ผลของสภาวะให้ความร้อนที่เหมาะสมของไมโครเวฟที่มีผลต่อการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

EFFECT OF OPTIMUM MICROWAVE HEATING CONDITIONS ON EXPANSION OF SOY MILK PULP CRISP RICE CRACKER

ปรียานุช เฮงภู่เจริญ

วรัญญา ชาหอม

อมรรัตน์ ทองประกอบ

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ผลของสภาวะให้ความร้อนที่เหมาะสมของไมโครเวฟที่มีผลต่อการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

EFFECT OF OPTIMUM MICROWAVE HEATING CONDITIONS ON EXPANSION OF SOY MILK PULP CRISP RICE CRACKER

จัดทำโดย

ปรียานุช เฮงภู่เจริญ รหัสนักศึกษา 59080160

วรัญญา ชาหอม รหัสนักศึกษา 59080180

อมรรัตน์ ทองประกอบ รหัสนักศึกษา 59080194

ได้รับการพิจารณาจาก

..... 24 / มิถุนายน / 2563

(ดร.กิตติชัย บรรจง)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	ผลของสภาวะให้ความร้อนที่เหมาะสมของไมโครเวฟที่มีผลต่อการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง
ชื่อนักศึกษา	ปรียานุช เฮงภู่เจริญ รหัสนักศึกษา 59080160
	วรัญญา ชาหอม รหัสนักศึกษา 59080180
	อมรรัตน์ ทองประกอบ รหัสนักศึกษา 59080194
หลักสูตร	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเติมกากนมถั่วเหลืองลงในข้าวเกรียบแป้งมันสำปะหลังและสภาวะให้ความร้อนของไมโครเวฟที่มีผลต่อการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง โดยการทดลองแรกเปรียบเทียบอัตราส่วนกากนมถั่วเหลือง (SMP) ต่อน้ำหนักแป้งมันสำปะหลังโดยใช้อัตราส่วน 50, 57, 67 และ 80%SMP ต่อน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง ศึกษาผลอัตราการพองและค่าความแข็งของข้าวเกรียบ เมื่อทำให้พองด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ 15 วินาที ผลการทดลองพบว่า ข้าวเกรียบสูตร 57%SMP มีอัตราการพองสูง 1.5 เท่า ดีกว่าสูตรอื่น และมีค่าความแข็งวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสเท่ากับ 808.9 กรัม จึงนำข้าวเกรียบสูตรนี้ไปใช้ในการทดลองต่อไป การทดลองผลของตัวแปร 2 ปัจจัย คือ กำลังไฟฟ้าและระยะเวลาให้ความร้อนต่ออัตราการพองของข้าวเกรียบ โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง และการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง พบว่าสภาวะที่ทำให้เกิดการพองดีที่สุด คือ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 25 วินาที เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทำให้พองด้วยไมโครเวฟกับการทอดด้วยน้ำมันพืช พบว่าสีของข้าวเกรียบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเกรียบทอดมีสีเหลืองแกมน้ำตาลและมีค่าความสว่าง 66.3 สีคล้ำกว่าข้าวเกรียบอบไมโครเวฟซึ่งมีสีขาวแกมเหลืองมีค่าความสว่าง 72.2 ความชื้นของข้าวเกรียบอบไมโครเวฟเท่ากับ 2.97% และข้าวเกรียบทอดเท่ากับ 3.35% ลดลงจากความชื้นเริ่มต้นซึ่งเท่ากับ 7.03% นอกจากนี้ข้าวเกรียบทอดยังมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากการอุ้มน้ำมัน ในขณะที่ข้าวเกรียบอบไมโครเวฟมีน้ำหนักลดลงจากการลดลงของความชื้น

คำสำคัญ ข้าวเกรียบ กากนมถั่วเหลือง ไมโครเวฟ วิธีการพื้นผิวตอบสนอง การทำให้พอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem	Effect pf optimum microwave heating conditions on expansion of soy milk pulp crisp rice cracker
Student name	Preeyanuch Hengpoocharoen Student ID 59080160
	Varanya Chahom Student ID 59080180
	Amornrat Thongprakob Student ID 59080194
Program	Bachelor of Science in Food Process Engineering
Year	2020
Advisor	Dr. Kittichai Banjong

Abstract

The objective of this research was to study the effect of soy milk pulp and microwave heating conditions on the expansion of soy milk pulp crisp rice cracker. The first experiment was the comparison of soy milk pulp (SMP) ratio to tapioca flour at 50, 57, 67 and 80 %SMP to tapioca flour (w/w) on the expansion ratio and hardness of soy milk pulp crisp rice cracker when it was expanded by 600 watt microwave for 15 second. The result show that 57%SMP soy milk pulp crisp rice cracker expanded more than the others with 1.5 times expansion ratio while the hardness measured by the texture analyzer was 808.9 g. Hence the 57%SMP was used in the following study. The response surface methodology by central composite design with 2 factors; microwave power and heating time on expansion ratio of soy milk pulp crisp rice cracker showed that the highest expansion ratio was achieved by heating in microwave oven at 800 watt for 25 second. The comparison between microwave heating and deep fried with vegetable oils founded that the color of deep fried soy milk pulp crisp rice cracker was brownish yellow with 66.3 lightness value. This was slightly darker than microwave baked soy milk pulp crisp rice cracker which was yellowish white with 72.2 lightness value. The moisture content of microwave baked soy milk pulp crisp rice cracker was 2.97% while deep fried soy milk pulp crisp rice cracker was 3.35% which was decreased from initial moisture content at 7.03%. In addition the weight of deep fried soy milk pulp crisp rice cracker was increased because of oil absorption while the weight of microwave baked soy milk pulp crisp rice cracker was decreased due to decreasing of its moisture content.

Keywords : Crisp rice cracker , Soy milk pulp , Microwave , Response Surface Method , Expansion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาปัญหาพิเศษเพื่อจัดทำข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟที่มีผลต่อการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

การนำเสนอปัญหาพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากผู้มีพระคุณ คือ ดร.กิตติชัย บรรจง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ให้ความกรุณาแนะนำแนวทางในการศึกษาปัญหาพิเศษของคณะผู้จัดทำและช่วยให้คำปรึกษาการทำรูปเล่มในครั้งนี้ให้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปัญหาพิเศษ ขอขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อนๆของคณะผู้จัดทำที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปรียานุช เฮงภู่เจริญ
วรัญญา ชาหอม
อมรรัตน์ ทองประกอบ
12 มิถุนายน 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ข้าวเกรียบ	3
2.2 กากนมถั่วเหลือง	3
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง	6
3.1 วัตถุดิบ	6
3.2 อุปกรณ์	6
3.3 ขั้นตอนการเตรียมและวิธีการทดลอง	7
3.3.1 ส่วนผสมและอัตราส่วนของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง	7
3.3.2 ขั้นตอนการทำข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง	8
3.3.3 วิธีการทดลองการวิเคราะห์สูตรข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง	8
3.3.4 วิธีการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟในการอบข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองแทนการทอดที่มีผลต่ออัตราการพอง	9
3.3.5 วิธีการทดลองการเปรียบเทียบค่าสีของข้าวเกรียบอบไมโครเวฟกับทอด	9
3.3.6 วิธีการทดลองหาค่าปริมาณความชื้นข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง	9
3.3.7 วิธีการทดลองชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่เปรียบเทียบระหว่างอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน	9
3.3.8 วิธีการทดสอบ	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 แผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ..... 11

3.4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟในการอบข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองแทนการทอดโดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือเวลาและกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่ออัตราการพอง..... 11

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 13

4.1 ผลการวิเคราะห์สูตรข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง..... 13

4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟที่มีผลต่ออัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองโดยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง..... 15

4.3 การเปรียบเทียบค่าสี ค่าปริมาณความชื้นและค่าน้ำหนักของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองอบไมโครเวฟกับทอดน้ำมัน..... 18

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 20

บรรณานุกรม..... 21

ภาคผนวก..... 22

ภาคผนวก ก..... 23

ภาคผนวก ข..... 24

ภาคผนวก ค..... 25

ภาคผนวก ง..... 26

ภาคผนวก จ..... 27

ภาคผนวก ฉ..... 31

ภาคผนวก ช..... 37

ประวัติผู้เขียน..... 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
3.1 ปริมาณส่วนผสมของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองในแต่ละสูตร..... 7
3.2 ปริมาณส่วนผสมของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองในแต่ละสูตรคิดเป็นเปอร์เซ็นต์..... 7
3.3 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ central composite design..... 11
3.4 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ central composite design..... 12
4.1 ค่าอัตราการพองและค่าความแข็งของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง..... 13
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการ..... 15
4.3 อัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ได้จากการทดลองและการทำนาย..... 16
4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าสีของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน.... 19
4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองอบไมโครเวฟ และทอดน้ำมัน..... 19
ก.1 ผลการศึกษาการวัดสีในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน..... 23
ข.1 ผลการศึกษาน้ำหนักในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน..... 24
ค.1 ผลการศึกษาการหาค่าปริมาณความชื้นในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน..... 25
ง.1 ผลการศึกษาการวัดอัตราการพองในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟ..... 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า
4.1 กราฟแสดงค่าอัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ระดับปริมาณแป้งแต่ละสูตรที่อบไมโครเวฟ..... 14
4.2 กราฟแสดงค่าความแข็งของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ระดับปริมาณแป้งแต่ละสูตรที่อบไมโครเวฟ..... 14
4.3 แผ่นข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองหลังจากผ่านการอบไมโครเวฟที่แสดงการพองตัวของโครงสร้างข้าวเกรียบแต่ละสูตรที่ใช้กากนมถั่วเหลืองเป็นส่วนผสม :ก) 80%SMP ข) 67%SMP ค) 57%SMP และ ง) 50%SMP..... 14
4.4 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของระยะเวลาในการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองและกำลังไฟฟ้า..... 17
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดน้ำมันและอบไมโครเวฟ..... 19
จ.1 เครื่องมือสำหรับวัดสี..... 27
จ.2 เครื่องมือสำหรับวัดเนื้อสัมผัส..... 27
จ.3 เครื่องมือสำหรับสไลด์แผ่นตัวอย่าง..... 28
จ.4 โถดูดความชื้น..... 28
จ.5 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)..... 29
จ.6 ไมโครเวฟ..... 29
จ.7 Tray dry..... 30
จ.8 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง..... 30
ฉ.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ..... 31
ฉ.2 กระบวนการทำข้าวเกรียบ..... 32
ฉ.3 ข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการอบและผ่านการอบด้วยไมโครเวฟ..... 33
ฉ.4 ข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการทอดและผ่านการทอดด้วยน้ำมัน..... 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ

กากนมถั่วเหลืองเป็นผลผลิตที่เหลือใช้จากการประกอบอาหารจากเมล็ดถั่วเหลือง ในปัจจุบันถั่วเหลืองนิยมนำมาประกอบอาหารอย่างแพร่หลาย ซึ่งทำให้มีจำนวนกากนมถั่วเหลืองที่เหลือจากการประกอบอาหารเป็นจำนวนมาก จากการศึกษาพบว่าในกากนมถั่วเหลืองอุดมไปด้วยใยอาหาร โปรตีน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย ทางคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่ากากนมถั่วเหลืองมีประโยชน์และสามารถนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าเละลดปริมาณขยะจากกากนมถั่วเหลือง โดยการนำกากนมถั่วเหลืองมาใช้ประโยชน์โดยเป็นส่วนผสมในการประกอบอาหารคาวหวาน อาทิ เช่น สลัด แฮมเบอร์เกอร์ ขนมปังและคุกกี้ เป็นต้น ในปัจจุบันผู้คนส่วนใหญ่ใส่ใจการดูแลสุขภาพมาก ซึ่งนอกจากการออกกำลังกายจะทำให้สุขภาพแข็งแรงแล้วในเรื่องอาหารการกินก็ถือเป็นเรื่องสำคัญ โดยอาหารเป็นปัจจัยหลักที่ผู้คนให้ความสำคัญในการดูแลสุขภาพการบริโภคจะเน้นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ที่เป็นของธรรมชาติ เช่น ผัก ผลไม้ ถั่วและธัญพืช เป็นหลัก ทางคณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนากากนมถั่วเหลืองให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพ ซึ่งนำมาเป็นส่วนผสมหลักในการประกอบอาหารเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบธัญพืชและเปลี่ยนวิธีการทอดจากการใช้น้ำมันมาเป็นวิธีการอบด้วยไมโครเวฟซึ่งปราศจากน้ำมันจึงได้มีการศึกษาผลจากการอบแห้งที่มีต่อการพองตัว เนื้อสัมผัส และสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง โดยกากนมถั่วเหลืองที่ใช้ในการทำข้าวเกรียบมีแหล่งที่มาจากร้านขายน้ำเต้าหู้ในท้องถิ่น ดังนั้นข้าวเกรียบที่อบด้วยไมโครเวฟจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคที่นิยมทานของว่างเพื่อสุขภาพในรูปของข้าวเกรียบโดยไม่ต้องการให้มีปริมาณน้ำมันที่มากเกินไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำสุกข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองโดยปราศจากน้ำมันด้วยวิธีการอบไมโครเวฟ

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะให้ความร้อนที่เหมาะสมของไมโครเวฟที่มีผลต่อการพองของข้าวเกรียบ รวมทั้งการเปรียบเทียบค่าสี ค่าปริมาณความชื้น และน้ำหนักในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองอบไมโครเวฟและการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะให้ความร้อนของไมโครเวฟที่มีผลต่อการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการพองและค่าความแข็ง เพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสมมาใช้ในการทดลอง 2 ปัจจัย คือ กำลังไฟฟ้าและระยะเวลาให้ความร้อนต่ออัตราการพองของข้าวเกรียบโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface method) และการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (central composite design) และนำข้าวเกรียบที่ได้มาวิเคราะห์อัตราการพอง สี น้ำหนัก และความชื้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 การเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร

1.4.2 ลดปริมาณขยะของกากนมถั่วเหลืองที่เหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.4.3 เพื่อให้ทราบถึงประโยชน์ในการอบด้วยไมโครเวฟที่เหมาะสมในการทำข้าวเกรียบมากกว่าการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวเกรียบ

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลักโดยการนำแป้งผสมกับเครื่องปรุงรส ซึ่งอาจมีส่วนประกอบของเนื้อสัตว์ผัก ผลไม้ เช่น กุ้ง ปลา ฟักทอง มะม่วง เผือก งาดำ งาขาว ผสมให้เข้ากันแล้วปั้นขึ้นรูปให้เป็นรูปทรงตามที่ต้องการและนำมานึ่งให้สุก ตัดหรือสไลด์เป็นแผ่นบางๆ แล้วทำให้แห้งด้วยการตากโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่น เช่น ตู้อบลมร้อน เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบดิบควรเก็บใส่ภาชนะที่ปิดสนิทหรืออาจทอดก่อนบรรจุหีบห่อก็ได้ โดยข้าวเกรียบแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือข้าวเกรียบพร้อมบริโภคและข้าวเกรียบดิบ ลักษณะทั่วไปของข้าวเกรียบพร้อมบริโภค คือ เป็นแผ่นบางๆ มีความกรอบและพองตัวดีสม่ำเสมอ อาจแตกหักได้เล็กน้อย ไม่มีชิ้นที่ไหม้เกรียม มีสีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ และสีสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสเฉพาะของส่วนประกอบที่ใช้ และไม่มีสิ่งแปลกปลอมปนเปื้อน ลักษณะทั่วไปของข้าวเกรียบดิบ คือ มีลักษณะแห้งเป็นชิ้นไม่เกาะติดกัน แตกหักได้เล็กน้อย และมีสีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ และสีสม่ำเสมอ ทำการทดสอบตรวจลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบพร้อมบริโภค ต้องมีความกรอบไม่เหนียวหรือแข็ง ทดสอบโดยการตรวจพินิจและชิม สีต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของข้าวเกรียบ สม่ำเสมอไม่ไหม้เกรียม กลิ่นรสต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของข้าวเกรียบ ไม่มีกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม ไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ การทดสอบทำโดยการตรวจพินิจ ความชื้นของข้าวเกรียบพร้อมบริโภค ต้องไม่เกิน 4% โดยน้ำหนัก ส่วนข้าวเกรียบดิบมีคาวมชื้นไม่เกิน 12% โดยน้ำหนัก โดยมีการทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า ส่วนค่าเพอร์ออกไซด์ของข้าวเกรียบพร้อมบริโภค ต้องไม่เกิน 30 มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัม จากการทดสอบให้ปฏิบัติตาม IUPAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า วัตถุเจือปนอาหารห้ามใช้สีสังเคราะห์ทุกชนิด ห้ามใช้วัตถุกันเสียทุกชนิด เว้นแต่กรณีที่ติดมากับวัตถุดิบให้เป็นไปตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนด (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554)

2.2 กากนมถั่วเหลือง

กากนมถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้จากการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง (เต้าหู้) หรือผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองต่างๆ โดยแยกส่วนที่ไม่ละลายน้ำออกจากส่วนที่ละลายน้ำได้ กากนมถั่วเหลืองเรียกได้อีกชื่อว่า โอการ่า เมื่อบดถั่วเหลือง 100 กรัม กับน้ำจะได้กากนมถั่วเหลืองประมาณ 110 กรัม มีความชื้นสูงถึง 70-80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำกากนมถั่วเหลืองไปอบแห้งจะประกอบด้วยโปรตีน 24-28 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 8-12 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 40-44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเส้นใยอาหารที่ดี เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ 12-15 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งเกลือแร่และสารพฤกษเคมีต่างๆ นอกจากนี้โปรตีนที่มีอยู่ในกากนมถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพในด้านโภชนาการดี สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัดทางการค้า การสกัดโปรตีนจากกากถั่วเหลืองสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการละลายในสารละลายด่างที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โปรตีนที่สกัดได้มีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างจากโปรตีนที่สกัดจากถั่วเหลืองทั้งเมล็ด และการดัดแปรโปรตีนด้วยเอนไซม์ทำให้การละลายและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนสกัดจากกากนมถั่วเหลืองดีขึ้น กากนมถั่วเหลืองยังสามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร เช่นทดแทนแป้งสาลีในการผลิตคุกกี้ ขนมทองม้วน ทำให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีปริมาณโปรตีนและเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้น หรือนำมาผลิตอาหารหมัก ได้แก่นัตโต (natto) และเทมเป้ (tempeh) แทนการใช้ถั่วเหลืองทั้งเมล็ด นอกจากนี้กากนมถั่วเหลืองยังใช้เป็นแหล่งอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมการมัก เช่น การผลิตกรดซิตริก การใช้ประโยชน์จากกากนมถั่วเหลืองจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลพลอยได้จากการผลิตนมถั่วเหลืองหรือเต้าหู้ (ยุพร, 2550)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nguyen และคณะ (2013) ศึกษาเปรียบเทียบค่าความแข็ง ปริมาตรการพองและการประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบมันสำปะหลังกุ้งพองโดยเทคนิคไมโครเวฟและทอดและผลของความชื้นและปริมาณน้ำมันต่อลักษณะทางกายภาพ กล่าวถึงการพองตัวของข้าวเกรียบด้วยไมโครเวฟเพื่อทดแทนการทอด ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเริ่มต้นตั้งแต่ 16 ถึง 31.5% และเพิ่มเปอร์เซ็นต์น้ำมันจาก 0 ถึง 21% โดยน้ำหนัก ตัวอย่างจะถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ ก่อนทำการอบด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 1 นาทีที่กำลังไฟฟ้า 1,200 วัตต์ ผลการศึกษาพบว่าการอบด้วยไมโครเวฟ ความแข็งและปริมาตรของการขยายตัวนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับต่างๆ ของความชื้นเริ่มต้น และการเพิ่มเปอร์เซ็นต์น้ำมัน ดังนั้นความสามารถในการพองตัวของข้าวเกรียบแปรผันตามค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่เพิ่มเข้ามา ความแข็งของข้าวเกรียบที่ไม่มีน้ำมันจะสูงกว่าข้าวเกรียบที่มีน้ำมันอย่างเห็นได้ชัดในขณะที่ การลดความแข็งนั้นได้ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณน้ำมันในขณะที่ปริมาณการขยายตัวมีลดลง ในการทอดน้ำมันแบบลึกตัวอย่างจะได้รับการสัมผัสความร้อนจากทุกทิศทางทำให้เกิดการขยายตัวของปริมาตรอย่างรวดเร็ว มีขนาดสม่ำเสมอ และมีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างรูพรุนและข้าวเกรียบที่ทอดสุดท้ายให้คุณภาพสูง ความนุ่ม กรอบ อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำมันร้อน หลังจากกระบวนการทอดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ทอดสุดท้ายจึงค่อนข้างสูง ซึ่งสูงถึงประมาณ 35% ส่งผลต่อด้านสุขภาพของผู้บริโภคแล้วปริมาณน้ำมันที่สูงยังส่งผลต่อกลิ่นและกลิ่นหืนและทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สั้นลงในระหว่างการเก็บรักษา วิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟได้รับการยอมรับจากอุตสาหกรรม เนื่องจากข้อได้เปรียบในการให้ความร้อนมากกว่าวิธีการทำความร้อนแบบทั่วไป ความร้อนจากไมโครเวฟเป็นที่สนใจในกระบวนการพองตัว ทำให้อาหารที่ได้มีไขมันต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทอดน้ำมันลึก (น้ำมันท่วม) การดูดซับของไมโครเวฟด้วยวัสดุไดอิเล็กตริกส่งผลให้ไมโครเวฟให้พลังงานแก่วัสดุด้วยการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิและการถ่ายโอนมวลปริมาตร ซึ่งเป็นสมมุติฐานที่เป็นพลังทางกายภาพสำหรับกระบวนการพอง การขยายตัว (การพอง) เป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของข้าวเกรียบ การพองตัวด้วยไมโครเวฟอมีความสัมพันธ์กับสถานะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ สำหรับการพองตัวการระเหยและแรงดันมีบทบาทสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการก่อนการทำแห้งจะสร้างชั้นที่มีสารเคลือบผิวบางๆ ก่อนการพองตัวซึ่งมีอิทธิพลต่อปริมาตรการขยายตัวของข้าวเกรียบ คุณสมบัติทางเคมีของแป้งและส่วนประกอบภายนอกก็เป็นปัจจัยสำคัญในการขยายของปริมาตรของการพอง นอกเหนือจากอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกตินในแป้ง การมีปฏิสัมพันธ์กับส่วนผสมอื่นๆ ในแป้งนั้นสัมพันธ์กับปริมาณข้าวเกรียบ การขยายตัวของข้าวเกรียบทอดลดลงเมื่อแป้งมีโปรตีนและไขมันในปริมาณสูง และยับยั้งการเกิดเจลาติไนเซชั่น การพองตัวด้วยไมโครเวฟทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการพองตัวด้วยทอดน้ำมันเนื่องจากปริมาณน้ำมันลดลง กระบวนการพองตัวไมโครเวฟต้องใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงในการสร้างแรงดันในการพองตัว อุณหภูมิสูงสามารถช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ในระยะเวลาการทดลองที่ยาวนานทำให้เกิดผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น รอยไหม้ ดังนั้นสำหรับการพองตัวของไมโครเวฟควรใช้ระยะเวลาในการทดลองสั้นเมื่อใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟสูง

Ahza และคณะ (2014) ศึกษาอัตราส่วนระหว่างข้าว : มันสำปะหลัง และเวลากับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบและทอดข้าวเกรียบที่เสริมด้วยแครอทกับผักชี, ผักเซเลอรี่, ต้นหอมแขก และนมพร่องมันเนยโดยใช้การออกแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ การวิจัยพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างสูตรผสมและวิธีการอบและทอดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทางลักษณะทางกายภาพ, การทดสอบทางประสาทสัมผัส และคุณสมบัติทางเคมีของข้าวเกรียบ ข้าวเกรียบข้าวมันสำปะหลังอบที่ดีที่สุด คืออัตราส่วน 80:20 อบที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที และข้าวเกรียบข้าวมันสำปะหลังทอดข้าวที่ดีที่สุด คืออัตราส่วน 60:40 ทอดที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที ข้าวเกรียบทอดมีโครงสร้างจุลภาคที่ละเอียดกว่าและเป็นที่นิยมมากกว่าอบ อย่างไรก็ตามข้าวเกรียบที่ดีที่สุดมีแนวโน้มที่จะพัฒนาต่อไป

Patel และคณะ (2015) ศึกษาคุณสมบัติและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่อุดมด้วยโปรตีนถูกสร้างขึ้นโดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่และผลของระดับแป้งมันสำปะหลัง (11 ถึง 40 ส่วน), เรนเน่เคซีน (6 ถึง 20 ส่วน) และแป้งข้าวฟ่าง (25 ถึง 75 ชิ้นส่วน) พบว่าการเพิ่มระดับของแป้งข้าวฟ่างนั้นทำให้ขนมขบเคี้ยวมีค่าความสว่างลดลง (L) แม้ว่าแป้งโดยทั่วไปมีแนวโน้มที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น แป้งและเคซีนแสดงค่าสีแดง (a) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางระดับส่วนผสม แต่ค่าสีเหลือง (b) จะลดลงเมื่อระดับข้าวฟ่างเพิ่มขึ้น แป้งมันสำปะหลังเพิ่มอัตราส่วนการขยายตัวและลดความหนาแน่นและความแข็งของขนมขบเคี้ยวอย่างมีนัยสำคัญในขณะที่แป้งข้าวฟ่างมีผลตรงกันข้าม แป้งข้าวฟ่างมีผลกระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 กากนมถั่วเหลือง	200 กรัม
3.1.1.2 แป้งมันสำปะหลัง	250, 300, 350, 400 กรัม
3.1.1.3 เกลือ	2 ช้อนชา
3.1.1.4 น้ำตาล	3 ช้อนโต๊ะ
3.1.1.5 พริกไทยป่น	$1\frac{1}{2}$ ช้อนชา
3.1.1.6 กระเทียมโขลกละเอียด	2 ช้อนชา
3.1.1.7 น้ำเปล่า	60, 80, 100, 120 มิลลิเมตร
3.1.1.8 น้ำมันพืช	

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์เครื่องครัว
3.2.2 ไมโครเวฟ (ยี่ห้อ Samsung รุ่น ME711K)
3.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักอัตโนมัติ
3.2.4 เครื่องสไลด์กึ่งอัตโนมัติ
3.2.5 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dry)
3.2.6 โถดูดความชื้น (Desiccator)
3.2.7 ที่คีบ (Tong)
3.2.8 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
3.2.9 บีกเกอร์ (Beaker) 250 ml
3.2.10 Moisture can
3.2.11 เครื่องวัดอุณหภูมิ
3.2.12 เครื่องวัดสี (Minolta รุ่น CR-400)
3.2.13 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA.HD.Plus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการเตรียมและวิธีการทดลอง

3.3.1 ส่วนผสมและอัตราส่วนของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

ตารางที่ 3.1 ปริมาณส่วนผสมของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองในแต่ละสูตร

ส่วนผสมแต่ละสูตร (กรัม)	80%SMP	67%SMP	57%SMP	50%SMP
แป้งมันสำปะหลัง	250	300	350	400
กากนมถั่วเหลืองสด	200	200	200	200
พริกไทย	2.4	2.4	2.4	2.4
น้ำตาลทราย	40	40	40	40
กระเทียมโขลกละเอียด	9	9	9	9
เกลือ	9	9	9	9
น้ำต้มสุก (มิลลิลิตร)	60	80	100	120
รวม	570.4	640.4	710.4	780.4

ที่มา: ดัดแปลงจาก นันทยา และคณะ (2562)

ตารางที่ 3.2 ปริมาณส่วนผสมของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองในแต่ละสูตรคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

ส่วนผสมแต่ละสูตร (%)	80%SMP	67%SMP	57%SMP	50%SMP
แป้งมันสำปะหลัง	43.8	46.8	49.3	51.3
กากนมถั่วเหลืองสด	35.1	31.2	28.2	25.6
พริกไทย	0.4	0.4	0.3	0.3
น้ำตาลทราย	7.0	6.2	5.6	5.1
กระเทียมโขลกละเอียด	1.6	1.4	1.3	1.2
เกลือ	1.6	1.4	1.3	1.2
น้ำต้มสุก (มิลลิลิตร)	10.5	12.5	14.1	15.4
รวม	100	100	100	100

ที่มา: ดัดแปลงจาก นันทยา และคณะ (2562)

หมายเหตุ
- ปริมาณกากนมถั่วเหลืองที่ใช้เป็นส่วนผสมคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง
- การทดลองวิเคราะห์สูตรได้มีการผิดพลาด คือ การกำหนดกากนมถั่วเหลืองคงที่ 200 กรัมทำให้การคำนวณส่วนผสมผิดทั้งหมด ส่งผลให้ส่วนผสมแต่ละสูตรไม่เท่ากัน
- % SMP คือ % Soy milk pulp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ขั้นตอนการทำข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

> ข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองสูตร 80%SMP

1) นำแป้งมันสำปะหลัง 250 กรัม กากนมถั่วเหลืองสด 200 กรัม กระเทียม 9 กรัม พริกไทย 2.4 กรัม เกลือ 9 กรัม น้ำตาลทราย 40 กรัม ผสมเข้าด้วยกัน ค่อยๆเติมน้ำและนวดไปเรื่อย ๆ จนเป็นเนื้อเดียวกัน

2) ปั้นขึ้นรูปเป็นแท่งยาวประมาณ 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร และพันด้วยแผ่นฟิล์มถนอมอาหาร

3) นำแท่งข้าวเกรียบวางลงในตะแกรงรังผึ้ง ที่ทาน้ำมันพืชไว้ เว้นระยะห่างระหว่างแท่งข้าวเกรียบให้พอเหมาะ เพื่อให้ไอน้ำขึ้นมาได้ นึ่งในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นนำไปเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ผิวนอกแข็งสะดวกต่อการสไลด์

4) นำมาสไลด์เป็นชิ้นบางขนาด 0.2 เซนติเมตร

5) นำไปเข้าตู้อบ tray dry ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวเกรียบแห้งสนิท

6) นำข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ได้บรรจุใส่ภาชนะที่ปิดสนิท

หมายเหตุ การทำข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองในแต่ละสูตรมีขั้นตอนและวิธีการทดลองเดียวกัน

3.3.3 วิธีการทดลองการวิเคราะห์สูตรข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

> วัดค่าความแข็งของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

1) นำข้าวเกรียบดิบอบไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 15 วินาที

2) นำข้าวเกรียบมาวัดค่าความแข็งด้วยเครื่อง texture analyzer รุ่น TA.HD.plus โดยใช้หัววัด P/0.25 วัดค่าความแข็ง (hardness) จากแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ (กรัม) ที่อัตราเร็วของหัววัด 1.0 มิลลิเมตร/วินาที ในแต่ละสูตรของข้าวเกรียบจะทำการวัดค่าความแข็งโดยทดลองสูตรละ 3 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำวัดค่าแรงกดของข้าวเกรียบ 5 ครั้ง เพื่อนำค่ามาเฉลี่ย จากวิธีการทดสอบที่ 3.3.8.2

3) นำค่าความแข็งเฉลี่ยที่วัดได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

> วัดอัตราการพองตัวของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

1) นำข้าวเกรียบดิบชั่งน้ำหนัก และทำการวัดปริมาตรของชิ้นข้าวเกรียบดิบ โดยทำการทดลองสูตรละ 3 ซ้ำ เพื่อนำค่ามาเฉลี่ย

2) นำข้าวเกรียบแต่ละสูตรทำการอบที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 15 วินาที

3) ทำการชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบที่ผ่านการอบไมโครเวฟ และทำการวัดปริมาตรข้าวเกรียบอีกครั้ง

4) คำนวณหาค่าอัตราการพอง จากวิธีการทดสอบที่ 3.3.8.1 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 วิธีการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟในการอบข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองแทนการทอดที่มีผลต่ออัตราการพอง

1) นำข้าวเกรียบดิบชั่งน้ำหนัก และทำการวัดปริมาตรของชิ้นข้าวเกรียบดิบ

2) ทำการอบข้าวเกรียบตามกำลังไฟฟ้าและเวลาที่กำหนดจากโปรแกรม response surface methodology : RSM ดังที่แสดงในข้อที่ 3.4.1

3) ทำการชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบที่ผ่านการอบไมโครเวฟ และทำการวัดปริมาตรข้าวเกรียบอีกครั้ง

4) คำนวณหาค่าอัตราการพอง จากวิธีการทดสอบที่ 3.3.8.1 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.3.5 วิธีการทดลองการเปรียบเทียบค่าสีของข้าวเกรียบอบไมโครเวฟกับทอด

1) นำข้าวเกรียบดิบที่ผ่านการอบตามกำลังไฟฟ้าและเวลาที่กำหนดจากโปรแกรม response surface methodology; RSMทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องMinolta CR-400 โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการวัดค่าสี 3 ซ้ำ เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

2) ทอดข้าวเกรียบดิบในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงถึง 200 –210 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3-4 วินาที ตั้งพักทิ้งไว้ให้เย็น และทำการวัดค่าสีตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3) นำค่าสีที่วัดได้จากทั้ง 2 วิธี ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.3.6 วิธีการทดลองหาค่าปริมาณความชื้นข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

1) ทำการฆ่าเชื้อ moisture can ด้วยเครื่อง hot air oven ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บใส่ dessicator ตั้งพักทิ้งไว้ให้เย็น

2) ชั่งน้ำหนัก moisture can เปล่าที่ผ่านการฆ่าเชื้อ

3) ใส่ตัวอย่างใน moisture can และทำการชั่งน้ำหนัก

4) นำ moisture can + ตัวอย่าง อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5) นำ moisture can + ตัวอย่าง ใส่ dessicator ตั้งพักทิ้งไว้ให้เย็น และทำการชั่งน้ำหนัก moisture can + ตัวอย่าง

6) คำนวณหาค่าปริมาณความชื้น จากวิธีการทดสอบที่ 3.3.8.4

7) นำค่าที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.3.7 วิธีการทดลองชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่เปรียบเทียบระหว่างอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน

<u>> วิธีทอดน้ำมัน</u>

1) ชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบดิบ 10 กรัม

2) ทอดข้าวเกรียบดิบในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงถึง 200 –210 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3-4 วินาที ตั้งพักทิ้งไว้ ให้เย็น และชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

> วิธีอบไมโครเวฟ

1) ชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบดิบ 10 กรัม

2) เลือกอบข้าวเกรียบตามกำลังไฟฟ้าและเวลาที่กำหนดจากโปรแกรม response surface methodology : RSM มา 1 การทดลอง (600 วัตต์ 15 วินาที) และทำการชั่งน้ำหนักข้าวเกรียบ

3.3.8 วิธีการทดสอบ

3.3.8.1 การหาอัตราการพอง

ใช้หลักการแทนที่ด้วยเมล็ดงา (seed displacement) โดยเทเมล็ดงาลงในภาชนะที่มีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับใส่ข้าวเกรียบลงไป เทจนเต็มแล้วใช้วัสดุผิวเรียบปาดเมล็ดงาส่วนเกินออก แล้วชั่งน้ำหนักเมล็ดงาเพื่อหาปริมาตรภาชนะ เช่นเดียวกันกับการวัดปริมาตรข้าวเกรียบใส่ข้าวเกรียบลงในภาชนะ เทเมล็ดงาปิดทับให้ท่วมและใช้วัสดุผิวเรียบปาดเมล็ดงาส่วนเกินออก แล้วชั่งน้ำหนักเมล็ดงาเพื่อนำไปวัดปริมาตร โดยนำน้ำหนักเมล็ดงาหารด้วยความหนาแน่นของเมล็ดงาเพื่อให้ได้ปริมาตรเมล็ดงา แล้วนำไปคำนวณอัตราการพองของข้าวเกรียบดังสมการ(จิรรัชต์, 2559)

ปริมาตรของข้าวเกรียบ = ปริมาตรของภาชนะ (มิลลิลิตร) – ปริมาตรของเมล็ดงา (มิลลิลิตร)

$$\text{อัตราการพองตัว (เท่า)} = \frac{\text{ปริมาตรของข้าวเกรียบหลังพอง (มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาตรของข้าวเกรียบก่อนพอง (มิลลิลิตร)}}$$

3.3.8.2 การทดสอบเนื้อสัมผัส

ในการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบกากถั่วเหลืองวัดโดยใช้เครื่อง texture analyzer รุ่น TA.HD.plus ใช้หัววัด P/0.25 วัดค่าความแข็ง (hardness) จากแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ *(กรัม)* ที่อัตราเร็วของหัววัด 1.0 มิลลิเมตร/วินาที เลือก fracturability of tortilla chipsโดยการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบใน4สูตร ในแต่ละสูตรของข้าวเกรียบจะทำการวัดค่าความแข็งโดยทดลองสูตรละ 3 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำวัดค่าแรงกดของข้าวเกรียบ 5 ครั้ง เพื่อนำค่ามาเฉลี่ย (ธีระพงศ์, 2561)

3.3.8.3 การทดสอบสี

ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง วัดสี Minolta รุ่น CR-400 วัดค่าสี L*a*b* ของข้าวเกรียบกากถั่วเหลืองหลังการอบด้วยไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8.4 การหาค่าปริมาณความชื้น

ทำการทดสอบโดยนำ moisture canไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่ตู้อบลมร้อน นำออกจากตู้อบลมร้อนไปใส่โถดูดความชื้นรอให้เย็นชั่งน้ำหนัก (4 ตำแหน่ง) (X) และจดบันทึก จากนั้นใส่ข้าวเกรียบลงใน moisture can 1 ชิ้น ชั่งน้ำหนัก (4 ตำแหน่ง) (X_1) และจดบันทึก นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบไปใส่โถดูดความชื้นรอให้เย็นชั่งน้ำหนัก (4 ตำแหน่ง) (X_2) และจดบันทึก แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นจากสมการ :

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(x_1-x)-(x_2-x)}{x_1-x}$$

3.4 แผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

โปรแกรม design expert นำมาใช้ในการสร้างแผนการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล สร้างพื้นผิวตอบสนอง และสร้างสมการในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการพองของข้าวเกรียบตามการทดลองดังต่อไปนี้

3.4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟในการอบข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองแทนการทอด โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ เวลาและกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่ออัตราการพอง

แผนการทดลองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองใช้แผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษา 2 ตัว คือ กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ (X_1) ในช่วง 600-800 วัตต์ และ ระยะเวลา (X_2) ในช่วง 15-25 วินาที หลังจากการประมวลผลโดยโปรแกรมจะได้ระดับของปัจจัย 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 3.1 ออกแบบการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง โดยมีการทดลองที่แตกต่างกัน 8 การ ทดลอง และมีจุดกึ่งกลางทั้งหมด 5 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ central composite design.

ปัจจัย	หน่วย	รหัส	ระดับ		
			-1	0	1
กำลังไฟฟ้า	วัตต์	X_1	600	700	800
ระยะเวลา	วินาที	X_2	15	20	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ central composite design.

Std.	Run	X_1: กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	X_2: ระยะเวลา (วินาที)
13	1	700	20
4	2	800	25
12	3	700	20
8	4	700	25
11	5	700	20
6	6	800	20
9	7	700	20
2	8	800	15
1	9	600	15
5	10	600	20
7	11	700	15
10	12	700	20
3	13	600	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์สูตรข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

ผลจากการวิเคราะห์สูตรของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง ที่มีขนาดความหนา 0.2 เซนติเมตร พบว่าค่าอัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองสูตร 57%SMP และ50%SMP ไม่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.1 เนื่องจากโครงสร้างแผ่นข้าวเกรียบแสดงการขยายตัวสูงเป็น 1.5 เท่า ซึ่งมีการขยายตัวของพื้นที่แผ่นข้าวเกรียบเป็นรูพรุนสูงมากกว่าโครงสร้างข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองสูตร 80%SMP และ 67%SMP ส่วนค่าความแข็ง (hardness) ที่ได้จากการทดสอบข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองมากที่สุด คือ 1240.53 กรัม ซึ่งหมายถึงว่าข้าวเกรียบมีความแตกหักได้ยาก ในขณะที่ค่าความแข็งน้อยที่สุด คือ 797.14 กรัม แสดงให้เห็นว่าข้าวเกรียบมีลักษณะแข็งเปราะ สามารถแตกหักได้ง่าย ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองสูตร 57%SMP และ 80%SMP มีค่าความแข็งเป็นไปได้เหมือนทั้งสูตร 67%SMP และ 50%SMP แต่แตกต่างกันที่อัตราการพองตัว ซึ่งค่าอัตราการพองตัวของสูตร 57%SMP และ 50%SMP มีการขยายตัวสูงมากกว่าสูตรอื่น ดังนั้น ผลการวิเคราะห์สูตรข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง ในปัญหาพิเศษนี้จึงสรุปว่าสูตร 57%SMP เป็นสูตรที่เหมาะสมเพราะใช้กากนมถั่วเหลืองสูงกว่าสูตร 50%SMP โดยมีอัตราการพองตัวไม่แตกต่างกัน

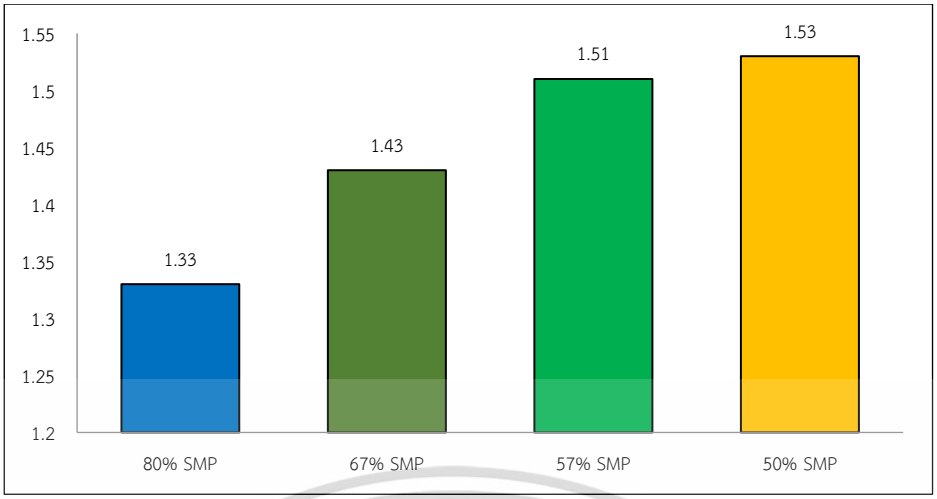
ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราการพองและค่าความแข็งของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง

สูตรข้าวเกรียบ	อัตราการพองตัว (เท่า)	ความแข็ง (กรัม)
แป้ง250กรัม+กากถั่วเหลือง200กรัม (80%SMP)	1.33±0.05^{c}	875.95±108.81^{ab}
mแป้ง300กรัม+กากถั่วเหลือง200กรัม (67%SMP)	1.43±0.04^{b}	797.14±266.66^{b}
แป้ง350กรัม+กากถั่วเหลือง200กรัม (57%SMP)	1.51±0.06^{a}	808.94±113.90^{ab}
แป้ง400กรัม+กากถั่วเหลือง200กรัม (50%SMP)	1.53±0.10^{a}	1240.53±15.91^{a}

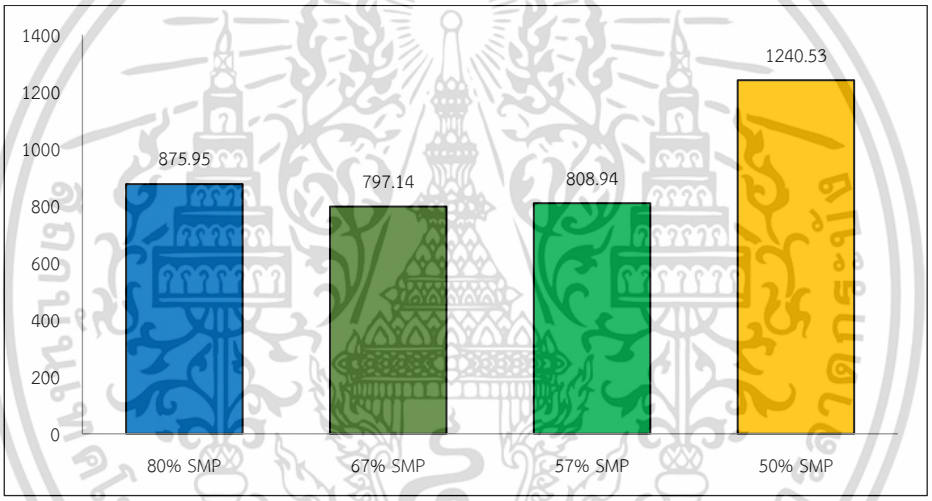
หมายเหตุ $^{a-c}$ คือ อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

โดยผลการทดลองความแข็งและอัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ผ่านการอบไมโครเวฟของทั้ง 4 สูตร ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ระยะเวลาให้ความร้อน 15 วินาที นำมาทดสอบค่าความแข็งโดยใช้เครื่อง texture analyzer รุ่น TA.HD.plus และหาค่าอัตราการพองด้วยการแทนที่ด้วยเมล็ดงา แสดงผลตามภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงค่าอัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ระดับปริมาณแป้งแต่ละสูตรที่อบไมโครเวฟ



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความแข็งของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ระดับปริมาณแป้งแต่ละสูตรที่อบไมโครเวฟ

ภาพที่ 4.3 แผ่นข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองหลังจากผ่านการอบไมโครเวฟที่แสดงการพองตัวของโครงสร้างของแต่ละสูตรที่ใช้กากนมถั่วเหลืองเป็นส่วนผสม : ก) 80%SMP ข) 67%SMP ค) 57%SMP และ ง) 50%SMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟที่มีผลต่ออัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองโดยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) สำหรับผลการทดลอง ของการออกแบบแบบ CCD ถูกแสดงในตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง เพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสม พบว่ารูปแบบเส้นตรง (Linear) ได้รับการยอมรับให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้จากที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ค่า p-value ของรูปแบบ สมการมีความเหมาะสม (model fit) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ความไม่สมรูปของข้อมูล (lack-of-fit) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.27	2	0.13	40.92	< 0.0001	significant
A-Power	0.21	1	0.21	63.34	< 0.0001	
B-Time	0.060	1	0.060	18.51	0.0016	
Residual	0.032	10	0.0032			
Lack of Fit	0.019	6	0.0031	0.92	0.5582	not significant
Pure Error	0.014	4	0.0034			
Cor Total	0.3	12				

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟที่มีผลต่ออัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง พบว่าอัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองในทุกชุดการทดลอง อยู่ระหว่าง 1.55 เท่า ถึง 2.05 เท่า แสดงในตารางที่ 4.3 นำผลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย เพื่อนำไปสร้างสมการเพื่อทำนายค่าของการตอบสนอง โดยสามารถหาพื้นผิวตอบสนองที่จุดใดๆ ในแต่ละช่วงของปัจจัยได้ดังแสดงในสมการที่ 4.1

แทนค่าในสมการโดยจะเรียกค่าที่ได้จากสมการ 4.1 ว่าค่าจากการทำนายซึ่งสามารถประมาณค่าอัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง ได้อยู่ระหว่าง 1.48 ถึง 2.04

$$R1 = 0.0965 + 0.0018X_1 + 0.02X_2 \quad (4.1)$$

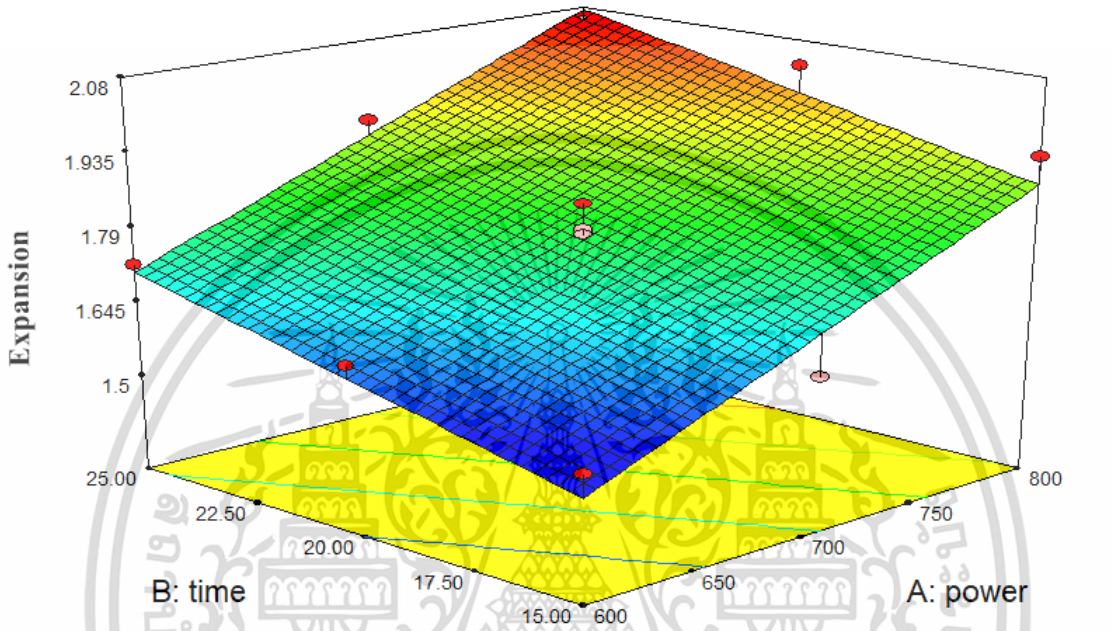
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 อัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ได้จากการทดลองและการทำนาย

การทดลอง	กำลังไฟฟ้า A	ระยะเวลา B	อัตราการพอง (เท่า)	
			การทดลอง	สมการทำนาย
1	700	20	1.78	1.76
2	800	25	2.05	2.04
3	700	20	1.79	1.76
4	700	25	1.92	1.86
5	700	20	1.84	1.76
6	800	20	2.03	1.94
7	700	20	1.68	1.76
8	800	15	1.93	1.84
9	600	15	1.55	1.48
10	600	20	1.63	1.58
11	700	15	1.61	1.66
12	700	20	1.76	1.76
13	600	25	1.72	1.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตอบสนองพื้นผิวของอัตราการพองข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองทำได้โดยการสร้างแผนภาพพื้นผิวตอบสนองจากสมการที่หามาได้ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแสดงผลของ 2 ตัวแปร ดังแสดง ในภาพที่ 4.4 จากภาพ 4.4 พบว่าจุดเหมาะสมระหว่างระยะเวลาในการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 25 วินาที และ 800 วัตต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองแสดงผลของระยะเวลาในการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองและกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเปรียบเทียบค่าสี ค่าปริมาณความชื้น และค่าน้ำหนักของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองอบไมโครเวฟกับทอดน้ำมัน

ผลการเปรียบเทียบค่าสี จากการนำข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองสูตร 57%SMP อบไมโครเวฟตามกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่กำหนดด้วยโปรแกรม design expert 7.0 และการทอดน้ำมันทำการวัดค่าความสว่าง (L) ค่าสีเขียว - แดง (a) ค่าสีเหลือง – น้ำเงิน (b) ด้วยเครื่อง Minolta CR-400 พบว่า ค่าความสว่าง (L) ค่า a และค่า b จากตารางที่ 4.4 ของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองมีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งข้าวเกรียบอบไมโครเวฟมีค่าความสว่าง (L) มากกว่าข้าวเกรียบทอดน้ำมัน โดยค่าความบริสุทธิ์ของสี (chroma) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างความเข้มของสีในเฉดเดียวกันได้อย่างชัดเจนในทางตรงกันข้ามข้าวเกรียบทอดน้ำมันมีความเป็นสีเหลือง (b) มากกว่าข้าวเกรียบอบไมโครเวฟ แสดงให้เห็นได้จากค่าเฉดสี (hue) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สามารถบอกถึงความแตกต่างของสีได้อย่างชัดเจน

ในส่วนของการเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่มีขนาด 0.2 เซนติเมตร จากตารางที่ 4.5 ค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเกรียบดิบอยู่ที่ 7.03 เมื่อนำข้าวเกรียบผ่านการทำสุกด้วยการอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน พบว่าข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งข้าวเกรียบอบไมโครเวฟมีค่าปริมาณความชื้นเท่ากับ 2.97 และค่าปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบทอดเท่ากับ 3.35

ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองอบไมโครเวฟและทอด จากภาพที่ 4.5 พบว่าข้าวเกรียบทอดน้ำมันมีน้ำหนักมากกว่าข้าวเกรียบอบไมโครเวฟ เนื่องจากในข้าวเกรียบมีความชื้นอยู่ภายในเมื่อนำข้าวเกรียบดิบไปทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงถึง 200 – 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 4 วินาทีในระหว่างการทอดข้าวเกรียบจะได้รับความร้อนโดยมีน้ำมันเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน น้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส ทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในโครงสร้างของแผ่นข้าวเกรียบเกิดการระเหยกลายเป็นไอสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว ทำให้ความชื้นของข้าวเกรียบลดลง และถูกแทนที่ด้วยน้ำมัน จึงทำให้แผ่นข้าวเกรียบทอดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งในทางตรงกันข้ามข้าวเกรียบอบไมโครเวฟนั้นมีน้ำหนักของแผ่นข้าวเกรียบลดลง เนื่องจากค่าปริมาณความชื้นที่มีอยู่ภายในโครงสร้างแผ่นข้าวเกรียบระเหยออกสู่ภายนอกทำให้น้ำภายในโครงสร้างหายไป โดยข้าวเกรียบที่ใช้ในการทดลองมีค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น 7.03 จากที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงสันนิฐานได้ว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของข้าวเกรียบทอดน้ำมันเกิดจากการดูดซับน้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำที่ระเหยออกสู่ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าสีของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน

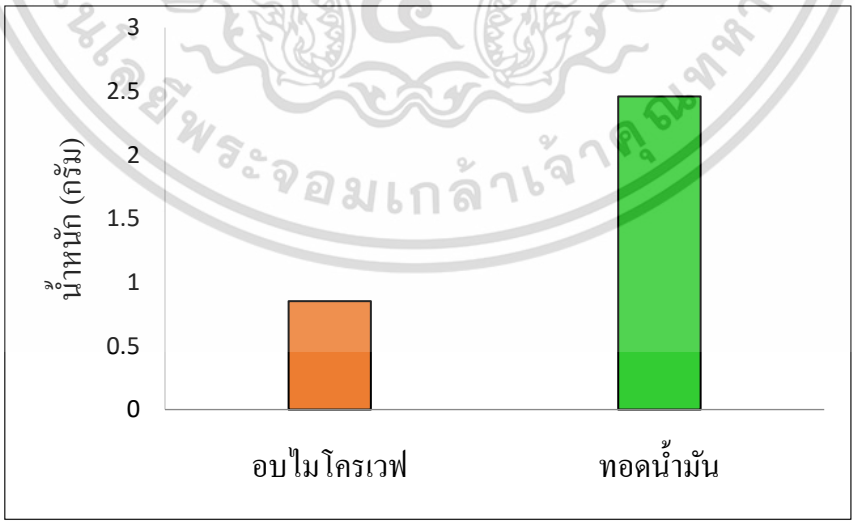
ข้าวเกรียบ	ค่าสี				
	L	a	b	Hue	chroma
ไมโครเวฟ (800 วัตต์, 25 วินาที)	72.21 ± 0.16[a]	0.80 ± 0.14[b]	9.48 ± 0.64[b]	1.49 ± 0.01[a]	45.39 ± 6.17[b]
ทอด	66.32 ± 1.31[b]	1.87 ± 0.54[a]	14.82 ± 1.75[a]	1.45 ± 0.02[b]	112.75 ± 26.55[a]

หมายเหตุ [a-b] คือ อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองอบไมโครเวฟและการทอดน้ำมัน

ข้าวเกรียบ	ปริมาณความชื้น (%)
ข้าวเกรียบดิบ	7.03 ±0.22[a]
ข้าวเกรียบอบไมโครเวฟ	2.97 ±0.42[b]
ข้าวเกรียบทอด	3.35 ±0.26[b]

หมายเหตุ [a-b] คือ อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกันหมายความว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดน้ำมันและอบไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของไมโครเวฟที่มีผลต่ออัตราการพองของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองโดยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง โดยพิจารณาปัจจัย 2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลือง คือ กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ (วัตต์) และเวลาที่ใช้ในการอบ (วินาที) โดยใช้ข้าวเกรียบสูตร 57%SMP ซึ่งเป็นสูตรที่ใส่กากถั่วเหลือง 28.2 % เพราะมีอัตราการพองตัวสูง ผลการทดลองพบว่าสภาวะการให้ความร้อนด้วยเตาอบไมโครเวฟที่เหมาะสมซึ่งทำให้ข้าวเกรียบเกิดอัตราการพองสูงที่สุด คือใช้ระยะเวลา 25 วินาที ที่ระดับกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ทำให้เกิดอัตราการพอง 2.05 เท่า การศึกษาคุณลักษณะของข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองก่อนและหลังพอง ที่ผ่านการอบไมโครเวฟเปรียบเทียบกับทอดน้ำมัน โดยพิจารณาค่าปริมาณความชื้นและน้ำหนักพบว่าข้าวเกรียบอบไมโครเวฟมีความชื้นและน้ำหนักลดลง ส่วนข้าวเกรียบทอดมีความชื้นลดลงแต่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นแสดงว่าข้าวเกรียบทอดมีการอุ้มน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบสีของข้าวเกรียบที่ได้ พบว่าข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองอบไมโครเวฟมีสีสว่างสม่ำเสมอกันมากกว่าข้าวเกรียบที่ผ่านการทอดซึ่งมีสีคล้ำและเข้มกว่าอย่างเห็นได้ชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

จิรรัชต์ กันทะขู้ , บุษบา มะโนแสน และ กัลย์สุดา แสงสุข. 2559. ลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบว่าวที่ทำจากข้าวเหนียวพันธ์ที่เพาะปลูกในจังหวัดน่าน. สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน.

ธีระพงค์ หมวดศรี. 2561. วิธีการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://agro-industry.rmutsv.ac.th/agro/th/content. 1 มิถุนายน 2563

นันทยา เก่งเขตร์กิจ , เริงนภรณ์ โม้พวง , อรรณพ ทัศนอุดม และ อนุพงศ์ ยอดเพชร. 2562. อิทธิพลของปริมาณแป้งข้าวสาลีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบน้ำพริกปลาร้าทรงเครื่อง. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. 11: 2-13.

ยุพร พืชกมุทร. 2550. การใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลือง. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 15: 34-41.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2554. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวเกรียบ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์.

Ahza, B.A., Fidiena, I.T. and Suryatman, S. 2015. Physical, Sensorial and Chemical Characteristics of Simulated Chips of Cassava (Manihot esculenta Crantz): Rice (Oryza sativa L.) mix. Procedia Food Science. 3: 82-95.

Nguyen, T.T., Le, Q.T. and Songsermpong, S. 2013. Shrimp Cassava Cracker Puffed by Microwave Technique: Effect of Moisture and Oil Content on Some Physical Characteristics. Department of Food Science and Technology. Faculty of Agro-Industry. Kasetsart University.

Patel, R.J., Petel, A.A. and Singh, K.A. 2016. Production of a protein-rich extruded snack base using tapioca starch, sorghum flour and casein. J Food Science Technology. 53(1): 71-87.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ข้อมูลผลการศึกษาการวัดสีในข้าวเกรียบ

ก.1 ผลการศึกษาการวัดสีในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการวัดสีในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน

ข้าวเกรียบ		ค่าความสว่าง (L)	สีเขียว-แดง (a)	สีเหลือง-น้ำเงิน (b)
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ระยะเวลา (วินาที)			
600	15	75.19	-0.18	6.99
600	20	77.61	1.02	10.72
600	25	70.18	3.70	15.70
700	15	74.38	1.05	8.84
700	20	74.48	1.18	10.81
700	20	75.38	-0.04	9.31
700	20	72.10	0.99	10.15
700	20	75.85	1.90	12.11
700	20	71.33	0.42	9.81
700	25	72.62	1.32	10.51
800	15	74.75	-0.13	7.51
800	20	73.13	0.84	10.01
800	25	72.81	0.77	11.52
ทอดน้ำมัน	200-210	64.61	2.19	16.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการศึกษาน้ำหนักในข้าวเกรียบ

ข.1 ผลการศึกษาน้ำหนักในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการศึกษาปริมาณน้ำมันโดยการชั่งน้ำหนักในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน

ข้าวเกรียบ	น้ำหนักก่อนทอด (กรัม)	น้ำหนักหลังทอด (กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ (กรัม)
ข้าวเกรียบทอด	10.71	13.21	2.50
	10.16	12.52	2.36
	10.47	12.21	1.74
	10.16	12.26	2.10
	10.59	12.51	1.92

ข้าวเกรียบ	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ (กรัม)
ข้าวเกรียบอบไมโครเวฟ	0.88	0.81	0.07
	0.86	0.79	0.06
	0.89	0.82	0.07
	0.97	0.90	0.07
	0.88	0.81	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ข้อมูลผลการศึกษาการหาค่าปริมาณความชื้นในข้าวเกรียบ

ค.1 ผลการศึกษาการหาค่าปริมาณความชื้นในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน

ตารางที่ ค.1 แสดงผลการหาค่าปริมาณความชื้นในข้าวเกรียบอบไมโครเวฟและทอดน้ำมัน

ข้าวเกรียบ		น้ำหนัก moisture can +ตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนัก moisture can +ตัวอย่างหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)	ปริมาณความชื้น (%)
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	น้ำหนัก moisture can (กรัม)					
600	16.4511	17.1124	17.0979	0.6613	0.6468	2.1926
600	17.8156	18.6106	18.5870	0.7950	0.7714	2.9685
600	17.7438	18.4606	18.4428	0.7168	0.6990	2.4382
700	19.9609	20.6781	20.6581	0.7172	0.6972	2.7886
700	14.3307	14.9429	14.9271	0.6122	0.5964	2.5808
700	17.6006	18.2751	18.2601	0.6745	0.6595	2.2238
700	18.4334	19.0385	19.0225	0.6051	0.5891	2.6441
700	17.0954	17.7127	17.6883	0.6173	0.5929	3.9526
700	17.7450	18.2391	18.2257	0.4941	0.4807	2.7120
700	17.6364	18.1905	18.1766	0.5541	0.5402	2.5085
800	20.7549	21.3646	21.3391	0.6097	0.5842	4.1823
800	16.4563	17.0511	17.0347	0.5949	05785	2.7567
800	19.7068	20.3975	20.3791	0.6907	0.6723	2.6639
ทอดน้ำมัน	16.2002	17.0991	17.0652	0.8989	0.8650	3.7712
ทอดน้ำมัน	18.8999	19.9732	19.9481	1.0733	1.0482	2.3385
ทอดน้ำมัน	17.7301	18.7348	18.6980	1.0047	0.9679	3.6627
ทอดน้ำมัน	17.1912	18.2437	18.2096	1.0525	1.0184	3.2399
ทอดน้ำมัน	17.7424	18.6483	18.6207	0.9059	0.8783	3.0466

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
ข้อมูลผลการศึกษาการวัดอัตราการพองในข้าวเกรียบ

ง.1 ผลการศึกษาการวัดอัตราการพองในข้าวเกรียบอบด้วยไมโครเวฟ

ตารางที่ ง.1 แสดงผลการวัดอัตราการพองในข้าวเกรียบการอบด้วยไมโครเวฟ

Run	ปริมาตรถ้วยตวง (มิลลิลิตร)	น้ำหนักเมล็ดงาก่อนพอง (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดงาหลังพอง (กรัม)	ปริมาตรเมล็ดงาก่อนพอง (มิลลิลิตร)	ปริมาตรเมล็ดงาหลังพอง (มิลลิลิตร)	ปริมาตรข้าวเกรียบก่อนพอง (มิลลิลิตร)	ปริมาตรข้าวเกรียบหลังพอง (มิลลิลิตร)	อัตราการพอง (เท่า)
1	236.58	117.36	115.55	231.62	228.04	4.97	8.54	1.72
2	236.58	117.74	116.07	232.37	229.07	4.22	7.52	1.78
3	236.58	117.93	116.39	232.74	229.70	3.85	6.89	1.79
4	236.58	118.42	116.91	233.71	230.73	2.88	5.86	2.03
5	236.58	118.32	116.88	233.51	230.67	3.08	5.92	1.92
6	236.58	118.38	116.99	233.63	230.89	2.96	5.70	1.93
7	236.58	118.37	116.79	233.61	230.49	2.98	6.10	2.05
8	236.58	117.89	116.22	232.66	229.37	3.93	7.22	1.84
9	236.58	118.34	117.49	233.55	231.87	3.04	4.72	1.55
10	236.58	118.16	116.99	233.20	230.89	3.39	5.70	1.68
11	236.58	117.95	116.78	232.78	230.47	3.81	6.12	1.61
12	236.58	117.78	116.19	232.45	229.31	4.14	7.28	1.76
13	236.58	118.21	117.16	233.29	231.22	3.29	5.37	1.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

จ.1 เครื่องมือสำหรับวัดสี

ภาพที่ จ.1 เครื่องวัดสี colorimeter รุ่น CR-400
ที่มา: tempmouldrisk (2563)

จ.2 เครื่องมือสำหรับวัดเนื้อสัมผัส

ภาพที่ จ.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น TA.HD.Plus
ที่มา: scancotec (2563)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.3 เครื่องมือสำหรับสไลด์แผ่นตัวอย่าง

ภาพที่ จ.3 เครื่องสไลด์กึ่งอัตโนมัติ
ที่มา: funfoodthailand (2563)

จ.4 โถดูดความชื้น

ภาพที่ จ.4 โถดูดความชื้น (desiccator)
ที่มา: myskinrecipes (2563)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.5 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

ภาพที่ จ.5 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
ที่มา : แล็ป วัลเล่ย์ (2563)

จ.6 ไมโครเวฟ

ภาพที่ จ.6 ไมโครเวฟ
ที่มา : แล็ป วัลเล่ย์ (2563)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.7 Tray dry

ภาพที่ จ.7 Tray dry
ที่มา : ยูโร เบสท์ เทคโนโลยี (2563)

จ.8 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

ภาพที่ จ.8 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
ที่มา : เครื่องมือเทคโนโลยี (2563)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
กระบวนการทำข้าวเกรียบ

ฉ.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ภาพที่ ฉ.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.2 กระบวนการทำข้าวเกรียบ

ภาพที่ ฉ.2 กระบวนการทำข้าวเกรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.3 ข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการอบและผ่านการอบด้วยไมโครเวฟ

กำลังไฟฟ้า , เวลา	ข้าวเกรียบที่ยังไม่ผ่านการอบ	ข้าวเกรียบที่ผ่านการอบแล้ว
700วัตต์, 20วินาที		
800วัตต์, 25วินาที		
700วัตต์, 20วินาที		
800วัตต์, 15วินาที		
600วัตต์, 25วินาที		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

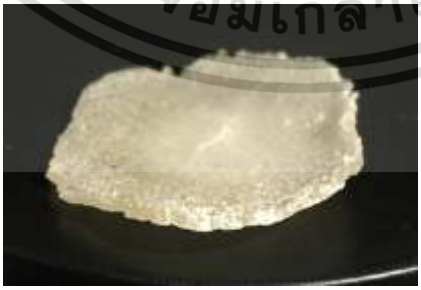
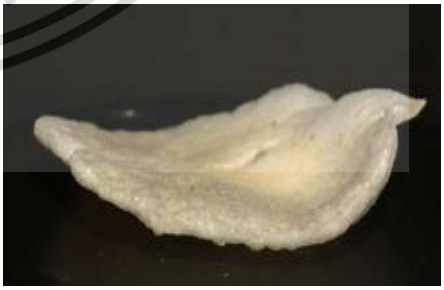
600วัตต์, 15วินาที

700วัตต์, 20วินาที

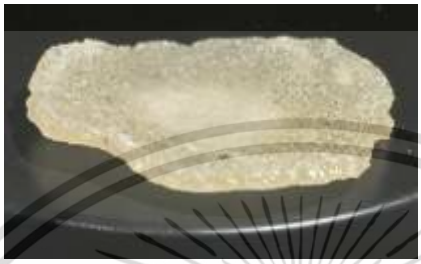
700วัตต์, 20วินาที

700วัตต์, 25วินาที

600วัตต์, 20วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

700วัตต์, 15วินาที		
700วัตต์, 20วินาที		
800วัตต์, 20วินาที		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.4 ข้าวเกรียบกากนมถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการทอดและผ่านการทอดด้วยน้ำมัน

ข้าวเกรียบที่ยังไม่ผ่านการทอด	ข้าวเกรียบที่ผ่านการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช
วิธีการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

- **ใช้หัววัด P/0.25 วัดแรงกด (Compression)**

1) เปิดเครื่องสำรองไฟ และเครื่องคอมพิวเตอร์
2) เปิดเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ปุ่มสวิทซ์ ด้านหลังของเครื่อง
3) คลิ๊กเข้าโปรแกรม Texture
4) คลิ๊ก By Product Type เพื่อเลือกประเภทชนิดของตัวอย่างที่จะทดสอบ
5) คลิ๊กเลือก SNACKS
6) คลิ๊กในโหมดของ Crisps & Chips เลือก Fracturability of Tortilla Chips
7) คลิ๊ก Load Project

การกำหนดค่าการทดสอบ

1) คลิ๊กเลือก T.A. เลือก T.A. Settings
2) คลิ๊ก Library
3) คลิ๊กเปลี่ยน Advanced Option จาก off เป็น on
4) คลิ๊กเลือก Test Mode เลือก Compression (แรงกด)
5) ตั้งค่าต่างๆให้ตรงกับ Project ที่โหลดมา แล้วคลิ๊ก OK

Pre-Test Speed:	1.0 mm/s
Test Speed:	1.0 mm/s
Post-Test Speed:	10.0 mm/s
Distance:	3mm
Trigger Type:	Auto – 5g
Tare Mode:	Auto
Data Acquisition Rate: 500pps	

6) คลิ๊กเลือก T.A. เลือก Run a Test
7) ใส่ชื่อตัวอย่างในช่อง File ID และใส่จำนวนซ้ำที่ช่อง File Number โดยเริ่มจากซ้ำที่1
8) เลือก Browse ในช่อง Path เพื่อบันทึกผลการทดลอง
9) เลือกไฟล์ Disk (D) เพื่อเก็บข้อมูลผลการทดลอง
10) สร้าง New Folder ชื่อผู้ทำการทดลอง แล้วคลิ๊ก Open
11) นำตัวอย่างมาวางบนฐานของเครื่องวัด
12) กด Start Test เครื่องจะทำการวัดตัวอย่างอัตโนมัติ
13) เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำต่อไปให้คลิ๊ก T.A. เลือก Quick Test Run โปรแกรมจะทำการบันทึกชื่อกับจำนวนซ้ำของตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) คลิ๊กซ้ายลากคลุมทุกซ้ำทีทำการทดลอง แล้วคลิ๊ก Run Macro เพื่อให้โปรแกรมแปรผลจากเส้นกราฟออกมาเป็นตัวเลข

2) คลิ๊กดูตารางผลการทดลอง ที่ Results ตารางจะแสดงค่าผลการทดลองHardness คือ ค่าความแข็งของตัวอย่าง

3) คลิ๊ก สัญลักษณ์ เพื่อบันทึกผลการทดลอง

4) คลิ๊ก x เพื่อปิดหน้ากราฟ

5) คลิ๊ก Yes to All เพื่อบันทึกการทดลองทุกซ้ำ

6) คลิ๊ก New เพื่อเปิดหน้าต่างกราฟใหม่

7) คลิ๊ก Graph แล้วคลิ๊ก OK เพื่อเปิดหน้าต่างกราฟและวิเคราะห์ตัวอย่างชิ้นต่อไปเมื่อสร็จสิ้นการทดลอง ปิดโปรแกรม ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสให้เรียบร้อยทำความสะอาดอุปกรณ์แบะเช็ดให้แห้งเก็บไว้ให้เป็นระเบียบเพื่อสะดวกในการใช้ครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวปรียานุช เฮงภู่เจริญ
วัน เดือน ปี เกิด 20 สิงหาคม 2540
ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น :
โรงเรียนมาเรียลัย

พ.ศ. 2558 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย :
โรงเรียนมาเรียลัย
สายวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์

พ.ศ. 2559 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2562 พนักงานฝึกงานแผนกตรวจรับวัตถุดิบ ฝ่ายครัวการบิน บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน)

ชื่อ-นามสกุล นางสาววรัญญา ชาหอม
วัน เดือน ปี เกิด 22 มีนาคม 2541
ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น :
โรงเรียนบ้านเกาะ

พ.ศ. 2558 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย :
โรงเรียนเศรษฐบุตรบำเพ็ญ
สายวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์

พ.ศ. 2559 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2562 พนักงานฝึกงานแผนกผลิต บริษัท วันไทยอุตสาหกรรมการอาหาร จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอมรรัตน์ ทองประกอบ
วัน เดือน ปี เกิด	7 สิงหาคม 2540
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2555	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนพรตพิทยพยัต
พ.ศ. 2558	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนพรตพิทยพยัต สายวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์
พ.ศ. 2559	เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2562	พนักงานฝึกงานแผนกตรวจรับวัตถุดิบ ฝ่ายครัวการบิน บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้