

การออกแบบและพัฒนาเครื่องคั่วกาแฟและโกโก้แบบลมร้อนควบคุมด้วย Node-RED และ PID

The Designed and Development of Fluid Bed Roasters for Coffee and Cocoa Controlled by Node-RED and PID

นงนุช ศรีเล็ก¹, จินดา ศิริตา² และปรานต์ เมฆอากาศ^{1*}

Nongnoot Srilek¹, Jinda Sirta² and Pran Makarkard^{1*}

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

¹ Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand.

² Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand.

*Corresponding author E-mail: pran.mak@crru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและออกแบบเครื่องคั่วกาแฟและโกโก้แบบลมร้อนควบคุมด้วย Node-RED และ PID โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย คือ ออกแบบระบบคั่วด้วยลมร้อนที่ใช้ลมร้อนเป็นตัวขับเคลื่อนเมล็ดกาแฟหรือโกโก้ภายในห้องคั่ว ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการสร้างสัญญาณด้วยเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัลให้มีเอาต์พุตเฉลี่ยคล้ายสัญญาณแอนะล็อก (Pulse-Width Modulation: PWM) จากไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณควบคุมระดับของเครื่องกำเนิดความร้อน ระบบการคั่วทำงานอัตโนมัติด้วย Node-RED พบว่า เครื่องคั่วกาแฟและโกโก้แบบลมร้อนใช้เวลาในการคั่วกาแฟที่น้อยกว่าแบบถังแนวนอนที่ 500 วินาที จาก 900-1,200 วินาที ใช้เวลาในการคั่วโกโก้ที่ 540 วินาที ซึ่งอยู่ในระยะเวลาปกติในการคั่วที่ 300-3,900 วินาที และสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องคั่วให้คงที่ในช่วง 120-190 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ของการคั่วกาแฟและโกโก้อยู่ที่ร้อยละ 1.04 และร้อยละ 1.01 ตามลำดับ

คำสำคัญ : เครื่องคั่วลมร้อน, ระบบควบคุมอัตโนมัติ, กาแฟ, โกโก้

Abstract

This research studies and designed fluid bed roasters for coffee and cocoa controlled by Node-RED and PID. The research process is to design a fluid bed roasting system that uses hot air to drive coffee beans or cocoa into the roasting room. Designed a temperature control system by generating a Pulse-Width Modulation (PWM) by microcontroller. The PWM signal is transferred to the heater for controlled temperature. Node-RED operates an automation roasting system. The result shows that the fluid bed roasters for coffee and cocoa using time for roasting coffee lower than drum roaster is 500 s from 900-1,200 s. The use time for roasting cocoa as 540 s is same general roasting cocoa as 300-3,900 s. And, the controller system controls steady temperatures as 120-190 °C. analyzed for mean absolute percentage error (MAE) of coffee and cocoa as 1.04% and 1.01% respectively.

Keywords: Fluid Bed Roasters, Automatic Controller System, Coffee, Cocoa

บทนำ

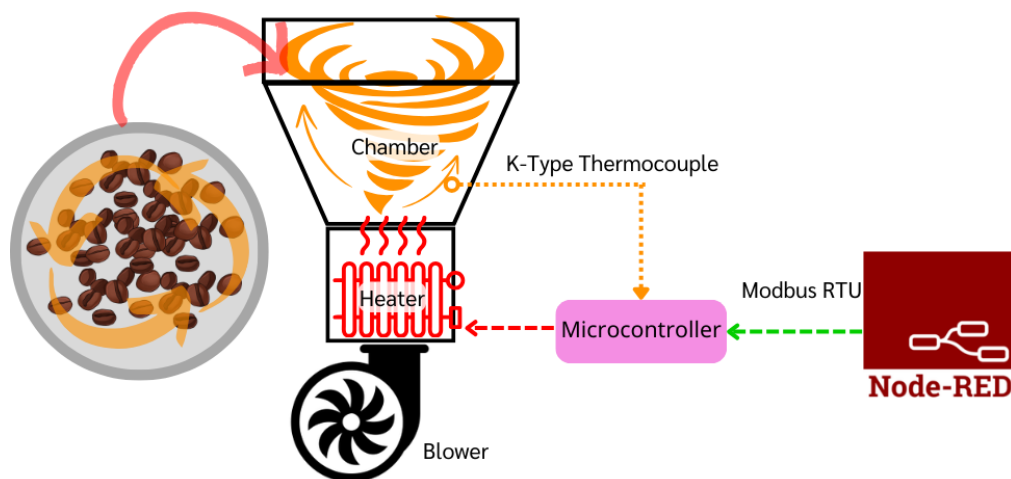
ปัจจุบันกาแฟและโกโก้ถือเป็นพืชเศรษฐกิจในภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก ที่มีการปลูกส่วนใหญ่ของประเทศไทยอยู่ในภาคเหนือคิดเป็นพื้นที่ 130,884 ไร่ สำหรับกาแฟ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) และ 3,957.59 ไร่ สำหรับโกโก้ (วลีพรรณ และคณะ, 2565) ทั้งนี้ในกระบวนการพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่กาแฟและโกโก้ที่อยู่ในกระบวนการคั่ว ที่ให้รสชาติเป็นไปตามความชอบของแต่ละกลุ่มตลาด แต่ในกระบวนการการคั่วกาแฟและโกโก้ที่มีการใช้ความร้อนในการอบที่คล้ายกัน แต่ต้องใช้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของแต่ละบุคคลที่เป็นตัวกำหนดระดับการคั่ว โดยกาแฟใช้เวลาในการคั่วที่ 900-1,200 วินาที อุณหภูมิที่ 170-270 องศาเซลเซียส (เสกสรรค์ และคณะ, 2563) โกโก้ใช้เวลาประมาณ 300-3,900 วินาที อุณหภูมิที่ 110-170 องศาเซลเซียส (Jinap, S.et.al, 1998) เพื่อควบคุมให้สีของเมล็ดต้องมีความสม่ำเสมอทั้งผิวและเนื้อข้างในโดยในปัจจุบันเครื่องคั่วกาแฟที่นิยมที่สุดคือเครื่องคั่วแบบถังหมุน (Drum Roasters) ในขนาดที่ใหญ่มาก หากทำในระดับชุมชนหรือครัวเรือนการคั่วกาแฟจะใช้หม้อหรือกระทะในการคั่ว และโกโก้ใช้เครื่องอบแบบลวดความร้อน ซึ่งในระบบที่เล็กในระดับชุมชนหรือครัวเรือนไม่มีระบบควบคุมคุณภาพ ที่มีความต้องการควบคุมคุณภาพในการผลิต จึงมีความจำเป็นที่จะใช้ระบบควบคุม และเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้ในการพัฒนาระบบควบคุมการคั่วกาแฟและโกโก้แบบลมร้อน ที่สามารถกำหนดระดับอุณหภูมิเวลาที่คั่วได้ด้วยระบบการควบคุมด้วยพีไอดี (Proportional Integral Derivative: PID) เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับระบบที่มีการตอบสนองที่ค่อนข้างช้าและใช้ได้กับระบบที่มีเสถียรภาพขณะที่ยังไม่มีระบบควบคุมเท่านั้น (สิทธิพงษ์ และ สมพร, 2014) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องคั่ว และใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมเพื่อลดความผิดพลาดในการคั่วด้วยโปรแกรมควอตโนมัติ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. การออกแบบเครื่องคั่วกาแฟและโกโก้แบบลมร้อน

หลักการทำงานของเครื่องคั่วกาแฟหรือโกโก้ที่มีหลักการที่คล้ายกัน คือ การให้ความร้อนแก่เมล็ดกาแฟหรือโกโก้ ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในการคั่วนั้นมีหลายรูปแบบ อาทิ แบบถังแนวนอน (Drum Roasters) แบบลมร้อน (Fluid-Bed Roasters) และแบบแท่นเจนต์ (Tangential Roasters) (Bolka M. & Emire S., 2020) ในการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องคั่วกาแฟและโกโก้เป็นแบบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมีหลักการทำงานของเครื่องคั่วลมร้อนจะใช้เครื่องกำเนิดความร้อน (Heater) เป็นตัวทำความร้อนและใช้ลมที่มีความเร็วสูงจากเครื่องเป่าลม (Blower) นำอากาศจากภายนอกเข้ามายังเครื่องกำเนิดความร้อน ทำให้ได้ลมที่มีอุณหภูมิที่สูงไปยังห้องคั่ว (Chamber) ทำให้ลมร้อนพัดและขับเคลื่อนเมล็ดกาแฟหรือโกโก้ให้หมุนวนภายในห้องคั่ว เพื่อให้เมล็ดกาแฟหรือโกโก้ได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ โดยภายในห้องคั่วจะทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-Type Thermocouple) ที่มีช่วงวัดอยู่ที่ -200 ถึง 1,260 องศาเซลเซียส ผ่านเข้ามายังโมดูลแปลงสัญญาณ (MAX6675) เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) อาดูอินเมก้า (Arduino Mega) อ่านค่าสัญญาณที่ได้ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรมโนดเรด (Node-RED) โดยโปรแกรม Node-RED จะทำหน้าที่รับค่าอุณหภูมิและส่งสัญญาณอุณหภูมิที่กำหนดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านช่องสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Port) โปรโตคอลมอดบัสอาร์ทียู (Modbus RTU) และไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการควบคุมเครื่องกำเนิดความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการแสดงในภาพที่ 1

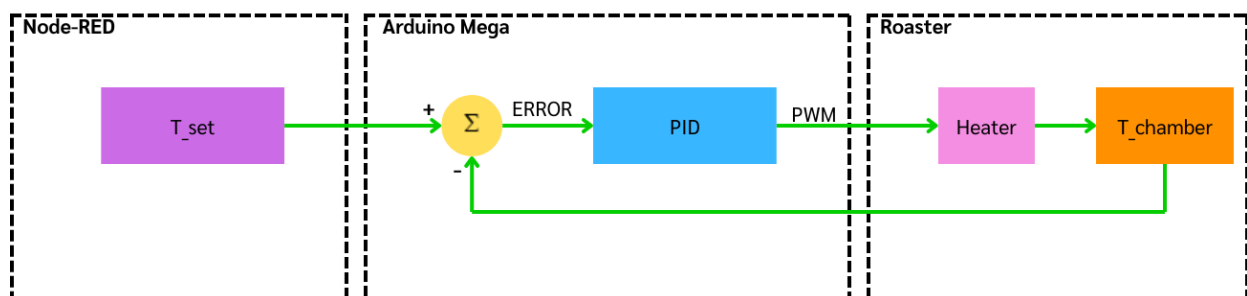


ภาพที่ 1 ผังการทำงานของเครื่องคั่วแบบลมร้อน และระบบควบคุม

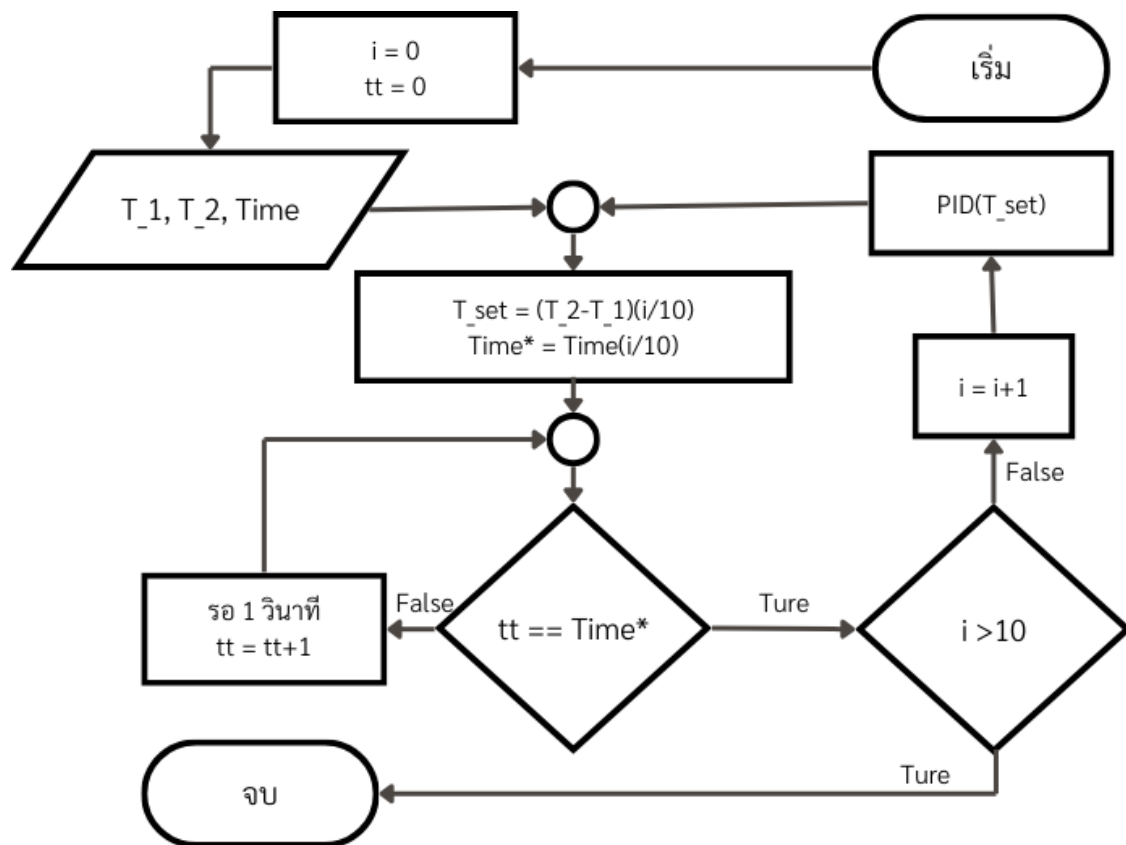
2. ระบบควบคุม

ใช้โปรแกรม Node-RED ในการกำหนดอุณหภูมิไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะฝังโปรแกรมการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative Control: PID Control) ที่นำค่าอุณหภูมิที่กำหนด (T_{set}) มาเทียบกับค่าอุณหภูมิภายในห้องคั่ว ($T_{chamber}$) จากนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างสัญญาณด้วยเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัลให้มีเอาต์พุตเฉลี่ยคล้ายสัญญาณแอนะล็อก (Pulse-Width Modulation: PWM) ไปยังสวิตซ์สถิตสารกึ่งตัวนำโซลิดสเตทรีเลย์ (Solid State Relay) ที่ใช้ควบคุมเครื่องกำเนิดความร้อนให้สามารถหรี่หรือเร่งอุณหภูมิของลมร้อนที่เข้าไปยังห้องคั่วดังแสดงในภาพที่ 2

โปรแกรม Node-RED นั้นสามารถทำการเพิ่มเทคนิคการคั่วโดยการเพิ่มระดับอุณหภูมิที่กำหนดจากอุณหภูมิจุดที่ 1 (T_1) ไปยังอุณหภูมิจุดที่ 2 (T_2) ได้ด้วยการแบ่งช่วงเวลา (Time) ที่กำหนดจากโปรแกรม Node-RED และช่วงต่างของอุณหภูมิ T_1 ไปยังอุณหภูมิ T_2 เป็น 10 ช่วง เพื่อลดช่วงเหวี่ยงในการทำอุณหภูมิของโปรแกรมควบคุมแบบ PID ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ระบบควบคุมเครื่องคั่วแบบลมร้อนโดยใช้ Node-RED และ PID



ภาพที่ 3 การกำหนดการไต่ระดับอุณหภูมิของ Node-RED

หลังจากที่ได้เครื่องคั่วแบบลมร้อนและระบบควบคุมอุณหภูมิด้วย Node-RED และ PID จากนั้นจะทำการทดสอบเครื่องคั่วด้วยการนำไปคั่วเมล็ดกาแฟและโกโก้ โดยการคั่วกาแฟนั้นจะใช้เทคนิคการคั่วแบบให้ความร้อนคงที่แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น (Pre-Heating Temperature and Continuous Temperature Increase from Low to High : PLHC) (ปรานต์ และคณะ, 2567) โดยทำการให้ความร้อนกับห้องคั่ว 170 องศาเซลเซียส ในตอนเริ่มต้น จากนั้นนำกาแฟสาร (Green Coffee) สายพันธุ์อาราบิก้าจากแหล่งดอยช้างจังหวัดเชียงรายเติมเข้าไปยังห้องคั่ว ใช้เวลา 180 วินาที ในการสะสมอุณหภูมิของกาแฟสารที่อยู่ภายในห้องคั่ว เมื่อครบกำหนดเวลา Node-RED จะทำการเพิ่มอุณหภูมิแบบไต่ระดับขึ้นไปเป็น 190 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 270 วินาที จากนั้นรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ที่ 190 องศาเซลเซียส เวลา 50 วินาที

การทดสอบการคั่วเมล็ดโกโก้จะใช้เทคนิคการเพิ่มอุณหภูมิจาก 120-140 องศาเซลเซียส (Peña-Correa et.al, 2022) ในช่วงเวลา 540 วินาที โดยการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องคั่วที่ 120 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมเมล็ดโกโก้แห้งเข้าไปยังห้องคั่วคงที่ที่ 180 วินาที จากนั้นเพิ่มระดับอุณหภูมิเป็น 130 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 300 วินาที และไปยังอุณหภูมิสุดท้ายที่ 140 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 60 วินาที แล้วลดอุณหภูมิของเมล็ดโกโก้ที่เป็นโกโก้ nibs (Cocoa Nibs) โดยการทดลองทั้งหมดได้ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำผลมาเฉลี่ยเพื่อวิเคราะห์ผลในขั้นตอนถัดไป

3. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสมบูรณ์ของระบบควบคุม

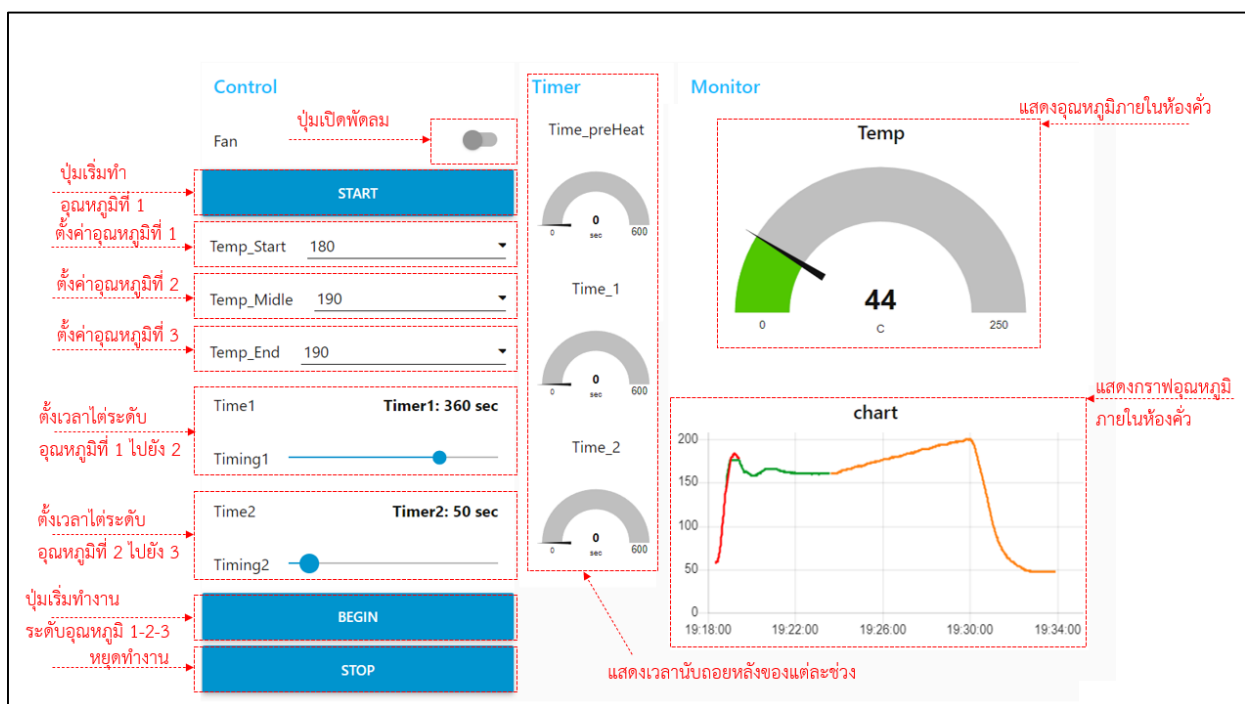
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการคั่วจะแบ่งการวิเคราะห์ในส่วนของกาแฟ และโกโก้ โดยการบันทึกผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเทียบค่าระหว่างอุณหภูมิในห้องคั่วกับอุณหภูมิที่กำหนด เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ดังนี้

$$MAPE = \sum_{k=0}^n \left| \frac{T_{setk} - T_{chamberk}}{T_{setk}} \right|$$

โดย T_{setk} คือ อุณหภูมิที่ตั้งค่า ณ เหตุการณ์นั้น
 $T_{chamberk}$ คือ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในห้องคั่ว ณ เหตุการณ์นั้น
 n คือ จำนวนเหตุการณ์ที่สนใจ
 k คือ เลขตำแหน่งเหตุการณ์นั้น

ผลการวิจัย

ผลการออกแบบและศึกษาเครื่องคั่วกาแฟและโกโก้แบบลมร้อนควบคุมด้วย Node-RED และ PID โดยใช้ Node-RED ตั้งค่าอุณหภูมิและเวลาดังแสดงในภาพที่ 4



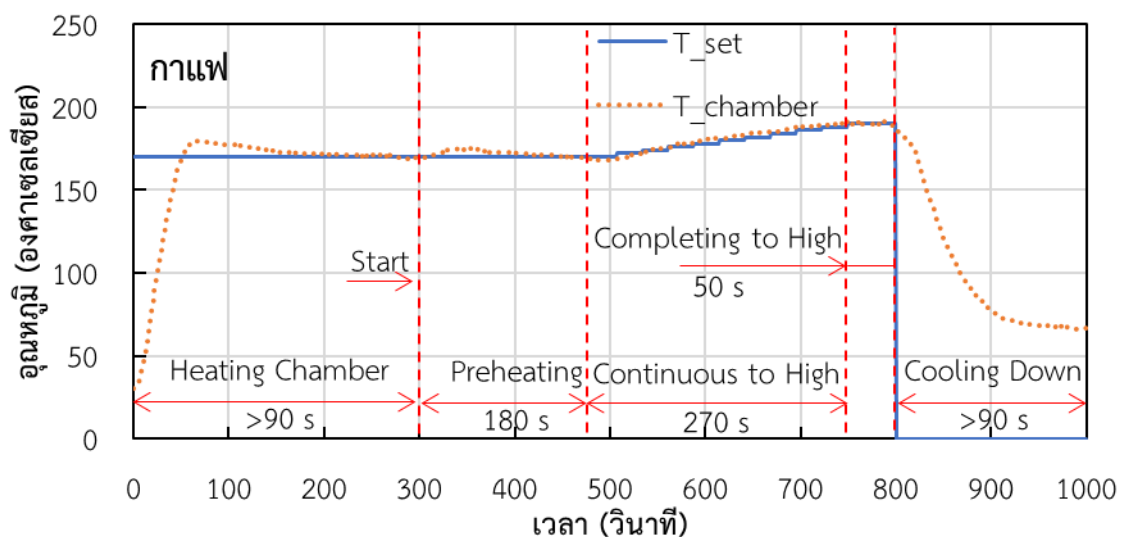
ภาพที่ 4 จอแสดงผลโปรแกรม Node-RED

จากนั้นส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมอุณหภูมิด้วยการสร้างสัญญาณ PWM จากเทคนิคการควบคุมแบบ PID ในการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องคั่วจากเครื่องกำเนิดความร้อน แล้วทำการทดลองการคั่วกาแฟและโกโก้ ผลที่ได้พบว่า การทดสอบการคั่วกาแฟ กาแฟสารในช่วงเริ่มต้นมีสีเขียวน้ำตาลอ่อนและมีเปลือกเยื่อหุ้มสาร (Silver Skin) ขนาดความกว้างเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 7 - 9 มิลลิเมตร เมื่อทำการคั่วแล้วเมล็ดมีสีน้ำตาลอ่อนปนเข้ม เปลือกเยื่อหุ้มสารมีการหลุดออกในระหว่างการคั่ว เมล็ดมีการขยายตัวที่ 9-12 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 5 ผลของระบบการคั่วกาแฟที่ใช้เทคนิคการคั่วแบบให้ความร้อนคงที่แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น การให้ความร้อนกับห้องคั่ว ($T_{chamber}$) 170 องศาเซลเซียส ในตอนเริ่มต้นนั้นใช้เวลามากกว่า 90 วินาที เนื่องจากระบบ PID เมื่อทำการสะสมความร้อนในช่วงให้ความร้อนห้องคั่วจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดในช่วงเริ่มจะมีเขี่ยขึ้นแล้วจึงลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งค่า (T_{set}) จากนั้นนำกาแฟสารเติมเข้าไปยังห้องคั่วในระยะเวลา 180 วินาที ในช่วงการเพิ่มความร้อน (Preheating) $T_{chamber}$ มีการลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิภายในกาแฟสารต่ำกว่า $T_{chamber}$

เกิดการสะสมอุณหภูมิของกาแฟที่อยู่ภายในห้องคั่ว ในช่วงการเพิ่มอุณหภูมิแบบไต่ระดับ (Continuous to High) ขึ้นไปเป็น 190 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 270 วินาที $T_{chamber}$ มีการเพิ่มระดับอุณหภูมิตาม T_{set} จากนั้นคงที่ที่ 50 วินาที คาดว่าเป็นระดับการคั่วระดับกลางซึ่งใช้เวลาในการคั่วที่น้อยกว่าการคั่วด้วยเครื่องคั่วแบบถังหมุน (Drum Roaster) ที่ใช้เวลาคั่วที่ 560 วินาที (กิตติศักดิ์ และคณะ, 2563) โดยความคลาดเคลื่อนของ $T_{chamber}$ จาก T_{set} ในกระบวนการคั่วที่ไม่เน้นรวมช่วงให้ความร้อนห้องคั่วและช่วงลดอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ (Cooling Down) โดยมีค่า MAPE ของอุณหภูมิภายในห้องคั่วร้อยละ 1.04 ดังแสดงในภาพที่ 6



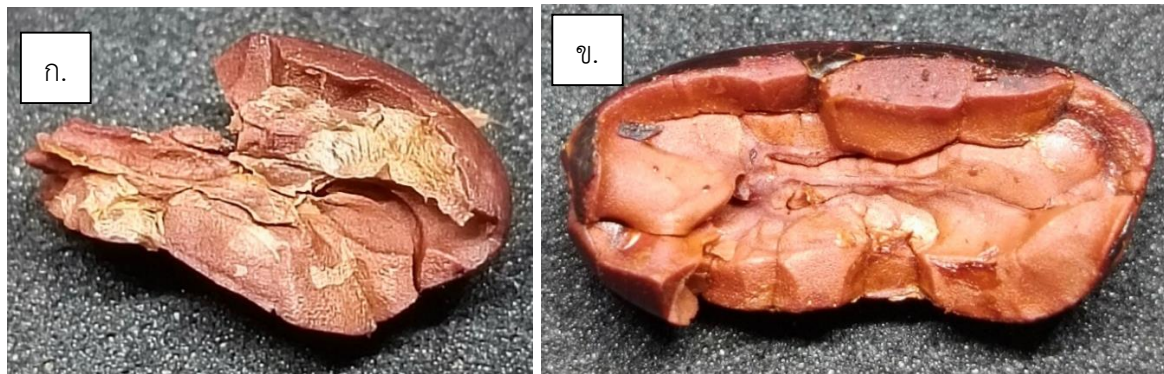
ภาพที่ 5 กาแฟสาร (ก.) เมล็ดกาแฟคั่ว (ข.)



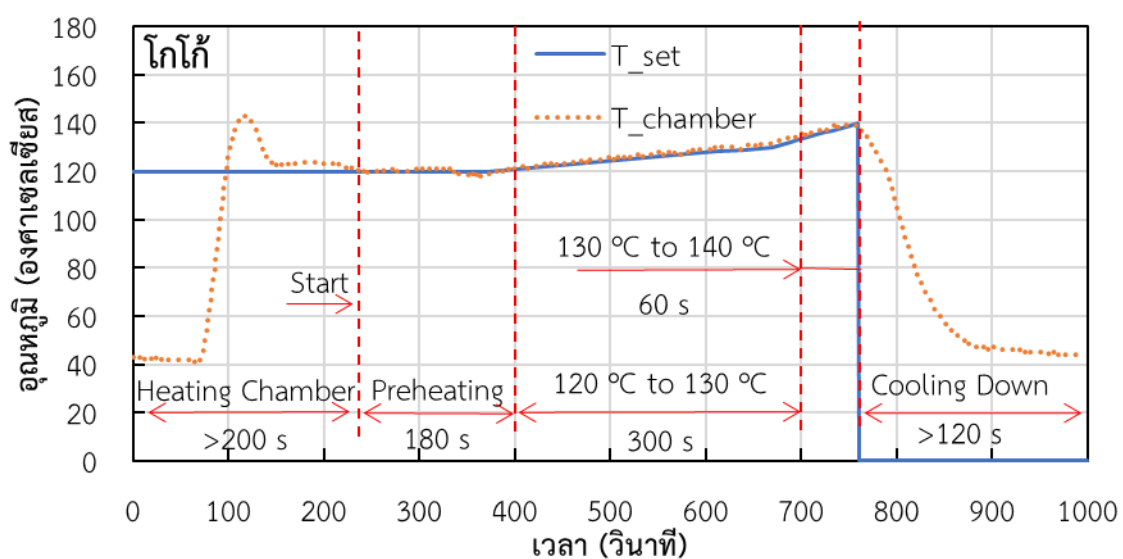
ภาพที่ 6 ผลการควบคุมการคั่วกาแฟด้วย Node-RED และ PID

การทดสอบการคั่วโกโก้ เมล็ดโกโก้แห้งมีสีน้ำตาลปนม่วงมีความเหนียวและเปลือกติดอยู่กับเมล็ดภายในแน่นเกาะออกยาก เมื่อทำการคั่วแล้วเมล็ดมีสีน้ำตาลอ่อนและพองตัว เปลือกไม่ติดเมล็ดเกาะง่าย เนื้อร่วนไม่เหนียว ดังแสดงในภาพที่ 7 ผลของระบบการคั่วโกโก้ $T_{chamber}$ ในช่วงแรกจะอยู่ที่ 120 องศาเซลเซียส ในตอนเริ่มต้นนั้นใช้เวลามากกว่า 200 วินาที เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำทำให้เกิดการเหวี่ยงขึ้นไ้อย่างมาก แล้วใช้เวลาค่อนข้างนานในการปรับให้อุณหภูมิลงมาถึง T_{set} ในช่วงให้ความร้อนห้องคั่ว (Heating Chamber) จากนั้นนำเมล็ดโกโก้

เดิมเข้าไปยังห้องคั่วในช่วงการเพิ่มความร้อนใช้เวลา 180 วินาที $T_{chamber}$ มีการลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิภายในเมล็ดโกโก้ต่ำกว่า $T_{chamber}$ เช่นเดียวกับกาแฟและเกิดการสะสมอุณหภูมิของเมล็ดโกโก้ที่อยู่ในห้องคั่ว ในช่วงการเพิ่มอุณหภูมิแบบไต่ระดับ (Continuous to High) ขึ้นไปเป็น 130 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 300 วินาที $T_{chamber}$ มีการเพิ่มระดับอุณหภูมิตาม T_{set} จากนั้นไต่ระดับขึ้นไปยัง 190 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 60 วินาที โดยใช้เวลาคั่วอยู่ในช่วงปกติที่ 300-3,900 (Jinap, S.et.al, 1998) โดยความคลาดเคลื่อนของ $T_{chamber}$ จาก T_{set} ในกระบวนการคั่วที่ไม่นับรวมช่วงให้ความร้อนห้องคั่วและช่วงลดอุณหภูมิเมล็ดโกโก้ โดยค่า MAPE ของอุณหภูมิภายในห้องคั่วร้อยละ 1.01 ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 7 เมล็ดโกโก้ที่ยังไม่ผ่านการคั่ว (ก.) เมล็ดโกโก้ที่คั่วแล้ว (ข.)



ภาพที่ 8 ผลการควบคุมการคั่วโกโก้ด้วย Node-RED และ PID

วิจารณ์ผล

ผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า เครื่องคั่วแบบลมร้อนสามารถคั่วกาแฟและโกโก้ได้ อุณหภูมิในการคั่วกาแฟใช้ 160-190 องศาเซลเซียส ในเวลา 500 วินาที ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Schenker et al (2002) ที่ใช้การคั่วแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 150-260 องศาเซลเซียส ในเวลา 160-620 วินาที แตกต่างจากเครื่องคั่วแบบถ้งแนวนอนที่ใช้อุณหภูมิที่ 170-270 องศาเซลเซียส 900-1,200 วินาที (เสกสรรค์ และคณะ, 2563)

โกโก้ใช้ อุณหภูมิที่ 120-140 องศาเซลเซียส เวลาที่ 540 วินาที ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Jinap et.al (1998) ที่ใช้อุณหภูมิประมาณ อุณหภูมิที่ 110–170 องศาเซลเซียส 300-3,900 วินาที (Jinap, S.et.al, 1998) หากใช้เทคนิคคั่วเร็วจะอยู่ที่ 180-1,800 วินาที (Peña-Correa et.al, 2022) เทียบกับการคั่วโกโก้ปกติที่ใช้ อุณหภูมิในการคั่วที่ 80-160 องศาเซลเซียส ในเวลา 1,800-3,600 วินาที (Rocha et.al, 2017)

อีกทั้งอัตราการให้ความร้อนของกาแฟและโกโก้ก็มีผลต่อการพัฒนากลิ่นและรสชาติ ดังนั้นหากเป็นกลุ่ม วิสาหกิจชุมชนที่ทำในปริมาณมาก และต้องการระบบควบคุมเครื่องคั่วกาแฟและโกโก้แบบลมร้อนด้วย Node-RED และ PID สามารถนำมาใช้ส่งเสริมหรือต่อยอดในกระบวนการได้ รวมไปถึงการพัฒนากระบวนการคั่วให้เหมาะสมตามแหล่งปลูกของกาแฟและโกโก้ได้ในอนาคตต่อไป

สรุปผล

เครื่องคั่วกาแฟและโกโก้แบบลมร้อนควบคุมด้วย Node-RED และ PID เป็นระบบที่สามารถลดความผิดพลาดในการควบคุมอุณหภูมิ และสามารถเพิ่มเทคนิคการคั่วกาแฟและโกโก้ในแบบเฉพาะด้วยการได้ระดับของ อุณหภูมิ โดยระบบการทำงานที่ไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้งานในระดับชุมชนได้ โดยการควบคุมอุณหภูมิ ด้วยการปรับระดับความร้อนที่เครื่องกำเนิดความร้อน และใช้ Node-RED ในการควบคุมได้อย่างอัตโนมัติ ระยะเวลาในการคั่วจากการคั่วแบบลมร้อนใช้เวลาน้อยกว่าระบบปกติซึ่งสามารถลดระยะเวลาการทำงานลงได้ แต่ทั้งนี้ยังไม่มีมีการตรวจสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านสารอาหารและสารประกอบต่าง ๆ ของกาแฟ และ โกโก้ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการศึกษาครั้งถัดไป โดยระบบควบคุมมีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาด สัมบูรณ์ของการคั่วกาแฟและโกโก้ที่ร้อยละ 1.04 และ 1.01 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กาแฟ, โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (<https://mis-app.oae.go.th/product/กาแฟ>). CC BY-NC-ND.
- กิตติศักดิ์ วิธินันท์กิตต์, สุชน ทรัพย์สิงห์, เอกภูมิ บุญธรรม, และชัยยงค์ เตชะไพโรจน์. (2563). ผลของระดับการ คั่วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่วโดยใช้เครื่องคั่วสเปาเตดเบด. Journal of Science & Technology MSU, 39(5).
- ปรานต์ เมฆอากาศ, สุกัญญา สืบแสน, กันตา แสงวิจิตร, และนนุช ศรีเล็ก. (2567). ระบบควบคุมเครื่องคั่วกาแฟ ลมร้อนและตรวจวัดระดับการคั่วกาแฟด้วยเทคนิคการควบคุมพีไอดี และแมชชีนเลิร์นนิง. ใน เสมอ ถา น้อย (บ.ก.), Frontier Area-Based Research for Sustainable Development Goals, รายงานสืบ เนื่องจากการประชุมวิชาการประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 13 (น.874-880). มหาวิทยาลัย พะเยา.
- วลีพรรณ รกิติกุล, จินดา ศิริตา, ปิยดา ยศสุนทร, ธนายุทธ ช่างเรือนงาม, และสุรัสวดี นางแล. (2565). วิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีเพื่อหาอัตลักษณ์ของโกโก้ในจังหวัดเชียงราย. วารสาร มรภ.กพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี, 1(1). 20-34.

- สิทธิพงษ์ เพ็งประเดิม และ สมพร เรืองสินชัยวานิช. (2014). การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องทำความเย็นด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี. *Naresuan University Engineering Journal*, 7(1), 17–22. <https://doi.org/10.14456/huej.2012.4>
- เสกสรรค์ วินยงค์กุล, กมลพรรณ จันทรา, และนันทชัย เต๋จาดิบ. (2020). การวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟโดยใช้การประมวลผลภาพแบบฮิสโทแกรมสำหรับการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 22(3), 10-20.
- Bolka, M., & Emire, S. (2020). Effects of coffee roasting technologies on cup quality and bioactive compounds of specialty coffee beans. *Food science & nutrition*, 8(11), 6120-6130.
- Jinap, S., Rosli, W. W., Russly, A. R., & Nordin, L. M. (1998). Effect of roasting time and temperature on volatile component profiles during nib roasting of cocoa beans (*Theobroma cacao*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(4), 441-448.
- Peña-Correa, R. F., Mogol, B. A., van Boekel, M. A., & Fogliano, V. (2022). Fluidized bed roasting of cocoa nibs speeds up processing and favors the formation of pyrazines. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103062.
- Rocha, I. S., SANTANA, L. R. R. D., Soares, S. E., & Bispo, E. D. S. (2017). Effect of the roasting temperature and time of cocoa beans on the sensory characteristics and acceptability of chocolate. *Food Science and Technology*, 37, 522-530.
- Schenker, S., Heinemann, C., Huber, M., Pompizzi, R., Perren, R., & Escher, R. (2002). Impact of roasting conditions on the formation of aroma compounds in coffee beans. *Journal of food science*, 67(1), 60-66.