

## บทความวิจัย

# สถานะที่เหมาะสมในการพองตัวของแคบหมูลดไขมัน ด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

ปาริชาติ เกร่งครัด<sup>1</sup> และสุจินดา ศรีวัฒน์<sup>1\*</sup>

ได้รับบทความ: 3 เมษายน 2563

ได้รับบทความแก้ไข: 11 มิถุนายน 2563

ยอมรับตีพิมพ์: 15 มิถุนายน 2563

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการอบแห้งหนังหมูและสถานะที่เหมาะสมในการพองตัวแคบหมูด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ วางแผนการทดลองแบบ 2<sup>3</sup> แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบกลุ่มสมบูรณ์กับ 3 จุดกึ่งกลาง (ปริมาณความชื้นหนังหมู; ร้อยละ 10-20 พลังงานไมโครเวฟ; 2400-4800 วัตต์ และเวลาที่ใช้ทำให้พองตัว; 3-6 นาที) พบว่า การอบแห้งหนังหมูที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นร้อยละ 10 15 และ 20 ต้องใช้ระยะเวลาในการอบ 580 240 และ 170 นาที ตามลำดับ สถานะที่เหมาะสมในการผลิตแคบหมูลดไขมันโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น ร้อยละ 10.00-10.62 พลังงานไมโครเวฟ 4321-4800 วัตต์ และเวลาที่ใช้ทำให้พองตัว 4.36-6.00 นาที แคบหมูที่ได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.46, ค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.166 ค่าความแข็ง 2.62 กิโลกรัม.แรง ค่าความชื้นสี 27.10 และปริมาณการขยายตัว 19.20 มิลลิเมตร กรัม<sup>-1</sup> จากการทดสอบผู้บริโภคร่วมด้วยวิธี 9-point hedonic scale ผลลัพธ์ที่มีคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม ลักษณะการพองตัว สี กลิ่น กลิ่นรสโดยรวม และความกรอบ เท่ากับ 7.3, 7.4, 7.1, 6.9, 7.1 และ 7.7 ตามลำดับ และมีปริมาณไขมัน ร้อยละ 9.09 ดังนั้นผลิตภัณฑ์แคบหมูที่พัฒนาได้มีปริมาณไขมันลดลง เมื่อเทียบกับแคบหมูโรมันที่ผ่านการทอดตามท้องตลาด (ร้อยละ 36.44) โดยลดลงถึงร้อยละ 75 จึงกล่าวอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ลดไขมันตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

**คำสำคัญ:** การพองตัว แคบหมูลดไขมัน ไมโครเวฟสุญญากาศ

<sup>1</sup>สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

\*ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: sujindapdt@gmail.com

# Optimum Puffing Condition of Reduced Fat Pork Rind using Microwave Vacuum Oven

Parichart Krengkrat<sup>1</sup> and Sujinda Sriwattana<sup>1\*</sup>

---

*Received: 3 April, 2020*

*Revised: 11 June, 2020*

*Accepted: 15 June, 2020*

## ABSTRACT

This research aimed to study drying rate of pork skin and optimum conditions of puffed pork rind using microwave vacuum oven. A 2<sup>3</sup> factorial in completely randomized design with 3 center points was employed to optimize the puffing condition (initial moisture content of pork skin; 10-20%, microwave power; 2400-4800 watts and puffing time; 3-6 min). Pork skin was dried at 75°C. In order to obtain moisture content at 10, 15 and 20%, drying time were 580, 240 and 170 min, respectively. The optimum conditions were 10.00-10.62% of initial moisture content, 4321-4800 watt of microwave power and 4.36-6.00 min of puffing time. After puffing, physicochemical properties of the product were 3.46% of moisture content, 0.166 of water activity, 2.62 kg.force of hardness, 27.10 of color intensity and 19.20 mL.g<sup>-1</sup> of expansion volume. The sensory acceptability scores using a 9-point hedonic scale, the result showed overall linking, puffiness, color, odor, flavor and crispness were 7.3, 7.4, 7.1, 6.9, 7.1 and 7.7, respectively. Moreover, reduced fat pork rind product (9.09% of fat content) contained 75% less fat than those of commercial product (36.44% of fat content) which met the Ministry of Health definition of reduced fat.

**Keywords:** Puffing, Reduced fat pork rind, Microwave vacuum

---

<sup>1</sup>Department of Development of Agro-Industrial Product, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University.

\*Corresponding author, e-mail: sujindapdt@gmail.com

## บทนำ

แควหมู เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำหนังหมูหรือหนังหมูติดมันมาทอดให้พองและกรอบ เป็นอาหารที่ปรากฏในทุกภูมิภาคของโลก ในภาษาอังกฤษเรียกว่า pork snack, pork rind, pork scratching หรือ pork crackling [1] โดยเนื้อแควหมูจะมีสีน้ำตาลอ่อนหรือเข้มและมีรสตามเครื่องปรุงที่ใส่ ในประเทศไทยนิยมบริโภคเป็นมือหลักหรือใช้รับประทานเป็นเครื่องเคียง [2] นอกจากนี้ ยังสามารถนำแควหมูมาบริโภคเป็นอาหารว่างและนิยมซื้อเป็นของฝากอีกด้วย ในกระบวนการผลิตแควหมูแบบดั้งเดิมนั้น จะนำหนังหมูไปให้ความร้อนและทำให้พองกรอบโดยการทอดในน้ำมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์แควหมูมีแคลอรีจากไขมันในปริมาณสูง ซึ่งจากรายงานของ Pruenglampoo [3] ได้ทำการเก็บตัวอย่างแควหมูในพื้นที่ 8 จังหวัดทางภาคเหนือของไทยมาวิเคราะห์ปริมาณไขมันในแควหมูไร้มันและแควหมูติดมัน พบว่า ปริมาณไขมันรวมในแควหมูติดมันมีประมาณร้อยละ 51 ในส่วนแควหมูไร้มันมีไขมัน ประมาณร้อยละ 30 จึงทำให้ผลิตภัณฑ์แควหมูมีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากน้ำมันในผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากับอากาศหรือเรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้แควหมูเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย อีกทั้งปริมาณไขมันที่สูง ยังส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคอีกด้วย [4]

เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศถูกนำมาใช้ในกระบวนการพองตัวผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อช่วยลดปริมาณไขมัน ช่วยรักษาคุณค่าทางอาหาร และคงรสชาติที่ดีของผลิตภัณฑ์ [5-6] กระบวนการพองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศเป็นการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัวไปด้วย โดยระหว่างที่ผลิตภัณฑ์อาหารได้รับคลื่นไมโครเวฟในระบบสุญญากาศ ทำให้น้ำบริเวณพื้นผิวของอาหารดูดซับพลังงานไมโครเวฟและระเหยที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อความชื้นลดลงจนถึงค่าวิกฤต คลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดซับโดยปริมาณน้ำที่เหลือภายใน ส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำและเกิดแรงดันภายในโครงสร้าง จึงเกิดการขยายตัวของปริมาตรและทำให้เกิดรูพรุนในอาหาร [7] จึงทำให้มีอัตราการทำแห้งสูงและการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบความสม่ำเสมอมากกว่าไมโครเวฟทั่วไป [8] ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการพองตัวคือ ระยะเวลา กำลังไมโครเวฟ และปริมาณความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์อาหาร [9-10]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แควหมู โดยใช้เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศในการทำให้พองตัวแทนกระบวนการทอดด้วยน้ำมัน เพื่อลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ ที่อาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค และผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาอัตราการอบแห้งหนังหมู โดยใช้ตู้อบลมร้อน ในการควบคุมปริมาณความชื้นเริ่มต้นของหนังหมู และหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้พองตัวของแควหมูลดไขมันโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การศึกษาอัตราการอบแห้งหนังหมู

เตรียมตัวอย่างหนังหมูด้วยการล้างทำความสะอาด กำจัดขน และตัดแต่งส่วนไขมันออก แล้วนำมาต้มในน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 20 นาที ตัดให้มีขนาด กว้าง  $0.4 \times$  ยาว 10 เซนติเมตร ด้วยเครื่องหั่นหนังหมู ปรุงรส โดยตัดแปลงจากสูตรของ Prompichai [2] จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ  $75 \pm 2$  องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อน [11] ทำการสุ่มตัวอย่างมาวัดปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC [12] สุ่มไปจนปริมาณความชื้นในหนังหมูไม่เปลี่ยนแปลง วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นของหนังหมู โดยการพลอตกราฟระหว่างค่าปริมาณความชื้น (ร้อยละ) กับเวลา (นาที) แล้วเลือกจุดที่ความชื้นร้อยละ 10, 15 และ 20 จากกราฟ ซึ่งเป็นความชื้นของหนังหมูที่สำเร็จรูปทางการค้าและเป็นผลจากการศึกษาเบื้องต้นว่าเป็นช่วงที่ทำให้การพองตัวดี

### 2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศที่ทำให้หนังหมูพองตัว

เตรียมตัวอย่างหนังหมูที่ควบคุมปริมาณความชื้นเริ่มต้นตามการทดลองข้างต้น จากนั้นนำมาพองตัวโดยใช้เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ (บริษัท มาร์ช คูล อินดัสทรี จำกัด) ที่ความดันสุญญากาศ -600 มิลลิเมตรปรอท ใส่ตัวอย่างครั้งละ 500 กรัม วางแผนการทดลองแบบ  $2^3$  Factorial in Completely Randomized Design with 3 center points ผันแปร 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ คือ พลังงานไมโครเวฟ (2400 และ 4800 วัตต์) ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของหนังหมู (ร้อยละ 10 และ 20) และเวลาที่ใช้ในการทำให้พองตัว (3 และ 6 นาที) ได้สิ่งทดลองดังตารางที่ 1 ซึ่งสภาวะที่ใช้ศึกษานี้ ได้จากการทดลองเบื้องต้นกับตัวอย่างทางการค้าและกำหนดกำลังวัตต์ภายใต้ข้อจำกัดของเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC [12] ค่าออกเตอร์แอคติวิตี โดยใช้เครื่อง water activity analyzer (AQUALAB PRE) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (hardness) และความกรอบ (crispness) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer (TAXTplus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) [13] ค่าสี  $L^*$  และค่าความเข้มสี (color intensity) ของแควหมู โดยคำนวณดังสมการที่ 1 วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีรุ่น CR-400 Chroma Meter (Konica Minolta, US) [14] ปริมาณการขยายตัว (expansion volumn) และความหนาแน่นรวม (bulk density) (ดังสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ) โดยใช้วิธีการแทนที่เมล็ดงา (seed displacement) [15] ซึ่งจะทำสัญลักษณ์บนตัวอย่างที่นำมาวัดปริมาตรทั้งก่อนและหลังการพองตัว, โครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; JSM-6610LV) [16] และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ด้านความชอบโดยรวม ลักษณะการพองตัว สี กลิ่น กลิ่นรสโดยรวม และความกรอบ โดยใช้ 9-point hedonic scale จำนวนผู้ทดสอบ 50 คน ซึ่งได้รับการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (COE No. 018/62)

$$\text{Color intensity} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

$$\text{Expantion volume} = \frac{\text{vol. of puffed pork skin (mL)}}{\text{wt. of pork skin (g)}} \quad (2)$$

$$\text{Bulk Density (g/mL)} = \frac{\text{wt. of puffed pork skin (g)}}{\text{vol. of of puffed pork skin (mL)}} \quad (3)$$

ตารางที่ 1 สิ่งทดลองของการใช้เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศในการทำให้หนังหมูพองตัว

สิ่งทดลองที่	พลังงานไมโครเวฟ (วัตต์)	เวลาที่ใช้ทำให้พองตัว (นาที)	ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละ)
1	(-1) 2400	(-1) 3	(-1) 10
2	(+1) 4800	(-1) 3	(-1) 10
3	(-1) 2400	(+1) 6	(-1) 10
4	(+1) 4800	(+1) 6	(-1) 10
5	(-1) 2400	(-1) 3	(+1) 20
6	(+1) 4800	(-1) 3	(+1) 20
7	(-1) 2400	(+1) 6	(+1) 20
8	(+1) 4800	(+1) 6	(+1) 20
9 (center point)	(0) 3600	(0) 4.5	(0) 15
10 (center point)	(0) 3600	(0) 4.5	(0) 15
11 (center point)	(0) 3600	(0) 4.5	(0) 15

### 3. การเปรียบเทียบปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้กับผลิตภัณฑ์ทางการค้า

นำผลิตภัณฑ์แคหมูที่พองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศด้วยสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 และตัวอย่างผลิตภัณฑ์แคหมูไขมันทางการค้าที่ผ่านการทอดโดยน้ำมัน จำนวน 4 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (ร้อยละ) โดยใช้เครื่องสกัดไขมันอัตโนมัติ (2050 SOXTEC Auto Extraction Unit, Avani, USA) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้กับผลิตภัณฑ์ทางการค้า

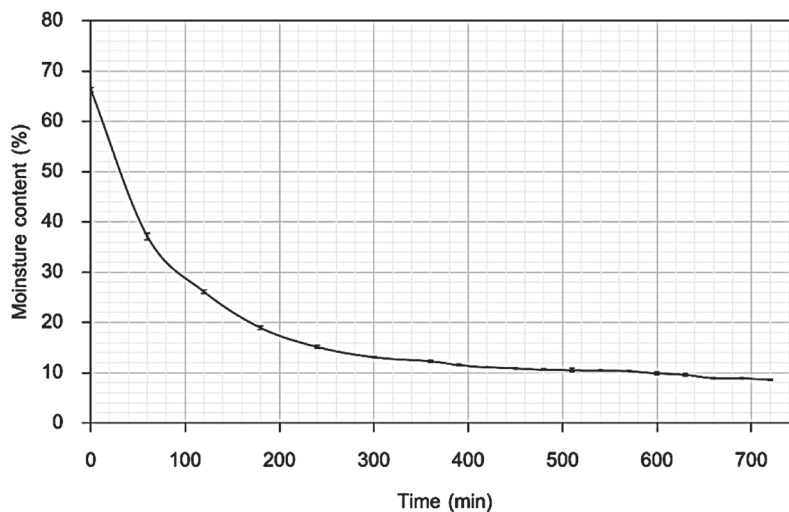
### 4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสมการถดถอย (regression equation) และวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีการหาพื้นที่ตอบสนอง (response surface methodology) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert version 6.0.2 (Stateas Inc., USA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่าง 2 ตัวแปร (independent-sample t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 1. การศึกษาอัตราการแห้งแห้งหนังหมู

จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของหนังหมู ดังรูปที่ 1 พบว่า ปริมาณความชื้นของหนังหมู ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 360 นาทีแรกของการอบแห้ง (จากเริ่มต้นร้อยละ 66.34 ลดลงเหลือร้อยละ 11.54) การเปลี่ยนแปลงนี้แบ่งเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 คือช่วง 0–360 นาที เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในหนังหมุก่อนข้างสูง เนื่องจากน้ำในผลิตภัณฑ์ถูกทำให้ระเหยออกไปอย่างรวดเร็วตามกลไกการทำแห้ง สอดคล้องกับทฤษฎีที่เป็นช่วงที่น้ำในอาหารเคลื่อนที่จากด้านในสู่ด้านนอกบริเวณผิวหน้าในอัตราที่เท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้าของอาหาร เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะกลายเป็นไอระเหย และถูกพัดพาไปด้วยลมร้อน และระยะที่ 2 คือช่วง 360 นาที เป็นต้นไป เป็นช่วงที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงระดับต่ำ เนื่องจากผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง ทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ [17]



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของหนังหมู ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 1 ทำให้ได้ระยะเวลาในการอบและปริมาณความชื้นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป โดยพบว่า ที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 10 15 และ 20 ต้องใช้ระยะเวลาในการอบ 580 240 และ 170 นาที ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่ต้องการจากกราฟและค่าที่ได้จากการทดลองจริง ด้วยการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผล ได้ผลดังตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นจากกราฟ คือ ร้อยละ 10.09 15.08 และ 19.73 จึงนำค่าที่ได้ไปใช้ในการควบคุมความชื้นตามที่ต้องการศึกษาในการทดลองต่อไป

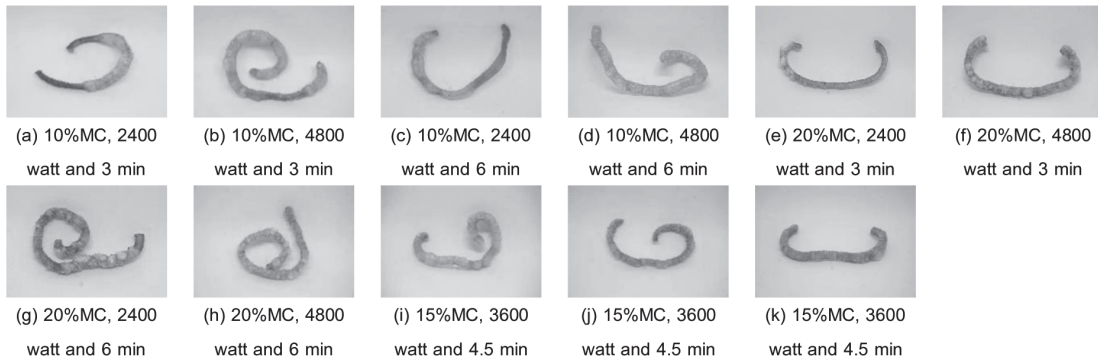
**ตารางที่ 2** เปรียบเทียบปริมาณความชื้นของหนังหมูที่ได้จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของหนังหมูที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการอบ (นาทีก)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	
	ค่าจากกราฟ	ค่าที่ได้จากการทดลอง <sup>1</sup>
580	10.00	10.09
240	15.00	15.08
170	20.00	19.73

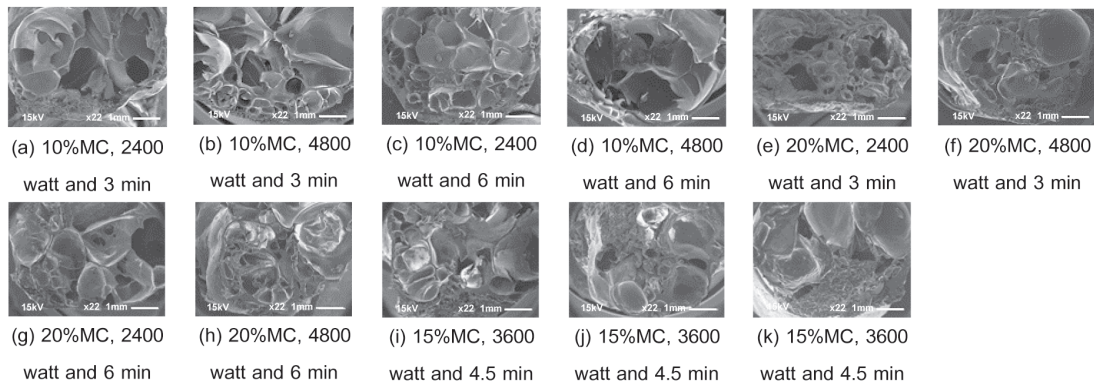
หมายเหตุ : <sup>1</sup>ค่าที่ได้จากการทดลองเฉลี่ยจำนวน 3 ซ้ำ

## 2. สภาวะที่เหมาะสมในการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศในการทำให้หนังหมูพองตัว

จากการทดลองการพองตัวของหนังหมู โดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น, พลังงานไมโครเวฟ และเวลาที่ใช้ทำให้พองตัวแตกต่างกัน ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2 เมื่อนำตัวอย่างแคบหมูของแต่ละสิ่งทดลองไปวิเคราะห์โครงสร้างภายใน ดังรูปที่ 3 พบว่า ภาพตัดขวางแสดงลักษณะภายในโครงสร้างของแคบหมูมีลักษณะเป็นโพรงอากาศซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำเมื่อถูกให้พลังงานไมโครเวฟสูงและระยะเวลาในการพองตัวนาน (รูปที่ 3d) มีลักษณะของโพรงอากาศภายในขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่มีปริมาณชื้นเริ่มต้นสูง (รูปที่ 3h) นอกจากนี้พบว่าตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงและระยะเวลาในการพองตัวน้อย (รูปที่ 3e) มีลักษณะเป็นโพรงอากาศขนาดเล็กบางส่วนภายในซึ่งไม่เกิดโพรงอากาศและมีลักษณะที่อัดแน่น เนื่องจากระยะเวลาในการพองตัวน้อย ทำให้ไม่เพียงพอสำหรับการทำให้เจลาตินหลอมเหลว เพื่อที่จะให้น้ำดันโครงสร้างให้เกิดการพองตัว จึงทำให้อลักษณะภายนอกมีการ พองตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2 (a, b, e, f) การพองตัวของหนังหมูเกิดจากการเปลี่ยนคอลลาเจนเป็นเจลาตินโดยการต้มในน้ำเดือด หลังจากนั้นลดความชื้นของหนังหมูเพื่อให้ความชื้นภายในที่เหมาะสมสำหรับการพองตัว โดยนำไปอบแห้ง แล้วจึงทำให้พองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ เจลาตินจึงเป็นโครงสร้างที่สำคัญทำให้หนังหมูเกิดการพองตัว เพราะเป็นโครงสร้างที่สามารถกักเก็บความชื้นไว้ภายใน [18] ดังนั้นปริมาณความชื้นเริ่มต้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดการพองตัวที่ดี ซึ่งต้องมีปริมาณที่เหมาะสมกับพลังงานไมโครเวฟและเวลาที่ใช้ในการพองตัว [19]



รูปที่ 2 ลักษณะของแคบหมูที่ได้หลังการพองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศที่สภาวะแตกต่างกัน



รูปที่ 3 ลักษณะโครงสร้างภายในของแคบหมูที่พองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ ที่ปริมาณความชื้นเริ่ม (ร้อยละ) กำลังไมโครเวฟ (วัตต์) และเวลาที่ใช้ทำให้พองตัว (นาที) แตกต่างกัน (X22)

## 2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ

จากการวัดค่าคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์แคบหมูที่พองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศทั้ง 11 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 3 แล้วนำไปมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ระดับพลังงานไมโครเวฟ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และระยะเวลาในการพองตัว มีผลต่อค่าปริมาณความชื้น ค่าคอเลสเตอรอล ค่าความแข็ง ความชื้นสี และปริมาณการขยายตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ผลดังตารางที่ 4

สร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง ดังรูปที่ 4 (a, b, c) พบว่า ระดับพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาที่ใช้ในการพองตัวเพิ่มขึ้น มีผลต่อปริมาณความชื้น ค่าคอเลสเตอรอล ค่าความแข็งลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ สามารถทะลุทะลวงเข้าไปในผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความร้อนภายในวัตถุ มีการเปลี่ยนพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งเป็นการเกิดความร้อนของสารประกอบที่มีขั้ว เช่น น้ำ ความร้อนจะเกิดขึ้นตรงจุดที่อาหารสัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟแล้วจึงค่อยๆ กระจายตัวไปยังส่วนอื่นๆ โดยการนำความร้อนต่อเนื่องและรวดเร็ว [18, 20] จึงมีผลทำให้ปริมาณความชื้นหลังการพองตัวลดลง และการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในอาหารมีผลต่อปริมาณน้ำอิสระ โดยค่าปริมาณน้ำอิสระมักจะเพิ่มขึ้น



เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นแต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง เช่นเดียวกับการลดลงของปริมาณความชื้น [21] ซึ่งเป็นผลมาจากคลื่นไมโครเวฟ จึงทำให้ปริมาณน้ำอิสระมีค่าลดลงตามไปด้วย และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง เพราะการใช้พลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาในการทำให้พองตัวที่เหมาะสม ทำให้เกิดการระเหยของไอน้ำที่ดันโครงสร้างเจลลาตินที่ห่อหุ้มเหลว ส่งผลให้หนังหมูเกิดการพองตัว เกิดเป็นโพรงอากาศภายในและส่งผลให้ความชื้นภายในหนังหมูมีปริมาณลดลง ทำให้ค่าแรงกดมีค่าน้อยลง [22] ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่พองเมื่อความชื้นต่ำ และการพองตัวสูงส่งผลให้ค่าแรงกดลดต่ำลง [23-24] อีกทั้งระดับพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาที่ใช้ในการพองตัวมีผลต่อค่าความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณการขยายตัว ดังรูปที่ 4 (d,e) เมื่อเพิ่มระดับพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาที่ใช้ในการพองตัว จะทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณการขยายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากหนังหมูผ่านการหมักกับเครื่องปรุงที่มีส่วนผสมของซอสปรุงรสและน้ำตาล จึงมีผลต่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ของตัวอย่างเพิ่มขึ้น เพราะมีส่วนประกอบของน้ำตาล ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ โดยมีความร้อนเป็นปัจจัยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น [25] และปริมาณการขยายตัวที่เพิ่มขึ้น เกิดจากหนังหมูได้รับคลื่นไมโครเวฟ ทำให้เกิดการสันตะเทียนและเสียดสีกันของโมเลกุลน้ำภายใน จึงเกิดความร้อนขึ้น น้ำระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ปริมาณไอน้ำที่มากพอที่จะดันโครงสร้างเจลลาตินที่ห่อหุ้มเหลวจากความร้อนทำให้ตัวอย่างเกิดการพองตัวขึ้น [20] ซึ่งระยะเวลาในการอบเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการพองตัว [26] สอดคล้องกับผลการทดลองของ Boonthawong [19] ได้ศึกษาแคหมูกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ โดยวัดอัตราการพองตัวหลังจากให้พลังงานไมโครเวฟที่ 900 วัตต์ ในระยะเวลาต่างๆกัน พบว่า อัตราการพองตัวเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการอบ โดยแคหมูที่อบพองโดยใช้เวลาน้อย จะมีอัตราการพองตัวน้อย เนื่องจากเวลาน้อยทำให้เจลลาตินยังไม่ห่อหุ้มเหลวพอที่จะทำให้ไอน้ำดันเกิดการพองตัว

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพทางเคมีกายภาพของแคปซูลที่พองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสูญญากาศ โดยใช้สภาวะแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง <sup>1</sup>	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าเอชอาร์	ความแข็ง (กิโลกรัม.แรง)	ความกรอบ (กิโลกรัม.วินาที)	ค่า L*	ค่าความแข็งสี่	ปริมาณการขยายตัว (มิลลิตร.กรัม <sup>-1</sup> )	ความหนาแน่นรวม (กรัม.มิลลิตร <sup>-1</sup> )
1	7.35 ± 0.04	0.396 ± 0.001	4.61 ± 1.42	28.06 ± 7.95	55.46 ± 0.16	24.60 ± 0.71	9.00 ± 2.10	0.29 ± 0.02
2	5.44 ± 0.07	0.242 ± 0.001	3.20 ± 0.58	27.71 ± 5.60	58.06 ± 0.54	26.66 ± 0.47	16.47 ± 2.33	0.26 ± 0.02
3	6.36 ± 0.07	0.289 ± 0.001	4.27 ± 1.07	30.31 ± 4.99	56.95 ± 0.33	26.22 ± 0.23	12.64 ± 1.00	0.27 ± 0.05
4	2.34 ± 0.01	0.129 ± 0.002	2.19 ± 0.54	22.63 ± 4.06	57.18 ± 0.27	27.53 ± 0.52	21.33 ± 0.75	0.22 ± 0.03
5	13.92 ± 0.11	0.612 ± 0.000	6.64 ± 2.94	20.00 ± 5.83	47.15 ± 0.91	16.13 ± 0.96	10.11 ± 1.12	0.22 ± 0.04
6	7.19 ± 0.02	0.348 ± 0.002	5.37 ± 3.03	34.09 ± 11.10	56.37 ± 0.36	23.92 ± 0.30	11.36 ± 0.26	0.22 ± 0.03
7	8.96 ± 0.02	0.418 ± 0.002	7.67 ± 3.01	31.52 ± 7.73	54.37 ± 0.96	23.35 ± 0.32	12.23 ± 0.85	0.35 ± 0.04
8	2.65 ± 0.01	0.141 ± 0.001	3.50 ± 1.34	32.43 ± 5.25	54.78 ± 0.47	26.50 ± 0.45	12.85 ± 0.55	0.22 ± 0.02
9	5.93 ± 0.08	0.261 ± 0.003	4.19 ± 1.50	31.37 ± 6.72	54.02 ± 0.46	24.52 ± 0.23	12.81 ± 0.83	0.23 ± 0.01
10	5.45 ± 0.02	0.253 ± 0.003	3.92 ± 1.20	31.46 ± 5.65	55.35 ± 0.53	24.93 ± 0.34	12.52 ± 0.66	0.24 ± 0.03
11	5.34 ± 0.02	0.257 ± 0.005	4.16 ± 1.31	30.20 ± 7.09	54.79 ± 0.45	24.77 ± 0.40	12.54 ± 0.92	0.23 ± 0.03

หมายเหตุ <sup>1</sup>สภาวะของสิ่งทดลองทั้ง 11 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 1

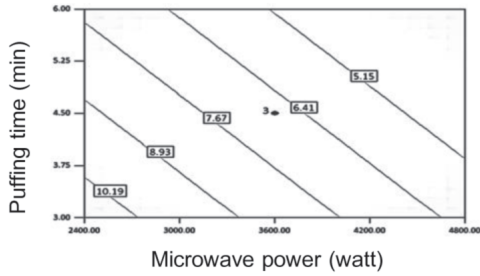
**ตารางที่ 4** สมการของตัวแปรตามของคุณภาพด้านเคมีกายภาพ ที่มีผลมาจากสภาวะที่ใช้ในการฟองตัว แตกต่างกัน

ตัวแปรตาม	สมการความสัมพันธ์	Adjusted- R <sup>2</sup>	P-value
ปริมาณความชื้น	$= 0.68 + 2.48 * 10^{-4} A + 0.22B + 1.22C - 1.48 * 10^{-4} AC - 0.09BC$	0.9680	0.0009
ปริมาณน้ำอิสระ	$= 0.24 - 1.80 * 10^{-5} A - 6.83 * 10^{-3} B + 0.04C - 4.73 * 10^{-6} AC - 2.99 * 10^{-3} BC$	0.9990	<0.0001
ความแข็ง	$= -2.17 + 2.90 * 10^{-4} A + 0.74B + 0.48C - 7.19 * 10^{-5} AB + 7.12 * 10^{-6} AC + 0.01BC - 1.81 * 10^{-5} ABC$	0.9998	0.0002
ปริมาณการขยายตัว	$= -14.81 + 6.35 * 10^{-3} A + 2.23B + 1.12C - 2.98 * 10^{-4} AC - 0.08BC$	0.9890	0.0001
ความชื้นสี่	$= 43.86 - 2.83 * 10^{-3} A - 2.38B - 2.37C + 4.36 * 10^{-4} AB + 4.01 * 10^{-4} AC + 0.32BC - 5.40 * 10^{-5} ABC$	0.9957	0.0033

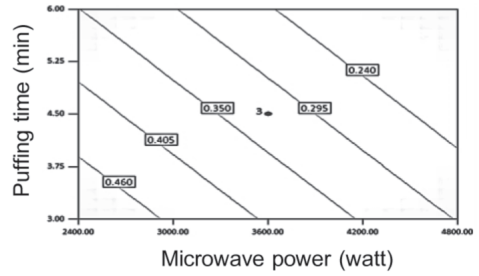
หมายเหตุ เมื่อ A คือ พลังงานไมโครเวฟ, B คือ เวลาที่ใช้ในการทำให้ฟองตัว และ C คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น

### 2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

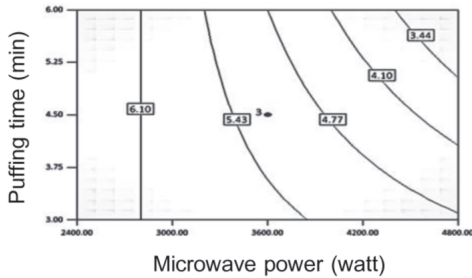
จากการประเมินค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคบหมูที่ฟองตัวโดยใช้ไมโครเวฟ สูญญากาศทั้ง 11 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 5 แล้วนำไปมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ระดับพลังงานไมโครเวฟ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาที่ใช้ทำให้ฟองตัว มีผลต่อคะแนนด้านความชอบโดยรวม ลักษณะการฟองตัว สี กลิ่น กลิ่นรสโดยรวม และความกรอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากนั้นสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ผลดังตารางที่ 6



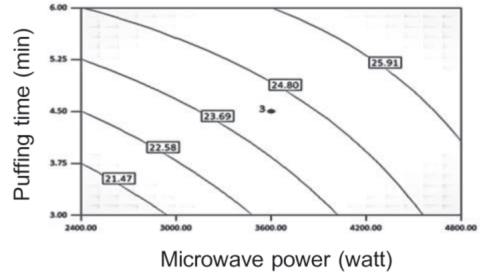
(a) Moisture content



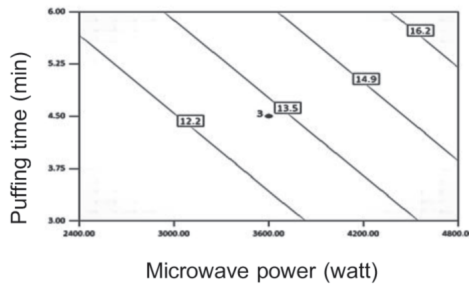
(b) Water activity



(c) Hardness



(d) Color Intensity



(e) Expansion volume

รูปที่ 4 พื้นที่ตอบสนองแสดงอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟ เวลาที่ใช้ทำให้พองตัว และปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 15 ต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 5** ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแคบหมูที่ได้จากการพองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศที่สภาวะแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ความชอบโดยรวม	ลักษณะการพองตัว	สี	กลิ่น	กลิ่นรสโดยรวม	ความกรอบ
1	5.2±1.4	5.1±1.5	5.9±1.2	6.0±0.9	5.8±1.3	5.0±1.7
2	7.5±0.9	7.5±1.0	7.3±0.8	7.0±1.2	7.3±1.0	7.8±0.9
3	5.9±1.5	6.1±1.6	6.4±1.2	6.0±1.1	6.1±1.5	6.1±1.9
4	7.4±0.7	7.7±0.9	7.2±0.9	7.0±1.0	7.2±1.1	8.0±0.8
5	2.5±1.2	2.3±1.3	3.5±1.9	3.9±1.9	3.0±1.6	1.4±0.8
6	4.8±1.7	4.7±1.6	5.9±1.4	5.7±1.1	6.0±1.3	4.3±1.7
7	3.1±1.4	3.5±1.4	4.7±1.5	4.8±1.5	4.1±1.5	2.1±1.2
8	6.4±1.4	5.7±1.4	6.6±1.2	6.4±1.3	6.7±1.2	6.5±1.5
9	5.4±1.4	5.3±1.4	5.9±1.2	5.8±1.3	5.7±1.1	5.1±1.7
10	5.6±1.3	5.3±1.5	6.1±1.2	5.5±1.2	5.8±1.4	5.0±1.8
11	5.4±1.4	5.3±1.6	5.9±1.4	5.6±1.1	5.5±1.4	5.0±1.7

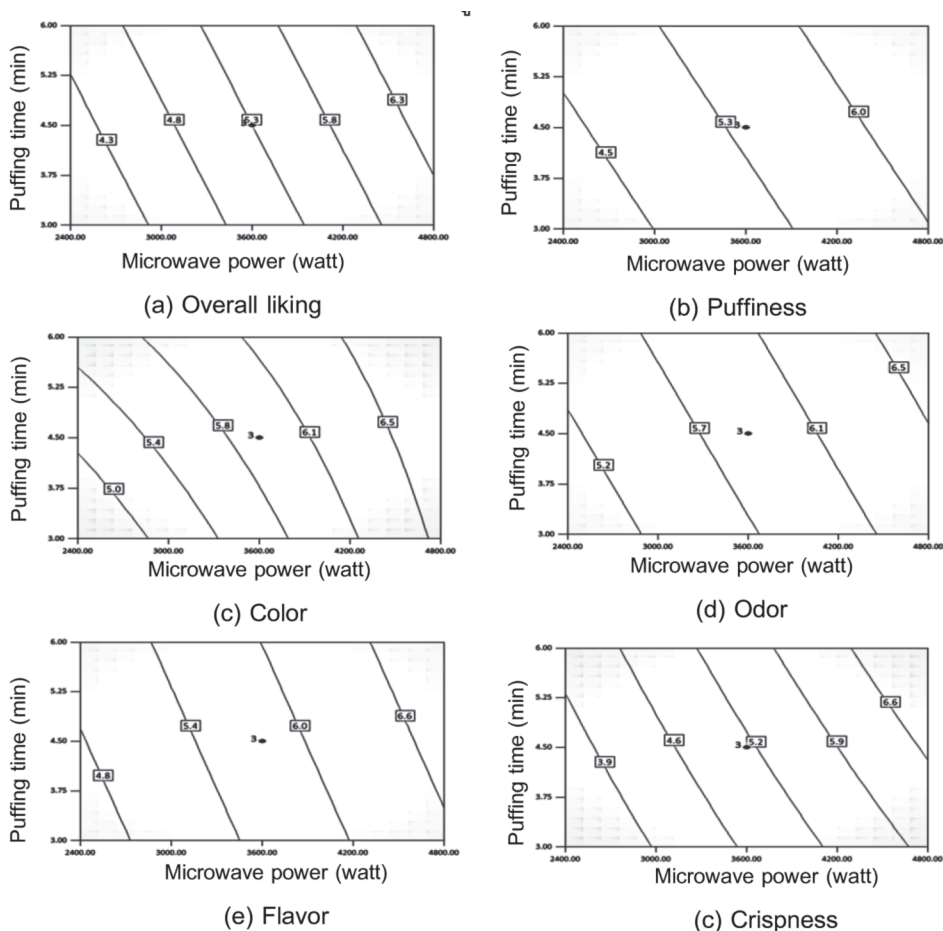
**หมายเหตุ** <sup>1</sup>สภาวะของสิ่งทดลองทั้ง 11 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 1  
ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนความชอบระดับ 9 คะแนน (9-point hedonic scale) (n=50)

**ตารางที่ 6** สมการของตัวแปรตามของคุณภาพทางประสาทสัมผัส ที่มีผลมาจากสภาวะที่ใช้พองตัวแตกต่างกัน

ตัวแปรตาม	สมการความสัมพันธ์	Adjusted-R <sup>2</sup>	P-value
ความชอบโดยรวม	$= 4.30+9.79*10^{-4}A+0.22B-0.23C$	0.9287	0.0002
ลักษณะการพองตัว	$= 7.62+5.75*10^{-4}A-0.07B-0.43C+1.87*10^{-5}AC+0.02BC$	0.9953	<<0.0001
สี	$= 7.62+3.71*10^{-4}A+0.10B-0.42C-7.78*10^{-5}AB+4.33*10^{-5}AC+0.02BC$	0.9948	0.0003
กลิ่น	$= 8.42+1.08*10^{-4}A-0.23B-0.35C+3.04*10^{-5}AC+0.02BC$	0.9884	0.0001
กลิ่นรสโดยรวม	$= 9.68-8.75*10^{-5}A-0.26B-0.51C+6.17*10^{-5}AC+0.03BC$	0.9871	0.0001
ความกรอบ	$= 1.22+2.46*10^{-4}A+1.53B-0.09C-4.39*10^{-4}AB-9.41*10^{-5}AC-0.09BC+3.22*10^{-5}ABC$	0.9999	<0.0001

**หมายเหตุ** เมื่อ A คือ พลังงานไมโครเวฟ, B คือ เวลาที่ใช้ในการทำให้พองตัว และ C คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น

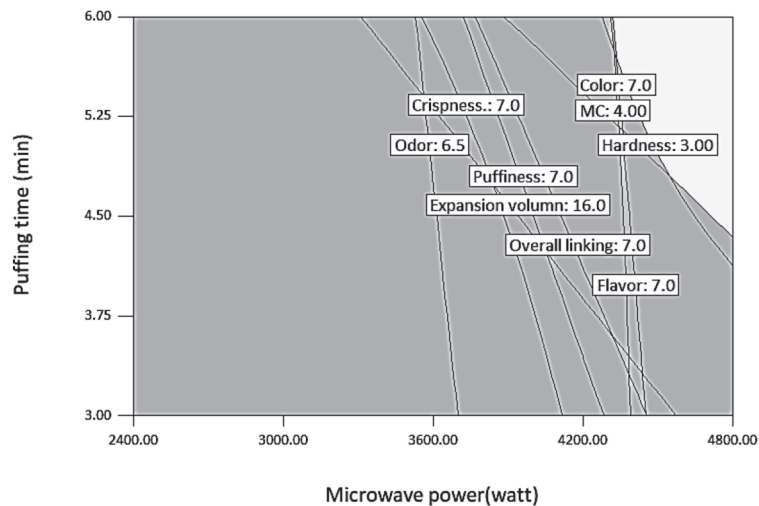
สร้างกราฟพื้นที่ผิวตอบสนอง ดังรูปที่ 5 พบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาที่ใช้ทำให้พองตัว มีผลต่อคะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม ลักษณะการพองตัว สี กลิ่น กลิ่นรสโดยรวม และความกรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Zhang และคณะ [6] ศึกษาปัจจัยการให้ความร้อนในการอบปลาซังแผ่นด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับกำลังไฟฟ้าในการให้ความร้อน 700 วัตต์ พบว่า ระยะเวลาในการอบส่งผลต่อผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการพองตัวและความกรอบ และการทดลองของ Tiwthao [16] ได้ศึกษาผลของระดับความร้อนของการอบโดยใช้ไมโครเวฟต่อการพองตัวของหนังปลาแซลมอน พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลต่อระดับคะแนนความชอบของลักษณะการพองตัวและความกรอบเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) อีกทั้งการทดลองของ Yanqiu และคณะ [27] ได้ศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศในการพองตัวขนมขบเคี้ยวจากผลแบล็คเคอแรนท์ พบว่า เวลาที่ใช้ในการพองตัวและพลังงานไมโครเวฟมีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยผู้บริโภคจะให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรสโดยรวม และรสชาติเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟและระยะเวลาในการพองตัวสูงขึ้น



รูปที่ 5 พื้นที่ผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟ, ระยะเวลาที่ใช้พองตัว และปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 15 ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

## 2.4 สภาวะที่เหมาะสมในการพองตัวแควหมูโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ

นำค่าสมการความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญมาวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการพองตัว โดยทำการ Optimization และกำหนดขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณภาพที่ต้องการ คือ ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.0 [28] ค่าออเตอร์แอกติวิตี ไม่เกิน 0.6 [29] และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะแต่ละด้านมากกว่า 6.0 คะแนน พบว่า พื้นที่ที่เหมาะสมคือ ปริมาณความชื้นแห้งหมูร้อยละ 10.00-10.62 พลังงานไมโครเวฟ 4321-4800 วัตต์ และเวลาที่ใช้ทำให้พองตัว 4.36-6.00 นาที ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไมโครเวฟกับเวลาที่ใช้ในการทำให้พองตัวที่ความชื้นแห้งหมูเริ่มต้นร้อยละ 10

## 2.5 การยืนยันผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เลือกจุดที่เหมาะสมไปทำการทดลองจริง คือ ปริมาณความชื้นแห้งหมู ร้อยละ 10.00, พลังงานไมโครเวฟ 4800 วัตต์ และเวลาที่ใช้ทำให้พองตัว 5.00 นาที โดยมีค่าความพึงพอใจเชิงสถิติ (Desirability: D) เท่ากับ 0.952 ซึ่งค่า D จะอยู่ระหว่าง 0-1 ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลลัพธ์นั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นค่า D จึงเสมือนเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากรูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอย [30] ค่าที่ได้จากการทำนายแสดงดังตารางที่ 7 ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายเพื่อยืนยันผลการทดลอง พบว่า มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10 [31] แสดงให้เห็นว่าสมการที่ได้มีความน่าเชื่อถือและอนุมานได้ว่าสภาวะที่ได้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้จริง

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

คุณภาพทางเคมีกายภาพ และทางประสาทสัมผัส	ค่าที่ได้จาก การทดลอง <sup>1</sup>	ค่าที่ได้จาก การทำนาย	ร้อยละความคลาดเคลื่อน <sup>2</sup> (%Error)
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	3.46	3.60	3.9
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	0.166	0.170	2.4
ความแข็ง (กิโลกรัม.แรง)	2.62	2.74	4.4
ปริมาณการขยายตัว (มิลลิลิตร.กรัม <sup>-1</sup> )	19.20	19.50	1.5
ความชื้นสี	27.10	27.22	0.4
คะแนนความชอบด้านความชอบโดยรวม	7.3	7.8	6.9
คะแนนความชอบด้านลักษณะการพองตัว	7.4	7.7	3.9
คะแนนความชอบด้านสี	7.1	7.2	1.4
คะแนนความชอบด้านกลิ่น	6.9	7.0	1.4
คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสโดยรวม	7.1	7.2	1.4
คะแนนความชอบด้านความกรอบ	7.7	7.9	2.5

หมายเหตุ : <sup>1</sup>ค่าที่ได้จากการทดลองเฉลี่ยจำนวน 3 ซ้ำ

$$^2\%Error = |(ค่าที่ได้จากการทำนาย-ค่าที่ได้จากการทดลอง)/ค่าที่ได้จากการทำนาย| \times 100$$

### 3. การเปรียบเทียบปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้กับทางการค้า

นำผลิตภัณฑ์แคบหมูที่พัฒนาได้ไปวิเคราะห์ปริมาณไขมัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาแล้วมีปริมาณไขมันน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 8 จึงสามารถกล่าวอ้างได้ว่าผลิตภัณฑ์แคบหมูที่พัฒนาได้ เป็นผลิตภัณฑ์แคบหมูลดไขมัน ตามตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการอาหารไทย ของกรมอนามัย สำนักโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข [28] ซึ่งลดลงได้ถึงร้อยละ 75 เมื่อเทียบกับแคบหมูโรมันที่ผ่านการทอดตามท้องตลาด

ตารางที่ 8 ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์แคบหมูที่พองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศและแคบหมูโรมันทางการค้า

ผลิตภัณฑ์	ร้อยละปริมาณไขมัน (Mean $\pm$ SD)
แคบหมูที่พองตัวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ	9.09 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>
แคบหมูโรมันทางการค้า <sup>1</sup>	36.44 $\pm$ 2.40 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : <sup>1</sup>ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างทางการค้า 4 ตัวอย่าง

<sup>a, b</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันในแนวคอลัมน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



## สรุปผล

การอบแห้งหนังหมูที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ให้มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 10 15 และ 20 ต้องใช้ระยะเวลาในการอบ 580 240 และ 170 นาที ตามลำดับ จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า เวลาที่ใช้ทำให้ฟองตัวมีผลต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพมากกว่าพลังงานไมโครเวฟ และปริมาณความชื้นหนังหมูเริ่มต้น อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้ทำให้ฟองตัวและปริมาณความชื้นหนังหมูเริ่มต้น มีผลทำให้คะแนนความชอบของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะการฟองตัว กลิ่น และกลิ่นรสโดยรวม สภาวะที่เหมาะสมในการฟองตัวแคปหมูโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศคือ การใช้พลังงานไมโครเวฟที่ 4800 วัตต์ เวลาที่ใช้ทำให้ฟองตัว 5 นาที และปริมาณความชื้นหนังหมูเริ่มต้นร้อยละ 10 โดยแคปหมูที่พัฒนาได้มีปริมาณไขมันน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทาง ( $p \leq 0.05$ ) โดยลดลงถึงร้อยละ 75 สามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ลดไขมัน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ปีงบประมาณ 2561 สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และห้างหุ้นส่วนจำกัด แคปหมูแม่แจ่ม ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

## เอกสารอ้างอิง

1. Galanakis, M. C. (2019). *Innovations in traditional foods*. United Kingdom. Woodhead Publishing Limited.
2. Prompichai, R. (1999). Kaeb. In *Encyclopedia of Northern Thai culture* (Vol. 6, pp. 1344-1345). Thai Cultural Encyclopedia Foundation, Siam Commercial Bank. Bangkok. (in Thai)
3. Pruenglampoo, S., Wiriyajaree, P., Sukkorn, K., Pongpisuttinan, R., Leelapat, P., Pinnasu, S., Karnjanakeereethamrong, P., Homhuan, K., & Ladcreu, N. (2014). Technology transfer project of local food production with sufficiency economy philosophy: Kaeb Moo and substitute product. Chiang Mai, Thailand, Chiang Mai University. (in Thai)
4. Weerakul, J., Tassaneeyakul, W., Mahakunakorn, P., & Porasuphatana, S. (2009). Study on cytotoxicity and genotoxicity of repeatedly fried cooking oils in cell culture. *Isan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 5(3), 235-242.
5. Han, Q. H., Li, S. J., & Ma, J. W. (2006). Microwave vacuum drying and puffing characteristics of apple chips. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 37, 155-158.
6. Zhang, J., Zhang, M., Liang, S., & Zhong, X. (2007). Microwave-vacuum heating parameters for processing savory crisp bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) slices.

- Journal of Food Engineering*, 79, 885-891.
7. Nath, A., Chattopadhyay, P. K., & Majumdar, G. C. (2007). High temperature short time air puffed ready-to-eat (RTE) potato snacks: process parameter optimization. *Journal of Food Engineering*, 80, 770-780.
  8. Teng X., Zhang M., Bhandari B., Xu J., & Liu Y. (2019). A comparative study on hygroscopic and physiochemical properties of chicken powders obtained by different drying methods. *Drying technology*. (p. 1-14) <https://doi.org/0.1080/07373937.2019.1679831>.
  9. Liu, C. H., Zheng, X. Z., Jia, S. H., Ding, N. Y., & Gao, X. C. (2009). Comparative experiment on hot-air and microwave-vacuum drying and puffing of blue honeysuckle snack. *International Journal of Food Engineering*, 5(4), 1-9.
  10. Therdthai, N., & Zhou, W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia Opiz ex Fresen*). *Journal of Food Engineering*, 91, 482-489.
  11. Truong, K., Le, O. T., Songsermpong, S., & Le, T. T. (2014). Comparison between traditional deep-oil and microwave puffing for physical and eating qualities of puffed pork rind. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 48, 799-814.
  12. AOAC. (2000). *Official Method of Analysis* (17<sup>th</sup> ed.). The Association of Official Analytical Chemists, USA.
  13. Sriwattana, S., Utama-ang, N., Thakeow, P., Senapa, J., Phimolsiripol, Y., Surawang, S., Pongsirikul, I., & Angeli, S. (2012). Physical, chemical and sensory characterization of the Thai crispy pork rind 'Kaeb Moo'. *Journal of Natural Sciences*, 11(1): 181-191.
  14. Roy, P., Ijiri, T., Okadome, H., Nei, D., Orikasa, T., Nakamura, N., & Shiina, T. (2008). Effect of processing conditions on overall energy consumption and quality of rice (*Oryza sativa L.*). *Journal of Food Engineering* 89(3): 343-348.
  15. Sahin, S., & Sumnu, G. S. (2006). *Physical properties of foods*. New York, USA. Springer Science Business Media, LLC. p. 19-20.
  16. Mir, A. S., Bosco, J. D. S., Shah, A. M., & Mir, M. M. (2016). Effect of puffing on physical and antioxidant properties of brown rice. *Food Chemistry* 191: 139-146.
  17. Rungsardthong, V. (2004). *Food processing technology*. Bangkok, Thailand. Text and Journal Publication Co., Ltd. (in Thai)
  18. Djagny, K. B., Wang, Z., & Xu, S. Y. (2001). Gelatin: A valuable protein for food and pharmaceutical industries. *Food Science and Nutrition*, 41(6): 481-492.
  19. Zheng, X., Liu, C., Shi, J., Xue, S., Mu, Y., Lin, Z. and Liu, H. (2013). Analysis of volume expansion and dehydration rate of berry slab under microwave-vacuum puffing conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 52: 39-48.

20. Decareau, R. V. (1992). Microwave food in new product development. Food and Nutrition Press, Inc. Connecticut. New York. USA.
21. Pannarunothai, R. (2000). Water activity ( $a_w$ ) in the Food Industry. *Charpa Journal*, 7(56): 57-61. (in Thai)
22. Jantawat, P., Niyomwith, N., & Keawkumnerd, T. (1989). Dehydration of pork skin for frying process. *Food Journal*, 19: 75-78. (in Thai)
23. Maisont, S., & Narkrugs, W. (2010). Effects of salt, moisture content and microwave power on puffing qualities of puffed rice. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 44: 251-261.
24. Altan, A., McCarthy, L. K., & Maskan, M. (2008). Twin-screw extrusion of barley-grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Journal of Food Engineering*, 89: 24-32.
25. Rattanapanone, N. (2002). Food chemistry. 3<sup>rd</sup> edition. Bangkok. Odeon Store, part., Ltd. p. 16-17. (in Thai)
26. Nirav, D. J., Debandya, M., Dinesh, C. J., & Sutar, R. F. (2013). Puffing characteristics of parboiled milled rice in a domestic convective-microwave oven and process optimization. *Food and Bioprocess Technology*, 17, 10-13.
27. Yanqiu, M., Chenghai, L., Xianzhe, Z., & Changjiang, J. (2010). Effects of microwave vacuum puffing conditions on the texture characteristics and sensory properties of blackcurrant (*Ribes nigrum L.*) snack. *International Agricultural Engineering Journal*, 19(3): 45-53.
28. Bureau of Nutrition, Department of Health, Ministry of Public Health, Thailand. (2001). *Nutritive values of Thai foods*. [http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/files/nutritive\\_values\\_of\\_thai\\_foods.pdf](http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/files/nutritive_values_of_thai_foods.pdf).
29. Food and Drug Administration (FDA). (2016). *Hazard analysis and risk-based preventive controls for human food: Draft guidance for industry*. <https://www.fda.gov/media/99572/download>.
30. Awapak, D., Mahae, N & Pichairat, D. (2013). Optimization of polysaccharide extraction from *Gracilaria fisheri* using response surface methodology. *Khon Kaen University Science Journal*, 41(2), 414-430. (in Thai)
31. Hu, R. (1999). *Food product design: A computer-aided statistical approach*. CRC Press LLC.

