

การประเมินคุณภาพผลไม้แบบไม่ทำลายโดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวของภาพ และการจำแนกด้วยวิธีระยะทางน้อยที่สุด

Non-Destructive Assessment of Fruit Quality Using Image Texture Features and Minimum Distance Classification

สุกัญญา พงษ์สุภาพ*

Sukanya Phongsuphap*

วิมล อุทานนท์**

Wimon Utanon**

ธัญนิชา ทองอยู่***

Thannicha Thongyoo***

เอก อุทานนท์****

Eka Utanon****

รับบทความ: 8 พฤศจิกายน 2566 / แก้ไขบทความ: 17 พฤศจิกายน 2566 / ตอรับการตีพิมพ์: 21 พฤศจิกายน 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประเมินคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลาย โดยใช้ผลฝรั่งพันธุ์กิมจูเป็นกรณีศึกษา นำเสนอเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยคุณลักษณะพื้นผิว (texture features) ในการวิเคราะห์ความเกี่ยวพันของลักษณะพื้นผิวของผลฝรั่งที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่าย กับคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านรสชาติ (taste) และด้านลักษณะเนื้อ (flesh) ของผลฝรั่ง ดำเนินการทดลองโดยใช้ (1) คุณลักษณะพื้นผิวแบบเดี่ยว (2) คุณลักษณะพื้นผิวแบบหลายคุณลักษณะ และใช้การจำแนกด้วยวิธีระยะทางน้อยที่สุด

ผลการวิจัย พบว่า (1) การจำแนกความเกี่ยวพันคุณภาพด้านรสชาติ (หวาน ไม่หวาน) โดยใช้วิธีระยะทางน้อยที่สุดในการจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวแบบเดี่ยว คือ Smoothness มีค่าความแม่นยำสูงกว่าคุณลักษณะพื้นผิวแบบอื่น โดยมีค่าความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 66.67 (2) การจำแนกความเกี่ยวพันคุณภาพด้านลักษณะเนื้อ (นุ่ม ไม่นุ่ม) โดยใช้วิธีระยะทางน้อยที่สุดในการจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวแบบหลายคุณลักษณะ คือ Clumpiness และ Missibility มีค่าความแม่นยำสูงกว่าคุณลักษณะพื้นผิวแบบอื่น โดยมีค่าความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 80.00

* คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยมหิดล

* Faculty of Information and Communication Technology, Mahidol University, Bangkok

** **** สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและวิทยาการข้อมูล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

** **** Information Communication and Data Science Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

*** คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

*** Faculty of Information Technology, Thepsatri Rajabhat University Rajabhat University, Bangkok

คำสำคัญ: การประเมินคุณภาพผลไม้ เทคนิคการประมวลผลภาพ การจำแนกด้วยคุณลักษณะพื้นผิว

Abstract

This research aims to study non-destructive fruit quality assessment using guava-kimju as a case study. It presents an image processing technique by analyzing the guava's texture features obtained from images. The study explores the attributes related to taste and flesh quality of guava. The experiments are conducted using texture features (1) Single feature, (2) Multiple features, and classification is performed using the minimum distance classification method.

The results have shown that, (1) classifying the correlation between guava taste (sweet/not sweet) using the minimum distance method and the "smoothness" texture feature is more accurate than other texture features, with an accuracy rate of 66.67%. (2) Classifying the correlation between guava flesh texture (soft/not soft) using the minimum distance method and the "clumpiness" and "missibility" texture features is more accurate than other texture features, with an accuracy rate of 80.00%.

Keywords: Fruit Quality Assessment, Image Processing Technique, Texture Features Classification

บทนำ

งานวิจัยนี้ ศึกษาการประเมินคุณภาพผลไม้ จากระบบเดิมการประเมินคุณภาพของผลผลิตนั้นอาศัยความชำนาญจากสายตาของมนุษย์ในการสังเกตคุณภาพที่แตกต่างกัน เช่น สีผิวภายนอกของผลไม้ ความหยاب ความขรุขระของผิวผลไม้ หรือใช้การชิมรสชาติของผลไม้ รวมทั้งการใช้เครื่องมือในการวัดความแข็ง ความหวาน ซึ่งเป็นการทำให้ผลไม้เหล่านั้นถูกทำลายเพื่อให้ได้ผลประเมินคุณภาพ โดยที่ความแม่นยำของการประเมินขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ประเมินแต่ละบุคคล

การประมวลผลภาพเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพและทำความเข้าใจภาพ จากข้อมูลภาพที่ได้รับโดยแปลงเป็นค่าตัวเลขเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งการทำงานของ การประมวลผลภาพเป็นการเลียนแบบการมองเห็นและการรับรู้ของมนุษย์ ปัจจุบันถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบคัดแยกผลผลิตทางการเกษตรและอาหารเพิ่มมากขึ้น เพิ่มความมั่นใจและรับประกันคุณภาพสินค้าก่อนส่งออกสู่ตลาด (ศิริลักษณ์ วงศ์เกษม, 2555)

คณะผู้วิจัย ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการประเมินคุณภาพของผลไม้ ดังนี้

มีร์ซาเอะ และซารเอะ (Mirzaei & Saraee, 2007) นำเสนอขั้นตอนวิธีในการตรวจหารอยข้ำบนผิวแอปเปิล โดยใช้เทชโฮลด์และการสัณฐานวิทยา เช่น การเปิดและการปิด (opening and closing morphological) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดและอัตราการจัดจำแนกกับร้อยละ 14.00 และ 79.50 ตามลำดับ

ลีแมนส์ และเดสเทิน (Leemans & Destain, 2004) นำเสนอวิธีการจัดเกรดของแอปเปิลพันธุ์โจนาโกลด์ (Jonagold) ภาพผลไม้ถูกแบ่งส่วนและแยกคุณลักษณะข้อบกพร่อง โดยการจำแนกแบบเคมีน (k-mean cluster) ผลการจำแนกอัตราความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 73.00 ข้อผิดพลาดพบว่าการเกิดจากการแบ่งส่วนของข้อบกพร่อง

ยูเนย์ และกอสเสลิน (Unay & Gosselin, 2004, Online) นำเสนอเทคนิคการจำแนกประเภทที่ใช้สำหรับการแยกข้อบกพร่องพื้นผิวของแอปเปิลพันธุ์โจนาโกลด์ (Jonagold) โดยใช้วิธีการจำแนกแบบซูปเปอร์ไวส์ (supervised classification) ในการแยกข้อบกพร่อง พบว่า การคำนวณแบบหลายชั้นมีค่าที่ดีที่สุด และลักษณะสีน้ำตาลปนแดงของแอปเปิลเป็นข้อบกพร่องยากที่สุดในการแยกข้อบกพร่อง

คิม, เบิร์ก, คิน และบูลานอน (Kim, Burks, Qin & Bulanon, 2009) ได้ออกแบบเทคนิคการวิเคราะห์คุณลักษณะของภาพโดยใช้สีและลักษณะผิว ในการจำแนกโรคเปลือกส้มภายใต้สภาวะแสงที่ควบคุมในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ภาพลักษณะผิวจำนวน 39 ภาพ วิเคราะห์ค่าสีโดยใช้โมเดลสีเอชเอสไอ การพิจารณาพื้นที่ที่สนใจใช้วิธีสีโคออคเคอร์เรนซ์ (color Co-occurrence) และใช้แบบจำลองคุณลักษณะผิวจำนวน 14 แบบ

ณัฐพล ชัยทวีธาณันท์ (2555) คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ทำการวิจัยการตรวจสอบฝักรสหวานเสียโดยวิธีการประมวลผลภาพ ผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาตรวจสอบตำหนิบนฝักรสหวานเพื่อคัดแยกฝักรสหวานเสียออกจากฝักรสหวานดี โดยใช้ค่าของแสงสว่างจากภาพถ่ายฝักรสหวานในการคัดแยก ผลการศึกษาการใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพเพื่อตรวจสอบฝักรสหวานเสียด้วยการใช้ระดับค่าความเข้มของแสงภายในภาพถ่ายตรวจสอบตำหนิที่อยู่บนผิวของฝักรสหวาน ค่าระดับความเข้มแสงที่ 19 สามารถนำมาตรวจสอบฝักรสหวานได้อย่างเหมาะสมอยู่ที่ระดับ 0.15 - 0.17

วิมล อุทานนท์, สุกัญญา พงษ์สุภาพ, วันทนีย์ สว่างอารมณ์ และณัฐดนัย สิงห์ศรีวรรณ (2563) ศึกษาและวิจัยการประเมินคุณภาพผลไม้โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยคุณลักษณะสี โดยใช้โมเดลสีอาร์จีบีกำหนดข้อผิดพลาดระบบไอเอสซีซี-เอ็นบีเอส (ISCC-NBS) ผลการวิจัย พบว่า การใช้ฐานกฎจำแนกความเกี่ยวพันของลักษณะสีกับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อมีความแม่นยำร้อยละ 86.67 ส่วนการใช้ฐานกฎจำแนกความเกี่ยวพันของลักษณะสีกับคุณภาพด้านรสชาติมีความแม่นยำร้อยละ 63.33

ในบทความวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและทำการวิจัยโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว (texture features) ของภาพ เพื่อประเมินคุณภาพของผลฝรั่งจากลักษณะ ผิวเรียบ ผิวหยาบ หรือผิวขรุขระ ของผลฝรั่ง และการจำแนกด้วยวิธีระยะทางน้อยที่สุด (minimum distance classifier) เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพโดยไม่ทำลายผลไม้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและทดลองการนำเทคนิคการประมวลผลภาพโดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวในการประเมินคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลาย โดยพิจารณาความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวที่ได้จากภาพ กับคุณภาพด้านรสชาติ และด้านลักษณะเนื้อของผลไม้

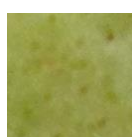
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยการประเมินคุณภาพผลไม้แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ มีวิธีดำเนินการดังนี้ (1) การเก็บข้อมูลภาพผลไม้ (2) การประมวลผลข้อมูลภาพผลไม้ และ (3) การจำแนกคุณภาพของผลไม้

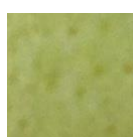
กระบวนการที่ 1 การรวบรวมข้อมูลและภาพผลไม้ (Fruit Images Acquisition)

การรวบรวมข้อมูลผลฝรั่งและภาพผลฝรั่งที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

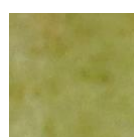
1.1 ถ่ายภาพผลฝรั่งพันธุ์กิมจูจำนวน 30 ผล ด้วยสมาร์ทโฟน iPhone (iOS) ความละเอียด 12 ล้านพิกเซล โดยผลฝรั่ง 1 ผล ถูกถ่ายภาพ 4 ด้าน ซึ่งได้ภาพที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดจำนวน 120 ภาพ แสดงดังภาพที่ 1 จากนั้นทำการตัดภาพจากจุดกลางของภาพผลฝรั่ง ขนาด 128 x 128 พิกเซล แสดงดังภาพที่ 2



g16ai



g16bi



g16ci



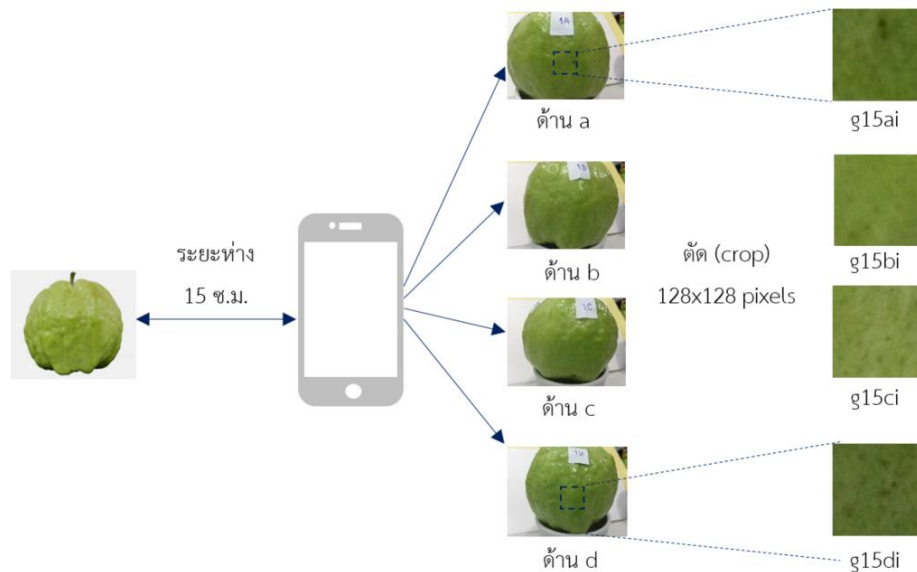
g16di

เครื่องมือวัด		ประสาทสัมผัส	
%Brix	Kg/cm ²	รสชาติ	ลักษณะเนื้อ
7.1	5.1	ไม่หวาน	นุ่ม

ภาพที่ 1 ตัวอย่างภาพผลฝรั่ง และข้อมูลจากการวัดด้วยประสาทสัมผัสและเครื่องมือวัด

1.2 เก็บข้อมูลด้านรสชาติ (taste) และด้านลักษณะเนื้อ (flesh) ของผลฝรั่ง โดยการชิมเป็นการเก็บข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัส การประเมินคุณภาพ ได้แก่ (1) ด้านรสชาติแบ่ง 3 กลุ่ม คือ รสฝาด (astringent) รสจืด (tasteless) และรสหวาน (sweet) และ (2) ด้านลักษณะเนื้อแบ่ง 3 กลุ่ม คือ ความนุ่ม (soft) ความกรอบ (crisp) และความแข็ง (hard)

1.3 เก็บข้อมูลความหวาน และความแข็งของผลฝรั่งโดยใช้เครื่องมือวัดความหวาน หน่วยวัดเป็น %brix (เปอร์เซ็นต์บริกซ์) ช่วงวัดระหว่าง 0.0 – 53.0%brix และเครื่องมือวัดความแข็งของผลไม้ หน่วยวัดเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ช่วงวัดระหว่าง 0 – 13 kg/cm²



ภาพที่ 2 การถ่ายภาพผลฝรั่ง

กระบวนการที่ 2 การประมวลผลภาพผลไม้ (Fruit Images Processing)

ดำเนินการวิเคราะห์ความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพกับคุณภาพด้านรสชาติ และคุณภาพด้านลักษณะเนื้อ โดยคุณลักษณะพื้นผิวที่นำมาพิจารณา ดังนี้

2.1 ความหยาบ/ความละเอียด (Coarseness/Fineness) แสดงให้เห็นถึงลักษณะที่สำคัญของพื้นผิวที่มีความหยาบ หรือพื้นผิวที่มีความขรุขระค่าความหยาบที่มากขึ้น ลักษณะผิวจะมีค่าความขรุขระมากขึ้นดังสมการที่ 1 (Tamura, Mori & Yamawaki, 1978)

$$\text{ขั้นที่ 1} \quad A_k(x, y) = \sum_{i=x-2^{k-1}}^{x+2^{k-1}-1} \sum_{j=y-2^{k-1}}^{y+2^{k-1}-1} g(i, j) / 2^{2k} \quad (1)$$

โดยที่ $g(i, j)$ คือ สี่ระดับเทาที่ตำแหน่ง (i, j)

$$\begin{aligned} \text{ขั้นที่ 2} \quad E_{k,h}(x, y) &= |A_k(x + 2^{k-1}, y) - A_k(x - 2^{k-1}, y)| \\ E_{k,v}(x, y) &= |A_k(x, y + 2^{k-1}) - A_k(x, y - 2^{k-1})| \end{aligned}$$

$$\text{ขั้นที่ 3} \quad S_{best}(x, y) = 2^k + 1$$

โดยที่ k ทำให้ค่าของ $E_{k,h}$ และ $E_{k,v}$ สูงขึ้น

$$\text{ขั้นที่ 4} \quad F_{crs} = \frac{1}{m \times n} \sum_i^m \sum_j^n S_{best}(i, j)$$

โดยที่ m และ n คือขนาดประสิทธิภาพของภาพ

2.2 ความเรียบ/ความขรุขระ (Smoothness/Roughness) พิจารณาวิธีการคำนวณหาค่า Roughness จำนวน 2 วิธี

(1) Tamura's method คำนวณหาค่า Roughness ดังสมการที่ 2 (Tamura, Mori & Yamawaki, 1978)

$$F_{rgh} = F_{crs} + F_{con} \quad (2)$$

โดยที่

$$F_{con} = \sigma / (\alpha_4)^n$$

และ

$$\alpha_4 = \frac{\mu_4}{\sigma^4}$$

โดยที่ μ_4 คือค่าโมเมนต์ลำดับที่ 4 ของค่าเฉลี่ยและ
 σ^2 คือค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของการกระจายสี่ระดับเทา

(2) Gonzales's method คำนวณหาค่า Roughness ดังสมการที่ 3 (Gonzalez, R. C. & Woods, R. E., 2009)

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2} \quad (3)$$

โดยที่ σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนปกติ

2.3 Haralick's method คำนวณหาค่า Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) ดังสมการที่ 4 (Haralick, Shanmugam & Dinstein, 1973)

$$p_{ij} = p(i, j) = \frac{\#\{(x, y), (x + \Delta x, y + \Delta y) \in S \mid f(x, y) = i, f(x + \Delta x, y + \Delta y) = j\}}{\#S} \quad (4)$$

โดยที่ $\#S$ แทนจำนวนของพิกเซลแต่ละคู่ที่กำหนดไว้
 ให้ N คือจำนวนของสี่ระดับเทาในภาพที่แตกต่างกัน ดังนี้

$$p_x(i) = \sum_{j=1}^N p(i, j), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$p_y(i) = \sum_{i=1}^N p(i, j), \quad j = 1, 2, \dots, N$$

$$p_{x+y}(k) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i, j), \quad k = i + j = 2, 3, \dots, 2N$$

$$p_{x-y}(k) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i, j), \quad k = |i - j| = 0, 1, \dots, N - 1$$

คุณลักษณะพื้นฐานของ GLCM ที่ใช้ ดังนี้

(1) Contrast: คำนวณหาค่าความแตกต่างของระดับสีเทา ดังสมการที่ 5

$$Contrast = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p_{ij} \quad (5)$$

(2) Uniformity: คำนวณหาค่าความสม่ำเสมอของภาพ ดังสมการที่ 6

$$Uniformity = \sum_i \sum_j p_{ij}^2 \quad (6)$$

(3) Homogeneity: คำนวณหาค่าการกระจายตัวของค่าระดับสีเทาว่ามีการกระจายเป็นเนื้อเดียวกันมากน้อยเพียงใด ดังสมการที่ 7

$$Homogeneity = \sum_i \sum_j \frac{p_{ij}}{1 + |i - j|} \quad (7)$$

2.4 การจับกันเป็นกลุ่มก้อน/การผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Clumpiness/Miscibility) การจำแนกคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพ โดยนำค่าจากโคออคเคอเรนซ์เมทริกซ์ (Co-occurrence Matrix) มาวัดการจับเป็นกลุ่มก้อน/การผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Sukanya, Takamatsu & Sato, 1998)

(1) Clumpiness (C): การจับกันเป็นกลุ่มก้อน วัดระดับการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของโทนสีเทาใน ROI (Region of Interest ขอบเขตที่สนใจ) ดังสมการที่ 8

$$C = \sum_i \sum_j p_{ij} / ((i - j)^2 + 1) \quad (8)$$

(2) Miscibility (M): การผสมเป็นเนื้อเดียวกัน วัดระดับการผสมผสานของโทนสีเทาใน ROI ดังสมการที่ 9

$$M = \sum_i \sum_j p_{ij} / ((i + j - n)^2 + 1) \quad (9)$$

โดยที่ p_{ij} คือ การคำนวณ 4 ทิศทาง (0° , 45° , 90° , and 135°) ของ co-occurrence matrices ซึ่งคำนวณจากภาพ ROI

2.5 การคำนวณค่าความสามารถในการแบ่งแยก (Separability Index)

โดยนำข้อมูลคุณลักษณะพื้นผิวที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายผลฝรั่ง นำมาวัดความสามารถในการแบ่งแยกความเกี่ยวพันกับคุณภาพรสชาติ และคุณภาพลักษณะเนื้อ เมื่อค่า Separability Index มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายถึง มีความสามารถในการแบ่งแยกได้มาก ถ้ามีค่าห่างจากศูนย์ หมายถึง มีความสามารถในการแบ่งแยกได้น้อย ดังสมการที่ 10

$$Q = \frac{V^2}{(V^2 + D^2)} \quad (10)$$

โดยที่ V^2 คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของระยะห่างภายในกลุ่มเดียวกัน
 D^2 คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของระยะห่างต่างกลุ่มกัน

กระบวนการที่ 3 การจำแนกคุณภาพของภาพผลไม้ (Fruit Images Classification)

การจำแนกคุณลักษณะพื้นผิวที่ได้จากภาพถ่ายผลฝรั่ง โดยใช้วิธีการจำแนกระยะทางน้อยที่สุด คือ ระยะห่างระหว่างเวกเตอร์ของคุณลักษณะ (Feature Vector) ของภาพต้นแบบ และเวกเตอร์ของคุณลักษณะของภาพที่ต้องการทดสอบ ดังสมการที่ 11 (Gonzalez & Woods, 2009)

$$E(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (11)$$

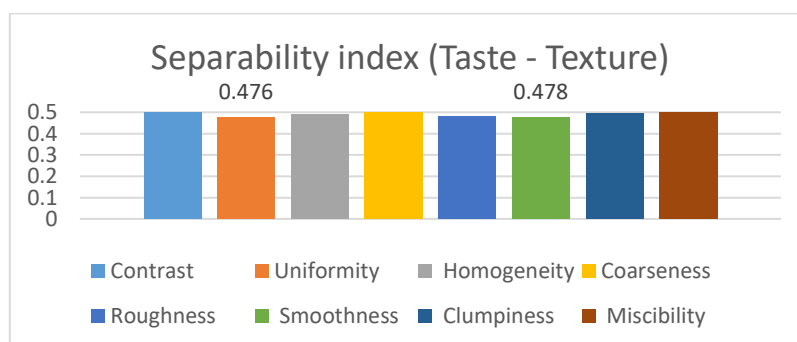
โดยที่ $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ และ $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$

ผลการวิจัย

การประเมินคุณภาพผลไม้แบบไม่ทำลายโดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวของภาพและการจำแนกด้วยวิธีระยะทางน้อยที่สุด แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง และมีผลการวิจัยดังนี้

การทดลองที่ 1 การจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพผลฝรั่งกับคุณภาพด้านรสชาติ

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาโดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวแบบเดี่ยว (single texture) ได้แก่ ความต่าง (contrast) ความสม่ำเสมอ (uniformity) ความเหมือน (homogeneity) ความหยาบ (coarseness) ความขรุขระ (roughness) ความเรียบ (smoothness) การจับกันเป็นกลุ่มก้อน (clumpiness) และการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (miscibility) จากนั้นคำนวณค่าความสามารถในการแบ่งแยก พบว่า คุณลักษณะพื้นผิวแบบ uniformity คือ 0.476 และคุณลักษณะพื้นผิวแบบ smoothness คือ 0.478 มีค่าความสามารถในการแบ่งแยกได้ดีเป็น 2 อันดับแรก ได้แก่ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าความสามารถในการแบ่งแยก คุณลักษณะพื้นผิวแบบเดียวกับคุณภาพด้านรสชาติ

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาโดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวแบบหลายคุณลักษณะ (multiple textures) ได้แก่ แบบแรก ใช้คุณลักษณะพื้นผิว GLCM (hararick's method) แบบที่สองใช้คุณลักษณะพื้นผิว coarseness, roughness (tamura's method) และแบบที่สามใช้คุณลักษณะพื้นผิว clumpiness, miscibility (Sukanya, Takamatsu & Sato) จากนั้นคำนวณความสามารถในการแบ่งแยก ผลการวิจัย พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับค่าการพิจารณาคุณลักษณะพื้นผิวแบบเดี่ยว แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความสามารถในการแบ่งแยก คุณลักษณะพื้นผิวแบบหลายคุณลักษณะกับคุณภาพด้านรสชาติ

คุณลักษณะพื้นผิว	Separability index
GLCM (Contrast, Uniformity, Homogeneity)	0.498
Coarseness and Roughness	0.484
Clumpiness and Miscibility	0.528
คุณลักษณะแบบหลายคุณลักษณะ (รวม 8 features)	0.485

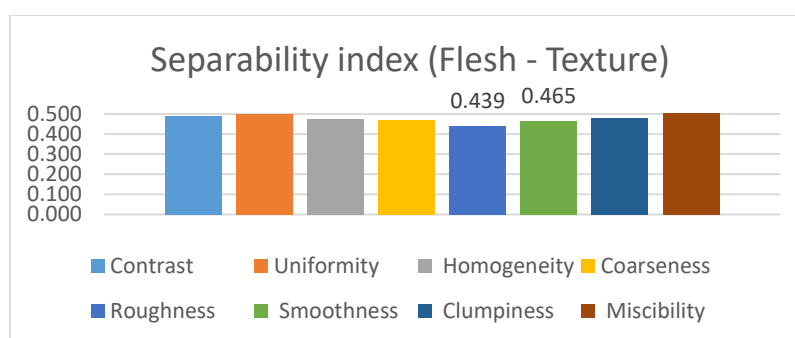
ขั้นตอนที่ 3 จำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพผลฝรั่งกับคุณภาพด้านรสชาติด้วยวิธีระยะทางน้อยที่สุด โดยจำแนกคุณภาพด้านรสชาติแบบที่ 1 (ฝาด จืด หวาน) และจำแนกคุณภาพด้านรสชาติแบบที่ 2 (หวาน ไม่หวาน) ผลการวิจัยในการจำแนกแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพถ่ายผลฝรั่ง กับคุณภาพด้านรสชาติ

คุณลักษณะพื้นผิว	ค่าความแม่นยำ (Accuracy rate)	
	ด้านรสชาติแบบที่ 1 (ฝาด จืด หวาน)	ด้านรสชาติแบบที่ 2 (หวาน ไม่หวาน)
Smoothness	46.7	66.7
Contrast	33.3	53.3
Uniformity	46.7	56.7
Clumpiness and Missibilty	43.3	56.7
Clumpiness, Missibilty and Smoothness	46.7	66.7
Uniformity and Smoothness	43.3	66.7

การทดลองที่ 2 การจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพผลฝรั่งกับคุณลักษณะเนื้อ

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาโดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวแบบเดี่ยว จากนั้นคำนวณค่าความสามารถในการแบ่งแยก พบว่า คุณลักษณะพื้นผิวแบบ homogeneity คือ 0.439 และคุณลักษณะพื้นผิวแบบ smoothness คือ 0.465 มีค่าความสามารถในการแบ่งแยกได้ดีเป็น 2 อันดับแรก แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ค่าความสามารถในการแบ่งแยก คุณลักษณะพื้นผิวแบบเดียวกับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อ

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาโดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวแบบหลายคุณลักษณะ จากนั้นคำนวณค่าความสามารถในการแบ่งแยก พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับคุณลักษณะพื้นผิวแบบเดี่ยว แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความสามารถในการแบ่งแยก คุณลักษณะพื้นผิวแบบหลายคุณลักษณะกับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อ

คุณลักษณะผิว	Separability index
GLCM: Contrast, Uniformity, Homogeneity	0.498
Coarseness, Roughness	0.484
Clumpiness, Miscibility	0.527
คุณลักษณะแบบหลายคุณลักษณะ (รวม 8 features)	0.485

ขั้นตอนที่ 3 จำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพผลฝรั่งกับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อ ด้วยวิธีระยะทางน้อยที่สุด โดยจำแนกคุณภาพลักษณะเนื้อแบบที่ 1 (นุ่ม กรอบ แข็ง) แบบที่ 2 (แข็ง ไม่แข็ง) และแบบที่ 3 (นุ่ม ไม่นุ่ม) ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพผลฝรั่งกับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อ

คุณลักษณะพื้นผิว	ค่าความแม่นยำ (Accuracy rate)		
	ด้านลักษณะเนื้อแบบที่ 1 (นุ่ม กรอบ แข็ง)	ด้านลักษณะเนื้อแบบที่ 2 (แข็ง ไม่แข็ง)	ด้านลักษณะเนื้อแบบที่ 3 (นุ่ม ไม่นุ่ม)
Smoothness	50.00	70.00	63.33
Contrast	56.70	70.00	66.67
Uniformity	36.70	56.70	70.00
Clumpiness, Missibilty	60.00	70.00	80.00
Clumpiness, Missibilty, Smoothness	56.70	70.00	70.00
Uniformity, Smoothness	40.00	60.00	63.33

สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

การใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยคุณลักษณะพื้นผิว (texture features) สามารถจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะภายนอกของผลไม้ที่ได้จากภาพกับคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลไม้ด้านรสชาติ และด้านลักษณะเนื้อ ได้โดยไม่ทำลายผล ซึ่งการจำแนกด้วยวิธีระยะทางน้อยที่สุดสามารถจำแนกความเกี่ยวพันกับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อของผลฝรั่ง มีค่าความแม่นยำสูงกว่าการจำแนกความเกี่ยวพันกับคุณภาพด้านรสชาติ

ผลการจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพถ่ายผลฝรั่ง กับคุณภาพด้านรสชาติ โดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวแบบเดียว พบว่า ค่าความแม่นยำในการประเมินกับคุณภาพด้านรสชาติแบบที่ 2 (หวาน ไม่หวาน) มีค่าสูงกว่าการประเมินกับคุณภาพรสชาติแบบที่ 1 (ฝาด จืด หวาน) ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะการเลือกรับประทานผลฝรั่งจากความหวานหรือไม่หวานของผู้บริโภคโดยทั่วไป และการใช้คุณลักษณะพื้นผิวแบบเดียวคือ Smoothness ที่มีค่าความสามารถในการแบ่งแยกมากกว่าคุณลักษณะพื้นผิวแบบอื่นนั้น สัมพันธ์กับผลการจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวกับคุณภาพด้านรสชาติ (หวาน ไม่หวาน) ซึ่งพบว่า มีค่าความแม่นยำสูงกว่าคุณลักษณะพื้นผิวแบบเดี่ยวอื่น ๆ โดยมีค่าความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 66.67

ผลการจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพผลฝรั่ง กับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อ โดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวแบบหลายคุณลักษณะ พบว่า ค่าความแม่นยำในการประเมินกับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อแบบที่ 3 (นุ่ม ไม่นุ่ม) มีค่าสูงกว่าการประเมินกับคุณภาพลักษณะเนื้อแบบที่ 1 (นุ่ม กรอบ แข็ง) และแบบที่ 2 (แข็ง ไม่แข็ง) ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะการเลือกรับประทานผลฝรั่งจากความนุ่มหรือไม่นุ่มของผู้บริโภคโดยทั่วไป และการใช้คุณลักษณะพื้นผิวแบบ Clumpiness, Missibilty ที่มีค่าความสามารถในการแบ่งแยกมากกว่าคุณลักษณะพื้นผิวแบบอื่นนั้น สัมพันธ์กับผลการจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะพื้นผิวกับคุณภาพด้านลักษณะเนื้อทั้งแบบที่ 1 ลักษณะเนื้อ (นุ่ม กรอบ แข็ง) แบบที่ 2 ลักษณะเนื้อ (แข็ง ไม่แข็ง) และแบบที่ 3 ลักษณะเนื้อ (นุ่ม ไม่นุ่ม) โดยมีค่าความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 60.00 ร้อยละ 70.00 และร้อยละ 80.00 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความแม่นยำสูงกว่าการใช้คุณลักษณะพื้นผิวแบบอื่น

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ เป็นการประเมินคุณภาพผลไม้โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยคุณลักษณะสี และจำแนกคุณภาพของผลไม้ด้วยฐานกฎ สามารถจำแนกความเกี่ยวพันของคุณลักษณะสีกับคุณภาพของผลไม้ด้านรสชาติ มีค่าความแม่นยำร้อยละ 63.33 (วิมล อุทานนท์, สุกัญญา พงษ์สุภาพ, วันทนี สว่างอารมณ์ และณัฐดนัย สิงห์คสิวรรณ, 2563) ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ ได้นำเสนออีกเทคนิคหนึ่ง โดยใช้การประมวลผลภาพด้วยคุณลักษณะพื้นผิวของภาพ (texture features) แทนการใช้คุณลักษณะสีของภาพ (color features) ผลการวิจัยในการจำแนกคุณภาพด้านลักษณะรสชาติมีค่าความแม่นยำเพิ่มขึ้น โดยมีค่าความแม่นยำเป็นร้อยละ 66.67

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาและเลือกใช้เทคนิคในการจำแนกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
2. นำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย ไปประยุกต์ใช้ในการประเมินคุณภาพฝรั่งพันธุ์อื่นหรือผลไม้ชนิดอื่น

บรรณานุกรม

- ณัฐพล ชัยพิชิตนันท์. (2555). การตรวจสอบฝักรสหวานเลี้ยวโดยวิธีการประมวลผลภาพ. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ สถาบันวิจัยและพัฒนา.
- วิมล อุทานนท์, สุกัญญา พงษ์สุภาพ, วันทนี สว่างอารมณ์ และณัฐดนัย สิงห์คสิวรรณ. (2563). การประเมินคุณภาพผลไม้แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและการจำแนกด้วยฐานกฎ. *ว.สารสนเทศ.* 19(1), 129-138.
- ศิริลักษณ์ วงศ์เกษม. (2555). การใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ตรวจสอบคุณภาพและคัดแยกผลผลิตทางการเกษตร. *มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.* 13(2), 10-21.
- Dae Gwan Kim, Burks, Thomas F., Jianwei Qin & Bulanon, D. M. (2009). Classification of grapefruit peel diseases using color texture feature analysis. *International Journal of Agric & Biol Eng.* 2(3), 41-50.
- Gonzalez, R. C. & Woods, R. E. (2009). *Digital image processing* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Haralick, R. M., Shanmugam, K. & Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* 3(6), 610-621, USA.
- Leemans, V. & Destain, M.-F. (2004). A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Journal of Food Engineering.* 61(1), 83-89.
- Mirzaei, H., & Saraee, M. (2007). A new and robust apple evaluation method using image processing. *Presented at First Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems.* Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- Sukanya, P., Takamatsu R. & Sato M. (1998). Image classification using the surface-shape operator and multiscale features. *Proc. of fourteen international conference on pattern recognition.* 334-337.
- Tamura, H., Mori, S., & Yamawaki, T. (1978). Textural features corresponding to visual perception. *IEEE Transactions on Systems, Man, & Cybernetics.* 8(6), 460-473.

Unay D. & Gosselin B. (2004). *Apple Defect Detection and Quality Classification with MLP-Neural Networks*. Retrieved March, 12 2018. <https://www.researchgate.net/publication/228952374>.