บทความวิจัย

การคัดแยกระดับความเข้มเมล็ดกาแฟขณะคั่วด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ

วรพล มะโนสร้อย*
หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
อภิศักดิ์ พรหมฝาย และ วัฒนพงษ์ จันทร์ทอง
หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 4129 0902 อีเมล: worapon.man@uru.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.006
รับเมื่อ 10 กันยายน 2564 แก้ไขเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2564 ตอบรับเมื่อ 14 ธันวาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 6 กันยายน 2565
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การปรับปรุงประสิทธิภาพการคั่วเมล็ดกาแฟเป็นสิ่งที่สำคัญ เนื่องจากการคั่วเมล็ดกาแฟที่มีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อรสชาติ กลิ่นของกาแฟที่แตกต่างกัน และยังช่วยเพิ่มมูลค่าของกาแฟ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาช่วยจัดกลุ่มระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟในขณะทำการคั่ว เพื่อลดกระบวนการทำงานในการตรวจสอบความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ และเป็นการยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น โดยได้กำหนดจำนวนโนดในชั้นอินพุต 3 โนด เพื่อรับค่าระดับสี แดง เขียว น้ำเงิน จากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าสี TCS34725 ชั้นซ่อนได้กำหนดจำนวนโนดทั้งหมด 3 ขนาด ได้แก่ 3 5 และ 7 โนด ชั้นเอาต์พุตกำหนดเป็น 3 โนด สำหรับผลลัพธ์การคัดแยกระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟขณะคั่ว ได้แก่ คั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม และได้นำค่าความแม่นยำมาเป็นเกณฑ์การพิจารณาเลือกสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม จากการทดสอบข้อมูลทั้งหมด 60 ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยแบ่งข้อมูลสำหรับการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 70% และ 30% ตามลำดับ พบว่า สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 3-5-3 และฟังก์ชันกระตุ้นเป็น Tanh Function เป็นสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดกลุ่มระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟขณะคั่ว โดยมีค่าความแม่นยำในการฝึกสอน และทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 97.62% และ 100% ตามลำดับ

คำสำคัญ: โครงข่ายประสาทเทียม ระดับความเข้มเมล็ดกาแฟ การคัดแยกระดับความเข้มเมล็ดกาแฟขณะคั่ว

การอ้างอิงบทความ: วรพล มะโนสร้อย, อภิศักดิ์ พรหมฝาย และ วัฒนพงษ์ จันทร์ทอง, "การคัดแยกระดับความเข้มเมล็ดกาแฟขณะคั่วด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 3, หน้า 1–11, เลขที่บทความ 243-125412, ก.ค.–ก.ย. 2567.

Research Article

Classification of Coffee Beans Color Level during Roasting by Feed Forward Back Propagation Neural Network

Worapon Manosroi*
Department of Smart Electronic Engineering, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, Thailand
Apisak Phromfaiy and Wattanapong Janthong
Department of Computer Engineering, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 4129 0902, E–mail: worapon.man@uru.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.006
Received 10 September 2021; Revised 19 November 2021; Accepted 14 November 2021; Published online: 6 September 2022
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The improvement of the coffee bean roasting process is very important because an effective coffee bean roasting affects the flavors, aromas, and also the value of the coffee and increases the value added of coffee. This research applies the neural networks to classify the intensity of the color level of the coffee bean during the roasting process for improving the standard of the product. This research defined 3 nodes in the input layers node to categorize coffee beans' color levels into the red, green and blue color from TCS34725 color sensors. In the hidden layer we define 3 nodes sizes, i.e. node 3, 5 and 7 and another 3 nodes in the output layer to sort the intensity of the coffee bean colors while roasting for light, medium and dark level. The precision of the criteria to determine the suitable architecture of artificial neuron network was based on the study of 60 samples at the temperature of 200 degrees Celsius. The data were divided data for training and testing the artificial neuron network into 70% and 30% respectively. The research revealed that the most suitable architecture of the artificial neuron network for grouping the color intensity of the coffee roasting process is 3-5-3 format with the Tanh function as the most suitable stimulating function making the accuracy of the training and testing artificial neuron network at 97.62% and 100% respectively.

Keywords: Neural Networks, Coffee Bean Color Levels, Classify Color Coffee Bean Roasting

Please cite this article as: W. Manosroi, A. Phromfaiy and W. Janthong, "Classification of coffee beans color level during roasting by feed forward back propagation neural network," *The Journal of KMUTNB*, vol. 34, no. 3, pp. 1–11, ID. 243-125412, Jul.–Sep. 2024 (in Thai).

1. บทนำ

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยผลผลิตต่อไร่ปีเพาะปลูก พ.ศ. 2563 สามารถผลิตได้ 22,505 ตัน [1] กาแฟที่ผลิต พ.ศ. 2562–2563 เนื้อที่ให้ผล 214,294 ไร่ แยกเป็นเนื้อที่พันธุ์อะราบิกา 87,159 ไร่ พันธุ์โรบัสต้า 127,135 ไร่ ผลผลิต 18,598 ตัน แยกเป็นผลผลิตอะราบิกา 8,553 ตัน โรบัสต้า 10,045 ตัน โดยเนื้อที่อยู่ในภาคใต้ร้อยละ 58.47 ภาคเหนือร้อยละ 39.82 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือร้อยละ 0.86 และภาคกลางร้อยละ 0.85 การคั่วเมล็ดกาแฟก็ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญโดยเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้กับเมล็ดกาแฟดิบเพื่อเปลี่ยนเป็นกาแฟคั่วที่ให้สีและกลิ่นที่หลากหลายตามความต้องการ ส่งผลต่อรสชาติและกลิ่นของกาแฟที่แตกต่างกัน และช่วยเพิ่มมูลค่าของกาแฟ [2] การคั่วเมล็ดกาแฟแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับคั่วอ่อน (Light Roast) ระดับคั่วกลาง (Medium Roast) และระดับคั่วเข็ม (Dark Roast) โดยทั่วไปการคั่วเมล็ดกาแฟนิยมใช้ระดับความเข้มของสีของเมล็ดกาแฟที่มีตัวแปรมาจากปริมาณความร้อนและระยะเวลาที่ใช้ในการคั่ว [3] ดังนั้น สีของเมล็ดกาแฟที่เกิดจากการคั่วทั้ง 3 ระดับ นั้นจะต้องมีความคงที่สม่ำเสมอเพื่อส่งผลที่ดีต่อรสชาติของกาแฟและความหอม

1.1 กระบวนการคั่วกาแฟ

การคั่วกาแฟเป็นการนำกาแฟแต่ละสายพันธุ์ที่ต้องการมาคั่วที่เครื่องคั่วกาแฟ โดยมีอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยตั้งแต่ 170–270 องศาเซลเซียส กาแฟที่คั่วจะสุกเปลี่ยนสีจากเดิมสีเหลือง หรือสีเขียวอมฟ้า ขึ้นอยู่กับความเก่าใหม่ของกาแฟที่นำมาคั่ว จนเป็นสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลเข้ม และจนถึงสีดำ สีของกาแฟที่เกิดจากคั่วกาแฟนั้น เกิดจากประสบการณ์ของผู้คั่วที่เป็นผู้กำหนดสีของกาแฟให้อยู่ในระดับการคั่วที่ต้องการที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิความร้อนจากถังคั่วและระยะเวลาในการคั่ว ซึ่งการคั่วเม็ดกาแฟ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ [4]

1) การคั่วระดับอ่อนเป็นการคั่วที่ใช้อุณหภูมิความร้อนที่ประมาณ 177 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 15–20 นาที เมื่อเมล็ดได้รับความร้อนจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลือง และในที่สุดก็จะกลายเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ

2) การคั่วระดับกลาง กาแฟที่มีความเข้มปานกลาง เมล็ดกาแฟเป็นสีน้ำตาลและมีความมันจากน้ำมันในเมล็ดเคลือบเจือจาง คั่วที่อุณหภูมิ 200–220 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 15–20 นาที และในระหว่างการคั่วจะได้ยินเสียงการแตกของกาแฟดัง 2 ครั้ง ซึ่งเป็นครั้งที่สมบูรณ์ในการที่จะได้กาแฟคั่วระดับนี้

3) การคั่วระดับเข้ม เมล็ดกาแฟที่คั่วเสร็จแล้วจะมีสีน้ำตาลเข้มเกือบไหม้ ที่คั่วในอุณหภูมิ 232 องศาเซลเซียส ระยะเวลาประมาณ 15–20 นาที หรืออาจจะใช้ความร้อนที่น้อยกว่านี้แต่ใช้เวลาที่ยาวนานกว่าระดับอื่น กาแฟจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นมาก อมน้ำตาลแดง แต่ไม่ถึงกับดำ ที่ผิวของเมล็ดกาแฟจะมีน้ำมันซึมเคลือบผิว

อย่างไรก็ตาม กระบวนการคั่วกาแฟจะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาสีของเมล็ดกาแฟในขณะคั่ว โดยต้องคอยดึงตัวอย่างของเมล็ดกาแฟขณะคั่วมาพิจารณา

1.2 ระบบการวัดสี

ระบบการวัดสีมีหลายระบบแต่ที่นิยมใช้และรู้จักกันที่ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบ Munsell และ ระบบ CIE [5]

1) ระบบ Munsell เป็นระบบที่มีมานาน โดย อัลเบิร์ต เอช มันเซลล์ (Albert H. Munsell) ได้พัฒนาการสื่อสารระบบการจัดลำดับสีขึ้น โดยได้ผลิตแถบสีต่างๆ ขึ้นมาเพื่ออธิบายความแตกต่างของสีอย่างเป็นระบบ และอาศัยการดูด้วยสายตามนุษย์ในการแยกความแตกต่างของสีจากคุณสมบัติการมองเห็นสีที่ต่างกัน การจัดเรียงสีของระบบ Munsell แบ่งออกเป็น 3 ทิศทาง ของ 3 มิติ คือ สีสัน (Hue) ความอิ่มตัวสี (Chroma) ความสว่าง (Lightness) ลักษณะเด่นของระบบนี้คือ มีความแตกต่างของสีที่สม่ำเสมอตามความรับรู้ของคนแสดงในทุกแกน ทั้งแกนสีสัน ความสว่าง และความอิ่มตัว และแต่ละแกนเป็นอิสระต่อกัน อย่างไรก็ตาม ระบบนี้เป็นระบบที่ต้องอาศัยการมองเห็นด้วยสายตามนุษย์ทำให้ต้องอาศัยประสบการณ์และความคิดของมนุษย์ในการวัดสี ระบบนี้มักนิยมใช้ในทางอุตสาหกรรม เช่น สีผ้า สีรถยนต์ รวมถึงการ

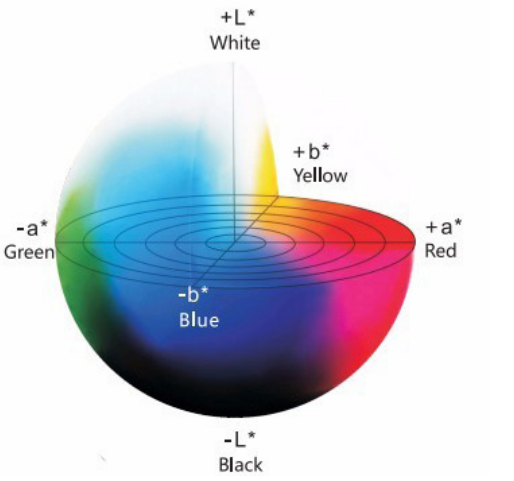
เทียบสีของอัญมณีในห้องปฏิบัติการอัญมณีด้วย การจัดระบบสี Munsell ได้ถูกรวบรวมเป็นสมุดสี ที่เรียกว่า Munsell Book หรือ Munsell Tree เพื่อใช้ในการเทียบสีวัตถุ โดยการนำวัตถุมาเทียบกับสีที่มีอยู่ในสมุด

2) ระบบ CIE พัฒนาขึ้นมาเพื่อวัดค่าสีออกมาเป็นตัวเลข โดยใช้กับเครื่องมือที่เรียกว่า Colorimeter และ Spectrometer โดยไม่ต้องอาศัยประสบการณ์การวัดสี หรือความคิดมนุษย์เหมือนระบบ Munsell การวัดสีระบบนี้จึงมีข้อดีที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของบุคคล ระบบ CIE แบ่งเป็น 2 ระบบ ได้แก่ CIE Tristimulus Color Space และ CIE L*a*b* สำหรับการวัดสีบนพื้นผิวและแสงสี จะใช้เครื่องมือวัดสีที่มีหลักการทำงานที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบสำคัญ คือ

2.1) แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ โดยแต่ละแหล่งกำเนิดแสงจะมีอุณหภูมิสีต่างกัน สำหรับการเปรียบเทียบสีมักจะใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่เรียกว่า Illuminant D65 ซึ่งจะมีลักษณะแสงเหมือนแสงแดดตอนกลางวัน

2.2) วัตถุมีสี เช่น ผ้า เส้นใย สีรถยนต์ ซึ่งวัตถุเหล่านี้จะดูดกลืนแสงบางส่วนและสะท้อนแสงบางส่วนเข้าสู่สายตาผู้วัดและสู่เครื่องวัดสี

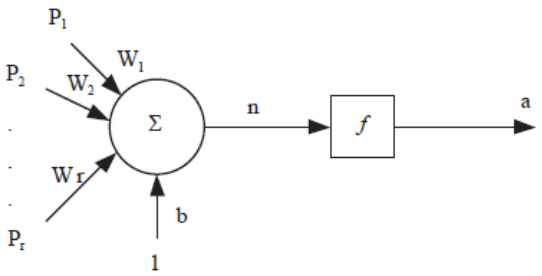
2.3) เครื่องมือหรืออุปกรณ์วัดสี ซึ่งสามารถวัดความยาวคลื่นระหว่าง 400–700 นาโนเมตร ซึ่งต้องสอดคล้องกับการมองเห็นของสายตามนุษย์ ระบบ CIE Tristimulus Color Space จะอธิบายการ Coordinate ของ 2 แกน ออกมาเป็นรูปสามเหลี่ยมเกือกม้า ส่วนกลางของรูปจะแสดงสีขาวที่เกิดจากการรวมกันของแสงสี แต่ระบบนี้ยังขาดความสัมพันธ์ระหว่างสีที่มองเห็น จึงมีการพัฒนาเป็นระบบ CIE L*a*b* เป็นวิธีการวัดสีที่แสดงค่าที่แปลผลได้ง่าย ด้วยหลักการของ Color Space คือสามารถบอกความแตกต่างของสีสันของวัตถุได้เป็นตัวเลข ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการวัดค่าสีเมล็ดกาแฟด้วยระบบ CIE L*a*b* โดยกำหนดให้ค่า L* เป็นค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0–100 ถ้าค่า L* มาก แสดงว่าชิ้นงานสว่างมาก แกน a* เปรียบเทียบระหว่างสีแดงและเขียว ถ้า a* มีค่าเป็น + สีของวัตถุจะไปในทิศทางสีแดง ถ้าเป็น – สีจะไปในทิศทางของสีเขียว ส่วนแกน b* เปรียบเทียบระหว่างสีเหลืองกับสีน้ำเงินมีค่าเป็น + สีของวัตถุจะไปในทิศทางสีเหลือง ถ้าเป็น – สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบ CIE L* a* b*

1.3 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยจุดมุ่งหมายของโครงข่ายประสาทเทียมคือ [6] การพัฒนาให้คอมพิวเตอร์มีความชาญฉลาดในการเรียนรู้เสมือนมนุษย์ และสามารถนำความรู้และทักษะไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น งานจัดหมวดหมู่และแยกแยะสิ่งของ การคัดแยกผลผลิตทางการเกษตร [7], [8] การพยากรณ์ข้อมูล การประมาณค่าฟังก์ชันหรือการประมาณค่าความสัมพันธ์ การจดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นนอน การประมวลผลต่างๆ เกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อยเรียกว่าโนด (Node) ซึ่งโนดเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากเซลล์การส่งสัญญาณระหว่างโนดที่เชื่อมต่อกันจำลองมาจากการเชื่อมต่อของเดนไดรต์และแอกซอนในระบบประสาทของมนุษย์ ภายในโนดจะมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณส่งออกที่เรียกว่า ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) หรือฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำหน้าที่เสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์ [9] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เซลล์ประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ดังนี้ [10]

1) ข้อมูลป้อนเข้า (Input) เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลขหากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ ต้องแปลงให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณที่โครงข่ายประสาทเทียมยอมรับได้

2) ข้อมูลส่งออก (Output) คือ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (Actual Output) จากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

3) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weights) คือสิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าค่าความรู้ (Knowledge) ค่านี้จะถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการจดจำข้อมูลอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

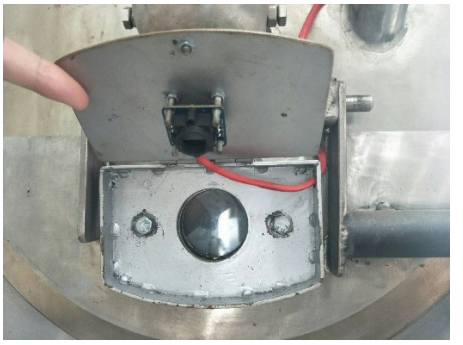
4) ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) เป็นผลรวมของข้อมูลป้อนเข้า และค่าน้ำหนัก

5) ฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลง (Transfer Function) เป็นการคำนวณการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic Tangent Function)

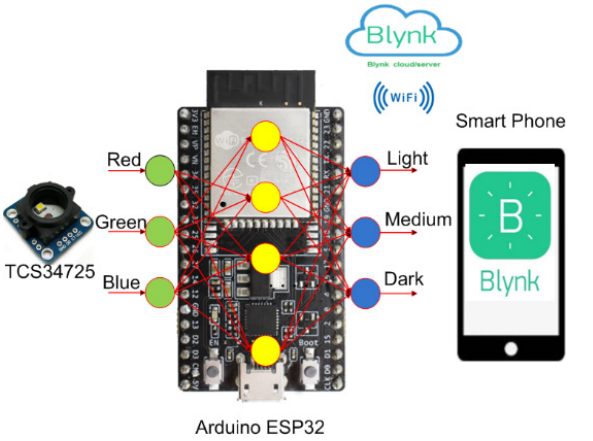
การแยกสีของเมล็ดกาแฟที่เกิดจากการคั่วสามารถแยกได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีแบบเดิมคือใช้มนุษย์หรือผู้เชี่ยวชาญในการสังเกตสีของเมล็ดกาแฟ และวิธีที่สองคือใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในการทำหน้าที่แทนมนุษย์ จากการศึกษาการคั่วเมล็ดกาแฟนั้น พบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ กิตติศักดิ์ และคณะ [2] ได้ศึกษาผลของระดับการคั่วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่วโดยใช้เครื่องคั่วสเปาเตดเบค พบว่า คุณค่าทางด้านประสาทสัมผัสเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น ค่า Aroma, Clean Cup, Acidity และ Flavor จะลดลง ระดับการคั่ว City จะมีค่า Sweetness, Mouth Feel, Aftertaste และ Balance สูงที่สุด และมีรสชาติของกาแฟดีที่สุด ณิชาภัทร และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งเมล็ดกาแฟโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลสำหรับการอบแห้งช่วงแรก พบว่า ใช้เวลาในการอบแห้ง 4–6 ชั่วโมง ความชื้นเมล็ดกาแฟสดลดลงเหลือ 90% มาตรฐานแห้ง มีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.95 ซึ่งจะมีอัตราการเติบโตของราเชื้อต่ำ ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวกับการวัดความเข้มของสีในการวิเคราะห์นั้น มีนักวิจัยอยู่หลายท่าน เช่น เสกสรรค์ และคณะ [3] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยใช้การประมวลผลภาพแบบฮิสโทแกรมสำหรับการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟ พบว่า จากค่าเฉลี่ยของค่าสีมาตรฐานได้ค่าระดับความอ่อนคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.502 ระดับกลางที่ 0.344 และระดับเข้มอยู่ที่ 0.043 อารีรัตน์ [12] ได้ทำแบบจำลองการทำนายสีจากข้อมูลสเปกตรัมของการพิมพ์อิงค์เจ็ท พบว่า ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสี (ΔE * ab) เท่ากับ 2.44, 2.61 และ 2.44 ตามลำดับ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A, D65 และ F11 และไม่เกิดปรากฏการณ์เมแทบอลิซึมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง Nasution [13] ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับคัดแยกระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟ Jun Noel และคณะ [14] ได้ศึกษาการคัดแยกระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟ ด้วยการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียม พบว่า สามารถคัดแยกระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟได้อย่างแม่นยำ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีการนำวิธีการประมวลผลภาพ และโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้เพื่อการวิเคราะห์ระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟและเมล็ดพืชหลายงานวิจัย แต่ยังไม่พบงานวิจัยใดที่ใช้วิธีการตรวจวัดความเข้มของสีเมล็ดกาแฟขณะทำการคั่ว ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาช่วยจัดกลุ่มระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟในขณะทำการคั่ว เพื่อลดกระบวนการทำงานในการตรวจสอบความเข้มของสีเมล็ดกาแฟและเป็นการยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น

รูปที่ 3 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟประเภท Drum Roasters



รูปที่ 4 การติดตั้งเซนเซอร์ TCS34725



รูปที่ 5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ตรวจสอบความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ

งานวิจัยนี้ได้นำเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟประเภท Drum Roasters มาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นเครื่องคั่วที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ลักษณะการทำงานของเครื่องจะมีหม้อคั่วเป็นตัวถังที่สามารถหมุนได้โดยจะถูกหมุนอยู่บนไฟ เพื่อเป็นการให้พลังงานความร้อน ดังรูปที่ 3 และได้นำเซนเซอร์ตรวจวัดค่าสี TCS34725 มาตรวจสอบค่าระดับสีแดง เขียว น้ำเงิน (R G B) ของเมล็ดกาแฟขณะคั่ว โดยติดตั้งให้ตรวจสอบสีเมล็ดกาแฟขณะคั่วผ่านช่องกระจกที่ใช้สำหรับให้พนักงานคั่วเมล็ดกาแฟตรวจสอบเมล็ดกาแฟ ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 ค่าระดับสีแดง เขียว น้ำเงิน (R G B) จากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าสี TCS34725 จะถูกนำไปประมวลผลด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประมวลผลอยู่ในบอร์ด Arduino ESP32 หลังจากที่โครงข่ายประสาทเทียมประมวลผลเรียบร้อย จะส่งระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟให้กับสมาร์ตโฟนผ่านทาง Blynk IoT Platform

2.2 ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มค่าความเข้มสีของเมล็ดกาแฟ

เนื่องจากระดับค่าความเข้มสีของเมล็ดกาแฟยังไม่มีค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงออกแบบขั้นตอนการแบ่งกลุ่มค่าความเข้มสีของเมล็ดกาแฟดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การคั่วเมล็ดกาแฟ งานวิจัยนี้ได้กำหนดอุณหภูมิการคั่วเป็น 200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กันโดยทั่วไป ณ ขณะทำการคั่วในช่วงเวลาระหว่าง 5 ถึง 30 นาที คณะผู้วิจัยจะสุ่มดึงตัวอย่างของเมล็ดกาแฟออกมาจากช่องตรวจตัวอย่างเมล็ดกาแฟในเวลาที่แตกต่างกันรวมทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง พร้อมกับบันทึกค่าสีของเมล็ดกาแฟในหม้อคั่วขณะที่ดึงตัวอย่างเมล็ดกาแฟ ด้วยเซนเซอร์ TCS34725 ในรูปแบบของสีแดง เขียว และน้ำเงิน (R G B) ดังรูปที่ 6

ขั้นตอนที่ 2 วัดระดับค่าความเข้มสีของตัวอย่างเมล็ดกาแฟที่เย็นตัวลง จากขั้นตอนที่ 1 ด้วยเครื่อง Colorflex Hunter Lab เพื่อนำระดับค่าความเข้มสีที่วัดได้ของตัวอย่างในมาตรฐาน CIE L* a* b* [15] ไปจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการ K-Mean โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งระดับความเข้มของเมล็ด

รูปที่ 6 เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วแต่ละระดับ

กาแฟ (Roast Level) ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ คั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม เมื่อจัดกลุ่มด้วยวิธี K-mean เรียบร้อย จะสามารถสรุปได้ว่าเมล็ดกาแฟแต่ละตัวอย่าง มีระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟอยู่ที่ระดับใดและทราบความเข้มสีในรูปแบบของสีแดง เขียว และน้ำเงิน ที่ได้จากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าสี TCS34725 ของตัวอย่างนั้นๆ ด้วย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการ K-mean

No	Color (TCS34725)			Color (Colorflex Hunter Lab)			Roast Level
	R	G	B	*L**	*A**	*B**	
1	74	123	129	24.8	5.77	8.44	Light
2	73	123	129	24.5	5.63	9.42	Light
3	74	124	129	23.9	5.06	8.9	Light
4	74	124	130	25	5.31	9.43	Light
5	73	123	129	24.3	5.71	8.99	Light
6	79	119	123	31.6	7.89	14.46	Light
7	79	120	123	29.8	7.54	15.68	Light
8	79	119	123	29.6	7.27	15.17	Light
9	79	119	124	30.4	7.75	14.73	Light
10	80	119	123	29.9	6.37	13.47	Light
11	71	115	121	39.6	11.6	22.43	Light
12	71	115	120	41.6	11.9	24.6	Light
13	71	115	121	42.8	11.3	24.32	Light
14	72	115	121	40.1	11.2	22.45	Light
15	72	114	120	40.1	11.5	22.11	Light
16	80	112	117	22	4.63	8.72	Light
17	80	112	116	21.2	4.45	6.81	Light
18	79	112	116	23.8	4.24	8.49	Light
19	80	112	117	23.9	4.51	9.05	Light

ตารางที่ 1 ผลการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการ K-mean (ต่อ)

No	Color (TCS34725)			Color (Colorflex Hunter Lab)			Roast Level
	R	G	B	*L**	*A**	*B**	
20	79	112	116	23.6	4.74	7.56	Light
21	303	74	18	24.5	5.07	8.9	Light
22	304	73	17	24.2	5.56	8.21	Light
23	303	74	18	23.8	5.44	9.71	Light
24	303	73	21	23.7	5.49	7.91	Light
25	304	74	21	26.4	5.94	9.49	Light
26	189	88	70	17	–0.47	2.09	Medium
27	189	90	66	16.6	0.24	0.13	Medium
28	189	88	68	18.5	–0.35	0.91	Medium
29	189	88	66	18	–0.5	2.1	Medium
30	189	90	68	18.4	–0.87	1.01	Medium
31	97	106	109	15.6	–0.07	1.94	Medium
32	98	106	109	15.1	0.1	0.57	Medium
33	97	107	108	14.9	–0.63	2.64	Medium
34	96	106	109	17.4	–0.34	1.36	Medium
35	97	106	109	16.5	–0.13	0.43	Medium
36	286	66	34	18	–0.13	0.03	Medium
37	285	66	32	17.1	0.19	0.03	Medium
38	280	61	34	16.7	–0.29	0.5	Medium
39	286	66	37	17.8	0.23	–0.66	Medium
40	285	64	40	17.1	–0.68	–0.05	Medium
41	282	61	33	16.5	0.05	–0.1	Medium
42	286	66	35	17.4	–0.5	0.42	Medium
43	282	69	37	17	–0.51	0.56	Medium
44	278	63	32	16.5	–0.22	0.12	Medium
45	290	66	34	17.3	–0.22	0.68	Medium
46	290	68	30	17	0.23	–0.09	Medium
47	286	64	37	16.5	–0.07	0.19	Medium
48	309	88	44	17.3	0.01	–0.57	Medium
49	307	90	42	16.9	0.11	–0.55	Medium
50	300	84	46	16.3	0.13	0.12	Medium
51	235	84	54	16	–0.25	–0.07	Dark
52	236	84	53	15.4	–0.49	0.19	Dark
53	236	83	52	15.9	0	–0.88	Dark
54	235	85	55	15.3	0.25	0.14	Dark
55	239	82	50	15.9	–0.55	0.07	Dark
56	239	80	53	15.3	0.25	0.14	Dark
57	242	80	49	15.7	0.02	0.65	Dark
58	245	80	51	14.2	–0.36	0.54	Dark
59	245	80	47	15.6	–0.26	1.28	Dark
60	238	74	82	13.9	–0.21	–0.07	Dark

ขั้นตอนที่ 3 จากการจัดกลุ่มระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟในขั้นตอนที่ 2 คณะผู้วิจัยได้นำค่าระดับสีแดง เขียว น้ำเงิน (R G B) จากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าสี TCS34725 ของตัวอย่างขณะคั่ว ไปทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 70% (คิดเป็น 42 ข้อมูล) สำหรับการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม และ 30% (คิดเป็น 18 ข้อมูล) สำหรับการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

2.3 การตรวจสอบระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟขณะคั่วด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

งานวิจัยนี้ได้นำโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Feed-forward Back-propagation) [16] มาประยุกต์ใช้สำหรับคัดแยกระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟขณะคั่ว โดยได้กำหนดจำนวนโนดในชั้นอินพุต 3 โนด เพื่อรับค่าระดับสีแดง เขียว น้ำเงิน (R G B) จากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าสี TCS34725 ชั้นซ่อนได้กำหนดจำนวนโนดทั้งหมด 3 ขนาด ได้แก่ 3, 5 และ 7 โนด ชั้นเอาต์พุตกำหนดเป็น 3 โนด สำหรับผลลัพธ์การคัดแยกระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟขณะคั่ว และได้นำค่าความแม่นยำ (Accuracy) มาเป็นเกณฑ์การพิจารณาเลือกสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟ ดังรูปที่ 7

การคำนวณค่าผลลัพธ์ในชั้นซ่อน จะคำนวณค่าผลรวมของโนดในชั้นซ่อน ดังสมการที่ (1)

$$y_i = f(\sum_{i=1}^{n} x_i w_{ij}) \tag{1}$$

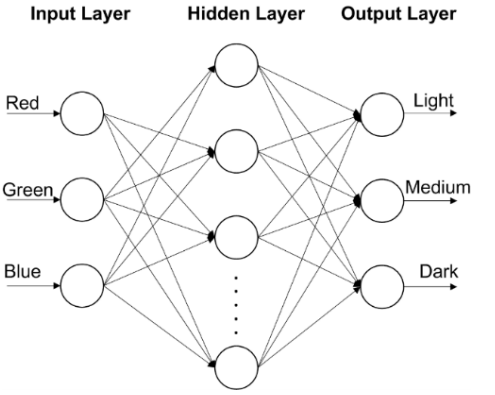
โดยที่ y_i คือ ผลลัพธ์ในชั้นซ่อน หรือข้อมูลส่งออกในชั้นซ่อนโนดที่ j

x_i คือ ข้อมูลนำเข้าโนดที่ i ในชั้นอินพุต

w_{ij} คือ น้ำหนักบนเส้นเชื่อมระหว่างโนดที่ i ในชั้นอินพุตและโนดที่ j ในชั้นซ่อน

n คือ จำนวนโนดทั้งหมดของชั้นอินพุต

หลังจากได้ผลลัพธ์ในชั้นโนดซ่อน (Hidden Node) นำผลลัพธ์ที่ได้ไปคูณกับค่าน้ำหนักในชั้นเอาต์พุต (Output Node) สมการในการคำนวณมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 7 โครงข่ายประสาทเทียม

$$Z_k = f(\sum_{j=1}^{m} y_j w_{jk}) \tag{2}$$

จำนวนโนดในชั้นเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการจัด

โดยที่ Z_k คือ ผลลัพธ์ในชั้นเอาต์พุตโนดที่ k

y_j คือ ผลลัพธ์ในชั้นซ่อน หรือข้อมูลส่งออกในชั้นซ่อนโนดที่ j

w_{jk} คือ น้ำหนักบนเส้นเชื่อมระหว่างโนดที่ j ในชั้นซ่อนและโนดที่ k ในชั้นเอาต์พุต

m คือ จำนวนโนดทั้งหมดของชั้นซ่อน

การกำหนดค่าผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมได้เลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) 2 ฟังก์ชัน ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ได้แก่ Sigmoid Function และ Tanh Function ดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$sigm(u) = \frac{1}{1+e^{-u}} \tag{3}$$

$$\tanh(u) = \frac{e^{2u}-1}{e^{2u}+1} \tag{4}$$

โดยที่ u คือ ค่าผลรวมของโนดในชั้นก่อนหน้า

3. ผลการทดลอง

จากผลการจัดกลุ่มระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟในตารางที่ 1 คณะผู้วิจัยได้นำค่าระดับสีแดง เขียว น้ำเงิน (R G B) จากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าสี TCS34725 มาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการสอนโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้สำหรับตรวจวัดความเข้มของสีเมล็ดกาแฟขณะทำการคั่ว ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 60 ตัวอย่าง โดยแบ่งข้อมูลสำหรับการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม เป็น 70% และ 30% ตามลำดับ จากการทดลองเพื่อหาค่าตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟทั้งหมด 6 ตัวแบบ ค่าความแม่นยำ [13] แสดงดังสมการที่ (5) ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการพิจารณาเลือกสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟ ดังตารางที่ 1

$$Percent_{Acc} = 100 - \left[\left| \frac{x_{mea} - x_t}{x_t} \right| \times 100 \right] \quad (5)$$

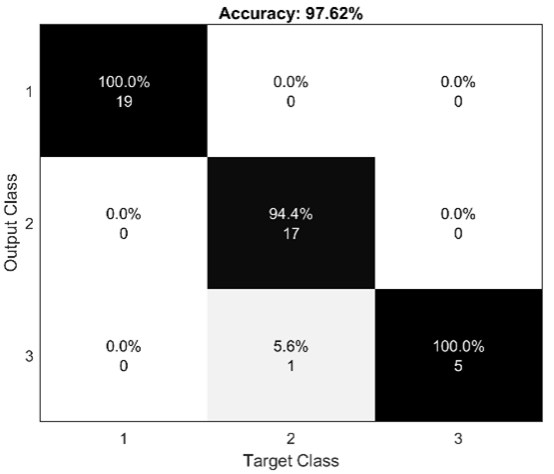
โดยที่ x_{mea} คือ ค่าระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟจากการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

x_t คือ ค่าจริงจากการแบ่งกลุ่มด้วย K-mean

ตารางที่ 2 ผลการคัดแยกระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

Model	Topology	Activation Function	Accuracy (%)	
			Train	Test
1	3-3-3	Sigmoid	71.43	66.67
2	3-3-3	Tanh	83.33	94.44
3	3-5-3	Sigmoid	83.33	94.44
4	3-5-3	Tanh	97.62	100
5	3-7-3	Sigmoid	95.24	100
6	3-7-3	Tanh	90.48	94.44

จากตารางที่ 2 พบว่า สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้จัดกลุ่มระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟขณะคั่ว โดยพิจารณาจากค่าความแม่นยำ พบว่า สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบจำลองที่ 4 และ 5 มีค่าความแม่นยำในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 100% โดยแบบจำลองที่ 4 มีสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 3-5-3 ฟังก์ชันกระตุ้นคือ Tanh Function ค่าความแม่นยำในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 97.62% ส่วนแบบจำลองที่ 5 มีสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 3-7-3 ฟังก์ชันกระตุ้นคือ Sigmoid Function ค่าความแม่นยำในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 95.24% อย่างไรก็ตาม สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบจำลองที่ 4 เป็นโครงข่ายที่เหมาะสมที่สุดแสดงดังรูปที่ 8 เนื่องจากค่าความแม่นยำในการสอนมีค่ามากกว่าแบบจำลองที่ 5 และจำนวนโนดในชั้นซ่อนของแบบจำลองที่4 มีจำนวนน้อยกว่าสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบจำลองที่ 5 จึงส่งผลให้เวลาในการประมวลผลหาคำตอบจะใช้เวลาน้อยกว่า



รูปที่ 8 การตรวจสอบค่าความแม่นยำในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดกลุ่มระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟขณะคั่วโดยโครงข่ายประสาทเทียม โดยได้ออกแบบสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมด 6 แบบจำลอง และนำค่าความแม่นยำมาเป็นเกณฑ์การพิจารณาเลือกสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่

เหมาะสม จากการทดสอบข้อมูลทั้งหมด 60 ตัวอย่าง โดยแบ่งข้อมูลสำหรับการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 70% และ 30% ตามลำดับ พบว่า สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 3-7-3 ฟังก์ชันกระตุ้นเป็น Sigmoid Function และสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 3-5-3 ฟังก์ชันกระตุ้นเป็น Tanh Function มีค่าความแม่นยำในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 100% เท่ากัน แต่เนื่องจากจำนวนโนดในชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นเป็น Tanh Function มีจำนวนน้อยกว่า Sigmoid Function ซึ่งจะส่งผลให้เวลาในการประมวลผลหาคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียมด้วยฟังก์ชันกระตุ้นเป็น Tanh Function น้อยกว่า Sigmoid Function ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียมแบบ 3-5-3 และฟังก์ชันกระตุ้นเป็น Tanh Function เป็นสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดกลุ่มระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟขณะคั่ว

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่สนับสนุนงานวิจัยอย่างจริงจังและต่อเนื่องมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

[1] Office of Agricultural Economics, “Statistic Coffee 2020,” Office of Agricultural Economics, Bangkok, Thailand, 2020 (in Thai).

[2] K. Witinantakit, S. Supsing, E. Boonthum, and C. Taechapairoj, “Effect of degree of roast on toasted coffee physical and sensory qualities using spouted bed roaster,” *Journal of Science & Technology MSU*, vol. 39, no. 5, pp. 551–559, 2020 (in Thai).

[3] S. Winyangkul, K. Janta, and N. Tejatip, “A color level evaluation of roasted coffee beans using histogram for image processing to grade separation,” *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, vol. 3, no. 22, pp. 10–20, 2020 (in Thai).

[4] P. Kantalee and C. Inprasert, “Physical property of robusta green coffee beans before and after roasting,” in *Proceedings of the 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference: Engineering, Science Technology and Environment*, 2012, pp. 96–103, (in Thai).

[5] P. Thongnopkun, M. Jamkratoke, and P. Pienpinijtham, “Tarnish protection of silver jewelry by gold nanoparticles,” *Research Report*, Burapha University, Chanthaburi, 2016 (in Thai).

[6] A. Kamlungpetch and P. Inrawong, “Appication of artificial neural networks with fast fourier transform for wave form analysis and classification,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 27, no. 4, pp. 643–653, 2017 (in Thai).

[7] D. Guyer and X. Yang, “Use of genetic artificial neural networks and spectral imaging for detection on cherries,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 29, no. 3, pp. 179–194, 2000.

[8] X. Chen, Y. Xun, W. Li, and J. Zhang, “Combining discriminant analysis and neural networks for corn variety identifcation,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 71, pp. S48–S53, 2010.

[9] T. Prakorppon, “Artificial neural networks,” *HCU Journal*, vol. 24, pp. 73-87, 2009 (in Thai)

[10] S. Saengsawang, “Applying of artificial neural network in the agriculture,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 26, no. 2, pp. 319–331, 2016 (in Thai)

[11] N. Moonrat, A. Achariyaviriya, and S. Achariyaviriya, "Development of coffee beans drying using biomass energy dryer for the fist period of drying," *The Journal of KMUINB*, vol. 31, no. 2, 2020 (in Thai).

[12] A. Pathomchaiwal, "Colour prediction model from spectral data for inkjet printing," *Association of Private Higher Education Institutions of Thailand*, vol. 6, no. 2, pp. 6–13, 2017 (in Thai).

[13] T. H. Nasution and U. Andayani, "Recognition of roasted coffee bean levels using image processing and neural network," in *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 2017, pp. 1–8.

[14] J. N. C. Sarino, M. M. Bayas, E. R. Arboleda, E. C. Guevarra, and R. M. Dellosa, "Classification of coffee bean degree of roast using image processing and neural network," *International Journal Of Scientific & Technology Research*, vol. 8, no. 10, pp. 3231–3233, 2019.

[15] P. Kaewtrakulpong, *Applications of Machine Vision Algorithms using NI Vision*. Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2016, pp. 569–577 (in Thai).

[16] P. Sibi, S. A. Jones, and P. Siddarth, "Analysis of different activation functions using back propagation neural networks," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 47, no. 3, pp. 1264–1268, 2013.