

การพัฒนาเครื่องปิ้งย่างปลาแบบสายพานตะแกรง เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตแกงไตปลาคั่ว Development of Conveyor Belt Fish Grilling Machine for Dried Fish Organs Curry Production

ปิยะพงษ์ สิงห์บัว¹ รักพงษ์ ขันธวิธิ¹ สวาส อจาสาลี¹ กันตพงษ์ แซ่ใส² และวิรุณ โมณะตระกูล^{3*}

Piyapong Singbua¹ Rakpong Khanthawithi¹ Swas Oajsalee¹ Kantapong Khaeso² and Wiroon Monatrakul^{3*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University, Mueang, Nakhon Ratchasima 30000

² ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² Agricultural Machinery and Postharvest Technology Center, Khon Kaen University, Mueang, Khon Kaen 40002

³ ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีเครื่องจักรกล คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

³ Innovative Technology Machinery Program, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Mueang, Maha Sarakham 44000

* Corresponding author: Wiroonnnn@gmail.com

(Received: 17 July 2023; Revised: 24 August 2023; Accepted: 27 September 2023)

Abstract

The purpose of this research was to design and build a prototype of a conveyor belt grill system that worked semi-automatically. The optimum factors for grilled saba meat were tested: 1) the linear speed of the fish conveyor belt (measured in meters per minute) at three levels: 0.20, 0.25, and 0.30 meters per minute (representing the duration of the grilling process of 27, 20, and 16 minutes, respectively), and 2) the distance between the gas burner and the belt at three levels: 14, 20, and 26 cm. The test results included 1) the working capacity (measured in bodies per hour), 2) the body temperature (°C) of the fish after grilling, 3) the moisture content of the fish after grilling (measured as a percentage of wet base), and 4) the appearance of the fish skin after grilling. These results were to be used in the process of preparing raw materials for the production of roasted fish curry in a jar. From the tests, it was found that the suitable factors for the machine were a distance of 20 centimeters between the gas burner and the belt and a linear speed of the fish belt conveyor at 0.25 meters per minute. At these settings, the machine had a capacity of grilling 371 fish per hour (representing a grilling duration of 20 minutes per round) or equivalent to 92.83 kg per hour. The characteristics of the mackerel that could be obtained were as follows: Saba was cooked at a temperature of 82.38 ± 0.85 °C and had a moisture percentage of 33.49 ± 3.85 on a wet base. These characteristics catered to the needs of entrepreneurs. By utilizing one worker, the machine could efficiently grill raw materials, helping to reduce costs and add value to products. Considering the machine price of 1,000,000 baht, there was a break-even point of 4 years.

Keywords: Instant food, saba fish, saba grill machine, production capacity

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบบึงยางสายพานตะแกรง ทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ มีการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อปลาซาบะย่าง ได้แก่ 1) ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 3 ระดับ ได้แก่ 0.20 0.25 และ 0.30 เมตรต่อนาที (คิดเป็นระยะเวลาในห้องบึงยาง 27 20 และ 16 นาที) และ 2) ระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน 3 ระดับ ได้แก่ 14 20 และ 26 เซนติเมตร ค่าชี้ผลการทดสอบคือ 1) ความสามารถในการทำงาน (ตัวต่อชั่วโมง) 2) อุณหภูมิตัวปลาหลังการย่าง (องศาเซลเซียส) 3) ความชื้นตัวปลาหลังการย่าง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก) และ 4) ลักษณะผิวตัวปลาหลังการย่าง เพื่อใช้ในการกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตแกงไตปลาด้วยบรรจุกระป๋อง จากการทดสอบพบว่าปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง ได้แก่ ระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน 20 เซนติเมตร ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 0.25 เมตรต่อนาที โดยมีความสามารถในการทำงาน 371 ตัวต่อชั่วโมง (คิดเป็นระยะเวลาในห้องบึงยาง 20 นาทีต่อรอบ) หรือคิดเป็น 92.83 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ลักษณะปลาซาบะที่ได้คือ เนื้อปลาซาบะสุกด้วยอุณหภูมิ 82.38 ± 0.85 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้น 33.49 ± 3.85 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก มีลักษณะตามความต้องการของผู้ประกอบการ โดยใช้แรงงานคนจำนวน 1 คน ก็สามารถย่างวัตถุดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ จากต้นทุนราคาเครื่องที่ 1,000,000 บาท มีจุดคุ้มทุนที่ 4 ปี

คำสำคัญ: อาหารสำเร็จรูป ปลาซาบะ เครื่องย่างปลาซาบะ การเพิ่มกำลังการผลิต

คำนำ

อาหารบรรจุหีบห่อ (packaged food) หรืออาหารสำเร็จรูป หมายถึง อาหารที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพของวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารในรูปแบบที่มีความเหมาะสม รับประทานได้สะดวก รวมถึงมีการถนอมอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา (Food Intelligent Center, 2020) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการผลิตและการเก็บรักษา (Figure 1) ได้แก่ 1) อาหารพร้อมทานแบบแห้งและแบบจัดวางบนชั้น (dried and shelf stable ready-to-eat food) คิดเป็นสัดส่วน 58.2 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าอาหารพร้อมทานในประเทศ ประกอบด้วย อาหารพร้อมทานแบบแห้ง (dried ready-to-eat food) (สัดส่วน 98.0 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าอาหารพร้อมทานแบบแห้งและแบบจัดวางบนชั้น) ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป (instant noodle) สามารถเก็บไว้ได้นานกว่าอาหารพร้อมทานประเภทอื่นได้โดย

ไม่เสียรสชาติของอาหาร อาหารพร้อมทานแบบจัดวางบนชั้น (shelf-stable ready-to-eat food) (สัดส่วน 2.0 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าอาหารพร้อมทานแบบแห้งและแบบจัดวางบนชั้น) เป็นอาหารที่สามารถเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องได้เป็นเวลานาน สามารถคงความสดและคุณภาพของอาหารได้ใกล้เคียงกับอาหารปรุงสุก เนื่องจากใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะพิเศษในการเก็บรักษา 2) อาหารพร้อมทานแช่เย็น-แช่แข็ง (chilled and frozen ready-to-eat food) คิดเป็นสัดส่วน 41.8 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าอาหารพร้อมทานในประเทศ แบ่งเป็น อาหารพร้อมทานแช่เย็น (chilled ready-to-eat food) (สัดส่วน 28.7 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าอาหารพร้อมทานแช่เย็น-แช่แข็งทั้งหมด) เป็นอาหารที่ต้องเก็บที่อุณหภูมิ 4-7 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 3-7 วัน ส่วนอาหารพร้อมทานแช่แข็ง (frozen ready-to-eat food) (สัดส่วน 71.3 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าอาหารพร้อมทานแช่เย็น-แช่แข็งทั้งหมด)

ต้องเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส โดยผ่านกระบวนการเปลี่ยนน้ำให้เป็นน้ำแข็ง ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถเติบโตได้ จึงสามารถรักษาความสดและรสชาติของอาหารไว้ได้นาน (สูงสุด

ประมาณ 18 เดือน) อาหารพร้อมทานแช่เย็น-แช่แข็งยังสามารถผลิตได้หลากหลายเมนูมากกว่าอาหารพร้อมทานประเภทอื่น (Yongpisanphob, 2022)

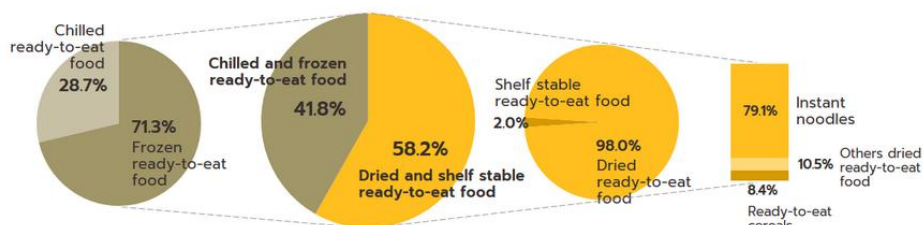


Figure 1 Share of ready-to-eat food market value in Thailand (2021)

Source by Yongpisanphob (2022)

ในปี 2564 อาหารพร้อมทานมีมูลค่าตลาดในประเทศประมาณ 4.4 หมื่นล้านบาท แบ่งเป็นอาหารพร้อมทานแบบแห้งและแบบจัดวางบนชั้น 2.6 หมื่นล้านบาท และอาหารพร้อมทานแช่เย็น-แช่แข็งมูลค่า 1.8 หมื่นล้านบาท ด้านการส่งออกมีสัดส่วน 15-20 เปอร์เซ็นต์ มูลค่า 354.1 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (1.1 หมื่นล้านบาท) (ข้อมูลปี 2564) โดยตลาดหลักที่ไทยมีศักยภาพในการส่งออกตลาดอาเซียนคิดเป็นสัดส่วน 36.2 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่า

ส่งออกอาหารพร้อมทานทั้งหมด รองลงมาคือสหรัฐอเมริกา (13.8 เปอร์เซ็นต์) และเนเธอร์แลนด์ (8.4 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ (Figure 2) เนื่องจากปัจจุบันพฤติกรรมในการเลือกรับประทานอาหารของคนไทยมีการเปลี่ยนแปลง โดยนิยมทานอาหารแบบสำเร็จรูปที่มากขึ้น เพราะสามารถแช่แข็งไว้ได้ มีอายุการเก็บรักษาได้นาน สามารถอุ่นสินค้าพร้อมรับประทานได้ (Wongskhaluang, 2019)

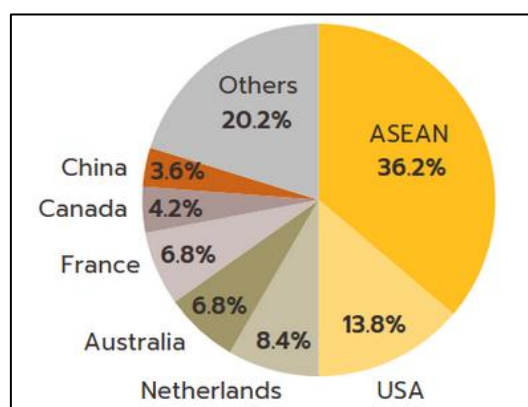


Figure 2 Share of Thailand's ready-to-eat food export value by Market (2021)

Source by: Yongpisanphob (2022)

จากความต้องการที่จะขยายตลาดของบริษัท กินดีฟาร์วอย จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูปในภาชนะปิดสนิท เช่น แกงไตปลาคว่ำบรรจุกระป๋อง ซึ่งเป็นสินค้ายอดนิยม จึงต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิต แต่ประเด็นปัญหาที่ได้ประสบอยู่คือ ปัญหาการแปรรูปเนื้อปลาชား จากการจ้างแปรรูปจากผู้ประกอบการรายอื่น เนื่องจากยังขาดแคลนเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในการผลิตเพื่อให้ได้กำลังการผลิตตามที่ต้องการ หรือในบางครั้งทางผู้ประกอบการแปรรูปปลาชားไม่สามารถจัดส่งของได้ในเวลาที่ทางบริษัทมีคำสั่งซื้อเข้ามาแบบเร่งด่วน ทำให้ทางบริษัทจำเป็นต้องมีการเก็บเนื้อปลาชားที่ผ่านการย่างแล้วไว้ในลักษณะแช่แข็ง ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน อีกทั้งยังส่งผลต่อรสชาติ ความสดใหม่ และเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการสอบถามฝ่ายจัดซื้อของทางบริษัท พบว่า การแปรรูปปลาชားด้วยวิธีการย่างนั้น ยังคงใช้แรงงานคนในการควบคุมการผลิตด้วยเตาถ่าน และปัญหาที่พบคือ ไม่สามารถควบคุมคุณภาพได้เที่ยงตรงแม่นยำทำให้การผลิตไม่แน่นอน รวมทั้งการย่างด้วยเตาถ่านจะพบปัญหาควันไฟจากหยดน้ำและน้ำมันจากวัตถุดิบ ทำให้ไฟลุกได้ง่าย รวมทั้งเกิดควันจำนวนมาก ส่งผลต่อการไหม้เกรียมของอาหาร (Kanasri *et al.*, 2014) โดยกำลังการผลิตโดยเฉลี่ยเดิมจะอยู่ที่ 100 ตัวต่อชั่วโมง หรือประมาณ 1,000 ตัวต่อวัน (คิดเวลาทำงานที่ 10 ชั่วโมง) หากคิดเป็นน้ำหนักจะอยู่ที่ประมาณ 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือประมาณ 250 กิโลกรัมต่อวัน (คิดเวลาทำงานที่ 10 ชั่วโมง) ซึ่งทางผู้ประกอบการมีความต้องการที่จะพัฒนากระบวนการผลิตในส่วนดังกล่าวเพื่อควบคุมคุณภาพ กำหนดเวลาและสามารถตอบสนองคำสั่งซื้อแบบเร่งด่วนเข้ามาได้ทันที

เครื่องปิ้งย่างในปัจจุบัน ได้มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาเพื่ออำนวยความสะดวกพร้อมทั้งเพิ่มคุณภาพและกำลังในการผลิต Borirak (2019) ได้ทำการออกแบบเครื่องปิ้งเนื้อสัตว์กึ่งอัตโนมัติด้วย

ระบบขับเคลื่อนโซ่ลำเลียงและตะขอเกี่ยวไม้เสียบ การวางไม้เสียบอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก ให้อินฟราเรดฮีทเตอร์ซึ่งเป็นแหล่งให้ความร้อนอยู่ในแนวนอน เมื่อให้ความร้อนกับเนื้อสัตว์จึงไม่เกิดการไหม้จากไขมันสัตว์ เมื่อได้รับความร้อนไขมันที่เกิดจากกระบวนการผลิตจะตกลงในถาดรองรับไขมัน ซึ่งสามารถนำไปกำจัดและสามารถล้างทำความสะอาดได้ Paengteeresukkamai (2011) ได้ทำการพัฒนาและสร้างเครื่องปิ้งหมูสะเต๊ะกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้ระบบสายพานลำเลียง พบว่า การมีแหล่งความร้อนทั้งด้านบนและด้านล่างของสายพาน จะช่วยในการย่างแบบไม่ต้องพลิกกลับด้าน ซึ่งระยะห่างของแหล่งกำเนิดความร้อนกับสายพานลำเลียงนั้นสำคัญ รวมทั้งระยะเวลาที่ได้รับความร้อนหรือความเร็วการวิ่งของสายพานนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรศึกษาให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่ต้องทำการปิ้งย่าง

ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบปิ้งย่างสายพานตะแกรง แบบกึ่งอัตโนมัติ มีการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อปลาชားเพื่อใช้ในการกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตแกงไตปลาคว่ำบรรจุกระป๋อง เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพให้สอดคล้องกับปริมาณการผลิตของกิจการในปัจจุบันและแผนการพัฒนาตลาดที่จะขยายในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

การออกแบบเครื่องต้นแบบระบบปิ้งย่างสายพานตะแกรง

หลักการออกแบบเครื่องปิ้งย่างปลาแบบสายพานตะแกรง โดยสามารถปรับความเร็วของสายพานลำเลียงร่วมกับหัวแก๊สอินฟราเรด ซึ่งมีระบบหล่อเย็นด้วยท่อน้ำไหลเวียนเพื่อลดปัญหาความร้อนสะสมที่หัวเตาแก๊ส เพื่อใช้ในการกระบวนการผลิตแกงไตปลาคว่ำ โดยมีความต้องการกำลังการผลิตที่ 300-350 ตัวต่อชั่วโมง (3,000 ตัวต่อวันต่อ 10 ชั่วโมง)

ดังนั้น จึงทำการออกแบบเครื่องโดยได้ขนาดของเครื่องที่ 750 x 5,200 x 2,000 เซนติเมตร โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเครื่องต้นแบบ (Figure 3) ได้แก่ 1) Cooling Unit, 2) หัวแก๊สอินฟราเรด แบบหล่อเย็นด้วยน้ำ, 3) หัวสปาร์ค แบบอัตโนมัติ, 4) สายพานสแตนเลส, 5) วาล์วควบคุมแก๊ส, 6) ตัวควบคุม HMI PLC, 7) เกียร์บล็อก, 8) มอเตอร์, 9) ถัง PLG, 10) กล้องควบคุมหัวสปาร์ค, 11) เทอร์โมคัปเปิล 12) Blower ดูดอากาศ และ 13) หัวแก๊สอินฟราเรด แบบหล่อเย็นด้วยน้ำ ติดตั้งแบบคว่ำหลักการทำงานของเครื่อง คือ สายพานตะแกรงสแตนเลส ถูกควบคุมความเร็วด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าปรับความเร็วรอบใช้ระบบไฟฟ้าควบคุมให้ความแม่นยำเที่ยงตรงของอุณหภูมิและเวลาในการย่างด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ ใช้วัสดุชนิดสแตนเลส 304 สำหรับชิ้นส่วนงานโครงสร้างทั้งภายในและภายนอก ใช้แหล่งความร้อนจากชุดหัวแก๊สอินฟราเรด

จำนวน 12 หัวจ่ายพร้อมอุปกรณ์จุดติดไฟด้วยระบบไฟฟ้าซึ่งติดอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิ สามารถปรับอุณหภูมิได้ 100 ถึง 300 องศาเซลเซียส มีอุปกรณ์สำหรับการปรับระยะหัวแก๊สและจำนวนหัวการจ่ายแก๊ส ใช้ระบบสายพานแบบถักความยาว 5 เมตร (โซนย่าง 4 เมตร) หน้ากว้าง 50 เซนติเมตร จุดเด่นของเครื่องคือ มีระบบหล่อเย็น ซึ่งจะประกอบไปด้วยชุดทำความเย็นสำหรับผลิตน้ำหล่อเย็นของหัวแก๊สพร้อมปั๊ม ซึ่งระบบท่อไหลเวียนน้ำ (water cooling circulation) เพื่อการหล่อเย็นหัวแก๊ส โดยท่อของระบบหล่อเย็นจะถูกติดตั้งขนานไปกับระบบท่อส่งแก๊ส และมี water cooling jacket เป็นช่องไหลเวียนน้ำเพื่อใช้ในการหล่อเย็น housing ของหัวแก๊สอินฟราเรด เพื่อป้องกันการเกิด self – burning effect ทำให้สามารถยืดระยะเวลาในการปฏิบัติงานให้นานขึ้น

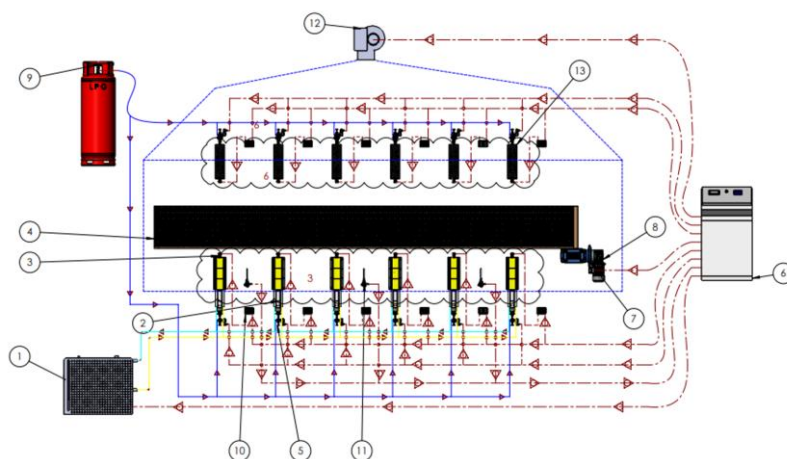


Figure 3 Component of conveyor belt fish grilling machine

ปัจจัยที่ศึกษาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เมื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเสร็จสิ้น จะทำการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง ได้แก่ 1) ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา จากการปรับความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ควบคุมสายพานลำเลียง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 (Sankul, 2014) และ 2) ระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน ซึ่งสามารถปรับตั้ง

ค่าระยะห่างระหว่างหัวเตาและสายพานลำเลียงได้ โดยมีค่าชี้ผลการทดสอบคือ 1) ความสามารถในการทำงาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 2) อุณหภูมิตัวปลาหลังการย่าง จากการวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิอาหารรุ่น BeneTech Infrared thermometer GM320 3) ความชื้นตัวปลาหลังการย่าง ด้วยการอบผ่านตู้อบลมร้อนที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ

4) ลักษณะผิวตัวปลาหลังการย่างจากการประเมิ
ด้วยสายตาจากผู้เชี่ยวชาญในการย่างปลาของทาง

กลุ่มผู้ประกอบการ พร้อมมีการวิเคราะห์สถิติเพื่อหา
ความแตกต่างทางนัยสำคัญ ด้วยวิธี Two-way ANOVA

$$v = \frac{2\pi rN}{60} \quad (1)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา (เมตรต่อนาที)
 r คือ รัศมีของมูเลย์สายพานลำเลียงปลา (เมตร)
 N คือ ความเร็วรอบการหมุนของมูเลย์สายพานลำเลียง (รอบต่อนาที)

$$\text{ความสามารถในการทำงาน (ตัวต่อชั่วโมง)} = \frac{\text{จำนวนปลา หลังผ่านการย่าง (ตัว)}}{\text{ระยะเวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)}} \quad (2)$$

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการออกแบบเครื่องต้นแบบระบบปิ้งย่าง สายพานตะแกรง

เมื่อทำการออกแบบเสร็จสิ้น จึงทำการ
ดำเนินการสร้างเครื่อง โดยได้เครื่องต้นแบบที่สร้าง
เสร็จแล้วดังแสดงใน (Figure 4a) ด้วยระบบการให้
ความร้อนด้วยระบบแก๊สอินฟราเรด จำนวน 12 ชุด
ขนาด 15,000 วัตต์ แบ่งเป็น ชุดบน 2 ชุด ชุดล่าง

2 ชุด วางสลับฟันปลาห่างกัน 75 เซนติเมตร ซึ่งจะ
สามารถทำความร้อนได้สูงสุด 300 องศาเซลเซียส
ควบคุมอุณหภูมิด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิระบบ
ดิจิทัล โดยได้ค่าอุณหภูมิจากตัววัดอุณหภูมิเหนือ
สายพานจำนวน 3 จุดของห้องปิ้งย่าง ตัวเครื่องมี
การติดตั้งล้อ ขนาด Ø 89 มิลลิเมตร จำนวน 8 ล้อ
เพื่อให้ง่ายต่อการขนย้าย



(a)



(b)

Figure 4 Prototype of conveyor belt fish grilling machine: (a) Prototype grilling machine (b) while the machine is operating

ผลการทดสอบปัจจัยที่ศึกษา

ด้วยการนำวัตถุดิบของบริษัทคือ ปลาซาบะ
ที่ทำการตัดแต่งโดยมีการตัดหัวออก จากนั้นนำมา
วางเรียงในสายพานแบบตะแกรงที่ทางทีมวิจัยได้
พัฒนาขึ้น (Figure 4b) ซึ่งสามารถจัดเรียงปลา
ซาบะได้ 6 ตัวต่อแถว จากนั้นเปิดเครื่องจักรทดสอบ
หาปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง เพื่อให้ปลาซาบะ
ที่ได้หลังจากผ่านเครื่องจักรได้คุณภาพตามที่ทาง
บริษัทต้องการ คือ 1) เนื้อไม่แข็ง 2) สุกทั่วทั้งตัวปลา

จากการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง คือ

- 1) ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 3 ระดับ
ได้แก่ 0.20 0.25 และ 0.30 เมตรต่อนาที (คิดเป็น
ระยะเวลาในห้องปิ้งย่าง 27, 20 และ 16 นาที) และ
- 2) ระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน 3 ระดับ
ได้แก่ 14, 20 และ 26 เซนติเมตร ค่าชี้ผลการทดสอบ
คือ 1) ความสามารถในการทำงาน (ตัวต่อชั่วโมง)
2) อุณหภูมิผิวตัวปลาหลังการย่าง (องศาเซลเซียส)
3) ความชื้นตัวปลาหลังการย่าง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)

และ 4) ลักษณะผิวตัวปลาหลังการย่าง ได้ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง ดังต่อไปนี้ ผลการทดสอบความสามารถในการทำงาน (ตัวต่อชั่วโมง) จากการที่มีการศึกษาความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา (เมตรต่อนาที) 3 ระดับ ได้แก่ 0.20

0.25 และ 0.30 เมตรต่อนาที (คิดเป็นระยะเวลาในห้องปิ้งย่าง 27, 20 และ 16 นาที) จึงส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน โดยได้ผลการทดสอบความสามารถในการทำงาน (ตัวต่อชั่วโมง) ดังแสดงใน Figure 5

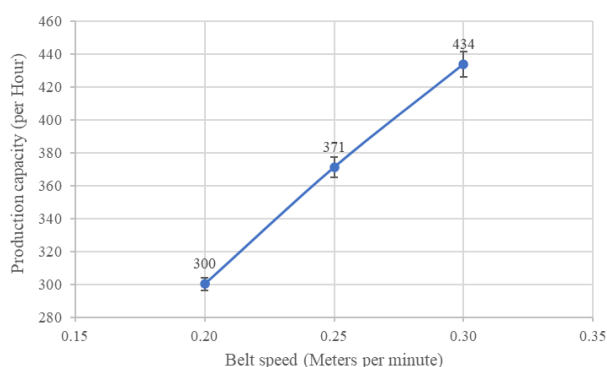


Figure 5 Relationship between the belt speed (meters per minute) with the Production capacity (per Hour)

จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มความเร็วของสายพานลำเลียงปลา (เมตรต่อนาที) จาก 0.20, 0.25 และ 0.30 เมตรต่อนาที จะส่งผลให้ได้ความสามารถในการทำงานที่สูงขึ้น เนื่องจากความเร็วในการลำเลียงตัวปลาผ่านโซนปิ้งย่างที่ไวขึ้น ส่งผลถึงจำนวนที่ได้รับมากขึ้นตาม โดยได้ความสามารถในการทำงานที่ $300 \pm 4a$, $371 \pm 6b$ และ $434 \pm 8c$ ตัวต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น $75.08 \pm 0.96a$, $92.83 \pm 1.50b$ และ $108.50 \pm 1.97c$ กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยปัจจัยในด้านความเร็วของสายพานลำเลียงปลา (เมตรต่อนาที) แต่ละระดับมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่เนื่องจาก

ความสามารถในการทำงานเพียงอย่างเดียว ยังไม่สามารถตัดสินได้ว่าความเร็วไหนจะเป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด จึงต้องพิจารณาข้อมูลในด้านอื่นประกอบการตัดสินใจด้วย (Figure 6)

ผลการทดสอบอุณหภูมิตัวปลาหลังการย่าง (องศาเซลเซียส) เนื่องจากทางผู้ประกอบการมีความประสงค์ที่จะให้อุณหภูมิบนตัวปลาหลังการย่างอยู่ระหว่าง 75 ถึง 85 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้เนื้อปลานั้นสุกและไม่แข็งจนเกินไป จากการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสม ได้ผลการทดสอบอุณหภูมิตัวปลาหลังการย่าง (องศาเซลเซียส) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Result of fish temperature after grilling

Belt speed (meters per minute)	Fish temperature (degree celsius) Gas nozzle distance (centimeters)				F-test
	14	20	26	AVG	
0.20	94.73±0.75	88.89±0.84	82.35±0.92	88.66±0.84a	*
0.25	89.95±1.04	82.38±0.85	71.74±0.75	81.36±0.88b	
0.30	88.51±0.72	69.64±1.31	67.63±1.17	75.26±1.07c	
AVG	91.06±0.84a	80.31±1.00b	73.91±0.95c		
F-test		*			

Remarks: * = Significant difference at probability level 0.05

F test with Gas nozzle distance (centimeters) is 2510.530, F test with Belt speed (meters per minute) is 1501.795.

R squared = 0.991 (Adjust R squared = 0.990)

จากผลการทดสอบอุณหภูมิตัวปลาหลังการย่าง (องศาเซลเซียส) ใน (Table 1) จะเห็นได้ว่าทุกค่าเฉลี่ยของด้านความเร็วของสายพานลำเลียงปลา (เมตรต่อนาที) และทุกค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน (เซนติเมตร) มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าที่เหมาะสมตามที่ผู้ประกอบการต้องการ หรืออุณหภูมิบนตัวปลาหลังการย่างอยู่ระหว่าง 75 ถึง 85 องศาเซลเซียส พบว่ามี 2 ปัจจัยที่ได้ผลการทดสอบ

อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนด ได้แก่ 1) ระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน 26 เซนติเมตร ที่ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 0.20 เมตรต่อนาที และ 2) ระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน 20 เซนติเมตร ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 0.25 เมตรต่อนาที

เมื่อทำการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ปลาหลังการย่าง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก) ได้ผลการทดสอบความชื้น ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Result of fish moisture content after grilling

Belt speed (meters per minute)	Moisture content (%w.b.)				
	Gas nozzle distance (centimeters)				F-test
	14	20	26	AVG	
0.20	38.41±3.85	38.55±1.44	30.96±6.41	35.97±3.90a	*
0.25	36.65±3.97	33.49±3.14	18.31±4.22	29.49±3.78b	
0.30	37.96±1.62	20.20±2.17	19.68±2.62	25.95±2.14b	
AVG	37.68±3.15a	30.75±2.25b	22.99±4.42c		
F-test		*			

Remarks: * = Significant difference at probability level 0.05

F test with Gas nozzle distance (centimeters) is 25.194, F test with Belt speed (meters per minute) is 12.063.

R squared = 0.839 (Adjust R squared = 0.767)

จากผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ปลาหลังการย่าง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก) ใน (Table 2) จะเห็นได้ว่า ความเร็วของสายพานที่เคลื่อนที่ช้ากว่า จะมีความสามารถไล่น้ำหนักน้ำที่อยู่ในตัวปลาได้มากกว่า ส่งผลให้ความชื้นที่ออกมาสูงกว่า เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยของด้านความเร็วของสายพานลำเลียงปลา (เมตรต่อนาที) ที่ 0.20 เมตรต่อนาที มีความแตกต่างกับ 0.25 และ 0.30 เมตรต่อนาที ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยที่ 0.20 เมตรต่อนาที จะได้ค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ 35.97a เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก แต่ในส่วนของ 0.25 และ 0.30 เมตรต่อนาที จะได้ค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ 29.49b และ 25.95b เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก แต่เมื่อพิจารณาทุกค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน (เซนติเมตร) ทุกค่าเฉลี่ยนั้นมีความ

แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่แตกต่างกันนั้น เป็นผลมาจากการปรับตั้งความเร็วของสายพานลำเลียงปลาและระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพานที่แตกต่างกัน โดยความชื้นที่สูงนั้น บ่งบอกถึงความสามารถในการทำความร้อนกับตัวปลา ที่สามารถระเหยน้ำออกจากตัวปลาได้มาก โดยความชื้นสุดท้ายของปลาเมื่อผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 78.94 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก แต่การที่สามารถระเหยความชื้นออกได้สูงนั้นไม่ได้หมายความว่า จะเป็นปัจจัยที่เหมาะสม ดังนั้น ต้องมีการพิจารณาผิวตัวปลาหลังการย่างด้วย เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบ

การสังเกตลักษณะผิวตัวปลาหลังการย่าง ได้ผลสรุปลักษณะของปลาซาบะหลังการทดสอบในแต่ละปัจจัย ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Result of appearance of fish skin after grilling

Belt speed (meters per minute)	Appearance of fish skin after grilling Gas nozzle distance (centimeters)		
	14	20	26
0.20	Cooked Saba but has a burnt surface	Cooked Saba but has a burnt surface	Cooked Saba have characteristics as required
0.25	Cooked Saba but has a burnt surface	Cooked Saba have characteristics as required	Uncooked Saba
0.30	Cooked Saba but has a burnt surface	Uncooked Saba	Uncooked Saba

จากผลการทดสอบหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการทำสุกของปลาซาบะ พบว่า มีผลลัพธ์ที่เหมาะสมจำนวน 2 ปัจจัย คือ 1) ระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน 26 เซนติเมตร ที่ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 0.20 เมตรต่อนาที และ 2) ระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน 20 เซนติเมตร ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 0.25 เมตรต่อนาที โดยทั้ง 2 ตัวอย่าง พบว่า ปลาซาบะมีลักษณะตามความต้องการของผู้ประกอบการ เนื่องจากได้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 78.8-85.0 และ 80.0-85.0 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นของความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 0.20 และ 0.25 เมตรต่อนาที ตามลำดับ โดยลักษณะของเนื้อปลาที่ได้นั้น มีลักษณะสุกตามความต้องการ การไหม้ไม่เข้าถึงภายในเนื้อปลา เนื้อปลาไม่แห้ง

และแข็งจนเกินไป เปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ในช่วง 30.96-33.49 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก (Figure 6 และ Figure 7) จากผลการทดสอบและลักษณะของเนื้อปลาซาบะที่ได้ ทางผู้ประกอบการจึงพิจารณาเลือกใช้ที่ปัจจัยระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน 20 เซนติเมตร ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 0.25 เมตรต่อนาที เนื่องจากได้กำลังการผลิตที่สูงกว่า อยู่ที่ 371.33 ตัวต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 92.83 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (928.3 กิโลกรัมต่อวัน คิดระยะเวลาการทำงานที่ 10 ชั่วโมงต่อวัน) โดยมีการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องอยู่ที่ 5.49 บาทต่อกิโลกรัม โดยจะต้องทำงานทั้งสิ้น 150,000 กิโลกรัมต่อปี ถึงจะคุ้มทุนของเครื่อง ที่ราคาขายเชิงพาณิชย์ 1,000,000 บาท



Figure 6 Grilled Saba that passed the prototype



Figure 7 (a) Required characteristics of Cooked Saba and (b) Cooked Saba with a burnt surface

สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องปิ้งย่างปลาแบบสายพานตะแกรงปรับความเร็วร่วมกับหัวแก๊สอินฟราเรดหล่อเย็นด้วยระบบน้ำไหลเวียน เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตแกงไตปลาคว่ำ เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของบริษัท กินดีพารวย จำกัด ผลการทดสอบความสามารถในการทำงาน และปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบระบบปิ้งย่างสายพานตะแกรง สำหรับปิ้งย่างปลาซาบะ ได้ปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องได้แก่ ระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับสายพาน 20 เซนติเมตร ความเร็วเชิงเส้นของสายพานลำเลียงปลา 0.25 เมตรต่อนาที โดยมีความสามารถในการทำงาน 371 ตัวต่อชั่วโมง (คิดเป็นระยะเวลาในห้องปิ้งย่าง 20 นาทีต่อรอบ) หรือคิดเป็น 92.83 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ลักษณะปลาซาบะที่ได้ คือ เนื้อปลาซาบะสุกด้วยอุณหภูมิ 82.38 ± 0.85 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้น 33.49 ± 3.85 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก มีลักษณะตามความต้องการของผู้ประกอบการ โดยใช้แรงงานคนจำนวน 1 คน ก็สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และเนื่องจากการทำงานของเครื่องต้นแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิด อาทิเช่น ไก่ย่าง หมูย่าง หมูหัน ไคยุนสเด็ก เป็นต้น ส่งผลให้สถานประกอบการสามารถนำเครื่องจักรไปใช้ในการ

ผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นดังที่ยกตัวอย่างมาเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ สร้างรายได้เพิ่มให้กับทางสถานประกอบการอีกทางหนึ่ง

ผลประกอบการในด้านเศรษฐกิจของบริษัท กินดีพารวย จำกัด หลังจากได้รับเครื่องต้นแบบปิ้งย่างปลาแบบสายพานตะแกรง สามารถลดต้นทุนการผลิตจากการลดการจ้างแรงงาน 4 คน คิดเป็นจำนวนเงินรวม 300,000 บาทต่อปี ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต รวม 120,000 บาทต่อปี เพิ่มรายได้จากยอดขาย รวม 2,000,000 บาทต่อปี จากต้นทุนราคาเครื่องที่ 1,000,000 บาท ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องอยู่ที่ 5.49 บาทต่อกิโลกรัม โดยจะต้องทำงานทั้งสิ้น 150,000 กิโลกรัมต่อปี มีจุดคุ้มทุนที่ 4 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ร่วมกับสถาบันไทย-เยอรมัน ผู้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น และบริษัท กินดีพารวย จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และบุคลากร เพื่อให้งานวิจัยนี้เสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- Borirak, T. 2019. Semi-automatic meat griller. NSTDA Investors'day. Available: <https://www.nstda.or.th/investorsday/2019/projects/detail/8/index.html> (July 13, 2023.) [in Thai]
- Food Intelligent Center. 2020. Packaged Food Market in Thailand. Available: <https://fic.nfi.or.th/market-intelligence-detail.php?smid=290> (July 13, 2023.) [in Thai]
- Kanasri, T., S. Mongmechai, P. Prasertsan and S. Yinde. 2014. Development of Direct Fired Oven a Grill Chicken using Charcoal. Journal of Science and Technology Mahasarakham University 2024(special): 670-673. [in Thai]
- Paengteeresukkamai, P. 2011. Development and Construction of Porker on Fire Machine Semi-automatic. Report on Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. [in Thai]
- Sankul, M. 2014. Circular motion. Physics education. Available: https://mateeya-physicseducation.weebly.com/uploads/2/6/6/0/26603561/_circular_motion.pdf (July 13, 2023.) [in Thai]
- Wongskhaluang, P. 2019. A Study of Working Consumer's Online Purchase Decision of Frozen Ready Meals In Bangkok. Report on Marketing, Faculty of Business Administration, Ramkhamhaeng University. [in Thai]
- Yongpisanphob, W. 2022. Industry Outlook 2022-2024: Beverage Industry. Krungsri Research.