

การพัฒนาระบบควบคุมการเคลือบผงปรงรสที่มันสำหรับทอดแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับ วิสาหกิจชุมชนมันทอดบ้านเขากลอย จ.สงขลา

Development of a Semi-automatic Seasoning Dispersion Control System for Fried Cassava Chips for Ban Khao Kloy Fried Cassava Community Enterprise in Songkhla Province

สหพงศ์ สมวงศ์¹ ฐานวิทย์ แนมใส² วรพงศ์ บุญช่วยแทน³ อธิโรจน์ มะโน^{4*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ถนนกาญจนวนิชย์ ตำบล
หาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ถนนราชดำเนินนอก
ตำบลบ่อหย่าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อหย่าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ถนนราชดำเนินนอก
ตำบลบ่อหย่าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Sahapong Somwong¹ Thanwit Naemsai Worapong Boonchouytan Athirot Mano^{4*}

¹ Department of Computer Engineering, Prince of Songkhla University, Kanjanavanich Road,
Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand

² Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Ratchadamnoen Nok Road, Bo Yang, Mueang, Songkhla 90000, Thailand

³ Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Ratchadamnoen Nok Road, Bo Yang, Mueang, Songkhla 90000, Thailand

⁴ Department of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Ratchadamnoen Nok Road, Bo Yang, Mueang, Songkhla 90000, Thailand

*Corresponding author Email: athirot.m@rmutsv.ac.th

(Received: August 7, 2025; Revised: January 20, 2026 ; Accepted: August 24, 2026)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบควบคุมการเคลือบผงปรงรสสำหรับมันสำหรับทอด เพื่อแก้ปัญหาการเคลือบที่ไม่สม่ำเสมอที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่คงที่ เกิดการแตกหักสูง และใช้ผงปรงรสเกินความจำเป็น ส่งผลให้ต้นทุนสูงและรายได้ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลอย จังหวัดสงขลา ลดลง ระบบที่ออกแบบใช้วัสดุเกรดอาหารตามมาตรฐาน GMP ประกอบด้วยถังหมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ AC 220 โวลต์ 4,500 รอบต่อนาที ร่วมกับมอเตอร์เกียร์ทดอัตราส่วน 10:1-40:1 ควบคุมด้วย Selector Switch 3 ทาง และติดตั้งระบบพ่นผงปรงรสแบบละอองฝอยโดยใช้พัดลมแรงดันสูงร่วมกับท่อลม ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อกำหนดเวลาและความถี่อย่างแม่นยำ ซึ่งผลการทดลองพบว่า น้ำหนักวัตถุดิบและระยะเวลาการคลุกมีผลต่อความทั่วถึง โดยน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ใช้ผงปรงรส 35 กรัม ใช้เวลา 5 นาที และน้ำหนัก 2 กิโลกรัม ใช้ 140 กรัม ใช้เวลา 11 นาที ระบบสามารถพ่นและหยุดทำงานอัตโนมัติได้ตามการตั้งค่า เมื่อนำไปใช้

จริง พบว่าสามารถลดการใช้ผงปรุงรสได้ 25–30% และลดการแตกหักของมันสำปะหลังทอดลง 10–15% ที่ปริมาณการผลิต 2 กิโลกรัม ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าระบบนี้ช่วยลดการสูญเสียวัตถุดิบ เพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ และยกระดับประสิทธิภาพการผลิต อันเป็นแนวทางพัฒนาที่ช่วยสร้างรายได้ที่ยั่งยืนให้แก่ชุมชนท้องถิ่น

คำสำคัญ: ระบบควบคุมการคลุกผงปรุงรส มันสำปะหลังทอด ไมโครคอนโทรลเลอร์ วิศวกรชุมชน

ABSTRACT

This research aims to develop a control system for coating seasoning dispersion for fried cassava to solve the problem of uneven coating that causes inconsistent product quality. This results in higher costs and reduced revenue for the Ban Khao Kloi Community Enterprise Group in Songkhla Province. The system, designed using food-grade materials in accordance with GMP standards, consists of a rotating drum powered by a 220-volt, 4,500-rpm AC motor and a geared motor with a ratio of 10:1–40:1, controlled by a 3-way selector switch. A high-pressure fan and air ducts are also installed, controlled by a microcontroller to precisely determine the time and frequency. Experimental results showed that the weight of the raw materials and the mixing time affect the thoroughness of the coating. 35 grams of seasoning powder is used for 0.5 kilograms in 5 minutes, and 140 grams for 2 kilograms in 11 minutes. The system can automatically spray and stop working according to the settings. In practice, it can reduce seasoning powder usage by 25–30% and breakage of fried cassava chips by 10–15% at a production volume of 2 kilograms. The results indicate that this system reduces raw material loss and improves product quality, and improve production efficiency, which is a development approach that helps create sustainable income for local communities.

Keyword: Semi-automatic seasoning mixer, fried cassava, microcontroller, community enterprise.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ของโลก โดยในปี 2567 ที่ผ่านมามีมูลค่าการส่งออกมากถึง 110,276 ล้านบาท [1] และข้อมูลจาก Global Trade Atlas ภาพรวมการส่งออกสินค้ามันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ของโลก ในช่วงต้นปี ไทยยังคงครองส่วนแบ่งตลาดโลกเป็นอันดับ 1 โดยมีส่วนแบ่งตลาด 18.70 % ของมูลค่าการส่งออกของทั้งโลก รองจากไทย ได้แก่ เวียดนาม ลาว สหรัฐอเมริกา และ จีน [2] พันธุ์ของมันสำปะหลังที่ปลูกในไทยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1). พันธุ์ชนิดหวาน (Sweet type) มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) ต่ำ บริโภคได้โดยตรง รสไม่ขม นิยมใช้ทำอาหาร

เช่น มันเชื่อม ปิ้ง เผา ตัวอย่างพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยอง 2). พันธุ์ชนิดขม (Bitter type) มี HCN สูง รสขม เนื้อหยาบ ไม่เหมาะสำหรับบริโภคโดยตรง แต่มีแป้งสูง จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น แป้งมัน มันเส้น มันอัดเม็ด และแอลกอฮอล์ โดยการแปรรูปด้วยความร้อนสามารถลดความขมได้ พันธุ์นี้ปลูกมากที่สุดในไทยเพื่อส่งโรงงานแปรรูป 3). พันธุ์ไม้ประดับ ใช้ปลูกเพื่อความสวยงาม มันสำปะหลังแต่ละประเภทมีบทบาทสำคัญในเศรษฐกิจไทย ทั้งด้านการบริโภคและอุตสาหกรรมแปรรูป

ปัจจุบันการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ในภาคใต้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสวนยางพารา เนื่องจากเป็นพืชที่

ปลูกง่ายและมีอายุเก็บเกี่ยวสั้น เกษตรกรใช้เป็นพืชแซม เพื่อสร้างรายได้เสริม ในตำบลท่าข้าม อำเภอบางใหญ่ จังหวัดสงขลา กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านเขากลอยได้นำมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที มาแปรรูปเป็นขนมมันทอด ซึ่งได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยว ในกระบวนการคลุกผงปรุงรสในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนใช้วิธีโรยผงปรุงรสลงบนมันทอดในภาชนะ จากนั้นเขย่าให้ทั่ว โดยใช้ผงปรุงรสประมาณ 200-250 กรัมต่อมันสำปะหลังทอด 2 กิโลกรัม ก่อนนำไปบรรจุถุงเพื่อจำหน่ายดังรูปที่ 1 ซึ่งจากกระบวนการเขย่านั้นมันทอดบางส่วนได้มีการแตกหักเป็นเศษชิ้นเล็กๆ ทำให้สูญเสียคุณภาพของแผ่นมันสำปะหลังทอด จากการสำรวจในภาชนะที่มีปริมาณมันสำปะหลังประมาณ 2 กิโลกรัม จะพบว่ามีเศษมันสำปะหลังทอดที่แตกหักเป็นชิ้นเล็ก ๆ อยู่ประมาณ 350-400 กรัม คิดเป็นประมาณ 17.5-20 % ของน้ำหนักรวม เนื่องจากการใช้ผงปรุงรสที่มีปริมาณที่ไม่คงที่ จะสังเกตได้ว่าแผ่นมันสำปะหลังบางแผ่นจะมีปริมาณการเคลือบของผงปรุงรสค่อนข้างมาก ทำให้รสชาติจัด และยังสังเกตได้ว่ามีปริมาณผงปรุงรสตกค้างอยู่ในถุงบรรจุในปริมาณมาก นอกจากนี้ บางแผ่นก็มีการเคลือบผงปรุงรสที่ไม่ทั่วถึง



รูปที่ 1 วิธีการคลุกผงปรุงรสมันสำปะหลังแบบดั้งเดิม

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องจักรและนวัตกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคลุกเคล้าผลิตภัณฑ์ เช่น เครื่องคลุกผงปรุงรสหนังปลาทอดกรอบ [3] เครื่องผสมอาหารสัตว์แบบวนรอบแบบใบกวน 2 ชั้น [4] และเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบถังหมุนที่ใช้พลังงานก๊าซชีวภาพ [5] นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาเครื่องผสมข้าวแวนวนแบบบริบ

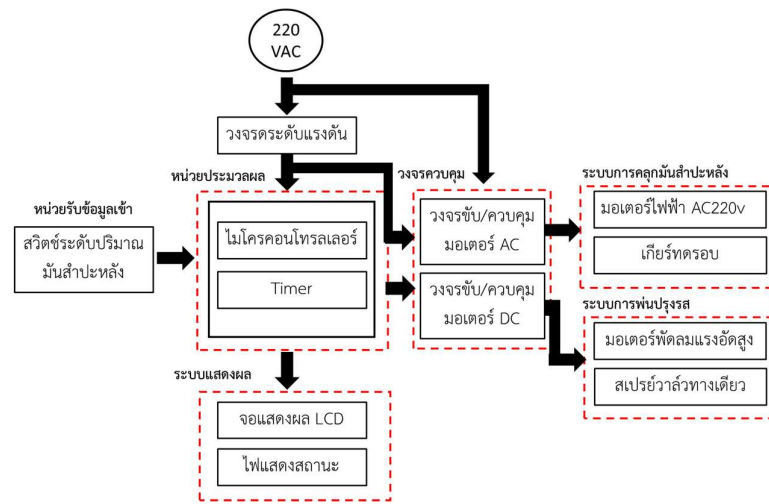
บอนเพื่อหาค่าความเร็วและเวลาที่เหมาะสม [6] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต่างๆ ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์โดยเน้นความแข็งแรง ความทนทาน และความสม่ำเสมอของการผสม เพื่อลดเวลาการทำงานและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [7] - [9] อีกทั้งยังมีการนำเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ เช่น ระบบควบคุมการผสมดินปลูกพืช [10] และระบบปลูกกล้วยเตี้ยอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย PLC และหน้าจอสัมผัส [11]

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบควบคุมการคลุกผงปรุงรสมันสำปะหลังทอดแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อควบคุมปริมาณผงปรุงรสให้เหมาะสมกับปริมาณของมันสำปะหลังทอด และมีความทั่วถึง สม่ำเสมอ ลดการแตกหักของแผ่นมันสำปะหลัง ควบคุมคุณภาพของมันสำปะหลังทอดให้มีรสชาติและมาตรฐานสม่ำเสมอ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ด้วยระยะเวลาการคลุกผงปรุงรสที่เหมาะสม ลดเวลาการทำงาน ลดต้นทุนการผลิต โดยใช้ผงปรุงรสในปริมาณที่เหมาะสม ลดการใช้วัตถุดิบเกินจำเป็น และขยายโอกาสทางการตลาด ด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ น่าเชื่อถือ และสามารถแข่งขันในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปได้

2. การออกแบบและพัฒนาระบบ

2.1 ภาพรวมของระบบ

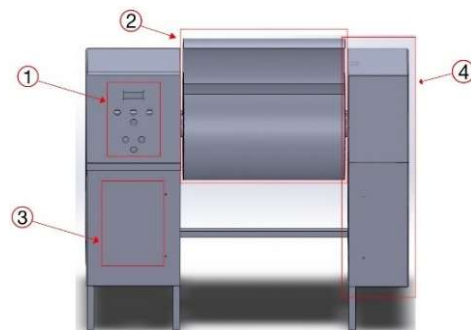
ระบบควบคุมการใช้ปริมาณผงปรุงรสที่เหมาะสมกับมันสำปะหลังทอดแบบกึ่งอัตโนมัติ ถูกออกแบบให้รับค่าจากสวิตช์ระดับน้ำหนักของมันเป็นสำปะหลัง จากนั้นเพื่อสั่งงานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุม การหมุนของมอเตอร์ และมอเตอร์พัดลมแรงอัดสูงสำหรับการพ่นผงปรุงรส ตามระยะเวลาและปริมาณที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งแสดงไฟแสดงสถานะ 3 ดวง และสถานการณ์ทำงานของระบบทางหน้าจอ LCD โดยระบบจะทำงานตามระยะเวลาที่กำหนดจนกว่าผงจะคลุกทั่วแผ่นมันสำปะหลัง และจะหยุดทำงานเมื่อครบตามเวลาที่กำหนดไว้ โดยแผนผังของระบบแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพรวมของระบบ

2.2 การออกแบบโครงสร้างของระบบ

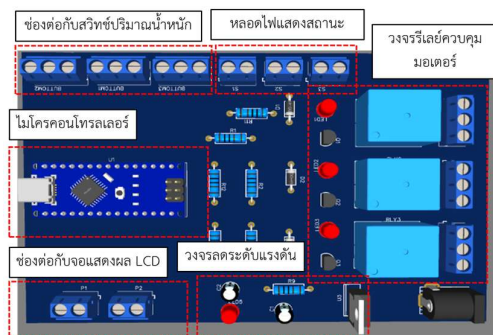
การออกแบบระบบควบคุมการคลุกผกปรกสำหรับน้ำมันสำหรับทอดแบบกึ่งอัตโนมัติ มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายตัวของผงปรุงรสให้สม่ำเสมอ รวมถึงการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โครงสร้างหลักของเครื่องถูกออกแบบให้เป็นเครื่องตั้งพื้นเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมั่นคง โดยใช้ระบบขับเคลื่อนที่ประกอบด้วยมอเตอร์ AC 220 V 4500 รอบต่อนาทีแบบไร้แปรงถ่าน ซึ่งติดตั้งภายในตัวเครื่องและสามารถควบคุมการหมุนของถังคลุกได้อย่างแม่นยำ โครงสร้างของระบบควบคุมการคลุกผกปรกผลิตจากสแตนเลสเกรดอาหาร เพื่อให้มั่นใจในความสะอาดและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ มีขนาดเครื่องกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร และสูง 75 เซนติเมตร โดยเครื่องประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ 1) แผงควบคุม ประกอบด้วยจอแสดงผล ไฟแสดงสถานะ และสวิทช์สำหรับการควบคุมการทำงาน 2) ถังคลุก ทำหน้าที่หมุนและคลุกผกปรกให้กระจายตัวทั่วถึงบนน้ำมันสำหรับทอด 3) ช่องเก็บชุดมอเตอร์ เป็นตำแหน่งติดตั้งและป้องกันชุดมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนการหมุนของถังคลุก 4) ระบบพ่นผงปรุงรส เป็นชุดที่ทำหน้าที่พ่นผงปรุงรสลงบนน้ำมันสำหรับทอดอย่างแม่นยำและสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การออกแบบระบบและส่วนประกอบ

2.3 การออกแบบวงจรควบคุมของระบบ

การออกแบบวงจรรวมสำหรับระบบควบคุมการคลุกผกปรก ระบบควบคุมการคลุกผกปรกน้ำมันสำหรับทอดแบบกึ่งอัตโนมัติแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) วงจร Step Down ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายหลักให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ในระบบ 2) วงจร Control ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino nano ควบคุมมอเตอร์ระบบพ่นผงปรุงรส และถังหมุนให้ทำงานตามที่กำหนด 3) วงจรรีเลย์ สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้ารองรับกระแสสูงสำหรับมอเตอร์และระบบพ่นผงปรุงรส 4) วงจรขานำไปใช้งาน สำหรับเชื่อมต่อกับสวิทช์ควบคุมไฟแสดงสถานะ สวิทช์ตรวจจับปริมาณน้ำมันสำหรับทอด จอแสดงผล วงจรรวมทั้งหมดช่วยให้ระบบทำงานได้แม่นยำและมีประสิทธิภาพ แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ออกแบบวงจรรวมของระบบ

2.4 การประกอบและการติดตั้งระบบ

ขั้นตอนนี้เป็นประกอบเครื่องปรุงรสสำหรับสัปดาห์หลังแบบกึ่งอัตโนมัติเริ่มจากการใช้สแตนเลสเกรด 304 ซึ่งมีความแข็งแรงและทนทานต่อการใช้งานด้านอาหาร ประกอบด้วย 1) ระบบการคลุกประกอบด้วยการติดตั้งมอเตอร์ AC 220 V 4500 รอบต่อนาที และเชื่อมต่อกับเกียร์ทดรอบ (Gear Reducer) เพื่อปรับความเร็วและแรงบิด จากนั้นเชื่อมต่อเกียร์ทดรอบกับระบบขับเคลื่อนอื่นๆ เช่น สายพาน เพื่อส่งการหมุนจากมอเตอร์ไปยังชิ้นส่วนต่างๆ 2) ระบบการพ่นผงปรุงรส ด้วยการออกแบบและติดตั้งวาล์วสเปรย์ทางเดียวสำหรับมอเตอร์พัดลมแรงอัดสูงเพื่อใช้ในการเป่าผงปรุงรสไปยังท่อวาล์วสเปรย์เชื่อมต่อกับภาชนะบรรจุผงปรุงรสที่ติดตั้งระบบควบคุมการพ่นผงปรุงรสด้วยลม 3) ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ควบคุมการทำงานของระบบพ่นด้วยลมและตรวจจับตำแหน่งของส่วนประกอบต่างๆ จากนั้นทดสอบการทำงานโดยการปรับความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และตรวจสอบการทำงานของสายพานและเกียร์ทดรอบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 5

ระบบควบคุมการพ่นเริ่มทำงานจากการเปิดมอเตอร์พัดลมเพื่อสร้างแรงลม จากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano ควบคุมวาล์วสเปรย์ทางเดียวให้เปิด-ปิดตามเวลาที่กำหนด ปริมาณและความถี่การพ่นปรับได้ด้วยค่าพารามิเตอร์ระยะเวลาสเปรย์และช่วงเวลาสเปรย์ที่ได้จากการทดลอง จากนั้นส่งงานมอเตอร์ผ่าน Relay และ

วาล์วสเปรย์ผ่าน Relay/Transistor โดยใช้ Timer Library เพื่อควบคุมเวลาอย่างแม่นยำเพื่อให้ระบบพ่นผลปรงรสได้ในปริมาณที่กำหนดไว้



ก. การติดตั้งมอเตอร์



ข. ระบบพ่นผงปรุงรส



ค. การติดตั้งท่อวาล์ว



ง. ภาพรวมระบบ

รูปที่ 5 ระบบควบคุมการคลุกผงปรุงรสสำหรับสัปดาห์หลังทอด

3. วิธีการดำเนินงานและกระบวนการทดสอบ

3.1 การทดสอบความเร็วรอบการหมุนที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำมันสำหรับสัปดาห์หลัง

การทดสอบความเร็วรอบการหมุนที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำมันสำหรับสัปดาห์หลังทอดเพื่อไม่ให้มันสำหรับสัปดาห์แตกหักจำเป็นต้องพิจารณาหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของน้ำมันสำหรับสัปดาห์และการหมุนของเครื่อง โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- กำหนดปริมาณแผ่นมันสำหรับสัปดาห์หลังทอด และขนาดความหนาของน้ำมันสำหรับสัปดาห์ ในแต่ละรอบ ตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัม ถึง 2 กิโลกรัม โดยมีความหนาประมาณ 1 - 1.5 มิลลิเมตร

- กำหนดความเร็วของมอเตอร์ในการหมุนตั้งแต่ 15 รอบ/นาที ถึง 30 รอบ/ นาที โดยเวลาในการหมุนทดสอบ 2 นาที

- มีการตรวจสอบสภาพการแตกหักหรือความเสียหายที่ไม่ต้องการของแผ่นมันสำหรับสัปดาห์ที่ได้จากการ

คลุกที่ระดับความเร็วต่างๆ โดยวัดจากปริมาณของเศษ
แผ่นมันสำปะหลังที่มีการแตกหัก

- วิเคราะห์หาความเร็วที่เหมาะสมสำหรับปริมาณ
แผ่นมันสำปะหลังทอดที่ไม่ส่งผลให้เกิดความเสียหายหรือ
เกิดความเสียหายน้อยที่สุด

การเตรียมตัวอย่างแผ่นมันสำปะหลังและผลจากการ
คลุกด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาที แสดงดังรูปที่ 6 และ 7
ตามลำดับ



รูปที่ 6 การเตรียมตัวอย่างแผ่นมันสำปะหลัง



รูปที่ 7 ผลจากการคลุกด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาที

ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ AC ขนาด
220 VAC แบบ 4 Pole 4500 RPM ร่วมกับเกียร์ทดรอบ
($R = 40$) และ VFD (60Hz) ให้ได้ 15–30 RPM หลักการ
คือ VFD ปรับความถี่ไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์ ซึ่งสามารถ
คำนวณความเร็วเชิงโคโรนัสสัมพันธ์กับความถี่ไฟฟ้า และ
ความเร็วเอาต์พุตหลังเกียร์ดังสมการที่ 1 และ 2
ตามลำดับ

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (1)$$

โดย N_s = ความเร็วเชิงโคโรนัส (RPM), f = ความถี่
ไฟฟ้า (Hz), P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก (4 Pole)

$$N_{out} = \frac{N_s(1-s)}{R} \quad (2)$$

โดย s = Slip (0.02–0.05), R = อัตราทดเกียร์
จากสมการย้อนกลับ จะได้ความถี่ไฟฟ้าที่ต้องการดัง
สมการที่ 3

$$f = \frac{N_{out} \times R}{(1-s)} \times \frac{P}{120} \quad (3)$$

สำหรับความเร็วในการทดสอบ 15, 20, 25, 30 RPM
ความถี่ไฟฟ้าที่ใช้คือ 20.6, 27.5, 34.3, 41.2 Hz
ตามลำดับ โดย ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถสั่งงาน
ควบคุมความถี่ด้วยค่า PWM ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่
4 โดยที่ f_{max} คือค่าความถี่สูงสุดของ VFD คือ 60Hz

$$f = \frac{PWM}{255} \times f_{max} \quad (4)$$

ดังนั้นค่า PWM ที่ควบคุมความเร็ว 15, 20, 25,
30 RPM ประมาณ 88, 117, 146 และ 175 ตามลำดับ

3.2 การทดสอบการควบคุมปริมาณผงปรุงรสที่ เหมาะสมต่อปริมาณมันสำปะหลัง

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบการเพื่อควบคุม
ปริมาณการใช้ผงปรุงรสให้เหมาะสมกับปริมาณมัน
สำปะหลังทอดด้วยระบบการพ่นผงปรุงรสด้วยลม ที่ถูก
ติดตั้งในระบบควบคุมการคลุกผงปรุงรสมันสำปะหลังทอด
แบบกึ่งอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- ทดสอบอัตราการพ่นผงปรุงรสของระบบและการ
ควบคุม

- ทดสอบปริมาณผงปรุงรสที่เหมาะสมกับปริมาณของ
มันสำปะหลัง

3.2.1 ทดสอบอัตราการพ่นผงปรุงรสของระบบ

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบการอัตราการการพ่น
ของระบบ โดยนำผงปรุงรสปริมาณ 200 กรัมมาพ่นด้วย
ระบบต่อเนื่องเป็นเวลาตั้งแต่ 1- 6 นาที จากนั้นบันทึกผล
น้ำหนักที่เหลืออยู่ของผงปรุงรส และวิเคราะห์อัตราการพ่น
จากปริมาณน้ำหนักที่เหลือ

3.2.2 ทดสอบปริมาณผงปรุงรส และเวลาที่ใช้ในการคลุกที่เหมาะสมกับปริมาณของน้ำมันสำหรับหลัง

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและระยะเวลาของกระบวนการคลุกเคล้าผงปรุงรสที่เคลือบบนแผ่นมันสำหรับหลัง โดยพิจารณาจากปัจจัยหลัก 2 ประการ ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการคลุกเคล้าให้ผงปรุงรสเคลือบทั่วแผ่นมันสำหรับหลัง และ ปริมาณผงปรุงรสที่ใช้ต่อปริมาณมันสำหรับหลัง กระบวนการทดสอบการคลุกผงปรุงรสในแผ่นมันสำหรับหลังทอดที่มีปริมาณ 0.5 – 2 กิโลกรัม โดยใช้เวลาในการคลุกตั้งแต่ 1- 11 นาที โดยมีการพ่นผงปรุงรสครั้งละประมาณ 35 – 200 กรัม ที่ระดับความเร็วรอบของมอเตอร์ 20 รอบ/นาที จากนั้นทำการบันทึกผลความสม่ำเสมอของการเคลือบผงปรุงรสบนแผ่นมันสำหรับหลัง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมันสำหรับหลังกับประสิทธิภาพของกระบวนการคลุกเคล้า โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- เติมผงปรุงรสในปริมาณที่กำหนดและพ่นลงในถังผสม (35 70 105 140 175 200 กรัม)
- กำหนดระยะเวลาที่ใช้จนผงปรุงรสเคลือบทั่วแผ่นมันสำหรับหลัง (1 - 11 นาที)
- วิเคราะห์ปริมาณผงปรุงรสที่ใช้

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการหาความเร็วรอบการหมุนที่เหมาะสมกับปริมาณมันสำหรับหลัง

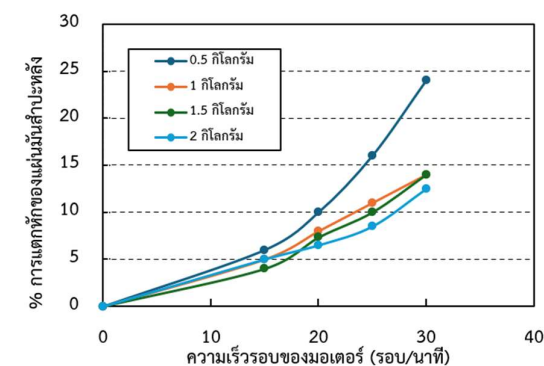
ผลการทดสอบการหาความเร็วรอบการหมุนที่เหมาะสมกับปริมาณมันสำหรับหลังปริมาณ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กิโลกรัม และปริมาณการแตกหักของแผ่นมันสำหรับหลังที่ความเร็วรอบต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 8 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ One-Way ANOVA โดยพิจารณาความเร็วรอบมอเตอร์ และรวมทุกปริมาณน้ำหนักมันสำหรับหลัง พบว่า ค่า $p < 1.38 \times 10^{-8}$ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างปริมาณการแตกของมันสำหรับหลังที่ระดับความเร็วรอบ

มอเตอร์ต่างกัน ซึ่งหมายความว่า ความเร็วรอบมีผลชัดเจนต่อปริมาณเศษที่แตกหัก ดังนั้นหากต้องการลดการแตกหักของแผ่นมันสำหรับหลัง ควรใช้ความเร็วรอบต่ำ (เช่น 15-20 รอบ/นาที) เพราะที่ความเร็วต่ำ % การแตกหักจะน้อยที่สุด หากต้องการประสิทธิภาพในการทำงาน (ความเร็วสูง) และยอมรับการแตกหักในระดับหนึ่งสามารถใช้ความเร็วรอบสูงขึ้น (เช่น 25-30 รอบ/นาที) หากปริมาณมันสำหรับหลังน้อย (0.5 กิโลกรัม) ควรใช้ความเร็วรอบต่ำ (15-20 รอบ/นาที) เพื่อลดการแตกหัก หากปริมาณมันสำหรับหลังมากขึ้น (1-2 กิโลกรัม) การแตกหักลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 1 ปริมาณของเศษมันสำหรับหลังทอดที่แตกหักที่ความเร็วการหมุนของมอเตอร์

ปริมาณแผ่นมันสำหรับหลัง (กิโลกรัม)	ปริมาณของเศษมันสำหรับหลังที่แตก (กิโลกรัม) ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบ/นาที)			
	15	20	25	30
0.5	0.03	0.05	0.08	0.12
1	0.05	0.08	0.11	0.14
1.5	0.06	0.11	0.15	0.21
2	0.1	0.13	0.17	0.25



รูปที่ 8 %การแตกหักกับความเร็วยรอบของมอเตอร์

4.2 ผลการทดสอบปริมาณผงปรุงรส และเวลาที่ใช้ในการคลุกที่เหมาะสมกับปริมาณของน้ำมันสำหรับหลัง

จากผลการทดสอบในข้อ 4.1 พบว่าความเร็วรอบในการหมุน 15 รอบ/นาที จะช่วยลดการแตกหักของแผ่นมัน

สำปะหลังได้ดีที่สุด แต่เนื่องจากมอเตอร์หมุนช้า อาจส่งผลให้ระยะเวลาในการคลุกให้ทั่วใช้เวลานาน ผู้วิจัยได้เลือกใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ระดับ 20 รอบ/นาที เนื่องจากเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการคลุกมันสำปะหลังทอดโดยให้มีการแตกหักในระดับที่ยอมรับได้ในทุกปริมาณของมันสำปะหลังที่ทดสอบ (น้อยกว่า 10%) และมีความเร็วที่เหมาะสม ขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบอัตราการพ่นผงปรุงรสของระบบ โดยทำการพ่นผงปรุงรสต่อเนื่องตามเวลาที่กำหนด จากนั้นตรวจสอบปริมาณผงปรุงรสที่ถูกพ่นออกไปตามเวลาที่กำหนดเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพในการพ่นต่อนาที โดยมีผลการทดลองดังตารางที่ 2 ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลการพ่นผงปรุงรส พบว่าระบบโดยรวมมีความสม่ำเสมอในการทำงาน แต่อย่างไรก็ตาม ความไม่แน่นอนของการพ่นแตกต่างกันไปตามระยะเวลา เมื่อพิจารณาค่า SD และ Variance พบว่าในช่วงเวลา 5 นาที มีความแปรปรวนสูงสุด (SD ประมาณ 6.02, Variance ประมาณ 36.22) สะท้อนให้เห็นว่าปริมาณผงที่พ่นออกมาไม่คงที่มาก อาจเกิดจากปัจจัยด้านอุปกรณ์หรือคุณสมบัติของผง ในขณะที่ช่วงเวลา 2 นาทีที่มีความสม่ำเสมอสูงสุด (SD ประมาณ 2.16, Variance ประมาณ 4.67) แสดงว่าการพ่นในระยะสั้นระบบสามารถควบคุมได้ดี สำหรับ อัตราการพ่นโดยเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 32.67–35.50 กรัม/นาที แม้ปริมาณสะสมจะมีความผันผวนเล็กน้อย แต่ไม่ได้ส่งผลต่ออัตราการพ่นโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ สามารถสรุปได้ว่าระบบพ่นผงทำงานได้อย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 2 อัตราการพ่นผงปรุงรสของระบบ

เวลา (นาที)	ปริมาณผงปรุง รสที่ถูกพ่น 3 ครั้ง (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)	SD	Var	อัตรา การ พ่น (กรัม/ นาที)
1	32, 37, 31	33.33	2.62	6.89	33.33
2	68, 73, 72	71	2.16	4.67	35.5
3	97, 106, 95	99.33	4.78	22.89	33.11
4	133, 145, 137	138.33	4.99	24.89	34.58
5	168, 179, 165	170.67	6.02	36.22	34.13
6	195, 200, 193	196	2.94	8.67	32.67

จากกระบวนการทดสอบการคลุกผงปรุงรสในแผ่นมันสำปะหลังทอดที่มีปริมาณ 0.5 – 2 กิโลกรัม โดยใช้เวลาในการคลุกตั้งแต่ 1- 11 นาที โดยมีการพ่นผงปรุงรสครั้งละประมาณ 35 – 200 กรัม จากนั้นทำการบันทึกผลความสม่ำเสมอของการเคลือบผงปรุงรสบนแผ่นมันสำปะหลัง (รูปที่ 9) โดยหากผงปรุงรสกระจายทั่วแผ่นมันสำปะหลังอย่างสม่ำเสมอและไม่มีบริเวณที่มีการกระจุกตัวของผงมากเกินไป ถือว่าการเคลือบ "สม่ำเสมอ (✓)" และหากพบว่าผงปรุงรสกระจายไม่เท่ากัน มีบางส่วนของแผ่นมันสำปะหลังไม่มีการเคลือบ หรือมีการกระจุกตัวเป็นกลุ่ม ถือว่าการเคลือบ "ไม่สม่ำเสมอ (✗)" (ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4



ก. ไม่สม่ำเสมอ



ข. สม่ำเสมอทั่วแผ่น

รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างของการเคลือบของผงปรุงรสบนแผ่นมันสำปะหลัง

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงที่ใช้พ่นต่อปริมาณมันสำปะหลัง (✗ ไม่สม่ำเสมอ, ✓ สม่ำเสมอ)

ปริมาณ (กิโลกรัม)	ปริมาณผงปรุงรสที่ใช้ (กรัม)					
	35	70	105	140	175	200
0.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	✗	✓	✓	✓	✓	✓
1.5	✗	✗	✓	✓	✓	✓
2	✗	✗	✗	✓	✓	✓

จากการทดสอบหาระยะเวลาที่ใช้คลุกผงปรุงรสของเครื่อง โดยพิจารณาจากปริมาณมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน 0.5, 1, 1.5 และ 2 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาที่คลุกจนผงปรุงรสเคลือบทั่วถึง มีความสม่ำเสมอ 5, 7, 9 และ 11 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4 แสดงลักษณะการเคลือบของผงปรงรสบนแผ่นมันสำปะหลังทอดกับระยะเวลาที่ใช้ (× ไม่สม่ำเสมอ,

✓ สม่ำเสมอ)

ปริมาณ (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้คลุก (นาท)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.5	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓
1.5	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓
2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓

จากผลการทดสอบหาปริมาณผงปรงรสที่ใช้พ่นต่อปริมาณมันสำปะหลัง พบว่าปริมาณมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน 0.5, 1, 1.5 และ 2 กิโลกรัม จะใช้ปริมาณผงปรงรสที่ใช้พ่น 35, 70, 105, 140, 175, และ 200 กรัม ตามลำดับ สัดส่วนผงปรงรสที่ใช้ต่อมันสำปะหลังอยู่ที่ประมาณ 7% (35 กรัมต่อ 500 กรัม) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่คงที่ในทุกปริมาณมันสำปะหลัง ด้วยเหตุนี้หากมีปริมาณมันสำปะหลังมากกว่า 2 กิโลกรัมจะสามารถคำนวณปริมาณผงปรงรสที่เหมาะสมได้

จากผลการทดสอบทั้งหมดพบว่า ความเร็วรอบต่ำ (15-20 รอบ/นาท) ช่วยลดการแตกหักของแผ่นมันสำปะหลังได้ดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อปริมาณน้อย (0.5 กิโลกรัม) การใช้รอบสูงขึ้น (25-30 รอบ/นาท) เพิ่มอัตราการแตกหัก แต่เมื่อปริมาณมันสำปะหลังมากขึ้น (1-2 กิโลกรัม) ผลกระทบจากรอบสูงลดลง สามารถใช้ความเร็ว 25-30 รอบ/นาทได้โดยยังควบคุมการแตกหักในระดับที่ยอมรับได้ อัตราการพ่นผงปรงรสเฉลี่ยอยู่ที่ 33.89 กรัม/นาท และมีความสม่ำเสมอในช่วง 32.67–35.50 กรัม/นาท แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมปริมาณการพ่นได้ดี ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการคลุกให้ผงปรงรสเคลือบทั่วถึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณมันสำปะหลัง โดย 0.5 กิโลกรัม ใช้ 5 นาท, 1 กิโลกรัม ใช้ 7 นาท, 1.5 กิโลกรัม ใช้ 9 นาท, และ 2 กิโลกรัม ใช้ 11 นาท สัดส่วนผงปรงรส

ที่ใช้พ่นต่อปริมาณมันสำปะหลังอยู่ที่ ประมาณ 7% (เช่น 35 กรัมต่อ 0.5 กิโลกรัม) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่คงที่ หากต้องการเพิ่มปริมาณมันสำปะหลัง สามารถคำนวณปริมาณผงปรงรสตามสัดส่วนนี้ได้ หากพิจารณาที่ปริมาณมันสำปะหลัง 2 กิโลกรัม ระบบนี้จะสามารถช่วยลดปริมาณการใช้ผงปรงรสจาก 200 กรัม เหลือเพียงประมาณ 140-150 กรัม ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้ได้ประมาณ 25-30% และสามารถลดการแตกหักของมันสำปะหลังทอด 10-15%

ด้วยเหตุนี้ การเปรียบเทียบระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธีใหม่ที่ควบคุมการพ่นผงปรงรส แสดงผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยระบบใหม่ใช้ผงปรงรสเพียงประมาณ 140 กรัมต่อรอบ ลดลงจากเดิม 200–250 กรัม คิดเป็นกว่า 30–44% ช่วยประหยัดวัตถุดิบชัดเจน อีกทั้งยังลดอัตราการแตกหักจาก 17.5–20% เหลือไม่ถึง 5% หรือลดได้กว่า 70% ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพและการสูญเสีย นอกจากนี้ยังลดการสูญเสียผงในถุงและเพิ่มความสม่ำเสมอของรสชาติ ดังนั้น ระบบกึ่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นจึงให้ผลในระดับ large effect ทั้งในการลดการสูญเสียและยกระดับคุณภาพ เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้จริงในวิสาหกิจชุมชน

5. สรุปและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้พัฒนาระบบคลุกผงปรงรสมันสำปะหลังทอดแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับวิสาหกิจชุมชน ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระบบช่วยลดการแตกหักของมันสำปะหลัง ใช้เวลา 5–11 นาทและผงปรงรส 7% ของปริมาณมันสำปะหลัง สามารถปรับได้ตามปริมาณ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดการสูญเสียวัตถุดิบ ควบคุมคุณภาพ ลดต้นทุน และสร้างผลิตภัณฑ์มาตรฐานแข่งขันได้ในตลาด หากพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ต้นทุนของระบบอยู่ที่ 60,000–70,000 บาท ระบบช่วยลดการใช้ผงปรงรสจาก 200–250 กรัมเหลือ 140 กรัมต่อรอบ ประหยัดวัตถุดิบราว 24 บาท ลดการแตกหักจาก 17.5–20% เหลือไม่ถึง 5% ประหยัดเพิ่ม 37–45 บาท รวมลด

ต้นทุนต่อรอบ 62–70 บาท หากผลิต 10 รอบต่อวัน (20 กก.) จะประหยัดราว 650 บาทต่อวัน คำนวณเครื่องจักรประมาณ 3-4 เดือน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental fund; FF) ปี พ.ศ. 2567 สัญญาเลขที่ FRB670020/0172 และได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Trade Policy and Strategy, Ministry of Commerce. (2025, Jan 22). Cassava exports recover after 14 months of decline [Online]. Available: <https://tpso.go.th/>
- [2] S&P Global Market Intelligence. (2024, Mar 2). S&P Global Market Intelligence: Maritime & Global Trade Atlas [Online]. Available: <https://www.spglobal.com/market-intelligence/en/solutions/products/maritime-global-trade-atlas>.
- [3] S. Karnna, A. Sukkaew and T. Thongwichian, "Study and design of a seasoning powder mixing machine for crispy seabass skin," *Proceedings of the 9th National Conference of Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus: Following in the King's Footsteps in Agricultural Sciences*, pp. 81–88, 2012.
- [4] A. Srichat, W. Kaewka and K. Hongthong, "Development of a horizontal animal feed mixer with double-layer paddles," *Journal of Farm Engineering and Automatic Control Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 38–48, 2019.
- [5] T. Naebnian, "Rotary drum-type animal feed mixer powered by biogas," *Life Sciences and Environment Journal*, vol. 24, no. 2, pp. 469–481, 2023.
- [6] A. Tongtip and P. Wijitkul, "Design and testing of a horizontal rice mixer with ribbon-type blades," *Academic Journal of Uttaradit Rajabhat University*, vol. 17, no. 2, pp. 37–54, 2022.
- [7] P. C. Okolie, E. N. Obika, B. S. Oluwadare, O. A. Azaka and U. O. Okolie, "Steel work design, production and analysis of a fish feed mixing machine," *Heliyon*, vol. 7, no. 8, 2021.
- [8] A. Balami, D. Adgidzi and A. Mua'zu, "Development and testing of an animal feed mixing machine," *International Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 1, no. 3, pp. 491–503, 2013.
- [9] A. A. Adebukola, "Development and evaluation of a fish feed mixer," *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 226–233, 2019.
- [10] T. Areerat, "Development of an IoT-controlled soil mixing machine," *Journal of Technology Management*, vol. 11, no. 2, pp. 110–120, 2024.
- [11] P. Wongtha, P. Kaewchanthuek, A. Paefuen, P. Saraporn, K. Somkiatkul, C. Areeprasert, C. Siriphaiboon, and T. Kiatwat, "Design and construction of an automatic noodle seasoning prototype," *Journal of the Thai Society of Agricultural Engineering*, vol. 25, no. 2, pp. 36–41, 2019.