การคัดแยกสีและขนาดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอล

Machine Sort of Color and Size for Roasted Coffee Using Digital Image Processing

ทศพร แก้ววิจิตร[1*] ธีรวัช บุณยโสภณ[2] ทวีชัย ทับทิม[2] และ อรรคพล พลอยพันแสง[2]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มจพ.

[2]ภาควิชาการจัดการเทคโนโลยีการผลิตและสารสนเทศ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มจพ.

E-mail: thossaoprn.k@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

จากปัญหาในการคัดแยกและตรวจสอบความสม่ำเสมอของสีและขนาดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยมนุษย์คือ ในการคัดแยกและตรวจสอบนั้นใช้การมองเห็น ความรู้สึก อารมณ์ เป็นตัวชี้วัดในการคัดแยกและตรวจสอบ ซึ่งการพิจารณาของแต่ละบุคคลนั้นไม่เหมือนกัน ทำให้ไม่เกิดเป็นมาตรฐานเดียวกันและเมื่อปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดการพิจารณาที่ผิดพลาด ส่งผลถึงการคัดเลือกคุณภาพของเมล็ดกาแฟคั่ว นำมาสู่การสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการตรวจสอบและคัดแยกเมล็ดกาแฟคั่วด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอล โดยวิธีการคัดแยกสีจะอ้างอิงจากระดับการคั่ว 3 ระดับคือ ระดับคั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม รวมถึงขนาดของเมล็ดกาแฟ 3 ขนาดโดยอ้างอิงจากความยาวของกลุ่มเมล็ดกาแฟคั่วที่มีคือ ขนาดน้อยกว่า 10 มม. ขนาดอยู่ระหว่าง 10 – 13.5 มม. และขนาดมากกว่า 13.5 มม. ทำให้สามารถจำแนกประเภทเกรดของเมล็ดกาแฟคั่วออกมาเป็น 9 แบบ (3 ระดับสีและ 3 ระดับขนาด) โดยการนำเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิตอลเข้ามาใช้ในกระบวนการตรวจสอบสีและขนาดด้วยการใช้ปริภูมิสี HSV ในการตรวจสอบค่าความสว่างของสีและการตรวจสอบค่าขนาด โดยผลการทดสอบเมื่อทำเครื่องที่ผ่านการสร้างและปรับปรุงไปคัดแยกเปรียบเทียบกับผู้ปฏิบัติงาน ด้วยการทดสอบคือการคัดแยกเกรดของเมล็ดกาแฟคั่วทั้ง 9 เกรด ผลลัพธ์ที่ได้คือเครื่องสามารถคัดแยกได้ร้อยละ 70.00 และผู้ฏิบัติงานคัดแยกได้รวมกันคิดเป็นร้อยละ 37.50

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพดิจิตอล ปริภูมิสี HSV การจำแนกประเภทเมล็ดกาแฟ ภาพดิจิตอล

Abstract

Due to the difficulties of sorting the roasted coffee which is usually sorted by visual method by the operators. The method should be performed on expertise. However, this would be affected such as feeling, emotional and expertise skill that lead to uncontrol the roasted coffee sorting. For those reason, it led to the study of coffee bean classification. The coffee bean classification was group in color (in low, medium and high intensities) and size (in smaller than 10 mm, between 10 to 13.5 mm and bigger than 13.5 mm), which is can be classified in to 9 types. In this study the digital image processing technique on the HSV color space is applied in which to classify the color levels and the sizes of the coffee beans. The proposed method was established and developed, then conduced to compare the performance with the operator. The results showed that the proposed method provide the performance on 70.00 % which batter the operators with 37.50%

Keyword: digital image processing, HSV color space, coffee bean classification, digital image

* Corresponding author, e-mail: thossaoprn.k@cit.kmutnb.ac.th

1. บทนำ

ในทุกวันนี้เทคโนโลยีด้านการประมวลผลภาพดิจิตอลที่ได้มีการพัฒนาไปอย่างมากมาย จนสามารถที่จะนำมาประยุกต์และปรับใช้ในการแก้ปัญหาสิ่งต่างๆเพื่อใช้ในการลดภาระงานให้กับมนุษย์ และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบงานต่างๆได้เป็นอย่างดี ยกตัวอย่างปัญหาในด้านการตรวจสอบ ซึ่งเทคโนโลยีด้านนี้มีสามารถในด้านการตรวจสอบวัตถุต่างๆแทนมนุษย์ส่งผลในสามารถลดภาระงานรวมถึงต้นทุนให้กับสถานประกอบการได้เป็นอย่างดี

จากปัญหาในการคัดแยกและตรวจสอบความสม่ำเสมอของสีและขนาดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยมนุษย์คือ วิธีในการคัดแยกและตรวจสอบนั้น มนุษย์ใช้การมองเห็น ความรู้สึก อารมณ์ เป็นตัวชี้วัดในการคัดแยกและตรวจสอบ ซึ่งวิธีการพิจารณาของแต่ละบุคคลนั้นไม่เหมือนกัน ทำให้ไม่เกิดความเป็นมาตรฐานเดียวกันและเมื่อปฏิบัติงานไปเป็นเวลานานอาจก่อให้เกิดการพิจารณาที่ผิดพลาด ส่งผลถึงการคัดเลือกคุณภาพของเมล็ดกาแฟคั่วอันเป็นจุดเด่นของรสชาติของกาแฟ (กรมส่งเสริมการเกษตร ,2557) และในทุกวันนี้มีแต่เครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟเชอรี่ (ศักดิ์สิทธิ์และคณะ,2557) ซึ่งไม่ใช่เมล็ดกาแฟคั่ว และเครื่องคัดแยกในปัจจุบันที่มี ราคาก็ค่อนข้างจะสูงไม่เหมาะสมกับธุรกิจขนาดเล็ก ด้วยปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นทางผู้พัฒนาจึงได้ศึกษาปัญหาพร้อมกับพัฒนาอัลกอริที่มสำหรับการคัดแยกสีและขนาดของเมล็ดกาแฟคั่ว โดยสามารถตรวจสอบได้จากค่าระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วในปริภูมิสีแบบ HSV ซึ่งจะดีกว่า RGB ในหลากหลายประการ (Prane and Eric,2014) และสามารถใช้วิธีการหาค่าปัจจัยการสอบเทียบเพื่อที่จะตรวจสอบขนาดเมล็ดกาแฟคั่วขนาดจริงกับภาพที่กล้องสามารถจับภาพได้ เพื่อเปรียบเทียบขนาด โดยสามารถที่ทำการตรวจสอบและคัดแยกออกมาเป็นเกรดเมล็ดกาแฟคั่วแบบทันท่วงทีได้ (Real Time)

จากการศึกษาในปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น ในบทความนี้จึงได้มีแนวคิดในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการคัดแยกสีและขนาดของเมล็ดกาแฟคั่ว โดยการนำเอาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิตอลเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกทั้งสี และขนาดของเมล็ดกาแฟคั่ว และสามรถคัดแยกออกมาให้เป็นเกรดต่างๆ เพื่อเป็นการบูรณาการความรู้และเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในปัจจุบันให้เกิดประโยชน์ โดยมีวัตถุประสงค์คือเพื่อสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการคัดแยกสีและขนาดของเมล็ดกาแฟคั่ว

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital Image Processing)

ในการประมวลผลภาพดิจิตอลมีประโยชน์อย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเทคโนโลยีนี้สามารถที่จะเข้ามาตอบสนองในการตรวจสอบวัตถุเพื่อลดภาระงานให้กับมนุษย์ ในบทความนี้เสนอวิธีการตรวจสอบค่าสีเมล็ดกาแฟคั่วด้วยปริภูมิสีแบบ HSV ในเบื้องต้นจะมีการนำภาพเข้าส่งระบบ (import) รูปภาพดิจิตอลมาจากกล้องผ่านพอร์ต USB2.0 โดยรูปที่ได้เข้ามาจะเป็นรูปภาพในปริภูมิสีแบบ RGB หลังจากนั้นทำการปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) ที่ได้มาด้วยการบันทึกภาพ (Capture image) ที่ได้ให้อยู่ในกรอบที่ต้องการ เพื่อง่ายต่อการทำแยกภาพ (Image Segmentation) และก็เพื่อตัดวัตถุอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับเมล็ดกาแฟออกไป หลังจากนั้นก็มาเข้าสู่กระบวนการทำ Image Segmentation ด้วยวิธีแบบ Otsu's Thresholding Method (Andrew,2010) หรือการหาค่าเทรชโฮลดิ่ง (Thresholding) ของภาพโดยอัตโนมัติ เพื่อทำการแยกวัตถุที่สนใจในส่วนนี้ก็คือเมล็ดกาแฟคั่วออกจากพื้นหลังก็คือสายพาน เพื่อง่ายต่อการหาค่าเฉลี่ยของสี ต่อมาเมื่อทำการแยกเมล็ดกาแฟคั่วออกมาจากพื้นหลังได้แล้ว ก็จะได้ภาพออกมาเป็นภาพแบบไบนารี่ (Binary Image) หรือภาพขาวดำ ก็จะสามารถที่จะหาค่าพื้นที่ของเมล็ดกาแฟคั่ว (Area) ได้จากการนับจำนวนพิเซล (Pixel) ที่เป็นสีขาวของภาพแบบไบนารีซึ่งก็คือพื้นที่ของเมล็ดกาแฟคั่วที่ได้จากโปรแกรมโดยผ่านกล้อง แต่ในการติดตั้งกล้องนั้นขนาดของภาพที่ได้จากกล้องและขนาดจริง

นั้นไม่เหมือนกันเพราะว่ามีความแตกต่างกันในเรื่องของระยะทางจริงมาเกี่ยวข้องทำให้ภาพที่ได้นั้นมีการบิดเบือนออกไปจากความเป็นจริงในที่นี้จึงต้องมีการหาค่าตัวคูณเปรียบเทียบ (Calibration Factor) เพื่อทำการเปรียบเทียบบัญญัติไตรยางศ์ระหว่างพื้นที่จริงที่ได้กับพื้นที่ Pixel ที่ได้จากโปรแกรม โดยเทียบเป็นสัดส่วนระหว่างพื้นที่ Pixel ต่อพื้นที่จริงมีหน่วยเป็นเซนติเมตร ขั้นตอนต่อมาจะเป็นการตรวจสอบค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วด้วยปริภูมิสีแบบ HSV ด้วยข้อดีของ HSV คือค่าสีที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับความคิดของมนุษย์และละเอียดกว่า RGB (Prane and Eric,2014) แต่รูปภาพที่ได้จากกล้องจะเป็นภาพในปริภูมิสี RGB อยู่ จึงต้องทำการแปลงภาพสีจาก RGB เป็น HSV แต่ค่าที่ได้มาจาก R, Gและ B นั้นจะต้องอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งจะสามารถนิยามได้ดังสมการที่ 1, 2 และ 3 (Alasdair,2012)

$$\delta = V - \text{Min}\{R,G,B\} \tag{1}$$

$$S = \frac{\delta}{V} \tag{2}$$

$$V = \frac{R+G+B}{3} \tag{3}$$

จะเป็นการแปลง (Convert) ภาพให้กลายเป็น HSV เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าสีทั้ง 3 มิติในที่นี้ประกอบไปด้วย มิติ H S และ V ซึ่งเป็นการซ้อนทับกันของเมทริกซ์จึงต้องมีการแยกแต่ละมิติออกมาก่อนเพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของสีเมล็ดกาแฟคั่วในแต่ละมิติด้วยสมการที่ 4 และ5 (Douglas and George,2003)

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+\ldots+x_n}{n} = \sum_{n}^{n} x_i \tag{4}$$

$$MSE = \frac{(a_1-y_1)^2+\ldots+(a_n-y_n)^2}{n} \tag{5}$$

หลังจากนั้นจะเป็นการทำการหาค่า Calibration Factor เพื่อทำการ หาค่าสัดส่วนระหว่างขนาดพื้นที่ของวัตถุจริงกับขนาดของวัตถุที่ได้จากกล้อง เนื่องจากการติดตั้งกล้องที่มีเรื่องของระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุจะทำให้ภาพวัตถุที่ได้จากกล้องนั้นมีค่าของขนาดที่ผิดเพี้ยนไป จึงจำเป็นที่ต้องหาค่า Calibration Factor มาเทียบสัดส่วนสัดส่วนระหว่างวัตถุจริงกับค่าพื้นของวัตถุที่ได้จากกล้องที่มีหน่วยเป็น Pixel โดยที่ค่า Calibration Factor คืออัตราส่วนของระยะทางที่เป็นพิกเซลโดยสามารถถ่ายได้จากกล้องแล้วนำมาเทียบกับระยะทางจริงซึ่งเป็นการเปรียบเทียบบัญญัติไตรยางศ์ระหว่างค่าพื้นที่จริงของวัตถุต่อพื้นที่ที่เป็น Pixelจากกล้องโดยที่กล้องนั้นจะต้องไม่เคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งเพราะจะทำให้ค่า Calibration Factor เคลื่อนตามไปด้วยซึ่งจะสามารถอธิบายได้จากสมการที่ 6 และ 7

$$\text{Calibration Factor Value} = \frac{\text{Pixeldistance}}{\text{Realdistance}}\frac{[\text{Pixel}]}{[\text{CM}]} \tag{6}$$

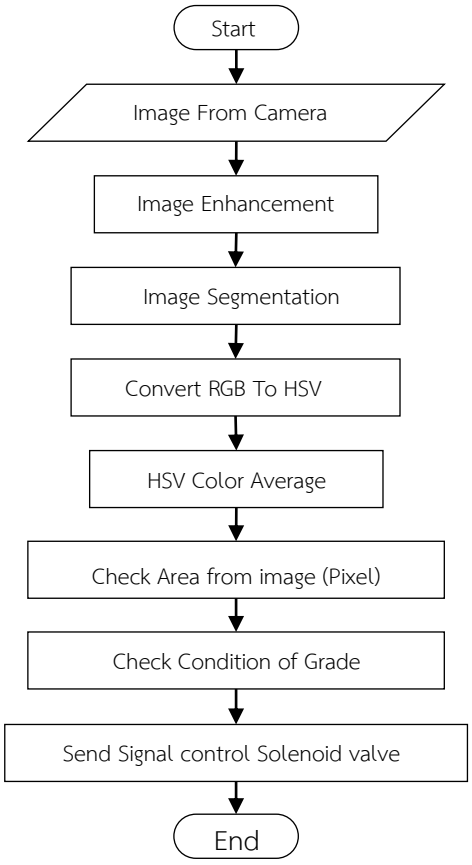
$$\text{Realarea} = \frac{\text{Pixelarea}}{\text{Calibration Factor}^2} \tag{7}$$

เพื่อที่จะหาขนาดของพื้นที่จริงออกมา และท้ายที่สุดจะเป็นการนำค่าขนาดและสีที่ได้มาทำการเปรียบเทียบเงื่อนไขว่าค่าทั้งสีและขนาดที่ได้มานั้นมีเกณฑ์ที่ตรงกับเงื่อนไขใด หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนในส่วนของการส่งสัญญาณ HIGH หรือ 1 ไปที่ PIN ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้บอร์ดสั่งงานการ ON/OFF รีเลย์และโซลินอยด์ ตามลำดับ

3. วิธีดำเนินงาน

รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของระบบ

จากรูปที่ 1 แสดงภาพรวมของระบบตั้งแต่กระบวนการรับรูปจากกล้องรุ่น ELP-USBFHD01M-BL100 เข้ามาสู่โน๊ตบุ๊คและโปรแกรม ซึ่งเครื่องมือที่ใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมการประมวลผลภาพดิจิตอลจะใช้เป็นโปรแกรม Matlab เวอชั่น 2016a และผ่านกระบวนการประมวลผลภาพต่างๆจนออกมาเป็นเกรดของเมล็ดกาแฟคั่วโชว์ที่หน้าGUIและสุดท้ายก็ส่งสัญญาณสั่งงานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ให้ส่งสัญญาณสั่งงานรีเลย์รวมถึงโซลินอยตามลำดับ



รูปที่ 2 แสดง Flow Chart การทำงานของโปรแกรม

ตารางที่ 1 แสดงค่าสีเฉลี่ยของสีเมล็ดกาแฟคั่วในปริภูมิสี HSV ของเมล็ดกาแฟคั่ว 3 ระดับการคั่ว

ระดับการคั่วและขนาด	H	S	V	ค่าตัวแปรที่ได้
คั่วอ่อน	0.0241 - 0.0672	0.0542 - 0.1083	0.0342 - 0.0490	Color = 'A'
คั่วกลาง	0.0330 -0.1063	0.0408 - 0.1097	0.0120 - 0.0306	Color = 'B'
คั่วเข้ม	0.0588 - 0.1507	0.0610 - 0.1448	0.0128 - 0.0336	Color = 'C'

ตารางที่ 2 แสดงค่าขนาดทั้ง 3 ขนาดพร้อมทั้งค่า Pixel ในขนาดต่างๆ

ระดับขนาด	**ขนาดของ Pixel**	**ค่าตัวแปรที่ได้**
ขนาด X	<= 956.57	Size = 'X';
ขนาด Y	> 956.57 - <= 1291.37	Size = 'Y';
ขนาด Z	> 1291.37	Size = 'Z';

ตารางที่ 3 แสดงเกรดของเมล็ดกาแฟคั่วที่โปรแกรมสามารถคัดแยกได้

GRADE	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
COLOR	1	1	1	2	2	2	3	3	3
SIZE	1	2	3	1	2	3	1	2	3

จากรูปที่ 2 สามารถที่จะอธิบายการทำงานของโปรแกรมได้ว่า โปรแกรมเริ่มต้นโดยการเรียกภาพจากกล้องเข้ามาทาง USB2.0 ซึ่งภาพที่ได้ออกมานั้นจะเป็นภาพในปริภูมิสีแบบ HSV หลังจากนั้นตามขั้นตอนคือการปรับปรุงภาพ(Image Enhancement) โดยการ Crop Image เพื่อต้องการลบสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากเมล็ดกาแฟคั่วในเบื้องต้น เพื่อให้ง่ายต่อกระบวนการทำ Image Segmentation ขั้นตอนต่อไปก็จะนำภาที่ได้มาเข้ากระบวนการ Image Segmentation ด้วยวิธีการหาค่า Thresholding แบบอัตโนมัติ ด้วยวิธีของโอตสึ (Otsu Thresholding Method) เมื่อได้ภาพจากการทำขั้นตอนนี้แล้วก็จะมาทำการ convert จากระบบสี RGB เป็น HSV ด้วยสมการในข้อที่ 1 2 และ 3 ในด้านบน แล้วก็ทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าสีในแต่ละมิติประกอบไปด้วย H S และ V ด้วยสมการที่ 4 (Douglas and George,2003) เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของค่าสีในแต่ละมิติแล้วนั้นจึงทำการตรวจสอบเงื่อนไขของค่าสีนั้นๆด้วยคำสั่งการตรวจสอบเงื่อนไขโดยผลลัพธ์ที่ได้จะเก็บไว้ในตัวแปร Color โดยตัวแปร Color นั้นจะเป็นการกำหนดค่าระดับของสีเมล็ดกาแฟคั่วที่ได้ซึ่งจะเป็นการแทนค่าตัวแปรปกติโดยให้ Color A, Color B, Color C เป็นระดับการคั่วอ่อน กลาง และเข้มตามลำดับดังตารางที่ 1 ลำดับถัดมาจะเป็นการ Calibration เพื่อจะหาขนาดวัตถุจริงกับวัตถุที่ได้จากกล้องซึ่งจะสามารถแบ่งกลุ่มขนาดของเมล็ดกาแฟคั่วได้โดยอ้างอิงจากการวัดความยาวของกลุ่มเมล็ดกาแฟคั่วที่มีซึ่งคละๆกัน โดยสามารถที่จะแบ่งกลุ่มของขนาดออกมาได้เป็น 3 ขนาดตามตารางที่ 2 คือขนาด X น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร Y อยู่ระหว่าง 10 – 13.5 มิลลิเมตร และ Z คือมากกว่า 13.5 มิลลิเมตร เมื่อหาค่าCalibration Factor

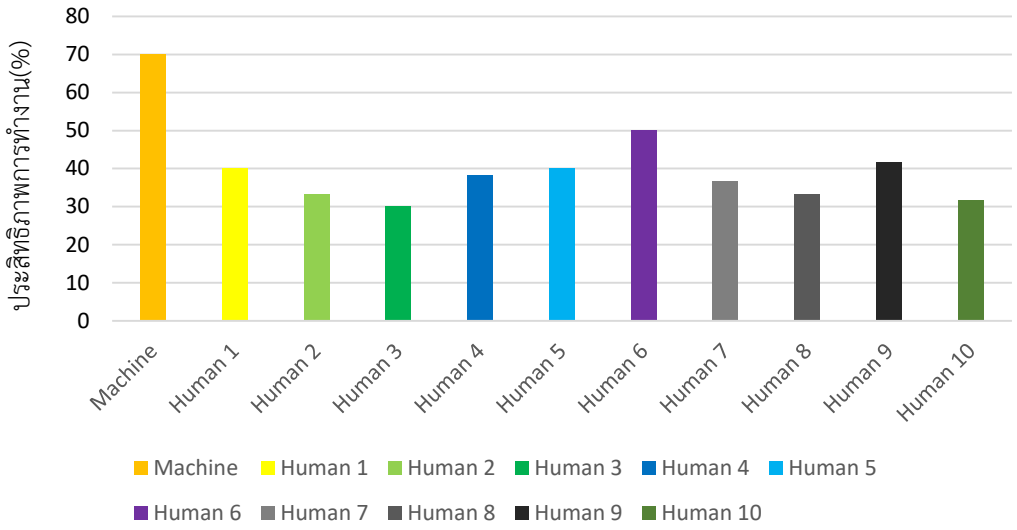
ออกมาตามสมการที่ 6 จะได้ค่า Calibration factor อยู่ที่ 1062/11.1 = 95.675 Pixel/mm โดยที่ค่า 1062 คือค่า pixel ที่ได้จากภาพที่ผ่านกล้อง ส่วนค่า 11.1 คือค่าขนาดจริงเป็นหน่วยมิลลิเมตรที่วัดได้จากไม้บรรทัดเป็นจุดอ้างอิง และเมื่อคิดโดยใช้หลักการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ ก็จะพบว่าค่าที่ได้ก็จะอยู่ที่ 95.675 มีหน่วยเป็น Pixel/mm สุดท้ายจึงสามารถที่จะนำไปตรวจสอบเงื่อนของการแยกเกรดเมล็ดกาแฟคั่วได้จากตารางที่ 3 โดยที่ตารางของเกรดเมล็ดกาแฟคั่วก็คือการนำค่าสีของเมล็ดกาแฟคั่วก็คือตัวแปร Color และตัวแปล Size ก็คือขนาดที่ได้ ก็จะเป็นสี 3 เงื่อนไข และขนาด 3 เงื่อนไขก็จะได้ออกมาเป็นทั้งหมด 9 เกรดดังตารางที่ 3

4. ผลและวิจารณ์

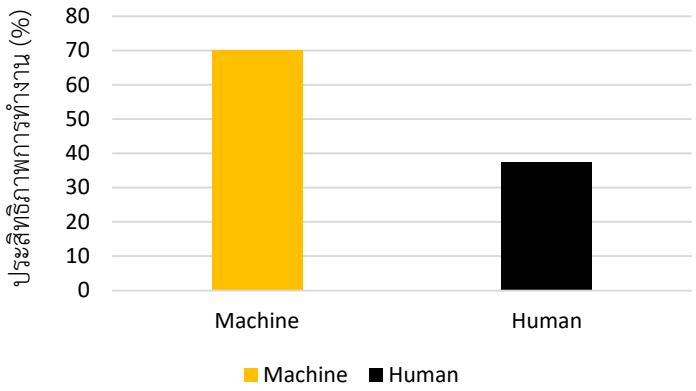
เมื่อสร้างระบบและเครื่องได้แล้วหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนนึงก็คือการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกสีและขนาดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอล โดยบทความนี้ได้ออกแบบการทดสอบประสิทธิภาพด้วยการนำเครื่องคัดแยกไปทำการคัดแยกเกรดเมล็ดกาแฟคั่วร่วมกับมนุษย์จำนวน 10 คน เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเมื่อเปรียบเทียบกับมนุษย์แล้วทำการคิดค่าเฉลี่ยด้วยสมการที่ 4 และสมการที่ 5 โดยวัตถุที่ใช้ในการคัดแยกก็คือเมล็ดกาแฟคั่วจำนวน 60 เม็ด แบ่งออกเป็นตามตารางที่ 4 โดยใช้เวลาในการคัดแยก 15 นาทีเท่ากันทั้งมนุษย์และเครื่องคัดแยก และเมื่อได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพทั้งของเครื่องและมนุษย์ผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงในรูปที่ 3 โดยการคิดเป็นผลที่ได้ค่าเปอร์เซ็นร้อยละ และเมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้ของมนุษย์จำนวน 10 คนมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งเพื่อที่จะหาค่าเฉลี่ยรวมว่ามนุษย์ทั้ง 10 คนสามารถคัดแยกเมล็ดกาแฟคั่วออกมาได้เป็นร้อยละเท่าใด และสุดท้ายสามารถที่จะสรุปได้ว่าเครื่องคัดแยกสีและขนาดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอลมีประสิทธิภาพมากกว่ามนุษย์ด้วยร้อยละ 70 ต่อ 37.50 ดังกราฟในรูปที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงกลุ่มตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วอ้างอิงจากเกรดเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดแยก

ลำดับ	รายการ	ตัวแปร เปรียบเทียบ	จำนวน(เม็ด)	ผลลัพธ์
1	เมล็ดกาแฟคั่วอ่อนและขนาดเล็ก	Color 1,Size 1	6	Grade1
2	เมล็ดกาแฟคั่วอ่อนและขนาดกลาง	Color 1,Size 2	6	Grade2
3	เมล็ดกาแฟคั่วอ่อนและขนาดใหญ่	Color 1,Size 3	8	Grade3
4	เมล็ดกาแฟคั่วกลางและขนาดเล็ก	Color 2,Size 1	6	Grade4
5	เมล็ดกาแฟคั่วกลางและขนาดกลาง	Color 2,Size 2	6	Grade5
6	เมล็ดกาแฟคั่วกลางและขนาดใหญ่	Color 2,Size 3	8	Grade6
7	เมล็ดกาแฟคั่วเข้มและขนาดเล็ก	Color 3,Size 1	6	Grade7
8	เมล็ดกาแฟคั่วเข้มและขนาดกลาง	Color 3,Size 2	6	Grade8
9	เมล็ดกาแฟคั่วเข้มและขนาดใหญ่	Color 3,Size 3	8	Grade9
รวม			60	



รูปที่ 3 แสดงกราฟร้อยละของประสิทธิภาพการคัดแยกระหว่างเครื่องและมนุษย์จำนวน 10 คน



รูปที่ 4 แสดงผลกราฟการวิเคราะห์ผลทางสถิติการเปรียบเทียบระหว่างมนุษย์และเครื่อง

5. สรุปผล

จากการศึกษาในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการคัดแยกสีและขนาดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอล โดยการประยุกต์ใช้หลักการของปริภูมิสีแบบ HSV ในการตรวจสอบค่าความเข้มของสีเมล็ดกาแฟคั่วทั้ง 3 ระดับการคั่วคือคั่วอ่อน กลาง และเข้มและขนาดในการใช้การ Calibration factor มาทำการ Calibration กล้องเพื่อหาค่าขนาดของเมล็ดกาแฟคั่ว แล้วทำการแยกเกรดเมล็ดกาแฟคั่วออกมาทั้งหมด 9 เกรดดังในตารางที่ 4โดยมีวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องด้วยการนำเครื่องที่สมบูรณ์แล้วนั้นไปทำการคัดแยกร่วมกับมนุษย์จำนวน 10 คนเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในสมการที่ 3 จะสามารถสรุปผลการทดลองจากกราฟในรูปที่ 3 และ 4 ได้ว่าเครื่องคัดแยกสีและขนาดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยการประมวลผลภาพดิจิตอลมีประสิทธิภาพการคัดแยกที่ดีกว่ามนุษย์คิดเป็นร้อยละ 70 และ 37.50 ตามลำดับ โดยการศึกษานี้ในอนาคตสามารถนำไปประยุกต์และปรับใช้ให้สามารถทำงานเพื่อลดภาระงานต้นทุน รวมถึงสามรถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการคัดแยกเมล็ดกาแฟคั่วแทนมนุษย์ได้

6. บรรณานุกรม

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2557. **การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟ**. www.k-station.doae.go.th/kstation/wp-content/uploads/AEK_202.pdf (10 พฤษภาคม 2562)

พลรัชต์ บุญมี และคณะ. 2553. **เครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า.** กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

วิชัย โอภานุกูล. 2556. **เครื่องคั่วกาแฟ** กรุงเทพ : กรมวิชาการเกษตร.

วิทยา บุญสุข. 2558. **การประยุกต์ระบบคัดแยกคุณภาพยางแผ่นด้วยเทคนิคการหาค่าความเข้มของสีวัตถุ.** มหาวิทยาลัยนครพนม.

ศักดิ์สิทธิ์ แก้วคำ และคณะ. 2557. **การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟเชอรี่**. ปริญญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโลโนยีเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

เสกสรร บุญเรือง และสุจิวัฒน์ ไชยมงคล. 2551. **การออกแบบและสร้างเครื่องคัดขนาดเมล็ดกาแฟ**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่.

Andrew Greensted. 2010. The Lab Book Page An Online collection of electronics information. **Otsu Thresholding.**

Alasdair McAndrew. 2012. School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology. **An Introduction to Digital Image Processing with Matlab.**

Frank Y. SHIH. 2010. 445 Hoes Lane Piscataway, NJ 08854. **Image Processing and Pattern Recognition Fundamentals and Techniques.**

Robert Nowak. 2011. **Intro to Digital Signal Processing.** http://www.gatestudymaterial.com/study-material/signals%20and%20systems/text%20books/Introduction%20to%20DSP-Robert%20Nowak.pdf (14 May 2019)

William K. Pratt. 2007. PixelSoft, Inc. Los Altors, California. **Digital Image Processing.**

Prane Mariel and Eric Punzalan. 2014. **Comparative Analysis of RGB and HSV Color Models in Extracting Color Features of Green Dye Solutions.**

Douglas Montgomery and George Runger. 2003. Arizona State University. **Applied Statistics and Probability for Engineers.**