ผลของเวลาการผสมก่อนอบ อายุการเก็บไข่ขาว และการลดปริมาณน้ำตาลทรายและน้ำตาลไอซิ่งต่อคุณภาพเปลือกมาการอง

EFFECTS OF MIXING TIME BEFORE BAKING, EGG WHITE AGING, REDUCTION OF SUGAR AND ICING SUGAR CONTENT ON THE QUALITY OF MACARON SHELLS

ณฐิณี จีระลักษณกุล

NATHINEE CHIRALAKSANAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดและการบริการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-054-341

ผลของเวลาการผสมก่อนอบ อายุการเก็บไข่ขาว และการลดปริมาณน้ำตาลทรายและน้ำตาลไอซิ่งต่อคุณภาพเปลือกมาการอง

EFFECTS OF MIXING TIME BEFORE BAKING, EGG WHITE AGING, REDUCTION OF SUGAR AND ICING SUGAR CONTENT ON THE QUALITY OF MACARON SHELLS

ณฐิณี จีระลักษณกุล

NATHINEE CHIRALAKSANAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดและการบริการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2019-AI-M-054-341

EFFECTS OF MIXING TIME BEFORE BAKING, EGG WHITE AGING, REDUCTION OF SUGAR AND ICING SUGAR CONTENT ON THE QUALITY OF MACARON SHELLS

NATHINEE CHIRALAKSANAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCES

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-AI-M-054-341

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของเวลาการผสมก่อนอบ อายุการเก็บไข่ขาว และการลดปริมาณน้ำตาลทราย และน้ำตาลไอซิ่งต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง

EFFECTS OF MIXING TIME BEFORE BAKING, EGG WHITE AGING, REDUCTION OF ICING SUGAR AND SUGAR CONTENT ON THE QUALITY OF MACARON

ชื่อนักศึกษา นางสาวณฐิณี จีระลักษณกุล

รหัสประจำตัว 58608031

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีการจัดและบริการอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล	
รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม	
ผศ.ดร.ยุพร พืชกมุทร	
รศ.ดร.ระติพร มูลสาร	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 18 กรกฎาคม 2562 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง AI 503 อาคารปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 19 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2562

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง FACULTY OF AGRO-INDUSTRY KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของเวลาการผสมก่อนอบ อายุการเก็บไข่ขาว และการลดปริมาณน้ำตาลทรายและน้ำตาลไอซิ่งต่อคุณภาพเปลือกมาการอง

นักศึกษา นางสาวณฐิณี จีระลักษณกุล

รหัสนักศึกษา 58608031

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีการจัดและการบริการอาหาร

พ.ศ. 2562

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล

บทคัดย่อ

มาการองเป็นขนมที่มีส่วนผสมหลัก คือ ไข่ขาว ถั่วอัลมอนด์ป่น และน้ำตาล มีลักษณะเป็นฝากลมประกบกับไส้ เช่น ครีม แยม กานาส เป็นต้น ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเวลาการผสมก่อนอบ (1, 2, 3 และ 4 นาที) และอายุการเก็บไข่ขาว (0-28 วัน) ที่เหมาะสมเพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำมาการอง พบว่า การเพิ่มเวลาในการผสมแบทเทอร์มาการองมีผล ทำให้ความแน่นเนื้อและการเกาะตัวของแบทเทอร์ลดลง เส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกมาการองมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น($p\leq0.05$) โดยเวลาในการผสม 2 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด และจากการศึกษาผลของอายุการเก็บไข่ขาว มีการศึกษาความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม พบว่า ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมไข่ขาวจะลดลงเมื่ออายุการเก็บไข่ขาวเพิ่มขึ้น($p\leq0.05$) โดยที่อายุการเก็บ 7 วัน เป็นอายุการเก็บที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากความสามารถในการเกิดโฟมที่มีอายุการเก็บไข่ 7 วันเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 583.33 จากนั้นศึกษาการปรับปรุงอัตราส่วนของน้ำตาลต่อคุณภาพของเปลือกมาการองโดยใช้การนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology: RSM) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design, CCD) ซึ่งมีตัวแปรต้นคือปริมาณน้ำตาลซูโครส (120-150 กรัม) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (120-150 กรัม) พบว่า สามารถลดปริมาณน้ำตาลซูโครสจาก 150 เป็น 130.46 กรัม และน้ำตาลไอซิ่งจาก 150 เป็น 125.66 กรัม โดยค่าการทดสอบจริงที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าจากสมการทำนาย และจากการทดสอบทางประสามสัมผัสของมาการองสูตรลดน้ำตาลกับมาการองสูตรไม่ลดน้ำตาล พบว่า การลดปริมาณน้ำตาลทำให้การยอมรับด้านความสูงของขาเปลือกลงลดและความเหนียวนุ่มของการเคี้ยวเพิ่มขึ้น($p\leq0.05$) และจากการศึกษาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการองสูตรลดน้ำตาลเมื่อใส่ไส้(ครีมวานิลลา และครีมราสเบอรี่) พบ ไม่มีความแตกต่างกันของคะแนนความชอบของมาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลและมาการองสูตรลดน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และสามารถจัดลำดับความชอบของมาการองพบว่า มาการองสูตรลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่ มาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลไส้ครีมวานิลลา มาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่ และมาการองสูตรลดน้ำตาลไส้ครีมวานิลลา ตามลำดับ

Thesis	Effects of mixing time before baking, egg white aging, reduction of sugar and icing sugar content on the quality of macaron shells
Student	Miss Nathinee Chiralaksanakul
Student ID.	58608031
Program	Food Catering Technology
Degree	Master of Science
Year	2019
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Naphatrapi Luangsakul

Abstract

Macaron consists of 3 main ingredients which are egg white, ground almond and sugar. They are round shells and filled with filling such as jam, buttercream or ganache. The purposes of this research are to study the mixing time of the macaron batter before baking (1, 2, 3 and 4 minutes) and the effects of aging egg white on the quality of macaron shell (0-28 days) then find out the most suitable conditions for making standard macaron shell. The result indicated that 2 minutes of mixing time is the best. The more minutes that were increased, the firmness and cohesiveness of macaron batter decreased. Also the diameter of macaron shells after baking expanded ($p \leq 0.05$). For the egg white aging period, the foam ability and stability were measured in each period. It came out that the foam ability and stability reduced when they were kept longer than 7 days ($p \leq 0.05$). Therefore 7 days of egg white aging gave the highest foam ability of 583.33% from the initial volume of 30ml. After the suitable condition was selected, this research continuously studied about the reduction of sugar amount from the standard recipe by using Response Surface Methodology: RSM with Central Composite Design, CCD). The study exhibited that the sugar amount could be reduced from 150 g to 130.46 and icing sugar from 150 to 125.66 g and the result of validation experiment was similar to the predicted test value. Finally, the reduced sugar macarons were made and filled vanilla buttercream (VB) and raspberry buttercream (RB) to compare with standard recipe. Then they were tested with professional panels. The result indicated that the standard and the reduction sugar recipe were not significantly different ($p>0.05$) and the most liked macaron was reduction sugar recipe with raspberry(RB) then standard recipe with vanilla (VB), standard recipe with raspberry (RB) and the reduction sugar with vanilla (VB) respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสรพี เหลืองสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ ช่วยเหลือ และแก้ไขสิ่งที่บกพร่อง อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์ นับตั้งแต่แนวคิดตลอดจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพร พืชกมุทร และรองศาสตราจารย์ ดร. ระติพร มูลสาร ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาชี้แนะ จนวิทยานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์จากวิทยาลัยดุสิตธานี ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสาขาเบเกอรี่ เสียสละเวลาในการทดสอบผลิตภัณฑ์ และวิทยาลัยดุสิตธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และสนับสนุน วิทยานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ด้านอื่นๆ และให้กำลังใจเสมอจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และ บุคคลากรทุกคน ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณฐิณี จีระลักษณกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญภาพ..... VIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 มาการอง..... 3

2.2 เมอแรงก์..... 4

2.3 น้ำตาล..... 6

2.4 ไข่ขาว..... 10

2.5 โฟมไข่ขาว..... 13

2.6 อัลมอนด์..... 15

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 17

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง..... 20

3.1 วัตถุดิบ..... 20

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 20

3.3 วิธีการทดลอง..... 21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 30
4.1ผลการศึกษาผลของเวลาการผสมส่วนผสมของแบทเทอร์มาการองต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง 30
4.2 ผลการศึกษาอายุการเก็บไข่ขาวที่มีต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง 36
4.3ผลการศึกษาสัดส่วนของปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง 45
4.4 ผลการศึกษาการยอมรับของมาการองสูตรลดน้ำตาล 55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 58
บรรณานุกรม 60
ภาคผนวก 62
ก. การวิเคราะห์กายภาพ 63
ข. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 70
ค. วิธีการทำเปลือกมาการองและไส้มาการอง 73
ง. ภาพเปลือกมาการองและขั้นตอนการจัดการทดสอบทางประสามสัมผัส 76
ประวัติผู้วิจัย 78

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของน้ำเชื่อมในอุณหภูมิระดับต่างๆ..... 8
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดอัลมอนด์ (100 กรัม)..... 16
ตารางที่ 3.1 สูตรพื้นฐานของมาการอง..... 21
ตารางที่ 3.2 การวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design: CCD)..... 27
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสส่วนผสมแบทเทอร์มาการองที่เวลาการผสมที่แตกต่างกัน..... 31
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของขาเปลือกมาการองที่เวลาการผสมที่แตกต่างกัน..... 32
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการองที่เวลาการผสมที่แตกต่างกัน..... 33
ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินระดับความพอดีของระยะเวลาการผสมของแบทเทอร์มาการองที่เหมาะสมต่อการทำเปลือกมาการอง (3 points Just About Right : JAR) (n=10) 34
ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินการยอมรับ (Hedonic 9 points scale) ของเปลือกมาการองที่เวลาการผสมแตกต่างกัน (n=10)..... 35
ตารางที่ 4.6 ผลของอายุการเก็บไข่ขาว (0-28 วัน) ต่อร้อยละความสามารถในการเกิดโฟม..... 37
ตารางที่ 4.7 ผลอายุการเก็บไข่ขาวที่ระยะเวลาการเก็บ (0-28 วัน) ต่อความคงตัวของโฟมไข่ขาว (ร้อยละ) ในช่วงเวลา 180 นาที..... 39
ตารางที่ 4.8 ผลของระยะเวลาการเก็บไข่ขาวที่แตกต่างกันต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของส่วนผสมของแบทเทอร์มาการอง..... 40
ตารางที่ 4.9 ผลของระยะเวลาการเก็บไข่ขาวที่แตกต่างกันต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง..... 42
ตารางที่ 4.10 ผลการประเมินระดับความพอดี (3 points Just About Right : JAR) ของเปลือกมาการองที่อายุการเก็บไข่ขาวแตกต่างกัน (n=10)..... 43
ตารางที่ 4.11 ผลการประเมินระดับการยอมรับ (Hedonic 9 points scale) ของเปลือกมาการองที่ของเปลือกมาการองที่อายุการเก็บไข่ขาวแตกต่างกัน (n=10)..... 44
ตารางที่ 4.12 การออกแบบสิ่งทดลองและส่วนผสมกลาง และค่าการตอบสนองปัจจัยต่างๆ..... 46
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการตอบสนองของปัจจัยต่างๆ..... 47

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.14 สมการทำนายจากความสัมพันธ์แต่ละปัจจัย..... 48
ตารางที่ 4.15 การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกมาการอง..... 52
ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบค่าทำนายและค่าจริงของการวิเคราะห์แต่ละปัจจัย (Desirability = 0.72))..... 53
ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองสูตรมาตรฐาน (A) และเปลือกมาการองสูตรปรับปรุง (B) (n=10)..... 54
ตารางที่ 4.18 ผลการประเมินระดับการยอมรับ (Hedonic 9 points) ของเปลือกมาการองสูตรมาตรฐานและสูตรลดน้ำตาลพร้อมไส้ (n=10)..... 56
ตารางที่ 4.19 การจัดลำดับความชอบของมาการองสูตรมาตรฐานและสูตรลดน้ำตาลพร้อมไส้ (n=10)..... 57

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ลักษณะมาการองที่ดี..... 4
ภาพที่ 2.2โครงสร้างโฟม……..... 13
ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และค่า PI……..... 14
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทำมาการอง..... 21
ภาพที่ 3.2 การวัดขามาเปลือกมาการอง..... 23
ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงรูปตัดขวางและด้านข้างของเปลือกมาการางที่เวลาผสม 1 นาที (ก) 2 นาที (ข) 3 นาที (ค) และ 4 นาที (ง)..... 32
ภาพที่ 4.2 ผลของระยะเวลาการเก็บไข่ขาวที่แตกต่างกัน (0-28 วัน) ต่อลักษณะภายในของเปลือกมาการอง..... 42
ภาพที่ 4.3 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อความแน่นเนื้อของแบทเทอร์..... 49
ภาพที่ 4.4 ความแผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อการเกาะตัวของแบทเทอร์)..... 49
ภาพที่ 4.5 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อความเปราะของเปลือกมาการอง..... 50
ภาพที่ 4.6 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อความแข็งของเปลือกมาการอง..... 51
ภาพที่ 4.7 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อการเกาะตัวของเปลือกมาการอง..... 51

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพภาคผนวกที่ ก1 การวิเคราะห์ร้อยละการเกิดโฟมและการวิเคราะห์ความคงตัวของโฟม..... 64
ภาพภาคผนวกที่ ก2กราฟแสดงการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแบทเทอร์มาการอง..... 65
ภาพภาคผนวกที่ ก3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบทเทอร์มาการอง..... 65
ภาพภาคผนวกที่ ก4 กราฟแสดงการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มาร์ซิแพน..... 66
ภาพภาคผนวกที่ ก5 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง..... 67
ภาพภาคผนวกที่ ก6 การวัดขนาดมาการอง และความสูงของเปลือกมาการอง..... 67
ภาพภาคผนวกที่ ค1 ขั้นตอนการทำเปลือกมาการอง..... 73
ภาพภาคพนวกที่ ค2 ภาพเปลือกมาการองสูตรลดน้ำตาล..... 75
ภาพภาคพนวกที่ ง1 นาทีภาพภาพเปลือกมาการองสูตรลดน้ำตาล..... 76
ภาพภาคผนวกที่ ง2 ภาพเปลือกมาการองที่ทำจากอายุการเก็บไข่ขาว 0 -28 วัน
(เรียงจากซ้ายมาขวา) 77
ภาพภาคผนวกที่ ง3 การจัดชุดทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการอง..... 77
ภาพภาคผนวกที่ ง4 การจัดชุดทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการอง
สูตรไม่ลดน้ำตาลและสูตรลดน้ำตาลพร้อมไส้ครีมวานิลลาและครีมราสเบอรี่77

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

มาการองเป็นขนมที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายทั่วโลก และมีประวัติศาสตร์มายาวนานตั้งแต่ศตวรรษที่ 16 มีหลายตำราเล่าถึงประวัติต้นกำเนิดของมาการองที่หลากหลายแตกต่างกัน ประวัติบางแหล่งกล่าวว่า มาการองเป็นเสบียงที่นักแสวงบุญพกไประหว่างการเดินทาง เนื่องจากเป็นขนมที่มีสารอาหารจากโปรตีนในไข่ขาวและถั่วอัลมอนด์ ในอดีตลักษณะของมาการองตามแคว้นต่างในประเทศฝรั่งเศสจะมีลักษณะคล้ายกับคุกกี้ฝาเดียว แบบนูน กลม ผิวหน้าแตก โรยด้วยน้ำตาลไอซิ่ง ซึ่งอาจจะพบได้ตามแคว้นต่างของฝรั่งเศสในปัจจุบัน ซึ่งต่างจากมาการองที่ขายอยู่ในปารีสในปัจจุบันที่มีลักษณะประกบกันเป็นคู่ มีสีสัน และรสชาติต่างๆ (Cindy, 2007)

นอกจากมาการองจะเป็นนิยมกันทั่วโลกแล้ว มาการองเป็นขนมอีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมในประเทศไทย ในช่วงหลายปีผ่านมาร้านมาการองที่มีชื่อระดับโลกเข้ามาเปิดสาขาในประเทศไทยหลายร้าน เช่น Pierre Hermé LaDuree หรือ Harrods ทำให้คนไทยรู้จักมาการองมากขึ้น และมีค่านิยมในการบริโภคมาการองว่าเป็นขนมที่ชิ้นเล็กแต่มีราคาแพง คนที่บริโภคเป็นคนที่มีรสนิยมในการรับประทานขนมชนิดนี้ ประกอบกับรูปร่างหน้าตาของมาการองเป็นที่ดึงดูดในการถ่ายภาพลงในโซเชี่ยล ดังนั้น มาการองจึงถือว่าเป็นขนมที่สามารถสร้างรายได้ในอาชีพในสายเบเกอรี่ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งมีการคลาสเรียนมาการองเกิดขึ้นมากมาย เพราะผู้บริโภคที่ชื่นชอบก็จะอยากลองทำเองที่บ้านอีกด้วย ทั้งนี้ทั้งนั้นไม่ใช่ทุกคนที่เรียนแล้วสามารถทำได้เพราะมากาองเป็นขนมที่มีความละเอียดอ่อนและพิถีพิถันในการทำ และวัตถุดิบที่ใช้ทำก็มีราคาแพงอีกด้วย ส่วนผสมหลักของมาการอง ได้แก่ ไข่ขาว ถั่วอัลมอนด์ป่น น้ำตาลทราย และน้ำตาลไอซิ่ง ซึ่งส่วนผสมหลักมีจำนวนไม่มาก แต่มาการองเป็นขนมที่มีขั้นตอนในการทำที่ละเอียดและพิถีพิถัน รวมทั้งต้องใช้เทคนิคต่างๆในการทำมาการองเพื่อให้มีคุณภาพดี เทคนิคต่างๆเหล่านี้ จะเป็นเทคนิคที่เชฟเบเกอรี่ได้เก็บเป็นสูตรลับของตนเอง เพื่อทำให้มาการองของตนเองมีความโดดเด่นกว่าที่อื่น เทคนิคดังกล่าวเช่น อายุของไข่ที่ใช้ในการทำมาการองควรเป็นไข่เก่า เพื่อที่จะให้มาการองมีคุณภาพดี อุณหภูมิของไข่ที่ใช้ในการทำมาการองควรมีอุณหภูมิห้อง ผงอัลมอนด์ที่ใช้ควรเป็นผง

ที่ป่นละเอียด และต้องอบไล่ความชื้นก่อนใช้ ความหนืดของส่วนผสมก่อนอบจะต้องข้นกำลังดี เป็นต้น นอกจากนี้แล้วมาการองยังคงเป็นขนมที่มีความหวานมาก ในสูตรการทำต้องใช้ทั้งน้ำตาลทรายและน้ำตาลไอซิ่ง ดังนั้นจากเทคนิคที่เชฟได้กล่าวขานข้างต้นเพื่อให้มาการองมีคุณภาพดี จึงน่าจะมีการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์เพื่อดูปัจจัยของวัตถุดิบและวิธีการผสมต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง ซึ่งมีงานวิจัยที่ศึกษาทางด้านนี้ Annie (2012) ได้รายงานว่าปริมาณน้ำตาลมีผลต่อคุณภาพเปลือกมาการอง และ Arwa (2003) กล่าวว่าการเติมน้ำตาลลงในไข่ข่าวเป็นการเพิ่มความคงตัวให้กับโฟมมากขึ้น แต่อาจจะกระทบกับปริมาณการเกิดโฟมเพราะทำให้เกิดโฟมได้น้อยลง

จากงานวิจัยดังกล่าว ยังไม่มีการทดลองที่ศึกษาระยะเวลาการผสมส่วนผสมมาการองก่อนอบ อายุการเก็บรักษาไข่ขาว สัดส่วนของปริมาณน้ำตาลซูโครสและไอซิ่งที่มีผลต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาปัจจัยต่างๆดังกล่าว เพื่อที่จะเป็นข้อมูลในเชิงวิทยาศาสตร์และมาตราฐานในการจะทำมาการองให้ได้คุณภาพของเปลือกมาการองที่ดี

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.) เพื่อศึกษาผลของเวลาการผสมส่วนผสมของมาการองต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง
2.) เพื่อศึกษาผลของอายุการเก็บไข่ขาวต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง
3.) เพื่อศึกษาผลของการลดน้ำตาลในสูตรต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง
4.) เพื่อศึกษาการยอมรับมาการองสูตรลดน้ำตาล

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยนี้จะครอบคลุมเนื้อหาของการศึกษาผลของเวลาในการผสมส่วนผสมของมาการอง และศึกษาผลของอายุการเก็บไข่ขาวต่อคุณภาพของมาการอง จากนั้นศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง โดยการการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology : RSM) เพื่อลดปริมาณของน้ำตาลในส่วนผสมของเปลืองมาการอง และทำการศึกษาทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการองสูตรลดน้ำตาลและมาการองสูตรมาตรฐานเพื่อศึกษาการยอมรับของมาการองที่ลดปริมาณน้ำตาลลด

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

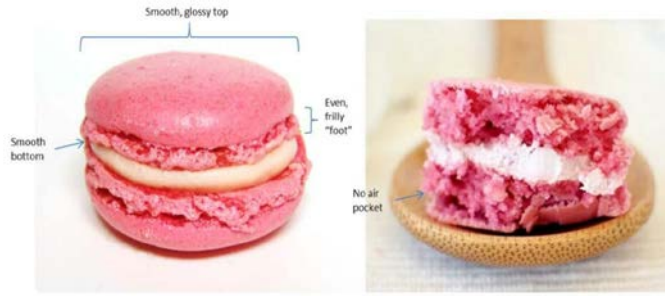
2.1 มาการอง

มาการอง (Macaron) เป็นขนมขึ้นชื่อของประเทศฝรั่งเศส ทำจากไข่ขาว อัลมอนด์บดละเอียด และน้ำตาล นำไปอบเป็นชิ้นกลมๆขนาดเล็กกว่าฝ่ามือ สอดไส้ตรงกลางด้วยครีมหรือกานาช (Ganache) รสชาติต่างๆ เช่น วานิลลา อัลมอนด์ ช็อคโกแลต เกาลัด สตรอเบอร์รี่ ผิวส้ม มะนาว เป็นต้น มาการองเป็นที่รู้จักครั้งแรกในสมัยพระเจ้าหลุยส์ที่ 16 ซึ่งเป็นยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงการปกครอง สมัยนั้นข้าวยากหมากแพง เนื้อสัตว์ โปรตีนไม่มีให้รับประทานมากมายนัก เหล่าแม่ชีชาวอิตาเลียนที่อพยพมายังประเทศฝรั่งเศสจึงดำรงชีพอยู่ด้วยอัลมอนด์ เพราะมีคุณค่าทางอาหารไม่แพ้เนื้อสัตว์ โดยนำมาประกอบเป็นอาหารหรือขนมหลายประเภท หนึ่งในนั้นคือขนมจากอัลมอนด์ ซึ่งต่อมากลายเป็นของหวานที่ชาวฝรั่งเศสชื่นชอบมาจนถึงปัจจุบัน

นอกจากนี้ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ มีขนมที่ลักษณะเหมือนมาการองขาย แต่ในสวิสเซอร์แลนด์นั้นเรียกว่า ลักเซิมบัวร์เกอร์ลี (Luxemburgerli) ซึ่งขายอยู่ในร้านที่มีชื่อเสียง คือ กงฟิซเซอร์รี่ซปรึงลี (Confiserie Sprungli) ตั้งอยู่ในเมืองซูริค มาการองยี่ห้อนี้ประกอบประกอบด้วยเมอแรงก์อัลมอนด์สองอัน ประกบด้วยไส้บัตเตอร์ครีมขนาดชิ้นเล็กและเบากว่าร้านอื่นๆ ส่วนผสมเบามากสัมผัสเหมือนอากาศ รสชาติบางอย่างจะมีแค่บางเทศกาลเท่านั้น มาการองจะวางขายอยู่ในตู้แช่เย็นซึ่งอยู่ได้นานราว 3-5 วันเท่านั้น

เสน่ห์ของมาการองไม่ได้อยู่ที่สีสันสดใสเท่านั้น ว่ากันว่ามาการองที่ดีต้องเริ่มตั้งแต่รูปร่างคล้ายโดมแบนๆ มองดูจากด้านบนเป็นวงกลม ผิวด้านบนของขนมเรียบมันจากความละเอียดของอัลมอนด์บด ส่วนที่สำคัญคือ “Foot” บางตำราเรียก “Skirt” รอยหยักคล้ายลูกไม้ชายกระโปรงที่บางกรอบ อีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญคือ กลิ่นหอมหวาน เคล็ดลับอยู่ที่หลังจากนำมาการอง 2 ชิ้นมาประกบกันแล้วต้องเก็บไว้ในที่เย็น 1 คืน เพื่อให้ไส้รสชาติต่างๆ ถูกดูดซับเข้าสู่ชั้นของเปลือกมาการอง นอกจากนี้ความชื้นจากไส้ยังทำให้มาการองมีความนุ่มหนึบเวลาเคี้ยวอีกด้วย

ลักษณะปรากฏที่ดีของมาการองแสดงในภาพที่ 2.1 และคุณลักษณะของมาการองที่ดีจะต้องมีรสชาติที่ผสานกันอย่างลงตัวระหว่างไส้กานาชและเปลือกมาการอง ส่วนสูงที่สมดุลของเปลือกมาการองชิ้นบนและชิ้นล่างที่มีขนาดเท่าๆกัน รวมทั้งไส้บีบที่พอดีขอบให้เห็นเป็นเส้นเล็กๆ ตลอดทั้งชิ้น(เจตนิพัทธ์ และจักราวุธ, 2556) ส่วนประกอบหลักของตัวคุกกี้มาการองมีเพียงไข่ขาว น้ำตาลและอัลมอนด์ป่นเท่านั้น โดยไข่ขาวและน้ำตาลจะนำมาตีผสมรวมกันเรียกว่า เมอแรงก์ โดยเมอแรงก์ที่นิยมนำมาทำมาการองนั้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เฟรนช์เมอแรงก์ (French Meringue) และอิตาเลียนเมอแรงก์ (Italian Meringue)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะมาการองที่ดี

ที่มา : Annie (2012)

2.2 เมอแรงก์

เมอแรงก์ (Meringue) เป็นขนมหวานที่คิดค้นขึ้นโดยเชฟชาวอิตาเลียนชื่อ Gasparini ที่เมือง Meringen ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งที่มาของความหวานหอมกรอบอร่อยนี้ได้จากการตีไข่ขาวให้ขึ้นฟูกับน้ำตาลแล้วนำไปอบแห้ง แต่ต่อมาฝรั่งเศสและอิตาลีได้นำไปประยุกต์ใช้ตามแบบฉบับการทำอาหารของตนเองจึงทำให้เกิดเมอแรงก์มากมายหลายชนิด ได้แก่ แบบหวาน แบบตีไข่ขาวให้ตั้งยอด แบบราดบนพายมะนาว แบบที่ราดหน้าบนของหวานอื่นๆ และแบบอบแห้ง ในการตีไข่ขาวนั้น เมื่อไข่ขาวถูกตีพันธะไฮโดรเจนในโปรตีนที่อยู่ในไข่ขาวบางส่วนจะเกิดการเสียสภาพของโปรตีน ทำให้เกิดการแข็งตัวของไข่ขาวซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญของการทำเมอแรงก์ที่จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน โดยสังเกตจากการตั้งยอดของไข่ขาว คือ ยอดอ่อน ยอดกลาง และยอดแข็ง (เจตนิพัทธ์ และจักราวุธ, 2556) ประเภทของเมอแรงก์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน (Foegeding และคณะ, 2006) ได้แก่

2.2.1 เฟรนซ์เมอแรงก์ (French Meringue)

เป็นที่นิยมมากในหมู่คนทำเบเกอรี่ มีขั้นตอนในการทำคือตีไข่ขาวอย่างต่อเนื่องจนเริ่มเกิดฟองโฟม (Wang และ Wang, 2009) ฟองอากาศจะรวมตัวเกิดเป็นโครงสร้างโฟมแบบหลวมๆ ในขั้นตอนนี้จะใส่น้ำตาลลงไปแล้วตีต่อไปจนเมอแรงก์ตั้งยอดในแบบที่ต้องการนำไปใช้ วิธีการทำเฟรนซ์เมอแรงก์นั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือ ทำได้ง่ายและนำไปประยุกต์ใช้ในการทำขนมได้หลายชนิด แต่มีข้อเสียคือไข่ขาวไม่ได้ผ่านความร้อน ทำให้มีความเสี่ยงในการปนเปื้อนเชื้อ Salmonella ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มักพบในไข่ ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดในการทำเฟรนซ์เมอแรงก์คือการนำไปอบเพื่อที่จะฆ่าเชื้อ Salmonellaได้ (Foegeding และคณะ, 2006)

2.2.2 อิตาเลียนเมอแรงก์ (Italian Meringue)

คล้ายกันกับเฟรนซ์เมอแรงก์ ทำโดยการตีไข่ขาวจนตั้งยอดอ่อนแล้วใช้น้ำเชื่อมร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 118 องศาเซลเซียส (240 องศาฟาเรนไฮต์) ค่อยๆเทลงไปข้างๆอ่างขณะผสมแล้วตีต่อไปเรื่อยๆ จนอุณภหภูมิเหมาะสมกับการใช้งาน วิธีนี้มีข้อดีคือเป็นวิธีที่ไข่ขาวผ่านความร้อนทำให้สามารถฆ่าเชื้อ Salmonella ได้ และเมอแรงก์จะมีความคงตัว (Foegeding และคณะ, 2006) แต่ก็มีข้อเสียคือ ในการใช้น้ำตาลที่เดือด เนื่องจากน้ำตาลมีความร้อนจำเพาะสูง ดังนั้นจึงต้องใช้ระยะเวลาเพื่อรอให้อุณหภูมิลดลง (Pernell และคณะ, 2000)

2.2.3 สวิสเมอแรงก์ (Swiss Meringue)

วิธีนี้จะผสมน้ำตาลและไข่ขาวเข้าด้วยกันในชามที่อยู่บนหม้อน้ำร้อน (Water bath) และให้ความร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิถึง 60-70 องศาเซลเซียส (150-160 องศาฟาเรนไฮต์) จึงยกส่วนผสมออกมาแล้วตีส่วนผสมต่อจนเมอแรงก์ขึ้นโฟมและส่วนผสมเย็นลง วิธีนี้จะได้เมอแรงก์ที่มีความคงตัวน้อยกว่าแบบอิตาเลียนเมอแรงก์ (Foegeding และคณะ, 2006)

2.3 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายน้ำได้ดีในน้ำและมีรสหวาน จัดอยู่ในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลที่มีขายในตลาดนั้นเป็นน้ำตาลทรายขาวที่ผลิตจากอ้อย น้ำตาลนี้เป็นซูโครสที่บริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 มีอยู่หลายชนิด

2.3.1 ประเภทของน้ำตาลที่เป็นผลึก

ชนิดน้ำตาลที่แบ่งตามลักษณะการผลิตในระดับอุตสาหกรรม มีดังนี้

1.) น้ำตาลทรายดิบ (Raw sugar) เป็นน้ำตาลซูโครสที่อยู่ในรูปผลึกที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ ลักษณะเป็นผลึกสีน้ำตาลอ่อนหรือน้ำตาลเข้ม มีความชื้นปานกลาง กากน้ำตาลมาก เกล็ดน้ำตาลจับตัวกันแน่น สามารถผลิตได้จากน้ำอ้อย ประกอบด้วยการหีบอ้อย การแยกสิ่งสกปรกด้วยการตกตะกอน การฟอกสีด้วยปูนขาว น้ำตาลชนิดนี้ไม่ใช่น้ำตาลบริโภค แต่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์

2.) น้ำตาลทรายขาว (White sugar) น้ำตาลมีความละเอียดต่างกัน มีตั้งแต่เป็นผงละเอียดมาก ธรรมดา และหยาบ ในต่างประเทศจะบอกขนาดความละเอียดไว้ที่กล่องบรรจุ สำหรับเมืองไทยที่วางขายทั่วๆไปมี 3 ขนาด คือ ขนาดธรรมดา ผลึกใหญ่หยาบ และเป็นผงละเอียด น้ำตาลที่ใช้ได้ผลดีควรมีความละเอียดและขาว เพราะจะผสมเข้ากับส่วนผสมอื่นๆได้ดี ถ้าน้ำตาลที่ใช้มีขนาดผลึกที่ใหญ่และหยาบ จะผสมกับเนยได้ไม่ดี เพราะผลึกที่ใหญ่ของมันจะละลายไม่หมดและมักจะคงอยู่ในรูปเมล็ด ผลึกของน้ำตาลจะไม่ละลายโดยความร้อนจากตู้อบ และน้ำตาลที่อยู่ใกล้ๆกับผิวขนมจะเกิดเป็นจุดขึ้น นอกจากนั้นผลึกน้ำตาลที่หยาบจะไปขูดเอาดีบุกที่เคลือบเครื่องผสมหรือชามผสม ทำให้เกิดสีเทาขึ้นในผลิตภัณฑ์

3.) น้ำตาลทรายแดง (Brown sugar) น้ำตาลชนิดนี้จะมีพวกคาราเมล แร่ธาตุ และความชื้นปนอยู่ด้วย และยังเป็นน้ำตาลที่ไม่บริสุทธิ์หรือเรียกว่า น้ำตาลดิบ น้ำตาลชนิดนี้จะใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการกลิ่นรส และสีของน้ำตาลทรายแดง (ปานทิพย์ และ ปรัศนี, 2557)

4.) น้ำตาลไอซิ่ง (Icing or Confectionery sugar) น้ำตาลที่ผ่านกระบวนการบดละเอียด ลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียดคล้ายแป้ง (Powder form) มีส่วนผสมของแป้งข้าวโพด (Corn starch) ประมาณร้อยละ 3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการจับตัว (Anti caking agent) ในผงน้ำตาล น้ำตาลไอซิ่งเป็นหนึ่งในวัตถุดิบสำหรับการทำเบเกอรี่ มีลักษณะเฉพาะในการใช้งานแตกต่างจากน้ำตาลทรายทั่วไป กล่าวคือ น้ำตาลไอซิ่ง ซึ่งอยู่ในรูปของผง (Powder form) สามารถละลายน้ำได้ดี ช่วยให้ไม่มีเหลือตกค้างในการทำละลาย แตกต่างจากน้ำตาลทราย ซึ่งอยู่ในรูปของผลึก (Crystal form) จะละลายน้ำได้ไม่ดีนัก ต้องใช้ทั้งเวลา พลังงานและความพยายามในการละลายที่มากกว่า เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ประเภทเค้ก ครีมตกแต่งหน้าเค้กและตุ๊กตาไอซิ่ง

5.) น้ำตาลกรวด (Crystalline sugar) เป็นน้ำตาลที่ผลิตจากน้ำเชื่อมของอ้อยหรือน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ นำมาละลายน้ำ และทำให้ตกผลึกอย่างช้าๆ ไม่ฟอกสี มีลักษณะเป็นก้อนคล้ายสารส้ม มีสีขาวใส น้ำตาลชนิดนี้มีรสหวาน

นอกจากน้ำตาลทั้ง 5 ชนิดนี้แล้ว ยังมีน้ำตาลอื่นๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี เช่น น้ำตาลข้าวโพด (corn sugar) หรือเดกโทรส (dextrose) เป็นน้ำตาลที่ทำจากแป้งข้าวโพดน้ำตาลเดกโทรสนี้มีความหวานประมาณร้อยละ 75 ของน้ำตาลซูโครส ส่วนมากใช้ในการทำขนมปังหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยีสต์ เพราะยีสต์สามารถนำน้ำตาลไปใช้ได้โดยตรง ทำให้การหมักเกิดเร็วขึ้น

2.3.2 ประเภทของน้ำตาลที่ไม่เป็นผลึก

1.) น้ำเชื่อม (Syrup) หมายถึง การละลายน้ำตาลซูโครสที่ได้จากอ้อยหรือหัวบีท โดยนำน้ำตาลทรายมาเคี่ยวกับน้ำต้มจนเดือดแล้วค่อยๆคนจนน้ำตาลละลายเข้ากับน้ำ แต่เราสามารถกำหนดให้มีความหวานได้ แต่ปกติแล้วจะตามสัดส่วน 1:1 แต่ถ้าหากจะให้หวานมากขึ้นก็สามารถเพิ่มน้ำตาลเป็นสัดส่วน 1:2 ได้ แล้วเรายังสามารถแต่งกลิ่นของน้ำเชื่อมได้ตามความต้องการ ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมจะตรวจสอบด้วยหน่วยองศาบริกซ์ (°Brix) ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำตาล ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมตรวจวัดได้ด้วยการวัดความหนาแน่นของน้ำตาลโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) หรือใช้รีแฟรกโตมิเตอร์ (Refractometer) ในการทำเบเกอรี่หรือการผลิตอุตสาหกรรมการผลิตลูกอม ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมมีผลต่อผลิตภัณฑ์ จึงมีการแบ่งลักษณะของน้ำเชื่อมในอุณหภูมิระดับต่างๆ ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของน้ำเชื่อมในอุณหภูมิระดับต่างๆ

อุณหภูมิ (°ซ)	ลักษณะน้ำเชื่อม	ลักษณะการเดือด	ลักษณะในน้ำเย็นจัด	ตัวอย่างอาหารที่ใช้น้ำเชื่อมในระยะนั้น
105-106	ใส	เดือดเป็นฟองใหญ่	ตกลงก้นภาชนะแล้วละลาย	น้ำเชื่อมใส่ของหวานมีน้ำ
110-112	เป็นเส้นคล้ายเส้นด้าย (Thread)	เดือดพล่านเป็นฟองขนาดกลาง สีใส	เป็นเส้นหรือพรายยาวประมาณ 2 นิ้ว	น้ำเชื่อมเข้มข้น
112-115	ปั้นเป็นก้อนอ่อนไม่อยู่ตัว (Soft ball)	เดือดเป็นฟองขนาดกลาง สีเหลืองใส	หยดในน้ำเย็นเป็นก้อนอ่อนแต่ไม่อยู่ตัว	คาราเมล ฟองด็อง พลารีน ฟัดจ์
116-120	ปั้นเป็นก้อนอยู่ตัว (Firm ball)	เดือดเป็นฟองขนาดเล็กลง สีเข้มขึ้น แต่ใส	เป็นก้อนอยู่ตัว ยกจากน้ำไม่แบนราบ	คาราเมล บัตเตอร์ครีม นูกัท มาชเมลโล่ อิตาเลียนเมอแรงก์ และทอฟฟี่
121-130	ปั้นเป็นก้อนแข็ง (Hard ball)	เดือดเป็นฟองเล็กสีเข้มขึ้น	เป็นก้อนแข็งแต่เมื่อยกจากน้ำยังหยุ่นได้	คาราเมล นูกัท และทอฟฟี่
132-143	เส้นแข็งหักได้ (Soft crack)	เดือดเป็นฟองข้นสีเข้มขึ้น	เป็นเส้นแข็งหักได้แต่ไม่เปราะ	บัตเตอร์สก๊อต นูกัทแบบแข็ง
149-154	เส้นแข็งเปราะ (Hard crack)	เดือดเป็นฟองข้นสีเข้มขึ้น	หยดในน้ำแยกเป็นเส้นแข็งและเปราะ	ลูกอม
160	หลอมเหลวใส (Clear liquid)	น้ำเชื่อมยังคงใสอยู่	เหลว	งานน้ำตาลแบบดึงและเท
170	เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Caramel)	เดือดเป็นฟองเล็กๆ สีน้ำตาลมีกลิ่นไหม้	หยดในน้ำเป็นก้อนแข็งมีสีน้ำตไหม้	ทำน้ำตาลเคี่ยวไหม้ (caramel)

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Freiberg (2003)

2.) น้ำผึ้ง (honey) น้ำผึ้ง เป็นผลิตผลของน้ำหวานจากดอกไม้และแหล่งน้ำหวานอื่นๆ จากธรรมชาติที่ผึ้งงานนำมาเก็บสะสมไว้ในรังผึ้ง จากนั้นเหล่าผึ้งจะกินน้ำหวานที่ได้มาเข้าไปและน้ำหวานที่ผ่านการย่อยและผ่านเอนไซม์ในท้องผึ้งก็จะกลายมาเป็นน้ำผึ้งอยู่ในรังผึ้งอย่างที่เรารับประทานกันในที่สุด น้ำผึ้งเป็นสารผสมของน้ำตาลกับสารประกอบอื่น น้ำผึ้งส่วนใหญ่เป็นฟรุกโทส และกลูโคส ทำให้น้ำผึ้งคล้ายกับน้ำเชื่อมน้ำตาลอินเวิร์ท (inverted sugar syrup) ที่ผลิตเชิงสังเคราะห์ น้ำผึ้งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลและมีวิตามินหรือแร่ธาตุอยู่เล็กน้อย น้ำผึ้งยังมีสารประกอบหลายชนิดในปริมาณน้อยซึ่งคาดกันว่าทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

3.) น้ำตาลข้าวโพด (corn syrup) เป็นสารให้รสหวานที่โดยผลิตจากสตาร์ชข้าวโพดมาทำการไฮโดรไลซ์บางส่วนด้วยกรดที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นของเหลวข้นหนืดที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส มอลโทส เดกซ์ทริน มอลโทเด็กซ์ทริน และพอลิแซ็กคา-ไรด์ อื่นๆ มีรสหวานประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำตาลซูโครส

2.3.3 คุณสมบัติของน้ำตาล

1.) สารให้ความหวาน น้ำตาลเป็นสารให้ความหวานที่มีโภชนาการ (Nutritive sweetener) รสชาติของน้ำตาลเป็นรสหวานธรรมชาติที่ปราศจากรสอื่นเจือปน การที่เรารู้รสหวานนั้นเกิดจากต่อมลิ้มรสบริเวณปลายลิ้นด้านบน รสหวานที่รู้สึกเป็นความหวานเปรียบเทียบ โดยเปรียบเทียบกับความหวานของกลูโคส ซึ่งถือว่าเท่ากับ 100 ฟรักโตส เป็นน้ำตาลที่หวานน้อยที่สุดและมีความหวานกว่าซูโครส น้ำตาลที่หวานรองจากซูโครส คือกลูโคส มอลโตส และแล็กโตส วัตถุประสงค์หลักของการใส่น้ำตาลในอาหารคือ การให้ความหวาน

2.) การละลายน้ำ ในอุตสาหกรรมอาหารมักจะละลายน้ำได้ดีตามปกติจะละลายได้ร้อยละ 30-80 ปริมาณที่ละลายได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งการละลายได้จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำตาลแต่ละชนิด จะแตกต่างกันฟรักโทสเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ซูโครส ส่วนกลูโคสและมอลโตสละลายน้ำได้พอๆกัน น้ำตาลที่ละลายน้ำได้น้อย คือ แล็กโตส

3.) การเกิดสีน้ำตาลในอาหาร ในการเตรียมอาหารแปรรูปและเก็บรักษาอาหารบางชนิด จะพบว่ามีสารสีน้ำตาลเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (nonenzymatic browning reaction) ตามปกติจะพบว่าอาหารเหล่านี้มีสีน้ำตาลซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการทำปฏิกิริยาเคมีนี้เป็นส่วนประกอบ สารเคมีที่เกิดขึ้นตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีดำ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นสีน้ำตาลกลิ่นรสของอาหารจะเปลี่ยนไป กลไกการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ คาราเมไลเซชัน (Caramelization) และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (นิธิยา, 2549)

4.) การดูดและการเก็บรักษาความชื้นโดยน้ำตาล สมบัติด้านการกูและเก็บรักษาความชื้นมีความสำคัญต่อเนื้อสัมผัส ความคงทนในการรักษาลักษณะของอาหารบางชนิด การดูดความชื้นของน้ำตาลแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ด้านความสามรถในการดูดความชิ้นในบรรยากาศ ฟรักโทสเป็นน้ำตาลที่ดูดความชื้นได้ดีมาก รองลงไปเป็นแล็กโตส ซูโครส มอลโตส และกาแล็กโตส คุณสมบัติด้านนี้ของน้ำตาลมีสาวนช่วยให้อาหารที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบนุ่มชื้น การเก็บรักษาความชื้น ความสามารถในการเก็บรักษาความชื้นของน้ำตาล เกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดความชื้น โดยทั่วไปการเก็บรักษาความชื้นของน้ำตาลนั้นสามารถยึดความชื้นไว้โดยไม่คายออกสู่บรรยากาศ

5.) การละลาย และคุณสมบัติของสารละลายน้ำตาล น้ำตาลจะละลายได้ดี ตามปกติจะละลายได้ประมาณร้อยละ 30-80 ปริมาณที่ละลายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การละลายได้สูงขึ้นกับอุณหภูมิ น้ำตาลทรายเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ดีมาก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำ 1 กรัม ละลายซูโครสได้ 2 กรัมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของสารละลายน้ำตาล คือ ความหนืด (Viscosity)

2.4 ไข่ขาว

ไข่ขาวมีประมาณร้อยละ 60 ของไข่ทั้งหมด ขณะดิบจะเห็นเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน หรือในไข่บางฟองอาจจะมีสีชมพูหรือสีเขียวอ่อนๆขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยง ตามปกติจะมองเห็นไข่ขาวดิบเป็นส่วนที่เหลวใสกับส่วนที่ข้น และส่วนที่ใสจะห่อหุ้มไข่แดงและเป็นขั้วไข่แดง (เจตนิพัทธ์ และจักราวุธ, 2556)

2.4.1 ส่วนประกอบของไข่ขาว สามารถแบ่งเป็นส่วนได้ดังนี้

1.) ไข่ขาวใสชั้นนอก มีประมาณร้อยละ 23.2 ของไข่ขาวทั้งหมด จะเห็นว่าไข่ขาวใสชั้นนอกอยู่รอบๆด้านข้างของไข่ขาวส่วนข้น เว้นแต่ตรงหัวและท้ายของฟองไข่ คนทั่วไปมักเรียกไข่ขาวส่วนนี้ว่า น้ำค้างไข่ มีประโยชน์สำหรับเป็นตัวเจือจางน้ำเชื้อ ในการผสมเทียมและนอกจากนี้ยังมีสมบัติที่ช่วยเพิ่มความฟูของขนมหวานบางอย่าง เช่น ทองหยิบ ปริมาณความชื้นของไข่ขาวในไข่แดงแต่ละชนิด แตกต่างกันตามกรรมพันธุ์ของสัตว์ ไข่ขาวใสชั้นนอกของไก่มีความชื้นร้อยละประมาณ ร้อยละ 88.8

2.) ไข่ขาวข้น ประมาณ ร้อยละ 57.3 ของไข่ขาวทั้งหมด อยู่ถัดจากไข่ขาวใสชั้นนอกเข้าไป เป็นชั้นของไข่ขาวข้นที่ห่อหุ้มไข่แดงและไข่ขาวชั้นในไว้ ความข้นในตัวมันจะช่วยประคองไข่แดงและไข่ขาวใสชั้นในให้ลอยตัวอยู่ ป้องกันอันตรายจากการกระทบกระเทือนจากภายนอก ไข่ขาวข้นนี้ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีนรวมกัน เพื่อความแข็งแรงในการเชื่อมยึดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นในที่ด้านป้านกับด้านแหลมของฟองไข่ เมื่อได้รับความร้อน โปรตีนส่วนนี้จะแข็งตัว ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าไข่ขาวข้นส่วนนี้เป็นชั้นๆได้ด้วยตาเปล่า ไข่ขาวชั้นนี้จะมีความชื้นอยู่ประมาณร้อยละ 87.6

3.) ไข่ขาวใสชั้นใน ประมาณร้อยละ 16.8 ของไข่ขาวทั้งหมด เป็นชั้นของไข่ขาวใสที่ติดอยู่กับไข่แดง ช่วยยึดไข่แดงให้ลอยตัวอยู่ตรงกลางของฟองไข่ ส่วนประกอบของชั้นนี้ไม่ปรากฏมีมิวซินอยู่เลย มีความชื้นประมาณร้อยละ 86.4

4.) เยื่อขั้วไข่แดง ประมาณร้อยละ 2.7 ของไข่ขาวทั้งหมด คือส่วนของไข่ขาวข้นที่ห่อหุ้มไข่แดง โดยล้อมรอบเยื่อหุ้มไข่แดงอีกทีหนึ่งแล้วขมวดเป็นเกลียวอยู่ที่ หัวท้ายตามแกนยาวของไข่แดง ส่วนที่ขมวดเป็นเกลียวนี้เรียกว่า ขั้วไข่แดง ไข่ขาวชั้นเยื่อขั้วไข่แดงนี้ มีความชื้นอยู่ประมาณร้อยละ 84.3 ซึ่งต่ำกว่าชั้นอื่นๆ เยื่อขั้วไข่แดงทำหน้าที่เป็นสายทุ่นรักษาสมดุลไข่แดงให้อยู่ใจกลางของฟองไข่

2.4.2 โปรตีนในไข่ขาว

โปรตีนในไข่ขาวประกอบด้วยเส้นใยโอโวมิวซิน อยู่ในสารละลายเอเควียสของโกลบูลาร์โปรตีนหลายชนิด ส่วนประกอบของโปรตีนในชั้นไข่ขาวใสและไข่ขาวข้นต่างกันเฉพาะที่ปริมาณของ โอโวมิวซิน ไข่ขาวมีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 9.7-12 ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนอัลบูมิน (Albumin) หลายชนิดคือ

1.) โอวัลบูมิน (Ovalbumin) เป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในไข่ขาว มีอยู่ประมาณร้อยละ 54 ของ น้ำหนักโปรตีนในไข่ขาว จัดเป็นฟอสโฟไกลโคโปรตีน (Phospoglycoprotein) มีโครงสร้างเป็นสายโพลีเปปไทด์ที่มีหมู่ฟอสเฟตและคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ มีจุดไอโซอิเลคทริค (Isoelectric point) ที่pH 4.6 และจะตกตะกอนที่ pH 4.6-4.8 ทนความร้อนได้ดี

2.) โคแนลบูมิน (Conalbumin) มีประมาณร้อยละ 13 ของโปรตีนในไข่ขาว มีจุดไอโซอิเลคทริค ที่pH 6.6 เป็นโปรตีนที่ทนความร้อนได้น้อยกว่าโอวัลบูมิน แต่สูญเสียสภาพธรรมชาติ (Protein Denaturation)ได้ดีกว่าโอวัลบูมิน

3.) โอโวมิวคอยด์ (Ovomucoid) พบประมาณร้อยละ1.2 ของโปรตีนในไข่ขาว มีจุดไอโซอิเลคทริค ที่ pH 3.9-4.3 ในสภาวะที่เป็นกรดจะทนความร้อนได้ดี แต่จะสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน อย่างรวดเร็ว ถ้าอยู่ในสารละลายด่างที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นไกลโคโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงกับ เอนไซม์ทริปซิน สามารถยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน (Trypsin Inhibitor) ซึ่งเป็นเอนไซม์โปรติเอส (Protease) มีหน้าที่ย่อยโปรตีน

4.) ไลโซโซม (Lysosome) พบประมาณ ร้อยละ3.5ของโปรตีนในไข่ขาว มีจุดไอโซอิเลคทริคที่ pH 10.7 เป็นเอนไซม์สามารถทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่มีการปนเปื้อนเข้ามาในฟองไข่ได้ มีสมบัติ เป็นสารกันเสีย (Preservative) แต่จะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนจากการหุงต้มหรือการพาสเจอไรซ์ที่ อุณหภูมิ 63.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

5.) โอโวอินฮิบิเตอร์ (ovoinhibitor) มีความเฉพาะเจาะจงกับเอนไซม์ทริปซิน ไคโมทริปซิน ซับทิลิซิน และเอนไซม์โปรตีเอสจากเชื้อ *Aspergillus oryzae*

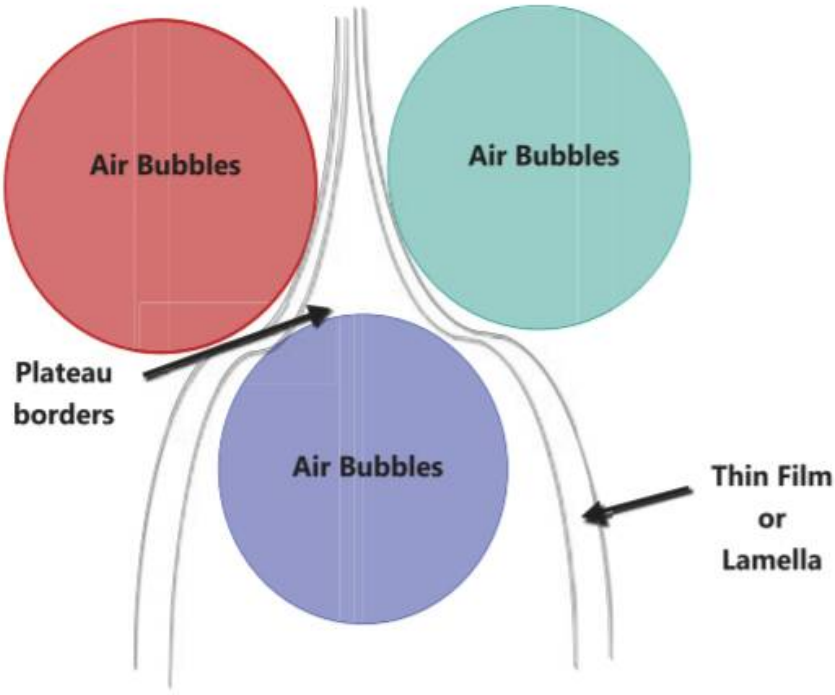
6.) ซิสตาติน (Cystatin) หรือสารยับเอนไซม์ปาเปน มีความเฉพาะเจาะจงต่อเอนไซม์ปาเปน และ ฟีซิน

2.5 โฟมไข่ขาว

ไข่ขาวสามารถทำให้เกิดโฟมได้ เนื่องจากมีโปรตีนหลายชนิดที่ช่วยในการเกิดโฟม เมื่อตีไข่ขาวอากาศจะแทรกเข้าไปในของเหลวไข่ขาว อากาศจึงถูกหุ้มด้วยเยื่อบางๆของไข่ขาวเกิดเป็นโฟม โดยโปรตีนสำคัญในไข่ขาวที่ช่วยในการเกิดโฟมคือ โกลบูลิน ไลโซโซม โอโวมิวคอยด์ และโอโวมิวซิน โปรตีนโกบูลิน และโอโวมิวคอยด์จะมีความหนืดสูงซึ่งช่วยให้โฟมเกิดการแยกตัวของของเหลว (Drainage) ช้าลง ส่วนโปรตีนโอโวมิวซินนั้นถูกทำให้เสียสภาพธรรมชาติได้ง่ายซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างฟิล์มรอบๆโฟม ช่วยให้โฟมมีความคงตัว แต่อย่างไรก็ตามการตีโฟมไข่ขาวที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการละลายของโอโวมิวซินมากเกินไปจึงทำให้โฟมมีความยืดหยุ่นต่ำ โฟมจึงยุบและแตกตัวลงได้ (Arwa, 2013)

2.5.1 โครงสร้างโฟม

โฟมประกอบไปด้วยชั้นของเหลว (Lamella) กั้นระหว่างฟองอากาศ ฟองอากาศถูกล้อมรอบด้วยชั้น Plateau Border ดังรูปที่ 2 โดยชั้นของเหลวทำให้โฟมมีความคงตัวป้องกันการแตกรวมกันของฟองอากาศ (Arwa, 2013)



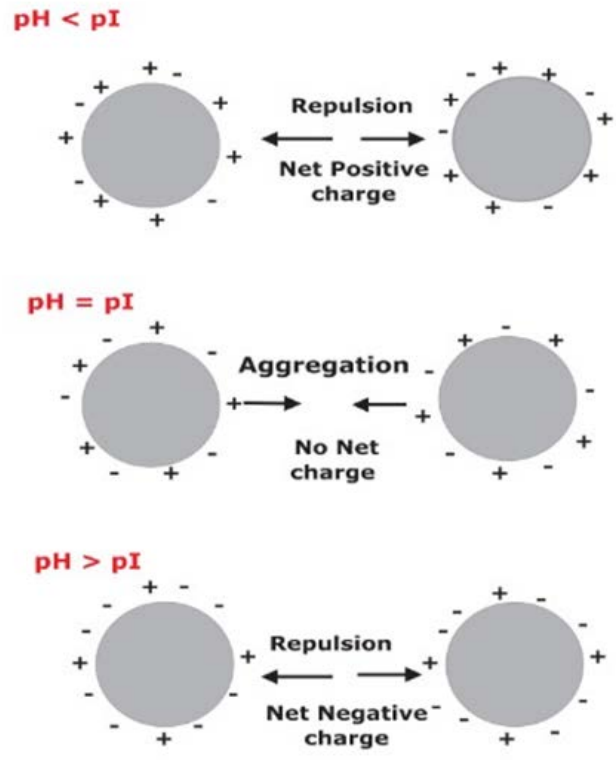
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างโฟม

ที่มา : Arwa (2013)

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นฟูและการคงตัวของโฟมไข่ขาว

1.) อายุของแม่ไก่ ที่ออกไข่ ไข่ที่ได้จากแม่ไก่ที่มีอายุมากกว่า มีความคงตัวได้ดีกว่าไข่ที่เก็บจากแม่ไก่ที่อายุน้อย เพราะไข่ที่ได้จากไก่ที่มีอายุมากกว่า เมื่อนำมาตีให้เกิดโฟมนั้น เกิดการสลายตัวของอัลบูมินมากกว่าและความสูงของอัลบูมินลดลง เนื่องจากการเชื่อมพันธะกันระหว่างโอโวมูซินและไลโซไซม์ทำให้พันธะของโอโวมูซินในอัลบูมินนั้นเพิ่ม ปริมาณโปรตีนมากขึ้นในการจับอากาศในการเกิดโฟม (Lomakina และ Mikova, 2016)

2.) ค่า pH ที่ทำให้เกิดโฟมที่ได้ดีจะมีค่า pH ที่ใกล้เคียงกับค่า pI ของโปรตีนชนิดนั้นๆ เนื่องจากการโปรตีนมีการเสียสภาพจึงทำให้จับตัวกับประจุได้ง่ายขึ้น ทำให้แรงผลักกันของประจุลบลดลง หรือทำให้ประจุรวมของโปรตีนเป็นศูนย์ เมื่อแรงผลักของประจุลดลงมีผลทำให้โปรตีนตกตะกอน เมื่อผ่านการตีแรงกลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดโฟมที่จับอากาศได้ง่ายขึ้น จึงทำให้เกิดโฟมมากขึ้น (Clarkson และคณะ 2000) แต่หากค่า pH สูงกว่าค่า pI จะทำให้มีประจุบวกมาก หรือหากค่า pH ต่ำกว่า ค่า pI โปรตีนจะละลายมากเกินไปทำให้มีประจุลบมาก ซึ่งประจุที่เหมือนกันจะเกิดการผลักกันส่งผลให้ผนังโฟมที่ได้ไม่คงตัวหรือแตก ทำให้ไม่สามารถจับอากาศได้และเกิดการยุบตัว



ภาพที่ 2.3 ค่า pH ที่สูงและต่ำกว่าค่า PI

ที่มา : Hui (2017)

3.) ระยะเวลาการเก็บรักษาไข่ ส่งผลต่อความคงตัวของโฟม นอกจากเปลี่ยนแปลงค่า pH ในไข่แล้ว ยังทำให้โปรตีนเกิดการย่อยสลายตัวลงเรียกว่ากระบวนการไฮโดรไลสิสของไข่ขาว คือ เอนไซม์ในไข่ขาวเกิดการย่อยสลายโปรตีนออกเป็นโมเลกุลเล็กๆทั้งเพปไทด์ กรดอะมิโน ซึ่งโปรตีนในไข่ขาวมีกรดอะมิโนที่มีทั้งไฮโดรโฟบิค และโฮโดรฟิลิค เมื่อไข่ข่าวถูกตีให้เกิดโฟมส่วนที่ชอบน้ำก็จะไปจับตัวกับส่วนที่เป็นน้ำ และส่วนที่ชอบอากาศก็จะไปจับตัวกับอากาศทำให้เกิดโครงสร้างใหม่ที่แข็งแรง

4.) ระยะเวลาในการตีให้เกิดโฟม ควรตีในระยะเวลาที่เหมาะสม ถ้าตีมากเกินไป จะทำให้ฟองอากาศนั้นเล็กลงส่งผลให้ผนังฟิลม์ที่กักเก็บอากาศไว้นั้นก็จะบางไปด้วยทำให้โฟมยุบได้ง่าย ในทางกลับกันถ้าตีน้อยเกินไปก็จะทำให้โปรตีนยังสร้างผนังฟิล์มได้ไม่เต็มที่ หรือยังไม่ได้รูปทรง ส่งผลให้ได้ปริมาณโฟมที่น้อย และมีไข่ขาวเหลวมาก (Vega และ Sanghvi, 2012)

5.) การเติมน้ำตาลลงในไข่ขาว เพื่อเป็นการเพิ่มความหนืดให้กับไข่ขาวทำให้โฟมมีความคงตัวมากขึ้น และช่วยลดการเกิดของการยุบตัวของของเหลวหลังจากตีโฟมแล้วตั้งทิ้งไว้ แต่ในทางกลับกันก็การเติมน้ำตาลมากเกินไป หรือเร็วเกินไปก็จะจะทำให้ความสามารถในการเกิดโฟมช้าลง แต่เพิ่มความคงตัวของการเกิดโฟมได้มากขึ้น การใส่น้ำตาลร้อยละ 50 ต้องใช้เวลาตีอย่างน้อย 9 นาทีหากเปรียบเทียบกับการตีไข่ขาวอย่างเดียวใช้เวลาประมาณ 3-4 นาที (Stadelman และ Cotterill, 1995; Yang และ Foegeding, 2010)

2.6 อัลมอนด์

อัลมอนด์ (Almond) **ชื่อวิทยาศาสตร์** *Prunus dulcis (Mill.)* อยู่ในวงศ์ : Rosaceae เป็นไม้ยืนต้น (tree nut) ซึ่งลักษณะผลจัดอยู่ในกลุ่ม ดรูบ (drupe) หรือ stone fruit ซึ่งเมล็ดมีเปลือกแข็ง เป็นพืชพื้นเมืองในตะวันออกกลางและเอเชียใต้ และหลังจากนั้นชาติอาหรับทำให้ประเทศสเปนรู้จัก และได้เผยแพร่ไปทางแถบเมดิเตอเรเนียน จนกระทั่งศตวรรษที่ 18 นักบวชชื่อฟรานซิสกาน ชาวสเปนนำติดตัวไปทางแถบอเมริกาเหนือ หรือแถบแคลิฟอเนีย ดังนั้นรัฐแคลิฟอเนียจึงเป็นผู้ผลิตอัลมอนด์มากที่สุดในโลก รองลงมาคือประเทศสเปน

อัลมอนด์ เป็นพืชยืนต้น ลำต้นเดี่ยว แตกกิ่งก้านมีทรงพุ่ม เป็นใบเดี่ยว มีใบออกตรงข้ามกัน ใบมีลักษณะทรงรี มีก้านใบรองรับ มีขนอ่อนๆปกคลุม มีสีเขียว ดอกออกเดี่ยว ออกที่ซอกใบ ดอกมีลักษณะทรงกลม กลีบดอกจะมีสีชมพู หรือสีขาว มีก้านช่อดอกสั้น ผลเป็นผลเดี่ยว มีลักษณะทรง

กลมรี มีขนอ่อนๆปกคลุม ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่เปลือกแตกออกมีสีน้ำตาล ข้างในมีเมล็ด มีเปลือกหนาแข็งหุ้มเมล็ดอยู่ มีสีน้ำตาล ภายในมีเมล็ดอยู่ มีลักษณะทรงกลมรี มีรอยลึกตามยาว มีเยื่อบางมีสีน้ำตาลหุ้มเมล็ดอยู่ ข้างในมีเนื้อสีขาวนวล มีรสชาติมัน ใช้รับประทาน หรือนำมาประกอบอาหารเมนูต่างๆ ได้หลายเมนู

อัลมอนด์เป็นแหล่งของไขมันและโปรตีน นอกจากนี้ในเมล็ดอัลมอนด์ยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุสำคัญที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดอัลมอนด์ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดอัลมอนด์ (100 กรัม)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (กรัม)
คาร์โบไฮเดรต	21.69
ไขมัน	49.42
โปรตีน	21.22
ธาตุแคลเซียม	0.264
ธาตุแมกนีเซียม	0.268
ธาตุโพแทสเซียม	0.705
ธาตุฟอสฟอรัส	0.484

ที่มา : USDA Nutrient database (2019)

ในท้องตลาดมีผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่ได้จากอัลมอนด์ ได้แก่

1. เมล็ดอัลมอนด์ มีทั้งแบบดิบ หรือแบบอบแล้ว นิยมรับประทานได้เลย หรือนำไปประกอบอาหาร เก็บในที่แห้ง
2. แป้งอัลมอลด์ (อัลมอลด์ป่น) ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ สามารถใช้แทนแป้งสาลีได้ แต่มีความชื้นสงกว่าแป้งสาลี ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ใส่แป้งอัลมอลด์จะมีลักษณชุ่มชื้นกว่า และเก็บได้ไม่นาน
3. นมอัลมอลด์ ใช้ทดแทนสำหรับผู้แพ้แลคโตสในนมได้ โดยนำเมล็ดอัลมอนด์ไปแช่น้ำแล้วนำไปปั่นคั้นน้ำนมอัลมอลด์ออกมา วิตามินและแร่ธาตุยังคงมีอยู่
4. เนยถั่วอัลมอลด์ นำเอาถั่วอัลมอลด์ที่อบแล้วไปปั่นให้ละเอียดจนลักษณะคล้ายเนยถั่ว ใช้ทดแทนสำหรับผู้ที่แพ้เนยถั่วลิสงได้ แต่ราคาค่อนข้างสูง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Edward (2000)ได้ศึกษาถึงอัลบูมินในไข่ขาว ซึ่งหมายถึงโปรตีนหลายชนิดที่อยู่ในไข่ขาว มีความสำคัญต่อการทำเบเกอรี่ด้วยสองเหตุผลคือ การทำให้เกิดโฟมเมื่อถูกตี และ การทำให้โฟมแข็งตัวเมื่อโดนความร้อน อัลบูมินในไข่ขาวมีประโยชน์มากกว่าโปรตีนที่ได้จากแหล่งอื่นเพราะไม่มีผลกระทบหากมีไขมันมาเจือปน ซึ่งไขมันเหล่านั้นอาจทำให้เกิดการยุบตัวของโฟมได้ ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่มีการตีไข่ขาวให้เกิดโฟมพร้อมกับน้ำเชื่อมร้อน อุณหภูมิที่เกิดการแข็งตัวของโปรตีนเกิดจาก water activity โดยมีการศึกษาอุณหภูมิการแข็งตัวของโปรตีนเมื่อใช้น้ำเชื่อมร้อยละ 40 ตีกับไข่อัลบูมินจะเกิดการแข็งตัวที่ 65 องศาเซลเซียส ถ้าใช้น้ำเชื่อมร้อยละ 60 อุณหภูมิการแข็งตัวเพิ่มขึ้นเป็น 75 องศาเซลเซียส และอัลบูมินมีการแข็งตัวที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

Alleoni และ Antune (2004) ได้ศึกษาความคงตัวของโฟมไข่ขาวและปริมาณเอส-โอวัลบูมิน (S-ovalbumin) ในไข่ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเวย์โปรตีนเข้มข้น (Whey Protein Concentrate, WPC) โดยเปรียบเทียบปริมาณของเอส-โอวัลบูมินในไข่ขาวและผลความคงตัวของโฟมไข่ขาวที่อายุในการเก็บไข่ต่างกัน (เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 28 วัน) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเอส-โอวัลบูมินเพิ่ม ปริมาณการแยกตัวของเหลวออกจากโฟม (Drainage) เพิ่มขึ้น ความคงตัวของโฟมไข่ขาวลดลง การเคลือบผิวไข่ด้วยฟิล์มเวย์โปรตีนเข้มข้นสามารถรักษาคุณภาพของไข่ได้ ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลง pH ของไข่ขาว โดยปริมาณของเหลวที่แยกออกมาจากโฟมในไข่ขาวที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยฟิล์ม WPC นั้นสูงกว่าไข่ที่เคลือบผิว โดยในไข่อายุการเก็บ 3 วันปริมาณของเหลวที่แยกออกมามีค่าต่างกันร้อยละ59 ระหว่างไข่ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเวย์โปรตีนเข้มข้นกับไข่ที่ไม่ได้เคลือบผิว ขณะที่อายุการเก็บไข่นาน 28 วันมีค่าต่างกันถึงร้อยละ 202 สำหรับผลของอายุการเก็บไข่ที่ต่างกันในไข่ที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยฟิล์มเวย์โปรตีนเข้มข้น พบว่า pH และปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกมาเพิ่มขึ้น ในไข่ที่อายุการเก็บ3วัน ปริมาณของเอส-โอวัลบูมินของไข่ที่ไม่ได้เคลือบผิวสูงกว่าไข่ที่เคลือบผิวร้อยละ33 และในไข่ที่อายุการเก็บ 28 วัน มีค่ามากกว่าถึงร้อยละ 205

JINRU และคณะ (2005) ได้ศึกษาอิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาตร น้ำหนักและค่า pH ของอัลบูมินขอไข่ขาว ความแข็งแรงทางกายภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และการเจริญของเชื้อ Salmonella Enteritidis โดยใช้โพรบใยแก้วนำแสงฉีดเชื้อ Salmonella Enteritidis ที่ 10^2, 10^4 และ 10^6 เซลล์ต่อไข่ 1 ฟอง จากนั้นเก็บไข่ที่อุณหภูมิ 4, 10 และ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และสุ่มตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์ พบว่า ไข่ที่ถูกเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาตรและน้ำหนักได้มากขึ้นและมีค่า pH ที่ค่อนข้างต่ำ เยื่อหุ้มเซลล์จากไข่ที่เก็บไว้ที่ 4 และ 10 องศาเซลเซียส มีความสามารถทนต่อแรงกระแทกสำหรับการแตกได้มากขึ้น เชื้อ Salmonellae เจริญเติบโตได้ดีที่ 22 องศาเซลเซียส แต่การเก็บรักษาไข่ที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียสมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Salmonellae ในไข่ไข่ที่มีประชากรเริ่มต้นที่ 10^2, 10^4 หรือ 10^6 เซลล์ต่อไข่

Lomakina และ Míková (2006) กล่าวว่าการใส่น้ำตาลลงไปในไข่ขาวทำให้เกิดโฟมช้าลง เพราะทำให้น้ำตาลไปทำให้เกิดความหนืด ทำให้โปรตีนสลายตัวไปจับกับน้ำและอากาศได้ช้าลง โดยเฉพาะในช่วงถ้าตีไข่ขาวใส่น้ำตาลที่ร้อยละ 50 แล้วใส่น้ำตาลตั้งแต่เริ่มต้นการตีต้องใช้ เวลาในการตีของเหลวให้เป็นโฟมนานมากกว่า 9 นาที (ใช้เวลาเพียง 3-4 นาทีหากตีแบบไม่ใส่น้ำตาล) และใช้เวลานาน 32 นาที โฟมถึงจะตั้งยอดแข็ง (ใช้เวลาตี 16 นาทีหากไม่ใส่น้ำตาล) โฟมที่ใส่น้ำตาลจะมีการขยายตัวน้อยกว่าไม่ใส่น้ำตาล ในการทำเมอแรงก์อัตราส่วนของน้ำตาลมีความสำคัญต่อความแข็งของเมอแรงก์ โดย Soft meringue ใช้อัตราส่วนของน้ำตาลในปริมาณที่น้อยกว่าหรือใช้เท่ากับปริมาณของไข่ขาว ในขณะที่แบบ Hard meringue จะใช้อัตราส่วนของน้ำตาลมากกว่าไข่ขาวมากกว่า 2 เท่าซึ่งน้ำตาลจะทำให้การเกิดโฟมช้าลงแต่จะมีความคงตัวมากขึ้น

Fabio และคณะ (2011) ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำตาลต่อไข่ขาว กรดซิตริก และประเภทของไข่ขาว ต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของเมอแรงก์ โดยเตรียมอัตราส่วนน้ำตาลต่อไข่ขาว ระดับกรดซิตริกและประเภทของไข่ขาวที่แตกต่างกัน วิเคราะห์ผลโครงสร้างจุลภาคของเมอแรงก์โดยใช้ X-ray microtomography และวิเคราะห์สมบัติเชิงกลโดยใช้การทดสอบแรงกด (Compression Test) ผลการศึกษาพบว่าการใช้อัตราส่วนน้ำตาลน้อยสามารถเพิ่มขนาดของรูทำให้มีโพรงอากาศมาก ด้านสมบัติเชิงกลการเพิ่มน้ำตาลทำให้เมอแรงก์มีความแข็งและเปราะและการเพิ่มปริมาณกรดซิตริกทำให้ได้เมอแรงก์ที่นุ่มกว่า ผลของการใช้ประเภทไข่ขาวที่ต่างกันมีผลต่อโครงสร้างจุลภาคของเมอแรงก์และคุณสมบัติเชิงกลของเมอแรงก์โดยการใช้ไข่ขาวจากไข่สด ไข่พาสเจอไรส์และไข่ขาวที่เก็บในอุณหภูมิเย็นจะได้โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของเมอแรงก์ที่ดี (ร้อยละของโพรงอากาศ/ปริมาตรสูงกว่าพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยกว่าและเนื้อสัมผัสนุ่มกว่า) ในขณะที่การใช้ไข่ขาวผง ไข่ขาวแช่แข็งและไข่เก่าแสดงผลการให้คุณภาพเมอแรงก์ที่ไม่ดี

Annie (2012) ได้ศึกษาผลของสัดส่วนน้ำตาลต่อรสชาติและลักษณะโครงสร้างของฝามาการอง โดยใช้สัดส่วนของน้ำตาลทรายต่อน้ำตาลไอซิ่งที่แตกต่างกัน แบ่งเป็น 2 ตัวอย่าง ในตัวอย่างที่ 1 ส่วนผสมจะใช้อัตราส่วนน้ำตาลทราย : น้ำตาลไอซิ่ง 1:2 (ผงอัลมอนด์ 1.25 : น้ำตาลไอซิ่ง 1.60 : ไข่ขาว 1.00 : น้ำตาลทราย 0.80) ตัวอย่างที่ 2 ส่วนผสมจะใช้อัตราส่วนน้ำตาลทราย : น้ำตาลไอซิ่ง 1:7 (ผงอัลมอนด์ 1.25 : น้ำตาลไอซิ่ง 2.10 : ไข่ขาว 1.00 : น้ำตาลทราย 0.30) ผลการศึกษาพบว่าในการใช้ปริมาณน้ำตาลทรายที่มากในตัวอย่างส่วนผสมที่1 ให้ผลของเปลือกมาการองที่มีลักษณะสีขาวและเงากว่า ฐานเรียบกว่าแต่ขาไม่สูง (0.2 เซนติเมตร) มีโพรงอากาศที่เล็กและมีเนื้อสัมผัสเหนียวและแข็งกว่ามาการองที่ใช้ปริมาณน้ำตาลไอซิ่งมากในตัวอย่างที่ 2 โดยลักษณะของเปลือกมาการองมีขาสูงกว่า (0.5 เซนติเมตร) และมีลักษณะดูสมมาตรกว่าตัวอย่างที่ 1 พื้นผิวเป็นสีออกเหลือง มีโพรงอากาศที่ใหญ่กว่า มีฐานลักษณะหยาบและมีรูอากาศเล็กๆ

Arwa (2013) ได้ศึกษาผลของการเพิ่มซูโครสลงในไข่ขาวต่อความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมไข่ขาวหลังจากผ่านไปนาน 5 ชั่วโมง โดยใช้ความเข้มข้นซูโครสในระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน (ร้อยละ 0, 5, 10 และ 20) ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มซูโครสมีผลต่อความสามารถในการเกิดโฟม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซูโครสมากขึ้นทำให้ความสามารถในการเกิดโฟมลดลง โดยตัวอย่างที่ไม่ใส่ซูโครสค่าร้อยละของการเกิดโฟมอยู่ที่ร้อยละ 769 ในขณะที่ตัวอย่างที่ใส่ความเข้มข้นของซูโครสร้อยละ 20 ค่าร้อยละการเกิดโฟมลดลงเหลือ 558 ส่วนผลของความคงตัวโฟมไข่ขาวพบว่าการใช้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 10 และ 20 มีค่าร้อยละความคงตัวโฟมสูง เนื่องจากการเพิ่มซูโครสลงไปในไข่ขาวจะทำให้เพิ่มความหนืดกับตัวอย่างไข่ขาวโฟมจึงมีความคงตัวมากขึ้น

Masson (2014) ได้ศึกษาผลการทำมาการองจากไข่ขาวที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลสิส (น้ำไข่ขาวมาตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้) เปรียบเทียบกับไข่ขาวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ เพื่อดูลักษณะของการขึ้นของขามาการอง โดยใช้วิธีการทำมาการองแบบฝรั่งเศส ไข่ขาวที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลสิสใช้เวลาในการตีไข่ให้เป็นโฟมประมาณ 20 นาที นำไปผสมกับส่วนที่เป็นของแห้งคืออัลมอลด์ป่นและน้ำตาลไอซิ่ง ลักษณะของเมอแรงไม่ค่อยแข็ง โฟมยุบตัวได้ง่ายกว่า แล้วเมื่อนำไปอบเปลือกมาการองที่ออกมาไม่มีการขึ้นของขามาการอง ลักษณะเปลือกเป็นโพรงด้านใน แต่เนื้อสัมผัสที่ได้ยังคงมีลักษณะเหมือนมาการอง ในขณะที่ไข่ขาวที่ผ่านกระบวนการใช้เวลาในการตีให้ขึ้นฟูเพียง 10 นาที เวลาผสมแบทเทอร์มาการองออกมาปกติหลังจากอบแล้วเปลือกมาการองขึ้นขาสวยงาม ดังนั้นผลการศึกษาครั้งนี้สรุปว่าการทิ้งให้ไข่ขาวเกิดกระบวนการไฮโดรไลสิสมีผลต่อการขึ้นขาของมาการอง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ไข่ขาว (ไข่เบอร์ 3 โลตัส)

3.1.2 น้ำตาลทรายขาวแบบละเอียด (ลินท์ ผลิตในประเทศไทย)

3.1.3 น้ำตาลไอซิ่ง (อิมพีเรียล ผลิตในประเทศไทย)

3.1.4 ผงอัลมอนด์ป่น (เฮอริเทจ ผลิตในประเทศไทย)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องตีผสม Kitchen Aid (รุ่น Artisan model 5KSM150 (300W) ประเปทศสหรัฐอเมริกา

3.2.2 หัวตีตะกร้อ (Whisk)

3.2.3 หัวตีใบพาย (Paddle)

3.2.4 เตาไฟฟ้า (Electrolux รุ่น ETD29KC ประเทศจีน)

3.2.5 หม้อสแตนเลสตราหัวม้าลาย ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2.6 อ่างผสมสแตนเลสตราหัวม้าลาย

3.2.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (รุ่น ChefAlarm ThermoWorks ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.2.8 หัวบีบกลมเบอร์ 08

3.2.9 ถุงบีบพลาสติกขนาด 16 นิ้ว

3.2.10 ถาดอบสแตนเลสขนาด 20 x 30 ซม.

3.2.11 เตาอบพัดลมไฟฟ้า (Convection oven) (NC Machinery C0.LTD ประเทศจีน)

3.2.12 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร(Texture Analyzer) และหัววัดแบบ Compression Platen ขนาด p/75

3.2.13 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ เช่น กระบอกตวง บีกเกอร์ ตราชั่ง กล่องใส่อาหารพลาสติก ตู้เย็น

3.3 วิธีการดำเนินงาน

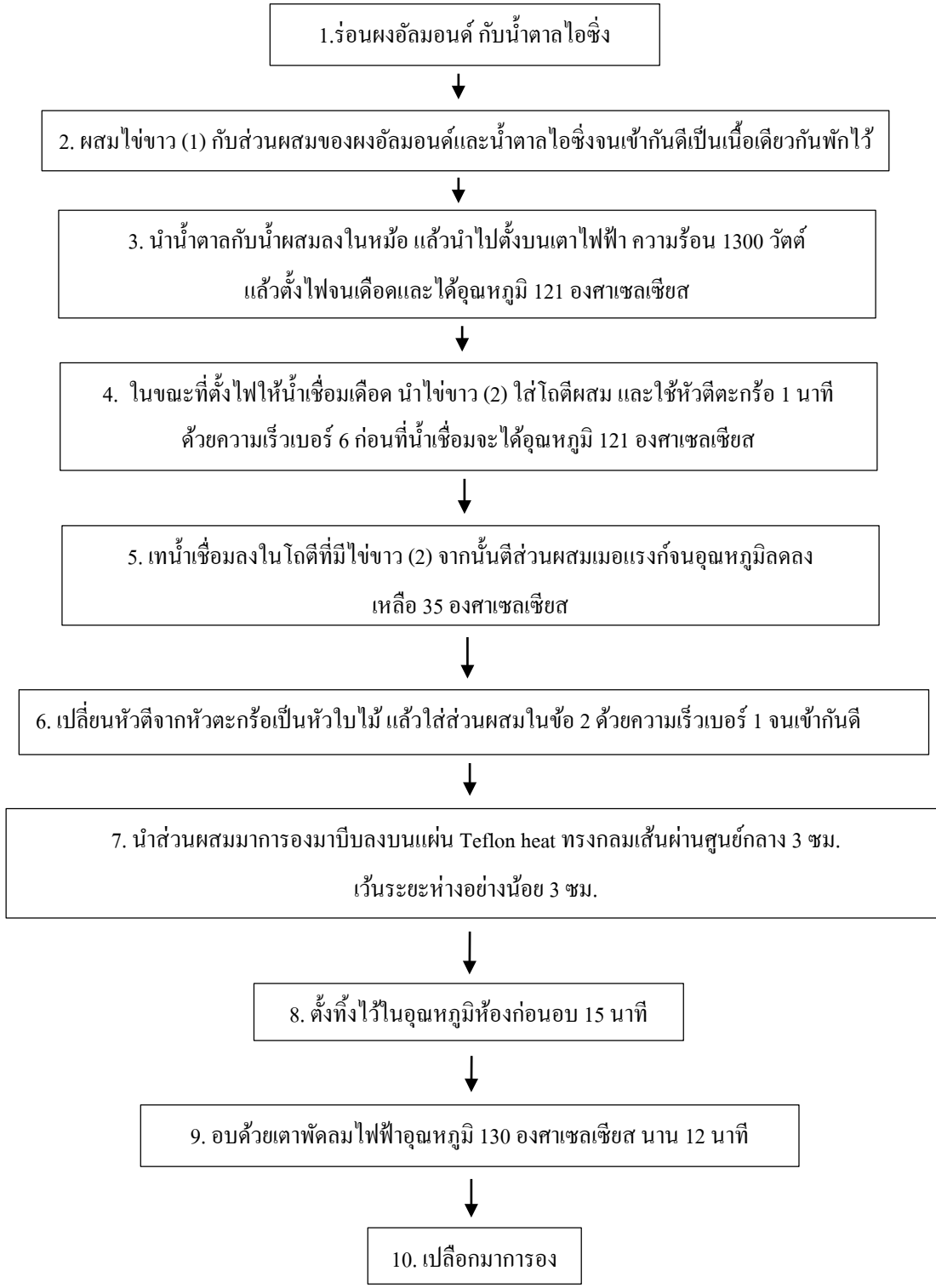
3.3.1 ศึกษาผลของเวลาการผสมส่วนผสมของแบทเทอร์มาการองต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง

ไข่ไก่ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้มาจากแสงชัยฟาร์มซึ่งผลิตให้กับเทสโก้โลตัส เลือกใช้ไข่ขนาดเบอร์ 3 ดูจากวันที่การผลิตที่ติดอยู่บนแผงเป็นตัวกำหนด วันเริ่มต้นคือ 0 วัน จากนั้นนำมาแยกไข่ขาวและไข่แดง แบ่งไข่ขาวใส่กล่องพลาสติกแบบระบบสุญญากาศ (Air tight) และเก็บในอุณหภูมิช่องแช่เย็น (5 องศาเซลเซียส) โดยมาการองที่ศึกษาในข้อนี้ใช้สูตรมาตรฐานตามตารางที่ 3.1 มาทำมาการองตามขั้นตอนในภาพที่ 3.1 ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการทำของเชฟปิแอร์ แอ็คเม่ (Pierre Hermé) เนื่องจากการมีคำกล่าวจากเชฟที่มีชื่อเสียงระดับโลกหลายท่านกล่าวว่าการทำมาการองต้องใช้ไข่เก่า ดังนั้นจึงนำไข่ขาวอายุการเก็บ 7 วัน มาใช้ในทำเปลือกมาการองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการผสมของส่วนผสมมาการองก่อนอบจะแปรระยะเวลาการผสมในขั้นตอนที่ 6 ตามภาพที่ 3.1 โดยแปรระยะเวลาผสมต่างกันที่ 1, 2, 3 และ 4 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 สูตรพื้นฐานของมาการอง

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
อัลมอลด์ป่น	150
น้ำตาลไอซิ่งร่อน	150
ไข่ขาว (1)	55
น้ำตาลทรายชนิดละเอียด	150
น้ำ	40
ไข่ขาว (2)	55

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Pierre Hermé (2015)



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทำมาการอง

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Pierre Hermé (2015)

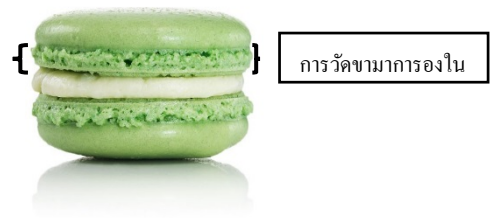
จากนั้นนำเปลือกมาการองแล้วนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆตามหัวข้อดังนี้

3.3.1.1 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสส่วนผสมแบทเทอร์มาการอง (Macaron batter)

นำส่วนผสมแบทเทอร์มาการองปริมาณ 150 กรัม มาวัดลักษณะทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องมือ Texture Analyzer (รุ่น TA-XT Plus) ใช้วิธี backward extrusion ความเร็วในการกด 3 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทาง 3 เซนติเมตร วัดค่าความแน่นเนื้อ (firmness) และการเกาะตัว (cohesiveness) ของส่วนผสมแบทเทอร์มาการอง วัดค่าการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.1.2 การวัดคุณลักษณะทางกายภาพ เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของขาเปลือกมาการอง

ใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบอนาล็อคในการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของขาเปลือกมาการองจากฐานล่างสุดของขาจนถึงขอบเปลือก ดังแสดงในภาพที่ 3.2 เพื่อดูการแผ่ของเปลือกมาการอง และความสามารถในการขึ้นของขาเปลือกมาการอง



ภาพที่ 3.2 การวัดขามาเปลือกมาการอง

3.3.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง

นำเปลือกมาการองมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA-XT PLUS) โดยวิธี Compression test และ การวัดแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ใช้หัววัดแบบ Compression platen ขนาด P/75 ตั้งค่าในการทดสอบใช้ความเร็วในการกด 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ร้อยละ 50 ของ Strain วัดค่าความเปราะ (fracturability) ความแข็ง (hardness) และการเกาะตัว (cohesiveness) ของเปลือกมาการอง โดยวัดค่าการขึ้นของเปลือกมาการอง 10 ชิ้น แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.3.1.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำเปลือกมาการองที่เวลาในการผสมแตกต่างกัน (1-4 นาที) มาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน เป็นผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทางด้านเบเกอรี่ไม่ต่ำกว่า 5 ปี เคยมีประสบการณ์การทำมาการองมาก่อน การทดสอบใช้วิธี Just about Right (JAR) และการประเมินระดับการยอมรับ (Hedonic 9 points scale) โดยมีปัจจัยคุณภาพด้านลักษณะทรงกลม ความสูงของขา ลักษณะของโพรง ความแข็ง ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว และความชอบโดยรวม

3.3.1.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำค่าการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแบทเทอร์มาการอง เส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของขาเปลือกมาการอง เนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design : CRD) มีระยะเวลาการผสมส่วนผสมมาการองก่อนอบเป็นตัวแปรที่ศึกษา วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS เวอร์ชั่น 21 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

วิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการอง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS เวอร์ชั่น 21 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

จากค่าวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ เลือกระยะเวลาการผสมส่วนผสมแบทเทอร์มาการองที่เหมาะสม

3.3.2 ศึกษาผลของอายุการเก็บไข่ขาวต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง

ไข่ไก่ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้มาจากแสงชัยฟาร์มซึ่งผลิตให้กับเทสโก้โลตัส เลือกใช้ไข่ขนาดเบอร์ 3 ดูจากวันที่การผลิตที่ติดอยู่บนแผงเป็นตัวกำหนด วันเริ่มต้นคือ 0 วัน จากนั้นนำมาแยกไข่ขาวและไข่แดง แบ่งไข่ขาวใส่กล่องพลาสติกแบบระบบสุญญากาศ (Air tight) และเก็บในอุณหภูมิช่องแช่เย็น (5 องศาเซลเซียส) โดยมาการองที่ศึกษาในข้อนี้ใช้สูตรมาตรฐานตามตารางที่ 3.1 มาทำมาการองตามขั้นตอนในภาพที่ 3.1 ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการทำของเชฟปิแอร์ แอ็คเม่ (Pierre Hermé) โดยในการศึกษาอายุการเก็บไข่ขาวจะทำการแบ่งไข่ขาวออกเป็น 6 กล่อง และเก็บในอุณหภูมิช่องแช่เย็น (5 องศาเซลเซียส) โดยแต่ละกล่องจะนำมาทดลองเมื่อไข่ขาวมีอายุครบ 0, 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ โดยศึกษาความสามารถในการเกิดโฟม (Foamability) ความคงตัวของโฟม (Foam stability) ลักษณะเนื้อสัมผัสส่วนผสมแบทเทอร์มาการอง ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง และ การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการอง ดังนี้

3.3.2.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการเกิดโฟม (Foamability)

ดัดแปลงวิธีการคำนวณความสามารถในการเกิดโฟมจาก Arwa (2013) โดยนำไข่ขาวมาตีปั่นให้ขึ้นโฟมโดยใช้ไข่ขาวปริมาตร 30 มิลลิลิตร ตีด้วยเครื่องตีผสม Artisan Kitchen Aid (รุ่น 5KS/M 150) ความเร็วเบอร์ 4 ตีเป็นเวลา 3 นาที แล้วเพิ่มความเร็วเป็นเบอร์ 6 ตีเป็นเวลา 1 นาที แล้วนำมาวัดปริมาตรโฟม คำนวณร้อยละการเกิดโฟม (foamability) ดังนี้

$$\text{ร้อยละการเกิดโฟม} = \frac{\text{ปริมาตรโฟมหลังการตีปั่น}}{\text{ปริมาตรของเหลวเริ่มต้นก่อนตีโฟม}} \times 100$$

3.3.2.2 การวิเคราะห์ความคงตัวโฟม (Foam stability)

ดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์จากณัฐบดี และ สุรชาติ (2558) นำโฟมไข่ขาวที่ตีตามวิธีข้อ 3.3.2.1 บรรจุใส่ลงในกรวยแก้วแล้วรองรับของเหลวที่แยกตัวออกมาจากฟองโฟมด้วยกระบอกตวงขนาด100 มิลลิลิตร แล้วบันทึกปริมาณของเหลวที่แยกตัวออกมา แล้วคำนวณร้อยละความคงตัวของโฟมดังนี้

$$\text{ร้อยละความคงตัวโฟม} = \frac{\text{ปริมาตรโฟมหลังการตีปั่น} - \text{ปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกจากโฟม}}{\text{ปริมาตรโฟมหลังการตีปั่น}} \times 100$$

และนำมาทดลองดังนี้

1.) นำไข่ขาวที่เหลือมาทำมาการองโดยใช้สูตรตามตารางที่ 3.1 และตามลำดับขั้นตอนในภาพที่ 3.1

2.) นำมาวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสส่วนผสมแบทเทอร์มาการองตามข้อ 3.3.1.1

3.) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง ตามข้อ 3.3.1.3

4.) ทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองตามข้อ 3.3.1.4 และวิเคราะห์ทางสถิติตามข้อ 3.3.1.5 โดยมีอายุการเก็บไข่ขาวเป็นตัวแปรในการศึกษา

การศึกษานี้คัดเลือกช่วงอายุการเก็บไข่ขาวที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเปลือกมาการองเพื่อนำไปศึกษาทดลองในขั้นต่อไป

3.3.3 ศึกษาผลการลดน้ำตาลในสูตรต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง

ในการศึกษานี้แปรปริมาณน้ำตาลทรายในน้ำเชื่อมในขั้นตอนการตีเมอแรงค์และน้ำตาลไอซิ่งโดยใช้ปริมาณ ร้อยละ 80 - 100 จากสูตรเดิม (120-150 กรัม) เนื่องจากในการทดลองเบื้องต้นพบว่าการลดปริมาณน้ำตาลในสูตรให้ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 80 ส่งผลให้เปลือกของมาการองที่ได้ไม่มีขาเปลือกของมาการองซึ่งเป็นลักษณะของมากรองที่ดี โดยในการศึกษานี้ได้เลือกช่วงอายุการเก็บไข่ขาวในการทำมาการองที่เหมาะสมจากการศึกษาในข้อ 3.3.2 ใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design : CCD) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology : RSM) โดยใช้โปรแกรม Design expert เวอร์ชั่น 10 ในการประเมินข้อมูล

ตารางที่ 3.2 การวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design: CCD)

สิ่งที่ทดลองที่	ปริมาณน้ำตาลทราย (กรัม)	ปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (กรัม)
1	120	120
2	120	135
3	120	150
4	135	120
5	135	135
6	135	150
7	150	120
8	150	135
9	150	150
10	135	135
11	135	135
12	135	135
13	135	135

นำสิ่งทดลองทั้ง 13 การทดลองมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ โดยการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสส่วนผสมแบทเทอร์มาการองตามข้อ 3.3.1.1 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการองตามข้อ 3.3.1.3 และทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองตามข้อ 3.3.1.4

3.3.3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติและกำหนดค่าสมการทำนาย

ผลการทดลองที่ได้นำไปหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต้น คือ ปริมาณน้ำตาลทรายและปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง และตัวแปรตาม คือ ค่าเนื้อสัมผัสของส่วนผสมมาการองก่อนอบ และค่าเนื้อสัมผัสเปลือกมาการอง) หาสมการทำนายโดยกำหนดให้ปริมาณน้ำตาลทราย และน้ำตาลไอซิ่งที่ในปริมาณที่ต่ำที่สุดที่ทำให้เปลือกมาการองมีค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเปราะหรือการแตกหัก (fracturability) ที่ต่ำที่สุด โดยรายงานผลด้วยการวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology : RSM) โดยใช้โปรแกรม design expert เวอร์ชั่น 10

3.3.3.6 การทดสอบค่าสมการทำนาย

นำค่าทำนายในข้อ 3.3.3.5 ที่มีค่าสัดส่วนปริมาณน้ำตาลทรายและน้ำตาลไอซิ่งที่ต่ำที่สุดที่ได้จากสมการมาผลิตเปลือกมาการองตามขั้นตอนในภาพที่ 3.1 แล้วทำการวิเคราะห์ค่าตัวแปรตาม คือ ค่าเนื้อสัมผัสของส่วนผสมแบทเทอร์มาการอง และค่าเนื้อสัมผัสเปลือกมาการองที่ได้ไปวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างผลวิเคราะห์ที่ได้จากสมการทำนายและค่าวิเคราะห์จริงที่ได้จากการทดลอง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ T-Test

3.3.3.7 การทดสอบประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลและเปลือกมาการองสูตรลดน้ำตาล

นำเปลือกมาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลตามในตารางที่ 3.1 และเปลือกมาการองสูตรลดน้ำตาลที่ได้จาสมการทำนายมาทำการประเมินระดับการยอมรับ (Hedonic 9 points scale) โดยมีปัจจัยคุณภาพ ได้แก่ ลักษณะทรงกลม ความสูงของขา ลักษณะของโพรง ความแข็ง ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว และความชอบโดยรวม

3.3.4 การศึกษาการยอมรับของมาการองสูตรลดน้ำตาล

ศึกษาการยอมรับของมาการองสูตรลดน้ำตาล โดยนำเปลือกมาการองที่มีการลดปริมาณน้ำตาล มาประกบกันพร้อมใส่ไส้ครีมวานิลลา และครีมราสเบอรี่และเปรียบเทียบกับเปลือกมาการองสูตรที่ไม่ลดน้ำตาล (ตารางที่ 3.1) พร้อมใส่ไส้เดียวกันจากนั้นนำตัวอย่างมาการองทั้ง 4 ชนิด มาทดสอบทางประสาทสัมผัส (Hedonic 9 points scale) โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทางด้านเบเกอรี่ไม่ต่ำกว่า 5 ปี เคยมีประสบการณ์การทำมาการองมาก่อน จำนวน 10 คน ปัจจัยคุณภาพตามในแบบสอบถาม คือ ลักษณะทรงกลม ความสูงของขา ลักษณะของโพรง ความแข็ง ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว เนื้อสัมผัสของมาการองพร้อมไส้ รสชาติ และความชอบโดยรวม นอกจากนั้นในแบบสอบถามให้ผู้ทดสอบชิมทำการจัดลำดับความชอบของมาการอง โดยวิธี Ranking test

3.3.4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการอง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS เวอร์ชั่น 21 โดยการทดลอง 3 ซ้ำ สำหรับข้อมูลการจัดลำดับความชอบของมาการอง (Ranking Test) นำคะแนนมาหาค่าเฉลี่ย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาผลของเวลาการผสมส่วนผสมของแบทเทอร์มาการองต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง

นำไข่ขาวที่เก็บในอุณหภูมิช่องแช่เย็น (5 องศาเซลเซียส) 7 วัน มาใช้ทำมาการอง โดยใช้สูตรพื้นฐานตามตารางที่ 3.1 มาทำมาการองตามขั้นตอนในภาพที่ 3.1 ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการทำของเชฟปิแอร์ แอ็คเม่ โดยศึกษาเวลาการผสมของส่วนผสมมาการองก่อนอบที่ 1, 2, 3 และ 4 นาที ตามลำดับ ผลการศึกษาเวลาการผสมส่วนผสมของมาการองก่อนอบต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง เป็นไปดังนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสส่วนผสมแบทเทอร์มาการอง (Macaron Batter)

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA-XT Plus) ด้วยวิธี Backward extrusion โดยวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) และความสามารถในการเกาะตัว (cohesiveness) ของส่วนผสมมาการองก่อนอบ (ตารางที่ 4.1) พบว่า เวลาที่ใช้ในการผสมส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อ และความสามารถในการเกาะตัว ของส่วนผสมแบทเทอร์มาการอง (marcaron batter) ที่ได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ระยะเวลาตีผสม 1 นาที ทำให้ส่วนผสมไม่เข้ากันดีจึงทำให้ส่วนผสมไม่มีความฟูและทำให้ส่วนผสมมีความหนืดมาก แต่เมื่อเพิ่มเวลาการผสมเป็นเวลา 2-3 นาที ส่วนผสมที่ได้มีความเข้ากันดีและส่วนผสมมีความหนืดลดลง และเมื่อผสมเวลา 4 นาที ส่วนผสมมีความเข้ากันแต่มีความหนืดของส่วนผสมลงลดอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากแรงที่เกิดจากการผสมและเวลาที่ใช้ในการผสมส่วนผสมนั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้างและการยุบตัวของโฟมไข่ขาวซึ่งเกิดจากการเสียสภาพของโปรตีนจากแรงกล (การตี) โดยการตีโฟมไข่ขาวที่มากเกินไป ส่งผลให้ฟองอากาศที่ได้มีขนาดเล็กลงและส่งผลให้ผนังฟิล์ม (thin film หรือ lamella) ที่กัก

เก็บอากาศไว้นั้นมีลักษณะบางขึ้นทำให้โฟมไข่ขาวเกิดการยุบตัว และส่งผลให้ปริมาตรการระบายของเหลวออกจากโฟมไข่ขาวเพิ่มขึ้น (Vega และ Sanghvi, 2012)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสส่วนผสมแบทเทอร์มาการองที่เวลาการผสมที่แตกต่างกัน

เวลา (นาที)	ความแน่นเนื้อ (กิโลกรัม.แรง)	ความสามารถในการเกาะตัว
1	$0.189^{b} \pm 0.000$	$264.02^{a} \pm 0.00$
2	$0.105^{a} \pm 0.002$	$197.29^{b} \pm 1.89$
3	$0.100^{a} \pm 0.006$	$180.89^{b} \pm 3.00$
4	$0.099^{a} \pm 0.008$	$183.18^{b} \pm 18.23$

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

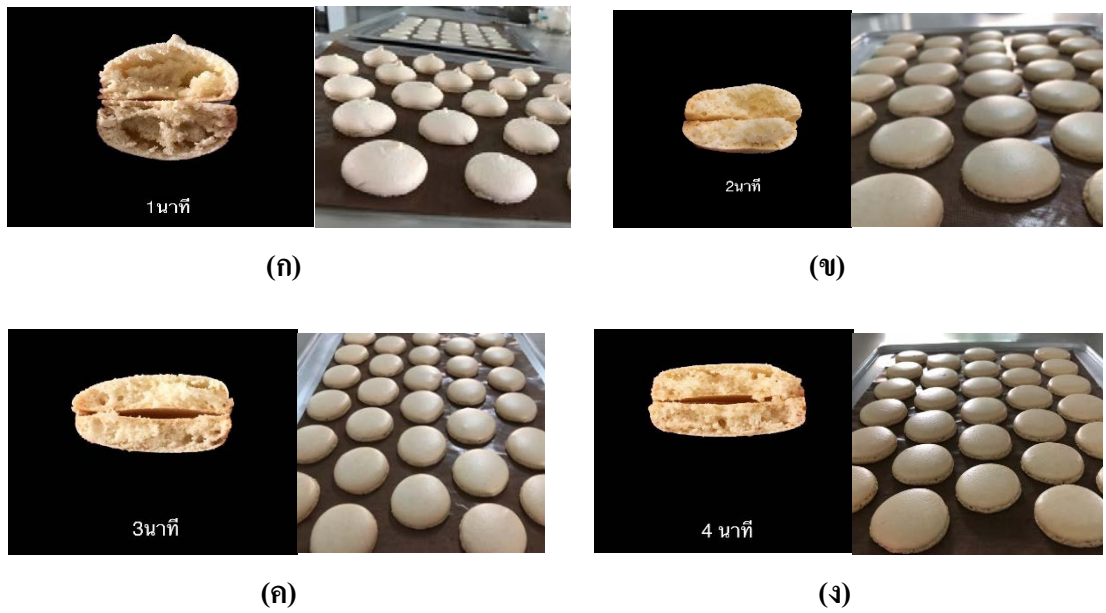
4.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของขามาการอง

ผลวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของขามาการองที่ได้จากการอบส่วนผสมที่ระยะเวลาการผสม 1, 2, 3 และ 4 นาที แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า เวลาในการผสมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปลือกของมาการองที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางและมีความสูงของขามาการอง (Leg height) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเวลาในการผสมที่น้อยหรือมากเกินไปมีผลต่อความคงตัวและความหนืดของแบทเทอร์ของมาการอง ซึ่งจากตารางที่ 4.1 แสดงการลดลงของค่าความแน่นเนื้อและความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์มาการองเมื่อระยะเวลาในการผสมเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อนำแบทเทอร์ที่มีความหนืดลดลงไปอบเป็นเปลือกมาการองทำให้เปลือกมาการองที่ได้มีลักษณะแบนหรือยุบตัวและขยายตัวออกไปด้านข้างและขาของมาการองที่ได้จะสูงแต่จะมีความสูงที่ไม่สม่ำเสมอกัน โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่า ที่ระยะเวลาการผสมนาน 2 นาที มีการขยายตัวออกด้านข้างของเปลือกมาการองโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกมาการองหลังอบน้อยที่สุด เท่ากับ 0.27 มิลลิเมตร และความสูงของขามาการอง เท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร ดังนั้นเวลาในการผสมส่วนผสมที่ 2 นาที จึงเป็นเวลาที่น้อยที่สุดในการผสมส่วนผสมของมาการอง

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของขาเปลือกมาการองที่เวลาการผสมที่แตกต่างกัน

เวลา (นาที)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความสูงของขามาการอง (Leg height) (มิลลิเมตร)
1	$0.76^{c} \pm 0.16$	$0.11^{a} \pm 0.01$
2	$0.27^{a} \pm 0.09$	$0.10^{a} \pm 0.00$
3	$0.51^{b} \pm 0.06$	$0.10^{a} \pm 0.00$
4	$0.90^{d} \pm 0.18$	$0.19^{b} \pm 0.03$

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



(ก) **(ข)**

(ค) **(ง)**

ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงรูปตัดขวางและด้านข้างของเปลือกมาการองที่เวลาผสม 1 นาที (ก) 2 นาที (ข) 3 นาที (ค) และ 4 นาที (ง)

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการองที่ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์แบบ Texture Profile Analysis (TPA) ทางด้านความเปราะ (fracturability) ความแข็ง (hardness) และความสามารถในการเกาะตัว (cohesiveness) ของเปลือกมาการอง แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า ที่เวลาการผสม 1 นาทีมีค่าความแข็งและความสามารถในการเกาะตัว ของเปลือกมาการองน้อยที่สุด เนื่องจากเวลาการผสมที่น้อยเกินไปส่งผลต่อความเข้ากันของส่วนผสม ทำให้เปลือกมาการองที่ได้มีการแผ่ออกด้านข้างแบบไม่สม่ำเสมอ พื้นผิวของเปลือกไม่เรียบและมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ร่วน แตกง่าย และมีโพรงอากาศที่ใหญ่มาก (ภาพที่ 4.1ก) ที่เวลาการตีผสม 2 นาที มีค่าความเปราะต่ำที่สุดและความแข็งสูงที่สุด เนื่องจากส่วนผสมของแบทเทอร์มาการองมีการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันทำให้เปลือกของมาการองที่ได้มีความคงตัว เนื่องจากมีความแน่นเนื้อและความสามารถในการเกาะตัว ที่สูง (ตารางที่ 4.1) ทำให้เปลือกมาการองที่ได้คงรูปร่างและมีการแผ่ออกด้านข้างน้อย (ตารางที่ 4.2) และผิวของมาการองที่ได้มีความเรียบและมีโพรงภายในเปลือกที่เล็กสม่ำเสมอ (ภาพที่ 4.1ข) และที่เวลาการผสม 3 และ 4 นาทีมาการองที่ได้จะมีความแข็งของเปลือกมาการองลดลง แต่มีความสามารถในการเกาะตัว ของเปลือกมาการองเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาการผสมที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแน่นเนื้อและความสามารถในการเกาะตัว ของแบทเทอร์มาการองลดลง (ตารางที่ 4.1) ทำให้แบทเทอร์ที่ได้มีความหนืดลดลงและเกิดการยุบตัวเมื่อนำมาอบเป็นเปลือกของมาการองจึงการแผ่ออกด้านข้าง (ตารางที่ 4.2) ทำให้มาการองที่ได้มีความแบน มีเนื้อในโพรงที่เกาะกันแน่น และมีโพรงไม่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 4.1ค และ 4.1ง) ดังนั้นเวลาการผสมที่นานเกินไปทำให้แบทเทอร์ของมาการองมีความหนืดลดลงและเกิดการยุบตัว เปลือกมาการองที่ได้จึงมีความแบนและมีเนื้อในเกาะกันแน่น มีผลทำให้ความแข็งของเปลือกมาการองลดลงและความสามารถในการเกาะตัว ของเปลือกมาการองเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการผสมส่วนผสมแบทเทอร์มาการอง

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการองที่เวลาการผสมที่แตกต่างกัน

เวลา (นาที)	ความเปราะ (กิโลกรัม.แรง)	ความแข็ง (กิโลกรัม.แรง)	ความสามารถในการเกาะกัน
1	$0.645^{b} \pm 0.199$	$0.865^{a} \pm 0.224$	$0.125^{a} \pm 0.02$
2	$0.777^{c} \pm 0.072$	$10.009^{b} \pm 3.055$	$0.245^{b} \pm 0.01$
3	$0.493^{a} \pm 0.105$	$9.516^{b} \pm 3.989$	$0.323^{c} \pm 0.02$
4	$0.602^{ab} \pm 0.154$	$8.687^{b} \pm 4.783$	$0.315^{c} \pm 0.03$

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.1.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองที่เวลาในการผสมแตกต่างกัน

นำเปลือกมาการองที่เวลาในการผสมแตกต่างกัน (1-4 นาที) มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทางด้านเบเกอรี่ไม่ต่ำกว่า 5 ปี เคยมีประสบการณ์การทำมาการองมาก่อน โดยใช้วิธีการประเมินระดับความพอดี Just about Right (JAR) แสดงในตารางที่ 4.4 และการประเมินระดับการยอมรับ (Hedonic 9 points scale) ผลการทดสอบทางด้านปัจจัยคุณภาพของเปลือกมาการองแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินระดับความพอดีของระยะเวลาการผสมของแบทเทอร์มาการองที่เหมาะสมต่อการทำเปลือกมาการอง (3 points Just About Right : JAR) (n=10)

ปัจจัยคุณภาพ	ระดับความพอดี (ร้อยละ)	เวลาผสม (นาที)			
		1	**2**	**3**	**4**
ลักษณะทรงกลม	น้อยไป	60	-	-	10
	พอดี	40	100	100	50
	มากไป	-	-	-	40
ความสูงของขา	น้อยไป	80	60	60	30
	พอดี	10	40	40	50
	มากไป	10	-	-	20
ลักษณะของโพรง	น้อยไป	50	60	60	60
	พอดี	30	40	20	20
	มากไป	20	-	20	20
ความแข็ง	น้อยไป	40	20	20	30
	พอดี	40	60	60	50
	มากไป	20	20	20	20
ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว	น้อยไป	60	40	20	30
	พอดี	30	40	50	20
	มากไป	10	20	30	50

ผลการประเมินระดับความพอดีของระยะเวลาการผสมของแบทเทอร์มาการองที่เหมาะสมต่อการทำเปลือกมาการอง แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ผลการประเมินระดับความพอดีของปัจจัยคุณภาพ คือ ลักษณะทรงกลมและความแข็ง ของเปลือกมาการองที่ใช้เวลาในการผสม 2 และ 3 นาที อยู่ในระดับที่พอดีมากที่สุด คือ ร้อยละ 100 และ ร้อยละ 60 ตามลำดับ และระดับความพอดีของลักษณะโพรงที่เวลาในการผสม 2 นาทีมีระดับความพอดีมากที่สุด คือ ร้อยละ 40 โดยผลการประเมินระดับความพอดีด้านลักษณะทรงกลมและลักษณะโพรงของเปลือกมาการองมีความสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของเปลือกมาการอง (ภาพที่ 4.1) โดยที่เวลาการผสม 1 นาที ระยะเวลาในการผสมที่น้อยเกินไปทำให้พื้นผิวของเปลือกมาการองมีความขรุขระแตกร่วนเป็นวงกลมที่ไม่เสมอกัน มีลักษณะโพรงที่ใหญ่เนื้อในจับกันเป็นก้อนแน่น (ภาพที่ 4.1ก) ที่เวลาในการผสม 2 นาที เปลือกมาการองที่ได้มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมีการคงรูปเป็นวงกลมที่มีความสมบูรณ์ไม่ยุบแบน มีลักษณะของโพรงในเปลือกมาการองที่มีขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอของขนาดโพรงในเปลือกมาการอง (ภาพที่ 4.1ข) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีของเปลือกมาการอง ในขณะที่ที่เวลาในการผสม 3 และ 4 นาที เปลือกมาการองที่ได้มีพื้นผิวเรียบแต่มีลักษณะวงกลมที่ไม่เสมอกันเปลือกมีความยุบแบนมีลักษณะของโพรงในเปลือกมาการองเป็นโพรงใหญ่เล็กไม่สม่ำเสมอและมีเนื้อเกาะกันเป็นกลุ่มๆ (ภาพที่ 4.1ค และ 4.1ง) ดังนั้นจากผลการประเมินระดับความพอดีที่ได้สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้นของการยอมรับของเปลือกมาการองที่ได้จากแบทเทอร์มาการองที่มีเวลาในการผสม 2 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากมีพื้นผิวเรียบเปลือกเป็นวงกลมที่ความสมบูรณ์และมีลักษณะของโพรงที่เล็กเนื้อในมีการกระจายตัวดี

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินการยอมรับ (Hedonic 9 points scale) ของเปลือกมาการองที่เวลาการผสมแตกต่างกัน (n=10)

เวลา (นาที)	ปัจจัยคุณภาพ					
	ลักษณะทรงกลม	ความสูงของขา^{ns}	ลักษณะของโพรง^{ns}	ความแข็ง	ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว^{ns}	ความชอบโดยรวม^{ns}
1	5.30^{a} ± 2.79	4.80 ± 1.87	5.10 ± 1.66	5.30^{a} ± 1.77	4.40 ± 2.46	5.50 ± 1.58
2	7.90^{b} ± 0.56	6.00 ± 1.56	6.00 ± 2.31	7.20^{b} ± 1.03	6.10 ± 2.60	6.50 ± 1.58
3	7.70^{b} ± 1.06	6.10 ± 1.97	5.80 ± 1.62	6.50^{ab} ± 1.51	5.60 ± 2.22	6.30 ± 1.42
4	6.50^{ab} ± 1.90	5.80 ± 2.62	4.90 ±2.18	5.40^{a} ± 2.27	4.60 ± 2.54	5.30 ± 2.00

^{a} Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p>0.05$)

ผลการประเมินคะแนนการยอมรับของเปลือกมาการองที่เวลาการผสมแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า เวลาในการผสมที่แตกต่างกันมีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะทรงกลมและความแข็งของเปลือกมาการองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความชอบโดยรวมของเปลืองมาการองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยที่เวลาในการผสม 2 นาทีมีคะแนนด้านลักษณะทรงกลมความแข็ง ความเหนียวนุ่มขณะเคี้ยว และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งผลคะแนนการยอมรับของเปลือกมาการองมีผลสอดคล้องกับผลการประเมินระดับความพอดีด้านลักษณะทรงกลมและความแข็ง (ตารางที่ 4.4) และเมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับด้านลักษณะโพรงในเปลือกมาการอง พบว่าที่ระยะเวลาการผสมที่ 2 นาทีมีผลการประเมินคะแนนความชอบสูงที่สุดซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะของโพรงในเปลือกมาการองที่เวลาในการผสม 2 นาที (ภาพที่ 4.1ข) ที่มีลักษณะปรากฏของโพรงในเปลือกมาการองที่ดี

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ในข้อ 4.1 คุณภาพของแบทเทอร์และเปลือกมาการองด้านต่างๆ จึงเลือกใช้ระยะเวลาในการผสมที่ 2 นาที มาใช้เป็นมาตรฐานในการเตรียมเปลืองมาการองเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาปัจจัยต่างๆ ต่อไป

4.2 ผลการศึกษาอายุการเก็บไข่ขาวที่มีต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง

นำไข่ขาวเก็บที่อุณหภูมิช่องแช่เย็น (5 องศาเซลเซียส) นาน 0-28 วัน มาตีเป็นโฟมไข่ขาวเมื่อไข่มีอายุครบ 0, 3, 7, 14, 21, 28 วันตามลำดับ แล้วนำมาศึกษาผลของความสามารถในการเกิดโฟม (foamability) (ตารางที่ 4.7) ความคงตัวของโฟม (foam stability) (ตารางที่ 4.8) ผลของอายุการเก็บไข่ขาวต่อเนื้อสัมผัสของส่วนผสมแบทเทอร์มาการอง (ตารางที่ 4.9) ผลของอายุการเก็บไข่ขาวต่อเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง (ตารางที่ 4.10) ผลการประเมินระดับความพอดี (JAR) (ตารางที่ 4.11) และผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.12) ผลที่ได้มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ผลของอายุการเก็บไข่ขาวต่อความสามารถในการเกิดโฟม

ผลการศึกษาอายุการเก็บไข่ขาวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 0-28 วัน ต่อความสามารถในการขึ้นโฟมของไข่ขาว แสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า ไข่ขาวที่อายุการเก็บ 0 และ 3 วัน มีค่าร้อยละการเกิดโฟมเท่ากับ ร้อยละ 466.67 และ 497.78 ตามลำดับ และที่อายุการเก็บ 7 วัน มีค่าร้อยละการเกิดโฟมสูงที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 583.33 แต่เมื่อเก็บไข่ขาวไว้นานมากกว่า 14 วัน

ค่าร้อยละการเกิดโฟมของไข่ขาวจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากอายุการเก็บไข่ขาวที่นานขึ้นมีผลต่อระยะเวลาการทำงานของเอนไซม์ที่มีในไข่ขาวซึ่งทำปฏิกิริยาและย่อยสลายโปรตีนทำให้โปรตีนในไข่ขาวมีขนาดของโมเลกุลเล็กลงหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล ทำให้โปรตีนเสียคุณสมบัติในการจับกับน้ำ (water binding) ทำให้ไข่ขาวที่ได้มีความหนืดลดลง โดยความหนืดของไข่ขาวที่เปลี่ยนไปมีผลต่อความสามารถในการกักเก็บอากาศของโฟมไข่ขาว โดยการเก็บไข่ขาวที่ 0-3 วัน ไข่ขาวจะมีความหนืดมากที่สุดซึ่งความหนืดของไข่ขาวที่มากเกินไปมีผลทำให้เกิดฟองอากาศที่ได้มีขนาดที่เล็กมากและตีขึ้นโฟมได้ยากเนื่องจากโครงสร้างโปรตีนในไข่ขาวมีความแข็งแรงและจับตัวกันแน่น ในขณะที่การเก็บไข่ขาวที่ 7 วัน ไข่ขาวจะมีความหนืดลดลงในช่วงเหมาะสมมีผลทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเล็กกระจายตัวเสมอกันและตีขึ้นโฟมได้ง่ายเนื่องจากโครงสร้างโปรตีนมีการคลายตัวมากขึ้น ในขณะที่ไข่ขาวที่อายุการเก็บ 14-28 วัน จะมีความหนืดของไข่ขาวน้อย ไข่ขาวที่ได้มีความหนืดน้อยเกินไปมีผลให้โฟมไข่ขาวที่ได้มีฟองอากาศขนาดใหญ่และมีผนังฟิลม์ (thin film หรือ lamella) ที่บางทำให้ไม่สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้จึงเกิดการยุบตัวหรือไม่ขึ้นโฟม ดังนั้นอายุการเก็บไข่ขาวที่นานขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการเก็บโฟมของไข่ขาวลดลงซึ่งสอดคล้องกับ Silverside และBudgell (2004) ที่พบว่า เมื่อนำไข่ขาวที่เก็บไว้เป็นระยะเวลานาน 5-10 วัน มาตีโฟม อายุของไข่ขาวที่เก็บนานขึ้นมีผลทำให้น้ำหนักและความสูงของโฟมไข่ขาวที่ได้ลดลง

ตารางที่ 4.6 ผลของอายุการเก็บไข่ขาว (0-28 วัน) ต่อร้อยละความสามารถในการเกิดโฟม

เวลาในการเก็บไข่ขาว (วัน)	ความสามารถในการเกิดโฟม (ร้อยละ)
0	$466.67^{a} \pm 16.67$
3	$497.78^{b} \pm 3.85$
7	$583.33^{c} \pm 0.00$
14	$503.33^{b} \pm 12.02$
21	$477.78^{ab} \pm 25.46$
28	$494.44^{b} \pm 09.62$

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.2 ผลของอายุการเก็บไข่ขาวต่อความคงตัวของโฟม

จากผลการศึกษาอายุการเก็บไข่ขาวที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0-28 วัน ต่อความคงตัวของโฟมไข่ขาว โดยการตั้งโฟมทิ้งไว้นาน 180 นาที โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโฟมทุก 30 นาที แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า อายุการเก็บไข่ขาวที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการตั้งโฟมที่นานขึ้นมีผลทำให้ความคงตัวของโฟมไข่ขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งที่อายุการเก็บไข่ขาว 0 วัน มีความคงตัวของโฟมไข่ขาวสูงที่สุด เนื่องจากมีโครงสร้างโปรตีนไข่ขาวที่จับตัวกันแน่นและมีสมบัติการจับตัวกับน้ำสูงทำให้ไข่ขาวมีความหนืดสูงทำให้โฟมไข่ขาวที่ได้มีลักษณะฟองอากาศที่ละเอียดเนื้อโฟมมีความแน่น เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานโฟมไข่ขาวที่ได้มีอัตราการแยกตัวของของเหลวต่ำ และที่อายุการเก็บไข่ 3-28 วัน มีแนวโน้มของความคงตัวของโฟมไข่ขาวลดลงอย่างเนื่อง เนื่องจากโครงสร้างโปรตีนไข่ขาวเริ่มคลายตัวเป็นสายโปรตีนที่เกาะตัวกันน้อยลงทำให้มีสมบัติการจับกับน้ำลดลงส่งผลทำให้ความหนืดของไข่ขาวค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้โฟมไข่ขาวที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น โฟมไข่ขาวที่ได้จะมีความเบาเกิดการแตกของผนังฟิมล์และยุบตัวได้ง่ายเมื่ออายุการเก็บไข่ขาวเพิ่มขึ้น และเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานโฟมไข่ขาวที่ได้มีแนวโน้มของอัตราการแยกตัวของของเหลวสูงขึ้น ดังนั้นอายุการเก็บไข่ขาวที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลทำให้ความคงตัวของซึ่งสอดคล้องกับ Alleoni และ Autunes (2004) ซึ่งศึกษาความคงตัวของโฟมอัลบูมิน และเอส-โอวัลบูมินในไข่ที่เคลือบด้วยเวย์โปรตีน พบว่า ความคงตัวของโฟมอัลบูมินจะลดลงเมื่อเก็บไข่ไว้นานขึ้น โดยที่อายุการเก็บ 28 วันมีอัตราการแยกตัวของของเหลวสูงที่สุด

ตารางที่ 4.7 ผลอายุการเก็บไข่ขาวที่ระยะเวลาการเก็บ (0-28 วัน) ต่อความคงตัวของโฟมไข่ขาว (ร้อยละ) ในช่วงเวลา 180 นาที

เวลา	อายุการเก็บไข่ขาว (วัน)					
(นาที)	0	3	7	14	21	28
30	$93.95^{c} \pm 1.17$	$86.61^{a} \pm 0.10$	$86.75^{a} \pm 0.31$	$88.19^{b} \pm 0.66$	$86.02^{a} \pm 0.76$	$86.51^{a} \pm 0.27$
60	$92.51^{c} \pm 1.14$	$85.49^{a} \pm 0.72$	$86.31^{ab} \pm 0.27$	$87.24^{b} \pm 0.33$	$85.57^{a} \pm 0.41$	$85.61^{a} \pm 0.68$
120	$90.26^{c} \pm 1.48$	$85.27^{a} \pm 0.57$	$85.87^{ab} \pm 0.11$	$86.86^{b} \pm 0.00$	$84.62^{a} \pm 0.83$	$85.16^{a} \pm 0.29$
180	$89.69^{b} \pm 2.54$	$85.27^{a} \pm 0.57$	$84.99^{a} \pm 0.27$	$86.10^{a} \pm 0.33$	$84.62^{a} \pm 0.83$	$85.16^{a} \pm 0.29$

^{a,b,c} Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันของอายุการเก็บไข่ขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความไม่มีความแตกต่างกันของอายุการเก็บไข่ขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p>0.05$)

4.2.3 ผลของอายุการเก็บไข่ขาวที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของส่วนผสมแบทเทอร์มาการอง

ผลของอายุการเก็บไข่ขาว 0-28 วัน ที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแบทเทอร์มาการองถูกนำมาทำการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) และค่าความสามารถในการเกาะตัว (cohesiveness) ด้วยวิธีการ Backward extrusion แสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า ค่าการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของแบทเทอร์มาการองนั้นไม่มีความแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการทำเปลือกมาการองนั้นมีการใส่น้ำเชื่อมร้อนลงในโฟมไข่ขาว ในขั้นตอนการตีผสม ความร้อนที่ได้จากน้ำเชื่อมอาจมีผลทำให้โปรตีนไข่ขาวบางส่วนเปลี่ยนสภาพเป็นเจล ประกอบกับน้ำตาลในน้ำเชื่อมมีผลทำให้โฟมไข่ขาวที่ได้มีความแข็งแรงและเพิ่มความหนืดของโฟมไข่ขาวให้มากขึ้น ดังนั้นจากกระบวนการในการผสมแบทเทอร์ของมาการองจึงทำให้แบทเทอร์ที่ได้มีความคงตัวสูงและไม่เกิดการแยกตัวของของเหลวในไข่ขาว ทำให้ไม่เห็นความแตกต่างทางด้านเนื้อสัมผัสของแบทเทอร์ซึ่งเตรียมจากไข่ขาวที่มีอายุการเก็บไข่ขาวที่ 0-28 วัน ซึ่งสอดคล้องกับ Lau และ Dickson (2004) และ Radványi และคณะ (2012) ซึ่งพบว่า การเพิ่มน้ำตาลซูโครสในส่วนผสมมีผลต่อความหนืดของไข่ขาว ความหนืดที่เพิ่มขึ้นของไข่ขาวทำให้โฟมไข่ขาวที่ได้มีความคงตัวเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นระยะเวลาการเก็บไข่ขาวที่เพิ่มขึ้นจึงไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของส่วนผสมของแบทเทอร์มาการอง

ตารางที่ 4.8 ผลของอายุการเก็บไข่ขาวที่แตกต่างกันต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของส่วนผสมของแบทเทอร์มาการอง

ระยะเวลาการเก็บไข่ขาว (วัน)	ความแน่นเนื้อ[ns] (กิโลกรัม.แรง)	ความสามารถในการเกาะตัว [ns]
0	0.122 ± 0.029	226.08 ± 40.72
3	0.101 ± 0.049	188.20 ± 58.63
7	0.116 ± 0.048	207.95 ± 68.88
14	0.110 ± 0.024	198.74 ± 37.87
21	0.101 ± 0.002	199.86 ± 14.05
28	0.104 ± 0.023	183.40 ± 34.80

[ns] ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p>0.05$)

4.2.4 ผลของอายุการเก็บไข่ขาว ที่มีต่อเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง

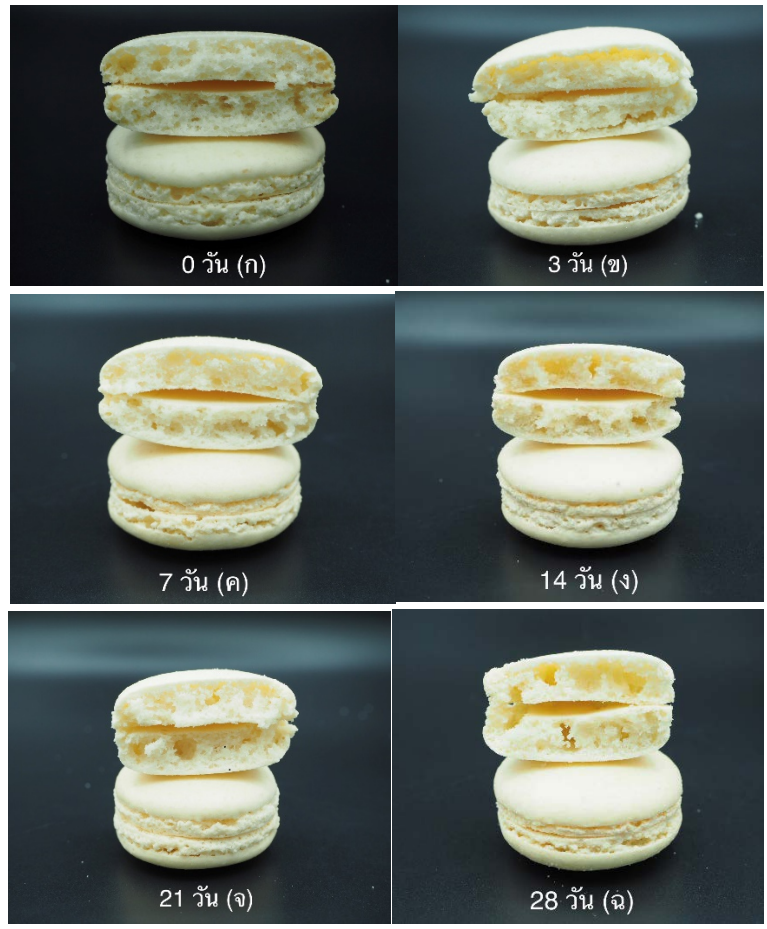
จากผลการศึกษาผลของอายุการเก็บไข่ขาว 0-28 วัน ที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการองโดยการวิเคราะห์ค่าความเปราะ(fracturability) ค่าความแข็ง(hardness)และความสามารถในการเกาะตัว (cohesiveness) สังเกตลักษณะภายในของเปลือกมาการอง จากการศึกษาพบว่า เปลือกมาการองที่ทำจากไข่ขาวที่อายุการเก็บไข่ขาว 0-7 วัน มีค่าการแตกหักและค่าความแข็งของเปลือกมาการองที่น้อยกว่า เปลือกมาการองที่ทำจากไข่ขาวที่อายุการเก็บไข่ขาว 14-28 วัน (ตารางที่ 4.9) แสดงว่าเปลือกมาการองที่ทำจากไข่ขาวอายุการเก็บระหว่าง 0-7 วัน มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกมาการองจากไข่ขาวที่อายุการเก็บระหว่าง 14-28 วัน เนื่องจากไข่ขาวในช่วงการเก็บ 0-7 วัน มีโครงสร้างของโปรตีนที่มีความแข็งแรงมากกว่าทำให้เมื่อตีโฟมไข่ขาวจะได้ฟิล์มยืดเกาะโฟม (Thin film หรือ Lamella) ที่แข็งแรงมากกว่าทำให้โฟมไข่ขาวที่ได้มีความสามารถในการกักเก็บฟองอากาศได้มาก และขนาดของฟองโฟมที่ได้มีความละเอียดกว่าโฟมไข่ขาวที่ได้จากไข่ขาวที่อายุการเก็บ 14-28 วัน ทำให้ที่อายุการเก็บไข่ขาวที่ 0-7 วันมีความเปราะของเปลือกมาการองที่มากกว่าและมีความแข็งของเปลือกมาการองน้อยกว่าเปลือกของมาการองที่ทำจากไข่ขาวช่วงอายุการเก็บ 14-28 วัน เนื่องจากที่อายุการเก็บไข่ขาว 14-28 วัน มีพื้นผิวของเปลือกมาการองที่หนาและภายในเปลือกมาการองจะพบโพรงอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเปลือกมาการองที่ทำจากไข่ขาวที่มีช่วงอายุการเก็บ 0-7 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4.2 จึงส่งผลให้มีความเปราะต่ำและความแข็งสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Alleoni และ Antunes (2004) พบว่าการเก็บไข่นานถึง 28 วัน โฟมที่ได้จะยิ่งคงตัวน้อยลง ดังนั้นเมื่อนำมาการองไปอบโครงสร้างโปรตีนจะยุบตัวได้ง่ายกว่าจึงทำให้เปลือกมาการองยุบตัวและมีความแข็งมาก ดังนั้นการเก็บไข่ไว้นานมากๆ จะทำให้โปรตีนในไข่ขาวเกิดการย่อยสลายมากเกินไป เนื่องจากเอนไซม์ที่มีในไข่ขาวทำให้โปรตีนมีการเสื่อมสภาพและทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง มีผลทำให้โครงสร้างโฟมที่ได้มีความแข็งแรงลดลงและยุบตัวได้ง่ายทำให้เปลือกมาการองที่ได้มีความแข็งเพิ่มขึ้นและเปราะแตกได้ยาก ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ความการเกาะกันของเปลือกมาการองที่ทำจากไข่ขาวที่อายุการเก็บไข่ขาว 0-28 วันไม่ผลความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากในกระบวนการทำเปลือกของมาการองนั้นไข่ขาวจะถูกนำไปตีผสมเป็นเมอแรงค์โดยใช้น้ำเชื่อมร้อน ความร้อนจากน้ำเชื่อมมีผลทำให้เกิดเจลขึ้นกับโปรตีนไข่ขาวในเมอแรงค์ ทำให้โฟมที่ได้มีความคงตัวแม้จะมีอายุการเก็บไข่ขาวที่นานขึ้น ดังนั้นเมื่อนำเมอแรงค์มาทำเป็นเปลือกของ

มาการองจึงมีผลทำให้คุณลักษณะด้านการเกาะกันของเนื้อในมาการองมีความใกล้เคียงกันมาก ทำให้ไม่พบความแตกต่างของเนื้อสัมผัสด้านการเกาะกัน

ตารางที่ 4.9 ผลของอายุการเก็บไข่ขาวที่แตกต่างกันต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง

ระยะเวลาการเก็บไข่ขาว (วัน)	ความเปราะ (กิโลกรัม.แรง)	ความแข็ง (กิโลกรัม.แรง)	ความสามารถในการเกาะตัว [ns]
0	0.69[a] ± 0.13	05.08[a] ± 2.31	0.28 ± 0.02
3	0.56[a] ± 0.09	06.50[a] ± 3.24	0.25 ± 0.02
7	0.55[a] ± 0.10	05.75[a] ± 1.65	0.27 ± 0.02
14	0.91[b] ± 0.12	12.52[b] ± 1.86	0.25 ± 0.01
21	0.64[a] ± 0.22	10.92[b] ± 2.10	0.23 ± 0.01
28	0.90[b] ± 0.15	10.32[b] ± 3.57	0.27 ± 0.02

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.2 ผลของระยะเวลาการเก็บไข่ขาวที่แตกต่างกัน (0-28 วัน) ต่อลักษณะภายในของเปลือกมาการอง

4.2.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองที่อายุการเก็บไข่ขาวแตกต่างกัน

นำเปลือกมาการองที่อายุการเก็บไข่ขาวแตกต่างกัน (0-28 วัน) มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทางด้านเบเกอรี่ไม่ต่ำกว่า 5 ปี เคยมีประสบการณ์การทำมาการองมาก่อน โดยใช้วิธีการประเมินระดับความพอดี Just about Right (JAR) แสดงในตารางที่ 4.10 และการประเมินระดับการยอมรับ (Hedonic 9 points scale) ผลการทดสอบทางด้านปัจจัยคุณภาพของเปลือกมาการองแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ผลการประเมินระดับความพอดี (3 points Just About Right : JAR) ของเปลือกมาการองที่อายุการเก็บไข่ขาวแตกต่างกัน (n=10)

ปัจจัยคุณภาพ	ระดับความพอดี (ร้อยละ)	อายุการเก็บไข่ขาว (วัน)					
		0	**3**	**7**	**14**	**21**	**28**
ลักษณะทรงกลม	น้อยไป	20	30	-	10	10	20
	พอดี	60	70	100	70	80	80
	มากไป	20	-	-	20	10	-
ความสูงของขา	น้อยไป	70	70	40	60	20	40
	พอดี	30	30	60	30	80	50
	มากไป	-	-	-	10	-	10
ลักษณะของโพรง	น้อยไป	60	60	40	30	80	40
	พอดี	10	20	50	50	20	40
	มากไป	30	20	10	20	-	20
ความแข็ง	น้อยไป	60	70	40	30	20	10
	พอดี	40	30	60	50	70	70
	มากไป	-	-	-	20	10	20
ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว	น้อยไป	50	60	40	60	60	-
	พอดี	20	10	50	30	30	90
	มากไป	30	30	10	10	-	10

ผลการประเมินระดับความพอดีของอายุการเก็บไข่ขาวที่เหมาะสมต่อการทำเปลือกมาการอง แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่า ผลการประเมินระดับความพอดีของปัจจัยคุณภาพ คือ ลักษณะทรงกลม ความสูงของขา ลักษณะของโพรง และความแข็งของเปลือกมาการองที่ใช้ไข่ขาวที่อายุการเก็บไข่ขาว 7 วัน มีคะแนนระดับที่พอดีมากที่สุด คือ ร้อยละ 100, 60, 50 และ 60 ตามลำดับ โดยผลการประเมินระดับความพอดีด้านลักษณะโพรงของเปลือกมาการองมีความสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของเปลือกมาการอง (ภาพที่ 4.2) โดยที่อายุการเก็บไข่ขาว 0-3 วัน โพรงในเปลือกมาการองมีขนาดเล็กแต่มีการจับตัวกันแน่น อาจเนื่องจากไข่ขาวที่อายุการเก็บไข่ขาว 0-3 วัน โฟมไข่ขาวที่ได้ยังมีความหนืดอยู่มากทำให้ส่วนผสมเกาะตัวกันแน่น ในขณะที่อายุการเก็บไข่ขาว 7 วัน โพรงในเปลือกมาการองที่ได้นั้นมีความเล็กละเอียดสม่ำเสมอกันและไม่จับตัวเป็นก้อนซึ่งเกิดจากการผสมส่วนผสมกับโฟมไข่ขาวที่มีความหนืดที่เหมาะสมทำให้ส่วนผสมกระจายตัวได้ดี และที่อายุการเก็บไข่ขาวตั้งแต่ 14-28 วัน โพรงในเปลือกมาการองนั้นมีลักษณะใหญ่เล็กไม่เสมอกันและมีเนื้อในที่จับกันเป็นกลุ่มๆ เนื่องจากไข่ขาวมีความหนืดที่น้อยเกินไปทำให้โฟมไข่ขาวที่ได้มีขนาดใหญ่และยุบตัวง่ายทำให้ส่วนผสมของแบทเทอร์มีความเหลวเมื่อนำมาอบเป็นเปลือกจึงเกิดการยุบตัว ทำให้เกิดโพรงขนาดใหญ่ในเปลือกมาการอง ดังนั้นจากผลการประเมินระดับความพอดีที่ได้สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้นของการยอมรับของเปลือกมาการองที่ได้จากแบทเทอร์มาการองที่มีอายุการเก็บไข่ขาว 7 วัน ว่าเป็นเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากมีมีลักษณะของโพรงที่เล็กเนื้อในมีการกระจายตัวดี ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีของเปลือกมาการอง

ตารางที่ 4.11 ผลการประเมินระดับการยอมรับ (Hedonic 9 points scale) ของเปลือกมาการองที่ของเปลือกมาการองที่อายุการเก็บไข่ขาวแตกต่างกัน (n=10)

อายุการเก็บ (วัน)	ปัจจัยคุณภาพ					
	ลักษณะทรงกลม[ns]	ความสูงของขา[ns]	ลักษณะของโพรง	ความแข็ง	ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว[ns]	ความชอบโดยรวม
0	7.30 ± 1.64	6.30 ± 1.89	5.80[ab] ± 1.69	6.30[ab] ± 1.38	6.30 ± 1.57	6.50[ab] ± 1.58
3	7.20 ± 1.62	5.90 ± 1.79	5.30[a] ± 1.94	5.60[a] ± 1.71	5.90 ± 1.73	6.00[a] ± 1.76
7	8.10 ± 1.20	7.20 ± 1.40	6.20[ab] ± 1.40	6.60[ab] ± 1.07	6.70 ± 1.34	7.70[b] ± 0.82
14	7.10 ± 2.18	6.60 ± 1.26	6.70[ab] ±1.16	6.80[ab] ± 1.03	6.40 ± 2.07	7.00[ab] ± 1.15
21	7.90 ± 1.10	7.30 ± 1.38	7.20[b] ± 1.03	7.00[b] ± 1.15	7.10 ± 1.37	7.20[ab] ± 1.23
28	7.90 ± 1.66	7.30 ± 1.57	6.60[ab] ± 1.89	6.90[b] ± 1.10	7.30 ± 1.16	6.60[ab] ± 1.26

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p>0.05$)

จากผลการประเมินระดับการยอมรับ (ตารางที่ 4.11) พบว่า อายุการเก็บไข่ขาวที่แตกต่างกันมีผลต่อคะแนนการยอมรับด้าน ลักษณะของโพรง ความแข็ง และความชอบโดยรวมของเปลือกมาการองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อายุการเก็บไข่ขาวที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อคะแนนด้านลักษณะทรงกลม ความสูงของขา และความเหนียวนุ่มขณะเคี้ยวของเปลืองมาการองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แม้ว่าคะแนนการยอมรับด้านลักษณะทรงกลมและความสูงของขาของเปลือกมาการองจะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่คะแนนที่เพิ่มขึ้นของปัจจัยคุณภาพทั้ง 2 นั้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของคะแนนความชอบโดยรวม จะเห็นได้จากลักษณะปรากฏของมาการอง (ภาพที่ 4.2) เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค โดยจากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าเปลือกมาการองที่ได้จากไข่ขาวอายุ 7 วัน มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะทรงกลม ความสูงของขา และความชอบโดยรวมสูงที่สุด

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ในข้อ 4.2 คุณภาพของแบทเทอร์และเปลือกมาการองด้านต่างๆ จึงเลือกใช้ไข่ขาวที่มีอายุการเก็บ 7 วัน มาใช้ในการศึกษาผลสัดส่วนของปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง ในลำดับต่อไป เนื่องจากที่อายุการเก็บไข่ขาว 7 วัน คะแนนระดับความพอดีของลักษณะทรงกลมและความแข็งของมาการองสูงที่สุดและมีระดับความพอดีของความสูงของขามาการอง มากกว่า ร้อยละ 60 และยังมีผลคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด

4.3 ผลการศึกษาการลดน้ำตาลต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง

4.3.1 ผลการศึกษาการลดน้ำตาลต่อคุณภาพเปลือกมาการองโดยการวางแผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง

ศึกษาสัดส่วนของปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ออกแบบการทดลองด้วยวิธี ส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) โดยกำหนดให้ A คือ ปริมาณน้ำตาลซูโครส และ B คือ ปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง และทำการตรวจสอบผลตอบสนอง (response) ได้แก่ ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ ความเกาะตัวของแบทเทอร์ ความเปราะของเปลือกมาการอง ความแข็งของเปลือกมาการอง และความสามารถในการเกาะตัว ของเปลือกมาการอง โดยรายละเอียดและค่าตอบสนองของปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การออกแบบสิ่งทดลองและส่วนผสมกลาง และค่าการตอบสนองปัจจัยต่างๆ

ลำดับ	A น้ำตาลซูโครส (กรัม)	B น้ำตาลไอซิ่ง (กรัม)	ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ (กิโลกรัม.แรง)	ความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์	ความเปราะของเปลือกมาการอง (กิโลกรัม.แรง)	ความแข็งของเปลือกมาการอง (กิโลกรัม.แรง)	ความสามารถในการเกาะตัวของเปลือกมาการอง
1	120	120	0.166	231.16	0.141	3.965	0.27
2	120	135	0.110	178.63	0.216	4.259	0.30
3	120	150	0.138	199.44	0.340	4.350	0.33
4	135	120	0.109	176.28	0.324	4.241	0.28
5	135	135	0.087	142.78	0.314	4.350	0.27
6	135	135	0.079	148.03	0.334	4.369	0.27
7	135	135	0.056	104.45	0.346	4.360	0.25
8	135	135	0.098	166.27	0.347	4.385	0.26
9	135	135	0.096	174.63	0.360	4.363	0.24
10	135	150	0.090	162.74	0.456	4.488	0.31
11	150	120	0.069	127.57	0.442	4.474	0.36
12	150	135	0.100	170.86	0.509	5.007	0.37
13	150	150	0.154	236.35	0.580	5.733	0.38

46

เมื่อนำข้อมูลของค่าตอบสนองของแต่ละปัจจัย มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เพื่อพิจารณาผล ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ ความเกาะตัวของแบทเทอร์ ความแข็งของเปลือกมาการอง ความเกาะตัวของเปลือกมาการอง และความเปราะของเปลือกมาการองได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.12 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้ พบว่าข้อมูลที่ได้จาก ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ ความสามารถในการเกาะตัว ของแบทเทอร์ ความแข็งของเปลือกมาการอง ความเกาะตัวของเปลือกมาการอง และความเปราะของเปลือกมาการองให้สมการ (model) ที่สามารถนำมาใช้ทำนายผลได้ เนื่องจากค่าตอบสนองในแต่ละค่าข้างต้นมี Lack of fit ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Coefficient, R^2) ของค่าตอบสนองอยู่ที่ 0.75-0.99 ดังแสดงในตารางที่ 4.12 มาใช้เพื่อทำนายความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำตาลทราย และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง ที่มีผลต่อคุณภาพของเปลือกมาการอง และเมื่อพิจารณาข้อมูลข้างต้น พบว่า ตัวแปรตอบสนองมีผลต่อความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ ความเกาะตัวของแบทเทอร์ ความแข็งของเปลือกมาการอง ความเกาะตัวของเปลือกมาการอง และความเปราะของเปลือกมาการอง และนำไปหาสภาวะที่เหมาะสม (optimization) ต่อไป

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการตอบสนองของปัจจัยต่างๆ

Source	p-value				
	ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์	**ความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์**	**ความเปราะของเปลือกมาการอง**	**ความแข็งของเปลือกมาการอง**	**ความสามารถในการเกาะตัวของเปลือกมาการอง**
Model	0.0171*	0.0424*	<0.0001*	<0.0001*	0.0004*
A	0.0792	0.2487	<0.0001	<0.0001	0.0008
B	0.4197	0.3187	<0.0001	<0.0001	0.0224
AB	0.0168	0.0227	0.1665	<0.0001	0.2349
A2	0.0431	0.0928	0.7069	<0.0001	0.0004
B2	0.0908	0.1569	0.0304	0.8199	0.0776
A2B	-	-	-	<0.0001	-
AB2	-	-	-	0.0002	-
Lack of fit	0.3863^{ns}	0.6992^{ns}	0.3022^{ns}	0.9231^{ns}	0.2684^{ns}
R^2	0.81	0.75	0.98	0.99	0.89

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p>0.05$)

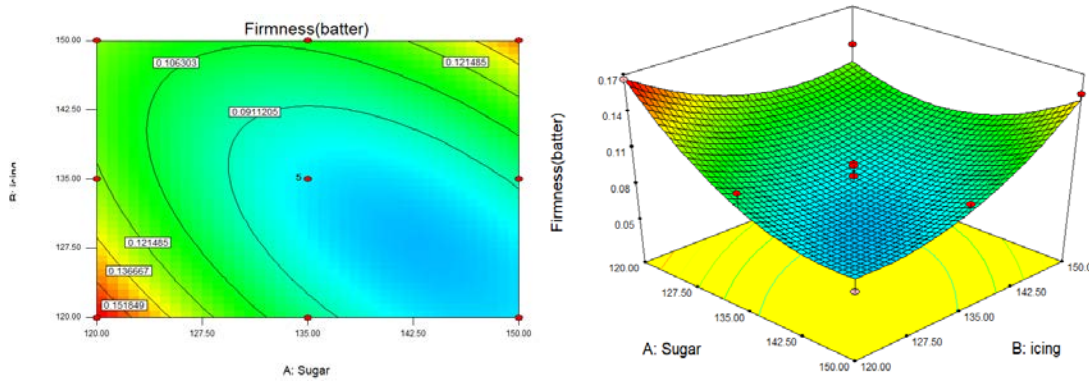
ตารางที่ 4.14 สมการทำนายจากความสัมพันธ์แต่ละปัจจัย

ตัวแปรตาม		สมการทำนาย	R^2
ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ (กิโลกรัม.แรง)	=	0.082-0.015A+0.0063B+0.028AB +0.027A^2+0.021B^2	0.81
ความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์	=	147.01-12.41A+10.59B+35.13AB +28.29A^2+23.05B^2	0.75
ความเปราะของเปลือกมาการอง (กิโลกรัม.แรง)	=	0.36+0.14A+0.078B-0.015AB +0.0046A^2+0.032B^2	0.98
ความแข็งของเปลือกมาการอง (กิโลกรัม.แรง)	=	4.37+0.37A+0.12B+0.22AB+0.27A^2 -0.0017B^2+0.29A^2B+0.099AB^2	0.99
ความสามารถในการเกาะตัวของเปลือกมาการอง	=	0.26+0.035A+0.018B+0.01AB+0.059A^2 +0.019B^2	0.89

A คือ ปริมาณน้ำตาลซูโครส

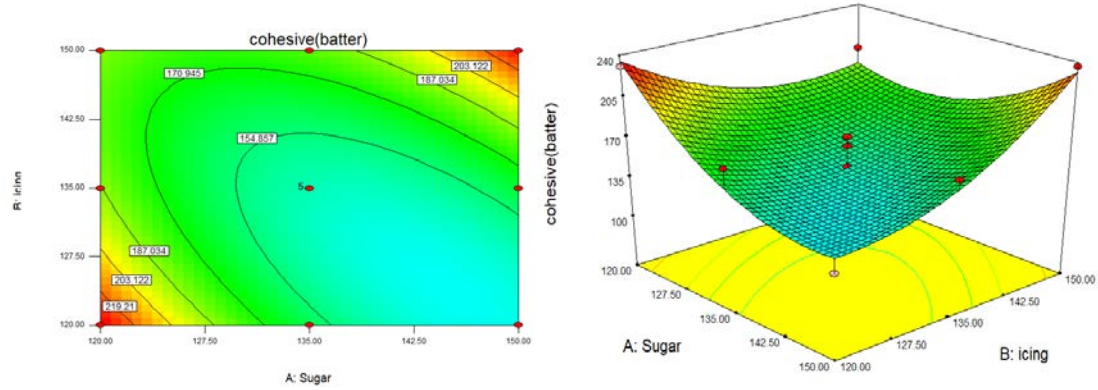
B คือ ปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง

ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง ต่อความแน่นเนื้อและการเกาะตัวของแบทเทอร์แสดงในภาพที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ พบว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์มาการองลดลง (ภาพที่ 4.3) เนื่องจากปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งที่เพิ่มขึ้นทำให้โครงสร้างของแบทเทอร์มีความหนักและยุบตัวง่ายขึ้น แต่ปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการเกาะตัว ของแบทเทอร์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.4) เนื่องจากน้ำตาลมีคุณสมบัติในการละลายน้ำและดึงน้ำจากโปรตีนจึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างโฟมของแบทเทอร์ ด้วยความสามารถในการดึงน้ำจึงทำให้แบทเทอร์มีความสามารถในการเกาะตัว ของส่วนผสมที่ดีและไม่เกิดการแยกขึ้นระหว่างส่วนผสมที่เป็นของแข็งและโฟมไข่ขาว สอดคล้องกับ Annie (2012) ที่ศึกษาอัตราส่วนของส่วนผสมมาการองโดยศึกษาอัตราส่วนของน้ำตาลที่แตกต่างกัน พบกว่า ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้มาการองที่ได้มีโพรงขนาดเล็ก มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวเกาะกันดีกว่าทำให้เปลือกมาการองที่ได้มีความแข็งเพิ่มขึ้น



(ก) (ข)

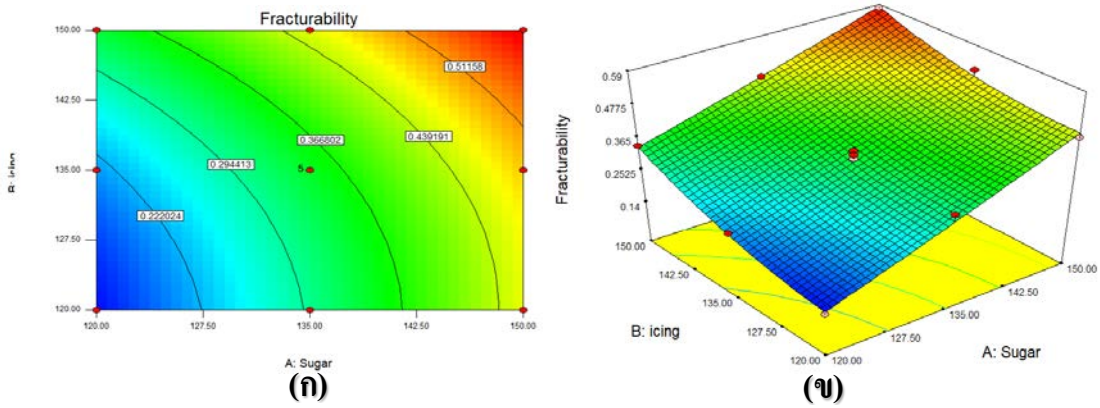
ภาพที่ 4.3 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อความแน่นเนื้อของแบทเทอร์



(ก) (ข)

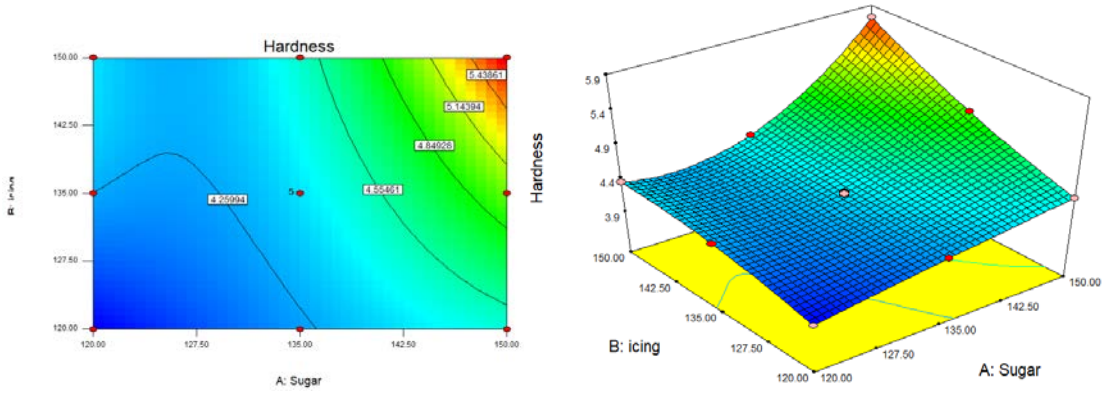
ภาพที่ 4.4 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์

ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง ต่อความเปราะ ความแข็ง และความสามารถในการเกาะตัว ของเปลือกมาการองแสดงในภาพที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลซูโครสและไอซิ่งทำให้ความเปราะของเปลือกมาการองลดลง (ภาพที่ 4.5) เนื่องจากน้ำตาลช่วยให้โครงสร้างของเปลือกมาการองมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นทำให้เปลือกมาการองที่ได้มีความสามารถในการเกาะตัว และแตกร่วนได้ยากขึ้น ปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งที่เพิ่มขึ้นยังมีผลทำให้ความแข็ง และความสามารถในการเกาะตัว ของเปลือกมาการองเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.6 และ 4.7) เนื่องจากปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้นทำให้แบทเทอร์ของมาการองมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำตาลซูโครสในน้ำเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้โฟมไข่ขาวมีความคงตัวสูงมีผลทำให้แบทเทอร์ที่ได้คงรูปได้ดีและไม่เกิดการยุบตัวของแบทเทอร์มาการองทำให้เปลือกมาการองที่ได้มีผิวหน้าที่เรียบและเกาะกันดีทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสจะทำให้ค่าความเปราะสูงขึ้น และน้ำตาลไอซิ่งที่เพิ่มขึ้นทำให้ส่วนผสมของแบทเทอร์มาการองมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยทำให้อัตราส่วนของของแข็งในส่วนผสมแบทเทอร์มาการองมีปริมาณมากขึ้นทำให้เปลือกมาการองที่ได้นั้นมีความแข็งแรงส่งผลทำให้ค่าความเปราะของเปลือกมาการองเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณน้ำตาลในส่วนผสมจึงมีความสำคัญต่อความหนืดและความคงตัวของแบทเทอร์มาการองโดยเมื่อแบทเทอร์มาการองเมื่อผ่านการอบเป็นเปลือกมาการองปริมาณน้ำตาลซูโครสและไอซิ่งที่สูงขึ้นส่งผลให้โครงสร้างของเปลือกมีความแข็งแรงและยึดเกาะกันได้ดี ดังนั้นอัตราส่วนของน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญในการทำเปลือกของมาการอง เนื่องจากความร่วนและความแข็งที่เหมาะสมของเปลือกมาการองเป็นหนึ่งในคุณลักษณะสำคัญซึ่งส่งผลต่อความชอบของผลิตภัณฑ์มาการอง



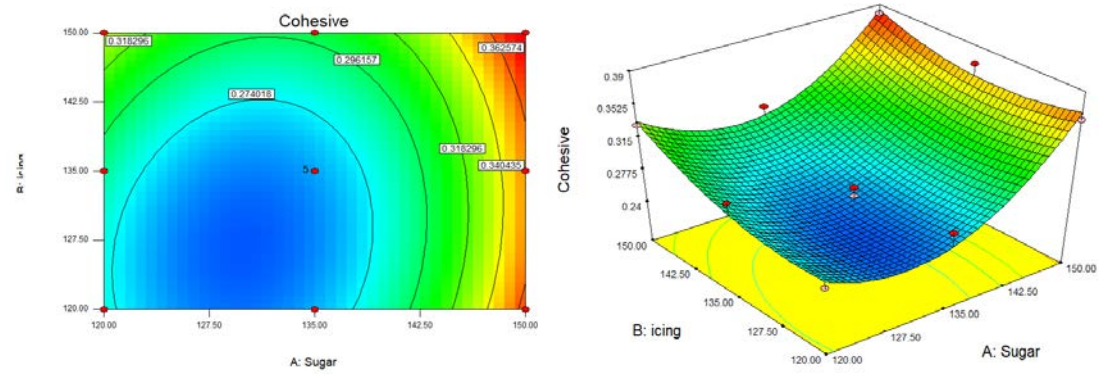
(ก) (ข)

ภาพที่ 4.5 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อความเปราะของเปลือกมาการอง



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.6 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อความแข็งของเปลือกมาการอง



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.7 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของปริมาณน้ำตาลซูโครส (A) และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง (B) ต่อความสามารถในการเกาะตัว ของเปลือกมาการอง

ตารางที่ 4.15 การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเปลือกมาการอง

ค่าการตอบสนอง	เงื่อนไขที่เหมาะสม			
	เป้าหมาย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าทำนาย
ปริมาณน้ำตาลซูโครส	Minimize	120	150	130.46
ปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง	Minimize	120	150	125.66
ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์	Minimize	0.056	0.166	0.098
ความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์	Minimize	104.45	236.35	162.32
ความเปราะของเปลือกมาการอง	Minimize	0.141	0.580	0.264
ความแข็งของเปลือกมาการอง	Minimize	3.965	5.733	4.212
ความสามารถในการเกาะตัวของเปลือกมาการอง	Minimize	0.24	0.38	0.25

จากตารางที่ 4.15 สามารถทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการทำมาการอง โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดคุณลักษณะของตัวแปรตามที่ต้องการได้ โดยการทดลองนี้กำหนดค่าคุณลักษณะของตัวแปรทั้งหมดเป็นค่าต่ำสุด เพื่อทำให้มาการองที่ได้จากค่าทำนายมีปริมาณน้ำตาลลดลงมากที่สุด โดยมีความแน่นเนื้อและควานสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์ที่ต่ำเพื่อให้ได้มาการองที่มีความนุ่มและมีโพรงในเปลือกที่มีความละเอียดไม่เกาะตัวกันเป็นก้อน มีความเปราะ ความแข็ง และความสามารถในการเกาะตัวของเปลือกมาการองต่ำเพื่อให้ได้เปลือกมาการองที่แตกร่วนง่ายเมื่อบริโภค ซึ่งจากเงื่อนไขของค่าการตอบสนองที่ได้ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมาการอง คือ การใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครส 130.46 กรัม และ น้ำตาลไอซิ่ง 125.66 กรัม จะให้ค่าความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ 0.098 กิโลกรัม.แรง ความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์ 162.32 ความเปราะของเปลือกมาการอง 0.264 กิโลกรัม.แรงความแข็งของเปลือกมาการอง 4.212 กิโลกรัม.แรง และความสามารถในการเกาะตัว ของเปลือกมาการอง 0.25 ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองเพื่อทดสอบค่าทำนายในลำดับต่อไป

4.3.2 การทดสอบค่าสมการทำนาย

ทดสอบค่าสมการทำนายกับการทำมาการองจริงจากสูตรลดปริมาณน้ำตาลซูโครส 130.46 กรัม และปริมาณน้ำตาลไอซิ่ง 125.66 กรัม ในการผลิตมาการอง ผลการทดสอบค่าทำนายและค่าจริงของการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยของมาการองแสดงในตารางที่ 4.16 พบว่า ปริมาณน้ำตาลที่ลดลงมีผลต่อความสามารถในการเกาะตัว ของแบทเทอร์ และความเปราะของเปลือกมาการอง ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ ความแข็งและความสามารถในการเกาะตัวของเปลือกมาการอง ($p > 0.05$) โดยความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์ที่ลดลง และค่าความเปราะที่เพิ่มขึ้นจากสมการทำนาย อาจเนื่องมากจากค่า R^2 ของความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์ มีค่า 0.75 ทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากสมการทำนายที่ได้ ซึ่งความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์ที่ลดลงนั้นอาจส่งผลเปลือกมาการองที่ได้มีความแบนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปลือกมาการองที่ได้มีความแข็งและความเปราะของเปลือกเพิ่มขึ้น ทำให้มาการองที่ได้มีความแข็งและแตกร่วนได้ยากขึ้น

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบค่าทำนายและค่าจริงของการวิเคราะห์แต่ละปัจจัย (Desirability = 0.72)

การวิเคราะห์	ค่าทำนาย	ค่าจริง
ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์^{ns}	0.098	0.087
ความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์	162.32	149.35
ความเปราะของเปลือกมาการอง	0.264	0.347
ความแข็งของเปลือกมาการอง^{ns}	4.212	4.370
ความสามารถในการเกาะตัวของเปลือกมาการอง^{ns}	0.25	0.26

4.3.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองสูตรลดน้ำตาล

เมื่อนำผลประเมินคะแนนการยอมรับของเปลือกมาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลและสูตรลดน้ำตาล มาวิเคราะห์โดยวิธี t-test โดยกำหนดปัจจัยคุณภาพ คือ ลักษณะทรงกลม ความสูงของเปลือก ลักษณะโพรงในเปลือก ความแข็งของเปลือก ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว และความชอบโดยรวม แสดงผลในตารางที่ 4.17 พบว่า การปรับปรุงสูตรให้มีอัตราส่วนของน้ำตาลที่ลดลง มีผลทำให้คะแนนการยอมรับด้านความสูงของขาเปลือกและความเหนียวนุ่มของการเคี้ยวของเปลือกมาการองเปลี่ยนไป โดยทำให้คะแนนการยอมรับด้านความสูงของขาเปลือกมีค่าลดลง และคะแนนการยอมรับด้านความเหนียวนุ่มของการเคี้ยวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองสูตรไม่ลดน้ำตาล (A) และเปลือกมาการองสูตรลดน้ำตาล (B) (n=10)

ปัจจัยคุณภาพ	ตัวแปร	N	คะแนนทางประสาทสัมผัส	t	Sig.
ลักษณะทรงกลม	A	10	7.00 ± 0.94	0.768	0.45
	B	10	7.40 ± 1.35	0.768	
ความสูงของขาเปลือก	A	10	6.90 ± 1.52	-2.829	0.01*
	B	10	5.20 ± 1.14		
ลักษณะโพรงในเปลือก	A	10	6.00 ± 2.31	0.550	0.59
	B	10	6.50 ± 1.71		
ความแข็ง	A	10	6.70 ± 0.67	-0.166	0.87
	B	10	6.50 ± 1.77		
ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว	A	10	5.90 ± 1.79	2.041	0.05*
	B	10	7.20 ± 0.92		
ความชอบโดยรวม	A	10	7.10 ± 0.88	0.268	0.79
	B	10	7.20 ± 0.79		

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โดยจากผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและการประเมินระดับการยอมรับของเปลือกมาการองพบว่าการลดปริมาณของน้ำตาลซูโครสจาก 150 เป็น 130. 46 กรัม และน้ำตาลไอซิ่งจาก 150 เป็น 125.66 กรัม ไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของมาการอง แต่มีผลต่อลักษณะปรากฏ คือความสูงของขาเปลือก แต่จากผลการประเมินระดับความชอบไม่พบความแตกต่างกัน ($p>0.05$) จึงนำเปลือกมาการองที่ได้ไปประเมินระดับการยอมรับของมาการองที่ใส่ไส้ในลำดับต่อไป

4.4 ผลการศึกษาการยอมรับของมาการองสูตรลดน้ำตาล

จากผลในข้อ 4.3 นำเปลือกมาการองที่มีการลดปริมาณน้ำตาลมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยนำมาการองมาประกบกันพร้อมใส่ไส้วานิลาครีมและไส้ราสเบอรี่ครีมและเปรียบเทียบกับเปลือกมาการองสูตรไม่ลดน้ำตาล นำตัวอย่างมาการองทั้ง 4 ชนิด มาทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบชิมที่มีจำนวน 10 คน เป็นผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทางด้านเบเกอรี่ไม่ต่ำกว่า 5 ปี เคยมีประสบการณ์การทำมาการองมาก่อน โดยใช้การทดสอบแบบ Hedonic 9-point scale ทดสอบทางด้านลักษณะปรากฏ (appearance) คือ ลักษณะทรงกลม ความสูงของขา และลักษณะโพรงในเปลือก เนื้อสัมผัส (Texture) คือ ความแข็งของเปลือก ความนุ่มของการเคี้ยว และเนื้อสัมผัสของมาการองพร้อมไส้ ด้านรสชาติ (flavor) และ ความชอบโดยรวม (overall liking) ของมาการอง แสดงในตารางที่ 4.18 และทำการจัดลำดับความชอบ (Ranking test) ของมาการองทั้ง 4 ชนิด เพื่อจัดลำดับความชอบของผู้ทดสอบชิม แสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 ผลการประเมินระดับการยอมรับ (Hedonic 9 points) ของเปลือกมาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลและสูตรลดน้ำตาลพร้อมไส้ (n=10)

ตัวอย่าง	ลักษณะทรงกลม[ns]	ความสูงของขาเปลือก[ns]	ลักษณะโพรงในเปลือก[ns]	ความแข็ง[ns]	ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว[ns]	เนื้อสัมผัสมาการองพร้อมไส้[ns]	รสชาติโดยรวมของมาการอง[ns]	ความชอบโดยรวม[ns]
มาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลไส้ครีมวานิลลา	7.80 ± 0.92	7.00 ± 1.89	6.30 ± 1.64	7.20 ± 1.14	6.50 ± 1.27	6.50 ± 1.65	6.70 ± 1.57	6.70 ± 1.42
มาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่	7.10 ± 0.99	6.50 ± 2.07	6.40 ± 1.17	6.50 ± 0.84	6.30 ± 1.25	6.50 ± 0.71	6.50 ± 0.71	6.50 ± 1.08
มาการองสูตรลดน้ำตาลไส้ครีมวานิลลา	7.00 ± 1.25	5.80 ± 1.87	6.20 ± 2.39	6.60 ± 1.90	7.10 ± 1.20	6.80 ± 1.55	6.20 ± 2.10	6.70 ± 1.64
มาการองสูตรลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่	7.00 ± 1.25	5.60 ± 1.43	7.00 ± 1.76	6.80 ± 1.03	7.40 ± 0.97	7.00 ± 0.82	7.10 ± 1.10	7.30 ± 0.82

[ns] ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการอง (ตารางที่ 4.18) พบว่า มาการองสูตรมาตรฐานและมาการองสูตรลดน้ำตาลที่ใส่ไส้ครีมวานิลลาและครีมราสเบอรี่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกๆปัจจัยคุณภาพที่ทำการทดสอบทางประสารทสัมผัส แต่จากผลคะแนนที่ได้จากการประเมิน พบว่า ผู้ทดสอบชิมนั้นให้คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสของมาการองสูตรลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่มากที่สุด และผลการจัดอันดับความชอบที่ผู้ทดสอบชิมมีต่อมาการอง (ตารางที่ 4.19) พบว่า มาการองสูตรลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่มากที่สุด รองลงมาคือ มาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่มาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลไส้ครีมวานิลลา และ มาการองสูตรลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 การจัดลำดับความชอบของมาการองสูตรมาตรฐานและสูตรลดน้ำตาลพร้อมไส้ (n=10)

ลำดับความชอบ	คะแนนความชอบ (ร้อยละ)
1. มาการองสูตรลดน้ำตาล ไส้ครีมราสเบอรี่	29
2. มาการองสูตรไม่ลดน้ำตาล ไส้ครีมราสเบอรี่	25
3. มาการองสูตรไม่ลดน้ำตาล ไส้ครีมวานิลลา	24
4. มาการองสูตรลดน้ำตาล ไส้ครีมวานิลลา	22

ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณสัดส่วนน้ำตาลซูโครสจาก 150 เป็น 130. 46 กรัม และและน้ำตาลไอซิ่งจาก 150 เป็น 125.66 กรัม ในเปลือกของมาการองได้โดยไม่มีผลกระทบต่อประสาทสัมผัสของผู้บริโภค และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติโดยรวมของมาการองพบว่า ผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มที่จะเลือกมาการองสูตรลดน้ำตาลมากกว่าเนื่องจากมีความหวานที่น้อยกว่ามาการองสูตรไม่ลดน้ำตาล และการจัดอันดับความชอบของมาการอง พบว่าผู้ทดสอบชิมชอบมาการองสูตรลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่มากที่สุดเนื่องจากไส้มีรสชาติออกเปรี้ยวเมื่อรับประทานรวมกับเปลือกมาการองสูตรลดน้ำตาลจึงมีรสชาติที่ไม่หวานเกินไป

บทที่ 5

สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ

การเพิ่มเวลาในการผสมส่วนผสมของเปลือกมาการองก่อนอบมีผลทำให้ความแน่นเนื้อของการเกาะตัวของแบทเทอร์ลดลง เมื่อนำไปอบเป็นเปลือกมาการองมีผลทำให้เปลือกมาการองยุบตัวและแผ่ออกด้านข้าง โดยที่เวลาการผสม 2 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นสภาวะในการผสมส่วนผสมมาการอง เนื่องจากมีการขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกมาการองน้อยที่สุด และมีผลการประเมินระดับความพอดีและคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด

ความสามารถในการเกิดโฟมของไข่ขาวจะลดลงเมื่ออายุการเก็บของไข่ขาวเพิ่มขึ้น และอายุการเก็บที่เพิ่มมีผลต่อสมบัติการจับตัวกับน้ำของโปรตีนไข่ขาวลดลงมีผลทำให้ความคงตัวของโฟมไข่ขาวลดลงเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน โดยที่อายุการเก็บ 7 วันเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีความแน่นเนื้อและความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์ในระดับที่ดี และมีผลการประเมินระดับความพอดีและคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองสูงที่สุด

จากการปรับอัตราส่วนของน้ำตาลซูโครสและไอซิ่งของเปลือกมาการอง พบว่า สามารถลดปริมาณน้ำตาลซูโครสจาก 150 เป็น 130. 46 กรัม คิดเป็นร้อยละ 13.02 และน้ำตาลไอซิ่งจาก 150 เป็น 125.66 กรัม คิดเป็นร้อยละ 16.22 คิดเป็นปริมาณน้ำตาลรวม เท่ากับร้อยละ14.63 โดยการลดปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลไอซิ่งมีผลทำให้ความแน่นเนื้อและความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์มาการอง และค่าความเปราะและความแข็งของเปลือกมาการองลดลง โดยจากแบบจำลองทำนาย ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ 0.098 กิโลกรัม.แรง การเกาะตัวของแบทเทอร์ 162.32 ความแข็งของเปลือก 4.212 กิโลกรัม.แรง การเกาะตัวของเปลือก 0.25 และความเปราะของเปลือก 0.264 กิโลกรัม.แรง เมื่อทดสอบแบบจำลองตามอัตราส่วนดังกล่าวได้ค่าจริงดังนี้ ความแน่นเนื้อของแบทเทอร์ 0.087 กิโลกรัม.แรง ความสามารถในการเกาะตัวของแบทเทอร์

149.352 ความเปราะของเปลือก 0.347 กิโลกรัม.แรง ความแข็งของเปลือก 4.370 กิโลกรัม.แรง และความสามารถในการเกาะตัวของเปลือก 0.26

การปรับปรุงสูตรของเปลือกมาการองให้มีอัตราส่วนของน้ำตาลที่ลดลง มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านความสูงของขาเปลือกและความเหนียวนุ่มของการเคี้ยวของเปลือกมาการองเปลี่ยนไป โดยทำให้คะแนนความชอบด้านความสูงของขาเปลือกมีค่าลดลง และคะแนนความชอบด้านความเหนียวนุ่มของการเคี้ยวเพิ่มขึ้น

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณของน้ำตาลซูโครสและไอซิ่งในเปลือกของมาการองสามารถทำได้โดยไม่มีผลกระทบต่อประสาทสัมผัสของผู้บริโภค และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติโดยรวมของมาการองพบว่า ผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มที่จะเลือกมาการองสูตรลดน้ำตาลมากกว่าเนื่องจากมีความหวานที่น้อยกว่ามาการองสูตรมาตรฐาน และการจัดอันดับความชอบของมาการองพบว่าผู้ทดสอบชิมชอบมาการองสูตรลดน้ำตาลไส้ครีมราสเบอรี่มากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. การทำมาการองควรใช้ไข่ขาวที่มีอายุการเก็บไข่ 7 วัน และขั้นตอนการผสมควรใช้เวลา 2 นาทีเพื่อให้ได้เปลือกมาการองที่มีคุณภาพ
2. ปริมาณน้ำตาลทรายและน้ำตาลไอซิ่งในเปลือกมาการองสามรถลดลงได้ 14.63 % และยังคงได้เปลือกมาการองที่มีคุณภาพ
3. ผู้บริโภคชอบมาการองที่ลดน้ำตาลและไส้ที่มีรสออกเปรี้ยว
4. การศึกษาความหนืดและลักษณะการไหลของแบทเทอร์มาการองเป็นสิ่งที่น่าสนใจนการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะทางกายภาพของแบทเทอร์มาการองที่มีผลต่อการขึ้นรูปเปลือกมาการอง

บรรณานุกรม

เจตนิพัทธ์ บุณยสวัสดิ์ และ จักราวุธ ภู่เสม. 2556. **การเสริมใยอาหารในผลิตภัณฑ์มาการองด้วยรำข้าวสังข์หยด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. สาขาอาหารและโภชนาการ. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ณัฐบดี วิริยาวัฒน และ สุรชาติ สินวรณ. 2558. **คุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพของโฟมโปรตีนดับเพลิงประเภทน้ำมันจากกากเนื้อในเมล็ดยางพารา**. วารสารวิจัย มสด. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. 8(1):91-107.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2549. **การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร**. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 3(1): 6-13.

ปานทิพย์ ผดุงศิลป์ และ ปรัศนี ทับใบแย้ม. 2557. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมโสมนัสด้วยการเสริมใบตะคึก**. สาขาอาหารและโภชนาการ. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

Alleoni A.C.C. and Antunes A. J. 2004. Albumin foam stability and s-ovalbumin contents in eggs coated with whey protein concentrate. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, 6:105-110.

Annie, W. 2012. **Optimizing sugar ratios for macaron taste and structure**. Available : Scihttp://www.cookingscienceguy.com/pages/wp-content/uploads/2012/07/ Food-ScienceMacaron3. pdfence, 74(2), 147-156.

Anonymous. 2019. The Nutrition Source : Almond. Available : https://www.hsph.harvard.edu/ nutritionsource/food-features/almonds/

Anu B., Khalid G., and Charanjit S., 2015. Function and sensory properties of cookies prepared from wheat flour supplemented with cassava and water chestnut flours. **Cogent Food &Agriculture**. 1: 4.

Arwa, S.A. 2013. **Egg White Foam: Food Technology**. Massey University. Auckland, New Zealand.

Cindy, M. (2009). The Macaron and madame blanchez. **Gastronimica**. 9(2):14-18.

Clarkson, J., Cui, Z., and Darton, R. (2000). Effect of solution conditions on protein damage in foam. **Biochemical Engineering Journal**. 4(2): 107-114.

Fabio, L., Pierangelo, F., Janine, L., Giuseppe, M and Matteo, A. D. N. 2012. Effect of sugar, citric acid and egg white type on the microstructural and mechanical properties of meringues. **Journal of Food Processing Engineering**. 108(3): 453-462.

Foegeding, E. A., Luck, P. J. and Davis, J. P. 2006. Factors determining the physical properties of protein foams**. Food Hydrocolloids**. 20(2-3): 284-292.

Friberg. B. 2003. **The advanced professional pastry chef**. John Wiley and sons Inc. New Jersey, USA

Jinru, C., Hilary, S. T., and William, L.K. (2005) Outgrowth of Salmonellae and the Physical Property of Albumen and Vitelline Membrane as Influenced by Egg Storage Conditions. **Journal of Food Protection**. 68(12): 2553-2558.

Lomakina, K., and K. Míková. 2006. A study of the factors affecting foaming properties of egg white: a review. **Czech Journal of Food Science**. 24: 110-118.

Pernell, C. W., Foegeding, E. A. and Daubert, C. R. 2000. Measurement of the yield stress of protein foams by vane rheometry. **Journal of Food Science**. 65(1): 110-114.

Pierre Hermé. 2015. **Macaron**. Grub Street. London, England.

Sara M.S. Gabriel. 2014. **The Science behind Patisserie: A Chemical, Physical and Biological Science Research Report**. 11-15.

Silverside, F.G. and Budgell, K. 2004. The relationships among measures of egg albumen height, pH, and whipping volume. **Poultry Science**. 83: 1619-1623.

Wang, G. and Wang, T. 2009. Effects of yolk contamination, shearing, and heating on foaming properties of fresh egg white. **Journal of Food**. 74(2): 147-156.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก1 การวิเคราะห์ร้อยละการเกิดโฟม (Foamability) ดัดแปลงวิธรการจาก Arwa (2013)

วิธีการ

1. นำไข่ขาวปริมาตร 30 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มาตีด้วยเครื่องปั่น โดยใช้หัวตะกร้อ ความเร็ว 2 นาน 2 นาที จากนั้นใช้ความเร็ว 2 อีก 2 นาที
2. วัดปริมาตรโฟมไข่ขาวทั้งหมดที่ได้โดยนำโฟมที่ได้ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร บันทึกปริมาตรของโฟมที่ได้
3. คำนวณหาร้อยละของการเกิดฟองจากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการเกิดโฟม} = \frac{\text{ปริมาตรโฟมหลังการตีปั่น}}{\text{ปริมาตรของเหลวเริ่มต้นก่อนตีโฟม}} \times 100$$

ก2 การวิเคราะห์ความคงตัวของโฟม (Foam stability) ดัดแปลงวิธีการจากณัฐบดี และ สุรชาติ (2558)

<u>วิธีการ</u>

1. นำไข่ขาวปริมาตร 30 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มาตีด้วยเครื่องปั่น โดยใช้หัวตะกร้อ ความเร็ว 2 นาน 2 นาที จากนั้นใช้ความเร็ว 2 อีก 2 นาที
2. นำโฟมไข่ขาวทั้งหมดมาใส่กรวยแก้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร รอรับด้วยกระบอกตวงปริมาณ 25 มิลลิลิตร
3. ตั้งทิ้งไว้นาน 160 นาที และบันทึกปริมาณของเหลวที่อยู่ในกระบอกตวง ที่เวลา 0, 30, 60, 120 และ 180 นาที
4. คำนวณหาร้อยละของการเกิดฟองจากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละความคงตัวโฟม} = \frac{\text{ปริมาตรโฟมหลังการตีปั่น} - \text{ปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกจากโฟม}}{\text{ปริมาตรโฟมหลังการตีปั่น}} \times 100$$

ภาพภาคผนวกที่ ก1 การวิเคราะห์ร้อยละการเกิดโฟมและการวิเคราะห์ความคงตัวของโฟม

ก3 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของแบทเทอร์มาการอง

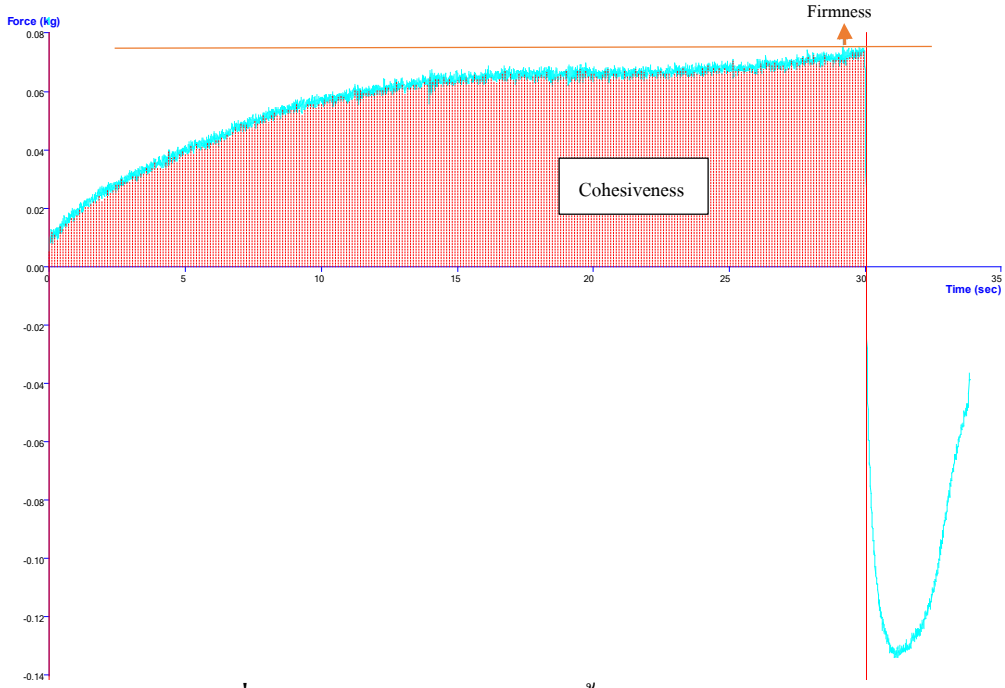
ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA.XT plus ด้วยหัววัด Compression plate 40 mm (P/40) ฐานขนาด 8 มิลลิเมตร โดยใส่แบทเทอร์มาการองปริมาณ 150 กรัม โดยใช้สภาวะ ดังนี้

Compression Mode	: Backward extrusion
Option	: Return to start
Pre – test speed	: 3.0 mm/s
Test speed	: 3.0 mm/s
Post –test speed	: 1.0 mm/s
Distance	: 30mm

ตัวอย่างกราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแบทเทอร์มาการอง แสดงดังภาพภาคผนวกที่ ก1 โดยทำการวัดค่าดังต่อไปนี้

1.) ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) หมายถึง ค่าแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกด (maximum force) หรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง เช่น กิโลกรัม.แรง

2.) ค่าการเกาะตัว (cohesiveness) เป็นพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดครั้งที่ 2 (Area 2) และครั้งที่ 1 (Area 1)



ภาพภาคผนวกที่ ก2 กราฟแสดงการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแบทเทอร์มาการอง

ภาพภาคผนวกที่ ก3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบทเทอร์มาการอง

ก4 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง

ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA.XT plus ด้วยหัววัด Compression plate 75 mm (P/75) ฐานขนาด 8 มิลลิเมตร โดยใช้สภาวะ ดังนี้

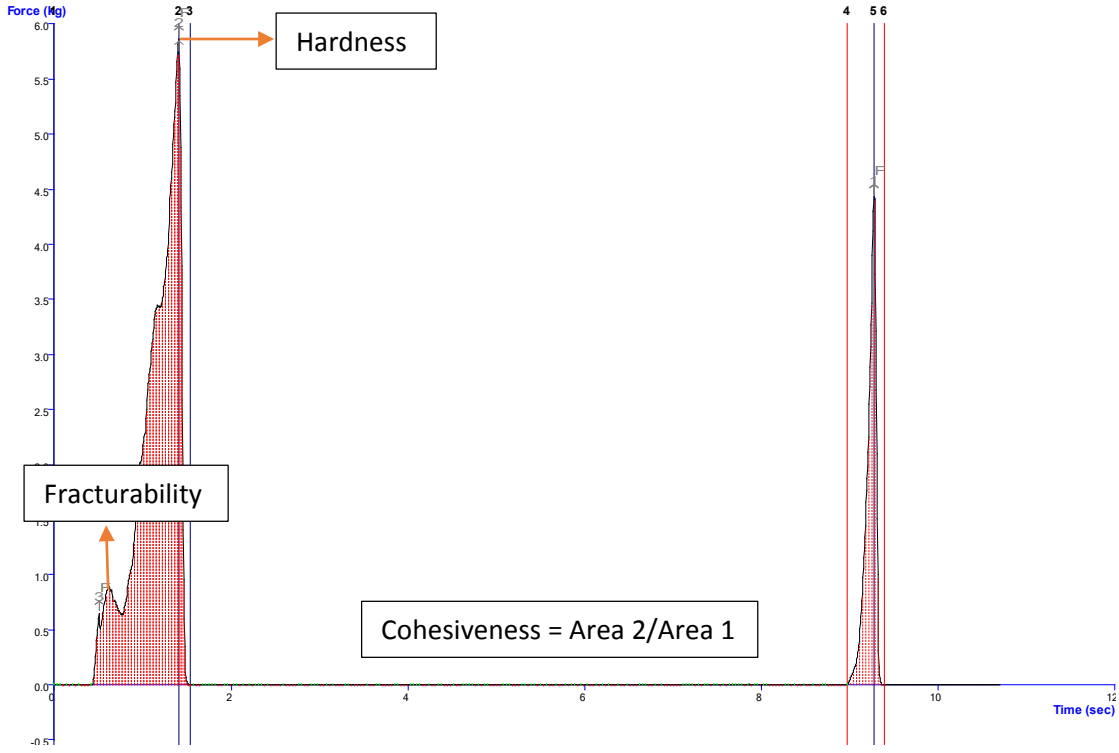
Compression Mode	: Backward extrusion
Option	: Return to start
Pre – test speed	: 0.5 mm/s
Test speed	: 0.5 mm/s
Post –test speed	: 1.0 mm/s
Strain	: 50%

ตัวอย่างกราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง แสดงดังภาพภาคผนวกที่ ก3 โดยทำการวัดค่าดังต่อไปนี้

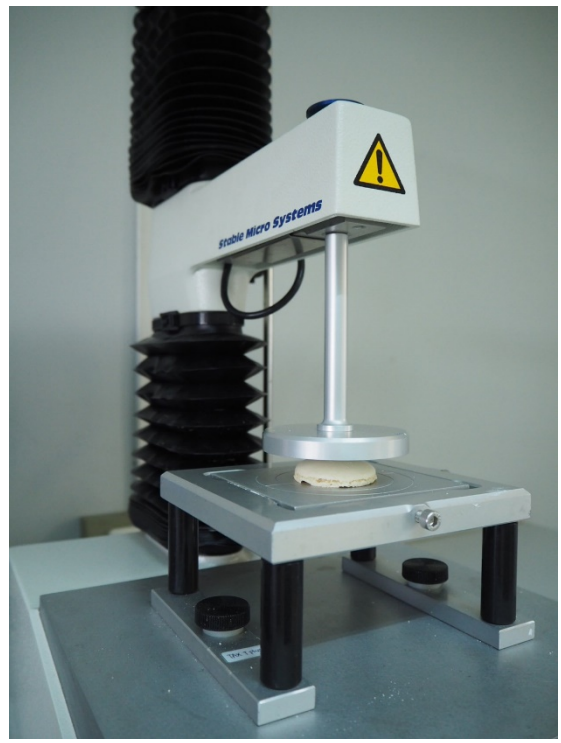
1.) ค่าความเปราะ (fracutrability) หมายถึง แรง ที่จุดยอดแรก ซึ่งทำให้ตัวอย่างหรืออาหารแตกในช่วงการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 1 (เดิมเรียกว่า brittleness) มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง เช่น กิโลกรัม.แรง

2.) ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) หมายถึง ค่าแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกด (maximum force) หรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง เช่น กิโลกรัม.แรง

3.) ค่าการเกาะตัว (cohesiveness) เป็นพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดครั้งที่ 2 (Area 2) และครั้งที่ 1 (Area 1)

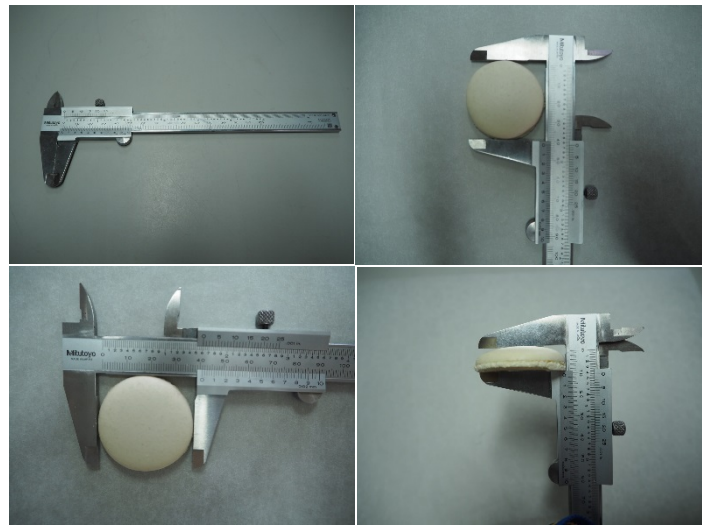


ภาพภาคผนวกที่ ก4 กราฟแสดงการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มาการอง



ภาพภาคผนวกที่ ก5 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเปลือกมาการอง

ก5 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงขาเปลือกของมาการอง



ภาพภาคผนวกที่ ก6 การวัดขนาดมาการอง และความสูงของเปลือกมาการอง

ก6 การคำนวณการจัดอันดับ (Ranking test)

วิธีการ

1.) นำผลการจัดอันดับที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณร้อยละของความชอบ โดยให้
อันดับที่ 1 = 4 คะแนน อันดับที่ 2 = 3 คะแนน
อันดับที่ 3 = 2 คะแนน และอันดับที่ 4 = 1 คะแนน

ผู้ทดสอบ	a	b	c	d
1	2	4	3	1
2	3	1	2	4
3	4	2	1	3
4	2	4	1	3
5	1	4	2	3
6	2	1	3	4
7	2	4	1	3
8	3	1	4	2
9	4	1	3	2
10	1	3	2	4
$\sum$	**24**	**25**	**22**	**29**

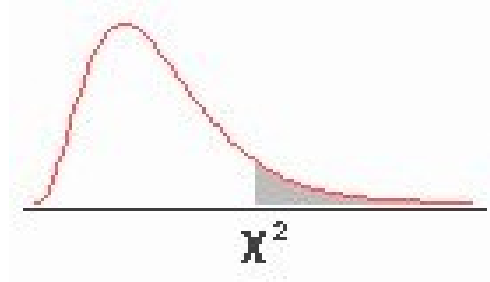
2.) นำผลคะแนนที่ได้มาคำนวณหาค่า X^2 เพื่อหาว่าข้อมูลดับกล่าวมีความแตกต่างกัน (สามารถจัดอันดับได้หรือไม่) โดยใช้สมการ ดังนี้

$$\chi^2 = \frac{12}{nk(k+1)} \sum_{j=1}^{k} R_j^2 - 3n(k+1)$$

$$\chi^2 = \frac{12}{10(4)(4+1)} \sum_{j=1}^{4} R_j^2 - 3(10)(4+1)$$

$$\chi^2 = 18.33$$

จากนั้นนำค่ามาเปรียบเทียบโดยใช้ตาราง χ^2 ที่การยอมรับร้อยละ 95 (0.05)



df	0.99	0.975	0.95	0.9	0.75	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.0055
1	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.45	1.32	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.02	0.05	0.10	0.21	0.58	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.11	0.22	0.35	0.58	1.21	2.37	4.11	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.30	0.48	0.71	1.06	1.92	3.36	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.55	0.83	1.15	1.61	2.67	4.35	6.63	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.87	1.24	1.64	2.20	3.45	5.35	7.84	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	1.24	1.69	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.65	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.22	13.36	15.51	17.53	20.09	21.95
9	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.39	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
110	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	3.05	3.82	4.57	5.58	7.58	10.34	13.70	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.57	4.40	5.23	6.30	8.44	11.34	14.85	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	4.11	5.01	5.89	7.04	9.30	12.34	15.98	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.66	5.63	6.57	7.79	10.17	13.34	17.12	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	5.23	6.26	7.26	8.55	11.04	14.34	18.25	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.81	6.91	7.96	9.31	11.91	15.34	19.37	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	6.41	7.56	8.67	10.09	12.79	16.34	20.49	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	7.01	8.23	9.39	10.86	13.68	17.34	21.60	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	7.63	8.91	10.12	11.65	14.56	18.34	22.72	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	8.26	9.59	10.85	12.44	15.45	19.34	23.83	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00

3.) จากค่า X^2 หากข้อมูลมีความแตกต่างทางสถิติ ให้นำผลการแปลงคะแนนที่ได้มาคำนวณร้อยละของความชอบ เพื่อจัดอันดับความชอบของผลิตภัณฑ์ดังนี้

$$\text{ร้อยละความชอบ} = \frac{\text{คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์}}{\text{คะแนนรวมของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด}} \times 100$$

ภาคผนวก ข

แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ข1 แบบประเมินระดับความพอดี (JAR) และการประเมินระดับการยอมรับทางประสาทสัมผัส (Hedonic 9 points scale)

ผลิตภัณฑ์ : เปลือกมาการอง วันที่ _____

ผู้ทดสอบ_____

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่าง ให้คะแนนความชอบตามที่ท่านรู้สึก ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง (กรุณาบ้วนปากทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง)

สเกลความชอบ:
1= ไม่ชอบมากที่สุด
2= ไม่ชอบมาก
3= ไม่ชอบปานกลาง
4= ไม่ชอบน้อยที่สุด
5= บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ
6= ชอบเล็กน้อย
7= ชอบปานกลาง
8=ชอบมาก
9=ชอบมากที่สุด

และขีดเครื่องหมาย/ให้ตรงกับความรู้สึกที่ท่านมีต่อผลิตภัณฑ์ในเรื่องความพอดีของผลิตภัณฑ์

ตัวอย่าง_____

ปัจจัยคุณภาพ	**คะแนนความชอบ**	**น้อยไป**	**พอดี**	**มากไป**
ลักษณะทรงกลม				
ความสูงของขาเปลือก				
ลักษณะโพรงในเปลือก				
ความแข็ง				
ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ_____

_____

_____

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ข2 แบบสอบถามวิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic Test)

ผลิตภัณฑ์ : มาการอง

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่าง ให้คะแนนความชอบตามที่ท่านรู้สึก ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

สเกลความชอบ:

1 = ไม่ชอบมากที่สุด
2 = ไม่ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบน้อยที่สุด
5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ
6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง
8 =ชอบมาก
9 =ชอบมากที่สุด

และเมื่อผู้ทดสอบทำการให้คะแนนความชอบแก่ตัวอย่างทั้งหมดแล้ว ให้ผู้ทดสอบทำการจัดลำดับความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยกรอกเลขรหัสของผลิตภัณฑ์ตามลำดับ โดยลำดับที่ 1 = ชอบมากที่สุด และ 4 = ชอบน้อยที่สุด

หมายเหตุ : กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

ปัจจัยคุณภาพ	**ตัวอย่างมาการอง**			
ลักษณะทรงกลม				
ความสูงของขาเปลือก				
ลักษณะโพรงในเปลือก				
ความแข็ง				
ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ_____

_____

_____

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ข3 แบบสอบถามวิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic Test) และการจัดลำดับความชอบ (Ranking Test)

ผลิตภัณฑ์ : มาการอง

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่าง ให้คะแนนความชอบตามที่ท่านรู้สึก ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

สเกลความชอบ:

1 = ไม่ชอบมากที่สุด
2 = ไม่ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบน้อยที่สุด
5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ
6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง
8 =ชอบมาก
9 =ชอบมากที่สุด

และเมื่อผู้ทดสอบทำการให้คะแนนความชอบแก่ตัวอย่างทั้งหมดแล้ว ให้ผู้ทดสอบทำการจัดลำดับความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยกรอกเลขรหัสของผลิตภัณฑ์ตามลำดับ โดยลำดับที่ 1 = ชอบมากที่สุด และ 4 = ชอบน้อยที่สุด

หมายเหตุ : กรุณาบ้วนปากก่อนทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง

ปัจจัยคุณภาพ	**ตัวอย่างมาการอง**			
ลักษณะทรงกลม				
ความสูงของขาเปลือก				
ลักษณะโพรงในเปลือก				
ความแข็ง				
ความเหนียวนุ่มของการเคี้ยว				
เนื้อสัมผัสของมาการองพร้อมไส้				
รสชาติโดยรวมของมาการอง				
ความชอบโดยรวม				

เรียงลำดับความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์

1._____ 2._____ 3._____ 4._____

ข้อเสนอแนะ_____

_____

_____

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ภาคผนวก ค

วิธีการทำเปลือกมาการองและไส้มาการอง

1. ตวงของตามสูตรมาตราฐาน

2. ร่อนผงอัลมอนด์กับน้ำตาลไอซิ่งรวมกัน จากนั้นนำไข่ขาวส่วนที่ 1 มาผสม

3. นำน้ำตาล 150 กรัม ผสมน้ำ 40 มล. ใส่รวมกันลงในหม้อต้ม คนพอให้เข้ากัน จากนั้นนำไปตั้งไฟ 1300 วัตต์ แล้ววัดอุณหภูมิของน้ำเชื่อมให้ได้ 121 องศาเซลเซียส

4. ค่อยๆเทน้ำเชื่อมที่ได้อุณหภูมิลงในไข่ขาวที่ตีพอขึ้นโฟมแล้ว โดยไข่ขาวตีที่ความเร็วเบอร์ 4 ประมาณ 1 นาที เมื่อเทน้ำเชื่อมหมดแล้ว ให้ปรับความเร็วเป็นเบอร์ 8 ตีจนอุณหภูมิของเมอแรงอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส

ลักษณะของเมอแรงที่ได้ตามข้อ 4

ลักษณะของมาการองเพสที่ได้ตามข้อ 2

5. เปลี่ยนจากหัวตีตะกร้อเป็นหัวใบไม้ แล้วใส่มาการองเพสลงไปทั้งหมด

6. เปิดความเร็วต่ำเบอร์ 1 ผสมจนเข้ากัน

7. ใส่ถุงบีบพร้อมหัวบีบกลม แล้วบีบแบทเทอร์ลงบนถาดอบที่รองด้วยแผ่นรองอบเทฟล่อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ซม. และเว้นระยะห่าง 3 ซม. ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

8. อบด้วยเตาพัดลมไฟฟ้าอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 12 นาที

ภาพภาคผนวกที่ ค1 ขั้นตอนการทำเปลือกมาการอง

ไส้มาการอง

อิตาเลียนบัตเตอร์ครีม

ส่วนผสม	ปริมาณ	
ไข่ขาว	100	กรัม
น้ำตาลทราย	160	กรัม
น้ำ	50	มิลลิลิตร
เนยจืด	400	กรัม

วิธีทำ

1. นำไข่ขาวใส่ลงในโถตี ใช้หัวตะกร้อ เปิดความเร็วระดับ 4 ตีจนพอขึ้นฟู
2. นำน้ำกับน้ำตาลผสมกันใส่ในหม้อแล้วนไปตั้งไฟให้ได้น้ำเชื่อมอุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส จากนั้นค่อยๆ เทน้ำเชื่อมลงในไข่ขาวที่ตีพอขึ้นฟู จากนั้นตีต่อไปเรื่อย ๆ จนอุณหภูมิของเมอแรงประมาณ 35 องศาเซลเซียส
3. เปลี่ยนจากหัวตีตะกร้อเป็นหัวใบพาย ค่อยๆใส่เนยลงไป ตีจนเนื้อเนียนเข้ากันดี ฟูไม่เป็นก้อน
4. พักไว้อุณหภูมิห้อง

วนิลาครีม

ส่วนผสม	ปริมาณ	
นมสด	250	มิลลิลิตร
ไข่แดง	3	ฟอง
น้ำตาลทราย	40	กรัม
แป้งข้าวโพด	15	กรัม
ฝักวนิลา	1/2	ฝัก

วิธีทำ

1. ตีไข่แดง น้ำตาลทราย กับแป้งข้าวโพดรวมกันจนเนื้อเนียน
2. ผ่าฝักวานิลาครึ่งหนึ่งแนวขวาง จากนั้นใช้มีดขูดเมล็ดดำๆออกมาแล้วใส่ลงในส่วนผสมไข่แดง ส่วนเปลือกนำไปใส่ในนมที่นำไปตั้งไฟพออุ่นๆ

3. เทนมอุ่นใส่ในส่วนผสมไข่แดง ค่อยๆคนจนเข้ากันดี แล้วเทส่วนผสมกลับลงในหม้อ แล้วนำมาตั้งไฟค่อยๆคนจนส่วนผสมข้น และเดือด
4. เทใส่ถาด ใช้แผ่นพลาสติกปิดด้านบนให้แนบไปกับครีม เพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนผสมมีผิวหน้าที่แห้ง
5. จากนั้นนำไปแช่เย็นประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนเย็น

<u>วิธีผสมไส้วานิลาครีม</u>

100 กรัม วานิลาครีม

200 กรัม อิตาเลียนบัตเตอร์ครีม

<u>วิธีทำ</u>

1. นำวานิลาครีม 150 กรัม มาคนจนเนียนโดยใช้โถตี กับหัวใบไม้ จากนั้นค่อยเติมบัตเตอร์ครีมลงไป ตีจนเข้ากัน เนียนฟู
2. นำมาบีบลงฝามาการอง ลงบนด้านใดด้านหนึ่งของฝา แล้วนำอีกฝามาประกบคู่กัน

<u>วิธีผสมไส้ราสเบอรี่ครีม</u>

50 กรัม ราสเบอรี่เพสแบบเข้มข้น (ยี่ห้อ Pregel)

200 กรัม อิตาเลียนบัตเตอร์ครีม

<u>วิธีทำ</u>

1. นำบัตเตอร์มาคนให้เนียน จากนั้นเติมราสเบอรี่เพสลงไป คนให้เข้ากันดี
2. นำมาบีบลงฝามาการอง ลงบนด้านใดด้านหนึ่งของฝา แล้วนำอีกฝามาประกบคู่กัน
3.

ภาพภาคพนวกที่ ค2 ภาพเปลือกมาการองสูตรลดน้ำตาล

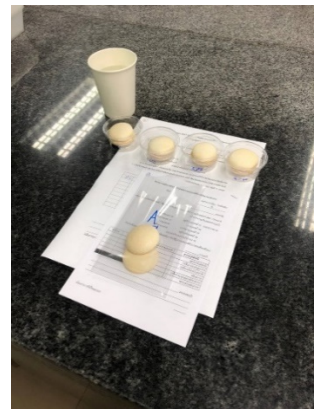
ภาคผนวก ง
ภาพลักษณะแบทเทอร์มาการอง เปลือกมาการอง และขั้นตอนการจัดการทดสอบทางประสามสัมผัส

ลักษณะแบทเทอร์มาการองก่อนอบ

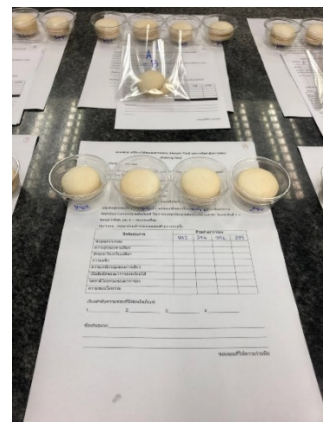
การดูลักษณะแบทเทอร์ของมาการอง ควรสังเกตจากการไหลของมาการองแบทเทอร์หลังจากการผสม ใช้ไม้พายพลาสติกคนแล้วยกขึ้นให้มาการองแบทเทอร์ค่อยไหลลงมา ลักษณะควรไหลลงมาแบบช้าไม่ขาดสาย และมีลายเส้นเกิดขึ้นประมาณ 30 วินาที เนื้อของแบทเทอร์มีลักษณะเงา ศัพท์ที่ใช้เรียกการผสมมาการองแบเทอร์ เรียกว่า Macaronage (มาการองเนจ) ดังนั้นลักษณะแบทเทอร์ที่ตีด้วยเครื่องควรมีลักษณะดังภาพก่อนที่จะนำไปอบ ในกรณีที่ไม่ได้ใช้เครื่องตียี่ห้อเดียวกันกับการทดลองนี้

ภาพภาคพนวกที่ ง1 ภาพเปลือกมาการองสูตรลดน้ำตาล

ภาพภาคผนวกที่ ง2 ภาพเปลือกมาการองที่ทำจากอายุการเก็บไข่ขาว 0 -28 วัน (เรียงจากซ้ายมาขวา)



ภาพภาคผนวกที่ ง3 การจัดชุดทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการอง



ภาพภาคผนวกที่ ง4 การจัดชุดทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสของเปลือกมาการองสูตรไม่ลดน้ำตาลและสูตรลดน้ำตาลพร้อมไส้ครีมวานิลลาและครีมราสเบอรี่

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล	นางสาวณฐิณี จีระลักษณกุล
วัน เดือน ปีเกิด	1 เมษายน 2522 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	วิทยาลัยดุสิตธานี 1 ซอยแก่นทอง แขวงหนองบอน เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250
ประวัติการศึกษา	- พ.ศ. 2543 จบการศึกษาหลักสูตรศิลปศาสตร์บัณฑิต คณะมนุษย์ศาสตร์ สาขาเอกภาษาต่างประเทศ(อังกฤษ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร - พ.ศ. 2544 Grand Diploma in Cuisine and Patisserie, Le Cordon Bleu เมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ - พ.ศ. 2558 ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดและการบริการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและสำเร็จการศึกษาในปี 2561
การนำเสนอผลงาน	- นำเสนอผลงานวิจัยด้วยวาจา เรื่อง **Effects of aging egg white on quality of macaron shell** ในงานประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษา ระดับนานาชาติ Food Innovation Asia Conference 2018 (FIAC 2018) ครั้งที่ 20 ณ ศูนย์การประชุมไบเทค เขตบางนา กรุงเทพมหานคร