

การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียน ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมกับระบบสมองกลฝังตัว และระบบการประมวลผลภาพ

An analysis of Drying Process for Durian Particle Board using Hot Air Oven with Embedded System and Image processing

ณรงค์เดช กิริติพรานนท์¹, สโรชา เจริญวัย^{2*} และ จตุรพร แก้วสมจิตร¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต 110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอดำเนินบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

*ติดต่อ Corresponding Author: E-mail sarochakuk@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-2549-3430-9 เบอร์โทรสาร 0-2549-3432

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอกระบวนการในการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียน ที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวและระบบประมวลผลภาพ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง เพิ่มคุณภาพของแผ่นชิ้นไม้ และลดการใช้พลังงานระหว่างการอบ โดยโครงสร้างระบบประกอบด้วยเครื่องอบลมร้อน 1 เครื่อง มีขนาดภายในตู้อบ 40 x 60 x 35 ลูกบาศก์เซนติเมตร คอลย์ทำความร้อนพร้อมพัดลม 2 ชุด มีระบบตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิ ระบบตรวจสอบความชื้นขณะอบแห้ง วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือ แผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนขนาด 20x20x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยการติดตั้งระบบสมองกลฝังตัวทำให้ระบบควบคุมสามารถรับอุณหภูมิได้ตามสภาวะการอบจริง รวมทั้งสามารถยุติการอบแห้งเมื่อความชื้นในชิ้นไม้อัดลดลง จนถึงระดับที่กำหนด โดยไม่ต้องใช้การตั้งเวลาแบบคงที่ จากการทดลองพบว่า การให้ความร้อนในช่วงแรกจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูง เพื่อให้ความชื้นในชิ้นนอกหรือบริเวณผิวของแผ่นไม้ระเหยไปได้เร็วที่สุด และเมื่อแผ่นไม้มีความชื้นในระดับที่ต่ำกว่า 25% แล้วระบบจะปรับอุณหภูมิลงมา เพื่อช่วยในการประหยัดงานในการอบแต่ยังทำให้ความชื้นลดลงได้ต่อเนื่อง จากการคำนวณระดับสีของแผ่นไม้อัดในรูปแบบ HSV (Hue-Saturation-Value) พบว่าแผ่นไม้ที่ได้มีสีที่สม่ำเสมอมากขึ้น โดยสรุปกระบวนการที่กล่าวไปแล้วนั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้การอบแผ่นไม้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและประหยัดพลังงานในการอบ เมื่อเทียบกับการอบด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบปกติ

คำหลัก: การอบแห้ง; แผ่นชิ้นไม้อัด; สมองกลฝังตัว; การประมวลผลภาพ; การประหยัดพลังงาน

Abstract

This research presents the drying process of particleboards from durian peel applied using embedded system and image processing techniques in order to increase the efficiency of drying process, to increase the quality of the particleboard, and to decrease energy consumption during drying process. A new hot air oven system consists of conventional hot air oven with dimension of 40 cm x 60 cm x 35 cm. Its internal structure included 2 hot coils, temperature controller indicator and sensor system, real-time

TSF-278

moisture indicator system. Particleboards from durian peel with dimension of 20 cm × 20 cm x 1 cm are the sample in this study. Installing embedded system could assist controller system adjusting temperature in a real-time situation. In addition to this system, the drying process could be stopped when the moisture content in the particleboard reaches the setting point without using constant setting time. The results reveal that it is necessary to use high temperature in the first period to rapidly evaporate the moisture content on the surface of the particleboard. When particleboard has moisture content lower than 30%, then the system decreases the temperature to reserve energy of drying process but the moisture content still decreases continuously. Hue level calculation in the form of HSV indicated that the end particleboards have better uniform color. In a conclusion, the novel hot air oven with embedded system and image processing technique is developed to increase performance, efficiency and especially save energy consumption during drying process compared with the conventional hot air dryer.

Keywords: Drying; Particleboard; Embedded System; Image Processing; Energy Efficiency

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยมีอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ จากข้อมูลปี 2552 เมื่อพิจารณาถึง ผลผลิตทุเรียน ก็พบว่ามีแนวโน้มที่มีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากเป็นที่นิยมของผู้บริโภค จึงส่งผลให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จำพวกเปลือกทุเรียนมีแนวโน้มสูงขึ้น ต่อมาเมื่อปี 2554 [1] คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตัวเชื่อมประสานที่ย่อยสลายได้จากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดเปลือกทุเรียน[1] ซึ่งการวิจัยดังกล่าวพบว่าผงเปลือกทุเรียนสามารถนำมาเป็นตัวเชื่อมประสานในการขึ้นรูปในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนได้ แต่เมื่อนำแผ่นไม้อัดที่ได้ขึ้นมาบ่มที่อุณหภูมิบรรยากาศเป็นเวลา 1 วัน พบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนที่ใช้ผงเปลือกทุเรียนเป็นตัวเชื่อมประสานเมื่อผ่านไป 1 สัปดาห์ จะเกิดการขึ้นรา [2-7]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการวิจัยประยุกต์ต่อยอด ในลักษณะเกษตรอุตสาหกรรม[8] โดยมีแนวคิดพัฒนาเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมกับระบบสมองกลฝังตัวที่สามารถปรับอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อให้สภาพของการอบสอดคล้องกับ

คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่กำลังอยู่ขณะนั้น โดยใช้เทคโนโลยีสมองกลฝังตัว (Embedded System) ไมโครคอนโทรลเลอร์ [9] ร่วมกับการประมวลผลภาพ (Image Processing) [10] ซึ่งจะช่วยควบคุมให้การอบแห้งทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลเร็วขึ้น ส่งผลให้เวลาในการอบแห้งสั้นลง และส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งในแง่ของสีของแผ่นขึ้นไม้อัด และความชื้น เพื่อให้ตรงกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางเพื่อลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเครื่องอบแห้งที่จะพัฒนานี้มีข้อเด่นกว่าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนทั่วไป ที่ใช้เวลาอบนานและเกิดลักษณะสีที่คล้ำของแผ่นขึ้นไม้อัด ซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค

งานวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายหลักในการพัฒนาเครื่องอบลมร้อน ให้สามารถอบแผ่นไม้อัดได้อัตโนมัติ โดยขณะที่อบนั้นระบบประมวลผลจะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ จากนั้นระบบจะประมวลผลเพื่อส่งคำสั่งไปควบคุมอุณหภูมิระหว่างการอบแผ่นไม้อัดรวมทั้งการยุติการอบเมื่อความชื้นของชิ้นงาน อยู่ในระบบความชื้นที่ต้องการแล้ว

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

TSF-278

2.1. อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ในการพัฒนา

ในการควบคุมแบบอัตโนมัติให้ได้นั้น จำเป็นที่จะต้องวัดและวิเคราะห์ค่าของสภาพแวดล้อมในการอบได้แก่อุณหภูมิ ความชื้นของชิ้นงาน และสีของชิ้นงาน

อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ ที่นำมาใช้ในการพัฒนานี้มีหลักการวัดอุณหภูมิที่เรียกว่า Thermocouple [11] โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ตัวตรวจจับทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว มาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่า "จุดอุณหภูมิ" ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่า "จุดอ้างอิง" หากที่จุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้เกิดการนำกระแสในวงจร Thermocouple วัสดุที่ใช้ทำ Thermocouples เป็นวัสดุที่มีคุณภาพ ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีความถูกต้องสูง

เนื่องจากการวัดความชื้นในชิ้นงานส่วนใหญ่จะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัมผัสหรือฝังไปในตัวชิ้นงาน [12] แต่เนื่องจากชิ้นไม้อัดนี้อยู่ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้ไม่สามารถนำอุปกรณ์ไปวัดได้โดยตรง จึงต้องทำการคำนวณความชื้นแห้ง (dry basis) ของชิ้นไม้จากน้ำหนักของชิ้นไม้แทน ตามสมการ (1)

$$\text{moisture content} = \frac{\text{current weight} - \text{dried weight}}{\text{dried weight}} \quad (1)$$

อุปกรณ์วัดน้ำหนักที่นำมาใช้คือโหลดเซลล์แบบรับน้ำหนักเพียงจุดเดียวขนาดเล็ก (Ultra-Low Profile Miniature Single Point Load Cell) [13] ซึ่งมีหลักการสำคัญคือเมื่อมีวัตถุมากดทับ ในส่วนรองรับน้ำหนักหรือแรงดันในแนวตั้ง โหลดเซลล์จะสามารถแปลงระดับของแรงกดเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้

อุปกรณ์โหลดเซลล์ส่วนมากไม่สามารถทนความร้อนได้สูง หรือถ้าทนได้ก็จะใช้วัดชิ้นงานที่มีน้ำหนักมาก [14] ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ในโครงการนี้ได้เพราะชิ้นงานที่จะใช้วัดมีน้ำหนักไม่เกิน 1,000 กรัม ถ้าใช้ตัววัดที่วัดน้ำหนักได้สูงจะทำให้ความละเอียดของน้ำหนัก

มีน้อยจนไม่สามารถบอกความแตกต่างของน้ำหนักชิ้นงานได้

ในโครงงานวิจัยนี้ใช้กล้องที่ถ่ายภาพได้คมชัด 720p และต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB โดยติดกล้องไว้ด้านนอกของตู้อบ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้กล้องทนความร้อนสูง

2.2. การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ หมายถึง การเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใด ๆ มากระทำกับภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ ให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ความคมชัด หรือการประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หรือใช้สำหรับการประมวลผลในระดับสูง เช่นการจดจำรูปร่างลักษณะได้อย่างแม่นยำ

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายระบบด้วยกัน แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ในสเปซ 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปซซึ่งแต่ละแกนจะมีอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบ RGB (Red-Green-Blue) จะมีแกนสีคือ แกนสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ในระบบ HSV จะมีแกนเป็นค่าสี (Hue) ความสว่าง (Saturation) และความบริสุทธิ์ของสี (Value)

โดยในโครงงานวิจัยนี้ได้ใช้การวิเคราะห์ภาพกับมาตรฐานสี HSV เพื่อให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำและลดความเคลื่อนจากสภาพแสงในตู้ที่มีความไม่สม่ำเสมอ

2.3. ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในงานทางด้านงานควบคุมระดับฮาร์ดแวร์

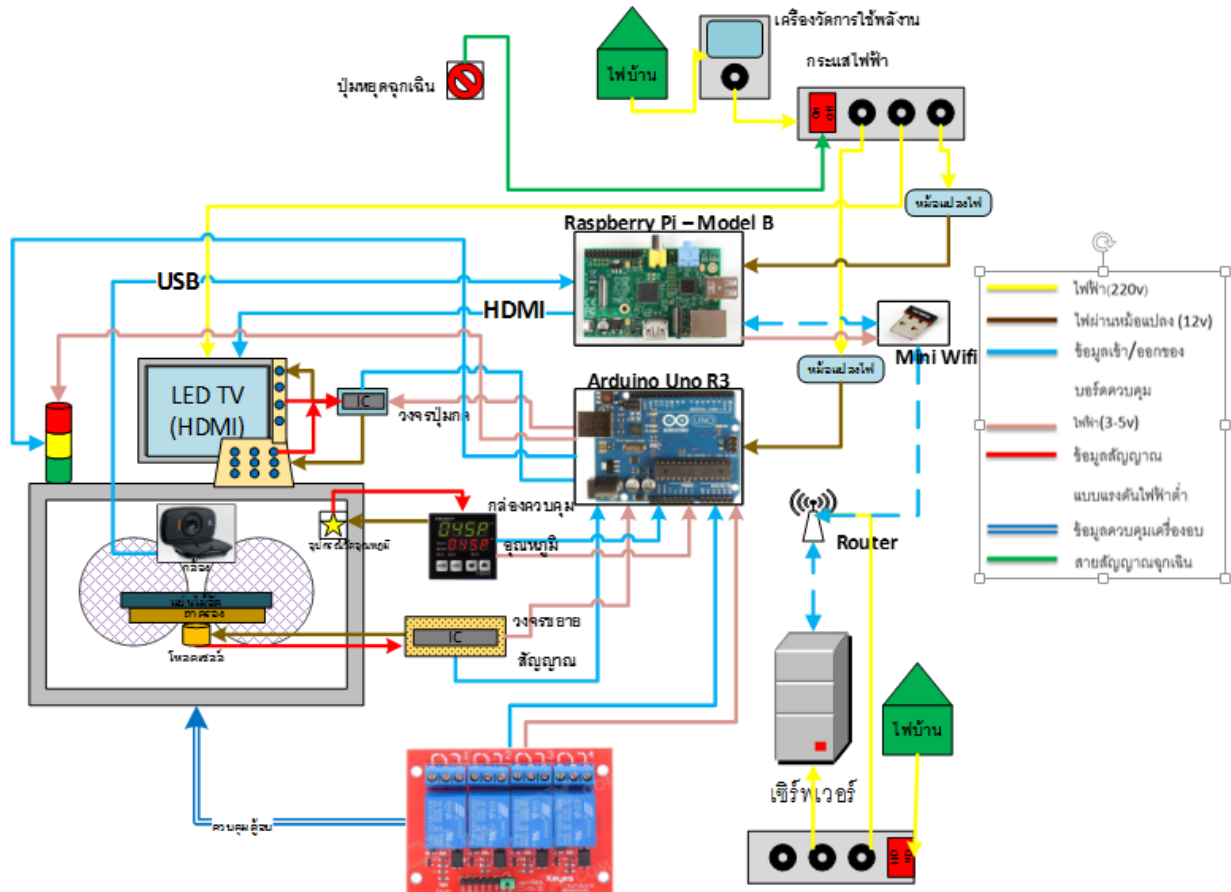
โครงงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับการประมวลผลหลัก โดยต่อเชื่อมกับ

TSF-278

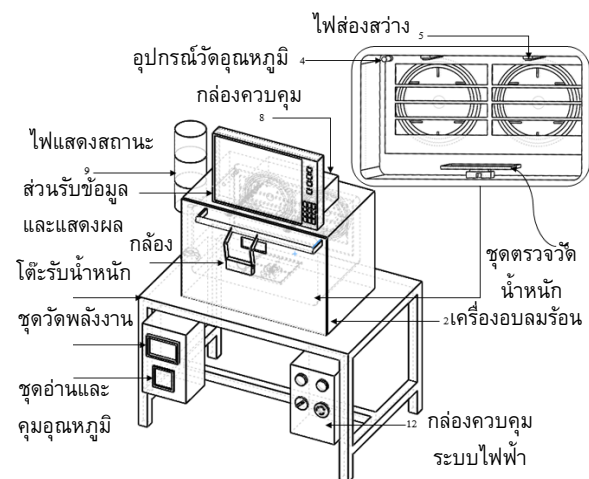
อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและน้ำหนักชิ้นงานภายในเครื่องอบ และเชื่อมกับกล้องถ่ายภาพ เพื่อวิเคราะห์สีของชิ้นไม้ เมื่อได้ข้อมูลตามต้องการ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ให้ดำเนินการปรับอุณหภูมิและลมร้อน

ภายในให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพทั้งความชื้นและสีสันตามต้องการ

การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงจะใช้โปรโตคอล 2 ลักษณะคือแบบอนุกรม (Serial Protocol) และ MODBUS Protocol ซึ่งเป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอุตสาหกรรม



รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์ภายในระบบ

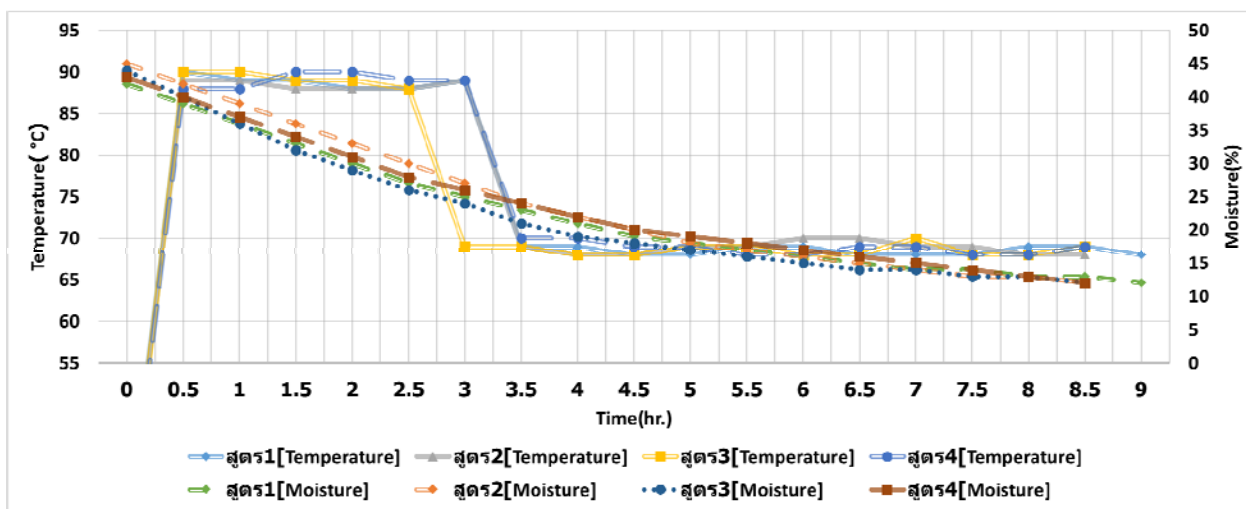


รูปที่ 2 แสดงข้อมูลโครงสร้างและตำแหน่งของอุปกรณ์

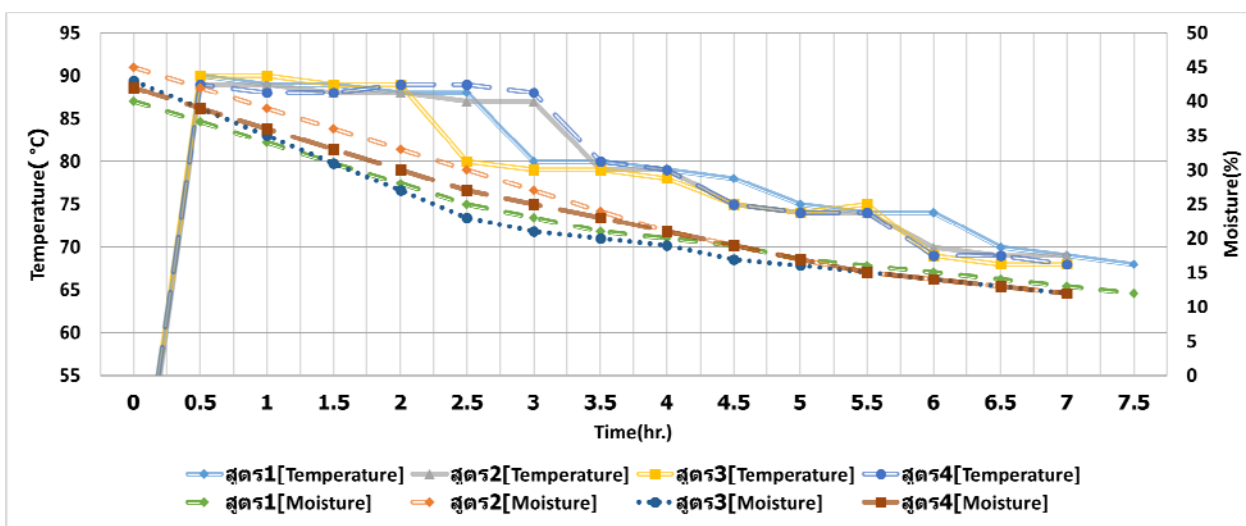


รูปที่ 3 รูปตู้อบลมร้อนระบบสมองกลฝังตัวต้นแบบ

TSF-278



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลาโดยใช้ความชื้นในการควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลาโดยใช้ความชื้นและค่าสีในการควบคุมอุณหภูมิ

3. การดำเนินการวิจัย

การพัฒนากระบวนการอบลมร้อนระบบสมองกลฝังตัวมีส่วนสำคัญดังแสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ระบบนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการควบคุมเครื่องโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ทั้งในส่วนประมวลผลเพื่อการตัดสินใจนั้นจะต้องรับค่าจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ซึ่งได้แก่ กล้องคุณภาพสูง อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ อุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนัก เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์บนส่วนประมวลผลหลักและสั่งการให้เครื่องลมร้อนทำงานตามที่ต้องการ

โดยในส่วนสั่งการจะประกอบไปด้วยกล่องควบคุมอุณหภูมิ บอร์ดลิเนียร์ บอร์ดสมองกลฝังตัว นอกจากนี้ยังมีส่วนรับข้อมูลเข้าอีกด้วยนั่นคือ ปุ่มกดและคีย์แพดทั้งนี้ระบบที่ได้กล่าวมายังส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลไว้เรียกดูย้อนหลังได้อีกด้วย และในรูปที่ 2 จะแสดงข้อมูลโครงสร้างและตำแหน่งของอุปกรณ์ รูปที่ 3 แสดงตู้อบตามที่ออกแบบ

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในส่วนนี้จะแสดงผลการทดลอง ที่ได้นำแผ่นไม้ที่อัดจากเปลือกทุเรียนโดยใช้ผงเปลือกทุเรียนเป็นตัวเชื่อมประสาน มาอบในสภาวะต่างๆ โดยจะแสดง

TSF-278

ค่าอุณหภูมิ ความชื้น สี รวมถึงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างการอบ

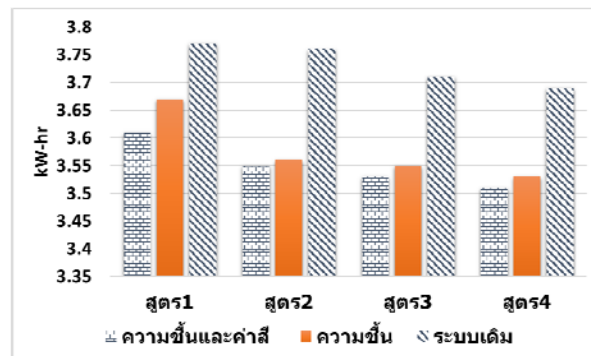
แผ่นไม้อัดที่ใช้จะมี 4 สูตรตามอัตราส่วนของ เส้นใย:ผงน้ำ ได้แก่ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ โดยแต่ละแผ่นมีขนาด 20x20x1 ซม.³

ระบบควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งจะแบ่งเป็น 2 แนวทางคือการควบคุมโดยใช้ค่าความชื้นเพียงอย่างเดียว และควบคุมโดยใช้ทั้งสีและความชื้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังต่อไปนี้

รูปที่ 4 แสดงค่าปริมาณความชื้นในแผ่นชิ้นไม้อัดและอุณหภูมิในตู้อบ ระหว่างการอบ ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 8 - 9 ชั่วโมง ทั้งนี้กำหนดให้เมื่อความชื้นในแผ่นมากกว่า 25% จะใช้อุณหภูมิในการอบที่ 90 องศาเซลเซียส แต่เมื่อความชื้นลดลงจะปรับอุณหภูมิลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 5 แสดงค่าปริมาณความชื้นในแผ่นชิ้นไม้อัดและอุณหภูมิในตู้อบ ระหว่างการอบ ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น 7 ชั่วโมง ทั้งนี้กำหนดให้เมื่อความชื้นในแผ่นมากกว่า 25% จะใช้อุณหภูมิในการอบที่ 90 องศาเซลเซียส แต่เมื่อความชื้นอยู่ระหว่าง 15 – 25% จะพิจารณาจากค่า Saturation (ในโหมด HSV) ของแผ่นไม้ขณะนั้น และเมื่อความชื้นลดลงต่ำกว่า 15% จะปรับอุณหภูมิลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแสดงในรูปที่ 6 โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งแบบปกติ การอบแห้งโดยใช้ความชื้น และการอบแห้งที่ใช้ทั้งความชื้นและสีแผ่นไม้



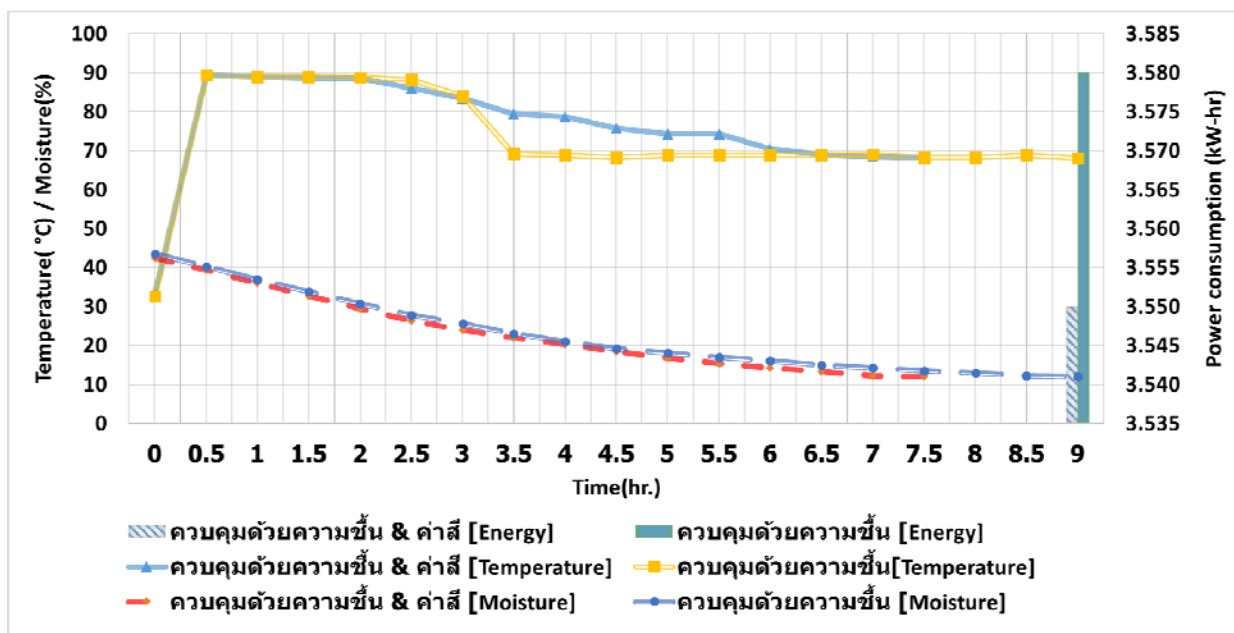
รูปที่ 6 แสดงอัตราการใช้พลังงานของเครื่องอบลมร้อน

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าเครื่องอบลมร้อนสมองกลฝั่งตัวที่ใช้การควบคุมอุณหภูมิด้วยความชื้นและค่าสีมีอัตราการใช้พลังงานที่น้อยที่สุดหรือประหยัดที่สุดโดยเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบลมร้อนระบบเดิมทำให้ได้ประสิทธิภาพที่แน่นอนและแม่นยำกว่า อีกทั้งยังประหยัดพลังงานได้มากกว่าถึง 5% ต่อหนึ่งหน่วยการผลิต

เพื่อเปรียบเทียบผลที่ชัดเจนระหว่างการอบแห้งโดยใช้เฉพาะความชื้น กับการอบแห้งโดยใช้ความชื้นและสีเป็นตัวควบคุม จึงนำผลมาแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 7

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานกับอุณหภูมิที่ทั้งสองระบบใช้แล้วพบว่าแบบใช้ทั้งความชื้นและค่าสีจะใช้เวลาน้อยกว่าประมาณ 1 ชั่วโมง และใช้พลังงานน้อยกว่าประมาณ 5%

TSF-278



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้งสองระบบที่ได้ทดลอง

5. สรุปผลการทดลอง

การอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนด้วยเครื่องอบลมร้อนสมองกลฝังตัวและระบบประมวลผลภาพ พบว่าการที่จะให้ได้แผ่นไม้อัดที่มีความชื้นเหมาะสมอันจะไม่ทำให้เกิดการขึ้นราและยังใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุดนั้น ระบบควบคุมอุณหภูมิต้องอาศัยข้อมูลมาวิเคราะห์ในหลายส่วนๆ ได้แก่ อุณหภูมิจริงในตู้อบ ความชื้นในแผ่นไม้อัด รวมทั้งสีของชิ้นไม้อัด ทั้งนี้ในช่วงแรกของการอบแห้งที่ความชื้นยังสูง ระบบจะใช้อุณหภูมิสูงสุดและอบแผ่นไม้จนกว่าความชื้นจะอยู่ในระดับ 25% จากนั้นระบบประมวลผลหลักจะดึงข้อมูลจากระบบประมวลผลภาพมาช่วยวิเคราะห์เพื่อปรับอุณหภูมิ และเมื่อความชื้นอยู่ที่ 15% ระบบจะตั้งอุณหภูมิให้น้อยและอบแห้งต่อเนื่องจนความชื้นในแผ่นไม้ตรงกับที่ต้องการ จึงหยุดการอบแห้ง ด้วยกระบวนการอบแห้งนี้ทำให้ใช้พลังงานในการอบแห้งลดลงประมาณ 5% และระยะเวลาลดลงประมาณ 12% เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบมาตรฐาน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยในการดำเนินการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเงินในการดำเนินการวิจัย และศาสตราจารย์ ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีย์ สำหรับคำแนะนำที่มีประโยชน์ในการดำเนินการวิจัย และขอขอบพระคุณ ดร. ณรงค์ชัย โอเจริญ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในการดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วง และขอขอบคุณนักศึกษาชมรมโรบอท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่ได้ช่วยในการพัฒนาเครื่องอบแห้งลมร้อนระบบสมองกลฝังตัวนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สโรชา เจริญวัย, สรพงษ์ ภาสุปรีย์, อนินท์ มีมนต์, ชนาگانต์ อาษาสุจริต และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2555), รายงานการวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตัวเชื่อมประสานที่ย่อยสลายได้จากเปลือกทุเรียนหมอนทองในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด

TSF-278

- [2] ชนากานต์ อาษาสุจริต และคณะ รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โครงการการพัฒนาเครื่องอบแห้งสุญญากาศ 2552
- [3] Asasutjarit, C., Charoenvai S., "Development of a vacuum dryer for red chilli", The 6th Asia-Pacific Drying Conference (ADC 2009), 19th – 21st October 2009, Bangkok, Thailand
- [4] ชนากานต์ อาษาสุจริต และสโรชา เจริญวัย, 2552, "การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกชี้หนูใหญ่สีแดงโดยใช้เครื่องอบแห้งสุญญากาศ", การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 29 เมษายน-1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก
- [4] Kaensup, W., Chutima, S. and Wongwiset, S. Experimental study on drying of chilli in a combined microwave-vacuum-rotary. Drying Technology. 20: 2067-2079 (2002)
- [6] Gupta, P., Ahmed, J., Shivhare, U. S. and Raghavan, G. S. V. Drying characteristics on red chilli. Drying Technol. 20: 1975-1987 (2002)
- [7] Tasirin, S.M., Kamarudin S.K. and Jaafar, K. The drying kinetics of bird's chillies in a fluidized bed dryer. Journal of Food Engineering. 79: 695–705 (2007)
- [8] Lee, J. H. and Kim, H. J. Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanussativus* L.) slices. LWT - Food Science and Technol. 42: 180–186 (2009)
- [9] รังสิมา เพ็ชรเม็ดใหญ่. ระบบสมองกลฝังตัว. ศูนย์บริการความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี STKS สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 4/2552 - 31 มกราคม 2552
- [10] จันทรจิรา สิ้นทนะโยธิน, วิศรุต พลสิทธิ. Image processing เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ
- [11] คลังความรู้ช่างเทคนิค. เทอร์โมคัปเปิล (THERMOCOUPLE). 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555
- [12] หจก.แอ็ดวานซ์ บิสซิเนส อินเตอร์เทรด. Moisture Meter/ เครื่องวัดความชื้นไม้.
- [13] Strain Measurement Devices. Ultra-Low Profile Miniature Single Point Load Cell
- [14] หจก.บางกอกกริปปโตกราฟฟี. โหลดเซลล์ (Load cell / Loadcell)