

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน  
ร่วมกับเตาอบไมโครเวฟ

DEVELOPMENT OF KLUAI NAMWA SNACK USING HOT AIR DRYING AND  
MICROWAVE OVEN COMBINED METHOD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน  
ร่วมกับเตาอบไมโครเวฟ

DEVELOPMENT OF KLUAI NAMWA SNACK USING HOT AIR DRYING AND  
MICROWAVE OVEN COMBINED METHOD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF KLUAI NAMWA SNACK USING HOT AIR DRYING AND  
MICROWAVE OVEN COMBINED METHOD



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับเตาอบไมโครเวฟ

Development of Kluai Namwa Snack Using Hot Air Drying and Microwave Oven Combined Method

ผู้จัดทำ

- |                    |                   |              |          |
|--------------------|-------------------|--------------|----------|
| 1. นางสาวธันยพร    | เอียตระกูลไพบูลย์ | รหัสประจำตัว | 57010615 |
| 2. นางสาวสุภารัตน์ | สุรัมย์           | รหัสประจำตัว | 57011392 |



*dgson* *ส.ท.*

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.มธรรดา จิโนรส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับเตาอบไมโครเวฟ	
นักศึกษา	นางสาวธัญพร	เอียตระกูลไพบุลย์
	นางสาวสุดารัตน์	สุรัมย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.มธุรดา จิโนรส	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2560	

### บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีการเพาะปลูกกล้วยอย่างแพร่หลายและหนึ่งในพันธุ์ที่เป็นที่นิยมปลูกและบริโภคอย่างแพร่หลาย ได้แก่ กล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L. (ABB group)) เนื่องจากมีสารอาหารที่มีประโยชน์ มีรสชาติดี หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก มีผลผลิตตลอดทั้งปี โดยทั่วไปนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบต่าง ๆ ซึ่งส่วนมากมักผ่านกระบวนการทอดในน้ำมันทำให้เกิดการดูดซับน้ำมัน ทว่าปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจต่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น จึงนำมาสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์หรือเป็นมิตรต่อสุขภาพ ที่ผ่านมามีการศึกษาเทคนิคการลดปริมาณการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดกรอบ ทว่าอาหารก็ยังคงมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบในปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการอบแห้ง เพื่อทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับของทอดกรอบ ดังเช่นโครงการนี้ ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการพัฟฟิงด้วยเตาไมโครเวฟ เพื่อให้โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์เกิดการการพองตัวและมีความพรุนเพิ่มขึ้น ทำให้ได้เนื้อสัมผัสของอาหารที่มีลักษณะกรอบเทียบเคียงของทอด โดยทำการศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสูงต่าง ๆ ศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้ง ความเร็วลม ความชื้นสุดท้ายในการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนแบบถาด และเวลาในการพัฟฟิงในเตาไมโครเวฟ ต่อการพัฟฟิงและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ศึกษาสมบัติคุณภาพของกล้วยอบกรอบอันได้แก่ ความชื้น, ค่าแอกติวิตีของน้ำ, ปริมาตร, การพองตัว, ลักษณะปรากฏ (สี และรูปร่าง) และเนื้อสัมผัส (ความแข็งและความกรอบ) จากการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยเตาอบแบบลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C ความเร็วลม 0.32 m/s จนกระทั่งกล้วยมีความชื้น 20% ฐานแห้ง เพื่อให้เกิดขอบแข็งช่วยให้กล้วยคงตัวหลังการพัฟฟิง ก่อนนำไปพัฟฟิงต่อในเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 50 s จะได้กล้วยอบกรอบที่มีการพองตัวที่ดีและไม่ยุบตัวหลังอบ มีเนื้อสัมผัสกรอบ และมีค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม และสามารถรักษาความกรอบไว้ได้ในระหว่างการเก็บรักษา

**คำสำคัญ :** ขนมขบเคี้ยว, กล้วย, การอบแห้ง, การพัฟฟิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Project Title</b>	Development of of Kluai Namwa Snack using hot air drying and microwave oven combined method
<b>Students</b>	Ms. Thunyaporn Eartrakulpaiboon Ms. Sudarat Suram
<b>Project Advisor</b>	Dr. Maturada Jinorose
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering
<b>Program</b>	Food Engineering
<b>Academic Year</b>	2017

## Abstract

Banana was widely cultivated throughout Thailand and one of the most popular varieties is Kluai Namwa (*Musa sapientum* L. (ABB group)). Generally, bananas were processed as different kind of snacks which usually have to go through a deep-frying process that absorb oil. However, nowadays consumers are paying more attention to their health and thus leads to the development of snacks that are good for health. The techniques to reduced oil absorption in crispy food were studied, however, the foods still had high level of oil content, thus leads to applying of drying technique to produce a product comparable to crispy fried food products. In this project, drying of banana slides using hot-air drying combined with puffing using microwave oven to engineer microstructure (increase puffiness and porosity) of the product, were studied. Banana (Kluai Namwa variety) slides at various ripeness level were dried. The effect of ripeness, drying condition (drying temperature and air flow rate) as well as final moisture content before puffing and puffing time using microwave oven were studied. The quality properties including moisture content, water activity, volume, puffiness, appearance (i.e., color and shape) and texture (hardness and crispiness) of the products were measured. From the study, it was found that drying banana slides using tray dryer at drying temperature 70 °C and an air velocity 0.32 m/s until the moisture content of the products reach 20% dry basis (to produce a crust to support the structure after puffing) and then puffing in microwave oven for 50 s offered the most suitable condition for processing. The banana slides had high level of puffiness, crispy texture, and suitable moisture content for storage.

**Keywords :** Snack, Banana, Drying, Puffing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทสำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.มธุรดา จิโนรส ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และคอยชี้แนะให้คำปรึกษา แนะนำการปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้ทดลอง

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความกรุณา คอยอบรมสั่งสอน ให้ความรู้แก่ผู้ทดลอง และคอยสนับสนุนผู้ทดลอง

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโท นางสาวอัญญนันท์ เสถียรกิจอำไพ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการทำโครงการตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา และเป็นแรงบันดาลใจให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูปภาพ	X
สารบัญสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงาน	2
1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของกล้วยน้ำว้า	3
2.2 การสุกของกล้วย	5
2.3 ผลผลิตและประโยชน์จากกล้วยน้ำว้า	6
2.3.1 การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกล้วยน้ำว้าที่สำคัญ	6
2.3.2 การวิจัยเพื่อแปรรูปกล้วยน้ำว้าเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่	6
2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วย	7
2.3.4 ประโยชน์จากส่วนอื่น ๆ ของกล้วยน้ำว้า	7
2.4 ตลาดกล้วยน้ำว้า	8
2.4.1 ตลาดกล้วยน้ำว้าภายในประเทศ	8
2.4.2 ตลาดกล้วยน้ำว้าส่งออก	8
2.5 ขนมขบเคี้ยว	8
2.5.1 ประเภทของขนมขบเคี้ยว	9
2.5.2 วิธีการแปรรูปขนมขบเคี้ยว	9
2.5.3 อันตรายของขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการทอด	9
2.6 ผลกระทบของขนมขบเคี้ยวจากการทอด	9
2.6.1 ทฤษฎีการทอด	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 ผลกระทบของความร้อนต่อน้ำมัน	9
2.6.3 ผลกระทบของการทอดต่อองค์ประกอบของอาหารทอด	10
2.7 การอบแห้ง	11
2.7.1 หลักการพื้นฐานการอบแห้ง	11
2.7.2 วัตถุประสงค์ของการอบแห้ง	12
2.7.3 ความชื้น	12
2.7.4 แอคติวิตีของน้ำ	12
2.7.5 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของการอบแห้ง	13
2.7.6 กลไกการถ่ายเทความร้อนระหว่างการอบแห้ง	13
2.8 การเปลี่ยนแปลงของอาหารจากการอบแห้ง	13
2.8.1 การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร	13
2.8.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส	14
2.8.3 การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรส	14
2.9 การพффิง	14
2.9.1 หลักการพффิง	14
2.9.2 การพффิงด้วยไมโครเวฟ	15
2.10 การเกิดปฏิกิริยาน้ำตาล	15
2.10.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่อาศัยเอนไซม์	15
2.10.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์	16
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	17
3.1 อุปกรณ์	17
3.2 วัสดุทดลอง	17
3.2.1 การวัดระดับความสุขของกล้วย	17
3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง	18
3.3 การศึกษาเบื้องต้น	18
3.3.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความหนาของกล้วยน้ำว่าที่เหมาะสม	18
3.3.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความสุขของกล้วยน้ำว่าที่เหมาะสม	18
3.3.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งแบบลมร้อนต่อการพффิงกล้วยน้ำว่า	18
3.4 การศึกษาผลของความชื้นเริ่มต้นของกล้วยน้ำว่าก่อนการพффิง	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างของกล้วยน้ำว้า	19
3.5.1 ความชื้น (Moisture Content)	19
3.5.2 แอคติวิตีของน้ำ (Water Activity)	19
3.5.3 ปริมาตร (Volume)	19
3.5.4 การพuffing (Puffing)	21
3.5.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analysis)	21
3.5.6 ค่าสี (Color)	21
3.6 การวิเคราะห์เชิงภาพ (Image Analysis)	21
3.6.1 พื้นที่ภาพฉาย (Projected Area) และความกลม (Circularity)	21
3.6.2 ความพรุน (Porosity)	22
3.7 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)	23
3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	24
4.1 เปรียบเทียบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่พัฒนาขึ้น	24
4.1.1 วิธีวัดความสุกของกล้วย	24
4.1.2 การสอบเทียบเครื่องวัดปริมาตร	25
4.2 ผลการศึกษาเบื้องต้น	27
4.2.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความหนาของกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม	27
4.2.2 ผลการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม	27
4.2.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งต่อการพuffing กล้วยน้ำว้า	28
4.3 ผลการศึกษาหาความชื้นเริ่มต้นของกล้วยน้ำว้าก่อนการพuffing	31
4.3.1 ความชื้น (Moisture Content)	31
4.3.2 การพuffing (Puffing)	32
4.3.3 ปริมาตร (Volume)	33
4.3.4 แอคติวิตีของน้ำ (Water Activity)	34
4.3.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analysis)	34
4.3.6 ค่าสี (Color)	36
4.4 การวิเคราะห์เชิงภาพ (Image Analysis)	39
4.4.1 พื้นที่ภาพฉาย (Projected Area) และความกลม (Circularity)	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VI ึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 ความพรุน (Porosity)	40
4.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)	41
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาเพิ่มเติม	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง	48
ภาคผนวก ข. แบบประเมินผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนม ขบเคี้ยวกล้วยน้ำว้า	68



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของผลกล้วยน้ำว้าปริมาณ 100 g ของน้ำหนักรวมผลสุก	4
2.2	เปรียบเทียบองค์ประกอบของไขมันที่ทอดผ่านบางที่ทอดในระบบสุญญากาศกับการทอดที่บรรยากาศปกติ (คิดจากอาหาร 100 g)	10
4.1	เปรียบเทียบระดับความสุกของกล้วยด้วยวิธีวัดมาตรฐานและวิธีประยุกต์	24
4.2	ความแม่นยำจากการสอบเทียบชุดอุปกรณ์วัดปริมาตรกับวิธีคำนวณ	26
4.3	ความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในกล้วยฉาบ กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ และกล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงที่ 20% d.b. (จำนวนผู้ทดสอบ 50 คน)	42
ก.1	ความชื้นของกล้วยน้ำว้าระหว่างการทำให้แห้งด้วยวิธีอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และ 70 °C ที่เวลาต่าง ๆ	49
ก.2	ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อการพัฟฟิงของกล้วยน้ำว้าที่เวลาต่าง ๆ	50
ก.3	ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่ออัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้นหลังการพัฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	50
ก.4	ความแข็งของกล้วยน้ำว้าหลังการพัฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	51
ก.5	ความกรอบของกล้วยน้ำว้าหลังการพัฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	51
ก.6	การพัฟฟิงของกล้วยน้ำว้าที่มีความชื้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	52
ก.7	ปริมาตรของกล้วยน้ำว้าที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	52
ก.8	อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสุดท้ายของกล้วยน้ำว้าที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	53
ก.9	แอกติวิตีของน้ำที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	53
ก.10	ความแตกต่างของเอนทัลปี ( $\Delta E^*$ ) กล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	54
ก.11	ความสว่าง ( $L^*$ ) กล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	55
ก.12	ความเข้มของสี ( $c^*$ ) กล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	56
ก.13	เฉดสี ( $h^*$ ) กล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	57
ก.14	ความแข็งของกล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	58
ก.15	ความกรอบของกล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน	59
ก.16	ความชื้นของกล้วยน้ำว้าหลังการพัฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	60
ก.17	อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ภาพฉายหลังการพัฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	60
ก.18	อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง (ความกลม) หลังการพัฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.19 ผลการวิเคราะห์รูปพจนด้วยโปรแกรม ImageJ	62
ก.20 ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 5 ปัจจัย	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	กล้วยน้ำว้า	4
2.2	แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่าง ๆ	5
2.3	กราฟระหว่างอัตราการทำให้แห้งและความชื้นในสารนั้น	12
2.4	กลไกการแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของมันฝรั่งรูปทรงลูกบาศก์ระหว่างการพฟฟิง	15
3.1	ชุดวัดปริมาตร	20
3.2	ภาพกล้วยน้ำว้าตัดขวางหลังพฟฟิง 40 s	22
3.3	ภาพกล้วยน้ำว้าตัดขวางหลังพฟฟิง 40 s หลังการใช้เทคนิค Threshold-based segmentation โดยใช้โปรแกรม ImageJ	22
4.1	การพฟฟิงของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความหนา 3 mm และ 5 mm เมื่อนำไปพฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	27
4.2	การพฟฟิงของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุก 5 Brix และ 7 Brix เมื่อนำไปพฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	28
4.3	ความชื้นของกล้วยน้ำว้าระหว่างการทำให้แห้งด้วยวิธีอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และ 70 °C ที่เวลาต่าง ๆ	29
4.4	การพฟฟิงของกล้วยน้ำว้าที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 °C และ 70 °C จนมีความชื้นก่อนการพฟฟิงที่ 30% d.b. เปรียบเทียบกับอัตราส่วนความชื้น	29
4.5	ความแข็งของกล้วยน้ำว้าหลังการพฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	30
4.6	ความกรอบของกล้วยน้ำว้าหลังการพฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	30
4.7	การเปลี่ยนแปลงของกล้วยระหว่างการพฟฟิงด้วยเตาไมโครเวฟที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพฟฟิง 30% d.b.	31
4.8	ค่าความชื้นของกล้วยน้ำว้าหลังการพฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ	32
4.9	การพฟฟิงของกล้วยน้ำว้าที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพฟฟิงที่ต่างกัน	33
4.10	ปริมาตรของกล้วยน้ำว้าหลังพฟฟิงที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพฟฟิงต่างกัน	33
4.11	แอกติวิตีของน้ำของกล้วยน้ำว้าที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพฟฟิงต่างกัน	34
4.12	ความแข็งของกล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพฟฟิงต่างกัน	35
4.13	ความกรอบของกล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพฟฟิงต่างกัน	35
4.14	กล้วยที่มีความชื้นก่อนการพฟฟิงต่างกัน นำมาพฟฟิงเป็นเวลา 60 s	36

## สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	ความแตกต่างของสี ( $\Delta E^*$ ) กล้วยที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัพพองต่างกัน	37
4.16	ความสว่าง ( $L^*$ ) กล้วยที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัพพองต่างกัน	37
4.17	ค่าความเข้มของสี ( $c^*$ ) กล้วยที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัพพองต่างกัน	38
4.18	ค่าเฉดสี ( $h^*$ ) กล้วยที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัพพองต่างกัน	38
4.19	อัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (ความกลม) ของกล้วยน้ำว่าเปรียบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรหลังการพัพพองของกล้วยที่มีความชื้นก่อนการพัพพองต่างกัน	39
4.20	อัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ภาพฉายของกล้วยน้ำว่าเปรียบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรหลังการพัพพองของกล้วยที่มีความชื้นก่อนการพัพพองต่างกัน	40
4.21	ความพรุนและค่าความกรอบที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการพัพพองที่มีความชื้นก่อนการพัพพองต่างกัน	41



## สารบัญสัญลักษณ์

$a^*$	สีของกล้วยน้ำว้าหลังอบเตาไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ
$a_i^*$	สีของกล้วยน้ำว้าเริ่มต้น
$b^*$	สีของกล้วยน้ำว้าหลังอบเตาไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ
$b_i^*$	สีของกล้วยน้ำว้าเริ่มต้น
$c^*$	ค่าความเข้มของสี
$h^*$	ค่าเฉดสี
$L^*$	สีของกล้วยน้ำว้าหลังอบเตาไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ
$L_i^*$	สีของกล้วยน้ำว้าเริ่มต้น
$m_i$	มวลกล้วยน้ำว้าก่อนอบ (g)
$m_s$	มวลกล้วยน้ำว้าหลังอบ (g)
$M$	มวลของชิ้นวัสดุ (g)
$M_{ha}$	มวลของตะขอในอากาศ (g)
$M_{hs}$	มวลของตะขอในของเหลว (g)
$M_s$	มวลของชิ้นวัสดุในของเหลว (g)
$V$	ปริมาตรที่เวลาใด
$V_i$	ปริมาตรที่เวลาเริ่มต้น
$x_{mea}$	ค่าที่ได้จากการวัด
$x_t$	ค่าจริง
$\rho_s$	ความหนาแน่นของของเหลว ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
$\Delta E^*$	ค่าความแตกต่างของสี

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงาน

ขนมขบเคี้ยวจัดเป็นอาหารว่าง บริโภคง่าย และสะดวก ส่วนใหญ่เป็นอาหารที่ให้พลังงานสูง เนื่องจากมีส่วนประกอบหลัก คือ คาร์โบไฮเดรตและไขมันปริมาณมาก ขนมขบเคี้ยวที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ คุกกี้ และขนมขบเคี้ยวที่ได้รับความนิยมอีกประเภทหนึ่งคือ ขนมขบเคี้ยวที่ได้จากการนำผักและผลไม้มาแปรรูปโดยตรง เช่น แครอท กล้วย (Raikham et al., 2013) โดยกล้วยน้ำว่าเป็นหนึ่งในพันธุ์กล้วยที่นิยมปลูกและบริโภคอย่างแพร่หลายในประเทศไทย (อภิชาติ และพัชรี, 2559) และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากกล้วยน้ำว่าที่นิยมนำมาแปรรูปมีอยู่มากมาย เช่น กล้วยเบรคแตก กล้วยทอด และกล้วยฉาบ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปโดยนำมาผ่านกระบวนการทอดในน้ำมัน ทำให้มีการดูดซับน้ำมัน จึงมีปริมาณไขมันที่สูง ไม่เหมาะกับผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ เพราะไขมันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ โรคอ้วน โรคความดันโลหิตสูง อีกทั้งผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาดที่ผ่านกระบวนการทอดในน้ำมันนั้นยังมีการใช้น้ำมันในการทอดซ้ำหลายครั้ง ซึ่งทำให้เกิดสารโพลาร์ในน้ำมันที่มีปริมาณสูง โดยถ้ามีปริมาณสูงกว่า 25% จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย เช่น โรคมะเร็งต่าง ๆ (ไพโรจิตร, 2554)

โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยมากมายทำการศึกษาด้านการลดปริมาณการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดกรอบ เช่น การอบไล่ไขมันหลังการทอด หรือการทอดในสภาวะสูญญากาศ (Vacuum frying) ทว่าน้ำมันยังคงเหลืออยู่ในปริมาณมาก จึงนำมาสู่การประยุกต์ใช้เทคนิคการอบแห้งแบบต่าง ๆ เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) เป็นการทำให้แห้งขณะที่อาหารมีอุณหภูมิต่ำ วิธีนี้จึงสามารถลดการสูญเสียสารอาหารเนื่องจากความร้อนได้ ลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างอาหาร ทว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสเป็นลักษณะคล้ายโฟม ไม่เหมือนขนมขบเคี้ยวที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป อีกทั้งยังมีราคาสูง เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินการสูงเมื่อเทียบกับกระบวนการแปรรูปขนมขบเคี้ยวรูปแบบอื่น (ถาวร, 2560)

โครงการนี้จึงได้มีการมีการศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคการอบแห้งร่วมกับการพuffing (Puffing) ด้วยเตาไมโครเวฟขึ้น โดยนำกล้วยมาอบแห้งด้วยเตาอบแบบลมร้อน (Tray drying) จนกระทั่งกล้วยมีความชื้นที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดขอบแข็งช่วยให้กล้วยคงตัวหลังการพuffing จากนั้นจึงนำกล้วยมาพuffing ต่อในเตาไมโครเวฟ เพื่อให้โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวและมีความพรุนเพิ่มขึ้น ทำให้ได้เนื้อสัมผัสของอาหารที่มีลักษณะกรอบเทียบเคียงของทอด โดยผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านกระบวนการทอดใด ๆ เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงาน

1. เพื่อศึกษาผลของเทคนิคการอบแห้งร่วมกับการพффฟงกั้วน้ำว้าต่อสมบัติทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และลักษณะปรากฏของกั้วน้ำว้า
2. เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่กรอบโดยไม่ผ่านกระบวนการทอด

## 1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน

1. ศึกษาผลของเทคนิคการอบแห้งร่วมกับการพффฟงกั้วน้ำว้าด้วยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับเตาไมโครเวฟต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น, ค่าแอกติวิตีของน้ำ, ปริมาตร, การพองตัว, ลักษณะปรากฏ (สีและรูปร่าง), เนื้อสัมผัส (ความแข็งและความกรอบ) และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน (ความพรุน)
2. เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองกับผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปตามท้องตลาดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปจากการทอด

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจอิทธิพลของเทคนิคการอบแห้งร่วมกับการพффฟงกั้วน้ำว้าต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างของกั้วน้ำว้า
2. ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีเนื้อสัมผัสกรอบ โดยไม่ผ่านกระบวนการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของกล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้า [*Musa sapientum* L. (ABB group) “Kluai Namwa”] มีชื่อพื้นเมืองอื่น ๆ เรียกทั่วไปว่า กล้วยมณีอ่อน กล้วยอ่อน กล้วยมะลิอ่อน และกล้วยใต้ กล้วยน้ำว้าจัดเป็นกล้วยพื้นเมืองที่พบได้ทั่วไปทุกภาคในประเทศไทยและนิยมบริโภคมาก เนื่องจากปลูกง่าย มีรสชาติดี และให้คุณค่าทางอาหารมาก อีกทั้งยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ กล้วยน้ำว้าเกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ของกล้วยป่า 2 ชนิด ได้แก่ *Musa acuminata* และ *Musa balbisiana* (มณฑาทิพย์, 2545)

**ต้น** ลำต้นแท้เป็นส่วนหัวอยู่ใต้ดิน ลำต้นเทียมเกิดจากหน่อสูง 3.0 ถึง 4.5 m ลำต้นเทียมประกอบด้วยกาบใบและใบ ส่วนของกาบใบแทงออกจากส่วนหัวเรียงซ้อนกันแน่นเป็นวงกลมจนกลายเป็นลำต้น แผ่นกาบด้านนอกมีสีเขียวปนดำเล็กน้อย กาบใบเป็นแผ่นโค้งรูปครึ่งวงกลม แกนกลางเป็นกาบอ่อนเรียงซ้อนกัน เมื่อออกปลีแกนกลางจะเป็นแกนกล้วยแทน ขนาดลำต้นเทียม 15.0 ถึง 25.0 cm (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

**ใบ** ใบกล้วยประกอบด้วยก้านใบ และใบ ก้านใบยาวประมาณ 0.5 ถึง 1.0 m ส่วนใบ เรียกว่า “ใบตอง” มีลักษณะเป็นแผ่นใบใหญ่เป็นแผ่นเดียวกันซ้ายและขวา ยาว 1.5 ถึง 2.0 m ปลายใบมน ยอดอ่อนมีสีเขียวอ่อนตั้งตรง ใบแก่มีสีเขียวสด ก้านใบโน้มลงด้านล่าง (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

**ดอก** ดอกกล้วยแทงออกบริเวณปลายยอดเป็นช่อห้อยลง เรียก “เครือกล้วย” ประกอบด้วยใบประดับสีแดงหุ้มดอกไว้ เรียก “ปลีกล้วย” ใบประดับด้านนอกส่วนบนสีแดงม่วง ส่วนล่างสีแดง ด้านในมีสีครีม ดอกด้านในมีหลายดอกย่อยเรียงซ้อนกันเป็นแผง เรียก “หวี” (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

**ผล** ผลกล้วยเกิดจากดอกเพศเมีย โดยเครือหนึ่งมี 7 ถึง 12 หวี ในแต่ละหวีมีผลประมาณ 10 ถึง 16 ผล โดยผลของกล้วยน้ำว้าให้พลังงานมากที่สุดเมื่อเทียบกับกล้วยหอม และกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้าห่ามและสุกมีธาตุเหล็กในปริมาณสูง ซึ่งช่วยสร้างเม็ดเลือดแดง มีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามิน ช่วยบำรุงกระดูกและฟัน มีเบต้าแคโรทีน ไนอาซิน และใยอาหาร ช่วยในเรื่องระบบขับถ่าย และในกล้วยสุกและห่ามยังมีสารแทนนิน เพคติน ซึ่งช่วยรักษาอาการท้องเสีย อีกทั้งยังสามารถรักษาโรคกระเพาะได้ (อภิชาติ และพัชรี, 2559)



รูปที่ 2.1 ก้วยน้ำว่า

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของก้วยน้ำว่าปริมาณ 100 g ของน้ำหนักผลสุก

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น	69.02
ไขมัน	0.76
โปรตีน	0.90
คาร์โบไฮเดรต	22.21
ใย	0.72
แคลเซียม (mg)	19.99
ฟอสฟอรัส (mg)	25.10
เหล็ก (mg)	11.39
วิตามินเอ (IU)	281.37
วิตามินบี6 (IU)	118.40
วิตามินซี (mg)	18.35

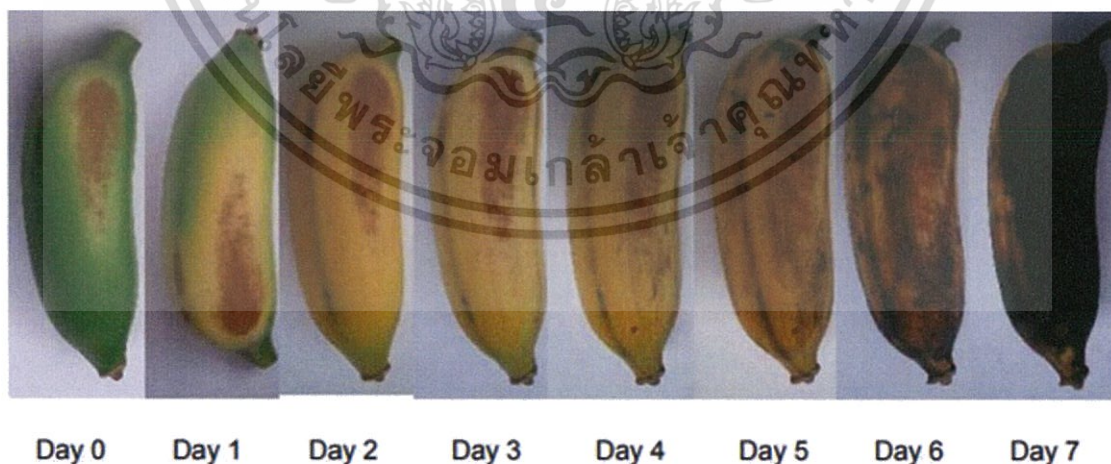
(ที่มา : สุนทร, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การสุกของกล้วย

เมื่อฝักและผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวจะเกิดกระบวนการพัฒนาขึ้นไป โดยการนำน้ำและอาหารที่สะสมอยู่ออกมาใช้ มีการสลายของสารประกอบบางชนิด และมีการสร้างสารประกอบชนิดต่าง ๆ โดยมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อคุณภาพของฝักและผลไม้ ดังนี้ อันดับที่ 1 คือ การหายใจ ฝักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวนั้นยังมีชีวิตอยู่จะมีการหายใจ โดยมีการรับออกซิเจนเข้าไปเพื่อใช้ในกระบวนการทำลายสารอินทรีย์ที่สะสมไว้ในเซลล์พืช เช่น สตาร์ช ไขมัน โปรตีน และน้ำตาล ให้มีโมเลกุลเล็กลงพร้อมกับการปล่อยพลังงานออกมาในรูปความร้อนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้สูญเสียน้ำหนักแห้ง อาจทำให้ฝักและผลไม้มีรสชาติเปลี่ยนไป ทำให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป ทำให้ฝักและผลไม้มีมลง อันดับที่ 2 คือ การสูญเสียน้ำหนัก มีผลให้น้ำหนักของฝักและผลไม้ลดลง เนื่องจากการคายน้ำและการหายใจทำให้ผิวเกิดการเหี่ยวแห้ง อันดับที่ 3 คือ การเปลี่ยนแปลงในด้านสี เกิดจากการสลายตัวของสีเขียวของคลอโรฟิลล์ โดยจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของสีมากขึ้นตามชนิดของผลไม้ นั้น ๆ และตามระยะของการสุก อันดับที่ 4 คือ การสลายตัวขององค์ประกอบในผนังเซลล์ ส่งผลให้เนื้อของผลไม้มีมลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่สะสม เช่น แป้ง กรดอินทรีย์ ไขมัน และการสูญเสียวิตามิน โดยเฉพาะวิตามิน C และอันดับที่ 5 คือ การสร้างกลิ่นรสเฉพาะตัว โดยทั่วไปเมื่อผลไม้สุกจะเกิดสารประกอบที่เป็นสารระเหยมีกลิ่นหอม และมีรสชาติที่หวานขึ้น (สังคม, 2547)

กล้วยที่ยังไม่สุกจะมีปริมาณแป้งมาก แต่เมื่อสุกแล้วจะมีแป้งน้อย เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล จึงทำให้กล้วยสุกมีรสหวาน (รัชณี, 2554) ดังนั้นจึงทำให้สามารถคัดเลือกกล้วยที่ต้องการนำมาใช้จากปริมาณน้ำตาลในกล้วยได้



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกต่าง ๆ (Siriboon and Banlusilp, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ผลผลิตภัณฑ์และประโยชน์จากกล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้ามีการเพาะปลูกอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยมานาน เนื่องจากปลูกง่าย ให้ผลตลอดปี ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ โดยแหล่งปลูกกล้วยน้ำว้าที่สำคัญ คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ เลยและนครราชสีมา ภาคกลาง ได้แก่ เพชรบุรี อ่างทอง นนทบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดอุตรดิตถ์ นครสวรรค์ พิษณุโลก พิจิตร เชียงใหม่ สุโขทัย และแม่ฮ่องสอน และภาคใต้ ได้แก่ สงขลา ซึ่งผลกล้วยน้ำว้าสามารถนำมาเป็นทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน อีกทั้งส่วนต่าง ๆ ของกล้วย ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกมากมาย ซึ่งกล้วยน้ำว้ามีคุณค่าทางอาหารสูงมากกว่ากล้วยหอมและกล้วยไข่ มีธาตุเหล็กสูง ช่วยสร้างเม็ดเลือดแดง มีวิตามินซี ฟอสฟอรัส และแคลเซียมช่วยบำรุงกระดูกและฟัน มีเบต้าแคโรทีนบำรุงผิวพรรณ อีกทั้งยังมีวิตามินเอ บี1 บี2 และ บี6 จึงเหมาะสำหรับรับประทานทั้งเด็กและผู้ใหญ่ และเนื่องจากกล้วยมีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมากจึงมีการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของกล้วย (มณฑาทิพย์, 2545)

### 2.3.1 การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากกล้วยน้ำว้าที่สำคัญ

กล้วยสดแช่เย็น มีปริมาณการส่งออกมากที่สุด นอกจากนั้นยังสามารถแปรรูปอย่างง่าย เช่น กล้วยอบแห้ง และกล้วยฉาบน้ำตาล ซึ่งปัจจุบันมีการควบคุมคุณภาพในการผลิตอย่างเคร่งครัด เพื่อให้สินค้าได้มาตรฐานตามตลาดต้องการ และยังมีกล้วยแปรรูปบรรจุกระป๋อง โดยมีวัตถุดิบที่นำมาแปรรูปส่วนใหญ่ ได้แก่ กล้วยน้ำว้าที่สุกแล้ว นำมาปอกเปลือก ผานบาง แล้วแช่ลงในน้ำเชื่อม จากนั้นจึงนำไปบรรจุกระป๋อง โดยมีตลาดส่งออกหลัก ได้แก่ สหรัฐฯ และฝรั่งเศส (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

### 2.3.2 การวิจัยเพื่อแปรรูปกล้วยน้ำว้าเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่

ปัจจุบันมีงานวิจัยเพื่อแปรรูปกล้วยให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่มากมาย เช่น ซอสกล้วยปรุงรส จารูวรรณ และคณะ (2543) ทำการศึกษากรรมวิธี การผลิตและการรักษาซอสกล้วย โดยใช้กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอมทอง และจากการวิจัยสรุปได้ว่ากล้วยน้ำว้าเหมาะสมที่สุด เพราะมีปริมาณผลผลิตสูง ทำให้มีราคาถูกกว่ากล้วยไข่ และกล้วยหอมทอง นอกจากนี้ยังมีไวน์กล้วย ทำจากกล้วยสุกเติมน้ำตาลหมักกับยีสต์จะได้ไวน์ที่มีแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 11 ถึง 12 เป็นไวน์ที่มีรสชาติดีชนิดหนึ่ง และยังมีเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ต่ำที่ประเทศในทวีปแอฟริกา เช่น ยูกันดา วรันดา บุรุตติ คองโก และแทนซาเนีย ซึ่งนิยมนำกล้วยมาแปรรูป ในประเทศยูกันดาเรียกเครื่องดื่มชนิดนี้ว่า วารากิ (Waragi) และในประเทศฝรั่งเศสนำเนื้อกล้วยสุกบดเหลวผสมกับน้ำและทำให้ร้อน 65 ถึง 70 °C นาน 1 h แล้วทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 40 °C ต่อมาใส่เอนไซม์เพกทิเนส (Pectinase) ทิ้งไว้นาน 24 h ภายใต้บรรยากาศที่เพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ นำส่วนที่เป็นกากมาบด แล้วนำส่วนที่เป็นน้ำมาหมักด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* ที่อุณหภูมิ 25 °C ภายใต้บรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์หรือไนโตรเจน จะได้สุราผลไม้ที่ทำจากกล้วย (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

### 2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วย

Raikham และคณะ (2013) ได้ศึกษาผลของความชื้นเริ่มต้นของกล้วยก่อนการพффิง อุณหภูมิพффิง และเวลาพффิง และระดับความหนาของกล้วยแผ่น โดยมีการพффิงที่รีทเมนต์ เช่นการใช้กรดซิตริก สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ การลวก การนึ่ง และใช้ความสุขของกล้วยที่ระดับ 1 (3 ถึง 5 °Brix) และ 3 (17 ถึง 18 °Brix) และ ทำการศึกษาสมบัติที่มีผลต่อคุณภาพของกล้วยแผ่น ได้แก่ สมบัติด้านเนื้อสัมผัส, การหดตัว, สี และ ระดับดัชนีน้ำตาล โดยการใช้เทคนิคการอบแห้งด้วยลมร้อน ร่วมกับการพффิงด้วยฟลูอิดเซชัน ซึ่งแบ่งออกเป็นสามขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกทำการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C ความเร็วลม 2 m/s เพื่อลดความชื้นกล้วยให้เหลือ 15, 25 และ 35% d.b. จากนั้นทำการพффิงกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดเซชันที่ 140, 160 และ 180 °C เป็นเวลา 1, 1.5 และ 2 min และ ความเร็วลม 3.5 m/s และในขั้นตอนสุดท้ายนำกล้วยไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่สถานะเดียวกันกับขั้นตอนแรกให้เหลือความชื้นประมาณ 4% d.b. จากผลการทดลองพบว่าความชื้นเริ่มต้นของกล้วยแผ่นก่อนการพффิงสูงหรือต่ำเกินไป ส่งผลต่อการหดตัวได้มากหรือน้อย และการพффิงด้วยอุณหภูมิสูงเวลานาน ทำให้กล้วยแผ่นหดตัวน้อยลง ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยมีความแข็งน้อย และกรอบมาก แต่สีที่ได้ของกล้วยเริ่มเป็นสีน้ำตาลมากขึ้น จากการวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมโดยรวมด้านเนื้อสัมผัส และสีด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองพบว่า สถานะที่เหมาะสมคือ ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффิงประมาณ 26% d.b. ด้วยอุณหภูมิ 163 °C เป็นเวลา 1 min ซึ่งสีของกล้วยที่ได้เป็นสีครีมอมขาวใกล้เคียงกับกล้วยที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Tabtiang และคณะ (2017) ทำการศึกษาผลของระดับความสุกและอุณหภูมิในการพффิงต่อสมบัติของกล้วย คือ สี, ปริมาตร, การขยายตัว และ สมบัติด้านเนื้อสัมผัส โดยการนำกล้วยที่ระดับความสุกที่ 16 ถึง 26 °Brix มาหั่นสไลด์ จากนั้นนำไปลวกด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 30 s แล้วจึงนำไปอบแห้ง 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C จนกระทั่งมีความชื้น 40% d.b. ขั้นตอนที่สอง คือนำไปพффิงด้วยลมร้อน 130 ถึง 170 °C เป็นเวลา 2 min และขั้นตอนสุดท้าย คือการนำไปอบในลมร้อนอีกครั้งที่สถานะเดียวกับขั้นตอนที่หนึ่ง จนมีความชื้นสุดท้ายที่ 4% d.b. จากผลการทดลองพบว่าระดับความสุกของกล้วยที่มากส่งผลให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ พффิงมากแต่ความแข็งน้อย เนื่องจากมีปริมาณเพกตินในกล้วยน้อย อย่างไรก็ตามยิ่งกล้วยสุกมากยิ่งส่งผลให้การพффิงเกิดสีน้ำตาลมาก นอกจากนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการพффิงที่สูงทำให้เกิดการพффิงสูงขึ้นแต่มีความแข็งน้อย และทำให้เกิดสีน้ำตาลมากขึ้น โดยสถานะที่เหมาะสมที่สุดคือ ใช้กล้วยที่ระดับความสุก 20 ถึง 22 °Brix และอุณหภูมิในการพффิงที่ 150 °C

### 2.3.4 ประโยชน์จากส่วนอื่น ๆ ของกล้วยน้ำว้า

นอกจากผลของกล้วยที่สามารถนำมาแปรรูปได้ ส่วนอื่น ๆ ของกล้วยยังสามารถนำมาแปรรูปได้เช่นกัน เช่น เปลือกกล้วย ทั้งกล้วยสุกและกล้วยดิบมีสารประกอบ คือ แทนนิน ซึ่งสามารถใช่ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทรวมถึงอุตสาหกรรมอาหาร โดยมักนำมาใช้เป็นสารเสริมรสชาติอาหาร เช่น ทำไวน์แดง โดยใช้แทนนินเป็นตัวตกตะกอนและจับก้อนอื้อของโลหะในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมที่ผลิตเบียร์ ไวน์ และสาเก นอกจากนั้นยังสามารถนำไปเป็นสารเคลือบเนื้อสัตว์ทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น นอกจากนี้ส่วนของก้านกล้วยและต้นกล้วยยังสามารถนำไปทำเป็นเส้นแล้วตากแห้ง เรียกว่า เชือกกล้วย ที่สามารถนำมาใช้แทนพลาสติกได้ (มณฑาทิพย์, 2545)

## 2.4 ตลาดกล้วยน้ำว้า

### 2.4.1 ตลาดกล้วยน้ำว้าภายในประเทศ

กล้วยน้ำว้าที่ปลูกส่วนใหญ่นิยมบริโภคในประเทศ ซึ่งการใช้ประโยชน์จากกล้วยน้ำว้ามีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้ ดังนี้ นำมาบริโภคสด ซึ่งเป็นที่นิยมภายในประเทศมากเนื่องจากได้คุณค่าทางสารอาหารมากมาย โดยมีราคาหน้าสวนหวีละ 15 ถึง 20 บาท เมื่อไปถึงผู้บริโภคจะมีราคาแพงขึ้นเท่าตัว หรือนำแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากกล้วย โดยส่วนมากมักแปรรูปให้อยู่ในลักษณะของสินค้า OTOP ประจำท้องถิ่นนั้น ๆ อีกทั้งยังสามารถขายในรูปแบบของ โดยใบตองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น นำไปห่ออาหาร หรือห่อขนม ทำงานประดิษฐ์ต่าง ๆ โดยมีราคาก็โลกรัมละ 8 ถึง 11 บาท ส่วนหัวปลีของกล้วยน้ำว้าสามารถนำไปทำอาหารได้หลากหลายเมนู ซึ่งมีราคาอยู่ที่โลกรัมละ 2 ถึง 5 บาท (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

### 2.4.2 ตลาดกล้วยน้ำว้าส่งออก

การค้ากล้วยในตลาดโลกมีปริมาณประมาณ 8.8 ล้านตัน มูลค่าเฉลี่ยปีละไม่ต่ำกว่า 5,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐอเมริกา โดยมีการส่งออกกล้วยไปยังประเทศรายใหญ่ ได้แก่ ประเทศเอกวาดอร์ เบลเยียม คอสตาริกา โคลัมเบีย เยอรมนี และฟิลิปปินส์ ปัจจุบันเริ่มมีการส่งเสริมให้ปลูกกล้วยเพื่อการส่งออกมากขึ้น โดยสามารถสร้างรายได้ปีละไม่ต่ำกว่า 300 ล้านบาท (อภิชาติ และพัชรี, 2559)

## 2.5 ขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยวเป็นอาหารว่าง ที่มีไว้เพื่อระงับความหิวของคนระหว่างมื้อ มักเป็นขนมที่มีส่วนผสมจากแป้งชนิดต่าง ๆ อาจใส่เครื่องปรุง ส่วนใหญ่จะมีรสคล้ายคลึงกัน คือ หวาน มัน และเค็ม เป็นอาหารที่ให้พลังงานสูงเนื่องจากมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรต และไขมันปริมาณมาก ไม่มีสารอาหารที่ร่างกายต้องการ ขนมขบเคี้ยวมีส่วนประกอบของ น้ำตาล แป้ง ไขมัน เกลือ และสารเติมแต่งอาหารมากมายซึ่งไม่ดีต่อสุขภาพ และขนมขบเคี้ยวส่วนมากมักผ่านกระบวนการทอด คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว โดยเฉพาะความกรอบมีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้บริโภคใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการยอมรับ และมีความสัมพันธ์ต่อความสดใหม่ของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันนี้ได้มีการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิต เพื่อปรับปรุงคุณภาพของขนมขบเคี้ยวให้มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอด โดยผลิตภัณฑ์มีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะกับผู้บริโภคทั่วไปหรือผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพหรือมีปัญหาเกี่ยวกับอาหารที่มีไขมัน (Edmund and Lloyd, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 ประเภทของขนมขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว พอจะแบ่งออกได้อย่างคร่าว ๆ เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแรก คือขนมประเภทพองกรอบ ผลิตภัณฑ์ในประเภทนี้จัดได้ว่ามีมากชนิดที่สุดและยังมีมากมายหลายรูปแบบบางชนิดอาจต้องนำไปทอดในน้ำมันเพื่อให้พองสวย โดยผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่นิยมมาก ได้แก่ ข้าวเกรียบและมันฝรั่งทอด ซึ่งมักผ่านกระบวนการทอดเป็นส่วนใหญ่ กลุ่มที่ 2 คือขนมประเภทปลาเส้นและถั่วชนิดต่าง ซึ่งเป็นขนมขบเคี้ยวประเภทที่ค่อนข้างจะยังคงลักษณะของวัตถุดิบเดิมอยู่มาก กลุ่มที่ 3 คือเยลลี่พร้อมบริโภค โดยมีประกอบหลัก คือน้ำตาล บางชนิดอาจมีการผสมน้ำผลไม้ลงไปบ้าง และมีการแต่งสีและกลิ่นเลียนแบบผลไม้ต่าง ๆ กลุ่มสุดท้าย คือลูกอม โดยส่วนประกอบหลักของลูกอมก็คือน้ำตาล โดยจะมีอยู่ไม่น้อยกว่า 90% (สำนักงานเลขานุการกรมอนามัย, 2561)

### 2.5.2 วิธีการการแปรรูปขนมขบเคี้ยว

วิธีการการแปรรูปขนมขบเคี้ยวแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้ ประเภทที่ 1 คือการทอด ซึ่งเป็นการแปรรูปด้วยความร้อนที่อาศัยการส่งผ่านความร้อนจากตัวกลาง คือน้ำมันในการให้ความร้อนอาหาร ประเภทที่ 2 คือ Extrusion เป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวด้วยความร้อนจากขดลวด และความดันสูงจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียว ทำให้อุณหภูมิระเหยจากอาหารอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการพองตัว ประเภทที่ 3 คือ การพuffing โดยใช้ไมโครเวฟ โดยการใส่คลื่นไมโครเวฟแทรกเข้าสู่อาหาร ซึ่งมักประยุกต์ใช้กับการอบแห้งแบบอื่น ๆ ประเภทที่ 4 คือ วิธีการพuffing ด้วยอุณหภูมิต่ำระยะเวลาสั้น โดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิต่ำและระยะเวลาสั้นมาก (Raikham et.al, 2013)

### 2.5.3 อันตรายของขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการทอด

ขนมขบเคี้ยวนอกจากจะมีอันตรายจากน้ำตาล เกลือ และผงชูรส ที่เป็นส่วนผสมที่มีอยู่ในปริมาณสูงแล้วนั้น ยังมีไขมันในปริมาณสูงเนื่องจากการทอด ซึ่งถ้าได้รับไขมันมากเกินไปจะทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้แก่ โรคอ้วน โรคหลอดเลือดอุดตัน และโรคหัวใจ เป็นต้น (อัญชัน, 2552)

## 2.6 ผลกระทบของขนมขบเคี้ยวจากการทอด

### 2.6.1 ทฤษฎีการทอด

เมื่อวางอาหารในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าจึงเริ่มแห้ง ระบายการระเหยของน้ำจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหาร อุณหภูมิด้านในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ถึง 100 °C อุณหภูมิที่ผิวจะเท่าอุณหภูมิของน้ำมัน และเกิดเปลือกนอกขึ้น (Crust) เปลือกนอกของอาหารทอดมีลักษณะเป็นรูพรุน น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกมาและถูกแทนที่ด้วยน้ำมัน (วิสัย, 2557) จึงทำให้ของทอดมีลักษณะที่มันและมีปริมาณไขมันสูง

### 2.6.2 ผลกระทบของความร้อนต่อน้ำมัน

โดยการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ทำให้น้ำมันเกิดการออกซิเดชัน เนื่องจากความชื้นและออกซิเจนเคลื่อนที่ออกมาจากอาหารและเกิดสารระเหยประเภท คาร์บอนิล, เอ็กสทรานเป็นเอ็กสทราที่ส่งกลิ่นรสที่หยาบกร้านเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อน้ำมันเห็นเป็นไขประเขยขึ้นต้นนี้กรคำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไฮดรอกซี กรดคีโต และกรดอีพอกซี ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำและมีกลิ่นเหม็น โมเลกุลของน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในสภาพไม่มีออกซิเจนและให้พอลิเมอร์ที่มีอุณหภูมิสูงทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้น มีผลไปลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวระหว่างการทอด ทำให้อาหารดูดซับน้ำมันมากขึ้น อีกทั้งน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จะเกิดสารประกอบที่มีขั้ว คือสารโพลาร์ ซึ่งเกิดจากสารไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมันถูกไฮโดรไลซิส ออกซิไดซ์ และโพลิเมอร์ไรซ์ หรือถูกเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย (วิลัย, 2557)

### 2.6.3 ผลกระทบของการทอดต่อองค์ประกอบของอาหารทอด

การทอดมีผลต่ออาหารคือทำให้อาหารสุก และทำให้อาหารดูดซับน้ำมัน โดยน้ำมันจะสมอยู่ที่ผิวหน้าระหว่างการทอดและซึมเข้าในอาหารระหว่างรอให้อาหารเย็นตัว เมื่อเปรียบเทียบกับมันฝรั่งทอดฝานบางที่ทอดในบรรยากาศปกติและทอดในระบบสุญญากาศ พบว่าไขมันและโซเดียมของมันฝรั่งทอดในบรรยากาศปกติมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับทอดในระบบสุญญากาศ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 แต่อย่างไรก็ตามการทอดในระบบสุญญากาศยังคงมีปริมาณไขมันอยู่ในมันฝรั่งทอดเช่นกัน (วิลัย, 2557) จึงได้มีการศึกษาการทำล้วยอบกรอบโดยไม่ผ่านกระบวนการทอดโดยน้ำมัน โดยใช้เทคนิคการอบแห้งด้วยเตาอบแบบลมร้อน ร่วมกับการพuffing ด้วยเตาอบไมโครเวฟขึ้น

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบองค์ประกอบของมันฝรั่งทอดฝานบางที่ทอดในระบบสุญญากาศกับการทอดที่บรรยากาศปกติ (คิดจากอาหาร 100 g)

องค์ประกอบ	การทอดที่ บรรยากาศปกติ	การทอดในระบบ สุญญากาศ
ความชื้น	2.5%	2.0%
โปรตีน	4.7%	4.1%
ไขมัน	35.0%	14.8%
เส้นใย	1.8%	1.2%
เถ้า	3.4%	1.4%
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เส้นใย	52.6%	76.5%
พลังงาน	555 kcal	461 kcal
ฟอสฟอรัส	100 mg	108 mg
เหล็ก	1.7 mg	2.14 mg
แคลเซียม	17 mg	11.7 mg
โซเดียม	400 mg	9.8 mg
โปรแตสเซียม	1,200 mg	575 mg

(ที่มา : วิลัย, 2557)

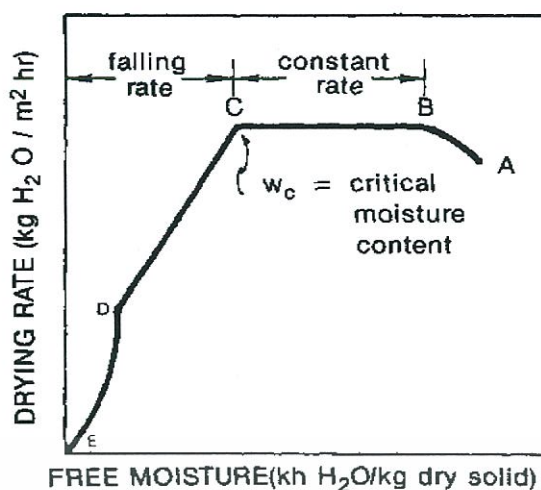
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน มีการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นพร้อมกัน และมีการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและเคมี ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และต่อกลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพนั้น วัสดุอาจหดตัว (Shrinkage) พองตัว (Puffing) หลอมเหลว (Melting) หรือตกผลึก (Crystallization) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจเป็นที่ต้องการหรือไม่ต้องการ และอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส สี กลิ่น รส และ คุณภาพอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์ (สีกกมน, 2555)

### 2.7.1 หลักการพื้นฐานการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรสภาพของเหลว ของเหลวกึ่งแข็ง หรือแม้กระทั่งของแข็งให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของของแข็ง โดยการระเหยเอาของเหลวส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดออกไปจากวัสดุโดยการให้ความร้อน การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน และเกิดการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเชิงกายภาพและเคมี สิ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการอบแห้ง คือ น้ำที่อยู่ในอาหาร ซึ่งมีอยู่ 4 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 คือ โมเลกุลน้ำที่ยึดกับอออนิกกรุป ได้แก่ กลุ่มคาร์บอกซิล และอะมิโน ประเภทที่ 2 คือโมเลกุลน้ำที่ยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิลและอะไมด์ด้วยพันธะไฮโดรเจน ประเภทที่ 3 คือน้ำอิสระ โดยในระหว่างการอบแห้งน้ำอิสระจะระเหยและถูกกำจัดไปในตอนแรก จากนั้นจะเป็นโมเลกุลที่ยึดด้วยพันธะไฮโดรเจน และประเภทที่ 4 คือน้ำที่ยึดด้วยพันธะอออนิก ซึ่งพลังงานที่ต้องใช้ในการกำจัดความชื้นจากน้ำแต่ละชนิดอาจใช้พลังงานแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และชนิดของน้ำ และการอบแห้งจะมีอัตราการทำให้แห้ง 3 ช่วง ในช่วงที่ 1 (AB) ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น เป็นช่วงที่วัสดุมีความชื้นเริ่มต้นสูง อุณหภูมิของวัสดุจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิตั้งต้น จนถึงอุณหภูมิสมดุลที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบแห้ง ช่วงที่ 2 (BC) ช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่ น้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะดำเนินไปตราบเท่าที่มีความชื้นอิสระให้ระเหยอยู่ที่ผิวหน้าของวัสดุโดยมีการอบแห้งด้วยอัตราคงที่ เมื่ออบไปเรื่อย ๆ จนปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าวัสดุแห้งลง และความชื้นภายในเนื้อวัสดุเริ่มลดลง ความชื้นอิสระภายในตัววัสดุจะซึมขึ้นมาทดแทนเพื่อให้ทันกับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหน้า จึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ช่วงที่ 3 (CD) ช่วงอัตราการทำให้แห้งลดลง เป็นช่วงที่ความชื้นวัสดุเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าวัสดุเริ่มแห้ง อุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อนจากบริเวณพื้นผิวในการอบความร้อนจะต้องเข้าไปถึงภายในเนื้อวัสดุ นอกจากนี้ความร้อนส่วนหนึ่งยังต้องใช้ไปในการให้ความร้อนตัววัสดุเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อย ๆ ลดลงตามเวลาที่ผ่านไป จนถึงจุดที่เรียกว่า ความชื้นสมดุล (นิธิยา, 2553) ดังรูปที่ 2.3 (Semple et al., 2011)



รูปที่ 2.3 กราฟระหว่างอัตราการแห้งและความชื้นในสารนั้น (Semple et al., 2011)

### 2.7.2 วัตถุประสงค์ของการอบแห้ง

เพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่น ๆ เพื่อป้องกันการเน่าเสียและยืดอายุการเก็บ ซึ่งน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้น้ำในการดำรงชีวิต เพื่อเก็บรักษากลิ่นรสและคุณภาพของอาหาร เพื่อลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษา และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น (สั๊กมน, 2555)

### 2.7.3 ความชื้น

ความชื้นบ่งบอกปริมาณน้ำที่อยู่ในอาหาร เป็นสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร เนื่องจากมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร มีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร อาหารที่มีน้ำสูงเหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค และการสร้างสารพิษ มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยความชื้นที่มักใช้ในงานวิจัยมักใช้ความชื้นฐานแห้ง เนื่องจากมวลของแข็งแห้งที่ใช้ในการคำนวณค่าความชื้นมีค่าคงที่ตลอดช่วงการอบแห้ง (สั๊กมน, 2555)

### 2.7.4 แอคติวิตีของน้ำ

ในการอบแห้ง ปริมาณน้ำอิสระหรือแอคติวิตีของน้ำซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต หรือมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณามากกว่าค่าความชื้นในอาหาร อาหารที่มีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็งจะมีแอคติวิตีของน้ำเท่ากับ 1.0 และเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำลงหรือปริมาณน้ำน้อยลงกว่าส่วนที่เป็นของแข็งแอคติวิตีของน้ำจะต่ำกว่า 1.0 โดยจุลินทรีย์จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของอาหารได้เมื่อแอคติวิตีของน้ำมีค่าสูงกว่า 0.6 แต่แม้แอคติวิตีของน้ำมีค่าต่ำก็ยังคงเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้ เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น (รัชณี, 2544)

### 2.7.5 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของการอบแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของการทำแห้งมีอยู่หลายปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ลักษณะธรรมชาติของอาหาร เช่นอาหารที่มีรูพรุน และอาหารที่มีพื้นผิวมากจะสามารถทำให้การอบแห้งเกิดขึ้นได้เร็ว ปัจจัยที่ 2 ขนาด รูปร่างของอาหาร โดยอาหารที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะมีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ปัจจัยที่ 3 ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง และปัจจัยที่ 4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และ ความดัน เนื่องจากความดันต่ำ น้ำสามารถเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง จึงทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น (สั๊กมน, 2555)

### 2.7.6 กลไกการถ่ายเทความร้อนระหว่างการอบแห้ง

กลไกที่ 1 การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งกับโมเลกุลข้างเคียง กลไกที่ 2 การพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุที่ขยับจะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนทั้งหมด แต่ในสภาพของเหลวและก๊าซการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเกิดขึ้นน้อยมาก กลไกที่ 3 การแผ่รังสี การถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสีนั้นเกิดขึ้นน้อยในกระบวนการอบแห้งอาหาร แต่จะเกิดในการอบแห้งสุญญากาศและการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นหลัก แต่ในทางปฏิบัติการถ่ายเทความร้อนทั้งสามวิธีจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าอาหารมีลักษณะอย่างไร เช่น อาหารที่ลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ซึ่งภายในช่องว่างเต็มไปด้วยของเหลวหรือไอ การถ่ายเทความร้อนภายในที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบการนำความร้อน แต่ถ้าช่องว่างภายในมีขนาดใหญ่และมีของเหลวอยู่ด้วย การถ่ายเทความร้อนภายในของเหลวจะเป็นแบบการพาความร้อน ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ถ้าความดันอากาศรอบ ๆ วัตถุนั้นลดลงซึ่งเกิดขึ้นกับการอบแห้งแบบสุญญากาศ การถ่ายเทความร้อนจะพบว่าเป็นการแผ่รังสี (สั๊กมน, 2555)

## 2.8 การเปลี่ยนแปลงของอาหารจากการอบแห้ง

### 2.8.1 การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร

เมื่อลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สถานะนี้ทำให้ความดันไอผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในที่มีความดันไอสูงจะค่อย ๆ ลดต่ำลงเมื่อเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างดังกล่าวทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร โดยน้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไก ดังนี้ การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี การแพร่ของของเหลวที่เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหาร การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร และความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร (วีไล, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

การจัดการเบื้องต้น (pretreatment) เช่น การเติมสารต่าง ๆ ในน้ำลวก การลดขนาดและการปอกเปลือก หรือการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้ง ล้วนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะอัดและเปลี่ยนรูปร่างเซลล์ที่ค่อนข้างแข็งไปเป็นลักษณะที่นิ่ม โดยปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสมาก คือ อุณหภูมิและอัตราการทำแห้ง เมื่อน้ำเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวจะเอาตัวถูกละลายออกมาด้วย ซึ่งถ้ามีการใช้อุณหภูมิสูงเกินไป และถ้าตัวถูกละลายเคลื่อนที่ออกมาอยู่ที่ผิวของอาหารมากเกินไปจะทำให้ให้อาหารเกิดลักษณะผิวแข็งแห้ง เรียกว่า “Case hardening” ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อกระบวนการทำแห้ง ภายนอกจะมีลักษณะเหมือนอาหารแห้งแล้ว แต่ภายในยังชื้นอยู่ (วีโล, 2547)

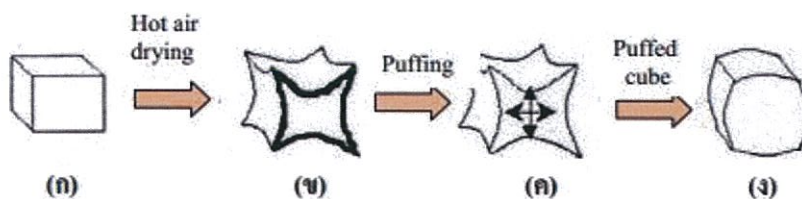
## 2.8.3 การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรส

ความร้อนทำให้สารหอมระเหยบางชนิดสูญเสียไป การสูญเสียเล็กน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความสามารถละลายในไอน้ำ และความดันไอของสารหอมระเหย โดยสารหอมระเหยในอาหารที่มีความสามารถในการระเหยสูงจะเกิดการระเหยในช่วงแรกของการอบแห้งสูง จากนั้นจะต่ำลงในช่วงหลัง โดยสามารถลดการสูญเสียโดยการควบคุมสภาวะการทำแห้ง นอกจากนี้ระหว่างการรักษา จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันรังควัน ซึ่งวิตามินและไขมันในอาหารเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่น สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ได้โดยทำการบรรจุผลิตภัณฑ์ในสุญญากาศ หรือเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้พ้นแสงแดด ที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นให้ต่ำ หรือทำการเติมสารสังเคราะห์ที่สามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (วีโล, 2547)

## 2.9 การพัฟฟิง

### 2.9.1 หลักการพัฟฟิง

การพัฟฟิงด้วยอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาสั้น สามารถทำให้กล้วยมีเนื้อสัมผัสกรอบคล้ายกล้วยที่ผ่านการทอด และมีข้อดีคือไม่มีองค์ประกอบของน้ำมัน และเพื่อพัฒนาสมบัติด้านความกรอบและการพองตัว หลักการ คือ เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจากตัวกลางจะทำให้ น้ำที่อยู่ในวัสดุเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันภายในวัสดุสูง ทำให้เนื้อวัสดุขยายตัว และมีรูพรุนเกิดขึ้น โดยทั่วไปการทำให้วัสดุมีการพองตัวนี้จะใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นมาก ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะดังกล่าวมีด้วยกันหลายปัจจัย ได้แก่ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ อุณหภูมิของตัวกลาง และเวลาที่ใช้ เป็นต้น โดยกลไกการพัฟฟิงนั้นมี 2 ส่วน โดยขั้นตอนแรกจะลดความชื้นของวัสดุลงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จากนั้นจะนำไปพัฟฟิงด้วยอุณหภูมิสูง ให้มีความชื้นเหลือประมาณ 4% d.b. เพื่อไม่ให้จุลินทรีย์เติบโตได้ (Raikham, 2013)



รูปที่ 2.4 กลไกการแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของมันฝรั่งรูปทรงลูกบาศก์ระหว่างการพัฟฟิง

(Raikham, 2013)

(ก) ปริมาตรมันฝรั่งเริ่มต้นก่อนอบแห้ง

(ข) ปริมาตรหลังอบแห้งในขั้นตอนแรกด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 90 °C

(ค) ปริมาตรระหว่างการพัฟฟิง

(ง) ปริมาตรหลังพัฟฟิง

### 2.9.2 การพัฟฟิงด้วยไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง คลื่นวิทยุ และคลื่นอินฟราเรด มีความถี่ระหว่าง 300 ถึง 30000 MHz มีเม็กนิตรอน ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟ ปัจจุบันมีการศึกษาการพัฟฟิงด้วยไมโครเวฟอย่างแพร่หลาย โดยการพัฟฟิงด้วยไมโครเวฟแตกต่างจากการพัฟฟิงด้วยวิธีอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้ออาหาร ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนและชนกันเกิดความร้อนขึ้น มีผลทำให้น้ำเดือดและระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้น (ไพศาล และรุ่งนภา, 2555)

## 2.10 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

อาหารและผลิตภัณฑ์อาหารมากมายมีปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมีทั้งผลดีและผลเสียต่อคุณภาพอาหาร โดยปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบ่ง 2 แบบ ดังนี้

### 2.10.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่อาศัยเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อพืชเมื่อเซลล์ถูกทำลายทางกล เช่น การปอกเปลือก การหั่นทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารประกอบโบนีพินอลที่อยู่ในเซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ และมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น ออร์โท-ไดฟีนอล สารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นออร์โท-ควิโนน และจะรวมตัวกันเกิด Maillard reaction กับสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์นี้เป็นปัญหาสำคัญ ในการแปรรูปผัก ผลไม้หลายชนิด เช่น ก๋วยเตี๋ยว แอปเปิ้ล โดยเมื่อเกิดสีน้ำตาลมากจะส่งผลให้อายุการวางจำหน่ายสั้นลง โดยข้อดีของปฏิกิริยานี้ ทำให้ผลิตภัณฑ์บางชนิดมีสี กลิ่น และรสชาติดีขึ้น เช่น การคั่วเมล็ดกาแฟและการหมักใบชา ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการให้เกิดสีน้ำตาล ช่วยให้มีกลิ่นและรสชาติที่ดี โดยการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ในผักและผลไม้ อาจทำได้โดยการลวก (นิธิยา, 2553)

### 2.10.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สามารถจำแนกย่อยออกได้เป็น 2 แบบ ดังนี้ แบบที่ 1 คือ *Caramelization* เกิดจากการใช้ความร้อนสูงสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออกและเกิดการพอลิเมอไรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสีน้ำตาล โดยปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น สาเหตุของการเกิด *Caramelization* ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฟิเอช อุณหภูมิ และ น้ำตาล โดยสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น เกิดจากการให้ความร้อนน้ำตาลซูโครสร่วมกับแอมโมเนียมไบซัลไฟต์ ใช้เป็นสารสีในเครื่องดื่มโคล่า น้ำเชื่อม และแบบที่ 2 คือ *Maillard reaction* เมื่อน้ำตาลแอลโดสและคีโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิงได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำ จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง จนได้สารสีน้ำตาล ซึ่งอาจเป็นลักษณะที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ ปฏิกิริยาเหล่านี้อาจเกิดขึ้นได้ในขณะ ปิ้ง ย่าง อบ หรือระหว่างการรักษา (นิธิยา, 2553)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ (NP530U4C Series 5 Ultrabook, SAMSUNG, China)
2. เครื่องปั่นอเนกประสงค์ (BL1002, My Home, Thailand)
3. Syringe filter 0.45  $\mu\text{m}$  (2.CF2201.0001, CNW, China)
4. มาตรดัชนีหักเห (Refractometer) (HR-130, Optika, Italy)
5. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier caliper) (Winston japan standard, Japan)
6. เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (UF30, Memmert GmbH + Co.KG, Germany)
7. เต้าอบไมโครเวฟ (MS23K3513AW, Samsung, Malaysia)
8. เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (UN55, Memmert GmbH + Co.KG, Germany)
9. เครื่องวัดแอกติวิตีของน้ำ (Water Activity Meter) (3TE, AquaLab, Washington)
10. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analyser (TA. XT.Plus, Stable Micro System, Surrey, UK)
11. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลชนิด 4 ตำแหน่ง (HB-120, Yamato, Japan)
12. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลชนิด 3 ตำแหน่ง (WT3203N, WANT, China)
13. เครื่องกราฟภาพ (V30, Epson, Indonesia)
14. โปรแกรม MATLAB<sup>®</sup> (R2015b, MathWorks Inc., Massachusetts)
15. โปรแกรม Adobe Photoshop CS6 (Adobe Systems, Inc., California)
16. โปรแกรม ImageJ (Wayne Rasband National Institute of Health, Washington D.C.)
17. โปรแกรม SPSS<sup>®</sup> Statistics 25 (IBM Corp., Armonk, NY)

#### 3.2 วัสดุทดลอง

##### 3.2.1 การวัดระดับความสุกของกล้วย

กล้วยน้ำว้าจากที่อัสซูปเปอร์มาร์เก็ตสาขาลาดกระบัง นำกล้วยน้ำว้ามาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ( $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) จนได้ระดับความสุกที่ต้องการ วัดระดับความสุกของกล้วยจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) โดยวิธีซึ่งประยุกต์จาก Liew and Lua (2012) ด้วยการนำกล้วย 50 g ปั่นรวมกับน้ำกลั่น 100 ml ด้วยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ (BL1002, My Home, Thailand) จนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปกรองหยาบด้วยตะแกรง แล้วนำของเหลวที่ได้ไปกรองด้วย Syringe-เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

filter ขนาด 0.45  $\mu\text{m}$  (2.CF2201.0001, CNW, China) ประยุกต์จากวิธีการวัดน้ำตาลของผลิตภัณฑ์น้ำตาล (ICUMSA) นำของเหลวใสที่ได้วัดด้วยมาตรดัชนีหักเห (Refractometer) (HR-130, Optika, Italy) และอ่านค่าของแข็งที่ละลายในของเหลว

### 3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำกล้วยน้ำว้ามาทำการปอกเปลือกและหั่นตามขวางด้วยเครื่องสไลด์กล้วย ความหนา 5.0 mm  $\pm$  0.5 mm และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.0 mm  $\pm$  2.0 mm โดยวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Vernier caliper) (Winston japan standard, Japan)

## 3.3 การศึกษาเบื้องต้น

### 3.3.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความหนาของกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม

เนื่องจากขนาด รูปร่าง ของอาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง และการพффฟ จึงทดลองอบแห้งกล้วยที่มีความหนาต่างกัน ได้แก่ 3 และ 5 mm ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (UF30, Memmert GmbH + Co.KG, Germany) ที่อุณหภูมิ 70  $^{\circ}\text{C} \pm 5$   $^{\circ}\text{C}$  ด้วยความเร็วลม 0.32 m/s จนกระทั่งมีความชื้น 20% และ 30% d.b. จากนั้นจึงนำไปพффฟด้วยเตาไมโครเวฟ (MS23K3513AW, Samsung, Malaysia) ที่กำลังไฟฟ้า 800 Watt เป็นเวลา 20, 40 และ 60 s เพื่อศึกษาผลของระดับความหนาที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับการพффฟ

### 3.3.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม

เนื่องจากระดับความสุกของกล้วยเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการพффฟ จึงทำการศึกษการอบกล้วยน้ำว้าที่มีระดับความสุกต่างกัน ได้แก่ 5, 7 และ 9 Brix การวัดระดับความสุกได้ตั้งอธิบายในหัวข้อ 3.2 นำกล้วยที่ระดับความสุกต่าง ๆ มาทำการเตรียมตัวอย่างดังอธิบายในหัวข้อ 3.2.2 โดยใช้กล้วยความหนา 5.0 mm  $\pm$  0.5 mm และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.0 mm  $\pm$  2.0 mm จากนั้นทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70  $^{\circ}\text{C} \pm 5$   $^{\circ}\text{C}$  ด้วยความเร็วลม 0.32 m/s จนกระทั่งมีความชื้น 30% d.b. จากนั้นนำไปพффฟด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 Watt เป็นเวลา 20, 40 และ 60 s เพื่อศึกษาระดับความสุกที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับการพффฟ

### 3.3.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อการพффฟกล้วยน้ำว้า

นำกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุก 7 Brix ขนาดความหนา 5.0 mm  $\pm$  0.5 mm อบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50  $^{\circ}\text{C} \pm 5$   $^{\circ}\text{C}$  และ 70  $^{\circ}\text{C} \pm 5$   $^{\circ}\text{C}$  ด้วยความเร็วลม 0.32 m/s จนกระทั่งเหลือความชื้น 30% d.b. จึงนำไปพффฟด้วยเตาอบไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 Watt เป็นเวลา 20, 40 และ 60 s เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการพффฟของกล้วยน้ำว้า โดยพิจารณาจากระดับการพффฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การศึกษาผลของความชื้นเริ่มต้นของกล้วยน้ำว้าก่อนการพффฟง

นำกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุก 7 Brix ขนาดความหนา 5.0 mm ± 0.5 mm มาอบด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 °C ± 5 °C จนกระทั่งเหลือความชื้น 20% และ 30% d.b. จากนั้นนำไปพффฟงต่อด้วยเตาอบไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 800 Watt เป็นเวลา 20, 40 และ 60 s เพื่อศึกษาผลของความชื้นเริ่มต้นต่อการพффฟง สมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างภายในของกล้วยน้ำว้า

### 3.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างของกล้วยน้ำว้า

#### 3.5.1 ความชื้น (Moisture Content)

นำตัวอย่างชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (HB-120, Yamato, Japan) ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C ± 5 °C ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (UN55, Memmert GmbH + Co.KG, Germany) จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักกล้วยน้ำว้า นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณความชื้นฐานแห้งตามวิธี AOAC 984.25 (AOAC, 2000) โดยใช้สมการ (3.1)

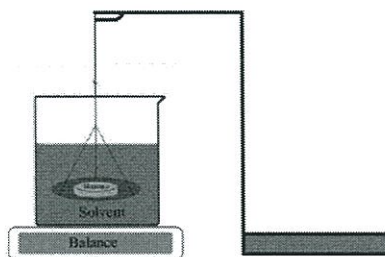
$$\% \text{ Moisture content (d.b.)} = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

#### 3.5.2 แอคติวิตีของน้ำ (Water Activity)

นำตัวอย่าง 5 g ไปวัดโดยใช้เครื่องวัดแอกติวิตีของน้ำ (Water Activity Meter) (3TE, AquaLab, Washington) ในแต่ละการทดลอง ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และ ค่าความแปรปรวน

#### 3.5.3 ปริมาตร (Volume)

การวัดปริมาตรทำโดยการแทนที่ขึ้นวัสดุในของเหลว n-heptane ( $\rho = 0.68 \text{ g/ml}$ ) (AR1078-G2.5L, RCI Labscan, Thailand) ปริมาตร 125 ml ที่บรรจุอยู่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml (สั๊กมน, 2555) โดยชุดวัดปริมาตรที่จัดทำขึ้นตามหลักการอาร์คิมิดีสและแรงลอยตัว โดยดัดแปลงจาก Yan และคณะ (2007) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลทศนิยม 3 ตำแหน่ง (WT3203N, WANT, China), บีกเกอร์ขนาด 250 ml (SCHOTT DURAN, Germany), ขาตั้งความสูง 50 cm และห่วงพุงตัวอย่าง



รูปที่ 3.1 ชุดวัดปริมาตรที่พัฒนาขึ้น

จากนั้นคำนวณปริมาตรของชิ้นวัสดุโดยสมการ (3.2)

$$V = \frac{M - M_s + M_{hs} - M_{ha}}{\rho_s} \quad (3.2)$$

สอบเทียบเครื่องวัดปริมาตร โดยใช้ตัวอย่างที่มีรูปทรงมาตรฐานทำจากเหล็กกล้าสแตนเลส (ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด  $2.0 \times 2.0 \times 2.0$  cm, ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 cm สูง 1.5 cm, ทรงสามเหลี่ยมด้านเท่าขนาด  $2.0 \times 2.0 \times 2.0$  cm และทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.0 cm) บนที่ก้นน้ำหนัก เพื่อคำนวณปริมาตร (volume) จากนั้นเปรียบเทียบความแม่นยำของปริมาตรที่ได้กับชุดอุปกรณ์วัด Density Determination Kit ร่วมกับเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (BSA224S - CW, Sartorius, Germany) โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำจากสมการ (3.3), (3.4) และ (3.5) (นวกัฑรา และทวีพล, 2555) ตามลำดับ และ เปรียบเทียบความแม่นยำของชุดวัดปริมาตรที่พัฒนาขึ้นกับค่าที่ได้จากการคำนวณและชุดอุปกรณ์วัด Density Determination Kit

$$\% \text{ Accuracy} = 100 - \text{Error} \% \quad (3.3)$$

โดยที่

$$\text{Relative error} = \left| \frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t} \right| \quad (3.4)$$

$$\% \text{ Error} = \text{Relative error} \times 100 \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.4 การพuffing (Puffing)

การพuffing นิยมรายงานในรูปสมการการเปลี่ยนรูป (พองตัว) โดยคำนวณจากสมการ (3.6) ดัดแปลงจากสมการการหดตัว (Raikham, 2013)

$$\% \text{ Puffing} = \frac{V - V_i}{V_i} \times 100 \% \quad (3.6)$$

### 3.5.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analysis)

นำกล้วยที่ผ่านการพuffing มาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser (TA. XT.Plus, Stable Micro System, Surrey, UK) โดยการทดสอบแบบเจาะทะลุ (Penetration test) โดยใช้หัวกดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm (P/5S) ความสูงเริ่มต้นของหัวกดเท่ากับ 20 mm ความเร็ว pre-test test และ post test ของหัวกดเท่ากับ 2.2 และ 10 m/s ตามลำดับ (Raikham et al., 2015)

### 3.5.6 ค่าสี (Color)

นำตัวอย่างไปถ่ายภาพด้วยเครื่องกราฟิก (V30, Epson, Indonesia) วิเคราะห์สีของตัวอย่างโดยด้วยโปรแกรม MATLAB® (R2015b, MathWorks Inc., Massachusetts) วิเคราะห์และคำนวณหาค่าความแตกต่างของสี  $\Delta E^*$  (1976) โดยใช้สมการ (3.7) และ คำนวณหาค่าความเข้มของสี ( $c^*$ ) โดยใช้สมการ (3.8) และ คำนวณค่าเฉดสี ( $h^*$ ) โดยใช้สมการ (3.9) (ASTM, 2005)

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_i^* - L^*)^2 + (a_i^* - a^*)^2 + (b_i^* - b^*)^2} \quad (3.7)$$

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.8)$$

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3.9)$$

## 3.6 การวิเคราะห์เชิงภาพ (Image Analysis)

### 3.6.1 พื้นที่ภาพฉาย (Projected Area) และความกลม (Circularity)

การวิเคราะห์พื้นที่ภาพฉายโดยใช้โปรแกรม ImageJ (Wayne Rasband National Institute of Health, Washington D.C.) สามารถทำได้ดังนี้ ทำการตั้งค่าสเกล โดยเข้าไปที่เมนู Analyze เลือกเมนู Set Scale ตั้งค่าเมนู Know Distance เท่ากับ 10 (ใช้ point tool ลากเส้นสเกลที่ทราบค่า) และ ใส่ Unit of length เป็นหน่วย mm จากนั้นทำการเปิดรูปที่ต้องการวัดค่าขึ้นมา เลือกเมนู เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type เป็น 8 bit แล้วเลือก Type อีกครั้งจากนั้นเลือกเมนู Adjust และเลือก Threshold โดยใช้ Auto thresholding เลือกพื้นที่ที่ต้องการวัดค่า แล้วเลือกเมนู Analyze จากนั้นเลือกเมนู Set Measurement เลือกสิ่งที่ต้องการวัดค่า คือเลือก Area และ Circularity แล้วเลือก Measure จากนั้นบันทึกค่า Area และ Circularity นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่และรูปร่างต่อไป

### 3.6.2 ความพรุน (Porosity)

นำรูปถ่ายหน้าตัดของกล้วยแผ่นที่ได้จากเครื่องกราดภาพ (ความละเอียด 1200 dpi) มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ImageJ (Wayne Rasband National Institute of Health, Washington D.C.) ทำการวิเคราะห์ความพรุนโดยใช้เทคนิค Threshold-based segmentation ใช้คำสั่ง Image เลือกเมนู adjust เลือก Threshold จากนั้นเลือกเมนู Analyze เลือก Measure ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3 บันทึกค่าการกระจายตัวของความพรุน พื้นที่ของความพรุนทั้งหมด และขนาดของความพรุน นำผลการทดลองที่ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนและค่าความกรอบ



รูปที่ 3.2 ภาพกล้วยน้ำว้าตัดขวางหลังพัฟฟิง 40 s



รูปที่ 3.3 ภาพกล้วยน้ำว้าตัดขวางหลังพัฟฟิง 40 s หลังการใช้เทคนิค Threshold-based segmentation โดยใช้โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

นำกล้วยที่ความชื้นสุดท้ายก่อนการพuffing ที่ 20% และ 30% d.b. มาทำการทดสอบโดยวิธีการจัดลำดับ (Ranking test) และนำกล้วยน้ำว้าอบกรอบ (ความชื้นก่อนการพuffing ที่ 20% d.b. ที่เวลาพuffing 50 s) กล้วยฉาบ และกล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ มาทำการทดสอบโดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic scale เป็นการทดสอบแบบใช้คน (ผู้ชิม และผู้ประเมิน) ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน คือนักศึกษาและบุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 50 คน ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ด้าน ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

### 3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ นำผลจากการวัดสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ได้แก่ ความชื้น, ค่าแอสคิตวิตีของน้ำ, ปริมาตร, การพองตัว, ลักษณะปรากฏ (สีและรูปร่าง) และเนื้อสัมผัส ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของข้อมูล จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS® ด้วย ANOVA (Analysis of variance) ด้วยวิธี Turkey's multiple range test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพหุที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเปรียบเทียบผลของความชื้นเริ่มต้นก่อนการพuffing ต่าง ๆ และเวลาพuffing ต่าง ๆ ต่อข้อมูลด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบกรอบ ได้แก่ สีและเนื้อสัมผัส และนำผลที่ได้จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS® ด้วยวิธี Paired Samples t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยทั้ง 5 ด้านระหว่างผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบกรอบและผลิตภัณฑ์กล้วยตามท้องตลาด

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 เปรียบเทียบวิธีมาตรฐานกับวิธีที่พัฒนาขึ้น

##### 4.1.1 วิธีวัดความสุกของกล้วย

การวัดระดับความสุกของกล้วยจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid) ด้วยวิธีวัดมาตรฐาน โดยการนำกล้วยมาบิบเอาของเหลวผ่านผ้าขาวบาง พบว่าเมื่อนำไปวัดด้วยมาตรตซ์นี้ หักเหแล้ววิธีนี้ไม่สามารถบอกระดับความสุกได้อย่างชัดเจนเนื่องจากค่าที่ปรากฏบนจุดตัดไม่ชัดเจน จึงได้มีการประยุกต์วิธีการวัดความสุกขึ้นมา ดังอธิบายในหัวข้อ 3.2.1 โดยวิธีที่ประยุกต์ขึ้นสามารถทำให้อ่านค่าได้ชัดเจนมากขึ้น ทว่าค่าที่ได้จากวิธีประยุกต์มีค่าความสุกที่น้อยกว่าดังแสดงในตารางที่ 4.1 เนื่องจากเส้นใยไฟเบอร์และของแข็งที่ละลายได้บางส่วนไม่สามารถผ่าน Syringe filter ได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีประยุกต์ในการวัดความสุกของกล้วย

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบระดับความสุกของกล้วยด้วยวิธีวัดมาตรฐานและวิธีประยุกต์

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้	
วิธีมาตรฐาน	วิธีประยุกต์
23 °Brix	5 °Brix
26 °Brix	7 °Brix
28 °Brix	9 °Brix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 การสอบเทียบเครื่องวัดปริมาตร

จากการทดลองวัดปริมาตร โดยใช้เครื่องมือวัดปริมาตรที่พัฒนาขึ้นในรูปที่ 3.1 เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากชุดอุปกรณ์วัด Density Determination Kit (YDK03, Sartorius, Germany) และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (BSA224S - CW, Sartorius, Germany) โดยบันทึกน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาตร (volume) ดังอธิบายในหัวข้อ 3.5.3 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของปริมาตรที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์วัดกับวิธีคำนวณทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและทรงกระบอกมีความแม่นยำสูงสุดและต่ำสุดที่  $98.42 \pm 0.65\%$  และ  $94.25 \pm 0.15\%$  ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของปริมาตรที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์วัดที่พัฒนาขึ้นกับค่าที่ได้จากการคำนวณพบว่าความแม่นยำของรูปทรงสามเหลี่ยมด้านเท่าและทรงกระบอกมีค่าความแม่นยำสูงสุดและต่ำสุดที่  $97.99 \pm 0.75\%$  และ  $95.35 \pm 2.10\%$  ตามลำดับ โดยความแม่นยำของปริมาตรของทรงกระบอกที่ได้จากการวัดจากชุดอุปกรณ์วัดที่พัฒนาขึ้นแม้จะมีค่าต่ำสุดแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มากกว่า 95%) ดังนั้นใช้ชุดอุปกรณ์วัดที่พัฒนาขึ้นในการทดลอง



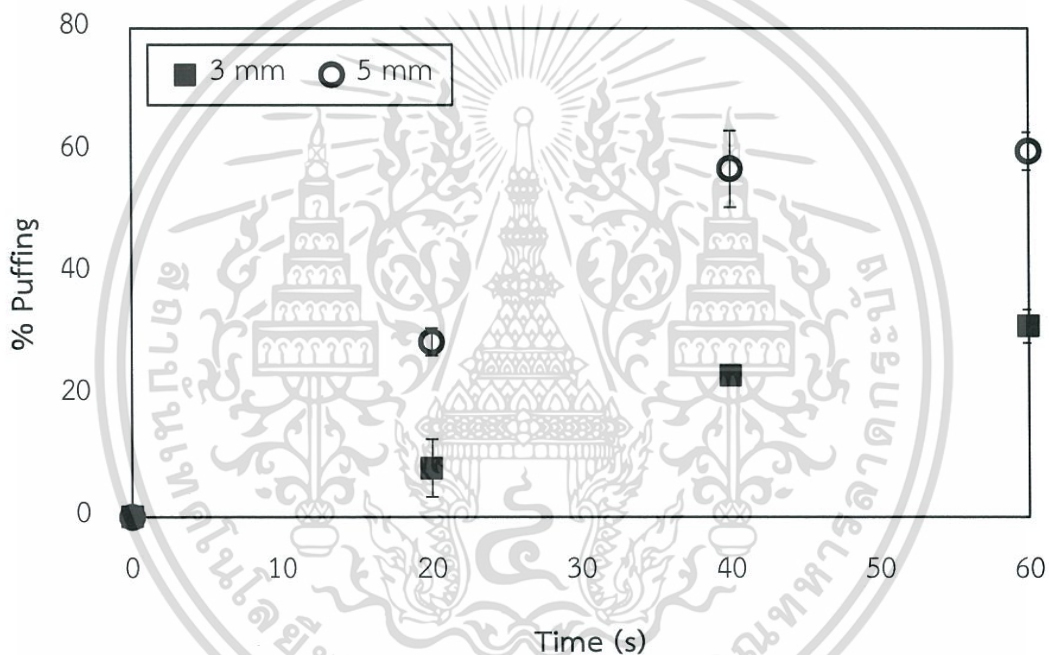
ตารางที่ 4.2 ความแม่นยำจากการสอบเทียบชุดอุปกรณ์วัดปริมาตรกับวิธีคำนวณ

รูปทรงมาตรฐาน	วิธีคำนวณ	ชุดอุปกรณ์วัด		ชุดวัดปริมาตรที่พัฒนา	
	ปริมาตร(cm <sup>3</sup> )	ปริมาตร(cm <sup>3</sup> )	%ความแม่นยำ	ปริมาตร(cm <sup>3</sup> )	%ความแม่นยำ
1. ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส	3.61	3.55 ± 0.12	98.42 ± 0.65	3.53 ± 0.03	97.99 ± 0.75
2. ทรงกระบอก	2.65	2.80 ± 0.00	94.25 ± 0.15	2.77 ± 0.03	95.35 ± 2.10
3. ทรงสามเหลี่ยมด้านเท่า	3.94	3.87 ± 0.09	97.83 ± 1.56	3.87 ± 0.08	98.12 ± 1.95
4. ทรงกลม	4.18	4.00 ± 0.09	97.07 ± 2.18	4.07 ± 0.09	97.09 ± 2.20

## 4.2 ผลการศึกษาเบื้องต้น

### 4.2.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความหนาของกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม

เนื่องจากขนาดและรูปร่างของอาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง และส่งผลกระทบต่อ การพuffingของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาระดับความหนาของกล้วยที่เหมาะสม จึงทำการเปรียบเทียบกล้วยที่ ความหนา 3 mm และ 5 mm ดังอธิบายในหัวข้อ 3.3.1 จากผลการทดลองพบว่ากล้วยที่ความหนา 5 mm ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การพuffingที่สูงกว่า เนื่องจากกล้วยที่มีขนาดบางความชื้นจะสามารถระเหยได้ เร็วกว่ากล้วยที่มีขนาดหนา ซึ่งส่งผลให้ความชื้นภายในวัสดุเหลือน้อยไม่เพียงพอที่จะทำให้ให้น้ำภายใน วัสดุเดือดและระเหยออกมาได้จึงทำให้กล้วยมีการพuffingได้น้อยกว่า (Raikham et al., 2013) ดัง แสดงในรูปที่ 4.1 ดังนั้นจึงเลือกกล้วยที่ความหนา 5 mm ในการทดลอง

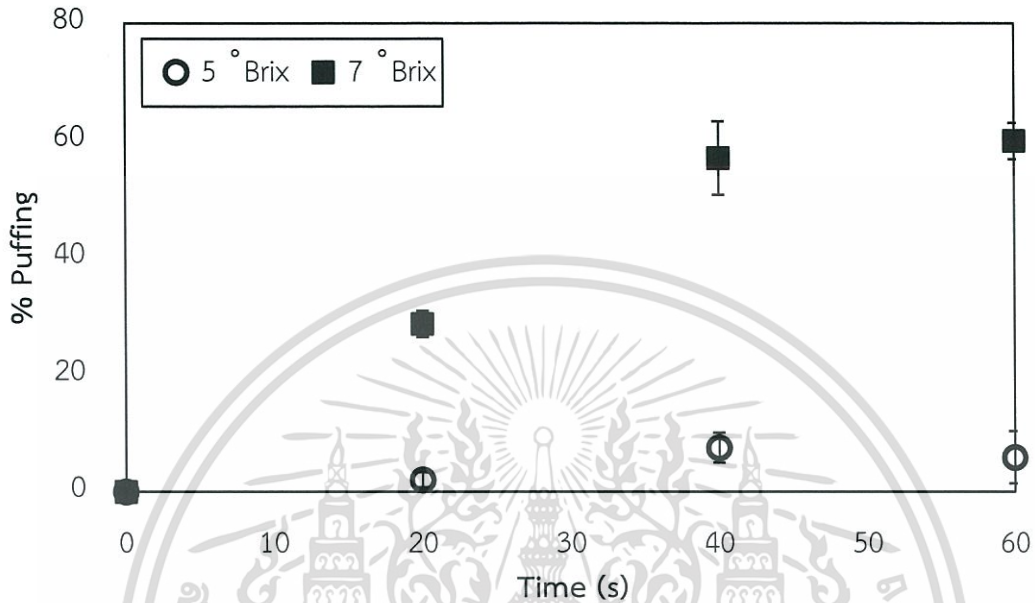


รูปที่ 4.1 การพuffingของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความหนา 3 mm และ 5 mm เมื่อนำไป พuffingที่เวลาต่าง ๆ

### 4.2.2 ผลการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเลือกระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม

จากการศึกษาผลของระดับความสุกต่อการพuffingของกล้วยน้ำว้า โดยทำการศึกษากกล้วยที่ ระดับความสุก 3 ระดับ ได้แก่ 5, 7 และ 9 Brix ทำการอบแห้งและพuffingดังอธิบายในหัวข้อ 3.3.2 จากการทดลองพบว่ากล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุก 5 Brix มีการพuffingต่ำที่สุดเมื่อนำไปพuffingที่เวลา ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 สาเหตุเนื่องมาจากปริมาณน้ำในกล้วยน้อยเกินไป เมื่อนำไปพuffingทำให้ เกิดปริมาณแรงดันไอน้ำได้น้อย ในขณะที่กล้วยระดับความสุก 9 Brix กล้วยน้ำว้าอบแห้งมีลักษณะ เหนียวติดตะแกรง สาเหตุเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงเฟสในระหว่างการอบแห้ง ส่งผลให้มีลักษณะเหนียว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

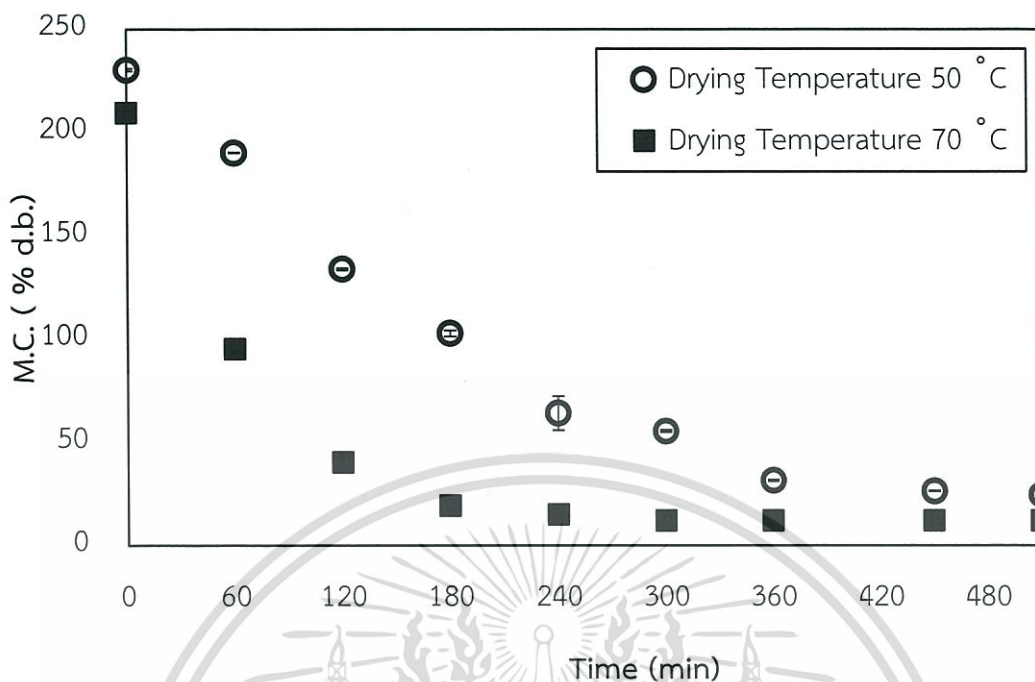
ติดถาด (Raikham, 2013) เมื่อพิจารณาระดับความสุกที่เหมาะสมของกระบวนการอบแห้งลมร้อน ร่วมกับการพuffing จึงเลือกใช้กล้วยที่ระดับความสุก 7 °Brix เนื่องจากมีปริมาณน้ำ และน้ำตาล เหมาะสมที่ทำให้เกิดการพuffing มากที่สุด



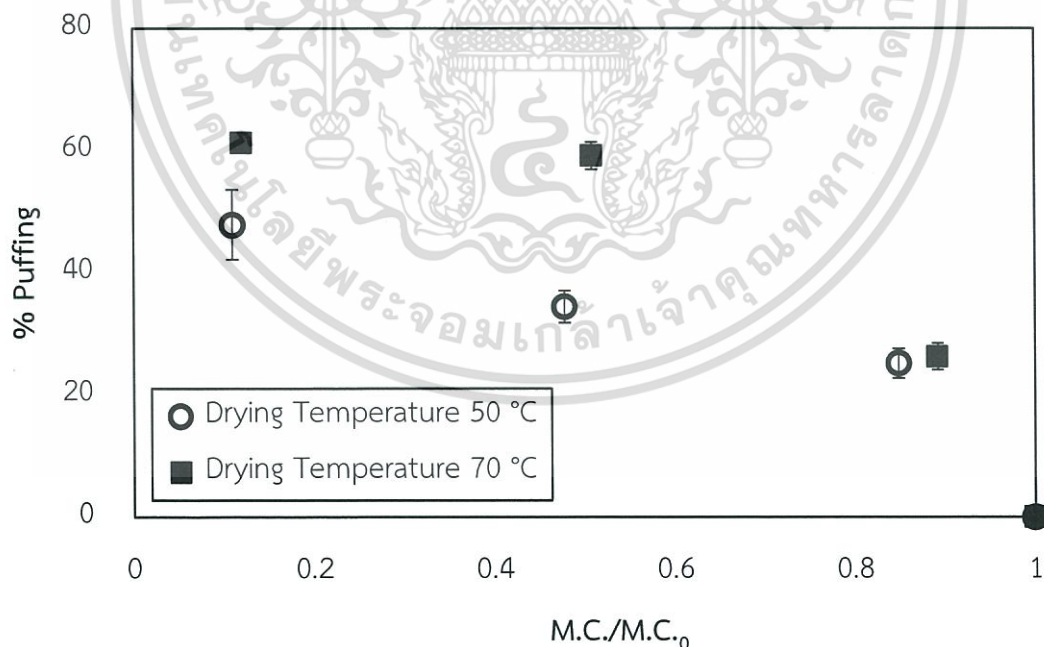
รูปที่ 4.2 การพuffing ของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุก 5 °Brix และ 7 °Brix เมื่อนำไปพuffing ที่เวลาต่าง ๆ

#### 4.2.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งต่อการพuffing กล้วยน้ำว้า

จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบกล้วยน้ำว้า โดยทำการอบแห้งกล้วยที่อุณหภูมิ 50 °C และ 70 °C ดังอธิบายในหัวข้อ 3.3.3 จากนั้นนำกล้วยมาหาความชื้นทุก ๆ 60 min จนกระทั่งกล้วยเริ่มน้ำหนักคงที่ เพื่อหาเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งกล้วยให้ได้ความชื้นที่ต้องการ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ 70 °C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่ความชื้นเดียวกัน เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงช่วยเร่งอัตราการระเหยของไอน้ำได้เร็วขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากนั้นเพื่อหาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการพuffing มากที่สุดจึงเลือกพิจารณาที่ระดับความชื้นก่อนการพuffing ที่ 30% d.b. สำหรับการอบแห้งที่ 50 °C และ 70 °C จากนั้นนำมาพuffing ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนความชื้นเดียวกันกล้วยอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C จะมีการพuffing น้อยกว่าที่ 70 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แต่มีค่าความแข็งและความกรอบใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 70 °C เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งที่เร็วกว่า และมีระดับการพuffing ที่มากกว่า

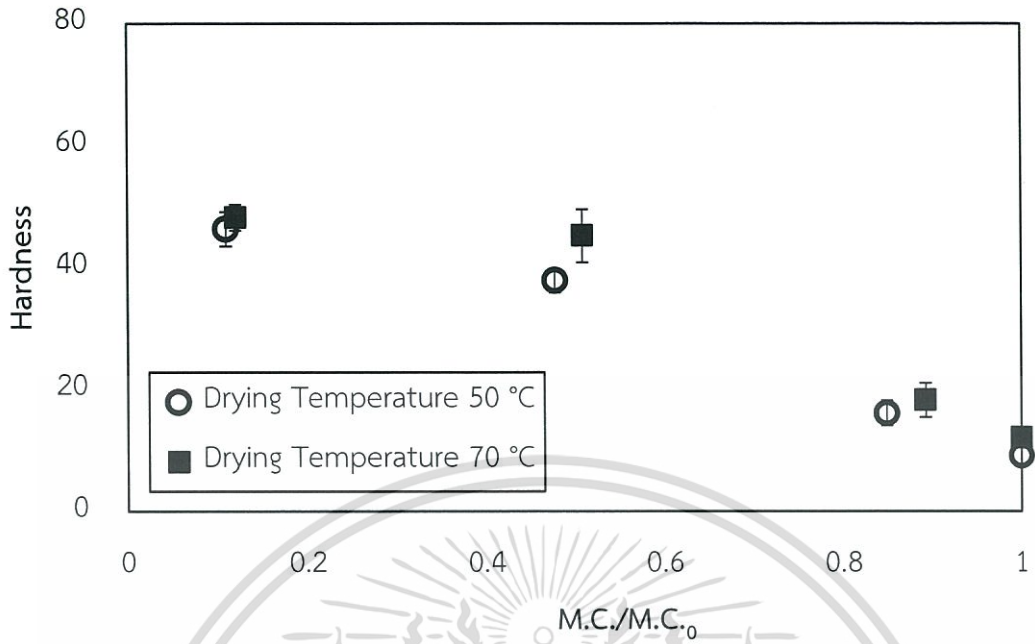


รูปที่ 4.3 ความชื้นของกล้วยน้ำว้าระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และ 70 °C ที่เวลาต่าง ๆ

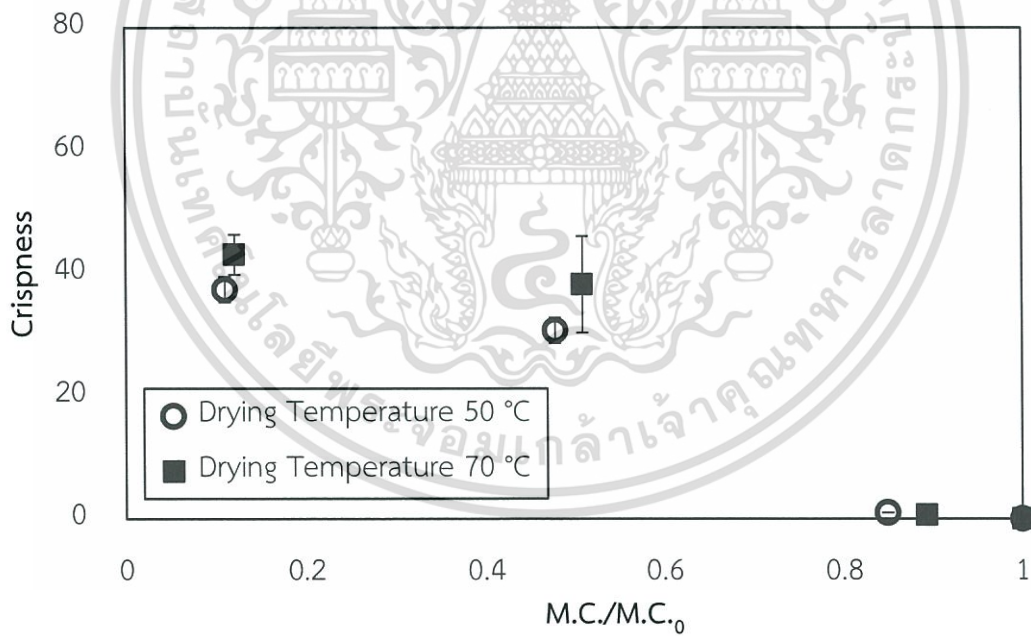


รูปที่ 4.4 การพuffingของกล้วยน้ำว้าที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 °C และ 70 °C จนมีความชื้นก่อนการพuffingที่ 30% d.b. เปรียบเทียบกับอัตราส่วนความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความแข็งของกล้วยน้ำว้าหลังการพัฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ

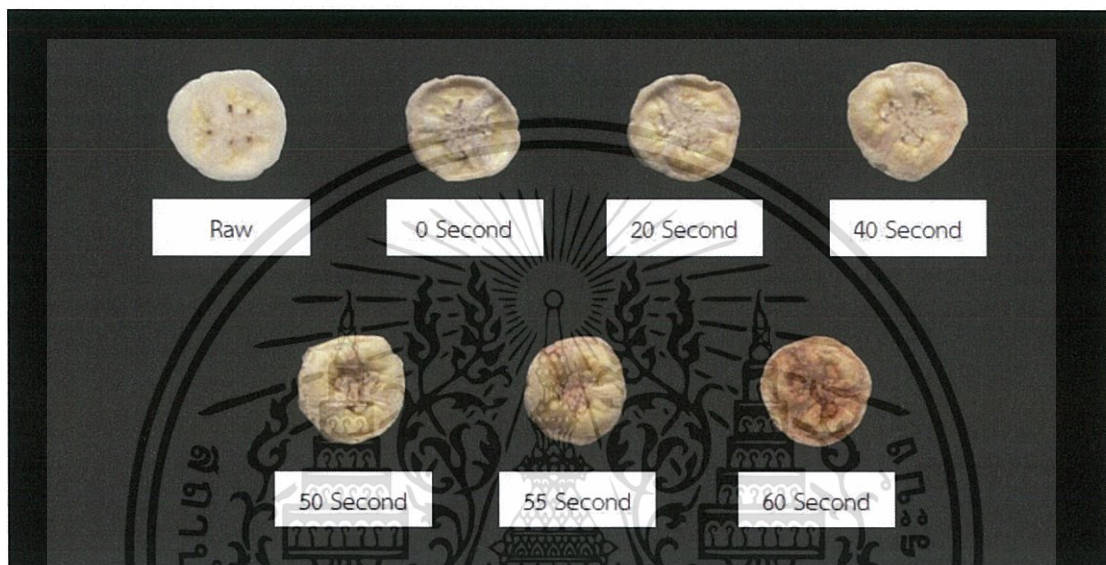


รูปที่ 4.6 ความกรอบของกล้วยน้ำว้าหลังการพัฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการศึกษาหาความชื้นเริ่มต้นของกล้วยน้ำว้าก่อนการพффิง

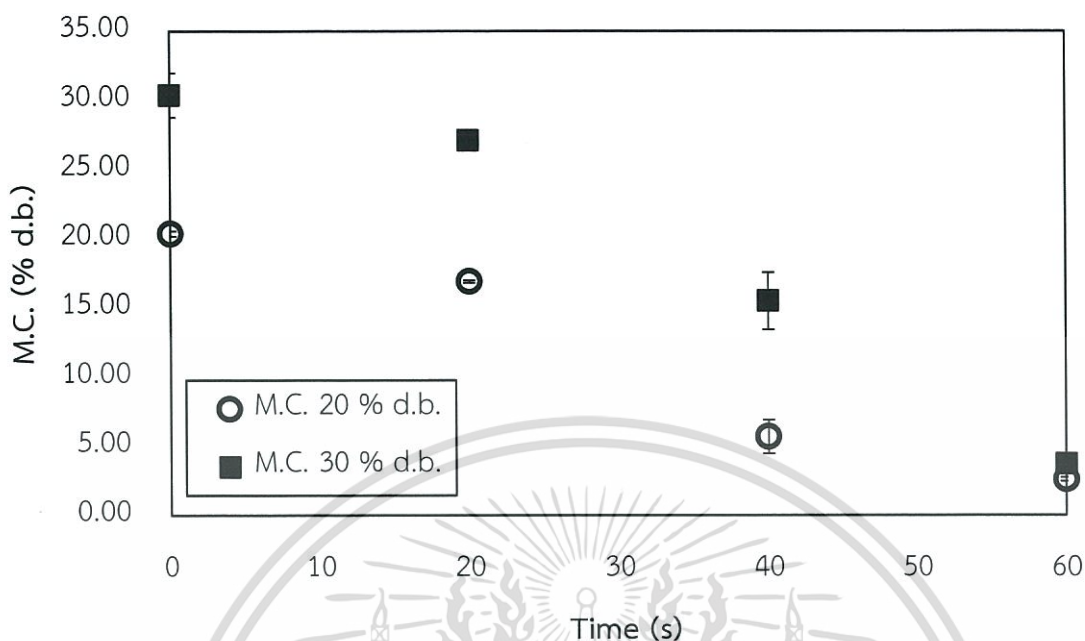
นำกล้วยมาทำการอบแห้ง ดังอธิบายในหัวข้อ 3.4 เพื่อเปรียบเทียบกล้วยที่ 2 ความชื้น ได้แก่ ที่ 20% และ 30% d.b. ก่อนการพффิง จากนั้นจึงนำกล้วยที่ได้มาพффิงที่เวลาต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของความชื้นเริ่มต้นต่อการพффิง สมบัติทางกายภาพ และ โครงสร้างภายในของกล้วยน้ำว้า โดยรูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกล้วยน้ำว้าที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффิงที่ 30% d.b. หลังนำมาพффิงด้วยเตาไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของกล้วยระหว่างการพффิงด้วยเตาไมโครเวฟที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффิง 30% d.b.

#### 4.3.1 ความชื้น (Moisture Content)

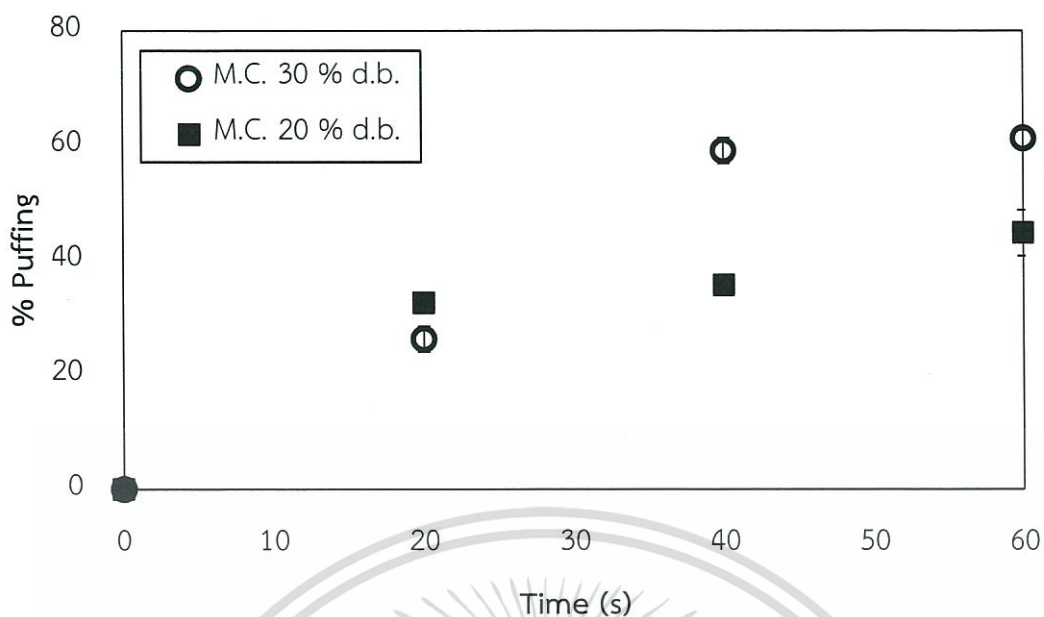
จากการทดลองโดยการนำกล้วยไปอบดังอธิบายในข้อที่ 3.4 จากนั้นนำกล้วยหลังจากพффิงที่เวลาต่าง ๆ มาหาความชื้นดังอธิบายในข้อ 3.5.1 พบว่า กล้วยที่มีความชื้นก่อนการพффิงทั้งที่ 20% และ 30% d.b. มีค่าความชื้นลดลงตามเวลาการพффิงที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.8 เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการพффิงมากขึ้นทำให้น้ำในวัสดุสามารถระเหยออกมาได้มากขึ้น โดยกล้วยที่มีความชื้นก่อนการพффิงทั้งที่ 20% และ 30% d.b. พффิงเป็นเวลา 60 s ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นอยู่ที่ 2.60% และ 3.70% ตามลำดับ ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมกับการเก็บของกรอบ (Tabtiang et al., 2017)



รูปที่ 4.8 ความชื้นของกล้วยน้ำว้าหลังการพัฟฟิงที่เวลาต่าง ๆ

#### 4.3.2 การพัฟฟิง (Puffing)

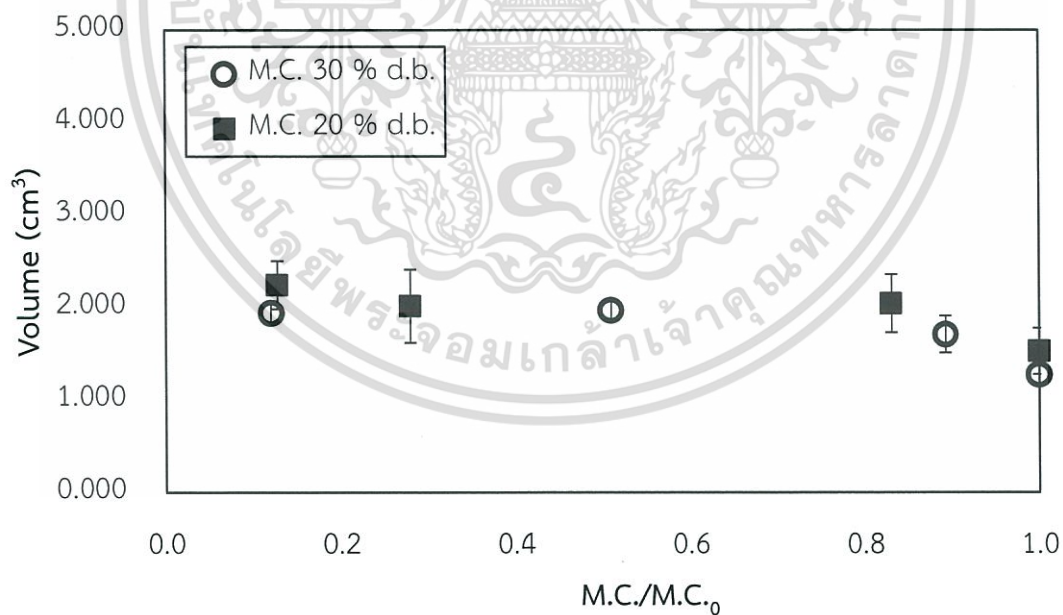
จากการทดลองพบว่ากล้วยที่มีความชื้นก่อนการพัฟฟิงทั้งที่ 20% และ 30% d.b. มีเปอร์เซ็นต์การพัฟฟิงสูงขึ้นตามเวลาการพัฟฟิง และเริ่มมีค่าคงที่ที่เวลา 40 s โดยที่กล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงที่ 30% d.b. มีเปอร์เซ็นต์การพัฟฟิงที่สูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.9 เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อการพัฟฟิงมาก โดยถ้ากล้วยมีความชื้นมากไปจะทำให้กล้วยเกิดการพัฟฟิงแต่จะยุบตัวลงในเวลาต่อมา เนื่องจากกล้วยไม่มีขอบแข็งที่เพียงพอเพื่อรักษาโครงสร้างนั้นไว้ ในทางกลับกันถ้ากล้วยมีความชื้นน้อยไปจะส่งผลให้กล้วยเกิดการพัฟฟิงได้น้อย เนื่องจากปริมาณน้ำในกล้วยน้อย (Raikham et al., 2013) โดยกล้วยที่มีความชื้นก่อนการพัฟฟิงทั้งที่ 20% และ 30% d.b. ต่างไม่เกิดการยุบตัวหลังจากการนำไปพัฟฟิงแล้ว



รูปที่ 4.9 การพuffing ของกล้วยน้ำว้าที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการพuffing ที่ต่างกัน

#### 4.3.3 ปริมาตร (Volume)

จากผลการทดลองพบว่ากล้วยที่มีความชื้นก่อนการพuffing ที่ 20% และ 30% d.b. มีอัตราเปลี่ยนแปลงของปริมาตรในลักษณะใกล้เคียงกันระหว่างการพuffing ดังแสดงในรูปที่ 4.10

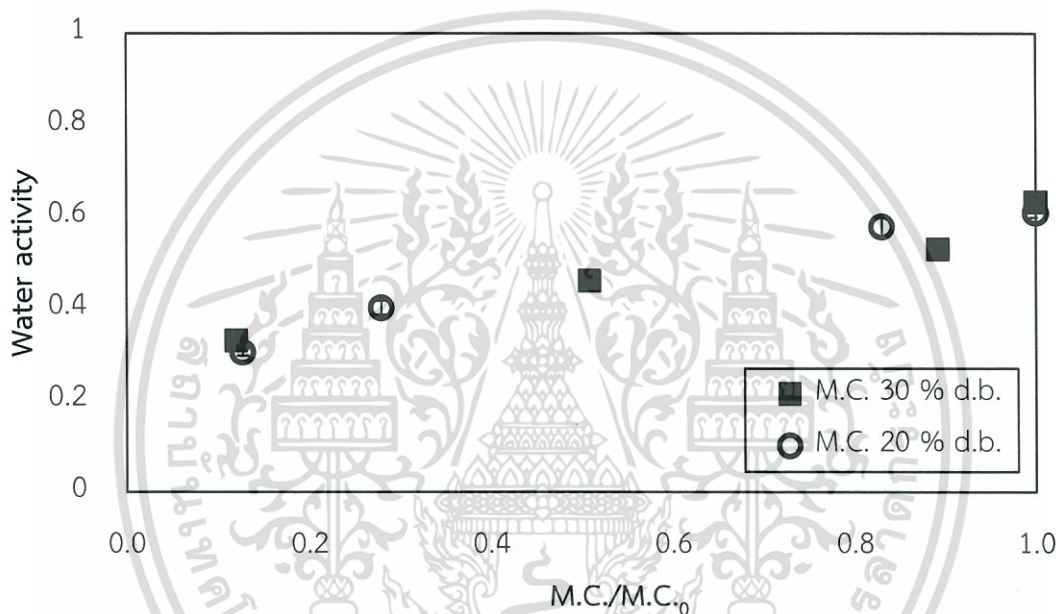


รูปที่ 4.10 ปริมาตรหลังการพuffing ของกล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการพuffing ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 แอคติวิตีของน้ำ (Water Activity)

จากผลการทดลองพบว่ากล้วยที่มีความชื้นก่อนการพффฟที่ 20% และ 30% d.b. เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนความชื้นเดียวกันจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนความชื้นที่ 0.1 กล้วยมีค่าแอคติวิตีเหมาะสมในการเก็บของกรอบมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยที่กล้วยที่มีความชื้นก่อนการพффฟที่ 20% และ 30% d.b. มีค่าแอคติวิตีของน้ำเท่ากับ  $0.305 \pm 0.01$  และ  $0.331 \pm 0.02$  ตามลำดับ ดังนั้นทั้งสองสภาวะจึงเหมาะสมในการเก็บของกรอบโดยไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่พึงประสงค์ เช่น การเหม็นหืน (Tabtiang et al., 2017)

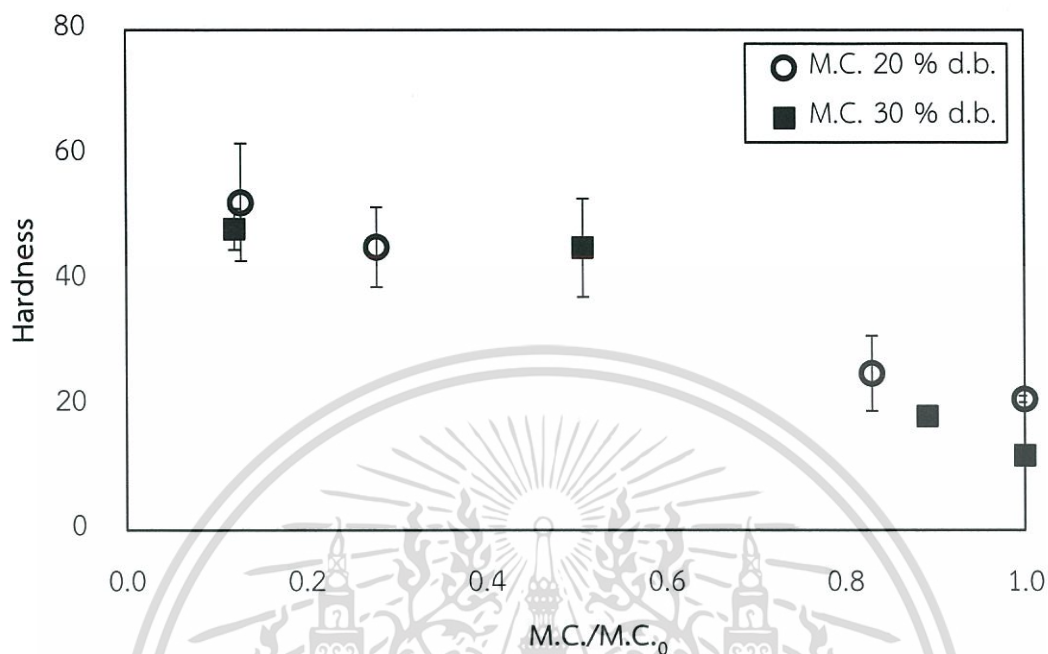


รูปที่ 4.11 แอคติวิตีของน้ำของกล้วยน้ำว้าที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффฟต่างกัน

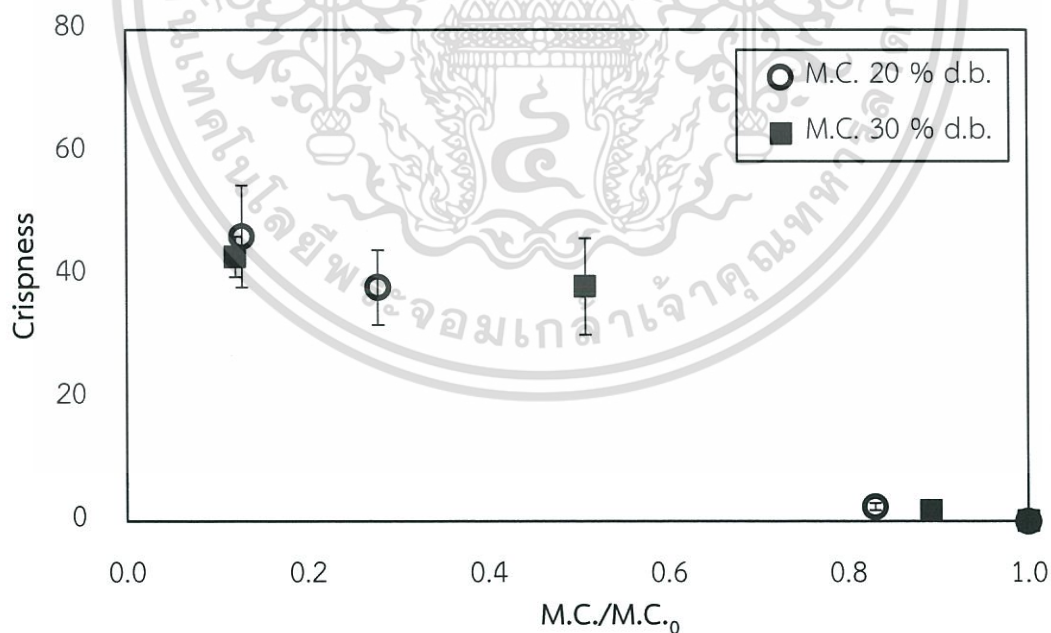
#### 4.3.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analysis)

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสดังอธิบายในหัวข้อ 3.5.5 พบว่ากล้วยที่มีความชื้นก่อนการพффฟที่ 20% และ 30% d.b. เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นเดียวกันกล้วยมีค่าความแข็งและความกรอบเพิ่มขึ้นตามเวลาการพффฟที่มากขึ้น แต่มีค่าความแข็งและความกรอบใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 เนื่องจากวัสดุได้รับพลังงานความร้อนมาก ทำให้โมเลกุลของน้ำเปลี่ยนสถานะเมื่อน้ำภายในโครงสร้างมีอุณหภูมิสูงจึงระเหยกลายเป็นไอน้ำได้เร็วกว่าโดยแรงดันไอน้ำภายในวัสดุที่สูงขึ้น ทำให้โครงสร้างของวัสดุพองตัวจนกลายเป็นรูพรุนภายในโครงสร้างเมื่อนำไปวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ค่าความกรอบจึงมากขึ้น (Raikham et al., 2013) นอกจากนี้ยังพบว่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามความชื้นที่ลดลง ดังนั้นเวลาพффฟที่มากขึ้นจึงมีผลให้ค่าความแข็งและค่าความ

กรอบเพิ่มมากขึ้น โดยที่ความชื้นก่อนการพффฟงที่ต่างกันและเวลาในการพффฟงที่มากขึ้น ไม่มีผลให้ค่าความกรอบและค่าความแข็งของกล้วยน้ำว้าหลังการพффฟงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



รูปที่ 4.12 ความแข็งของกล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффฟงต่างกัน



รูปที่ 4.13 ความกรอบของกล้วยน้ำว้าอบกรอบของกล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффฟงต่างกัน

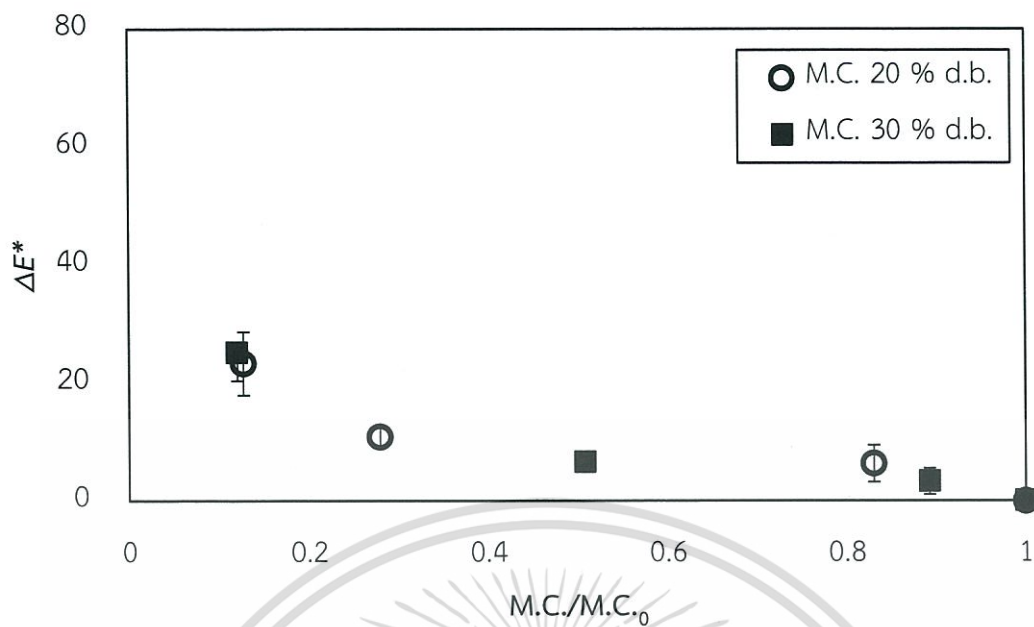
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.6 ค่าสี (Color)

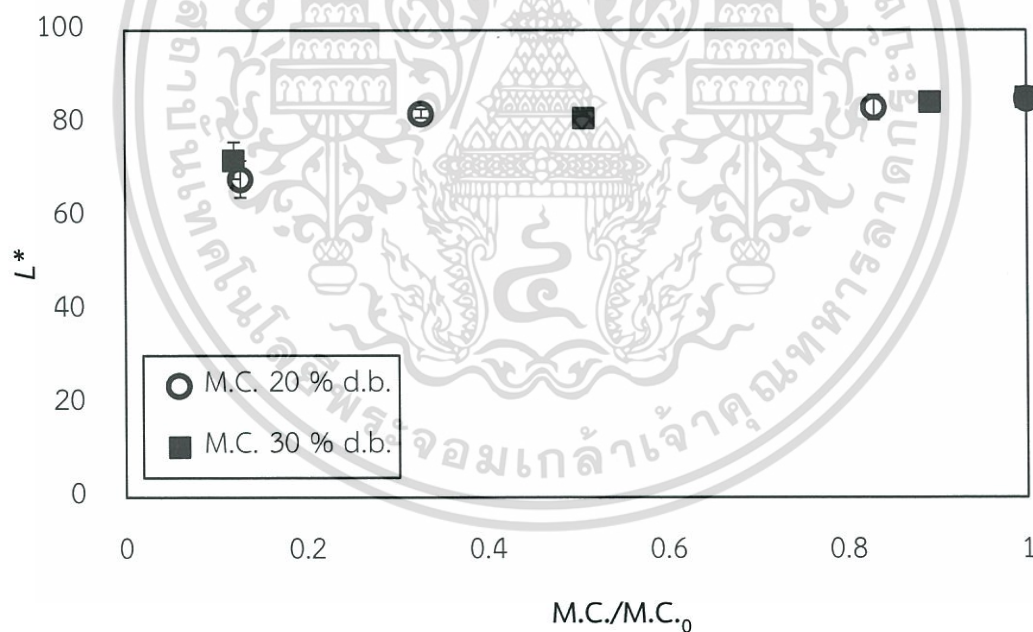
จากการนำกล้วยมาอบตั้งอธิบายในหัวข้อ 3.4 พบว่ากล้วยที่มีความชื้นก่อนการพัพฟิงที่ 20 และ 30% d.b. เมื่อใช้เวลาในพัพฟิงมากขึ้นส่งผลให้กล้วยมีสีเข้มขึ้น และมีลักษณะไหม้เกิดขึ้น โดยกล้วยเริ่มเกิดการไหม้ที่เวลา 60 s ดังแสดงในรูปที่ 4.14 เนื่องจากการอบด้วยไมโครเวฟทำให้อุณหภูมิของชั้นวัสดุสูงขึ้น จนทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์คือ ปฏิกิริยา Maillard และ Caramelization ค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E^*$ ) จึงเปลี่ยนแปลงโดยเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นเดียวกัน กล้วยที่มีความชื้นก่อนการพัพฟิงที่ 20% และ 30% d.b. มีค่าความแตกต่างของสีในช่วงใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.15 และมีค่าสว่าง ( $L^*$ ) ลดลงเมื่อเวลาการพัพฟิงนานขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยที่ค่าความเข้มของสี ( $c^*$ ) และค่าเฉดสี ( $h^*$ ) ของกล้วยหลังการพัพฟิงที่เวลาต่าง ๆ มีค่าค่อนข้างคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 ตามลำดับ เนื่องจากไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน โดยที่ความชื้นก่อนการพัพฟิงที่ต่างกันและเวลาในการพัพฟิงที่มากขึ้น ไม่มีผลให้ค่าสีของกล้วยน้ำว้าหลังการพัพฟิงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



รูปที่ 4.14 กล้วยที่มีความชื้นก่อนการพัพฟิงต่างกัน นำมาพัพฟิงเป็นเวลา 60 s  
 (ก) กล้วยที่ความชื้นก่อนการพัพฟิงที่ 30% d.b. จากนั้นนำมาพัพฟิงที่เวลา 60 s  
 (ข) กล้วยที่ความชื้นก่อนการพัพฟิงที่ 20% d.b. จากนั้นนำมาพัพฟิงที่เวลา 60 s

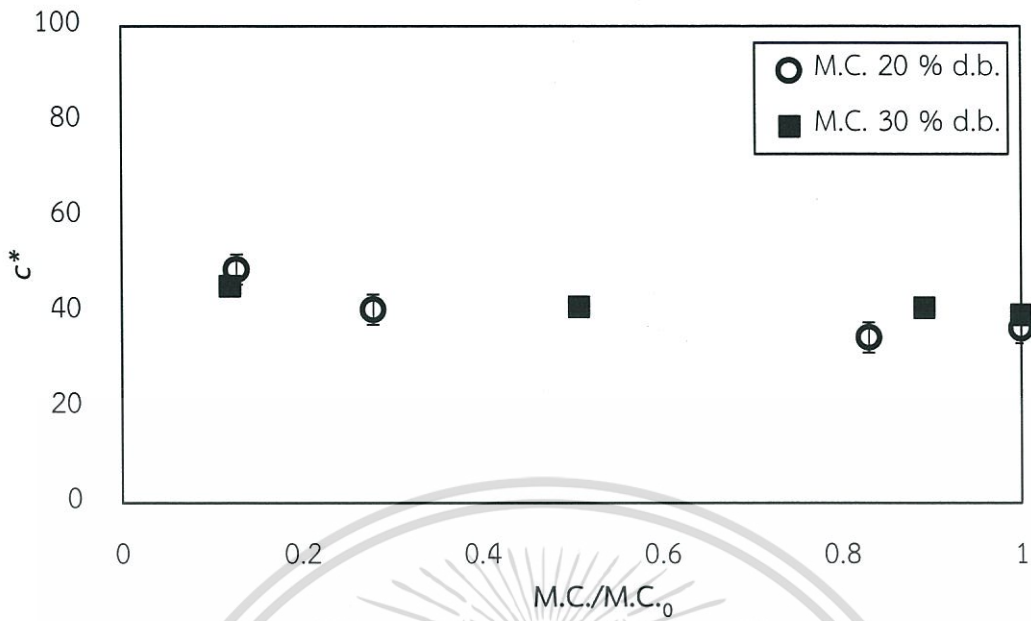


รูปที่ 4.15 ความแตกต่างของสี ( $\Delta E^*$ ) กลัวยที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัพฟิงต่างกัน

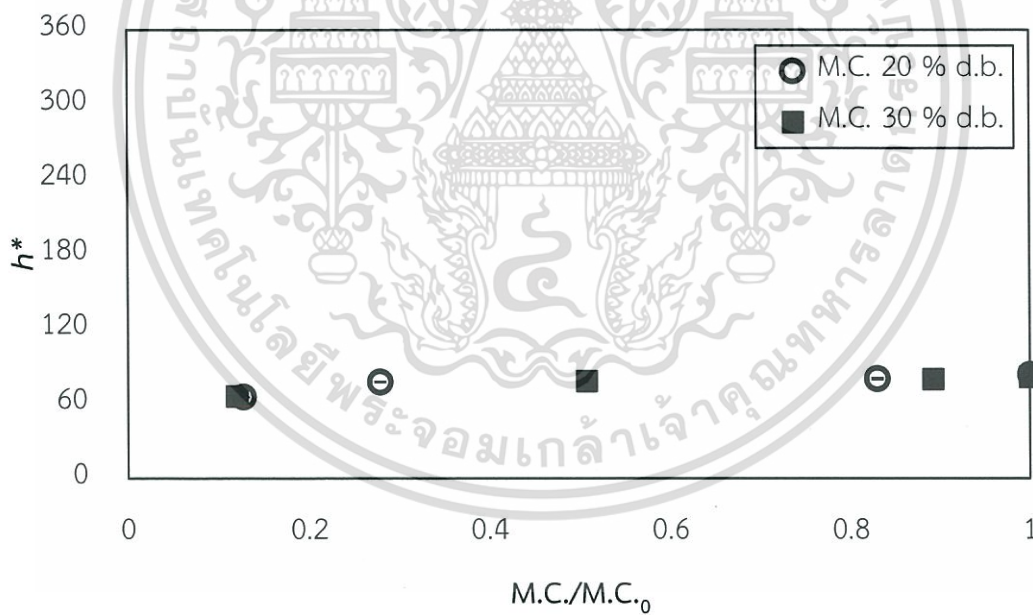


รูปที่ 4.16 ความสว่าง ( $L^*$ ) ของกลัวยที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัพฟิงต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ความชื้นของสี ( $c^*$ ) ของกล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการฟัฟฟิงต่างกัน



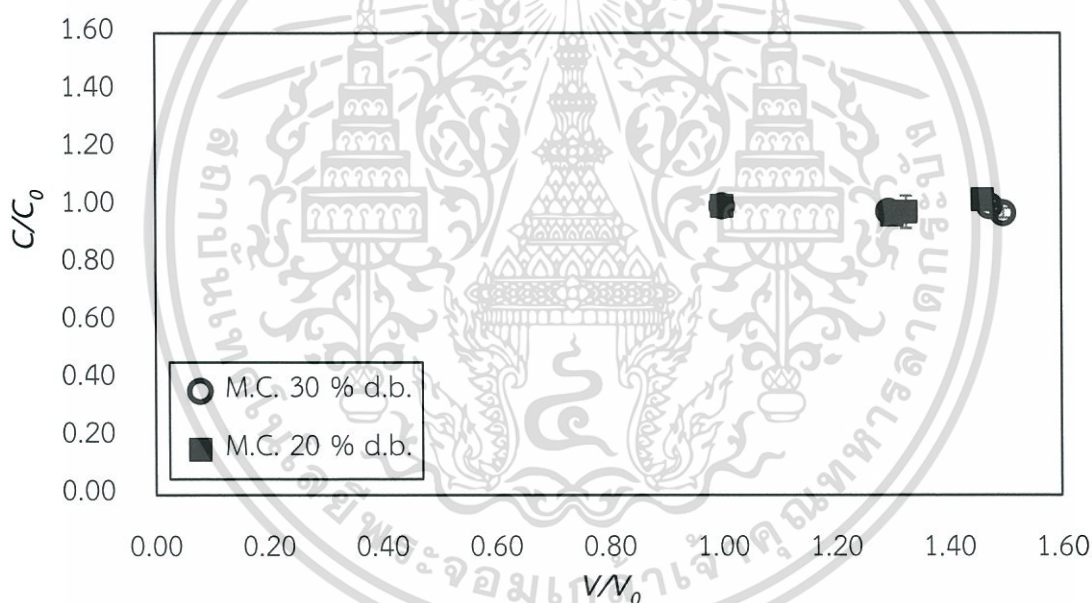
รูปที่ 4.18 เหนดสี ( $h^*$ ) ของกล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการฟัฟฟิงต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

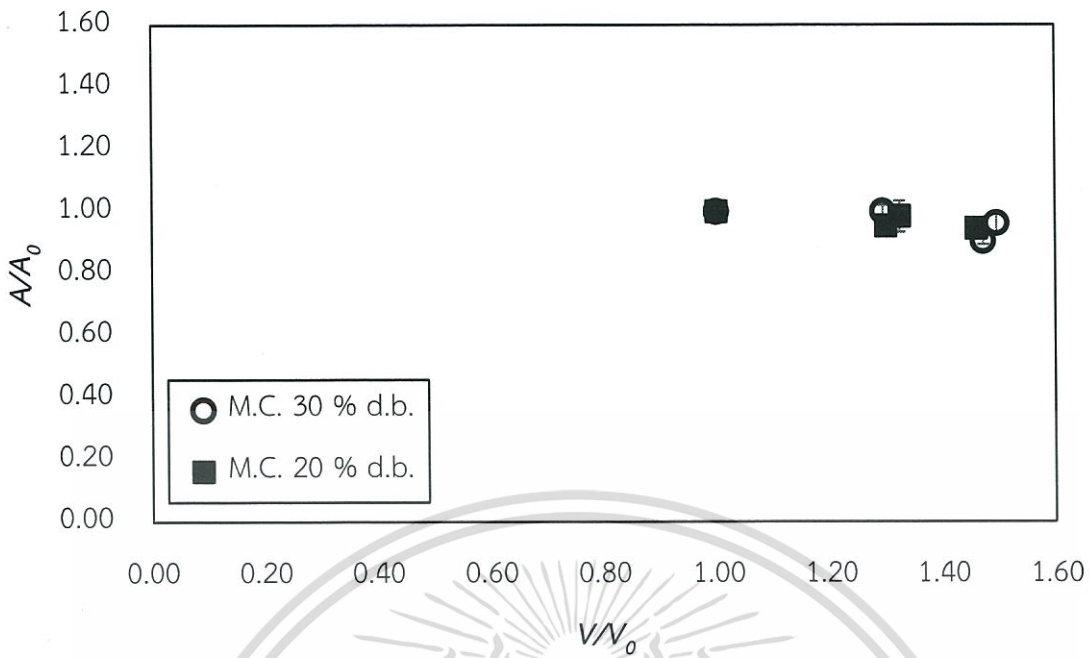
## 4.4 การวิเคราะห์เชิงภาพ (Image Analysis)

### 4.4.1 พื้นที่ภาพถ่าย (Projected Area) และความกลม (Circularity)

การประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์และเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและง่ายดายจากภาพถ่ายชิ้นวัสดุ อีกทั้งยังเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย จากการวิเคราะห์พบว่ากล้วยที่มีความชื้นก่อนการพัพฟิ่งทั้ง 20% และ 30% d.b. มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง (รูปที่ 4.19) และอัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ภาพถ่าย (รูป 4.20) ค่อนข้างคงที่ตลอดการพัพฟิ่ง ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยการที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและอัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ภาพถ่ายของกล้วยมีค่าคงที่เป็นผลเนื่องจากภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเพียงแค่ภาพ 2 มิติเท่านั้น จึงไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของชิ้นกล้วยได้ ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบ 2 มิติ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้บอกการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกล้วยหลังการพัพฟิ่ง ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 มิติได้



รูปที่ 4.19 อัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (ความกลม) ของกล้วยน้ำว้าเปรียบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรหลังการพัพฟิ่งของกล้วยที่มีความชื้นก่อนการพัพฟิ่งต่างกัน



รูปที่ 4.20 อัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ภาพถ่ายของกล้วยน้ำว้าเปรียบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรหลังการพффฟของกล้วยที่มีความชื้นก่อนการพффฟต่างกัน

#### 4.4.2 ความพรุน (Porosity)

การอบแห้งลมร้อนร่วมกับการพффฟด้วยไมโครเวฟสามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงขั้นตอนเดียว โดยจากรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นถึงความพรุนและค่าความกรอบที่เพิ่มขึ้นตามเวลาในการพффฟ โดยในช่วงแรกของการพффฟ จะมีความพรุนและค่าความกรอบน้อย เนื่องจากเป็นช่วงของการรับคลื่นพลังงานจากไมโครเวฟ โดยพบว่าหากค่าความพรุนน้อยกว่า 20 จะมีค่าความกรอบน้อย แต่หลังจากนั้นความพรุนจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นกับค่าความกรอบ ทั้งนี้เป็นเพราะการพффฟที่ใช้เวลายาวขึ้นทำให้แรงดันไอน้ำภายในวัสดุเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้รูพรุนขยายใหญ่ขึ้น โครงสร้างภายในจึงเกิดโพรงและรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งรูพรุนที่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อความกรอบของกล้วย ดังนั้นเมื่อกล้วยมีความพรุนเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความกรอบเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ค่อนข้างเปราะและแตกง่าย (Raikham et al., 2013)



รูปที่ 4.21 ความพรุนและค่าความกรอบที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการพัฟฟิงที่มีความชื้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน

#### 4.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

ทำการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของกล้วยน้ำว้าโดยวิธีการจัดลำดับ โดยใช้ตัวอย่างที่มีความชื้นก่อนการพัฟฟิงที่ 20% และ 30% d.b. พัฟฟิงเป็นเวลา 50 s จากการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคพบว่าตัวอย่างทั้ง 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่  $p > 0.05$ ) โดยตัวอย่างที่มีความชื้นก่อนการพัฟฟิง 20% ผู้ให้คะแนนให้เป็นตัวอย่างที่ชอบมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 58% จากนั้นนำกล้วยฉาบ กล้วยทอดสุญญากาศ และกล้วยน้ำว้าอบกรอบ (M.C. 20% d.b. พัฟฟิง 50 s) ไปทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธี Hedonic scale จึงได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในกล้วยฉาบ กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ และกล้วยน้ำว้าอบกรอบ (จำนวนผู้ทดสอบ 50 คน)

การวิเคราะห์ทางสถิติ			
ลักษณะ	กล้วยฉาบ	กล้วยหอมทอง ทอดสุญญากาศ	กล้วยน้ำว้าอบ กรอบ
สี	3.42 ± 0.950 <sup>a</sup>	3.61 ± 0.862 <sup>a</sup>	2.73 ± 0.940 <sup>b</sup>
กลิ่น	3.28 ± 0.671 <sup>a</sup>	3.37 ± 0.882 <sup>a</sup>	3.12 ± 0.791 <sup>a</sup>
รสชาติ	3.70 ± 0.814 <sup>a</sup>	3.78 ± 0.996 <sup>a</sup>	3.62 ± 0.635 <sup>a</sup>
เนื้อสัมผัส	3.86 ± 0.990 <sup>a</sup>	3.73 ± 1.020 <sup>a</sup>	2.16 ± 1.030 <sup>b</sup>
ความชอบโดยรวม	3.64 ± 0.749 <sup>a</sup>	3.68 ± 0.868 <sup>a</sup>	3.42 ± 0.673 <sup>a</sup>

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยทั้ง 5 ด้าน ที่ใช้ในการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อกล้วยฉาบ กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ และกล้วยน้ำว้าอบกรอบ พบว่าความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านสี และลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยน้ำว้าอบกรอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้วยฉาบ และกล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ ส่วนปัจจัยที่ใช้ประเมินความพึงพอใจในด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นแม้ว่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยน้ำว้าอบกรอบจะมีความแตกต่างจากกล้วยฉาบและกล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ แต่โดยรวมแล้วผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ โดยในอนาคตอาจมีการพัฒนาด้าน สี และเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ขนมขบเคี้ยวได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่แปรรูปจากกล้วยน้ำว้าส่วนใหญ่มักผ่านกระบวนการทอดในน้ำมัน จึงไม่เป็นที่นิยมในผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ โครงการนี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการอบแห้งด้วยเตาอบแบบลมร้อนร่วมกับการพuffing ในเตาไมโครเวฟเพื่ออบกรอบกล้วยน้ำว้า โดยในเบื้องต้นได้ทำการศึกษาระดับความสุกและความหนาของกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม พบว่าระดับความสุกและความหนาที่เหมาะสมในการอบกล้วยน้ำว้าคือ 7 Brix และความหนา 5 mm ตามลำดับ โดยกล้วยเกิดการพuffing มากที่สุด จากนั้นทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งกล้วยน้ำว้า พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C มีความเหมาะสมมากที่สุด

ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าควรอบแห้งจนได้ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพuffing ที่ 20% หรือ 30% d.b. จากนั้นนำไปพuffing ที่เวลาต่าง ๆ พบว่ากล้วยมีเปอร์เซ็นต์การพuffing คงที่ตั้งแต่เวลา 40 s มีค่าความกรอบและความแข็งเพิ่มขึ้นตามเวลาการพuffing เนื่องจากโครงสร้างที่มีความพรุนมากขึ้น โดยที่เวลาพuffing ที่ 50 s มีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากมีลักษณะพอง ไม่ไหม้ และมีค่าความชื้นและแอกติวิตีของน้ำเหมาะสมในการเก็บของกรอบ นอกจากนี้พบว่าการวิเคราะห์เชิงภาพไม่สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและปริมาตรของกล้วยแผ่นอบกรอบได้ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์จากภาพ 2 มิติ ทว่ากล้วยแผ่นอบกรอบนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงใน 3 มิติ และมีพื้นผิวขรุขระไม่ราบเรียบ

จากการทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปที่ขายตามท้องตลาดพบว่าแม่สีและลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยน้ำว้าอบกรอบจะมีความแตกต่างจากกล้วยฉาบและกล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ แต่โดยรวมแล้วผู้บริโภคสามารถยอมรับได้

### 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาเพิ่มเติม

1. ในการทดลองพบรอยไหม้ในบางตำแหน่งของวัสดุ เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในอนาคตอาจใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้สม่ำเสมอมากขึ้น

2. การพuffing มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในเชิง 3 มิติ ดังนั้นการวิเคราะห์ภาพ 2 มิติจึงไม่สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและปริมาตรทั้งหมดได้ ควรประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพ 3 มิติในการบ่งชี้การเปลี่ยนแปลง

## เอกสารอ้างอิง

- ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล. 2555. “เทคโนโลยีทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน.” วารสารวิจัยและพัฒนา. 35(2) : 269-283.
- ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. 2018. “การแปรรูปกล้วย.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : [www.otop.dss.go.th/index.php/en/2014](http://www.otop.dss.go.th/index.php/en/2014)
- ถาวร จันทโชติ. “ผลของสภาวะการพื้ฟึงต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นอบกรอบ.” วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 20(20) : 141-148.
- นวกัทราน หนูนา และทวีพล ชื่อสัตย์. 2555. การวัดและเครื่องมือวัด การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2553. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พรินติ้ง เฮ้าส์.
- ไพโรจิตร ทิพพิลา. “การศึกษาปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันทอด.” วารสารออนไลน์สำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ. 8(22) : 12-14.
- ไพศาล วุฒิจำนงค์ และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2555. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2545. “เรื่อง กล้วย กล้วย.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.ku.ac.th/e-magazine/august45/agri/banana.html>
- รัชณี ตันตะพานิชกุล. 2532. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น.
- สั๊กมน เทพหัสติน ณ อยุธยา. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2547. สรีรวิทยาของพืชสวน. ขอนแก่น : สำนักพิมพ์คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2017. “กล้วยน้ำว้าปากช่อง 50 : กล้วยพันธุ์ดีเพื่อการค้า.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : [www.rdi.ku.ac.th/?p=34970](http://www.rdi.ku.ac.th/?p=34970)
- สุนทร ตรีนันทวัน. 2553. “คุณค่าทางโภชนาการจากกล้วยน้ำว้า.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : [www.scimath.org/article-biology/item/516-cultivated-banana](http://www.scimath.org/article-biology/item/516-cultivated-banana)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำนักงานเลขาธิการกรมอนามัย. 2561. “ขนมขบเคี้ยว.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : [www.anamai.moph.go.th/ewtadmin/ewt/osc/ewt\\_news.php?nid=499&filename=4000](http://www.anamai.moph.go.th/ewtadmin/ewt/osc/ewt_news.php?nid=499&filename=4000)
- อัญชัน ชุณหะหิรัญย์. “รู้ทันไขมันทรานส์.” วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 2552. 29(4) : 124-135.
- อารยา อัจเจริญเทียนหอม. 2559. **พันธุ์กล้วยและการขยายพันธุ์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิชาติ ศรีสะอาด และพัชรี สำโรงเย็น. 2559. **กล้วยน้ำว้าสายพันธุ์ยักษ์**. กรุงเทพฯ : นาคา อินเทอร์เน็ตเดียร์.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**, 17<sup>th</sup> Edn. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg. Method Number, 984.25.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000. **Standard Test Method for Calculation of Color Differences From Instrumentally Measured Color Coordinates** : D2244. Annual Book of American Standard Testing Methods, Vol 01.07, U.S.A.
- Emund, W. L. and Lloyd W. R. 2002. **Snack Foods Processing**. Florida : CRC Press.
- Liew, C.Y. and Lau, C.Y. 2012. “Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy.” **International Food Research Journal**. 19(2) : 751-758.
- Maetens, E., Hettiarachchy, N., Dewettinck, K., Horax, R., Moens, K. and Moseley D.O. 2017. “Physicochemical and nutritional properties of a healthy snack chip developed from germinated soybeans.” **Food Science and Technology Journal**. 84 : 505-510.
- Raikham, C., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A. and Soponronnarit, S. 2015. “Influences of Pretreatments and Drying Process Including Fluidized Bed Puffing on Quality Attributes and Microstructural Changes of Banana Slices.” **Drying Technology**. 33 : 915-925.
- Raikham, C., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A. and Soponronnarit, S. 2013. “Optimum conditions of Fluidized Bed Puffing for producing Crispy Banana.” **Drying Technology**. 31(6) : 726-739.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Semple, R.L., Frio, A.S., Hicks, P.A. and Lozare, J.V. 2011. "Mycotoxin prevention and control in food grains." [Online]. Available : [www.fao.org/docrep/X5036E/x5036E00.htm](http://www.fao.org/docrep/X5036E/x5036E00.htm)
- Shaker. M.A. 2015. "Comparison between traditional deep-fat frying and air-frying for production of healthy fried potato strips." **International Food Research Journal**. 22(4) : 1557-1563.
- Siriboon, N. and Banlusilp. 2004. "A study on ripening process of 'Namwa' banana." **AU Journal Technology**. 7(4) : 159-164.
- Tabtiang, S., and Prachayawarakorn, S. 2017. "Effect of Banana Ripeness and Puffing Temperature on Puffed Banana Qualities and Drying Time." **International Journal of Agricultural Technology** 2017. 13(2) : 281-292.
- Yan, Z., Gallagher, S. M. J. and Oliverira, F.A.R. 2007. "Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during." **Journal of Food Engineering**. 84(3) : 430-440.
- Zhanga, M., Tang, J., Mujumdar A.S. and Wang, S. 2006. "Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables." **Trends in Food Science & Technology**. 17(2006) : 524-534.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ความชื้นของกล้วยน้ำว้าระหว่างการอบแห้งด้วยอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และ 70 °C ที่เวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	เวลาอบแห้ง (min)	ความชื้น (% d.b.)	ความแปรปรวน
50	0	230.41	0.61
	60	190.24	0.14
	120	133.92	0.54
	180	102.79	1.46
	240	64.12	8.22
	300	55.47	0.57
	360	31.49	0.42
	450	26.39	0.21
	510	24.55	0.18
	70	0	209.51
60		95.29	4.16
120		40.11	4.00
180		19.06	1.66
240		14.74	0.96
300		11.97	0.75
360		11.88	0.59
450		11.83	0.82
510		11.82	0.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อการพффฟงของกล้วยน้ำว้าที่เวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	เวลาพффฟง (s)	%พффฟง	ความแปรปรวน
50	0	0.00	0.00
	20	25.11	2.41
	40	34.39	2.64
	60	47.85	5.73
70	0	0.00	0.00
	20	26.23	2.19
	40	59.12	2.24
	60	61.22	1.47

ตารางที่ ก.3 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้นหลังการพффฟงที่เวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	เวลาพффฟง (s)	อัตราส่วนความชื้น	ความแปรปรวน
50	0	1.00	0.00
	20	0.85	0.01
	40	0.48	0.02
	60	0.11	0.01
70	0	1.00	0.01
	20	0.89	0.06
	40	0.51	0.10
	60	0.12	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ความแข็งของกล้วยน้ำว้าหลังการพืงที่เวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ อบแห้ง (°C)	เวลาพืง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ความแข็ง เฉลี่ย	ความ แปรปรวน
50	0	7.62	10.10	9.62	9.10	1.30
	20	15.79	18.31	14.22	16.10	2.06
	40	39.52	35.70	38.23	37.80	1.90
	60	43.18	48.70	46.92	46.30	2.80
70	0	11.90	10.75	13.55	12.10	1.70
	20	18.85	15.20	20.65	18.20	2.78
	40	42.10	45.10	48.23	45.20	4.30
	60	46.85	50.65	47.00	48.20	2.20

ตารางที่ ก.5 ความกรอบของกล้วยน้ำว้าหลังการพืงที่เวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ อบแห้ง (°C)	เวลาพืง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ความ กรอบเฉลี่ย	ความ แปรปรวน
50	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	1.00	1.00	1.00	1.00	0.01
	40	33.00	29.00	30.00	31.00	2.02
	60	35.00	39.00	38.00	37.00	2.30
70	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	1.00	2.00	2.00	1.00	1.50
	40	32.00	48.00	38.00	38.00	8.02
	60	40.00	44.00	46.00	43.00	3.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 การพффฟงของกล้วยน้ำว้าที่มีความชื้นก่อนการพффฟงต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพффฟง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	% พффฟง เฉลี่ย	ความ แปรปรวน
20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	31.82	33.52	32.23	32.52	0.89
	40	34.21	36.92	35.58	35.57	1.36
	60	44.50	48.84	40.85	44.73	3.99
30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	25.57	24.43	28.68	26.23	2.19
	40	61.46	58.89	57.00	59.12	2.24
	60	62.82	60.91	59.92	61.21	1.47

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรของกล้วยน้ำว้าที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффฟงต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพффฟง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ปริมาตร เฉลี่ย	ความ แปรปรวน
20	0	1.45	1.32	1.81	1.53	0.25
	20	1.95	1.78	2.39	2.04	0.31
	40	1.92	1.67	2.45	2.01	0.39
	60	2.09	2.09	2.54	2.24	0.26
30	0	1.15	1.34	1.34	1.28	0.11
	20	1.48	1.79	1.86	1.71	0.20
	40	1.85	2.07	1.99	1.97	0.11
	60	1.83	2.06	1.93	1.94	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้นสุดท้ายของกล้วยน้ำว้าที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการ  
พффฟฟต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพффฟฟ (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	อัตราส่วน ความชื้น	ความ แปรปรวน
20	0	1.00	1.00	1.00	0.00
	20	0.83	0.83	0.83	0.00
	40	0.24	0.32	0.28	0.06
	60	0.13	0.12	0.13	0.01
30	0	1.00	1.00	1.00	0.00
	20	0.85	0.94	0.89	0.06
	40	0.44	0.58	0.51	0.10
	60	0.12	0.12	0.12	0.01

ตารางที่ ก.9 แอคติวิตีของน้ำที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффฟฟต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพффฟฟ (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	แอคติวิตี ของน้ำ	ความ แปรปรวน
20	0	0.59	0.62	0.61	0.01
	20	0.56	0.60	0.58	0.02
	40	0.41	0.39	0.40	0.02
	60	0.29	0.31	0.31	0.01
30	0	0.63	0.63	0.63	0.00
	20	0.53	0.53	0.53	0.00
	40	0.48	0.45	0.46	0.02
	60	0.32	0.34	0.33	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ความแตกต่างของสี ( $\Delta E^*$ ) กลัวย่น้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффฟงต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพффฟง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E^*$ ) เฉลี่ย	ความแปรปรวน
20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	4.81	9.93	4.22	6.32	3.14
	40	9.00	12.18	11.45	10.92	1.59
	60	20.39	29.48	20.01	23.29	5.36
30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	2.50	5.83	1.56	3.29	2.24
	40	5.77	8.58	5.39	6.58	1.74
	60	26.13	29.48	20.01	25.21	4.80

ตารางที่ ก.11 ความสว่าง ( $L^*$ ) กลั้วน้ำว่าอกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพัฟฟิง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เฉลี่ย	ความแปรปรวน
20	0	83.95	87.47	84.48	85.30	1.89
	20	85.37	80.41	84.63	83.47	2.68
	40	82.75	81.11	82.63	82.16	0.92
	60	65.00	66.87	72.59	68.16	3.96
30	0	85.62	85.60	85.30	85.51	0.18
	20	84.04	85.50	84.10	84.55	0.83
	40	80.68	81.39	81.32	81.13	0.39
	60	68.15	76.02	72.30	72.16	3.93

ตารางที่ ก.12 ความเข้มของสี ( $c^*$ ) กลัวย่น้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพффฟงต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพффฟง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าความเข้มของสี ( $c^*$ ) เฉลี่ย	ความแปรปรวน
20	0	39.46	38.43	31.98	36.63	4.05
	20	34.87	33.23	36.05	34.72	1.41
	40	40.06	45.64	35.95	40.55	4.86
	60	51.88	49.42	45.67	48.99	3.13
30	0	40.48	38.39	39.23	39.37	1.05
	20	39.36	43.02	40.22	40.87	1.92
	40	40.31	40.87	42.24	41.14	0.99
	60	45.08	45.94	45.25	45.42	0.45

ตารางที่ ก.13 เสดสี ( $h^*$ ) ถ้วยน้ำว่าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพัฟฟิง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเสดสี ( $h^*$ ) เฉลี่ย	ความแปรปรวน
20	0	81.99	86.88	80.90	83.26	3.19
	20	80.98	79.34	79.01	79.78	1.05
	40	78.67	76.74	76.43	77.28	1.21
	60	63.09	63.55	68.27	64.97	2.87
30	0	82.86	79.16	80.77	80.93	1.86
	20	80.59	75.21	80.97	78.92	3.22
	40	76.64	78.84	77.10	77.53	1.16
	60	66.44	68.39	61.21	65.35	3.72

ตารางที่ ก.14 ความแข็งของกล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพัฟฟิง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าความแข็งเฉลี่ย	ความแปรปรวน
20	0	20.60	21.60	20.80	21.00	0.50
	20	20.40	23.10	31.90	25.10	6.01
	40	43.10	40.33	52.50	45.30	6.40
	60	42.00	55.30	60.10	52.50	9.40
30	0	11.90	10.75	13.55	12.10	1.70
	20	18.85	15.20	20.65	18.20	2.78
	40	42.10	45.20	48.23	45.20	3.10
	60	46.85	50.65	47.00	48.20	2.20

ตารางที่ ก.15 ความกรอบของกล้วยน้ำว้าอบกรอบที่ความชื้นเริ่มต้นก่อนการพัฟฟิงต่างกัน

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพัฟฟิง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าความกรอบเฉลี่ย	ความแปรปรวน
20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	2.00	3.00	2.00	2.00	1.00
	40	35.00	34.00	45.00	38.00	6.00
	60	37.00	49.00	53.00	46.00	8.00
30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	2.00	1.00	2.00	2.00	1.00
	40	32.00	48.00	38.00	38.00	8.00
	60	40.00	44.00	46.00	43.00	3.00

ตารางที่ ก.16 ความชื้นของกล้วยน้ำว้าหลังการพффฟงที่เวลาต่าง ๆ

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพффฟง (s)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ความชื้นเฉลี่ย (% d.b.)	ความ แปรปรวน
20	0	31.51	29.24	30.38	1.61
	20	26.74	27.40	27.07	0.47
	40	14.03	16.96	15.49	2.08
	60	3.78	3.63	3.70	0.11
30	0	20.50	20.24	20.37	0.18
	20	16.98	16.85	16.91	0.09
	40	4.82	6.55	5.68	1.22
	60	2.69	2.50	2.60	0.14

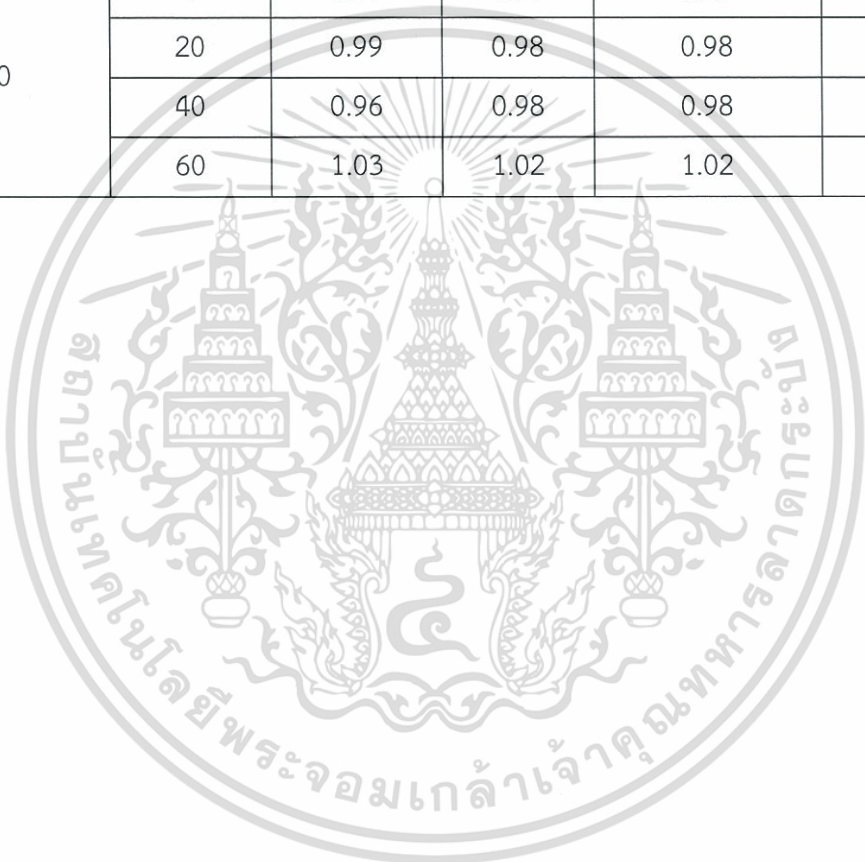
ตารางที่ ก.17 อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ภาพถ่ายหลังการพффฟงที่เวลาต่าง ๆ

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพффฟง (s)	อัตราส่วนพื้นที่			ความ แปรปรวน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
30	0	1.00	1.00	1.00	0.00
	20	1.02	0.98	0.99	0.02
	40	0.93	0.99	0.96	0.04
	60	0.92	0.91	0.91	0.01
20	0	1.00	1.00	1.00	0.00
	20	0.99	0.98	0.98	0.05
	40	0.96	0.95	0.95	0.02
	60	0.93	0.94	0.94	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง (ความกลม) หลังการพื้ฟึงที่เวลาต่าง ๆ

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพื้ฟึง (s)	อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความ แปรปรวน
30	0	1.00	1.00	1.00	0.00
	20	0.99	0.97	0.98	0.01
	40	0.95	1.01	0.98	0.02
	60	1.00	0.99	1.00	0.02
20	0	1.00	1.00	1.00	0.00
	20	0.99	0.98	0.98	0.05
	40	0.96	0.98	0.98	0.01
	60	1.03	1.02	1.02	0.02



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.19 ผลการวิเคราะห์ความพรุณด้วยโปรแกรม ImageJ

ความชื้น (% d.b.)	เวลาพักพิง (s)	พื้นที่ความพรุณ (pixel <sup>2</sup> )				%การกระจายตัวของความพรุณ				ขนาดความพรุณ (Pixel)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความแปรปรวน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความแปรปรวน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ความแปรปรวน
30	0	122.24	122.59	122.41	0.25	2.13	2.95	2.54	0.59	24.05	43.21	33.63	13.55
	20	199.16	176.85	188.01	15.78	4.64	27.30	15.97	16.03	46.38	94.88	70.63	34.30
	40	183.91	188.24	186.08	3.06	41.01	34.02	37.52	4.95	89.31	66.49	77.90	16.13
	60	214.44	283.21	248.82	48.62	48.35	35.45	41.90	9.12	114.45	107.07	110.76	5.22
20	0	178.64	179.41	179.03	0.54	1.27	6.15	3.71	3.45	62.73	52.72	57.73	7.08
	20	176.58	189.10	182.84	8.85	9.86	33.80	21.83	16.93	65.31	102.13	83.72	26.04
	40	176.68	196.60	186.64	14.09	36.06	38.69	37.38	1.86	88.68	97.62	93.15	6.32
	60	209.85	213.19	211.52	2.36	45.32	31.67	38.49	9.65	97.72	99.08	98.40	0.96

ตารางที่ ก.20 ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 5 ปีจจัย

คนที่	สี			กลิ่น			รสชาติ			เนื้อสัมผัส			ความชอบโดยรวม		
	กล้วยฉาบ	กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ	กล้วยน้ำว้าอบกรอบ	กล้วยฉาบ	กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ	กล้วยน้ำว้าอบกรอบ	กล้วยฉาบ	กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ	กล้วยน้ำว้าอบกรอบ	กล้วยฉาบ	กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ	กล้วยน้ำว้าอบกรอบ	กล้วยฉาบ	กล้วยหอมทองทอดสุญญากาศ	กล้วยน้ำว้าอบกรอบ
1	4	2	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	4	3	3
2	3	4	3	3	3	3	5	4	3	5	5	2	4	4	3
3	5	4	2	4	2	2	4	5	3	4	5	1	4	4	3
4	3	4	2	4	5	3	3	4	3	2	4	2	3	4	3
5	5	4	3	5	4	3	4	5	3	5	4	2	5	4	3
6	2	5	4	4	4	5	3	5	5	4	5	3	3	5	5
7	4	4	3	4	4	3	4	5	4	4	5	3	4	5	4
8	3	3	4	2	4	3	2	5	4	5	4	1	3	5	4
9	2	5	4	3	3	3	3	3	5	3	1	2	2	3	4
10	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4
11	5	5	3	3	5	2	5	4	4	5	4	3	5	4	4

ตารางที่ ก.20 (ต่อ) ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 5 ปัจจัย

คนที่	สี			กลิ่น			รสชาติ			เนื้อสัมผัส			ความชอบโดยรวม		
	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ
12	4	3	3	4	3	3	5	4	4	5	5	2	5	4	3
13	4	5	4	4	2	3	4	4	4	4	3	1	4	3	4
14	4	3	1	4	4	1	4	2	1	4	3	2	4	3	3
15	5	3	5	2	1	5	1	3	5	1	5	5	3	2	5
16	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	2	4	4	3
17	4	4	3	3	3	4	4	2	4	4	3	2	4	3	4
18	3	2	3	4	3	3	4	2	4	4	3	2	4	2	3
19	4	3	4	3	3	3	3	3	4	2	3	5	2	3	5
20	3	2	4	3	3	3	4	2	5	4	2	4	4	2	5
21	4	2	2	3	3	3	4	2	4	5	3	2	4	3	3
22	3	3	2	4	2	4	4	4	3	3	4	2	4	4	3

ตารางที่ ก.20 (ต่อ) ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 5 ปีวิจัย

คนที่	สี			กลิ่น			รสชาติ			เนื้อสัมผัส			ความชอบโดยรวม		
	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ
23	2	4	3	4	3	3	5	2	3	5	4	1	5	3	3
24	2	3	3	4	3	5	4	4	3	4	3	3	4	3	3
25	2	4	4	2	4	4	4	4	4	3	3	1	3	4	4
26	3	5	3	3	4	3	4	5	4	4	4	3	3	4	4
27	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	1	1	3	2	3
28	4	3	2	3	3	2	3	5	3	4	4	1	4	5	3
29	4	3	1	3	4	5	3	4	4	5	4	2	4	4	4
30	4	3	3	3	4	3	3	4	4	5	3	1	4	4	3
31	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	3
32	4	4	2	3	4	3	5	5	3	5	4	2	4	4	3
33	4	3	3	4	5	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3

ตารางที่ ก.20 (ต่อ) ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 5 ปีจัด

คนที่	สี			กลิ่น			รสชาติ			เนื้อสัมผัส			ความชอบโดยรวม		
	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่าอบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ
34	3	4	3	3	3	3	4	4	4	5	5	2	4	4	3
35	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4
36	4	5	2	3	4	2	4	5	4	4	5	3	4	5	3
37	2	5	2	3	4	3	3	5	4	1	5	2	2	5	3
38	3	3	4	3	4	3	4	5	3	4	4	2	4	4	3
39	4	4	2	2	3	3	2	3	3	4	5	1	3	5	3
40	5	3	2	4	3	3	4	4	3	4	4	1	4	3	2
41	1	4	1	3	4	3	4	3	4	4	3	1	3	4	3
42	4	3	2	3	3	3	4	2	3	4	3	3	4	3	3
43	4	3	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3	4
44	4	3	2	3	3	2	5	4	3	5	4	2	4	4	3

ตารางที่ ก.20 (ต่อ) ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั้ง 5 ปีจจัย

คนที่	สี			กลิ่น			รสชาติ			เนื้อสัมผัส			ความชอบโดยรวม		
	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่าอบ กรอบ	กล้วย ฉาบ	กล้วยหอม ทองทอด สุญญากาศ	กล้วย น้ำว่า อบ กรอบ
45	3	4	2	3	3	3	3	4	3	3	4	2	3	4	3
46	3	4	1	4	2	4	3	5	4	3	5	2	3	4	3
47	4	5	4	4	5	3	4	5	3	4	5	1	4	5	3
48	2	4	3	2	3	3	2	4	4	2	3	2	2	3	3
49	4	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	2	4	3	4
50	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	1	4	4	4



ภาคผนวก ข.  
แบบประเมินผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส  
ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวกล้วยน้ำว้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ขนมขบเคี้ยวกล้วยน้ำว้า

ชื่อ \_\_\_\_\_ เพศ \_\_\_\_\_ อายุ \_\_\_\_\_ ปี

คำแนะนำ 1. กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอจากซ้ายไปขวา และเรียงลำดับความชอบให้ตัวอย่างที่ท่านชอบมากที่สุดด้วยเลข 1 ตัวอย่างที่ท่านชอบรองลงมาด้วยเลข 2 และตัวอย่างที่ชอบน้อยที่สุดด้วยเลข 3

2. ไม่อนุญาตให้จัดลำดับเท่ากัน

3. กรุณาดื่มน้ำระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

ตัวอย่าง(Sample)	863	235	113
ลำดับ (Rank)			

คำแนะนำ 1. กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมาก      2 = ไม่ชอบ      3 = เฉยๆ      4 = ชอบ      5 = ชอบมาก

ลักษณะ	รหัส		
	863	235	113
1. สี			
2. กลิ่น			
3. รสชาติ			
4. เนื้อสัมผัส			
- ความกรอบ			
- ความแข็ง			
5. ความชอบรวม			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

---

---

---

---



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้