

การหาปัจจัยที่เหมาะสมของเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำสำหรับการอบเป็ด
โดยวิธีแฟรคชั่นนอลแฟคทอเรียลดีไซน์
Determining the Optimum of a Low Cost Heating Oven for Roasting
Ducks by Fractional Factorial Design

โกศล พิทักษ์สัตยาพรต, สุชาติ เขียวนอก, ศักดิ์ศิริชัย ศรีสวัสดิ์, *กฤษณ์ วรรณรัตน์ชัย

Koson Pitaksuttayaprot, Suchart Kiewnok, Saksirichai Srisawad,

*Kritphon Phanrattanachai

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
จังหวัดเพชรบูรณ์

Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology,

Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun

*ผู้นิพนธ์หลัก: kritphon.ai@pcru.ac.th

*Corresponding author: kritphon.ai@pcru.ac.th

Received: 13 June, 2024; Revised: 18 June, 2024; Accepted: 20 June, 2024

Abstract

This research is the design of experiments of a low-cost heating oven for roasting ducks by fractional factorial design of experiments using temperature and roasting time factors. To be a model for small food entrepreneurs who want to use it for cooking roasted duck. From testing the performance of the oven, we found that the oven can set the temperature and roasting time. Tests with temperature settings of 110, 150, 210, and 250 °C for time settings of 15, 20, 25, and 30 min, respectively, showed a greater temperature swing from the setpoint than the +7 °C maximum setting and less than the minimum setpoint of -5 °C, and the sensory quality of roasted duck was tested on the quality of roasted duck products by 7 food experts using a 9-point-Hedonic scale method. The highest sensory quality of roasted duck was 8.11. The first roasting temperature was set to a low level of 110 °C, while the first roasting time was set to a high level of 60 minutes. The second roasting temperature was set to a low level of 210 °C and the second roasting time was set at a low level of 45 minutes.

Keywords: Design of Experiments; Heating Oven; Sensory Quality; Fractional Factorial Design

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบการทดลองเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำสำหรับการอบเปิด โดยการวางแผนการทดลองแบบแฟรคชันนอล แฟคทอเรียล ดีไซน์ โดยใช้ปัจจัยอุณหภูมิและเวลาในการอบเพื่อเป็นต้นแบบให้กับผู้ประกอบการด้านอาหารรายย่อยที่ต้องการใช้เพื่อประกอบอาหารเปิดอย่างจากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเตาอบ พบว่าเตาอบสามารถตั้งค่าอุณหภูมิและเวลาในการอบได้ ทดสอบด้วยการตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 110, 150, 210 และ 250 °C เป็นเวลาที่ 15, 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับ พบว่ามีการแกว่งของอุณหภูมิจากค่าที่ตั้งไว้มากกว่าค่าที่ตั้งไว้สูงสุด + 7 °C น้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ต่ำสุด - 5 °C และได้ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเปิดอบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เปิดอบด้วยวิธี 9–point–Hedonic scale ชนิด 9 ระดับ ใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารทดสอบจำนวน 7 คน พบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเปิดอบสูงสุดอยู่ที่ 8.11 อุณหภูมิอบช่วงที่ 1 ให้มีค่าระดับต่ำคือ 110 °C เวลาอบช่วงที่ 1 ให้มีค่าระดับสูงคือ 60 นาที อุณหภูมิอบช่วงที่ 2 ให้มีค่าระดับต่ำคือ 210 °C และเวลาอบช่วงที่ 2 มีค่าที่ระดับต่ำคือ 45 นาที

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง; เตาอบความร้อน; คุณภาพทางประสาทสัมผัส; แฟรคชันนอล แฟคทอเรียลดีไซน์

บทนำ

อาชีพผู้ประกอบการด้านอาหารเป็นอาชีพที่มีความสำคัญต่อผู้บริโภค และระบบเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก ในการประกอบอาหารที่เป็นเมนูพิเศษจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบที่แพงและอุปกรณ์ที่เฉพาะเป็นพิเศษเช่นเมนูที่ต้องอบไก่หรือเปิดทั้งตัวซึ่งต้องใช้เตาอบที่มีขนาดใหญ่ และต้องใช้ทุนที่มากขึ้นตามไปด้วย แต่ความต้องการอาหารเมนูพิเศษของผู้บริโภคที่ยอมจ่ายเงิน (Wiriyaacharee, 2002) ในราคาที่แพงยังเป็นปัจจัยที่ทำให้ผู้ประกอบการด้านอาหารยังเลือกที่จะผลิตเมนูพิเศษเหล่านี้ออกมาป้อนตลาดของผู้บริโภค โดยทั่วไปแล้วผู้ประกอบการด้านอาหารรายใหญ่จะมีเงินทุนที่สามารถจัดหาอุปกรณ์ที่เฉพาะเป็นพิเศษเพื่อที่จะนำมาประกอบอาหารเมนูพิเศษต่างๆ ได้โดยไม่มีผลกระทบกับค่าใช้จ่ายในด้านอื่นๆ (Bangkok Ranch Public Company Limited, 2012) เตาอบไฟฟ้าที่ประหยัดความร้อนที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำและการผลิตที่คุ้มค่า เตาอบไฟฟ้าที่ได้รับการปรับปรุงและออกแบบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการอบเค้กและบิสกิตอย่างสม่ำเสมอ โดยมีปริมาตรเฉพาะ 652.8 cm³/kg สำหรับเค้ก และ 810 cm³/kg สำหรับบิสกิต ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์ขนาดเล็กในพื้นที่ชนบท (Rana et al., 2023)

เตาอบความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นในการประกอบอาหารได้หลากหลายเมนูโดยขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของเตาอบความร้อนซึ่งก็มีราคาตั้งแต่หลักร้อยบาทไปจนถึงหลักหมื่นบาทหรือแสนบาทแล้วแต่วัสดุที่ใช้ในการประกอบเตาอบความร้อนเช่น (Kanasee, 2016) ได้สร้างเตาอบไก่โดยใช้ถังสแตนเลสขนาด 200 ลิตร ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ฮีตเตอร์เป็นตัวให้ความร้อน (Wong-arun and Chanphaeng, 2021) ได้สร้างเตาอบโถงสำหรับการผลิตไก่อบโถงโดยใช้ความร้อนจากกังหันอินฟราเรดไกล เมนูพิเศษอีกหนึ่งเมนูที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นอย่างมากก็คือเปิดย่างหรือเปิดอบทั้งตัว ซึ่งต้องใช้เตาอบความร้อนที่สามารถนำเปิดทั้งตัวมาใส่ในเตาอบความร้อนได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว

ผู้ประกอบการด้านอาหารรายย่อยยังไม่มีเงินทุนที่มากพอที่จะจัดหาเตาอบความร้อนที่มีขนาดใหญ่พอที่สามารถอบเปิดทั้งตัวได้เพราะมีราคาที่สูงเป็นหลักหมื่นบาทซึ่งจะมีกระทบผลกับค่าใช้จ่ายอื่นๆที่ตามมาด้วย ดังนั้นการออกแบบและการสร้างเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำ เพื่อสอดคล้องกับการเอื้อประโยชน์อย่างแท้จริงสำหรับการประกอบอาชีพให้เกิดความมั่นคง และรายได้ที่เพิ่มขึ้นกับผู้ประกอบการด้านอาหารรายย่อยต่อการยอมรับเทคโนโลยีที่พร้อมพัฒนาคุณภาพสินค้าให้มีมาตรฐาน สามารถแข่งขันกับคู่ค้าในท้องตลาด และเพียงพอกับความต้องการของลูกค้า จึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วน ที่จะต้องดำเนินการวิจัย เพื่อออกแบบและสร้างเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำสำหรับผู้ประกอบการด้านอาหารรายย่อยและเป็นต้นแบบสำหรับการขยายผลเชิงพาณิชย์ในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุ

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เปิดที่เลี้ยงในระบบปิดซึ่งมีอายุ 38 - 40 วัน ด้วยการล้างเครื่องในออกและแช่แข็ง ขนาดไซต์ L น้ำหนักอยู่ระหว่าง 2.5 - 2.7 กิโลกรัม

อุปกรณ์

ต้นแบบเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง โดยดัดแปลงมาจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร โดย (Thongdaeng and Lamlerd, 2018) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอบไว้ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ความสูง 100 เซนติเมตร ซึ่งใช้เตาถ่านในการให้ความร้อนและใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงซึ่งการควบคุมอุณหภูมิทำได้ยากได้ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้อบและชนิดของถ่านไม้ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยงานวิจัยนี้การออกแบบมีลักษณะ ส่วนประกอบดังแสดงใน Figure 1 ดังนี้ หมายเลข 1 ฝาถัง หมายเลข 2 ถัง หมายเลข 3 โครงฐานเตา หมายเลข 4 ฝาครอบกันลม หมายเลข 5 ชุดตัวจุดหัวเตาแก๊ส หมายเลข 6 เกจวัดอุณหภูมิ หมายเลข 7 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ 8 ชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานโดยมีชุดควบคุมอุณหภูมิที่สามารถตั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบตามที่ต้องการได้ โดยเปิด-ปิดวาล์วแก๊สและจุดหัวเตาแก๊สอัตโนมัติแสดงใน Figure 1 งบประมาณในการจัดทำเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำตามแนวเศรษฐกิจพอเพียงแสดงใน Table 1



Figure 1 (a) Work design (b) Prototype of a low-cost heating oven based on the Sufficiency Economy

Table 1 Approximate price list of oven materials and equipment

Number	List	Price (Baht)
1	200 liter tank	400
2	Furnace structural steel	500
3	Gas stove head	850
4	Temperature gauge	250
5	Temperature sensor	200
6	Control unit	2500
Total Price		4,700

โปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิจัยนี้ใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ Minitab V.17 (ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์) สำหรับใช้จำลองการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)

วิธีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของอาหาร โดยใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของผู้ชิม ได้แก่ การมอง การฟัง การดม การชิม และการสัมผัส ใช้จำนวนผู้ชิมที่มากพอสมควร ประมวลผลด้วยวิธีทางสถิติ และแปลผลอย่างมีหลักเกณฑ์ (Wiryacharee, 2002)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดสอบหาประสิทธิภาพเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำสำหรับการอบเปิด ทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน โดยการหาอุณหภูมิตามค่า และระยะเวลาที่กำหนด ทำการตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 110, 150, 210 และ 250 °C ตามลำดับ ตั้งเวลาทำงานในแต่ละช่วงอุณหภูมิ 15, 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับ

การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส ดำเนินการโดยการนำเปิดอบที่อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนดไว้ ไปทดสอบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้าน กลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความโดยชอบรวม การประเมินผลคุณภาพของเปิดอบแต่ละการทดลอง ด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านอาหาร ซึ่งประกอบด้วยอาจารย์ด้านอาหาร และผู้ประกอบการเปิดอบ จำนวน 7 คน ซึ่งการกำหนดผู้เชี่ยวชาญได้ใช้เทคนิคเดลฟายซึ่งต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านและสามารถที่จะให้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำมากที่สุด ซึ่งจะพบว่าบุคคลที่จะมาเป็นผู้เชี่ยวชาญมีจำนวนไม่มาก การกำหนดจำนวนผู้เชี่ยวชาญ 5 - 9 คน จะมีค่าความคลาดเคลื่อน (error reduction) อยู่ระหว่าง 0.70 – 0.58 และอัตราความคลาดเคลื่อนที่ลดลง (net change) อยู่ที่ 0.12 (Silpcharu, 2020) โดยสอดคล้องกับ (Chuamsompong and Kajornsaksirikul, 2014) ได้การพัฒนาตำรับมาตรฐานอาหารตาดำแดงพุทรา โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารจำนวน 5 คน ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในด้าน สีกลิ่น รสชาติ

เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า ทาร์ตตาแต่งตำรับที่ 1 ได้รับการยอมรับในทุกคุณลักษณะมากกว่าทาร์ตตาแต่งตำรับอื่น โดย (Wong-arun and Chanphaeng, 2021) ได้พัฒนาเบหมีสดเสริม งาดำ ได้ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ของเบหมีสดทั้ง 3 สูตรโดยให้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับเบหมีสดสูตร 3 ทุกคุณลักษณะมากกว่าสูตร 1 และสูตร 2 ซึ่ง (Witinantakit et al., 2020) ได้ศึกษาผลของระดับการคั่วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่วโดยใช้เครื่อง คั่วสเปาเตดเบด การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกาแฟ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านกาแฟ 6 คน ทำการชิมกาแฟ โดยประเมิน ด้าน ความรู้สึกสะอาดในรสชาติกาแฟ (clean cup) ความหวาน (sweetness) ความเปรี้ยว (acidity) ความรู้สึกสัมผัสที่เกิดขึ้นในปาก (mouth feel) กลิ่นรส (flavor) ความรู้สึกหลังการดื่ม (aftertaste) และความสมดุลของกลิ่นและรสชาติ (balance) พบว่า เมื่อคั่วกาแฟ ในระดับคั่วเพิ่มขึ้นค่าอะโรมา ค่าความรู้สึกสะอาดในรสชาติกาแฟ ค่าความเปรี้ยว และค่ากลิ่นรส จะลดลง ในขณะที่การคั่วกาแฟเพิ่มขึ้นจาก city(-) เป็น city ค่าความหวาน ค่าความรู้สึกสัมผัสที่เกิดขึ้นในปาก ค่าความรู้สึกหลังการดื่ม และความสมดุลของกลิ่นและรสชาติ จะมีค่าสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ระดับการ คั่ว city จากนั้นจะเริ่มลดลงเมื่อระดับการคั่วเพิ่มขึ้นเป็น full city และ Italian นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระดับการคั่ว city(-) และ city มีค่าคะแนนการชิมทุกค่า สูงกว่าที่ระดับการคั่ว full city และ Italian และที่ระดับการคั่ว full city จะมีคะแนนการชิมทุกค่า สูงกว่าที่ระดับการคั่ว Italian นั่นคือที่ระดับการ คั่ว Italian มีคะแนนการชิมทุกค่า ต่ำที่สุดอย่างชัดเจน และ (Pattanasing and Soteyome, 2020) ได้คัดเลือกสูตรที่เหมาะสมของขนมมีมนวลด้วยหัวปลีผงทดแทนแป้งข้าวเหนียวบางส่วน โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 4 คน ด้วยวิธีอภิปรายกลุ่ม พบว่า ขนมมีมนวลตำรับที่ 1 และตำรับที่ 2 มีสีอ่อน มีความหอม ของข้าวคั่วพอใช้ สียังอ่อนอยู่ แต่ในตำรับที่ 1 พบมีความเนื้อสัมผัสแห้ง ส่วนตำรับที่ 2 ที่มีการเสริม งาดำคั่วป่นลงไป พบว่าเนื้อของขนมมีความหยาบเล็กน้อย ส่วนตำรับที่ 3 มีสีเข้มกว่าตำรับอื่นมาจากการใช้น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว

การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบการทำงานของเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำสำหรับการอบเปิด วิเคราะห์ข้อมูลการ ทดสอบอุณหภูมิตามค่าและระยะเวลาที่กำหนด

การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การประเมินคุณภาพอาหารด้านประสาทสัมผัสของเบิด่าง จำนวน 5 รายการ ในด้านกลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และรูปลักษณะโดยรวม และกำหนดระดับความชอบให้กับ ผลิตภัณฑ์แต่ละด้านตั้งแต่ 1 ถึง 9 (ระดับความพึงพอใจ 9 คะแนน) เกณฑ์การพิจารณา คือ 1 เท่ากับ ไม่ชอบมากที่สุด 2 เท่ากับ ไม่ชอบมาก 3 เท่ากับ ไม่ชอบปานกลาง 4 เท่ากับ ไม่ชอบเล็กน้อย 5 เท่ากับ 6 เท่ากับเล็กน้อย 7 เท่ากับ 8 เท่ากับมาก และ 9 เท่ากับมากมาย หาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) จากหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) แบบ Fractional Factorial Design 2^{k-p} วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการอบเปิด โดยกำหนดเพื่อ หาปัจจัยที่เหมาะสมของเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำสำหรับการอบเปิด จำนวน 4 ปัจจัย และแต่ละปัจจัย ประกอบด้วย 2 ระดับ (ระดับต่ำและระดับสูง) ได้แก่

A = อุณหภูมิอบช่วงที่ 1 (Temperature1) °C

B = เวลาอบช่วงที่ 1 (Time1) min.

C = อุณหภูมิอบช่วงที่ 2 (Temperature2) °C

D = เวลาอบช่วงที่ 2 (Time2) min.

โดยมี Response = ค่าเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเปิดอบในทุกด้านของผู้เชี่ยวชาญ 7 คน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการการหาปัจจัยที่เหมาะสมของเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำสำหรับการอบเปิดโดยวิธีแฟรคชันนอลแฟคทอเรียลดีไซน์ พบประเด็นที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

ผลการหาปัจจัยที่เหมาะสมของเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำสำหรับการอบเปิด

ผลการทดสอบอุณหภูมิตามค่าและระยะเวลาที่กำหนดได้ดำเนินการทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน ซึ่งลักษณะของการจัดเก็บข้อมูลจะแบ่งออกเป็น การจัดเก็บข้อมูลที่ตั้งอุณหภูมิไว้คือ 110, 150, 210 และ 250 °C ตามลำดับ ตั้งเวลาทำงานในแต่ละช่วงอุณหภูมิ 15, 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับ อุณหภูมิต่ำสุดเมื่ออุณหภูมิเตาอบต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ก่อนชุดอุปกรณ์ควบคุมจะทำการจุดหัวเตาแก๊ส และอุณหภูมิสูงสุด เมื่ออุณหภูมิเตาอบสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ก่อนชุดอุปกรณ์ควบคุมจะทำการตัดวาล์วส่งหัวเตาแก๊สดังใน Table 2

Table 2 Results of the control equipment by setting the specified time and temperature

Specified period (min)	Nominal temperature (°C)	Lowest temperature (°C)	Highest temperature (°C)
15	110	105	113
20	150	145	154
25	210	205	216
30	250	245	257

ผลการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเปิดอบทั้ง 5 ด้านได้แก่ กลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความโดยชอบรวม ตามการตั้งค่าอุณหภูมิและเวลาอบของผู้เชี่ยวชาญ 7 คน มีค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยตาม Table 3 เมื่อทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเปิดภายหลังจากการอบด้วยเตาอบความร้อนพบว่า การให้อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกันในการอบเปิดส่งผลทำให้มีความแตกต่างกัน ซึ่งผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเปิดอบได้ผลดังแสดงใน Table 3 ซึ่งใช้การวิเคราะห์ Fractional Factorial Design 2^{k-p} โดยใช้ Resolution IV Design มีการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง มีการทดสอบจุดกึ่งกลาง (center point) จำนวน 2 จุดและมีการสุ่มลำดับการทดลองเพื่อลดผลกระทบจากสิ่งรบกวน(Noise) วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการอบเปิด จาก Table 4 ได้ผล

การวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบ โดยใช้โปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 17 พบว่าทุกปัจจัยมีอิทธิพลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (P-Value < 0.05)

Table 3 Results of the sensory quality test of roasted duck

StdOrder	Run Order	Center Pt	Temperature1 (°C)	Time1 (min)	Temperature2 (°C)	Time2 (min)	Response
16	1	1	150	60.0	250	60.0	5.14286
13	2	1	110	45.0	250	60.0	5.57143
7	3	1	110	60.0	250	45.0	6.88571
11	4	1	110	60.0	210	45.0	8.11429
4	5	1	150	60.0	210	45.0	7.37143
8	6	1	150	60.0	250	60.0	5.02857
18	7	0	130	52.5	230	52.5	6.68571
3	8	1	110	60.0	210	60.0	8.02857
15	9	1	110	60.0	250	45.0	6.97143
9	10	1	110	45.0	210	45.0	7.14286
14	11	1	150	45.0	250	45.0	6.65714
10	12	1	150	45.0	210	60.0	7.45714
12	13	1	150	60.0	210	45.0	7.42857
2	14	1	150	45.0	210	60.0	7.51429
17	15	0	130	52.5	230	52.5	6.71429
1	16	1	110	45.0	210	45.0	7.20000
6	17	1	150	45.0	250	45.0	6.51429
5	18	1	110	45.0	250	60.0	5.51429

จาก Figure 2 เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบ ดังนั้นอุณหภูมิอบช่วงที่ 1 พบว่ากราฟมีลักษณะชันลงเล็กน้อย ซึ่งหมายความว่าถ้าปรับตั้งค่าอุณหภูมิอบที่ 150 °C คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบจะต่ำลงเล็กน้อย ดังนั้นอุณหภูมิอบช่วงที่ 1 จึงมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบเล็กน้อย

เวลาอบช่วงที่ 1 พบว่ากราฟมีลักษณะชันขึ้นเล็กน้อยหรือเกือบจะเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่า ถ้าปรับตั้งค่าเวลาอบที่ 60 นาที คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบจะสูงขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นเวลาอบช่วงที่ 1 จึงมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบเล็กน้อย

อุณหภูมิอบช่วงที่ 2 พบว่ากราฟมีลักษณะชันลงมาก ซึ่งหมายความว่าถ้าปรับตั้งค่าอุณหภูมิอบที่ 250 °C คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบจะต่ำลงมาก ดังนั้นอุณหภูมิอบช่วงที่ 2 จึงมีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

Table 4 Results of data variance analysis

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	14.3410	1.79263	520.10	0.000
Linear	4	10.3169	2.57923	748.32	0.000
Temperature1	1	0.3347	0.33474	97.12	0.000
Time1	1	0.1225	0.12250	35.54	0.000
Temperature2	1	8.9572	8.95719	2598.76	0.000
Time2	1	0.9025	0.90250	261.84	0.000
2-Way Interactions	3	4.0116	1.33719	387.96	0.000
Temperature1*Time1	1	3.7470	3.74699	1087.12	0.000
Temperature1*Temperature2	1	0.0490	0.04903	14.23	0.004
Temperature1*Time2	1	0.2156	0.21556	62.54	0.000
Curvature	1	0.0125	0.01252	3.63	0.089
Error	9	0.0310	0.00345		
Total	17	14.3721			
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	0.0587087	99.78%	99.59%	99.14%	

เวลาอบช่วงที่ 2 พบว่ากราฟมีลักษณะชันลงเล็กน้อย ซึ่งหมายความว่า ถ้าปรับตั้งค่าเวลาอบที่ 60 นาที คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบจะน้อยลงเล็กน้อย ดังนั้นเวลาอบช่วงที่ 2 จึงมีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบน้อยลงเล็กน้อย

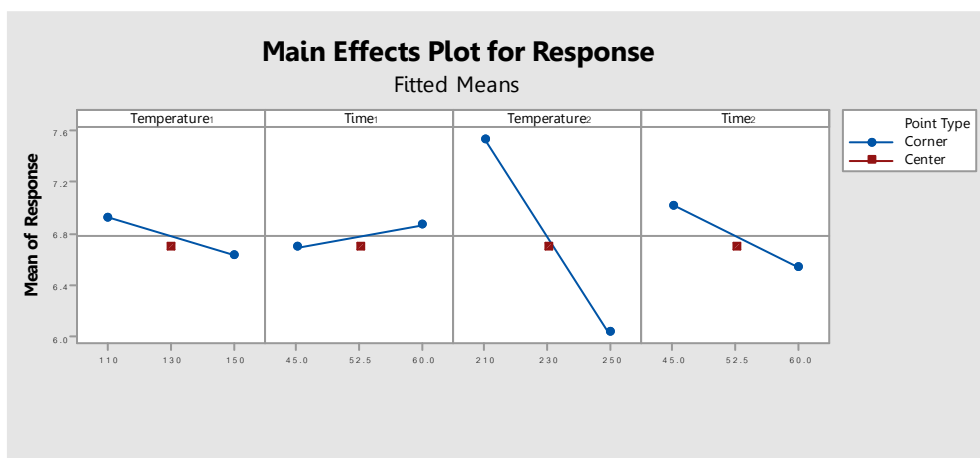


Figure 2 Main Effects Plot Main factors influencing the organoleptic quality of roasted duck

ใน Figure 3 จากการพิจารณากราฟอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างเวลาอบช่วงที่ 1 และอุณหภูมิอบช่วงที่ 1 โดยเวลาอบช่วงที่ 1 มีค่า 45 นาที ที่อุณหภูมิอบช่วงที่ 1 มีค่า 110 °C จะมีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบมีค่าต่ำ แต่เมื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิอบช่วงที่ 1 ให้สูงขึ้นเป็น 150 °C จะมีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเวลาอบช่วงที่ 1 มีค่า 60 นาที ที่อุณหภูมิอบช่วงที่ 1 มีค่า 110 °C จะมีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบมีค่าสูงแต่เมื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิอบช่วงที่ 1 ให้สูงขึ้นเป็น 150 °C จะมีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบมีค่าต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบ ได้ดังสมการที่ 1

$$\begin{aligned} \text{Response} = & -14.06 + 0.2346 \text{ Temperature1} + 0.4311 \text{ Time1} \\ & - 0.01942 \text{ Temperature2} + 0.0689 \text{ Time2} \\ & - 0.003226 \text{ Temperature1} * \text{Time1} \\ & - 0.000138 \text{ Temperature1} * \text{Temperature2} \\ & - 0.000774 \text{ Temperature1} * \text{Time2} - 0.0839 \text{ Ct Pt} \end{aligned} \quad (1)$$

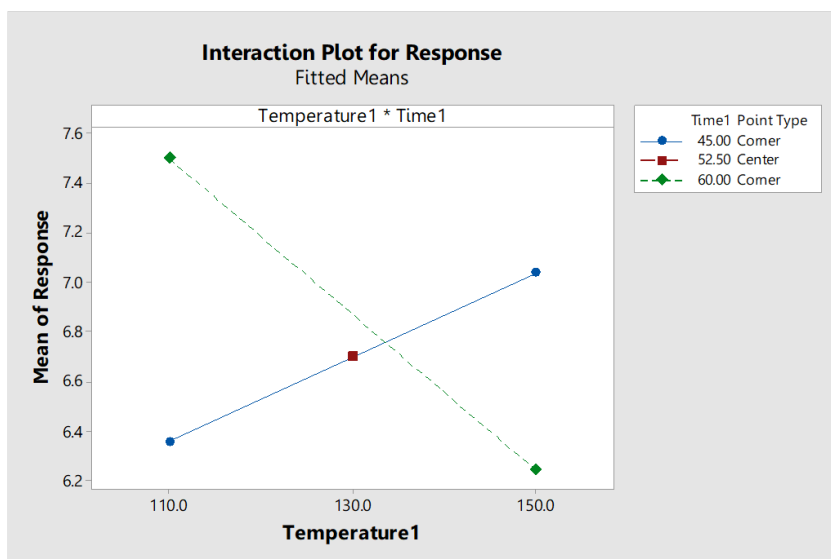


Figure 3 The combined influence of 2 factors affecting the sensory quality of roasted duck

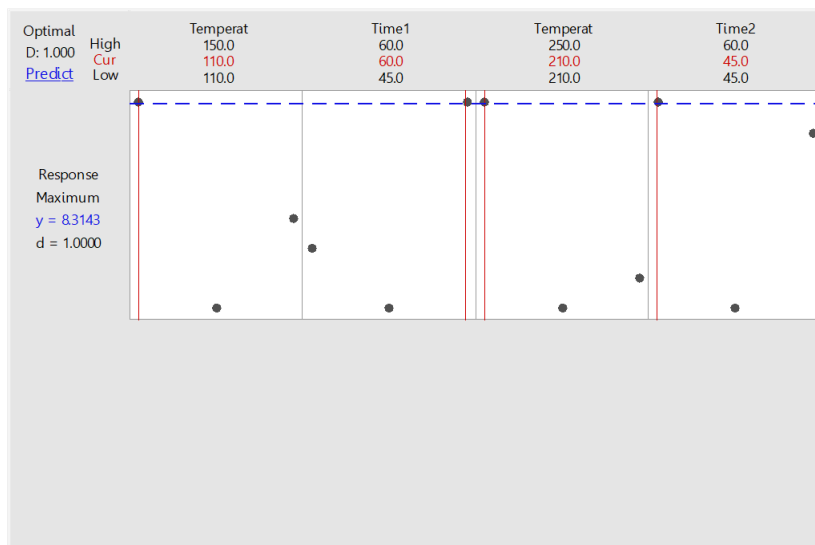


Figure 4 Optimal values of factors influencing the organoleptic quality of roasted duck

โดยสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย โดยใช้ Response Optimizer (Witinantakit et al., 2020) ได้ผลลัพธ์ใน Figure 4 โดยต้องปรับค่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบเปิด คือ ปรับอุณหภูมิอบช่วงที่ 1 ให้มีค่าอยู่ที่ระดับต่ำคือ 110 °C เวลาอบช่วงที่ 1 ให้มีค่าอยู่ที่ระดับสูงคือ 60 นาที อุณหภูมิอบช่วงที่ 2 ให้มีค่าอยู่ที่ระดับต่ำคือ 210 °C เวลาอบช่วงที่ 2 ให้มีค่าอยู่ที่ระดับต่ำคือ 45 นาที โดยทำการทดสอบจำนวน 5 ครั้งเพื่อยืนยัน ซึ่งผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบได้ค่าเฉลี่ยเป็น 8.086 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.095

จากการทดสอบหาปัจจัยที่เหมาะสมของเตาอบความร้อนต้นทุนต่ำสำหรับการอบเปิด พบว่าอุณหภูมิของเตาอบที่ตั้งไว้ตามค่าที่กำหนดมีการแกว่งของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่มากกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้สูงสุดที่ +7 °C และช่วงที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้สูงสุด -5 °C ซึ่งเป็นผลจากสายส่งแก๊สจากถังแก๊สไปยังหัวแก๊สโดยผ่านวาล์วเปิด-ปิดแก๊สจากชุดควบคุม ถ้าสายส่งแก๊สยิ่งยาวทำให้อุณหภูมียิ่งสูงมากขึ้นจากแก๊สที่ยังค้างอยู่ในสายส่งแก๊ส ช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ซึ่งก็เป็นผลจากสายส่งแก๊สที่วาล์วเปิด-ปิดแก๊สต้องรอให้แก๊สไหลผ่านไปยังหัวเตาแก๊สโดยมีชุดควบคุมจุดหัวเตาแก๊สโดยอัตโนมัติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ Fractional Factorial Design 2^{k-p} เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบอย่างมีนัยสำคัญ พบว่ามี 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 อุณหภูมิอบช่วงที่ 2 โดยถ้าอุณหภูมิอบช่วงที่ 2 มีค่าอยู่ที่ระดับสูง 250 °C จะมีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบมีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญ กรณีที่ 2 ปัจจัยร่วมระหว่างเวลาอบช่วงที่ 1 และอุณหภูมิอบช่วงที่ 1 โดยถ้าเวลาอบช่วงที่ 1 อยู่ที่ระดับต่ำ 45 นาที ต้องกำหนดให้อุณหภูมิอบช่วงที่ 1 อยู่ที่ระดับสูง 150 °C และถ้าเวลาอบช่วงที่ 1 อยู่ที่ระดับสูง 60 นาที ต้องกำหนดให้อุณหภูมิอบช่วงที่ 1 อยู่ที่ระดับต่ำ 110 °C จะมีผลทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเป็ดอบมีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่ง

สอดคล้องกับผลการวิจัยเรื่องการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม้ยางพารา (Witinantakit et al., 2020)

เตาอบความร้อนต้นทุนต่ำเป็นต้นแบบที่ใช้ต้นทุนในการสร้างและทดสอบซึ่งยังใช้ต้นทุนที่มากกว่าการสร้างเพื่อให้ออกสู่ตลาดสำหรับผู้ประกอบการด้านอาหารรายย่อย โดยยังมีข้อบกพร่องที่ต้องปรับปรุงแต่ก็มีประสิทธิภาพในการอบอาหาร ได้นอกจากเปิดแล้วยังสามารถอบอาหารอย่างอื่นได้ ซึ่งต้องดัดแปลงเพิ่มจากที่มีอยู่เดิมเช่นอบปลาหรือปลาเผาเกลือ มะเขือเผา และอื่นๆ ซึ่งต้องใส่ตะแกรงวางอาหารเพิ่ม และสามารถตั้งอุณหภูมิและเวลาอบได้ตามชนิดของอาหารที่นำมาอบ ซึ่งสอดคล้องกับ (Pumpho et al., 2020) ซึ่งได้สร้างเตาอบไอน้ำไฟฟ้าที่สามารถอบไก่, หมูหมัก และพิซซ่า ได้โดยการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่อุดหนุนทุนวิจัยประเภททุนสนับสนุนผลงานทางวิชาการประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และระบบอัตโนมัติ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณ คุณปรัชญา พลพันธ์ ให้คำปรึกษา ในการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยโปรแกรม Mini Tag

เอกสารอ้างอิง

- Bangkok Ranch Public Company Limited. (2012) Research and development. https://capital.sec.or.th/webapp/corp_fin/datafile/69/2014/031900024401012014-12-01T3009_Research_and_development.PDF
- Chuamsompong, B., & Kajornsaksirikul, P. (2014). Development of Standard Recipe for Jujube Tartetatin. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science*, 7(2), 57–66. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sdust/article/view/29399>
- Kanasee, T. (2016). Direct Fired Oven a Roasted Chicken Using Heat Electric. *Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology*, 4(1), 35-47. <https://articles.reru.ac.th/article.php?id=240>
- Pattanasing, T. & Soteyome, T. (27 March 2020). Development of NimNuan Dessert Partially Substituted Glutinous Rice Flour with Banana Bud Powder. *National & International Conference 11th*, 1122-1132. <http://www.journalgrad.ssrui.ac.th/index.php/8thconference/issue/view/81>
- Pumpho, W., Khon-ngam, V., Labuawong, S., Arwat, P., & Sa-adchom, P. (2020). Production of Roasted Chicken in Jar Using Heat Transfers from Far-infrared Ray. *RMUTP Research Journal Sciences and Technology*, 14(2), 85–97. <https://doi.org/10.14456/jrmutp.2020.23>

- Rana, M.M., Yasmin, S., Mahomud, M.S., Noor, F., & Sarker, M.S. (2023). Development and performance evaluation of an improved electric baking oven for baked products. *Food Science & Nutrition*, 11, 3057 - 3066.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.3287>
- Silpcharu, T. (2020). Statistical data research and analysis with SPSS and AMOS. (18th ed.). Nonthaburi: S.R. Printing Mass Products.
- Thongdaeng, S., & Lamlerd, B. (2018). THERMAL IMAGE TECHNIQUE AND THERMAL EFFICIENCY COMPARISON OF FIRED OVEN CHICKEN. *Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology*, 6(2), 67-79.
<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru/article/view/179372>
- Wiriyacharee, P. (2002). Sensory Evaluation (1th ed.). Chiang Mai: Faculty of Agro-Industry Chiang Mai University.
- Witinantakit, K., Supsing, S., Boonthum, E., & Taechapairoj. (2020). Effect to Black Sesame Supplementation on Sensory Qualities of Fresh Noodle. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 39(5), 145–153.
<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/scimsujournal/article/view/220609>
- Wong-arun, W., & Chanphaeng, T. (2021). Effect to Black Sesame Supplementation on Sensory Qualities of Fresh Noodle. *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 15(3), 145–153. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sdust/artic>