การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 48
The 48th Electrical Engineering Conference (EECON-48)
วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2568 ณ โรงแรมฟูราม่า จังหวัดเชียงใหม่

เครื่องคั่วและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว

Coffee Roasting and Quality Inspection Machine

ทรงพล รอดทอง[1] บัญชา บูรพัฒนศิริ[1] สุทัสสะ มณีรัตน์[2] ศุภชัย ไพบูลย์[3] และ พิศิษฏ์ โภคารัตน์กุล[4]*

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและการจัดการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต songpol.rod@kbu.ac.th, bancha.bur@kbu.ac.th
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต sutassa.man@kbu.ac.th
[3]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี supachai.pha@bkkthon.ac.th
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและการจัดการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต pisit.pho@kbu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องคั่วและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว ซึ่งประกอบด้วยตู้คั่วเมล็ดกาแฟและกล้องคีย์เอนซ์สำหรับตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว ทั้งสองส่วนควบคุมด้วยตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ สามารถควบคุมผ่านหน้าจอส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร มีเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิภายในตัคั่วไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุณหภูมิการคั่วเมล็ดกาแฟ ในการทดสอบการคั่วเมล็ดกาแฟปริมาณ 250 กรัม อุณหภูมิ 180°C - 250°C ระยะเวลาประมาณ 15 -20 นาที ต่อการคั่ว 1 ครั้ง พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ระดับคั่วอ่อนได้ 180°C ที่ระยะเวลา 15 นาที ที่ระดับคั่วกลางได้ 190°C และระดับคั่วเข้มที่ 200°C ได้ ในการคั่วแต่ละระยะจะสุ่มนำเมล็ดกาแฟ 15 เมล็ดไปตรวจสอบสีการคั่วโดยใช้กล้องคีย์เอ็นซ์ความละเอียดสูง 5 ล้านพิกเซล ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรโดยใช้ตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ พร้อมอุปกรณ์แสดงผลที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถโต้ตอบแลกเปลี่ยนข้อมูลกับเครื่องจักร มีดิจิตอลเลเซอร์เซนเซอร์แบบซีมอสความแม่นยำสูงสามารถตรวจจับตำแหน่งได้แม่นยำ อุปกรณ์ดังกล่าวมีการสื่อสารแบบเครือข่าย Ethernet/IP® เพื่อให้การรับส่งข้อมูลด้วยความรวดเร็วและมีเสถียรภาพสูง จากผลการทดลองตรวจสอบคุณภาพสีการคั่วของเมล็ดกาแฟคั่วจำนวน 45 เมล็ดในแต่ละระยะเวลาการคั่วได้ถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เมล็ดกาแฟ สีการคั่ว กล้องคีย์เอ็นซ์ ตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ หน้าจอส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร

Abstract

This research develops a coffee roasting and quality inspection machine, which consists of a coffee bean roaster and a roasted coffee bean quality inspection machine. Both parts are controlled by a programmable logic controller, which can be controlled through a human-machine interface screen. There is a temperature sensor inside the electric roasting cabinet to control the coffee bean roasting temperature. In the test of roasting 250 grams of coffee beans at a temperature of 180°C - 250°C for approximately 15-20 minutes per roasting, it was found that the temperature could be controlled at a light roast level of 180°C for 15 minutes, at a medium roast level of 190°C and at a dark roast level of 200°C. During each roasting cycle, the roasted coffee beans are randomly selected and inspected for a roasted coffee bean color using a 5-megapixel Keyence camera. The machine is operated using a programmable logic controller with a display device that allows users to interact and exchange information with the machine. It has a high-precision CMOS digital laser sensor that can detect the position accurately. The device features Ethernet/IP® network communication to provide high-speed and stable data transmission. The experimental results, the quality of the roasted color of 45 roasted coffee beans at each roasting time was 100% accurate.

Keywords: roasted coffee bean, roasted color, programmable logic controller, human-machine interface screen

1. บทนำ

การคั่วกาแฟเป็นศาสตร์และศิลปะแขนงหนึ่งที่ผู้หลงไหลในกาแฟให้ความสนใจ นอกจากจะได้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพดี ๆแล้ว ผู้ที่มีประสบการณ์หรือฝึกอย่างชำนาญเท่านั้นจึงจะสร้างสรรค์กาแฟคั่วที่มีคุณภาพออกมาตอบโจทย์กับตลาดกาแฟ ในปัจจุบันการดื่มกาแฟสดเป็นส่วนหนึ่งของในชีวิตประจำวันของผู้ที่นิยมดื่มกาแฟ เมื่อได้เมล็ดกาแฟดิบมาต้องนำมาคั่วด้วยวิธีการหลากหลาย เช่น การคั่วเองโดยการใช้กระทะหรือการคั่วโดยใช้เครื่องอัตโนมัติซึ่งมีราคาแพงในทางอุตสาหกรรมการผลิต การเลือกคั่วเมล็ดกาแฟเองจากกระทะบนเตาแก๊สจะพบเจอปัญหาในการคั่ว เช่น ความเมื่อยล้าจากการออกแรงคั่วอยู่ตลอดเวลา การควบคุมอุณหภูมิจากเตาแก๊สโดยตรงไม่ได้ และต้องใช้สายตาในการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ ทำให้มีผลกระทบในการคั่วที่ไม่แน่นอน ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่วแบบอัตโนมัติที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ระยะเวลาและสีการคั่ว โดยใช้ตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ เพื่อควบคุมเวลาในการคั่วที่แน่นอน ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้ได้เมล็ด

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

กาแฟคั่วที่มีคุณภาพสม่ำเสมอทุกครั้งตามระดับการคั่วโดยตรวจสอบจากสีของเมล็ดกาแฟคั่ว ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

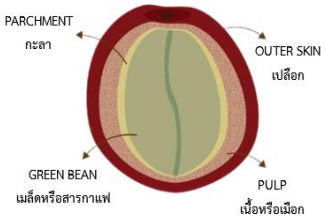
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวการคั่วกาแฟ

2.1 กาแฟ

กาแฟเป็นพืชพื้นเมืองมีแหล่งกำเนิดมาจากประเทศอาบีซีเนียและกลุ่มประเทศอาหรับในตะวันออกกลาง กาแฟเริ่มแพร่หลายเข้าสู่ประเทศอิตาลี เนเธอร์แลนด์ เยอรมัน ฝรั่งเศส ชาวอาระเบียเรียกพืชนี้ว่า คะวาฮ์ (Kawan) หรือ คะเวฮ์ (Koffee) ในอังกฤษเรียกว่า คอฟฟี (Coffee) คนไทยเรียกว่ากาแฟ กาแฟเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลก ปลูกกันแพร่หลายในเชิงธุรกิจมีเพียงสองสายพันธ์ คือ อาราบิก้า และโรบัสต้า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Coffee Canephora Pierre

รูปที่ 1 ผลกาแฟ [1]

2.1.1 ผลกาแฟมีขนาดประมาณอุ่นผลเล็ก ๆซึ่งผลของกาแฟนั้นจะมีสีเขียวและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้นเมื่อโตขึ้น มีทั้งสีแดง สีส้ม และสีเหลือง ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ผลกาแฟมีส่วนประกอบหลักดังในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของผลกาแฟ [1]

2.1.2 กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟ การทำให้ผลกาแฟกลายเป็นเมล็ดกาแฟดิบพร้อมสำหรับการนำไปคั่ว และขงกาแฟต่อไปคือการผลิตหรือการแปรรูปเมล็ดกาแฟ สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้ กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟแบบเปียก กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟแบบแห้งและกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟแบบกึ่งเปียกกึ่งแห้ง ซึ่งแต่ละกรรมวิธีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน รวมถึงคุณภาพของผลผลิตก็มีความแตกต่างกันด้วย

2.2 การคั่วเมล็ดกาแฟ

การนำเมล็ดกาแฟดิบไปทำการคั่วผ่านความร้อนที่ระดับต่าง ๆตามเวลา เมล็ดกาแฟดิบมีสีเขียวและมีกลิ่น Green Bean เมื่อนำเมล็ดกาแฟดิบมาผ่านความร้อนโดยใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที และอุณหภูมิ 150-250 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเมล็ดกาแฟ โดยเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลและมีกลิ่นหอมให้รสชาติแตกต่างกันตามระดับของการคั่ว การคั่วแบ่งแบบสากลได้ 3 ระดับคือ คั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม ดังลักษณะสีในรูปที่ 3 และระดับการคั่วในตารางที่ 1

รูปที่ 3 เมล็ดกาแฟคั่ว 3 ระดับ [2]

ตารางที่ 1 ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ [2]

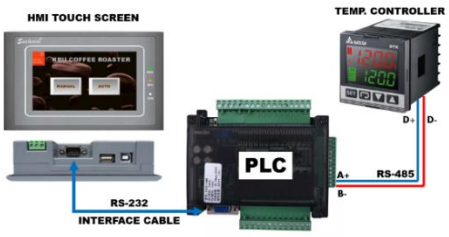
ค่าสี (Agtron)		ระดับคั่วย่อย	ระดับคั่วสากล	อุณหภูมิจบการคั่วโดยประมาณ
	95	Extremely Light	คั่วอ่อน Light Roast	196-198 °C
	90	Super Light		198-200 °C
	85	Very Light		200-202 °C
	80	Light		202-203 °C
	75	Moderately Light		204-205 °C
	70	Cinnamon Light	คั่วกลาง Medium Roast	205-206 °C
	65	Medium Light (American)		206-207 °C
	60	Medium (City)		207-209 °C
	55	Medium (Full City)		209-212 °C
	50	Medium Dark (Vienna)	คั่วเข้ม Dark Roast	213-215 °C
	45	Moderately Dark (French)		215-218 °C
	40	Dark (Italian)		218-222 °C

3. เครื่องคั่วและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว

3.1 การออกแบบเครื่องคั่วและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว

3.1.1 การออกแบบโครงสร้าง

การออกแบบจะแบ่งโครงสร้างหลักออกเป็น 2 ส่วน คือ ตู้คั่ว และระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว ตู้คั่วเมล็ดกาแฟประกอบด้วยส่วนควบคุมและส่วนทำความร้อน โดยแยกอุปกรณ์ควบคุมออกจากตำแหน่งที่มีความร้อนสูง และมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านพอร์ตสื่อสาร RS-232 และ RS-485 ดังรูปที่ 4

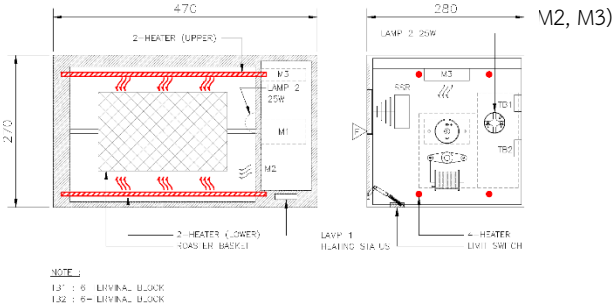


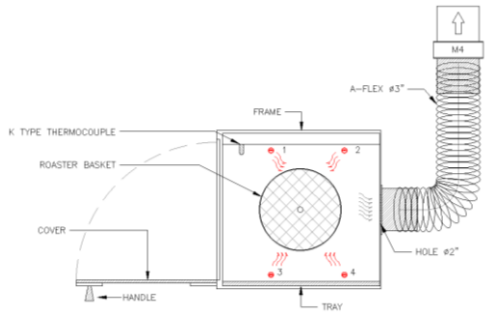
รูปที่ 4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของตู้คั่วเมล็ดกาแฟ

3.1.2 การออกแบบตู้คั่ว

ตู้คั่วมีขนาดกว้าง 47 cm. สูง 27 cm. ลึก 28 cm. ประกอบด้วยโซลิดสเตตรีเลย์ต่อกับฮีตเตอร์ทำความร้อน 4 ตัว กำลังไฟฟ้า

1,500 วัตต์ หลอดไฟ (LAMP1) หลอดไฟทนความร้อน 25 วัตต์ (LAMP2) มอเตอร์ 24 VDC สำหรับหมุนตะกร้าคั่ว (M1) ขนาดกว้าง 23 cm. M2, M3)

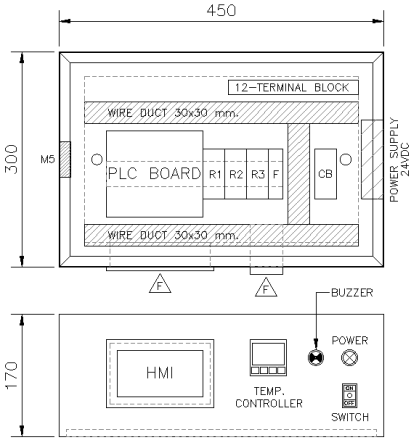




รูปที่ 5 แบบตู้คั่วเมล็ดกาแฟและท่อระบายความร้อน

- **3.1.3 การออกแบบระบบควบคุม**

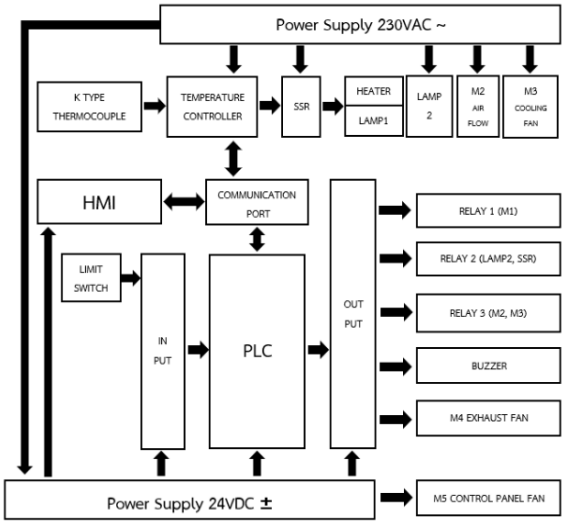
ระบบควบคุมมีขนาด กว้าง 45 cm. สูง 17 cm. ลึก 30 cm. ประกอบด้วย ตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ หน้าจอส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ PID เซอร์กิตเบรกเกอร์ และรีเรย์รับแรงดันอินพุต 230 V_{AC} สายไฟ 1C x 2.5Sq.mm. ดังรูปที่ 6



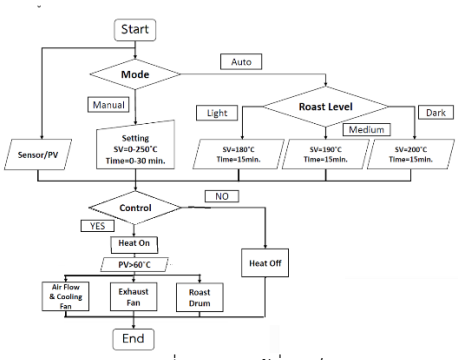
รูปที่ 6 การออกแบบระบบควบคุม

3.1.4 การทำงานตู้คั่วเมล็ดกาแฟ

พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานบนตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ เพื่อควบคุมระบบการทำงานของตู้คั่วเมล็ดกาแฟ สั่งการผ่านหน้าจอส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร และใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า 4 ตัวเป็นตัวให้ความร้อนกำลังไฟฟ้า 1,500 Watt ในกระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟ ภายในจะมีตะกร้าคั่วทรงกระบอกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ 24 V_{DC} และพัดลมระบายความร้อนหลังจากสิ้นสุดกระบวนการคั่ว ตู้คั่วเมล็ดกาแฟใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 230 V_{AC} มีขั้นตอนการทำงานและการออกแบบดังแผนภาพในรูปที่ 7 และผังงานในรูปที่ 8



รูปที่ 7 แผนภาพการทำงานของตู้คั่วเมล็ดกาแฟ



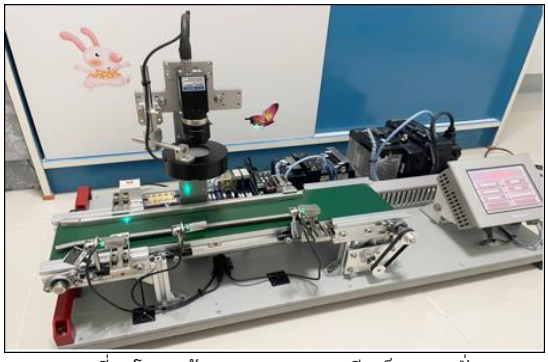
รูปที่ 8 ผังงานตู้คั่วเมล็ดกาแฟ

3.2 ระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว

3.2.1 โครงสร้างระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว

การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่วโดยตรวจสอบสีของเมล็ดกาแฟคั่วที่ระดับการคั่วต่าง ๆ ใช้กล้องคีย์เอ็นซ์ความละเอียดสูง 5 ล้านพิกเซล [3-6] เป็นอุปกรณ์ในการตรวจสอบสีเมล็ดกาแฟคั่ว เพื่อควบคุมคุณภาพการคั่วให้ได้ตามมาตรฐาน เพิ่มประสิทธิภาพและประหยัดเวลาในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพการคั่วเมล็ดกาแฟได้ มีโครงสร้างประกอบด้วย ชุดรางฐานสำหรับอุปกรณ์อื่น ๆ เป็นชุดรางอลูมิเนียม ติดตั้งเบรกเกอร์เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานติดตั้งการเชื่อมต่อกับระบบหลักโดยการใช้สาย Ethernet/IP [7] ทำให้สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ในระบบ

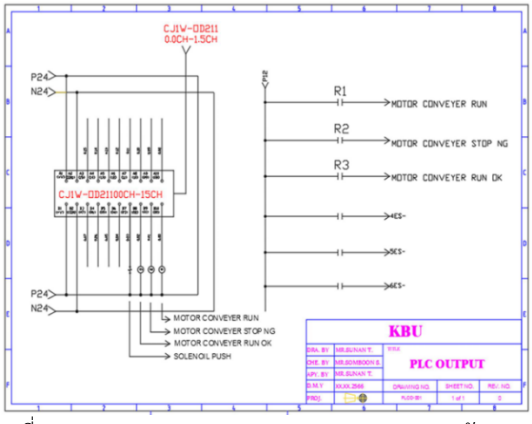
มี Sensor LR-X100 Keyence ที่ใช้ในการตรวจจับ เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสอบและตรวจจับสถานะ ควบคุมการตรวจสอบสีการคั่วโดยตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ ติดตั้ง Vision camera Keyence CV-X170 ในตำแหน่งที่เหมาะสมและตั้งค่าการทำงาน จัดวางสายพานลำเรียงเพื่อขนส่งเมล็ดกาแฟคั่วได้อย่างรวดเร็วและเป็นระเบียบ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 โครงสร้างระบบตรวจสอบสีเมล็ดกาแฟคั่ว

3.2.2 การออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว

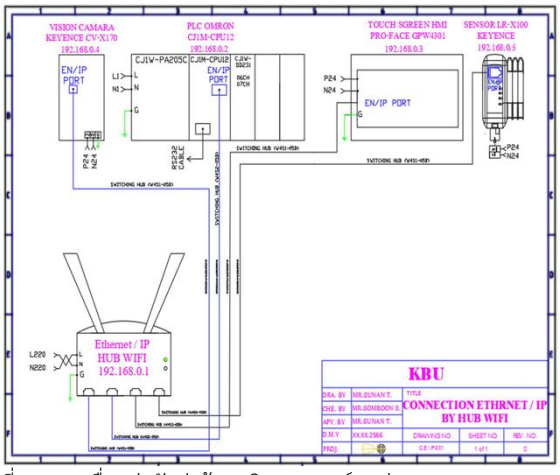
งานวิจัยนี้ออกแบบวงจรควบคุมและพัฒนาโปรแกรมประมวลผลข้อมูลบนตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ Omron CJ1M-CPU12 โดยมีหน้าที่หลักในการควบคุม conveyer motor 24 V_{DC} กับ Push Solenoid ดังรูปที่ 10 การรับส่งข้อมูลอินพุต/เอาท์พุตต่าง ๆกระทำผ่าน Port Ethernet /IP เพื่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่น ๆในระบบ ดังรูปที่ 11



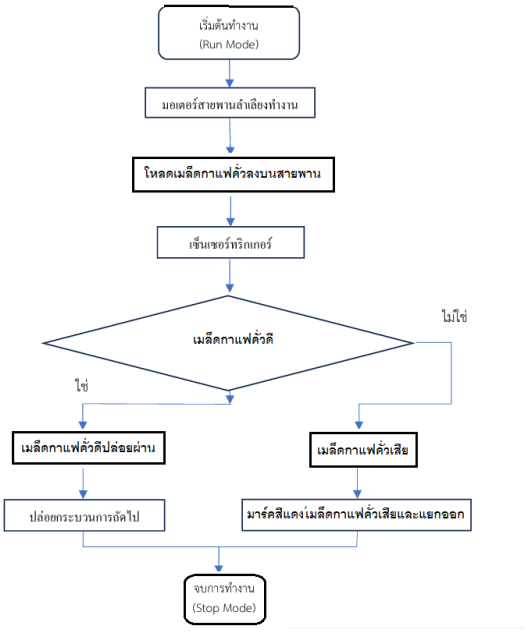
รูปที่ 10 การออกแบบระบบควบคุม conveyer motor กับ Push Solenoid

3.2.3 การทำงานของระบบตรวจสอบสีเมล็ดกาแฟคั่ว

นำเมล็ดกาแฟคั่วแบบต่าง ๆที่ได้รับตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญมาฝึกสอนกับระบบกล้องก่อน การสั่งงานสั่งผ่านหน้าจอส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร (Touch Screen HMI Pro-face Gpw4301) มอเตอร์สายพานลำเลียงทำงานและโหลดเมล็ดกาแฟคั่วบนสายพานลำเลียง เซ็นเซอร์ทริกเกอร์จับเมล็ดกาแฟ เมื่อถึงกล้องตรวจจับสีของเมล็ดกาแฟคั่ว กล้องจะประมวลผลลักษณะสีของเมล็ดกาแฟคั่ว หากพบเมล็ดกาแฟคั่วที่สีไม่ได้ตามมาตรฐานกล้องจะมาร์คสีแดงบนเมล็ดกาแฟคั่วเพื่อกำหนดว่าเป็นเมล็ดกาแฟคั่วที่ไม่ได้คุณภาพและแยกเมล็ดกาแฟคั่วที่ไม่ได้คุณภาพออก เริ่มต้นโหลดเมล็ดกาแฟใหม่กล้องตรวจจับภาพเมล็ดกาแฟคั่วและประมวลผลภาพเมล็ดกาแฟคั่วจนครบจะหยุดการทำงาน ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 การเชื่อมต่อรับส่งข้อมูลอินพุต/เอาท์พุตผ่าน Port Ethernet /IP



รูปที่ 12 ผังงานการทำงานของระบบตรวจสอบสีเมล็ดกาแฟคั่ว

4. ผลการทดลอง

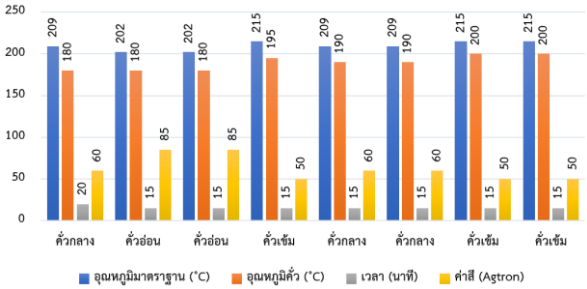
4.1 การทดลองตู้คั่วเมล็ดกาแฟ

การทดลองนี้แบ่งการทดลองเป็นโหมดควบคุมด้วยมือ (Manual Roast) และ โหมดควบคุมอัตโนมัติ (Auto Roast) การคั่วเมล็ดกาแฟมี 2 ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการคั่ว แบ่งระดับการคั่วตามระดับสากล 3 ระดับ คือ คั่วอ่อน, คั่วกลาง และคั่วเข้ม บันทึกผลการทดลองและนำผลการทดลองที่ได้ คือ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการคั่วในโหมดควบคุมด้วยมือจากผู้เชี่ยวชาญการคั่ว (ตารางที่ 2 และกราฟในรูปที่ 13) ไปตั้งค่าในโหมดควบคุมการคั่วอัตโนมัติ โดยแบ่งการคั่วออกเป็น 3

ระดับเพื่อให้การคั่วในแต่ละระดับมีความสม่ำเสมอทุกครั้ง ดังผลการทดลองในตารางที่ 3 และกราฟในรูปที่ 14

ตารางที่ 2 ผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟโหมดควบคุมการคั่วด้วยมือ

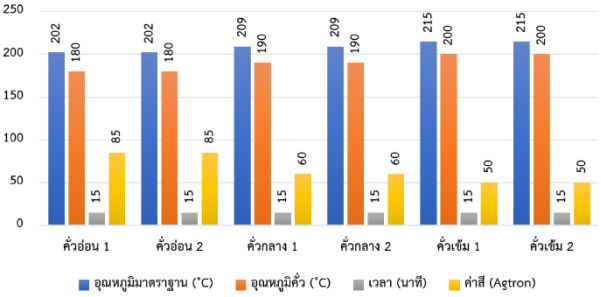
ผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟโหมดควบคุมการคั่วด้วยมือ (Manual Roast) เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า น้ำหนัก 250 กรัม						
ครั้งที่	อุณหภูมิ	เวลา	ระดับ	ค่าสี	น้ำหนัก	อุณหภูมิมาตราฐาน
1	180°C	20นาที	คั่วกลาง	60 Agtron	211.9 กรัม	207-209 °C
2	180°C	15นาที	คั่วอ่อน	85 Agtron	216.5 กรัม	200-202 °C
3	180°C	15นาที	คั่วอ่อน	85 Agtron	216.2 กรัม	200-202 °C
4	195°C	15นาที	คั่วเข้ม	50 Agtron	209.1 กรัม	213-215 °C
5	190°C	15นาที	คั่วกลาง	60 Agtron	212.1 กรัม	207-209 °C
6	190°C	15นาที	คั่วกลาง	60 Agtron	212.2 กรัม	207-209 °C
7	200°C	15นาที	คั่วเข้ม	50 Agtron	208.5 กรัม	213-215 °C
8	200°C	15นาที	คั่วเข้ม	50 Agtron	208.1 กรัม	213-215 °C



รูปที่ 13 กราฟผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟโหมดควบคุมการคั่วด้วยมือ

ตารางที่ 3 ผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟโหมดควบคุมการคั่วอัตโนมัติ

ผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟโหมดควบคุมการคั่วอัตโนมัติ (Auto Roast) เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า น้ำหนัก 250 กรัม						
ระดับ	ครั้งที่	อุณหภูมิ	เวลา	ค่าสี	น้ำหนัก	อุณหภูมิมาตราฐาน
คั่วอ่อน	1	180°C	15นาที	85 Agtron	216.0 กรัม	200-202 °C
	2	180°C	15นาที	85 Agtron	216.3 กรัม	200-202 °C
คั่วกลาง	1	190°C	15นาที	60 Agtron	212.1 กรัม	207-209 °C
	2	190°C	15นาที	60 Agtron	212.0 กรัม	207-209 °C
คั่วเข้ม	1	200°C	15นาที	50 Agtron	208.3 กรัม	213-215 °C
	2	200°C	15นาที	50 Agtron	208.6 กรัม	213-215 °C



รูปที่ 14 ผลการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟโหมดควบคุมการคั่วอัตโนมัติ

4.2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่วจากสีของเมล็ดกาแฟคั่วโดยใช้แผ่นเทียบค่าสี

การทดลองตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่วจากสีเมล็ดกาแฟคั่วในแต่ละระดับจะอ้างอิงจากระดับสี โดยใช้แผ่นเทียบค่าสี (Agtron Tile) ตามมาตราฐานของสมาคมกาแฟพิเศษอเมริกา Specially Coffee Associate of America (SCAA) เมล็ดกาแฟดิบที่ใช้คือ เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้าเก็บรักษาในถุงพลาสติกอุณหภูมิห้อง ตู้คั่วเมล็ดกาแฟจะควบคุมอุณหภูมิภายในตู้คั่วระบบปิดที่อุณหภูมิการคั่ว 0-250°C ที่เวลา 0-30 นาที เพื่อทดลองหาค่าอุณหภูมิ ระยะเวลา และสีของเมล็ดกาแฟหลังการคั่วทั้ง 3 ระดับที่เหมาะสม ดังผลการทดลองในตารางที่ 4-6 และรูปที่ 15-17

รูปที่ 15 แสดงการวัดค่าสีระดับคั่วอ่อน

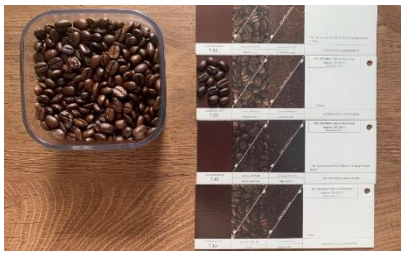
ตารางที่ 4 รายละเอียดการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟระดับคั่วอ่อน

ข้อมูลการทดลอง					
เมล็ดกาแฟพันธุ์ : อาราบิก้า (Arabica)			**กระบวนการแปรรูป :** แบบแห้ง (Dry Process)		
แหล่งที่มาของเมล็ด : จังหวัดน่าน, ประเทศไทย			**น้ำหนัก :** 250 กรัม		
อุณหภูมิตั้งค่า : 180 องศาเซลเซียส (°C)			**เวลาตั้งค่า :** 15 นาที (min.)		
ระดับการคั่วที่ต้องการ : คั่วอ่อน (Light Roast)			**ค่าสีของเมล็ดกาแฟที่ต้องการ :** 75-95 Agtron		
ผลการทดลอง					
เวลา (นาที)	**อุณหภูมิ (°C)**	**ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลง**	**เวลา (นาที)**	**อุณหภูมิ (°C)**	**ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลง**
เริ่มต้น	32.8	เมล็ดกาแฟดิบ (Green Beans)	8	180.1	-
1	51.8	-	9	180.2	-
2	92.1	-	10	179.9	เมล็ดกาแฟเริ่มมีสีเหลือง
3	133.3	-	11	179.9	-
4	165.4	ผิวของเมล็ดกาแฟเริ่มหลุด	12	180.3	-
5	178.9	อุณหภูมิเริ่มสูงถึงระดับที่ตั้งค่าไว้	13	180.3	สีเมล็ดกาแฟเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
6	180.1	-	14	180.0	-
7	180.3	-	15	180.2	เครื่องหยุดทำงาน

รูปที่ 16 แสดงการวัดค่าสีระดับคั่วกลาง

ตารางที่ 5 รายละเอียดการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟระดับคั่วกลาง

ข้อมูลการทดลอง					
เมล็ดกาแฟพันธุ์ : อาราบิก้า (Arabica)			**กระบวนการแปรรูป :** แบบแห้ง (Dry Process)		
แหล่งที่มาของเมล็ด : จังหวัดน่าน, ประเทศไทย			**น้ำหนัก :** 250 กรัม		
อุณหภูมิตั้งค่า : 190 องศาเซลเซียส (°C)			**เวลาตั้งค่า :** 15 นาที (min.)		
ระดับการคั่วที่ต้องการ : คั่วกลาง (Medium Roast)			**ค่าสีของเมล็ดที่ต้องการ :** 55-70 Agtron		
ผลการทดลอง					
เวลา (นาที)	**อุณหภูมิ (°C)**	**ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลง**	**เวลา (นาที)**	**อุณหภูมิ (°C)**	**ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลง**
เริ่มต้น	38.9	เมล็ดกาแฟดิบ (Green Beans)	8	190.1	-
1	66.2	-	9	189.5	เมล็ดกาแฟเริ่มมีสีเหลือง
2	108.1	-	10	190.3	-
3	145.5	-	11	190.2	-
4	172.5	ผิวของเมล็ดกาแฟเริ่มหลุด	12	190.0	สีเมล็ดกาแฟเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
5	185.0	-	13	189.8	-
6	186.7	-	14	190.2	มีเสียงแตกตัวของเมล็ดดังขึ้น
7	189.3	อุณหภูมิเริ่มสูงถึงระดับที่ตั้งค่าไว้	15	190.0	เครื่องหยุดทำงาน



รูปที่ 17 แสดงการวัดค่าสีระดับคั่วเข้ม

ตารางที่ 6 รายละเอียดการทดลองคั่วเมล็ดกาแฟระดับคั่วเข้ม

ข้อมูลการทดลอง					
เมล็ดกาแฟพันธุ์ : อาราบิก้า (Arabica)			**กระบวนการแปรรูป :** แบบแห้ง (Dry Process)		
แหล่งที่มาของเมล็ด : จังหวัดน่าน, ประเทศไทย			**น้ำหนัก :** 250 กรัม		
อุณหภูมิตั้งค่า : 200 องศาเซลเซียส (°C)			**เวลาตั้งค่า :** 15 นาที (min.)		
ระดับการคั่วที่ต้องการ : คั่วเข้ม (Dark Roast)			**ค่าสีของเมล็ดที่ต้องการ :** 40-50 Agtron		
ผลการทดลอง					
เวลา (นาที)	**อุณหภูมิ (°C)**	**ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลง**	**เวลา (นาที)**	**อุณหภูมิ (°C)**	**ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลง**
เริ่มต้น	38.8	เมล็ดกาแฟดิบ (Green Beans)	**8**	199.8	เมล็ดกาแฟเริ่มมีสีเหลือง
1	54.1	-	**9**	199.9	-
2	95.5	-	**10**	200.0	-
3	138.7	-	**11**	200.0	สีเมล็ดกาแฟเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
4	167.7	ผิวของเมล็ดกาแฟเริ่มหลุด	**12**	199.9	มีเสียงแตกตัวของเมล็ดดังขึ้น
5	188.0	-	**13**	199.8	มีเสียงแตกตัวดังขึ้นเป็นระยะ
6	199.9	-	**14**	200.0	มีเสียงแตกตัวดังขึ้นเป็นระยะ
7	200.0	อุณหภูมิเริ่มสูงถึงระดับที่ตั้งค่าไว้	**15**	199.8	เครื่องหยุดทำงาน

4.3 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดคั่วโดยอัตโนมัติ

นำเมล็ดกาแฟคั่วจากการเทียบสีการคั่วทั้ง 3 ระดับการคั่ว ระดับละ 30 เมล็ดไปฝึกสอนกล้องคีย์เอนซ์ให้รู้จำสีเมล็ดกาแฟคั่วแต่ละดับ เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสีเมล็ดกาแฟคั่วได้โดยอัตโนมัติ ในการทดลองแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ แบบดูด้วยตา แบบเทียบแผ่นสีมาตรฐานสมาคมฯ และแบบอัตโนมัติโดยใช้กล้องที่การฝึกสอนแล้ว ทำการคั่วเมล็ดกาแฟที่ระดับต่าง ๆโดยสุ่มเมล็ดกาแฟคั่วจำนวน 15 เมล็ดในแต่ละระดับมารวม 45 เมล็ดมาทดสอบทั้ง 3 แบบได้ผลการทดลองดังในตารางที่ 7

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องคั่วและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่วต้นแบบควบคุมด้วยตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ สั่งงานผ่านหน้าจอส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่วได้อย่างแม่นยำ จากข้อมูลในตารางที่ 5-7 ในการคั่วอ่อนสีของเมล็ดกาแฟเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ในนาทีที่ 13 เครื่องหยุดการทำงานในในนาทีที่ 15 เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลในระดับคั่วอ่อน ค่าสีที่วัดได้ 85 Agtron น้ำหนักหลังการคั่ว 216.3 กรัม การคั่วกลางมีเสียงแตกตัวของเมล็ดดังขึ้นในนาทีที่ 14.50 เครื่องหยุดการทำงานในในนาทีที่ 15 เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลในระดับคั่วกลาง ค่าสีที่วัดได้ 60 Agtron น้ำหนักหลังการคั่ว 212 กรัม การคั่วเข้มมีเสียงแตกตัวของเมล็ดกาแฟในนาทีที่ 12.20 นาทีที่ 13-14 มีเสียงแตกตัวของเมล็ดดังขึ้นเป็นระยะ เครื่องหยุดการทำงานในในนาทีที่ 15 เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลในระดับคั่วเข้ม (มีน้ำมันเคลือบผิวเมล็ดกาแฟ) ค่าสีที่วัดได้ 50 Agtron น้ำหนักหลังการคั่ว 208.6 กรัม การตรวจสอบคุณภาพอ้างอิงสีเมล็ดกาแฟคั่วมาตรฐาน โดยฝึกสอนกล้องคีย์เอนซ์ให้สามารถตรวจสอบสีการคั่วเมล็ดกาแฟโดยอัตโนมัติ จากการทดลองพบว่าระบบตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่วสามารถตรวจสอบสีเมล็ดกาแฟคั่วได้ถูกต้อง 100%

เนื่องจากการสุ่มเมล็ดกาแฟคั่วมาตรวจสอบคุณภาพยังคงเป็นการสุ่มตรวจด้วยมือ ควรพัฒนาระบบสุ่มตรวจเมล็ดกาแฟคั่วเป็นแบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 7 รายละเอียดการทดลองตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว

ผลการทดลองการคัดแยกแต่ละระดับของเมล็ดกาแฟคั่ว สุ่มมาระดับละ 15 เมล็ดรวม 45 เมล็ด						
วิธีทดลอง	ครั้งที่	จำนวนเมล็ดกาแฟที่ตรวจสอบ	ระดับเข้ม	ระดับปานกลาง	ระดับอ่อน	คิดเป็นร้อยละเฉลี่ยที่ตรวจสอบได้ %
อัตโนมัติ	1	45	15	15	15	100
	2	45	15	15	15	100
	3	45	15	05	15	100
	4	45	15	15	15	100
	5	45	15	15	15	100
เทียบสี	1	45	15	15	15	100
	2	45	15	15	15	100
	3	45	15	15	15	100
	4	45	15	15	15	100
	5	45	15	15	15	100
ดูด้วยตา	1	45	14	15	15	97.78
	2	45	15	14	15	97.78
	3	45	14	15	14	95.56
	4	45	13	15	15	95.56
	5	45	14	14	14	93.33

เอกสารอ้างอิง

[1] ไชยเชษฐ์ กรีบาง และพีระพงษ์ วงดารา (2563) การพัฒนาเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โครงงานสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

[2] เอ็นแอลคอฟฟี่ (2561) กาแฟ สืบค้นได้จาก : https://www.nlcoffee.net

[3] Keyence Thailand. (4 เมษายน 2566). ฝังกระบวนการการประมวลผลข้อมูลภาพเข้าถึงได้จาก https://www.kwyence.co.th/support/user/cv-x/manual/#1

[4] Keyence Thailand (8 กรกฎาคม 2023) มุมมองภาพของเลนส์ Keyence Thailand เข้าถึงได้จาก https://www.kwyence.co.th/support/user/cv-x/manual/#1

[5] Keyence Thailand. (8 กรกฎาคม 2023). ไฟส่องแสงสว่าง KEYENCE CA-DRB8M. เข้าถึงได้จาก. https://www.keyence.co.th/img/products/model/AS_3097_L.jpg

[6] Keyence Thailand. (4 เมษายน 2566) ไดอะแกรมโครงสร้างของ PLC เข้าถึงได้จาก https://www.kwyence.co.th/support/user/cv-x/manual/#1

[7] PLC Omron (น.ป.ป.) PLC Omron รุ่น CJ1M -CPU 12 Ethernet/IP EIP 2 เข้าถึงได้จาก https://automation.riverplus.com/home/automation-product/plc-overview/