# การผลิตตะเกียบรับประทานได้

# MANUFACTURING OF EDIBLE CHOPSTICKS

ปวัชร เพ็งสุขแสง
รชานนท์ แซ่ตั้ง
สกุลรญา สินธิรมั่น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

# การผลิตตะเกียบรับประทานได้

# MANUFACTURING OF EDIBLE CHOPSTICKS

ปวัชร เพ็งสุขแสง
รชานนท์ แซ่ตั้ง
สกุลรญา สินถิรมั่น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MANUFACTURING OF EDIBLE CHOPSTICKS

Pawat Pengsuksang

Rachanon Saetung

Sakulraya Sinthiraman

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2561

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การผลิตตะเกียบรับประทานได้

Manufacturing of Edible Chopsticks

ผู้จัดทำ

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | นายปวัชร | เพ็งสุขแสง | รหัสประจำตัว | 58010758 |
| 2. | นายรชานนท์ | แซ่ตั้ง | รหัสประจำตัว | 58011038 |
| 3. | นางสาวสกุลรญา | สินถิรมั่น | รหัสประจำตัว | 58011266 |

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโฉม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **หัวข้อโครงงาน** | การผลิตตะเกียบรับประทานได้ | |
| **นักศึกษา** | นายปวัชร | เพ็งสุขแสง |
| | นายรชานนท์ | แซ่ตั้ง |
| | นางสาวสกุลรญา | สินถิรมั่น |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโฉม | |
| | ผศ.ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ | |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมอาหาร | |
| **ปีการศึกษา** | 2561 | |


## บทคัดย่อ


โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดแป้งและปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง ค่าแอคติวิตีของน้ำและระยะเวลาการใช้งานโดยกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ทดลองผลิตตะเกียบจากแป้งหลายชนิดและใส่สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางกล สารเติมแต่งที่ใช้ ได้แก่ กลีเซอรอล กัวร์กัม และแมกนีเซียมสเตียเรต วางแผนการทดลอง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิการอัดขึ้นรูปพร้อมเวลาที่ใช้ 3 ระดับ คือ 140°C 17 นาที, 160°C 10 นาที และ 180°C 7 นาที และชนิดของแป้ง 2 รูปแบบ คือ แป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพดและแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวเหนียว และปริมาณกลีเซอรอล 5 ระดับ คือ 8, 12, 16, 20 และ 24%(w/w) และนำชิ้นงานไปทดสอบความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง วัดค่าแอคติวิตีของน้ำและระยะเวลาการใช้งาน โดยพบว่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิต คือ การอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และชนิดของแป้ง คือ แป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพด และปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสม คือ 12%(w/w) ส่งผลให้มีค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง 8.84 MPa ค่าแอคติวิตีของน้ำ 0.277 และสามารถใช้งานในน้ำร้อน 75°C ได้นาน 3 นาที 10 วินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **Project Title** | Manufacturing of Edible Chopsticks | |
| **Students** | Mr. Pawat | Pengsuksang |
| | Mr. Rachanon | Saetung |
| | Ms. Sakulraya | Sinthiraman |
| **Project Advisior** | Asst.Prof.Dr.Jedsada Chaishome | |
| | Asst.Prof.Dr.Teerin Chysirichote | |
| **Degree** | Bachelor of Engineering | |
| **Program** | Food Engineering | |
| **Academic Year** | 2018 | |

## ABSTRACT

This project aims to study the influence of flour types and glycerol content on bending strength, water activity and service time by compression molding process. The manufacturing of chopsticks was experimented from various types of flours and additives were added to modify their physical and mechanical properties (the additives including glycerol, guar gum and magnesium stearate). Three experimental factors are compression molding temperature at 3 levels along with the time spent, 140°C, 17 minutes, 160°C, 10 minutes and 180°C, 7 minutes. The second factor is 2 types of flour: soy flour mixed with corn starch and soy flour mixed with glutinous rice starch. And the third one is glycerol content of 8, 12, 16, 20 and 24%(w/w). After that, the flexural strength, water activity and service time were examined. It was found that the most suitable factors of manufacturing edible chopsticks were compression molding at 160°C for 10 minutes. Second, types of flour are soy flour mixed with corn starch. And the third factor is the appropriate glycerol content: 12%(w/w) resulting in flexural strength of 8.84 MPa, water activity of 0.277 and service time in 75°C water for 3 minutes 10 seconds.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโฉม และ ผศ.ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะความรู้ และแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ รวมถึงชี้แนะในข้อบกพร่องต่างๆ จนโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณ ปริญญา สิงห์พิทักษ์ ที่ให้ความช่วยเหลืออุปกรณ์การทำโครงงานและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ตะเกียบรับประทานได้

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ (พี่แมน), คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ (พี่นุ้ย), เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานของโครงงาน

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้ออำนวยสถานที่ และเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆในการทำโครงงาน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ตลอดจนเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือจนโครงงานนี้ประสบความสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| ปกในภาษาไทย | i |
| ปกในภาษาอังกฤษ | ii |
| หน้าอนุมัติ | iii |
| บทคัดย่อ | iv |
| กิตติกรรมประกาศ | vi |
| สารบัญ | vii |
| สารบัญตาราง | xi |
| สารบัญรูป | xiii |
| **บทที่ 1 บทนำ** | **1** |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน | 3 |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง** | **4** |
| 2.1 คาร์โบไฮเดรต | 4 |
| 2.1.1 อะไมโลส | 4 |
| 2.1.2 อะไมโลเพคติน | 4 |
| 2.1.3 แป้งสุก | 5 |
| 2.2 แป้งและถั่วเหลืองเมล็ด | 5 |
| 2.2.1 แป้งมันสำปะหลัง | 5 |
| 2.2.2 แป้งข้าวเหนียว | 6 |
| 2.2.3 แป้งข้าวโพด | 7 |
| 2.2.4 แป้งถั่วเขียว | 8 |
| 2.2.5 แป้งสาลี | 9 |
| 2.2.6 แป้งขนมปัง | 10 |
| 2.2.7 แป้งเค้ก | 11 |
| 2.2.8 ถั่วเหลืองเมล็ด | 11 |
| 2.2.8.1 โปรตีน | 11 |
| 2.2.8.2 ไขมัน | 12 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.2.8.3 คาร์โบไฮเดรต 12
2.2.8.4 วิตามินและแร่ธาตุ 12
2.3 สารเติมแต่ง 13
2.3.1 กัวร์กัม 13
2.3.2 ดินเกาลิน 13
2.3.3 กลีเซอรอล 14
2.3.4 แมกนีเซียมสเตียเรท 15
2.3.5 เวย์โปรตีน 15
2.4 สารเคลือบผิว 17
2.4.1 ไขผึ้ง 17
2.4.2 ไขคาร์นัวบา 17
2.4.3 ไคโตซาน 18
2.4.4 อัลจิเนต 18
2.4.5 แคลเซียมคลอไรด์ 19
2.4.6 กรดอะซิติก 19
2.5 เส้นใยอาหาร 19
2.5.1 คุณลักษณะเส้นใยอาหารแบ่งตามหน้าที่ 20
2.5.2 คุณลักษณะเส้นใยอาหารแบ่งตามการละลาย 20
2.6 แอคติวิตีของน้ำ 20
2.7 ความเค้นดัด 21
**บทที่ 3 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง** **23**
3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ 23
3.1.1 วัตถุดิบ 23
3.1.2 อุปกรณ์ 24
3.2 การวางแผนการทดลอง 27
3.3 หลักการทดลอง 27
3.4 วิธีการทดลอง 29
3.4.1 การทดลองส่วนผสมที่ใช้ในกระบวนการผลิต 29
3.4.2 การทดลองอบแป้ง 30


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


หน้า

3.4.3 การทดลองขึ้นรูปแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช 32
3.4.4 การทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากแป้งสาลีเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว 34
3.4.5 การทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งต่างชนิดกัน 36
3.4.6 การทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งสาลีต่างชนิดกัน 37
3.4.7 การทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งถั่วเหลืองและแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเหนียว 38
3.4.8 การทดลองขึ้นรูปตะเกียบที่มีปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน 39
3.5 วิธีการทดลองสารเคลือบเบื้องต้น 40
3.5.1 ทดลองเคลือบด้วยไคโตซาน 40
3.5.2 ทดลองเคลือบด้วยอัลจิเนต 40
3.6 วิธีการทดสอบสมบัติของวัสดุ 41
3.6.1 ทดสอบความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง 41
3.6.2 วัดค่าแอคติวิตีของน้ำ 42
3.6.3 ทดสอบการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส 42
**บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง** **43**
4.1 ผลการทดลอง 43
4.1.1 ผลการทดลองส่วนผสมที่ใช้ในกระบวนการผลิต 43
4.1.2 ผลการทดลองอบแป้ง 43
4.1.3 ผลการทดลองขึ้นรูปแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช 44
4.1.4 ผลการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากแป้งสาลีเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว 45
4.1.5 ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งต่างชนิดกัน 48
4.1.6 ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งสาลีต่างชนิดกัน 49
4.1.7 ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งถั่วเหลืองและแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเหนียว 50
4.1.8 ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบที่มีปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน 51
4.2 ต้นทุน จุดคุ้มทุน และระยะคืนทุนในการผลิตตะเกียบ 55
4.2.1 ต้นทุนการผลิตตะเกียบต่อ 1 ครั้ง 55
4.2.2 การคำนวณจุดคุ้มทุนในการผลิตตะเกียบ 56
4.2.3 การคำนวณระยะคืนทุนในการผลิตตะเกียบ 57


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

**บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ** **61**

5.1 สรุปผลการทดลอง 61

5.2 ข้อเสนอแนะ 63

เอกสารอ้างอิง 64

ภาคผนวก ก 68

ภาคผนวก ข 76

ภาคผนวก ค 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | คุณสมบัติของแป้งข้าวโพด | 8 |
| 2.2 | คุณสมบัติของแป้งสาลี | 10 |
| 2.3 | องค์ประกอบของแป้งสาลี | 10 |
| 2.4 | องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของกรดอะมิโนในถั่วเหลืองเมล็ด | 12 |
| 2.5 | ชนิดและปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดถั่วเหลือง | 13 |
| 2.6 | คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล | 15 |
| 2.7 | ส่วนประกอบเบื้องต้นของเวย์โปรตีน | 16 |
| 2.8 | คุณสมบัติของไขผึ้ง | 17 |
| 2.9 | คุณสมบัติของไขคาร์นัวบา | 17 |
| 2.10 | ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยในอาหารที่ไม่ละลายน้ำ | 20 |
| 2.11 | ตัวอย่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น และค่าแอคติวิตีของน้ำในอาหาร | 21 |
| 3.1 | วัตถุดิบ | 23 |
| 3.2 | อุปกรณ์ | 24 |
| 3.3 | อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตวัสดุ | 29 |
| 3.4 | อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตวัสดุ | 30 |
| 3.5 | สภาวะการทดลอง | 31 |
| 3.6 | การเตรียมเส้นใย | 32 |
| 3.7 | อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตจานจากแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช | 33 |
| 3.8 | อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานจากแป้งสาลี | 34 |
| 3.9 | อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานจากแป้งถั่วเขียว | 35 |
| 3.10 | อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตตะเกียบจากแป้งต่างชนิดกัน | 36 |
| 3.11 | อัตราส่วนที่ใช้ผลิตตะเกียบจากแป้งสาลีต่างชนิดกัน | 37 |
| 3.12 | อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตตะเกียบจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งถั่วเหลืองและแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเหนียว | 39 |
| 3.13 | อัตราส่วนผสมที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน | 39 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3.14 | อัตราส่วนของสารเคลือบต่างๆ | 40 |
| 3.15 | อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต | 40 |
| 3.16 | อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ | 40 |
| 4.1 | ผลการทดลองอัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตวัสดุ | 43 |
| 4.2 | ผลการทดลองอบแป้ง | 44 |
| 4.3 | ผลการทดลองขึ้นรูปจานจากแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช | 45 |
| 4.4 | ค่าแรงกระทำสูงสุดและค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งสาลี | 46 |
| 4.5 | ค่าแรงกระทำสูงสุดและค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งถั่วเขียว | 46 |
| 4.6 | ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งต่างชนิดกัน | 49 |
| 4.7 | ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งสาลีต่างชนิดกัน | 50 |
| 4.8 | ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งถั่วเหลืองและแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเหนียว | 51 |
| 4.9 | ค่าแรงกระทำสูงสุดและค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่ปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน | 52 |
| 4.10 | ค่าแอคติวิตีของน้ำที่ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน | 53 |
| 4.11 | ระยะเวลาในการแช่น้ำอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส | 53 |
| 4.12 | ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตตะเกียบต่อ 10 คู่ | 55 |
| 4.13 | ต้นทุนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตตะเกียบ | 55 |
| 4.14 | ค่าไฟฟ้าในการผลิตตะเกียบต่อ 10 คู่ | 56 |
| 4.15 | ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตต่อปี | 57 |
| 4.16 | ต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิตต่อปี | 57 |
| 4.17 | ข้อมูลที่ใช้ Interpolate เพื่อคำนวณหาระยะคืนทุนซึ่งอยู่ระหว่างปีที่ 3 และ 4 | 59 |
| 4.18 | จำนวนปีที่มีผลต่อค่าเงินปัจจุบัน | 60 |
| 5.1 | สรุปกระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตตะเกียบรับประทานได้ | 62 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | โครงสร้างอะไมโลส | 4 |
| 2.2 | โครงสร้างอะไมโลเพคติน | 5 |
| 2.3 | ลักษณะและรูปร่างเม็ดแป้งดิบของแป้งมันสำปะหลัง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า | 6 |
| 2.4 | ลักษณะและรูปร่างเม็ดสตาร์ชข้าวเหนียว ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) | 7 |
| 2.5 | ลักษณะและรูปร่างเม็ดสตาร์ชข้าวโพด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) | 8 |
| 2.6 | ลักษณะและรูปร่างเม็ดแป้งถั่วเขียว ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) | 9 |
| 2.7 | โครงสร้างเมล็ดถั่วเหลือง | 11 |
| 2.8 | โครงสร้างของแร่เกาลินไนท์ | 14 |
| 2.9 | ปฏิกิริยาที่ได้กลีเซอรอล และเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ | 14 |
| 2.10 | โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน | 18 |
| 2.11 | โครงสร้างทางเคมีของกรดอะซิติก | 19 |
| 2.12 | ตัวอย่างชิ้นงานวิเคราะห์ความเค้นดัด | 22 |
| 3.1 | เทแป้งลงบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ | 30 |
| 3.2 | รีดแป้งเป็นแผ่น | 31 |
| 3.3 | ตัดเป็นแท่งรูปทรงสี่เหลี่ยม | 31 |
| 3.4 | ปิดฝาบนถาดรองแป้ง | 32 |
| 3.5 | เส้นใยที่ได้จากใยส้ม อ้อย และผักบุ้ง ตามลำดับ | 33 |
| 3.6 | รีดแป้งเป็นแผ่นวงกลม | 33 |
| 3.7 | อัดขึ้นรูปจานจากแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช | 34 |
| 3.8 | ผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม (Mixer) | 35 |
| 3.9 | กดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) | 35 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3.10 | กดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) | 36 |
| 3.11 | อัดแป้งสาลีใสแม่พิมพ์รูปตะเกียบ | 37 |
| 3.12 | บดเมล็ดถั่วเหลืองด้วย Hammer mill | 38 |
| 3.13 | อบแป้งถั่วเหลืองเพื่อไล่ความชื้น | 38 |
| 3.14 | การทดสอบความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง | 41 |
| 3.15 | การวัดค่าแอคติวิตีของน้ำ | 42 |
| 3.16 | การทดสอบการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส | 42 |
| 4.1 | ชิ้นงานจากการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ | 43 |
| 4.2 | จานที่ผสมเส้นใยจากใยส้ม (ซ้าย) ผักบุ้ง (บน) และอ้อย (ขวา) ตามลำดับ | 44 |
| 4.3 | แท่งแป้งสาลี (ซ้าย) และแท่งแป้งถั่วเขียว (ขวา) | 46 |
| 4.4 | ผลของอุณหภูมิต่อความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งของแป้งสาลีและแป้งถั่วเขียว | 47 |
| 4.5 | ตะเกียบที่ผลิตจาก (ก) แป้งมันสำปะหลัง (ข) แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งสาลี (ค) แป้งมันสำปะหลังผสมเวย์โปรตีน (ง) แป้งถั่วเหลือง และ (จ)แป้งสาลีผสมแป้งถั่วเหลือง | 48 |
| 4.6 | ตะเกียบที่ผลิตจาก (ก) แป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพด และ (ข) แป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวเหนียว | 50 |
| 4.7 | ชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซรอล (ก) 8%(w/w) (ข) 12%(w/w) (ค) 16%(w/w) (ง) 20%(w/w) และ (จ) 24%(w/w) | 52 |
| 4.8 | ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง | 52 |
| 4.9 | ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อค่าแอคติวิตีของน้ำ | 53 |
| 4.10 | ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อระยะเวลาในการแช่น้ำอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส | 54 |
| 4.11 | กระแสเงินสด (Cash Flow) ของการผลิตตะเกียบ | 58 |
| 4.12 | ผลของจำนวนปีและค่าเงินปัจจุบันที่มีต่อระยะคืนทุน | 60 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการใช้ตะเกียบอนามัยหรือตะเกียบไม้ชนิดใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งเป็นที่นิยมอย่างมาก และสามารถพบเห็นได้ในร้านอาหารทั่วๆไปหรือร้านอาหารข้างทาง (Street Food) ทั้งนี้เป็นผลจากค่านิยมการบริโภคของผู้บริโภคในเรื่องของความสะดวกสบาย ซึ่งการใช้ตะเกียบไม้เป็นจำนวนมากจะส่งผลให้สูญเสียพื้นที่ป่าเพื่อนำมาผลิตตะเกียบประมาณ 250 ไร่ต่อวัน (ศตพร, 2557) นอกจากตะเกียบไม้ชนิดใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งจะเป็นที่นิยมแล้ว ตะเกียบพลาสติกก็เป็นที่นิยมด้วยเช่นกัน แต่ในตะเกียบพลาสติกจะเป็นการใช้ซ้ำหรือใช้มากกว่า 1 ครั้ง และการที่ตะเกียบพลาสติกเป็นตะเกียบอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันนั้นเป็นเพราะ สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีความแข็งแรงเช่นเดียวกับตะเกียบไม้ และมีราคาถูก เนื่องด้วยวัสดุในการผลิตตะเกียบพลาสติกเป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จากเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ที่มีความสามารถในการทนต่อไขมัน ทนต่อค่าความร้อนสูงทั้งยังมีความแข็งแรง (ธนาวดี, 2554) แต่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสะสมของขยะพลาสติกในเวลาต่อมา ในการผลิตตะเกียบรับประทานได้นี้ผู้ศึกษาให้ความสนใจใน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการลดปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติจากป่าไม้ ด้านการย่อยสลายของพลาสติกที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ และด้านสุขอนามัยของผู้บริโภคในการใช้ตะเกียบได้อย่างปลอดภัยไม่มีสารตกค้างและสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย

โครงงานนี้จะศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการขึ้นรูปตะเกียบรับประทานได้โดยใช้วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและสามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ซึ่งแป้งที่ใช้ในการขึ้นรูปตะเกียบรับประทานได้จำเป็นต้องมีอะไมโลสสูงเพื่อให้ได้ความเหนียวและความยืดหยุ่น การเพิ่มความแข็งแรงให้กับแป้งนั้นนอกจากการทำให้เกิดการต่อพันธะแบบโพลิเมอร์แล้วรูปแบบการต่อสายโพลิเมอร์ก็เป็นส่วนสำคัญเช่นกัน จึงเลือกใช้แป้งข้าวโพดและแป้งถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ ซึ่งแป้งข้าวโพดเป็นสตาร์ชที่ได้จากเอนโดเสปิร์มของเมล็ดข้าวโพดซึ่งไม่มีองค์ประกอบของโปรตีนหรือไขมัน มีเพียงคาร์โบไฮเดรตเท่านั้น โดยจะประกอบไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำตาลกลูโคสเป็นมอนอเมอร์ นอกจากนี้แป้งข้าวโพดยังมีทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ซึ่งเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในโมเลกุลสตาร์ช แป้งต่างชนิดกันจะมีปริมาณอะไมโลส และ ปริมาณอะไมโลเพคตินต่างกัน และในส่วนของแป้งถั่วเหลืองมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่นอกเหนือจากคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วย โปรตีน น้ำมัน แร่ธาตุ และไฟเบอร์ โดยส่วนประกอบแห้งมีสัดส่วนของโปรตีน 36% น้ำมัน 20% คาร์โบไฮเดรต 35% แร่ธาตุและไฟเบอร์ 9% ของน้ำหนักถั่วเหลือง 100 กรัม (Keshun, 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานนี้มีการใช้แป้งถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบรองเพื่อเฉลี่ยปริมาณโปรตีนกับแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณโปรตีน 0% ให้มีปริมาณโปรตีนเป็น 12% ต่อน้ำหนัก 100 กรัม โดยการใช้แป้งถั่วเหลืองนั้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับแป้งโดยการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับแป้งและยังมีไฟเบอร์ที่สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อแป้งได้เนื่องจากโปรตีนมีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือการเสียสภาพที่ทำให้คุณสมบัติทางกลแข็งแรงมากขึ้น ไฟเบอร์จะเสริมความแข็งแรง (fiber-reinforcement) ในเนื้อแป้งด้วยการทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรง (reinforcement) ทำให้ตะเกียบที่ได้เป็นวัสดุคอมโพสิต นอกจากนี้ตะเกียบรับประทานได้จำเป็นต้องมีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล จึงต้องมีการเติมสารเติมแต่ง ได้แก่ กลีเซอรอล (glycerol) เป็นสารที่เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวานเล็กน้อยในโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ จึงทำให้ละลายในน้ำได้ดี มีสมบัติในการดูดจับน้ำได้ดี (hydroscopic) ทำหน้าที่เป็นสารเก็บความชื้น (humectant) ป้องกันไม่ให้อาหารแห้ง มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity) ต่ำช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอาหาร การเติมกลีเซอรอลจะช่วยเพิ่มความเหนียว ความยืดหยุ่น (ศิรินภา, 2559) กัวร์กัม (Guar gum) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ประเภท พอลิแซ็คคาไรด์ (polysaccahride) ที่สกัดได้จากเนื้อในเมล็ด (endosperm) ของเมล็ดกัว (Cyamopsis tetragonolobus) การเติมกัวร์กัมจะช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับส่วนผสม (ศิรินภา, 2559) แมกนีเซียมสเตียเรต (Magnesium stearate) มีลักษณะเป็นผงสีขาวเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีสูตรทางเคมี คือ $Mg(C18H35O2)_2$ แมกนีเซียมสเตียเรต มีจุดหลอมเหลวที่ 120 °C ไม่ละลายในน้ำ ได้รับการพิจารณาโดย FDA's Subcommittee ว่าปลอดภัยสำหรับมนุษย์ ปริมาณการบริโภค ไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ซึ่งทำงานเป็นสารหล่อลื่น สารเชื่อม หรือสารปลดปล่อยสีในลูกกวาด หรือยาเม็ดที่ผ่านการอัด และยังใช้ในหมากฝรั่งที่ปราศจากน้ำตาลและมินต์ ช่วยในเรื่องการยึดเกาะของตัวยาในแคปซูล การเติมแมกนีเซียมสเตียเรตเพื่อช่วยให้แป้งไม่ติดแม่พิมพ์ (ศิรินภา, 2559) ซึ่งในการขึ้นรูปตะเกียบจากวัตถุดิบที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาตินี้จะทำโดยการอัดขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์ (Compression Molding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดแป้งและปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง ค่าแอคติวิตีของน้ำและระยะเวลาการใช้งาน

2. เพื่อทดสอบสมบัติผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง ค่าแอคติวิตีของน้ำ และทดสอบการใช้งาน

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ผลิตตะเกียบโดยใช้แป้งข้าวโพดผสมกับแป้งถั่วเหลือง และใส่สารเติมแต่ง ได้แก่ กลีเซอรอล กัวร์กัม และแมกนีเซียมสเตียเรต

2. ขึ้นรูปตะเกียบด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression molding)

3. ทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง ค่าแอคติวิตีของน้ำ และทดสอบการใช้งาน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการผลิตตะเกียบ

2. ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงต่อการใช้งาน และมีค่าแอคติวิตีของน้ำไม่เกิน 0.5 ซึ่งเป็นค่าที่จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

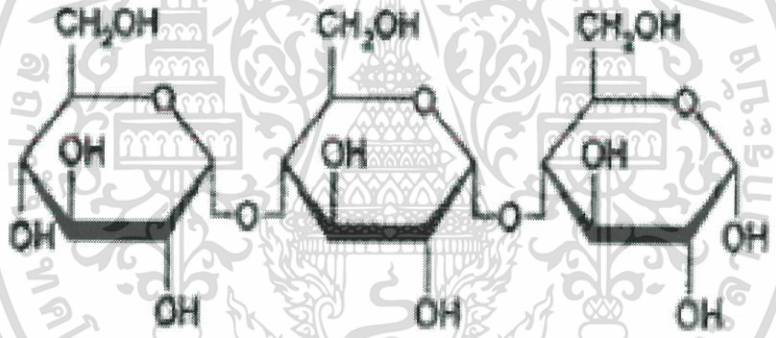
# บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 คาร์โบไฮเดรต

### 2.1.1 อะไมโลส

อะไมโลส (Amylose) คือพอลิเมอร์ที่มีกลูโคสเป็นโมโนเมอร์ โดยมีจำนวนหน่วยของกลูโคสที่ 20 – 60,000 หน่วย โดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Alpha-(1-4)-glucosidic linkage ตัวอย่างปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชแต่ละชนิดเช่น สตาร์ชข้าวโพด ข้าวสาลี มีปริมาณอะไมโลส โดยประมาณ 28% สตาร์ชที่ได้จากพืชจำพวก พืชหัวพืชราก เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง มันฝรั่งมีปริมาณอะไมโลส โดยประมาณ 20% สตาร์ชจากแป้งข้าวเหนียว มีปริมาณน้อยมากถึงไม่มีเลย ในทางตรงกันข้าม สตาร์ชแป้งข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลสสูง ซึ่งอาจสูงถึง 80% สตาร์ชต่างชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน (กล้าณรงค์ และคณะ, 2543)



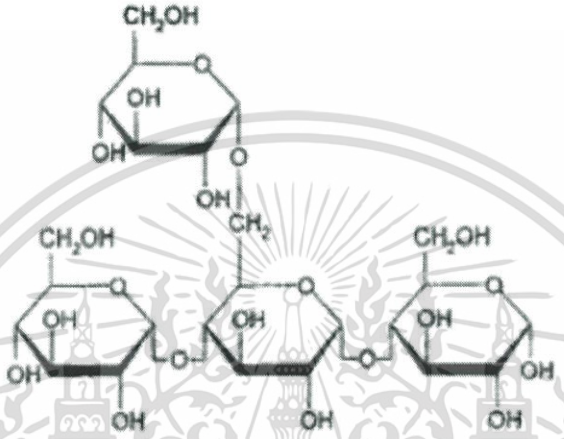

**รูปที่ 2.1** โครงสร้างอะไมโลส
ที่มา: กล้าณรงค์ และคณะ (2543)

### 2.1.2 อะไมโลเพคติน

อะไมโลเคติน (Amylopectin) คือพอลิเมอร์ที่มีการแตกกิ่งสาขาเป็นจำนวนมาก โดยมีมอนอเมอร์คือ กลูโคส ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Alpha-(1-4)-glucosidic linkage และทุกๆ 20 - 30 หน่วยกลูโคสจะมีกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสสายสั้น โดยมีกลูโคสประณ 10 – 60 หน่วยของกลูโคส เชื่อมต่อกันพันธะ Alpha-(1-6)-glucosidic linkage โดยมีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมด โมเลกุลของอะไมโลเพคตินเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลส โดยมีกลูโคสประมาณ 2 ล้านหน่วยของกลูโคส และมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่สำคัญต่อการนำสตาร์ชไปใช้งานอยู่ที่อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน โดยอัตราส่วนดังกล่าวมีผลต่อความหนืด การพองตัวของเม็ดแป้ง ความใส และการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งเปียก สาเหตุเกิดจากความแตกต่างของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน โดย อะไมโลสละลายน้ำได้ดี หากนำไปต้มในน้ำเดือดจะให้ความหนืดน้อย แต่แป้งจะมีความขุ่นมากกว่าอะไมโลเพคติน หากทิ้งไว้ให้เย็นจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าอะไมโลเพคติน แป้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสต่างกันอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันจะต่างกันด้วย



**รูปที่ 2.2** โครงสร้างอะไมโลเพคติน

ที่มา: กล้าณรงค์ และคณะ (2543)

### 2.1.3 แป้งสุก

แป้งสุก (gelatinized starch หรือ cooked starch) ได้จากการนำแป้งดิบผสมน้ำหรือละลายน้ำแล้ว ให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในโมเลกุลของแป้งนั้นๆ นอกจากนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ โดยแป้งดิบที่ผสมน้ำและนำมาทำให้สุกเรียกกระบวนการนี้ว่า เจลิติไนซ์เซชัน (gelatinization) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ (gelatinization temperature) เซชันแป้งดิบจะไม่เกิดการสุก ทั้งนี้แป้งและสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์เซชั่นแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด มีอุณหภูมิเจลลาติไนซ์ชันที่ 75 – 80 องศาเซลเซียส แป้งสาลี 80 – 85 องศาเซลเซียส การเกิดเจลลาติไนซ์เซชันมีผลให้แป้งเกิดความหนืดเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากน้ำอิสระที่อยู่รอบเม็ดแป้งมีปริมาณลดลง จึงเป็นเหตุให้แป้งมีพื้นที่ในการเคลื่อนไหวน้อยลง (ธนาภร, 2559)

## 2.2 แป้งและถั่วเหลืองเมล็ด

### 2.2.1 แป้งมันสำปะหลัง

สตาร์ชมันสำปะหลัง (Tapioca starch) หรือ (Cassava starch) ชื่อวิทยาศาสตร์ Manihot esculenta Crantz ผลิตได้จากส่วนหัวของมันสำปะหลัง (tapioca) นำมาบดละเอียด การปลูกมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำปะหลังสามารถพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ยกเว้นภาคใต้ บริเวณที่มีการปลูกมากที่สุด คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มากกว่าร้อยละ 50 ภาคกลางมีการปลูกประมาณร้อยละ 33 และภาคที่มีการเพาะปลูกน้อยที่สุดคือภาคเหนือประมาณร้อยละ 15 แต่ละพันธุ์จะมีลักษณะภายนอกที่ต่างกันและมีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกต่างกัน โดยมันสำปะหลังที่นำมาผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังมีสายพันธุ์หลักอยู่ 9 พันธุ์ คือ ระยอง 1 ระยอง 2 ระยอง 3 ระยอง 5 ระยอง 60 ระยอง 90 เกษตรศาสตร์ 50 ศรีราชา 1 และ พันธุ์ห้านาที (กล้าณรงค์, 2546) ลักษณะแป้ง ลื่น เนื้อเนียน และมีสีขาว สตาร์ชมันสำปะหลังเป็นแป้งที่ให้ความหนืดสูง และมีการคืนตัวต่ำ จึงเกิดลักษณะเจลใสได้เมื่อสัมผัสหรือผสมกับน้ำ ซึ่งเมื่อผสมกับแป้งชนิดอื่นจะได้แป้งผสมที่สามารถนำมาขึ้นรูปได้ เช่น ขนมวาฟเฟิล ไส้ขนม เป็นต้น นอกจากนี้สตาร์ชมันสำปะหลังคือ แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการสกัด นำโปรตีนและไขมันออก ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ขนาดกำลังขยาย 1,000 เท่า จะมีลักษณะกลมและส่วนปลายด้านหนึ่งมีความโค้งเว้าลักษณะคล้ายรอยตัด

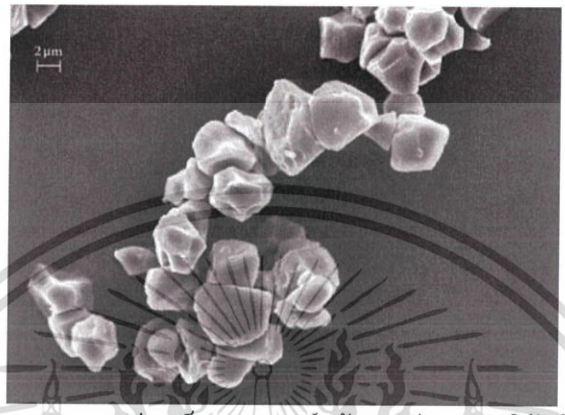
**รูปที่ 2.3** ลักษณะและรูปร่างเม็ดแป้งดิบของแป้งมันสำปะหลัง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด (SEM) ที่ขนาดกำลังขยาย 1,000 เท่า
ที่มา: Jaroslav and et al (2018)

### 2.2.2 แป้งข้าวเหนียว

แป้งข้าวเหนียว (Glutinous Flour) ได้จากการนำเมล็ดข้าวเหนียวมาบดละเอียดแต่จะต่างจากแป้งข้าวเหนียวทั่วไป คือ มีการแยกองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตออกให้คงเหลือแต่องค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ โดยจะมีองค์ประกอบปะปนน้อยมาก (รุ่งทิวา, 2542) สตาร์ชข้าวเหนียวมีองค์ประกอบอะไมโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่ ส่วนอะไมโลสมีเพียง 0-2% เท่านั้น ลักษณะของเม็ดสตาร์ชมีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม (polyhedric) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3-8 ไมครอน นอกจากนี้มีอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดการเจลาติไนซ์ที่ 64.5 °C สิ่งที่เป็นจุดเด่นและความแตกต่างของสตาร์ชข้าวเหนียวคือ สามารถทนต่อกระบวนการแช่แข็งและการละลาย (freeze – thaw) โดยไม่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกน้ำ (syneresis) ออกจากอาหาร ซึ่งไม่มีการเกิดปฏิกิริยารีโทรเกรเดชันหลังจากการทำให้สุก ดังนั้นจึงนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickener) นอกจากนี้ยังได้นำไปใช้รักษาเนื้อสัมผัสของอาหารในผลิตภัณฑ์แช่แข็ง (Luh, 1991) ในการเก็บรักษาจะไม่เกิดการแยกชั้น หรือการใช้เป็นสารรักษาเนื้อสัมผัส (exturizer)




**รูปที่ 2.4** ลักษณะและรูปร่างเม็ดของสตาร์ชข้าวเหนียว ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด (SEM)
ที่มา: Pornpun and et al (2010)

**2.2.3 แป้งข้าวโพด**

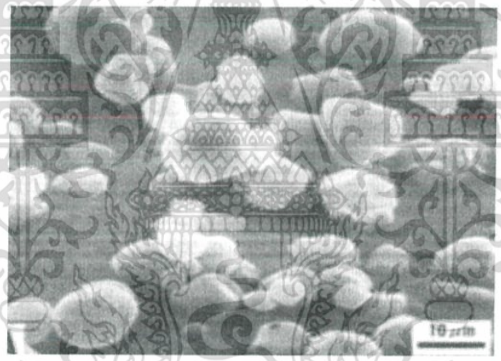
สตาร์ชข้าวโพด (Corn Starch) เป็นสตาร์ชที่ได้จากเอนโดเสปิร์มของเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการแยกองค์ประกอบของโปรตีน และไขมันออก ทำให้มีเพียงคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักเท่านั้น นอกจากนี้อะไมโลสและ อะไมโลเพคตินก็ยังเป็นส่วนประกอบของสตาร์ชข้าวโพดด้วยเช่นกัน โดยเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในโมเลกุลของสตาร์ช ซึ่งในแป้งข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลส 28% และปริมาณอะไมโลเพคติน 72% (Van and et al, 1985) ความสามารถของแป้งข้าวโพดนั้นสามารถเป็นองค์ประกอบให้ความยืดหยุ่นต่อผลิตภัณฑ์ ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickener) นอกจากนี้ยังสามารถเป็นสารแยกและระงับส่วนผสมหรืออนุภาคได้ (Corn Refiners Association, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** คุณสมบัติของแป้งข้าวโพด

| คุณสมบัติ | แป้งข้าวโพด | |
|---|---|---|
| ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน) | 3-26 | a |
| ปริมาณอะมิโลส (%) | 28 | a |
| ขนาดอะมิโลส (Degree of polymerization) | 800 | a |
| อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature,°C) | 79.18 | b |
| ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU) | 217.13 | b |
| ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU) | 195.21 | b |
| ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity, RVU) | 146.67 | b |
| อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาติไนซ์ (Onset temperature, $T_0$,°C) | 49 | c |
| อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดเจลาติไนซ์ (Peak temperature, $T_p$,°C) | 67 | c |

ที่มา: a Ellis and et al (1998), b หน่วยปฏบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง และ c Eliasson and et al (1996)



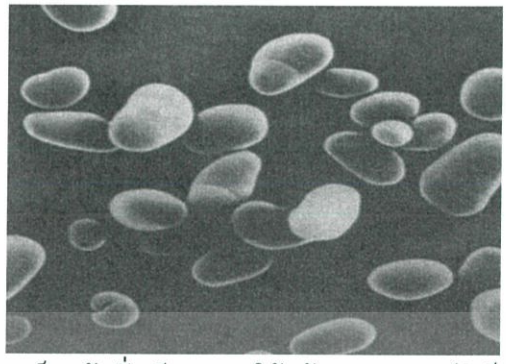
**รูปที่ 2.5** ลักษณะและรูปร่างของเม็ดของสตาร์ชข้าวโพดภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด (SEM)
ที่มา: Christianson (1982)

### 2.2.4 แป้งถั่วเขียว

สตาร์ชถั่วเขียว (Mung bean starch) ผลิตได้จากถั่วเขียวที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Vigna radiata (L.) Wilczek โดยการนำเมล็ดถั่วเขียวมาบดละเอียด ซึ่งลักษณะแป้งที่ได้จะสากมือ เมื่อแป้งถั่วเขียวสุกจะให้ลักษณะข้น ใส หากปล่อยทิ้งให้เย็นตัวจะจับตัวกันเป็นก้อนแข็งมีลักษณะเหนียวและใส สตาร์ชถั่วเขียวมีปริมาณ อะไมโลส 45.3% ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มีปริมาณสูงหากเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ นอกจากนี้สิ่งที่ทำให้แป้งถั่วเขียวมีความแตกต่างจากแป้งชนิดอื่นคือ มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบด้วยโดยมีโปรตีนประมาณ 25% แต่ในการผลิตสตาร์ชถั่วเขียวได้แยกองค์ประกอบของโปรตีน และ ไขมันออกจากแป้งถั่วเขียวปกติทำให้ได้ สตาร์ชถั่วเขียวที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก อุณหภูมิในการเจลาติไนซ์ของสตาร์ชถั่วเขียวอยู่ในช่วงระหว่าง 58-82°C ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเม็ดสตาร์ชถั่วเขียวมีลักษณะรี และ คล้ายกับลักษณะของเม็ดถั่ว นอกจากนี้เม็ดสตาร์ชถั่วเขียวมีขนาด 7.7-26.1 ไมครอน (Hoover and et al, 1997)



**รูปที่ 2.6** ลักษณะและรูปร่างเม็ดแป้งถั่วเขียว ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด (SEM)
ที่มา: Hoover and et al (1997)

**2.2.5 แป้งสาลี**

แป้งสาลี (Wheat Flour) ผลิตได้จากเมล็ดของข้าวสาลี โดยใช้ส่วนเอนโดเสปิร์ม นำมาโม่ (milling) ให้ได้เป็นผงละเอียด คุณสมบัติของแป้งสาลีประกอบด้วยปริมาณไมโลส 28% และอะไมโลเพคติน 72% เท่ากับแป้งข้าวโพด (Van and et al, 1985) แป้งสาลีมีสมบัติเฉพาะที่แตกต่างจากแป้งชนิดอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบของ โปรตีนกลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดิน (gliadin) ที่สร้างพันธะซัลไฟด์ (disulfide bond) ทำให้ได้กลูเตน (gluten) คุณสมบัติของกลูเตนคือ จะทำให้แป้งสาลีที่ผสมกับน้ำเป็นก้อนโดว์ สามารถอุ้มก๊าซที่ทำให้ก้อนแป้งฟูได้และเมื่อนำแป้งโดนี้ไปอบกลูเตนจะให้ความพองตัวในผลิตภัณฑ์หลังการอบ และไกลอะดินช่วยทำให้กลูเตนมีความสามารถในการยืดหยุ่น แม้ว่ากลูเตนจะมีความสามารถที่ดีช่วยให้ขนมปังที่ผ่านการอบมีความพองตัว แต่มีผู้บริโภคบางกลุ่ม ที่ไม่สามารถรับประทานกลูเตนได้ เนื่องจากเป็น โรคแพ้กลูเตน อาการของโรคแพ้กลูเตนคือ บวมแดง อักเสบและมีอาการต่างๆเช่น ปวดท้องคลื่นไส้ ท้องเสีย ท้องผูก เป็นต้นซึ่งโรคนี้ไม่มีทางรักษา วิธีป้องกันคือ การหลีกเลี่ยงการทานอาหารที่มีส่วนผสมของกลูเตน หรือ ทานอาหารที่ปราศจากกลูเตน (จันทร์เฉิดฉาย และคณะ, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.2** คุณสมบัติของแป้งสาลี

| คุณสมบัติ | แป้งสาลี | |
|---|---|---|
| ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน) | 1-40 | a |
| ปริมาณอะมิโลส (%) | 24-27 | b |
| ขนาดอะมิโลส (Degree of polymerization) | 800-1600 | b |
| อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature,°C) | 77 | c |
| ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU) | 65 | c |
| ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU) | 270 | c |
| ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity, RVU) | 60 | c |
| อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาติไนซ์ (Onset temperature, $T_0$,°C) | 48-50 | d |
| อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดเจลาติไนซ์ (Peak temperature, $T_p$,°C) | 59-62 | d |

ที่มา: a Ellis and et al (1998), b หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง และ c Eliasson and et al (1996)

**ตารางที่ 2.3** องค์ประกอบของแป้งสาลี ที่ได้จากการโม่และแยกส่วนประกอบของแป้งในเอนโดสปอร์ออก

| องค์ประกอบ | ร้อยละ |
|---|---|
| คาร์โบไฮเดรต | 70.0% |
| ความชื้น | 15.0% |
| โปรตีน | 11.5% |
| แร่ธาตุ | 0.4% |
| น้ำตาล | 1.00% |
| ไขมัน | 1.00% |
| อื่นๆ | 2.00% |

ที่มา: ศันสนีย์ (2555)

### 2.2.6 แป้งขนมปัง

แป้งขนมปัง (Bread flour) คือแป้งสาลีชนิดหนึ่งที่มีปริมาณโปรตีนสูง ร้อยละ 12-14 โม่จากข้าวสาลีชนิดแข็ง hard red spring หรือ hard red winter (นิตยา, 2532) ด้วยปริมาณโปรตีนที่มีมากที่สุดจากแป้งสาลีชนิดอื่นๆ ทำให้แป้งมีเนื้อนุ่ม เบา และมีปริมาตรมาก แป้งขนมปังมักใช้ในการผลิตขนมปังรสจืด ขนมปังรสหวาน และผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด ลักษณะทางกายภาพของแป้ง คือ แป้งเนื้อสัมผัสหยาบหากสัมผัสจะรู้สึกระคายมือ แป้งมักไม่เกาะตัวกัน และแป้งชนิดนี้ต้องใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขนมปังขึ้นฟู เนื่องจากมีเพียงยีสต์เท่านั้นที่ทำให้ก้อนโดว์พองตัวได้ (จิตธนา และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะ, 2544) นอกจากนี้แป้งขนมปังยังมีความแข็งแรงที่สามารถทนต่อการหมักเป็นเวลานานได้และทนต่อการนวด

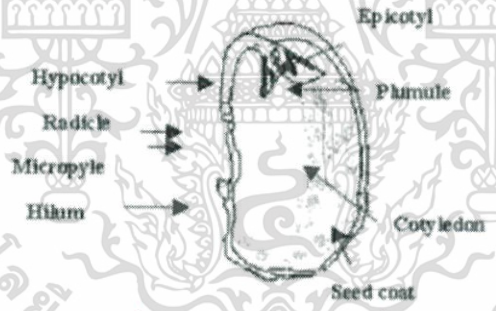
**2.2.7 แป้งเค้ก**

แป้งเค้ก (Cake flour) คือแป้งสาลีชนิดหนึ่งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ ซึ่งได้จากการโม่ข้าวสาลีชนิดอ่อนหรือเบา soft wheat และ soft red wheat ลักษณะทางกายภาพของแป้งเค้กคือ เนื้อละเอียดมาก ขนาดสม่ำเสมอกัน หากกดลงบนแป้งจะเกาะรวมตัวกันเป็นก้อนและเป็นรอยนิ้วมือที่กดลงไป แป้งเค้กใช้เป็นสารช่วยทำให้ขึ้นฟูโดยไม่ใช้ยีสต์ ตัวอย่างสารเคมีที่ขึ้นฟู เช่น เบคกิ้งโซดา ผงฟู เป็นต้น (จิตธนา และคณะ, 2544) หากนำแป้งชนิดนี้ผ่านการฟอกสีด้วคลอรีนจะทำให้ใช้น้ำตาลและเนยได้มากกว่าแป้งเค้กชนิดที่ฟอกด้วยผงฟอกดี (bleaching powder) ธรรมดา แป้งประเภทนี้นิยมนำมาทำคุกกี้ ซาลาเปาหน้าแตก ขนมปุยฝ้าย และเค้กแยมโรล (สมบัติ, 2528)

**2.2.8 ถั่วเหลืองเมล็ด**

ถั่วเหลือง (Soy bean) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ Glycine Max (L) Merrill

ลักษณะทางกายภาพของถั่วเหลือง แบ่งได้ 3 ส่วน คือ เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) เอ็มบริโอ (embryo) และส่วนเก็บสะสมอาหาร ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามินและแร่ธาตุ




**รูปที่ 2.7** โครงสร้างเมล็ดถั่วเหลือง

ที่มา: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2007)

**2.2.8.1 โปรตีน**

ถั่วเหลืองจัดเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีปริมาณโปรตีนสูง 35-40% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงเป็น 2 เท่าของปริมาณโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์ และมีปริมาณมากกว่า 3-4 เท่าของโปรตีนที่ได้จากไข่หรือแป้งสาลี นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนจำเป็นครบทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.4** องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของกรดอะมิโนในถั่วเหลือง

| กรดอะมิโน | กรัม/100 กรัม | กรัม/16 กรัม N |
|---|---|---|
| แอสปาทิก (Aspartic acid) | 6.01 | 11.78 |
| ลิวซีน (Leucine) | 4.03 | 7.90 |
| อาร์จินีน (Arginine) | 3.60 | 7.06 |
| ไลซีน (Lysine) | 3.19 | 6.25 |
| ฟีนีลาลานีน (Phenulalanine) | 2.69 | 5.27 |
| โพรลีน (Proline) | 2.66 | 5.22 |
| วาลีน (Valine) | 2.59 | 5.05 |
| ซีรีน (Serine) | 2.51 | 4.92 |
| ไอโซลิวซีน (Isoleucine) | 2.39 | 4.69 |
| อลานีน (Alanine) | 2.24 | 4.39 |
| ไกลซีน (Glycine) | 2.21 | 4.33 |
| ทรีโอนีน (Threonine) | 1.97 | 3.80 |
| ไทรโอนิน (Tryonine) | 1.93 | 3.78 |
| ฮิสติดีน (Histidine) | 1.45 | 2.84 |
| ทริปโตเฟน (Tryptophan) | 0.65 | 1.27 |
| เมทไทโอนีน (Methionine) | 0.65 | 1.27 |
| คริสทีอีน (Cysteine) | 0.62 | 1.22 |

ที่มา: MacLeod and et al (1988)

**2.2.8.2 ไขมัน**

ไขมันในถั่วเหลืองส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิด และกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ไลโนเลอิก (Linoleic) โอเลอิก (Oleic) ปาล์มมิติก (Palmitic) ไลโนเลนิก (Linolenic) เสตียริก (Stearic) อราชิดิก (Arachidic) มายริสติก (Myristic) ปาล์มมิโทเลอิก (Palmitoleic) และเบฮิมิก (Behemic) (Maleod, 1998)

**2.2.8.3 คาร์โบไฮเดรต**

คาร์โบไฮเดรตในถั่วเหลืองแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate) ประกอบด้วย disaccharide และ oligosaccharide เช่น sucrose, trisacchloride และชนิดที่ไม่ละลายน้ำ (Water insoluble carbohydrate) ได้แก่ cellulose, hemicellulose, pectin เป็นต้น (Garcia and et al, 1997)

**2.2.8.4 วิตามินและแร่ธาตุ**

ถั่วเหลืองมีปริมาณวิตามินและแร่ธาตุในปริมาณน้อยแต่มีหลากหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.5** ชนิดและปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดถั่วเหลือง

| ชนิดแร่ธาตุ | ปริมาณ (มิลลิกรัม/100กรัม) |
|---|---|
| ฟอสฟอรัส | 546 |
| แมกนีเซียม | 236 |
| แคลเซียม | 226 |
| โซเดียม | 27.9 |
| เหล็ก | 8.5 |
| ทองแดง | 2.4 |

ที่มา: Kadam and et al (1989)

## 2.3 สารเติมแต่ง

### 2.3.1 กัวร์กัม

กัวร์กัม (Guar gum) เป็นผลผลิตที่ได้จาก เอนโดเสปิร์มของเมล็ดต้น Guar (Cyamopsis tetragonolobus) ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดียและปากีสถาน โครงสร้างเป็นโพลิเมอร์สายยาวของ mannose กัวร์กัมมีสมบัติเป็น non-gelling แต่กระจายตัวและอุ้มน้ำได้ดีในน้ำเย็น ทำให้กัวร์กัมเป็นสารเพิ่มความหนืด เพิ่มความคงตัวและสามารถอุ้มน้ำได้ เมื่อเกิดปฏิกิริยากับ Xanthan gum ทำให้สารละลายที่ได้มีความข้นหนืด โดยความข้นหนืดของสารละลายนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ pH เวลา ความเข้มข้น และขนาดของอนุภาค นอกจากนี้กัวร์กัมยังเป็น non-ionic และทนต่อ pH ในช่วง 4-10 ผลิตภัณฑ์ที่นำกัวร์กัมไปใช้ประโยชน์ เช่น ซอส ซุป ไอศกรีม น้ำสลัด เป็นต้น (Whistler and et al, 1993) แม้ว่ากัวร์กัมไม่สามารถมีลักษณะคล้ายเจลได้ แต่มีคุณสมบัติการกระจายตัวในน้ำเย็นได้ดีและสามารถอุ้มน้ำได้ ทำให้สารละลายที่ได้มีความข้นหนืดสูงและให้ความหนืดสูงสุดภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง หากอุณหภูมิสูงขึ้นจะยิ่งช่วยให้ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้นด้วย หากใช้ร่วมกับแซนแทนกัมจะทำให้สารละลายมีความหนืดมากยิ่งขึ้น โดยปัจจัยที่ทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น คือ อุณหภูมิ pH เวลา ความเข้มข้น การคน และขนาดของอนุภาค (นิธิยา, 2545)

### 2.3.2 ดินเกาลิน

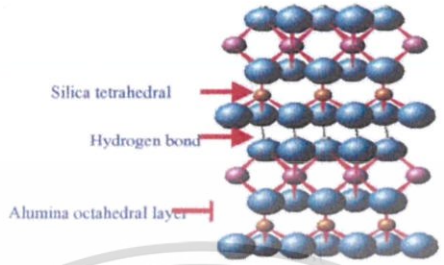
ดินเกาลิน (Kaolin) หรือ ดินขาว หรือ China Clay ลักษณะมีขนาดเม็ดหยาบ ประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์ (Kaolinitte) มีสูตรเคมีเป็น $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ นอกจากนี้ประกอบด้วยแร่ ไฮดรัสอลูมินัส ซิลิเกต และสารประกอบอัลคาไลน์ เหล็กออกไซด์ เฟสสปาร์ เป็นต้น (ดรุณี และคณะ, 2546) ดินเกาลินที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆมี 3 ชนิด

1. ดินขาวที่ความบริสุทธิ์และมีความความทนไฟสูง จะนำมาทำผลิตภัณฑ์เซรามิก
2. ดินขาวเกรดฟิลเลอร์ นำมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ยาฆ่าแมลง ปุ๋ย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ดินขาวที่เป็นดินสอพอง ดินสอพองนี้ไม่ได้เป็นดินขาวแต่เป็นปูนขาวชอล์ก หรือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CacO_3$)

ปัจจุบันแหล่งดินขาวในประเทศไทยมีเป็นจำนวนมาก ทำให้ได้ดินขาวหลากหลายเกรด ซึ่งแต่ละแหล่งและแต่ละเกรดจะนำไปใช้งานต่างกัน (ฤดี, 2555)



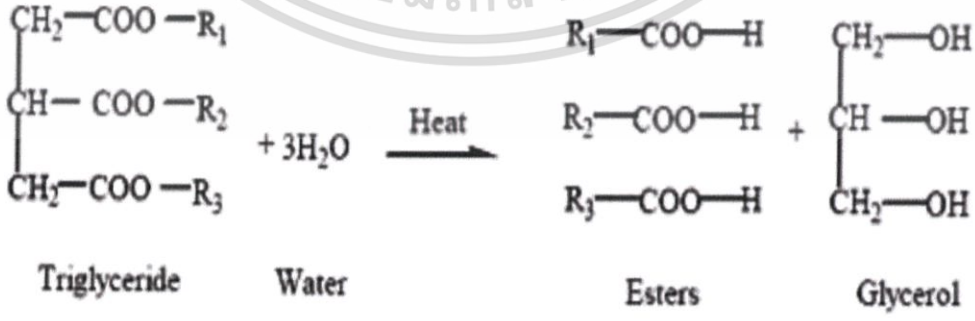

**รูปที่ 2.8** โครงสร้างของ แร่เกาลินไนท์

ที่มา: ดรุณี และคณะ (2546)

**2.3.3 กลีเซอรอล**

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือ กลีเซอรีน (Glycerine) มีลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวานและมีโครงสร้างคล้ายน้ำตาล มีความสามารถในการดูดความชื้นได้ดี กลีเซอรอลสังเคราะห์ได้จาก Propylene และจากการหมักน้ำตาลด้วย sodium bisulfite และยีสต์ (yeast) กลีเซอรอลละลายได้ดีในน้ำ เมทานอล เอทานอล และไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เป็นต้น แต่กลีเซอรอลจะไม่ละลายในแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ เป็นต้น

กลีเซอรอลแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กลีเซอรอลธรรมชาติและกลีเซอรอลสังเคราะห์ กลีเซอรอลธรรมชาติได้จากการ แยกสลายไขมันหรือน้ำมันพืนด้วยน้ำร้อน (Hydrolysis reaction) การหมักน้ำตาล และปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชั่นของคาร์โบไฮเดรต กลีเซอรอลจะอยู่ในรูปของเอสเทอร์ของกรดไขมัน (สายฝน, 2557)




**รูปที่ 2.9** ปฏิกิริยาที่ได้กลีเซอรอล และเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์

ที่มา: สายฝน (2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.6** คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล

| คุณสมบัติ | ค่า |
|---|---|
| น้ำหนักโมเลกุล | 92.06 |
| จุดหลอมเหลว | 18.17˚C |
| จุดเดือด | |
| ที่ ความดันบรรยากาศปกติ | 290˚C |
| การระเหย | |
| ที่ 100˚C | 26 Pa |
| แรงตึงผิว ที่ 20 ˚C | 63.4 mN/m |
| ความหนืด ที่ 20 ˚C | 1499 mPa.s |
| อุณหภูมิกลายเป็นไอ | |
| ที่ 55 ˚C | 88.12 kJ/mol |
| การนำความร้อน | 0.28 W/(m.K) |
| จุดวาบไฟ | |
| ระบบเปิด | 177 ˚C |
| ระบบปิด | 199 ˚C |

ที่มา: ปิยนาฏ (2547)

**2.3.4 แมกนีเซียมสเตียเรท**

แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate) มีลักษณะเป็นผงสีขาว สูตรเคมีคือ $C_{36}H_{70}MgO_4$ มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 130-145˚C ได้รับการยืนยันโดย FDA's Subcommittee ว่าไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์เมื่อบริโภคไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน แมกนีเซียมเสตียเรทมักใช้ในวงการเภสัชกรรมโดยใช้เป็นสารหล่อลื่นในการตอกเม็ดยา ช่วยในเรื่องการยึดเกาะของตัวยาในแคปซูล มีปริมาณที่นิยมใช้ 0.5-1% นอกจากนี้ยังใช้ในหมากฝรั่งปราศจากน้ำตาล และช่วยให้แป้งไม่ติดแม่พิมพ์เมื่อต้องการนำแป้งที่สุกออกจากแม่พิมพ์ (ศิรินภา และคณะ, 2559)

**2.3.5 เวย์โปรตีน**

เวย์โปรตีน (whey protein) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกของเหลวในกระบวนการผลิตเนยแข็ง เมื่อนมแข็งตัวกลายเป็นเนย จะมีของเหลวที่แยกออกมา ซึ่งของเหลวนี้จะมีองค์ประกอบเช่นเดียวกับที่มีในนม เมื่อนำของเหลวที่ได้ผ่านกระบวนการ spray dry จะทำให้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น โปรตีนเวย์จะเกิดการเสียสภาพเมื่ออุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำลายสภาพโปรตีน เวย์โปรตีนแบ่งตามองค์ประกอบของโปรตีนและสารอาหารอื่นๆ ได้ 3 ชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เวย์โปรตีนคอนเซนเทรต (whey protein concentrate) มีปริมาณโปรตีน 25 – 89 เปอร์เซ็นต์ เวย์โปรตีนชนิดนี้ไม่เหมาะกับผู้ที่ขาดเอนไซม์แลคเตสในการย่อยน้ำตาลแลคโตส

2. เวย์โปรตีนไอโซเลท (whey protein isolate) มีปริมาณโปรตีน 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ ผู้ที่ขาดเอนไซม์แลคเตสสามารถรับประทานได้เนื่องจาก มีปริมาณแลคโตสน้อยมาก

3. ไฮโดรไลซ์ เวย์โปรตีน (hydrolyzed whey protein) มีการย่อยสายโปรตีนให้ได้เป็นสายเปปไทด์สั้นๆ ส่งผลให้ร่างกายสามารถดูดซึมได้ง่าย เหมาะกับ ทารก นักกีฬา และอาหารทางการแพทย์

เวย์โปรตีนมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายทุกชนิดและมีในปริมาณที่สูงกว่าพืช (ธนกร, 2558)

**ตารางที่ 2.7** ส่วนประกอบเบื้องต้นของเวย์โปรตีน

| องค์ประกอบ | ปริมาณที่พบในเวย์โปรตีน (%) | หน้าที่ |
|---|---|---|
| Beta-lactoglobulin | 50 - 55 | เป็นกรดอะมิโนจำเป็น ที่ใช้เป็นแหล่งสร้างกล้ามเนื้อและเป็นแหล่งสำรองไกลโคเจน |
| Alpha-lactalbumin | 20 - 25 | เป็นโปรตีนที่พบได้ในน้ำนมแม่ อุดมด้วยกรดอะมิโนทริปโตแฟน |
| Immunoglobulins | 10 – 15 | เป็นโปรตีนที่พบได้มากในน้ำนมน้ำเหลือง (colostrum) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้กับเด็ก |
| Lactoferrin | 1 – 2 | เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบได้ในน้ำนม, น้ำลาย และเลือด |
| Lactoferrin | 1 – 2 | ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย |
| Bovine serum albumin | 5 – 10 | เป็นโปรตีนที่เป็นแหล่งของกรดอะมิโนจำเป็น |
| Glycomacropeptide | 10 – 15 | ยับยั้งการก่อตัวของคราบหินปูนและฟันผุ |

ที่มา: ธนกร (2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 สารเคลือบผิว

### 2.4.1 ไขผึ้ง

ไขผึ้ง (beeswax) เกิดจากต่อมผลิตไขผึ้ง (wax gland) ของผึ้งงาน ต่อมนี้อยู่ด้านล่างของท้อง เมื่อผึ้งงานมีอายุ 12-18 จะผลิตไขผึ้งเก็บไว้ สูตรทางเคมีของไขผึ้งคือ $C_{15}H_{31}COOC_{30}H_{61}$ คุณสมบัติทางกายภาพของไขผึ้งคือ มีจุดหลอมเหลวระหว่าง 60-69 ˚C ความหนาแน่น 0.96 ที่อุณหภูมิ 20˚C ดัชนีความหักเห 1.44 เมื่อสัมผัสถูกน้ำจะไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในแอลกอฮอล์ที่เย็น (สิริวัฒน์, 2532) ไขผึ้งมีความเป็นพลาสติกและยืดหยุ่นเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่เมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิต่ำจะเปราะ

**ตารางที่ 2.8** คุณสมบัติของไขผึ้ง

| คุณสมบัติ | ค่า |
|---|---|
| Acid value | 7 - 36 |
| Iodine number | 7 - 16 |
| Saponification number | 90 - 149 |
| Melting point (˚C) | 62 - 65 |
| Solidifying point (˚C) | 60 - 63 |
| Ester value | 60 - 84 |
| Specific gravity (g $mL^{-1}$) | 0.93 - 0.97 |

ที่มา: Steve (2014)

### 2.4.2 ไขคาร์นัวบา

ไขคาร์นัวบา (carnauba wax) เป็นสารหลั่งจากใบต้นปาล์ม (Copernica cerifera) มีจุดหลอมเหลวและความถ่วงจำเพาะสูงสุด ในกลุ่มของไขธรรมชาติ นอกจากนี้ยังถูกนำไปเติมในไขชนิดอื่นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิจุดหลอมเหลว ความแข็ง และความเหนียว องค์ประกอบของไขคาร์นัวบาประกอบด้วยเอสเทอร์ระหว่างกรดไขมันอิ่มตัวกับไฮโดรคาร์บอนจำนวน 24-32 หน่วย (รังสินี, 2560)

**ตารางที่ 2.9** คุณสมบัติของไขคาร์นัวบา

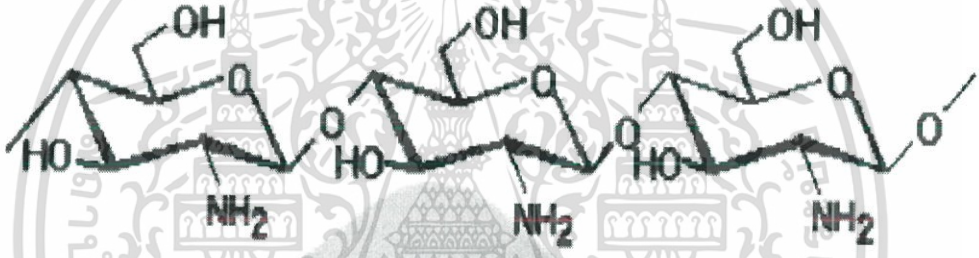
| คุณสมบัติ | ค่า |
|---|---|
| Acid value | 2.9 - 9.7 |
| Iodine number | 7 - 14 |
| Saponification number | 79 - 95 |
| Melting point (˚C) | 78 - 85 |

ที่มา: Steve (2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ไคโตซาน

ไคโตซาน (chitosan) ไคโตซานจัดเป็นสารจำพวก โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่เตรียมได้จากการดึงหมู่อะซิทิล (acetyl group) ของไคตินออก ด้วยปฏิกิริยา deacetylation ซึ่งเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่พบได้จากแมลงและเห็ดราต่างๆ เปอร์เซนต์การเกิด ปฏิกิริยา deacetylation มีผลต่อคุณสมบัติและการทำงาน ทั้งนี้น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานยังสามารถบ่งบอกได้ถึงความยาวของสายไคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด ดังนั้นการนำไคโตซานไปใช้ต้องคำนึงถึงเปอร์เซนต์การเกิดปฏิกิริยา deacetylation และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ไคโตซานสามารถละลายได้ในน้ำ และยังสามารถอุ้มน้ำได้โดยความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ ร้อยละ 230 - 240 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ไคโตซานได้รับการรับรองว่าปลอยสารพิษ และเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ปัจจุบันไคโตซานมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากเป็นสารที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Chen and et al, 1994)




**รูปที่** 2.10 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

ที่มา: Sinha and et al (2004)

### 2.4.4 อัลจิเนต

อัลจิเนต (alginates) คือ เกลือของกรดแอลจินิก (alginic acid) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ของสาหร่ายสีน้ำตาลชื่อ Phaeophyceae แอลจินเนตเมื่อนำมาทำฟิล์มจะให้ลักษณะทางกายภายใส แผ่นฟิล์มมีความสม่ำเสมอ ต้านน้ำมันและไขมัน แต่ละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงมีความสามารถในการป้องกันน้ำต่ำ (Cottrell, 1980) ดังนั้นจึงป้องกันความชื้นต่ำ จึงได้มีการนำสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ผสมเพื่อขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม เมื่อจุ่มฟิล์มแอลจิเนตในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์พบว่า ค่าการแพร่ผ่านของไอน้ำ และค่าการละลาย (water soluvility, WS) ลดลง หากนำสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ผสมในสารละลายขึ้นรูปฟิล์ม จะไม่สามารถลดค่าการแพร่ผ่านของน้ำ และค่าการละลายของฟิล์ม (Rhim and et al, 2004) สารเคลือบอัลจิเนตเมื่อนำมาเคลือบอาหารจะช่วยลดการสูญเสียความชื้นและป้องกันออกซิเจนได้ดี นอกจากนี้ยังชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่เป็นองค์ประกอบของอาหารได้อีกด้วย (รังสินี, 2560)

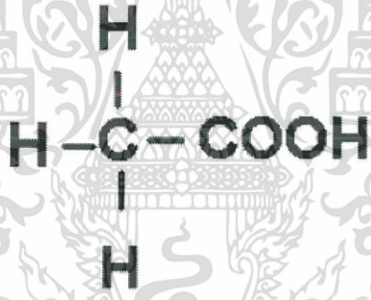
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.5 แคลเซียมคลอไรด์

แคลเซียมคลอไรด์ (Calciumcloride) สูตรเคมีคือ $CaCl_2$ ลักษณะปรากฏเป็นผลึกสีขาว ใช้ได้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น มีความสามารถในการละลายได้ดีในน้ำ เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนด้วย หากสัมผัสข้างขวด หรือโถที่ใช้ละลายเกลือแคลเซียมคลอดไรด์จะพบว่ามีความร้อนเกิดขึ้น แคลเซียมคลอไรด์ใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารมีคุณสมบัติช่วยให้ผักและผลไม้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง เป็นสารดูดซับความชื้น (กรุงเทพเคมี, 2560)

### 2.4.6 กรดอะซิติก

กรดอะซิติก (acetic acid) หรือ กรดน้ำส้มสายชู สูตรเคมี คือ ($CH_3COOH$) เป็นกรดอินทรีย์ (organic acid ) ประเภท กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) กรดอะซิติกได้จากกระบวนการหมักเอทิลแอลกอฮอล์ ด้วยแบคทีเรียอะซีโตแบคเตอร์ (Acetobacter) หากกรดอะซิติกมีความเข้มข้นต่ำหรือ เจือจาง 4 – 5 เปอร์เซ็นต์ เรียก กรดน้ำส้มสายชู (vinegar) ประโยชน์ของกรดอะซิติกสามารถนำไปใช้ได้ในอุตสาหกรรม หลากหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมอาหาร กรดอะซิติกถูกนำไปใช้แต่งกลิ่นรสของอาหาร หรือ เป็นวัตถุเติมแต่งอาหาร (food additive) (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2553)



**รูปที่ 2.11** โครงสร้างทางเคมีของกรดอะซิติก
ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และคณะ (2553)

## 2.5 เส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหาร (dietary fiber) คือ ผนังเซลล์ของพืช ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในระบบทางเดินอาหาร (นิธิยา, 2551) ใยอาหารประกอบด้วย โครงสร้างโพลิแซกคาไรด์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกติน เป็นต้น

เส้นใยอาหารสามารถแบ่งตามคุณลักษณะได้ 2 คุณลักษณะ คือ แบ่งตามหน้าที่ และแบ่งตามการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.1 คุณลักษณะเส้นใยอาหารแบ่งตามหน้าที่**

แบ่งได้อีก 3 กลุ่ม ได้แก่

1. โครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์ (structural polysaccharides) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช เช่น เซลลูโลส เป็นต้น

2. โครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (structural non-polysaccharides) เป็นเส้นใยที่ไม่ใช่พอลิแซ็กคาไรด์ แต่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างผนังเซลล์ของพืชเช่นกัน

3. พอลิแว็กคาไรด์ที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural polysaccharides) เป็นเส้นใยอาหารพอลิแซ็กคาไรด์ แต่ไม่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ได้แก่ มิวซิเลจ

**2.5.2 คุณลักษณะเส้นใยอาหารแบ่งตามการละลาย**

1. เส้นใยอาหารประเภทไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) เป็นโครงสร้างความแข็งแรงของพืช พบได้ในพืชทั่วไป ซึ่งร่างกายย่อยสลายไม่ได้ แต่ช่วยในการขับถ่าย เนื่องจากเส้นใยอาหารจะดูดน้ำไว้กับตัว ทำให้กากอาหารอยู่ในลำไส้ใหญ่ไม่นาน ป้องกันอาการท้องผูก

2. เส้นใยอาหารละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber) เส้นใยชนิดนี้เมื่อละลายน้ำจะเป็นสารข้นหนืดที่เคลือบผนังกระเพาะอาหารและลำไส้ ช่วยให้ป้องกัน โรคไขมันในเลือดสูง ทำให้รู้สึกอิ่มได้นานมากขึ้น (สหขวัญ, 2556)

**ตารางที่ 2.10** ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและปริมาณเส้นใยในอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

| เส้นใยอาหาร | เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ | เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ |
|---|---|---|
| ส้ม | 5.8 | 7.5 |
| แครอท | 14.9 | 11.1 |
| ข้าว | 0.19 | 0.75 |

ที่มา: Elleuch and et al (2011)

## 2.6 แอคติวิตีของน้ำ

แอคติวิตีของน้ำ (water activity) คืออัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่จุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าแอคติวิตีของน้ำมีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แอคติวิตีของน้ำที่ 0 - 0.2 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้น จุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ทำให้อาหารเก็บได้นานและมีความคงตัวสูง ดังนั้นการลดค่าแอคติวิตีของน้ำให้น้อยที่สุดจึงเป็นการถนอมอาหารวิธีหนึ่งด้วย ตัวอย่างกระบวนการลดน้ำในอาหารเพื่อให้ค่า แอคติวิตีของน้ำน้อย เช่น การอบแห้ง เป็นต้น

การเน่าเสียของอาหาร มีสาเหตุเนื่องมาจากความชื้นในอาหาร หากอาหารที่มีค่าแอคติวิตีของน้ำมากจะเป็นการเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์อย่างช้าๆ นอกจากนี้ยังทำให้จุลินทรีย์สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโตได้ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ ดังนั้นการลดค่าแอคติวิตีของน้ำให้น้อยลงจึงเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเร่งปฏิกิริยาทางเคมี โดยจุลินทรีย์ทุกชนิดจะหยุดการเจริญเติบโตเมื่ออาหารมีค่า แอคติวิตี้ของน้ำ เท่ากับ 0 – 0.6 จุลินทรีย์ประเภทราหยุดการเจริญเติบโตเมื่ออาหารมีค่า แอคติวิตี้ของน้ำเท่ากับ 0.7 หรือต่ำกว่า ส่วนยีสต์จะไม่เจริญเมื่อค่าแอคติวิตี้ของน้ำ ต่ำว่า 0.7 หรือ มากกว่า 0.8 และแบคทีเรียไม่เจริญเมื่อ แอคติวิตี้ของน้ำต่ำกว่า 0.8 (นิธิยา, 2549)

**ตารางที่ 2.11** ตัวอย่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น และแอคติวิตี้ของน้ำในอาหาร

| อาหาร | %ความชื้น | แอคติวิตี้ของน้ำ |
|---|---|---|
| แป้งข้าวสาลี | 14.5 | 0.72 |
| นมผง | 3.5 | 0.11 |
| มันฝรั่งทอด | 1.5 | 0.08 |
| เนื้อสด | 70 | 0.985 |
| ขนมปัง | 40 | 0.96 |
| ลูกอม | 30 | 0.30 |

ที่มา: นิธิยา (2549)

## 2.7 ความเค้นดัด

ความเค้นดัด (bending stress) คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุถูกดัดโค้ง ซึ่งจะเกิดความเค้นอีก 2 ชนิดขณะดัด คือ ความเค้นกด (compression stress) และ ความเค้นดึง (tensile stress) นอกจากนี้ความเค้นดัดยังมีความสัมพันธ์กับ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดชิ้นงาน โมเมนต์ดัดภายในหน้าตัดที่พิจารณา และระยะระหว่างจุดที่พิจารณากับตำแหน่งระนาบกลางของชิ้นงานที่พิจารณา ซึ่งสามารถทราบค่าความเค้นดันได้จากสมการ

$$\sigma_{bending} = \frac{Mc}{I}$$

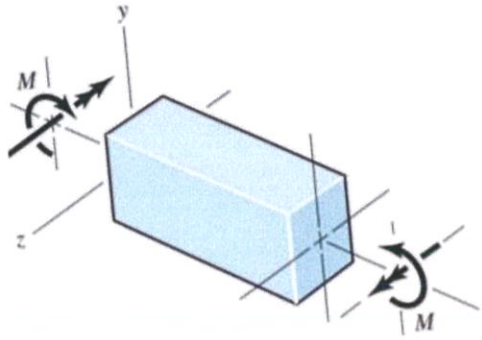
เมื่อ $\sigma$ = ความเค้นดัด

$M$ = โมเมนต์ดัดภายในหน้าตัดที่พิจารณา

$c$ = ระยะระหว่างจุดที่พิจารณากับตำแหน่งระนาบกลางของชิ้นงานที่พิจารณา

$I$ = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.12** ตัวอย่างชิ้นงานวิเคราะห์ความเค้นดัด

ที่มา: Shigley (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

## 3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

### 3.1.1 วัตถุดิบ

**ตารางที่ 3.1** วัตถุดิบ

| วัตถุดิบ | น้ำหนัก (กรัม/ถุง) | หน้าที่ | ที่มา | ราคา (บาท/ถุง) |
|---|---|---|---|---|
| แป้งข้าวโพด | 1,000 | เป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ | บริษัท อาร์แอนด์บี ฟู้ดซัพพลาย จำกัด | 49 |
| เมล็ดถั่วเหลือง | 500 | เป็นองค์ประกอบรองสำหรับปรับปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ให้มีปริมาณโปรตีนเป็น 12% ต่อน้ำหนัก 100 กรัม | บริษัท ไร่ธัญญะ จำกัด | 22 |
| กลีเซอรอล เกรดอาหาร | 1,000 | เป็นสารเก็บความชื้นที่ช่วยป้องกันไม่ให้อาหารเกิดการแห้ง มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำ ช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอาหาร | บริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด | 54 |
| กัวร์กัม เกรดอาหาร | 1,000 | เพื่อให้เนื้อแป้งมีการยึดเกาะกันมากขึ้น | บริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด | 62 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต เกรดอาหาร | 1,000 | เพื่อให้แป้งไม่ติดแม่พิมพ์ | บริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด | 129 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 อุปกรณ์

**ตารางที่ 3.2** อุปกรณ์

| อุปกรณ์ | รายละเอียด | หน้าที่ | ที่มา |
|---|---|---|---|
| เครื่องอัดขึ้นรูป | แผ่นเพลทตัวบนและตัวล่างมีขนาดเท่ากัน คือ กว้าง 30 cm ยาว 30 cm มีแผ่นให้ความร้อนขนาด กว้าง 30 cm ยาว 30 cm จำนวน 2 แผ่น มีกำลังไฟแผ่นละ 1500 W | ใช้สำหรับการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ | |
| แม่พิมพ์รูปตะเกียบ | มีความกว้าง 30 cm ยาว 30 cm โดยมีช่องเป็นรูปตะเกียบ แต่ละช่องจะมีความยาว 20 cm ความกว้างด้านปลายใหญ่ 0.9 cm ความกว้างด้านปลายเล็ก 0.7 cm และความหนา 0.6 cm สามารถขึ้นรูปตะเกียบได้ครั้งละ 20 แท่ง หรือ 10 คู่ | แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปตะเกียบ | บริษัท โทอิ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด |
| ปั๊มลม | ปั๊มลมขนาด 92 ลิตร พร้อมมอเตอร์ 1 แรงม้า, ใช้ไฟ 220 v และมีแรงดันลม 7-10 | ทำการปั๊มลมเพื่อเพิ่มแรงดันให้กับเครื่องอัดขึ้นรูป | บริษัท อัตรโซลูชั่น จำกัด |
| เครื่องผสมแป้ง | เครื่องตีไข่ ตี แป้ง ผสมและนวดแป้ง ความจุ 10 ลิตร และกำลังไฟ 450 w | ช่วยคลุกเคล้าผสมวัตถุดิบและนวดแป้ง | |
| เครื่องบด (Hammer mill) | เครื่องบดละเอียด โดยมีมอเตอร์ 2 แรงม้า มีกำลังไฟ 1,500 W และใช้ไฟ 220 v | ใช้บดเมล็ดถั่วเหลืองให้เป็นผงแป้งที่มีความละเอียด | บริษัท จีซี อีควิปเมนท์ จำกัด |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.2** อุปกรณ์ (ต่อ)

| อุปกรณ์ | รายละเอียด | หน้าที่ | ที่มา |
|---|---|---|---|
| ตู้อบลมร้อน | ความจุ 53 ลิตร ภายในตู้ มีขนาดกว้าง 40 cm สูง 40 cm และลึก 33 cm ภายนอกตู้ มีขนาด กว้าง 58.5 cm สูง 78.7 cm และลึก 51.4 cm ใช้ไฟ 220 v กำลังไฟ 400 W | อบแป้งถั่วเหลืองเพื่อไล่ความชื้นในแป้งก่อนนำมาผสม | บริษัท เบคไทย กรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์ จำกัด |
| เครื่องชั่งน้ำหนัก | สามารถรองรับน้ำหนักได้สูงสุด 3,200 กรัม มีค่าละเอียดที่สุดที่สามารถแสดงผลได้อยู่ที่ 0.01 กรัม | สำหรับชั่งน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดก่อนที่จะนำมาผสมเข้าด้วยกัน | บริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด |

กระบวนการอัดขึ้นรูปในการผลิตตะเกียบมีการให้ความร้อนแม่พิมพ์จากอุณหภูมิห้องซึ่งเท่ากับ 30°C ไปจนถึงอุณหภูมิการอัดขึ้นรูปซึ่งเท่ากับ 160°C เป็นเวลา 10 นาที โดยการคำนวณหาขนาดแผ่นให้ความร้อนสามารถคำนวณจากผลรวมของความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ความร้อนแฝง (Latent heat) (iEnergyGuru, 2015) และการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน (Convective heat transfer) (Engineers edge, 2019) ได้ดังนี้

$$Q = [\text{Sensible heat} + \text{Latent heat}] + \text{Convective heat transfer}$$

$$Q = [mc\Delta T + mL] + hA\Delta T$$

จัดให้เป็นพจน์ ได้ดังนี้

$$Q = [(mc\Delta T + mL)_{น้ำ} + (mc\Delta T + mL)_{กลีเซอรอล} + (mc\Delta T)_{แป้ง}] + (hA\Delta T)_{อากาศ}$$

โดยที่ $Q$ = ปริมาณความร้อน (J)

$m_{น้ำ}$ = มวลของน้ำ (kg)

$c_{p น้ำ}$ = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kgK)

$\Delta T$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิ (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$L_{น้ำ}$ = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (J/kg)

$m_{กลีเซอรอล}$ = มวลของกลีเซอรอล (kg)

$c_{pกลีเซอรอล}$ = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของกลีเซอรอล (J/kgK)

$L_{กลีเซอรอล}$ = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของกลีเซอรอล (J/kg)

$m_{แป้ง}$ = มวลของแป้ง (kg)

$c_{pแป้ง}$ = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแป้ง (J/kgK)

$h$ = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศนิ่ง ($W/m^2K$)

$A$ = พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนซึ่งเท่ากับขนาดของแผ่นฮีทเตอร์ ($m^2$)

ซึ่งค่าของตัวแปรที่ได้จากการผลิตตะเกียบมีดังนี้

$\Delta T$ = (160+273) – (30+273) = 130 K

$m_{น้ำ}$ = ผลรวมมวลของน้ำที่ผสมและน้ำในแป้ง = 0.9333 kg

$m_{กลีเซอรอล}$ = 0.024 kg

$m_{แป้ง}$ = 0.2 kg

$A$ = แผ่นให้ความร้อน 1 แผ่นมีขนาด $0.3 \times 0.3$ $m^2$ ซึ่งในกระบวนการอัดขึ้นรูปจะใช้แผ่นให้ความร้อน 2 แผ่น ดังนั้น $A = 0.3 \times 0.3 \times 2$ $m^2 = 0.18$ $m^2$

และค่าคงที่ของตัวแปรต่างๆ เกิดจากการอ้างอิงข้อมูลดังนี้

$c_{pน้ำ}$ = 4,187 J/kgK (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2553)

$L_{น้ำ}$ = 2,257,200 J/kg (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2553)

$c_{pกลีเซอรอล}$ = 2,409.5 J/kgK (John A. Dean, 1999)

$L_{กลีเซอรอล}$ = 830,000 J/kg (Science and engineering encyclopedia, 2019)

$c_{pแป้ง}$ = 1,800 J/kgK (Food sci., 2556)

$h$ = 18 $W/m^2K$ (Engineering ToolBox, 2003)

= $(18\ W/m^2K) \times (600\ s)$ ; ภายในเวลา 600 วินาที

= 10,800 $J/m^2K$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ดังนี้

$$Q = [(0.09333\times4,187\times130)+(0.09333\times2,257,200)]_{น้ำ}$$
$$+ [(0.024\times2,409.5\times130)+(0.024\times830,000)]_{กลีเซอรอล} + [0.2\times1,800\times130]_{แป้ง}$$
$$+ [10,800\times0.18\times130]_{อากาศ}$$
$$Q = 588,422.6\ J$$

หากำลังไฟฟ้าของแผ่นให้ความร้อนที่ต้องใช้ โดยมีการใช้งานเป็นเวลา 10 นาที จากสมการดังนี้

$$P = \frac{Q}{t}$$

โดยที่ $P$ = กำลัง (W)

$Q$ = พลังงาน (J)

$T$ = เวลา (s)

จะได้ $$P = \frac{588,422.6}{600}$$

$$P = 980.70\ W$$

ดังนั้น ต้องใช้แผ่นให้ความร้อน 2 แผ่น ซึ่งมีกำลังไฟฟ้ารวมกันอย่างน้อย 980.70 วัตต์

## 3.2 การวางแผนการทดลอง

ก่อนอื่นทำการทดลองโดยใช้แป้งทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า แป้งถั่วเขียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเหลือง โดยนำแป้งทั้งหมดมาจับคู่กันเพื่อหาวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดโดยทำทั้งหมด 10 การทดลอง

ปริมาณกลีเซอรอลทั้งหมดในแป้งที่ทำการทดลอง แบ่งเป็น 5 ปัจจัยได้แก่ 8 12 16 20 และ 24 กรัมต่อปริมาณแป้ง 100 กรัม

## 3.3 หลักการทดลอง

1) การทดลองส่วนผสมในกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการผสมแป้ง จากนั้นเทลงแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนเพื่อลดความชื้นและทำให้แป้งแข็งตัว จากนั้นนำแป้งทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองออกจากตู้อบลมร้อน และปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะออกจากแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

2) การทดลองอบแป้งในตู้อบลมร้อน ทำการผสมแป้ง จากนั้นนวดส่วนผสมที่ได้ด้วยมือจนแป้งมีความยืดหยุ่น รีดแป้งให้เป็นแผ่นแล้วตัดเป็นแท่งรูปสี่เหลี่ยม จากนั้นนำไปทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ โดยการอบแบบมีฝาปิดบนถาดรองแป้ง

3) การทดลองขึ้นรูปแป้งที่ผสมไฟเบอร์ ทำการผสมแป้ง จากนั้นนวดส่วนผสมที่ได้ด้วยมือจนแป้งมีความยืดหยุ่น วางบนกระดาษไขแล้วรีดแป้งให้เป็นแผ่นวงกลม ยกไปวางบนแม่พิมพ์รูปจานที่ติดอยู่บนเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยระบบนิวแมติกส์ แล้วจึงแกะจานออกจากแม่พิมพ์

4) ทดลองขึ้นรูปด้วยแป้งสาลีเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว ชั่งน้ำหนักส่วนผสม จากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม เมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์ทรงสี่เหลี่ยม นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัดโดยใช้ระบบนิวแมติกส์ ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

5) ทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งต่างๆ ทำการผสมแป้งต่างๆ จากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม เมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์รูปตะเกียบ นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัดโดยใช้ระบบนิวแมติกส์ จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัด ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

6) ทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งสาลี 3 ชนิด ทำการผสมแป้งสาลีชนิดต่างๆ จากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม เมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์รูปตะเกียบ นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด โดยใช้ระบบนิวแมติกส์ จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัด ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

7) ทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากการปรับปริมาณโปรตีนในแป้งถั่วเหลือง บดแป้งถั่งเหลืองจนละเอียดเป็นผงแป้ง จากนั้นนำไปอบเพื่อไล่ความชื้น แล้วทำการผสมแป้ง จากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสมเมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์รูปตะเกียบ นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัดโดยใช้ระบบนิวแมติกส์ จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัด ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

8) ทดลองปริมาณกลีเซอรอลที่แตกต่างกัน ศึกษาหาปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมโดยทำการผสมแป้งตามอัตราส่วน เลือกแป้งจากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสมเมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยม นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัดโดยใช้ระบบนิวแมติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัด ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

9) ทดลองเคลือบด้วยไคโตซาน ทำการผสมสารเคลือบ จากนั้นฉีดพ่นสารเคลือบลงบนผิวของชิ้นงาน แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน

10) ทดลองเคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต ทำการผสมสารละลายโซเดียมอัลจิเนตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จากนั้นฉีดพ่นสารละลายโซเดียมอัลจิเนตลงบนผิวของชิ้นงานตามด้วยฉีดพ่นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เพื่อเป็นการเคลือบผิว

## 3.4 วิธีการทดลองผลิตตะเกียบ

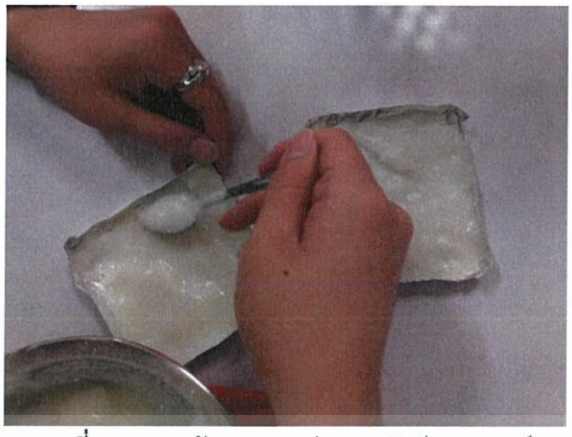
### 3.4.1 การทดลองส่วนผสมที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ทำการผสมแป้งและสารเติมแต่งตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.3 นำส่วนผสมที่ได้มากวนด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเทลงแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ดังรูปที่ 3.1 แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่ 2 สภาวะ คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งทั้งสองออกจากตู้อบลมร้อน และปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะออกจากแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

**ตารางที่ 3.3** อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตวัสดุ

| วัตถุดิบ | ชื่อตัวอย่าง | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Flour | FlourA | FlourA+5K | FlourA+10K | FlourA+15K |
| แป้งข้าวโพด (กรัม) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| แป้งข้าวเหนียว (กรัม) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| น้ำ (มิลลิลิตร) | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม) | - | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| ไขผึ้ง (กรัม) | - | 5 | 5 | 5 | 5 |
| กัวร์กัม (กรัม) | - | 1 | 1 | 1 | 1 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | - | 8 | 8 | 8 | 8 |
| ดินเกาลิน (กรัม) | - | - | 5 | 10 | 15 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.1** เทแป้งลงบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

### 3.4.2 การทดลองอบแป้ง

ทำการผสมแป้งและสารเติมแต่งตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.4 โดยเลือกใช้สูตร FlourA ซึ่งเป็นสูตรที่ไม่ใช้ไขผึ้งและดินเกาลิน จากนั้นนวดส่วนผสมเป็นเวลา 15 นาที จนได้แป้งที่มีความนุ่มและยืดหยุ่น รีดแป้งให้เป็นแผ่นที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2 แล้วตัดเป็นแท่งรูปทรงสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 3.3 จากนั้นนำไปทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 3.5 โดยการอบแบบมีฝาปิดบนถาดรองแป้งสามารถทำได้ดังรูปที่ 3.4

**ตารางที่ 3.4** อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตวัสดุ

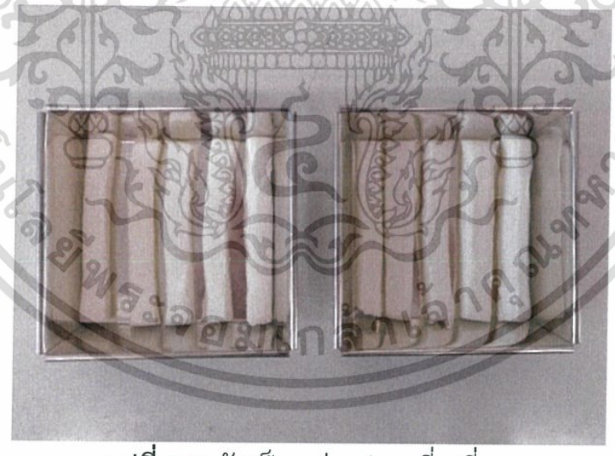
| วัตถุดิบ | ชื่อตัวอย่าง |
|---|---|
| | FlourA |
| แป้งข้าวโพด (กรัม) | 50 |
| แป้งข้าวเหนียว (กรัม) | 50 |
| น้ำ (มิลลิลิตร) | 115 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม) | 0.25 |
| กัวร์กัม (กรัม) | 1 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | 8 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.5** สภาวะการทดลอง

| การทดลองที่ | นึ่งแป้ง | อบในตู้อบลมร้อน | ฝาปิดบนถาดแป้ง |
|---|---|---|---|
| 1 | - | 175 °C เป็นเวลา 1 ชม. | ไม่มี |
| 2 | 15 นาที | 175 °C เป็นเวลา 1 ชม. | ไม่มี |
| 3 | 15 นาที | 175 °C เป็นเวลา 1 ชม. | มี |

**รูปที่ 3.2** รีดแป้งเป็นแผ่น



**รูปที่ 3.3** ตัดเป็นแท่งรูปทรงสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.4** ปิดฝาบนถาดรองแป้ง

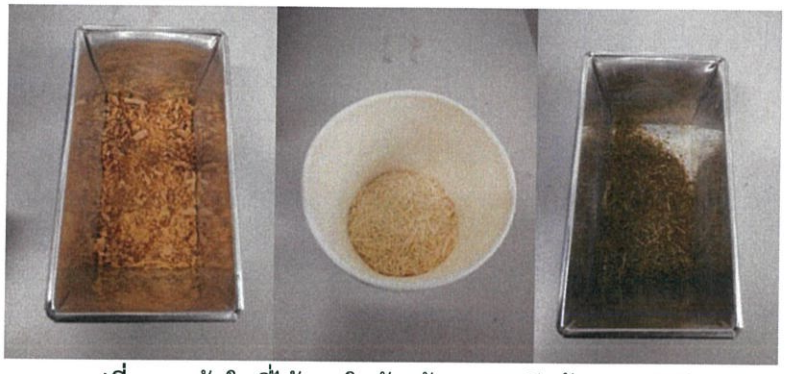
### 3.4.3 การทดลองขึ้นรูปแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช

สามารถเตรียมเส้นใย ได้แก่ ใยส้ม อ้อย และผักบุ้ง ได้ดังตารางที่ 3.6 และเส้นใยที่ได้จากการเตรียมดังรูปที่ 3.5 แล้วจึงทำการผสมแป้ง เส้นใย และสารเติมแต่ง ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.7 จากนั้นนวดส่วนผสมที่ได้ปั้นเป็นเวลา 15 นาที จนได้แป้งที่มีความนุ่มและยืดหยุ่น วางบนกระดาษไขแล้วรีดแป้งให้เป็นแผ่นวงกลมที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.6 จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปโดยทดลองอัดด้วยแม่พิมพ์รูปจานที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยระบบนิวแมติกส์ ใช้ความดัน 1 บาร์ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ดังรูปที่ 3.7 แล้วจึงแกะจานออกจากแม่พิมพ์

**ตารางที่ 3.6** การเตรียมเส้นใย

| เส้นใย | การเตรียมวัตถุดิบ | การล้าง | การอบ | การปั่น |
|---|---|---|---|---|
| ใยส้ม | แกะใยส้มออกจากเปลือกส้ม | ล้างให้สะอาดด้วยน้ำเปล่า | อบในตู้อบลมร้อน 105 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง | ปั่นด้วยเครื่องปั่นพริก |
| อ้อย | แกะเยื่อด้านในออกจากเปลือก | ล้างให้สะอาดด้วยน้ำเปล่า | อบในตู้อบลมร้อน 105 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง | ปั่นด้วยเครื่องปั่นพริก |
| ผักบุ้ง | ตัดรากผักบุ้งออก | ล้างให้สะอาดด้วยน้ำเปล่า | อบในตู้อบลมร้อน 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง | ปั่นด้วยเครื่องปั่นพริก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



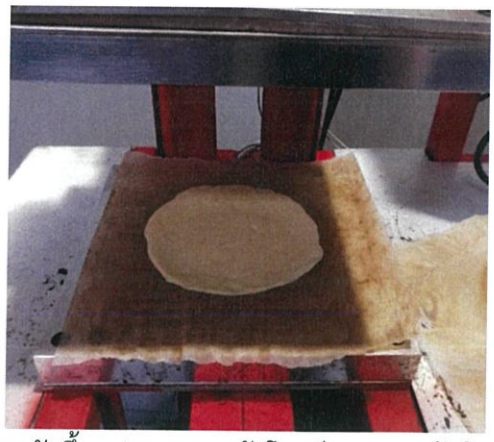
**รูปที่ 3.5** เส้นใยที่ได้จากใยส้ม อ้อย และผักบุ้ง ตามลำดับ

**ตารางที่ 3.7** อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตจานจากแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช

| วัตถุดิบ | การทดลองที่ | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| แป้งข้าวโพด (กรัม) | 50 | 50 | 50 |
| แป้งข้าวเหนียว (กรัม) | 50 | 50 | 50 |
| น้ำ (มิลลิลิตร) | 100 | 100 | 100 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม) | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| กัวร์กัม (กรัม) | 1 | 1 | 1 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | 8 | 8 | 8 |
| ใยส้ม (กรัม) | 30 | - | - |
| อ้อย (กรัม) | - | 30 | - |
| ผักบุ้ง (กรัม) | - | - | 30 |

**รูปที่ 3.6** รีดแป้งเป็นแผ่นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.7** อัดขึ้นรูปจานจากแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช

### 3.4.4 การทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากแป้งสาลีเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว

ทำการชั่งน้ำหนักส่วนผสมดังตารางที่ 3.8 และ 3.9 จากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม (Mixer) เป็นเวลา 4 นาที ดังรูปที่ 3.8 เมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์ทรงสี่เหลี่ยมที่มีความยาว 12.7 เซนติเมตร ความกว้าง 1.27 เซนติเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) โดยใช้ระบบนิวแมติกส์ ที่ความดัน 1 บาร์ ดังรูปที่ 3.9 จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัด ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

**ตารางที่ 3.8** อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานจากแป้งสาลี

| วัตถุดิบ | การทดลองที่ | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| แป้งสาลี (กรัม) | 100 | 100 | 100 |
| น้ำ (มิลลิลิตร) | 40 | 40 | 40 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม) | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| กัวร์กัม (กรัม) | 1 | 1 | 1 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | 8 | 8 | 8 |
| อุณหภูมิการอัด (°C) | 140 | 160 | 180 |
| เวลาที่ใช้ในการอัด (นาที) | 17 | 10 | 7 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.9** อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานจากแป้งถั่วเขียว

| วัตถุดิบ | การทดลองที่ | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| แป้งถั่วเขียว (กรัม) | 100 | 100 | 100 |
| น้ำ (มิลลิลิตร) | 80 | 80 | 80 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม) | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| กัวร์กัม (กรัม) | 1 | 1 | 1 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | 8 | 8 | 8 |
| อุณหภูมิการอัด (°C) | 140 | 160 | 180 |
| เวลาที่ใช้ในการอัด (นาที) | 17 | 10 | 7 |

**รูปที่ 3.8** ผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม (Mixer)

**รูปที่ 3.9** กดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding)

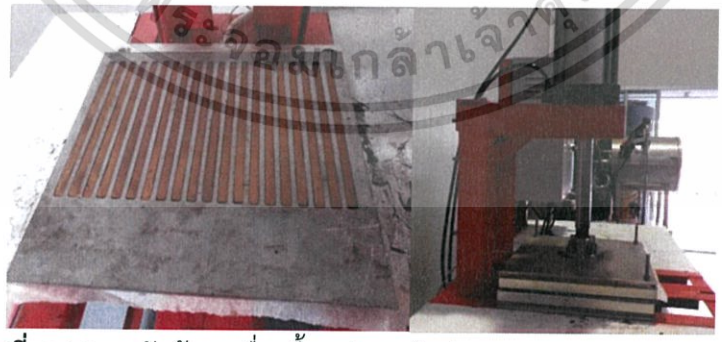
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 การทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งต่างชนิดกัน

ทำการผสมแป้งตามสูตรทั้ง 5 การทดลอง ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.10 จากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม (Mixer) เป็นเวลา 4 นาที จนแป้งจับกันเป็นก้อนที่มีความอยู่ตัวและมีลักษณะเป็นโดว์ เมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์รูปตะเกียบที่มีความยาว 20 เซนติเมตร ความกว้างด้านหัวตะเกียบ 9 มิลลิเมตร ความกว้างด้านท้ายตะเกียบ 7 มิลลิเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) โดยใช้ระบบนิวแมติกส์ ที่ความดัน 1 บาร์ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ดังรูปที่ 3.10 จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัด ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

**ตารางที่ 3.10** อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตตะเกียบจากแป้งต่างชนิดกัน

| วัตถุดิบ | การทดลองที่ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| แป้งมันสำปะหลัง (กรัม) | 100 | 50 | 80 | - | - |
| แป้งสาลี (กรัม) | - | 50 | - | - | 50 |
| เวย์โปรตีน (กรัม) | - | - | 20 | - | - |
| แป้งถั่วเหลือง (กรัม) | - | - | - | 100 | 50 |
| น้ำ (มิลลิลิตร) | 80 | 70 | 50 | 85 | 80 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม) | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| กัวร์กัม (กรัม) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |



**รูปที่ 3.10** กดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding)

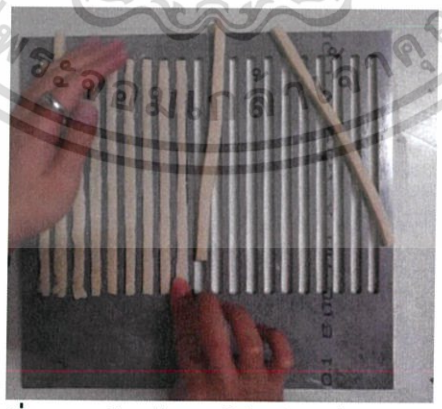
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.6 การทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งสาลีต่างชนิดกัน

ทำการผสมสารเติมแต่งและแป้งสาลีชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งเค้ก แป้งอเนกประสงค์ และแป้งขนมปัง ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.11 จากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม (Mixer) เป็นเวลา 4 นาที จนแป้งจับกันเป็นก้อนที่มีความอยู่ตัวและมีลักษณะเป็นโดว์ เมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์รูปตะเกียบที่มีความยาว 20 เซนติเมตร ความกว้างด้านหัวตะเกียบ 9 มิลลิเมตร ความกว้างด้านท้ายตะเกียบ 7 มิลลิเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.11 นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) โดยใช้ระบบนิวแมติกส์ ที่ความดัน 1 บาร์ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัด ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

**ตารางที่ 3.11** อัตราส่วนที่ใช้ผลิตตะเกียบจากแป้งสาลีต่างชนิดกัน

| วัตถุดิบ | การทดลองที่ | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| แป้งเค้ก (กรัม) | 100 | - | - |
| แป้งอเนกประสงค์ (กรัม) | - | 100 | - |
| แป้งขนมปัง (กรัม) | - | - | 100 |
| น้ำ (มิลลิลิตร) | 65 | 40 | 50 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม) | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| กัวร์กัม (กรัม) | 1 | 1 | 1 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | 8 | 8 | 8 |



**รูปที่ 3.11** อัดแป้งสาลีใส่แม่พิมพ์รูปตะเกียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.4.7 การทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งถั่วเหลืองและแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเหนียว**

แป้งถั่วเหลืองสามารถเตรียมได้จากการบดด้วย Hammer mill จนละเอียดเป็นผงแป้ง ดังรูปที่ 3.12 จากนั้นนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งเมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้บดมีปริมาณโปรตีน 35 กรัม ต่อเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม ทำการคำนวณน้ำหนักของแป้งถั่วเหลืองที่ต้องใช้จากปริมาณโปรตีนของแป้งขนมปังประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นใน 100 กรัมของโดว์จะต้องมีแป้งถั่วเหลืองอยู่ประมาณ 34.5 กรัม ทำการผสมแป้งตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.12 จากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม (Mixer) เป็นเวลา 4 นาที จนแป้งจับกันเป็นก้อนที่มีความอยู่ตัวและมีลักษณะเป็นโดว์ เมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์รูปตะเกียบที่มีความยาว 20 เซนติเมตร ความกว้างด้านหัวตะเกียบ 9 มิลลิเมตร ความกว้างด้านท้ายตะเกียบ 7 มิลลิเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) โดยใช้ระบบนิวแมติกส์ ที่ความดัน 1 บาร์ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัด ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

**รูปที่ 3.12** บดเมล็ดถั่วเหลืองด้วย Hammer mill

**รูปที่ 3.13** อบแป้งถั่วเหลืองเพื่อไล่ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.12** อัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตตะเกียบจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งถั่วเหลืองและแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเหนียว

| วัตถุดิบ | การทดลองที่ | |
|---|---|---|
| | 1 | 2 |
| แป้งถั่วเหลือง (กรัม) | 34.5 | 34.5 |
| แป้งข้าวโพด (กรัม) | 65.5 | - |
| แป้งข้าวเหนียว (กรัม) | - | 65.5 |
| น้ำ (มิลลิลิตร) | 40 | 50 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม) | 0.25 | 0.25 |
| กัวร์กัม (กรัม) | 1 | 1 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | 8 | 8 |

### 3.4.8 การทดลองขึ้นรูปตะเกียบที่มีปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน

หลังจากที่เลือกแป้งในหัวข้อ 3.4.7 จะนำสภาวะการทดลองนั้นมาวิเคราะห์ในเรื่องของปริมาณกลีเซอรอล เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารเก็บความชื้นให้กับอาหาร จึงศึกษาหาปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสม โดยทำการผสมส่วนผสมดังตารางที่ 3.13 จากนั้นผสมและนวดแป้งด้วยเครื่องผสม (Mixer) เป็นเวลา 4 นาที จนแป้งจับกันเป็นก้อนที่มีความอยู่ตัวและมีลักษณะเป็นโดว์ เมื่อได้โดว์แล้วนำไปอัดใส่แม่พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีความยาว 12.7 เซนติเมตร ความกว้าง 1.27 เซนติเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM นำแม่พิมพ์ไปกดอัดด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) โดยใช้ระบบนิวแมติกส์ ที่ความดัน 1 บาร์ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัด ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

**ตารางที่ 3.13** อัตราส่วนผสมที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน

| วัตถุดิบ | การทดลองที่ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| แป้งถั่วเหลือง (กรัม) | 34.5 | 34.5 | 34.5 | 34.5 | 34.5 |
| แป้งข้าวโพด (กรัม) | 65.5 | 65.5 | 65.5 | 65.5 | 65.5 |
| น้ำ (มิลลิลิตร) | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต (กรัม) | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| กัวร์กัม (กรัม) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 วิธีการทดลองสารเคลือบเบื้องต้น

### 3.5.1 ทดลองเคลือบด้วยไคโตซาน

ทำการผสมสารเคลือบตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.14 จากนั้นฉีดพ่นสารเคลือบลงบนผิวของชิ้นงาน นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

**ตารางที่ 3.14** อัตราส่วนของสารเคลือบต่างๆ

| วัตถุดิบ | การทดลองที่ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ไคโตซาน (กรัม) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| กรดอะซิติก (มิลลิลิตร) | 20 | 20 | 20 | 20 |
| กลีเซอรอล (กรัม) | - | 19.62 | - | 19.62 |
| ไขคาร์นัวบา (กรัม) | - | - | 4.8 | 4.8 |
| น้ำ (มิลลิตร) | 80 | 80 | 80 | 80 |
| กวนด้วยความร้อน (°C) | - | - | 85 | 85 |

### 3.5.2 ทดลองเคลือบด้วยอัลจิเนต

ทำการผสมสารละลายอัลจิเนตตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.15 และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.16 จากนั้นฉีดพ่นสารละลายอัลจิเนตลงบนผิวของชิ้นงาน ตามด้วยฉีดพ่นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

**ตารางที่ 3.15** อัตราส่วนของสารละลายอัลจิเนต

| วัตถุดิบ | การทดลองที่ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| โซเดียมอัลจิเนต (กรัม) | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.0 |
| น้ำ (มิลลิตร) | 100 | 100 | 100 | 100 |

**ตารางที่ 3.16** อัตราส่วนของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

| วัตถุดิบ | |
|---|---|
| แคลเซียมคลอไรด์ (กรัม) | 1 |
| น้ำ (มิลลิตร) | 100 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.6 วิธีการทดสอบสมบัติของวัสดุ

ก่อนทำการทดสอบสมบัติ แป้งตัวอย่างจะถูกเก็บในสภาวะเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์

### 3.6.1 ทดสอบความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง

ทดสอบความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งด้วยเครื่องทดสอบ Flexural Testing Machine โดยนำตัวอย่างที่มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM ขนาด 12.7 cm x 1.27 cm x 3.2 cm ทำการกดจนกระทั่งชิ้นงานเกิดความเสียหาย ดังรูปที่ 3.14 และการคำนวณค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)Fc}{\frac{1}{12}ab^3}$$

โดยที่ $\sigma$ คือ ความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง (Pa, $N/m^2$)

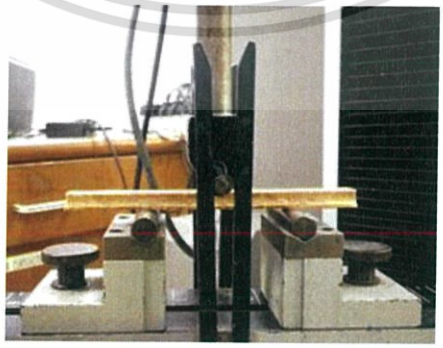
$L$ คือ ความยาวของชิ้นงาน (m)

$F$ คือ แรงสูงสุดที่กระทำกับชิ้นงาน (N)

$c$ คือ ระยะตั้งแต่จุดกึ่งกลางของหน้าตัดจนถึงขอบของชิ้นงาน (m)

$a$ คือ ความยาวของหน้าตัดชิ้นงาน (m)

$b$ คือ ความกว้างของหน้าตัดชิ้นงาน (m)

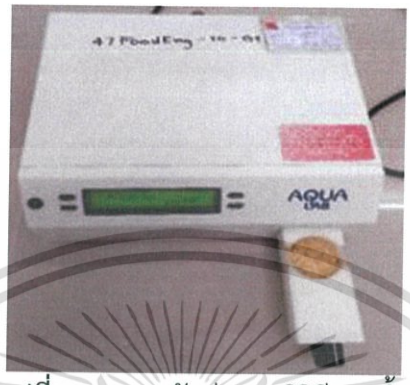


**รูปที่ 3.14** การทดสอบความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2 วัดค่าแอคติวิตีของน้ำ

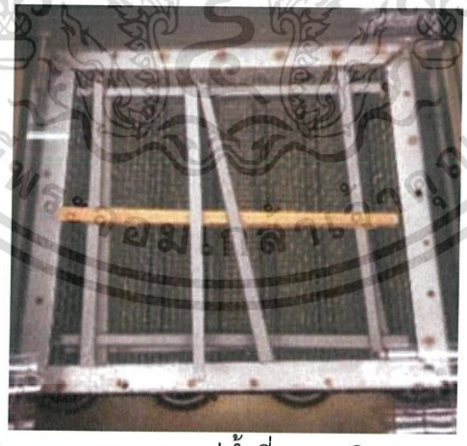
วัดค่าแอคติวิตีของน้ำ (Water activity) โดยชิ้นงานจะต้องมีค่าแอคติวิตีของน้ำน้อยกว่า 0.5 เพื่อป้องกันการเจริญของยีสต์และราบางชนิดในอาหารประเภทอาหารแห้ง (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2003) ดังรูปที่ 3.15



**รูปที่ 3.15** การวัดค่าแอคติวิตีของน้ำ

### 3.6.3 ทดสอบการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

ทดสอบการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนัก 100 กรัม ถ่วงที่จุดกึ่งกลางของตะเกียบและมีระยะระหว่างจุดรองรับชิ้นงาน 16 เซนติเมตร จากนั้นบันทึกเวลาที่ทำให้ตะเกียบโค้งงอจากแนวระดับไป 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.16



**รูปที่ 3.16** การทดสอบการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 4.1 ผลการทดลอง

### 4.1.1 ผลการทดลองส่วนผสมที่ใช้ในกระบวนการผลิต

การทดลองส่วนผสมที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบ่งเป็น 5 การทดลอง แสดงผลดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ผลการทดลองอัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตวัสดุ

| ชื่อตัวอย่าง | ลักษณะทางกายภาพ |
|---|---|
| Flour | แป้งมีความนิ่ม และยังไม่สุกดี มีรอยขาดเล็กน้อย |
| FlourA | แป้งบางส่วนมีความนิ่ม และยังไม่สุกดี |
| FlourA+5K | แป้งยังไม่สุกดี และมีรอยแตกร้าวเล็กน้อย |
| FlourA+10K | แป้งบางส่วนยังไม่สุกดี และมีรอยแตกร้าว มีความเปราะ |
| FlourA+15K | แป้งบางส่วนยังไม่สุกดี และมีรอยแตกร้าวมาก มีความเปราะ |

จากการทดลองส่วนผสมพบว่าในทุกการทดลองนั้นไม่ได้ชิ้นงานที่มีความเหมาะสมในการผลิตและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

### 4.1.2 ผลการทดลองอบแป้ง

การทดลองอบแป้งในตู้อบลมร้อน แบ่งเป็น 3 การทดลอง ชิ้นงานมีลักษณะดังรูปที่ 4.1 นำไปวัดค่าแอคติวิตีของน้ำ แสดงผลดังตารางที่ 4.2

**รูปที่ 4.1** ชิ้นงานจากการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** ผลการทดลองอบแป้ง

| การทดลองที่ | ลักษณะทางกายภาพ | ค่า Water Activity |
|---|---|---|
| 1 | แท่งแป้งพอง มีความเปราะ ไม่เกิดการโค้งงอ และภายในมีรูพรุนมาก | 0.506±0.02 |
| 2 | มีความเปราะ แท่งแป้งไม่เกิดการโค้งงอ และภายในมีรูพรุนมาก | 0.572±0.01 |
| 3 | มีความแข็ง แท่งแป้งเกิดการโค้งงอ และภายในมีรูพรุนน้อย | 0.586±0.01 |

ค่าความคลาดเคลื่อน คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

การทดลองที่ 1 และ 2 มีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่การทดลองที่ 1 แท่งแป้งจะพองมากกว่าจึงทำให้ภายในแท่งแป้งมีความพรุนมากกว่า แต่ทุกการทดลองยังไม่มีความเหมาะสมพอที่จะนำไปใช้ผลิตตะเกียบแป้ง

### 4.1.3 ผลการทดลองขึ้นรูปแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช

การทดลองขึ้นรูปแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืชแบ่งเป็น 3 การทดลอง ชิ้นงานมีลักษณะดังรูปที่ 4.2 แสดงผลดังตารางที่ 4.3

**รูปที่ 4.2** จานที่ผสมเส้นใยจากใยส้ม (ซ้าย) ผักบุ้ง (บน) และอ้อย (ขวา) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** ผลการทดลองขึ้นรูปจานจากแป้งโดยมีการผสมเส้นใยจากพืช

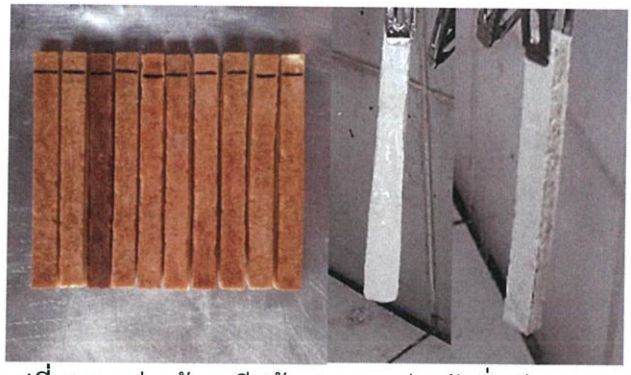
| การทดลองที่ | ลักษณะทางกายภาพ |
|---|---|
| 1 | จานที่ผสมไฟเบอร์ใยส้มมีความหนาและแข็งมาก มีรอยขาดของแป้งเป็นริ้วๆ เล็กน้อย |
| 2 | จานที่ผสมไฟเบอร์ผักบุ้งมีความบางและไม่แข็งแรงและแป้งขาดออกจากกัน |
| 3 | จานที่ผสมไฟเบอร์อ้อยมีความหนาที่น้อยกว่าจานที่ผสมไฟเบอร์ใยส้ม แต่มีความหนากว่าจานที่ผสมไฟเบอร์ผักบุ้ง จานมีความแข็งแรงปานกลาง แป้งมีการเกาะติดกับไฟเบอร์ได้ดี และแป้งไม่ขาดออกจากกัน |

จากการทดลองขึ้นรูปจานจากแป้งที่ผสมไฟเบอร์ พบว่าการทดลองที่ 1 ซึ่งมีการผสมไฟเบอร์ใยส้มลงไปในแป้งทำให้จานที่ได้มีความหนามากและแข็งมาก เนื่องจากใยส้มมีเส้นใยหรือกากใยเป็นจำนวนมากจึงช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุได้เป็นอย่างดี แต่ในขณะเดียวกันก็มีรอยขาดของแป้งเล็กน้อยในบริเวณที่แป้งและไฟเบอร์ใยส้มไม่ได้เกาะติดกัน ในส่วนของการทดลองที่ 2 ซึ่งมีการผสมไฟเบอร์จากผักบุ้งลงไปในแป้งทำให้จานที่ได้มีความบางและไม่แข็งแรง แป้งเกิดการฉีกขาดออกจากกันขณะโดนความร้อนและการกดอัดภายใต้ความดัน เนื่องจากเส้นใยจากผักบุ้งหลังจากที่ผ่านการปั่นแล้วเส้นใยสั้นลงจะมีความแข็งแรงของเส้นใยลดลงตามไปด้วย และเป็นเส้นใยที่มีความบางมาก จึงไม่ช่วยในเรื่องของการเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุ และในส่วนของการทดลองที่ 3 ซึ่งมีการผสมไฟเบอร์จากเยื่ออ้อยที่อยู่ด้านในของต้นอ้อยลงไปในแป้งทำให้จานที่ได้มีความหนาและความแข็งแรงน้อยกว่าจานที่ผสมไฟเบอร์ใยส้ม แต่แป้งมีการเกาะติดกับไฟเบอร์ได้ค่อนข้างดี และไม่มีรอยฉีกขาดของแป้ง ดังนั้นในการทดลองนี้พบว่าจานที่ผสมไฟเบอร์จากอ้อยมีลักษณะทางกายภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบจากทุกการทดลอง แต่การผสมไฟเบอร์ต้องมีการพิจารณาด้วยว่าสามารถบริโภคได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคหรือไม่ ซึ่งพบว่าไฟเบอร์จากอ้อยนั้นเมื่อไม่มีน้ำหรือความชื้นอยู่ภายในตัวไฟเบอร์จะทำให้เส้นใยมีความแข็ง เหนียว และกัดไม่ขาด รวมถึงอาจทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อภายในช่องปากของผู้บริโภคได้ จึงไม่นำการทดลองนี้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตตะเกียบ

### 4.1.4 ผลการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากแป้งสาลีเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว

การทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากแป้งสาลี แบ่งเป็น 3 การทดลอง และการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากแป้งถั่วเขียว แบ่งเป็น 3 การทดลอง ชิ้นงานมีลักษณะดังรูปที่ 4.3 นำไปวัดค่าความแข็งแกร่งต่อการโค้งงอแสดงผลดังตารางที่ 4.4, 4.5 และรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.3** แท่งแป้งสาลี (ซ้าย) และแท่งแป้งถั่วเขียว (ขวา)

**ตารางที่ 4.4** ค่าแรงกระทำสูงสุดและค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งสาลี

| อุณหภูมิ (°C) | F.max (N) | σb.max (MPa) |
|---|---|---|
| 140 | 70.92±6.09 | 21.71±1.87 |
| 160 | 38.72±5.01 | 11.85±1.54 |
| 180 | 25.43±6.74 | 7.78±2.06 |

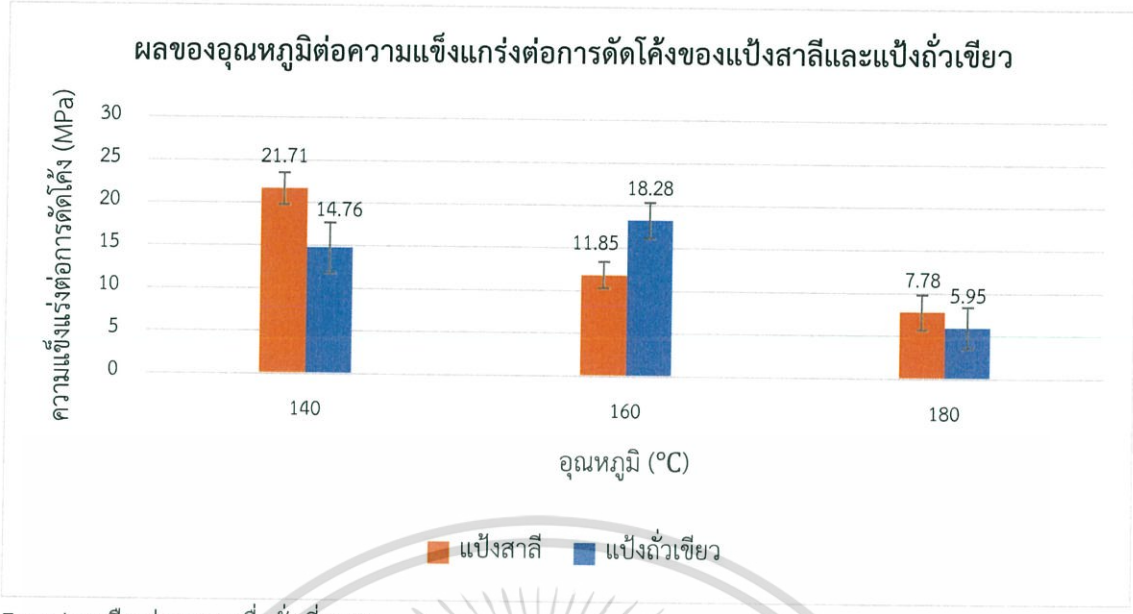
ค่าความคลาดเคลื่อน คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

**ตารางที่ 4.5** ค่าแรงกระทำสูงสุดและค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งถั่วเขียว

| อุณหภูมิ (°C) | F.max (N) | σb.max (MPa) |
|---|---|---|
| 140 | 48.21±9.58 | 14.76±2.93 |
| 160 | 59.70±6.91 | 18.28±2.11 |
| 180 | 19.44±7.94 | 5.95±2.43 |

ค่าความคลาดเคลื่อน คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




Error bar คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

**รูปที่ 4.4** ผลของอุณหภูมิต่อความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งของแป้งสาลีและแป้งถั่วเขียว

ผลการทดลองขึ้นรูปจากแป้งสาลีด้วยการอัดขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งเท่ากับ 21.71, 11.85 และ 7.78 MPa ตามลำดับ การผลิตที่อุณหภูมิต่ำจะได้แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดี ชิ้นงานมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากภายในไม่มีรูพรุนเพราะน้ำระเหยออกไปอย่างช้าๆ แป้งสุกอย่างสม่ำเสมอทั้งแท่ง แต่มีข้อเสียคือใช้เวลาในการผลิตนานถึง 17 นาที ส่วนการผลิตที่อุณหภูมิสูงจะได้แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่ดี ผิวของชิ้นงานแตก ไม่มีความแข็งแรง เนื่องจากภายในมีรูพรุนมากกว่าเพราะน้ำระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว แป้งด้านในไม่สุก แป้งลักษณะนี้จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ถึงแม้จะใช้เวลาในการผลิตเพียง 7 นาทีก็ตาม ส่วนการผลิตที่อุณหภูมิไม่ต่ำและไม่สูงเกินไป คือ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิตรงกลางของการทดลอง จะทำให้ได้แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีใกล้เคียงกับการผลิตที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีความแข็งแรงในระดับหนึ่ง ภายในแป้งสุกสม่ำเสมอทั้งแท่ง มีรูพรุนน้อยกว่าการผลิตที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการผลิตเพียง 10 นาที ดังนั้นสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดของแป้งสาลี คือ การอัดขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

ผลการทดลองขึ้นรูปจากแป้งถั่วเขียวด้วยการอัดขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งเท่ากับ 14.76, 18.28 และ 5.95 MPa ตามลำดับ การผลิตที่อุณหภูมิต่ำจะได้แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพที่ค่อนข้างดี คือ แป้งสุกอย่างสม่ำเสมอทั้งแท่ง ผิวของแป้งมีการแตกและลอกออกเล็กน้อย ส่วนการผลิตที่อุณหภูมิสูงจะได้แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่ดี ผิวแตกลึกลงไปในเนื้อชิ้นงาน ไม่มีความแข็งแรง และมีความเปราะมาก เนื่องจากภายในมีรูพรุนมากกว่าเพราะน้ำระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว แป้งด้านในไม่สุกเพราะไม่เกิดการถ่ายเท

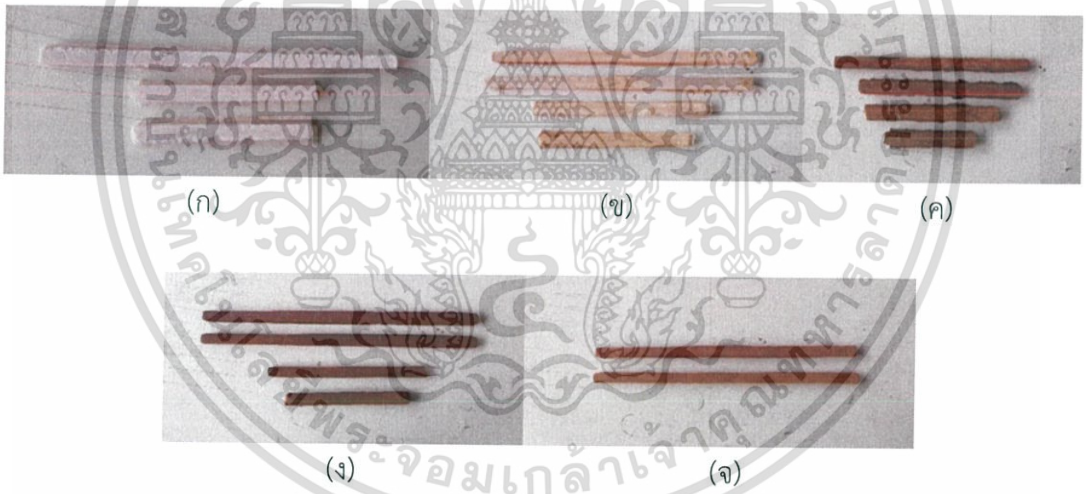
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนที่สม่ำเสมอ แป้งลักษณะนี้จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ถึงแม้จะใช้เวลาในการผลิตเพียง 7 นาทีก็ตาม ส่วนการผลิตที่อุณหภูมิไม่ต่ำและไม่สูงเกินไป คือ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิตรงกลางของการทดลอง จะทำให้ได้แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับการผลิตที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และชิ้นงานมีความแข็งแรงมากกว่าประมาณ 3.52 MPa แต่ชิ้นงานไม่ทนต่อแรงกระทำขณะที่พยายามตอกและแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ทำให้มีจำนวนชิ้นงานที่แตกหักขณะผลิตถึงร้อยละ 60 ของจำนวนที่ผลิตทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่มีสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดของแป้งถั่วเขียว

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองของแป้งสาลีและแป้งถั่วเขียว พบว่าการผลิตด้วยแป้งสาลีด้วยการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที มีความเหมาะสมและเป็นไปได้ที่สุดที่จะสามารถนำไปผลิตตะเกียบได้

### 4.1.5 ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งต่างชนิดกัน

การทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งต่างชนิดกัน แบ่งเป็น 5 การทดลอง ชิ้นงานมีลักษณะดังรูปที่ 4.5 แสดงผลดังตารางที่ 4.6




**รูปที่ 4.5** ตะเกียบที่ผลิตจาก (ก) แป้งมันสำปะหลัง (ข) แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งสาลี (ค) แป้งมันสำปะหลังผสมเวย์โปรตีน (ง) แป้งถั่วเหลือง และ (จ) แป้งสาลีผสมแป้งถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.6** ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งต่างชนิดกัน

| การทดลองที่ | ลักษณะทางกายภาพ |
|---|---|
| 1 | แป้งสุกและมีสีขาว ผิวขรุขระ มีความเปราะ แตกหักง่ายมาก |
| 2 | แป้งสุกและมีสีครีม ผิวไม่เรียบ มีความเปราะ แตกหักง่าย |
| 3 | แป้งเกิดการไหม้และมีสีดำคล้ำมาก มีความเปราะ แตกหักง่ายมาก |
| 4 | แป้งสุกและมีสีดำคล้ำมากตลอดทั้งแท่ง มีความแข็งแรงปานกลาง |
| 5 | แป้งสุกและมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบ มีความแข็งแรงปานกลาง |

ผลการทดลองที่ 1 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งมันสำปะหลัง 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแป้งสุกและมีสีขาว แต่มีผิวขรุขระเพราะขอบแป้งแตกออกไปค่อนข้างมาก ดังรูปที่ 4.5 (ก) ตัวแป้งไม่มีความแข็งแรง และมีความเปราะอย่างมาก แตกหักง่ายมาก ส่วนผลการทดลองที่ 2 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งสาลีในอัตราส่วน 50:50 พบว่าแป้งสุกและมีสีครีม แต่มีผิวที่ไม่เรียบเพราะมีรอยย่นและรอยขาดของเนื้อแป้ง ดังรูปที่ 4.5 (ข) ตัวแป้งไม่มีความแข็งแรง มีความเปราะ แตกหักง่าย ส่วนผลการทดลองที่ 3 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งมันสำปะหลังผสมเวย์โปรตีนในอัตราส่วน 80:20 พบว่าแป้งเกิดการไหม้และมีสีดำคล้ำมาก ผิวของแป้งค่อนข้างไม่เรียบ ดังรูปที่ 4.5 (ค) ตัวแป้งมีความเปราะเป็นอย่างมาก และในขณะผลิตนั้นเกิดการแตกหักหมดทุกแท่ง ส่วนผลการทดลองที่ 4 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งถั่วเหลือง 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแป้งสุกและมีสีดำคล้ำมากตลอดทั้งแท่ง ผิวแป้งมีความเรียบเป็นอย่างมาก ดังรูปที่ 4.5 (ง) ตัวแป้งมีความแข็งแรงปานกลาง มีบางแท่งที่แตกหักไปประมาณร้อยละ 30 ของจำนวนในการผลิต และผลการทดลองที่ 5 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งสาลีผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 50:50 พบว่าแป้งสุกและมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบ ดังรูปที่ 4.5 (จ) มีความแข็งแรงปานกลาง ดังนั้นสภาวะการผลิตตะเกียบที่มีความเหมาะสมและเป็นไปได้มากที่สุด คือ การผลิตตะเกียบจากแป้งถั่วเหลือง 100 เปอร์เซ็นต์ และแป้งสาลีผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 50:50

### 4.1.6 ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งสาลีต่างชนิดกัน

การทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งสาลี 3 ชนิด ได้แก่ แป้งเค้ก แป้งอเนกประสงค์ และแป้งขนมปัง แบ่งเป็น 3 การทดลอง แสดงผลดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

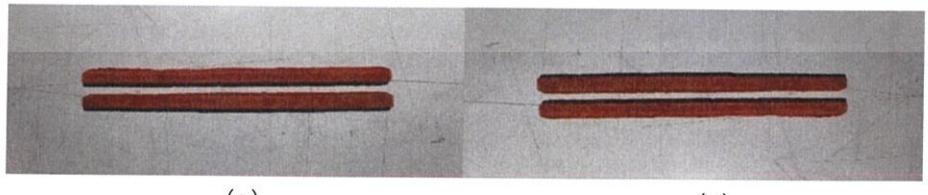
**ตารางที่ 4.7** ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งสาลีต่างชนิดกัน

| การทดลองที่ | ลักษณะทางกายภาพ |
|---|---|
| 1 | แป้งสุกและมีสีน้ำตาลอ่อนๆ ผิวเรียบ และมีความเปราะ แตกหักง่าย |
| 2 | แป้งสุกและมีสีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ มีความแข็งแรงปานกลาง ไม่แตกหัก |
| 3 | แป้งสุกและมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบ ตะเกียบแป้งเกิดการโค้งงอเป็นอย่างมาก มีความแข็งมาก ไม่แตกหักง่าย |

ผลการทดลองที่ 1 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งเค้ก พบว่าแป้งสุกและมีสีน้ำตาลอ่อนๆ มีผิวเรียบ แต่มีความเปราะและแตกหักง่าย ส่วนผลการทดลองที่ 2 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งอเนกประสงค์ พบว่า แป้งสุกและมีสีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ มีความแข็งแรงปานกลาง และไม่เกิดการแตกหัก และผลการทดลองที่ 3 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งขนมปัง พบว่าแป้งสุกและมีสีน้ำตาลเข้ม มีผิวเรียบ แต่ตะเกียบแป้งเกิดการโค้งงอเป็นอย่างมาก ตัวแป้งมีความแข็งแรงมาก ไม่เกิดการแตกหักง่าย การขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งขนมปังนั้นทำให้แป้งมีความแข็ง และมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากในแป้งสาลีทั้ง 3 ชนิดนั้นแป้งขนมปังมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือ 12-14 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยแป้งอเนกประสงค์มีปริมาณโปรตีน 10-11 เปอร์เซ็นต์ และแป้งเค้กมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด คือ 7-9 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นความแข็งแรงของตะเกียบจึงแปรผันตรงกับปริมาณโปรตีนในแป้งสาลีแต่ละชนิด ยิ่งปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นก็ยิ่งทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากโปรตีนที่อยู่ในแป้งสาลี คือ กลูเตน ที่มีส่วนช่วยในการขึ้นโครงร่างที่แข็งแรงของการอบขนมปัง

### 4.1.7 ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งถั่วเหลืองและแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเหนียว

การทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากการปรับปริมาณโปรตีนในแป้งถั่วเหลืองโดยมีการนำแป้งอื่นที่ไม่มีโปรตีนมาผสมเข้าด้วยกัน แบ่งเป็น 2 การทดลอง ชิ้นงานมีลักษณะดังรูปที่ 4.6 แสดงผลดังตารางที่ 4.8



(ก) (ข)

**รูปที่ 4.6** ตะเกียบที่ผลิตจาก (ก) แป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพด และ (ข) แป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.8** ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งข้าวโพดผสมแป้งถั่วเหลืองและแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเหนียว

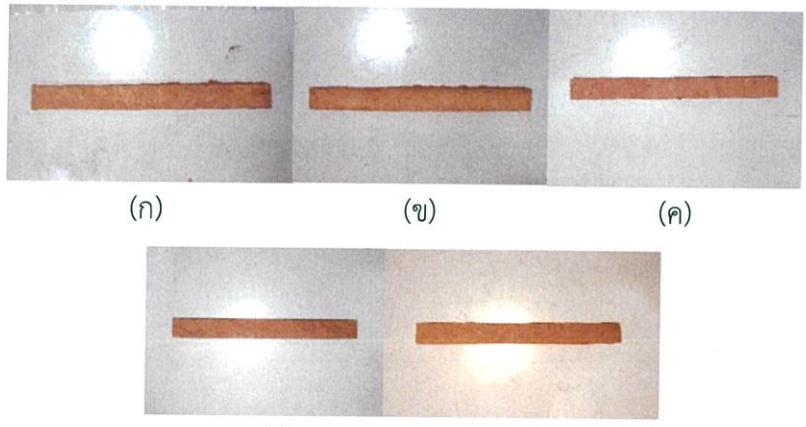
| การทดลองที่ | ลักษณะทางกายภาพ |
|---|---|
| 1 | แป้งสุกและมีสีน้ำตาล ผิวเรียบมาก มีความแข็งมากกว่า |
| 2 | แป้งสุกและมีสีน้ำตาล ผิวเรียบมาก มีความแข็งน้อยกว่า |

ผลการทดลองที่ 1 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพด พบว่าแป้งสุกและมีสีน้ำตาล มีผิวเรียบเป็นอย่างมาก มีความแข็ง และแข็งแรงมาก และผลการทดลองที่ 2 ขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวเหนียว พบว่าแป้งสุกและมีสีน้ำตาล มีผิวเรียบเป็นอย่างมาก แต่มีความแข็งแรงน้อยกว่าแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพด เนื่องจากในแป้งข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลส (Amylose) ร้อยละ 27 ซึ่งเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงที่สุดจากแป้งทุกชนิด และแป้งข้าวเหนียวประกอบด้วยอะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นส่วนใหญ่และมีอะไมโลสเพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 5-7 เท่านั้น ซึ่งแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเมื่อสุกแล้วจะเกิดรีโทกราเดชัน (Retrogradation) ได้ง่าย แป้งจะแข็งขึ้นและมีความแข็งแรง ส่วนแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงกว่าอะไมโลส เมื่อสุกแล้วจะเกิดรีโทกราเดชัน (Retrogradation) ได้ยาก แป้งจะมีความแข็งไม่มากนักและไม่แข็งแรง ดังนั้นสภาวะการผลิตที่เหมาะสมและเป็นไปได้มากที่สุดในการผลิตตะเกียบ คือ การผลิตตะเกียบจากแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพด

### 4.1.8 ผลการทดลองขึ้นรูปตะเกียบที่มีปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน

หลังจากที่เลือกการผลิตตะเกียบจากแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพดแล้ว จะนำมาทดลองขึ้นรูปแป้งโดยปรับปริมาณกลีเซอรอลที่แตกต่างกัน แบ่งเป็น 5 การทดลอง ชิ้นงานมีลักษณะดังรูปที่ 4.7 นำชิ้นงานไปวัดค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งแสดงผลดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.8 ค่าแอคติวิตีของน้ำแสดงผลดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9 ทดสอบการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แสดงผลดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

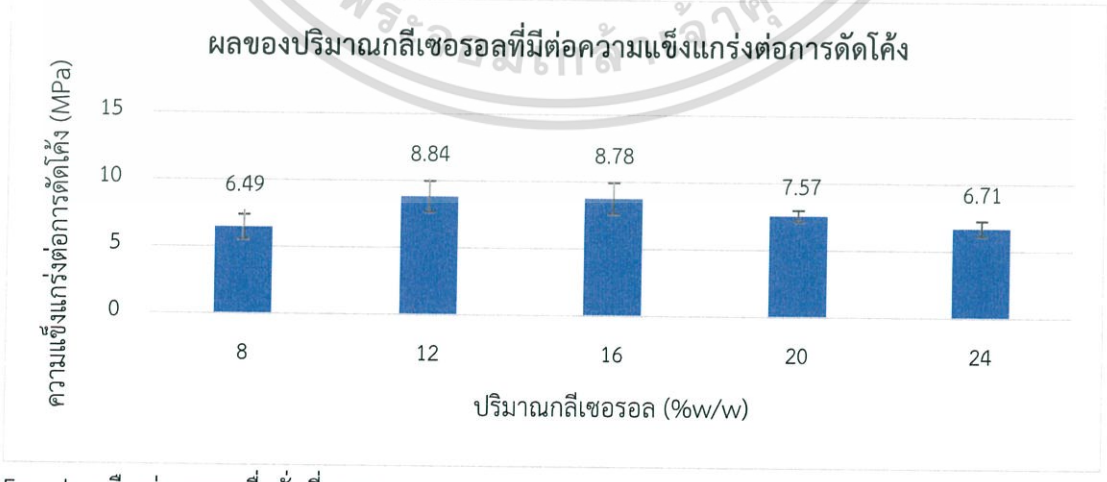



**รูปที่ 4.7** ชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอล (ก) 8%(w/w) (ข) 12%(w/w) (ค) 16%(w/w) (ง) 20%(w/w) และ (จ) 24%(w/w)

**ตารางที่ 4.9** ค่าแรงกระทำสูงสุดและค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่ปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน

| ปริมาณกลีเซอรอล (%w/w) | F.max (N) | σb.max (MPa) |
|---|---|---|
| 8 | 21.21±2.99 | 6.49±0.92 |
| 12 | 28.86±3.72 | 8.84±1.14 |
| 16 | 28.68±3.76 | 8.78±1.15 |
| 20 | 24.72±1.34 | 7.57±0.41 |
| 24 | 21.92±1.82 | 6.71±0.56 |

ค่าความคลาดเคลื่อน คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%




Error bar คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

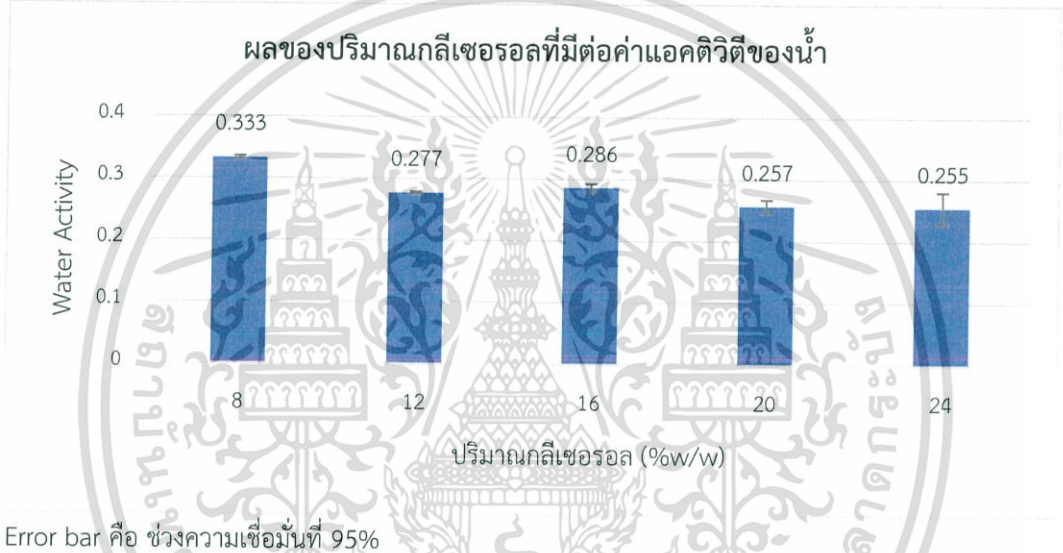
**รูปที่ 4.8** ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.10** ค่าแอคติวิตีของน้ำที่ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน

| ปริมาณกลีเซอรอล (%w/w) | Water Activity |
|---|---|
| 8 | 0.333±0.002 |
| 12 | 0.277±0.002 |
| 16 | 0.286±0.006 |
| 20 | 0.257±0.011 |
| 24 | 0.255±0.025 |

ค่าความคลาดเคลื่อน คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%




Error bar คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

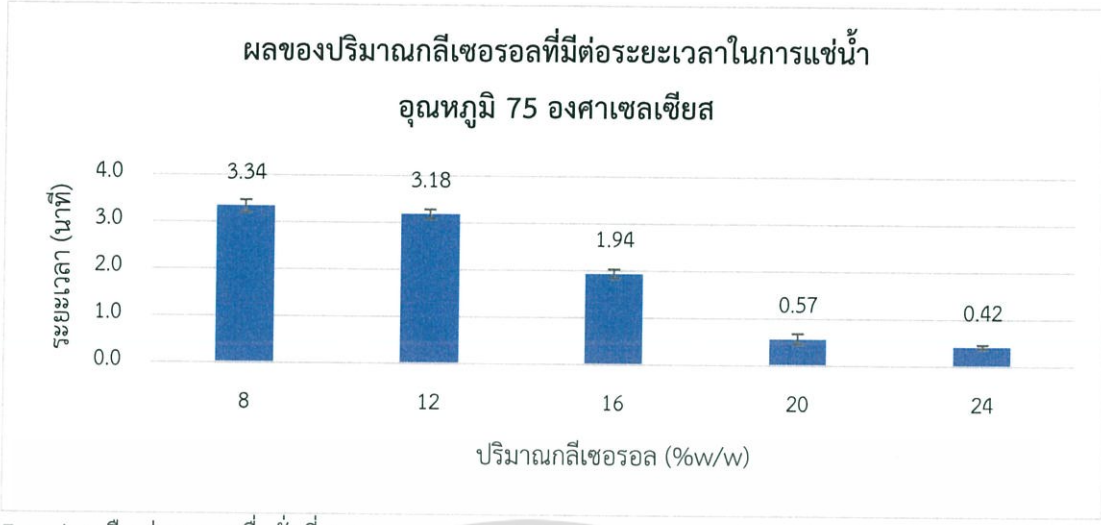
**รูปที่ 4.9** ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อค่าแอคติวิตีของน้ำ

**ตารางที่ 4.11** ระยะเวลาในการแช่น้ำอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

| ปริมาณกลีเซอรอล (%w/w) | ระยะเวลา (นาที) |
|---|---|
| 8 | 3.34±0.13 |
| 12 | 3.18±0.10 |
| 16 | 1.94±0.09 |
| 20 | 0.57±0.11 |
| 24 | 0.42±0.05 |

ค่าความคลาดเคลื่อน คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




Error bar คือ ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

**รูปที่ 4.10** ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อระยะเวลาในการแช่น้ำอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอล 8, 12, 16, 20 และ 24%(w/w) มีค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งเท่ากับ 6.49, 8.84, 8.78, 7.57 และ 6.71 MPa ตามลำดับดังตารางที่ 4.9 เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารที่ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและความเหนียวให้กับวัสดุจึงทำให้เนื้อชิ้นงานมีความนุ่มมากกว่าความแข็ง เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งลดลง และจากผลการวัดค่าแอคติวิตีของน้ำ พบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอล 8, 12, 16, 20 และ 24%(w/w) มีค่าแอคติวิตีของน้ำเท่ากับ 0.333, 0.277, 0.286, 0.257 และ 0.255 ตามลำดับดังตารางที่ 4.10 ค่าที่วัดได้ทั้งหมดมีค่าไม่เกิน 0.5 ซึ่งเป็นค่าที่จุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารเก็บความชื้น ช่วยป้องกันไม่ให้อาหารเกิดการแห้ง มีค่าแอคติวิตีของน้ำต่ำ ช่วยลดค่าแอคติวิตีของอาหาร เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้ชิ้นงานมีค่าแอคติวิตีของน้ำลดลง และจากผลการทดสอบการใช้งาน พบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอล 8, 12, 16, 20 และ 24%(w/w) มีระยะเวลาการใช้งานเท่ากับ 3.34, 3.18, 1.94, 0.57 และ 0.42 นาที ตามลำดับดังตารางที่ 4.11 เนื่องจากในโมเลกุลของกลีเซอรอลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ จึงทำให้ละลายในน้ำได้ดี มีสมบัติในการดูดจับน้ำได้ดี (Hydroscopic) เมื่อปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้ชิ้นงานมีระยะเวลาการใช้งานน้อยลง ดังนั้นสภาวะการผลิตที่เหมาะสมและเป็นไปได้มากที่สุดในการผลิตตะเกียบ คือ การผลิตตะเกียบจากแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณกลีเซอรอล 12%(w/w) ซึ่งมีค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบจากทุกการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ต้นทุน จุดคุ้มทุน และระยะคืนทุนในการผลิตตะเกียบ

### 4.2.1 ต้นทุนการผลิตตะเกียบต่อ 1 ครั้ง

สภาวะในการผลิตตะเกียบ คือ การอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยในการผลิตแต่ละครั้งจะสามารถผลิตตะเกียบได้ 10 คู่ ต้นทุนวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 4.12 จะได้ 10.94 บาท ต้นทุนเครื่องจักรแสดงดังตารางที่ 4.13 (โดยเครื่องจักรที่มีต้นทุนคงที่อยู่ที่ 200,000 บาท คือ เครื่องอัดขึ้นรูป) และต้นทุนค่าไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 4.14 จะได้ 4.83 บาท

ดังนั้นต้นทุนการผลิตตะเกียบสุทธิต่อ 10 คู่ เท่ากับ 15.77 บาท หรือ 1.577 บาท/คู่

**ตารางที่ 4.12** ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตตะเกียบต่อ 10 คู่

| วัตถุดิบ | ปริมาณที่ใช้ในการผลิต (กรัม) | ราคาวัตถุดิบต่อกิโลกรัม (บาท) | ต้นทุนในการผลิต (บาท) |
|---|---|---|---|
| เมล็ดถั่วเหลือง | 69.00 | 44.00 | 3.04 |
| แป้งข้าวโพด | 131.00 | 49.00 | 6.42 |
| กัวร์กัม | 2.00 | 62.00 | 0.12 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต | 0.50 | 129.00 | 0.06 |
| กลีเซอรอล | 24.00 | 54.00 | 1.30 |
| | รวม | | 10.94 |

**ตารางที่ 4.13** ต้นทุนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตตะเกียบ

| เครื่องจักร | อายุการใช้งาน (ปี) | ราคา (บาท) | ค่าซาก (บาท) | ค่าเสื่อมต่อปี (บาท) |
|---|---|---|---|---|
| เครื่องชั่งน้ำหนัก | 8 | 18,000 | 2,250 | 1,969 |
| เครื่องบด | 8 | 16,150 | 2,019 | 1,766 |
| ตู้อบลมร้อน | 8 | 50,000 | 6,250 | 5,469 |
| เครื่องผสม | 8 | 12,500 | 1,563 | 1,367 |
| เครื่องอัดขึ้นรูป | 8 | 200,000 | 25,000 | 21,875 |
| รวม | | 296,650 | 37,082 | 32,446 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.14** ค่าไฟฟ้าในการผลิตตะเกียบต่อ 10 คู่

| เครื่องใช้ไฟฟ้า | กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) | เวลาใช้งาน (ชั่วโมง) | พลังงานไฟฟ้า (ยูนิต) | ค่าไฟฟ้า (บาท/ยูนิต) | ค่าไฟฟ้า (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|
| เครื่องชั่งน้ำหนัก | 0.008 | 0.250 | 0.002 | 2.4226 | 0.005 |
| เครื่องบด | 1.500 | 0.250 | 0.375 | 2.4226 | 0.908 |
| ตู้อบลมร้อน | 0.400 | 1.000 | 0.400 | 2.4226 | 0.969 |
| เครื่องผสม | 0.450 | 0.250 | 0.113 | 2.4226 | 0.273 |
| เครื่องอัดขึ้นรูป | 1.500 | 0.736 | 1.104 | 2.4226 | 2.675 |
| | | รวม | | | 4.83 |

### 4.2.2 การคำนวณจุดคุ้มทุนในการผลิตตะเกียบ

การคำนวณจุดคุ้มทุนสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$P = R - TC$$

$$P = R - (FC - VC)$$

โดยที่ $P$ = กำไร (บาท)

$R$ = รายได้ (บาท/คู่)

$TC$ = ค่าใช้จ่ายทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน (บาท)

$FC$ = ต้นทุนคงที่และค่าเสื่อม (บาท)

$VC$ = ต้นทุนแปรผัน (บาท/คู่)

โดยที่จุดคุ้มทุนจะไม่ได้กำไร ดังนั้น $P$ = 0 บาท

จากข้อ 4.2.1 ทำให้ได้ต้นทุนของตะเกียบ คือ 1.577 บาท/คู่ จึงมีการกำหนดให้ขายในราคาคู่ละ 3 บาท ดังนั้นจะได้ R = 3 บาท/คู่

ข้อมูลสำหรับค่า $FC$ จะเป็นผลรวมของต้นทุนและค่าเสื่อมของเครื่องจักร ดังตารางที่ 4.14 จะได้ $FC$ = 296,650 + 32,446 = 329,096 บาท

และจากข้อ 4.2.1 ทำให้ได้ผลรวมของต้นทุนวัตถุดิบต่อคู่และต้นทุนค่าไฟฟ้าต่อคู่ ดังนั้นจะได้ $VC$ = 1.577 บาท/คู่

เมื่อได้ค่าของตัวแปรครบทุกตัวแล้ว เราสามารถกำหนดตัวแปร $Q$ ที่ต้องการคำนวณ ซึ่งก็คือจำนวนคู่ของตะเกียบที่จุดคุ้มทุน เราสามารถคำนวณจุดคุ้มทุนได้ดังนี้

$$P = R - TC$$

$$P = R - (FC - VC)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$0 = 3Q - (329{,}096 - 1.577Q)$$

$$Q = 71{,}903 \text{ คู่}$$

ดังนั้น ต้องผลิตตะเกียบทั้งหมด 71,903 คู่ จึงจะคุ้มทุน

### 4.2.3 การคำนวณระยะคืนทุนในการผลิตตะเกียบ

กำหนดให้มีการผลิตตะเกียบ 200 คู่ต่อวัน หรือ 73,000 คู่ต่อปี ต้นทุนเครื่องจักรแสดงดังตารางที่ 4.14 ต้นทุนต่อปีของวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 4.15 และต้นทุนไฟฟ้าในการผลิตต่อปีแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางที่ 4.15** ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตต่อปี

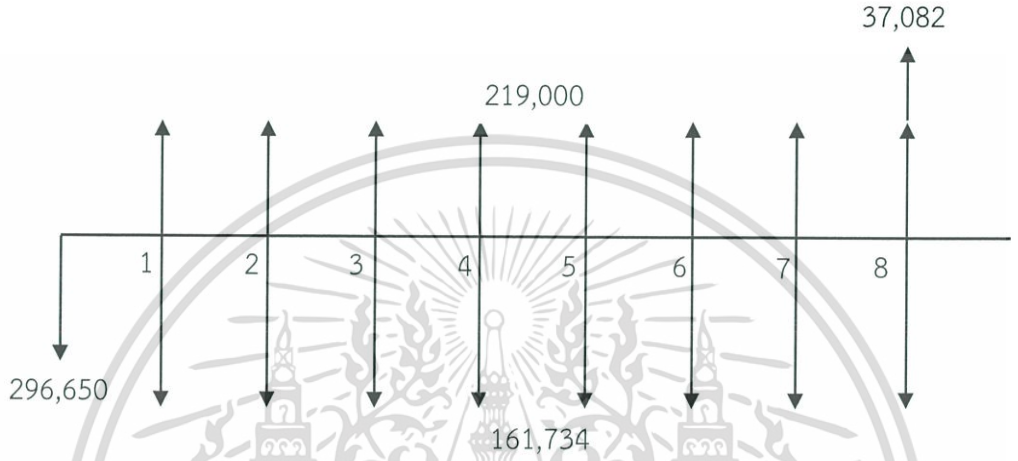
| วัตถุดิบ | ปริมาณที่ใช้ในการผลิต ต่อปี (กิโลกรัม) | ราคาวัตถุดิบ ต่อกิโลกรัม (บาท) | ต้นทุนในการผลิต ต่อปี (บาท) |
|---|---|---|---|
| เมล็ดถั่วเหลือง | 503.70 | 44.00 | 22,163 |
| แป้งข้าวโพด | 956.30 | 49.00 | 46,859 |
| กัวร์กัม | 14.60 | 62.00 | 905 |
| แมกนีเซียมสเตียเรต | 3.65 | 129.00 | 471 |
| กลีเซอรอล | 175.20 | 54.00 | 9,461 |
| | รวม | | 79,859 |

**ตารางที่ 4.16** ต้นทุนไฟฟ้าในการผลิตต่อปี

| เครื่องจักร | กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) | เวลาใช้งาน ต่อปี (ชั่วโมง) | พลังงาน ไฟฟ้า (ยูนิต) | ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท) |
|---|---|---|---|---|
| เครื่องชั่งน้ำหนัก | 0.008 | 8,760 | 70.08 | 170 |
| เครื่องบด | 1.500 | 8,760 | 13,140.00 | 31,833 |
| ตู้อบลมร้อน | 0.400 | 8,760 | 3,504.00 | 8,489 |
| เครื่องผสม | 0.450 | 8,760 | 3,942.00 | 9,550 |
| เครื่องอัดขึ้นรูป | 1.500 | 8,760 | 13,140.00 | 31,833 |
| รวม | | | | 81,875 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการผลิตตะเกียบมีค่าลงทุนเครื่องจักรเริ่มต้นที่ 296,650 บาท เครื่องจักรมีอายุการใช้งาน 8 ปี และมีค่าซากรวม 37,082 บาท ค่าดำเนินการรายปีสำหรับกระบวนการผลิต 161,734 บาท ใน 1 ปี ผลิตตะเกียบได้ 73,000 คู่ ตะเกียบที่ผลิตได้จะทำการจำหน่ายคู่ละ 3 บาท ดังนั้นจึงมีรายได้จากการขายต่อปีเท่ากับ 219,000 บาท โดยกระแสเงินสด (Cash Flow) แสดงดังรูปที่ 4.11 และกำหนดให้อัตราดอกเบี้ยเป็น 1.5% ต่อปี สามารถคำนวณหาระยะคืนทุน (Payback period) ได้ดังนี้




**รูปที่ 4.11** กระแสเงินสด (Cash Flow) ของการผลิตตะเกียบ

สามารถคำนวณหาระยะคืนทุนโดยการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน (Present Worth Analysis) จะได้สมการดังนี้

$$0 = -296{,}650 - 161{,}734(P/A, 1.5\%, n) + 219{,}000(P/A, 1.5\%, n) + 37{,}082(P/F, 1.5\%, 8)$$

ทำการสุ่ม n = 1 จะได้สมการดังนี้

$$0 = -296{,}650 - 161{,}734(0.9852) + 219{,}000(0.9852) + 37{,}082(0.8877)$$

$$0 = -207{,}313.85 \text{ บาท}$$

ทำการสุ่ม n = 2 จะได้สมการดังนี้

$$0 = -296{,}650 - 161{,}734(1.9559) + 219{,}000(1.9559) + 37{,}082(0.8877)$$

$$0 = -151{,}725.74 \text{ บาท}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสุ่ม n = 3 จะได้สมการดังนี้

$$0 = -296{,}650 - 161{,}734(2.9122) + 219{,}000(2.9122) + 37{,}082(0.8877)$$

$$0 = -96{,}962.26 \text{ บาท}$$

ทำการสุ่ม n = 4 จะได้สมการดังนี้

$$0 = -296{,}650 - 161{,}734(3.8544) + 219{,}000(3.8544) + 37{,}082(0.8877)$$

$$0 = -43{,}006.24 \text{ บาท}$$

ทำการสุ่ม n = 5 จะได้สมการดังนี้

$$0 = -296{,}650 - 161{,}734(4.7826) + 219{,}000(4.7826) + 37{,}082(0.8877)$$

$$0 = 10{,}148.06 \text{ บาท}$$

เมื่อได้ค่าลบและค่าบวกที่ใกล้เคียงกับ 0 แล้วจึงนำมาประมาณค่าของระยะคืนทุนในช่วงค่าลบและค่าบวกนี้ จะได้ดังตารางที่ 4.17

**ตารางที่ 4.17** ข้อมูลที่ใช้ Interpolate เพื่อคำนวณหาระยะคืนทุนซึ่งอยู่ระหว่างปีที่ 3 และ 4

| ระยะคืนทุน (ปี) | ค่าเงินปัจจุบัน (บาท) |
|---|---|
| 4 | – 43,006.24 |
| n | 0 |
| 5 | 10,148.06 |

จะได้

$$\frac{5 - n}{10{,}148.06 - 0} = \frac{5 - 4}{10{,}148.06 - (-43{,}006.24)}$$

$$n = 4.81 \text{ ปี}$$

ดังนั้น การผลิตตะเกียบจะมีระยะคืนทุนที่ 4.81 ปี หรือเท่ากับ 4 ปี 9 เดือน 22 วัน

ระยะคืนทุนและค่าเงินปัจจุบันสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.18** จำนวนปีที่มีผลต่อค่าเงินปัจจุบัน

| จำนวนปี (ปี) | ค่าเงินปัจจุบัน (บาท) |
|---|---|
| 1 | – 207,313.85 |
| 2 | – 151,725.74 |
| 3 | – 96,962.26 |
| 4 | – 43,006.24 |
| 5 | 10,148.06 |

จากตารางที่ 4.18 พบว่า 3 ปีแรก มีค่าเงินปัจจุบันเป็นลบ แสดงว่ายังไม่มีการคืนทุนในช่วง 3 ปีแรก แต่ปีที่ 4 เริ่มมีค่าเงินปัจจุบันเป็นบวก แสดงว่ามีการคืนทุนอยู่ในช่วงปีที่ 3 และ 4 ซึ่งจากการคำนวณจะได้ระยะคืนทุนที่ 4.81 ปี หรือเท่ากับ 4 ปี 9 เดือน 22 วัน

**รูปที่ 4.12** ผลของจำนวนปีและค่าเงินปัจจุบันที่มีต่อระยะคืนทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

การผลิตตะเกียบรับประทานได้ เพื่อศึกษาผลของชนิดแป้งและปริมาณกลีเซอรอลต่อค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง ค่าแอคติวิตีของน้ำและระยะเวลาการใช้งาน โดยพิจารณาทำการทดลองขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งที่มีเพียงคาร์โบไฮเดรตเท่านั้นผสมกับแป้งถั่วเหลืองเพื่อใช้ประโยชน์จากโปรตีนในถั่วเหลืองเสริมความแข็งแรงให้กับตะเกียบ โดยมีปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมเป็น 12%(w/w) ซึ่งเป็นสภาวะการทดลองที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากที่สุด วางแผนการทดลอง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิการอัดขึ้นรูปพร้อมเวลาที่ใช้ 3 ระดับ คือ 140 องศาเซลเซียส 17 นาที, 160 องศาเซลเซียส 10 นาที และ 180 องศาเซลเซียส 7 นาที และชนิดของแป้ง 2 รูปแบบ คือ แป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพดและแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวเหนียว และปริมาณกลีเซอรอล 5 ระดับ คือ 8, 12, 16, 20 และ 24%(w/w)

สำหรับปัจจัยที่หนึ่ง อุณหภูมิการอัดขึ้นรูป 3 ระดับ พบว่า

- ความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งเมื่อทดลองโดยใช้แป้งสาลี เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นจะมีค่าลดลง โดยการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 นาที มีค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุด คือ 21.71 เมกะปาสคาล แต่เนื่องจากใช้เวลาในการผลิตมากเกินไป ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งสามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้เช่นกัน

สำหรับปัจจัยที่สอง ชนิดของแป้ง 2 รูปแบบ พบว่า

- การขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพด ส่งผลให้ตะเกียบมีสีน้ำตาล มีผิวเรียบเป็นอย่างมาก มีรูพรุนในตะเกียบน้อย และมีความแข็งแรงมากกว่าตะเกียบจากแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวเหนียว
- การขึ้นรูปตะเกียบจากแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวเหนียว ส่งผลให้ตะเกียบมีสีน้ำตาล มีผิวเรียบเป็นอย่างมาก แต่มีความแข็งแรงน้อยกว่าตะเกียบจากแป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปัจจัยที่สาม ปริมาณกลีเซอรอล 5 ระดับ พบว่า

- ความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้ง มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณกลีเซอรอลค่าหนึ่งจากนั้นความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งจะลดลงตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มมากขึ้น โดยที่ปริมาณกลีเซอรอล 12%(w/w) มีค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุด คือ 8.84 เมกะปาสคาล
- ค่าแอคติวิตีของน้ำ เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นจะมีค่าลดลง โดยที่ปริมาณกลีเซอรอล 24%(w/w) มีค่าแอคติวิตีของน้ำต่ำสุด คือ 0.255 แต่ที่ปริมาณกลีเซอรอล 12%(w/w) มีค่า 0.277 ซึ่งไม่เกิน 0.5 ที่เชื้อราทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้และมีอายุการเก็บรักษาได้นานเช่นกัน
- ระยะเวลาการแช่น้ำอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นจะมีค่าลดลง โดยที่ปริมาณกลีเซอรอล 8%(w/w) มีระยะเวลาการแช่น้ำสูงสุด คือ 3.34 นาที แต่ที่ปริมาณกลีเซอรอล 12%(w/w) มีระยะเวลาการแช่น้ำ 3.18 นาที ซึ่งมีความใกล้เคียงเช่นกัน

ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพและค่าคุณภาพดังกล่าวพบว่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตตะเกียบรับประทานได้ คือ การอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยชนิดของแป้ง คือ แป้งถั่วเหลืองผสมแป้งข้าวโพด และปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมคือ 12%(w/w) เนื่องจากค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งเป็นคุณภาพที่สำคัญที่สามารถบ่งบอกได้ว่าตะเกียบมีความแข็งแรงมากพอที่สามารถนำไปใช้งานได้ กระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตตะเกียบรับประทานได้แสดงดังตารางที่ 5.1

**ตารางที่ 5.1** สรุปกระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตตะเกียบรับประทานได้

| วัตถุดิบ | ปริมาณ (กรัม) | กระบวนการ | สภาวะการผลิต |
|---|---|---|---|
| แป้งถั่วเหลือง | 34.5 | การผสม 4 นาที | การอัดขึ้นรูปที่ T 160°C , 10 นาที |
| แป้งข้าวโพด | 65.5 | | |
| น้ำ | 40 | | |
| แมกนีเซียมสเตียเรต | 0.25 | | |
| กัวร์กัม | 1 | | |
| กลีเซอรอล | 12 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในห้องผลิตควรควบคุมไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกิน 25 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในแป้งโดว์ ถ้าน้ำในแป้งระเหยออกไปมากจะทำให้เนื้อแป้งแตกและไม่จับกันเป็นก้อน เพื่อเป็นการลดความผิดพลาดของการทดลอง เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องมีผลต่อลักษณะของเนื้อแป้งและการจับตัวกันของแป้ง

5.2.2 แป้งที่ผสมแล้วแต่ยังไม่ได้ใช้ในการผลิตหรือแป้งที่รอการอัดใส่แม่พิมพ์ ควรเก็บในภาชนะที่มีฝาปิด หรือถุงที่มีการปิดปากถุง เพื่อป้องกันไม่ให้แป้งสัมผัสกับอากาศ ซึ่งช่วยป้องกันการปนเปื้อนที่อาจมากับอากาศและป้องกันไม่ให้เนื้อแป้งแห้งและแตกร่วน

5.2.3 ควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังการผลิตไว้ในตู้รักษาความชื้นที่มีซิลิกาเจลซึ่งเป็นสารดูดความชื้น เพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นกลับเข้าไปที่อาจส่งผลให้การวัดค่าแอคติวิตี้ของน้ำมีการคลาดเคลื่อนได้

5.2.4 ภาชนะทุกชนิดที่สัมผัสอาหารควรใช้วัสดุที่เป็นสเตนเลส เนื่องจากเมื่อมีการสัมผัสน้ำและอากาศจะไม่ทำให้เกิดสนิมที่อาจปนเปื้อนไปกับอาหารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 381) ,2559, วัตถุเจือปนอาหาร (ฉบับที่ 4): 130.

กรุงเทพเคมี, 2560,แคลเซียม คลอไรด์/Calcium Chloride, (2562), แหล่งที่มา : https://กรุงเทพเคมี.com/แคลเซียม-คลอไรด์--Calcium-Chloride.

กล้าณรงค์ ศรีรอด, และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546, "มันสำปะหลัง",มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2544, เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 6. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จันทร์เฉิดฉาย สังเกตุกิจ,ประทีป ตุ้มทอง, ณิชาภา สารธิยากุล และคณะ. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังและเค้กปราศจากกลูเตนและไขมันทรานส์จากแป้งข้าวหอมมะลิโดยกระบวนการมีส่วนร่วมของ ชุมชน: กรณีศึกษา กลุ่มพัฒนาบทบาท สตรีตำบลเทพรักษาอำเภอสังขะ จังหวัดสุรินทร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์.

ดรุณี วัฒนศิริเวช และคณะ, 2546, การศึกษาและปรับปรุงคุณสมบัติของเนื้อดินเซรามิกจากแหล่งดินเวียง กาหลง, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

ธนกร ศริสมุทร, 2558, คุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ทางการแพทย์ของเวย์โปรตีน, ไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ 10(2), หน้า 75-78.

นิตยา กอบกัยกิจ, 2532, การผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยนาฏ อินทนกูล, 2547 ,การทำกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธยา รัตนาปนนท์. (2553). Acetic acid/กรดอแอซีติก. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0581/acetic-acid-กรดแอซิติก.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธยา รัตนาปนนท์. (2553). Latent heat of vaporization / ความร้อนแฝงของการระเหย. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0390/latent-heat-of-vaporization-ความร้อนแฝงของการระเหย

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธยา รัตนาปนนท์. (2553). Specific heat / ความร้อนจำเพาะ. แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0967/specific-heat-ความร้อนจำเพาะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุ่งทิวา วันสุขศรี, 2542, การทำแป้งข้าวเจ้าบริสุทธิ์โดยใช้วิธีทางเคมีและการทำชีรัปแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รังสินี โสธรวิทย์, 2560, ฟิล์มและสารเคลือบพอลิเมอร์ชีวภาพสำหรับระบบอาหาร,กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า184.

ลัดดาวัลย์ เนียมฟัก, 2542, การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งมันเทศ,หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 26.

ศันสนีย์ อุตมอ่าง, 2555, รายงายวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยการพัฒนากะหรี่ปั๊บไส้มะขามหวานเพื่อเป็นของฝากจากจังหวัดเพชรบูรณ์, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

ศิรินภา นิวาสประกฤติ และคณะ, 2559, "ผลของปริมาณเกาลินต่อสมบัติของโฟมชีวภาพที่มีแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวเหนียวเป็นองค์ประกอบ" ภาควิชาเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559.

สุธิดา คงทอง ,2552, ไคติน-ไคโตซาน,วิชาการอุตสาหกรรมการศึกษา, 3(1),หน้า 3-4.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. (2528). เทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์กึ่งอาหาร. สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ.,2532, ชีวิทยาของผึ้ง กรุงเทพมหานคร, บริษัทต้นอ้อ จำกัด หน้า 184.

สหขวัญ โรจนคุณธรรม. ,2556, การจำแนกลักษณะเฉพาะและคุณประโยชน์เชิงสุขภาพของเส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมะม่วงและฝรั่ง, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สายฝน อ่อนทอง. ,2557, การศึกษามูลค่าเพิ่มของกลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรอนงค์ นัยวิกุล,2538,เคมีทางธัญญาหาร,เอกสารคำสอนวิชา เคมีทางธัญญาหาร (วทอ. 511), ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 148.

ฤดี นิยมรัตน์. ,2555, อัตราส่วนของเนื้อดินปั้นและเคลือบที่เหมาะสมต่อการผลิตของที่ระลึกเพื่อส่งเสริมคุณค่าการท่องเที่ยวของจังหวัดระนอง, มหาวิทยาลัยรัชภัฏสวนสุนันทา.

ASTM international. astm D790-03 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic and Electrical INsulating Materaials.

Chen, P.H.,Lin J.H., Yang. M.H. ,1994, Relationships between the chain flexivilities of chitosan molecules and the physical properties of theri casted films. Carbohydr.Polym. 24, page 41-46.

Corn Refiners Association. ,2006, Physicochemical Properties of Starch, Corn Starch, 1701 Pensylvania Avenue (pp.7-13).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D.D.Christianson,F.L.Baker,AR.Loffredo,E.B.Bagley. ,1982, Correlation of Microscopic Structure of Corn Starch Granules with Rheological Properties of Cooked Pastes.Utah State University.

Eliasson, A. and M. Gudmundsson, 1996, Starch: Physicochemical and functional aspects, In A,Eliasson (Ed.), Carbohydrate in Food. Marcel Dekker, Inc., New York. page 431-503.

Elleuch, M., Bedigian, D.,Roiseux, O., Besbes, S., and Blecker, C. ,2011, Dietary fiber and fiber-rich by products of food processing:Characterisation, technological functionality and commercial application:A riview,Food chemistry,page 411-421.

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 Agric. 77 : 289-311.

Engineering ToolBox, (2003). Convective Heat Transfer. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d_430.html [Accessed Day Mo. Year].

Engineers edge. (2019). Convective Heat Transfer Convection Equation and Calculator. แหล่งที่มา : https://www.engineersedge.com/heat_transfer/convection.htm

Food and Agriculture Organization of the United Nations. ,2007, โครงสร้างเมล็ดถั่วเหลือง. http://www.fao.org/inpho/content/compend/img/ch19/ph02580.htm.

Food sci. (2556). บทความวิศวกรรมอาหาร : ความร้อนจำเพาะ. แหล่งที่มา : http://science-food.blogspot.com/2013/09/blog-post_2094.html

Garcia, M.C., Torre, M.L., Marina, M.L. and Laborda, F. ,1997, Composition and Characterization of Soybean and Related Product. Critical Review in Food Science and Nutrition. 4:361–391.

Hoover,R.,Li,Y.X.,Hynes,G.,&Senanayake,N.,1997, Physicochemical characterization of mung bean starch. Food Hydrocolloids, 11(4),401-408.

iEnergyGuru. (2015). คุณสมบัติที่ควรรู้สำหรับเทอร์โมไดนามิกส์ (Properties for thermodtnamics). แหล่งที่มา : https://ienergyguru.com/2015/09/thermodynamics/

Jaroslav Kastyl, Vaclav Pouchly, Martin Trunec, 2018,Co-extrusion of zirconia core-shell rods with controlled porosity in the core, สืบค้น 28 พฤษภาคม 2562, http://www.researchgate.net/figure/SEM-micrograph-of-tapioca-starch-particles_fig1_328137292

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

John A. Dean. ,1999, Lange's Handbook of Chemistry, McGraw-Hill, Inc. 10th ed. pp 1669-1674.

Kadam, S.S., Deshpande, S.S., Jambhale, N.D. ,1989, Seed structure and composition. CRC Handbook of World Food Legumes : Nutritional Chemistry. Processing Technology and Utilization. CRC Press. Florida. p.39.

Liu,H.,Ramsden,L.and Corke,H, 1999, Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch.Starch/Starke 51(7):249-252.

McLeod G and Ames J. Soy flavor and its improvements. (1998). Critical Reviews in Food Science and Nutrition. CRV Press,Inc. Boca Ration, FLorida.Volume 27 Issue 4,1998.

Pérez-Gago, M. B., & Rhim, J.-W. (2014). Edible Coating and Film Materials. Innovations in Food Packaging, 328.

Pornpun Laovachirasuwan, Jomjai Peerapattana, Voranuch Srijesdaruk, Padungkwan Chitropas & Makoto Otsuka, 2010, The physicochemical properties of a spray dried glutinous rice starch biopolymer, Khon Kaen University.

Rhim, J.W. ,2004, Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films,LWT- Food Science and Technology,37:page323-330.

R.C. Hibbeler. 2014, Bending. Singapore. Pearson Education South Asia Pte Ltd. (pp.289 - 291).

Science and engineering encyclopedia. (2019). Glycerol. แหล่งที่มา : http://www.diracdelta.co.uk/science/source/g/l/glycerol/source.html#.XPUv9hYzbIV

Shigley, J.S., Mischke, C.R., and Budynas, R.G.2008. Mechanical Engineering Design, 8th ed., New York: McGraw-Hill.

Sinha, V.R.,Singla A.K.,Wadhawan, S.,Kaushik< R. Kumria R.& Vansal, K. (2004). Chitosan microspheres as a potential carrier for drugs, Int J. of Pharm,274,page 1-33.

Van Beynum,G.M.A. and J.N. Roels. 1985, Starch Conversation Technology Marcel Dekker INC.New York and Basel.

Whistler,R.L. and BeMiller,J.N. 1993, Industrial Gums:Polysaccharides and Their Derivatives,3rd ed,.Academic Press,San Diego,California.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ก**

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัดคุณภาพตะเกียบ

- ก.1 ค่าแอคติวิตีของแป้งที่อบในตู้อบลมร้อน
- ก.2 ค่าแรงกระทำสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งสาลี
- ก.3 ค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งสาลี
- ก.4 ค่าแรงกระทำสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งถั่วเขียว
- ก.5 ค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งถั่วเขียว
- ก.6 ค่าแรงกระทำสูงสุดที่ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน
- ก.7 ค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน
- ก.8 ค่าแอคติวิตีของน้ำที่ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน
- ก.9 ระยะเวลาในการแช่น้ำอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.1** ค่าแอคติวิตีของแป้งที่อบในตู้อบลมร้อน

| ตัวอย่างที่ | ไม่นึ่ง/ไม่มีฝาปิด | นึ่ง/ไม่มีฝาปิด | นึ่ง/มีฝาปิด |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.521 | 0.565 | 0.599 |
| 2 | 0.493 | 0.571 | 0.585 |
| 3 | 0.505 | 0.581 | 0.574 |
| AVG | 0.506 | 0.572 | 0.586 |

**ตารางที่ ก.2** ค่าแรงกระทำสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งสาลี

| ตัวอย่างที่ | F.max (N) | | |
|---|---|---|---|
| | 140 °C | 160 °C | 180 °C |
| 1 | 72.29 | 33.22 | 32.20 |
| 2 | 58.70 | 39.53 | 11.15 |
| 3 | 77.57 | 35.04 | 33.34 |
| 4 | 67.83 | 31.05 | 28.96 |
| 5 | 50.52 | 26.34 | 29.66 |
| 6 | 77.37 | 36.70 | 10.03 |
| 7 | 76.56 | 41.76 | 29.03 |
| 8 | 83.95 | 53.78 | 39.78 |
| 9 | 73.36 | 42.00 | 30.24 |
| 10 | 71.05 | 47.77 | 9.89 |
| AVG | 70.92 | 38.72 | 25.43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.3** ค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งสาลี

| ตัวอย่างที่ | σb.max (MPa) | | |
|---|---|---|---|
| | 140 °C | 160 °C | 180 °C |
| 1 | 22.13 | 10.17 | 9.86 |
| 2 | 17.97 | 12.10 | 3.41 |
| 3 | 23.75 | 10.73 | 10.21 |
| 4 | 20.76 | 9.51 | 8.87 |
| 5 | 15.47 | 8.06 | 9.08 |
| 6 | 23.68 | 11.23 | 3.07 |
| 7 | 23.44 | 12.78 | 8.89 |
| 8 | 25.70 | 16.46 | 12.18 |
| 9 | 22.46 | 12.86 | 9.26 |
| 10 | 21.75 | 14.62 | 3.03 |
| AVG | 21.71 | 11.85 | 7.78 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.4** ค่าแรงกระทำสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งถั่วเขียว

| ตัวอย่างที่ | F.max (N) | | |
|---|---|---|---|
| | 140 °C | 160 °C | 180 °C |
| 1 | 66.40 | 76.70 | 18.11 |
| 2 | 54.75 | 76.23 | 14.95 |
| 3 | 44.18 | 54.87 | 45.00 |
| 4 | 51.01 | 47.45 | 19.46 |
| 5 | 29.50 | 70.45 | 12.81 |
| 6 | 39.23 | 47.69 | 7.83 |
| 7 | 27.05 | 55.78 | 28.46 |
| 8 | 77.16 | 58.23 | 33.61 |
| 9 | 42.55 | 60.21 | 2.89 |
| 10 | 50.30 | 49.42 | 11.23 |
| AVG | 48.21 | 59.70 | 19.44 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.5** ค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปต่างกันของแป้งถั่วเขียว

| ตัวอย่างที่ | σb.max (MPa) | | |
|---|---|---|---|
| | 140 °C | 160 °C | 180 °C |
| 1 | 20.33 | 23.48 | 5.54 |
| 2 | 16.76 | 23.34 | 4.58 |
| 3 | 13.52 | 16.80 | 13.78 |
| 4 | 15.62 | 14.53 | 5.96 |
| 5 | 9.03 | 21.57 | 3.92 |
| 6 | 12.01 | 14.60 | 2.40 |
| 7 | 8.28 | 17.08 | 8.71 |
| 8 | 23.62 | 17.83 | 10.29 |
| 9 | 13.03 | 18.43 | 0.88 |
| 10 | 15.40 | 15.13 | 3.44 |
| AVG | 14.76 | 18.28 | 5.95 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.6** ค่าแรงกระทำสูงสุดที่ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน

| ตัวอย่างที่ | F.max (N) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 8%(w/w) | 12%(w/w) | 16%(w/w) | 20%(w/w) | 24%(w/w) |
| 1 | 12.34 | 31.46 | 21.42 | 20.85 | 23.95 |
| 2 | 19.59 | 27.56 | 22.60 | 27.48 | 23.18 |
| 3 | 27.68 | 37.28 | 31.33 | 27.18 | 16.78 |
| 4 | 22.13 | 28.07 | 30.19 | 24.80 | 20.06 |
| 5 | 16.18 | 23.30 | 24.43 | 24.01 | 22.15 |
| 6 | 20.77 | 23.81 | 26.98 | 21.85 | 22.39 |
| 7 | 28.66 | 31.93 | 39.04 | 24.21 | 24.61 |
| 8 | 23.15 | 25.04 | 37.80 | 24.48 | 19.55 |
| 9 | 20.33 | 21.13 | 28.89 | 25.69 | 19.76 |
| 10 | 21.31 | 39.03 | 24.14 | 26.60 | 26.79 |
| AVG | 21.21 | 28.86 | 28.68 | 24.72 | 21.92 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.7** ค่าความแข็งแกร่งต่อการดัดโค้งสูงสุดที่ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน

| ตัวอย่างที่ | σb.max (MPa) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 8%(w/w) | 12%(w/w) | 16%(w/w) | 20%(w/w) | 24%(w/w) |
| 1 | 3.78 | 9.63 | 6.56 | 6.38 | 7.33 |
| 2 | 6.00 | 8.44 | 6.92 | 8.41 | 7.10 |
| 3 | 8.47 | 11.41 | 9.59 | 8.32 | 5.14 |
| 4 | 6.77 | 8.59 | 9.24 | 7.59 | 6.14 |
| 5 | 4.95 | 7.13 | 7.48 | 7.35 | 6.78 |
| 6 | 6.36 | 7.29 | 8.26 | 6.69 | 6.85 |
| 7 | 8.77 | 9.77 | 11.95 | 7.41 | 7.53 |
| 8 | 7.09 | 7.67 | 11.57 | 7.49 | 5.98 |
| 9 | 6.22 | 6.47 | 8.84 | 7.86 | 6.05 |
| 10 | 6.52 | 11.95 | 7.39 | 8.14 | 8.20 |
| AVG | 6.49 | 8.84 | 8.78 | 7.57 | 6.71 |

**ตารางที่ ก.8** ค่าแอคติวิตีของน้ำที่ปริมาณกลีเซอรอลแตกต่างกัน

| ตัวอย่างที่ | 8%(w/w) | 12%(w/w) | 16%(w/w) | 20%(w/w) | 24%(w/w) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.328 | 0.273 | 0.277 | 0.275 | 0.217 |
| 2 | 0.335 | 0.279 | 0.296 | 0.241 | 0.298 |
| 3 | 0.335 | 0.279 | 0.285 | 0.256 | 0.251 |
| AVG | 0.333 | 0.277 | 0.286 | 0.257 | 0.255 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.9** ระยะเวลาในการแช่น้ำอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

| ตัวอย่างที่ | ระยะเวลา (นาที) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 8%(w/w) | 12%(w/w) | 16%(w/w) | 20%(w/w) | 24%(w/w) |
| 1 | 3.23 | 3.10 | 1.87 | 0.48 | 0.38 |
| 2 | 3.32 | 3.17 | 2.03 | 0.67 | 0.46 |
| 3 | 3.46 | 3.28 | 1.92 | 0.56 | 0.42 |
| AVG | 3.34 | 3.18 | 1.94 | 0.57 | 0.42 |

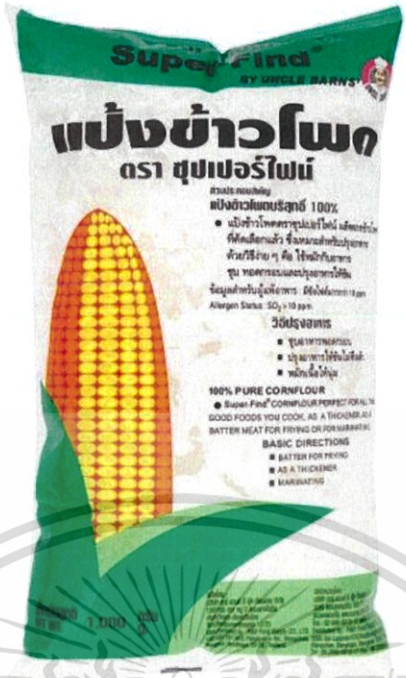
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข**

- ข.1 แป้งข้าวโพด
- ข.2 เมล็ดถั่วเหลืองชีก
- ข.3 กลีเซอรอล เกรดอาหาร
- ข.4 กัวร์กัม เกรดอาหาร
- ข.5 แมกนีเซียมสเตียเรต เกรดอาหาร
- ข.6 แม่พิมพ์รูปตะเกียบ
- ข.7 ปั้มลม
- ข.8 เครื่องผสมแป้ง
- ข.9 เครื่องบด (Hammer mill)
- ข.10 ตู้อบลมร้อน
- ข.11 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- ข.12 เครื่องอัดขึ้นรูป
- ข.13 ผลิตภัณฑ์ตะเกียบรับประทานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ข.1** แป้งข้าวโพด 1,000 กรัม ตราซุปเปอร์ไฟน์
จากบริษัท อาร์แอนด์บีฟู้ดซัพพลาย จำกัด

**รูปที่ ข.2** เมล็ดถั่วเหลืองซีก 500 กรัม ตราไร่ทิพย์
จากบริษัท ไร่ธัญญะ จำกัด

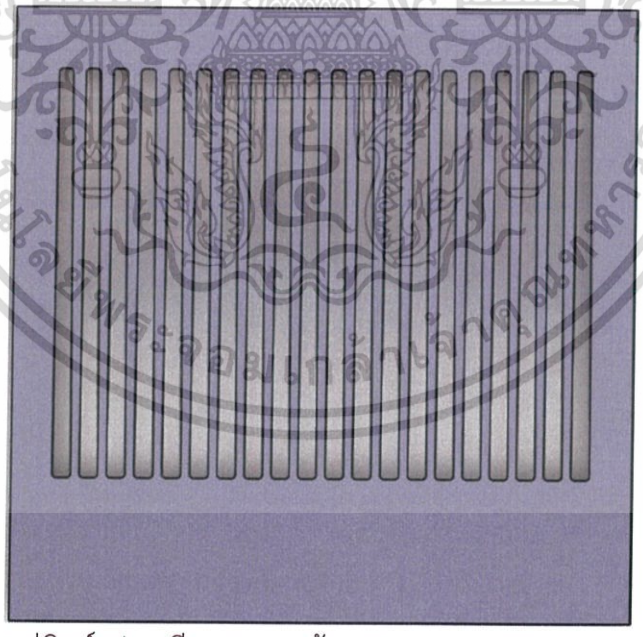
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ข.3** กลีเซอรอล เกรดอาหาร 1,000 กรัม
จากบริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด

**รูปที่ ข.4** กัวร์กัม เกรดอาหาร 1,000 กรัม
จากบริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ข.5** แมกนีเซียมสเตียเรต เกรดอาหาร 1,000 กรัม
จากบริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด



**รูปที่ ข.6** แม่พิมพ์รูปตะเกียบ ขนาดกว้าง 30 cm ยาว 30 cm หนา 0.6 cm
โดยแต่ละช่องจะมีความยาว 20 cm ความกว้างด้านปลายใหญ่ 0.9 cm
ความกว้างด้านปลายเล็ก 0.7 cm และความหนา 0.6 cm
จาก บริษัท โทอิ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ข.7** ปั๊มลม ขนาด 92 ลิตร พร้อมมอเตอร์ 1 HP, ใช้ไฟ 220 v
ตรา PUMA จากบริษัท อัตรโซลูชั่น จำกัด

**รูปที่ ข.8** เครื่องผสมแป้ง ความจุ 10 ลิตร และกำลังไฟ 450 w
ตรา Kitchenware

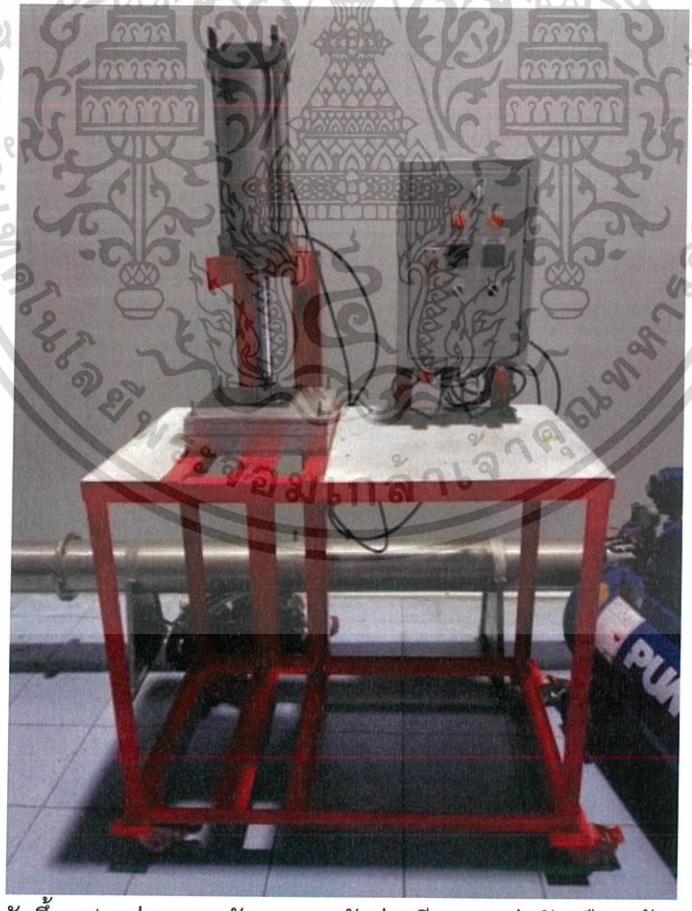
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ข.9** เครื่องบด (Hammer mill) ขนาดมอเตอร์ 2 HP กำลังไฟ 1,500 W
ตรา CROMPTON จากบริษัท จีซี อีควิปเมนท์ จำกัด

**รูปที่ ข.10** ตู้อบลมร้อน กำลังไฟ 400 W และใช้ไฟ 220 v
ตรา MEMMERT จากบริษัท เบคไทย กรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ข.11** เครื่องชั่งน้ำหนัก สามารถชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 3,200 กรัม
ค่าละเอียดที่สุดที่สามารถแสดงผลได้อยู่ที่ 0.01 กรัม
ตรา SHIMADZU จากบริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด



**รูปที่ ข.12** เครื่องอัดขึ้นรูป แผ่นเพลทตัวบนและตัวล่างมีขนาดเท่ากัน คือ กว้าง 30 cm ยาว 30 cm
มีแผ่นให้ความร้อน ขนาดกว้าง 30 cm ยาว 30 cm จำนวน 2 แผ่น มีกำลังไฟแผ่นละ 1500 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ข.13** ผลิตภัณฑ์ตะเกียบรับประทานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ค**

- ค.1 กระแสเงินสดไม่ต่อเนื่อง : ปัจจัยดอกเบี้ยทบต้น ที่อัตราดอกเบี้ย 1.5%




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค.1** กระแสเงินสดไม่ต่อเนื่อง : ปัจจัยดอกเบี้ยทบต้น ที่อัตราดอกเบี้ย 1.5%

| 1.5% | TABLE 6 Discrete Cash Flow: Compound Interest Factors | | | | | | | 1.5% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Single Payments | | Uniform Series Payments | | | | Arithmetic Gradients | |
| n | Compound Amount F/P | Present Worth P/F | Sinking Fund A/F | Compound Amount F/A | Capital Recovery A/P | Present Worth P/A | Gradient Present Worth P/G | Gradient Uniform Series A/G |
| 1 | 1.0150 | 0.9852 | 1.00000 | 1.0000 | 1.01500 | 0.9852 | | |
| 2 | 1.0302 | 0.9707 | 0.49628 | 2.0150 | 0.51128 | 1.9559 | 0.9707 | 0.4963 |
| 3 | 1.0457 | 0.9563 | 0.32838 | 3.0452 | 0.34338 | 2.9122 | 2.8833 | 0.9901 |
| 4 | 1.0614 | 0.9422 | 0.24444 | 4.0909 | 0.25944 | 3.8544 | 5.7098 | 1.4814 |
| 5 | 1.0773 | 0.9283 | 0.19409 | 5.1523 | 0.20909 | 4.7826 | 9.4229 | 1.9702 |
| 6 | 1.0934 | 0.9145 | 0.16053 | 6.2296 | 0.17553 | 5.6972 | 13.9956 | 2.4566 |
| 7 | 1.1098 | 0.9010 | 0.13656 | 7.3230 | 0.15156 | 6.5982 | 19.4018 | 2.9405 |
| 8 | 1.1265 | 0.8877 | 0.11858 | 8.4328 | 0.13358 | 7.4859 | 25.6157 | 3.4219 |
| 9 | 1.1434 | 0.8746 | 0.10461 | 9.5593 | 0.11961 | 8.3605 | 32.6125 | 3.9008 |
| 10 | 1.1605 | 0.8617 | 0.09343 | 10.7027 | 0.10843 | 9.2222 | 40.3675 | 4.3772 |
| 11 | 1.1779 | 0.8489 | 0.08429 | 11.8633 | 0.09929 | 10.0711 | 48.8568 | 4.8512 |
| 12 | 1.1956 | 0.8364 | 0.07668 | 13.0412 | 0.09168 | 10.9075 | 58.0571 | 5.3227 |
| 13 | 1.2136 | 0.8240 | 0.07024 | 14.2368 | 0.08524 | 11.7315 | 67.9454 | 5.7917 |
| 14 | 1.2318 | 0.8118 | 0.06472 | 15.4504 | 0.07972 | 12.5434 | 78.4994 | 6.2582 |
| 15 | 1.2502 | 0.7999 | 0.05994 | 16.6821 | 0.07494 | 13.3432 | 89.6974 | 6.7223 |
| 16 | 1.2690 | 0.7880 | 0.05577 | 17.9324 | 0.07077 | 14.1313 | 101.5178 | 7.1839 |
| 17 | 1.2880 | 0.7764 | 0.05208 | 19.2014 | 0.06708 | 14.9076 | 113.9400 | 7.6431 |
| 18 | 1.3073 | 0.7649 | 0.04881 | 20.4894 | 0.06381 | 15.6726 | 126.9435 | 8.0997 |
| 19 | 1.3270 | 0.7536 | 0.04588 | 21.7967 | 0.06088 | 16.4262 | 140.5084 | 8.5539 |
| 20 | 1.3469 | 0.7425 | 0.04325 | 23.1237 | 0.05825 | 17.1686 | 154.6154 | 9.0057 |
| 21 | 1.3671 | 0.7315 | 0.04087 | 24.4705 | 0.05587 | 17.9001 | 169.2453 | 9.4550 |
| 22 | 1.3876 | 0.7207 | 0.03870 | 25.8376 | 0.05370 | 18.6208 | 184.3798 | 9.9018 |
| 23 | 1.4084 | 0.7100 | 0.03673 | 27.2251 | 0.05173 | 19.3309 | 200.0006 | 10.3462 |
| 24 | 1.4295 | 0.6995 | 0.03492 | 28.6335 | 0.04992 | 20.0304 | 216.0901 | 10.7881 |
| 25 | 1.4509 | 0.6892 | 0.03326 | 30.0630 | 0.04826 | 20.7196 | 232.6310 | 11.2276 |
| 26 | 1.4727 | 0.6790 | 0.03173 | 31.5140 | 0.04673 | 21.3986 | 249.6065 | 11.6646 |
| 27 | 1.4948 | 0.6690 | 0.03032 | 32.9867 | 0.04532 | 22.0676 | 267.0002 | 12.0992 |
| 28 | 1.5172 | 0.6591 | 0.02900 | 34.4815 | 0.04400 | 22.7267 | 284.7958 | 12.5313 |
| 29 | 1.5400 | 0.6494 | 0.02778 | 35.9987 | 0.04278 | 23.3761 | 302.9779 | 12.9610 |
| 30 | 1.5631 | 0.6398 | 0.02664 | 37.5387 | 0.04164 | 24.0158 | 321.5310 | 13.3883 |
| 36 | 1.7091 | 0.5851 | 0.02115 | 47.2760 | 0.03615 | 27.6607 | 439.8303 | 15.9009 |
| 40 | 1.8140 | 0.5513 | 0.01843 | 54.2679 | 0.03343 | 29.9158 | 524.3568 | 17.5277 |
| 48 | 2.0435 | 0.4894 | 0.01437 | 69.5652 | 0.02937 | 34.0426 | 703.5462 | 20.6667 |
| 50 | 2.1052 | 0.4750 | 0.01357 | 73.6828 | 0.02857 | 34.9997 | 749.9636 | 21.4277 |
| 52 | 2.1689 | 0.4611 | 0.01283 | 77.9249 | 0.02783 | 35.9287 | 796.8774 | 22.1794 |
| 55 | 2.2679 | 0.4409 | 0.01183 | 84.5296 | 0.02683 | 37.2715 | 868.0285 | 23.2894 |
| 60 | 2.4432 | 0.4093 | 0.01039 | 96.2147 | 0.02539 | 39.3803 | 988.1674 | 25.0930 |
| 72 | 2.9212 | 0.3423 | 0.00781 | 128.0772 | 0.02281 | 43.8447 | 1279.79 | 29.1893 |
| 75 | 3.0546 | 0.3274 | 0.00730 | 136.9728 | 0.02230 | 44.8416 | 1352.56 | 30.1631 |
| 84 | 3.4926 | 0.2863 | 0.00602 | 166.1726 | 0.02102 | 47.5786 | 1568.51 | 32.9668 |
| 90 | 3.8189 | 0.2619 | 0.00532 | 187.9299 | 0.02032 | 49.2099 | 1709.54 | 34.7399 |
| 96 | 4.1758 | 0.2395 | 0.00472 | 211.7202 | 0.01972 | 50.7017 | 1847.47 | 36.4381 |
| 100 | 4.4320 | 0.2256 | 0.00437 | 228.8030 | 0.01937 | 51.6247 | 1937.45 | 37.5295 |
| 108 | 4.9927 | 0.2003 | 0.00376 | 266.1778 | 0.01876 | 53.3137 | 2112.13 | 39.6171 |
| 120 | 5.9693 | 0.1675 | 0.00302 | 331.2882 | 0.01802 | 55.4985 | 2359.71 | 42.5185 |
| 132 | 7.1370 | 0.1401 | 0.00244 | 409.1354 | 0.01744 | 57.3257 | 2588.71 | 45.1579 |
| 144 | 8.5332 | 0.1172 | 0.00199 | 502.2109 | 0.01699 | 58.8540 | 2798.58 | 47.5512 |
| 240 | 35.6328 | 0.0281 | 0.00043 | 2308.85 | 0.01543 | 64.7957 | 3870.69 | 59.7368 |
| 360 | 212.7038 | 0.0047 | 0.00007 | 14114 | 0.01507 | 66.3532 | 4310.72 | 64.9662 |
| 480 | 1269.70 | 0.0008 | 0.00001 | 84580 | 0.01501 | 66.6142 | 4415.74 | 66.2883 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้