

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุม โดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

Design and Development of a Dryer with Herb Grinder Controlled by a Microcontroller System

ณมน วรณานวงศ์^{1*} และรังสรรค์ พงษ์พัฒน์อำไพ²

Namon Vorathnanuwong^{1*} and Rungsun Pongpattanaumpai²

¹สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

¹Department of Industrial Education, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

²สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

²Program in Farm Machinery Technology, Faculty of Agricultural Technology,
Rajabhat Mahasarakham University

*Corresponding author: emailit62@gmail.com

Received: February 24, 2023

Revised: March 26, 2023

Accepted: April 4, 2023

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันหลายชุมชนมีการนำเศรษฐกิจพอเพียงเข้ามามีบทบาทกับชุมชนมากขึ้น รวมถึงกระทรวงสาธารณสุขมีนโยบายส่งเสริมให้สถานพยาบาลใช้ยาบำบัดโรคควบคู่กับยาแผนปัจจุบันทำให้หลายชุมชนมีการปลูกสมุนไพรเพิ่มมากขึ้น สามารถแปรรูปเพื่อสร้างรายได้ให้กับท้องถิ่นได้ การแปรรูปสมุนไพรบางชนิดทำให้คุณสมบัติดีขึ้น รวมถึงเพิ่มคุณภาพในการเข้าถึงการรักษาและบรรเทาโรค จึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งเพื่อศึกษาปัจจัยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมอเตอร์ตัวเดียวกันทั้งสร้างการเคลื่อนที่ให้สมุนไพรในระหว่างการอบและการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กำลังสูงในการอบพร้อม รวมถึงการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม การเคลื่อนที่ของสมุนไพรเพื่อไล่ความชื้นโดยการควบคุมอุณหภูมิให้มีอัตราการอบแห้งสูงและลดระยะเวลาในการอบแห้งจากการระเหยของไอน้ำได้ดียิ่งขึ้น หากสมุนไพรมีความชื้นสูงจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพของสมุนไพร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทำให้สมุนไพรเคลื่อนที่จะทำให้เกิดการกระจายความชื้นที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส เทียบจากระยะเวลาในการอบพร้อมบดด้วยเครื่องกับการอบและบดแบบปกติสามารถลดเวลาได้ตามประเภทของพืชสมุนไพร ทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิคแบบสิ้นเปลืองความแตกต่างก่อนและหลังการแปรรูป สามารถลดเวลา กระบวนการทำงานลงคิดอย่างน้อยเป็นร้อยละ 10.98 ขึ้นกับการตั้งอุณหภูมิการควบคุมมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส สามารถกระจายความชื้นได้พร้อมกับทำการบดจะสูญเสียพลังงานต่ำกว่าการเพิ่มชุดสร้างลมร้อน ในการทดลองกับสมุนไพร 2 ประเภท สรุปได้ว่าระดับความพึงพอใจ ลักษณะทั่วไป สี กลิ่นและรส การละลาย มีค่าเฉลี่ยดีมากทุกปัจจัยกับสมุนไพรทั้ง 2 ประเภท การใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนของสมุนไพรทำให้เกิดการแพร่กระจายความร้อนได้ดีกว่าการให้ความร้อนแบบคงที่และสามารถปรับค่าความต้องการของอุณหภูมิได้ตามลักษณะสมุนไพร

คำสำคัญ: การอบแห้ง ลมร้อน มอเตอร์กระแสสลับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ บดสมุนไพร

Abstract

The sufficiency economy philosophy has been adopted by many communities to play essential roles in more community-based activities. A policy has been formulated by the Ministry of Public Health to encourage medical institutions to use therapeutic drugs along with modern medicines. For these reasons, many communities have realized they need to grow more herbs that can be processed in order to generate income for the locals. Processing certain herbs can improve their properties and increase their quality of access to healing and the alleviation of disease. Therefore, a dryer was developed to study the factors of using a microcontroller to control the same motor both to create the movement of the herbs during drying and to control the speed of the high-powered motor to grind them together, as well as to control the temperature appropriately. The movement of the herbs to remove moisture by controlling the temperature would result in a high drying rate and a shorter drying time due to evaporation. If herbs have high humidity, it will result in damage to their quality. The experimental results showed that moving the herbs would cause the distribution of humidity at the drying temperature of 40–70 °C. Compared with the time of drying and grinding by machine and normal drying and grinding, the time can be reduced according to the type of medicinal plant. The efficiency improvement test using lean techniques comparing the difference before and after fabrication can reduce the process time by at least 10.98 percent, depending on the single-phase AC motor control temperature setting. Humidification can be distributed while grinding, and the energy loss was lower than adding a hot air-generating unit. In experiments with two types of herbs, it was concluded that the levels of satisfaction with general appearance, color, odor, taste, and solubility were averaged very well in all factors for both types of herbs. The use of a motor to drive the herbs caused better heat diffusion than static heating and could adjust the temperature requirements according to the characteristics of the herbs.

Keywords: drying, hot air, AC motor, microcontroller, herb grinding



บทนำ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรนั้นเป็นแนวคิดมาจากพืชสมุนไพรประเภทใช้ใบหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น หล้าหวาน ใบย่านาง ใบชา นิยมในการนำมาอบแห้งพร้อมนำมาทำผลิตภัณฑ์แปรรูปในรูปแบบผงเป็นส่วนมาก ไม่ว่าจะเป็นบรรจุแคปซูลหรือเป็นส่วนผสมเครื่องสำอาง การใช้เครื่องอบแห้งเพียงอย่างเดียวแล้วทำการเคลื่อนย้ายไปบดผงอีกครั้งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองหรือจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการได้ การทำผงสมุนไพรนั้นจำเป็นต้องรักษาคุณภาพ อุณหภูมิและความสะอาด

อยู่ตลอดเวลา ตามมาตรฐานชุมชน การนำไปใช้เป็นยารักษาโรค ใช้เพื่อปรุงอาหาร หรือใช้ในเครื่องสำอาง การตากแห้งที่เป็นกรรมวิธีดั้งเดิมนิยมใช้สมุนไพรไปตากแดดในพื้นที่ลานกว้างและใช้ระยะเวลาในการตากค่อนข้างนานขึ้นอยู่กับปริมาณแดดในแต่ละช่วง อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการปนเปื้อนแมลงและฝุ่น (Fudholi et al., 2012) เครื่องอบพลังงานต่าง ๆ จึงเข้ามามีบทบาทหน้าที่ เช่น การอบแห้งโดยใช้เทคนิคการใช้สตรัมความร้อนจากเครื่องทำความร้อน การอบแห้งแบบความดันต่ำกว่าบรรยากาศ การอบแห้งด้วยลมร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Bala & Janjai, 2009)

ปัญหาของการตากแห้ง คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่คงที่ (Arrisa, Suhdee, Teerayut & Teerapat, 2022) การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (Riadh, 2015) หรือการอบแห้งด้วยความร้อนจากชีวมวลแทนการใช้แสงอาทิตย์อย่างเดียว ทั้งเพื่อคุณภาพและการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามวิธีที่พิชิตสมุนไพรชนิดใบ เมื่อทำการอบแห้งจำเป็นต้องนำมาบด จึงมีแนวความคิดสร้างเครื่องอบและบดสมุนไพรเพื่อลดการปนเปื้อนในสมุนไพรระหว่างกระบวนการการผลิต การออกแบบเพิ่มชุดการทำงานไว้ในภาชนะเดียวกันเพื่อลดต้นทุนอุปกรณ์การควบคุม กระบวนการอบแห้งนั้นสามารถทำได้โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟสและตัวทำความร้อนในชุดเดียวกัน แทนการเพิ่มชุดควบคุมมอเตอร์เพื่อลดต้นทุนเครื่อง และลดรอบเวลาทั้งหมดของกระบวนการทำงานได้ กรณีเพิ่มชุดการทำงานแยกระหว่างการอบด้วยชุดความร้อนแล้วบด การควบคุมความเร็วในการทำความร้อนกับสมุนไพรบางชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของสมุนไพร ด้วยเหตุนี้การใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนจึงมีความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร

ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์นวัตกรรมใหม่ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

เกษตรกร สาธารณสุข SME และชุมชน สามารถใช้เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรที่มีศักยภาพสูง และเพิ่มประสิทธิภาพการเกษตร

ขอบเขตของการวิจัย

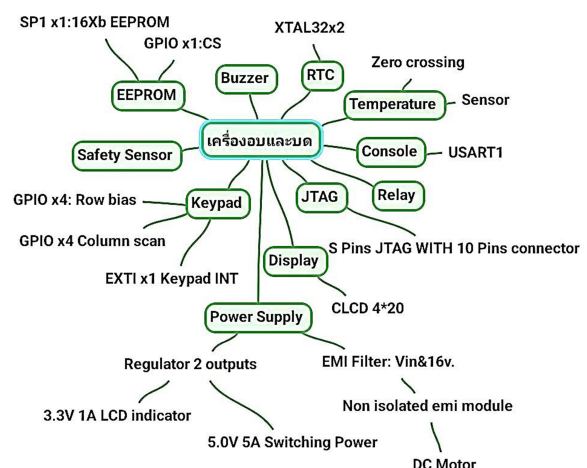
การออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องอบและบดสมุนไพรควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ต้นแบบสามารถทำงานกับสมุนไพรประเภทที่ใช้ใบเท่านั้น เมื่อป้อนสมุนไพรประเภทใบแล้วตั้งอุณหภูมิและเวลาให้เหมาะสมกับการอบแห้งในเครื่อง ในการอบแห้งหลังจากเครื่องทำการอบโดยควบคุมการทำความร้อนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เพื่อควบคุมอุณหภูมิและกำลังลมให้คงที่ตามกำหนด เพื่อกระจายความชื้นของใบสมุนไพรให้ทั่วถึงกัน เมื่อครบกำหนดเวลาระบบจะสั่งการให้ทำการบดใบสมุนไพรโดยอัตโนมัติเพื่อให้สมุนไพรที่แห้ง ทำการบดสมุนไพรตามเวลาที่กำหนด โดยความเร็วรอบหมุนของใบมีดใช้มอเตอร์เป็นตัวควบคุม ใบมีดสามารถถอดกลับคมตัดหรือเปลี่ยนใหม่ได้เมื่ออายุการใช้งานที่หมดสภาพ ซึ่งการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เครื่องจะเป็นระบบแบบกึ่งอัตโนมัติ หลังการเก็บสมุนไพรแบบครบวงจร สามารถประยุกต์ใช้ได้ในระดับเกษตรกร สาธารณสุข SME และชุมชน โดยมี เป้าหมายที่มีประสิทธิภาพการอบแห้งต่อครั้งที่สมุนไพรมีความชื้นที่ 200 กรัมต่อครั้งเพื่อป้องกันการกระจายความชื้นที่ไม่สมบูรณ์

วิธีดำเนินการออกแบบและพัฒนา

1. การออกแบบโปรแกรมควบคุม

การออกแบบโปรแกรมควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์จากภาพ 1 กำหนดผังการดำเนินงานของอุปกรณ์ในเครื่องก่อนการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการอบและบดสมุนไพร ซึ่งในขณะอบนอกจากการควบคุมมอเตอร์กำลังสูงให้เกิดการหมุน พร้อมกันนั้นก็ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ได้ค่าที่ต้องการ การควบคุมลักษณะนี้จะเกิดเอาต์พุตที่เกินค่าสุดท้ายในสถานะคงตัว ที่เป็นค่าที่เกินจากค่าที่ตั้งไว้ในช่วงเวลาขณะหนึ่งก่อนที่อุณหภูมิจะกลับเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ ความชื้นของสมุนไพรประเภทที่มีใบเป็นยา เช่น ใบย่านาง หญ้าหวาน



ภาพ 1 แผนผังอุปกรณ์การควบคุมเครื่องอบและบด

2. การออกแบบ LCD ควบคุม

ทำการทดสอบระบบแสดงผลการควบคุมโดยใช้จอแสดงผลเป็น CLCD 4*20 Chars ทำการออกแบบตามแผนผังการทำงาน เพื่อให้เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรสามารถควบคุมได้ตามที่ต้องการ การทำงานเครื่องอบและบดสมุนไพร การออกแบบหน้าจอเพื่อให้สามารถทราบถึงการตั้งค่าของเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพร ซึ่งเป็นแบบปุ่มกด โดยสามารถกดเข้าไปตั้งค่าได้ตามภาพ 2

หน้าจอเริ่มต้นเพื่อตั้งค่าเมนูหลัก จะมี 3 เมนู ดังนี้

1. Start Machine เป็นการเริ่มเมนูทำงานสามารถทำงานได้เลยโดยจะเป็นค่ากำหนดกลางไว้เพื่อความปลอดภัย

2. User Setting ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าให้เหมาะสมกับสมุนไพรที่จะใช้งานได้โดยการตั้งอุณหภูมิในการอบกับเวลาที่ใช้ในการบดสมุนไพร

3. System Setting การตั้งระบบค่าที่สัมพันธ์กันสามารถตั้งค่า PID ของเครื่อง จากผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุมเพื่อกำหนดค่าว่าเร็วในการทำงาน ความแม่นยำในการทำงาน หรือความเสถียรของอุณหภูมิและมอเตอร์ได้ เพื่อรองรับให้เหมาะสมกับสมุนไพร

ในแต่ละเมนูจะมีโหมดแยกย่อยในการตั้งค่าระบบของเครื่องอย่างละเอียด

1. จากภาพ 3 เมื่อเข้าเมนู Start Machine จะมีระบบ Safety Check เพื่อเป็นการเตือนผู้ใช้อีกครั้งว่าพร้อมการทำงาน เนื่องจากระบบมอเตอร์ความเร็วสูงมาก จึงมีการเตือนก่อนเริ่มทำงาน

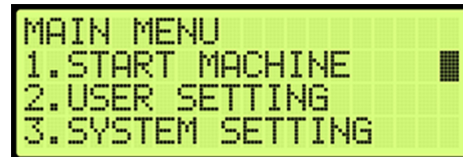
ภาพ 4 ในโหมด Start Machine เป็นเมนูที่จะสามารถตรวจสอบการตั้งระยะเวลาในการอบแห้ง เพื่อให้เหมาะสมกับสมุนไพรแต่ละชนิดได้ สมุนไพรบางชนิดต้องใช้ระยะเวลาในการอบนานมากกว่าประเภทอื่น และมีการแสดงผลในรูปแบบเชิงเส้นของหน้าจอดิจิทัลถึงคาบการทำงาน

ภาพ 5 การตรวจวัดความชื้นสมุนไพรในเมนู Cooling ในโหมด Start Machine เป็นเมนูหลักเพื่อดูความชื้นของสมุนไพรที่อบแห้งว่าเหมาะสมไหม สามารถเพิ่มอุปกรณ์ตรวจวัดเพิ่มเติมในภายหลัง

ภาพ 6 การตั้งเมนู Grinding ในโหมด Start Machine เป็นเมนูการบดสมุนไพรซึ่งค่า Fan จะบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาเพื่อให้สมุนไพรมี

ความละเอียด ความเร็วในมอเตอร์จึงต้องสูงมาก แต่หากต้องการทำในรูปแบบชา สามารถตั้งที่ 1-2 นาทีได้

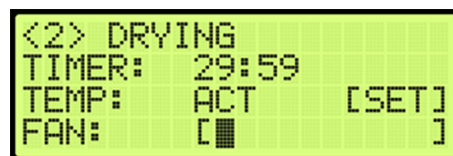
ภาพ 7 การตั้งเมนู Finished ในโหมด Start Machine จะเป็นการแจ้งเตือนเมื่อสิ้นสุดการทำงาน สามารถตั้งสัญญาณเตือนได้ในโหมด User Setting



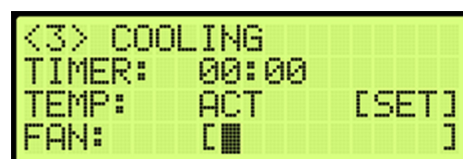
ภาพ 2 การแสดงผลของเริ่มต้นการทำงาน



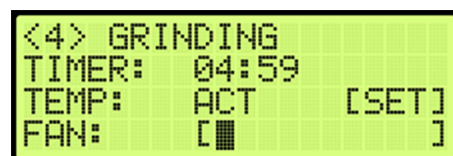
ภาพ 3 การแสดงผลของหน้าจอ LCD เริ่มระบบตรวจสอบความปลอดภัย



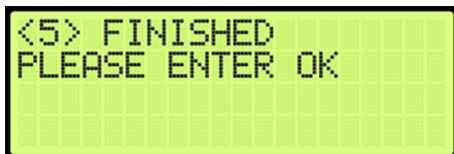
ภาพ 4 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งระยะเวลาในการอบแห้ง



ภาพ 5 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตรวจวัดความชื้น



ภาพ 6 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งค่าบดสมุนไพร ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใย



ภาพ 7 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งสัญญาณเตือน

2. โหมด User Setting ในภาพ 8 สามารถให้ผู้ใช้ตั้งค่าได้ 3 รูปแบบ ซึ่งสามารถตั้งให้เหมาะสมกับสมุนไพรที่ทำการอบและบดได้ในตัวอย่างงานนี้ใช้ใบย่านาง หล้าหวาน ซึ่งเป็นประเภทใบที่มีความแตกต่างกัน การสูญเสียความชื้นจึงไม่เท่ากัน สามารถตั้งค่าได้ ดังนี้

Heat Temp การตั้งค่าที่อุณหภูมิในการอบ สามารถตั้งได้ที่ 30-70 องศาเซลเซียส เพื่อให้เหมาะสมกับสมุนไพร หากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจเกิดการไหม้ได้

Dry Time ระยะเวลาในการอบแห้ง สามารถตั้งเวลาได้ถึงหลักวินาที

Cool Temp เป็นระยะเวลาในการพักจากการอบแห้ง

ภาพ 9 ต่อเนื่องจากภาพ 8 จะเป็นการเข้าโหมด User Setting สามารถให้ผู้ใช้ตั้งค่าสามารถตั้งเลื่อนหน้าต่อไปได้

Grind Time การตั้งค่าระยะเวลาในการบดสมุนไพร ซึ่งการบดสมุนไพรที่มีเส้นใยสูงหากต้องการให้มีความละเอียดควรเพิ่มระยะเวลาให้นานขึ้น

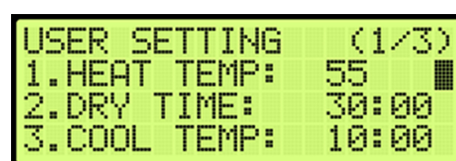
Buzzer การตั้งเสียงเตือนในการทำงาน เนื่องจากการอบแล้วสามารถทำงานในโหมดของการบดได้อย่างต่อเนื่อง หรือจะพักการทำงานก่อนเข้าโหมดบดก็ได้ การบดที่ใช้ความเร็วของมอเตอร์สูงทำให้มีการตั้งเสียงเตือนไว่ก่อน แต่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้เองว่าต้องการปิดเสียงการทำงานหรือไม่

ภาพ 10 เป็นการตั้ง Brightness เป็นการตั้งค่าความเข้มของหน้าจอ ซึ่งสามารถให้ผู้ใช้ตั้งค่าได้ถึง 10 ใช้กับการที่เครื่องทำงานกลางแจ้ง การตั้งความสว่างของหน้าจอจะทำให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนขึ้น

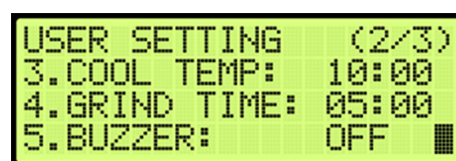
สำหรับสมุนไพรที่ต้องรักษาคุณค่าทางอาหารสูง และมีผู้เชี่ยวชาญในการแปรรูปอาหารสามารถตั้งโหมด

System Setting ในภาพ 11 เป็นการตั้งค่า PID ซึ่งเป็นการควบคุมระบบควบคุมแบบป้อนกลับจึงเปิดให้ใช้แบบใส่ Password เพื่อป้องกันการผู้ใช้ที่ไม่เข้าใจการตั้งค่า PID ตั้งค่าระบบเองโดยไม่ตั้งใจ

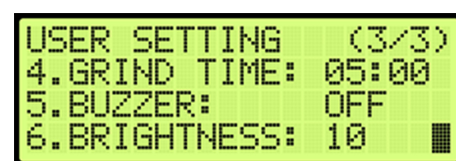
3. โหมด System Setting ภาพ 12 สามารถปรับค่า PID ด้วยมือได้ดังนี้ เพื่อความสะดวกกับการอบและบดสมุนไพรถ้าระบบยังคงทำงานให้ตั้งค่าที่ข้อ 1 GA การตั้งค่า PID เป็นค่าของ Ki และ Kd ก่อนเพิ่มค่า Kp เป็นกระบวนการควบคุมที่แก้ไขปัญหา การเกิด Offset Error ที่สถานะคงตัวของระบบได้



ภาพ 8 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งค่ารูปแบบการอบและบดให้เหมาะสม



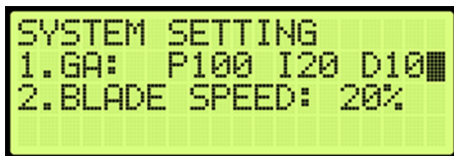
ภาพ 9 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งค่าการบดและเสียง



ภาพ 10 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งความเข้มของแสงหน้าจอ



ภาพ 11 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งการเข้ารหัสสำหรับการตั้งค่าแบบละเอียดอ่อน



ภาพ 12 การแสดงผลของหน้าจอ LCD สามารถปรับค่า PID ที่ต้องเข้ารหัสก่อนตั้งเท่านั้น

3 หลักการทำงานของเครื่องอบและบด

เขียนโปรแกรมส่วนควบคุมการทำงาน ร่วมกับการทดสอบอุปกรณ์การทำงานของเครื่องอบและบดสมุนไพร การบดสมุนไพรประเภทใบ เครื่องบดจำเป็นต้องมีความคมเพื่อให้ใบของสมุนไพรเกิดการตัดขาด เป็นมอเตอร์กำลัง 220V 1 ตัว กำลังการปั่นสูง อัตราในการหมุนของใบมีด high rotate 25000r/min-32000r/min ความละเอียดของวัตถุดิบที่บดได้ ประมาณ 50 Mesh/ 0.5 นาที และ 300/ Mesh 2-5 นาที ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่มีมวลหนักเบาไม่เท่ากัน ใช้ไฟฟ้า 220 V และกำลังไฟในการปั่น 3000 W ขนาด 280 มม.x280 มม.x450 มม. ตัวเครื่องน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ซึ่งการบดสมุนไพรต้องคำนึงถึงเส้นใยใบสมุนไพร ซึ่งถ้ามีเส้นใยสูงอาจทำให้เกิดการพันที่แกนและเกิดการไหม้ของมอเตอร์ วัสดุหลักทำจากสแตนเลสเกรด sus 316 เป็นตัวฝาปิดและตัวเครื่อง ใบมีดสแตนเลส sus 430 ตามมาตรฐานเกรดอาหาร

ขั้นตอนการออกแบบเครื่องอบและบดสมุนไพร เพื่อให้สามารถใช้งานประโยชน์ได้เต็มที่ การบดมีความละเอียดมากขึ้นจึงทำการวางมอเตอร์ในแนวตั้ง อยู่ระหว่างดำเนินการประกอบเครื่องอบและบดสมุนไพร หากขาดอุปกรณ์บางส่วน

ในส่วนของ 4krmuj 13 ตัว เครื่องเป็นรูปแบบที่เน้นการบดเป็นหลักจึงแยกการออกแบบระบบควบคุมกับเครื่องบดออกจากกันทำให้สามารถปรับรูปแบบของการอบได้ เนื่องจากการเก็บสมุนไพรบางช่วงมีความชื้นที่สูง การอบในเครื่องอาจไม่สามารถทำได้โดยสมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามสามารถพักให้แห้งหรือแช่ตู้เย็นก็สามารถทำให้ความชื้นในสมุนไพรลดลงเป็นอย่างมาก ทำให้ได้คุณภาพของสมุนไพรตามต้องการได้



ภาพ 13 การออกแบบในส่วนเครื่องอบพร้อมบดสมุนไพร

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจจับสนสัญญาณเพื่อตรวจสอบว่าเงื่อนไขถูกต้องในการเริ่มการทำงานหรือไม่

การออกแบบการควบคุมด้วยสมการที่แสดงนี้ จะปรับเกณฑ์การข้ามศูนย์ เพื่อเพิ่มความถูกต้องและทำให้การทำงานของมอเตอร์เท่า ๆ กันทุกช่วง จะมีตัวเลือกในการระบุช่วงเวลาที่ยอมรับได้ และเกณฑ์สัญญาณ จากภาพ 14



ภาพ 14 พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดจากเส้น a เพื่อส่งสัญญาณการทำงาน

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมควบคุมภายใต้เงื่อนไขสมการ
 T = เวลาเส้นใต้กราฟ
 A = พื้นที่ที่มอเตอร์จะทำงานที่เส้นใต้กราฟ
 $f1$ = ฟังก์ชันของสัญญาณคลื่น
 a = ระยะเพื่อหาพื้นที่จากจุดใดจุดหนึ่งในสัญญาณรูปคลื่น
 Restart

$$f1 = t \rightarrow A \cdot \sin(2 \cdot \text{Pi} \cdot f \cdot t) \quad (1)$$

$$\int_a^{\frac{1}{2f}} f1(t) dt = \text{area}$$

$$\frac{A(\cos(2\pi f a) + 1)}{2\pi f} = \text{area}$$

Solve for a

$$\left[a = -\frac{-\pi + \cos^{-1}\left(\frac{-2\text{area}\pi f + A}{A}\right)}{2\pi f} \right]$$

เพื่อให้ได้คาบเวลาแรกจึงจำเป็นต้องหาโดย

$$t_{\text{FireDelay}} = \text{area} \rightarrow -\frac{-\pi + \cos^{-1}\left(\frac{-2\text{area}\pi f + A}{A}\right)}{2\pi f} \quad (2)$$

$$\text{fullArea} = \int_0^{\frac{1}{2f}} f1(t) dt$$

$$\text{fullArea} = \frac{A}{\pi f}$$

$$\text{solve}(\text{fullArea} = \text{maxRes}, A)$$

$$\pi f \text{maxRes} = 1000$$

$$A = \text{solve}(\text{fullArea} = \text{maxRes}, A)$$

$$A = 1000\pi f$$

$$f = 50$$

$$t_{\text{FireDelay}}^{(\text{area})}$$

$$-\frac{-\pi + \cos^{-1}\left(\frac{-100\pi \text{area} + 50000\pi}{50000\pi}\right)}{100\pi}$$

$$\text{evalf}\left[\int_0^{\frac{1}{2f}} f1(t) dt\right] = 1000$$

การตรวจจับสัญญาณของสมการนี้ขึ้นอยู่กับการสร้างสัญญาณในรูปแบบ Zero Crossings ให้กับเครื่องอบและบัด โดยการควบคุมเครื่องที่ได้รับสัญญาณรูปคลื่นเข้ามา ได้สร้างเส้น a ซึ่งเส้น a จนถึงสิ้นสุดลูกคลื่นที่ช่วงบวกและลบ สมการจะทำการหาพื้นที่ในช่วงตั้งแต่ a เป็นพื้นที่เริ่มการทำงานของมอเตอร์และอุณหภูมิใช้ในสมการเดียวกัน

ทำให้มีพื้นที่การทำงานในกราฟเท่ากันเสมอในช่วงลูกคลื่น สำหรับการป้องกันความอึดตัวสัญญาณ การตรวจจับสัญญาณเป็นศูนย์ที่ตัดกราฟเงื่อนไขตามคาบเวลาที่ต้องการทำงาน การทำงานนี้มอเตอร์จะทำงานในช่วงเวลาหนึ่งก่อนจะหยุดการทำงาน

2. การควบคุมการหมุนของมอเตอร์

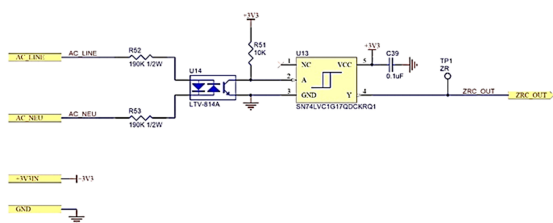
เพื่อสามารถใช้งาน 2 รูปแบบ คือ ในระหว่างอบหมุนให้สมุนไพรเกิดการเคลื่อนที่ และสำหรับบดสมุนไพรให้ละเอียด

1. ใช้มอเตอร์กระแสสลับ 220V 1,800 W

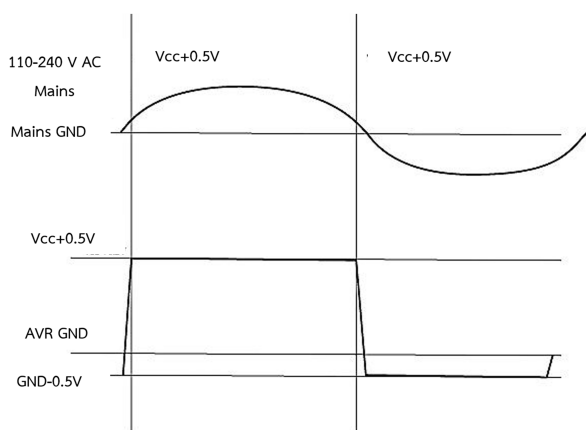
2. กำลั่มอเตอร์ทำให้การอบไม่สามารถทำได้เนื่องจากสมุนไพรจะถูกบดก่อนที่อุณหภูมิความร้อนจะถึง จึงทำการปรับความถี่โดยใช้กฎอัตราส่วนต่อความถี่มีค่าคงที่เพื่อการพัฒนาสมรรถนะของแรงบิดที่ย่าน ความถี่ต่ำ (Sharma, Verma & Pathare, 2005) การประหยัดพลังงานในมอเตอร์เหนี่ยวนำอยู่ในรูปแบบของเทคนิคการควบคุมการทำงาน ของชุดขับเคลื่อนเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่ทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุดหรือมีกำลังงานการสูญเสียให้น้อยที่สุด

3. วิธีการควบคุมแรงดันมอเตอร์ตามหลักการ Zero Crossings ในภาพ 15 สำหรับจ่ายแรงดันให้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด คือ การควบคุมความถี่ของโรเตอร์ (perturbing rotor frequency control) และการควบคุมอัตราส่วนระหว่าง แรงดันกับความถี่ (V/f control) ในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์ของความถี่ โดยค่าประสิทธิภาพจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันของค่าสลิป ค่าความถี่และค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ

4. ทำการปรับค่าแรงดันโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ปรับมุมจุดชนวน (firing delay angle) ของไทรแอก การปิดการทำงานเมื่อมีการตรวจจับแรงดันที่ข้ามศูนย์จะปิดกัน เนื่องจากแรงดันมีการเข้าใกล้ศูนย์มากเกินไป ความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นซึ่งการตรวจจับด้วย Zero-Crossing ให้เลือกค่าจาก Maximum order หน้าต่าง Solver ของกล่องโต้ตอบพารามิเตอร์การกำหนดค่าในภาพ 16 การตรวจจับสัญญาณของคลื่นเมื่อเริ่มทำงาน



ภาพ 15 วงจร Zero Crossings สำหรับจ่ายแรงดันให้มอเตอร์



ภาพ 16 การตรวจจับสัญญาณคลื่นเพื่อเริ่มการทำงาน

3. มาตรฐานชุมชน

เพื่อให้เครื่องอบและบดสมุนไพรสามารถพัฒนาคุณภาพของสมุนไพร รวมถึงเป็นการสนับสนุนให้ชุมชนใช้เทคโนโลยีในชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำการนำสมุนไพรเมื่อผ่านกระบวนการอบและบดเสร็จสิ้นดำเนินการตามรูปแบบของชุมชน เป็นการรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนของผู้ผลิตในชุมชนที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันประกอบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ตามประกาศข้อกำหนด ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ประกาศกำหนดไว้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการทดลองในส่วนการควบคุม

ผลทดลองพบว่า การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อควบคุมการเครื่องอบและบดสมุนไพรแยกเป็น 2 ส่วน ในเรื่องของการทำงานระบบให้เกิด

การกระจายตัวสามารถควบคุมระดับกระแสให้มอเตอร์สามารถตั้งการทำงานระดับการทำงานให้ละเอียดได้ตามความต้องการของสมุนไพร การควบคุมแรงดันจะสัมพันธ์กับช่วงของเวลาดังตารางการทดลอง ตารางการทดลองเป็นการกำหนดให้มอเตอร์ทำงานที่ 18% เนื่องจากมอเตอร์มีกำลังสูงหากต้องการให้ทำงานในช่วงอบต้องทำการลดเปอร์เซ็นต์การทำงานลง ซึ่งส่วนนี้ขึ้นกับขนาดของตัวเครื่องอบและบดที่สมุนไพรปริมาณ 200 กรัม แบ่งการทำงานของมอเตอร์ต้องหาจุดที่จะเกิดการแบ่งกราฟจากเส้นใต้กราฟของกระแสสลับ

เพื่อให้เกิดพื้นที่ในกราฟเท่ากันเมื่อเข้าใกล้จุดศูนย์ช่วงเวลาของกราฟจะมีช่วงเวลาดำเนินขึ้น โดยทำงานที่ 25 ms แล้วหยุดการทำงาน 1 ms

ความสามารถการควบคุมอุณหภูมิหลังทดลองมีค่า overshoot ที่ต่ำและเข้าสู่อุณหภูมิที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ทำการทดสอบกับสมุนไพร 2 ประเภท โดยค่าวัดได้จากออสซิลโลสโคป สามารถสรุปได้ ดังนี้

โดยตาราง 1 เป็นตัวอย่างในการแบ่งค่าการทำงานของมอเตอร์และการควบคุมอุณหภูมิจากการทดลอง 5 ครั้ง ซึ่งความจริงใน 1 ช่วงคลื่นสามารถแบ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ ได้มากกว่า 1,000 ช่วง เป็นการสุ่มตัวอย่าง จากสมการที่นำเสนอจะทำให้ได้พื้นที่ที่เท่ากันเสมอแต่ช่วงของ Δt อาจมีค่าที่แตกต่างกันเพราะในแต่ละช่วงคลื่นเริ่มไม่เท่ากัน ซึ่งสมการที่ใช้เขียนโปรแกรมจะสามารถแบ่งพื้นที่ในช่วงคลื่นได้เท่ากันตลอดทุกช่วงคลื่นไม่ว่าจะแบ่งที่ 10 ช่องใน 1 ลูกคลื่น หรือ 1,000 ในช่วง 1 ลูกคลื่นทั้งคลื่นบวกและลบ ดังภาพ 17 ตัวอย่างการตัดลูกคลื่นที่ t_6

ทำให้เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ความสามารถในการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่รอบใบพัดของมอเตอร์ได้ 1,000 ระดับ จากตาราง 1 เป็นตัวอย่างทดลองที่ปรับที่ 10 ระดับเท่านั้น โดยการควบคุมนี้จะแบ่งจากการหมุนของมอเตอร์และการควบคุมอุณหภูมิมีอัตราการอบแห้งและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อนยังผลสูงที่สุด สำหรับเครื่องอบและบดสมุนไพร การหมุนของมอเตอร์เพื่อสร้างการอบแห้งภายใต้มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส ด้วยวิธีการจัดพื้นที่ใต้กราฟของมอเตอร์กระแสสลับทำให้การจ่ายกระแสในคาบเวลาที่ไม่เท่ากันตามการขึ้นของกราฟ หากเริ่มกระแสจากคลื่น sine

wave ถึงช่วงเวลาหนึ่งจะทำการตัดเพื่อนำไปใช้งาน สรุปได้ว่า การให้ช่วงเวลาที่เหมาะสมแก่มอเตอร์กระแสสลับให้ทำงานที่ช่วงเวลาหนึ่ง สร้างการเคลื่อนที่ให้กับสมุนไพรมัทำให้เกิดการแพร่กระจายความร้อนได้ดีกว่าการให้ความร้อนแบบคงที่ ภาพ 18 ตัวอย่างการแบ่งช่วงลูกคลื่น แสดงให้เห็นการแบ่งการทำงานในการควบคุมทั้งมอเตอร์และอุณหภูมิ ที่ได้จากการวัดในมิเตอร์เมื่อทำการทดลองที่แบ่งในลูกคลื่นที่ 10 ช่อง

ตาราง 2 ระยะเวลาในการอบและบดใบย่านางอบ ด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่คงที่ที่ 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส ได้เฉลี่ยจากการทดลอง 4 ครั้ง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเวลาในการอบจะลดลง ระยะเวลาในการอบที่ 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับและบดที่ 3 และ 5 นาที ตามลำดับ โดยเทียบผลคุณภาพตามตารางมาตรฐานชุมชนใบย่านางผงสำเร็จรูป (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 2019b) ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นน้ำหนักแห้งต่ำกว่ากว่า 20 กรัม ความละเอียดเฉลี่ยที่ 250 ไมครอน ซึ่งถ้าเทียบกับการอบแห้งโดยวิธีดั้งเดิมจะเห็นได้ชัดเจนว่าเราจะทราบเวลาในการอบแห้งที่แน่นอนและไม่ต้องเคลื่อนย้ายสมุนไพรมไปในส่วนของการบดเมื่อสมุนไพรมแห้งแล้ว

ตาราง 3 ระยะเวลาในการอบและบดหญ้าหวาน อบ ด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่คงที่ที่ 40 45 และ 50 องศาเซลเซียส ได้เฉลี่ยจากการทดลอง 4 ครั้ง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเวลาในการอบจะลดลง หากอุณหภูมิสูงเกินไปสีของสมุนไพรมจะเปลี่ยนและคุณภาพลดลง ระยะเวลาในการอบที่ 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับและบดที่ 3 และ 5 นาที ตามลำดับ โดยเทียบผลคุณภาพตามตารางมาตรฐานชุมชน เปอร์เซ็นต์ความชื้นน้ำหนักแห้งต่ำกว่ากว่า 20 กรัมความละเอียดเฉลี่ยที่ 250 ไมครอน

ภาพ 18 เป็นค่าเฉลี่ยความแตกต่างของเวลาก่อนการและหลังการแปรรูปสมุนไพรมที่มีความแตกต่างกันของเส้นใบ จากตาราง 2 และ 3 เพื่อดูการลดเวลาการใช้งานจากแบบปกติ แสดงการเพิ่มประสิทธิภาพโดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นการใช้ระยะเวลาจะสั้นลงแต่ไม่เหมาะกับสมุนไพรมที่มีใบขนาดเล็กเพราะอาจทำให้เสียคุณสมบัติของสมุนไพรม การใช้เทคนิคแบบสลิ (ECRS) (Nirundorn, 2015) ทดสอบความแตกต่างก่อนและหลังการแปรรูป สามารถลดเวลากระบวนการทำงานลงคิดอย่างน้อยเป็นร้อยละ 10.98 ขึ้นกับการตั้งอุณหภูมิ

ตาราง 1

ผลการทดสอบการทำงานตามสมการที่ 1/2 เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับ

Input				ตั้งค่าการทำงาน ของมอเตอร์	
t	Δt (ms)	$1/\Delta t$ (Hz)	ΔV (V)	ร้อยละ การทำงาน	เวลาจริง (ms)
0	2.500	400	22	18	25
1	3.400	294	27.2	18	25
2	4.100	243.9	29.6	18	25
3	4.900	204.1	30.0	18	25
4	5.500	181.8	30.0	18	25
5	6.100	163.9	29.2	18	25
6	6.800	147.1	26.4	18	25
7	7.600	131.6	22.6	18	25
8	8.500	117.6	16.0	18	25
9	10.00	100.0	0.8	18	25



ภาพ 17 ตัวอย่างการทำงานที่ช่วงคลื่นที่ t6

ตาราง 2

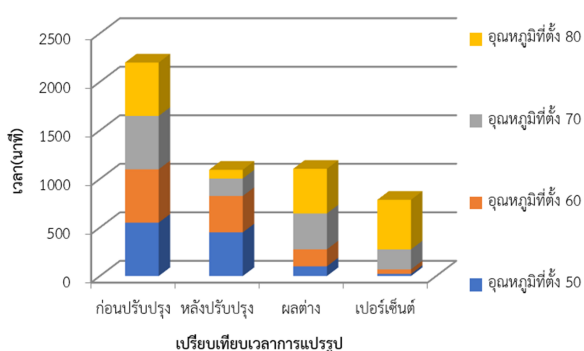
ระยะเวลาในการรอบและบดไย่านางเทียบวิธีดั้งเดิม

ย่านาง					
ใช้เครื่องอบและบด			ใช้วิธีดั้งเดิม		
ควบคุม อุณหภูมิ ที่ตั้ง	ระยะ เวลาอบ (นาท)	ระยะ เวลาบด (นาท)	ควบคุม อุณหภูมิ ที่ตั้ง	ระยะ เวลาอบ (นาท)	ระยะ เวลาบด (นาท)
50	450	5	ตาม	โดย	5
60	390	4	อุณหภูมิ พื้นที่	เฉลี่ย 500	
70	180	3			
80	90	3			

ตาราง 3

ระยะเวลาในการรอบและบดหญ้าหวานเทียบวิธีดั้งเดิม

หญ้าหวาน					
ใช้เครื่องอบและบด			ใช้วิธีดั้งเดิม		
ควบคุม อุณหภูมิ ที่ตั้ง	ระยะ เวลาอบ (นาท)	ระยะ เวลาบด (นาท)	ควบคุม อุณหภูมิ ที่ตั้ง	ระยะ เวลาอบ (นาท)	ระยะ เวลาบด (นาท)
50	450	4	ตาม	โดย	5
60	360	4	อุณหภูมิ พื้นที่	เฉลี่ย 600	
70	180	3			
80	90	3			



ภาพ 18 การใช้เทคนิคแบบสลิ้น (ECRS) ทดสอบความแตกต่างก่อนและหลังการแปรรูป

2. การใช้สมุนไพรในมาตรฐานชุมชน

เป็นเทคนิคการรวบรวมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อการพิจารณาการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพสมุนไพรที่ใช้เครื่องต้นแบบในการอบและบดสมุนไพรโดยการมุ่งลดผลกระทบที่เกิดจากปฏิกิริยาของฝุ่นหรือแบคทีเรียที่สามารถเกิดขึ้นในสมุนไพรได้อย่างรวดเร็ว การรวบรวมผลของการพิจารณาและตัดสินใจเกี่ยวกับคำตอบที่เป็นมติของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในชุมชนที่มีความรู้เรื่องสมุนไพร เพื่อสรุปให้เป็นมติที่เห็นชอบโดยเสียงข้างมากในการที่จะตัดสินใจถึงแนวโน้มการใช้งานของเครื่องอบและบดสมุนไพรในอนาคต โดยเครื่องต้นแบบจะมีการออกแบบและแก้ไขหลายครั้งซึ่งต้นทุนจะสูงกว่าการผลิตเครื่องในเชิงอุตสาหกรรมที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จากการใช้เทคนิคเดลฟายเพื่อข้อสรุปที่น่าเชื่อถือจากการเปิดโอกาสให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นแบบอิสระโดยไม่มีการเผชิญหน้าระหว่างผู้เชี่ยวชาญด้วยกัน เพื่อไม่มีการชี้นำหรืออิทธิพลทางความคิดของผู้อื่น โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยระบบผู้เชี่ยวชาญด้านสมุนไพรชุมชน

กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ผู้ตรวจสอบ ทดสอบแบบสุ่มจำนวน 5 คนขึ้นไป ที่เป็นอิสระกัน โดยมีสมมติฐาน ดังนี้ การอบและบดในแต่ละครั้งย่อมมีความแตกต่างกันตามประเภทของสมุนไพรที่มีรูปร่างและขนาดที่ต่างกัน การใช้เครื่องอบพร้อมบดในชุมชนควรใช้ได้กับประเภทของสมุนไพรหลายชนิด ซึ่งได้ทำการออกแบบให้ระบบมีการตั้งค่าได้อิสระตามลักษณะของสมุนไพร ซึ่งครั้งนี้การทดสอบใช้ตัวอย่างของสมุนไพรจำนวน 2 ชนิด โดยสมุนไพรทั้ง 2 ชนิดที่นำมาทดสอบจะเป็นคนละประเภทสมุนไพร คือ ประเภทใบเล็ก โยอาหารสูงเช่นหญ้าหวานและใบใหญ่เช่นใบหญ้านาง การทดสอบจะทดสอบลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และการละลาย เป็นไปตามมาตรฐานชุมชนของแต่ละประเภทสมุนไพร ภาพ 19 และภาพ 20 ตัวอย่างสมุนไพรก่อนและหลังการแปรรูป

ตาราง 4 แสดงผลชนิดแรก ไย่านางมีลักษณะใบค่อนข้างใหญ่การสะสมความชื้นน้อยกว่า เส้นใยมากกว่า การบดจะใช้เวลาที่มากกว่าเล็กน้อย โดยแยกเป็น ลักษณะทั่วไปที่ 3.5 ± 0.53 สี 3.4 ± 0.52 กลิ่นรส 3.3 ± 0.67 การละลาย 3.2 ± 0.63 ตามลำดับ

ตาราง 5 แสดงผลชนิดที่ 2 หญ้าหวานมีลักษณะใบค่อนข้างเล็กการสะสมความชื้นจะมากกว่าประเภทใบใหญ่ไม่ค่อยมีความแตกต่างเรื่องเวลาอบ และการบดจะเร็วกว่า

เล็กน้อยได้ความพึงพอใจจัดว่าดีมาก โดยแยกเป็น ลักษณะ
ทั่วไปที่ 3.4 ± 0.52 สี 3.2 ± 0.32 กลิ่นรส 3.1 ± 0.42 การละลาย
 3.4 ± 0.52 ตามลำดับ



ภาพ 19 ตัวอย่างสมุนไพรก่อนแปรรูป



ภาพ 20 ตัวอย่างสมุนไพรหลังแปรรูป

ตาราง 4

ค่าตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ย่านาง มพช.๘๖๖/๒๕๖๒

ลักษณะทั่วไป	เกณฑ์ที่กำหนด	ค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน	ระดับความ พึงพอใจ	ค่าเฉลี่ย	SD
ลักษณะทั่วไป	เป็นเกล็ดขนาดเล็กหรือเป็น ผงแห้งไม่จับตัวเป็นก้อน	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.5	0.53
สี	มีสีที่ดีตามธรรมชาติของ ผงสำเร็จรูป	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก.	3.4	0.52
กลิ่นรส	มีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของ ผงสำเร็จรูป ปราศจากกลิ่น รสอื่นที่ ไม่พึงประสงค์	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.3	0.67
การละลาย	ต้องละลายได้หมดไม่ทิ้งสิ่งแปลก ปลอมที่ไม่ใช่ส่วนผสมที่ใช้	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.2	0.63

ตาราง 5

ค่าตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน หญ้าหวาน มพช.๑๕๒๑/๒๕๖๒

ลักษณะทั่วไป	เกณฑ์ที่กำหนด	ค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน	ระดับความ พึงพอใจ	ค่าเฉลี่ย	SD
ลักษณะทั่วไป	เป็นเกล็ดขนาดเล็กหรือเป็น ผงแห้งไม่จับตัวเป็นก้อน	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.4	0.52
สี	มีสีที่ดีตามธรรมชาติของ ผงสำเร็จรูป	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก.	3.1	0.32
กลิ่นรส	มีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของ ผงสำเร็จรูป ปราศจากกลิ่น รสอื่นที่ ไม่พึงประสงค์	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.2	0.42
การละลาย	ต้องละลายได้หมดไม่ทิ้งสิ่งแปลก ปลอมที่ไม่ใช่ส่วนผสมที่ใช้	ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3	ดีมาก	3.4	0.52

ข้อเสนอแนะ

สามารถพัฒนาวิธีการอบในรูปแบบอื่นเพื่อรักษาคุณภาพของสมุนไพรอื่น ๆ ได้ เนื่องจากการตั้งค่า PID เป็นการกำหนดค่าตัวแปรได้หลายค่าจึงจำเป็นต้องสุ่มวัดค่าที่สมุนไพรประเภทที่ต่างกัน ข้อดีของชุดควบคุมนี้คือ สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบของตัวเครื่องได้ภายใต้

เงื่อนไขกำลังเดียวกัน เครื่องอบพร้อมบดสมุนไพรควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างความสามารถในการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่รอบใบพัดของมอเตอร์ได้ 1,000 ระดับ การทำงานในการอบสมุนไพรต้องใช้ความละเอียดในการควบคุมเพราะสมุนไพรมีความชื้นที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา



References

- Bala, B. K., & Janjai, S. (2009). Solar drying of fruits, vegetables, spices, medicinal plants and fish: Developments and Potentials. *International Solar Food Processing Conference 2009* (pp. 1-24). Indore, India: Solar Cookers International. <https://bit.ly/3kmlF92>
- Fudholi, A., Ruslan, M. H., Othman, M., Saadatian, O., Zaharim, A., & Sopian, K. (2012). Investigation of Medical Herbs Moisture in Solar Drying. In P. Drahomíra , S. Jiri , P. Marie (Eds.). *Advances in Environment, Biotechnology and Biomedicine* (pp. 127-131). Texas, USA: Wseas LLC
- Riadh, M. H., Ahmad, S. A.B., Marhaban, M. H. & Soh, A. C. (2015). Infrared heating in food drying: An overview. *Drying Technology*, 33(3), 322–335. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.951124>
- Sharma, G. P., Verma, R. C., & Pathare, P. B. (2005). Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*, 67(3), 361-366. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.002>
- Somboon, N. (2015). *Improving work to reduce waste in the production process of rubber door seals* (Master's thesis). Nakhon Ratchasima Rajabhat University. Nakhon Ratchasima. (in Thai)
- Sopajarn, A., Niseng, S., Toyarn, T., & Ritplin, T. (2022). Investigation of piper betle herbal tea drying. *RMUTSV Research Journal*, 12(1), 171-179. (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute (TISI). (2019b). *Community Standards for instant stevia powder 1521*. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute (TISI). (in Thai)

