

การพัฒนาแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE RICE CRACKER BAKED
BY MICROWAVE TUNNEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตรการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMTTL-2014-AI-M-053-200

การพัฒนาแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ
DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE RICE CRACKER BAKED
BY MICROWAVE TUNNEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

KMITL-2014-AI-M-053-200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE RICE CRACKER BAKED
BY MICROWAVE TUNNEL**



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

AGRO-INDUSTRY FACULTY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

KMITL-2014-AI-M-053-2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็นอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ
DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE RICE CRACKER BAKED BY
MICROWAVE TUNNEL

ชื่อนักศึกษา นางสาวนัสนรินทร์ มະธา
รหัสประจำตัว 52680317
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตรการอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วุฒิชัย นาครัถกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วุฒิชัย นาครัถกษา	
ผศ.ดร.พอใจ งามาการ	
ดร.กิตติชัย บรรจง	
ดร.ชิตสุดา ชัยศักดิ์านุกูล	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 12 พฤษภาคม 2557 เวลา 12.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ ๒๒ เดือน พค. พ.ศ. ๕๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็นอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ
นักศึกษา	นางสาวนัสริน มะทา
รหัสประจำตัว	52680317
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
พ.ศ.	2557
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

การพัฒนาแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็นที่มีการแทนที่แป้งสาลีทั้งหมดด้วยแป้งข้าวเจ้า มีการพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตโดยใช้สารยึดเกาะ 4 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ร่วมกับกัวกัม และแป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ร่วมกับกัวกัม ในสูตรที่ระดับต่างๆ และอบให้สุกในอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที พบว่า แครกเกอร์จากแป้งข้าวที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์เป็นสารช่วยในการยึดเกาะที่ระดับ 20% ในสูตรร่วมกับกัวกัม 0.5% ได้รับการยอมรับจากผู้ชิม เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยได้คะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุดเท่ากับ $5.11 \pm 1.05 (p < 0.05)$ มีค่าความกรอบอยู่ในรูปของค่า hardness เท่ากับ 1422.72 ± 71.50 กรัมแรง และมีอุณหภูมิที่ผิวหน้าของแครกเกอร์อยู่ระหว่าง $141 - 150.2^{\circ}\text{C}$ และเมื่อพัฒนาสูตรต่อโดยใช้อิมัลชันซิไฟเออร์ (คาเทียม, พูราเวฟ) 0.5% ร่วมกับกัวกัมที่ระดับต่างๆ (0, 0.25 และ 0.5% ของแป้งทั้งหมด) พบว่า แครกเกอร์ที่ใช้พูราเวฟร่วมกับกัวกัม 0.5% ให้ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด คือ ให้คะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุด $4.45 \pm 1.44 (p < 0.05)$ มีความกรอบหรือค่า hardness เท่ากับ 3258.20 ± 139.68 กรัมแรง และมีอุณหภูมิที่ผิวหน้าของแครกเกอร์ที่ผลิตได้จากการอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ $147.4 - 148.2^{\circ}\text{C}$ สภาวะในการอบแครกเกอร์ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่เหมาะสม คือ การอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์เป็นเวลา 4 นาที, กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์เป็นเวลา 4 นาที และกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์เป็นระยะเวลา 3 นาที โดยแครกเกอร์ไม่มีการไหม้เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการอบ (X_1) กำลังไฟฟ้า (X_2) และอิทธิพลร่วมระหว่าง X_1 กับ X_2 ($X_1 * X_2$) จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าของแครกเกอร์ข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

คำสำคัญ : แครกเกอร์ปราศจากกลูเต็น, แป้งข้าวพรีเจลาติไนส์, คาเทียม, พูราเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE RICE CRACKER BAKED BY MICROWAVE TUNNEL
Student	Miss Nasrin Matha
Student ID.	52680317
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2014
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Woatthichai Narkrugsu

ABSTRACT

Microwaved gluten-free rice cracker development was studied by using different binder (pre gelatinized glutinous and non-glutinous rice flour together with or without 0.5% guar gum) and microwave heating at 600(watt) for 4 min. It was found that rice cracker made by using pre gelatinized non-glutinous rice flour (20%) together with 0.5% guar gum was accepted from taste panel (30 persons with hedonic scale) with the highest overall acceptable score (5.11 ± 1.05 , at $p < 0.05$). Its crispiness in term of hardness value was 1422.72 ± 71.50 g.force and had the surface temperature after microwaved heating between $141-150.2$ °C. To develop rice cracker with emulsifier, DATEM and Purawave at the level of 0.5% together with guar gum (0, 0.25, 0.5% of total flour) were used. The results revealed that rice cracker made from Purawave together with 0.5% guar gum was accepted from the panel-test (30 persons) with the highest overall acceptable score (4.45 ± 1.44 , at $p < 0.05$). Its crispiness in term of hardness value was 3258.20 ± 139.68 g.force and had the surface temperature after microwaved heating between $147.4-148.2$ °C after microwaved heating. The suitable microwave heating condition in the microwave tunnel (2450MHz, 4.8kwatt) were 600 watt for 4 min, 700 watt for 4 min and 800 watt for 3 min without defect of burning. Heating time (X_1), power (X_2) and their interaction ($X_1 \cdot X_2$) were highly significant positive to the surface temperature of rice cracker ($p < 0.01$).

Keywords : gluten-free rice cracker, pre-gelatinized rice flour, DATEM, Purawave.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำแนวทางและข้อคิดเห็นต่างๆ แก่ข้าพเจ้าเสมอมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พอใจ งามากร ดร.กิตติชัย บรรจง และดร.ชิตสุดา ชัยศักดิ์านุกูล ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมในส่วนที่บกพร่องในงานวิจัยให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและคอยดูแลอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและสารเคมีในงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งพี่ๆและเพื่อนๆนักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและความปรารถนาดีเสมอมาทุกคน

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณ และความปรารถนาดีของบิดา มารดา น้อง และญาติมิตร ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์

นัสรีน มะทา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญรูปผนวก.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าวและแป้งข้าวเจ้า.....	3
2.2 กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าว.....	3
2.3 องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง.....	5
2.4 คำจำกัดความของผลิตภัณฑ์อาหารปราศจากกลูเตน.....	7
2.5 ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์.....	8
2.6 สารยึดเกาะและการใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบปราศจากกลูเตน.....	8
2.7 การให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบ.....	11
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 วัตถุประสงค์.....	14
3.2 อุปกรณ์.....	14
3.3 สารเคมี.....	15
3.4 สถานที่ดำเนินการทดลอง.....	15
3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การศึกษาสารยึดเกาะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสาร ยัดเกาะกัวกัม และอบให้สุกด้วยอุณหภูมิต่ำไมโครเวฟ.....	29
4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน โดยใช้อุณหภูมิต่ำไมโครเวฟ.....	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 การศึกษาสารยัดเกาะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน และอบให้สุกด้วยอุณหภูมิต่ำไมโครเวฟ.....	37
5.2 การผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าโดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ ร่วมกับสารยัดเกาะกัวกัม และอบให้สุกด้วยอุณหภูมิต่ำไมโครเวฟ.....	37
5.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน โดยใช้อุณหภูมิต่ำไมโครเวฟ.....	37
ข้อเสนอแนะ.....	38
บรรณานุกรม.....	39
ภาคผนวก	
ก. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์.....	42
ข. สารยัดเกาะและอิมัลซิไฟเออร์.....	46
ค. กราฟความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการอบและอุณหภูมิผิวหน้าของแครกเกอร์ ข้าวปราศจากกลูเตน.....	49
ง. แบบทดสอบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....	51
ประวัติผู้เขียน.....	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ.....	6
2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน.....	7
3.1 สูตรแทรกเกอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	16
4.1 การทดลองหาอัตราส่วนผสมของน้ำแป้งพรีเจลาติไนส์จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว และกัวกัม.....	23
4.2 คุณภาพทางด้านกายภาพของแทรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้แป้งพรีเจลาติไนส์และกัวกัมเป็นสารยึดเกาะ และอบให้สุกด้วยอุณหภูมิไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที.....	25
4.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของแทรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้แป้งพรีเจลาติไนส์ และกัวกัมเป็นสารยึดเกาะ และอบให้สุกด้วยอุณหภูมิไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที.....	28
4.4 การทดลองผลิตแทรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนโดยใช้Purawave, DATEM เป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัม.....	29
4.5 คุณภาพทางด้านกายภาพของแทรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้อิมัลซิไฟเออร์และสารยึดเกาะกัวกัมที่ระดับต่างๆ และอบให้สุกด้วยอุณหภูมิไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที.....	31
4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของแทรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัม ในสูตรที่ระดับต่างๆ และอบให้สุกด้วยอุณหภูมิไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที.....	33
4.7 องค์ประกอบทางเคมีของแทรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ใช้ Purawave 0.5% เป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัวกัม 0.5% และแทรกเกอร์จากแป้งสาลีของบริษัทสินสาลี จำกัด.....	34
4.8 คุณภาพทางกายภาพของแทรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า และระยะเวลาต่างๆ คือ 600, 700 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 นาที.....	35
4.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation)ของกำลังไฟฟ้า(วัตต์) และระยะเวลา (นาที) ในการอบต่ออุณหภูมิผิวหน้าของแทรกเกอร์.....	36

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างและส่วนประกอบของข้าว.....	3
2.2	กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าว.....	4
2.3	โครงสร้างของอะไมโลส.....	5
2.4	โครงสร้างของอะไมโลเพกติน.....	6
2.5	โครงสร้างของDATEM.....	11
3.1	กระบวนการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ไม่มีการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์...	17
3.2	กระบวนการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์.....	19
4.1	ลักษณะของโคที่และจนไม่สามารถรีดเป็นแผ่นได้จากสูตรที่ใช้แป้งข้าวเหนียว พรีเจลาติไนส์ 30%.....	23
4.2	ลักษณะของโคที่และมากจนไม่สามารถรีดเป็นแผ่นได้จากสูตรที่ใช้แป้งข้าวเหนียว พรีเจลาติไนส์ 30% ร่วมกับกัวกัม 0.5%.....	23
4.3	แครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน โดยใช้สารยึดเกาะทั้งหมด 4 ชนิด และอบให้สุกด้วย อุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที.....	26
4.4	ลักษณะโคของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ใช้Purawave หรือDATEM เป็น อิมัลซิไฟเออร์เพียงอย่างเดียว.....	30
4.5	แครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัม ที่ระดับต่างๆ และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที.....	31

สารบัญรูปผนวก

รูปผนวกที่	หน้า
ก.1 อุโมงค์ไมโครเวฟ 2,450MHz ขนาด 4.8 kwatt, 6 หัวแมกนีตรอน 220 V.....	43
ก.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer TA-XT Plus พร้อมหัววัด P/0.25S ด้านความกรอบของแครกเกอร์ในรูปของhardness.....	44
ก.3 กราฟตัวอย่างแสดงค่าความกรอบที่อ่านได้จากกราฟ ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer TA-XT Plus.....	45
ข.1 DAEM ตรา เลขี่เพ็ก.....	47
ข.2 Purawave (EC-25K) ตรา Durkee.....	47
ข.3 กัวกัม ตรา ACE.....	48
ค.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอบกับอุณหภูมิผิวหน้าของ แครกเกอร์ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์.....	50
ค.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอบกับอุณหภูมิผิวหน้าของ แครกเกอร์ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์.....	50
ค.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอบกับอุณหภูมิผิวหน้าของ แครกเกอร์ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์.....	50
ง.1 ตัวอย่างแบบทดสอบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แครกเกอร์จัดเป็นขนมปังกรอบประเภทหนึ่งที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบหลัก(อรอนงค์ วินัยกุล, 2539, Ibuki *et. al.*, 2002) จึงทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับผู้บริโภครที่เป็น โรคแพ้โปรตีนจากกลูเตน หรือโรคCeliac disease โดยจะพบในกรณีที่ผู้บริโภครที่เป็น โรคนี้อาหารที่ผลิตจากแป้ง ข้าวสาลี แป้งข้าวบาร์เลย์ และแป้งข้าวไรย์ โรคแพ้โปรตีนจากกลูเตนเป็นโรคพื้นฐานที่พบได้ทั่วไป มีสถิติของผู้ป่วยโรคนี้นั้นในประเทศอังกฤษ ยุโรป และสหรัฐอเมริกาจากการตรวจวินิจฉัย โดยการตรวจเลือด 0.3-1% โดยมีอาการที่สำคัญ คือ เมื่อบริโภคอาหารที่มีส่วนผสมของ กลูเตน(ไกลอะดินและกลูเตนิน)เข้าสู่ร่างกาย โปรตีนชนิดนี้จะไปกระทบต่อระบบ ภูมิคุ้มกันในส่วนที่จะผลิตantibodiesของลำไส้เล็กให้ทำงานผิดปกติไป ทำให้ผิวสัมผัส ตลอดแนวของลำไส้เล็ก(villi)ถูกทำลาย จึงส่งผลให้การดูดซึมสารอาหารและแร่ธาตุสำคัญ ที่ลำไส้เล็กผิดปกติ เช่น ไขมัน ธาตุเหล็ก แคลเซียม และกรดโฟลิก ทำให้เกิดอาการเบื้องต้น คือ เบื่ออาหาร อาเจียน และสามารถทำให้เกิดโรคโลหิตจาง โรคซidak โรคกระดูกบาง และ บางรายอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งได้(Feighery, 1999; Ciclitria *et. al.*, 2005; Briani *et al.*, 2008) ผลิตภัณฑ์ขนมอบแบบปราศจากกลูเตน(gluten - free)จากแป้งข้าวจึงเป็นทางเลือก สำหรับผู้บริโภครที่แพ้โปรตีน เนื่องจากในข้าวไม่มีโปรตีนที่ทำให้เกิดการแพ้ แต่อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ขนมอบแบบปราศจากกลูเตนที่มีการหมักและอาศัยการเกิดก๊าซที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ในปัจจุบันนั้นยังมีคุณภาพต่ำ ทั้งในด้านกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสที่สำคัญ คือ เนื้อสัมผัสระหว่างเคี้ยว (mouthfeel)(Arendt *et. al.*, 2002) ซึ่งแตกต่างกับแป้งสาลีที่ประกอบด้วยโปรตีนไกลอะดิน (gliadins)ที่ทำให้ โคมีความเหนียวและเกาะกันเป็นก้อน และกลูเตนิน(glutenin)จะทำให้ โคที่ ยึดเกาะกันยึดตัวและแผ่ขยายออกได้มากขึ้นในระหว่างการนวดและการหมัก(Hoseney, 1994) โปรตีนทั้งสองชนิดรวมตัวกันเกิดเป็นกลูเตนที่แข็งแรงส่งผลถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวนุ่ม และ ยืดหยุ่นสูง

ปัญหาหลักในการนำแป้งชนิดอื่นที่ไม่ใช่แป้งสาลีมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่มีการหมัก เช่นขนมปังนั้น คือ ไม่สามารถเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักได้ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อนำ แป้งที่ไม่มีกลูเตนผสมกับน้ำจะได้เป็นสารแขวนลอยเข้มข้นอยู่ในน้ำและมีแรงผลักระหว่าง เม็ดสตาร์ชให้อยู่ห่างจากกัน ดังนั้นเมื่อนำแป้งมาทำผลิตภัณฑ์ที่มีการหมักจึงไม่สามารถเก็บก๊าซ

ไว้ได้เพียงพอ แต่ถ้าสามารถทำให้เม็ดสตาร์ชดึงดูดเข้าหากันและทำให้มีการเคลื่อนที่ลดลงจนสามารถหุ้มหรือล้อมรอบเซลล์ก๊าซให้มากพอ ของผสมระหว่างแป้งและน้ำนั้นก็จะสามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้ ก็จะทำให้การหมักแป้งขึ้นฟู (Nishita *et. al.*, 1976; Gujral *et. al.*, 2003) จึงจำเป็นต้องเติมสารยึดเกาะ (binding agent) เช่น กัม ไฮโดรคอลลอยด์ สตาร์ช และโปรตีน เป็นต้น เพื่อช่วยในการเชื่อมระหว่างเม็ดสตาร์ชทำให้เกิด โครงสร้างของฟิล์มของผสมที่มีการเติมสารยึดเกาะมีความแข็งแรงในการเก็บก๊าซเพิ่มมากขึ้น (สุนทร สหัสสิทธิ์, 2533; ภาณุมาศ รุ่งเรืองอารี, 2541; Athapol *et. al.*, 1994)

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว ที่ผ่านการพรีเจลาติไนส์ และกั๊กัมเป็นสารช่วยในการยึดเกาะ รวมทั้งสารอิมัลซิไฟเออร์ในการผลิต แครกเกอร์ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า โดยการอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสารยึดเกาะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

1.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนโดยใช้อุโมงค์ไมโครเวฟ

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปราศจากกลูเตนที่แทนที่แป้งสาลีด้วยข้าวเจ้าและได้สูตรที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แบบปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวในระดับอุตสาหกรรม เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ และผู้บริโภคที่แพ้กลูเตนจากแป้งสาลี

1.3.2 สามารถใช้อุโมงค์ไมโครเวฟในการทำสุกผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ได้ และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการใช้ไมโครเวฟในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์

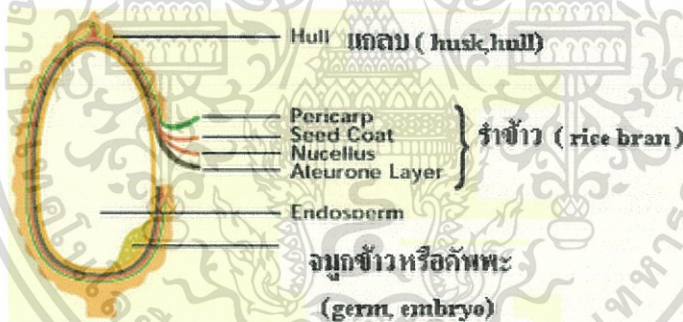
บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของข้าวและแป้งข้าวเจ้า

ข้าวเจ้าเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า จัดอยู่ในแฟมิลี่Gramineae มีต้นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ พันธุ์อินดิกา (*O. sativa indica*) และพันธุ์จาปอนิกา (*O. sativa japonica*)

แป้งข้าวเจ้า(rice flour) เป็นแป้งที่ผลิตจากการบดเมล็ดข้าว มีทั้งแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวเจ้าจะใช้ข้าวหักหรือปลายข้าว และนิยมใช้ข้าวที่มีอะไมโลสสูง โดยผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบ โม่ น้ำ แป้งที่ได้จะมีคุณภาพดี เม็ดแป้งมีความละเอียด และสิ่งเจือปนน้อย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของข้าว

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1657/rice/wiki/word/1657/rice> ข้าว

2.2 กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าว

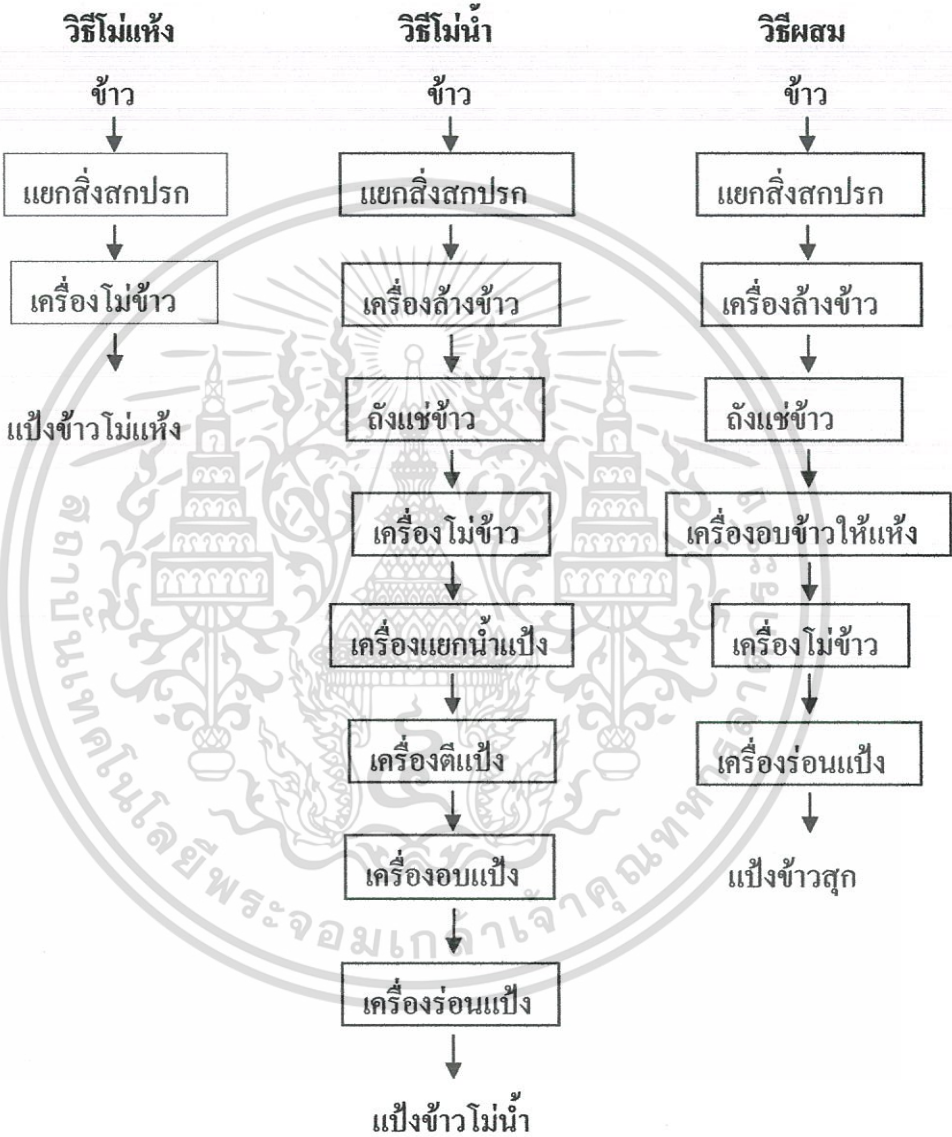
กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าว มี 3 วิธี คือ

2.2.1 การผลิตแป้งข้าวด้วยการโม่แห้ง ได้จากการนำข้าวมาทำความสะอาด(cleaning) เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกแล้วจึงนำไปบดให้เป็นแป้ง แป้งที่ได้จากการโม่แห้งจะมีคุณภาพต่ำเพราะเม็ดแป้งค่อนข้างหยาบและมีสิ่งเจือปนสูง อายุการเก็บรักษาสั้น เพราะเกิดกลิ่นหืน(rancidity)ได้ง่ายเนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง และถูกทำลายจากแมลงได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การผลิตแป้งข้าวด้วยวิธีการโม่น้ำ เป็นวิธีการผลิตแป้งข้าวในปัจจุบัน แป้งที่ได้มีคุณภาพดี มีความละเอียดและสิ่งเจือปนน้อย เทคโนโลยีการผลิตแป้งโดยวิธีการโม่น้ำได้รับการพัฒนามาช้านาน การผลิตแป้งในปัจจุบันยังคงมุ่งเน้นแป้งข้าวเจ้าชนิดอะไมโลสสูง

2.2.3 การผลิตแป้งข้าววิธีผสม เป็นการ โม่แป้งจากข้าวที่แช่น้ำและอบแห้งด้วยความร้อนก่อนโม่เป็นแป้ง แป้งชนิดนี้เป็นแป้งคุณภาพสูงและนำไปใช้ทำขนมเฉพาะอย่าง เช่น ขนมโก๋จากแป้งข้าวเหนียว



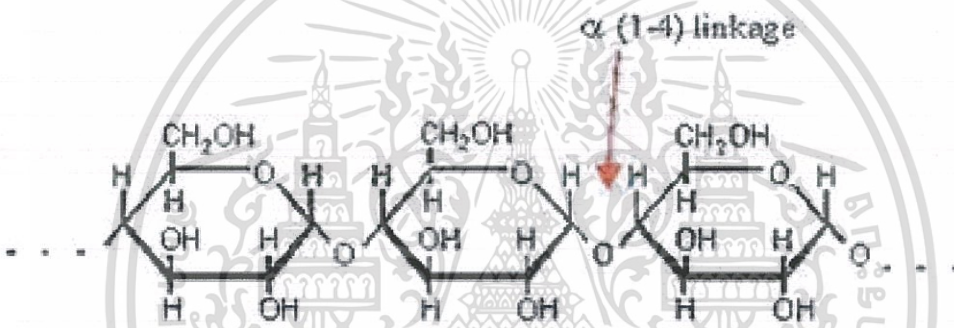
รูปที่ 2.2 กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าว

ที่มา : งามชื่น คงเสรี (2539)

2.3 องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose unit) โดยภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยโพลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin)

อะไมโลส มีลักษณะเป็นสายตรงของน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิกเพียงอย่างเดียว ประกอบด้วยน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 200-2,000 หน่วย สามารถดูดความชื้น และกระจายตัวในน้ำได้ดี เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งจนเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ โมเลกุลของอะไมโลสจะละลายออกมาจากเม็ดแป้งทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดต่ำลง เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการจับเรียงตัวเป็นโครงร่างสามมิติ ได้ลักษณะ โครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำได้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

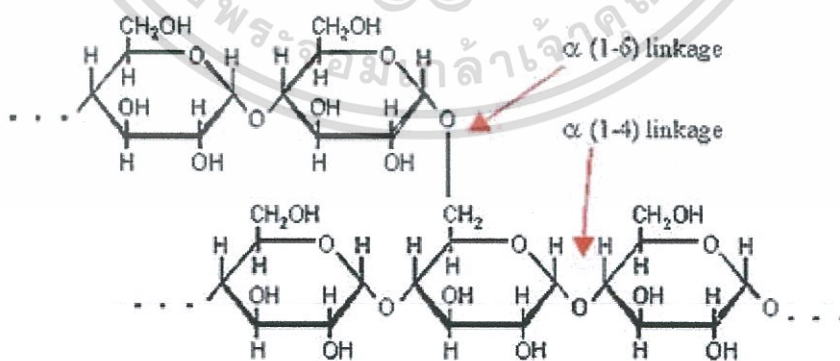
โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 22-30% ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาชูจะมีปริมาณ อะไมโลสต่ำกว่า คือ อยู่ในช่วง 18-24% น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 คาลตัน โดย อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี ซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง (Hizukuri, 1988) ปริมาณของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง)	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง)
	Apparent	Absolute
ข้าวสาลี	28.8	25.8
ข้าวโพด	29.4	22.5
ข้าวเจ้า	25.0	20.5
ข้าวบาร์เลย์	25.5	23.6
มันฝรั่ง	36.0	16.9
มันสำปะหลัง	23.5	17.8
พุทธรักษา	43.2	22.7
ถั่วเขียว	37.9	30.7

ที่มา : Kasemsuwan *et. al.* (1999)

อะไมโลเพกติน มีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ส่วนที่เป็นเส้นตรงประกอบด้วยน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคส 25-30 หน่วย เรียงต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก ส่วนจุดแยกเป็นกิ่งก้านจะต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิก อะไมโลเพกตินโมเลกุลหนึ่งจะประกอบด้วยน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 200,00 หน่วยขึ้นไป เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูง แป้งเปียกที่ได้ไม่มีสีและใส มีความหนืดสูง



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ a-1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ a-1,4 และมี การแตกกิ่งด้วยพันธะa-1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

ที่มา : Beynum and Roels (1985)

2.4 คำจำกัดความของผลิตภัณฑ์อาหารปราศจากกลูเต็น

คำจำกัดความของอาหารปราศจากกลูเต็น(Gluten free food)ที่ให้ไว้โดยCodex Alimentarius Commission of the World Health Organization(WHO) และ Food and Agricultural Organization (FAO) ในปี ค.ศ. 1976, 1981 และปรับปรุงในปี2000 ได้อธิบายถึงการแสดงฉลากของอาหารที่ปราศจากกลูเต็นหรือGluten free ได้นั้นอาหารดังกล่าวจะต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ วัตถุุดิบหรือองค์ประกอบของอาหารนั้นจะต้องไม่มีส่วนผสมของโปรตีนโพรลามีน (prolamin)จากข้าวสาลี หรือทุกชนิดในTriticum species เช่น ข้าวสาลีประเภทดูรัม ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต และรวมทั้งลูกผสมของธัญพืชเหล่านี้ ธัญพืชเหล่านี้จะต้องมีกลูเต็นไม่เกิน 20ppm นอกจากนี้ยังหมายความรวมถึงส่วนประกอบอาหารที่มาจากธัญพืชเหล่านี้ที่ต้องผ่านการแยกเอากลูเต็น (gluten-free)ออกไปแล้วทั้งหมดหรือไม่เกิน200ppm (Gallagher et. al., 2004)

โดยทั่วไปขนมปังหรือขนมที่มีคาร์บอกซิลิกแอซิดทำให้เกิดก๊าซทำจากแป้งสาลี เพราะแป้งสาลีมีคุณสมบัติเหมาะสม เนื่องจากในแป้งสาลีประกอบด้วยโปรตีนซึ่งแยกตามสมบัติการละลาย คือ โพรลามีน (prolamin) ได้แก่ โกลอะดีน (gliadin) และ กลูเตลิน ซึ่งได้แก่ กลูเตนิน (glutenin) โดยมีสัดส่วนใกล้เคียงกัน คือ 43% และ 42% ตามลำดับ (Deobald, 1972) ซึ่งเมื่อนวดแป้งคืบกับน้ำจะทำให้โปรตีนทั้งสองชนิดในแป้งรวมตัวและเกิดเป็นกลูเต็น ซึ่งมีลักษณะ โครงสร้างแข็งแรง และยืดหยุ่นสามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดจากการหมักและคงรูปร่างได้เมื่อเข้าเตาอบ ทำให้ได้ขนมปังที่มีเนื้อนุ่มเหนียวเป็นเส้นใย ซึ่งเป็นที่นิยมของผู้บริโภค (จิตรนา แจ่มเมฆ, 2537)

ความพยายามที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบจากแป้งข้าว เช่น ขนมปัง เค้ก คุกกี้ แครกเกอร์ จากแป้งข้าว แต่เนื่องจากแป้งข้าวมีโปรตีนในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมกับการเกิดกลูเต็นที่ทำให้เกิด

โครงสร้างที่แข็งแรงเช่นในแป้งสาลี โดยในแป้งข้าวมีโพรลามินหรือออไรซิน(oryzenin) อยู่เพียง 6.9% แต่มีกลูเทลินหรือออไรเซนิน(oryzenin)อยู่สูงถึง 79.1% (Henry and Kettlewell, 1996) นอกจากนั้นกลูเทลินในแป้งข้าวเจ้าไม่สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่มีลักษณะยืดหยุ่นในขณะนวดได้ ก้อนแป้งผสมที่ได้จึงไม่สามารถกักเก็บก๊าซในระหว่างการหมักได้ ดังนั้นปัญหาหลักในการนำแป้งชนิดอื่นที่ไม่ใช่แป้งสาลีมาทำผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ต้องการให้แป้งสามารถกักเก็บก๊าซในระหว่างหมักและอบไว้ได้ จึงจำเป็นจะต้องเติมสารยึดเกาะให้ช่วยเชื่อมระหว่างเม็ดสตาร์ชเพื่อทดแทนกลูเต็น

2.5 ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์

จัดเป็นขนมปังกรอบประเภทหนึ่งที่แตกต่างกันไปจากบิสกิต และคุกกี้ จากการแบ่งตามส่วนผสม วิธีการทำ รูปร่าง และขนาด(มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2538) เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลัก (อรอนงค์ วินัยกุล, 2539, Ibuki *et. al.*, 2002) และมีส่วนประกอบอื่น ๆ อาจปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยหรือไม่ก็ได้ หรือบางกรณีอาจมีการเติมแต่งด้วยสารประกอบอื่น ๆ ที่สามารถมองเห็นส่วนประกอบที่ใช้ ในบางกรณีแครกเกอร์อาจเรียกว่าบิสกิตเนื่องจากทั้งสองมีลักษณะไม่แตกต่างอย่างชัดเจน(มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2538) แครกเกอร์เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีสูตรคล้ายขนมปัง มียีสต์กับโซดาหรือผงฟูอยู่ในส่วนผสม (Ibuki *et. al.*, 2002) แต่จะมีส่วนผสมของน้ำหรือของเหลว น้อย จึงมีลักษณะโคแฉ่ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะกรอบแข็งเป็นชั้นๆ โดยส่วนผสมของแครกเกอร์ ประกอบด้วยแป้งสาลี น้ำ สารให้ความอ่อนตัวคือ ไขมัน สารให้ความพองตัว เช่น ยีสต์ โซดา ผงฟู เป็นต้น สารให้รสชาติ คือ เกลือ น้ำตาล น้ำมัน และสิ่งปรุงแต่งอื่นๆ เช่น ผลไม้ ถั่วแห้ง ลูกนัต มะม่วงหิมพานต์ โกโก้ ช็อกโกแลต สี และกลิ่นรสต่างๆ โดยมีแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบสำคัญในสูตรมากถึง 80% หรือมากกว่า จึงมีผลโดยตรงต่อลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์(อรอนงค์ วินัยกุล, 2539)

2.6 สารยึดเกาะและการใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ปราศจากกลูเต็น

สารยึดเกาะที่นำมาใช้ในขนมอบมีหลายกลุ่ม เช่น กลุ่มของแป้ง ได้แก่ แป้งข้าว แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งคัดแปร เป็นต้น กลุ่มของกัมและไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ โลคัสทีนกันัม(locust bean gum), แซนแทนกันัม(xanthan gum), กัวกันัม(guar gum), คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส(carboxymethyl cellulose, CMC) และ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส(hydroxypropylmethyl cellulose, HPMC) เป็นต้น

สารยึดเกาะแต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกัน เช่น การใช้กัวกันัมร่วมกับโกลุคัสทีนกันัมในการผลิตขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งชนิดต่างๆ พบว่า กัวกันัมจะทำให้ลักษณะเนื้อในของ

ขนมปังกระจายตัวสม่ำเสมอ ในขณะที่โลกซ์บีนกัมจะทำให้ปริมาตรของขนมปังเพิ่มขึ้น และยังพบว่า การใช้กัมทั้งสองชนิดร่วมกันสามารถที่จะลดการเกิดสเตลลิงในขนมปังได้ (Coeliac Society of Victoria Australia, 2008)

นิตยา กอบกัยกิจ (2532) ได้ทดลองใช้แป้งข้าวเจ้าโมเียกอะไมโลสปานกลางทำขนมปังจากแป้งข้าวเจ้าล้วน โดยใช้HPMCเป็นสารยึดเกาะและเสริมด้วยโปรตีนถั่วเหลืองพร่องไขมันในระดับต่างๆ พบว่า สูตรที่ใช้ HPMC 1.5% และเสริมด้วยโปรตีนถั่วเหลืองพร่องไขมัน 5% ได้ขนมปังที่มีคุณภาพดีแต่เนื้อในขนมปังยังขาดความนุ่มเหนียวและยืดหยุ่น

ภาณุมาศ รุ่งเรืองอารี (2541) ได้ศึกษาการแทนที่แป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ คัดแปรด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน 20% ร่วมกับการใช้ HPMC 2% และเสริมด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัด 5% ร่วมกับโปรตีนจากข้าวเจ้า 10% ให้ขนมปังที่มีเนื้อในนุ่มเหนียวและไม่มีกลิ่นสาบ แต่ขนมปังยังมีเปลือกที่แห้งและร่วน ในขณะที่Gan และSmall (2002) พบว่า การผลิตขนมปังจากแป้งข้าวที่ใช้ CMC 0.8% ร่วมกับการใช้HPMC 3.3% ทำให้ขนมปังมีคุณภาพดีและมีความนุ่มเหนียว

สุนทร สหัสโพธิ์ (2533) ได้ทดลองใช้สารยึดเกาะ ได้แก่ กัม และกลูเต็นผงในการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้าหอมมะลิ พบว่า กัมที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารยึดเกาะในการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้าคือHPMC ซึ่งใช้ในปริมาณ 2.5 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม น้ำ 80 มิลลิลิตร ทำให้ได้ขนมปังที่เหนียวนุ่ม

จำริญ อัจฉราภิรักษ์ (2537) ได้ทดลองนำแป้งที่ผ่านการทำให้เกิดการเจลาติไนส์ด้วยลูกกลิ้งร้อน(Drum dried flour)มาใช้เป็นสารยึดเกาะในการทำขนมปังที่มีการเสริมด้วยแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม 20% เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร เนยเทียม 10% เพื่อช่วยให้เกิดฟิล์มที่สามารถเก็บอากาศไว้ได้มากขึ้น และเติมไข่ขาวที่ตีจนขึ้นฟูเพื่อเพิ่มการอยู่ตัวของแป้ง พบว่า การใช้แป้งพรีเจลาติไนส์ 20% ได้ขนมปังที่มีคุณภาพดี ได้ปริมาตรสูง ซึ่งสอดคล้องกับ ภาณุมาศ รุ่งเรืองอารี (2541) ได้ใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันสามารถที่จะทดแป้งได้ในระดับ 20%เช่นกัน การที่แป้งหรือสตาร์ชพรีเจลาติไนส์มีสมบัติในการละลายและการดูดซึมน้ำได้สูงขึ้นให้ความชื้นหนืดขึ้นทันทีเมื่อละลายในน้ำเย็น โดยมีความหนืดที่อุณหภูมิห้องสูงกว่าแป้งดิบ จึงทำให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างเม็ดแป้งได้ดี เกิดเป็นฟิล์มที่มีความคงตัวสามารถเก็บก๊าซได้มากขึ้นในระหว่างการหมักและช่วงเริ่มต้นของการอบ(Morgan et al., 1997)

วิชัย หฤทัยธนาสันดี และศิริลักษณ์ สนิทวาลย์ (2535) ได้พัฒนาสูตรบิสกิตให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภค พบว่า ต้องใช้แป้งข้าวเหนียว 10.7% เป็นส่วนผสมเพื่อให้ได้บิสกิตที่มีเนื้อสัมผัสกรอบและแข็งเล็กน้อย และสูตรสำเร็จประกอบด้วยแป้งเค้ก แป้งข้าวเหนียว เนยขาว น้ำตาล เกลือ และผงฟู 42.9%, 10.7%, 18.8%, 5.4%, 0.5%, 2.9% และ 18.8% ตามลำดับ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 °ซ เป็นเวลา 12 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Defloor และคณะ (1991) ทดลองใช้แป้งข้าวโพดพรีเจลาติไนส์ด้วยวิธีเอกซ์ทรูชันแทนที่แป้งมันสำปะหลังเพื่อทำขนมปังสูตรที่เสริมด้วยแป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน 20% พบว่า สามารถใช้แป้งข้าวโพดพรีเจลาติไนส์แทนที่ได้ในปริมาณ 12-15%

Athapol และคณะ (1994) ได้ศึกษาผลของการใช้แป้งจากข้าวพันธุ์ต่างๆ ในการทดแทน แป้งสาลีในการผลิตขนมปัง โดยใช้ข้าวเจ้าพันธุ์ กข21 กข23 และเหลืองประทิว พบว่า พันธุ์ข้าว มีผลต่อปริมาณจำเพาะของขนมปังและสามารถใช้แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ กข23 ซึ่งมีอะไมโลสสูงทดแทนแป้งสาลีได้ 15%

Ozmutlu และคณะ (2001) พบว่า การใช้ Purawave เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีและอบด้วยไมโครเวฟให้คุณภาพด้านความแน่นเนื้อและปริมาณของขนมปังที่ดีขึ้น

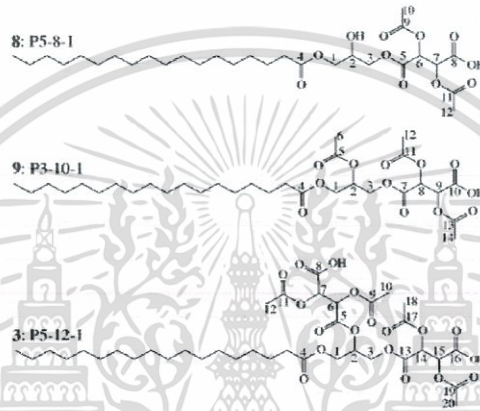
Takashii และคณะ (2002) ได้จดสิทธิบัตรในการผลิตแครกเกอร์จากแป้งข้าวเจ้า (rice flour) โดยการเพิ่มปริมาณของโปรตีนที่สามารถละลายได้ในน้ำ (water soluble protein) ในส่วนผสม โดยอาศัยการนำเมล็ดข้าวมาแช่ลงในสารละลายของกรดมาลิก (malic acid aqueous solution) ทำให้แครกเกอร์ที่ได้มีรสชาติดีขึ้นและสามารถขึ้นรูปได้ดีถึงแม้ว่าจะมีส่วนผสมที่เป็นเมล็ดข้าวอยู่ก็ตาม

Omobuwajo (2003) ได้ทดลองผลิตบิสกิต ข้าวเกรียบกึ่ง และ fried chip จาก beadfruit ซึ่งเป็นผลไม้พื้นเมืองของประเทศมาเลเซีย แปซิฟิกใต้ และแถบคาริเบียน โดยใช้แป้ง beadfruit ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 33, 50, 67 และ 100% ในการผลิตบิสกิต และใช้แป้ง beadfruit (bead fruit starch) ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 100% ในการผลิตข้าวเกรียบกึ่ง และ fried beadfruit chip นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณและประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับบิสกิต ข้าวเกรียบกึ่ง และ fried chip ที่ผลิตทางการค้าจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณพบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดช่วยเพิ่มปริมาณสารอาหารหลักซึ่งเป็นสารอาหารที่ผู้บริโภคต้องการต่อวัน และผู้บริโภคยังยอมรับในผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดเท่ากับทางการค้าในด้านคุณภาพโดยรวมยกเว้นบิสกิตที่ทำจากแป้ง beadfruit 100% และงานวิจัยนี้ยังมีการสาธิตถึงศักยภาพในการนำ beadfruit ไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ด้วย

Singh และคณะ (2003) ศึกษาผลของการเติมแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่ง 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ Kufri Jyoti, Kufri Badshah และ Pukhraj ในสูตรคุกกี้ที่ระดับต่างๆ 3 ระดับ คือ 2, 4 และ 6% ต่อการแผ่ขยายและสีของคุกกี้ พบว่า การเติมแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่งทำให้การแผ่ขยายของคุกกี้เพิ่มขึ้นเนื่องจากโคเกิดการขยายเพิ่มขึ้น โดยคุกกี้ที่เติมแป้งมันฝรั่งมีการแผ่ขยายมากกว่าคุกกี้ที่เติมแป้งข้าวโพด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอนุภาคของแป้งมันฝรั่งมีกำลังการพองตัวมากกว่าเมล็ดแป้งข้าวโพด ซึ่งการที่แป้งมันฝรั่งมีกำลังการพองตัวมากอาจเป็นเพราะอนุภาคของแป้งมันฝรั่งมีขนาดใหญ่ มีปริมาณไขมันและอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนส์ต่ำกว่า และการเติมแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่งยังส่งผลให้สีของคุกกี้คล้ำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Demirkesen (2010) ได้ศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของขนมปังจากแป้งข้าวโดยมีการใช้กัมชนิดต่างๆ คือ แชนแทนกัม, กัวกัม, โลคัสปีนกัม, ไฮดรอกซีโพรพิลเมททิลเซลลูโลส, เพคติน, แชนแทนกัมร่วมกับกัวกัม, และแชนแทนกัมร่วมกับ โลคัสปีนกัม ที่ระดับ 0.5% และใช้กัมร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ คือ DATEM 0.5% และ Purawave 0.5% จากการศึกษาพบว่า การใช้ Purawave (ประเทศเบลเยียม) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ให้ความคงตัวและความยืดหยุ่นของโดน้อยกว่าการใช้ DATEM เป็นอิมัลซิไฟเออร์ และการเติม DATEM ทำให้ขนมปังที่ได้มีปริมาณจำเพาะเพิ่มขึ้น และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค และ Colakoglu and Özkaya (2012) ยังพบว่า DATEM ช่วยให้ได้ความคงตัว และสามารถเก็บกักก๊าซ ทำให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ DATEM

ที่มา : Köhler (2001)

2.7 การให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง โดยความถี่ที่นิยมใช้ในการประกอบอาหารตามบ้านเรือนและในอุตสาหกรรม คือ 869 MHz สำหรับยุโรปและสหราชอาณาจักร 915 MHz ในประเทศสหรัฐอเมริกา และ 2,450 MHz สำหรับการใช้งานโดยทั่วไป สาเหตุที่ช่วงคลื่นดังกล่าวนิยมใช้กันมาก เนื่องจาก การใช้เครื่องกำเนิด ไมโครเวฟที่ความถี่เหล่านี้เป็นลำดับพลังงานที่ใช้ได้ดีและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม อีกทั้งความยาวคลื่นที่ความถี่เหล่านี้สอดคล้องกับมิติของอาหาร จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูงกว่าช่วงความถี่ที่สูงหรือต่ำกว่านี้ หลักการให้พลังงานความร้อน คือ คลื่นไมโครเวฟจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้น ได้ก็ต่อเมื่อสสารดูดกลืนคลื่นสสารพวกโพลาร์โมเลกุล (polar molecule) เช่น น้ำ โปรตีน หรือสสารที่มีประจุอื่นๆ เป็นต้น เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมา เมื่อโมเลกุลของสสารเหล่านี้วางตัวในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟจะพยายามเรียงตัวตามแนวสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามแนวข้าวบวกและข้าวลบ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในการผลักดันระหว่างข้าวที่เหมือนกันทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างโมเลกุลและเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้น

2.7.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

1) คลื่นไมโครเวฟสามารถผ่านทะลุทะลวงผ่านวัตถุบางอย่างได้ (Transmittance) โดยคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุบางชนิดได้โดยไม่มีการดูดกลับ ไป คุณสมบัติข้อนี้ทำให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านภาชนะใส่อาหารและความร้อนที่เกิดขึ้นกับภาชนะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากจานอาหารสู่ภาชนะ

2) สามารถสะท้อนกลับได้ (Reflection) โดยคลื่นไมโครเวฟมักสะท้อนกลับเมื่อพุ่งไปกระทบวัตถุประเภท โลหะซึ่งเป็นสื่อไม่นำไฟฟ้าต่างๆ ได้ดี คุณสมบัติข้อนี้เป็นข้อได้เปรียบของเตาไมโครเวฟ ซึ่งไมโครเวฟจะสะท้อนจากด้านล่างและด้านข้างของเตา ทำให้สามารถซึมผ่านเข้าไปในอาหารจากทุกด้านทั้งด้านบนและด้านล่าง ซ้ายและขวา

3) สามารถดูดคลื่นเข้าไปในอาหารได้ (Adsorption) คุณสมบัติข้อนี้ทำให้อาหารสุกได้ อาหารมีน้ำในอัตราค่อนข้างสูงเป็นส่วนที่ไมโครเวฟดูดคลื่นเข้าไปได้ง่ายที่สุด

การใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในอุตสาหกรรมอาหารนั้นมีข้อได้เปรียบหลายอย่าง เช่น ช่วยลดระยะเวลาในการผลิต สามารถทำได้รวดเร็วกว่าวิธีอบธรรมดา (Kalafat and Kroger, 1973) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูงในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ ช่วยลดปัญหาการไหม้ที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์ เนื่องจากไม่มีการสัมผัสกับแผ่นความร้อนโดยตรง แต่การใช้ความร้อนจากไมโครเวฟก็มีข้อเสียหลายอย่าง เช่น ต้นทุนและค่าใช้จ่ายสูง และสำหรับการอบโดยใช้ไมโครเวฟ เวลาที่ให้ความร้อนอาจเร็วเกินไปที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์สุกอย่างเต็มที่ และอุณหภูมิที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์อาจสูงไม่พอที่จะทำให้เกิดสีน้ำตาลซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น (วิรัชภรณ์ อิงคะสาร และศกถาวรณ จงสงวนดี, 2546)

Martin และ Tsen (1981) ได้ทดลองใช้ไมโครเวฟในการผลิต high-ratio white layer cake โดยคำนึงถึงกระบวนการผลิตและส่วนผสมที่ใช้ ในการทดลองได้ศึกษาชนิดของสารขึ้นฟูและปริมาณน้ำที่ใช้ โดยใช้ระดับความร้อนของไมโครเวฟ 2 ระดับ คือ 100% และ 70% เป็นเวลา 5.5 นาที และ 8 นาที ตามลำดับ ส่วนผสมที่ใช้ประกอบด้วยแป้ง 200 กรัม น้ำตาล 280 กรัม เนยขาว 100 กรัม นมผง 24 กรัม ไข่ผง 18 กรัม และเกลือ 6 กรัม พบว่า ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมในเค้ก ไม่มีผลต่อการยุบตัวของเค้กเช่นเดียวกับเค้กที่ใช้เตาอบ การเพิ่มปริมาณของแคลเซียมฟอสเฟต monohydrate ในผงฟู ทำให้ปริมาตรและปริมาตรจำเพาะลดลง เค้กมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น การใช้ SEM เพื่อดูลักษณะเซลล์ของเค้ก พบว่า เค้กที่อบด้วยไมโครเวฟมีลักษณะเซลล์ไม่สม่ำเสมอ และมีความหนาแน่นมากกว่าเค้กที่อบด้วยเตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stinson (1986) ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของ Devil's Food cake และ Yellow cake จากการอบด้วยวิธีธรรมดา การอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับการอบด้วยวิธีธรรมดา โดยอบทั้งแบบ single layer และ double layer ผลการทดลองพบว่า การอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับการอบด้วยวิธีแบบธรรมดาที่เป็นแบบ single layer จะให้ค่าสีเปลือก ความชื้น และคะแนนทางประสาทสัมผัสทั้งหมด (จากการทดสอบเล็กในด้านขนาดเซลล์ ความหนาของผนังเซลล์ ความนุ่ม สีเปลือก และกลิ่น) ของเค้กน้อยกว่าวิธีการอบแบบธรรมดา แต่การอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับการอบด้วยวิธีแบบ double layer จะให้ค่าดังกล่าวเท่ากับหรือใกล้เคียงกับการอบแบบธรรมดา นอกจากนี้เค้กที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับการอบด้วยวิธีแบบธรรมดานั้น พบว่าผู้ทดสอบยอมรับ อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของเค้ก และทำได้รวดเร็วกว่าการอบแบบธรรมดาถึง 12-25%

Ahmad และคณะ (2001) ศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟต่อการเกิดรอยแตกที่ผิวของบิสกิตซึ่งมีส่วนผสมโดยประมาณของบิสกิตมีดังนี้ คือ แป้งสาลี 100 ส่วน น้ำมันถั่วเหลือง 33 ส่วน น้ำ 8 ส่วน น้ำตาล 5 ส่วน และสารช่วยในการขึ้นฟู 2 ส่วน โดยอบบิสกิตด้วยการใช้เตาอบธรรมดาที่อุณหภูมิ 245°C เป็นเวลา 3.66 นาที และการอบด้วยเตาอบธรรมดาที่อุณหภูมิ 245°C เป็นเวลา 3 นาทีแล้วอบต่อด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่ 700 วัตต์ เป็นเวลา 30 วินาที ผลการทดลองพบว่า การอบด้วยไมโครเวฟนั้นช่วยลดการเกิดรอยแตกที่ผิวของบิสกิตที่เก็บในถุง โพลีเอทิลีนเป็นเวลา 1, 2, 3, 7 และ 14 วัน หลังการอบได้ 5%-61% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแบบธรรมดา และเมื่อเก็บบิสกิตไว้ 2 สัปดาห์ พบว่า บิสกิตที่อบด้วยเตาอบธรรมดา โครงสร้างของบิสกิตเกิดรอยแตกเร็วกว่าบิสกิตที่อบโดยใช้ไมโครเวฟร่วมด้วย

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

- 3.1.1 แป้งข้าวเจ้า (ตรา ช้างสามเศียร, บ. โรงเส้นหมี่ขอเอ็ง จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.2 แป้งข้าวเหนียว (ตรา ช้างสามเศียร, บ. โรงเส้นหมี่ขอเอ็ง จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.3 กวักัม (ตรา ACE, บ. ACE Gum Industries Pvt จำกัด, ประเทศอินเดีย)
- 3.1.4 ยีสต์ผง (ตราเพอร์เฟค, ห้างหุ้นส่วนจำกัด เกรทฮิลล์, ประเทศไทย)
- 3.1.5 เกลือ (ตราปรุ้งทิพย์, บ. อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.6 นมผง (ตรา Fonterra, ประเทศนิวซีแลนด์)
- 3.1.7 เนยขาว (ตราแชมซัน, บ. เกตุวานิชอุตสาหกรรม จำกัด)
- 3.1.8 น้ำตาลทราย (ตรา มิตรผล, บ. น้ำตาลมิตรผล จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.9 โซเดียมไบคาร์บอเนต (ตราเบสท์โอเคอร์, บ. เบสท์โอเคอร์ จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.10 ผงฟู (ตราเบสท์โอเคอร์, บ. เบสท์โอเคอร์ จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.1.11 DATEM (ตราเลซีเพ็ก, โรงงาน อเมริกันเบเกอรี่, ประเทศไทย)
- 3.1.12 Purawave(EC-25K) (ตรา Durkee, บ. วานเคนเบิร์กฟูดส์คัมปะนี, ประเทศอเมริกา)

3.2 อุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer รุ่น TA-XT Plus (Stable Micro Systems, England)
- 3.2.2 อุโมงค์ไมโครเวฟ กำลัง 4.8 kwatt. ความยาวของอุโมงค์ 3 เมตร พร้อมสายพานที่สามารถปรับความเร็วได้
- 3.2.3 ตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany)
- 3.2.4 เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius BP 221S, AG Gottingen, Germany)
- 3.2.5 เตาเผา muffle furnace (model CWF1200, Carbolite, England)
- 3.2.6 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์หาโปรตีน (kjeldhal distillation) (Gerhardt, Bonn, Germany)
- 3.2.7 เครื่องวิเคราะห์เยื่อใย (FibertecTM1020, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 Ethanol 95% (Italmar, Thailand)
- 3.3.2 Acetic acid (Merck, Germany)
- 3.3.3 Sulfuric acid (Merck, Germany)
- 3.3.4 Sodium hydroxide (Ajax Finechem, Australia)
- 3.3.5 Acetone (Labsan, Thailand)
- 3.3.6 Potassium sulfate (Merck, Germany)
- 3.3.7 Boric acid (Ajax Finechem, Australia)
- 3.3.8 Petroleum ether (Ajax Finechem, Australia)
- 3.3.9 Hydrochloric acid (Merck, Germany)
- 3.3.10 Hexane (Merck, Germany)

3.4 สถานที่ดำเนินการทดลอง

- 3.4.1 ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3.4.2 ติกProcessingคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การศึกษาสารยัดเกาะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

3.5.1.1 กระบวนการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ไม่มีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์

สารยัดเกาะที่ใช้ในการผลิตแครกเกอร์โดยคัดแปลงสูตรจากบริษัทสินสาตี จำกัด(ตารางที่3.1)ทั้งหมด 4 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ความเข้มข้นแป้งข้าว:น้ำ(1:1.5), แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ ความเข้มข้นแป้งข้าว:น้ำ(1:1.5), แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ ความเข้มข้นแป้งข้าว:น้ำ(1:1.5)ร่วมกับกัวกัม0.5% และแป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ ความเข้มข้นแป้งข้าว:น้ำ (1:1.5) ร่วมกับกัวกัม0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับต่างๆ 3 ระดับ 10%, 20% และ 30%ของปริมาณแป้งทั้งหมด และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า600วัตต์ เป็นระยะเวลา 4 นาที ซึ่งมีวิธีการผลิตแครกเกอร์ดังรูปที่3.1 ในการทดลองนี้มีการวางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล(factorial design) แบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้แป้งข้าวพรีเจลาติไนส์เป็นปัจจัยที่ 1 มี 3 ระดับ คือ 10%, 20% และ 30% และกัวกัมเป็นปัจจัยที่ 2 มี 2 ระดับ คือ 0% และ 0.5% ของปริมาณแป้งทั้งหมด เพื่อนำไปหาอัตราส่วนผสมของแป้งพรีเจลาติไนส์จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว และกัวกัมที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์

ตารางที่ 3.1 สูตรแครกเกอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
แป้งข้าวเจ้า	100
น้ำตาลทราย	3.8
ยีสต์	0.9
เนยขาว	11
นมผง	2.7
ผงฟู	0.4
เกลือ	2
โซเดียมไบคาร์บอเนต	0.4
น้ำ	120

ที่มา : ดัดแปลงจากบริษัทสินสาลี จำกัด

ส่วนผสมหลัก

แป้งข้าวเจ้า	100	กรัม
น้ำตาลทราย	3.8	กรัม
ยีสต์	0.9	กรัม
เนยขาว	11	กรัม
นมผง	2.7	กรัม
ผงฟู	0.4	กรัม
เกลือ	2	กรัม
โซเดียมไบคาร์บอเนต	0.4	กรัม
น้ำ	120	กรัม

สารยัดเกาะ

แป้งข้าวเจ้า/แป้งข้าวเหนียว
ความเข้มข้น(แป้งข้าว : น้ำ 1:1.5)



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ไม่มีการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของแครกเกอร์

3.5.1.2.1 การวัดอัตราการขึ้นฟูของแครกเกอร์ (Expansion ratio) โดยคำนวณจากความหนาของแครกเกอร์หลังอบ/ความหนาของแครกเกอร์ก่อนอบ

3.5.1.2.2 การวัดเนื้อสัมผัสของแครกเกอร์ ในรูปของค่า Hardness ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer รุ่น TA-XT plus ด้วยหัววัด P/0.25S ความเร็วสปีด 2 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทาง 10 มิลลิเมตร มาตรวจสอบ

3.5.1.2.3 การวัดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของแครกเกอร์เมื่ออบเสร็จใหม่ ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดชื่อ Chino ประเทศจีน โดยทำการวัดทั้งหมด 5 จุด

3.5.1.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์

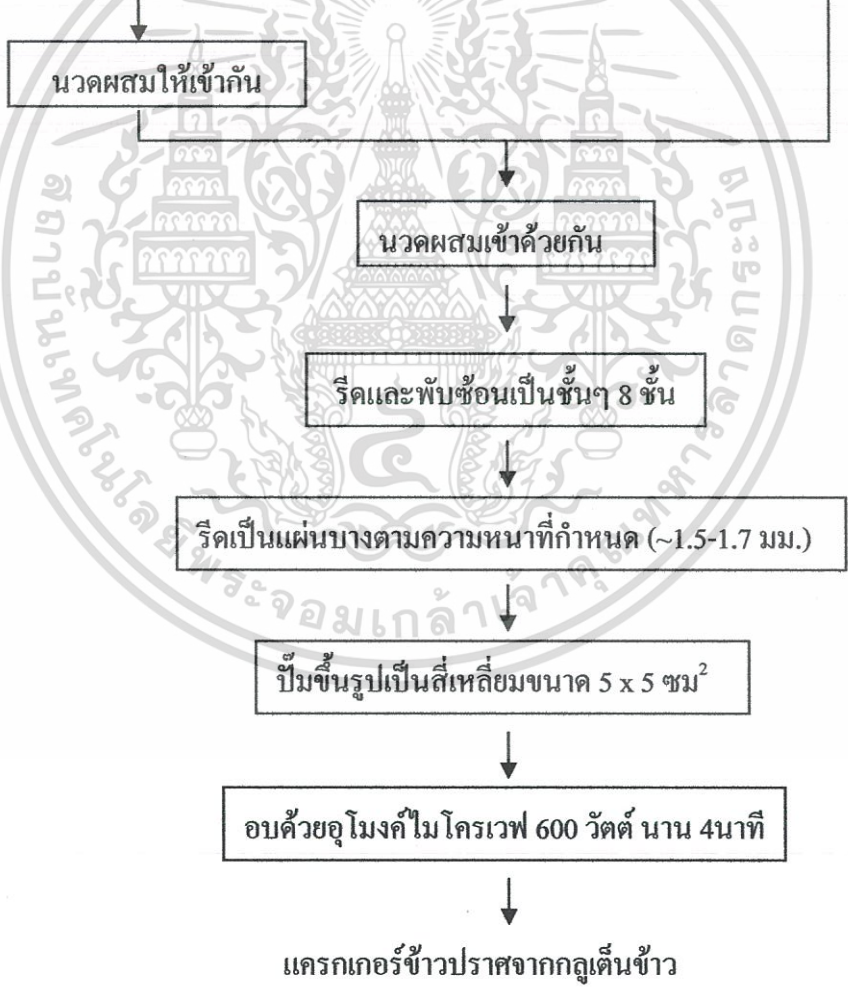
ทดสอบทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า โดยประเมินความชอบด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี 7-Point Hedonic ทดสอบโดยผู้ชิมจำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบ 1-7 (1 หมายถึง ไม่ชอบเลย และ 7 หมายถึง ชอบมากที่สุด) ในด้าน Appearance, Color, Flavor, Texture และ Overall acceptance วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Random Complete Block Design, RCBD) โดยให้ผู้ชิมเป็นบล็อก เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการสรุปและคัดเลือกสูตรแครกเกอร์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับแครกเกอร์ที่ผลิตร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ในข้อ 3.5.2 ต่อไป

3.5.2 การศึกษากระบวนการผลิตแครกเกอร์ข้าวโดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัมอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

3.5.2.1 กระบวนการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์

ในการผลิตแครกเกอร์ข้าวโดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิด คือ DATEM (diacetyltartaric acid esters of monoglycerides) (รูปที่ 3.2) และ Purawave (EC25K) ในปริมาณ 0.5% ของปริมาณแป้งข้าวเจ้าทั้งหมดในสูตร (Demirkesen *et al.*, 2010) ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัมที่ระดับต่างๆ คือ 0%, 0.25% และ 0.5% ของปริมาณแป้งข้าวเจ้าทั้งหมด และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ นาน 4 นาที ซึ่งมีวิธีการผลิตแครกเกอร์ ดังรูปที่ 3.3 ในการทดลองนี้มีการวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยกำหนดให้กัวกัมเป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษามี 3 ระดับ คือ 0%, 0.25 และ 0.5% ของปริมาณแป้งทั้งหมด

ส่วนผสมหลัก			อิมัลซิไฟเออร์
แป้งข้าวเจ้า	100	กรัม	DATEM หรือ Purawave 0.5%ของแป้งข้าวเจ้าทั้งหมด
น้ำตาลทราย	3.8	กรัม	
ยีสต์	0.9	กรัม	
เนยขาว	11	กรัม	
นมผง	2.7	กรัม	
ผงฟู	0.4	กรัม	
เกลือ	2	กรัม	
โซเดียมไบคาร์บอเนต	0.4	กรัม	
น้ำ	120	กรัม	
กัวกัม	0, 0.25 หรือ 0.5%		



รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของแครกเกอร์

3.5.2.2.1 เช่นเดียวกับข้อ 3.5.1.2.1

3.5.2.2.2 เช่นเดียวกับข้อ 3.5.1.2.2

3.5.2.2.3 เช่นเดียวกับข้อ 3.5.1.2.3

3.5.2.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์

นำตัวอย่างของแครกเกอร์ข้าวที่ผลิตโดยใช้สารอิมัลซิไฟเออร์มาทดสอบชิม โดยเปรียบเทียบกับสูตรของแครกเกอร์ข้าวที่ไม่มีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้รับคะแนนสูงที่สุด จากข้อ 3.5.1.3 โดยประเมินความชอบด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี 7 -Point Hedonic ทดสอบโดย ผู้บริโภคจำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบ 1-7 (1 หมายถึงไม่ชอบเลย และ 7 หมายถึงชอบมากที่สุด) ในด้าน Appearance, Color, Flavor, Texture และ Overall acceptance วางแผนการทดลอง แบบบล็อกสุ่มไม่สมบูรณ์ (Random Incomplete Block Design, RCBD) โดยให้ผู้ชิมเป็นบล็อก เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.5.2.4 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแครกเกอร์

นำตัวอย่างแครกเกอร์ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้รับคะแนน ขอมรับสูงที่สุดจากข้อ 3.5.2.3 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแครกเกอร์ ดังนี้

3.5.2.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC., 1995)

3.5.2.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC., 1995)

3.5.2.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (AOAC., 1995)

3.5.2.4.4 การวิเคราะห์หาไขมัน (AOAC., 1995)

3.5.2.4.5 การวิเคราะห์หาเชื้อใย (AOAC., 1995)

3.5.2.4.6 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธีการนำ องค์ประกอบอื่นๆที่วิเคราะห์ได้หักลบออกจาก 100%

3.5.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนด้วยอุโมงค์

ไมโครเวฟ

ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ข้าวอบให้สุกด้วยอุโมงค์ ไมโครเวฟ โดยแครกเกอร์ที่อบสุกและไม่เกิดการไหม้ในระหว่างอบ ใช้สูตรการผลิตแครกเกอร์ ที่ได้คะแนนการยอมรับที่ดีที่สุดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในข้อ 3.5.2.3 มาใช้ในการ ศึกษาหาสภาวะในการอบที่เหมาะสมด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ 2,450MHz ขนาด 4.8kwatt 6 หัวแมกนีตรอน 220 V

โดยศึกษาปัจจัยในการผลิต 2 ปัจจัย คือ

- ปัจจัยที่ 1 ระยะเวลาในการอบ คือ 1, 2, 3 และ 4 นาที
- ปัจจัยที่ 2 กำลังไฟฟ้า(power, watt) คือ 600, 700 และ 800 วัตต์

วางแผนการทดลองแบบ 4x3 factorial in CRD โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในการตรวจสอบผลจะตรวจสอบแครกเกอร์ว่าสุกพร้อมรับประทานหรือไม่ และในระหว่างการอบว่ามีการไหม้เกิดขึ้นหรือไม่พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของแครกเกอร์ ดังข้อ 3.5.1.2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาสารยึดเกาะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนและอบให้สุกด้วยด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

4.1.1 การศึกษากระบวนการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ไม่มีสารเติมสารอิมัลซิไฟเออร์

จากการศึกษากระบวนการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน โดยใช้สารยึดเกาะทั้งหมด 4 ชนิด คือ 1) แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ ความเข้มข้นแป้งข้าว:น้ำ (1:1.5) 2) แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ ความเข้มข้นแป้งข้าว:น้ำ(1:1.5) 3) แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ความเข้มข้นแป้งข้าว:น้ำ (1:1.5)ร่วมกับกัวกัม0.5% และ 4) แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ ความเข้มข้นแป้งข้าว:น้ำ(1:1.5) ร่วมกับกัวกัม0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับต่างๆ 3 ระดับ คือ 10%, 20% และ 30% ของปริมาณแป้งทั้งหมด และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที เมื่อหาอัตราส่วนผสมของแป้งพรีเจลาติไนส์จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว และกัวกัมที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ พบว่า แครกเกอร์ที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ และแครกเกอร์ที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ร่วมกับกัวกัม0.5% เป็นสารยึดเกาะ แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับ 10%, 20% และ 30% ของปริมาณแป้งทั้งหมด ให้ลักษณะของโคที่สามารถรีดเป็นแผ่นและขึ้นรูปได้ แต่แครกเกอร์ที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับ10% ให้ลักษณะของโคที่แห้ง เมื่อขึ้นรูปจะให้ลักษณะของแครกเกอร์ที่มีผิวหน้าแตก ในขณะที่แครกเกอร์ที่มีการใช้แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ และแป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ร่วมกับกัวกัม0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับ 10% และ 20% ให้ลักษณะของโคที่สามารถรีดเป็นแผ่นและขึ้นรูปได้เช่นเดียวกัน แต่แครกเกอร์ที่มีการใช้แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ซึ่งแทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับ 30% และแป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ ร่วมกับกัวกัม0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับ 30% ให้ลักษณะของโคที่แฉะจนไม่สามารถรีดเป็นแผ่นและขึ้นรูปได้ (รูปที่4.1 และรูปที่4.2) แสดงดังตารางที่4.1

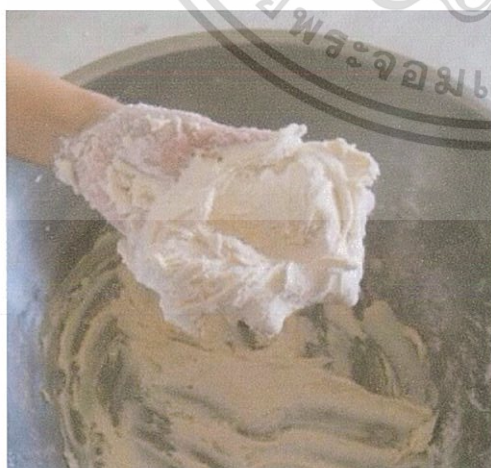
ตารางที่ 4.1 การทดลองหาอัตราส่วนผสมของแป้งพรีเจลาติไนส์จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว และกัวกัม

สารยึดเกาะ		ความสามารถในการรีดเป็นแผ่น	
แป้งข้าวพรีเจลาติไนส์	(%)	กัวกัม(%)	
แป้งข้าวเจ้า	10	0	+
แป้งข้าวเจ้า	20	0	+
แป้งข้าวเจ้า	30	0	+
แป้งข้าวเจ้า	10	0.5	+
แป้งข้าวเจ้า	20	0.5	+
แป้งข้าวเจ้า	30	0.5	+
แป้งข้าวเหนียว	10	0	+
แป้งข้าวเหนียว	20	0	+
แป้งข้าวเหนียว	30	0	-
แป้งข้าวเหนียว	10	0.5	+
แป้งข้าวเหนียว	20	0.5	+
แป้งข้าวเหนียว	30	0.5	-

หมายเหตุ : ความสามารถในการรีดโดให้แผ่น

+ หมายถึง สามารถรีดโดให้แผ่นได้

- หมายถึง ไม่สามารถรีดโดให้แผ่นได้



รูปที่ 4.1 ลักษณะของโดที่แฉะจนไม่สามารถรีดเป็นแผ่นได้จากสูตรที่ใช้แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ 30%



รูปที่ 4.2 ลักษณะของโดที่แฉะมากจนไม่สามารถรีดเป็นแผ่นได้จากสูตรที่ใช้แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาติไนส์ 30% ร่วมกับกัวกัม 0.5%

4.1.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของแครกเกอร์

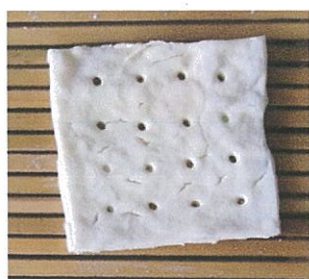
จากการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ โดยวัดอัตราการขึ้นฟูของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้สารยัดเกาะทั้งหมด 4 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินอส, แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินอสร่วมกับกัวกัม 0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับต่างๆ คือ 10%, 20% และ 30% ของปริมาณแป้งทั้งหมด, แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินอส, และแป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินอสร่วมกับกัวกัม 0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับต่างๆ คือ 10% และ 20% ของปริมาณแป้งทั้งหมด และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที พบว่าอัตราการขึ้นฟูของแครกเกอร์ข้าวที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 0.52 ± 0.05 ถึง 0.96 ± 0.07 โดยแครกเกอร์ที่มีการใช้แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินอสร่วมกับกัวกัม 0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรในระดับ 20% มีอัตราการขึ้นฟูมากที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมาคือ แครกเกอร์ที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินอสแทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตร 10%, 20% และ 30%, น้ำแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินอสร่วมกับกัวกัม 0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตร 10%, และ 30% และแครกเกอร์ที่มีการใช้แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินอสและแป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินอสร่วมกับกัวกัม 0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตร 10% และ 20% ซึ่งมีอัตราการขึ้นฟูของแครกเกอร์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.2 การขึ้นฟูของแครกเกอร์บ่งบอกถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์หลังการอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ ซึ่งหากมีอัตราการขึ้นฟูสูงแสดงว่าภายในแครกเกอร์มีอากาศมาก ทำให้แครกเกอร์ฟูมีเนื้อแป้งร่วน แต่หากมีอัตราการขึ้นฟูต่ำแสดงว่าภายในแครกเกอร์มีอากาศน้อย ทำให้แครกเกอร์ฟูน้อย ลักษณะเนื้อแป้งจะแน่น

จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบในรูปของค่า hardness ของแครกเกอร์ข้าวด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่า แครกเกอร์ที่ใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินอสแทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตร ที่ระดับ 20% ร่วมกับกัวกัม 0.5% และแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินอสแทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับ 30% จะมีความกรอบมากที่สุดหรือมีค่า hardness น้อย รองลงมา คือ การใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินอสแทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับ 10% และ 20% และแป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินอสแทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตร 20% ร่วมกับกัวกัม 0.5% ซึ่งมีความกรอบไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และ การใช้แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินอสแทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับ 10% จะมีความกรอบน้อยที่สุดหรือมีค่า hardness มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่า การใช้แป้งพรีเจลาตินอสทดแทนแป้งข้าวเจ้าในสูตร จะทำให้แครกเกอร์ที่ได้มีความกรอบเพิ่มมากขึ้นหรือมีค่า hardness ลดลงนั่นเอง และเมื่อวัดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของแครกเกอร์เมื่ออบเสร็จใหม่ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟนั้น พบว่า อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ทำให้แครกเกอร์สุกพร้อมรับประทานอยู่ระหว่าง 141.0 ± 1.00 ถึง 150.2 ± 6.50 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.2)

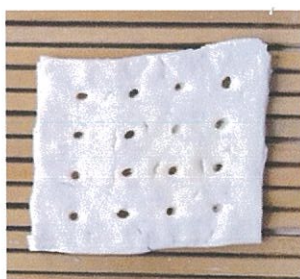
ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางด้านกายภาพของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้แป้งพรีเจลาติไนส์ และกัวกัมเป็นสารยึดเกาะ และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที

สารยึดเกาะ		อัตราการขึ้นฟู		ค่าความแข็ง (กรัมแรง)	อุณหภูมิผิวหน้า (°ซ)
แป้งข้าวพรีเจลาติไนส์ (%)	กัวกัม (%)				
แป้งข้าวเจ้า	10	-	0.64 ± 0.18 ^{bc}	1661.90 ± 131.99 ^d	148.8 ± 1.73
	20	-	0.65 ± 0.19 ^{bc}	1577.86 ± 143.61 ^d	148.5 ± 5.12
	30	-	0.59 ± 0.09 ^c	1297.76 ± 42.70 ^e	145.0 ± 3.21
	10	0.5	0.60 ± 0.10 ^c	1825.36 ± 111.27 ^c	143.0 ± 1.73
	20	0.5	0.76 ± 0.05 ^b	1422.72 ± 71.50 ^e	142.5 ± 2.52
	30	0.5	0.61 ± 0.11 ^{bc}	1907.76 ± 141.28 ^{bc}	142.2 ± 1.53
แป้งข้าวเหนียว	10	-	0.52 ± 0.05 ^c	3651.88 ± 185.08 ^a	141.0 ± 1.00
	20	-	0.57 ± 0.08 ^c	1992.62 ± 68.11 ^b	143.0 ± 1.53
	10	0.5	0.65 ± 0.08 ^{bc}	1936.18 ± 57.96 ^{bc}	150.2 ± 6.50
	20	0.5	0.96 ± 0.07 ^a	1653.86 ± 51.00 ^d	144.6 ± 3.20

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวหมายถึงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$
ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



แป้งข้าวเจ้าพรีเจคตินอส 10%



แป้งข้าวเจ้าพรีเจคตินอส 20%



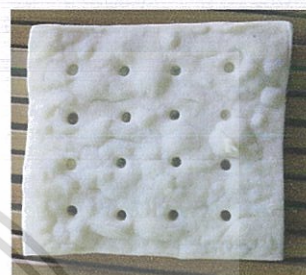
แป้งข้าวเจ้าพรีเจคตินอส 30%



แป้งข้าวเจ้าพรีเจคตินอส 10%
ร่วมกับกลีเซอรีน 0.5%



แป้งข้าวเจ้าพรีเจคตินอส 20%
ร่วมกับกลีเซอรีน 0.5%



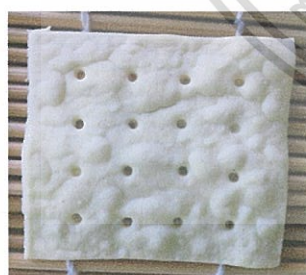
แป้งข้าวเจ้าพรีเจคตินอส 30%
ร่วมกับกลีเซอรีน 0.5%



แป้งข้าวเหนียวพรีเจคตินอส 10%



แป้งข้าวเหนียวพรีเจคตินอส 20%



แป้งข้าวเหนียวพรีเจคตินอส 10%
ร่วมกับกลีเซอรีน 0.5%



แป้งข้าวเหนียวพรีเจคตินอส 20%
ร่วมกับกลีเซอรีน 0.5%

รูปที่ 4.3 แครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน โดยใช้สารยึดเกาะทั้งหมด 4 ชนิด และอบให้สุกด้วย
อุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ข้าวที่มีการใช้สารยัดเกาะทั้งหมด 4 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินส์, แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินส์ร่วมกับกัวกัม 0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับต่างๆ คือ 10%, 20% และ 30% ของปริมาณแป้งทั้งหมด, แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินส์, และแป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินส์ร่วมกับกัวกัม 0.5% แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับต่างๆ คือ 10% และ 20% ของปริมาณแป้งทั้งหมด และอบให้สุกด้วยอุณหภูมิไมโครเวฟที่กําลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที นำมาทดสอบโดยการประเมินความชอบด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี 7-Point Hedonic ซึ่งประเมินในด้านลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่นรส, เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยผู้ชิมจำนวน 30 คน ให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏอยู่ระหว่าง 3.22 ± 1.09 ถึง 4.78 ± 1.30 , สี อยู่ระหว่าง 4.33 ± 1.41 ถึง 5.67 ± 1.00 , กลิ่นรสอยู่ระหว่าง 3.89 ± 1.61 ถึง 4.67 ± 1.32 และเมื่อประเมินความชอบด้านเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม พบว่า แครกเกอร์ที่ใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินส์แทนที่แป้งข้าวเจ้าในสูตรที่ระดับ 20% ร่วมกับกัวกัม 0.5% ให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงสุด คือ 5.67 ± 1.00 และได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมจากผู้ชิมสูงสุด



ตารางที่ 4.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้แป้งพรีเจลาติไนส์ และกัวกัมเป็นสารยึดเกาะ และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที

สารยึดเกาะ		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส ^{ns}	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ โดยรวม	
แป้งข้าวพรีเจลาติไนส์ (%)	กัวกัม (%)						
แป้งข้าวเจ้า	10	-	4.56 ± 0.53 ^{ab}	4.44 ± 0.73 ^b	4.67 ± 1.32	2.11 ± 0.92 ^{de}	3.78 ± 0.83 ^{bcd}
	20	-	4.44 ± 0.53 ^{ab}	4.44 ± 0.88 ^b	3.89 ± 1.61	1.56 ± 0.52 ^e	3.22 ± 1.09 ^{cd}
	30	-	4.44 ± 1.33 ^{ab}	5.67 ± 1.00 ^a	4.22 ± 1.56	3.33 ± 1.32 ^{bcd}	4.22 ± 1.30 ^{abc}
	10	0.5	3.78 ± 0.83 ^{abc}	4.78 ± 0.97 ^{ab}	4.11 ± 1.54	3.00 ± 1.58 ^{bcd}	3.67 ± 1.50 ^{bcd}
	20	0.5	4.56 ± 0.88 ^{ab}	4.33 ± 1.41 ^b	4.22 ± 1.09	5.67 ± 1.41 ^a	5.11 ± 1.05 ^a
	30	0.5	3.22 ± 1.09 ^c	5.00 ± 0.71 ^{ab}	4.56 ± 1.67	2.89 ± 1.45 ^{cd}	3.67 ± 1.22 ^{bcd}
แป้งข้าวเหนียว	10	-	4.22 ± 1.09 ^{abc}	4.78 ± 0.67 ^{ab}	4.00 ± 1.73	3.44 ± 0.88 ^{bc}	4.11 ± 0.92 ^{abc}
	20	-	3.56 ± 1.33 ^{bc}	4.44 ± 1.13 ^b	3.56 ± 1.24	2.11 ± 1.05 ^{de}	2.67 ± 1.22 ^d
	10	0.5	4.44 ± 1.33 ^{ab}	4.78 ± 1.20 ^{ab}	4.33 ± 1.00	4.22 ± 1.30 ^b	4.56 ± 1.33 ^{ab}
	20	0.5	4.78 ± 1.30 ^a	4.67 ± 0.87 ^{ab}	4.22 ± 0.83	3.00 ± 1.32 ^{bcd}	4.56 ± 1.01 ^{ab}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งหมายถึงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$
 ns หมายถึงตัวอักษรในแนวตั้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p > 0.05$
 ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.2 การผลิตแตรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนโดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัม และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

4.2.1 กระบวนการผลิตแตรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์

จากการศึกษากระบวนการผลิตแตรกเกอร์ข้าวโดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิด คือ Purawave และ DATEM 0.5% ของปริมาณแป้งข้าวเจ้าทั้งหมดในสูตร ร่วมกับสารยึดเกาะ คือ กัวกัม ที่ระดับต่างๆ คือ 0, 0.25 และ 0.5% ของปริมาณแป้งทั้งหมด เมื่อหาอัตราส่วนผสมของอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัมในการผลิตแตรกเกอร์ พบว่า แตรกเกอร์ที่มีการใช้อิมัลซิไฟเออร์เพียงอย่างเดียว คือ Purawave หรือ DATEM ลักษณะของโคที่ได้อาจไม่สามารถรีดให้เป็นแผ่นและขึ้นรูปได้ และโคที่ได้มีลักษณะแห้งมาก(รูปที่ 4.4) ส่วนแตรกเกอร์ที่มีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัมที่ระดับ 0.25% และ 0.5% สามารถรีดเป็นแผ่นและขึ้นรูปได้ทั้ง 2 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4.4

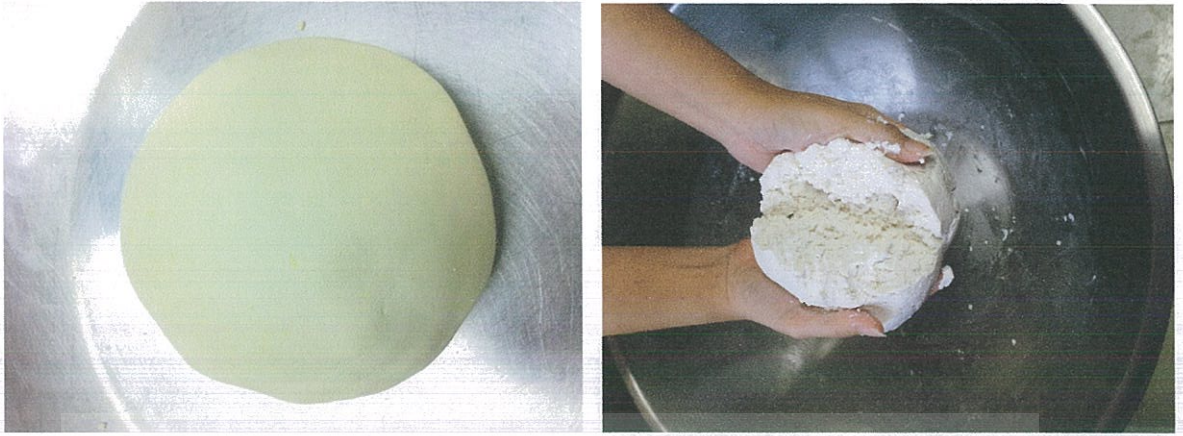
ตารางที่ 4.4 การทดลองผลิตแตรกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน โดยใช้ Purawave, DATEM เป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัม

ชนิด	อิมัลซิไฟเออร์	สารยึดเกาะ	ความสามารถในการรีดเป็นแผ่น
	ปริมาณ(%)	กัวกัม(%)	
Purawave	0.5	0	-
Purawave	0.5	0.25	+
Purawave	0.5	0.5	+
DATEM	0.5	0	-
DATEM	0.5	0.25	+
DATEM	0.5	0.5	+

หมายเหตุ : ความสามารถในการรีดโคให้เป็นแผ่น

+ หมายถึง สามารถรีดโคให้เป็นแผ่นได้

- หมายถึง ไม่สามารถรีดโคให้เป็นแผ่นได้



รูปที่4.4 ลักษณะโคของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ใช้Purawave หรือDATEM เป็นอิมัลซิไฟเออร์เพียงอย่างเดียว

4.2.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของแครกเกอร์

จากการตรวจสอบคุณภาพของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนโดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิด คือ Purawave และ DATEM 0.5% ของปริมาณแป้งข้าวเจ้าทั้งหมดในสูตร ร่วมกับกัวกัมที่ระดับต่างๆ คือ 0.25 และ 0.5% ของปริมาณแป้งทั้งหมด เมื่อวัดอัตราการขึ้นฟูของแครกเกอร์พบว่า แครกเกอร์ที่มีการใช้Purawaveร่วมกับกัวกัม0.5% และDATEM ร่วมกับกัวกัม0.5% มีอัตราการขึ้นฟูสูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมาคือ แครกเกอร์ที่มีการใช้Purawaveร่วมกับกัวกัม 0.25% และ DATEM ร่วมกับกัวกัม0.25% ($p < 0.05$) ซึ่งอัตราการขึ้นฟูแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของแครกเกอร์ โดยแครกเกอร์ที่มีอัตราการขึ้นฟูสูงแสดงว่าภายในแครกเกอร์มีอากาศมาก จึงทำให้แครกเกอร์ฟู มีเนื้อแป้งร่วน แต่หากมีอัตราการขึ้นฟูต่ำแสดงว่าภายในแครกเกอร์มีอากาศน้อยทำให้แครกเกอร์ฟูน้อย เนื้อแป้งจะแน่น (ตารางที่4.5)

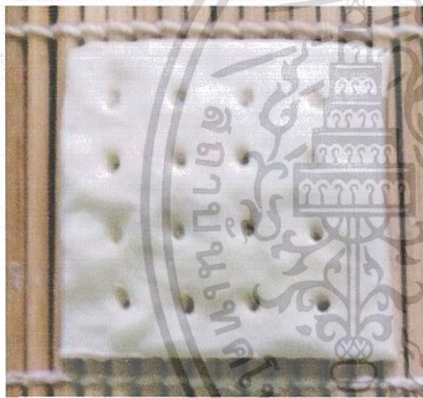
จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบในรูปของค่าhardnessของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนโดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัวกัมที่ระดับต่างๆด้วยเครื่องTexture analyzer จะเห็นว่า แครกเกอร์ที่ใช้Purawaveเป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัวกัม 0.25% มีค่าhardnessน้อยที่สุด หรือมีความกรอบมากที่สุด รองลงมา คือ แครกเกอร์ที่ใช้Purawaveเป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัวกัม0.5%, แครกเกอร์ที่ใช้DATEMเป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัวกัม0.25% และแครกเกอร์ที่ใช้DATEMเป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัวกัม0.5% ตามลำดับ ($p < 0.05$) จากการทดลองจะเห็นว่า แครกเกอร์ที่มีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัวกัมในปริมาณมากขึ้น จะให้ค่าHardnessเพิ่มขึ้น หรือมีความกรอบลดลงนั่นเอง และเมื่อวัดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของแครกเกอร์ เมื่ออบเสร็จใหม่ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟนั้น พบว่า อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ทำให้แครกเกอร์สุกพร้อมรับประทานอยู่ระหว่าง 147.4 – 148.6 องศาเซลเซียส (ตารางที่4.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 คุณภาพทางด้านกายภาพของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ และสารยึดเกาะกาวกัมที่ระดับต่างๆ และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที

ชนิด	อิมัลซิไฟเออร์ ปริมาณ(%)	สารยึดเกาะ กาวกัม (%)	อัตราการขึ้นฟู	ค่าความแข็ง (กรัมแรง)	อุณหภูมิผิวหน้า (°ซ)
Purawave	0.5	0.25	1.21 ± 0.04 ^b	2227.44 ± 108.79 ^d	147.9 ± 2.60
Purawave	0.5	0.5	1.27 ± 0.02 ^{ab}	3258.20 ± 139.68 ^c	148.2 ± 5.57
DATEM	0.5	0.25	1.26 ± 0.02 ^b	3568.77 ± 316.11 ^b	148.6 ± 5.19
DATEM	0.5	0.5	1.33 ± 0.06 ^a	4255.89 ± 80.46 ^a	147.4 ± 1.51

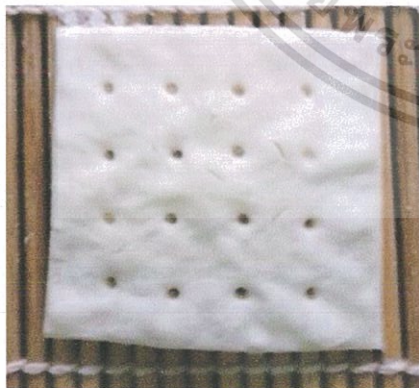
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



Purawave 0.5% + กาวกัม 0.25%



Purawave 0.5% + กาวกัม 0.5%



DATEM 0.5% + กาวกัม 0.25%



DATEM 0.5% + กาวกัม 0.5%

รูปที่ 4.5 แครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่มีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกาวกัมที่ระดับต่างๆ และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนโดยใช้ อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัม

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตน โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิด คือ Purawave 0.5% และ DATEM 0.5% ร่วมกับกัวกัมที่ระดับต่างๆ คือ 0.25 และ 0.5% ของปริมาณแป้งข้าวเจ้าทั้งหมดในสูตร อบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ นาน 4 นาที ประเมินความชอบด้านประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ด้วยวิธี 7-Point Hedonic ซึ่งประเมินในด้านลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่นรส, เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยผู้ชิมจำนวน 30 คน พบว่า แครกเกอร์ที่ใช้ Purawave เป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัวกัม 0.5% ได้รับการยอมรับโดยรวมจากผู้ชิมสูงสุด คือ ได้คะแนน 4.45 ± 1.44 คะแนน (ตารางที่ 4.6) และพบว่า การยอมรับโดยรวมของผู้ชิมความสัมพันธ์กับ เมื่อประเมินคุณภาพทางกายภาพของแครกเกอร์ ด้านความกรอบ คือ ตัวอย่างแครกเกอร์ที่มีค่าความแข็งน้อย หรือมีความกรอบมากให้คะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุด



ตารางที่ 4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนที่ใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัม ในสูตรที่ระดับต่างๆ และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที

อิมัลซิไฟเออร์		สารยึดเกาะ	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ
ชนิด	ปริมาณ (%)	กัวกัม (%)					โดยรวม
Purawave	0.5	0.25	3.92±0.94 ^c	5.32±0.94 ^{ab}	4.87±1.05 ^{bc}	3.80±1.05 ^b	3.45±1.50 ^b
Purawave	0.5	0.5	5.63±0.69 ^a	5.57±0.96 ^a	5.02±0.97 ^{bc}	4.87±0.79 ^a	4.45±1.44 ^a
DATEM	0.5	0.25	4.30±0.72 ^b	4.98±1.08 ^b	5.08±0.93 ^b	3.60±0.98 ^b	3.42±1.57 ^b
DATEM	0.5	0.5	4.52±0.81 ^b	5.55±0.79 ^a	5.52±0.79 ^a	3.55±1.06 ^{bc}	3.33±1.28 ^b
แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ (ตัวอย่างควบคุม) ¹	20	0.5	3.13±0.81 ^d	5.05±1.03 ^b	4.68±1.00 ^c	3.20±1.24 ^c	3.12±1.43 ^b

หมายเหตุ : ¹ ตัวอย่างควบคุมคือ แครกเกอร์ที่ผลิตโดยไม่ใช้อิมัลซิไฟเออร์ มีแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ 20% ร่วมกับกัวกัม 0.5% ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งหมายถึงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็น

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็นที่ได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมมากที่สุด ในข้อ 4.2.3 คือ แครกเกอร์ข้าวที่ใช้ Purawave 0.5% เป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัม 0.5% มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 9.22 ± 0.08 , 7.65 ± 0.22 , 5.05 ± 0.31 , 1.44 ± 0.05 , 10.42 ± 0.24 และ $66.24 \pm 1.29\%$ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแครกเกอร์จากสูตรที่ใช้แป้งสาลีเป็นหลักของบริษัทสินสาลี จำกัด พบว่า แครกเกอร์ของบริษัทสินสาลี จำกัด มีปริมาณความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เถ้า และเยื่อใยน้อยกว่าแครกเกอร์ข้าว และจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็น

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบทางเคมีของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็นที่ใช้ Purawave 0.5% เป็นอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับกัวกัม 0.5% และแครกเกอร์จากแป้งสาลีของบริษัทสินสาลี จำกัด

องค์ประกอบทางเคมี	แครกเกอร์ข้าว	แครกเกอร์ บ.สินสาลี *
	ปริมาณ (%)	ปริมาณ (%)
ความชื้น	9.22 ± 0.08	6.53 ± 0.54
คาร์โบไฮเดรต	66.24 ± 1.29	84.41 ± 1.11
โปรตีน	7.65 ± 0.22	5.24 ± 0.63
ไขมัน	5.05 ± 0.31	1.38 ± 0.44
เถ้า	10.42 ± 0.24	2.04 ± 0.06
เยื่อใย	1.44 ± 0.05	0.29 ± 0.11

หมายเหตุ : * คือ แครกเกอร์ที่ผลิตได้จากแป้งสาลีเป็นหลัก
ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็นด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

จากการศึกษาการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็น โดยใช้การอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ ที่ความถี่ 2450MHz กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที สามารถให้ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่สุกพร้อมรับประทาน แต่ยังคงใช้ระยะเวลานาน จึงได้ทดลองศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ โดยใช้ระยะเวลาในการผลิตสั้นลง และได้แครกเกอร์ที่สุกพร้อมรับประทาน และไม่มีกลิ่นไหม้เกิดขึ้น โดยใช้แครกเกอร์ที่คัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดหลังจากการทดสอบคุณภาพทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสาทสัมผัสจากข้อ 4.2.3 มาใช้ศึกษา คือ แครกเกอร์ปราศจากกลิ่นที่ใช้ Purawave 0.5% ร่วมกับตัวกัน 0.5% โดยกำหนดปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ระยะเวลาในการอบ 1, 2, 3 และ 4 นาที และกำลังไฟฟ้า ระดับต่างๆ คือ 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่ความถี่ 2450 MHz จากการทดลอง พบว่าการอบที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์, 700 วัตต์ นาน 4 นาที และการอบที่ 800 วัตต์ นาน 3 นาที ให้ลักษณะของแครกเกอร์ที่สุก ไม่มีการไหม้เกิดขึ้น แต่การอบที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ นาน 4 นาที ให้แครกเกอร์ที่สุก แต่มีการไหม้เกิดขึ้น ส่วนแครกเกอร์ที่อบที่กำลังไฟฟ้า 600 และ 700 วัตต์ เป็นเวลา 1-3 นาที แครกเกอร์จะไม่สุก และการอบที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ นาน 1-2 นาที ก็ให้ลักษณะของแครกเกอร์ที่ไม่สุกเช่นเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 คุณภาพทางกายภาพของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลิ่นที่ผ่านการอบด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า และระยะเวลาต่างๆ คือ 600, 700 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 นาที

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ระยะเวลาในการอบ (นาที)	อุณหภูมิผิวหน้า (°C)	สุกพร้อมรับประทาน
600	1	83.2 ± 0.59	ไม่สุก
600	2	103.2 ± 3.77	ไม่สุก
600	3	125.0 ± 5.19	ไม่สุก
600	4	147.0 ± 4.04	สุก
700	1	94.4 ± 0.62	ไม่สุก
700	2	115.0 ± 1.01	ไม่สุก
700	3	137.0 ± 1.00	ไม่สุก
700	4	150.0 ± 5.13	สุก
800	1	115.0 ± 2.00	ไม่สุก
800	2	134.0 ± 1.14	ไม่สุก
800	3	154.0 ± 2.08	สุก
800	4	178.0 ± 2.00	สุก (ไหม้)

จากการหาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า (วัตต์) และระยะเวลา (นาที) ในการอบแครกเกอร์นั้น จะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าและระยะเวลามีผลต่อการสุกของแครกเกอร์ สามารถตรวจสอบจากการวัดอุณหภูมิผิวหน้าของแครกเกอร์หลังอบเสร็จใหม่ โดยแครกเกอร์ที่อบเป็นเวลานานขึ้น แครกเกอร์จะสุกและกำลังไฟฟ้าในการอบมากขึ้นก็จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าของแครกเกอร์เพิ่มขึ้น และคร่ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและกำลังไฟฟ้าทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าของแครกเกอร์เพิ่มขึ้น เช่นกัน (ตารางที่4.9)

ตารางที่4.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation)ของกำลังไฟฟ้า(วัตต์) และระยะเวลา(นาที) ในการอบต่ออุณหภูมิผิวหน้าของแครกเกอร์

ปัจจัยในการผลิต	อุณหภูมิผิวหน้าของแครกเกอร์
เวลา (นาที)	0.88**
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	0.44**
เวลา x กำลังไฟฟ้า	0.95**

หมายเหตุ : ** หมายถึง มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($p < 0.01$)

ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาสารยึดเกาะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนและอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

ในการศึกษาสารยึดเกาะที่เหมาะสมของแครกเกอร์ข้าวและอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ โดยใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ 20% เป็นสารยึดเกาะร่วมกับกัวกัม 0.5% ในการผลิตแครกเกอร์ข้าว ได้รับการยอมรับ โดยรวมจากผู้ชิมสูงสุด โดยมีอัตราการขึ้นฟูอยู่ในช่วง 0.76 ± 0.05 และมีความกรอบในรูปของ Hardness เท่ากับ 1422.72 ± 71.50 กรัมแรง

5.2 การผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนโดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารยึดเกาะร่วมกับกัวกัม และอบให้สุกด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ

ในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนสามารถใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ ในที่นี้คือ Purawave 0.5% ของแป้งข้าวเจ้าทั้งหมด ร่วมกับสารยึดเกาะกัวกัม 0.5% ได้รับการยอมรับจากผู้ชิม โดยได้รับคะแนนการยอมรับรวมสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแครกเกอร์ข้าวที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์ 20% เป็นสารยึดเกาะร่วมกับกัวกัม 0.5% โดยแครกเกอร์ที่ได้มีอัตราการขึ้นฟูอยู่ในช่วง 1.27 ± 0.02 มีอุณหภูมิที่ผิวหน้า หลังอบเสร็จใหม่ 148.2 ± 5.57 °ซ และแครกเกอร์ที่ได้ไม่มีการไหม้เกิดขึ้น ในระหว่างการอบที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ นาน 4 นาที โดยแครกเกอร์ที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 9.22 ± 0.08 , 7.65 ± 0.22 , 5.05 ± 0.31 , 1.44 ± 0.05 , 2.42 ± 0.01 และ $74.46 \pm 1.45\%$ ตามลำดับ

5.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเตนโดยใช้อุโมงค์ไมโครเวฟ

การใช้อุโมงค์ไมโครเวฟในการอบแครกเกอร์ข้าวให้สุก สามารถใช้ระยะเวลาและกำลังไฟฟ้า ในการอบแครกเกอร์ให้สุกและไม่มีการไหม้เกิดขึ้น ดังนี้ 600 วัตต์ นาน 4 นาที, 700 วัตต์ นาน 4 นาที และ 800 วัตต์ นาน 3 นาที โดยปัจจัยในการอบ ระยะเวลา (X_1), กำลังไฟฟ้า (X_2) และอิทธิพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมของปัจจัยในการอบแครกเกอร์ (X_1, X_2) มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับ
อุณหภูมิผิวหน้าของแครกเกอร์ ($p < 0.01$)

ข้อเสนอแนะ

1. การผลิตแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็น สามารถใช้สารชนิดอื่นๆเป็นสารยึดเกาะแทนแป้งข้าว
พรีเจลาตินไนส์และกัวกัมได้ เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส
แซนแทนกัม และ โลกัสปินกัม เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้เป็น
แนวทางในการพัฒนาแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็นต่อไป
2. ในการศึกษาคุณภาพด้านกายภาพของแครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็น อัตราการขึ้นฟูของ
แครกเกอร์มีผลต่อความกรอบของแครกเกอร์ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อสังเกตในการทดลองการผลิต
แครกเกอร์ข้าวปราศจากกลูเต็นในครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูด ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- งามชื่น คงเสรี. 2539. คุณภาพข้าวสารและข้าวสุก. เอกสารประกอบบรรยายสัมมนาเรื่อง“ข้าว กับคน”. สมาคมโรงสีข้าวไทย. เพชรบุรี.
- จิตรณา แจ่มเมฆ. 2537. ขนบแป้งจากแป้งข้าวเจ้า. ในการประชุมวิชาการ: ศักยภาพข้าวไทย ทิศทาง ใหม่สู่อุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- จำเริญ อัจฉราภรณ์. 2537. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการแปรสภาพ ทางกายภาพและทางเคมีแบบเชื่อมข้าม (cross-linking) ร่วมกับวิธี อะซิทิเลชัน (Acetylation) และพรีเจลาติไนส์เซชัน (Prelelatinization). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- นิตยา กอบกัยกิจ. 2532. การผลิตขนบแป้งจากแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานันท์. ข้าว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1657/rice/wiki/word/1657/riceข้าว> (10 มกราคม 2557)
- ภาณุมาศ รุ่งเรืองอารี. 2541. ผลของแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนส์และการเสริมโปรตีนต่อคุณภาพ ของขนบแป้งจากแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- สุนทร สหัสโพธิ์. 2533. ผลของอะไมโลสและสารยึดเกาะในการผลิตขนบแป้งโดยใช้แป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2538. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนบแป้งกรอบ. มอก. 742-2558. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- วิชัย หลุทัยธนาสันต์ และ ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. 2535. การพัฒนาบิสกิตทุเรียนเพื่อการส่งออก. วารสารอาหาร. 22(3): 11-20.
- วิรัชภรณ์ อิงคะสาร และ ศกถวรรณ จงสงวนดี. 2546. Resistant starch. เอกสารประกอบวิชาสัมมนา ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2539. ข้าวสาลี. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ahmad, S.S., Morgan M.T. and Okos M.R. 2001. Effect of microwave on the drying, checking and mechanical strength of baked biscuits. *Journal of Food Engineering*. 50: 63375.
- Arendt, E.K., Brien, O., Schober, C.M., Gormle, T and Gallagher, E. 2002. Development of gluten- free cereal products. *J. Farm and Food*. 12: 21-27.
- Athapol, N., Bandola, D.C., and Kongseree, N., 1994. Effect of variety of flour concentration and enzyme levels on composite bread quality. *J. Sci.Food Agric*. 64: 433-440.
- Beynum, G.M.A., van, and Roels, J.A., 1985. *Starch Conversion Technology*. Marcel Dekker, Inc., New York. p 326.
- Briani, C., Samaroo and Alaedini, D. 2008. Celiac disease: From from gluten to autoimmunity. Article in press available online at Science Direct.
- Ciclitira, P. J., Johnson, M. W., Dewar, D.H. and Ellis, H. J. 2005. The pathogenesis of celiac disease. *Molecular Aspects of Medicine*. 26: 421-458.
- Coeliac Society of Victoria Australia. 2008. Gluten free alternatives. <http://www.betterhealth.vic.gov.au>.
- Colakoglu S. Abdullah and Özkaya Hazım. 2012. Potential use of exogenous lipases for DATEM replacement to modify the rheological and thermal properties of wheat flour dough. *Journal of cereal science*. 55: 397-404.
- Defloor, I., Gret, C.D., Schellenkens, M., Mortons, A. and Delcor, J.A. 1991. Emulsifiers and /or extruded starch in the production of bread from cassava. *J. Cereal chem*. 68(4): 323-327.
- Demirkesen Ilkem, Mert Behic, Sumnu Gulum and Sahin Serpil. 2010. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of food engineering*. 96: 295–303
- Deobald, H.J., 1972. Rice flour. In D.F. Houston. *Rice: Chemistry and Technology*. Am. Asso. Cereal Chemists.Inc., St Paul, Minnesota. 264-269.
- Feighery, C.F. 1999. Coeliac disease. *J. British Medical*. 319: 236-239.
- Gallagher, E., Gormley, T.R. and Arendt, E.K. 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *J. Trends in food science and technology*. 15: 143-152.
- Gujral, H.S., Guardiola, I., Carbonell, J.V. and Rosell, CM. 2003a. Effect of cyclodextrin glycoxy transferase on dough rheology and bread quality from rice flour. *J. Agriculture and food chemistry*. 51: 3814-3818.
- Gujral, H.S., Guardiola, I., Carbonell, J.V. and Rosell, CM. 2003b. Starch hydrolysis enzymes for retarding the staling of rice bread. *J. Cereal chemistry*. 80: 750-754.

Henry, R.J. and Kettlewell, P.S. 1996. *Cereal grain quality*. Chapman & Hall, London, UK. 488p.

- Hizukuri, S. 1988. Recent Advances in Molecular Structure of Starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* 31: 185.
- Hoseney, R.C. 1994. Principles of cereal science and technology. second ed. American association of cereal chemists. St. Paul, Minnesota. USA. 327p.
- Ibuki., Masahisa., Nakamura. And Ichiro. 2002. Process for producing baked snacks. U.S. Patent no. 6346287.
- Kalafat, S.R. and Kroger, M. 1973. Microwave Heating of foods-Use and safety consideration. *Crit. Rev. Food Technol.* 4(2):141.
- Kasemsuwan, T., Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S. and Radosavljevic, M. 1999. Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch. *Cereal Chem.* 76(5): pp 629-637.
- Köhler P. 2001. Study of the effect of DATEM : Synthesis and characterization of DATEM components. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 359-366.
- Martin, D.J. and Tsen, C.C. 1981. Baking high-ratio white layer cakes with microwave energy. *J. Food science.* 46: 1507-1523.
- Mogan, R.K., Hunt, R., Gerrard, D.E., Ross, M. and Glipin, M. 1997. Staling in starch bread: The effect of antistaling α -amylase. *J. Starch.* 44(2): 54-59.
- Nishita, K.D., Roberts, R.L. and Bean, M.M. 1976. Development of a yeast leavened rice bread formula. *J. Cereal chemistry.* 53: 626-635.
- Omobuwajo, T.O. 2003. Compositional characteristics and sensory quality of biscuits, prawn crackers and fried chips produced from beadfruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 4: 219-225.
- Ozmutlu, O., Samnu, G. and Sahin, S. 2001. Assessment of proofing of bread dough in the microwave oven. *European Food Research Technology.* 212: 487-490.
- Singh, J., Singh, N., Sharma, T.R. and Saxena, S.K. 2003. Physicochemical, rheological and cookie making properties of corn and potato flours. *Food Chemistry.* 83: 387-393.
- Stinson, C.T. 1986. A quality comparison of Devil's food and yellow cakes baked in a microwave/convection versus a conventional oven. *J. Food science.* 51: 1578-1579.
- Takashi, N., Yoichi, Y. and Keiko, M. 2002. Method for producing rice cracker. Japan patent JP 200-2186426.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



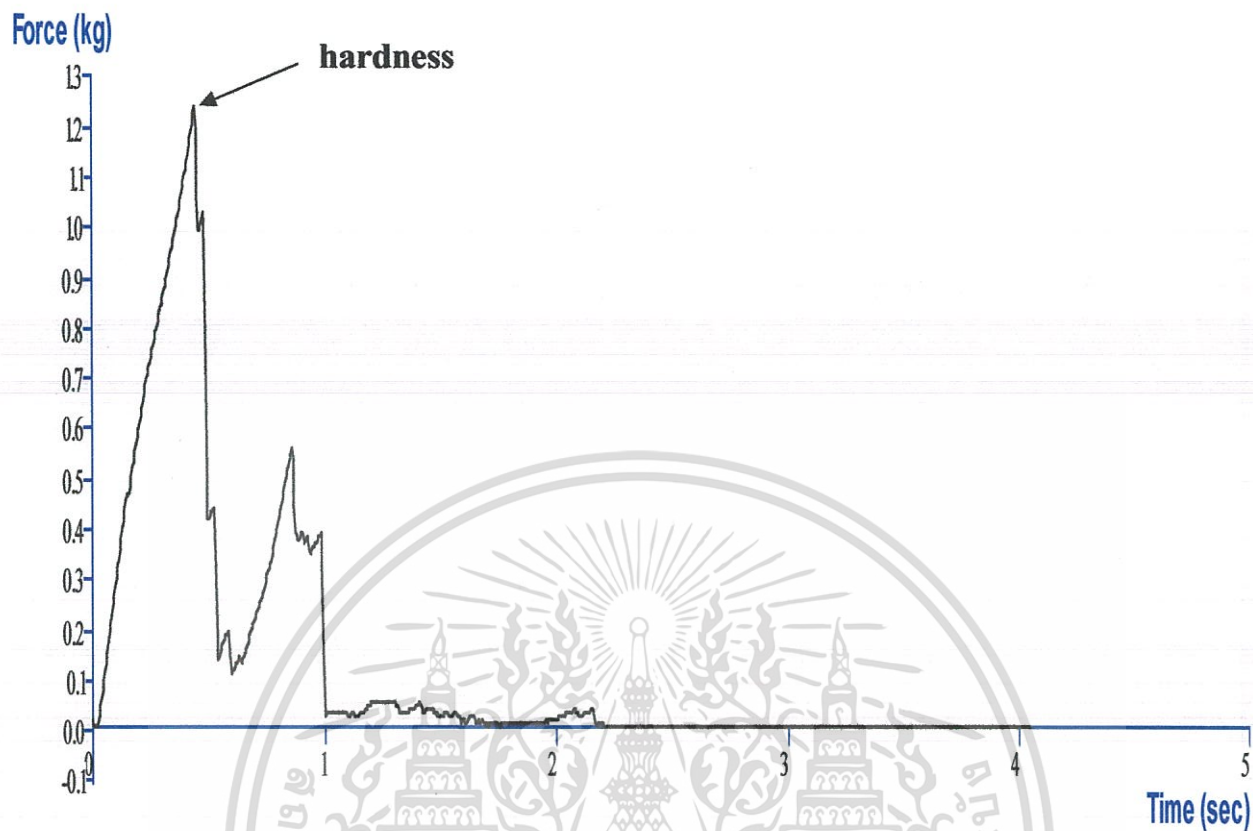
รูปผนวกที่ ก.1 อุโมงค์ไมโครเวฟ 2,450MHz ขนาด 4.8 kwatt, 6 หัวแมกนีตรอน 220 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปผนวกที่ ก.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer TA-XT Plus พร้อมหัววัด P/0.25S ด้านความ
กรอบของแครกเกอร์ในรูปของhardness**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ก.3 กราฟตัวอย่างแสดงค่าความกรอบที่อ่านได้จากกราฟ ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

Texture analyzer TA-XT Plus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

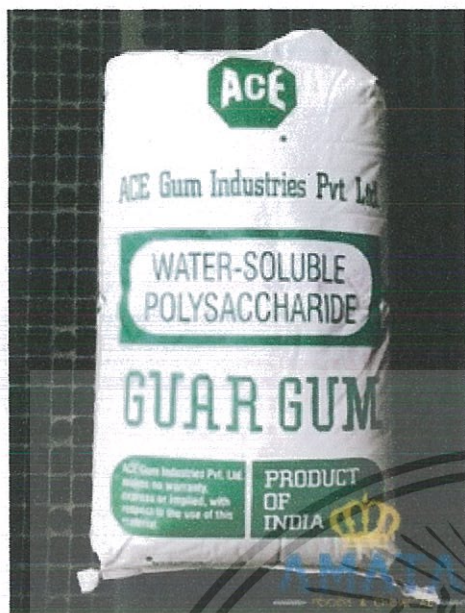


รูปผนวกที่ ข.1 DAEM ตรา เลซีเพ็ก



รูปผนวกที่ ข.2 Purawave (EC-25K) ตรา Durkee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ข.3 กัวกัม ตรา ACE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



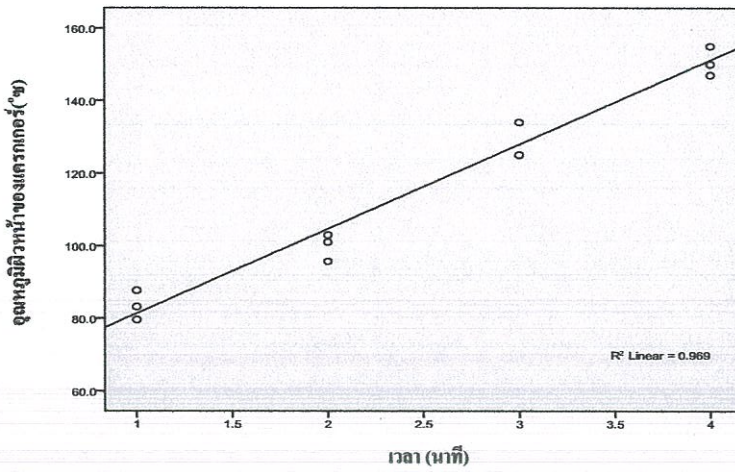
ภาคผนวก ค

กราฟความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการอบ

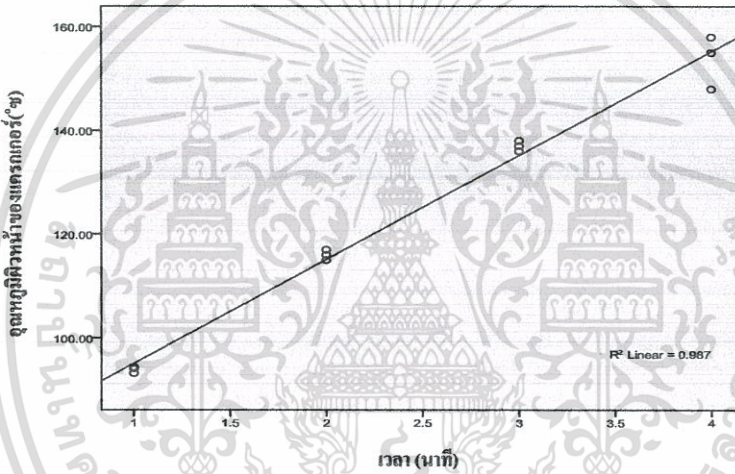
และอุณหภูมิผิวหน้าของแครกเกอร์ข้าว

ปราศจากกลูเต็น

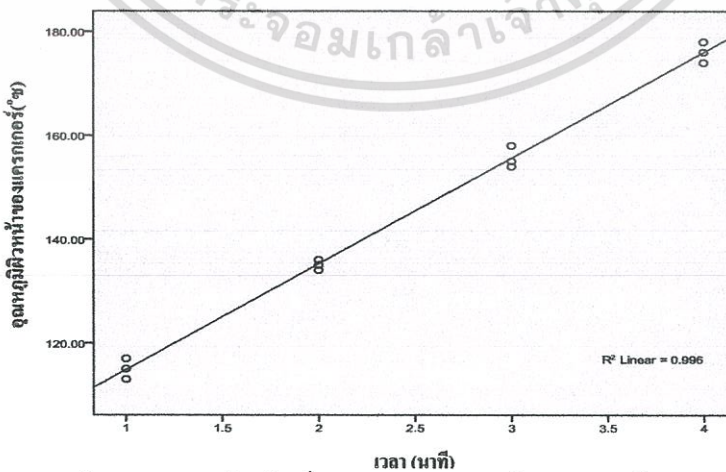
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ค.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอบกับจุดหมึกฝิวหน้าของเครื่องด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์



รูปผนวกที่ ค.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอบกับจุดหมึกฝิวหน้าของเครื่องเกอร์ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์



รูปผนวกที่ ค.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอบกับจุดหมึกฝิวหน้าของเครื่องเกอร์ด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวนัสริน มะทา
วัน เดือน ปีเกิด	12 กุมภาพันธ์ 2530 ที่ยะลา
ที่อยู่	269/171 ถนนราษฎร์พัฒนา แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง กรุงเทพมหานคร 10240 (kah_zain@hotmail.com, Tel.084-7021209)
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียน คณะราษฎรบำรุง จังหวัดยะลา ปีการศึกษา 2547 สำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษาจาก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้