ระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด

Rapid Moisture Measurement System on Biomass Pellet Production Line

บุญธง วสุริย์[1*], ธานิล ม่วงพูล[2] และวิศวะ สื่อสุวรรณ[3]

Boontong Wasuri[1], Thanin Muangpool[2] and Wisawa Suesuwan[3]

สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์[1*], สาขาวิชาสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์[2], สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม[3]
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

Major of Industrial Arts[1*], Major of Computer Technology[2], Major of Industrial Computer Technology[3]
at Nakhon Pathom Rajabhat University

E-mail: wasuribt@gmail.com[1*], signal@npru.ac.th[2] and wisawa.ws@gmail.com[3]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด และ 2) ทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) ระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด 2) แบบบันทึกการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ การทดสอบประสิทธิภาพของระบบด้วยการตรวจวัดค่าความชื้นชีวมวลอัดเม็ดที่ผลิตจากขี้เลื่อยจากขบวนการผลิตไม้แปรรูปยางพาราแล้วนำมาเปรียบเทียบค่ามาตรฐานทางวิศวกรรม สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติทดสอบที

ผลการวิจัยพบว่า 1) ระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ (1) ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ประมวลผลและจอสัมผัส และ (2) ส่วนตรวจวัด ประกอบด้วย อุปกรณ์สร้างความร้อน อุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนัก ตรวจวัดอุณหภูมิ และตรวจวัดค่าปริมาณความชื้น โดยมีโปรแกรมรับข้อมูลและแสดงผลการทำงาน ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และ 2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ พบว่า ระบบสามารถตรวจสอบค่าปริมาณความชื้นของชีวมวลอัดเม็ดบนสายการผลิต เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานทางวิศวกรรมไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดได้อย่างรวดเร็วในสายการผลิต

คำสำคัญ: ระบบตรวจวัดความชื้น, สายการผลิต, ชีวมวลอัดเม็ด

Abstract

The objective of this research is to: 1) design and develop rapid moisture measurement system on biomass pallet production line and 2) test the efficiency of the system. The experiment is conducted based on two research tools, including 1) a rapid moisture measurement system on the biomass pellet production line and 2) a performance measurement form. The performance evaluation is conducted by comparing the moisture value measured by the system and the engineering standard value. The data analysis is done by descriptive statistics, including, average, standard deviation, and t-test.

As a result, we found that: 1) the rapid moisture measurement system on biomass pallet production line consists of two parts: (1) user interface unit, which has a computer and touch screen for operating a system and (2) measurement units consist of a heat generating unit and measurement device for weight, temperature, and moisture. The system is able to achieve all objectives efficiently. 2) The result of system performance evaluation is satisfying. The comparison result between our system and the standard value is within 0.05 statistical significance ($p < 0.05$). In conclusion, the system can be very useful in checking the quality of biomass pellet in the production line.

Keyword: moisture measurement system, production line, biomass pellet

บทนำ

พลังงานทดแทนอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้คือ เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (Wood Pellet) เป็นการนำชิ้นไม้ที่เหลือจากการแปรรูปมาเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า เพราะเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดทำจากไม้ โดยทั่วไปจะผลิตจากขี้เลื่อยหรือเศษวัสดุจากการผลิตไม้แปรรูปหรือเศษไม้ที่เหลือใช้จากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์หรือผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีการผลิตในหลากหลายรูปแบบ และมีคุณภาพสินค้าที่หลากหลายขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ เชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้า การให้ความร้อนกับที่อยู่อาศัย และการใช้งานในโรงงานต่าง ๆ [1]

สำหรับประเทศไทยซึ่งมีเกษตรกรรมเป็นแรงผลักดันการผลิตที่สำคัญของประเทศ พลังงานจากชีวมวลยิ่งได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากมีชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรในปริมาณมาก โดยเฉพาะชีวมวลของแข็ง (Solid biomass) เช่น อ้อย ข้าวข้าวโพด ยางพารา ปาล์มน้ำมัน ฯลฯ อย่างไรก็ตามชีวมวลของแข็งที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มักมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ มีช่องว่างระหว่างอนุภาคมาก ทำให้มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ การลำเลียงเพื่อจำหน่ายจ่ายแจกก็เป็นไปได้ยากลำบากและไม่มีประสิทธิภาพ นำไปสู่ต้นทุนด้านการขนส่งและเก็บรักษาที่สูง การแปรรูปชีวมวลของแข็งเหล่านี้ให้มีรูปร่างสม่ำเสมอและมีความหนาแน่นของพลังงานสูงขึ้น เช่น การอัดแท่ง (Palletization) จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของห่วงโซ่อุปทานของชีวมวลของแข็งเป็นอย่างยิ่ง ชีวมวลของแข็งที่ผ่านการแปรรูปดังกล่าวแล้วจะอยู่ในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Pellet) หรือหากชีวมวลของแข็งนั้นได้มาจากส่วนประกอบของไม้ก็จะเรียกว่าเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง (Wood Pellet) [2], [4]

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีคุณภาพแตกต่างกันตามวัตถุดิบที่ใช้ โดยคุณสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ ค่าพลังงานความร้อน ปริมาณขี้เถ้า (Ash) และซัลเฟอร์ (S) การปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดให้มีประสิทธิภาพสูงตามความต้องการเฉพาะของผู้บริโภค จึงมีความจำเป็นสำหรับประเทศไทย ซึ่งมีศักยภาพสูงในการเป็นผู้ส่งออกเชื้อเพลิงดังกล่าว จึงต้องมีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบ เพื่อปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดให้ได้มาตรฐานสากลเพื่อการส่งออกในเชิงพาณิชย์ต่อไป [5]

ดังนั้นการพัฒนาระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด เป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมคุณภาพของชีวมวลอัดเม็ด และเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อช่วยแก้ปัญหาของงานภาคอุตสาหกรรมในการตรวจสอบคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในสายการผลิต เพื่อปรับกระบวนการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดให้มีประสิทธิภาพสูงตามความต้องการของตลาด อีกทั้งยังช่วยเพิ่มศักยภาพสูงในการเป็นผู้ส่งออกเชื้อเพลิงสู่ตลาดโลกอีกด้วย

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด

1.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด จัดเป็นประเภทหนึ่งของเชื้อเพลิงที่ทำจากไม้ โดยทั่วไปจะผลิตจากขี้เลื่อย หรือเศษวัสดุจากการผลิตไม้แปรรูปหรือเศษไม้ที่เหลือใช้จากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ และยังรวมถึงไม้จากการโค่นต้นไม้ที่ไม่จำเป็นหรือยืนต้นตาย การตัดแต่งกิ่งไม้ เป็นต้น องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1) ความชื้น (Moisture) ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่สะสมอยู่ในชีวมวล

2) ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สารระเหย (Volatiles Matter) และคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon)

3) ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้หรือขี้เถ้า (Ash) เมื่อชีวมวลถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แล้วจะมีเนื้อสารบางส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ คือขี้เถ้า โดยชีวมวลแต่ละประเภทจะมีสัดส่วนของปริมาณขี้เถ้าในชีวมวลแตกต่างกัน [1], [2], [3], [4]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยมีความสนใจในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล การปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวล รวมถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ในการตรวจวัดค่าในระบบ ได้พัฒนาโปรแกรมและฮาร์ดแวร์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาจากงานวิจัยที่มีลักษณะสอดคล้องกัน เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเชิงลึกต่อไป นักวิจัยส่วนมากได้มีการศึกษาการนำวัสดุชีวมวลที่เหลือใช้ภายในท้องถิ่นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืน โดยพบว่า นอกจากการใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงยังมีการนำมาผลิตเป็นถ่าน เช่น จากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง [1] จากเศษกะลามะพร้าว [3] จากเปลือกหมาก [5] เปลือกทุเรียน [6] เปลือกมังคุด [7] กากชากาแฟ [8] เปลือกเมล็ดกาแฟ [9] เปลือกมะขาม [10] ดังนั้นวัสดุชีวมวลต่าง ๆ จึงเป็นเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ไม่ต้องลงทุน เป็นเศษวัสดุที่เหลือทิ้งไว้อย่างไร้ประโยชน์ ถือเป็นการนำขยะมาผ่านกระบวนการเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และที่สำคัญไม่ส่งผลต่อมลพิษทางอากาศ

กล่าวโดยสรุป จากการศึกษาพบว่า มีการวิจัยและพัฒนาการผลิตชีวมวลอัดเม็ด มีการนำวัสดุเหลือใช้เป็นจำนวนมากมาผลิตชีวมวลอัดเม็ด แต่ยังไม่มีงานวิจัยที่มีการสนับสนุนในเรื่องการวัดหรือการตรวจสอบความชื้นของชีวมวลอัดเม็ด คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความชื้นของชีวมวลอัดเม็ด เพื่อนำมาใช้ในสายการผลิตชีวมวลแข็งอัดเม็ดให้บรรลุตามเป้าหมายต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

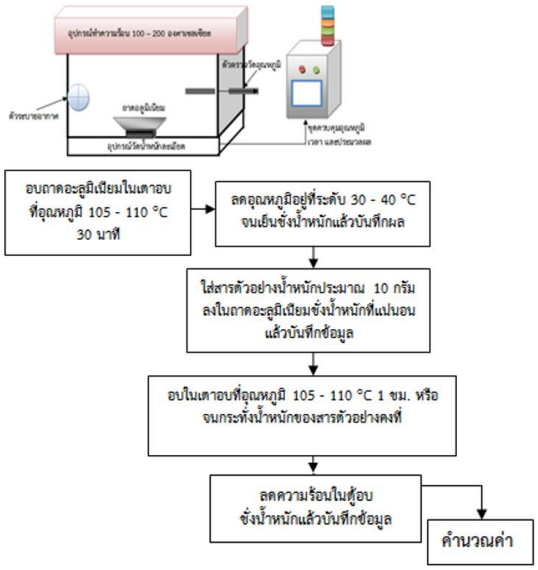
1.1 ศึกษาการวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture: M))

การวิเคราะห์หาค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ASTM D 3173 จะต้องความร้อนกับเชื้อเพลิงชีวมวล 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส และคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปค่านี้ ถือว่าสำคัญมากโดยเฉพาะด้านการซื้อขาย เพราะส่วนใหญ่จะทำการซื้อขายโดยเปรียบเทียบคุณภาพจากเชื้อเพลิงที่แห้ง ฉะนั้นจึงจำเป็นใช้ค่าความชื้นนี้ได้คำนวณค่าอื่น ๆ ของเชื้อเพลิงให้อยู่ในสภาพตัวอย่างที่แห้ง (Dry Basis) การหาค่าความชื้น ดังสมการที่ (1) [11]

$$M = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right) x\ 100 \quad (1)$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น (%)
W_1 = น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
W_2 = น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

จากสมการสามารถวิเคราะห์เพื่อหาค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลได้ ดังภาพที่ 1

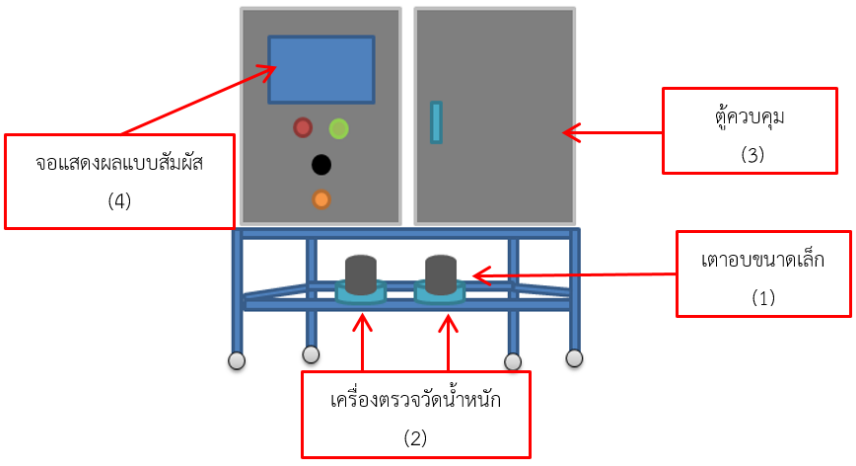


ภาพที่ 1 ขั้นตอนวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture: M)

จากภาพที่ 1 เป็นกระบวนการวิเคราะห์ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยการลดความชื้นของภาชนะที่ไว้บรรจุวัตถุดิบก่อนใส่วัตถุดิบ เพื่อลดความชื้นของวัตถุดิบจนน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณค่าความชื้นด้วยสมการที่ (1) ในระบบประมวลผลที่โปรแกรมไว้

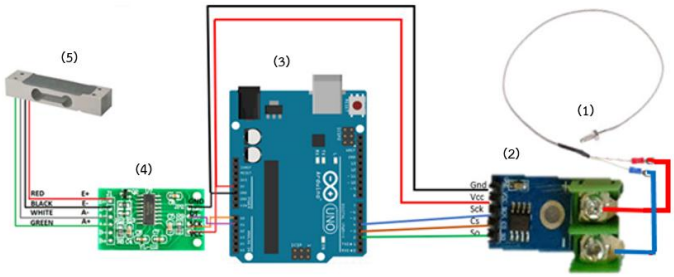
1.2 ออกแบบระบบตรวจวัดความชื้น

ผู้วิจัยได้ออกแบบรูปร่างลักษณะของระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด แบ่งเป็น 2 ส่วน หลักการคือ ส่วนโครงสร้างของตัวระบบ และส่วนควบคุมระบบ ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3



ภาพที่ 2 แบบรูปร่างลักษณะของระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด

จากภาพที่ 2 แสดงรูปแบบโครงร่างของตัวระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด โดยเตาอบขนาดเล็ก (1) ที่มีถาดใส่วัสดุอยู่ภายในตั้งอยู่บนเครื่องตรวจวัดน้ำหนัก (2) โดยมีตู้ควบคุม (3) เป็นส่วนควบคุมการทำงานประมวลผลแล้วส่งข้อมูลมาที่จดแสดงผลแบบสัมผัส (4) ที่สามารถรับคำสั่ง ระบุเวลาและข้อมูลที่จำเป็น เพื่อให้ส่วนประมวลผลนำข้อมูลไประมวลผลและแสดงผลต่อไป

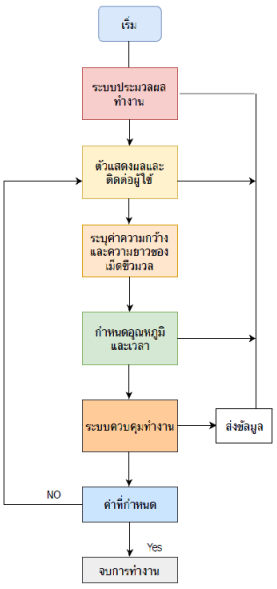


ภาพที่ 3 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนัก และการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

จากภาพที่ 3 แสดงการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนัก และอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ มีส่วนประกอบหลัก คือ เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (1) จะทำหน้าที่ตรวจสอบค่าอุณหภูมิเพื่อส่งผ่านเทอร์โมคัปเปิล (2) ไปให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (3) ประมวลผลค่าอุณหภูมิต่อไป และในส่วนการชั่งน้ำหนักชีวมวลอัดเม็ดก่อนและหลังการอบจะถูกตรวจสอบค่าน้ำหนักโดยผ่านโหลดเซลล์เซ็นเซอร์ แล้วส่งค่าน้ำหนักผ่านบอร์ดเชื่อมสัญญาณ (4) ไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (3) เพื่อประมวลผลค่าน้ำหนักและบันทึกค่านำไปทดสอบค่าทางสถิติต่อไป

1.3 การออกแบบการทำงานระบบตรวจวัดความชื้น

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างโครงสร้างของระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด โดยมีส่วนประกอบสำคัญ คือ เตาเผาความร้อนสูงขนาดเล็กทำขึ้นจากเตาเผาเหนี่ยวนำขนาดเล็ก เครื่องชั่งวัดน้ำหนักขนาดเล็ก ระบบตรวจวัดและควบคุมระดับความร้อน ระบบเก็บข้อมูลการชั่งน้ำหนัก อุปกรณ์ประมวลผลและแสดงผลแบบสัมผัส ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนผังการทำงานของระบบตรวจวัดความชื้น

จากภาพที่ 4 แสดงแผนผังการทำงานของระบบตรวจวัดความชื้น ระบบจะทำงานเริ่มจากระบบประมวลผลพร้อมรับข้อมูลค่าพื้นฐานของเม็ดชีวมวลจากผู้ใช้ที่ระบบ แล้วผู้ใช้กำหนดอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการให้ระบบทำงานตามตามมาตรฐานกำหนด ก่อนที่ระบบควบคุมจะทำงานเพื่อวัดน้ำหนักของเม็ดชีวมวล ข้อมูลอุณหภูมิที่เกิดขึ้น จนครบเวลากำหนด จึงหยุดการทำงาน

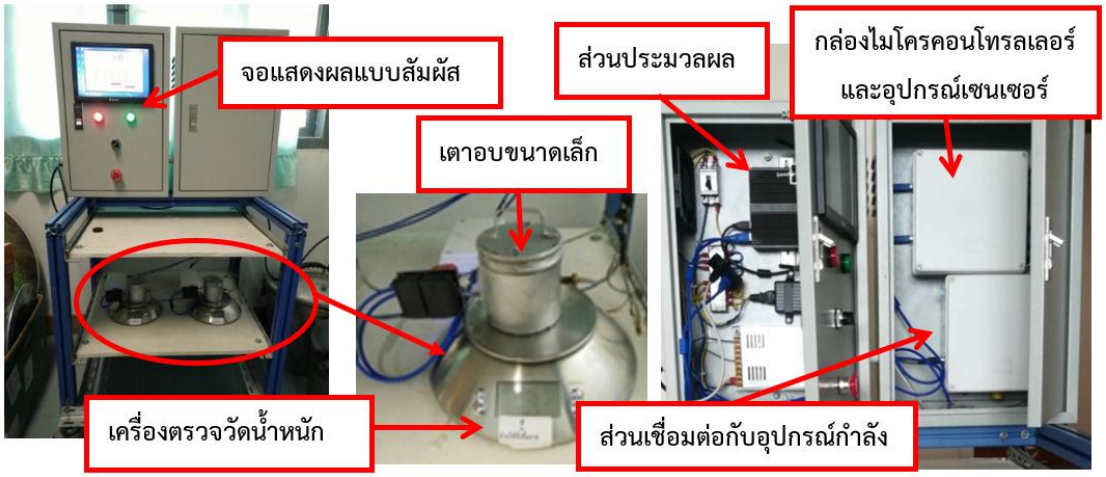
1.4 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมระบบตรวจวัดความชื้น

ผู้วิจัยทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ โดยการตรวจวัดความชื้นชีวมวลอัดเม็ดด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นจากนั้นเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่บริษัทส่งตรวจจากหน่วยงานมาตรฐานที่ยอมรับ ซึ่งชีวมวลอัดเม็ดในการทดสอบครั้งนี้ผลิตจากขี้เลื่อยจากขบวนการผลิตไม้แปรรูปยางพารา โดยใช้สถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติทดสอบที (independent t-test) ที่นัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย

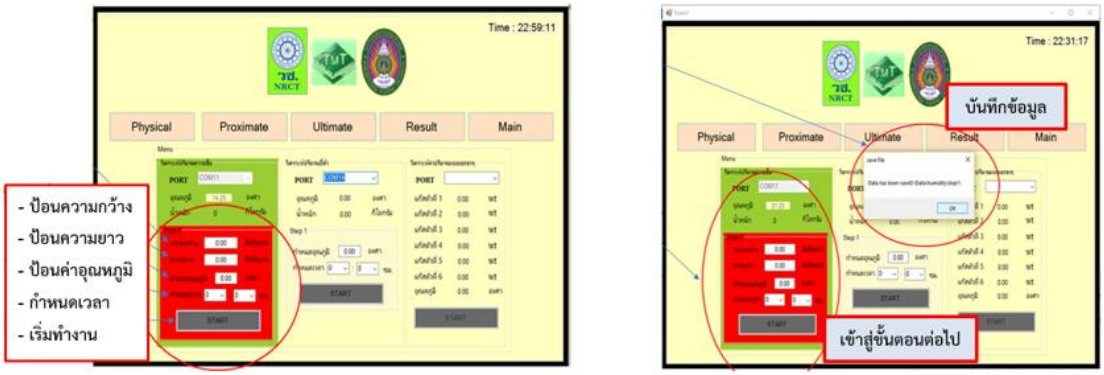
1. **ผลการพัฒนาระบบควบคุมระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด**

ผลการพัฒนาระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลของการพัฒนาระบบตรวจวัดความชื้น

จากภาพที่ 5 แสดงระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ 1) ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ประมวลผลและจอสัมผัส ส่วนประมวลผลประกอบด้วย บอร์ดคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อทั้งด้านรับข้อมูลและควบคุมอุปกรณ์กำลัง และ 2) ส่วนตรวจวัดประกอบด้วยอุปกรณ์สร้างความร้อน อุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนัก อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และตรวจวัดค่าปริมาณความชื้น โดยมีโปรแกรมรับข้อมูลและแสดงผลการทำงาน ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 โปรแกรมรับข้อมูลและแสดงผลการทำงาน

จากภาพที่ 6 แสดงการกรอกข้อมูลด้านความกว้างและความยาวของเม็ดชีวภาพ กำหนดอุณหภูมิ กำหนดเวลา แล้วกดปุ่มเริ่มการทำงาน ระบบจะเริ่มทำงานนำข้อมูลมาประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ผลความชื้น พร้อมทำการบันทึกผล พร้อมเข้าสู่การกำหนดเงื่อนไขในขั้นต่อไป

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ด

ผู้วิจัยทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ โดยการตรวจวัดความชื้นชีวมวลอัดเม็ดด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น จำนวน 10 ครั้ง เป็นตัวอย่างในการทดสอบระบบ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่บริษัทส่งตรวจจากหน่วยงานมาตรฐานที่ยอมรับ ตัวอย่างชีวมวลอัดเม็ดในการทดสอบครั้งนี้ผลิตจากขี้เลื่อยจากขบวนการผลิตไม้แปรรูปยางพารา ค่าสถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติทดสอบที (independent t-test) ที่นัยสำคัญ 0.05 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการค่าผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบการตรวจวัดความชื้นชีวมวลอัดเมล็ด

การทดสอบ	จำนวนทดสอบ (ครั้ง)	ระบบที่พัฒนาขึ้น		ค่ามาตรฐานที่กำหนด	t-test	Sig.
		$\bar{X}_1$	S.D.	$\bar{X}$		
ปริมาณความชื้น (% wt)	10	6.80	0.78	< 8	-12.82*	.00

จากตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดความชื้นแบบรวดเร็วบนสายการผลิตชีวมวลอัดเม็ดที่พัฒนาขึ้นกับค่ามาตรฐานที่บริษัทส่งตรวจจากหน่วยงานมาตรฐานพบว่า การตรวจวัดค่าความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัดค่าความชื้นได้ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่บริษัทส่งตรวจจากหน่วยงานมาตรฐานนั้น ด้วยหลักทางสถิติ แสดงว่า ค่าตรวจวัดความชื้นด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นไม่แตกกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 เท่ากับ ระบบที่พัฒนาขึ้นตรวจวัดค่าความชื้นมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

อภิปรายผลการวิจัย

1. ระบบการตรวจวัดความชื้นชีวมวลอัดเม็ด มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ 1) ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ โดยมีคอมพิวเตอร์ประมวลผลและจอสัมผัส เพื่อประมวลผลข้อมูลด้วยบอร์ดคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อทั้ง

ด้านรับข้อมูลและควบคุมอุปกรณ์กำลัง และ 2) ส่วนตรวจวัด ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ ได้แก่ อุปกรณ์สร้างความร้อน อุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนัก อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและตรวจวัดค่าปริมาณความชื้น ระบบสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ จากการตรวจวัดน้ำหนักของวัตถุดิบก่อนไล่ความชื้นด้วยความร้อนในระดับอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดให้ระบบได้ตรวจสอบความชื้นของชีวมวลอัดเม็ด เพื่อหาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ของผลิตภัณฑ์ ได้ค่าความชื้นร้อยละ 6.80 สอดคล้องกับ พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น [9] ที่มีการทดสอบค่าความชื้นชีวมวลอัดเม็ดที่ผลิตจากเปลือกกาแฟ โดยมีความชื้นร้อยละ 10.33 เมื่อใช้คุณสมบัติการทดสอบทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐานแบบเดียวกัน และเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช. 238/2547 กำหนดให้ปริมาณความชื้นในถ่านอัดแท่ง ไม่เกินร้อยละ 8 [12]

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการตรวจวัดความชื้นชีวมวลอัดเม็ด พบว่า ระบบสามารถตรวจสอบค่าปริมาณความชื้นของชีวมวลอัดเม็ดบนสายการผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานทางวิศวกรรมที่กำหนด และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 พบว่า ค่าความชื้นไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สอดคล้องกับ ก่อ ทวีเงิน และคณะ [13] ที่นำส่วนของหญ้าเนเปียร์มาเป็นชีวมวลอัดเม็ด ที่มีค่าความชื้น ร้อยละ 9.37 และนำมาทดสอบค่าความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ได้ค่าความร้อนทุกส่วนไม่แตกต่างกันทางสถิติที่นัยสำคัญ 0.05

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาระบบเพื่อวัดความชื้นชีวมวลอัดเม็ดที่ผลิตจากผลิตจากขี้เลื่อยจากขบวนการผลิตไม้แปรรูปยางพารา หากาจะนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ในงานอุตสาหกรรมควรคำนึงถึงสิ่ง ๆ ต่าง ๆ ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาคุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดที่ผลิตจากหลากหลายวัสดุ โดยใช้อัตราส่วนผสมในการผลิตที่มีปริมาณเท่ากัน นำมาเปรียบเทียบกันเพื่อให้ผลการทดสอบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ควรทำการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชีวมวลอัดเม็ดที่ผลิตจากหลากหลายวัสดุ

3. ควรมีการศึกษาคุณสมบัติอื่น ๆ ร่วมด้วยเช่น ความหนาแน่น ค่าคาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า และการทดสอบผลของการเกิดมลพิษต่อร่างกายมนุษย์ เมื่อมีการนำชีวมวลอัดเม็ดไปใช้งานในชีวิตประจำวัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัย ประจำปี 2559 ที่สนับสนุนทุนวิจัย และบริษัทฯ ผลิตเม็ดชีวมวลจากขี้เลื่อยยางพารา จังหวัดตรัง (ขอสงวนนาม) ที่อนุเคราะห์ในการติดตั้งเครื่องตรวจวัดและเก็บข้อมูลภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

[1] ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาปัน, วิภาวดี ชัชวาลย์, อานันท์ ธัญญเจริญ, และภาคภูมิ รักร่วม. (2559). การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.*, 39(2), 239-255.

[2] อุกฤษฎ์ สหพัฒน์สมบัติ, ปานชีวา อุดมทรัพย์, เอกรัตน์ ไวยนิตย์, และธนกร ตันธนวัฒน์. (2551). การศึกษาเบื้องต้นถึงคุณภาพของชีวมวลสำหรับเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง. ใน*การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22*, (น.36-40). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

[3] วรัญญา เทพสาสน์กุล, วรัญญา ธรรมชาติ, และอัครินทร์ อินทนิเวศน์. (2559). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทกะลามะพร้าว. ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12*, (น. 610-618). พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[4] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล. (2557). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี),* 6(11), 66-77.

[5] ทิพย์วรรณ ช่วยทอง, ธเนศ ไชยชนะ, และศุภลักษณ์ อำลอย. (2557), สมบัติของถ่านจากเปลือกหมาก. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*. 17(3), 67-75.

[6] นริศ ชุดสว่าง. (2556). *การผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลเกวียนหัก อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี*. วารสารวิจัยรำไพพรรณี, 7(2), 107-115.

[7] ธเนศ ไชยชนะ, จอมภพ แววศักดิ, จตุพร แก้วอ่อน, และอุษา อ้นทอง. (2557). สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของถ่านเปลือกมังคุด. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 17(3), 29–36.

[8] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล, และพัชรี ปรีดาสุริยะชัย. (2558). การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี),* 7(13), 15 – 26.

[9] พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น. (2559). การพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านในรูปแบบเกลียวอัดเย็นสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวล จากเศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตกาแฟชุมชน และการหาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงจากผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง,* 9(1), 34 –48.

[10] หทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ. (2561). ถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะขาม. ใน *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 3*, (น. 288-296). อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

[11] มนตรี นันตา. (2555). การผลิตและหาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของถ่านอัดแท่ง จากถ่านแกลบและถ่านเปลือกข้าวโพด. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่

[12] *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง*. สืบค้นจาก: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.pdf.

[13] ก่อ ทวีเงิน, ชัยยันต์ จันทร์ศิริ, และกิตติพงษ์ ลาลุน. (2558). คุณสมบัติทางกายภาพบางประการของหญ้าเนเปียร์ก่อนสับและหลังสับ เพื่อผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ด. ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและ เทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติระดับชาติ ครั้งที่ 2,* 34-43. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, (น. 34-43)