

การพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ The Development of Nipa Palm Sugar Stirrer Machine with Automatic Control

ธีรวัฒน์ ทองสง¹ และวีระยุทธ สุดสมบุญ^{1*}
Thirawat Thongsong¹ and Weerayute Sudsomboon^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อสร้างและพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ 2) เพื่อหาประสิทธิภาพเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ และ 3) เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติและแบบประเมินประสิทธิภาพ เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่แอนดรอยด์ (Android) แผงวงจรอาร์ดูโน (Arduino) สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) โครงสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติสร้างจากเหล็ก ก้านใบกวน และใบกวนผลิตจากสแตนเลสสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ระบบไฟฟ้าติดตั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ควบคุมการทำงานด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่แอนดรอยด์ แผงวงจรอาร์ดูโน 2) ประสิทธิภาพการกวนน้ำตาลจากด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ในปริมาณ 10 15 20 25 และ 30 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 25.0 31.2 40.2 59.4 และ 70.4 นาที ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ จำนวน 5 ครั้ง ในปริมาณ 10 15 20 25 และ 30 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 11.4 17.8 19.8 29.8 และ 35.2 นาที ตามลำดับ และ 3) ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ การนำข้อมูลมาเปรียบเทียบระหว่างการแรงงานคนในการกวนน้ำตาลจากกับการใช้เครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยไม่มีต้นทุนในการสร้างเครื่อง พบว่าต้นทุนการใช้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คือ 4,196.70 บาทต่อปี และต้นทุนการใช้แรงงานคนในการกวนน้ำตาลจาก คือ 90,000 บาทต่อปี คิดเป็นต้นทุนที่ประหยัดได้ 85,803.30 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 95.33 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เครื่องกวนแบบควบคุมอัตโนมัติ น้ำตาลจาก เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* Corresponding author e-mail: weerayute_sud@nstru.ac.th

Received: 12 July 2022, Revised: 27 October 2022, Accepted: 1 November 2022

Abstract

The objectives of this research were 1) to innovate and develop the automatic nipa palm sugar mixer, 2) to explore the efficiency of the automatic nipa palm sugar mixer, and 3) to analyze the engineering economy of the automatic nipa palm sugar mixer. The instruments employed in the research consisted of the automatic nipa palm sugar mixer and the automatic nipa palm sugar mixer, and an efficiency evaluation form. Mean and Standard Deviation were used in data analysis. The results of the study reveal that 1) the mixer is made of the steel with the shaft and blades made of food industrial stainless steel; using 220 voltage - 50 hertz power; controlled by the wireless Android application - Arduino Board. 2) In 5 times of nipa palm sugar mixing for the amount of 10, 15, 20, 25, and 30 kilograms, the human workforce took averagely 25.0, 31.2, 40.2, 59.4, and 70.4 minutes, respectively to finish the mixing process. However, in the same conditions, the automatic sugar mixer took averagely 11.4, 17.8, 19.8, 29.8 and 35.2 minutes respectively to finish mixing the sugar. And 3) The results of engineering economy analysis of the automatic nipa palm sugar mixer, comparing between the human workforce and the automatic mixer excluding mixer developing cost, indicated that the mixing the nipa palm sugar by the automatic mixer costs 4,196.70 baht per year; and mixing the nipa palm sugar by human workforce costs 90,000 baht per year. It is concluded that the automatic mixer reduces the nipa palm sugar manufacturing cost for 85,803.30 baht per year or 95.33%.

Keywords: Automatic mixer, Nipa palm sugar, Engineering economy

บทนำ

ต้นจากเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประชาชนในลุ่มน้ำปากพนัง เพราะต้นจากนอกจากมีคุณค่าทางนิเวศวิทยาโดยเป็นที่อาศัยของสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งแล้ว ต้นจากยังสามารถผลิตน้ำหวานวันละ 0.7 ลิตร หรือคิดเป็นผลผลิตน้ำตาลปี๊บ 165 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อเดือน จนทำให้เกษตรกรที่อาศัยต้นจากมีมาตรฐานการครองชีพสูงกว่าอาชีพทำนาประมาณ 2-3 เท่า เช่น พื้นที่ต้นจากจำนวน 3 ไร่ เมื่อผลิตเป็นน้ำตาลอย่างเดียวยังจะทำรายได้ประมาณ 10,000 บาท ต่อเดือน การนำผลผลิตจากยอดจากมาแปรรูปเป็นใบจากใช้สำหรับมวนยาสูบ (สุนันทา, 2563) นอกเหนือไปจากการเป็นแหล่งทำมาหากินแล้วยังเป็นแหล่งอาหาร แหล่งไม้ใช้สอยนานาชนิด แหล่งสมุนไพร รวมถึงการเป็นแนวป้องกันการกัดเซาะและพังทลายของตลิ่งได้อย่างดีอีกด้วย (นพรัตน์, 2540)

จังหวัดนครศรีธรรมราชมีพื้นที่จากซึ่งเรียกว่า ไร่จาก ประมาณ 25,594 ไร่ โดยพื้นที่ตำบลขนานนก อำเภอปากพนัง เป็นพื้นที่ที่มีไร่จากมากที่สุดประมาณ 7,500 ไร่ มีเกษตรกรในตำบลขนานนกประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของครัวเรือนทั้งหมด มีรายได้จากการทำน้ำตาลจากเฉลี่ยประมาณ

11,180 บาท ต่อครัวเรือนต่อเดือน หรือประมาณ 94,464 บาท ต่อครัวเรือนต่อปี ซึ่งถือว่าครัวเรือนที่ประกอบอาชีพการทำน้ำตาลจากได้รับผลตอบแทนสูงเมื่อเทียบกับรายได้เฉลี่ยของชุมชนลุ่มน้ำปากพนัง และจากการสำรวจของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ในการจัดทำแผนพัฒนาชุมชน พบว่าในแต่ละปีอาชีพการทำน้ำตาลจากจะสร้างรายได้ประมาณ 12 ล้านบาท แก่ชุมชนตำบลขนานนกโดยมีต้นทุนประมาณ 1 ล้านบาทเท่านั้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรายได้สุทธิของผู้ทำอาชีพนาข้าวแล้วอาชีพการทำน้ำตาลจากหรือทำไร่อากถือเป็นอาชีพที่ทำรายได้สูงมากที่สุด

ประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีอาชีพและรายได้ที่ไม่แน่นอนส่วนใหญ่มีอาชีพรับจ้างทั่วไปและเกษตรกรรม ผลการจัดเก็บข้อมูลความจำเป็นพื้นฐานหรือจปฐ. ปีพ.ศ. 2558 ประชาชนในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังจำนวน 121,647 ครัวเรือน 795 หมู่บ้านต่อชุมชน 7 อำเภอ ประชากรรวม 364,273 คน พบว่าคนลุ่มน้ำปากพนังประกอบอาชีพรับจ้างทั่วไปมากที่สุด คิดเป็น 28.10 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา กำลังศึกษา 21.16 เปอร์เซ็นต์ เกษตรกรรม-ทำสวน 13.21 เปอร์เซ็นต์ และเกษตรกรรม-ทำนา 7.56 เปอร์เซ็นต์ คนลุ่มน้ำปากพนังมีรายได้เฉลี่ยต่อคนต่อปีอยู่ที่ 67,756 บาท โดยที่คนอำเภอเมืองมีรายได้เฉลี่ยต่อคนต่อปีสูงสุด รองลงมาเป็นอำเภอพระพรหม และอำเภอชะอวด ตามลำดับ ส่วนอำเภอที่มีรายได้ต่ำสุด คือ อำเภอปากพนัง เฉลี่ย 58,845 บาทต่อคนต่อปี สำนักงานทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2557) กล่าวว่าพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง ตั้งแต่อ่าวปากพนังไปจนถึงพรุควนเคร็ง อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช มีแม่น้ำสายหลัก คือ แม่น้ำปากพนัง มีคลองสาขามากมาย บริเวณที่อิทธิพลของน้ำเค็มเข้าถึงจะพบต้นจากขึ้นอยู่กระจายสองฝั่งแม่น้ำและลำคลองสาขา ซึ่งจะพบหนาแน่นแถบอำเภอปากพนัง อำเภอเชียรใหญ่ และอำเภอหัวไทร จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2538 จังหวัดนครศรีธรรมราชมีพื้นที่ไร่อากประมาณ 25,594 ไร่ โดยพื้นที่ตำบลขนานนก อำเภอปากพนัง เป็นพื้นที่ที่มีไร่อากมากที่สุดประมาณ 7,500 ไร่ ที่ปลูกขึ้นมาโดยเจ้าของที่ดินที่มีเอกสารสิทธิ์ตามกฎหมาย การใช้ประโยชน์เพื่อผลทางเศรษฐกิจชาวบ้านได้สะสมปัญหาในการประกอบอาชีพจากต้นจากมาอย่างยาวนาน ความรู้เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของต้นจากได้ถ่ายทอดต่อ ๆ กันมาหลายชั่วอายุคน (ศิริพร, 2561)

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ของเกษตรกรผู้ผลิตน้ำตาลจากในชุมชนบ้านขนานนก ตำบลขนานนก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 5 คน พบว่า 1) การกวนน้ำตาลจากด้วยแรงงานคนซึ่งจะเป็นการกวนที่ไม่สม่ำเสมอ 2) ประมาณน้ำตาลจากที่ได้จากการกวนน้อยไม่เพียงพอสำหรับความต้องการของลูกค้า 3) ไม่สามารถควบคุมความหนืดของน้ำตาลจากได้ และ 4) ต้องใช้แรงงานคนเป็นจำนวนมากในการกวนน้ำตาลจากเพื่อให้เพียงพอสำหรับความต้องการของลูกค้า (โกวิทย์ จันทรงษ์, การสัมภาษณ์, 16 ตุลาคม 2563)

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างและพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถทำได้ง่ายตามท้องตลาดและมีราคาถูกมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติต้นแบบ ที่สามารถเพิ่มผลผลิตของน้ำตาลจากและลดการใช้แรงงานคนในการกวนน้ำตาลจากให้กับเกษตรกรผู้ทำน้ำตาลจากอย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความต้องการของเกษตรกรผู้ทำน้ำตาลจาก ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างและพัฒนาร่างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยนำเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติไปทดสอบประสิทธิภาพและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน รวมถึงวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างและพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

1.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติถูกออกแบบเน้นการใช้งานที่ง่าย สะดวก ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน และป้องกันการปนเปื้อนในกระบวนการผลิต ลดการใช้แรงงานคน คำนึงถึงลักษณะการใช้โครงร่างของผู้ปฏิบัติงาน พร้อมประยุกต์ให้สามารถใช้กับวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องถิ่นและไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ 1) ฐานเครื่อง 2) โครงสร้างหลัก 3) ถังควบคุมอัตโนมัติ 4) มอเตอร์ 5) เฟลา 6) ใบกวน และ 7) ฐานรองรับกระเพาะ

การออกแบบซอฟต์แวร์อาร์ดูโน (Arduino IDE) เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติอาร์ดูโน (Arduino) เป็นแพลตฟอร์มแบบเปิด (open source platform) ที่ได้รับความนิยมสูง สำหรับงานด้านระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมและด้าน internet of things (IoT) เนื่องจากตัวฮาร์ดแวร์มีราคาต่ำและใช้งานง่าย สามารถนำไปพัฒนาสร้างระบบควบคุมและ IoT ได้หลากหลาย โดยนำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาต่อกับตัวแผงวงจร ได้แก่ ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ รีเลย์ มอเตอร์ หลอดไฟ บลูทูธ GPS หรืออุปกรณ์อื่น ๆ จากนั้นเขียนโปรแกรมแล้วอัปโหลดเข้าตัวบอร์ดเพื่อให้ทำงานอ่านค่าเซ็นเซอร์แล้วประมวลผลส่งงานอุปกรณ์ได้ตามต้องการ โดยอาร์ดูโนเหมาะสำหรับงานด้านการควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์หรืองานประเภทที่ได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์มาประมวลผลเบื้องต้นหรือส่งขึ้นเซิร์ฟเวอร์หรือคลาวด์ (กอบเกียรติ, 2561)

1.2 ออกแบบแบบสอบถามในการวิจัย

คณะผู้วิจัยร่างแบบสอบถามโดยให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องเพื่อการปรับปรุงให้สมบูรณ์ และนำแบบสอบถามที่ผ่านการปรับแก้ไขแล้วให้กับผู้เชี่ยวชาญเพื่อการประเมินค่าประสิทธิภาพ (index of item objective congruence: IOC) ตามเกณฑ์จึงจะนำแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ไปใช้

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วย เครื่องมือวัดความเร็วรอบการหมุนของเฟลา และเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

3. วิธีการเก็บข้อมูล

3.1 การทดลองใช้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

โดยนำเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติที่สร้างเสร็จมาทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ณ ชุมชนบ้านขนานบาก ตำบลขนานบาก อำเภอบางแพ จังหวัด นครศรีธรรมราช ทดลองจำนวน 5 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะทดลองใช้ปริมาณน้ำตาลจาก 10 15 20 25 และ 30 กิโลกรัม เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการกวน ความหนืด สี และรสชาติของน้ำตาลจาก

3.1.1 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

$$\text{จุดคุ้มทุน (BEP)} = Fc / (B - Vc)$$

$$\text{จุดคุ้มทุน (BEP)} = 5,875 / (156.25 - 42.18)$$

$$\text{จุดคุ้มทุน (BEP)} = 51.50 \text{ ชั่วโมงต่อปี}$$

$$\text{ระยะคืนทุน (PBP)} = \frac{\text{ต้นทุนเครื่อง (บาท)}}{\text{กำไรสุทธิต่อปี (บาทต่อปี)}}$$

$$\text{ระยะคืนทุน (PBP)} = \frac{25,000 \text{ (บาท)}}{7,650 \text{ (บาทต่อวัน)}}$$

$$\text{ระยะคืนทุน (PBP)} = 4 \text{ วัน}$$

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ (percentage) ใช้สูตร

$$P = \frac{F}{N} \times 100$$

เมื่อ P แทน เปอร์เซ็นต์ F แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นเปอร์เซ็นต์ N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

4.2 ค่าเฉลี่ย (mean) ใช้สูตร (Ferguson, 1981)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

เมื่อ $\bar{x}$ แทน เปอร์เซ็นต์ $\sum x$ แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นเปอร์เซ็นต์ N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

4.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) ใช้สูตร (Ferguson, 1981)

$$SD = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ SD แทน เปอร์เซ็นต์ $\sum x^2$ แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นเปอร์เซ็นต์ $(\sum x)^2$ แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิจัย

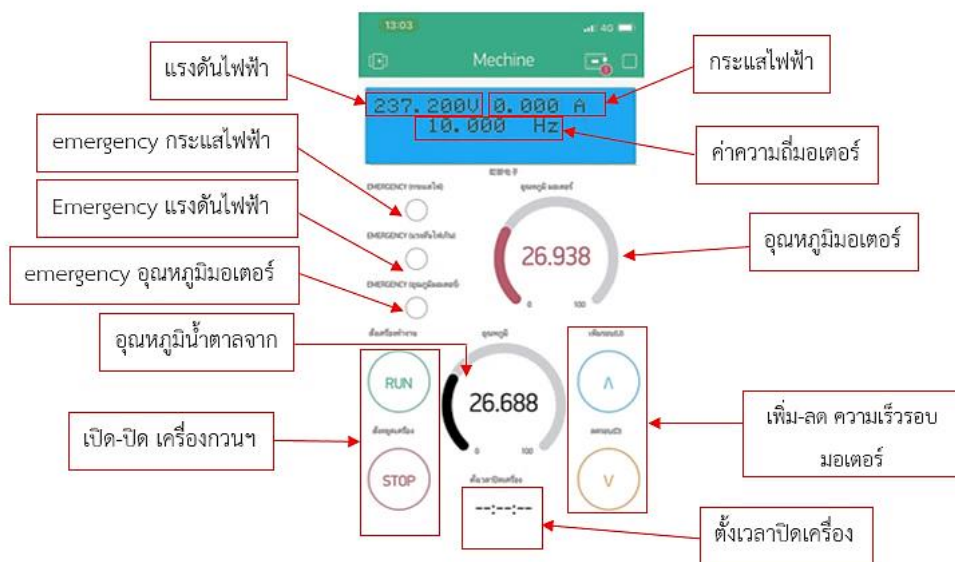
1. การสร้างและพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

โดยสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ 1 เครื่อง มีขนาดความกว้างของฐานเครื่อง 70 เซนติเมตร ความยาว 90 เซนติเมตร และความสูง 150 เซนติเมตร โดยใช้มอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า (HP) มีความเร็วรอบของมอเตอร์ 1,400 รอบต่อนาที ชุดเกียร์ทดขนาดอัตราทด 10 ต่อ 1 รอบ ใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับความเร็วรอบของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ และใช้อาร์ดูโน้ตควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติผ่านโทรศัพท์มือถือ ดังภาพที่ 1



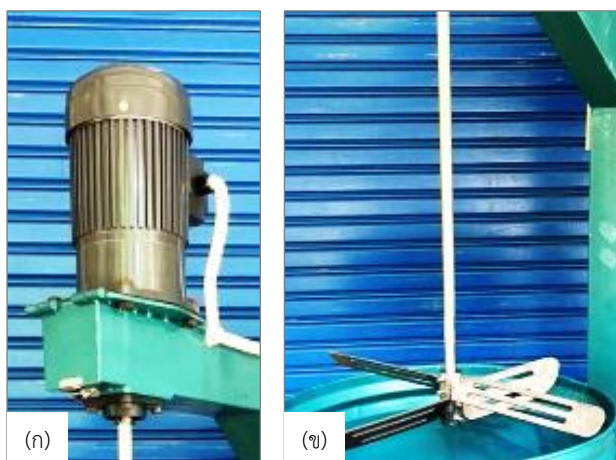
ภาพที่ 1 เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

การออกแบบชุดควบคุมการทำงานของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยใช้อาร์ดูโน้ต ได้ออกแบบโปรแกรมโดยเริ่มจากตัวประมวลผลอาร์ดูโน้ต จากนั้นทำการตั้งค่ากล่องสัญญาณอินเทอร์เนต และตรวจสอบการเชื่อมต่อสัญญาณกับระบบอินเทอร์เนตโดยใช้ซิมการ์ด (sim card) ของเครือข่าย เมื่อบอร์ดตั้งค่าสัญญาณอินเทอร์เนตเสร็จสมบูรณ์ ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้อาร์ดูโน้ตเริ่มรับค่าข้อมูลจากเครื่องกวนน้ำตาลจาก โดยเริ่มที่ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) ค่าความถี่ของมอเตอร์ (เฮิร์ตซ์) อุณหภูมิความร้อนของมอเตอร์ (องศาเซลเซียส) ปุ่ม emergency มอเตอร์ แจ้งเมื่อความร้อนของมอเตอร์เกิน 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำตาลจากขณะทำการกวน (องศาเซลเซียส) ปุ่มเพิ่ม-ลดความเร็วรอบ ปุ่มสั่งเปิด-ปิดเครื่องกวนน้ำตาลจาก และการตั้งเวลาปิดเครื่องกวนน้ำตาลจาก ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หน้าจอแสดงผลข้อมูลของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

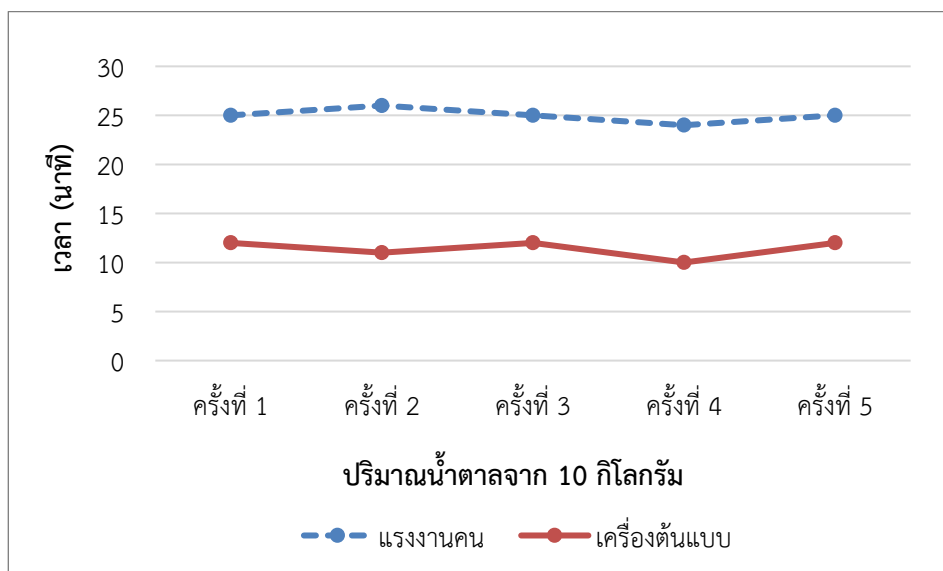
มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ½ แรงม้า ความเร็วรอบสูงสุด 1,400 รอบต่อนาที ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ใบกวนที่เลือกใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้คือ ใบกวนแบบ pitched blade turbine ที่ทำให้ลักษณะการไหลเป็นแบบแนวแกน เพราะว่าต้องการให้น้ำตาลจากที่อยู่ด้านล่างกระทะฟุ้งกระจายขึ้นมา แต่ถ้าของไหลในกระทะมีความสูงมากของไหลที่อยู่ด้านบนอาจจะหยุดนิ่ง ไม่เกิดการผสม อาจจะต้องเพิ่มจำนวนใบกวนขึ้นอีกหนึ่งชุดด้านบน เพื่อทำให้เกิดการผสมที่ดีขึ้น ดังภาพที่ 3



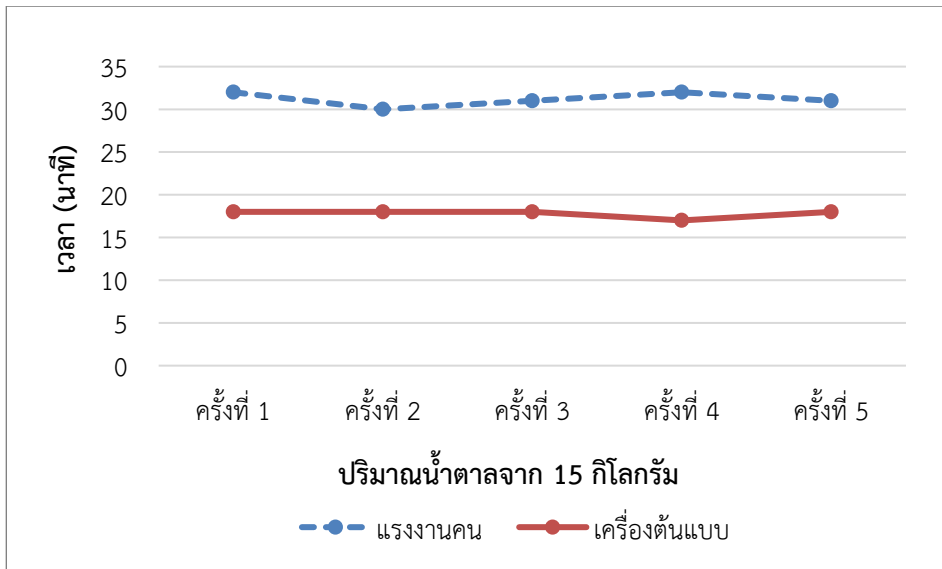
ภาพที่ 3 มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลัง (ก) และชุดใบกวน (ข) ของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

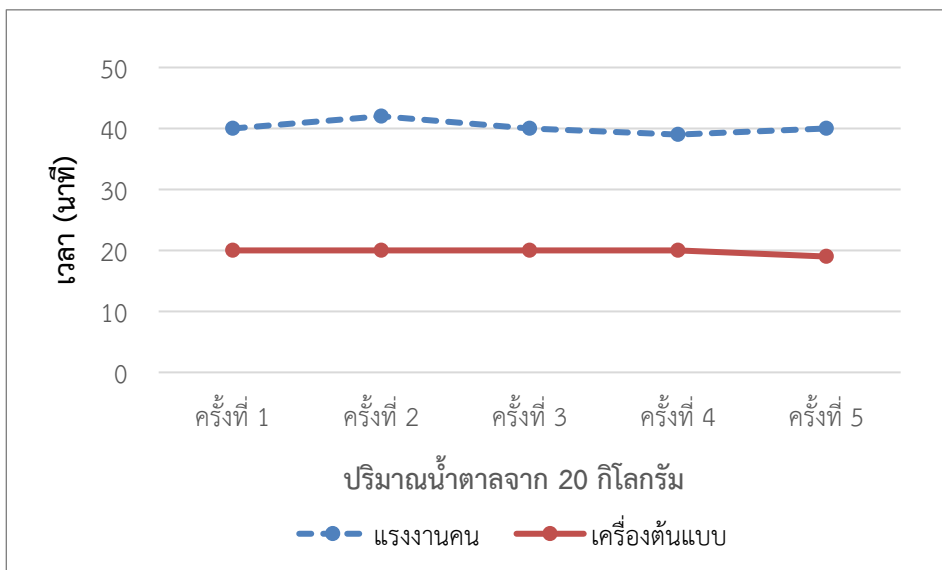
ผลการหาประสิทธิภาพเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติโดยการทดลองกวนน้ำตาลจากที่ปริมาณครั้งละ 10 15 20 25 และ 30 กิโลกรัม โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับแรงงานคน พบว่าการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 10 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 25 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติจำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 11.4 นาที (ภาพที่ 4) การกวนน้ำตาลจากปริมาณ 15 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 31.2 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติ จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 17.8 นาที (ภาพที่ 5) การกวนน้ำตาลจากปริมาณ 20 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 40.2 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติจำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 19.8 นาที (ภาพที่ 6) การกวนน้ำตาลจากปริมาณ 25 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 59.4 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติจำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 29.8 นาที (ภาพที่ 7) และการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 30 กิโลกรัม ด้วยแรงงานคน จำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 70.4 นาที แต่การกวนน้ำตาลจากด้วยเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติจำนวน 5 ครั้ง ใช้เวลาเฉลี่ย 35.2 นาที (ภาพที่ 8)



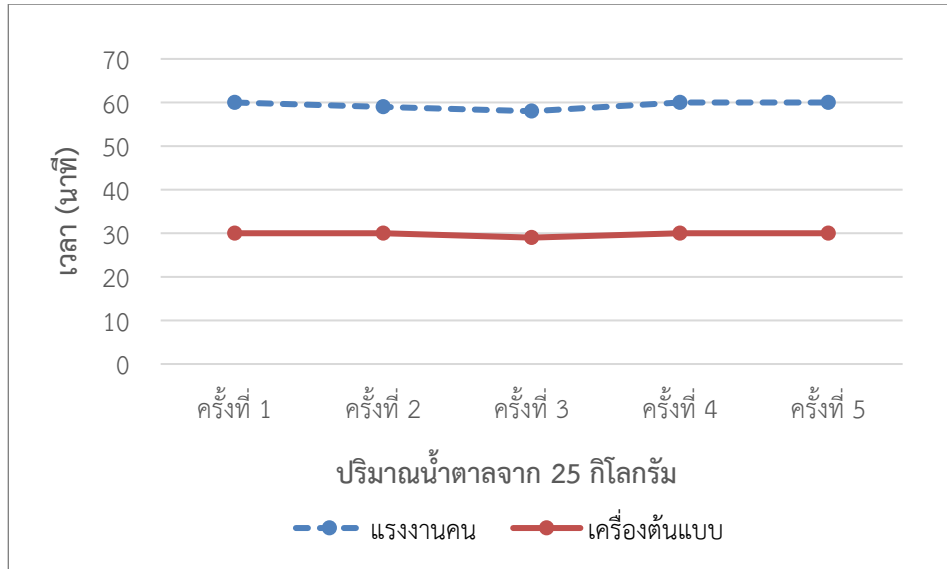
ภาพที่ 4 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 10 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



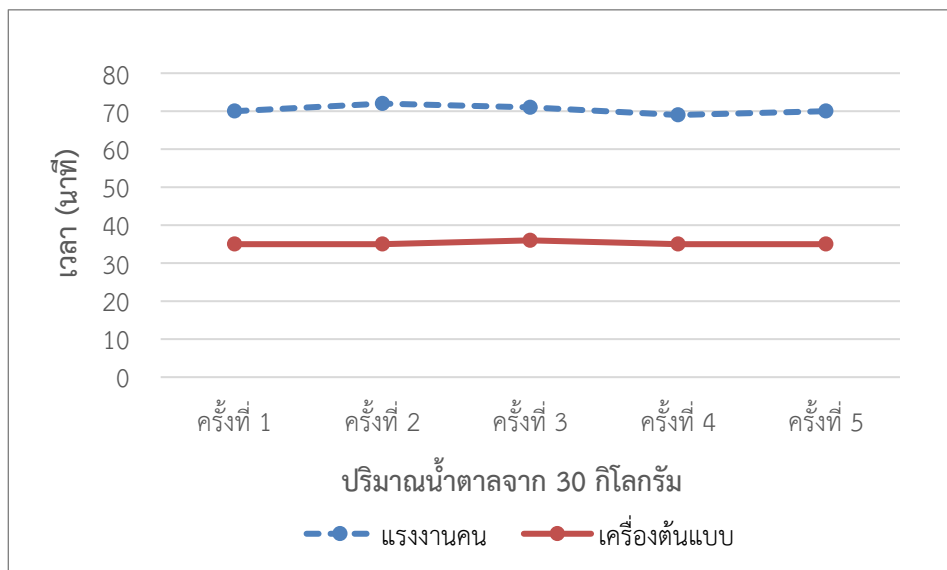
ภาพที่ 5 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 15 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 20 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 7 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 25 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลจากปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

3. ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

3.1 การวิเคราะห์ต้นทุนของการใช้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบอัตโนมัติ

จากผลของการศึกษาวิจัยพบว่าต้นทุนของการใช้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติสามารถแบ่งได้ คือ ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าและบวกค่าเสื่อมราคา ส่วนต้นทุนค่าสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติกับต้นทุนค่าแรงของผู้ควบคุมเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติไม่มีค่าใช้จ่าย โดยในด้านแรก คือ ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า ได้ตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะ

เดินเครื่องทำงานพบว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้งานเฉลี่ย 1.5 แอมแปร์ และเมื่อนำค่าของกระแสไฟฟ้ามาคำนวณเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า สามารถหาได้จากสูตร

$$P = E \cdot I$$

เมื่อ P แทน กำลังไฟฟ้า หน่วยเป็น วัตต์ (W)

เมื่อ E แทน แรงดันไฟฟ้า หน่วยเป็น โวลต์ (V)

เมื่อ I แทน กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

และเมื่อเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติใช้ระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

$$\text{ค่ากำลังไฟฟ้า (P)} = 220 \text{ V} \times 1.5 \text{ A}$$

$$\text{ดังนั้นกำลังไฟฟ้า} = 330 \text{ วัตต์}$$

ในการกวนน้ำตาลจากจะใช้เวลา 1 ชั่วโมงต่อวัน

$$\text{เมื่อนำมาคำนวณการใช้งาน} = \frac{330 \text{ วัตต์} \times 1 \text{ ชั่วโมง}}{1,000 \text{ วัตต์}}$$

$$\text{ค่ายูนิตที่ใช้ใน 1 วัน} = 0.33 \text{ หน่วยต่อวัน}$$

$$\text{ใน 1 ปี กวนน้ำตาลจาก 300 วัน} = 0.33 \text{ หน่วย} \times 300 \text{ วัน}$$

$$= 99 \text{ หน่วยต่อปี}$$

อัตราค่าไฟฟ้าแบบปกติ หน่วยละ 1.357 บาท

$$= 1.357 \text{ บาท} \times 99 \text{ หน่วย}$$

$$= 134.34 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ค่า Ft หน่วยละ 0.5 บาท} = 0.5 \text{ บาท} \times 99 \text{ หน่วย}$$

$$= 49.5 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่า Ft} = 134.34 \text{ บาทต่อปี} + 49.5 \text{ บาท}$$

$$= 183.84 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 เปอร์เซ็นต์} = 12.86 \text{ บาท}$$

$$\text{ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายทั้งสิ้น} = 183.84 \text{ บาทต่อปี} + 12.86 \text{ บาท}$$

$$= 196.70 \text{ บาทต่อปี}$$

ในด้านการเสื่อมราคาของเครื่องกวนน้ำตาลแบบควบคุมอัตโนมัติ และจากการศึกษาการใช้งานของเครื่องกวนชนิดสแตนเลส พบว่ามีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี ซึ่งคณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องกวนน้ำตาลจาก โดยเฉลี่ยมูลค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์ให้เป็นค่าเสื่อมราคาในแต่ละปีเท่า ๆ กันตลอดอายุการใช้งาน

อายุการใช้งานเครื่องกวนน้ำตาลจาก 10 ปี

$$\text{ราคาซาก (โครงสร้างเครื่อง + อุปกรณ์ไฟฟ้า)} = 10,000 \text{ บาท}$$

$$\text{ราคาทุนของเครื่องกวนน้ำตาลจาก} = 50,000 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคาต่อปี} = \frac{\text{ราคาทุน} - \text{ราคาซาก}}{\text{อายุการใช้งาน}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{50,000 - 10,000}{10 \text{ ปี}} \\
 \text{ค่าเสื่อมราคาในแต่ละปี} &= 4,000 \text{ บาทต่อปี} \\
 \text{ดังนั้นต้นทุนของการใช้งานเครื่องกวนน้ำตาล} &= \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าเสื่อมราคา} \\
 &= 196.70 \text{ บาทต่อปี} + 4,000 \text{ บาทต่อปี} \\
 &= 4,196.70 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

3.2 การวิเคราะห์ต้นทุนของการใช้แรงงานคนกวนน้ำตาลจาก

จากผลของการสอบถามข้อมูลในเรื่องค่าจ้างคนงานกวนน้ำตาลจาก พบว่าต้องเสียค่าจ้างในการจ้างกวนน้ำตาลจากในราคา 300 บาทต่อวัน และส่วนใหญ่มักเสียเวลารอคอยเป็นเวลานาน ทำให้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ขยายออกสู่ตลาดได้น้อย โดยสามารถวิเคราะห์ต้นทุนได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 &\text{ค่าจ้างแรงงาน 300 บาทต่อวัน} \\
 &\text{ใน 1 ปี กวนน้ำตาลจาก 300 วัน} &= 300 \text{ บาท} \times 300 \text{ วัน} \\
 &\text{ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงาน} &= 90,000 \text{ บาทต่อปี} \\
 &\text{เมื่อนำต้นทุนทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบกัน} &= 90,000 \text{ บาทต่อปี} - 4,196.70 \text{ บาทต่อปี} \\
 & &= 85,803.30 \text{ บาทต่อปี} \\
 &\text{ต้นทุนที่ประหยัดได้} &= \frac{85,803.30 \text{ บาท} \times 100}{90,000 \text{ บาท}} \\
 & &= 95.33 \text{ เปอร์เซ็นต์}
 \end{aligned}$$

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัย เรื่อง การพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องกวนผลไม้ ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการสร้างเครื่องกวนผลไม้ คือ มอเตอร์เกียร์ ชุดเพลากวน ใบกวน และอินเวอร์เตอร์ คณะผู้วิจัยเห็นว่าการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการศึกษาเพื่อออกแบบและนำไปสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยอาศัยหลักการทำงานของมอเตอร์เกียร์ ชุดเพลากวน ใบกวน และอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้เครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติสามารถใช้งานได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของฤกษ์ และคณะ (2560) การพัฒนาเครื่องกวนเนื้อมังคุดชนิดควบคุมอุณหภูมิทั้งอัตโนมัติสำหรับวิสาหกิจชุมชนท่าศาลา อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับหลักการระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ คือ การเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา C++ และการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ คณะผู้วิจัยเห็นว่าการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ และนำมาพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้กับเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติสามารถใช้งานได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชินวรัตน์ และคณะ (2561) ที่พัฒนาระบบ

ควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงงานขนาดย่อมด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ภายได้แนวคิดอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง คณะผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งส่วนสำคัญในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม คือ การวิเคราะห์หา ต้นทุนในการใช้งานเครื่อง และการวิเคราะห์ต้นทุนการใช้แรงงานคน คณะผู้วิจัยเห็นว่าการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม จึงนำมาวิเคราะห์ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รัฐพล (2559) ที่พัฒนาเครื่องกวนทุเรียนแบบผสมผสานเพื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน กลุ่ม วิสาหกิจแปรรูปผลไม้ลับแล คณะผู้วิจัยจึงสร้างเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ 1 เครื่อง มีขนาดความกว้างของฐานเครื่อง 70 เซนติเมตร ความยาว 90 เซนติเมตร และความสูง 150 เซนติเมตร โดยใช้มอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า มีความเร็วรอบของมอเตอร์ 1,400 รอบต่อนาที ชุดเกียร์ทดขนาด อัตราทด 10 ต่อ 1 รอบ ใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับความเร็วรอบของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบ ควบคุมอัตโนมัติ และใช้อาร์ดูโน้ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ สามารถแบ่งส่วนประกอบ ออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัย ออกแบบโครงสร้างของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ มีขนาดความกว้าง 70 เซนติเมตร ความยาว 90 เซนติเมตร และความสูง 150 เซนติเมตร

ส่วนที่ 2 การออกแบบชุดควบคุมการทำงานของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัยออกแบบชุดควบคุมโดยใช้อาร์ดูโน้ การออกแบบโปรแกรมประมวลผลอาร์ดูโน้ จากนั้น ทำการตั้งค่ากล่องสัญญาณอินเทอร์เน็ต และตรวจสอบการเชื่อมต่อสัญญาณกับระบบอินเทอร์เน็ตโดยใช้ซิมการ์ดของเครือข่าย เมื่อบอร์ดตั้งค่าสัญญาณอินเทอร์เน็ตเสร็จสมบูรณ์ ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้อาร์ดูโน้เริ่มรับค่าข้อมูลจากเครื่องกวนน้ำตาล จาก โดยเริ่มที่ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าความถี่ของมอเตอร์ อุณหภูมิความร้อนของมอเตอร์ ปั๊ม emergency มอเตอร์ แจ้งเมื่อความร้อนของมอเตอร์เกิน 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำตาล จากขณะทำการกวน เพิ่ม-ลดความเร็วรอบ ปั๊มสั่งเปิด-ปิดเครื่องกวนน้ำตาลจาก และการตั้งเวลาปิด เครื่องกวนน้ำตาลจาก

ส่วนที่ 3 การออกแบบมอเตอร์ต้นกำลังของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยใช้มอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้าเป็นต้นกำลัง ชุดเกียร์ทดขนาดอัตราทด 10 ต่อ 1 โดยใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับความเร็วรอบในการกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ

ส่วนที่ 4 การออกแบบชุดใบกวนของเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติ คณะผู้วิจัย ได้ออกแบบใบกวนแบบ pitched blade turbine ที่ทำให้ลักษณะการไหลเป็นแบบแนวแกน เพราะว่าการให้น้ำตาลจากที่อยู่ด้านล่างกระทะฟุ้งกระจายขึ้นมา แต่ถ้าของไหลในกระทะมีความสูงมาก ของไหลที่อยู่ด้านบนอาจจะหยุดนิ่ง ไม่เกิดการผสม อาจจะต้องเพิ่มจำนวนใบกวนขึ้นอีกหนึ่งชุด ด้านบน เพื่อทำให้เกิดการผสมที่ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

เพื่อเป็นการขยายผลการวิจัยควรนำเครื่องกวนน้ำตาลจากแบบควบคุมอัตโนมัติไปทดลองใช้ในพื้นที่อื่นของจังหวัดนครศรีธรรมราช และพื้นที่ใกล้เคียงต่อไป และควรพัฒนาเครื่องกวนน้ำตาลจากให้สามารถกวนน้ำตาลจากได้ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น หรือพัฒนาเครื่องกวนให้สามารถกวนน้ำตาลจากพืชเศรษฐกิจอื่นได้ด้วย เช่น น้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลโตนด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2557). *รายงานประจำปี 2557 กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง*. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- กฤษณะ จันทสิทธิ์ คมสัน มุ่ยสี และศรายุทธ จิตรพัฒนากุล. (2560). การพัฒนาเครื่องกวนเนื้อมังคุดชนิดควบคุมอุณหภูมิกึ่งอัตโนมัติ สำหรับวิสาหกิจชุมชนบ้านท่าศาลา อำเภอนาทม จังหวัดจันทบุรี. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- กอบเกียรติ สระอุบล. (2561). *พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspber Pi*. กรุงเทพฯ: อินเทอร์เน็ตเดีย.
- ชินวัจน์ งานวรรณการ สุทัศน์ รุ่งระวีวรรณ และอมรเทพ มณีเนียม. (2561). การพัฒนาระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงงานขนาดย่อมด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ภายใต้แนวคิดอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- นพรัตน์ บำรุงรักษ์. (2540). การศึกษาด้านนิเวศวิทยา ประโยชน์ใช้สอย และการขยายพันธุ์ต้นจากในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ภูมิพัฒน์ กำคำ ฐาปนา นามประดิษฐ์ ลัคนา เพิ่มพูน และบุญส่ง พลสัมฤทธิ์. (2564). การพัฒนาเครื่องบันทึกข้อมูลราคาประหยัดสำหรับการเกษตรสมัยใหม่. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 40(2), 1-13.
- รัฐพล ดุลยะลา. (2559). การพัฒนาเครื่องกวนทุเรียนแบบผสมผสาน เพื่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน กลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผลไม้ลับแล. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.
- ศิริพร หมั่นหส์ถ์ พัทรินทร์ โสมปาน เบญจา ทองพันธ์ และตรีฤกษ์ เพชรมนต์. (2561). รูปแบบการบริหารจัดการและช่องทางการจัดจำหน่ายเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อาหารจากต้นจากสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพื้นที่อำเภopakพนัง. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- สุนันทา ช้องสาย. (2563). สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมและความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ในการผลิตใบจากมวนยาสูบ. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 39(1), 46-57.
- Ferguson, G.A. (1981). *Statistical analysis in psychology and education*. (5th ed). Tokyo: McGraw-Hill.