การวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยใช้การประมวลผลภาพแบบฮิสโทแกรม สำหรับการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟ

A Color Level Evaluation of Roasted Coffee Beans using Histogram for Image Processing to Grade Separation

เสกสรรค์ วินยางค์กูล[1*], กมลพรรณ จันทรา[1] และนันธชัย เต๋จาติ๊บ[2]

Seksan Winyangkul[1*] kamonpan Janta[1] and Nuntachai Tejatip[2]

[1]วิศวกรรมโลจิสติกส์ และการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University.

[2]บริษัท ซีทีเอเชียโรโบติกส์ จำกัด ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

CT ASIA ROBOTICS CO., LTD. Phatthanakan Road, Suan Luang, Bangkok, 10250.

*E-mail: seksan.win@crru.ac.th

Received: 08 Aug 19

Revised: 03 Sep 20

Accepted: 16 Oct 20

บทคัดย่อ

การพัฒนาและปรับปรุงการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟในการแบ่งระดับเกรดในการคั่วกาแฟ โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์ประมวลผลโดยการนำรูปภาพมาหาค่าพิกเซลด้วยกระบวนโดยใช้การประมวลผลภาพแบบฮิสโทแกรมเพื่อใช้ในการตัดสินใจของการแบ่งระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟในระดับต่างๆที่ต้องการ จากการผลิตแบบเดิมนั้นต้องใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญหรือผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบระดับสี ทำให้เสียเวลาที่จะต้องมีการตรวจสอบตลอดเวลา ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าสีความเข้มของเมล็ดกาแฟ โดยการระบุค่าสีมาตรฐานความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วแต่ละระดับไว้ และนำเมล็ดกาแฟที่อยู่ในขั้นตอนกระบวนการคั่วนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟว่ามีค่าความเข้มได้ระดับสีตรงกับค่าสีมาตรฐานในระดับสีอ่อน กลาง และเข้ม โดยจะแสดงสัญญาณไฟเมื่อได้ระดับตามที่ต้องการ

การวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยใช้รูปแบบฮิสโทแกรม ในลักษณะของการประมวลผลโดยภาพในกระบวนการคั่วกาแฟจากกาแฟกะลาเป็นกาแฟคั่วในระดับความเข้มต่างๆ ซึ่งในการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟ ในกระบวนการคั่วกาแฟ ได้ทำการทดลองหาค่าสีมาตรฐาน RGB และนำมาหาค่าเฉลี่ย H โดยผลการทดสอบสีเมล็ดกาแฟคั่วของแต่ละระดับได้แก่ ระดับสีอ่อน โดยมีค่า H = 76.513 ระดับสีกลาง มีค่า H = 57.966 และระดับเข้ม มีค่า H = 41.420 การคั่วเมล็ดกาแฟจะมีค่าความเข้มของสีที่ลดลงตามระดับ เมื่อค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟอยู่ในเกณฑ์ค่าสีมาตรฐานจะมีการแจ้งเตือนสถานะสัญญาณไฟและเสียงเตือนเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการคั่วในระดับการคั่วที่ต้องการ และได้ทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนระดับอ่อนมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.502 ระดับกลางมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.344 และระดับเข้มมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.043

คำสำคัญ: เมล็ดกาแฟ การประมวลผลภาพ ความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ กระบวนการคั่วกาแฟ

Abstract

This research aimed to find out about development and improvement intensity measurements of coffee beans to separate roasted coffee quality. In the analysis process, the histogram was carried out to look at pixels of coffee bean images to determine coffee bean's level of color intensity. Experts looked at coffee beans in color grading in the traditional production way, which took too much time. Therefore, the color intensity of coffee beans system was developed. Colors of roasted coffee beans were compared to determine the intensity that matched the standard color values in light, medium,and dark levels. Lights would appear when the beans matched the colors.

The histogram results showed the color intensity of coffee beans at various levels of the coffee beans. The mean of the RGB color standard was H. The light color level of the coffee beans was H = 76.513, the medium color level was H = 57.966, and the dark level was H = 41.420. The color intensity of roasted beans became lighter subsequentially during the roasting process. When coffee beans had stand colors and the process was finished, the

signals would come on. The error system has been determined error value in light color level was 0.502, the error medium color level was 0.344, and the dark level of error value was 0.043
Keywords: Coffee Beans, Image Processing, Color Level of Roasted Coffee Beans, Roasting Coffee

1. บทนำ

จังหวัดเชียงราย เป็นจังหวัดที่มีการปลูกกาแฟสายพันธุ์อราบิก้า เป็นส่วนมาก เหมาะกับสภาพอากาศเย็น กาแฟจึงเป็นพืชเศรษฐกิจ โดยนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในการส่งออก และเป็นแหล่งผลิตเป็นชุมชนกาแฟจากต้นน้ำถึงปลายน้ำ โดยมีกระบวนการผลิตตั้งแต่ การเก็บเมล็ดกาแฟที่สุก การสีกาแฟสด การหมักกาแฟ การตากแห้ง การคัดเมล็ดด้วยมือ การคั่วเมล็ดกาแฟ จนถึงการบรรจุผลิตภัณฑ์

การคั่วเมล็ดกาแฟเป็นขั้นตอนที่ละเอียดอ่อนและเป็นขั้นตอนที่ขาดไม่ได้ สำหรับการที่จะได้กาแฟรสชาติดี ไม่ว่าจะเป็นความหอม ความกลมกล่อมของรสชาติเข้ม และกลิ่นหอมต่าง ๆ การคั่วเมล็ดกาแฟ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ คั่วอ่อน (Light roast) คั่วกลาง (Medium roast) และคั่วเข้ม (Dark roast) โดยทั่วไป การคั่วเมล็ดกาแฟนิยมใช้ระดับความเข้มสีของเมล็ดกาแฟที่มีตัวแปรมาจากปริมาณความร้อนและระยะเวลาที่ใช้ในการคั่ว [1] ซึ่งในการคั่วเมล็ดกาแฟเพื่อให้ได้คุณภาพ ตามมาตรฐาน ต้องใช้ความชำนาญและผู้มีประสบการณ์ในการคั่วเมล็ดกาแฟ เพื่อตรวจสอบระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ ซึ่งในการตรวจสอบจะใช้คนในการตรวจสอบความเข้มของสีเมล็ดกาแฟอาจทำให้เสียเวลา เพราะต้องใช้คนมาดูและตรวจสอบตลอดเวลาและไม่มีความคงที่

จากรูปแบบของการตรวจระดับความเข้มของสีกาแฟในขั้นตอนการคั่วที่กล่าวมาทางผู้วิจัยจึงได้จัดทำการพัฒนาและปรับปรุงการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟในการแบ่งระดับเกรดของการคั่วกาแฟ โดยการใช้รูปแบบการวิเคราะห์ประมวลผลโดยภาพมาใช้ในการตัดสินใจของการแบ่งเกรดระดับความเข้มของสีกาแฟที่คั่ว เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟในการแบ่งเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟในการคั่ว และสร้างระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดสินใจในขณะทำการคั่วเมล็ดกาแฟ โดยการประมวลผลด้วยภาพเพื่อให้ได้ระดับความเข้มของกาแฟในระดับต่าง ๆ ที่ต้องการ และ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับนั้นสามารถบอกระดับความเข้มของสีกาแฟจากการคั่วโดยใช้ระบบอัตโนมัติ เพื่อลดกระบวนการทำงานในการตรวจสอบความเข้มของสีเมล็ดกาแฟในการคั่ว และทำให้มีมาตรฐานของผลิตภัณฑ์

2. นิยามศัพท์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟโดยใช้รูปแบบฮิสโทแกรมในการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟ ในกระบวนการคั่วกาแฟมีนิยามศัพท์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 นิยามศัพท์

การวัดระดับความเข้มของสี คือ การตรวจวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยนำตัวแปรจากระยะเวลาที่ใช้ในการคั่ว เพื่อให้ได้ระดับสีของเมล็ดกาแฟตามที่ต้องการ

เมล็ดกาแฟ เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้าที่ผ่านการขัดเปลือกออกแล้วเพื่อที่จะได้นำไปผ่านกระบวนการคั่วกาแฟที่ระดับความเข้มต่างๆที่ต้องการ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกเมล็ดกาแฟที่จะนำไปคั่ว เกรด AA และ AAA

รูปแบบฮิสโทแกรมของสี คือ การนำรูปแบบฮิสโทแกรมของสี จากการตรวจวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ มาวิเคราะห์ประมวลผลโดยภาพถ่ายจากค่า RGB เพื่อปรับปรุงการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ระดับเกรดของเมล็ดกาแฟ คือ การแบ่งเกรดของเมล็ดกาแฟจากการคั่ว โดยพิจารณาจากความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ประมวลผลโดยใช้รูปแบบฮิสโทแกรม เพื่อให้ได้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพและตามมาตรฐาน

กระบวนการคั่วกาแฟ คือ กระบวนการให้ความร้อนกับเมล็ดกาแฟ โดยกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาในการคั่วเพื่อให้ได้ตามระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟที่ต้องการ

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟโดยใช้รูปแบบฮิสโทแกรม ในการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟในกระบวนการคั่วกาแฟ [2] กรณีศึกษากาแฟดอยช้าง โดยการนำทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่จะกล่าวต่อไปนี้มาประยุกต์ใช้ และทฤษฎีของการประมวลผลภาพดิจิตอลที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทฤษฎีที่นำมาใช้กับระบบตรวจจับในการแบ่งระดับเกรดของเมล็ดกาแฟในกระบวนการคั่ว มุ่งเน้นเรื่องการประมวลผลภาพดิจิตอลสำหรับใช้ในการตรวจจับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟที่ได้จากการคั่ว ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในอนาคตได้ ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหา ดังต่อไปนี้

กระบวนการคั่วกาแฟ

การคั่วกาแฟเป็นการนำกาแฟแต่ละสายพันธุ์ที่ต้องการมาคั่วที่เครื่องคั่วกาแฟ โดยมีอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยตั้งแต่ 170-270 องศาเซลเซียส กาแฟที่คั่วจะสุกเปลี่ยนสีจากเดิมสีเหลืองหรือสีเขียวอมฟ้า ขึ้นอยู่กับความเก่าใหม่ของกาแฟที่นำมาคั่ว จนเป็นสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลเข้ม และจนถึงสีดำ [3] สีของกาแฟที่เกิดจากคั่วกาแฟนั้น เกิดจากประสบการณ์ของผู้คั่วที่เป็นผู้กำหนดสีของกาแฟให้อยู่ในระดับการคั่วที่ต้องการที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิความร้อนจากถังคั่วและระยะเวลาในการคั่วและปล่อยกาแฟ ซึ่งการคั่วเม็ดกาแฟ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ

การคั่วระดับอ่อน (Light Roast) เป็นการคั่วที่ใช้อุณหภูมิความร้อนที่ประมาณ 177 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 15-20 นาที (ตามหลักการ) [3] เมื่อเมล็ดได้รับความร้อน มันจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองและในที่สุดก็จะกลายเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ

การคั่วระดับกลาง (Medium Roast) กาแฟที่มีความเข้มปานกลางเมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลและมีความมันจากน้ำมันในเมล็ดเคลือบ เจือจางคั่วที่อุณหภูมิ 200-220 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที (ตามหลักการ) [3] และในระหว่างการคั่วเราจะได้ยินเสียงการแตกของกาแฟดัง 2 ครั้ง ซึ่งเป็นครั้งที่สมบูรณ์ในการที่จะได้กาแฟคั่วระดับนี้

การคั่วระดับเข้ม (Dark Roast) เมล็ดกาแฟที่คั่วเสร็จแล้วจะมีสีน้ำตาลแก่เกือบไหม้ ที่คั่วในอุณหภูมิ 232 องศาเซลเซียส ระยะเวลาประมาณ 15-20 นาที (ตามหลักการ) [3] หรืออาจจะใช้ความร้อนที่น้อยกว่านี้แต่ใช้เวลาที่ยาวนานกว่า ระดับอื่นกาแฟจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นมาก อมน้ำตาลแดง แต่ไม่ถึงกับดำ ที่ผิวของเมล็ดกาแฟจะมีน้ำมันซึมเคลือบผิว

การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) โดยการนำภาพของเมล็ดกาแฟที่ทำการคั่วมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ รวมถึงการทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง จากนั้นจะนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์

การตรวจจับสีของวัตถุโดยกำหนดค่าขนาดของสีให้ตรงตามวัตถุที่สนใจโดยประมวลผลภาพที่มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับ Pixel ของสี หรือตรวจสอบวัตถุที่มีสีตรงตามที่กำหนดและสามารถปรับค่าสีได้โดยการปรับค่าสีให้มีความใกล้เคียงกันกับสีของวัตถุ

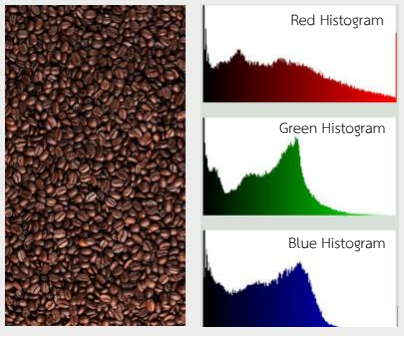


Figure 1 Graph RGB value of roasted coffee beans

ฮิสโทแกรม (Histogram) ของเมล็ดกาแฟที่ทำการคั่วในแต่ละสี R (Red)/G (Green)/B (Blue) ในหน้าจอดังแสดงใน Figure 1 ยอดของกราฟที่แสดงความสว่างของภาพในแนวนอน (Left: Dark; Right: Bright) และไล่จำนวนพิกเซลที่ระดับความสว่างของภาพในแนวตั้งมีแนวโน้มไปทางด้านซ้ายเป็นการแสดงค่าของภาพถ่ายที่มืด สีของภาพจะดูจาง และยอดของกราฟที่มีแนวโน้มไปทางด้านขวาเป็นการแสดงค่าของภาพถ่ายที่มีความสว่างซึ่งสีของภาพจะดูทึบ ส่วนประกอบทางด้านซ้ายนั้นจะมีข้อมูลสีเพียงนิดเดียวหรือแทบไม่มีเลย และส่วนประกอบทางด้านขวานั้นจะเป็นค่าความอิ่มตัวของสี (Saturated) โดยที่ไม่มี Gradation ในฮิสโทแกรม (Histogram) โดยสามารถตรวจสอบระดับค่า Saturation ของสี และ Gradations ในภาพได้ [4]

สมการการหาค่าพิกเซลของค่าความเข้มของเมล็ดกาแฟ ในการนำค่าสี RGB มาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะนำค่าของความเข้มของ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ของทั้ง 3 สีมาหาค่าเฉลี่ย โดยจะแสดงค่า H ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$H = \frac{\sum H(i)}{255} \qquad (1)$$

H = Histogram

i = ค่ามาตรฐานของค่าสี (0 - 255)

$\sum H(i)$ = ผลรวมค่าพิกเซล 255 ค่า

3. วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทำวิจัย

วิธีการทำวิจัยนี้เป็นการทดลองที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อการตรวจสอบคุณภาพที่มีประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการคั่วกาแฟ โดยมีโรงคั่วกาแฟเชียงรายและโรงคั่วกาแฟกลุ่มผลิตแปรรูปกาแฟดอยช้าง ได้นำ Image Processing เข้ามาพัฒนาในรูปแบบกระบวนการทำงานเดิม โดยการผลิตเดิมนั้นต้องใช้แรงงานคนที่มีความเชี่ยวชาญในการตรวจสอบระดับสีต่างๆ อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการทำงานเช่น จากเดิมใช้ผู้มีประสบการณ์การคั่วกาแฟในการตรวจสอบระดับสี ทำให้เสียเวลาที่ต้องมาตรวจสอบตลอดเวลา ดังนั้น จึงต้องมีการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟและทำการสร้างระบบที่ใช้ในการตัดสินในการคั่วกาแฟซึ่งมีอุปกรณ์และส่วนประกอบดังนี้

3.1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบควบคุมการตรวจความเข้มของสีในขั้นตอนการคั่วกาแฟ

อุปกรณ์และระบบควบคุมของระบบดังแสดงใน Figure 2 ประกอบด้วย บอร์ดอาดูโน่ (Arduino) ควบคุมการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและสั่งงานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ จอ LCD แสดงสถานะเป็นตัวเลข บอร์ดควบคุมการเปิดปิดทำหน้าที่ตัดต่อวงจรแบบเดียวกับสวิตช์ โดยควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switches) ทำหน้าที่ตัดและเชื่อมต่อวงจรทางไฟฟ้าเพื่อเลือกระดับของการคั่วตามที่ต้องการ หลอดไฟ LED ใช้แสดงสถานะของระดับการคั่วเมื่อได้ตามที่ต้องการ หลอดไฟ LED 10 watt หลอดไฟแบบเขี้ยว 25, 40 และ 100 watt ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความสว่างที่เหมาะสม

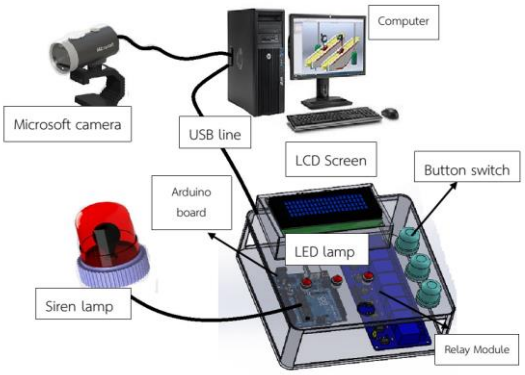


Figure 2 Equipment and systems control for color level detection of roasting coffee

แสดงสถานะเป็นหลอดไฟขนาดเล็กสีแดง กล้อง Microsoft Camera เซ็นเซอร์กล้องใช้ในการตรวจจับภาพเคลื่อนไหวเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ ไซเรนใช้ในการแจ้งเตือนเมื่อการคั่วเมล็ดกาแฟเสร็จสิ้นกระบวนการคั่วและหลอดไฟ LED เพื่อให้แสงสว่างเพื่อช่วยในการส่องแสงสว่างให้กล้องสามารถตรวจจับภาพได้ภาพเสมือนจริง

แผนผังและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

แผนผังการทำงานของโปรแกรมการตรวจจับด้วยกล้องดังแสดงใน Figure 3

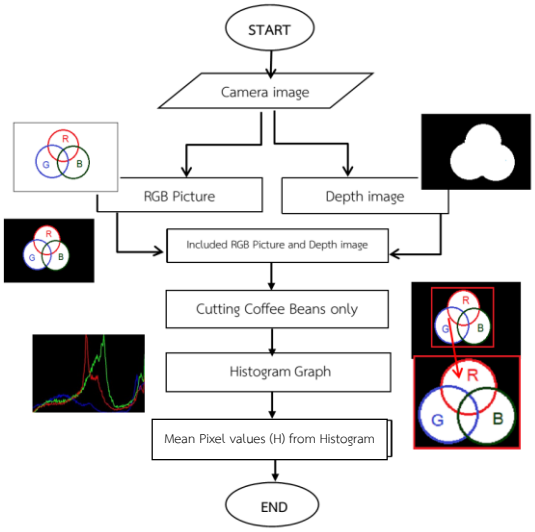


Figure 3 Camera detection function diagram of roasting coffee

จากแผนผังการทำงานของโปรแกรมการตรวจจับด้วยกล้องที่ใช้ในการหาค่าพิกเซลโดยใช้กล้องเว็บแคม ในโปรแกรมได้ใช้ ไลบรารี่ (Library) ของ Opencv เป็นตัวประมวลผลภาพ และได้แบ่งเป็น สองวิธี คือ ทำให้ภาพเป็นภาพขาวดำ และทำให้เป็นภาพสี (RGB) [5] การทำให้เป็นภาพขาวดำคือ การตรวจจับสีที่เราให้ความสนใจที่จะเลือกนั้นคือ สีของเมล็ดกาแฟจะให้แสดงเป็นภาพสีขาว ส่วนที่ไม่ใช่สีของเมล็ดกาแฟจะให้แสดงเป็นภาพสีดำ และทำการรวมภาพ กับภาพสี จะได้ส่วนที่เป็นสีขาวจะแสดงเป็นภาพสี ส่วนที่ไม่ใช่เมล็ดกาแฟก็จะเป็นสีดำ และทำการระบุขอบเขตของสีเมล็ดกาแฟโดยทำการล้อมรอบสีเมล็ดกาแฟ จากนั้นทำการตัดภาพเลือกเฉพาะเมล็ดกาแฟจะได้ขนาดที่เล็กกว่ารูปภาพสี จากนั้นใช้รูปภาพที่ถูกตัดนำไปพล็อตกราฟ หาค่าสี RGB (Red, Green, Blue) และได้เป็นกราฟเส้น เพื่อนำไปเข้ากระบวนการหาค่าพิกเซลจากการฮิสโทแกรม จะได้ค่าพิกเซลของภาพโดยการนำผลรวมของค่าพิกเซลหาเฉลี่ยของภาพรวม จากนั้นทำการบันทึกค่าสีของแต่ละระดับไว้ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการคั่วเมล็ดกาแฟในครั้งต่อไป และสามารถแสดงแผนผังการทำงานของการควบคุมคอนโทรลเลอร์ดังแสดงใน Figure 4

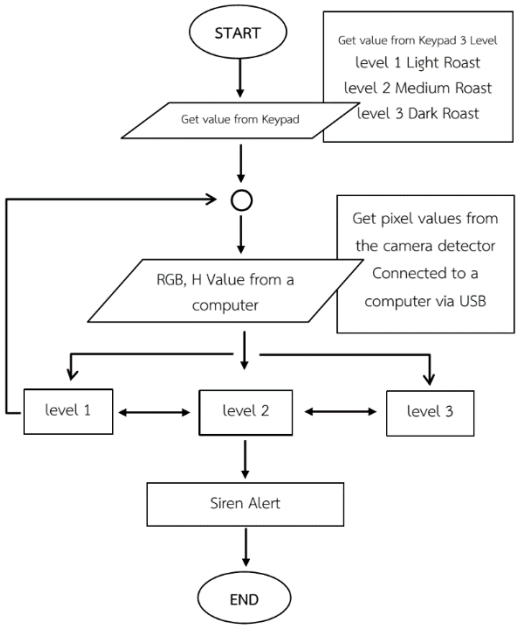


Figure 4 Working chart of controller control

เป็นการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ บอร์ดออดูโน่ ทำการรับค่าสวิทช์ปุ่มกด โดยปุ่มกดมี 3 ปุ่ม ปุ่มที่1 ระดับอ่อน ปุ่มที่2 ระดับกลาง ปุ่มที่3 ระดับเข้ม เมื่อทำการกดปุ่มแต่ละระดับจะมีการแสดงสถานะการกดจะมีแสงสว่างจากหลอดไฟ (LED) และทำการส่งค่าปุ่มกดไปยังโปรแกรมของกล้องที่ทำการประมวลผลอยู่ในคอมพิวเตอร์ จากนั้นโปรแกรมหลักจะทำการส่งค่าตัวเลขพิกเซลของภาพในระดับของปุ่มกดสถานะ เมื่อค่าพิกเซลที่ทำการจัดเก็บมีค่าใกล้เคียงกับสีมาตรฐานของระดับความเข้มแล้วจะมีการแจ้งเตือนผ่านหลอดไฟ และมีเสียงแจ้งเตือน

3.2 วิธีการวิจัย/ทดลอง

การทดลองหาค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าสีแต่ระยะความห่างโดยกำหนดระยะ 15, 20 , 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, และ 60 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยทำการบันทึกรูปภาพเพื่อนำไปกระบวนการปรับความละเอียด เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความละเอียดของรูปภาพ โดยใช้วิธีการกรองค่าของรูปภาพ (2D

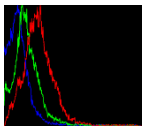
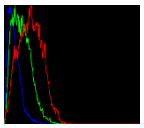
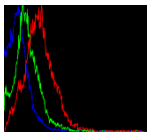
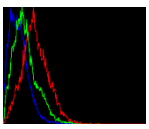
Filter Opencv) และนำไปเข้ากระบวนการ ฮิสโทแกรม (Histogram) แสดงเป็นกราฟที่บอกถึงความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละอันตรภาคชั้น โดยแต่ละตำแหน่งจะวางเรียงติดกัน แกนนอนจะกำกับด้วยค่าขอบบนและขอบล่างของชั้นนั้นโดยแสดงเป็นค่าตัวเลขเพื่อนำค่าที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาค่าตัวเลขในแต่ระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟ โดยใช้หลอดไฟ LED 10 watt หลอดเขี้ยว 25, 40 และ 100 watt เพื่อหาค่าความสว่างที่เหมาะสมในการบันทึกรูปภาพเมล็ดกาแฟเพื่อใช้ในการบันทึกค่าพิกเซล

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดลองหาค่าความแม่นยำในการเก็บค่าความเข้มของระดับสีเพื่อหาความสว่าง

จากการทดลองการหาความเข้มของสีในแต่ละระดับการคั่ว เมื่อพิจารณาถึงระดับความสว่างที่ระดับแตกต่างกัน ที่หลอดไฟ LED 10 watt หลอดเขี้ยว 25, 40 และ 100 wattการบันทึกภาพการคั่วระดับอ่อนการแปลงค่าพิกเซลได้ค่าเฉลี่ย 65.032, 79.486, 82.165, และ 89.490 ตามลำดับ ดัง Table 1 หาค่าพิกเซลของแต่ละความสว่างของหลอดไฟใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในเกณฑ์ของค่าพิกเซลแต่ละหลอดไฟได้ค่าเฉลี่ยรวม 79.043 และได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าพิกเซลของแต่ละความสว่างของหลอดไฟ โดยค่าหลอดเขี้ยว 25 watt มีค่าพิกเซล 79.486 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของค่าเฉลี่ยรวม ดังนั้นการคั่วระดับอ่อนจึงใช้ หลอดเขี้ยว 25 watt ในการทดลองเปรียบเทียบค่าสีมาตรฐานในงานวิจัย

Table 1 RGB Image conversion of light roast from the histogram definition

source	Picture coffee beans	Histogram	Value (H)
LED 10 watt			65.032
Incandescent lamp 25 watt			79.486
Incandescent lamp 40 watt			82.165
Incandescent lamp 100 watt			89.49
	average		79.043

การบันทึกภาพการคั่วระดับกลางการแปลงค่าพิกเซลได้ค่าเฉลี่ย 56.607, 60.471, 62.921 และ 67.084 ตามลำดับ ดัง Table 2 ได้ค่าเฉลี่ยรวม 61.77 และได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าพิกเซลของแต่ละความสว่างของหลอดไฟ โดยค่าหลอดเขี้ยว 25 watt มีค่าพิกเซล 60.471 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของค่าเฉลี่ยรวม และการบันทึกภาพการคั่วระดับเข้มการแปลง

Table 2 RGB Image conversion of medium roast from the histogram definition

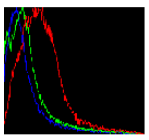
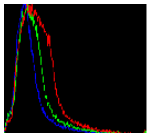
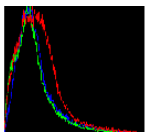
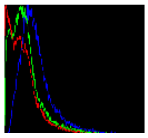
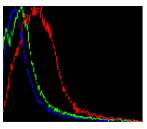
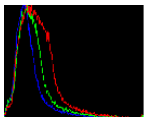
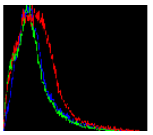
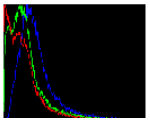
source	Picture coffee beans	Histogram	Value (H)
LED 10 watt			56.607
Incandescent lamp 25 watt			60.471
Incandescent lamp 40 watt			62.921
Incandescent lamp 100 watt			67.084
	average		61.77

Table 3 RGB Image conversion of dark roast from the histogram definition

source	Picture coffee beans	Histogram	Value (H)
LED 10 watt			38.65
Incandescent lamp 25 watt			44.233
Incandescent lamp 40 watt			48.702
Incandescent lamp 100 watt			52.217
	average		45.95

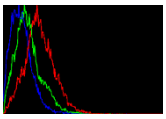
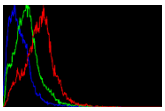
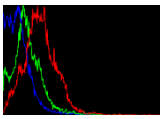
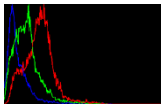
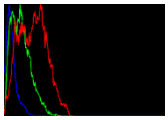
ค่าพิกเซลได้ค่าเฉลี่ย 38.650, 44.233, 48.702 และ 52.217 ตามลำดับ ดัง Table 3 ได้ค่าเฉลี่ยรวม 45.950 และได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าพิกเซลของแต่ละความสว่างของหลอดไฟ โดยค่าหลอดเขี้ยว 25 watt มีค่าพิกเซล 44.233 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของค่าเฉลี่ยรวม ดังนั้นการแปลงภาพ RGB ของการคั่วระดับ อ่อน กลาง และเข้มจึงใช้ หลอดเขี้ยว 25 watt ในการทดลองเปรียบเทียบค่าสีมาตรฐานในงานวิจัย

4.2 ค่าสีมาตรฐานในการคั่วเมล็ดกาแฟ

การหาค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟในการบันทึกค่าตัวเลขพิกเซลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการคั่วเมล็ดกาแฟ โดยการเก็บค่าพิกเซลจำนวน 5 ค่า โดยการใช้เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่ว อ่อน กลาง และเข้มโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญเป็นคนกำหนด และใช้ค่าความสว่างของหลอดเขี้ยว 25 watt เพื่อความแม่นยำและทำการหาค่าเฉลี่ยของสีมาตรฐานเพื่อเป็นค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับการคั่วเมล็ดกาแฟ เพื่อเป็นขอบเขตในการตรวจจับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟที่คั่วนั้นได้มีค่าพิกเซลที่ใกล้เคียงในช่วงเวลาในการคั่ว

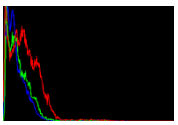
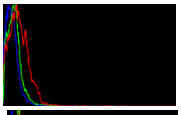
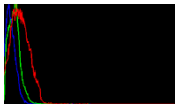
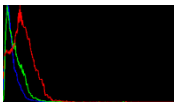
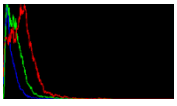
การหาค่าตัวเลขมาตรฐานความเข้มระดับอ่อนได้ค่าพิกเซล 73.514, 74.218, 78.834, 76.018, 79.918 และได้ทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่าสีมาตรฐานค่าความเข้มของระดับอ่อนอยู่ที่ 76.513 เพื่อใช้เป็นมาตรฐานของระดับความเข้มในการเปรียบเทียบกับกระบวนการคั่วอ่อน ดัง Table 4

Table 4 Standard color, Light Roast

Picture	Histogram	Value (H)
		73.514
		74.218
		78.834
		76.018
		79.981
average		76.513

จาก Table 5 และ Figure 5 การหาค่าตัวเลขมาตรฐานความเข้มระดับกลางได้ค่าพิกเซล 56.276, 54.097, 58.051, 64.089, 57.319 และได้ทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่าสีมาตรฐานค่าความเข้มของระดับกลางอยู่ที่ 57.966 เพื่อใช้เป็นมาตรฐานของระดับความเข้มในการเปรียบเทียบกับกระบวนการคั่วกลาง

Table 5 Standard color, Medium Roast

Picture	Histogram	Value (H)
		56.276
		54.097
		58.051
		64.089
		57.319
average		57.966

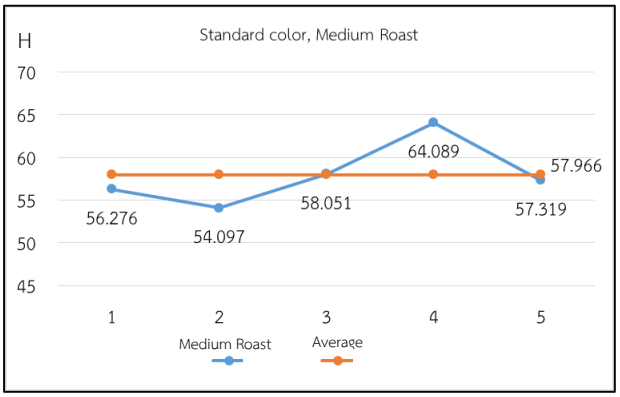
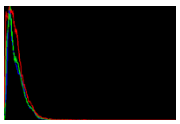
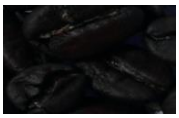
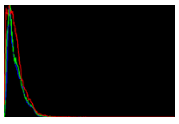
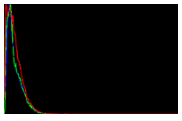


Figure 5 Comparison of standard color for medium roast

จาก Figure 5 แสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกเซลที่ได้จากการหาค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟในการคั่วระดับกลางและค่าเฉลี่ยมาตรฐานของความเข้มระดับกลาง จาก Table 6 การหาค่าตัวเลขมาตรฐานความเข้มระดับเข้มได้ค่าพิกเซล 41.568, 38.983, 43.609, 45.837, 37.105 และได้ทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่าสีมาตรฐานค่าความเข้มของระดับเข้มอยู่ที่ 41.420 เพื่อใช้เป็นมาตรฐานของระดับความเข้มในการเปรียบเทียบกับกระบวนการคั่วเข้ม

Table 6 Standard color, Dark Roast

Picture	Histogram	Value (H)
		41.568
		38.983
		43.609
		45.837
		37.105
average		41.42

4.3 กระบวนการทดลองการหาค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟจากการคั่ว

การทดลองการคั่วเมล็ดกาแฟเพื่อหาค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟตามระดับ (อ่อน กลาง และเข้ม) โดยเริ่มกระบวนการปรับอุณหภูมิความร้อนของการคั่วเมื่อความร้อนอยู่ในระยะเวลา 20 นาที หลังจากระยะเวลาที่กำหนดทำการนำเมล็ดกาแฟสารจำนวน 3 กิโลกรัม เทใส่ในช่องที่เก็บเมล็ดกาแฟเพื่อรอการเทให้หมดครบ 3 กิโลกรัม เมื่อเทเสร็จจะทำการปล่อยเมล็ดกาแฟให้ลงในเตาคั่ว แล้วทำการไล่ความชื้นของเมล็ดกาแฟในช่วงเวลา 10 นาที หลังจากเสร็จกระบวนการไล่ความชื้นเสร็จ ทำการกดปุ่มเลือกระดับการคั่ว (อ่อน, กลาง และเข้ม) ตามที่ต้องการเพื่อให้ได้ความเข้มของสีเมล็ดกาแฟอยู่ในระดับค่าสีมาตรฐาน ทั้งสามระดับ จากนั้นทำการคั่วตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่กำหนดจากนั่นเข้าสู่กระบวนการเปรียบเทียบค่าสีของความเข้มเมล็ดกาแฟที่ได้จากการคั่ว ด้วยวิธีการนำเมล็ดกาแฟคั่วออกจากช่องตรวจสอบเมล็ดกาแฟเพื่อนำไปเทียบกับค่าสีมาตรฐาน

การทดลองการคั่วระดับอ่อน

การหาค่าพิกเซลของค่าความเข้มของเมล็ดกาแฟระดับอ่อน ระยะเวลาในการคั่วระดับที่ 1 โดยเริ่มทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มของสี ในเวลา 15:15 นาที ดังแสดงใน Figure 6 จากการหาค่าพิกเซลโดยการฮิสโทแกรมของแต่ละระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟในการคั่วระดับอ่อนใช้เวลาในการคั่วจนเสร็จประมาณ 20 นาที โดยแต่ละช่วงเวลาได้ทำการนำเมล็ดกาแฟที่คั่วอยู่ได้นำมาเปรียบเทียบค่าสีมาตรฐานของเมล็ดกาแฟระดับอ่อนที่ได้ทำการคั่วเสร็จแล้วซึ่งสามารถแสดงได้ดัง Table 7

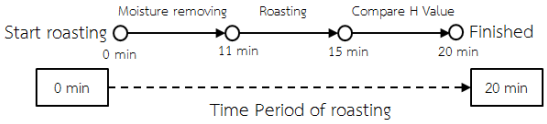


Figure 6 Time period of light roasting

Table 7 Determining H value of light roasting for respectively color matching in 15 seconds

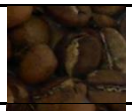
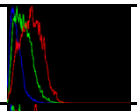
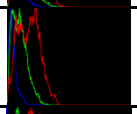
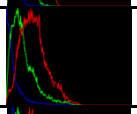
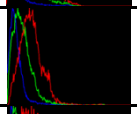
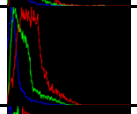
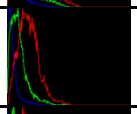
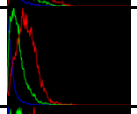
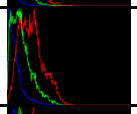
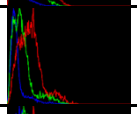
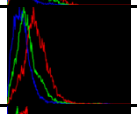
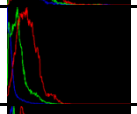
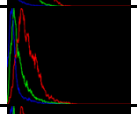
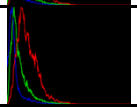
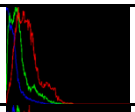
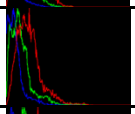
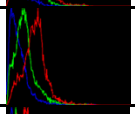
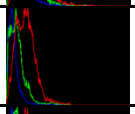
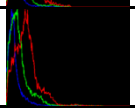
No.	time (min)	Picture	Histogram	Value (H)
1	15:15			158.960
2	15:30			149.696
3	15:45			147.504
4	16:00			139.524
5	16:15			123.069
6	16:30			118.514
7	16:45			102.502
8	17:00			100.291
9	17:15			97.379
10	17:30			95.102
11	17:45			86.729
12	18:00			83.869
13	18:15			80.771

Table 7 Determining H value of light roasting for respectively color matching in 15 seconds. (Continue)

No.	time (min)	Picture	Histogram	Value (H)
14	18:30			80.471
15	18:45			77.503
16	19:00			77.032
17	19:15			76.011 (Alert)
18	19:30			74.610 (Check Again)

โดยการคั่วช่วงเวลาที่ 0 นาที จนถึง 11 นาที คือการไล่ความชื้น ทำการคั่วให้เมล็ดกาแฟมีความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อครบ 11 นาที ถือว่าเสร็จกระบวนการไล่ความชื้น (จะเกิดเสียงของการแตกของเมล็ดกาแฟครั้งที่ 1, first crack) ช่วงเวลาที่ 11 นาที จนถึง 15 นาที คือกระบวนการคั่วเพื่อรอขั้นตอนการเปรียบเทียบค่าสี ช่วงเวลาที่ 15 จนถึงเวลาประมาณ 20 นาที คือกระบวนการเปรียบเทียบค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยแต่ละช่วงจะทำการเก็บค่าสีจำนวน 18 ครั้ง หรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนของเตาคั่ว จากตารางที่ 7 ตามระยะเวลาการคั่วเริ่มที่ 00:00 นาที ทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มของเมล็ดกาแฟคั่วในช่วงเวลา 15:15 นาที ถึง 19:30นาที เว้นช่วงระยะ ทุกๆ 15 วินาที ตามลำดับ ได้ค่าเฉลี่ยดังแสดงใน ตารางที่ 7 และได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าสีมาตรฐานของเมล็ดกาแฟคั่วระดับอ่อน ที่มีค่ามาตรฐานอยู่ที่ 76.513 เมื่อทำการเปรียบเทียบในตารางตามลำดับจะมีค่าสีใน ลำดับรูปที่ 17 มีค่า 76.011 ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่า และอยู่ในเกณฑ์ของระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วจะมีการแจ้งเตือน (Alert) เสร็จสิ้นกระบวนการคั่วในระดับอ่อน และได้ทำการตรวจสอบค่าสีของเมล็ดกาแฟ โดยการเช็คค่าสีให้ได้ค่าน้อยกว่าสีมาตรฐานอีกครั้ง

การทดลองการคั่วระดับกลาง

การหาค่าพิกเซลของค่าความเข้มของเมล็ดกาแฟระดับกลาง ระยะเวลาในการคั่วระดับที่ 2 โดยเริ่มทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มของสี ในเวลา 17:24 นาที ดังแสดงใน Figure 7

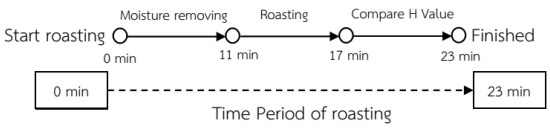
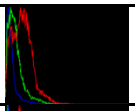
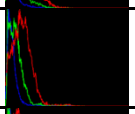
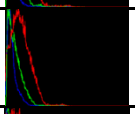
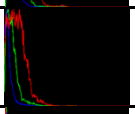
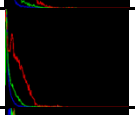
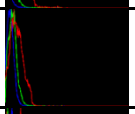
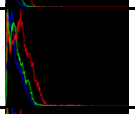
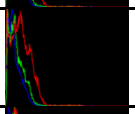
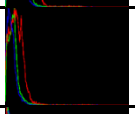
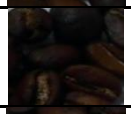
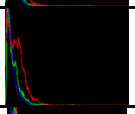
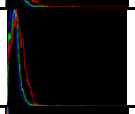
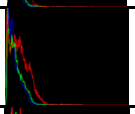
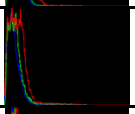
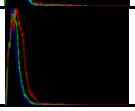


Figure 7 Time period of medium roasting

Table 8 Determining H value of medium roast for respectively color matching in 24 seconds

No.	time (min)	Picture	Histogram	Value (H)
1	17:24			69.122
2	17:48			68.842
3	18:12			68.209
4	18:36			67.921
5	19:00			67.701
6	19:24			65.514
7	19:48			65.335
8	20:12			64.811
9	20:36			63.402
10	21:00			61.259
11	21:24			60.523
12	21:48			60.332
13	22:12			57.622 (Alert)
14	22:36			56.895 (Check Again)

จากการหาค่าพิกเซลโดยการฮิสโทแกรมของแต่ละระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ ระดับที่ 2 คือ ระดับกลาง ใช้เวลาในการคั่วจนเสร็จประมาณ 23 นาที โดยการคั่วช่วงเวลาที่ 0 นาที จนถึง 11 นาที คือการไล่ความชื้นซึ่งมีลักษณะของการเหมือนกับการคั่วอ่อน และจะทำการคั่วให้เมล็ดกาแฟมีความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อครบ 11 นาที ถือว่าเสร็จกระบวนการไล่ความชื้น ช่วงเวลาที่ 11 นาที จนถึง 17 นาที คือกระบวนการคั่วเพื่อรอขั้นตอนการเปรียบเทียบค่าสี ช่วงเวลาที่ 17 จนถึง 23 นาที คือกระบวนการเปรียบเทียบค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยแต่ละช่วงจะทำการเก็บค่าสีจำนวน 14 ครั้งหรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนของเตาคั่ว ตามระยะเวลาการคั่วเริ่มที่ 00:00 นาที ทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มของเมล็ดกาแฟคั่ว ในช่วงเวลา 17:24 นาที ถึงเวลาประมาณ 23:00 นาที เว้นช่วงระยะทุกๆ 24 วินาที ตามลำดับ ได้ค่าเฉลี่ยดังแสดงใน Table 8 และได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าสีมาตรฐานของเมล็ดกาแฟคั่วระดับกลาง ที่มีค่ามาตรฐานอยู่ที่ 57.966 เมื่อเปรียบเทียบในตารางตามลำดับจะมีค่าสีใน ลำดับรูปที่ 13 มีค่า 57.622 ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่า และอยู่ในเกณฑ์ของระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วจะมีการแจ้งเตือน เสร็จสิ้นกระบวนการคั่วในระดับกลาง และทำการเปรียบเทียบค่า H กับสีมาตรฐานเพื่อตรวจสอบลักษณะกาแฟเพื่อให้ได้ระดับตามที่กำหนด

การทดลองการคั่วระดับเข้ม

การหาค่าพิกเซลของค่าความเข้มของเมล็ดกาแฟระดับเข้ม ระยะเวลาในการคั่วระดับที่ 3 โดยเริ่มทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มของสี ในช่วงเวลา 23:12 นาที ดังแสดงใน Figure 8

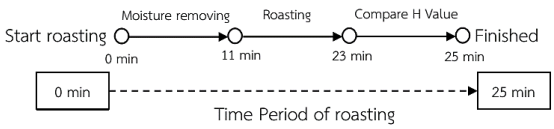
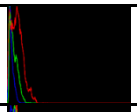
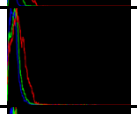
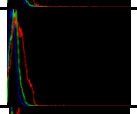
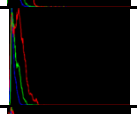
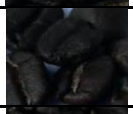
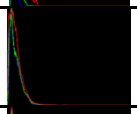
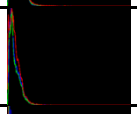
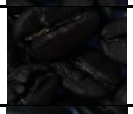
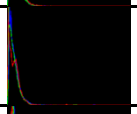
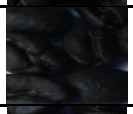
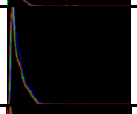
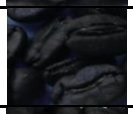
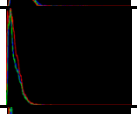
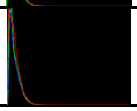


Figure 8 Time period of dark roasting

จากการหาค่าพิกเซลโดยการฮิสโทแกรมของแต่ละระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ ระดับที่ 3 คือ ระดับเข้ม ใช้เวลาในการคั่วจนเสร็จประมาณ 25 นาที โดยการคั่วช่วงเวลาที่ 0 นาที จนถึง 11 นาที คือการไล่ความชื้น ทำการคั่วให้เมล็ดกาแฟมีความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อครบ 11 นาที ถือว่าเสร็จกระบวนการไล่ความชื้น ช่วงเวลาที่ 11 นาที จนถึง 23 นาที หรือสังเกตจากเสียงของการแตกของเมล็ดกาแฟครั้งที่ 2, Second crack จากนั้นเป็นกระบวนการคั่วในขั้นตอนการเปรียบเทียบค่าสี ช่วงเวลาที่ 23 จนถึง 25 นาที คือกระบวนการเปรียบเทียบค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยแต่ละช่วงจะทำการเก็บค่าสีจำนวน 10 ครั้ง หรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนของเตาคั่ว ตามระยะเวลาการคั่วเริ่มที่ 00:00 นาที โดยเปรียบเทียบค่าความเข้มของเมล็ดกาแฟคั่ว ในช่วงเวลา 23:12 นาที ถึงเวลาโดยประมาณที่ 25:00 นาที เว้นช่วงระยะ ทุกๆ 12 วินาที ตามลำดับ ได้ค่าเฉลี่ย ดัง Table 9 และได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าสีมาตรฐานของเมล็ดกาแฟคั่วระดับเข้ม ที่มีค่ามาตรฐานอยู่ที่ 41.42 เมื่อทำการเปรียบเทียบในตารางตามลำดับจะมีค่าสีในลำดับรูปที่ 9 มีค่า 41.377 ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่า และอยู่ในเกณฑ์ของระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วจะมีการแจ้งเตือน เสร็จสิ้นกระบวนการคั่วในระดับเข้ม และได้ทำการตรวจสอบค่าสีของเมล็ดกาแฟ โดยการเช็คค่าสีให้ได้ค่าน้อยกว่าสีมาตรฐานอีกครั้ง

Table 9 Determining H value of dark roast for respectively color matching in 12 seconds

No.	time (min)	Picture	Histogram	Value (H)
1	23:12			55.498
2	23:24			54.676
3	23:36			54.424
4	23:48			54.188
5	24:00			54.046
6	24:12			53.948
7	24:24			47.838
8	24:36			47.268
9	24:48			41.377 (Alert)
10	25:00			38.736 (Check Again)

4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบการคั่วเมล็ดกาแฟ

จากการทดลองการคั่วเมล็ดกาแฟของแต่ละระดับการคั่วเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบหาได้จากสมการ โดยการบันทึกค่าสีมาตรฐานในการเปรียบเทียบการทดลองจริงแล้วทำการคั่วจริงได้ทำการเก็บค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อค่าพิกเซลในการคั่วเริ่มลดลงน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้ก็คือเสร็จสิ้น

กระบวนการคั่วในระดับนั้นจะเกิดความคลาดเคลื่อนของการวัดเมื่อเทียบกับค่าสีมาตรฐานดังแสดงใน Table 10

Table 10 Measuring error of roasting coffee beans

Roasting level	standard color	Experimental color	error
light	76.513	76.011	0.502
medium	57.966	57.622	0.344
dark	41.42	41.377	0.043

การคั่วของแต่ละระดับมีค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้ ระดับอ่อน 0.502 ระดับกลาง 0.344 และระดับเข้ม 0.043 ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นค่าที่ได้จากการนำค่ามาตรฐานมาลบกับค่าระดับการคั่วของแต่ละระดับในการทดลอง กระบวนการคั่วเริ่มขึ้นค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟในการคั่วจะลดลงและจะเข้าใกล้กับค่าสีมาตรฐานของแต่ละระดับ เมื่อสีที่ได้จากการคั่วมีค่าน้อยกว่าระดับสีมาตรฐานถือว่าเสร็จกระบวนการคั่วนั้นโดยกำหนดค่าสีมาตรฐานของระดับการคั่วอ่อนอยู่ที่ 76.513 ระดับการคั่วกลางอยู่ที่ 57.966 และระดับการคั่วเข้มที่ 41.420 โดยการเลือกระดับการคั่วจากปุ่มกดที่กล่องควบคุมเมื่อเสร็จกระบวนการคั่วจะมีเสียงเตือนและหลอดไฟโชว์สถานะ

5. สรุปและเสนอแนะ

จากการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบอุปกรณ์ที่ใช้กระบวนการตัดสินใจ ในการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยใช้รูปแบบฮิสโทแกรมในการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟในกระบวนการคั่วกาแฟ จากการฮิสโทแกรมเพื่อหาค่าพิกเซลของเมล็ดกาแฟโดยใช้ความสว่างของหลอดไฟในแต่ละ watt เพื่อหาค่าความสว่างของหลอดไฟที่ใช้ในงานวิจัยด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกับค่าพิกเซลแต่ละหลอดไฟในระดับอ่อน กลาง และเข้ม ได้ค่าเฉลี่ยรวม 79.043, 61.770, 45.950 ดังนั้นค่าพิกเซลของระดับอ่อนคือ 79.486 ระดับกลางคือ 60.471 และระดับเข้มคือ 44.233 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงแบบหลอดเขี้ยว 25 watt

เมื่อเริ่มต้นกระบวนการคั่ว ในช่วงระยะเวลาคั่วอ่อน 20 นาที คั่วกลางระยะเวลา 23 นาที และคั่วเข้มระยะเวลา 25 นาที และได้ทำการแบ่งเวลาในการคั่วดังนี้ กระบวนการไล่ความชื้น กระบวนการคั่ว และกระบวนการเปรียบเทียบค่าสี โดยการระบุค่าสีมาตรฐานความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วแต่ละระดับไว้ และกำหนดค่าสีระดับอ่อนอยู่ที่ 76.513 ค่าสีระดับกลางอยู่ที่ 57.966 และค่าสีระดับเข้มอยู่ที่ 41.420 ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบค่าสีกับค่าการทดลองโดยค่าการทดลองของระดับอ่อนอยู่ที่ 76.011 ค่าการทดลองของระดับกลางอยู่ที่ 57.622 และค่าการทดลองของระดับเข้มอยู่ที่ 41.377 และทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบได้ค่าความคลาดเคลื่อนระดับอ่อนมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.502 ระดับกลางมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.344 และระดับเข้มมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.043

จากการศึกษากระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟที่ดอยช้างโดยการลงพื้นที่สำรวจพบว่ากระบวนการคั่วนั้นมีหลากหลายระดับของความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยการคั่วนั้นใช้วิธีการเทียบสีความเข้มด้วยการเทียบด้วยสายตาและตัดสินใจจากประสบการณ์หลากหลายรูปแบบในการคั่ว ดังนั้นจึงเกิดการพัฒนาระบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าสีความเข้มของเมล็ดกาแฟขึ้น โดยการระบุค่าสีมาตรฐานความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วแต่ละระดับไว้และนำเมล็ดกาแฟที่อยู่ในขั้นตอนกระบวนการคั่วนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟว่ามีค่าความเข้มอยู่ใกล้เคียงค่าสีมาตรฐานในระดับสีอ่อน กลาง และเข้ม จากงานวิจัยสามารถนำไปใช้งานกับโรงคั่วเมล็ดกาแฟและใช้แรงงานคนน้อยลงแทนที่จะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการดูความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรมีการตรวจจับค่าอุณหภูมิความร้อนในการคั่วโดยใช้กล้องตรวจจับความร้อน (thermal Sensor) เพื่อควบคุมอุณหภูมิในการคั่วเมล็ดกาแฟ

6.2 ทำการวิเคราะห์ค่าพิกเซลของสีเมล็ดกาแฟในรูปแบบ Lab Color และทำการเปรียบเทียบกับ RGB Color

6.3 เพิ่มตำแหน่งในการติดตั้งกล้องโดยใช้ตำแหน่งที่แตกต่างกันเพื่อหาแสงสว่างที่เหมาะสมในการอ่านค่าพิกเซลของสีเมล็ดกาแฟ

6. References

[1] Hernandez, J. A., Heyd, B. and Trystram, G., 2008. “Assessment of Brightness and Surface Kinetics During Coffee Roasting.” **Journal of Food Engineering** 87(3): 314-322.

[2] Krongkarb N., and et al. 2015. “Control of Roasting Coffee Bean Degrees by Image Processing with Histogram Matching Technique and Bean Weight Normalization.” **International Conference on Image Processing, Electrical and Computer Engineering** (IPECE’1 5) , Singapore, 122-138.

[3] Kantalee, P. and Inprasert, C., 2014. **Physical property of robusta green coffee beans before and after roasting.** M.Sc. Thesis, Kasetsart University. Kamphaeng Saen Campus. (in Thai)

[4] Matsuyama, T. and Ukita, N., 2002. "Real-time multitarget tracking by a cooperative Computer vision system", **Proceedings of the IEEE**, Volume 90, Issue 7, Jul Page(s): 1136 – 1150.

[5] Bradski, G., and Kaehler, A., 2008. **Learning OpenCV**. O'Reilly Media. Sebastopol, September. First Edition.