

การพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Design and Development of an Automatic Banana Chewy Cutting Machine Controlled by a Microcontroller

อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก^{1*} ชลาลัย วงเวียน¹ และ ศุภกิจ พายายม¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Alongkorn Chatmuangpak ^{1*} Chalalai Wongwian¹ and Supakit Payayam¹

¹Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

วันที่รับบทความ 10 กรกฎาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 16 กรกฎาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 12 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดการใช้แรงงานคน และสร้างมาตรฐานขนาดของกล้วยกวนให้สม่ำเสมอ เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นออกแบบให้สามารถตัดกล้วยกวนได้ทั้งแนวยาวและแนวกว้างในกระบวนการเดียว โดยใช้ชุดใบมีดตัด 2 ชุด และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์และเซนเซอร์ทั้งหมด เพื่อให้ถาดกล้วยกวนสามารถเคลื่อนที่และหมุนเปลี่ยนทิศทางการตัดได้อย่างอัตโนมัติ ผลการทดสอบพบว่าเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติสามารถผลิตกล้วยกวนได้ 136 ชิ้นต่อถาด ใช้เวลาในการทำงานต่อรอบ 54 วินาที หรือคิดเป็นอัตราการผลิต 8,976 ชิ้นต่อชั่วโมง (66 กิโลกรัม) และ 528 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการตัดด้วยแรงงานคนถึงร้อยละ 121.25 ขนาดของชิ้นกล้วยกวนที่ได้มีความสม่ำเสมอ โดยแต่ละชิ้นมีขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร และสูง 1 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานจากการทำงานต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสะสม 0.4901 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) คิดเป็นต้นทุนค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 1.93 บาทต่อชั่วโมง และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) เท่ากับ 0.0074 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (kWh/kg) หรือเทียบเท่า 0.0267 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำมากสำหรับเครื่องจักรขนาดเล็กในงานแปรรูปอาหาร ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำสำหรับเครื่องจักรขนาดเล็กในงานแปรรูปอาหาร จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีความแม่นยำสูง สามารถลดความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานและลดการสัมผัสโดยตรงระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับผลิตภัณฑ์ ช่วยยกระดับคุณภาพและความปลอดภัยของกระบวนการผลิต เครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นจึงมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารขนาดย่อมและวิสาหกิจชุมชน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: เครื่องตัดกล้วยกวน ไมโครคอนโทรลเลอร์ กล้วยกวน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ABSTRACT

The objective of this research was to design and develop an automatic banana chewy cutting machine controlled by a microcontroller to increase production efficiency, reduce manual labor, and standardize the product size. The prototype was designed to cut the product both longitudinally and transversely in a single process using two sets of cutting blades. A microcontroller controls the operation of all motors and sensors, enabling the product tray to move and rotate automatically to change cutting directions. The performance test results revealed that the automatic machine could produce 136 pieces per tray with a cycle time of 54 seconds. This corresponds to a production rate of 8,976 pieces per hour (66 kg/hr.) or 528 kg per day, representing a 121.25% increase in efficiency compared to manual labor. The cut pieces were consistent in size, with dimensions of 1.5 cm in width, 3 cm in length, and 1 cm in height. Energy efficiency analysis over one hour with a total accumulated energy consumption of 0.4901 kWh. The average electricity cost was calculated at 1.93 THB per hour. The Specific Energy Consumption (SEC) was determined to be 0.0074 kWh/kg, equivalent to 0.0267 MJ/kg, which is considered very low for small-scale food processing machinery. The analysis concluded that the microcontroller-based control system enables continuous and highly precise operation. It minimizes dimensional errors and reduces direct contact between operators and the product, thereby enhancing the quality and safety of the production process. Consequently, the developed automatic banana chewy cutting machine demonstrates significant potential for application in small-scale food processing industries and community enterprises to improve production efficiency and product standards.

Keywords: Automatic Banana Chewy Cutting Machine, Microcontroller, Banana Chewy, Specific Energy Consumption

1. บทนำ

กล้วยเป็นแหล่งของอาหารเสริมในชีวิตประจำวัน เพราะกล้วยอุดมด้วยโภชนาการ โดยมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต ไขมันต่าง ๆ เช่น บี 1 บี 2 บี 3 และบี 6 และแคลอรีอื่น อีกทั้งยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารโพแทสเซียมที่มีบทบาทสำคัญในการช่วยให้การทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายเป็นปกติ เช่น ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ เป็นต้น ซึ่งผู้คนในอดีตของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ได้ใช้กล้วยเป็นแหล่งที่มาของธาตุอาหารเพื่อโภชนาการ และรวมถึงการเป็นอาหารเสริมให้ทารกทดแทนนมแม่อีกด้วย (ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์, 2557)

จังหวัดเพชรบุรีมีภูมิประเทศเป็นภูเขาและที่ราบสูง ที่ราบลุ่มแม่น้ำ และที่ราบชายฝั่งทะเล ส่งผลให้จังหวัดเพชรบุรีมีความอุดมสมบูรณ์ในการทำเกษตรกรรมและประมง ในปี 2565 เพชรบุรีมีพื้นที่เกษตรกรรม 825,612 ไร่ ผลผลิตที่สำคัญของเพชรบุรีในกลุ่มผักและผลไม้ ได้แก่ ตาลโตนด ชมพูเพชรสายรุ้ง อ้อย กล้วย กล้วยหอมทอง มะพร้าว สับปะรด กลุ่มเมล็ดพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง กลุ่มพืชใบพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ ได้แก่ ยาสูบ หอมแดง กลุ่มประมง ได้แก่ ปลา กุ้ง หมีก ดังนั้นกระบวนการแปรรูปทางการเกษตรจึงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและการประกอบอาชีพเกษตรกรรมและกสิกรรมในจังหวัดเพชรบุรีอย่างมาก สำหรับกล้วยซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ นิยมบริโภค หาได้ง่ายและมีตลอดปี แต่มีอายุการเก็บรักษาสั้น (จารุวรรณ กุลวิศวะ และคณะ, 2550: เจริญ ประารณารักษ์ และคณะ, 2567) นอกเหนือจากการบริโภคในรูปกล้วย

สดแล้ว ส่วนใหญ่จะนิยมแปรรูปโดยการตากแห้ง เชื่อม และกวน กรณีของกล้วยกวน พบว่าในขั้นตอนการผลิตที่เป็นปัญหา มากที่สุด คือ การตัดกล้วยกวนให้เป็นชิ้น ๆ เพื่อบรรจุห่อ โดยใช้กรรไกรตัดดอกทีละชิ้น ทำให้ได้ขนาดที่ไม่ได้มาตรฐาน ใช้ เวลานาน และมีการปนเปื้อนขณะตัด

จากการศึกษาข้อมูลผู้วิจัยพบว่า การผลิตขนมกล้วยกวนในขั้นตอนการตัดนั้น ต้องใช้คนงานจำนวนมากและการตัด ด้วยมีดตัดเป็นระยะเวลานานอาจทำให้คนงานเกิดการบาดเจ็บสะสมได้เนื่องจากลักษณะของขนมกล้วยกวนจะมีความหนา และเหนียวทำให้ตัดได้ยากอีกทั้งยังใช้เวลานาน รวมถึงในการตัดด้วยคนงานนั้นจะได้ขนาดที่ไม่เป็นมาตรฐานซึ่งจะส่งผลต่อ ขั้นตอนการห่อขนมต่อไป ทั้งนี้ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์มักถูกนำมาใช้ในระบบ การหั่น สับ ปั่น หรือคัดแยกวัตถุดิบ ที่ ต้องการความแม่นยำสูงในระดับมิลลิเมตร เช่น เครื่องตัดเนื้อ เครื่องหั่นผัก เครื่องป้อนวัตถุดิบแบบต่อเนื่อง ซึ่งล้วนใช้หลักการ เดียวกันกับเครื่องตัดกล้วยกวนที่ต้องควบคุมทั้งการป้อนและแรงตัดพร้อมกัน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็น “สมอง กล” ของเครื่อง โดยควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หลัก ดังนี้ ระบบขับเคลื่อนใบมีด (Cutting Motor Control) ระบบป้อน กล้วย (Feeding System) ระบบตรวจจับชิ้นงาน (Object Detection System) (Fellows, 2009) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความ สนใจที่จะทำการพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเป็นการสนับสนุนผลผลิตจากการ แปรรูปกล้วยให้มีมาตรฐานมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 2) หาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเทียบกับการทำงานโดยใช้คน
- 3) วิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานของเครื่องตัดกล้วยกวนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่สามารถควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้ โดยมีความสามารถที่ คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้ 1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (Central Processing Unit) 2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่ง ออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) 3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่ง สัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) 4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณ ข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต และ 5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (พนัส นัถฤทธิ์, 2563)

การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ควบคุมระบบเครื่องตัดกล้วยกวนมีความสำคัญในหลายด้าน ทั้งในเชิงเทคโนโลยี ประสิทธิภาพการผลิต และการพัฒนาต่อยอดเชิงอุตสาหกรรม ดังนี้ 1. ด้านความแม่นยำและความสม่ำเสมอของการตัด ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์และใบมีดด้วยสัญญาณดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง ช่วยให้การตัด กล้วยมีขนาดชิ้นที่สม่ำเสมอ โดยสามารถตั้งค่าความเร็วรอบหรือความหนาชิ้นผ่านโปรแกรมได้ (Mazidi, Mazidi, & McKinlay, 2015) 2. ด้านความยืดหยุ่นและการปรับเปลี่ยนการทำงาน การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถ ปรับพารามิเตอร์การทำงาน เช่น ความเร็วสายพาน, ความเร็วรอบใบมีด หรือความหนาชิ้นตัด ได้ง่ายผ่านโปรแกรมหรือแผง ควบคุม (Banzi & Shiloh, 2014) ทำให้เครื่องสามารถใช้งานกับกล้วยที่มีความสุกต่างระดับ หรือขนาดผลต่างกันได้อย่างไม่ ต้องปรับทางกลบ่อยครั้ง 3. ด้านความปลอดภัยและการตรวจจับอัตโนมัติ ด้วยความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการ

อ่านค่าจากเซนเซอร์ เช่น เซนเซอร์ตรวจจับชิ้นงาน (infrared sensor) หรือสวิตช์จำกัดตำแหน่ง (limit switch) เครื่องสามารถหยุดทำงานอัตโนมัติเมื่อไม่มีวัตถุในสายพาน หรือเมื่อเกิดความผิดปกติ เช่น การติดขัดของกลไกในระบบตัด ช่วยลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บและความเสียหายของอุปกรณ์ (Franklin, Powell, & Emami-Naeini, 2015) 4. ด้านประสิทธิภาพและการบันทึกข้อมูลการผลิต ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เสริม เช่น หน้าจอ LCD, โมดูล SD Card หรือ Wi-Fi Module เพื่อบันทึกข้อมูลการทำงาน เช่น จำนวนชิ้นที่ตัดได้ต่อรอบ เวลาเฉลี่ยต่อการผลิตหนึ่งชุด และอัตราความผิดพลาด ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพและควบคุมคุณภาพในอนาคต (Mazidi et al., 2015) 5. ด้านการประหยัดพลังงานและลดต้นทุน ระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถบริหารการทำงานของมอเตอร์และส่วนประกอบไฟฟ้าให้เหมาะสมกับภาระงานจริง เช่น การปรับลดรอบมอเตอร์เมื่อไม่มีการป้อนวัตถุดิบ ทำให้ประหยัดพลังงานและลดการสึกหรอของเครื่องจักร (Fellows, 2009)

3.2 การคำนวณเชิงวิศวกรรม (Engineering Computations)

งานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณเชิงวิศวกรรมในระบบส่งกำลังด้วยสายพาน ดังนี้

3.2.1 อัตราทดของระบบสายพาน (Speed Ratio)

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

โดย

i	อัตราทดรอบ (Speed ratio)
D_1	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพาน ตัวขับ (Driver pulley) (นิ้ว)
D_2	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพาน ตัวตาม (Driven pulley) (นิ้ว)
N_1	ความเร็วรอบของล้อขับ (รอบต่อนาที)
N_2	ความเร็วรอบของล้อตาม (รอบต่อนาที)

3.2.2 ความเร็วรอบของล้อตาม (Driven Pulley Speed)

$$N_2 = N_1 \times \frac{D_1}{D_2} \quad (2)$$

โดย

D_1	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพาน ตัวขับ (Driver pulley) (นิ้ว)
D_2	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพาน ตัวตาม (Driven pulley) (นิ้ว)
N_1	ความเร็วรอบของล้อขับ (รอบต่อนาที)
N_2	ความเร็วรอบของล้อตาม (รอบต่อนาที)

3.2.3 ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน (Belt Linear Speed)

$$v = \frac{\pi D_1 N_1}{60} \quad (3)$$

โดย

v	ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน (Belt linear speed) (เมตรต่อวินาที)
D_1	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อขับ (เมตร)
N_1	ความเร็วรอบล้อขับ (รอบต่อนาที)

3.3.4 แรงบิด (Torque)

พลังงานสัมพันธ์กับความเร็วเชิงมุมโดย

$$T = \frac{P}{\omega} \quad \text{โดย } \omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (4)$$

ดังนั้น

$$T = \frac{P \text{ (W)}}{2\pi(N/60)} = \frac{30 P}{\pi N} \quad (5)$$

โดย

T	แรงบิด (N·m)
P	กำลัง (W)
N	ความเร็วรอบ (rpm)
ω	ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) แสดงถึงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานในกระบวนการใดๆ เทียบต่อหน่วยผลผลิตที่ได้ กรณีเครื่องตัดกล้วย ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการตัดกล้วยเทียบกับหน่วยผลผลิตที่ได้ ดังสมการที่ 6

$$SEC = \frac{E_{total}}{M_p} \quad (6)$$

โดย

SEC	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kWh/kg)
E_{total}	พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ในกระบวนการ (kWh)
M_p	มวลของผลิตภัณฑ์

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นแนวทางสำคัญในการยกระดับกระบวนการผลิตขนมไทยพื้นบ้านให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการใช้แรงงานคน และเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน โดยมีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้ศึกษาหรือออกแบบเครื่องจักรลักษณะนี้ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จักรพงษ์ ทองแผน ได้พัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนที่ทำงานโดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนเพลาที่ติดตั้งใบมีดจำนวน 2 ชุด ซึ่งจัดวางในแนวตั้งฉากกัน โดยมีการเว้นระยะห่างของใบมีดให้สอดคล้องกับขนาดของกล้วยกวนที่ต้องการตัด การทำงานเริ่มจากการดันถาดกล้วยกวนผ่านใบมีดชุดแรกเพื่อตัดในแนวยาว จากนั้นจึงกลับด้านถาดและดันผ่านใบมีดชุดที่สองเพื่อตัดในแนวขวาง ส่งผลให้ได้กล้วยกวนที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส อย่างไรก็ตาม เครื่องดังกล่าวยังมีข้อจำกัดด้านความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน (จักรพงษ์ ทองแผน, 2551)

อนุสรณ์ สิ้นสะอาด ได้ทำการวิจัยและสร้างเครื่องตัดกล้วยกวนขึ้นใหม่ เพื่อแก้ปัญหาความไม่สะอาดและขนาดชิ้นงานที่ไม่เท่ากันจากการตัดด้วยมือ โดยเครื่องนี้ใช้มอเตอร์กระแสสลับร่วมกับเฟืองทดและฐานใบมีด 2 ชุด ซึ่งจัดวางในแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ เครื่องสามารถตัดกล้วยกวนได้ 144 ชิ้นภายในเวลาเพียง 20 วินาที จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือความปลอดภัยของผู้ใช้งาน มีระบบควบคุมด้วยสวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch) และรีเลย์ พร้อมติดตั้งเซนเซอร์เพื่อป้องกันอันตรายจากการทำงาน (อนุสรณ์ สิ้นสะอาด, 2560)

รุ่งโรจน์ แก้วศรีงาม และจันทิมา หิรัญอ่อน ได้พัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนแบบกึ่งอัตโนมัติที่ใช้ระบบนิวแมติก (Pneumatic System) ร่วมกับชุดตัดแบบสองทิศทาง (Two-way Putty Banana Slicer) ซึ่งสามารถตัดได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน และปรับความหนาขึ้นได้ตั้งแต่ 3–10 มิลลิเมตร เครื่องดังกล่าวช่วยลดอาการเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน ลดอุบัติเหตุจากการใช้แรงกดด้วยมือ และได้ขนาดของกล้วยกวนที่สม่ำเสมอมากขึ้น (รุ่งโรจน์ แก้วศรีงาม และจันทิมา หิรัญอ่อน, 2559)

นอกจากเครื่องตัดกล้วยกวนแล้ว ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติในกระบวนการผลิตอาหาร โดย รัฐพล ดุลยะลา ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกระยาสารทแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานหลักผ่านแมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) ผลการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถลดเวลาในการตัดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ และให้ชิ้นงานที่มีขนาดมาตรฐาน โดยมีประสิทธิภาพในการผลิตสูงถึง 68.29% เมื่อเทียบกับการทำงานของแรงงานคน (รัฐพล ดุลยะลา, 2563)

Sonawane และคณะ ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นกล้วยแบบโรตารีสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยออกแบบให้สอดคล้องกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพันธุ์กล้วย เช่น Nendran และ Dwarf Cavendish เครื่องดังกล่าวประกอบด้วยชุดป้อนวัตถุดิบ (Feeder Unit) ตลับใบมีดแบบโรตารี และระบบส่งกำลัง ผลการทดลองพบว่าเครื่องสามารถให้ความเร็วในการตัดที่สูงและได้ชิ้นกล้วยที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าการตัดด้วยมือ อย่างไรก็ตาม ต้องมีการควบคุมความเร็วรอบและรูปแบบของระบบป้อนวัตถุดิบเพื่อป้องกันการติดขัดระหว่างการทำงาน (Sonawane et al., 2011)

Smith และ Jones ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของใบมีดตัดชนิดต่าง ๆ สำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเหนียว (Viscoelastic Food) โดยพบว่าความเร็วเชิงเส้นของใบมีด (Linear Velocity) มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของรอยตัด โดยแนะนำให้ใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสมเพื่อลดแรงเสียดทานและการเกาะติดของผลิตภัณฑ์กับใบมีด ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการกำหนดอัตราทดและรอบการทำงานของชุดใบมีดตัดในเครื่องตัดกล้วยกวนรุ่นใหม่ (Smith & Jones, 2020)

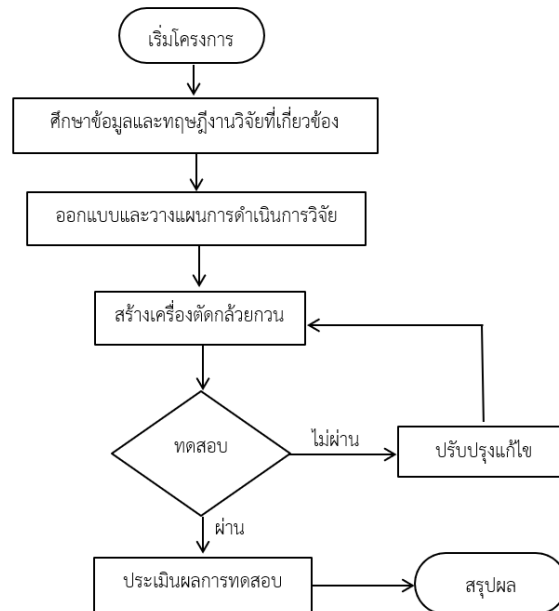
Sugiyanto และคณะ ได้ออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องปอกและตัดมันฝรั่ง โดยมุ่งเน้นการคำนวณรอบการตัดและการประเมินกำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อน ซึ่งผลลัพธ์สามารถนำไปปรับใช้กับเครื่องตัดอาหารประเภทอื่น ๆ ได้เช่นกัน (Sugiyanto et al., 2022) ขณะที่ Mohamad และคณะ ได้ศึกษาการทดสอบเครื่องตัดกล้วยสำหรับผลิตกล้วยอบกรอบ โดยคำนวณความเร็วรอบและอัตราทดของเครื่องจักร เพื่อให้ได้ความเร็วในการตัดที่เหมาะสมที่สุด ผลการทดลองยืนยันว่าการควบคุมรอบและอัตราทดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องตัดอย่างชัดเจน (Mohamad et al., 2023)

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด พบว่าการพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนและเครื่องจักรในกระบวนการแปรรูปอาหารนั้นมีแนวโน้มมุ่งไปสู่การใช้ระบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติมากขึ้น เพื่อเพิ่มความปลอดภัย ความแม่นยำ และประสิทธิภาพในการผลิต อีกทั้งยังมีการนำเทคโนโลยีควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบนิวแมติก และการคำนวณทางวิศวกรรม เช่น ความเร็วรอบและอัตราทด มาใช้ในการออกแบบเครื่องจักรอย่างแพร่หลาย ซึ่งแนวคิดเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนในงานวิจัยปัจจุบันได้อย่างเหมาะสม

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินการแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการสร้างเครื่องตัดกล้วยกวน

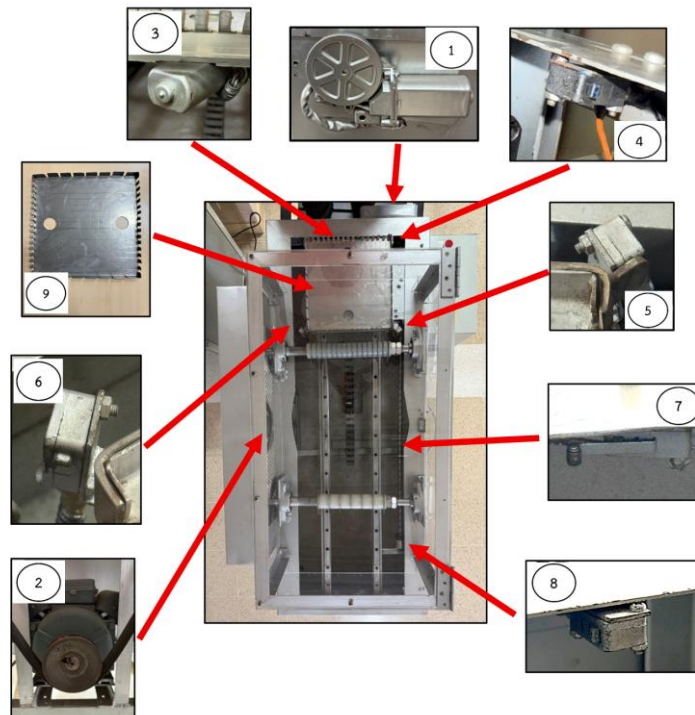
4.2 ออกแบบโครงสร้าง

แนวคิดในการออกแบบโครงสร้างและการทำงานของระบบ ผู้วิจัยมีความต้องการให้เครื่องตัดกล้วยกวนสามารถตัดกล้วยกวนทั้ง 2 แนว (ด้านกว้างและด้านยาว) โดยการสั่งงานเพียงครั้งเดียว และกล้วยกวนแต่ละชิ้นที่ถูกตัดจะต้องมีขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร และสูง 1 เซนติเมตร โดยการออกแบบและพัฒนาจะใช้มีดตัดจำนวน 2 ชุด ใช้ระบบสั่งการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ถาดหมุนเปลี่ยนทิศทางการตัด มีลิimitswitch จำนวน 5 ตัว เพื่อควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่และการทำงานของมอเตอร์ ระบบการให้กำลังใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 1 แรงม้า (HP) มีกำลัง 746 วัตต์ มีความเร็วรอบที่ 1,450 รอบต่อนาที (rpm) ล้อตัวขับเคลื่อน 3.5 นิ้ว ใช้มู่เลย์ 2 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว และสายพานเพื่อหมุนชุดใบมีด และมู่เลย์ปรับความตึงหย่อน (Idler Pulley) 1 ตัว อยู่ระหว่าง มู่เลย์หมุนใบมีด ซึ่งโครงสร้างการออกแบบเป็นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบโครงสร้างเครื่องตัดกล้วยกวน

4.3 หลักการทำงาน



รูปที่ 3 ตำแหน่งมอเตอร์ และลิมิตสวิทช์

จากรูปที่ 3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องได้ดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 มอเตอร์ขับเคลื่อนถาด

หมายเลข 2 มอเตอร์ขับเคลื่อนใบมีด

หมายเลข 3 มอเตอร์หมุนถาด

หมายเลข 4 ลิมิตสวิทช์ตัวที่ 1

หมายเลข 5 ลิมิตสวิทช์ตัวที่ 2

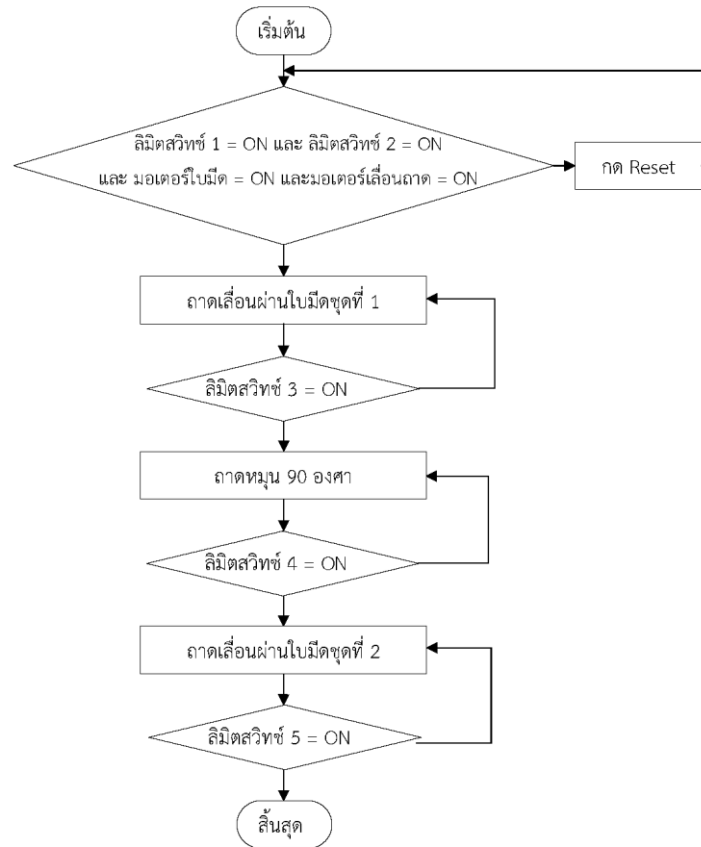
หมายเลข 6 ลิมิตสวิทช์ตัวที่ 3

หมายเลข 7 ลิมิตสวิทช์ตัวที่ 4

หมายเลข 8 ลิมิตสวิทช์ตัวที่ 5

หมายเลข 9 ถาดใส่ขนมกล้วยกวนขนาด 24 x 25 x 1 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4 สามารถอธิบายการทำงานของเครื่องได้ดังต่อไปนี้ เมื่อกดปุ่ม start เครื่องจะทำงานโดยสถานะเริ่มทำงาน ถาดใส่ขนมกล้วยกวนจะแตะอยู่ที่ลิมิตสวิทช์ตัวที่ 1 เพื่อสั่งให้มอเตอร์ใบมีดและมอเตอร์เลื่อนถาดทำงาน จากนั้นถาดจะเลื่อนผ่านใบมีดชุดที่ 1 และจะเลื่อนไปแตะลิมิตสวิทช์ตัวที่ 2 เพื่อหยุดและหมุนถาด จากนั้นถาดที่หมดจะหมุนไปแตะลิมิตสวิทช์ตัวที่ 4 เพื่อเลื่อนถาดผ่านใบมีดชุดที่ 2 เมื่อถาดเลื่อนผ่านใบมีดชุดที่ 2 ถาดจะเลื่อนไปแตะลิมิตสวิทช์ตัวที่ 5 เพื่อสั่งให้ระบบหยุดทำงาน จากนั้นเมื่อกดปุ่ม restart ถาดจะเลื่อนกลับมาที่จุดเริ่มต้นโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4 Flowchart การทำงานของเครื่องตัดก๊วยกวน

4.4 การคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

การวัดค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ดำเนินการโดยใช้เครื่องวัดและบันทึกสัญญาณคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality Analyzer) ยี่ห้อ HIOKI รุ่น LR8401-20 (D) ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยทำการตรวจวัดและบันทึกค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) ที่เครื่องตัดก๊วยกวนใช้ในกระบวนการตัดตลอดระยะเวลาการทดสอบ 1 ชั่วโมง การบันทึกข้อมูลกำหนดอัตราการสุ่มเก็บสัญญาณ (Data Logging Interval) ทุก ๆ 2 วินาที โดยเริ่มเดินเครื่องตัดก๊วยกวนพร้อมจับเวลา เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาที่กำหนด จะทำการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ก๊วยกวนที่ตัดได้ทั้งหมด จากนั้นนำค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมและปริมาณผลผลิตที่ได้ ไปคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)



รูปที่ 5 แสดงการวัดค่าสัญญาณคุณภาพไฟฟ้าด้วยเครื่อง HIOKI รุ่น LR8401-20 (D)

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการคำนวณเชิงวิศวกรรมในระบบส่งกำลังด้วยสายพาน

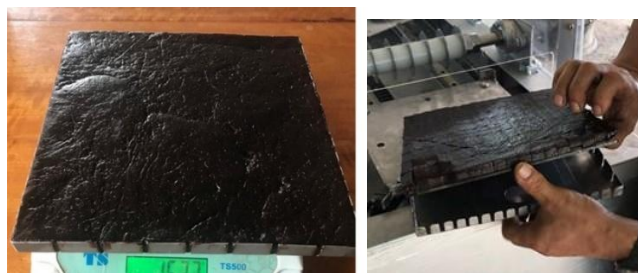
การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนใช้ชุดส่งกำลังซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า มีกำลัง 746 วัตต์ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ร่วมกับมู่เลย์ขับเคลื่อนขนาด 3.5 นิ้ว และมู่เลย์ตามขนาด 7 นิ้ว โดยผลการวิเคราะห์ระบบส่งกำลังพบว่าเครื่องมีอัตราทดของระบบสายพานเท่ากับ 2 ส่งผลให้ความเร็วรอบของล้อตามลดลงเหลือ 725 รอบต่อนาที ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเพิ่มแรงบิดให้เพียงพอต่อการตัดขนมกล้วยกวนที่มีความหนืดสูง ระบบดังกล่าวให้ความเร็วเชิงเส้นของสายพานเท่ากับ 6.75 เมตรต่อวินาที ซึ่งช่วยให้ชุดใบมีดหมุนด้วยความต่อเนื่อง

แรงบิดที่เพลามอเตอร์มีค่าประมาณ 5 นิวตันเมตร และเมื่อผ่านชุดส่งกำลังที่มีอัตราทดเท่ากับ 2 แรงบิดที่ล้อตามเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 10 นิวตันเมตร แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถขยายแรงบิดให้เหมาะสมกับภาระงานจริง ลดภาระโหลดต่อมอเตอร์ และส่งผลให้มอเตอร์ทำงานในสภาวะที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการลดปริมาณพลังงานที่ใช้โดยรวม

5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตัดกล้วยกวน

จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติ โดยกำหนดให้ใช้วัตถุดิบกล้วยกวนที่มีขนาดตั้งต้นกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร และความหนา 1 เซนติเมตร เข้าสู่กระบวนการตัดตามรูปแบบที่กำหนด คือ การตัดแบ่งในแนวนอนจำนวน 17 แถว และแนวตั้งจำนวน 8 แถว พบว่าเครื่องสามารถตัดชิ้นงานได้ตามขนาดเป้าหมายที่ $3 \times 1.5 \times 1$ เซนติเมตร ดังลักษณะชิ้นงานที่แสดงในรูปที่ 6

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะด้านเวลาและกำลังการผลิตพบว่า เครื่องใช้เวลาในการตัดเฉลี่ย 54 วินาทีต่อถาด ได้ผลผลิตจำนวน 136 ชิ้นต่อถาด คิดเป็นน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต่อถาด เมื่อคำนวณกำลังการผลิตสูงสุดต่อชั่วโมง (Capacity per Hour) พบว่าเครื่องสามารถรองรับการผลิตได้ 66 ถาดต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาณชิ้นงาน 8,976 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือเทียบเท่าน้ำหนักรวม 66 กิโลกรัมต่อชั่วโมง รายละเอียดผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1



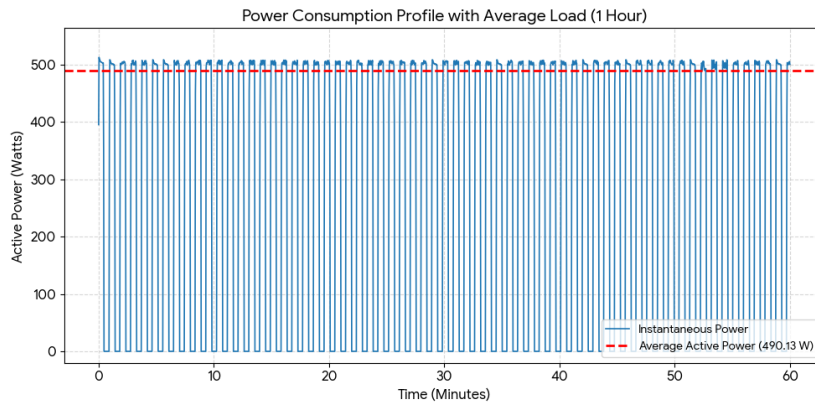
รูปที่ 6 แสดงผลการตัดกล้วยกวน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการตัดกล้วยกวนโดยใช้เครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติกับใช้คนตัด (ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง)

การตัดชิ้นกล้วยกวน	จำนวน (ชิ้น)	น้ำหนักผลผลิตทั้งหมดที่ได้ (kg)
คน	4,057	29.83
ต้นแบบเครื่องตัดชิ้นกล้วยกวนอัตโนมัติ	8,976	66.14
ผลต่าง	4,919	36.31
ต้นแบบเครื่องตัดชิ้นกล้วยกวนอัตโนมัติมีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าคน คิดเป็น ร้อยละ 121.25		

5.3 ผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการตรวจวัดพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติด้วยเครื่องวัดสัญญาณคุณภาพไฟฟ้า พบว่าลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้า (Power Profile) แสดงดังรูปที่ 7 มีรูปแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic Pattern) ที่สม่ำเสมอสอดคล้องกับจังหวะการทำงานของระบบตัดอัตโนมัติ



รูปที่ 7 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้า (Power Profile) ตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง (เส้นทึบ) และค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าขณะทำงาน (เส้นประ)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขจากค่าวัด พบว่า เครื่องมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 490.13 วัตต์ มีค่าเท่ากับ 0.4901 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) มีสมรรถนะการผลิตเท่ากับ 66 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถคำนวณค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) ได้เท่ากับ 0.0074 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (kWh/kg) หรือเทียบเท่า 0.0267 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) โดยคำนวณต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในการดำเนินงานของเครื่องตัดกล้วยกวน โดยอ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัยทั่วไปที่ 3.94 บาทต่อหน่วย (kWh) และพิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้จริงตลอดกระบวนการผลิต 1 ชั่วโมง (0.4901 kWh) สามารถคิดต้นทุนพลังงานต่อเวลา (Energy Cost per Time) เมื่อเครื่องจักรทำงาน จะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ย ได้เท่ากับ 1.93 บาทต่อชั่วโมง

ความคุ้มค่าด้านต้นทุนพลังงาน โดยอ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย (3.94 บาทต่อหน่วย) พบว่าเครื่องตัดกล้วยกวนมีค่าใช้จ่ายพลังงานเฉลี่ยเพียง 1.93 บาทต่อชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งตัวเลขนี้ยืนยันได้ว่าเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นมีความประหยัดพลังงานสูงกว่าเครื่องจักรแปรรูปอาหารทั่วไปในท้องตลาดที่มีขนาดกำลังการผลิตใกล้เคียงกัน

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) เมื่อเทียบกับกำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องที่สามารถตัดกล้วยกวนได้ 8,976 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นน้ำหนักรวม 66 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) มีค่าเท่ากับ 0.0074 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (kWh/kg) หรือเทียบเท่า 0.0267 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงกว่า 8,900 ชิ้นต่อชั่วโมง แต่ยังสามารถควบคุมต้นทุนพลังงานให้อยู่ในระดับที่ต่ำมาก (ประมาณ 2 บาทต่อชั่วโมง) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดต้นทุนการผลิตรวมและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนได้อย่างเป็นรูปธรรม

6. สรุปผลการวิจัย

เครื่องตัดกล้วยกวนที่พัฒนาขึ้นมีโครงสร้างหลักประกอบด้วยชุดใบมีดตัด 2 ชุด เพื่อให้สามารถตัดกล้วยกวนได้ทั้งแนวยาวและแนวกว้างภายในการทำงานเพียงครั้งเดียว ระบบขับเคลื่อนและหมุนถาดกล้วยกวนถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยกำหนดโปรแกรมให้ควบคุมลำดับการทำงานของมอเตอร์และเซนเซอร์ต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ ได้แก่ มอเตอร์ขับเคลื่อนใบมีด มอเตอร์เลื่อนถาด มอเตอร์หมุนถาด และลิmitsวิตช์ควบคุมตำแหน่งการตัดทั้ง 5 จุด การออกแบบใช้หลักการคำนวณทางวิศวกรรม ได้แก่ การคำนวณอัตราทดรอบ ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน และแรงบิดของมอเตอร์ โดยได้ อัตราทด 2:1 ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน 6.75 เมตรต่อวินาที แรงบิดที่เพลามอเตอร์ 5 นิวตันเมตร และแรงบิดที่ล้อตาม 10 นิวตันเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการทำงานของเครื่องจักรขนาดเล็กที่ต้องการแรงบิดสูงในความเร็วต่ำ เพื่อให้การตัดเป็นไปอย่างต่อเนื่องและปลอดภัย เมื่อทดสอบการตัดกล้วยกวนขนาดแผ่น $24 \times 25 \times 1$ เซนติเมตร พบว่าเครื่องใช้เวลาเฉลี่ย 54 วินาทีต่อการตัด 1 ถาด ได้จำนวนชิ้นกล้วยกวน 136 ชิ้น น้ำหนักรวม 1 กิโลกรัม หากทำงานต่อเนื่อง 1 ชั่วโมงสามารถผลิตได้ 66 ถาด คิดเป็น 8,976 ชิ้น หรือ 66 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคนที่ตัดได้เพียง 4,057 ชิ้นต่อชั่วโมง (29.83 กิโลกรัม) พบว่าเครื่องต้นแบบมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แรงงานคนถึงร้อยละ 121.25 ในส่วนของผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานจากการบันทึกข้อมูลการใช้งานจริง (Data Logging) ตลอด 1 ชั่วโมง พบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ สະสมมีค่าเพียง 0.4901 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 1.93 บาทต่อชั่วโมง (อ้างอิงอัตรา 3.94 บาทต่อหน่วย) เมื่อนำมาคำนวณเป็นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0074 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (kWh/kg) หรือเทียบเท่า 0.0267 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ซึ่งตัวเลขดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องตัดกล้วยกวนต้นแบบมีการใช้พลังงานที่ต่ำมาก และมีประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ที่สูง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยให้กับผู้ประกอบการได้อย่างมีนัยสำคัญ

7. เอกสารอ้างอิง

- Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). Getting started with Arduino: The open-source electronics prototyping platform (3rd ed.). Maker Media, Inc.
- Fellows, P. (2009). Food processing technology: Principles and practice (3rd ed.). Woodhead Publishing.
- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). Feedback control of dynamic systems (7th ed.). Pearson.
- Mazidi, M. A., Mazidi, J. G., & McKinlay, R. D. (2015). The AVR microcontroller and embedded systems using assembly and C (2nd ed.). Pearson.
- Mohamad, M., Onn, N., Arsam, M., Dzaid, H., & Rafie, M. (2023). Efficiency of Semi-Automatic Banana Horn Cutting Machine. Multidisciplinary Applied Research and Innovation, 4(2), 227–235.
- Smith, D. R., & Jones, A. B. (2020). Cutting mechanism performance evaluation for viscoelastic food products. International Journal of Food Science and Technology, 55(3), 1145–1154.
- Sonawane, S. P., Sharma, G. P., & Pandya, A. C. (2011). Design and development of power operated banana slicer for small scale food processing industries. Research in Agricultural Engineering, 57, 144–152.
- Sugiyanto, D., Pangestu, R., Chan, Y., & Uyun, S. A. (2022). Design and Performance Testing of Semi-Automatic Machine for Potato Peeler-Cutter. Journal of Agricultural Engineering, 11(2), 325–338.

- จารุวรรณ กุลวิศ, สมเกียรติ ปรีชญาวรรณ, และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. (2550). ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่าย และคุณภาพทางกายภาพของกล้วยแผ่น. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., 30(4), 611–621.
- จักรพงษ์ ทองแผน. (2551). เครื่องตัดกล้วยกวน. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์: นครสวรรค์. DOI: https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_Doi=10.14457/NSRU.res.2008.24
- เจิมธง ปรรณนารักษ์, จุติพร อินทะนิน, กชกร หัสโรค์, และ พรอริยา ฉิรินัง. (2567). ผลกระทบของห้องอบสองชั้นต่ออุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในกระบวนการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 14(2), 1–24.
- ดวงจันทร์ เสงส์ดี. (2557). กล้วย. วารสารอาหาร, 44(1), 15–18.
- ถาวร อมตกิตต์. (2545). การส่งกำลังและการประหยัดพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- พนัส นัถฤทธิ์. (2563). ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้ในงานควบคุมหุ่นยนต์. พิษณุโลก: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- รัฐพล ดุลยะลา. (2563). การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกระยาสารแบบกึ่งอัตโนมัติ. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, 15(2), 117–131.
- อนุสรณ์ สีนสะอาด, และ คณะ. (2560). การพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนกล้วยกวนกะทิสดแม่อุบล อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ (รายงานการวิจัย). สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และ นวัตกรรม.



อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ต.นาวิ่ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
หมายเลขโทรศัพท์ 093-5199471 E-mail: alongkorn.cha@mail.pbru.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: การศึกษาการทำงาน ระบบอัตโนมัติ การยศาสตร์ วิศวกรรมความปลอดภัย



ชลาลัย วงเวียน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ต.นาวิ่ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
หมายเลขโทรศัพท์ 096-9429455 E-mail: chalalai.won@mail.pbru.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: สถิติวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์



ศุภกิจ พายายม สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ต.นาวิ่ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
หมายเลขโทรศัพท์ 090-7907592 E-mail: supakit5657@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: ระบบอัตโนมัติ