

ชนิดของสารเติมแต่งและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกุ้งแห้งเทียม

OPTIMIZED OF SUITABLE FOOD ADDITIVES AND PROCESSING  
TO IMITATED DRIED SHRIMP PRODUCTION



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

ชนิดของสารเติมแต่งและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกุ้งแห้งเทียม  
OPTIMIZED OF SUITABLE FOOD ADDITIVES AND PROCESSING  
TO IMITATED DRIED SHRIMP PRODUCTION



วรทัย ญาณประภาศิริ  
วรัญญา เขยมาลัย

เลขหมู่ 148878  
สาขาทะเบียน  
พ.น.เดือน.ปี 30 1119 2560

12876872

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ชนิดของสารเติมแต่งและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกุ้งแห้งเทียม  
OPTIMIZED OF SUITABLE FOOD ADDITIVES AND PROCESSING TO  
IMITATED DRIED SHRIMP PRODUCTION

จัดทำโดย

วรทัย ญาณประภาศิริ รหัสนักศึกษา 55080052

วรัฏฐา เขยมาลัย รหัสนักศึกษา 55080053

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....  


(ผศ.ดร.โสรยา เกิดพิบูลย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ                    ชนิดของสารเติมแต่งและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกึ่งแข็งเทียม  
 ชื่อนักศึกษา                                วรทัย ญาณประภาศิริ รหัสนักศึกษา 55080052  
   วรัฏฐา เขยมาลัย                    รหัสนักศึกษา 55080053  
 หลักสูตร                                    วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
 พ.ศ.    2559  
 อาจารย์ที่ปรึกษา                            ผศ.ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารเติมแต่งและสภาวะการอบแห้งในการผลิตกึ่งแข็งเทียมจากเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็ง โดยในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบสารเติมแต่ง 2 ชนิดที่ใช้ในการผสม ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาลีที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 25 และ 30 จากนั้นนำส่วนผสมมาขึ้นรูปและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 0-3 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและความชื้นของตัวอย่าง พบว่า กึ่งแข็งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมมีลักษณะรูพรุน เนื้อแข็งแห้ง กรอบ และความชื้นน้อยกว่ากึ่งแข็งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม ซึ่งมีลักษณะเนื้อเนียน เหนียว ดังนั้นจากลักษณะทางกายภาพและปริมาณความชื้นจึงคัดเลือกกึ่งแข็งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมไปทำการศึกษาคูณสมบัติในด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าสี คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส(TPA) อัตราการหดตัวและคืนตัวของผลิตภัณฑ์ โดยที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและความเข้มข้นของสารเติมแต่งนั้นส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส คือ Firmness Cohesiveness Springiness Chewiness ค่าสี คือ  $L^* a^* b^*$  และอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่ออัตราการหดตัวแต่อย่างใด โดยผลจากคุณสมบัติด้านสี เนื้อสัมผัส(TPA) อัตราการหดตัวและอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์กึ่งแข็งเทียมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นจึงใช้คุณสมบัติด้านอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ในการคัดเลือกกระบวนการผลิตกึ่งแข็งเทียมที่เหมาะสม โดยสำหรับกระบวนการผลิตกึ่งแข็งเทียมที่เหมาะสม คือ กึ่งแข็งเทียมที่แป้งสาลีเป็นส่วนผสมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 ระยะเวลาในการอบแห้ง 90 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : สารเติมแต่ง กึ่งแข็ง การอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title      Optimized of suitable food additives and processing to imitated dried shrimp production

Student name                Woratai Yanphapasiri    Student ID 55080052  
    Warattha Cheymalai    Student ID 55080053

Program                      Bachelor of Science in Food Science and Technology

Year                            2016

Advisor                      Assist.Prof.Dr.Soraya Kerdpiboon

### ABSTRACT

This research aimed to study effect of food additives and drying conditions on properties of imitated dried shrimp produced from frozen minced fish. Two types of food additives consisting of tapioca and wheat flour, concentrations of 20 25 and 30% were applied to mix with batter. Then the batter was formed and dried using hot air tray dryer at temperatures of 60 70 and 80°C for 0-3 hours. The imitated dried shrimp mixed with tapioca flour was found that product was porosity, dried and hard, while product made from wheat flour looked smooth, tough and represented dried shrimp like. Therefore wheat flour was used to produce imitated dried shrimp. After drying imitated dried shrimp using different drying temperature, it was found that temperature and concentration of food additive affected firmness, cohesiveness, springiness and chewiness, color and rehydration ratio of the dried product with significantly different ( $p \leq 0.05$ ), while these factors did not affect shrinkage of the dried product ( $p \leq 0.05$ ). Beside, imitated dried shrimp mixed with 20% wheat flour and dried using 70°C for 90 minute represented highest rehydration ratio compared to other conditions.

Keywords : Food additive, Dried shrimp, Drying

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของ ผศ.ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษนี้ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย ทำให้ในการดำเนินงานจึงเป็นไปอย่างราบรื่น และขอบคุณคณะอาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้สั่งสอนและให้ความรู้ต่างๆ ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิจัยได้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ทุกท่าน รุ่นพี่ และ เพื่อนๆ ที่อำนวยความสะดวก และให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานปัญหาพิเศษนี้

วรทัย ญาณประภาศิริ

วรัฎฐา เขมมาลัย

11 พฤษภาคม 2559



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1    ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2    วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3    ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1    ปลาอลาสกา พ็อลล็อค (Alaska Pollock)	3
2.2    ผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาสด	4
2.3    โปรตีนที่มีสมบัติเกี่ยวข้องในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เนื้อปลาสด	5
2.4    กลไกการเกิดเจล (Gelation)	8
2.5    การปรับปรุงคุณภาพของซูริมิ	10
2.6    กระบวนการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน	26
2.7    งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	34
3.1    วัตถุดิบและสารเคมี	34
3.2    อุปกรณ์	34
3.3    ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	39
4.1    ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อลักษณะการทำแห้งกึ่งแห้งเทียม	39
4.2    ศึกษาผลของชนิดของการเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของกึ่งแห้งเทียม	43
4.3    ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปลผลและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปลผล	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก	63
ภาคผนวก ข	65
ภาคผนวก ค	71
ประวัติผู้เขียน	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เกิดขึ้นช่วงที่สูญเสียสภาพธรรมชาติความร้อนของ actomyosin ในธรรมชาติ	9
2.2 ปริมาณของอะไมโลสของแป้งชนิดต่างๆ	11
2.3 คุณสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	11
2.4 คุณลักษณะของแป้งมันสำปะหลังในสตาร์ช	16
2.5 ปริมาณองค์ประกอบในส่วนต่างๆของเมล็ดข้าวสาลี	16
2.6 องค์ประกอบของแป้งสาลี	17
2.7 คุณสมบัติของแป้งสาลี	18
2.8 Gelatinization temperature range ของแป้งชนิดต่างๆ	24
3.1 ส่วนผสมในการผลิตกึ่งแห้งเทียม	35
4.1 ลักษณะทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม	44
4.2 ลักษณะทางกายภาพด้านสีของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม	45
4.3 F-value ของปริมาณความชื้นกึ่งแห้งเทียม	46
4.4 ผลสภาวะการอบแห้งที่มีต่อร้อยละความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ	47
4.5 ผลสภาวะการอบแห้งที่มีต่อร้อยละความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบ	48
4.6 F-value ของคุณสมบัติของกึ่งแห้งเทียมที่มีการเติมแป้งสาลี	48
4.7 ลักษณะทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม	51
4.8 ลักษณะทางกายภาพด้านสีของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม	52
4.9 ลักษณะทางกายภาพด้านการคืนตัว – หดตัวของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม	52

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ปลา Alaska Pollock	3
2.2 แผนภาพแสดงความแตกต่างระหว่างเนื้อปลาบด ซูริมิสต์ และซูริมิแช่เยือกแข็ง	4
2.3 โครงสร้างของ Myosin	7
2.4 โมเลกุลโปรตีนแอคติน	7
2.5 แบบจำลองการก่อตัวโครงร่างตาข่ายของเจล	8
2.6 แบบจำลองการรวมตัวของโปรตีนไมโอซินเมื่อได้รับความร้อน	9
2.7 แผนภาพของโครงสร้างของเม็ดแป้ง	12
2.8 โครงสร้างอะไมโลส	12
2.9 โครงสร้างอะไมโลเพคติน	13
2.10 ลักษณะโครงสร้างอะไมโลเพคตินที่ประกอบด้วยสาย A B และ C	14
2.11 การพองตัวของเม็ดแป้ง	19
2.12 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA	21
2.13 กราฟแสดงความหนืดของแป้งสูกชนิดต่างๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว	22
2.14 ระยะในการเกิดเจลลาทีโนเซนชันของเม็ดแป้ง	23
2.15 Gelatinization และ Retrogradation ของแป้ง	26
2.16 ลักษณะของน้ำอิสระและเกาะติดในอาหารหรือผลิตภัณฑ์	27
2.17 กราฟอัตราการแห้ง (จุด E คือความชื้นสมดุล, $W_e$ )	29
2.18 กลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างกระบวนการอบแห้ง	30
3.1 ขั้นตอนการเตรียมแบทเทอร์	36
3.2 การขึ้นรูปกึ่งแห้งเทียม	37
3.3 การนำกึ่งแห้งที่ผ่านการขึ้นรูปมาแช่เจลโดยการนั่งบนลังถึง	37
4.1 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 60° C (แป้งมันสำปะหลัง)	39
4.2 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 70° C (แป้งมันสำปะหลัง)	40
4.3 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 80° C (แป้งมันสำปะหลัง)	40
4.4 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 60° C (แป้งสาลี)	41
4.5 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 70° C (แป้งสาลี)	41
4.6 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 80° C (แป้งสาลี)	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ซูริมิและผลิตภัณฑ์เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ประมงที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารของประเทศไทยและต่างประเทศ เนื่องจากมีการผลิตเพื่อการส่งออกในปริมาณที่สูงและมีมูลค่าอย่างต่อเนื่อง มีการแปรรูปออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่มีความหลากหลาย เช่น ลูกชิ้นปลา ปูอัด เต้าหู้ปลา คามาโบโกะ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยมีวัตถุดิบหลัก คือ ปลาสดจำนวนมาก ดังนั้นการผลิตซูริมิจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าปลา (Value-added) ที่ทำกันมาอย่างยาวนานแล้วและเติบโตได้อย่างรวดเร็วในระดับอุตสาหกรรม โดยอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อปลาสวยมีอัตราการเติบโตสูงมากเท่าไรย่อมต้องมีของเสียในอุตสาหกรรมตามมาเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือเศษเนื้อปลาเหลือที่ได้จากกระบวนการผลิตเนื้อปลาแล้วซึ่งในการผลิตโดยส่วนใหญ่เป็นเศษเนื้อปลา Alaska Pollock (*Gadus chalcogrammus*) ดังนั้นจึงนำมาซึ่งแนวทางการเพิ่มมูลค่าของเศษเนื้อปลา Alaska Pollock โดยการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งถือเป็นทางเลือกใหม่และแนวทางที่น่าสนใจ โดยอาจสามารถทำได้ในเชิงอุตสาหกรรมเนื่องจากมีวัตถุดิบสม่ำเสมอ ซึ่งเนื้อปลา Alaska Pollock นี้ นอกจากจะมีโปรตีนสูงและมีปริมาณความชื้นนั้นค่อนข้างสูงประมาณ 83% (ณัฐธินิชาและพชรพรรณ, 2558) ดังนั้นจึงควรมีการหาแนวทางการเพิ่มมูลค่าที่เหมาะสม

อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ต้องการเพิ่มมูลค่าของเศษเนื้อปลาสดแช่เยือกแข็งอัดก้อนซึ่งเป็นเศษเหลือที่ได้จากกระบวนการผลิตเนื้อปลาแล้วโดยมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตกึ่งแห้งเทียม โดยสำหรับผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมนั้นเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถใช้ทดแทนกึ่งแห้งจริงในการประกอบอาหารซึ่งมีราคาแพงกว่าหรือหาได้ยากในบางฤดูได้ และเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งจึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น สำหรับกระบวนการผลิตนั้นจะไม่มีกรรมล้างน้ำ เนื่องจากจะเป็นการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นให้กับวัตถุดิบ และมีการนำน้ำออกจากตัววัตถุดิบโดยการบีบ ซึ่งในการนำมาขึ้นรูปอาจทำให้เนื้อปลาไม่สามารถเชื่อมติดกันได้ดีเท่าที่ควร เนื่องจากความเข้มข้นของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ต่ำ จึงสามารถจับตัวกันได้น้อย (ณัฐธินิชาและพชรพรรณ, 2558) จึงได้มีการเติมสารเติมแต่งจึงเป็นตัวช่วยให้ส่วนผสมผสานให้สามารถขึ้นรูปกึ่งแห้งได้ง่ายและเพิ่มการจับตัวกันที่ดีขึ้นของโปรตีนเนื้อปลา โดยในการทดลองทำกึ่งแห้งเทียมจากเศษเนื้อปลา Alaska Pollock นี้ จะทำการศึกษาชนิดของสารเติมแต่งและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียม โดยทำการเปรียบเทียบสารเติมแต่ง คือ แป้ง 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาลีอเนกประสงค์ เนื่องจากแป้งทั้ง 2 ชนิดนี้จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งจะแบ่งออกไป 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ ร้อยละ 20 25 และ 30 และอุณหภูมิของการอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากผลของอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้ง ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียม นอกจากนี้จะมีการเติมสี กลิ่นรส และรสชาติ ที่เหมาะสมและนำมาประเมินคุณภาพทางสัมผัสเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการบริโภคโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของเศษเนื้อปลา Alaska Pollock
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิของการอบแห้งที่มีผลต่อความชื้นและลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กุ้งแห้งเทียม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กุ้งแห้งเทียม
- 1.2.4 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของกุ้งแห้งเทียมให้เหมาะสมต่อการบริโภค

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 สามารถควบคุมปัจจัยคุณภาพด้านต่างๆ ในวัตถุดิบเนื้อปลาสดที่มีความสำคัญในการผลิตกุ้งแห้งเทียม
- 1.3.2 สามารถผลิตกุ้งแห้งเทียมที่มีคุณภาพดีและเหมาะแก่การบริโภค
- 1.3.3 สามารถเพิ่มมูลค่าเศษเนื้อปลาสดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับมนุษย์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ปลาอลาสก้าพอลล็อก (Alaska Pollock)

อลาสก้าพอลล็อก (Alaska Pollock หรือ Walleye Pollock ปัจจุบันมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Gadus chalcogrammus* (ชื่อเดิม *Theragra chalcogramma*) เป็นปลาพันธุ์ของปลาทะเลของปลาชนิดในตระกูล Gadidae สำหรับแหล่งที่คือมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือซึ่งมีการพบมากที่สุดในแถบทะเลแปซิฟิกตะวันออก แต่การวิจัยเมื่อเร็ว ๆ นี้ได้แสดงให้เห็นว่าปลาอลาสก้าพอลล็อกมีความเกี่ยวข้องกับปลาคอดในมหาสมุทรแอตแลนติกอย่างมากจึงควรจะย้ายกลับมาอยู่ในจีนัส *Gadus* เหมือนเดิม (W.Orr and E. Stevenson, 2013) ลักษณะจุดสีดำที่ตัวของปลาอลาสก้าพอลล็อกทำให้มันถูกมองเห็นได้ยากจากนักล่าเมื่อมันอยู่ใกล้บริเวณพื้นทรายใต้ทะเล ซึ่งปลาชนิดนี้เป็นปลาที่มีลักษณะการเจริญเติบโตค่อนข้างรวดเร็วและเป็นสายพันธุ์ที่มีวงจรชีวิตสั้น สำหรับปลาอลาสก้าพอลล็อกเป็นปลาที่อาศัยกึ่งผิวน้ำเพราะพฤติกรรมการหาอาหาร โดยในฤดูกาลที่มีอาหารอยู่บริเวณผิวน้ำเยอะจะสามารถพบได้ง่ายบริเวณผิวน้ำ เช่นช่วงเดือนสิงหาคม ส่วนในฤดูกาลที่มีอาหารอยู่บริเวณผิวน้ำน้อยก็จะพบได้ในจำนวนมากขึ้นในบริเวณใต้ทะเลลึก ได้แก่ planktonic ในช่วงเดือนพฤศจิกายนโดยแต่เดิมการเปลี่ยนแปลงในเชิงลึกที่ถูกนำมาประกอบกับปริมาณของแสงหรืออุณหภูมิของน้ำโดยรอบ นอกจากนี้ปัจจัยหลักในการกำหนดพฤติกรรมการหาอาหารคืออายุซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยตามขนาดที่มีความยาวต่ำหรือสูงกว่า 60 มม. นอกจากนี้ยังมีการตั้งข้อสังเกตว่า ปลาอลาสก้าพอลล็อกมีอายุน้อย จะหลีกเลี่ยงระดับน้ำลึกที่มีอุณหภูมิของน้ำน้อยกว่า 2.5-3.0 องศาเซลเซียส ส่วนปลาอลาสก้าพอลล็อกที่มีอายุสูงจะพบในทะเลแปซิฟิกในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 2 และ 4 องศาเซลเซียส (Alaska Department of Fish and Game, 2016) โดยทั้ง 2 กลุ่มนั้นกิน copepods เป็นอาหาร สำหรับในส่วนของ การแปรรูปปลาอลาสก้าพอลล็อกนั้นพบว่าลักษณะของเนื้อปลานั้นจะมีสีขาวอ่อน เนื้อละเอียด และปริมาณน้ำมันที่น้อย มีการบริโภคที่หลากหลายรูปแบบทั้งเนื้อปลาสดและแช่แข็ง, ไม้ปลาชุบเกล็ดขนมปังและอื่น ๆ และรวมไปถึง "ซูริมิ" ผลิตภัณฑ์ซูริมิที่ผลิตโดยทั่วไปนั้นจะทำการล้างเนื้อปลาอลาสก้าพอลล็อกแล้วเพิ่มส่วนผสมอื่นๆ เพื่อรักษาเสถียรภาพของโปรตีนในปลาในระหว่างการแช่แข็ง (Wikipedia, 2016)

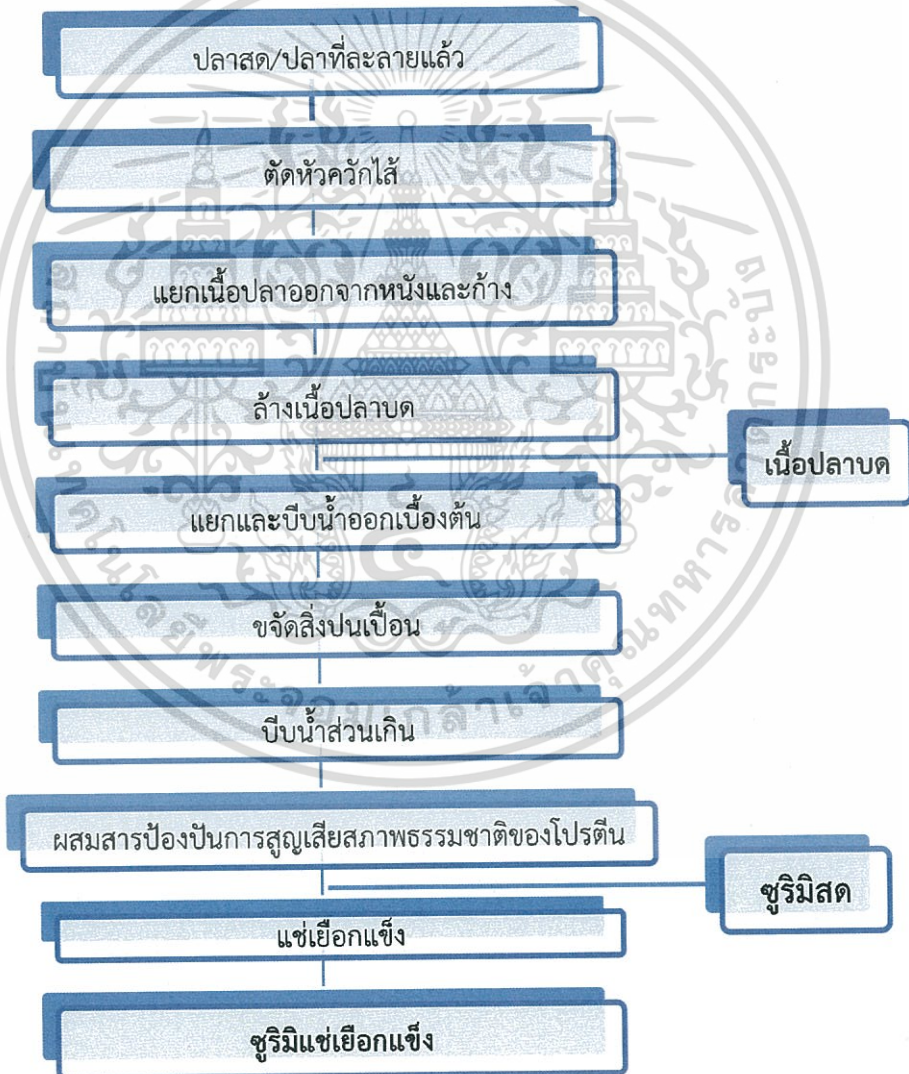


ภาพที่ 2.1 ปลา Alaska Pollock

ที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Alaska\\_pollock](https://en.wikipedia.org/wiki/Alaska_pollock)

## 2.1 ผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาบด

เนื้อปลาบด (Minced Fish) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาซึ่งอาจจะผ่านการเตรียมเบื้องต้นเพียง แค่การตัดหัวควักไส้หรือชิ้นเนื้อปลาที่ได้จากการแลไปแยกเนื้อออกจากส่วนของก้างและหนังปลาด้วยเครื่องแยกเนื้อ (Deboner) ดังนั้นเนื้อปลาบดที่ได้จึงยังคงมีองค์ประกอบเคมีและกลิ่นเช่นเดียวกับเนื้อปลาปกติ (จักรี, 2544) ส่วนซูริมิ (Surimi) เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อปลาทะเลบดที่นำมาผ่านกระบวนการล้างน้ำเพื่อแยกเอาส่วนของไขมัน และองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออก โดยที่เป็นเหลือโปรตีนไมโครไฟบริลลาร์ (Microfibrillar Protein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำให้เนื้อปลามีคุณสมบัติในการเกิดเจลเป็นส่วนใหญ่ด้วยคุณลักษณะสำคัญหลายประการ ซูริมิจึงเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสเฉพาะตัวได้หลายชนิด เช่น ลูกชิ้น ไส้กรอก ปูอัด และผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ต่างๆ (มาลินี และนิธิกานต์, 2551)



ภาพที่ 2.2 แผนภาพแสดงความแตกต่างระหว่างเนื้อปลาบด ซูริมิสด และซูริมิแช่เยือกแข็ง  
ที่มา : จักรี ทองเรือง (2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของซูรินั้นมีความแตกต่างจากเนื้อปลาสดโดยมีคุณลักษณะที่สำคัญคือ มีสีขาว ไม่มีกลิ่นคาวปลา และมีความสามารถในการเกิดเจลที่ดี แต่ด้วยความก้าวหน้าของการเก็บรักษาความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิโดยการผสมสารที่สามารถป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Microfibrillar Protein) ในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง (Cryoprotectants) ลงในซูรินก่อนการแช่เยือกแข็งการผลิตซูริมิในปัจจุบันส่วนใหญ่จึงเป็นการผลิตและเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็ง (จักรี, 2544)

## 2.2 โปรตีนที่มีสมบัติเกี่ยวข้องในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เนื้อปลาสด (สุทรวัดน์, 2549: จักรี, 2544)

โปรตีนปลานั้นสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด เช่นเดียวกับโปรตีนของเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ โดยแบ่งตามความสามารถในการละลาย ได้แก่ โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Myofibrillar proteins) โปรตีนซาร์โคพลาสซึม (Sarcoplasmic proteins) และโปรตีนสโตรมา (Stroma proteins)

### 2.2.1 โปรตีนซาร์โคพลาสซึม (Sarcoplasmic proteins) หรือ ไมโอเจน (Myogen)

โปรตีนซาร์โคพลาสซึมที่พบมากได้แก่ อัลบูมิน (Albumins) เอนไซม์ (enzymes) ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ชนิดต่างๆ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 25-30 ของโปรตีนทั้งหมด โดยโปรตีนซาร์โคพลาสซึมที่พบมากในกล้ามเนื้อแดงอาจจะได้แก่ ฮีโมโปรตีน (Haemoproteins) นอกจากนี้โปรตีนซาร์โคพลาสซึมเป็นโปรตีนในกล้ามเนื้อปลาที่มีความสามารถละลายได้ในน้ำหรือสารละลายเกลือเจือจางที่มีความเข้มข้นของไอออนต่ำกว่า 0.1 (Ionic strength) (Nakagawa, Watabe, and Hashimoto, 1988) ซึ่งโปรตีนซาร์โคพลาสซึมนี้มักจะหายไปในช่วงขั้นตอนการล้างน้ำในกระบวนการผลิตซูริมิ โดยทั่วไปพบว่าปริมาณของโปรตีนซาร์โคพลาสซึมในปลาผิวน้ำ เช่น ปลาซาร์ดีน (Sardine) และปลาแมคเคอเรล (Mackerel) จะมีปริมาณสูงกว่าในปลาที่หากินตามหน้าดิน เช่น ปลา Plaice และ ปลา Snapper เป็นต้น สำหรับผลของโปรตีนซาร์โคพลาสซึมต่อคุณภาพของเจลที่เตรียมได้จากปลานั้นพบว่า โปรตีนดังกล่าวมีผลไปขัดขวางการสร้างโครงร่างตาข่ายสามมิติ (Gel network) ของโปรตีนไมโอซินในการเกิดเจล ทำให้เจลสามารถอุ้มน้ำได้น้อย (Water holding) ค่าความแข็ง (Hardness) และความยืดหยุ่น (Elasticity) ต่ำ ดังนั้นในกระบวนการการผลิตผลิตภัณฑ์จากปลาเพื่อให้ได้เจลที่มีคุณภาพดีนั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการล้างเนื้อปลาด้วยน้ำเพื่อกำจัดเลือด กลิ่นคาวปลา และที่สำคัญคือกำจัดโปรตีนซาร์โคพลาสซึมออกไป (Smith, 1991; Sikorski, and Kotakowska, 1994)

### 2.2.2 โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Myofibrillar proteins)

โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 70-80 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด (คิดเป็นร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม) ซึ่งเป็นโปรตีนเกี่ยวข้องในกลุ่มนี้ได้แก่ แอกติน (actin) ไมโอซิน (myosin) โทรโปไมโอซิน (tropomyosin) โทรโปนิน (Troponin) ชนิด C, I และ T โดยโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous) ซึ่งใช้ในการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ โปรตีนในกลุ่มนี้สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นไอออนประมาณ 0.45-0.60 ดังนั้นจึงสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

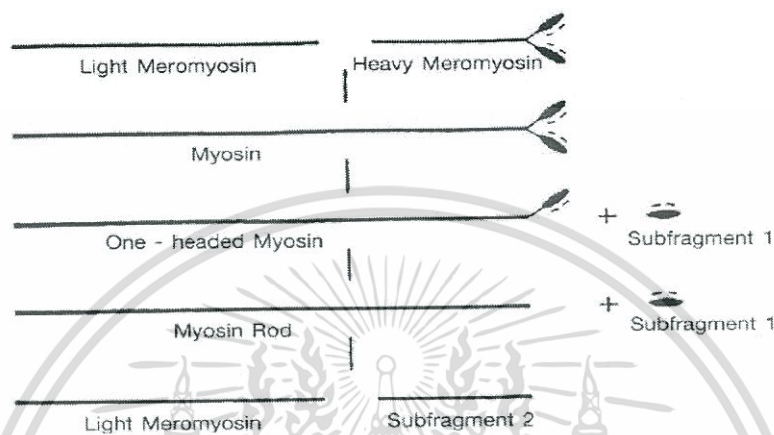
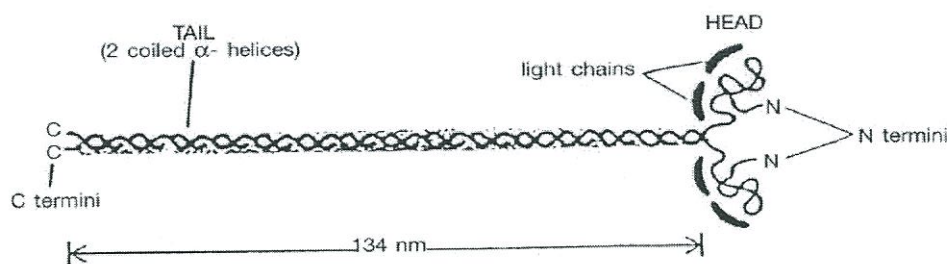
แยกโปรตีนเหล่านี้ออกจากเนื้อปลาสดได้ โดยการล้างเนื้อปลาสดด้วยสารละลายเกลือที่มีความเป็นกลาง และมีความเข้มข้นของอออนที่อยู่ในช่วงดังกล่าว ซึ่งความสามารถในการละลายในสารละลายเกลือของโปรตีนชนิดนี้พบว่ามีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระดับการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Suzuki, 1981)

### 2.2.2.1 ไมโอซิน (Myosin)

ไมโอซิน (Myosin) เป็นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนในกลุ่มนี้ โดยโมเลกุลมีลักษณะเป็นสายยาวขนาดใหญ่มวลโมเลกุลประมาณ 500,000 ดาลตัน ประกอบด้วยโปรตีน 2 หน่วยย่อย (Subunit) คือไมโอซินสายหลัก (Myosin heavy chain; MHC) 2 สายและไมโอซินสายเบา (Myosin light chain; MLC) 4 หน่วยย่อย (รูปที่ 2.3) ไมโอซินสายหลักแต่ละสายประกอบด้วยส่วนหัว ซึ่งมีรูปร่างเป็นก้อนกลม เรียกว่า Globular head และส่วนหาง ซึ่งส่วนหางของไมโอซินสายหลักแต่ละสายจะพันรอบซึ่งกันและกันเป็นเกลียวแอลฟาฮีลิกซ์ ( $\alpha$ -helix) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง (Rod shape) และแต่ละสายของไมโอซินสายหลักจะมีขนาด 200,000 ดาลตัน ที่บริเวณส่วนหัวของไมโอซิน (Globular head) สามารถแสดงกิจกรรมของเอนไซม์เอทีพีเอส (ATPase) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ ATP (Adenosine triphosphate) เกิดเป็น ADP (Adenosine diphosphate) และพลังงานซึ่งใช้ในการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อนอกจากนี้ที่บริเวณส่วนหัวของไมโอซินยังมีความสามารถจับกับแอกติน (Actin binding site) ซึ่งมีความสำคัญขณะหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อ สำหรับไมโอซินสายเบาจะมีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ โดยในการเกิดเจลพบว่าไมโอซินมีบทบาทช่วยให้เกิดความเหนียวและเจลที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีโมเลกุลของไมโอซินมีหมู่ซัลไฮดริลที่เป็นอิสระและจะว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีจึงทำให้โมเลกุลไมโอซินเกิดการเปลี่ยนแปลงง่าย ถูกย่อยได้ง่ายด้วยทริปซิน และไคโมทริปซิน (Alais and Linden, 1991; Sikorski, and Kotakowska, 1994)

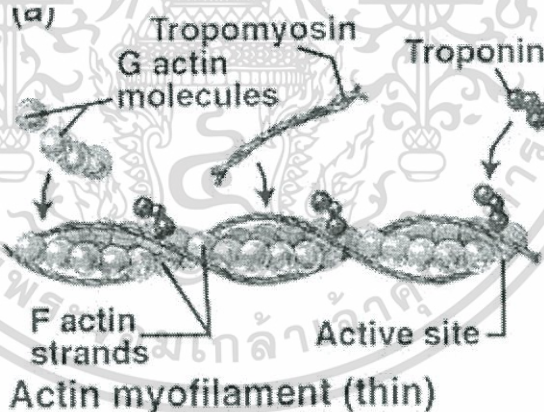
### 2.2.2.2 แอกติน (actin)

แอกติน เป็นโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบรองลงมาโดยมีปริมาณร้อยละ 20 ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (รูปที่ 2.4) หน่วยย่อยของแอกติน คือ จี-แอกติน (G-actin) ประกอบด้วย 8 Chains of actin F-actin กรดอะมิโนจำนวน 374-375 ตัว และมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 42,000-48,000 ดาลตัน จี-แอกติน มีรูปร่างเป็นก้อนกลมและมีการจับตัวกันเป็นสายยาวเกิดเป็นเส้นใย เรียกว่า เอฟ-แอกติน (F-actin) สายยาวของเอฟ-แอกตินพันเรียงตัวเป็นเกลียวในลักษณะของแอลฟาฮีลิกซ์ และสามารถมีอันตรกิริยากับส่วนหัวของไมโอซิน (Alais and Linden, 1991; Sikorski and Kotakowska, 1994)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของ Myosin

ที่มา : McCormick (1994)



ภาพที่ 2.4 โมเลกุลโปรตีนแอคติน

ที่มา: <http://www.sivabio.50webs.com/mus.htm>

### 2.3.3 โปรตีนสโตรมา (Stroma proteins)

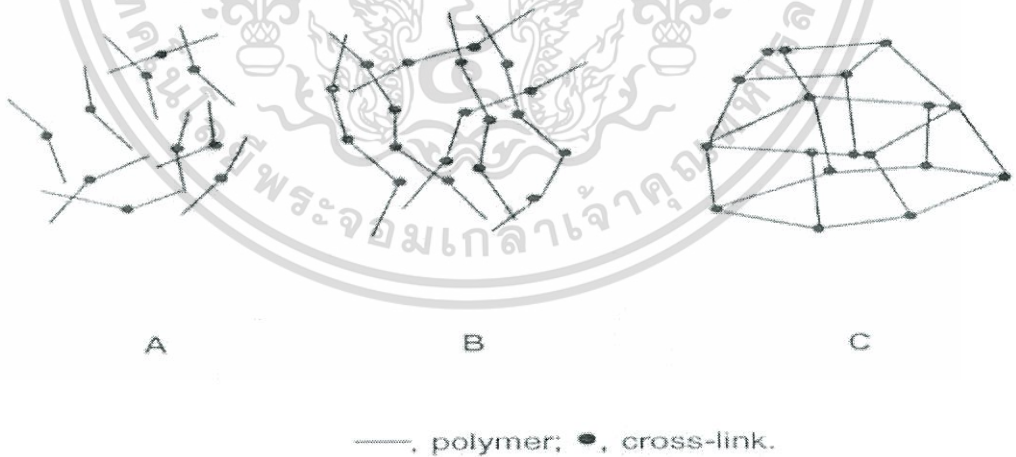
โปรตีนสโตรมา (Stroma protein) เป็นโปรตีนในส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) เป็นเนื้อเยื่อที่ช่วยยึดระหว่างเซลล์หรือกลุ่มของเนื้อเยื่ออื่นๆให้มีโครงสร้าง หรือรูปร่างที่มีความแข็งแรงโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนในกลุ่มนี้ไม่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำ กรด ด่าง เจือจาง และ สารละลายเกลือที่เป็นกลางที่มีความเข้มข้น 0.01-0.1 โมลาร์ ส่วนประกอบของโปรตีนชนิดนี้ ได้แก่ คอลลาเจน (Collagen) และอีลาสติน (Elastin) (Alais and Linden, 1991; Sikorski and Kotakowska, 1994) ซึ่งคิดเป็นปริมาณร้อยละ 3 ของปลาจำพวก teleostei และประมาณร้อยละ 10 ในของปลาจำพวก elasmobranchii คิดเป็นร้อยละ 17 เมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

### 2.3 กลไกการเกิดเจล (Gelation) (สุทรวัดน์, 2549 : จิรวัดน์, 2541)

โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบส่วนที่สำคัญของการสร้างเจลที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล ซึ่งขั้นตอนการล้างน้ำสามารถกำจัดโปรตีนที่ละลายน้ำออกไป สำหรับเนื้อปลาสดที่ผ่านการล้างน้ำในภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า ซูริมิ (surimi) ซึ่งเป็นการทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์นั้นเข้มข้น ซึ่งความเข้มข้นของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์นั้นจะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของเจลที่ได้ สำหรับความสามารถในการเกิดเจล (gel forming ability) นั้น เนื่องจากโปรตีนไมโอซิน (myosin) และแอคติน (actin) ที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์จับตัวกันเป็นแอคโตไมโอซิน (actomyosin) จึงทำให้ซูริมิจึงมีความเหนียวมากขึ้น มีลักษณะขุ่นหนืดที่เรียกว่าโซล (sol) และเมื่อให้ความร้อนกับโซลจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติและจับตัวกันเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติที่มีความคงตัว เรียกว่าเจล (gel) โดยสำหรับการประเมินคุณภาพของเจลซูริมิที่ได้ สามารถวัดได้จากความขาว (whiteness) และความแข็งแรงเจล (gel strength) ที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.5 แบบจำลองการก่อตัวโครงร่างตาข่ายของเจล  
ที่มา : Niwa (1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนแอกโตไมโอซินระหว่างการให้ความร้อนเพื่อเตรียมเจลจากซูริมิ Sano และคณะ(1994) อธิบายว่าความร้อนส่งผลให้โปรตีนแอกโตไมโอซินเริ่มคลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส และการคลายตัวของโปรตีนจะเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในช่วง 30-50 องศาเซลเซียส การคลายตัวดังกล่าวจะมีผลให้หมู่ไม่ชอบน้ำและหมู่ซัลไฮดริลมาอยู่บนผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน อันตรกิริยาระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ และพันธะไดซัลไฟด์จึงเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมินี้ ดังนั้นในระบายนี้อันตรกิริยาระหว่างโปรตีนจะเริ่มเกิดขึ้นเช่นกัน โดยการรวมตัวของโปรตีนจะเกิดขึ้นสูงสุดระหว่างอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของระบบสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส โปรตีนไมโอซินจะแยกตัวออกจากโปรตีนแอกโตไมโอซิน ทั้งนี้โปรตีนเหล่านี้ต่างสามารถจับตัวระหว่างกันและกันได้ โดยผลจากการจับตัวดังกล่าวจะก่อให้เกิดโพลีเมอร์ของโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่ำ การจับตัวกันของโปรตีนที่อุณหภูมิสูงนี้ได้รับการเสนอว่าพันธะไดซัลไฟด์เป็นพันธะที่มีบทบาทมากที่สุด ขณะที่การเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ มีความสำคัญรองลงมา (สุทธวัฒน์, 2549)



ภาพที่ 2.6 แบบจำลองการรวมตัวกันของโปรตีนไมโอซินเมื่อได้รับความร้อน

ที่มา : Chan *et al.*, 1993

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่อาจเกิดขึ้นในช่วงที่สูญเสียสภาพธรรมชาติความร้อนของ actomyosin ในธรรมชาติ

Temp (°C)	Protein (s) segment involved	Description of event
30-35	Native tropomyosin	Thermally dissociated from the F-actin backbone
38	F-actin	Super helix dissociates into single
40-45	Myosin	Dissociates into light and heavy chains
	Head	Possibly some conformational change
	Hinge	Helix to random coil transformation
45-50	Actin , Myosin	Actin-myosin complex dissociates
50-55	Light meromyosin	Helix to coil transformation and rapid aggregation
>70	Action	Major conformational changes in the G-actin monomer

ที่มา : Ziegler และ Aton (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกลไกการเกิดเจลของโปรตีนปลา (Gelation) พบว่า ไมโอซินซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์นั้นเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญที่มีผลต่อการเกิดเจล (Asghar, Samejima และ Yasui, 1985) เนื่องจากเกิดโปรตีนเกิดการจัดเรียงตัวประสานกันอย่างมีระเบียบ เกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหเหล่านั้น ซึ่งเจลที่ได้จะมีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้มีความยืดหยุ่นสูง ส่วนแอกตินนั้นไม่มีคุณสมบัติในการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้าง 3 มิติ แต่อย่างไรก็ตาม Yasui และคณะ (1980) พบว่า ตัวอย่างเจลที่มีส่วนผสมระหว่างไมโอซิน และแอกตินมีค่าความแข็งแรงมากกว่าตัวอย่างที่มีไมโอซินแต่เพียงอย่างเดียว จึงถือว่าแอกตินมีผลส่งเสริมความแข็งแรงของเจล (Synergistic effect) นอกจากนี้กลไกการเกิดเจลของไมโอซินอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของปลา เนื่องจากเกิดการสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิม (Denaturation) และการรวมตัวกัน (Aggregation) ของไมโอซิน และไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนในปลาแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน สำหรับพันธะที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของซูริมีเจลคือแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก ซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของไมโอซิน พันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นพันธะโคเวเลนต์ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก โดยกรดอะมิโนที่สร้างพันธะนี้ได้จะต้องมีหมู่ซัลไฮดริล (sulfhydryl group, -SH) นอกจากนี้การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล Myosin heavy chain (MHC) ด้วยพันธะโคเวเลนต์ของกลุ่มแกมมา-คาร์บอกซีเอไมด์ ( $\gamma$ -Carboxyamide) ระหว่างกลูตามีน (Glutamine) และกลุ่มแอฟซิลอน-อะมิโนของกรดอะมิโนไลซีน ( $\epsilon$ -amino -lysine) เนื่องจากการเร่งปฏิกิริยาของทรานส์กลูตามิเนส ซึ่งผลทำให้ได้เจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย (จิรวัดน์, 2541)

## 2.4 การปรับปรุงคุณภาพของซูริมี

### 2.4.1 แป้ง

แป้ง เป็นโพลิเมอร์คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในพืชทุกชนิด ซึ่งเป็นอาหารสะสมที่สำคัญในพืชและให้พลังงานแก่คนได้ถึงร้อยละ 70-80 ของแคลอรีที่ต่อร่างกายการบริโภค มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่อัลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกปลายรีดิวซิง (reducing end group)

แป้งอยู่ในรูปที่เรียกว่า กรานูล (granule) มีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช อาจจะได้มาทั้งอยู่ในรูปธรรมชาติและในรูปดัดแปลง (modified starch) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคสแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะโครงสร้างคือ อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น และอะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสแต่เล็กกว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า "intermediate material" แต่พบในปริมาณไม่มาก โดยแป้งแต่ละชนิดมีสัดส่วนของสารทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และโดยทั่วไปจะประกอบด้วยอะไมโลสร้อยละ 20-25 และอะไมโลเพคตินร้อยละ 75-80 ยกเว้นเมล็ดธัญชาติบางชนิดมีแต่อะไมโลเพคติน เช่น แป้งข้าวเหนียว (รังสิณี, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของอะไมโลสของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	ปริมาณอะไมโลส (%)
ข้าวเจ้า	16
ข้าวบาร์เลย์	27
ข้าวโพด	26
ข้าวสาลี	25
มันสำปะหลัง	20
มันเทศ	18
มันฝรั่ง	20
กล้วย	21

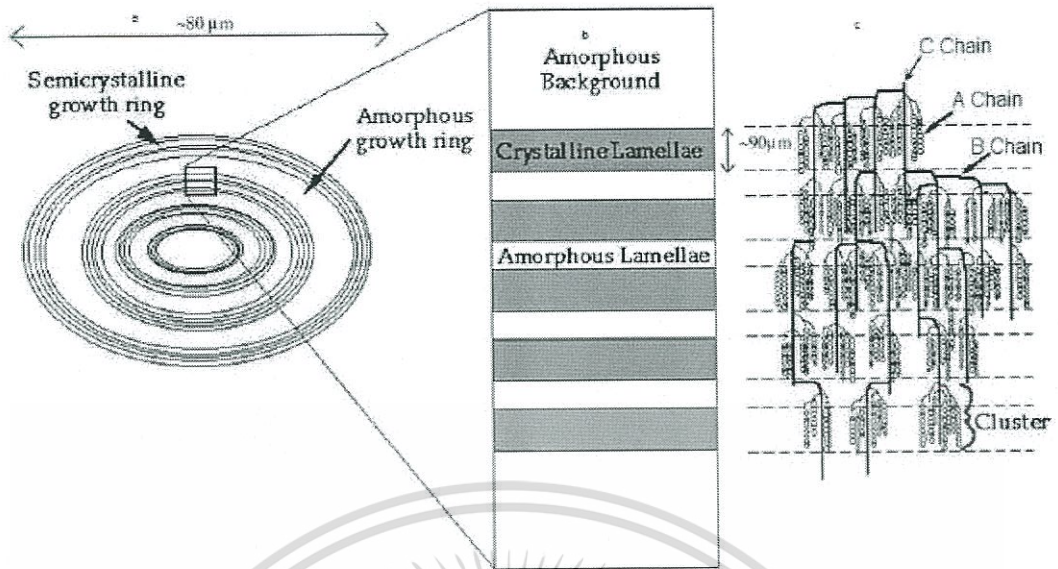
ที่มา : รังสินี (2553)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นกิ่ง
พันธะที่จับ	$\alpha$ -1,4	$\alpha$ -1,4 และ $\alpha$ -1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นก้อนและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา : Beynum และ Roels (1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 แผนภาพภาพของโครงสร้างของเม็ดแป้ง

(a) เม็ดแป้งเดี่ยวเปรียบเทียบกับลักษณะของวงแหวนในแต่ละชุดของอสังฐานของผลึก

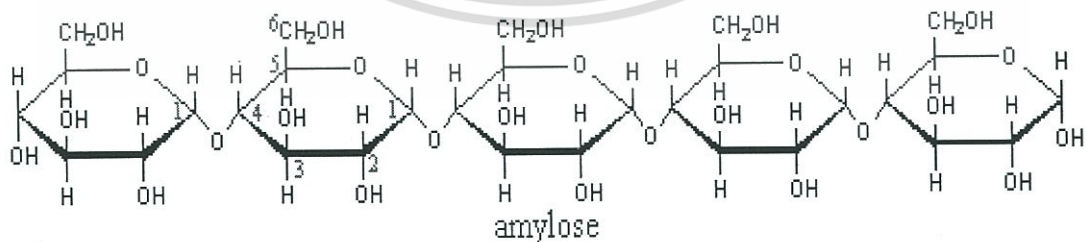
(b) อสังฐานและส่วนผลึก

(c) ห่วงโซ่ของการจัดเรียงของอะไมโลเพคตินในโครงสร้าง Cluster

ที่มา : Jenkins และ Donald (1995)

#### 2.5.1.1 อะไมโลส (amylose)

อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นประเภทโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในโมเลกุลของสตาร์ช (starch) สตาร์ชจากพืชต่างชนิดกันมีปริมาณอะไมโลสต่างกันซึ่งที่เหลือเป็นอะไมโลเพคติน (amylopectin) อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Hizukuri, 1985)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา : [www.rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb1/part2/sugar.htm](http://www.rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb1/part2/sugar.htm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

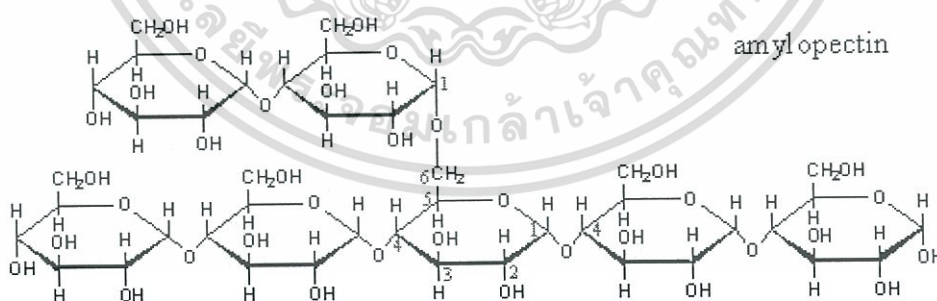
โมเลกุลของอะไมโลส เป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลดี-กลูโคส (D-glucose) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ชนิด  $\alpha$ -1,4 ประมาณ 200-2,000 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสอยู่ในช่วง  $10^5$ - $10^6$  ดาลตัน มีโครงสร้างขดกันเป็นเกลียว helix structure และสามารถละลายได้ในน้ำร้อน โดยจะผันแปรไปตามชนิดของสตาร์ช ขนาด และน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส มีผลมาจาก Degree of Polymerization (DP) ของอะไมโลสที่แตกต่างกัน ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะไมโลสบางส่วนอยู่ในในกลุ่มอะไมโลเพคติน บางส่วนกระจายอยู่ในทั้งในส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) ในแป้งสาลีพบอะไมโลสอยู่ในส่วนอสัณฐาน ส่วนในแป้งมันฝรั่งพบอะไมโลสอยู่ร่วมกับอะไมโลเพคตินในส่วนของผลึก

อะไมโลสในสตาร์ชของมันฝรั่งและสตาร์ชของมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 จะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในสตาร์ชของข้าวโพดและข้าวสาลี ที่มี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 200 ถึง 1,200 สตาร์ชชนิดที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มของการคืนตัวหรือการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ต่ำลง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี มีปริมาณอะไมโลสสูง ประมาณร้อยละ 22-30 ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาकुจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า คืออยู่ในช่วงร้อยละ 18-24

### 2.5.1.2 อะไมโลเพคติน (amylopectin)

อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ  $\alpha$ -1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 6-glycosidic linkage



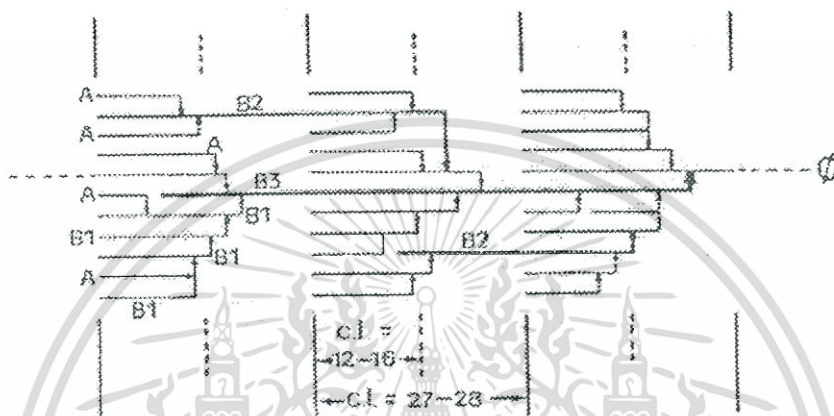
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา : [www.rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb1/part2/sugar.htm](http://www.rpi.edu/dept/bcbp/molbiochem/MBWeb/mb1/part2/sugar.htm)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 6-glycosidic linkage หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ  $\alpha$ -1, 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

glycosidic linkage มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือ ประมาณ  $10^7$  ถึง  $10^9$  ดาลตัน และมีการคั่นตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง อะไมโลเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)



ภาพที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างอะไมโลเพคตินที่ประกอบด้วยสาย A, B และ C  
ที่มา : Hizukuri (1986)

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพคตินประกอบด้วยสายโซ่ (chain) 3 ชนิด คือ

- สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)
- สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สาย หรือมากกว่า สายโซ่แบบ B นี้ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อย B1, B2, B3 และ B4 ซึ่งมีความยาวคร่อมหนึ่ง สอง สามและสี่คลัสเตอร์ (cluster) ตามลำดับ
- สาย C (C-chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพคติน แต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

ความยาวของสายกิ่งอะไมโลเพคตินมีตั้งแต่ขนาดเล็กซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 45-60 หน่วยประกอบด้วยสาย B สายยาว สายโซ่เหล่านี้อยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster)

สำหรับอะไมโลเพคตินของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง สายส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 80-90 ประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยวๆและสายที่เหลืออีกร้อยละ 10-20 จะเป็นส่วนเชื่อมต่อของแต่ละกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยสายประมาณ 22-25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกของเมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้ง ในการจับกันเป็นกลุ่มของอะไมโลเพคตินทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งช่วยให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยาด้วยกรดและเอนไซม์ การเกิดเกลียวคู่ของอะไมโลเพคตินต้องใช้พันธะไฮโดรเจนและแรงวนเตอร์วาลส์ในการเชื่อมต่อกัน กิ่งอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้งสามารถเกิดผลึกได้ ทั้งกิ่งที่อยู่ใกล้กันในกลุ่ม(cluster) หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่ใกล้กัน (กล้านรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

## 2.4.2 แป้งมันสำปะหลัง

ถิ่นกำเนิดของมันสำปะหลัง อาจกล่าวได้ว่าอยู่ในอเมริกาใต้ บราซิล/เม็กซิโก มีการเรียกชื่อต่าง ๆ กันตามรากศัพท์ภาษาอังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน โปรตุเกส เช่น cassava, mandioca, yucca, tapioca และ manioc ในทางพฤกษศาสตร์มันสำปะหลังเป็นพืชในวงศ์ (Class) ใบเลี้ยงคู่ (Dicotyledoneae) ตระกูล (Family) Euphobiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. โดยชื่อเดิมมีการใช้ชื่อว่า *Manihot utilissima* Pohl. (กล้านรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

แป้งมันสำปะหลัง (cassava flour หรือ tapioca flour) คือ ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ได้จากการนำหัวมันสำปะหลังสดไปล้างทำความสะอาด แยกเอาดินหรือสิ่งสกปรกออก แล้วนำไปชูดเปลือกออกพร้อมกับสับให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปบดย่อย พร้อมทั้งแยกเอากากมันสำปะหลัง และน้ำแป้งออกจากกัน โดยตามนิยามของแป้งมันสำปะหลังตามประกาศกระทรวงพาณิชย์(2547) แป้งแป้งมันสำปะหลังออกเป็นดังนี้

“แป้งมันสำปะหลัง” หมายความว่า แป้งมันสำปะหลังประเภทสตาร์ช (Tapioca Starch) และแป้งมันสำปะหลังประเภทโมดิไฟด์สตาร์ช (Tapioca Modified Starch)

“แป้งมันสำปะหลังประเภทสตาร์ช (Tapioca Starch)” หมายความว่า แป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง เมื่อผ่านกระบวนการผลิต มีสีขาวหรือสีครีมอ่อน

“แป้งมันสำปะหลังประเภทโมดิไฟด์สตาร์ช (Tapioca Modified Starch)” หมายความว่า แป้งที่ได้จากการนำแป้งมันสำปะหลังมาเปลี่ยนสมบัติทางเคมี และ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้

จากการศึกษาด้านจุลภาพเม็ดแป้งเป็นสารประกอบ โดยมากมีลักษณะรูปไข่ตัดปลายด้านหนึ่งเว้าเข้าข้าง เม็ดเป็นโค้งด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งราบเรียบ โดยปกติเม็ดแป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำคือ ร้อยละ 18-23 (Defloor และคณะ, 1998a) และมีขนาดแตกต่างกัน โดยมีค่า degree of polymerization (DP) ตั้งแต่ 1,100-3,220 (Sriroth และคณะ, 1999b; Suguki และคณะ, 1985) ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการวัดขนาด โครงสร้างของอะไมโลสจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงและส่วนที่เป็นกิ่ง โดยอัตราส่วนของโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงต่อโครงสร้างที่เป็นกิ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.58 ต่อ 0.42 (Takeda และคณะ, 1987) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพด (0.56 : 0.44)

ลักษณะของแป้งมีสีขาว เนื้อเนียน ลื่นเป็นมัน เมื่อทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำไฟอ่อนปานกลาง แป้งจะละลายง่าย สุกง่าย แป้งเหนียวติดภาชนะ หนืดข้นขึ้นเรื่อยๆ ไม่มีการรวมตัวเป็นก้อน เหนียวเหนียวติดกันหมด เนื้อแป้งใสเป็นเงา พอเย็นแล้วจะติดกันเป็นก้อนเหนียว ติดภาชนะ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมมากเมื่อนำมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะในอาหารจะไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม คุณสมบัติของแป้งตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะของแป้งมันสำปะหลังประเภทสตาร์ช

คุณภาพ		ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3
ความชื้น	ร้อยละ ไม่เกิน	13	14	14
แป้ง	ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	97.5	96	94
เถ้า	ร้อยละ ไม่เกิน	0.15	0.3	0.5
เถ้าที่ไม่ละลายในกรด	ร้อยละ ไม่เกิน	1.05	0.1	0.15
โปรตีน	ไม่เกิน	0.3	0.3	0.3
เยื่อ (ลบ.ชม./50กรัมก่อนอบแห้ง)	ร้อยละ ไม่เกิน	0.2	0.5	1.0
ความเป็นกรด-ด่าง	ตั้งแต่	4.5-7	3.5-7	3.0-7
ความละเอียดแป้งที่สามารถผ่านตะแกรง ขนาด 150 ไมโครเมตร	ร้อยละ ไม่เกิน	95	95	95

หมายเหตุ : คำนวณจากน้ำหนักแห้งเป็นร้อยละ  
ที่มา : มอก เลขที่ 274-2521

#### 2.4.3 แป้งสาลี

ปริมาณองค์ประกอบหลักที่กระจายในเมล็ดข้าวสาลี จะปรากฏในส่วนของเนื้อของเมล็ดมีสตาร์ช โปรตีน และไขมัน มากกว่าแร่ธาตุและเส้นใย ส่วนรำจะมีเส้นใยมาก แร่ธาตุรองลงมา มีไขมันและโปรตีนเล็กน้อย และเกือบไม่มีสตาร์ชเลย โดยสำหรับคัพภะจะมีไขมัน แร่ธาตุ และโปรตีนมาก แต่มีเส้นใยน้อย และไม่มีสตาร์ช

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่างๆของเมล็ดข้าวสาลี

ส่วนของเมล็ด	น้ำหนักกรัมต่อ 100กรัม	องค์ประกอบ %				
		สตาร์ช	โปรตีน	เส้นใย	ไขมัน	แร่ธาตุ
รำ	15	0	20	92	30	67
เนื้อของเมล็ด	82	100	72	5	50	23
คัพภะ	3	0	8	3	20	10

ที่มา : Kent (1975)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์ (มอก.375-2524) ได้ให้ความหมายของคำนิยามไว้ว่า

“เมล็ดข้าวสาลี (wheat kernel)” หมายถึง เมล็ดที่ได้จากต้นข้าวสาลีชนิดคอมมอน(common wheat) ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ตรีติคัม อีสติวัม (Triticum aestivum) หรือต้นข้าวสาลีชนิดคลับ (Club wheat) ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ตรีติคัม คอมแพคตัม (Triticum compactum) หรือต้นข้าวสาลีชนิดดูรัม (durum wheat) ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ตรีติคัม ดูรัม (Triticum durum) ที่เอาเปลือกหุ้มเมล็ดออกแล้ว

“แป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์” หมายถึง แป้งสาลีที่ได้จากการสีและบดเมล็ดข้าวสาลีชนิดคอมมอนหรือข้าวสาลีชนิดคอมมอนผสมกับคลับและ/หรือดูรัมซึ่งปราศจากสิ่งแปลกปลอม

แป้งข้าวสาลี (wheat flour) เป็นแป้ง (flour) ที่ได้จากเมล็ดของข้าวสาลี (wheat) โดยข้าวสาลีที่นำมาไม่แป้งมีอยู่ 2 ชนิด คือข้าวสาลีชนิดแข็ง (Hard Wheat) และข้าวสาลีชนิดอ่อน (Soft Wheat) โดยใช้ส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์ม นำมาไม่ (milling) ให้เป็นผงละเอียด มีลักษณะเป็นผงมีสีขาว เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะร่วนเหลวไม่อยู่ตัว มีปริมาณอะไมโลสประมาณ 23-28% (กลั่นรงค์และเกื้อกุล, 2546) แป้งสาลีมีโปรตีนที่ทำให้แป้งสาลีมีสมบัติเฉพาะที่ต่างจากแป้งอื่นๆ ปริมาณของโปรตีนสองชนิดที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมคือ กลูเตนิน และไกลอะดิน ซึ่งเมื่อนำมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องจะทำให้เกิดสารชนิดหนึ่งเรียกว่า “กลูเตน” จะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (disulfidebond) ทำให้ได้กลูเตน (gluten) ซึ่งมีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น คุณสมบัติของกลูเตน คือ เป็นตัวเก็บก๊าซเอาไว้ ทำให้เกิดโครงสร้างที่จำเป็นของขนม และจะเป็นโครงสร้างแบบพองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากเตาอบ (อรอนงค์, 2532) คุณภาพของแป้งสาลีขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวสาลีซึ่งทำให้ได้ลักษณะของขนมต่างกัน

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของแป้งสาลี

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
แป้งสตาร์ช (starch)	70
ความชื้น	15
โปรตีน	11.5
น้ำตาล	1
ไขมัน	1
แร่ธาตุ	0.2
อื่นๆ	2

ที่มา : จิตธนา และ อรอนงค์ (2546)

## ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของแป้งสาลี

คุณสมบัติ	แป้งสาลี	
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	1-40	a
ปริมาณอะไมโลส (%)	24-27	b
ขนาดอะไมโลส (Degree of polymerization)	800-1600	b
อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature, °ซ)	77	c
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RUV)	65	c
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RUV)	270	c
ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity, RUV)	60	c
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลที่ไนซ์ (Onset temperature, T <sub>0</sub> , °ซ)	48-50	d
อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดเจลที่ไนซ์ (Peak temperature, T <sub>p</sub> , °ซ)	59-62	d

ที่มา : a Ellis และคณะ, 1998; b Hizukuri, 1996; c Watson, 1984;  
d Eliasson และ Gudmundsson, 1996)

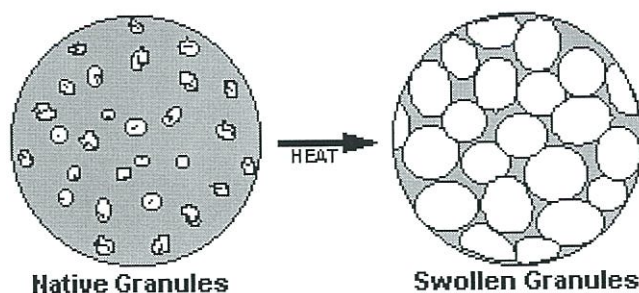
แป้งสาลีที่ผลิตออกขายในท้องตลาดทั่วไปมีอยู่ 3 ชนิด (สถาพร ถาวรธิวาสน์) คือ

- ก. แป้งขนมปัง มีโปรตีนสูง ร้อยละ 12-14 เหมาะสำหรับทำขนมปังทั่วไป
- ข. แป้งอเนกประสงค์ มีโปรตีนปานกลาง ร้อยละ 10-11 เหมาะสำหรับทำเฟสตรี้, คุกกี้, บะหมี่, ปาท่องโก๋
- ค. แป้งเค้ก มีโปรตีนต่ำ ร้อยละ 7-9 เหมาะสำหรับทำเค้ก

### 2.4.4 คุณสมบัติต่างๆ ของแป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

#### 2.5.4.1 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก, น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (bound water) และน้ำในรูปอิสระ (free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้องจนเกิดสมดุลกันระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์และแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 8-10 สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้ง จะได้สตาโรซโมโนไฮเดรต [ $n(C_6H_{10}O_5 \cdot H_2O)$ ]



ภาพที่ 2.11 การพองตัวของเม็ดแป้ง

ที่มา : [www.opta-food.com/access/starch2.html](http://www.opta-food.com/access/starch2.html)

แป้งดิบไม่ละลายในน้ำเย็นหรือน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ แต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณร้อยละ 25-30 และพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบ พันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ ส่วน amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย ทำให้โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.11)

นอกจากนี้ โมเลกุลในส่วน crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วนของ crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น

แป้งจากธัญพืช มีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ชั้น แสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และบริเวณอสัณฐานของเม็ดแป้ง แป้งจำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุดแต่มีการพองตัวและการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูง ซึ่งอะไมโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ ซึ่งตรงกันข้ามกับแป้งที่ได้จากส่วนรากหรือลำต้น เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงชั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แป้งจากส่วนรากจะเกิดเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช เช่นเดียวกับแป้งที่ได้จากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิด

แรงผลึกทางไฟฟ้าได้ การพองตัวของแป้งที่ได้จากส่วนหัวนี้จะเป็นแบบขั้นเดียว เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์

#### 2.5.4.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้งแต่ละชนิด โดยเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้นซึ่งพฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้งซึ่งการที่แป้งมีความหนืดสูงที่สุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้นและโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย

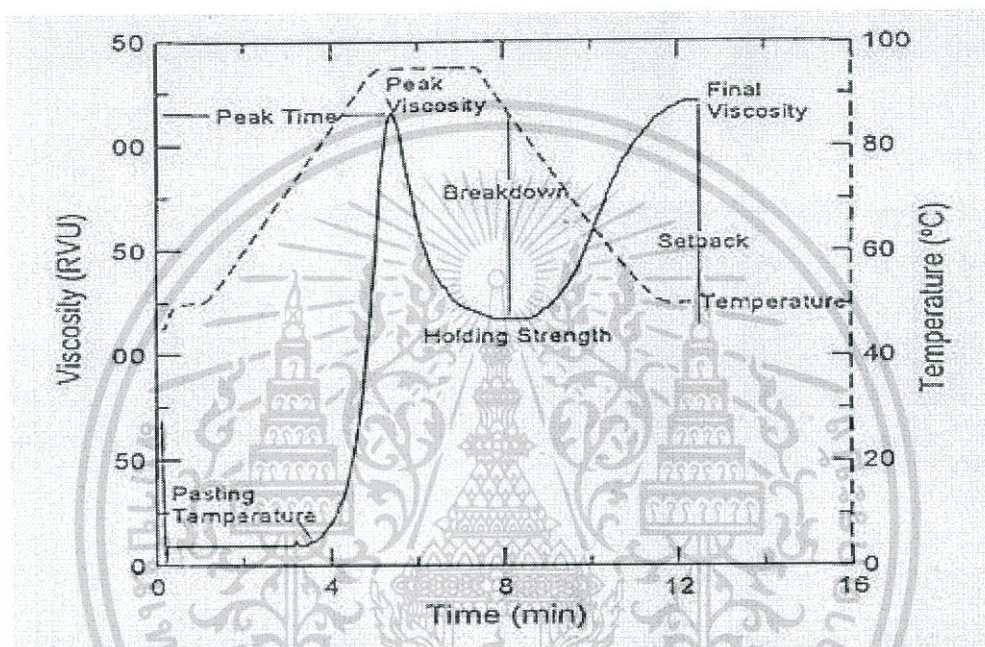
เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสูงจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง

เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกนี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน อุณหภูมิ shear rate ฯลฯ แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ชนิดของแป้ง

การวัดความหนืดของน้ำแป้ง (paste) มีหลายวิธีโดยการเลือกเครื่องมือใดนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ ตัวอย่างการใช้เครื่อง Brabender amylograph ในการติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งตลอดช่วงการให้ความร้อนและการทำให้เย็นลง โดยแสดงผลในรูปของความหนืดที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา ขั้นตอนของการวิเคราะห์คือ เตรียมน้ำแป้งในถ้วยทรงกระบอกที่มีการหมุนด้วยความเร็วคงที่และในขณะเดียวกันก็ให้ความร้อนแก่น้ำแป้งในอัตราคงที่จนถึงอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ประมาณ 10-15 นาที โดยให้มีการหมุนตลอดเวลาแล้วลดอุณหภูมิลงในอัตราเท่ากันจนถึง 50 องศาเซลเซียส รักษาระดับอุณหภูมิไว้นานประมาณครึ่งชั่วโมง ในสภาวะดังกล่าวเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อนมีการพองตัวเกิดขึ้น ทำให้เกิดความหนืดและแรงต้านบน metal pin ที่จุ่มอยู่แรงนี้จะถูกทำให้สมดุลด้วยสปริงในส่วนของ cartridge ซึ่งต่อเชื่อมกันโดยแกนในตัวเครื่องและมีเข็มบันทึกค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดการวัด หน่วยความหนืดที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Brabender Amylograph คือ Brabender Unit (B.U.) สามารถเปลี่ยนหน่วยไปเป็น centipoise ได้โดยความหนืดของสารละลายแป้งสุกร้อยละ 5 500 B.U. เทียบเท่ากับ 2700 centipoise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากเครื่อง Brabender amylograph ยังมีเครื่อง rapid visco analyser (RVA) ที่เป็นเครื่องมือเพื่อติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งอีกแบบหนึ่ง โดยการทำงานของเครื่อง RVA คล้ายกับเครื่อง Brabender viscoamylograph โดยใช้แป้งประมาณ 3 กรัม เติมน้ำ 25 มิลลิลิตร รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 50 หรือ 60 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนด้วยอัตราประมาณ 12 องศาเซลเซียสต่อนาที จนได้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ปล่อยไว้ 2-3 นาที ทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าเป็นเวลา 2 นาที เครื่องจะทำการบันทึกอุณหภูมิและ viscosity profile ที่เปลี่ยนไปกับเวลา



ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA  
ที่มา : Newport scientific Pty, Ltd. (1995)

ค่าที่เครื่องจะแสดงผลอ่านได้บนจอคอมพิวเตอร์โดยความหนืดมีหน่วยเป็น RVU ดังนี้

- Peak Time = เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (นาที)
- Pasting Temperature = อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรืออุณหภูมิที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ใน 20 วินาที (°C)
- Peak Temperature = อุณหภูมิที่เกิด peak (°C)
- Holding Strength = ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น (RVU)
- Breakdown = ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (RVU)
- Final Viscosity = ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (RVU)
- Setback Form Peak = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด peak (RVU)
- Setback Form Trough = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (RVU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

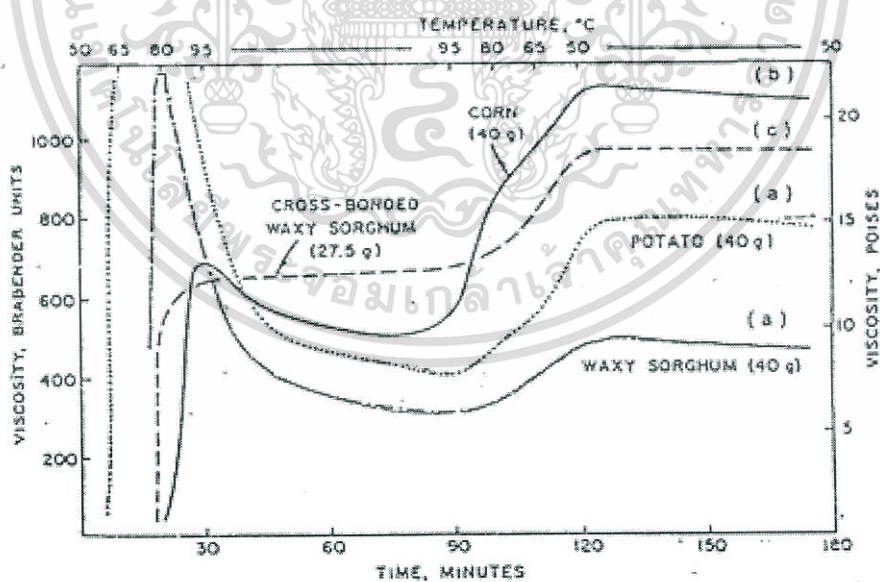
การแบ่งประเภทแป้งตามกราฟแสดงพฤติกรรมความหนืด ตามวิธีของ Schoch และ Maywald (1968) ซึ่งรูปแบบความหนืดของแป้งสุกจากแป้งชนิดต่างๆ ที่วัดด้วยเครื่อง Brabender visco amylograph แบ่งได้ 4 แบบดังรูปที่ 2.13

- แบบ a เป็นลักษณะของกราฟที่ได้จากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวสูง (High swelling starch) ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้ง waxy จากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่พืชเหล่านี้เม็ดแป้งจะมีการพองตัวมาก ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลงและเม็ดแป้งจะแตกออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ดังนั้นลักษณะกราฟของความหนืดจึงสูงขึ้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

- แบบ b เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวปานกลาง (Moderate-swelling starch) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชทั่วไป เนื่องจากเม็ดแป้งจะไม่พองตัวมากถึงกับแตกออกลักษณะกราฟของความหนืดจึงสูงขึ้นน้อยกว่า และเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

- แบบ c เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวจำกัด (Restricted-swelling starch) ได้แก่ แป้งถั่วต่างๆ และแป้งแปรสภาพทางเคมีโดยการ cross-linked การ cross-linked ภายในเม็ดแป้งทำให้การพองตัวและการละลายลดลงและยังทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ดังนั้นลักษณะกราฟของความหนืดจึงไม่ปรากฏยอดสูงสุด แต่มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างการต้มสุก

- แบบ d เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (Highly-restricted swelling starch) ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 55-70

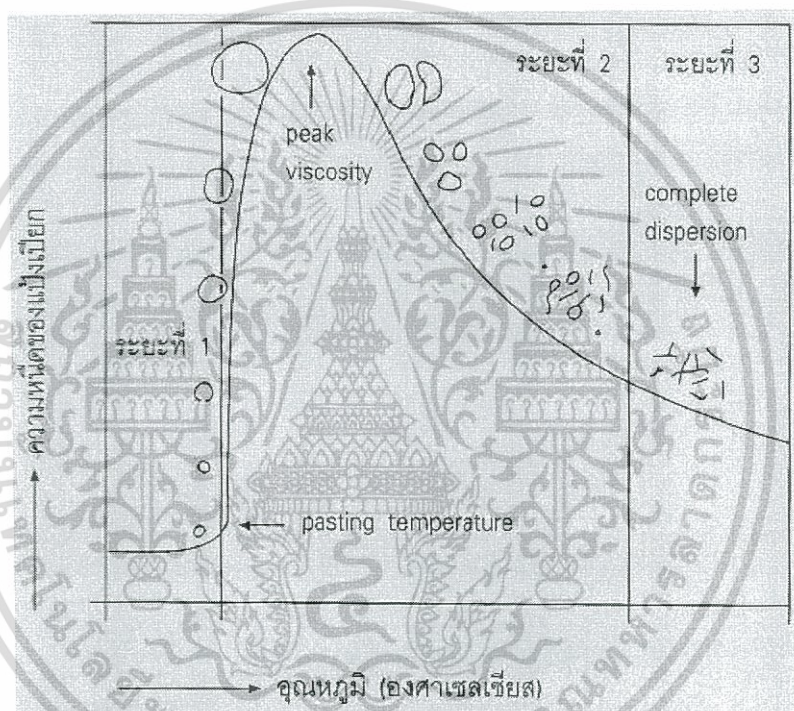


ภาพที่ 2.13 กราฟแสดงรูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่างๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว  
ที่มา : Leach (1965)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.4.3 กลไกการเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization) ในโมเลกุลของแป้งจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Groups) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach, McCowen and Schoch, 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดและใสมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลอิสระที่เหลืออยู่ ครอบงำ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน ซึ่งการเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้ง แบ่งได้ 3 ระยะ คือ



ภาพที่ 2.14 ระยะในการเกิดเจลาตินในเซชันของเมล็ดแป้ง  
ที่มา : Sanders (1996)

- ระยะที่ 1 เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบ ผ่นกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างโมเลกุลยึดหยุ่นได้อย่างจำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสกระนาบโพลาริไซต์ เมื่อทำการเติมสารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง)
- ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดน้ำเข้ามาและเกิดการพองตัวแบบผ่นกลับไม่ได้ เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน มีการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสกระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โพลาริไซต์ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าปั่นเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น
- ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลที่ไลเซนชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้ดีขึ้น

โดยในช่วงเวลาระยะที่ 3 นี้ เม็ดแป้งจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ช่วงอุณหภูมิที่แป้งมีการดูดน้ำอย่างรวดเร็ว และพองตัวขึ้นมากเรียกช่วงอุณหภูมินี้ว่า Gelatinization temperature การพองตัวอย่างเต็มที่ของเม็ดแป้งจะทำให้สูญเสียลักษณะ birefringence ซึ่งเป็นลักษณะที่บอถึงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดแป้งที่อยู่อย่างเป็นระเบียบ ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมี Gelatinization temperature range แตกต่างกันดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 Gelatinization temperature range ของแป้งชนิดต่างๆ

Starch Species Type	Gelatinization at 95°C		
	Temp. rang (°C)	Swelling power <sup>1</sup>	Solubility(%)
Potato Tuber	56 – 66	1,000	82
Tapioca Root	58.5 – 70	71	48
Corn Cereal	62 – 72	24	25
Sorghum Cereal	68.5 – 75	22	22
Wheat Cereal	52 – 63	21	41
Rice Cereal	61 – 77.5	19	18
Waxy maize Cereal	63 – 72	64	23
Waxy sorghum Cereal	67.5 - 74	49	19

<sup>1</sup>Swelling power มีค่าเท่ากับน้ำหนักของเมล็ดแป้งที่พองตัวที่ตกตะกอนออกมาต่อกรัมของแป้ง  
ที่มา : Leach (1965)

#### 2.5.4.4 กลไกการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวของแป้ง (starch) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อนำแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์ (gelatinization) มาปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลของอะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งเคยรวมตัวกับน้ำแล้วเกิดเป็นเจล จะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคสในสายจะมาเชื่อมต่อกันเอง โดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมโลสจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้เร็วกว่าอะไมโลเพคตินทำให้เกิดเป็นร่างแห 3 มิติโครงสร้างใหม่ (recrystallization) ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดซับน้ำเข้ามาอีก (Whistler และ Bemiller, 1999) ทำให้แป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้นและคงตัวมากขึ้น เกิดเจลเหนียว ชุ่มและทึบแสง และเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไป

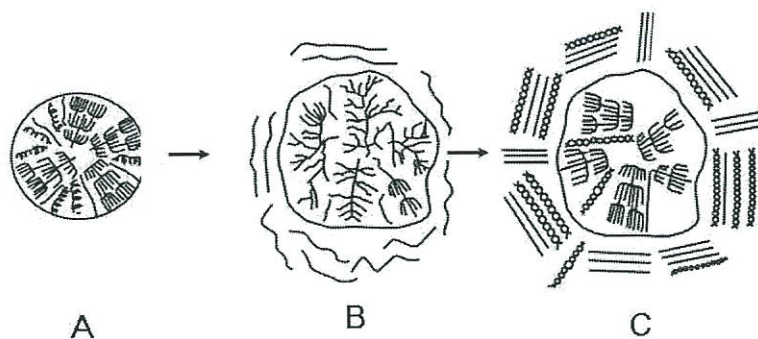
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้นและซับซ้อนขึ้นที่เคาะจับอยู่ออกจากโมเลกุล เรียกว่า syneresis ทำให้เกิดเป็นผลึกใหม่

การคืนตัวของน้ำแข็งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแข็งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิ ต่ำ แปะแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแข็งสูงแตกต่างกัน สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน คือ สัดส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินในแปง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสซึ่งเป็นเส้นตรง มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าโมเลกุลของอะไมโลเพคติน ซึ่งโครงสร้างโมเลกุลมีลักษณะเป็นกิ่ง ก้านสาขา เกะกะ ขัดขวางการเคลื่อนที่กลับมารวมกันใหม่ของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส รวมไปถึงขนาด โมเลกุลของอะไมโลสในแปงแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแข็งสูงด้วย โมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยาก นอกจากนี้อุณหภูมิของการเก็บรักษาแปงที่ทำให้เกิดเจลาติไนซ์ (gelatinization) แล้วที่อุณหภูมิต่ำจะเร่งทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วขึ้น

โดยทั่วไปแปงจากราก หัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแปงจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแปงจากราก/ หัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแปงแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแปงทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแปง ซึ่งยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันใหม่ แต่แปงจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแปงแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแปงที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแปงหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแข็งสูงช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขา ทำให้เกะกะ ยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ ดังนั้นแปงแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ในแปงข้าวโพดเหนียวจะมีอัตราส่วนการคืนตัวของแปงต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีอะไมโลสในแปงข้าวโพดเหนียว สำหรับแปงข้าวโพดและแปงสาธิตจะมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าแปงมันฝรั่งและแปงมันสำปะหลัง เนื่องจากธัญพืชมีปริมาณอะไมโลสและปริมาณไขมันสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็น Amylose-lipid complex

สำหรับการตรวจสอบความสารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแปงแต่ละชนิดสามารถวัดได้จากค่า การคืนตัว (set back) ของแปง ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (set back from peak) หรือความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (set back from trough) โดยเครื่อง Brabender หรือ RVA



ภาพที่ 2.15 Gelatinisation และ retrogradation ของแป้ง

(A) native starch

(B) Gelatinised starch

(C) : Retrograded starch

ที่มา : <http://www.food-info.net/uk/carbs/starch.htm>

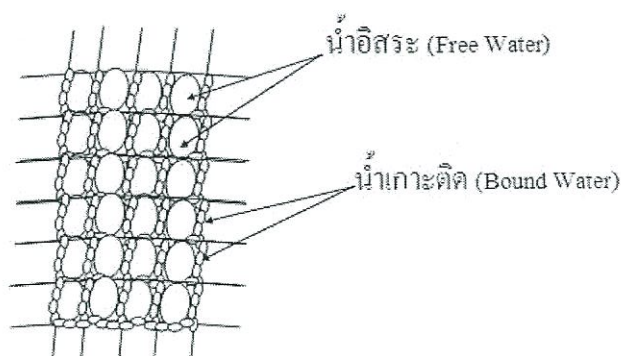
## 2.5 กระบวนการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน

### 2.5.1 ความชื้นในอาหาร

ค่าความชื้นหรือน้ำในผลิตภัณฑ์ คือปริมาณน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น น้ำอิสระ (Free Water) และน้ำเกาะติด (Bound Water) รูปร่างของน้ำทั้งสองแสดงในภาพที่ 2.16 โดยน้ำอิสระเป็นน้ำส่วนใหญ่ที่เจอในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งอยู่รอบ ๆ และในเซลล์ของอาหาร สามารถทำให้น้ำชนิดนี้ออกได้โดยการระเหยน้ำออกด้วยความร้อน ส่วนน้ำเกาะติดเป็นน้ำที่เกาะยึดอยู่กับโครงสร้างของอาหาร โดยแยกออกจากอาหารได้ยาก เกาะติดกับสารอื่นด้วยพันธะทางเคมีที่แข็งแรง น้ำเกาะติด สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน และแต่ละชนิดอธิบายได้ ดังนี้ (ทnungศักดิ์, 2554 )

- น้ำเกาะติดชนิดโมโนเลเยอร์ หรือ โมเลกุลาร์เลเยอร์ (Monolayer or Molecular Layer) เป็นน้ำอยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่อของอาหารหรือผลิตภัณฑ์ เกาะติดกับผลิตภัณฑ์ด้วยพันธะที่แข็งแรงมากไม่สามารถระเหยด้วยความร้อนธรรมดา จุลินทรีย์ไม่สามารถนำน้ำส่วนนี้ไปใช้ได้
- น้ำเกาะติดชนิดมัลติเลเยอร์ หรือ มัลติโมเลกุลาร์เลเยอร์ (Multilayer or Multimolecular Layer) เป็นน้ำในอาหารที่เกาะติดอยู่กับน้ำส่วนแรก มีคุณสมบัติเป็นตัวกระจายสารอาหารอื่นได้ ทำให้มีผลต่อความดันไอของอาหาร แต่เป็นน้ำที่จุลินทรีย์ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ การกำจัดน้ำส่วนนี้ต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติในการระเหย
- น้ำในแคพิลลารี (Capillary Water) เป็นน้ำเกาะติดอยู่กับน้ำในส่วนที่สองอย่างหลวมๆ จุลินทรีย์บางชนิดที่ต้องการความชื้นต่ำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 ลักษณะของน้ำอิสระและเกาะติดในอาหารหรือผลิตภัณฑ์

ที่มา : <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=13986>

### 2.5.2 การลดความชื้น

การลดความชื้นหรือการอบแห้งเป็นการระเหยความชื้นของส่วนที่ประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ออกจากผลผลิตเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ซึ่งในระดับครัวเรือนที่มี ปริมาณการผลิตที่อาจไม่มากนักนิยมการลดความชื้นด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์ ที่เป็นแหล่งพลังงานความร้อนซึ่งไม่มีค่าใช้จ่าย แต่ในระดับอุตสาหกรรมซึ่งมีปริมาณการผลิตมาก จำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานที่สามารถควบคุมได้ เช่น แก๊สหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า ตลอดจนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น

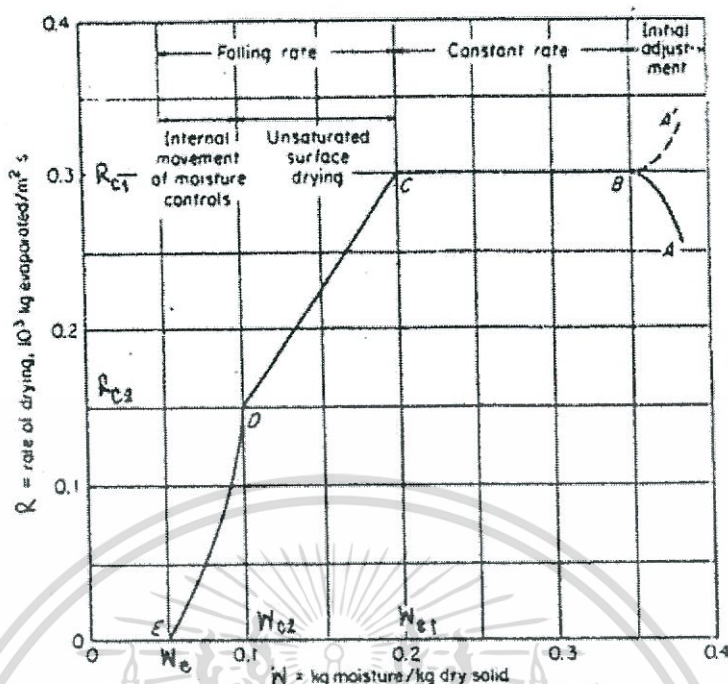
คำจำกัดความของการลดความชื้น คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยัง วัสดุที่มีความชื้นเพื่อนำความชื้นออกโดยการระเหย ทำให้ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ โดยใช้ความร้อนแฝงของการระเหยเป็นการทำให้วัสดุแห้ง คำว่า “ความชื้น (Moisture)” ประกอบไปด้วยน้ำ(Water) น้ำมันหอมระเหย(Volatile Oils) ไขมัน(Greases) แอลกอฮอล์(Alcohols) ตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvents) และกลิ่นรส (Flavors) ในจำนวนนี้น้ำมีปริมาณมากที่สุด คำว่า “Dried” และ “Dehydrated” ไม่ใช่คำที่มีความหมายเหมือนกัน โดย “Dried” เป็นการนำความชื้นให้ออกจากวัสดุจำนวนหนึ่งจนกระทั่งความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุให้มีความสมดุลกับความชื้นในบรรยากาศปกติหรือจนกระทั่งความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา การทำงานของเอนไซม์ และ แมลงต่างๆ โดยทั่วไปความชื้นดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 12 ถึง 14 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพเปียก (ร้อยละ Wet Basis, ร้อยละ w.b.) แต่คำว่า “Dehydrated” เป็นการระเหยความชื้นออกจากผลผลิตจนเหลือความชื้นในผลิตภัณฑ์น้อยมากหรือแทบไม่มีเลย (ต่ำกว่าร้อยละ 2.5 w.b.) (ระวีวิน, 2556)

### 2.5.3 กระบวนการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวของวัสดุที่ต้องการทำให้แห้ง ซึ่งการอบแห้งแห้งด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง เช่น การนำ การพา การแผ่รังสี หรือทั้งสามแบบผสมผสานกัน เพื่อให้ความชื้นที่อยู่ในวัสดุระเหยออกมาอยู่ในรูปความดันไอ ซึ่งโดยความร้อนที่ได้รับคือความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหย อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวคงที่ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนหรืออัตราการอบแห้งคงที่ ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าคงที่แต่บริเวณผิววัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมากแล้ว อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุจะเปลี่ยนแปลง โดยในขณะที่อุณหภูมิวัสดุสูงขึ้น ความเข้มข้นของไอน้ำจะลดลงทำให้อัตราการอบแห้งลดลงด้วย จากภาพที่ 2.18 เป็นกราฟแสดงอัตราแห้งซึ่งเป็นกราฟระหว่างอัตราการแห้ง (drying rate) และความชื้นในสารนั้น (moisture content, W) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period) เป็นช่วงที่ความชื้นที่มีอยู่ในอาหารปรับตัวเพื่อมีอุณหภูมิเท่ากับลมร้อน อัตราการแห้งจะต่ำและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่ จากรูปที่ 1 คือ ช่วง AB ซึ่งถือว่าเป็นช่วงสั้นๆ สามารถตัดทิ้งได้เมื่อคำนวณเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (drying time) ส่วนช่วง A'B เป็นกรณีที่มีบริเวณผิวหน้าของแข็งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่จะเริ่มเกิดการระเหยในตอนแรกจะสูงและค่อยๆ ลดลงจนคงที่
2. ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (Constant Rate Period) เป็นช่วงที่น้ำในอาหารระเหยเป็นไออย่างต่อเนื่อง คล้ายกับการระเหยของน้ำโดยทั่วไป
3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ทำให้ชั้นของเหลวที่ปกคลุมอยู่ไม่สม่ำเสมอ อัตราการแห้งจึงลดลงและเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงความชื้นสมดุล ซึ่งน้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก (ทงนศักดิ์, 2554)

ในช่วงแรกที่วัสดุมีความชื้นสูงการอบแห้งจะเป็นแบบอัตราการอบแห้งที่คงที่ ในช่วงนี้ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมากการถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยความเร็วของอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ถ้าสภาวะของอากาศคงที่ที่จะทำให้อัตราการอบแห้งลดลงน้ำจะเคลื่อนที่จากภายในวัสดุออกมาที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิวจึงระเหยออกไปยังอากาศ อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุแม้ที่ผิวนอก การกำจัดความชื้นออกจากวัสดุจะมีการถ่ายเทความร้อนและมวลเกิดขึ้นพร้อมกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นภายในโครงสร้างวัสดุและเกี่ยวข้องกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของวัสดุ และผิวบางจุดภายในวัสดุ การถ่ายเทความร้อน และมวลภายในโครงสร้างวัสดุจะเกิดในระดับโมเลกุล โดยที่การถ่ายเทความร้อนจะถูกจำกัดด้วยสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของโครงสร้างวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นพร้อมกันและควบคุมด้วยกระบวนการพา การขนถ่ายไอน้ำจาก ผิววัสดุไปยังอากาศและการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังผิววัสดุจะขึ้นกับความดันไอน้ำที่มี



ภาพที่ 2.17 กราฟอัตราการแห้ง (จุด E คือความชื้นสมดุล,  $W_e$ )  
ที่มา: Geankoplis C.J. (2003)

สำหรับกลไกการถ่ายเทความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี หรือการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 ชนิด สามารถเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน

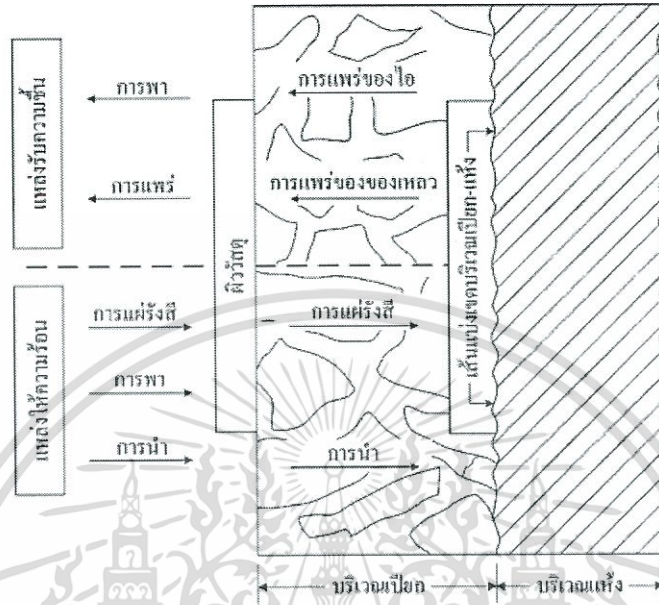
ก. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลไปสู่โมเลกุลข้างเคียง สภาพนำ ความร้อน (thermal conductivity) เป็นสมบัติของสารที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัตถุซึ่งมีค่าแตกต่างกัน สภาพการนำความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความร้อน ค่าสภาพการนำ ความร้อนของน้ำจะมีค่ามากกว่าค่าของวัตถุแห้งที่เป็นอาหาร

ข. การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของอะตอมและโมเลกุลของสารซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ ส่วนของแข็งนั้นจะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ ความร้อน และการแผ่รังสีเท่านั้น การพาความร้อนจึงมักเกิดขึ้นในบรรยากาศการถ่ายเท ความร้อนแบบ การนำ ความร้อนเกิดขึ้นน้อยมาก

ค. การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศได้วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $-273$  องศาเซลเซียส หรือ  $0$  K (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสีซึ่งวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่รังสีคลื่นสั้น ส่วนวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำจะแผ่รังสีคลื่นยาว การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในกระบวนการอบแห้งอาหาร แต่ในกรณีการอบแห้งแบบสุญญากาศและการอบแห้งแบบเยือกแข็ง จะมีการถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทความร้อนแบบแผ่รังสีเป็นหลัก ในทางปฏิบัติการถ่ายเทความร้อนทั้งสามวิธีจะเกิดขึ้นพร้อมๆกันได้ ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุหรือ ชนิดอาหารมีลักษณะอย่างไร (นิรนาม, 2555)



ภาพที่ 2.20 กลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างกระบวนการอบแห้ง  
ที่มา : ปรับปรุงจาก Aguilera และ Stanley (1999)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนตรี และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาและพัฒนางานวิจัย เรื่อง ผลผลิตภัณฑ์ปลานิลแผ่นปรุงรสเสริมใยอาหาร โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลา (องศาเซลเซียส:นาที) ที่เหมาะสมในการอบปลาแผ่นปรุงรส โดยแบ่งเป็น 3 ระดับคือ 60:60 70:45 และ 80:30 และวิเคราะห์คุณภาพ พบว่า การใช้ อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) และปริมาณความชื้นมีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ 60:60 มีความชื้นสูงสุด เท่ากับ 12.55 รองลงมาคือ 70:45 และ 80:30 ซึ่งมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 10.75 และ 7.30 ตามลำดับ ผลการประเมินคุณภาพทาง ประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภครยอมรับผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่อเวลาเท่ากับ 70:45 มากที่สุด ซึ่งมีคะแนนการ ยอมรับด้านสีปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมเท่ากับ 5.62 5.82 6.26 5.79 และ 6.32 ตามลำดับ การศึกษาการเสริมปริมาณใยอาหารที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นปรุงรส อบที่ อุณหภูมิและเวลาเท่ากับ 70:45 โดยใช้เพศดินและงาขาว ร้อยละ 3 และ 5 พบว่า การเสริมเพศดินและงา ขาว มีผลให้ค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ความชื้น โปรตีน และไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ผลการ ประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า ผู้บริโภครยอมรับผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นปรุงรสเสริมงาขาว ร้อยละ 5 มากที่สุด ซึ่งมีปริมาณโปรตีน ความชื้น และไขมัน ร้อยละ 25.92, 12.33 และ 4.05 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารางคณา และสมพงษ์ (2547) ได้ศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเต้าหู้ซูริมิ โดยศึกษาชนิด และปริมาณแป้งที่เหมาะสม การผลิตเต้าหู้ซูริมิทำโดยการนวดผสมซูริมิกับเกลือ และนำไปนวดผสมกับอิมัลชันที่เตรียมโดยการผสมน้ำ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดบริสุทธิ์สูง (ISP) และน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วน 7 : 1.5 : 1 โดยน้ำหนัก นำของผสมที่ได้ไปนึ่ง และทอดแบบน้ำมันท่วม สูตรที่ใช้ในการผลิตประกอบด้วยปริมาณอิมัลชันร้อยละ 70.25 ซูริมิร้อยละ 23.4 น้ำแข็งร้อยละ 4.68 และเกลือร้อยละ 1.67 โดยน้ำหนัก การศึกษาในครั้งนี้ได้แปรชนิดของแป้ง 6 ชนิด ได้แก่ ISP แป้งขนมปัง แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม และแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน และแปรปริมาณ 2 ระดับที่ร้อยละ 2.5 และ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่า การใช้แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักส่วนผสม มีความเหมาะสมที่สุดให้ค่าสี ( $L^* a^* b^*$ ) เท่ากับ 53.468.94 และ 23.78 ตามลำดับ ให้แรงตัดขาดเท่ากับ 511.53 กรัม ได้รับคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส และรสชาติสูงสุด ( $P < 0.05$ ) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่า ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ซูริมิ มีปริมาณความชื้นร้อยละ 61.90 โปรตีนร้อยละ 14.45 ไขมันร้อยละ 9.46 เกลือร้อยละ 2.58 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 11.61 จากการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์ราเท่ากับ 25 และ 20 cfu ต่อกรัมตัวอย่างตามลำดับ ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย ได้แก่ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio cholera*, *Salmonella spp.* มีความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารปรุงสุกแช่เย็นของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

นิสานารถ และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาผลของเจลบุกและอุณหภูมิการเซตตัวต่อคุณภาพของไส้กรอกปลาสดไขมันที่ทำจากซูริมิ ซึ่งภายในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของปริมาณเจลบุกที่ใช้ทดแทนไขมันแข็งของหมูต่อคุณภาพของไส้กรอกปลาอิมัลชันจาก ซูริมิ โดยแปรปริมาณไขมันแข็งของหมูเป็นร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 พบว่าปริมาณเจลบุกที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าปริมาณความชื้น, ปริมาณโปรตีน, ปริมาณเถ้า, water holding capacity (WHC), hardness, springiness, cohesiveness, gumminess, และ gel strength รวมทั้งความคงตัวของอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณไขมันและค่าความเป็นสีขาวลดลง ทั้งนี้ไส้กรอกปลาที่ใช้เจลบุกทดแทนไขมันแข็งของหมูร้อยละ 50 มีลักษณะเนื้อสัมผัสด้าน springiness สูงและมีค่า gel strength ปานกลาง และมีคะแนนด้านความชอบโดยรวมสูงสุดโดยอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง จึงนำไปศึกษาอุณหภูมิในการเซตตัวของเจลโปรตีนปลา พบว่าการเซตเจลที่อุณหภูมิ 40 และ 45 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้ค่า WHC ความชื้น hardness, springiness, gumminess, และ gel strength มีค่ามากกว่าการให้ความร้อนแบบอื่นๆ โดยไส้กรอกปลาอิมัลชันจากซูริมิที่มีการเซตเจลที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที มีค่า springiness และ gel strength สูงที่สุด และมีคะแนนด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุดโดยอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก

พิระพงษ์ และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การผลิตเนื้อปลาขึ้นรูปเพื่อสุขภาพจากผลิตผลพลอยได้จากการแปรรูปปลานิลโดยใช้สารปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัส โดยงานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพเนื้อปลาขึ้นรูปที่มีเกลือต่ำ (ร้อยละ 1) และไม่เติมฟอสเฟต จากผลิตผลพลอยได้จากโรงงานแปรรูปปลานิล โดยใช้เศษเนื้อตัดแต่งและเนื้อพื้นท้องในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 ศึกษาผลของสารปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสทางการค้า คือ แคปป์-คาร์ราจีแนน ไฟเบอร์สกัดจากเปลือกส้ม หรือ กัมแซนแทน ในปริมาณร้อยละ 0.5 ร่วมกับเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจากจุลินทรีย์ร้อยละ 0.5 ต่อคุณภาพของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เติมโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ทำการวิเคราะห์ทางกายภาพหลังจากแช่แข็ง-ละลาย 12 รอบ พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปดีกว่าตัวอย่างควบคุม ( $P \leq 0.05$ ) และมีความคงตัวต่อการแช่แข็ง-ละลายไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

Yang และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลกระทบของคุณสมบัติและสภาวะของการให้ความร้อนในเจลซูริมิจากแป้ง พบว่า ผลกระทบของแป้งและสภาวะของการให้ความร้อนต่อเนื้อสัมผัส โครงสร้างจุลภาค และสีของเจลซูริมิจากแป้งโดยถูกตรวจสอบด้วยการวัดค่า Shear stress, Shear strain และค่าสี เช่นเดียวกับโครงสร้างจุลภาค อิทธิพลของแป้งที่มีต่อเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิจากแป้งจะขึ้นอยู่กับระดับของความเข้มข้นและการตัดแปรรูปของแป้ง เช่นเดียวกับค่าอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน แป้งเพิ่มความแข็งแรงของเจลซูริมิอย่างมีประสิทธิภาพที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (30 กรัม/กิโลกรัม) การตัดแปรรูปส่งเสริมให้กรานูม (เม็ดแป้ง) ขยายตัวได้ง่ายสามารถเพิ่มความแข็งแรงของเจล ยิ่งปริมาณของอะไมโลเพกตินในแป้งทดสอบสูงจะทำให้เจลซูริมิกลายเป็นเจลที่แข็งแรง อิทธิพลของอุณหภูมิความร้อนของเนื้อสัมผัสจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการเจลาทีไนซ์ของแป้งแต่ละตัว เม็ดแป้งที่ขนาดใหญ่จะถูกมองเห็นโดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงผลของเจลที่แข็งแรงรวมถึง  $L^*$  และ  $b^*$  ของเจลซูริมิจากแป้งจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและคุณสมบัติของแป้งยิ่งเม็ดแป้งมีการพองตัวต่ำ ค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ของเจลจะมีค่าต่ำ

Zhang และคณะ (2015) ทำการศึกษาเรื่องผลของการใช้แป้งสาลีที่ผ่านการย่อยสลายกลูเตนต่อคุณสมบัติของเจลซูริมิในการทดลองโดยใช้อุณหภูมิสูง ( $\geq 100^\circ\text{C}$ ) โดยในกรณีศึกษาก่อนหน้านี้ได้มีการพบว่าความแข็งแรงของเจลซูริมิลดลงอย่างมีนัยสำคัญด้วยการทดลองที่ใช้อุณหภูมิสูง โดยเพิ่มจาก  $100^\circ\text{C}$  เป็น  $120^\circ\text{C}$  ซึ่งทำให้ค่า water-holding capacity (WHC) ลดลงอย่างรุนแรงโครงสร้างเครือข่ายถูกทำลาย และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซูริมิ ในกรณีศึกษานี้ แป้งสาลีที่ผ่านการย่อยสลายกลูเตนถูกเติมลงในซูริมิปลา Alaska Pollock และให้ความร้อนที่ระดับกลาง ได้แก่  $100 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $105 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $110 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $115 \pm 1^\circ\text{C}$  และ  $120 \pm 1^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที ตามลำดับ ภายใต้ความดัน (0.12 MPa) เพื่ออธิบายผลการใช้แป้งสาลีที่ผ่านการย่อยสลายกลูเตนที่ได้รับความร้อนคงที่ ในการทดลองการเกิดเจลที่อุณหภูมิสูงในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ การเติมแป้งสาลีที่ผ่านการย่อยสลายกลูเตนทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และค่า WHC ของเจลจำนวนมาก และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มมากขึ้น ค่า relaxation time ของกระบวนการ Resonance ของนิวเคลียสในสนามแม่เหล็ก แสดงให้เห็นถึงการเติม แป้งสาลีที่ผ่านการย่อยสลายกลูเตนอย่างมีนัยสำคัญที่ลดลงของ relaxation time Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis แสดงให้เห็นผลเช่นเดียวกัน ปริมาณ myosin heavy chain ลดลงอย่างสิ้นเชิง และปริมาณ actin ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) แสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิ  $120^\circ\text{C}$  โครงสร้างตาข่ายของซูริมิเจลจะแตกหักง่ายในขณะที่ซูริมิเจลที่เติมแป้งสาลีที่ผ่านการย่อยสลายกลูเตน จะรักษาความหนาแน่นและรูปร่างเอาไว้ ผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (TEM) แสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิ  $120^\circ\text{C}$  โครงสร้างของซูริมิเจลจะสูญเสียโครงสร้างการเป็นเนื้อเดียวกันและโปรตีนจะรวมตัวกันและจับตัวกัน ในขณะที่โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์จะไม่เกิดการจับตัวกันใหม่ และแป้งสาลีที่ผ่านการย่อยสลายกลูเตนจะกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างตาข่ายอย่างทั่วถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kong และคณะ (2016) ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ผลของการเติมสตาร์ชต่อคุณสมบัติเจลของซูริมิปลา Alaska Pollock ภายใต้การทดลองที่อุณหภูมิ 90 และ 120 องศาเซลเซียส ได้ถูกประเมินค่าโดยใช้ความแตกต่างของแป้ง 5 ชนิด ได้แก่ native cassava starch (NCS), hydroxypropylated cassava starch (HCS), cross-linked cassava starch (CCS), cross-linked hydroxypropylated cassava starch (CHCS), and cross-linked acetylated cassava starch (CACS) คุณสมบัติเจลซูริมิของ starch containing หลังจากให้ความร้อน 90 และ 120°C รูปแบบโครงสร้างสามมิติของโปรตีนจะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งการเติมสตาร์ชตัดแปรด้วยความหนืดต่ำที่อุณหภูมิต่ำ และ ความหนืดสูงที่อุณหภูมิสูง (CHCS และ CACS) เป็นการปรับปรุงให้เจลแข็งแรง ในขณะที่การเติมสตาร์ชด้วยความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำจะไปลดความแข็งแรงของเจลลง (HCS) ( $P < 0.05$ ) คุณสมบัติเจลซูริมิของ starch containing มีความสัมพันธ์กับความหนืดแป้ง และการบวมของแป้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

เศษเนื้อปลา Alaska Pollock บดอัดก้อนแช่เยือกแข็ง (ขนาดบรรจุก้อนละ 7 กิโลกรัม)  
จากบริษัทไทยเดลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด ตำบลท้ายบ้าน อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

แป้งมันสำปะหลัง ตราดันสน จากบริษัทสิทธิพันธ์ จำกัด จังหวัดปทุมธานี

แป้งสาลีอเนกประสงค์ ตราราว จากบริษัทยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด (มหาชน) จังหวัด  
สมุทรปราการ

เกลือปรีโภค ตรารุ่งทิพย์ จากบริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด อำเภอพิมาย  
จังหวัดนครราชสีมา

น้ำตาลทราย ตรามิตรผล จากบริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด อำเภอด่านช้าง จังหวัด  
สุพรรณบุรี

สีผสมอาหาร(สีส้มเหลือง) ตราคิงคอลชั่นเซ็ดเยลโลว์ เอ็ฟซีเอ็ฟ จากบริษัท อตินพ จำกัด  
เขตบางแค กรุงเทพมหานคร

กลิ่นกุ้ง จากร้านค้าออนไลน์ ([www.welovecooking.com](http://www.welovecooking.com))

##### 3.1.2 สารเคมี

Hexane (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) , Commercail grade , Bangkok Thailand

#### 3.2 อุปกรณ์

##### 3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการผลิตกึ่งแข็งเทียม

เครื่องสับผสม : SIRMAN รุ่น C6W, ITALY

ตุ้บลมร้อนแบบลาด : รุ่น TD - 012T , UniqueTools Co.LTD, Thailand

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง : Mettler Toledo รุ่น ML3002/01 , Switzerland

ถุงพลาสติกร้อน

ถุงบรรจุชนิดสุญญากาศ (LLPDE)

ถุงบรรจุชนิดมีซิปป

อุปกรณ์เครื่องครัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง : Mettler Toledo รุ่น ML204/01 , Switzerland

เครื่องวัดสี : Minolta CR-300 , Japan

Hot air oven : Binder รุ่น ED/FD , Germany

Texture Analyzer : Stable Micro system TA-XT2i , UK

Moisture can

Desiccator

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมเนื้อปลาสด

นำเนื้อปลาสด Alaska Pollock แขนเยือกแข็งอัดก้อนจากบริษัทไทยเดลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด ตำบลท้ายบ้าน อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ขนาดก้อนละ 7 กิโลกรัม มาทำการละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งเป็นส่วนๆ ส่วนละประมาณ 0.5 กิโลกรัม นำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส เมื่อจำใช้จะนำมาละลายจนเนื้อปลามีอุณหภูมิ 0-(-4) องศาเซลเซียส จากนั้นนำเนื้อปลาสดมาชั่งน้ำหนัก 500 กรัม

#### 3.3.2 การเตรียมส่วนผสม

ใช้สูตรที่ดัดแปลงจากภัญญณีวิชา และ พชรพรรณ (2015)

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมในการผลิตกึ่งแห้งเทียม

ส่วนประกอบ	น้ำหนักส่วนผสม (กรัม)		
	สูตรที่ 1 Con. 20%	สูตรที่ 2 Con. 25%	สูตรที่ 3 Con. 30%
เนื้อปลาสด	500	500	500
เกลือ (1.5%)	7.5	7.5	7.5
น้ำตาลทราย (2%)	10	10	100
แป้ง	100	125	150

หมายเหตุ : แป้งในตารางนี้ คือ แป้งมันสำปะหลัง หรือแป้งสาลี ในแต่ละสูตรจะใช้แป้งเพียงชนิดเดียว  
ที่มา : ดัดแปลงจากภัญญณีวิชา และ พชรพรรณ (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 การเตรียมแบทเทอร์

#### 3.3.2.1 การสับผสมแบทเทอร์

นำเนื้อปลาสด 500 กรัม มาสับผสมด้วยเครื่องสับผสม (SIRMAN รุ่น C6W, ITALY) เป็นเวลา 30 วินาที ใส่เกลือและน้ำตาลลงไปเนื้อปลา สับผสมต่อเป็นเวลา 4 นาที จนเนื้อปลามีลักษณะที่เนียนขึ้นและมีสีอ่อนลง (ทำการปาดอ่างผสม 1-2 ครั้ง) ใส่แป้งลงไปสับผสมเป็นเวลา 8 นาที จนกระทั่งแบทเทอร์ที่ได้มีลักษณะเหนียว (ทำการปาดอ่างผสม 1 ครั้ง) (แสดงดังภาพที่ 3.1)



นำเนื้อปลาสด 500 กรัม มาทำการสับผสม

เป็นเวลา 30 วินาที



ใส่เกลือและน้ำตาลลงไปเนื้อปลา แล้วทำการ

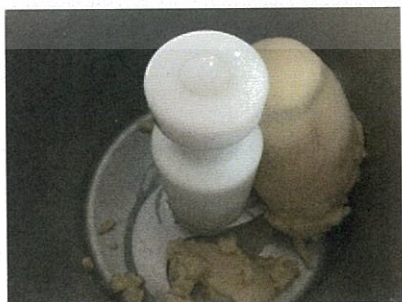
สับผสมต่อเป็นเวลา 4 นาที



ใส่แป้งลงไปสับผสม จากนั้นสับผสมต่อ

เป็นเวลา 8 นาที จนได้แบทเทอร์ที่มี

ลักษณะเหนียว



ลักษณะของแบทเทอร์

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมแบทเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 การขึ้นรูปกึ่งเทียม

นำแบทเทอร์ที่ได้จากขั้นตอนการผสม มาบรรจุลงถุงพลาสติก(ชุดถุงบีบ) ที่ตัดกันถุงแล้วใส่หัวบีบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่รูวงกลม ขนาดเบอร์ 8 แล้วบีบลงถาดอลูมิเนียมขนาดลึก 1 เซนติเมตร ที่มีผ้าขาวบางรองอยู่ แล้วนำไปนึ่งในลังถึงที่อุณหภูมิ 95-100°C เป็นเวลา 20 นาที



ภาพที่ 3.2 การขึ้นรูปกึ่งเทียม



ภาพที่ 3.3 การนำกึ่งเทียมที่ผ่านการขึ้นรูปมาแช่เจลโดยการนึ่งบนลังถึง

### 3.3.5 การอบแห้ง

นำกึ่งเทียมที่ผ่านการขึ้นรูปร่างบนถาด Tray dry จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60°C 70°C และ 80°C เป็นระยะเวลาที่กำหนด ได้แก่ 0 30 60 90 120 150 และ 180 นาที โดยเมื่อครบ 1 ชั่วโมงจะทำการพลิกด้านหนึ่งครั้ง

### 3.3.6 ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของแป้งที่มีผลต่อคุณภาพของกึ่งแห้งเทียม

3.3.6.1 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยใช้เครื่อง Hot air oven ตามวิธีของ AOAC (2000) คำนวณปริมาณความชื้นโดยสมการ

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

จากขั้นตอนที่ 3.3.5 ระยะเวลาที่กำหนดดังกล่าว เมื่อคำนวณปริมาณร้อยละความชื้น (db) ของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมออกมาจะนำออกมาพลอตกราฟซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของ Drying Curve

3.3.6.2 ค่าสี ( $L^* a^* b^*$ ) โดยเครื่องวัดสี Minolta CR-300, Japan

3.3.6.3 วัดคุณภาพลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธีการ Texture Profile Analysis โดยใช้เครื่องมือ Texture analyzer และรายงานผลเป็นค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (Firmness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความสามารถยึดเกาะ (cohesiveness) และการทนต่อการเคี้ยว (chewiness) (ธัญญาภรณ์, 2550)

3.3.6.4 วิเคราะห์ค่าการหดตัว (shrinkage) โดยวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งวิเคราะห์ได้จากปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการให้ความร้อน โดยตัดสินจากปริมาตรที่ถูกแทนที่ด้วยสารละลาย hexane ในภาชนะทรงกระบอก (Kerdpi boon และคณะ, 2006) สามารถคำนวณ %shrinkage ได้จาก

$$\text{ค่าการหดตัว (\%Shrinkage)} = \frac{V_i - V}{V_i} \times 100$$

โดยที่  $V_i$  คือ ปริมาตรเริ่มต้น

$V$  คือ ปริมาตรภายหลังการให้ความร้อน

3.3.6.5 วิเคราะห์คุณสมบัติในการคืนตัว (Rehydration) ทำได้โดยการจุ่มตัวอย่างที่ผ่านการทำให้แห้ง ( $M$ ) ลงในน้ำเดือด ( $100^\circ\text{C}$ ) เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการดูดกลืนน้ำ ( $M_0$ ) (Kerdpi boon และคณะ, 2006) ไปคำนวณในสูตร

$$\text{Rehydration ratio} = \frac{M_0}{M}$$

โดยที่  $M$  คือ น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

$M_0$  คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการดูดกลืนน้ำ (กรัม)

### 3.3.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าความชื้น ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าการหดตัว และคุณสมบัติในการคืนตัว โดยวางแผนการทดลองทางสถิติด้วยวิธี Factorial in CRD ซึ่งปัจจัยต้องการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิในการอบแห้ง ระยะเวลาในการอบแห้ง และระดับความเข้มข้นของแป้ง สำหรับผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) นำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์ความแตกต่างแบบ Duncan's multiple range test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

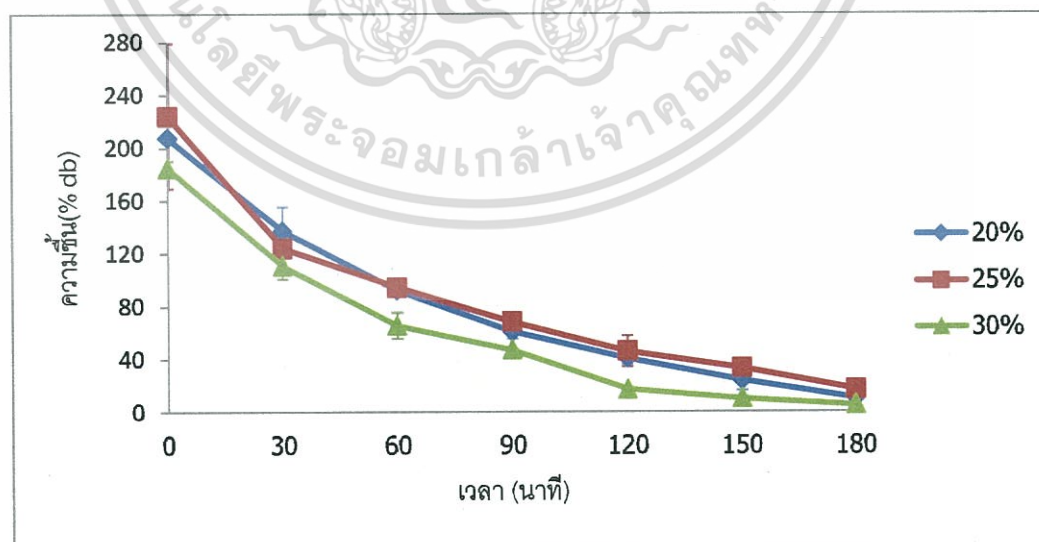
#### 4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อลักษณะการทำแห้งของกุ้งแห้งเทียม

##### 4.1.1 แป้งมันสำปะหลัง

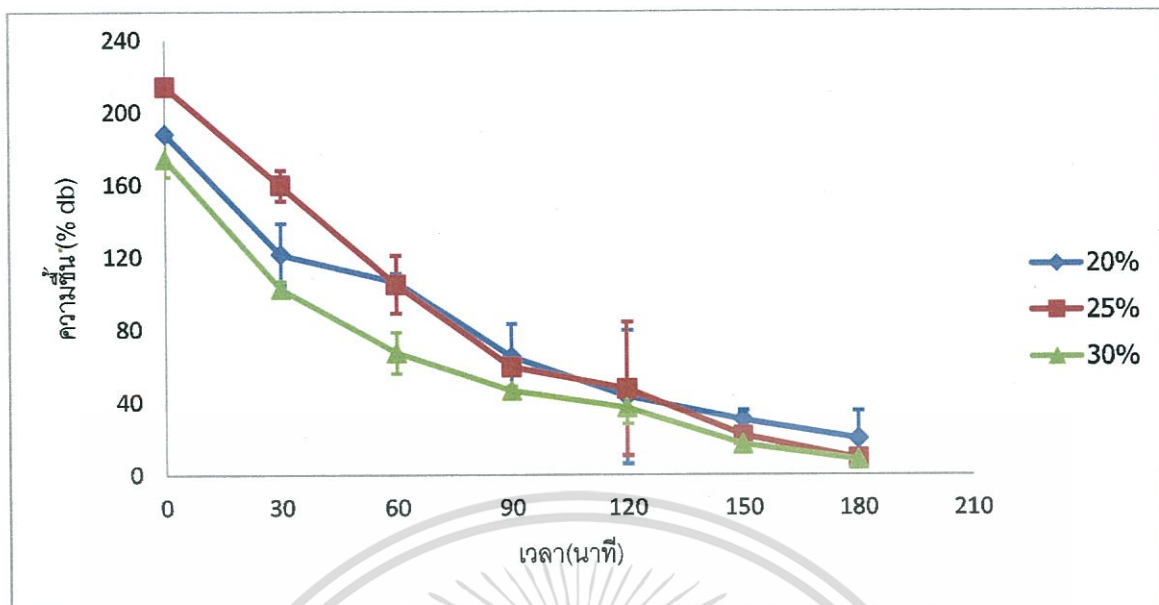
จากการวิเคราะห์ระยะเวลาในการอบแห้งที่มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์กุ้งแห้งเทียมในรูปแบบของกราฟ Drying curve พบว่า เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณร้อยละความชื้นของตัวอย่างกุ้งแห้งเทียมมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงแรกที่เวลา 0-90 นาที ของการอบแห้งค่าความชื้นจะมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง เนื่องจากตัวอย่างยังคงมีความชื้นเริ่มต้นในระดับที่ค่อนข้างสูงซึ่งอยู่ประมาณร้อยละ 141-224 (db) การถ่ายเทความร้อนไปยังผิววัสดุตัวอย่างทำให้ความชื้นที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมาอยู่ในรูปความดันไอ โดยเมื่อความเข้มข้นของไอน้ำลดลงจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลงด้วย (ทงนศักดิ์, 2554) ดังนั้นทำให้ระยะเวลาการทำแห้งในช่วงหลังที่ระยะเวลา 90 -180 นาที จึงมีอัตราเร็วของการอบแห้งที่ลดลงและคงที่ และมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 4-69 (db)

จากกราฟ Drying Curve ของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม(ภาพที่ 4.1-4.3) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง พบว่า ร้อยละความชื้นสุดท้ายที่นาที่ที่ 180 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพในตารางที่ 4.1 โดยกุ้งแห้งเทียมที่ผ่านการอบแห้งจะมีลักษณะรูพรุนทำให้สามารถระเหยความชื้นได้ดีเนื่องจากแป้งจากรากหรือหัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวสูง และเมื่อดแปงแตกง่าย (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2546)

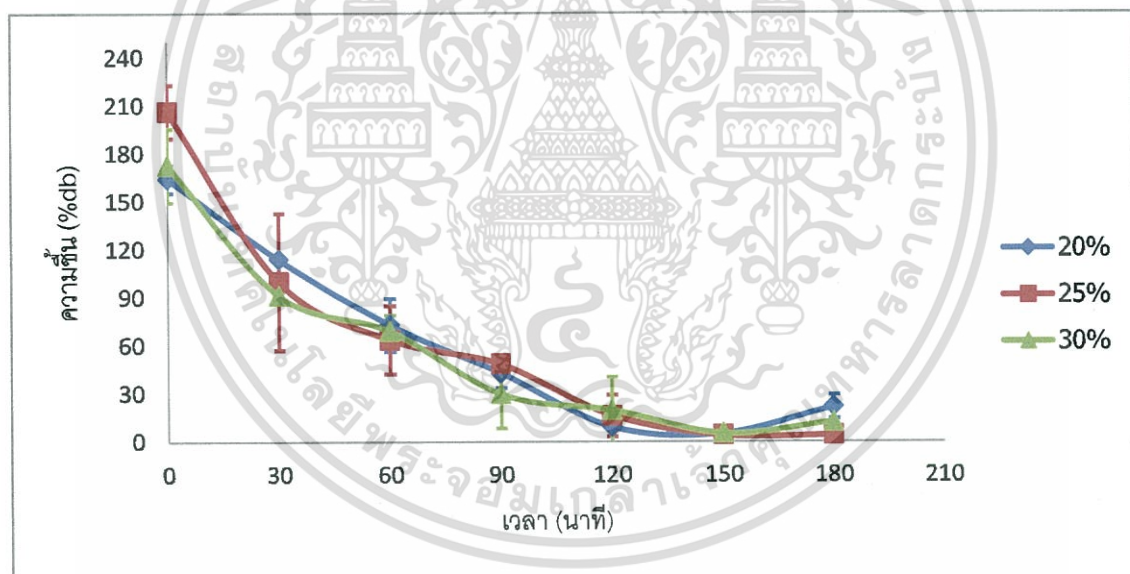
##### 4.1.1.1. Drying curve ของแป้งมันสำปะหลัง



ภาพที่ 4.1 ค่าความชื้นของกุ้งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 60° C (แป้งมันสำปะหลัง)



ภาพที่ 4.2 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 70° C(แป้งมันสำปะหลัง)

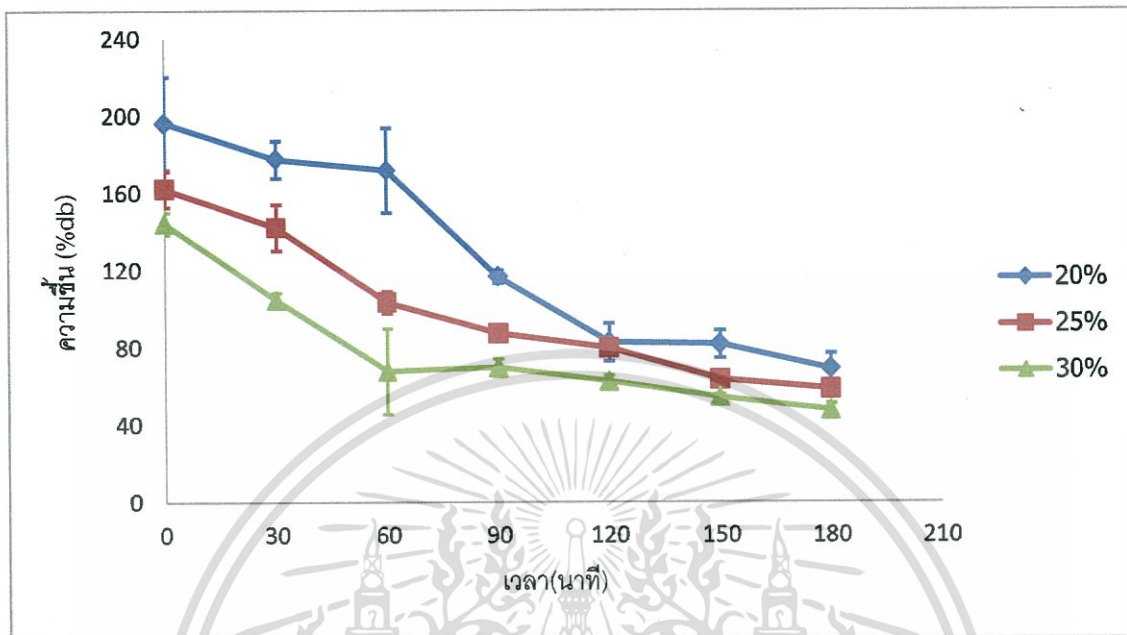


ภาพที่ 4.3 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 80° C(แป้งมันสำปะหลัง)

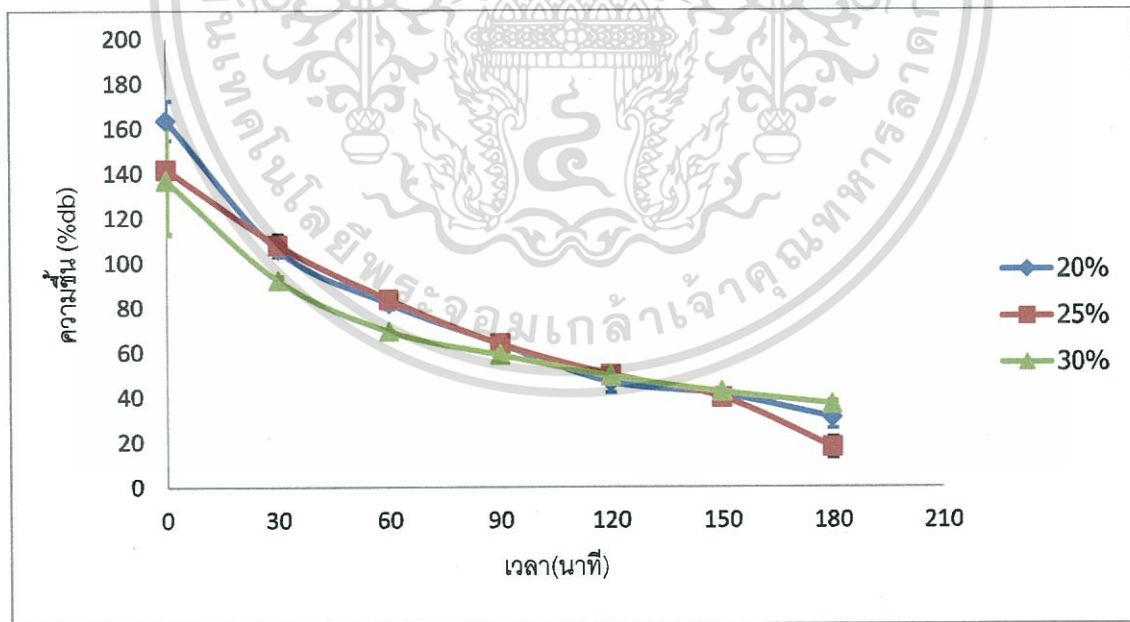
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 แป้งมันสำลี

4.1.2.1. Drying curve ของแป้งสำลี

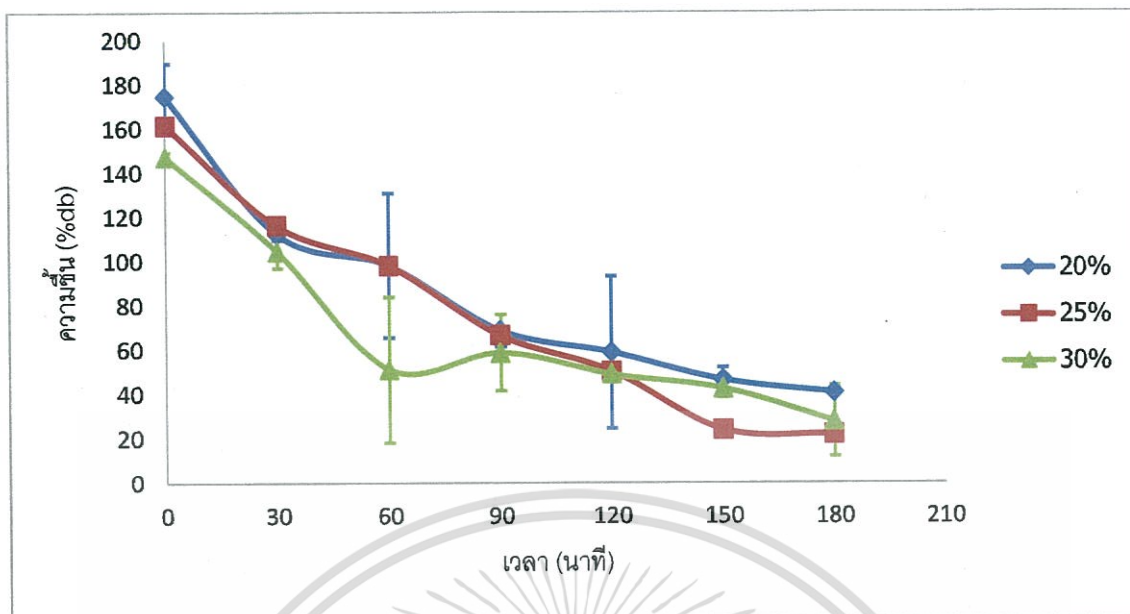


ภาพที่ 4.4 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 60° C(แป้งสำลี)



ภาพที่ 4.5 ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 70° C(แป้งสำลี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ค่าความชื้นของกุ้งแห้งเทียมที่อุณหภูมิ 80° C (แป้งสาลี)

จากกราฟจากกราฟ Drying Curve ของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสาลีเป็นส่วนผสม (ภาพที่ 4.4-4.6) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง พบว่า ร้อยละความชื้นสุดท้ายที่นาที่ที่ 180 มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ปริมาณร้อยละความชื้นสุดท้ายมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างกุ้งแห้งเทียมที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพในตารางที่ 4.2 โดยกุ้งแห้งเทียมที่ผ่านการอบแห้งจะมีลักษณะเนียน ทำให้สามารถระเหยความชื้นได้ยาก เนื่องจากแป้งสาลีปริมาณอะไมโลสสูง ทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้นเกิดการพองตัวต่ำ (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2546)

อย่างไรก็ตามจากกราฟ Drying curve ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาลี (ภาพที่ 4.1-4.6) แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณร้อยละความชื้นของกุ้งแห้งเทียมในลักษณะเดียวกัน ซึ่งที่อุณหภูมิสูงจะมีผลให้ความชื้นของตัวอย่างน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าโดยในช่วงแรกของการอบแห้งอัตราเร็วของการทำแห้งจะสูง เส้นกราฟมีความชันมาก เนื่องจากตัวอย่างยังมีความชื้นที่ค่อนข้างสูง และค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนคงที่ นอกจากนี้การใช้แป้งเป็นการเติมแต่งที่เติมเข้าไปในผลิตภัณฑ์ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า มีผลทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ออกมาได้ยาก เนื่องจากการให้ความร้อนในระหว่างขั้นตอนการนึ่งซึ่งเป็นขั้นตอนของการเซ็ทเจลของกุ้งแห้งเทียมจะทำลายพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลของแป้ง ทำให้โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว เกิดการละลายมากขึ้น (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2546) จึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำอิสระได้มากขึ้นและเก็บน้ำเอาไว้ภายในโครงสร้าง

ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณร้อยละความชื้นสุดท้ายกึ่งแห้งเทียมที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารเติมแต่ง ในความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งตรงกันข้ามกับกึ่งแห้งเทียมที่ใช้ แป้งสาลีเป็นสารเติมแต่ง เนื่องจากกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมนั้น แป้งมีปริมาณอะไมโลสสูงและ ด้วยความเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นตรงของโครงสร้างอะไมโลสจะมีผลต่อการเกิดรีโทเกรชันมากกว่าอะไมโล เพคติน ซึ่งโครงสร้างโมเลกุลเป็นกิ่งก้านสาขา จะขัดขวางการเคลื่อนที่กลับมารวมกันใหม่ของโมเลกุล น้ำตาลกลูโคส อีกทั้งแป้งจากธัญพืชเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อย เม็ดแป้งแตกตัวน้อย โมเลกุลที่ คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันเองใหม่ได้ง่าย (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2546) ทำให้โมเลกุลของ น้ำอิสระจึงระเหยออกไปได้ง่ายกว่าแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยัง พบว่า การใช้สารเติมแต่งที่ระดับ ความเข้มข้นต่ำทำให้ปริมาณร้อยละความชื้นสุดท้ายสูงกว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมที่ใช้สารเติมแต่ง ในระดับความเข้มข้นสูง โดยจากภาพที่ 4.1- 4.6 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างกึ่งแห้งเทียมที่มีการเติมแต่งในระดับที่มี ความเข้มข้นต่ำจะมีอัตราเร็วในการลดลงของปริมาณร้อยละความชื้นที่ช้ากว่าตัวอย่างกึ่งแห้งเทียมที่มีการ เติมแต่งในระดับที่มีความเข้มข้นที่สูงกว่า เนื่องมาจากปริมาณของแป้งที่สูง อาจทำให้โมเลกุลที่คลายตัว เนื่องจากความร้อนเกิดจับกันเองได้ง่าย ทำให้น้ำอิสระจึงถูกระเหยออกไปได้เร็ว และการใช้สารเติมแต่ง ในระดับความเข้มข้นต่ำที่มีอะไมโลสในปริมาณที่น้อยจึงสามารถกระจายตัวได้ดีและจะกับน้ำอิสระได้ดีกว่า จึงมีความชื้นสูงกว่า

#### 4.2 ผลของชนิดของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพกึ่งแห้งเทียม





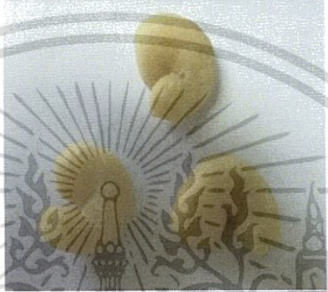




จากการใช้สารเติมแต่ง 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาลีที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน จะสังเกตเห็นได้ว่าแบทเทอร์ที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมจะมีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น จับตัวกันเป็นโด ซึ่ง แตกต่างจากแป้งมันสำปะหลังที่มีลักษณะที่เหนียวน้อยกว่าและไม่เกิดโด ทั้งนี้เนื่องมาจากแป้งสาลีมี ปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 23-28% (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2546) ซึ่งสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง อีกทั้ง แป้งสาลีมีโปรตีนกลูเตนินและไกลอะดิน ที่สร้างพันธะไดซัลไฟด์ทำให้เกิดกลูเตน จึงทำให้ลักษณะแบท- เทอร์ที่ได้เป็นโดที่เหนียวและยืดหยุ่น ดังนั้นแบทเทอร์ที่ได้จากแป้งสาลีจึงมีลักษณะเหนียว และแข็งแรงกว่า แป้งมันสำปะหลัง ส่วนแบทเทอร์ที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมจะมีลักษณะค่อนข้างเหลว เนื่องจาก ปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำคือ 18-23% (Defloor และคณะ, 1998a) แต่ปริมาณอะไมโลเพคตินสูง จึงทำ ให้เกิดการพองตัวได้ง่าย เมื่อมีการกวนเพิ่มมากขึ้นเม็ดแป้งจะพองตัวและหนืดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ระดับความ เข้มข้นของแป้งจะส่งผลต่อความหนืดที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม

อุณหภูมิ (°C)	ลักษณะทางกายภาพของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม		
	20%	25%	30%
80			
70			
60			

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ากึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม เมื่อผ่านการอบแห้งเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ลักษณะกึ่งแห้งเทียมที่มีสีน้ำตาลซีด ที่ผิวกึ่งแห้งเทียมจะเป็นรูพรุนทั่วทั้งชิ้น จึงทำให้น้ำสามารถระเหยออกไปได้มาก ทำให้เนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นแข็ง แห้ง และกรอบ เนื่องจากปริมาณค่าความชื้นที่เหลืออยู่ค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำลีสเป็นส่วนผสม

อุณหภูมิ (°C)	ลักษณะทางกายภาพของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำลีสเป็นส่วนผสม		
	20%	25%	30%
80			
70			
60			

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่ากึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำลีสเป็นส่วนผสม เมื่อผ่านการอบแห้งเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ลักษณะกึ่งแห้งเทียมที่มีเป็นสีน้ำตาล เนื้อเนียน ไม่เกิดรูพรุน ค่อนข้างเหนียว และแข็งเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ค่อนข้างสูง (ตารางที่ 4.5)

#### 4.2.1 F-value ค่าความชื้นของกึ่งแห้งเทียม

**วิเคราะห์ :** อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส  
 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 0 30 60 90 120 150 และ 180 นาที  
 ระดับความเข้มข้นของแป้งแต่ละชนิด 20% 25% และ 30%

ตารางที่ 4.3 F-value ของค่าความชื้นกึ่งแห้งเทียม

Source	Moisture content	
	Tapioca	Wheat
conc	17.473 <sup>**</sup>	60.198 <sup>**</sup>
temp	19.636 <sup>**</sup>	103.284 <sup>**</sup>
time	368.799 <sup>**</sup>	310.675 <sup>**</sup>
conc*temp	1.933 <sup>**</sup>	16.516 <sup>**</sup>
conc*time	1.541 <sup>ns</sup>	4.864 <sup>**</sup>
temp*time	1.078 <sup>ns</sup>	1.616 <sup>ns</sup>
conc*temp*time	0.788 <sup>ns</sup>	1.516 <sup>ns</sup>

หมายเหตุ \*\* : มีความแตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

ns : ไม่มีความแตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.3 F-value ของค่าความชื้นกึ่งแห้งเทียมที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาลี เป็นสารเติมแต่ง พบว่า ปัจจัยเดี่ยวได้แก่ อุณหภูมิ ระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่ง และเวลาในการอบแห้งมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ ) ของกึ่งแห้งเทียมทั้ง 2 ชนิด นอกจากนี้การใช้ปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งและอุณหภูมิ พบว่า มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ ) ของกึ่งแห้งเทียมทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแตกต่างจากการใช้ปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งและระยะเวลาในการอบแห้งที่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณความชื้นของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมเพียงชนิดเดียว ทั้งนี้เนื่องจากระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่งมีผลต่อปริมาณความชื้นของแป้งมันสำปะหลังในระดับที่น้อยโดยดูจากค่า F-value กอปรกับคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ จึงทำให้มีการพองตัวสูง (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546) โดยเมื่อได้รับความร้อนสูงและเป็นระยะเวลาสั้น จึงทำให้น้ำระเหยออกจากโครงสร้างได้ง่าย ดังนั้นแม้ว่าจะเติมในระดับที่ความเข้มข้นที่สูงขึ้นก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณความชื้นเพียงเล็กน้อย และเมื่อทำการอบแห้งปริมาณความชื้นภายในจึงระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็วและเมื่อชั้นของเหลวที่ปกคลุมอยู่ไม่สม่ำเสมอ ระยะเวลาผ่านไปนานขึ้น ความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงความชื้นสมดุล ซึ่งน้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก (ทงศักดิ์, 2554) ทำให้ปริมาณร้อยละความชื้นสุดท้ายของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมจึงมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังตารางที่ 4.4 แม้ว่าจะใช้ระดับความเข้มข้นของแป้งต่างกันและอุณหภูมิของการอบแห้งที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่า การใช้ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย ระหว่างอุณหภูมิของการทำแห้งและระยะเวลาการทำแห้ง และการใช้ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัยระหว่างระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่ง อุณหภูมิ การทำแห้ง และระยะเวลาการทำแห้ง นั้นไม่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p > 0.05$ ) ของกึ่งแห้งเทียมทั้ง 2 ชนิดเหมือนกัน ซึ่งจะเห็นได้จาก กราฟ Drying curve จากภาพที่ 4.1-4.6 ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มการลดลงของความชื้นที่เหมือนกัน คือ เมื่อระยะเวลาอบแห้งนานความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดสมดุลที่น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลสภาวะการอบแห้งที่มีต่อร้อยละความชื้นของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ

Temp (°c)	Conc (%)	Drying time (min)						
		0	30	60	90	120	150	180
60	20	207.46±1.85 <sup>ab</sup>	136.96±18.65 <sup>de</sup>	92.03±6.34 <sup>ghij</sup>	60.60±5.42 <sup>ijklmno</sup>	40.66±4.74 <sup>k</sup>	23.89±7.89 <sup>pqrst</sup>	10.38±0.81 <sup>rst</sup>
	25	223.91±54.91 <sup>a</sup>	123.85±1.85 <sup>ef</sup>	94.46±1.14 <sup>fghi</sup>	68.28±6.28 <sup>hijkl</sup>	45.98±11.87 <sup>klmnopq</sup>	33.17±2.34 <sup>mnopqrst</sup>	17.27±0.17 <sup>pqrst</sup>
	30	184.57±5.60 <sup>bc</sup>	110.50±10.10 <sup>ef</sup>	65.19±9.99 <sup>ijklm</sup>	46.99±0.47 <sup>klmnopq</sup>	16.98±1.71 <sup>pqrst</sup>	10.01±1.44 <sup>rst</sup>	5.23±0.14 <sup>st</sup>
70	20	188.134±0.30 <sup>bc</sup>	121.34±17.09 <sup>ef</sup>	105.98±5.05 <sup>efg</sup>	64.85±18.12 <sup>ijklmn</sup>	42.86±36.86 <sup>klmnopqr</sup>	30.03±5.44 <sup>mnopqrst</sup>	19.68±15.29 <sup>pqrst</sup>
	25	214.27±0.38 <sup>ab</sup>	159.54±8.51 <sup>cd</sup>	104.85±15.86 <sup>efg</sup>	59.37±0.56 <sup>ijklmno</sup>	47.31±36.66 <sup>klmnopq</sup>	21.33±0.97 <sup>pqrst</sup>	8.61±2.61 <sup>rst</sup>
	30	174.29±9.98 <sup>c</sup>	102.46±4.16 <sup>fg</sup>	67.05±11.40 <sup>hijklm</sup>	46.22±2.62 <sup>klmnopq</sup>	36.79±8.97 <sup>lmnopqrst</sup>	16.43±3.66 <sup>pqrst</sup>	7.92±1.02 <sup>rst</sup>
80	20	164.12±8.71 <sup>cd</sup>	113.91±2.23 <sup>ef</sup>	72.86±16.50 <sup>ghijk</sup>	42.58±8.84 <sup>klmnopqr</sup>	9.03±0.42 <sup>rst</sup>	4.92±1.37 <sup>t</sup>	21.69±7.30 <sup>pqrst</sup>
	25	206.25±16.62 <sup>ab</sup>	99.83±42.65 <sup>fgh</sup>	63.51±21.31 <sup>ijklmno</sup>	48.42±2.18 <sup>klmnop</sup>	16.16±13.05 <sup>pqrst</sup>	3.92±1.13 <sup>t</sup>	4.04±0.63 <sup>t</sup>
	30	172.54±23.05 <sup>c</sup>	91.12±2.60 <sup>fghij</sup>	68.99±10.10 <sup>hijkl</sup>	29.54±21.49 <sup>opqrst</sup>	19.53±20.90 <sup>pqrst</sup>	5.25±1.80 <sup>st</sup>	12.26±10.90 <sup>qrst</sup>

ตารางที่ 4.5 ผลสภาวะการอบแห้งที่มีต่อร้อยละความชื้นของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบ

Temp (°C)	Conc (%)	Drying time (min)						
		0	30	60	90	120	150	180
60	20	196.33±24.03 <sup>a</sup>	177.53±9.67 <sup>ab</sup>	171.89±21.87 <sup>b</sup>	116.75±3.33 <sup>ef</sup>	82.69±9.81 <sup>ijklm</sup>	81.69±7.15 <sup>ijklm</sup>	<u>69.04±7.87<sup>klmn</sup></u>
	25	162.28±9.44 <sup>bc</sup>	142.35±11.91 <sup>cd</sup>	103.50±5.57 <sup>ghij</sup>	87.44±1.31 <sup>hijkl</sup>	79.78±3.14 <sup>ijklm</sup>	<u>63.40±2.05<sup>lmnop</sup></u>	58.48±0.20 <sup>mnopq</sup>
	30	144.34±5.82 <sup>cd</sup>	104.72±3.85 <sup>fghi</sup>	67.73±22.05 <sup>klmn</sup>	69.74±4.56 <sup>klmn</sup>	<u>62.42±3.01<sup>mnop</sup></u>	54.28±1.25 <sup>nopqr</sup>	47.57±3.46 <sup>nopqrst</sup>
70	20	163.57±8.67 <sup>bc</sup>	105.79±2.81 <sup>fghi</sup>	81.74±2.33 <sup>ijklm</sup>	<u>63.64±0.49<sup>lmnop</sup></u>	46.57±4.45 <sup>nopqrst</sup>	41.23±2.69 <sup>pqrstuv</sup>	30.81±4.81 <sup>rstuv</sup>
	25	141.62±0.02 <sup>cd</sup>	107.96±5.28 <sup>fgh</sup>	83.53±2.27 <sup>ijklm</sup>	<u>63.86±2.49<sup>lmnop</sup></u>	50.04±3.82 <sup>nopqrs</sup>	39.73±3.70 <sup>pqrstuv</sup>	17.52±5.00 <sup>v</sup>
	30	136.70±23.8 <sup>de</sup>	92.20±1.56 <sup>ghijk</sup>	69.28±0.06 <sup>klmn</sup>	<u>58.79±0.58<sup>mnopq</sup></u>	49.29±2.25 <sup>nopqrs</sup>	42.41±0.52 <sup>opqrstu</sup>	36.88±1.15 <sup>qrstuv</sup>
80	20	174.70±15.04 <sup>b</sup>	112.23±2.57 <sup>fg</sup>	98.27±32.53 <sup>fghij</sup>	<u>68.87±7.18<sup>klmn</sup></u>	58.89±34.32 <sup>mnopq</sup>	46.47±5.52 <sup>nopqrst</sup>	40.68±1.13 <sup>pqrstuv</sup>
	25	161.58±2.95 <sup>bc</sup>	116.16±3.87 <sup>ef</sup>	98.03±0.83 <sup>ijklm</sup>	<u>66.68±2.21<sup>lmno</sup></u>	50.45±0.74 <sup>nopqrs</sup>	23.96±0.13 <sup>tuv</sup>	21.93±1.90 <sup>uv</sup>
	30	147.38±2.04 <sup>cd</sup>	104.40±7.24 <sup>fghi</sup>	51.56±32.90 <sup>nopqrs</sup>	<u>58.81±17.28<sup>mnopq</sup></u>	48.96±0.07 <sup>nopqrs</sup>	42.46±4.01 <sup>opqrstu</sup>	27.84±16.01 <sup>stuv</sup>

หมายเหตุ : ข้อความที่มีการขีดเส้นใต้และเน้นตัวหนังสือหนา แสดงถึงระยะเวลาที่มีร้อยละความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติและถูกเลือกนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพต่อไป

ตารางที่ 4.6 F-value ของคุณสมบัติของกุ้งแห้งเทียมที่มีการเติมแป้งสาลี

Source	Rehydration ratio	Shrinkage ratio	Firmness	Cohesiveness	Springiness	chewiness	L*	a*	b*	Whiteness
temp	0.201 <sup>ns</sup>	3.233 <sup>ns</sup>	58.108 <sup>**</sup>	13.585 <sup>**</sup>	9.21 <sup>**</sup>	57.802 <sup>**</sup>	11.49 <sup>**</sup>	16.86 <sup>**</sup>	3.482 <sup>**</sup>	17.331 <sup>**</sup>
conc	9.154 <sup>**</sup>	3.205 <sup>ns</sup>	1.738 <sup>ns</sup>	12.62 <sup>**</sup>	5.859 <sup>**</sup>	4.59 <sup>**</sup>	11.949 <sup>**</sup>	46 <sup>**</sup>	3.254 <sup>**</sup>	16.627 <sup>**</sup>
temp*conc	1.212 <sup>ns</sup>	0.667 <sup>ns</sup>	7.032 <sup>**</sup>	2.285 <sup>ns</sup>	1.148 <sup>ns</sup>	7.534 <sup>**</sup>	9.262 <sup>**</sup>	16.02 <sup>**</sup>	2.084 <sup>ns</sup>	9.704 <sup>**</sup>

หมายเหตุ \*\* : มีความแตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p<0.05)

ns : ไม่มีความแตกต่างกันในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p>0.05)

จากตารางที่ 4.6 แสดง F-value ของคุณสมบัติกึ่งแข็งเทียมที่มีการเติมแป้งสาลีเป็นส่วนผสม แสดงให้เห็นว่าปัจจัยเดียวทั้งสองปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารเติมแต่ง โดยอุณหภูมิไม่มีผลต่ออัตราค่าความสามารถในการคั้นตัวและค่าความสามารถในการหดตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P>0.05$ ) โดยปัจจัยในด้านความเข้มข้นของสารเติมแต่ง ส่งผลต่ออัตราค่าความสามารถในการคั้นตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P\leq 0.05$ ) เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารเติมแต่ง ไม่มีผลต่ออัตราค่าความสามารถในการคั้นตัว และค่าความสามารถในการหดตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P>0.05$ ) เนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของแป้งมันสาลีซึ่งมีปริมาณโมลอสสูง ทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้นเกิดการพองตัวต่ำ (กลั่นแรงค์และเก็อกูล, 2546) และเกิดกลูเตนที่ให้ลักษณะเป็นโดเมื่อทำการสับผสม ทำให้จากลักษณะดังกล่าวจึงทำให้ปริมาณน้ำในตัวอย่างจึงระเหยออกไปได้ยาก ดังนั้นแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิในการอบแห้งและระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่งที่แตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลต่อความสามารถในการหดตัวของตัวอย่างกึ่งแข็งเทียมซึ่งจากผลการทดลองตารางที่ 4.9 จึงเห็นได้ว่าค่าความสามารถในการหดตัวจึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P\leq 0.05$ ) นอกจากนี้ที่ระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่งที่ต่างกันมีความสัมพันธ์ต่อค่าการคั้นตัวนั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐธินิชา และพรพรรณ (2558) ที่ทำการศึกษารื่องผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของกึ่งแข็งเทียม พบว่า ความเข้มข้นของสารเติมแต่งมีปฏิสัมพันธ์ต่ออัตราการคั้นตัวในน้ำของกึ่งแข็งเทียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P\leq 0.05$ ) ซึ่งเมื่อความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้น จะทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่ค่อนข้างแน่นขึ้น ทำให้มีความสามารถในการดูดกลับของน้ำได้น้อย

จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยวิธี texture profile analysis ของกึ่งแข็งเทียมที่เตรียมจากเนื้อปลาบดสับผสมรวมกับแป้งสาลี พบว่า ปัจจัยเดียวทั้งสองปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารเติมแต่ง พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสทั้งสี่ค่า คือ Firmness Cohesiveness Springiness และ Chewiness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p\leq 0.05$ ) เนื่องจากเมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะน้ำในให้ผลิตภัณฑ์ระเหยออกจนได้ลักษณะที่มีความแน่นลดลง แข็งเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลโดยตรงต่อค่า Firmness และทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า Springiness ลดลงและทำให้ยากต่อการเคี้ยวค่า Chewiness จึงสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น สำหรับค่า Cohesiveness เป็นผลมาจากการดูดน้ำและขยายตัวของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อนซึ่งมีผลต่อการยึดเกาะกันภายในโครงสร้าง นอกจากนี้สำหรับปัจจัยเดียวด้านความเข้มข้นของสารเติมแต่งจะส่งผลต่อ ค่า Cohesiveness Springiness และ Chewiness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p\leq 0.05$ ) เพียงเท่านั้น เนื่องจากปริมาณแป้งที่สูงทำให้ความหนืดสูงขึ้นและพองตัวมากขึ้นเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง ดังนั้นจึงทำให้ค่า Springiness มีค่าลดลง และมีผลทำให้ ค่า Chewiness ลดลง นอกจากนี้ที่ระดับความเข้มข้นที่สูงมีแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ง่ายจึงมีผลต่อค่า Cohesiveness แต่หากใช้ปัจจัยร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารเติมแต่งจะไม่มีผลต่อค่า Cohesiveness และ Springiness แต่มีผลต่อค่า Firmness และ chewiness อย่างชัดเจน จากผลการศึกษาที่รับยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kong และคณะ (2016) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเติมสตาร์ชต่อคุณสมบัติเจลของซูริมิปลา Alaska Pollock ภายใต้การทดลองที่อุณหภูมิ 90 และ 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องคาเซียลเซส โดยใช้ความแตกต่างของแป้ง 5 ชนิด ได้แก่ native cassava starch (NCS), hydroxypropylated cassava starch (HCS), cross-linked cassava starch (CCS), cross-linked hydroxypropylated cassava starch (CHCS), and cross-linked acetylated cassava starch (CACS) พบว่า คุณสมบัติเจลซูริมิของ starch containing หลังจากให้ความร้อน 90 และ 120°C รูปแบบโครงสร้างสามมิติของโปรตีนจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับ พบว่า คุณสมบัติเจลซูริมิของ starch containing มีความสัมพันธ์กับความหนืดแป้ง และการบวมของแป้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น โดยการเติมสตาร์ชด้วยความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำจะปลดความแข็งแรงของเจลลง (HCS) ( $P < 0.05$ )

จากการวิเคราะห์หาค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีเขียว ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) พบว่า ปัจจัยเดียวทั้งอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารเติมแต่งมีผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีเขียว ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) ซึ่งรวมถึงค่าความขาว (Whiteness) ของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมที่ยังไม่มีการเติมสี อย่างไรก็ตามการใช้ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารเติมแต่งไม่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P > 0.05$ ) ซึ่งเมื่อแป้งได้รับความร้อนจะเกิดการเจลาทิไนเซชัน เม็ดแป้งจะดูดน้ำ เกิดการพองตัว ได้ลักษณะหนืดและใส ทำให้เกิดสภาพเป็น matrix (กลีอันรงค์และเก็อกูล, 2546) น้ำที่อยู่ในโครงสร้างของเม็ดแป้งจะทำให้เกิดการสะท้อนภายในพื้นที่ระหว่าง Matrix ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความสว่าง ซึ่งในการทดลองแม้ว่าจะทำการอบแห้งที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในเรื่องของปริมาณความชื้น (ปริมาณน้ำ) ดังนั้นค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ที่วัดได้ของตัวอย่างจึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วย โดยค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ที่วัดได้นั้นมีค่าประมาณ 57-64 ซึ่งถือว่าค่อนข้างสว่างสูง เนื่องจากแป้งสาลิมีอะไมโลสสูงจึงพองตัวได้ดี จึงมีลักษณะขาวขุ่นมากขึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Yang และคณะ (1998) ที่ทำการศึกษารื่อง ผลกระทบของคุณสมบัติและสภาวะของการให้ความร้อนในเจลซูริมิจากแป้ง พบว่า ผลกระทบของแป้งและสภาวะของการให้ความร้อนต่อเนื้อสัมผัส โครงสร้างจุลภาค และสีของเจลซูริมิจากแป้ง โดยอิทธิพลของแป้งที่มีต่อเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิจากแป้งจะขึ้นอยู่กับระดับของความเข้มข้นและการดัดแปรของแป้ง เช่นเดียวกับค่าอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน สำหรับค่าสี ( $L^*$  และ  $b^*$ ) จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและคุณสมบัติของแป้งยิ่งเม็ดแป้งมีการพองตัวต่ำ ค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ของเจลจะมีค่าต่ำ ดังนั้นจากปัจจัยในเรื่องของอุณหภูมิ ความเข้มข้นของระดับสารเติมแต่งที่ใช้จึงมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียม

ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของกึ่งแข็งเทียมที่มีแป้งมันสำลีเป็นส่วนผสม

Temp (°C)	Conc (%)	Drying time (Min)	Firmness(g)	Cohesiveness	Springiness	chewiness(g)
60	20	180	9471.46±1236.57 <sup>c</sup>	0.69±0.02 <sup>ab</sup>	0.86±0.04 <sup>a</sup>	5682.70±852.76 <sup>c</sup>
	25	150	9584.70±616.69 <sup>c</sup>	0.66±0.01 <sup>bcd</sup>	0.78±0.03 <sup>cd</sup>	4963.63±300.65 <sup>cd</sup>
	30	120	9951.03±1039.90 <sup>bc</sup>	0.65±0.03 <sup>cd</sup>	0.80±0.02 <sup>bcd</sup>	5181.15±569.58 <sup>c</sup>
70	20	90	7604.4±797.75 <sup>d</sup>	0.68±0.04 <sup>abc</sup>	0.78±0.06 <sup>cd</sup>	4082.64±637.67 <sup>de</sup>
	25	90	7175.23±1118.65 <sup>d</sup>	0.62±0.02 <sup>de</sup>	0.75±0.05 <sup>d</sup>	3366.83±688.67 <sup>e</sup>
	30	90	8286.34±886.72 <sup>d</sup>	0.60±0.05 <sup>e</sup>	0.76±0.00 <sup>d</sup>	3845.77±381.15 <sup>e</sup>
80	20	90	10857.99±1681.11 <sup>b</sup>	0.70±0.02 <sup>a</sup>	0.85±0.04 <sup>ab</sup>	6611.43±1070.92 <sup>b</sup>
	25	90	12933.15±621.49 <sup>a</sup>	0.72±0.04 <sup>a</sup>	0.83±0.03 <sup>abc</sup>	7818.92±1044.31 <sup>a</sup>
	30	90	10010.60±1074.39 <sup>bc</sup>	0.65±0.03 <sup>bcd</sup>	0.79±0.03 <sup>cd</sup>	5207.33±342.01 <sup>c</sup>

\* หมายถึง อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.8 ลักษณะทางกายภาพด้านสีของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำลีเป็นส่วนผสม

Temp (°C)	Conc (%)	Drying time (Min)	Color			
			L*	a*	b*	Whiteness
60	20	180	57.00±1.94 <sup>d</sup>	-3.41±0.19 <sup>a</sup>	19.51±0.73 <sup>a</sup>	52.63±1.55 <sup>e</sup>
	25	150	59.64±2.51 <sup>c</sup>	-4.56±0.28 <sup>bc</sup>	18.77±1.11 <sup>abc</sup>	55.22±2.11 <sup>d</sup>
	30	120	63.32±1.59 <sup>a</sup>	-4.97±0.30 <sup>e</sup>	19.15±0.64 <sup>ab</sup>	58.32±1.34 <sup>ab</sup>
70	20	90	60.59±0.60 <sup>bc</sup>	-4.42±0.20 <sup>b</sup>	18.40±0.16 <sup>bc</sup>	56.27±0.54 <sup>cd</sup>
	25	90	64.66±0.54 <sup>a</sup>	-4.92±0.28 <sup>de</sup>	18.69±0.38 <sup>abc</sup>	59.71±0.34 <sup>a</sup>
	30	90	62.68±0.60 <sup>ab</sup>	-4.91±0.14 <sup>de</sup>	18.49±0.10 <sup>bc</sup>	58.06±0.54 <sup>abc</sup>
80	20	90	60.17±3.08 <sup>a</sup>	-4.63±0.05 <sup>bcd</sup>	19.49±0.99 <sup>a</sup>	57.85±1.86 <sup>bc</sup>
	25	90	61.62±2.74 <sup>bc</sup>	-4.56±0.16 <sup>bc</sup>	18.17±0.46 <sup>c</sup>	56.34±1.23 <sup>cd</sup>
	30	90	63.10±1.20 <sup>a</sup>	-4.82±0.20 <sup>cde</sup>	18.71±0.87 <sup>bc</sup>	58.63±1.05 <sup>ab</sup>

\* หมายถึง อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.9 ลักษณะทางกายภาพด้านการคืนตัว – หดตัวของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำลีเป็นส่วนผสม

Temp (°C)	Conc (%)	Drying time (Min)	Rehydration ratio	% Shinkage <sup>a</sup>
60	20	180	1.49±0.41 <sup>a</sup>	22.22±19.24
	25	150	1.20±0.45 <sup>b</sup>	44.44±19.24
	30	120	1.17±0.02 <sup>b</sup>	19.44±17.35
70	20	90	1.52±0.19 <sup>a</sup>	22.22±19.24
	25	90	1.09±0.03 <sup>b</sup>	22.22±19.24
	30	90	1.12±0.02 <sup>b</sup>	25.00±25.00
80	20	90	1.32±0.04 <sup>ab</sup>	22.22±19.24
	25	90	1.26±0.02 <sup>ab</sup>	38.89±9.62
	30	90	1.19±0.04 <sup>b</sup>	30.00±26.46

\* หมายถึง อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงค่าตัวเลขที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการศึกษาผลของสารเติมแต่งและอุณหภูมิต่อลักษณะทางกายภาพ ปริมาณความชื้น และนำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ เนื้อสัมผัส สี อัตราการหดตัวและการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ เพื่อคัดเลือกสภาวะในการผลิตกึ่งแห้งเทียมที่เหมาะสม พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและความเข้มข้นของสารเติมแต่งนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติด้านสี เนื้อสัมผัส(TPA) อัตราการหดตัวและอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นจึงใช้คุณสมบัติด้านอัตราการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ในการคัดเลือกกระบวนการผลิตกึ่งแห้งเทียมที่เหมาะสม โดยสำหรับกระบวนการผลิตกึ่งแห้งเทียมที่เหมาะสม คือ กึ่งแห้งเทียมที่แบ่งสาส์เป็นส่วนผสมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 ระยะเวลาในการอบแห้ง 90 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Hedonic scale – 9 points) โดยใช้ผู้ทดสอบทั้ง 30 คน ซึ่งในการทดสอบชิมนั้นได้มีการใช้บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป รส ต้มยำกุ้ง ในพาหะในการทดสอบ และมีการแสดงลักษณะกึ่งแห้งเทียมให้ดูประกอบขณะทดสอบชิม ซึ่งได้ทำการทดสอบปัจจัยคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความเหนียว ความนุ่ม ความแข็ง และรสชาติ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านปัจจัยคุณภาพต่างๆตามลำดับดังนี้ 6.33 6.10 5.27 3.37 3.63 4.13 และ 4.13 นอกจากนี้ผู้ทดสอบทั้ง 30 คน ยังคงไม่ยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ โดยมีข้อเสนอแนะส่วนใหญ่ว่าควรปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้น โดยเนื้อสัมผัสควรมีความยืดหยุ่น เด้งมากขึ้น และเนื้อสัมผัสบริเวณรอบนอกควรเนียนและไม่ยุ่ย รวมไปถึงข้อเสนอแนะด้านอื่นๆ ได้แก่

- ด้านลักษณะปรากฏ ควรมีขนาดที่สม่ำเสมอและขนาดเล็กกว่านี้ ซึ่งจะทำให้มีลักษณะใกล้เคียงกับกึ่งแห้งมากขึ้น
- ด้านสี มีคำแนะนำว่า ขณะเป็นกึ่งแห้งเทียมมีสีเข้มในระดับพอดี แต่เมื่อนำมาคืนตัวกลับมีสีซีดลง ดังนั้นจึง ควรมีความเข้มมากกว่านี้
- ด้านกลิ่น จากกลิ่นกึ่งที่เดิมเข้าไป ในขณะที่ยังไม่ได้คืนรูปมีกลิ่นในระดับที่พอดี แต่เมื่อนำมาทดสอบชิม พบว่ากลิ่นยังคงอ่อน ซึ่งอาจเกิดจากกลิ่นเครื่องปรุงรสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่เข้มเกินไป จึงควรเติมกลิ่นเพิ่มเข้าไปให้มากขึ้น
- ลักษณะเนื้อสัมผัส ควรเหนียว เด้งมากกว่านี้ อาจเติมสารประกอบฟอสเฟตเข้าช่วยในเรื่องเสริมในเรื่องเนื้อสัมผัส
- ด้านรสชาติ มีคำแนะนำว่าควรปรุงรสให้เข้มข้นกว่าเดิมเนื่องจากลักษณะเดิมยังคงอ่อน และจืด

โดยจากข้อเสนอแนะทั้งหมดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากปริมาณแป้งที่มากเกินไปกับข้อจำกัดในการขึ้นรูป เนื่องจากลักษณะแบทเทอร์ที่ได้จากการสับผสมเกิดโดซึ่งมีความเหนียวสูงทำให้เมื่อทำการขึ้นรูปโดยใช้ชุดหัวบีบผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่ที่มีลักษณะวงกลมที่มีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถใช้แรงมือคนบีบได้ ได้คือ เบอร์ 8 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 ซม. ซึ่งยังมีขนาดค่อนข้างหนาและจะหนาขึ้นจากเดิมเมื่อทำการเซ็ทเจลโดยการนึ่ง ทำให้ในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์จึงยังไม่ค่อยสมบูรณ์ เนื่องจากเมื่อได้รับความร้อนสูง แป้งที่เป็นส่วนผสมในปริมาณที่สูงจะเกิดการเจลลาไทไนซ์และจะขัดขวางการดูดน้ำกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปในผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ใช้เวลานานในการคืนตัวหรือกว่าใจกลางตัวกึ่งแข็งเทียมจะสุกก็ทำให้เนื้อสัมผัสด้านนอกยุ่ย และเมื่อแป็งสุกจะทำให้สีที่เติมเข้าไปอ่อนลงจากเดิม ดังนั้น ถ้าสามารถทำให้กึ่งแข็งเทียมมีขนาดเล็กลง หรืออาจมีการใส่สารช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสเสริมเพิ่มเติมจากเดิมเพื่อทำให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะเต่ง หรือใส่สารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณสมบัติในการคูดน้ำอาจช่วยลดระยะเวลาในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ให้สั้นลงจากเดิม(ของเดิม ~10 นาที) ซึ่งอาจทำให้เนื้อสัมผัสบริเวณรอบนอกไม่ยุ่ย นอกจากนี้ควรมีการปรุงรสชาติกึ่งลงไปในผลิตภัณฑ์เลยเพื่อทำให้กึ่งแข็งเทียมที่ได้ออกมาใกล้เคียงของจริงมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

5.1.1 จากการทดลองใช้สารเติมแต่ง 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาลี เป็นส่วนผสมในการผลิตกึ่งแห้งเทียมในสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน พบว่า แปทเทอร์ที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมจะให้ลักษณะที่ค่อนข้างเหลว ทำให้กึ่งแห้งเทียมภายหลังการอบแห้งจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็ง แห้ง เปราะ และมีรูพรุน ซึ่งตรงกันข้ามกับแปทเทอร์ที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมจะให้ลักษณะเป็นโดที่มีความเหนียวละเอียดหยุ่นสูง ทำให้ภายหลังการอบแห้งจึงได้กึ่งแห้งเทียมที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียน แน่น เหนียว และมีความยืดหยุ่นสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ตารางที่ 2.2) ความเป็นพอลิเมอร์เชิงกึ่งทำให้คุณสมบัติในการคืนตัว (retrogradation) จึงต่ำ การละลายและกำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งที่ได้จากธัญพืช (แป้งสาลี) เพราะมีจำนวนพันธะน้อยกว่า นอกจากนี้แป้งสาลีปริมาณอะไมโลสสูง โดยปริมาณอะไมโลสที่สูงจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้การพองตัวต่ำ (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2546) อีกทั้งในแป้งสาลียังมีโปรตีนไกลอะดินและกลูเตนินซึ่งจะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ทำให้ได้กลูเตน (gluten) ซึ่งมีลักษณะเหนียวยืดหยุ่น ทำให้ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบจึงมีความคงตัวและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2532)

5.1.2 จากการทดลองหาปริมาณร้อยละความชื้น พบว่า ปัจจัยเดียวได้แก่ อุณหภูมิ ระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่ง และเวลาในการอบแห้งมีความสัมพันธ์ต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมทั้ง 2 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมในอุณหภูมิที่เท่ากันและระยะเวลาสุดท้ายในการอบแห้งจะพบว่าปริมาณร้อยละความชื้นจะมีค่าสูงกว่า ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม เนื่องจากปริมาณอะไมโลสที่สูงในแป้งสาลีและมีโปรตีนที่ทำให้เกิดกลูเตนที่ทำให้เกิดลักษณะโดทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมจึงมีโครงสร้างที่แข็งแรงและมีการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างไว้เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่ออัตราการระเหยของน้ำภายในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจากลักษณะทางกายภาพภายหลังการอบแห้งที่เกิดขึ้นและปริมาณร้อยละความชื้นที่เหลืออยู่ จึงทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมและปริมาณร้อยละความชื้นที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติไปทำการศึกษาคุณสมบัติด้านอื่นๆ ต่อไป

5.1.3 จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม ด้วยวิธี texture profile analysis ซึ่งมีปัจจัยเดี่ยวทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่ง พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสทั้ง 4 ค่า คือ Firmness Cohesiveness Springiness และ Chewiness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งต่างกับระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่งที่ไม่มีผลต่อค่า Firmness โดยอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมาจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะแข็ง แห้ง ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อค่า Firmness สูงขึ้น สำหรับค่าความสามารถยึดเกาะกัน (cohesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ที่เกิดขึ้นได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลจากอุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่ง ซึ่งโดยองค์ประกอบของแป้งที่มีอะไมโลสสูงซึ่งมีโอกาสเกิดรีโทรเกรเดชันสูงและการจับกับน้ำของอะไมโลสอิสระได้มากกว่า ทำให้ความชื้นภายในของผลิตภัณฑ์จึงสูงซึ่งส่งผลต่อค่า Springiness ของผลิตภัณฑ์ น้ำจะถูกขังอยู่ในโครงสร้างโปรตีนเจล น้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดสำหรับการเกิดเจลที่ไนซ์ของแป้งและส่งผลให้ร่วมในการแข่งขันสำหรับน้ำระหว่างแป้งและโปรตีน เม็ดแป้งดูดซับน้ำและขยายตัวเองจนเป็นเมทริกซ์เจลซึ่งมีผลกับการยึดเกาะกันภายในโครงสร้างของเจลที่ขึ้น ทำให้เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำสูงโดยมีผลโดยตรงต่อค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้การขยายตัวของเม็ดแป้งส่งผลในการเสริมแรงอัดให้มีผลในเมทริกซ์เจลและความแข็งแรงของเจล (Hong Yang และ Jae W. Park , 1998) และสำหรับค่าสุดท้ายของการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส คือค่า chewiness ซึ่งค่า chewiness ที่จะเกิดจากความสัมพันธ์จาก ค่า Firmness Cohesiveness และ Springiness ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากอุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่ง

5.1.4 จากการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมโดยที่ยังไม่การเติมสี พบว่า ปัจจัยเดียวที่อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารเติมแต่งมีผลต่อค่า  $L^* a^* b^*$  และรวมถึงค่า Whiteness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดเจลที่ไนซ์ของแป้งที่เป็นสารเติมแต่ง ซึ่งที่อุณหภูมิห้องโมเลกุลของแป้งจะมีการดูดซึมน้ำได้น้อยแต่ในอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิเจลที่ไนซ์ โมเลกุลของเม็ดแป้งจะสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น เพราะพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายโมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและละลายได้ มีลักษณะเหนียวและใสมากขึ้น โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ทำให้เกิดสภาพเป็น matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (กล้านรงค์และเกื้อกุล, 2546) น้ำที่อยู่ในโครงสร้างของเม็ดแป้งจะทำให้เกิดการสะท้อนภายในพื้นที่ระหว่าง Matrix ทำให้ค่าความสว่างจึงเพิ่มขึ้น โดยปริมาณอะไมโลสที่สูงจะยิ่งทึบแสงมากขึ้นทำให้มีลักษณะขาวขุ่นมากขึ้น (Yang และ W. Park , 1998) ดังนั้นจากปัจจัยในเรื่องของอุณหภูมิ ความเข้มข้นของระดับสารเติมแต่งที่ใช้จึงมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์

5.1.5 จากการทดลองวิเคราะห์ค่าอัตราการคืนตัวและหดตัวของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียม พบว่า ปัจจัยเดียวในด้านอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราค่าความสามารถในการคืนตัวและค่าความสามารถในการหดตัว แต่ปัจจัยเดียวในด้านความเข้มข้นของระดับสารเติมแต่งนั้นส่งผลต่ออัตราค่าความสามารถในการคืนตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) โดยผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมจะมีลักษณะที่แข็งแรงและแน่นหนา ซึ่งระดับความเข้มข้นของแป้งที่เติมลงไปจะยิ่งส่งผลต่อค่าการคืนตัว เนื่องจากในระดับความเข้มข้นของสารเติมแต่งที่สูงจะทำให้เจลที่เกิดขึ้นทั้งจากโปรตีนและแป้งนั้นเกิดเจลที่ไนซ์ง่ายขึ้น ทำให้ในการคืนตัวน้ำจึงซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ยากเนื่องจากลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์นั้นเกิดเจล

5.1.6 จากทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยคัดเลือกระดับของอุณหภูมิและระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมจากอัตราการคืนตัวที่ดีที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติในด้านอื่นๆ ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงได้ระดับอุณหภูมิ 70°C นาน 90 นาที และระดับความเข้มข้น 20% พบว่า

ผู้บริโภคมักยังไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านเนื้อสัมผัสเนื่องจากการเกิดเจลลาทีนเซชันทำให้เกิดเจลที่ภายนอกของผลิตภัณฑ์ ทำให้ในการคั้นตัวน้ำจึงซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ยาก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื้อปลามีปริมาณความชื้นที่ค่อนข้างสูง ในการทดลองนั้นใช้วิธีบีบน้ำออกจากเนื้อปลา โดยการใช้มือ ทำให้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นในแต่ละครั้งที่ทำการทดลองไม่เท่ากัน ดังนั้น จึงควรมีกระบวนการนำน้ำออกจากเนื้อปลาที่สามารถทำให้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นใกล้เคียงกัน

5.2.2 แบบเทอร์ที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมให้ลักษณะเหนียว มีความยืดหยุ่น และจับตัวกันเป็นโค เนื่องจากแป้งสาลีมีโปรตีน กลูเตนิน และไกลอะดิน ที่ทำให้เกิดกลูเตนจึงทำให้ในการขึ้นรูปโดยใช้หัวบีบ ผลิตภัณฑ์เบเกอร์รูปวงกลมได้ยาก และไม่สามารถใช้หัวบีบที่มีขนาดเล็กได้ (ต่ำกว่าเบอร์ 8) ส่งผลให้ขนาดของกึ่งแห้งเทียมที่ได้จึงมีขนาดใหญ่ ดังนั้น ควรวิธีขึ้นรูปกึ่งแห้งที่ทำไว้ขนาดตัวกึ่งเล็กกว่านี้ได้

5.2.3 เนื่องจากขนาดของตัวกึ่งแห้งเทียมที่ได้จึงมีลักษณะที่ค่อนข้างใหญ่ ทำให้ในการคั้นตัวของผลิตภัณฑ์ จึงต้องใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน (มากกว่า 10 นาที) ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านนอกค่อนข้างยุ่ย ไม่เนียน จึงควรทำการศึกษาระยะเวลาที่แน่นอนที่ใช้ในการคั้นตัวต่อไปเพื่อให้สะดวกต่อการบริโภค

5.2.4 จากกระบวนการผลิตทั้งหมดเมื่อผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว ควรนำมาตรวจวัดทางจุลินทรีย์ เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาที่แน่นอน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ภายหลังจากอบแห้งยังคงมีความชื้นที่ค่อนข้างสูง และเพื่อสร้างความมั่นใจต่อการบริโภคว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีความปลอดภัย

## บรรณานุกรม

- กระทรวงพาณิชย์. กำหนดให้แป้งมันสำปะหลังเป็นสินค้ามาตรฐานและมาตรฐานสินค้าแป้งมันสำปะหลัง. ประกาศกระทรวงพาณิชย์ . 29 กันยายน 2549
- กระทรวงอุตสาหกรรม. กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 359 (พ.ศ. 2521). 12 ธันวาคม 2521
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. เอกสาร มอก. เลขที่ 274-2521 , สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งสาลิชนิดเอนกประสงค์. เลขที่ มอก. 375-2524.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จักรี ทองเรือง. 2544. ซูริมิ (SURIMI). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิรวัดน์ ยงสวัสดิกุล. 2541. “การเกิดเจลของโปรตีนกล้ามเนื้อปลา”. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี(อาหาร) ปีที่28, ฉบับที่4 (ตุลาคม-ธันวาคม): 245-254.
- จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ วินัยกุล. 2546. เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชาลิตา บรมพิชัยชาติกุล. 2555. “เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน”. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-ธนบุรี ปีที่ 35, ฉบับที่ 2 (2 เมษายน – มิถุนายน 2555) : 269 – 283.
- ณัฐธิดา ประกอบกิจ และพชรพรรณ รักษาภักดี. 2558. ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของกึ่งแข็งเทียม. สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ดุขฎิ อุดภาพ และ นื่องนุช เจริญกุล .(ม.ป.ป.). บทที่ 2 เคมีและสมบัติของแป้ง.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/index.html>. สืบค้นวันที่ 8 เมษายน 2559
- ทองศักดิ์ วัฒนา. 2555. การเลือกเทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมและเพื่อลดต้นทุนการผลิต (ตอนที่ 1). (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=13986> . วันที่สืบค้น 18 เมษายน 2559.
- ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2550. “การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร” .วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 3, ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2549- พฤษภาคม 2550 : 6-13
- นีสานารถ กระแสร์ชล, พรนภา น้อยพันธ์, พีรภัทร ชะอุ่มเครือ, สุมาลี เสือเถื่อน, เอมมิกา นวลโย และ อรรถพล วิเศษลา.2556. ผลของเจลบุกและอุณหภูมิกวนเซตตัวต่อคุณภาพของไส้กรอกปลาสดไขมันที่ทำจากซูริมิ .สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร . คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พีระพงษ์ วงษ์ทหาร และศุภวรรณ ถาวรชินสมบัติ . 2556. การผลิตเนื้อปลาชั้นรูปเพื่อสุขภาพจากผลิตผลพลอยได้จากการแปรรูปปลาไนโดยใช้สารปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัส. หน้า 458-463. ในการประชุมทางวิชาการ GRC 2013 (Graduate Research Conference). ขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- มาลินี อัครดิษฐเลิศ และ นิธิกานต์ อินทร. (4 เมษายน 2551). ซูริมิและผลิตภัณฑ์. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.vcharkarn.com/varticle/36111> . สืบค้นวันที่ 8 พฤศจิกายน 2558
- มนตรี การะบัตร, พรพรรณ ยืนยง และอนุธิดา ผายพันธ์ 2552 . ผลิตภัณฑ์ปลาไนแผ่นปรุงรสเสริมใยอาหาร. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร . คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
- ระวิน สืบคำ. 2556. “เทคโนโลยีการลดความชื้น”. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 23, ฉบับที่ 2 (พ.ค. - ส.ค.) : 500-513.
- รังสิณี โสธรวิทย์. 2553. เคมีและจุลชีววิทยาเบื้องต้นของอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรางคณา สมพงษ์. 2547. การศึกษาชนิดของปริมาณแบคทีเรียที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ซูริมิ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 12, 2 (พ.ค.-ส.ค. 47), 24-33.
- วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร (Food Processing Technology). กรุงเทพฯ : บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด.
- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, บจก. (7 ตุลาคม 2550). ซูริมิ : ตลาดขยายตัวดี..แต่มีปัญหาด้านวัตถุดิบ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.positioningmag.com/content/ซูริมิ-ตลาดขยายตัวดีแต่มีปัญหาด้านวัตถุดิบ>. สืบค้นวันที่ 8 พฤศจิกายน 2558
- ศูนย์วิจัยและตรวจสอบคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ สมุทรสาคร (มปป.). รายชื่อปลาส่งออก. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : [http://www.fisheries.go.th/rgm-samutsa/content\\_list.asp?cat\\_id=4&subcat\\_id=13&content\\_id=24](http://www.fisheries.go.th/rgm-samutsa/content_list.asp?cat_id=4&subcat_id=13&content_id=24). สืบค้นวันที่ 2 พฤษภาคม 2559
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2549. ซูริมิ: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อปลาสด. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไอ.เอส.พรินต์ติ้งเฮาส์.
- สวณิต อิชยาวณิชย์. 2556. “ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดกลาสทรานซิชั่นระหว่างการอบแห้งกับคุณภาพของอาหารแห้งที่ผลิตได้”. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 23, ฉบับที่ 1 (ม.ค. – เม.ษ.) : 241-249.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. ข้าวสาลี : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Alaska Department of Fish and Game. 2016. *Walleye Pollock (Theragra chalcogramma)*. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.adfg.alaska.gov/index.cfm?adfg=walleyepollock.main> . สืบค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2559.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed., Maryland, USA.
- Beynum, G.M.A., van, and Roels, J.A., 1985. Starch Conversion Technology, Marcel Dekker, Inc., New York, p. 326.
- Eliasson, A. and M. Gudmundsson. 1996. Starch : Physicochemical and functional aspects. *In* A. Eliasson (Ed.). Carbohydrate in Food. Marcel Dekker, Inc., New York. pp.431-503
- Ellis, R.P. , M.P. Cochrane, M.F.B. Dale, C.M. Duffus, A. Lynn, I.M. Morrison, R.D.M. Prentice, J.S. swanston, and S.A. Tiller. 1998. Starch production and industrial use. *J. Sci.Food Agri.* 77: 289-311.
- Fisheries of the United States. 2009. *Alaska Pollock*. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : [http://seafoodhealthfacts.org/seafood\\_choices/pollock.php](http://seafoodhealthfacts.org/seafood_choices/pollock.php) . สืบค้นวันที่ 8 พฤศจิกายน 2558
- Fisheries of the United States . 2009. *Alaska Pollock*. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.seafoodhealthfacts.org/description-top-commercial-seafood-items/alaska-pollock> . สืบค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2559.
- Hizukuri, S. 1996. Starch : Analytical aspects. *In* A. Eliasson (Ed.). Carbohydrate in Food . Marcel Dekker, Inc., New York. pp.347-429.
- Hong Yang and Jae W. Park . (1998). Effects of Starch Properties and Thermal – processing Conditions on Surimi – Starch Gels. *Lebensm. Wiss. U. Technol.* 31(No.4) : 334-353
- Ilgin Parker and Kristen E.Matak. (2015). Impact of sarcoplasmic proteins on texture and color of silver carp and Alaska Pollock protein gels . *Journal of Food Science and Technology* 63: 985-991
- James W. Orr and Duane E. Stevenson. (2013). *Yes, Virginia, Walleye Pollock is Gadus chalcogrammus*. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.afsc.noaa.gov/Quarterly/OND2013/divrptsRACE1.htm> . สืบค้นวันที่ 2 พฤษภาคม 2559
- Kent, N. L. 1975. *Technololy of Cereals*. 2<sup>nd</sup> ed. Press, Ltd., New York.
- Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch. *In* R.L. Whistler, E.F. Paschall, J.N. BeMiller, and H.J. Roberts (Eds.). *Starch : Chemistry and Technology Vol I*. Academic Press, New York. pp. 298-307
- Lili Zhang , Fengxiang Zhang , Xia Wang. (2015). Effect of hydrolyzed wheat gluten on the properties of high – temperature( $\geq 100^{\circ}$ ) treated surimi gels. *Journal of Food Hydrocolloids* 45: 196-202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Newport Scientific Pty, Ltd. 1995. Operation Manual for the series 4 Rapid Visco Analyzer. Australia.93 p.
- Niwa, E. 1992. Chemistry of surimi gelation. In: Surimi Technology. T.C. Lanier and C.M. Lee (eds) Marcel Dekker, New York. p. 389-427.
- P.J. Jenkins, A.M. Donald. (1995). The influence of amylose on starch granule structure. International Journal of Biological Macromolecules. Vol.17(6) : 315–321
- Rensselaer Polytechnic Institute. 11April 2012. **Carbohydrates - Sugars and Polysaccharides**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <https://www.rpi.edu/dept/bcbp/molbio/chem/MBWeb/mb1/part2/sugar.htm>. สืบค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2559.
- Susumu Hizukuri. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins and its significance. Carbohydrates . Res 147: 342.
- Tomoko Sasaki and Junko Matsuki .(1998). Effect of Wheat Starch Structure on Swelling Power. American Assciation of Cereal Chemists. 75(4) : 525 – 529
- Wageningen University .(1999). **Carbohydrates – Starch**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.food-info.net/uk/carbs/starch.htm>. สืบค้นวันที่ 8 เมษายน 2559
- Wenjun Kong , Tao Zhang, Dandan Feng, Yong Xue, Yuming Wang, Zhaojie Li, Wenge Yang and Changhu Xue. (2016). Effects of modified starches on the gel properties of Alaska Pollock surimi subjected to different temperature treatments. Journal of Food Hydrocolloids 56: 20-28
- Wikipedia. 18 April 2016. **Alaska Pollock**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : [https://en.wikipedia.org/wiki/Alaska\\_pollock](https://en.wikipedia.org/wiki/Alaska_pollock). . สืบค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2559.
- Ziegler, G.R. and Aton, J.C. 1984. Meahanism of gel forming by proteins of muscle tissue. Food Technol. 38(5) : 77-82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### ก.1 การวัดสีของแบทเทอร์

โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta (รุ่น CR-300) โดยอ่านค่าสีเป็นระบบ  $L^* a^* b^*$  ซึ่งระบบฮันเตอร์ โดยวัดสี  $L^*$  เป็นค่าความสว่าง (lightness)  $a^*$  เป็นค่าสีแดงและเขียว (redness/greenness) และ  $b^*$  เป็นค่าสีเหลืองและน้ำเงิน (yellowness/blueness)

เมื่อ  $L^*$  คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

เมื่อ  $L^*$  มีค่าเป็นบวก เป็นสีเขียว

$L^*$  มีค่าเป็นลบ เป็นสีดำ

$L^*$  มีค่าเป็นศูนย์ เป็นสีเทา

$a^*$  คือ ค่าสีแดงและเขียว เมื่อ  $a^*$  มีค่าเป็นบวก เป็นสีแดง

$a^*$  มีค่าเป็นลบ เป็นสีเขียว

$a^*$  มีค่าเป็นศูนย์ เป็นสีเทา

$b^*$  คือ ค่าสีเหลืองและน้ำเงิน เมื่อ  $b^*$  มีค่าเป็นบวก เป็นสีเหลือง

$b^*$  มีค่าเป็นลบ เป็นสีน้ำเงิน

$b^*$  มีค่าเป็นศูนย์ เป็นสีเทา

ในการวัดทุกครั้งก่อนวัดจะต้องปรับมาตรฐานเครื่องด้วยแผ่นขาว (White Tile) และทำการวัดสี กุ้งแห้งเทียมที่มีกุ้งแห้งเทียมเป็นส่วนผสมที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเข้มข้น 20% 25% และ 30% โดยนำกุ้งแห้งเทียมที่ผ่านกระบวนการนี้ด้วยลังถึงอุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ที่จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดเป็นระยะเวลาตามที่กำหนด โดยใช้หัวสีวางทาบลงบนตัวอย่างในแนวตั้งฉากและอ่านค่าแสดงผลการวัดในระบบ CIELAB ( $L^* a^* b^*$ ) ทำการวัด 5 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมง แล้วหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

### ก.2 การหาปริมาณความชื้น โดยใช้วิธีอบในตู้อบไฟฟ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

- 2.1 ตู้อบอุณหภูมิปรับอุณหภูมิได้
- 2.2 ภาชนะหาความชื้น (ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝา)
- 2.3 โถดูดความชื้น
- 2.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. อบอุ่นสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 120°C นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำมาชั่งน้ำหนัก
2. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ชั่ง ภาชนะได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-3 กรัม ใส่ในภาชนะหาความชื้น ซึ่งทราบน้ำหนักดีแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบอีก และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ  
คำนวณเป็นแบบ Dry Basis โดยมีสูตร  $M = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$

โดยที่ M = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

$W_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

$W_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

### 3. การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งแห้งเทียม

วิธีวิเคราะห์

3.1 เตรียมตัวอย่างโดยใช้กุ้งแห้งเทียม ตัดตัวอย่างเป็นลักษณะทรงกระบอก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 10 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร

3.2 เลือกข้อมูลตามตัวอย่างที่ต้องการวัดในเครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA-XT 2i,UK)

3.3 วางตัวอย่างในตำแหน่งที่กำหนด

3.4 ใช้หัวกดรูปทรงกระบอก P/35 ปลดปล่อยหัวกดบนตัวอย่างและรอนจนหัวกดกลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิม

3.5 วิเคราะห์ผลโดยใช้คำสั่งเลือก Run a set

3.6 อ่านค่ากราฟที่ได้

Calibrate force ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 5 กิโลกรัมและ Probe โดยตั้งระยะ Probe ไว้ที่ 25 มิลลิเมตร

ตั้งค่าสภาวะการวัด (TA-setting) ดังนี้

Test mode and option : T.P.A

Pre-Test Speed : 1.0 mm/s

Test Speed : 1.0 mm/s

Post-Test Speed : 1.0 mm/s

Distance : 50%

Trigger Force : Auto: 5 g

## ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window (Version 16.0) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA : Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's new Multiple – Range Test)

ตารางผนวกที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความชื้นของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:mc

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	488213.940 <sup>a</sup>	62	7874.418	37.824	.000
Intercept	650930.590	1	650930.590	3.127E3	.000
Time	460672.168	6	76778.695	368.799	.000
Temp	8176.042	2	4088.021	19.636	.000
Conc	7275.075	2	3637.537	17.473	.000
Time * Temp	2694.067	12	224.506	1.078	.393
Time * Conc	3849.858	12	320.821	1.541	.133
Temp * Conc	1609.541	4	402.385	1.933	.116
Time * Temp * Conc	3937.188	24	164.050	.788	.737
Error	13115.716	63	208.186		
Total	1152260.246	126			
Corrected Total	501329.656	125			

a. R Squared = .974 (Adjusted R Squared = .948)

ตารางผนวกที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความชื้นของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:mc

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	248734.373 <sup>a</sup>	62	4011.845	38.246	.000
Intercept	882281.941	1	882281.941	8.411E3	.000
Time	195532.609	6	32588.768	310.675	.000
Temp	21668.293	2	10834.146	103.284	.000
Conc	12629.133	2	6314.567	60.198	.000
Time * Temp	2034.207	12	169.517	1.616	.110
Time * Conc	6123.171	12	510.264	4.864	.000
Temp * Conc	6929.979	4	1732.495	16.516	.000
Time * Temp * Conc	3816.981	24	159.041	1.516	.096
Error	6608.488	63	104.897		
Total	1137624.802	126			
Corrected Total	255342.861	125			

a. R Squared = .974 (Adjusted R Squared = .949)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนในการคืนรูปของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: rehydration

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.566 <sup>a</sup>	8	.071	2.945	.027
Intercept	43.104	1	43.104	1.795E3	.000
trt	.010	2	.005	.201	.820
conc	.440	2	.220	9.154	.002
trt * conc	.116	4	.029	1.212	.340
Error	.432	18	.024		
Total	44.102	27			
Corrected Total	.998	26			

a. R Squared = .567(Adjusted R Squared = .374)

ตารางผนวกที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าการหดตัวของกึ่งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบ

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: shrinkage

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1816.667 <sup>a</sup>	8	227.083	.572	.787
Intercept	20281.460	1	20281.460	51.124	.000
Temp	257.407	2	128.704	.324	.727
Conc	846.913	2	423.457	1.067	.365
Temp * Conc	712.347	4	178.087	.449	.772
Error	7140.738	18	396.708		
Total	29238.864	27			
Corrected Total	8957.405	26			

a. R Squared = .203 (Adjusted R Squared = -.151)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า Firmness ของ กุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:firmness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.230E8 <sup>a</sup>	8	1.538E7	18.478	.000
Intercept	4.099E9	1	4.099E9	4.925E3	.000
temp	9.672E7	2	4.836E7	58.108	.000
Conc	2893270.553	2	1446635.276	1.738	.190
temp * Conc	2.341E7	4	5852876.585	7.032	.000
Error	2.996E7	36	832264.633		
Total	4.252E9	45			
Corrected Total	1.530E8	44			

a. R Squared = .804 (Adjusted R Squared = .761)

ตารางผนวกที่ ข.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า Cohesiveness ของ กุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:cohesiveness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.057 <sup>a</sup>	8	.007	7.694	.000
Intercept	20.023	1	20.023	2.144E4	.000
temp	.025	2	.013	13.585	.000
Conc	.024	2	.012	12.620	.000
temp * Conc	.009	4	.002	2.285	.079
Error	.034	36	.001		
Total	20.114	45			
Corrected Total	.091	44			

a. R Squared = .631 (Adjusted R Squared = .549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า Springiness ของ กุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:springiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.061 <sup>a</sup>	8	.008	4.341	.001
Intercept	29.073	1	29.073	1.669E4	.000
temp	.032	2	.016	9.210	.001
Conc	.020	2	.010	5.859	.006
temp * Conc	.008	4	.002	1.148	.350
Error	.063	36	.002		
Total	29.196	45			
Corrected Total	.123	44			

a. R Squared = .491 (Adjusted R Squared = .378)

ตารางผนวกที่ ข.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า Chewiness ของ กุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:chewiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7.791E7 <sup>a</sup>	8	9739329.794	19.365	.000
Intercept	1.215E9	1	1.215E9	2.415E3	.000
temp	5.814E7	2	2.907E7	57.802	.000
Conc	4616561.394	2	2308280.697	4.590	.017
temp * Conc	1.516E7	4	3789094.450	7.534	.000
Error	1.811E7	36	502936.448		
Total	1.311E9	45			
Corrected Total	9.602E7	44			

a. R Squared = .811 (Adjusted R Squared = .770)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า L\*(Lightness) ของ กุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	226.744 <sup>a</sup>	8	28.343	10.490	.000
Intercept	170958.541	1	170958.541	6.328E4	.000
Temp	62.085	2	31.043	11.490	.000
Conc	64.566	2	32.283	11.949	.000
Temp * Conc	100.093	4	25.023	9.262	.000
Error	97.264	36	2.702		
Total	171282.548	45			
Corrected Total	324.008	44			

a. R Squared = .700 (Adjusted R Squared = .633)

ตารางผนวกที่ ข.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า a\* (Greeness/Redness) ของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:a

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.165 <sup>a</sup>	8	1.146	23.725	.000
Intercept	945.038	1	945.038	1.957E4	.000
Temp	1.628	2	.814	16.860	.000
Conc	4.442	2	2.221	46.000	.000
Temp * Conc	3.094	4	.774	16.020	.000
Error	1.738	36	.048		
Total	955.940	45			
Corrected Total	10.903	44			

a. R Squared = .841 (Adjusted R Squared = .805)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า b\* (Blueness/Yellowness) ของ กุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:b

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.359 <sup>a</sup>	8	1.170	2.728	.018
Intercept	15897.657	1	15897.657	3.707E4	.000
Temp	2.987	2	1.493	3.482	.041
Conc	2.792	2	1.396	3.254	.050
Temp * Conc	3.581	4	.895	2.087	.103
Error	15.441	36	.429		
Total	15922.457	45			
Corrected Total	24.800	44			

a. R Squared = .377 (Adjusted R Squared = .239)

ตารางผนวกที่ ข.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความขาว (Whiteness) ของกุ้งแห้งเทียมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:whiteness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	183.599 <sup>a</sup>	8	22.950	13.342	.000
Intercept	146228.941	1	146228.941	8.501E4	.000
Temp	59.624	2	29.812	17.331	.000
Conc	57.201	2	28.601	16.627	.000
Temp * Conc	66.773	4	16.693	9.704	.000
Error	61.926	36	1.720		
Total	146474.466	45			
Corrected Total	245.525	44			

a. R Squared = .748 (Adjusted R Squared = .692)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

ตารางผนวกที่ ค.1 คะแนนความชอบรวมของปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Hedonic scale) ของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งเทียมของผู้บริโภคที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน

ลำดับผู้ชิม	คะแนนความชอบรวมของปัจจัยคุณภาพ									ยอมรับ/ไม่ยอมรับ
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	ความเหนียว	ความนุ่ม	ความแข็ง	รสชาติ	ความชอบรวม	คะแนนรวม	
1	8	9	7	5	4	4	7	5	49	ไม่
2	7	8	6	5	4	5	3	4	42	ไม่
3	9	7	4	4	6	6	5	6	47	ไม่
4	7	7	7	4	4	4	4	4	41	ไม่
5	8	6	5	3	3	5	3	4	37	ไม่
6	5	5	2	2	2	2	2	2	22	ไม่
7	3	6	6	4	4	4	7	4	38	ไม่
8	6	6	3	2	2	2	2	3	26	-
9	6	6	6	7	5	5	5	6	46	ไม่
10	4	4	4	4	5	5	6	5	37	ไม่
11	4	7	3	3	3	3	3	4	30	ไม่
12	7	2	2	5	6	6	3	3	34	-
13	5	6	5	2	2	3	4	5	32	ไม่
14	7	6	8	3	5	5	7	4	45	ไม่
15	7	7	5	2	2	2	1	5	31	ไม่
16	7	7	7	4	6	7	7	6	51	-
17	8	7	6	1	2	2	2	3	31	ไม่

ลำดับผู้ชิม	คะแนนความชอบรวมของปัจจัยคุณภาพ									ยอมรับ/ไม่ ยอมรับ
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	ความเหนียว	ความนุ่ม	ความแข็ง	รสชาติ	ความชอบรวม	คะแนนรวม	
18	8	6	6	6	8	8	7	7	56	-
19	7	6	8	3	3	2	2	3	34	ไม่
20	5	6	2	1	2	2	2	2	22	-
21	4	7	7	2	2	2	2	2	28	ไม่
22	4	4	5	4	3	3	4	4	31	ไม่
23	5	3	5	2	4	3	5	3	30	-
24	6	5	4	3	2	5	3	5	33	-
25	7	7	8	2	2	6	2	4	38	ไม่
26	6	5	5	4	4	4	2	4	34	ไม่
27	8	6	6	2	2	4	5	5	38	ไม่
28	8	8	2	2	2	3	5	5	35	ไม่
29	7	7	8	5	5	6	5	5	48	ไม่
30	7	7	6	5	5	6	6	5	47	ไม่
รวม	190	183	158	101	109	124	121	127	1113	
เฉลี่ย	6.33	6.1	5.27	3.37	3.63	4.13	4.03	4.23	37.10	

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววรทัย ญาณประภาศิริ
วัน เดือน ปี เกิด	5 ตุลาคม 2536
ประวัติการศึกษา	2555 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษา โรงเรียนถาวรานุกุล 2559 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	2558 นักศึกษาฝึกงาน บริษัท ซีพีเอฟ(ประเทศไทย) จำกัด มหาชน (สระบุรี) ผลงานวิจัย วรทัย ญาณประภาศิริ และวรัฏฐา เขมมาลัย. ชนิดของสารเติมแต่งและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกึ่งแห้งเทียม. ปัญหาพิเศษ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559.
ชื่อ-นามสกุล	นางสาววรัฏฐา เขมมาลัย
วัน เดือน ปี เกิด	22 กรกฎาคม 2536
ประวัติการศึกษา	2555 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษา โรงเรียนสตรีสมุทรปราการ 2559 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	2558 นักศึกษาฝึกงาน บริษัท เบอร์ลี่ยุคเกอร์ ฟู้ดส์ จำกัด (สมุทรปราการ) ผลงานวิจัย วรทัย ญาณประภาศิริ และวรัฏฐา เขมมาลัย. ชนิดของสารเติมแต่งและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกึ่งแห้งเทียม. ปัญหาพิเศษ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้