±0.97bc
8	50.45±0.18cd	52.97±0.81c	51.49±0.65c
10	49.76±0.79d	51.37±0.78d	51.32±0.30c

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตารางผนวก ข 14 แสดงค่าเฉลี่ย การสูญเสียน้ำหนักของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4 °ซ

Day (D)	Film (F)		
	Control	composite	Larminate
0	0.00±0.00d	0.00±0.00d	0.00±0.00b
2	0.26±0.07c	0.11±0.02cd	0.08±0.01b
4	0.71±0.10b	0.23±0.14bcd	0.16±0.08b
6	0.82±0.17b	0.27±0.11abc	0.39±0.12a
8	1.15±0.13a	0.40±0.12ab	0.49±0.14a
10	1.18±0.19a	0.49±0.14a	0.60±0.10a

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตารางผนวก ข 15 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแน่นเนื้อของไส้กรอกไก่ทอด ระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4 °ซ

Day (D)	Film (F)		
	Control	composite	Larminate
0	167.99±7.94a	169.07±3.63a	170.32±3.81a
2	161.02±5.97ab	166.09±7.22ab	170.02±4.2a
4	158.32±4.67abc	165.63±8.6ab	169.61±3.08a
6	157.72±7.63abc	157.32±2.06bc	158.42±5.95b
8	154.32±5.56bc	156.90±6.89bc	157.32±2.76b
10	149.72±4.0c	154.97±2.62c	156.63±4.83b

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตารางผนวก ข 16 แสดงค่าเฉลี่ย ปริมาณไขมันรวมของไส้กรอกไก่ทอดระหว่างการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4 °ซ

Day (D)	Film (F)		
	Control	composite	Larminate
0	3.30±0.21e	3.55±0.18c	3.61±0.21c
2	4.94±0.35d	4.53±0.17b	4.77±0.19b
4	5.12±0.17cd	4.66±0.10b	4.98±0.17b
6	5.35±0.26bc	4.75±0.21b	5.01±0.14b
8	5.60±0.25b	5.27±0.17a	5.40±0.11a
10	5.99±0.23a	5.41±0.23a	5.70±0.22a

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ภาคผนวก ค แบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่ทอด

ชื่อ.....วันที่.....เวลา.....

กรุณาชิมตัวอย่างไส้กรอกไก่ทอดและขีดเครื่องหมาย “I” ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัย
คุณภาพ ณ จุดที่ตรงกับความรู้สึกที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์ และเขียนรหัสตัวอย่างบนเส้นส่วน
ที่ท่านรู้สึกได้จากการชิมตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดของคะแนนดังนี้

ความแน่นเนื้อ 1 หมายถึง ความแน่นเนื้อน้อย 10 หมายถึง ความแน่นเนื้อมาก

ความฉ่ำ 1 หมายถึง ความฉ่ำน้อย 10 หมายถึง ความฉ่ำมาก

กลิ่นหืน 1 หมายถึง กลิ่นหืนน้อย 10 หมายถึง กลิ่นหืนมาก

การยอมรับรวม 1 หมายถึง มีการยอมรับรวมมาก 10 หมายถึง มีการยอมรับรวมมาก

ความแน่นเนื้อ	-----
ความฉ่ำ	-----
กลิ่นหืน	-----
การยอมรับรวม	-----

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาว นุชทริกา ยืนยง		
วัน เดือน ปีเกิด	6 เมษายน 2518		
วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วุฒิ	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล นครศรีธรรมราช	พ.ศ. 2540	
วิทยาศาสตร์บัณฑิต			
สาขาวิทยาศาสตร์และ			
เทคโนโลยีการอาหาร			