การออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ
Design and Development of Semi-Automatic Frying Machine with Temperature Control System

กันยารัตน์ พูลเพียร[1]* นันทิกา ปริญญาพล[1] และนัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ[1]
Kanyarat Punpain[1]*, Nantika Prinyapol[1] and Nutchanun Chinpanthana[1]
[1]วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
[1]College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University
*Corresponding author: kanyarat.pun@dpu.ac.th
Received: November 14, 2024
Revised: January 16, 2025
Accepted: January 22, 2025

บทคัดย่อ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดอาหารแบบกึ่งอัตโนมัตินี้มุ่งเน้นเพื่อเพิ่มความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถประหยัดเวลาในการทอด ควบคุมพลังงานความร้อนได้ดี และป้องกันน้ำมันกระเด็น เครื่องทอดนี้สามารถควบคุมการทำงานด้วยอุณหภูมิได้เมื่ออุณหภูมิถึงระดับที่ต้องการ กระทะมีความร้อนกระจายทั่วถึงจะสั่งการให้มอเตอร์หมุน ควบคุมตะแกรงอาหาร สำหรับการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ในการทอดทอดมันโดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด ประกอบด้วยอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 100°C 160°C และ 180°C จากผลการทดลองที่ 1 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม ทอดมันมีลักษณะไม่แข็งเกินไป นุ่มด้านใน และลดความเสี่ยงที่ผลิตภัณฑ์จะไหม้จากความเข้มของสีที่มากเกินไป ด้วยระยะเวลาการทอดเฉลี่ย 33.5 วินาที ทำให้มีค่าสีเฉลี่ยของสีทอดมันเป็น rgba (149.75 87 75 28.75 255) จากการทดลองจะเห็นว่าการพัฒนาหม้อทอดกึ่งอัตโนมัตินั้นช่วยเพิ่มการควบคุมคุณภาพและเพิ่มกำลังการผลิต ประหยัดค่าใช้จ่าย โดยที่เครื่องทอดแบบกึ่งอัตโนมัติมีความคุ้มทุนมากกว่าการทอดแบบเดิมมากถึง 52,902.39 บาท เปรียบเทียบต้นทุนต่อปีที่เทียบเท่าพบว่าเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติมีค่าเปรียบเทียบต้นทุนต่อปีต่ำกว่า ดังนั้นการลงทุนในเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติเป็นตัวเลือกที่คุ้มทุนมากกว่าในระยะยาว รวมทั้งลดกระบวนการทอดที่ซ้ำซ้อน จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมได้ดี

คำสำคัญ: เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ควบคุมอุณหภูมิ พัฒนาเครื่องทอด

Abstract

The design and development of this semi-automatic frying machine focus on improving convenience and efficiency in use, allowing users to save time during frying, control temperature effectively, and prevent oil splattering. The machine can control operation based on temperature, and when the temperature reaches the desired level, the pan ensures even heat distribution and activates the motor to control the food basket. To determine the appropriate temperature and frying time for fried fish cakes, the experiment was conducted in two sets, each with three temperature levels: 100°C, 160°C, and 180°C. The results of the first experiment showed that 160°C was the ideal temperature, producing fish cakes that were not too hard, had a soft interior, and minimized the risk of excessive browning. The average frying time was 33.5 seconds, with the average color value of the fried fish cakes being rgba (149.75, 87, 75, 28.75, 255). The results indicate that the development of the semi-automatic frying machine helps improve quality control, increases production capacity, and reduces costs. The semi-automatic fryer is more cost-effective compared to traditional frying methods, with an annual equivalent cost (EAC) of just 4,627.62 baht/year, resulting in a return on investment of 52,902.39 baht. Investing in the semi-automatic frying machine is a more economical choice in the long run, reducing redundant frying processes, making it suitable for industrial use.

Keywords: semi-automatic frying machine, temperature control, development of frying machine

บทนำ

เทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อเครื่องมืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงอุปกรณ์สำหรับการทอดอาหาร ที่เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่นิยมใช้กันมายาวนาน เพื่อเปลี่ยนแปลงรูปแบบของอาหารด้วยรูปแบบการทำลายจุลินทรีย์ เอนไซม์ และทำให้ผิวของอาหารมีเนื้อสัมผัสที่กรอบนอกหรือกรอบทั้งชิ้น ส่งผลต่อกลิ่น รสชาติ และลักษณะปรากฏที่ชวนให้น่ารับประทาน เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำจะระเหยกลายเป็นไอ อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส ความชื้นและความแตกต่างของความดันไอน้ำจะทำการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวอาหาร ระยะเวลาที่ใช้ในการทอดอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีการทอด ความหนาของชิ้นอาหาร และความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภค สำหรับวิธีการทอด แบบถ่ายเทความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารมี 2 ประเภท (1) การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) เป็นการทอดอาหารที่มีปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย (2) การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying) เป็นการนำความร้อนจากน้ำมันไปสู่ภายในอาหาร โดยให้อาหารสัมผัสกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิประมาณ 160-200 องศาเซลเซียส จนความร้อนไปถึงจุดกึ่งกลางของอาหาร มีอุณหภูมิเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ วิธีการทอดแบบนี้ทำให้ผิวของอาหารทั้งหมดได้รับความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลต่อสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งสี รสชาติ กลิ่น และเนื้อสัมผัสของอาหาร (Saguy & Dana, 2003) กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมพยายามที่จะนำเครื่องจักรเข้ามาใช้ควบคู่กับการทำงานแต่ยังมีข้อจำกัดของเครื่องทอดแบบดั้งเดิม เช่น ใช้เวลาทอดนาน ควบคุมอุณหภูมิและเวลาได้ยาก อาหารอาจไหม้หรือสุกไม่สม่ำเสมอ ใช้แรงงานคนมาก ต้องมีคนคอยควบคุมดูแลการทอด น้ำมันทอดเสื่อมสภาพเร็ว ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อย เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย น้ำมันร้อนอาจกระเด็นใส่คนทอด

การพัฒนาเครื่องทอดสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหารมีความจำเป็น เนื่องจากทำให้ (1) ประหยัดเวลา สามารถทอดอาหารได้โดยไม่ต้องควบคุม ดูแล ผู้ใช้สามารถ

ทำอย่างอื่นเมื่อเครื่องทอดกำลังทำงาน (2) ประหยัดแรงงาน เครื่องทอดอัตโนมัติสามารถทอดอาหารได้ด้วยแรงงานคนที่ลดลง เหมาะสำหรับโรงงานที่มีพนักงานน้อย (3) การทอดอาหารได้ด้วยระยะเวลาคงที่และมีผลที่ได้มีความสม่ำเสมอ เครื่องทอดอัตโนมัติสามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาได้อย่างแม่นยำ อาหารทอดได้สุกเหลืองกรอบ โดยไม่ต้องกังวลว่าจะไหม้หรือสุกไม่สม่ำเสมอ และ (4) ปลอดภัย เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติมีระบบตัดไฟอัตโนมัติ ป้องกันอุบัติเหตุจากการทอดอาหาร ดังนั้นจะเห็นว่าการสร้างเครื่องทอดสำหรับผู้ประกอบการเป็นผลิตภัณฑ์ที่จำเป็น อีกทั้งยังลดต้นทุนการผลิต ประหยัดค่าแรงงานรวมทั้งค่าน้ำมัน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สามารถผลิตอาหารได้รวดเร็วมากขึ้น และยังเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อาหารทอดได้มาตรฐาน สุกเหลืองกรอบ น่ารับประทาน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

2. เพื่อพัฒนาระบบเครื่องทอดที่ควบคุมอุณหภูมิได้

3. เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยจำนวนมากที่พยายามศึกษาปัจจัยและสภาวะการผลิตเพื่อพัฒนาระบบเครื่องทอดให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารและโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การเพิ่มคุณภาพของการทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอด (Krengkrat, 2020) พบว่า เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันและสีของแคบหมูมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น จากการทดสอบการทำงานของเครื่องทอดด้วยการทอดซ้ำที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส จำนวน 40 ครั้ง (Tangsantaskul, 2011) ได้นำเสนอระบบทอดแบบพ่นฝอยเป็นนวัตกรรมที่ทันสมัยในการฉีดพ่นละอองน้ำมันร้อนที่มีแรงดันสูงลงในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทอด โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำมันทอดอย่างสม่ำเสมอเสมือนมีการทอดอยู่ตลอดเวลา จากงานวิจัยพบว่า การทอดแบบพ่นฝอยสามารถลดปริมาณการดูดซับน้ำมันทอดในผลิตภัณฑ์อาหารได้มากกว่าร้อยละ 60 (Chongkol, 2018) ออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดหอมเจียวให้มีคุณภาพเพื่อลดการใช้แรงงานและลดต้นทุนในการทอดหอมเจียว สำหรับใช้ในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม พบว่า เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิในการทอด 170 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบของใบกวน 45 รอบต่อนาที มีความสามารถในการทอดหอมเจียว 3 กิโลกรัมด้วยเวลา 28.4 นาที สามารถใช้น้ำมันทอดซ้ำได้ถึง 6 ครั้ง นักวิจัยบางกลุ่ม (Siriwongwilaichat, 2019) พยายามศึกษาอัตราการขยายตัวและความแข็งต่อเนื้อสัมผัส เพื่อสร้างความสัมพันธ์และสามารถนำไปสู่รูปแบบการทอด จะเห็นว่าโรงงานอุตสาหกรรมอาหารพยายามออกแบบและพัฒนาเครื่องทอด เพื่อทำให้ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และแม่นยำขึ้น ป้องกันอาหารไหม้ มีระบบกรองน้ำมันอัตโนมัติ ทำให้น้ำมันทอดอยู่ได้นานขึ้นโดยไม่ต้องเปลี่ยนบ่อย อีกทั้งมีระบบหมุนเวียนน้ำมันเพื่อช่วยให้น้ำมันร้อนทั่วถึง ทอดอาหารได้สม่ำเสมอ สิ่งที่ต้องคำนึงมากที่สุด คือ มีระบบล้างทำความสะอาดอัตโนมัติ ทำความสะอาดเครื่องทอดได้ง่าย ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำงานวิจัยข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทอดแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เพื่อทำให้กระบวนการทอดมีคุณภาพ อำนวยความสะดวก มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ได้การออกแบบโครงสร้างการทำงานของเครื่องทอดที่สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิรวมทั้งการไหลเวียนของน้ำมันได้อัตโนมัติ โดยเริ่มจากออกแบบการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ ซอฟแวร์ และตัวโครงสร้างให้ตอบรับกับผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดลองการทำงานของเครื่อง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์อาหาร คือ ทอดมัน เนื่องจากเป็นอาหารที่มีรสชาติอร่อย รับประทานง่าย และรับความนิยมในการบริโภค แต่การทอดส่วนใหญ่ยังขาดส่วนสำคัญของการทอดทอดมัน อาทิ การรักษาอุณหภูมิของน้ำมันในการทอด รูปทรง และขนาดของทอดมันที่ยังมีขนาดแตกต่างกันมาก และปัญหาต่าง ๆ ในการทอดที่ยังไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติที่ช่วยให้การทอดให้ได้มาตรฐานสูงสุด ด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิและการไหลเวียนของน้ำมันที่แม่นยำ ทำให้ทอดมันทุกชิ้นมีความกรอบนอกนุ่มในเหมือนกันทุกครั้ง นอกจากนี้ ยังสามารถผลิตทอดมันได้หลากหลายรูปแบบ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และตอบสนองความต้องการของตลาดได้

อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น การทำงานของเครื่องง่ายและรวดเร็วสามารถทำได้ในปริมาณที่มาก และมีการเปลี่ยนรูปแบบแม่พิมพ์ได้ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทอดที่มีประสิทธิภาพ โดยแผนการดำเนินการ ข้อมูลเชิงเทคนิค รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ประกอบด้วย (1) กำหนดค่าเบื้องต้นของระบบการทอด (define system configuration) (2) ออกแบบและพัฒนาเครื่องทอด (design and development of semi-automatic frying machine) และ (3) ผลการทดลอง (experiment results) ขั้นตอนการพัฒนาทั้ง 3 ส่วน ดังแสดงในภาพ 1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความกรอบนอกนุ่มในเหมือนกันทุกครั้ง นอกจากนี้ยังสามารถผลิตทอดมันได้หลากหลายรูปแบบ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และตอบสนองความต้องการของตลาดได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น การทำงานของเครื่องง่ายและรวดเร็วสามารถทำได้ในปริมาณที่มาก และมีการเปลี่ยนรูปแบบแม่พิมพ์ได้ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทอดที่มีประสิทธิภาพ โดยแผนการดำเนินการ ข้อมูลเชิงเทคนิค รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องทอดมันอัตโนมัติ ประกอบด้วย (1) กำหนดค่าเบื้องต้นของระบบการทอด (define system configuration) (2) ออกแบบและพัฒนาเครื่องทอด (design and development of semi-automatic frying machine) และ (3) ผลการทดลอง (experiment results) ขั้นตอนการพัฒนาทั้ง 3 ส่วน ดังแสดงในภาพ 1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กำหนดค่าเบื้องต้นของระบบการทอด

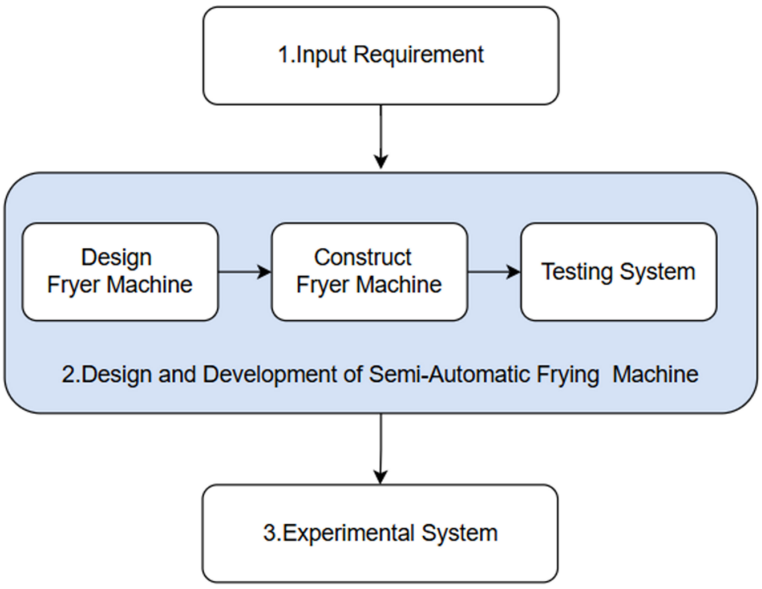
ระบบการทอดอาหารในการทดลองนี้เป็นระบบทอดที่มีการให้ความร้อนโดยตรงแบบต่อเนื่อง และเลือกใช้แหล่งความร้อนในรูปแบบเตาอินดักชัน (induction cooker) ทำงานด้วยการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ความร้อนเกิดขึ้นที่ก้นหม้อโดยตรง ทำให้เกิดความสูญเสียความร้อนน้อยกว่าเตาแก๊ส และนอกจากนั้นเตาอินดักชันสามารถปรับอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ ทำให้เป็นทางเลือกที่เหมาะกับการควบคุมอุณหภูมิที่มีความละเอียด ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบการทอดมี ดังนี้

1. ควบคุมแหล่งให้พลังงานความร้อน อุณหภูมิสำหรับการทอดเป็นสิ่งที่ต้องควบคุม (Pedreschi, 2005; Capar, 2017) เนื่องจากมีผลต่อคุณภาพของอาหาร เพราะการทอดที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้อาหารมีการดูดซับน้ำมันเพิ่ม และถ้ามีการใช้อุณหภูมิที่สูงจนเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งและสีเปลือกนอกเปลี่ยนไป อาจจะไม่สุก รวมทั้งรสชาติของอาหารไม่ดีเท่าที่ควร (Kita & Lisińska, 2007) โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการทอดจะอยู่ระหว่าง 150 ถึง 190 องศาเซลเซียส โดยจะขึ้นอยู่กับอาหารที่นำมาทอด

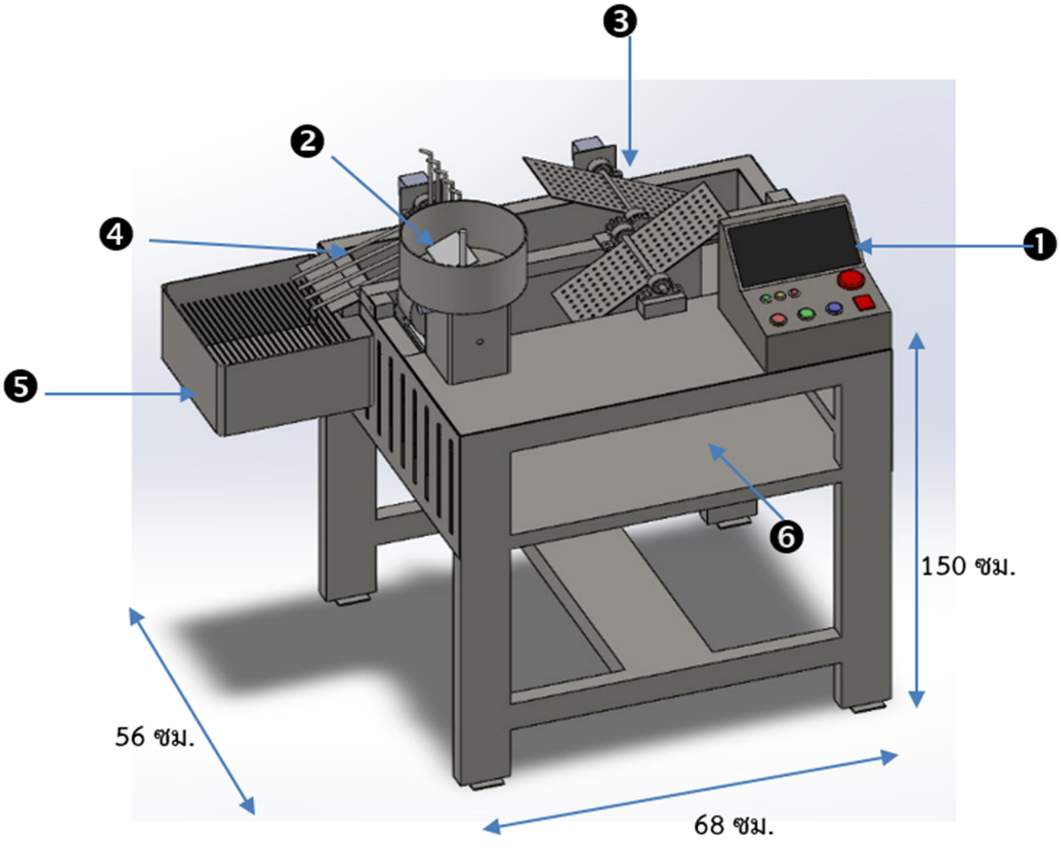
2. กำหนดระยะเวลาทอด จะสัมพันธ์กันกับอุณหภูมิและประเภท รวมทั้งขนาดของอาหารที่นำมาทอด สิ่งที่สำคัญ คือ รูปลักษณะอาหารที่มีผลต่อระยะเวลาในการทอดเช่นกัน ถ้ามีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงจะมีแนวโน้มดูดซับน้ำมันได้มากกว่าอาหารที่มีพื้นที่ผิวปริมาตรน้อย ซึ่งจะมีผลต่อการพองและความพรุนของอาหาร

3. กำหนดสูตรมาตรฐานของทอดมัน 1,000 กรัม มีส่วนผสม ดังแสดงในตาราง 1 เป็นทอดมันที่ได้คัดเลือกแล้วว่า มีความเหนียวของเนื้อทอดมันกำลังดี คือ ไม่เหนียวหรือว่าเละจนเกินไป เพราะถ้าเหนียวทำให้เนื้อทอดมันติดกับแม่พิมพ์ และถ้าเนื้อเละเกินไปทำให้ทอดมันไม่จับตัวเป็นรูปทรงที่ต้องการ

4. กำหนดประเภทน้ำมันและปริมาณน้ำมันสำหรับทอด เนื่องจากน้ำมันแต่ละประเภทจะมีจุดเกิดควัน (smoke point) ในระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกประเภทน้ำมันในการทดลองนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเลือกจากระดับอุณหภูมิที่สูง ที่ทำให้น้ำมันเริ่มกลายสภาพเป็นควัน คือ น้ำมันปาล์ม เพราะมีจุดเกิดควันสูง จำนวน 10 ลิตร เหมาะสำหรับการทอดอาหารที่ต้องใช้ความร้อนสูง โดยไม่ทำให้น้ำมันไหม้หรือมีกลิ่นเหม็น ปริมาณน้ำมันสำหรับการทอด ใช้น้ำมันครึ่งหนึ่งของหม้อทอดประมาณ 10 ลิตร เป็นปริมาณที่น้ำมันไม่กระเด็นขณะที่ใบพัดเคลื่อนที่และใบพัดสามารถเคลื่อนตัวได้ดี



ภาพ 1 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ



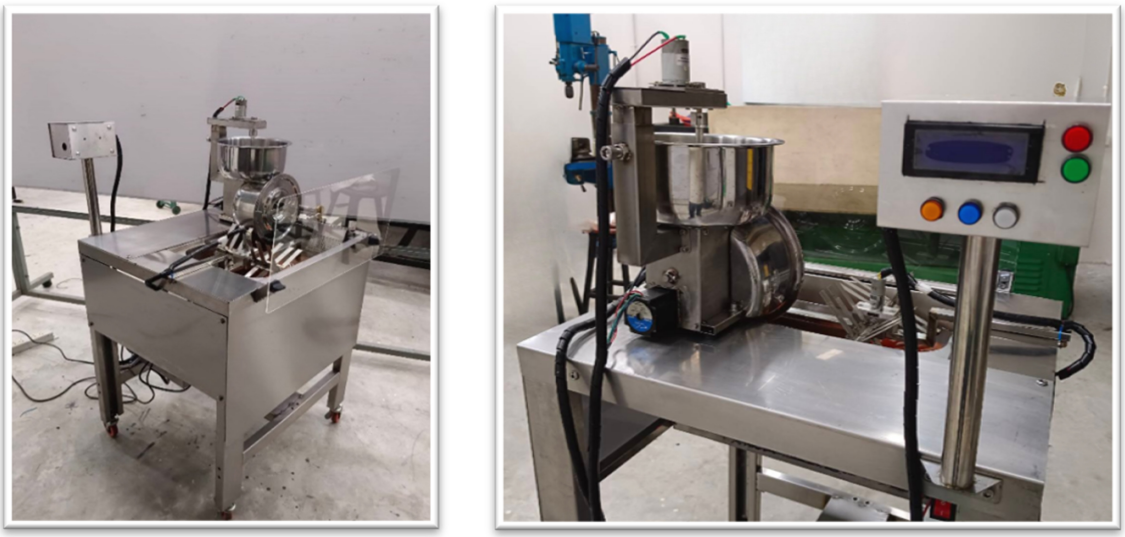
ภาพ 2 โครงสร้างต้นแบบเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ

ตาราง 1

สูตรมาตรฐานของทอดมันปลา

วัตถุดิบ	ร้อยละ
เนื้อปลากราย	65
พริกแกง	10
ถั่วฝักยาว	15
เครื่องปรุงอื่น ๆ	10
รวม	**100**

การพัฒนาเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ



ภาพ 3 การประกอบและการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ

วัสดุที่ใช้สำหรับการพัฒนาเครื่องทอด และอุปกรณ์เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) เป็นแผ่น Metal Sheet แบบ SUS304 ขึ้นรูปโดยการพับและการเจาะยึดด้วยสกรู ตัวโครงเครื่องทอดมีลักษณะแนวตั้ง ประกอบด้วย เตาอินดักชัน จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 2,200 วัตต์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการทอด ตัวหม้อทอดตั้งอยู่ด้านบนของตัวเครื่องด้วยการนำไมโครคอนโทรเลอร์อย่างบอร์ด Arduino มาช่วยในการควบคุมและแสดงผล ใช้เซนเซอร์ RTD PT100 สำหรับการวัดอุณหภูมิของน้ำมัน ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม และมีการใช้มอเตอร์สเตปขนาด 24 โวลต์ สำหรับควบคุมชุดอัดทอดมันลงตัวบล็อก และควบคุมใบพัดผลิกตัวทอดมัน ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณกลางหม้อทอด ใต้หม้อทอดจะมีเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อใช้เป็นฐานวางเตาอินดักชัน โดยเมื่อวางเตาอินดักชันลงแล้วหน้าเตาจะอยู่ห่างจากก้นหม้อทอดไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ซึ่งทำหน้าที่ให้ความร้อนกับน้ำมันในหม้อทอดได้เร็วขึ้น และทั่วถึงจากด้านล่างตัวเครื่อง และใต้อ่างจะมีหัวคันโยกสำหรับปล่อยน้ำมันทอดที่ทอดแล้วออกมา สำหรับการพัฒนาได้มีการปรับและแก้ไขรวมทั้งทำการทดลองควบคู่กันไปเพื่อให้มีความเหมาะสม จึงทำให้การติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ชั่วคราวเพื่อทำการติดตั้งและทดลองการทำงานจนเสร็จสมบูรณ์ตามกระบวนการแล้วจึงจัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสมต่อไป

โครงสร้างของการพัฒนาหม้อทอด ดังแสดงในภาพ 2 เบื้องต้นโครงสร้างหม้อทอดมีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ขนาดกว้าง 56 เซนติเมตร ยาว 68 เซนติเมตร และ

ความสูงจากฐานล้อจนถึงด้ามจับ 151 เซนติเมตร การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ มีส่วนประกอบหลักของเครื่อง ประกอบด้วย หมายเลข 1 ชุดคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ หมายเลข 2 หม้อแขกใส่ทอดมัน ทำหน้าที่บรรจุทอดมันแล้วอัดลงสู่บล็อกทอดมัน หมายเลข 3 ชุดอัดทอดมันลงบล็อค ทำหน้าที่นำทอดมันจากการอัดลงสู่กระทะทอด หมายเลข 4 ใบพัดผลิกตัวทอดมัน ทำหน้าที่ผลิกตัวทอดมัน หมายเลข 5 กังหันลำเลียงทอดมัน ทำหน้าที่นำตัวชิ้นทอดมันที่ทำการทอดจนสุกแล้วขึ้นไปพักยังจุดพักตัวชิ้นทอดมัน และหมายเลข 6 ถาดพักทอดมันไว้สักครู่ เพื่อให้น้ำมันสะเด็ดลงไปให้หมด เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนทำการเสิร์ฟให้กับผู้บริโภค จากภาพ 3 ได้ทำการประกอบและติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ และได้ทำการทดลองความต่อเนื่องของอุปกรณ์เบื้องต้น

วัตถุดิบและอุปกรณ์ในการทดลอง

- เนื้อทอดมัน จำนวน 2 กิโลกรัม
- น้ำมันปาล์ม จำนวน 10 ลิตร
- เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ
- นาฬิกาจับเวลา Oppo band
- เครื่องตรวจจับอุณหภูมิ

วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

โดยทั่วไปการตัดสินใจการลงทุน เพื่อสร้างเครื่องจักรที่เป็นสินทรัพย์ ควรมีการวางแผนทางการเงินเพื่อประมาณต้นทุนเริ่มต้น ต้นทุนการดำเนินงาน และต้นทุนทางการเงินในปัจจุบันจะมีมูลค่าเท่าใดในอนาคต โดยอิงจากอัตราการเติบโตที่คาดไว้ และประมาณการรายได้ที่จะได้รับจากการใช้เครื่องทอดใหม่ (Sarker, 1994) ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบข้อแตกต่าง สำหรับการสร้างเครื่องทอดกับการใช้การทอดแบบเดิม คือ การทอดด้วยเตาทอดปกติ เพื่อหาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน ด้วยอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 1.8 ต่อปี (อัตราธนาคารแห่งประเทศไทย) และเปรียบเทียบกับมูลค่าเงินในอนาคต คือ มูลค่าของเงินที่ได้รับ ณ วันครบกำหนดในอนาคต ว่าเงินที่ได้ลงทุน หรือเงินฝากมีมูลค่าเท่าใดในอนาคต ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ตามระยะเวลาหรืออัตราผลตอบแทน เป็นหนึ่งในสูตรคำนวณทางการเงินที่จะช่วยให้ประเมินหามูลค่าในอนาคตได้อย่างง่าย สามารถคำนวณดังสมการ ดังนี้

ผลรวมของเงินในอนาคต = -ราคาเครื่อง-ค่าบำรุงรักษาต่อปี

$$*\left(\frac{p}{A},i,n\right)+\text{มูลค่าซาก}*\left(\frac{P}{FV},i,n\right) \quad (1)$$

โดยกำหนดให้ P แทนมูลค่าหรือผลรวมของเงินในช่วงเวลาที่กำหนดให้เป็นปัจจุบัน หรือที่เวลา t = 0 FV แทนมูลค่าเงินในอนาคต หรือผลรวมของเงินในอนาคต (future value) และ A แทน มูลค่าของเงินรายเดือนหรือรายปี ที่มีค่าสม่ำเสมอเท่ากัน ค่า i แทน อัตราดอกเบี้ย หรืออัตราตอบแทนต่อช่วงเวลา หน่วย ร้อยละต่อปี โดย n แทน จำนวนช่วงเวลาสำหรับการวิเคราะห์ หน่วย ปี เดือน หรือวัน

ผลรวมของเงินในอนาคตด้วยการทอดแบบเดิม

= -5,321.39 - 10,200*(7.926) + 2,500*(0.8715)

= –84,090.84 บาท

ผลรวมของเงินในอนาคตด้วยเครื่องทอด

= -35,000 – 500*(9.0889) + 10,000*(0.8356)

= –31,188.45 บาท

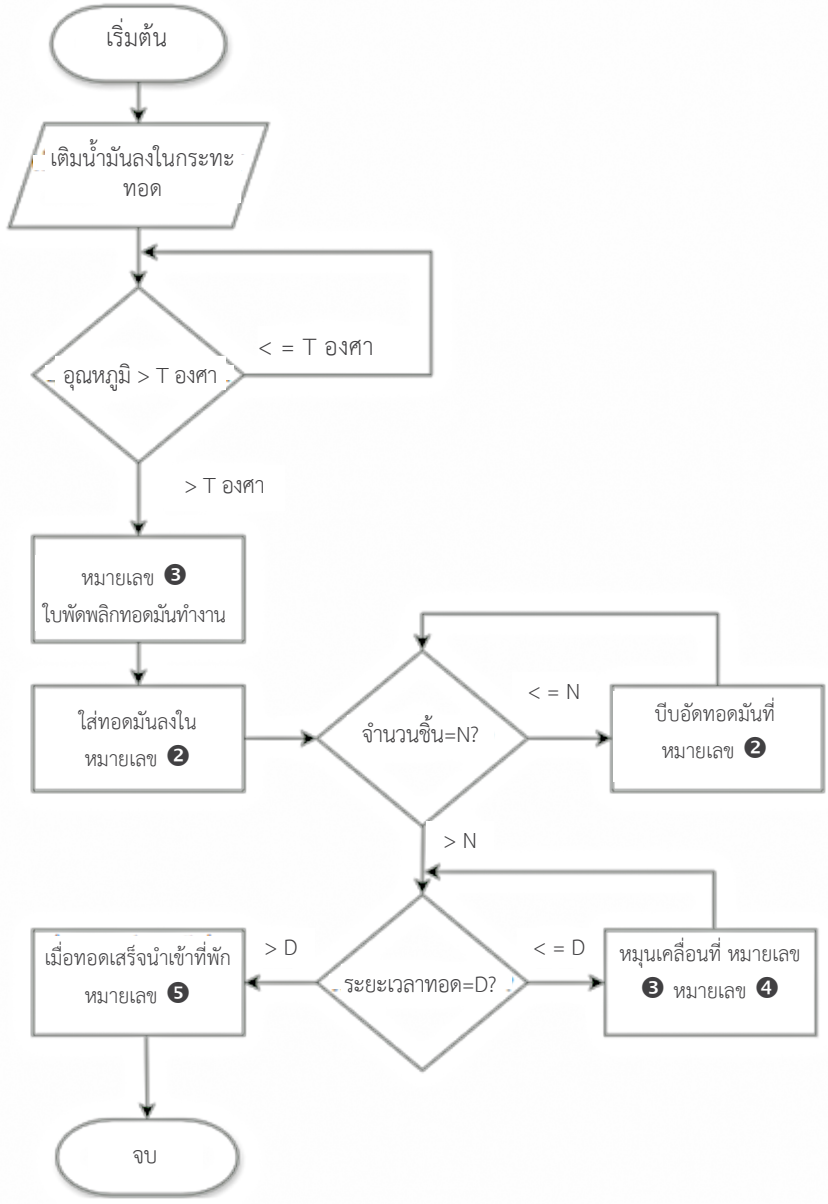
จากตาราง 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตามหลักทางเศรษฐศาสตร์ของการทอดรูปแบบเดิมกับการสร้างเครื่องทอดว่ามีความคุ้มทุนหรือไม่ โดยวิเคราะห์จากผลรวมของเงินในอนาคต จากการคำนวณการทอดแบบเดิม มีอายุการใช้งาน 8 ปี เมื่อครบอายุการใช้งานมูลค่าของการทอดแบบเดิมจะมีมูลค่าอยู่ที่ –84,090.84 บาท ต่างจากการทอดด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ที่เมื่อครบอายุการใช้งาน 10 ปี มูลค่าของเครื่องในอนาคตจะมีมูลค่าอยู่ที่ –31,188.45 บาท จากการคำนวณจะเห็นว่าการสร้างเครื่องทอดแบบกึ่งอัตโนมัติมีความคุ้มทุนมากกว่าการทอดแบบเดิม ซึ่งจะมีการลงทุนที่คุ้มค่ามากกว่าถึง 52,902.39 บาท เนื่องจากค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของค่าบำรุงรักษา และค่าพลังงานต่อปี ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เกิดจากพลังงานหรือความร้อนที่ใช้ในการทอด รูปแบบเดิมใช้ความร้อนจากแก๊ส ความร้อนที่ได้จะกระจายตัวไปยังอุปกรณ์โดยรอบอย่างทั่วถึง ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทอดเสื่อมสภาพได้ง่าย อายุการใช้งานสั้นลง เครื่องทอด พลังงานหรือความร้อนที่ใช้ในการทอดได้รับจากเตาอินดักชัน ทำให้ความร้อนไม่กระจายไปยังอุปกรณ์โดยรอบ อายุการใช้งานอุปกรณ์จึงใช้งานได้นานกว่ารูปแบบเดิม

จากตาราง 2 ราคาอุปกรณ์และเครื่องจักรของการทอดแบบเดิมจะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งประกอบไปด้วย กระทะ เตาแก๊ส ถังแก๊ส และอุปกรณ์ช่วยทอด เป็นต้น ค่าบำรุงรักษาต่อปี เครื่องทอดแบบใหม่มีการดูแลรักษาเพียงชุดซีลตามจุดรอยต่อ ต่างจากการทอดแบบเดิมที่มีค่าบำรุงรักษาต่อปีสูง เนื่องจะต้องมีการเติมแก๊สทุกอาทิตย์ (Thongprasertchai, 2023) และอุปกรณ์ในการทอดมีอายุการใช้งานที่จำกัด ในด้านของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเตาอินดักชัน ที่มีกำลัง 2,200 วัตต์ มีอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 8.8 บาทต่อชั่วโมงต่อเครื่องเท่านั้น (Metropolitan Electricity Authority, Provincial Electricity Authority, 2021)

ตาราง 2

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการทอดแบบเดิมและเครื่องทอด

วัตถุดิบ	การทอดแบบเดิม (บาท)	เครื่องทอด (บาท)
ราคาอุปกรณ์และเครื่องจักร	5,321.39	35,000
ค่าบำรุงรักษาต่อปี	10,200	500
มูลค่าซาก	2,500	10,000
อายุ (ปี)	8	10



ภาพ 4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ

มูลค่าซากที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติวัสดุที่สร้าง คือ เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ทำให้ราคารับซื้อสูง (Recyclenow Team, 2018) นอกจากนี้การซื้อเครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานต่างกัน จำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง รวมถึงต้นทุนโอกาสและผลตอบแทนที่ได้จากการใช้งาน เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงมีการคำนวณต้นทุนทั้งหมด หรือ ต้นทุนรวมตลอดอายุการใช้งาน (Total Cost of Ownership: TCO) มีสมการดังต่อไปนี้

$$TCO = \text{ราคาซื้อ} + \frac{\text{ต้นทุนดำเนินงาน}_t}{(1+r)^t} - \frac{\text{มูลค่าซาก}}{(1+r)^n} \quad (2)$$

และเปรียบเทียบต้นทุนรายปี หรือต้นทุนต่อปีที่เทียบเท่า (Equivalent Annual Cost: EAC) (Siri, 2015) จากสมการ

$$EAC = \frac{TCO \times r}{1-(1+r)^{-n}} \quad (3)$$

เมื่อนำค่าจากตาราง 2 และกำหนดอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 6.5 % (ค่าเฉลี่ยอัตราดอกเบี้ยธนาคารแห่งประเทศไทย) ผลการคำนวณค่า TCO และ EAC สำหรับการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าความต่างของการทอดแบบเดิมและเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ มีดังนี้

การทอดแบบเดิม: ได้ค่า TCO เป็น 65,916.07 บาท และมีค่า EAC เป็น 10,825.88 บาท

เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ: ได้ค่า TCO เป็น 33,267.15 บาท และมีค่า EAC เป็น 4,627.62 บาท

เปรียบเทียบจากผลลัพธ์ เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติมี EAC ต่ำกว่า (4,627.62 บาท/ปี) เมื่อเทียบกับการทอดแบบเดิม (10,825.88 บาท/ปี) ซึ่งหมายความว่าการลงทุนในเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติเป็นตัวเลือกที่คุ้มทุนมากกว่าในระยะยาว แม้ต้นทุนเริ่มต้นจะสูงกว่า แต่ค่าใช้จ่ายรายปีต่ำกว่า

การทำงานของเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ

การทำงานของเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ เริ่มจากการให้ความร้อนผ่านเตาอินดักชันจำนวน 2 เครื่อง เริ่มต้น เติมน้ำมันลงในกระทะ จากนั้นกดปุ่มเลือกจำนวนชิ้น (N) ที่ต้องการ เครื่องตรวจจับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จากภาพ 4 กำหนดให้ค่าอุณหภูมิ (T) มีค่าเป็น 100 องศาเซลเซียล เครื่องทำการส่งคำสั่งไปที่ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านไปยังชุดอัดทอดมันลงบล็อก และใบพัดด้านในหม้อใส่ทอดมันจะหมุนกวาดทอดมัน เพื่อให้ทอดมันอัดลงไปยังบล็อค เพื่อบีบอัดขึ้นรูปตามจำนวนชิ้นที่กำหนดไว้ (N) ชุดบล็อกทำการหมุน 1 รอบใช้ระยะเวลาประมาณ 15 วินาที แล้วรอเวลาที่ทอดมันลอยขึ้น ซึ่งตัวทอดมันจะค่อย ๆ เคลื่อนที่ออกตามแรงใบพัด แล้วทำซ้ำกระบวนการ เมื่อลอยไปถึงชุดตัก จะตักตามที่ระยะเวลาที่กำหนดไว้ (D) โดยเริ่มนับเวลาจากชิ้นที่ตกลงกระทะ ดังแสดงขั้นตอนการทำงานในภาพ 4

การวิเคราะห์ด้วยการวัดค่าของสี

ผลที่ได้จากการทอดมีความแตกต่างทั้งด้านรสชาติและความอ่อนแข็งซึ่งโดยทั่วไป จะเป็นการเปรียบเทียบในเชิงค่าของสีสามารถวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดสีอัตโนมัติ (Lovibond RT Series Reflectance Tintometer Lovibond Amesbury UK) (Capar, 2017; Tan, 1985) การวัดค่าของสีและจะคิดเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าซ้ำ 5 ครั้ง สำหรับการทดลองนี้ได้มีการเปรียบเทียบค่าของสีในเชิงการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย (image processing) เพื่อเป็นการบอกความสุกดิบของเนื้อทอดมัน ในรูปแบบ RGBA (Red: สีแดง Green: สีเขียว Blue: สีน้ำเงิน Alpha: อัลฟา) เป็นค่าตัวเลขแทนค่าสี (Lilley, 1993; David, 1991) หรือเรียกว่าค่าความเข้มของสีแดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) และความโปร่งใสของสี (A)

ผลการทดลอง

การวัดและประเมินผลการทำงานเป็นขั้นตอนสุดท้าย เพื่อทำการตรวจสอบการทำงานของเครื่องว่ามีประสิทธิภาพมากหรือน้อยเพียงใดเมื่อนำมาใช้งานจริง สำหรับเนื้อทอดมันและน้ำมันที่นำมาใช้ถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด ดังที่กล่าวมาแล้วการทดลองสั่งการทำงานทั้งหมดของเครื่อง เริ่มจากการกดปุ่มเปิดแผงควบคุมการทำงานที่ออกแบบพิเศษให้เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยจะมีไฟสีแดงขึ้นมาแสดงสถานะ

เครื่องพร้อมเริ่มใช้งาน ในขั้นตอนแรกเทน้ำมันปาล์มลงหม้อทอด หลังจากนั้นปรับอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ เมื่อปรับอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ แล้วรอให้อุณหภูมิเหมาะสมจึงเริ่มใส่เนื้อทอดมันลงไป เพื่อรออัดลงบล็อกพอน้ำมันร้อนได้ที่ตามต้องการจึงเปิดชุดใบพัดกวน เพื่อให้ใบพัดกวนหมุนไปหน้าและหมุนกลับ กำหนดระยะเวลาและอุณหภูมิ เมื่อถึงเวลาที่กำหนด ตัวชิ้นทอดมันจะเคลื่อนไปยังตะแกรง ถาดพักทอดตามทาง แล้วยกขึ้นตะแกรงพัก ได้ทดสอบการทำงานหม้อทอด 2 ชุดการทดลอง ด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ 100 160 และ 180 องศาเซลเซียส โดยมีการวัดค่าผลทอดมันด้วยสีในรูปแบบ RGBA (Red: สีแดง Green: สีเขียว Blue: สีน้ำเงิน Alpha: อัลฟา) เป็นค่าตัวเลขแทนค่าสี (Lilley, 1993; David, 1991) หรือเรียกว่าค่าความเข้มของสีแดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) และความโปร่งใสของสี (A) โดยที่ R=255 แทนสีแดงสว่าง rgba (255 0 0 100) G=255 แทนสีเขียวสว่าง rgba (0 255 0 100) B=255 แทนสีน้ำเงินสว่าง rgba (0 0 255 100) A=0 แทนสีขาว A=255 แทนสีดำ

ตาราง 4

แสดงผลการทอดด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ชุดทดลองที่ 1

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ค่าสี RGBA ของทอดมัน
100	1	50	rgba(232,189,148,255)
	2	53	rgba(214,153,77,255)
	3	55	rgba(191,120,33,255)
	4	59	rgba(202,130,44,255)
ค่าเฉลี่ย		**54.25**	**rgba(209.75,148,75.5,255)**
160	1	30	rgba(140,71,1,255)
	2	33	rgba(148,84,28,255)
	3	35	rgba(159,114,73,255)
	4	37	rgba(133,72,20,255)
ค่าเฉลี่ย		**33.75**	**rgba(145,85.25,30.5,255)**
180	1	24	rgba(108,62,2,255)
	2	26	rgba(83,35,0,255)
	3	21	rgba(124,81,34,255)
	4	23	rgba(114,71,20,255)
ค่าเฉลี่ย		**23.5**	**rgba(107.25,62.25,14,255)**

(ก) (ข) (ค)

ภาพ 5 ภาพตัวอย่างทอดมันผ่านกระบวนการทอดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติชุดที่ 1 (ก) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ข) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ค) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

สำหรับชุดการทดลองที่ 1 แสดงผลการทดลองในตาราง 4 แสดงตัวอย่างภาพทอดมันที่ผ่านการทอดซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่ละเอียดสามารถเปรียบเทียบสีของวัตถุได้อย่างแม่นยำ จึงนำมาใช้วิเคราะห์ความแตกต่างของสีทอดมันที่ผ่านการทอด ดังแสดงผลการทดลองในตาราง 4 โดยจากเวลาที่ใช้ในการจับเป็นวินาทีหลังจากเตามีความร้อนประมาณ 100 องศาเซลเซียส ผลที่ได้ดังแสดงภาพตัวอย่างการทอดชุดที่ 1 ในภาพ 5 (ก) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สีของทอดมันที่วัดได้มีค่าเป็น rgba (171 96 7 255) ภาพ 5 (ข) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส สีของทอดมันมีค่าเป็น rgba (133 72 20 255) ภาพ 5 (ค) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส สีของทอดมันมีค่าเป็น rgba (108 62 2 255) สำหรับผลการทดลองจะเห็นว่าหลังจากอุณหภูมิที่ตั้งไว้ใช้ระยะเวลาในการทอดอีกเพียงไม่ถึงนาทีตัวทอดมันก็จะเริ่มสุกและมีสีที่เหมาะสม แต่ในขณะที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสอาจจะมีสีที่เข้มกว่าและค่อนข้างแห้งเกินไป

สำหรับชุดการทดลองที่ 2 แสดงผลการทดลองในตาราง 5 แสดงตัวอย่างภาพทอดมันที่ผ่านการทอดด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ภาพ 6 ก แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สีของทอดมันที่วัดได้มีค่าเป็น rgba (171 96 7 255) ภาพ 6 ข แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส สีของทอดมันมีค่าเป็น rgba (142 89 27 255) ภาพ 6 ค แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส สีของทอดมันมีค่าเป็น rgba (107 52 32 255) จะเห็นว่า เครื่องทอดมันสามารถใช้ระยะเวลาในการทอดได้ใกล้เคียงกับการทอดในชุดที่ 1 คือ 54.25 วินาที และ 54 วินาที ด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สำหรับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนระยะเวลา 33.75 วินาที และ 33.5 วินาที ด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส สำหรับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนระยะเวลา 23.5 วินาที และ 24.25 วินาที ด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งผลของทอดมันที่ได้มีลักษณะสีที่ไม่เข้มและไม่แข็งจนเกินไป นุ่มด้านใน คือ ใช้ระยะเวลาเพียง 33.5 วินาทีเท่านั้น ด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

ตาราง 5

แสดงผลการทอดด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติ ชุดทดลองที่ 2

อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ค่าสี RGBA ของทอดมัน
100	1	58	rgba(171,96,7,255)
	2	55	rgba(193,126,56,255)
	3	50	rgba(171,96,7,255)
	4	53	rgba(204, 144, 88,255)
ค่าเฉลี่ย		**54**	**rgba(184.75,115.5,39.5,255)**
160	1	35	rgba(142,89,27,255)
	2	30	rgba(168,115,62,255)
	3	33	rgba(150,86,26,255)
	4	36	rgba(139,61,0,255)
ค่าเฉลี่ย		**33.5**	**rgba(149.75,87.75,28.75,255)**
180	1	20	rgba(94,50,28,255)
	2	22	rgba(70,19,5,255)
	3	29	rgba(111,51,12,255)
	4	26	rgba(107,52,32,255)
ค่าเฉลี่ย		**24.25**	**rgba(209.75,148,75.5,255)**

(ก) (ข) (ค)

ภาพ 6 ภาพตัวอย่างทอดมันผ่านกระบวนการทอดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติชุดที่ 2 (ก) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ข) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (ค) แสดงผลทอดมันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบการหาค่าอุณหภูมิที่มีเหมาะสมในการใช้งานเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติแบบควบคุมอุณหภูมิ คือ เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในกระบวนการปฏิบัติงานในอุตสาหกรรม ด้วยการทำงานที่รวดเร็วและลดการพึ่งพาแรงงานคนในกระบวนการทอดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน โดยที่เครื่องทอดแบบกึ่งอัตโนมัติมีความคุ้มทุนมากกว่าการทอดแบบเดิมมากถึง 52,902.39 บาท จากการหามูลค่าในอนาคต เปรียบเทียบต้นทุนรวมตลอดอายุการใช้งาน (TCO) และต้นทุนต่อปีที่เทียบเท่า (EAC) พบว่า เครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติมี EAC ต่ำกว่า (4,627.62 บาท/ปี) เมื่อเทียบกับการทอดแบบเดิม (10,825.88 บาท/ปี) ซึ่งหมายความว่า การลงทุนในเครื่องทอดกึ่งอัตโนมัติเป็นตัวเลือกที่คุ้มทุนมากกว่าในระยะยาว แม้ต้นทุนเริ่มต้นจะสูงกว่า แต่ค่าใช้จ่ายรายปีต่ำกว่า และยังพบว่า ผลจากการทดลองที่มีการกำหนดอุณหภูมิ และเวลามีผลต่อความเข้มของสีทอดมัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่เพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการทอดจะลดลงจากเดิมแต่มีข้อจำกัดของเตาอินดักชัน คือ เมื่อทำความร้อนถึงระดับหนึ่งเตาอินดักชันระบบจะทำการตัดการทำงานมีผลให้ต้องใช้เวลาในการทำอุณหภูมิ และสีของน้ำมันจะเข้มขึ้น ซึ่งในความเข้มของสี หมายความว่า ยิ่งสีของทอดมันมีความเข้มของสีมากมีค่าเฉลี่ยของสี (ชุดการทดลองที่ 2) อยู่ที่ rgba (209.75 148 75 5 255) อาจจะทำให้ตัวทอดมันมีโอกาสไหม้ได้ จากค่าความเข้มของสีที่ได้จากการทดสอบ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทอด คือ 160 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทอด ประมาณ 33.5 วินาทีต่อชิ้น ซึ่งทำให้สามารถกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ทอดมันไม่แข็งจนเกินไป นุ่มด้านใน และใน 1 นาทีจะมีทอดมันลงสู่เตาทอดจำนวน 4 ชิ้น จะมีทอดมันลงสู่เตาทอดจำนวน 4 ชิ้น มีค่าเฉลี่ยของสี (ชุดการทดลองที่ 2) อยู่ที่ rgba (149.75 87 75 28.75 255)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ อาจารย์วุฒิชัย บุ่ย ที่เป็นผู้ให้คำแนะนำและการพัฒนาออกแบบเครื่องต้นแบบ และกลุ่มนักศึกษาวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่ช่วยทำการทดลอง ให้งานชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

References

Capar, T. D., & Yalcin, H. (2017). Effects of pre-drying on the quality of frying oil and potato slices. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 9*(3), 255–264. https://doi.org/10.3920/QAS2015.0691

Chongkol, S., Chaowarit, I., & Sirichai, T. (2017). Design and development of Shallot frying machine. *Frontiers in Engineering Innovation Research, 15*(2), 51–57. retrieved from https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt/article/view/241990 (in Thai)

Commercial Banks. Bank of Thailand. (2024). *Daily interest rates of Commercial Banks. Bank of Thailand*. Retrieved from https://www.bot.or.th/en/statistics/interest-rate.html (in Thai)

Thongprasertchai Co., Ltd. (2023). *Evaporation rate of LPG cooking gas*. Retrieved from https://www.tpsc.co.th (in Thai)

Kita, A., Lisińska, G., & Gołubowska, G. (2007). The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chemistry, 102*(1), 1–5. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.038

Krengkrat, P., & Sriwattana, P. D. S. (2020). Optimum puffing condition of reduced fat pork rind using microwave vacuum oven. *Science Essence Journal, 36*(2), 71–89. Retrieved from https://ejournals.swu.ac.th/index.php/sej/article/view/12438 (in Thai)

Metropolitan Electricity Authority, Provincial Electricity Authority. (2021). *How can I calculate my electricity bill myself?.* Retrieved from https://www.pea.co.th (in Thai)

Pedreschi, F., & Moyano, P. (2005). Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT - Food Science and Technology, 38*(6), 599–604. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.008

Recyclenow Team. (2018). *Metal purchase price*. Retrieved from https://www.recyclenow.in.th (in Thai)

Saguy, S., & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep-fat frying: Engineering, nutrition, health, and consumer aspects. *Journal of Food Engineering, 56*(2–3), 143–152. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00243-1

Sarker, B. R., & Pan, H. (1994). Effects of inflation and the time value of money on order quantity and allowable shortage. *International Journal of Production Economics, 34*(1), 65–72. https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)90047-7

Siri, P. (2015). The financial analysis of worthiness in investing on bag-making machine: A case study of Siam City Cement Public Company Limited. *Business and Management Innovation Conference at the National and International Levels* (pp. 1763–1768). Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University (in Thai)

Siriwongwilaichat, P. (2019). The effect of pre-frying treatments and frying methods on textural and sensory properties of crispy fried dehusked mung bean. *Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology, 11*(21), 141–152. retrieved from https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/swujournal/article/view/200234 (in Thai)

Tan, Y., Ong, S., Berger, K., Oon, H., & Poh, B. (1985). A study of the cause of rapid color development of heated refined palm oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 62*(5), 999–1006. http://dx.doi.org/10.1007/BF02935701

Tangsantaskul, J. (2011). *The study of processing factors and conditions for the development of spray frying system*. Bangkok: Silpakorn University, Bangkok. (in Thai)