

เครื่องคัดคุณภาพมะม่วงระบบแม่ชีวินิชั่น

พูนพัฒน์ พูนน้อย¹ และ อัมพวัน ตันสกุล²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

รับเมื่อ 17 มิถุนายน 2547 ตอบรับเมื่อ 6 ตุลาคม 2547

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ระบบแม่ชีวินิชั่นเพื่อคัดแยกมะม่วงตามมาตรฐานมะม่วงส่งออกของประเทศไทย โดยระบบจะคัดแยกขนาด ความสุก และปริมาณตำหนิจากจำนวนจุดสีที่กำหนด ข้อมูลพิกัดของขั้ว ปลาย ด้าน หน้า และด้านหลังของผลมะม่วงถูกใช้ในการคัดรูปร่างและความอ่อนแก่ ทั้งนี้การทำงานของระบบถูกควบคุมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาบนภาษาวิซวลเบสิกรุ่น 6.0 หลังการทดสอบการทำงานของเครื่องด้วยมะม่วง น้ำดอกไม้พบว่าระบบสามารถคัดคุณภาพของมะม่วงได้ เมื่อเปรียบเทียบผลกับการคัดด้วยคน พบว่า ระบบสามารถ คัดขนาดได้ที่มีความถูกต้องร้อยละ 94.9 และร้อยละ 80.3 สำหรับการคัดรูปร่าง สำหรับการคัดแยกมะม่วงอ่อน โดย ใช้อัตราส่วนของระยะในแนวแกนรองที่วัดจากขั้วไปยังด้านท้อง (W_1) ต่อระยะจากขั้วผลไปยังปลายผล (L) ระบบสามารถคัดแยกได้ที่มีความถูกต้องร้อยละ 64.51 ส่วนการคัดมะม่วงสุกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างจำนวนจุด สีเหลืองต่อจำนวนจุดสีทั้งหมด พบว่า ระบบสามารถคัดแยกได้ที่มีความถูกต้องร้อยละ 93.4 จากการเปรียบเทียบการ แบ่งชั้นมะม่วงตามปริมาณตำหนิ ระหว่างการตรวจสอบแบบด้านเดียวและสองด้านพบว่า การตรวจสอบแบบด้าน เดียวให้ผลในการแบ่งชั้นตำหนิสอดคล้องกับการตรวจสอบแบบสองด้านร้อยละ 94.1

คำสำคัญ : มะม่วงน้ำดอกไม้ / เครื่องคัดคุณภาพ / แม่ชีวินิชั่น

¹ นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

Mango Sorter by Machine Vision System

Poonpat Poonnoy¹ and Ampawan Tansakul²

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Received 17 June 2004 ; accepted 6 October 2004

Abstract

This research applied machine vision system using the amount of selected colors (pixel count) to classify size, ripeness and defect of mangoes. The co-ordinates that represent the position of stem, end, front and back sides of the mango supplying detailed data to classify its shape and maturity. Every step of sorting process was controlled by computer software which was well designed and created on visual basic 6.0 program. The experiments were carried out with Nam Dok Mai mangoes. It was found that the software could be applied to estimate the size and shape. In comparison between results from machine vision system and those from human classifying capability, 94.9 percent coincidence for size and 80.3 percent coincidence for shape were obtained. For separating of immature mangoes, the ratio between a distance along the minor axis from stem to front of mango (W_1) and a distance from stem to the end of mango (L) was used with 64.51 percent coincidence in classification. For sorting ripe mangoes, the level of yellow area at 10 percent of total area was used and 93.4 percent coincidence was found. For external defect inspection, the results from single-sided inspection and those from double-sided inspection were in good agreement within 94.1 percent.

Keywords : Nam Dok Mai Mango / Sorting Machine / Machine Vision

¹ Ph.D. Student, Department of Food Engineering.

² Assistant Professor, Department of Food Engineering.

1. บทนำ

มะม่วงเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทยโดยมีมูลค่าการส่งออกในปี 2544 และ 2545 เท่ากับ 217 และ 146 ล้านบาท ตามลำดับ [1] โดยมะม่วงที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ พันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์หนังกกลางวัน ซึ่งตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ประเทศในเอเชีย ยุโรป และอเมริกา ปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพของสินค้าเป็นอย่างมาก โดยพิจารณาจากขนาดที่สม่ำเสมอ รูปร่างสวยงามตรงตามพันธุ์ มีตำหนิอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และเมื่อสุกให้รสชาติที่ดี เพื่อให้ผลมะม่วงทุกผลมีคุณภาพดีตามมาตรฐานและมีความสม่ำเสมอ กระบวนการคัดคุณภาพมะม่วงจึงมีบทบาทสำคัญเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว

ในประเทศไทยได้มีการพัฒนาเครื่องจักรเพื่อใช้ในการคัดขนาดและความอ่อนแก่ของผลมะม่วง ได้แก่ บัณฑิตและคณะ [2] ได้สร้างเครื่องคัดขนาดมะม่วงระบบแปรผลรูปภาพ โดยใช้วิธีการคำนวณหาพื้นที่ภาพฉายของผลมะม่วงแล้วเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดสำหรับมะม่วงแต่ละขนาด จากการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถคัดขนาดมะม่วงได้ด้วยความถูกต้องร้อยละ 89.77 ที่อัตรา 3,169 ผลต่อชั่วโมง ชูรัตน์และตะวัน [3] ได้ใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ (microprocessor) ในการควบคุมเครื่องคัดขนาดมะม่วงซึ่งใช้น้ำหนักของผลมะม่วงที่ละผลด้วย strain gauge จากนั้นถาดที่รองรับมะม่วงจะหมุนและยกขึ้นเพื่อพลิกมะม่วงให้หล่นไปยังถาดรองรับ เครื่องคัดขนาดมะม่วงนี้สามารถคัดมะม่วงได้ที่อัตรา 514 ผลต่อชั่วโมง ด้วยความถูกต้องร้อยละ 97.5

สำหรับการคัดความอ่อนแก่ของผลมะม่วงได้มีการประยุกต์วิธีการลอยมะม่วงในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นต่างกันเพื่อแยกมะม่วงอ่อนออกจากมะม่วงแก่ เนื่องจากผลมะม่วงอ่อนเมื่อสุกจะมีรสชาติที่ไม่ดี ซึ่งน้ำเกลือที่ใช้มีความเข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร โดยอาศัยหลักการที่ว่ามะม่วงแก่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่ามะม่วงอ่อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมะม่วงน้ำดอกไม้แก่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.02 ถึง 1.04 [4-6] หลักการนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบเครื่องคัดความอ่อนแก่ของผลมะม่วง [7, 8] แต่พบว่าการลอยมะม่วงในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงๆ จะมีผลต่อรสชาติของผลมะม่วงเมื่อสุก [9] นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวแล้วยังได้มีการพัฒนาเทคนิคอื่น ๆ เพื่อใช้ในการคัดความแก่ของมะม่วง [10-13] ได้แก่ การวิเคราะห์แรงสะท้อนกลับ (impact rebound) การใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก และการใช้เทคนิค Near-Infrared Spectrometry อย่างไรก็ตาม เทคนิคดังกล่าวต้องการความชำนาญและมีข้อจำกัดทางด้านเทคนิคหลายประการ จึงทำให้ไม่สะดวกในการใช้งานจริง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องจักรอัตโนมัติที่สามารถคัดคุณภาพของมะม่วงในทุกด้านตามมาตรฐานมะม่วงส่งออกของประเทศไทย [14, 15] ได้แก่ ขนาด รูปร่าง ความอ่อนแก่ ความสุก และปริมาณตำหนิ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแมชชีนวิชันซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ [16-18] ซึ่งเริ่มจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาพถ่ายกับลักษณะคุณภาพของผลมะม่วง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบการทำงานของโปรแกรมควบคุม ซึ่งระบบจะถูกประเมินความสามารถโดยเปรียบเทียบผลการคัดคุณภาพของระบบกับการคัดด้วยคน

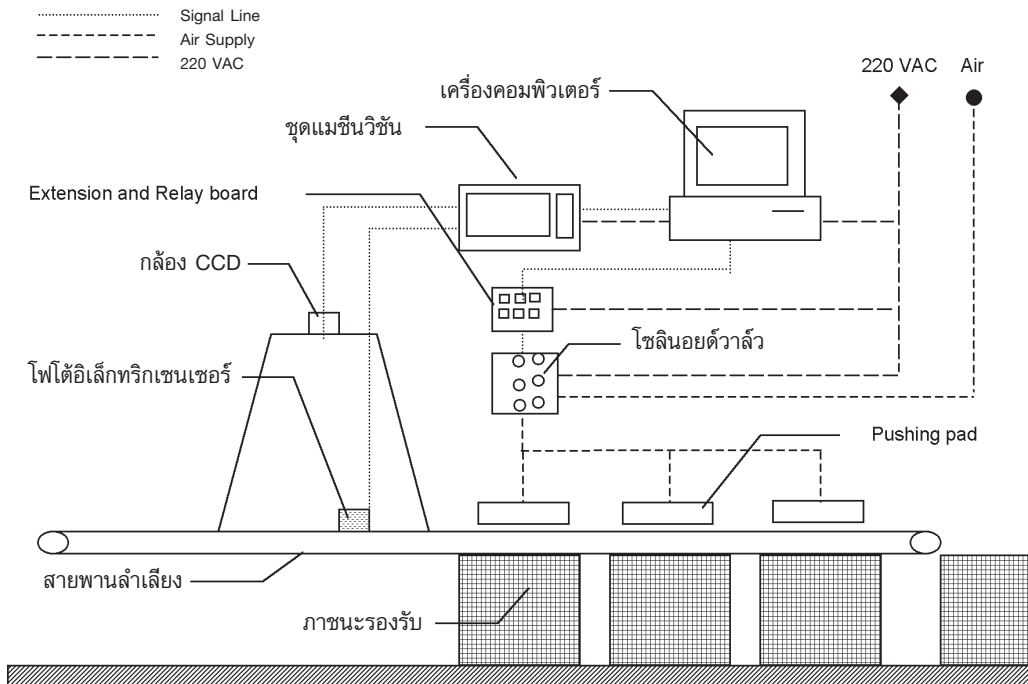
2. วัสดุทดสอบ

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้จากสวนในจังหวัดปราจีนบุรีซึ่งเก็บเกี่ยวในตอนเช้าและขนส่งโดยรถปรับอากาศเพื่อทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีในวันเดียวกัน

3. อุปกรณ์

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบแมชชีนวิชัน (Keyence CV-701, Japan) ในการศึกษาลักษณะภาพถ่ายของผลมะม่วง ในเบื้องต้นได้จัดเตรียมความพร้อม โดยกำหนดตัวอย่างสีที่ต้องการให้ระบบตรวจนับจำนวนจุดของสีที่กำหนด และกำหนดส่วนของผลมะม่วงเพื่อให้ระบบรายงานตำแหน่ง [19] ซึ่งข้อมูลที่ได้จากชุดแมชชีนวิชันจะบันทึกโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นด้วยภาษาวิซวลเบสิก เวอร์ชัน 6.0 [20-23] โดยมีการปรับปรุงส่วนของโปรแกรมให้สามารถควบคุมการทำงานของกลไกตัดแยกได้ การติดตั้งอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 1

เมื่อผลมะม่วงเคลื่อนที่ผ่านบริเวณตรวจสอบ เซนเซอร์ (Keyence PZV-11P, Japan) จะส่งสัญญาณให้กล้อง CCD (Keyence CV-070, Japan) ถ่ายภาพผลมะม่วง ซึ่งชุดแมชชีนวิชัน (Keyence CV-701, Japan) จะประมวลผลภาพถ่ายนั้นแล้วส่งข้อมูลผ่านสายสัญญาณแบบ RS-232C ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ (Celeron 750 MHZ, RAM 512 MB, HDD 10 GB) โดยโปรแกรมจะประมวลผลเพื่อตัดสินใจว่ามะม่วงผลนั้นๆ ควรจัดอยู่ในชั้นคุณภาพใด จากนั้นจะสั่งให้กลไกตัดแยกผลมะม่วงลงในช่องรองรับที่กำหนดไว้ สัญญาณควบคุมจะถูกส่งผ่านพอร์ตขนานของเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังชุดรีเลย์ (Innovative experiment, Thailand) ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับโซลินอยด์วาล์ว (Airtac, Taiwan) ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดทางออกให้กับมะม่วงที่มีขนาดและชั้นที่ต้องการ



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์

4. วิธีการ

4.1 การคัดขนาด

เพื่อหาตัวแปรที่ใช้ในการคัดขนาดของผลมะม่วงจึงได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของผลมะม่วง (โดยใช้เครื่องชั่งแบบตัวเลขยี่ห้อ Sartorius รุ่น BA4100S) กับความยาวหรือความกว้างของผลมะม่วง (โดยวัดในแนวเส้นแกนหลักและแกนรองตามลำดับ) หรือจำนวนจุดสีของภาพถ่ายผลมะม่วง ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งจะใช้สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุดกับน้ำหนักในการคัดขนาดของมะม่วง

4.2 การคัดรูปร่าง

สำหรับการคัดผลมะม่วงเพื่อแยกมะม่วงที่มีรูปร่างไม่ตรงตามพันธุ์ออกจากมะม่วงที่ต้องการ ในรูปที่ 2 แสดงรูปร่างของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีรูปร่างต่างๆ กัน ซึ่งรูปที่ 2(ก) เป็นมะม่วงที่มีรูปร่างสวยงามตรงตามพันธุ์ (ชั้นพิเศษ) ส่วนรูป 2(ข) (ชั้น 1 หรือ 2) และ 2(ค) (ไม่ผ่านเกณฑ์) นั้นเป็นผลมะม่วงที่มีรูปร่างผิดปกติ



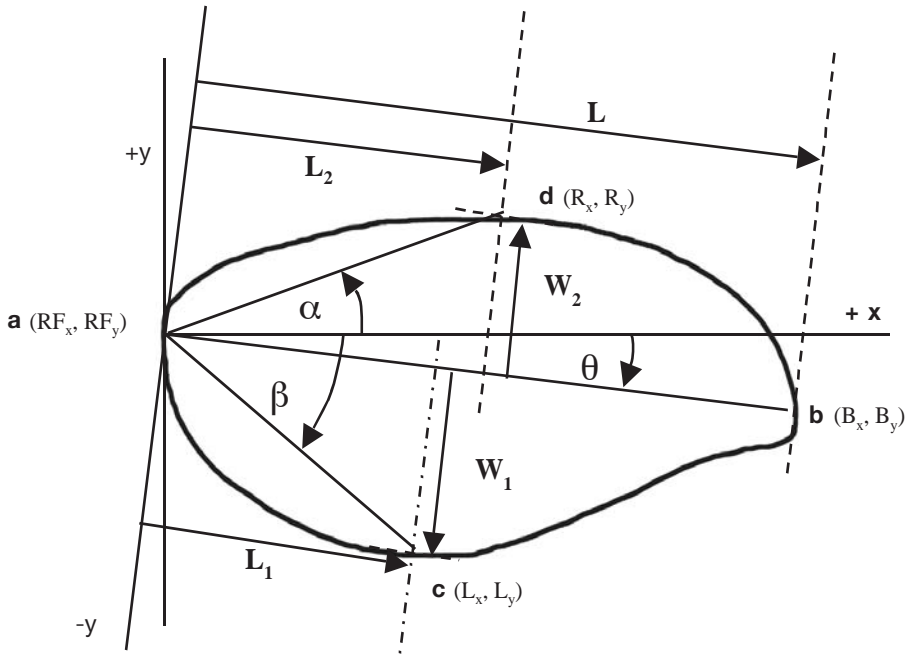
(ก) รูปร่างปกติ

(ข) รูปร่างผิดปกติเล็กน้อย

(ค) รูปร่างผิดปกติมาก

รูปที่ 2 ตัวอย่างรูปร่างของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

การคัดรูปร่างของผลมะม่วงจะกำหนดให้ระบบแมชชีนวิชันแสดงตำแหน่งที่สำคัญของผลมะม่วงจำนวน 4 จุด (ซ้าย ปลาย ด้านท้อง ด้านหลัง) ดังแสดงในรูปที่ 3 ในรูปแบบของคู่ลำดับพิกัดเชิงเส้น (x, y) ซึ่งค่าคู่ลำดับดังกล่าวใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณค่าสัดส่วนสำหรับการประเมินรูปร่างของผลมะม่วง ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 3 ตำแหน่งการตรวจวัดค่าคู่ลำดับของส่วนต่างๆ บนผลมะม่วง

เส้นแกนหลักของผลมะม่วงหรือระยะที่ยาวที่สุดที่ลากจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของผลมะม่วงสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างจุด (RF_x, RF_y) และ (B_x, B_y) ดังแสดงในสมการที่ 1 โดยกำหนดให้จุดอ้างอิง (RF_x, RF_y) มีค่าเท่ากับ $(0, 0)$

$$L = \sqrt{(B_x - RF_x)^2 + (B_y - RF_y)^2} \tag{1}$$

สำหรับความยาวของเส้นแกนรองสามารถหาได้จากการคำนวณหาความยาวของเส้นตรงที่ลากตั้งฉากกับเส้นแกนหลักจากด้านท้องไปยังด้านหลังของผลมะม่วง ซึ่งจะต้องทำการหาความยาวของเส้นตรงที่ลากจากซ้ายไปยังจุดทั้งสองก่อน โดย

$$ac = \sqrt{(L_x - RF_x)^2 + (L_y - RF_y)^2} \tag{2}$$

$$ad = \sqrt{(R_x - RF_x)^2 + (R_y - RF_y)^2} \tag{3}$$

เพื่อหาระยะในแนวแกนรองจะต้องทราบค่ามุมระหว่างเส้นตรงทั้งสองกับเส้นแกนหลัก ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์

$$\theta = \tan^{-1} (|B_y/B_x|) \tag{4}$$

$$\alpha = \tan^{-1} (|R_y/R_x|) \tag{5}$$

$$\beta = \tan^{-1} (|L_y/L_x|) \tag{6}$$

เมื่อทราบค่ามุมที่ต้องการแล้วจะสามารถหาความยาวของส่วนต่าง ๆ ได้ ดังนี้

$$L_1 = ac \times \cos(\beta - \theta) \quad (7)$$

$$L_2 = ad \times \cos(\alpha + \theta) \quad (8)$$

$$W_1 = ac \times \sin(\beta - \theta) \quad (9)$$

$$W_2 = ad \times \sin(\alpha + \theta) \quad (10)$$

$$W = W_1 + W_2 \quad (11)$$

โดยที่ L_1 เป็นระยะในแนวแกนหลักที่วัดจากซ้ายไปยังด้านท้อง
 L_2 เป็นระยะในแนวแกนหลักที่วัดจากซ้ายไปยังด้านหลัง
 W_1 เป็นระยะในแนวแกนรองที่วัดจากซ้ายไปยังด้านท้อง
 W_2 เป็นระยะในแนวแกนรองที่วัดจากซ้ายไปยังด้านหลัง
 W เป็นความยาวของเส้นแกนรอง

เพื่อหาค่าอ้างอิงในการตัดรูปร่างของผลมะม่วงให้กับระบบตัดคุณภาพจึงทำการตัดตัวอย่างผลมะม่วงที่มีคุณภาพดีจำนวน 74 ผล บ้อนเข้าสู่ระบบและเพื่อบันทึกค่าสัดส่วนของระยะ W_1/W , W_2/W , L_1/L , L_2/L และ W/L

4.3 การคัดความแก่

สำหรับการศึกษาวิธีการในการประเมินความแก่ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้พบว่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงสามารถใช้เป็นดัชนีในการคัดแยกได้ โดยมะม่วงที่แก่จะมีค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 1.02 - 1.04 โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรสามารถจำแนกผลมะม่วงแก่ออกจากผลมะม่วงอ่อนได้จากลักษณะที่แตกต่างของผลมะม่วง กล่าวคือมะม่วงแก่จะมีความหนูนของด้านท้องมากกว่า (เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของผลมะม่วง) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคืออาจใช้อัตราส่วนของ W_1/L ในการจำแนกผลมะม่วงแก่ได้ จึงได้คัดเลือกมะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะในช่วง 1.02 - 1.04 โดยวิธีการแทนที่น้ำ [24] จำนวน 64 ผล เพื่อหาค่าเฉลี่ยของ W_1/L และใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดความแก่ของผลมะม่วง

4.4 การคัดความสุก

โดยทั่วไปแล้วมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่จะทำการส่งออกนั้นเป็นมะม่วงดิบเนื่องจากมะม่วงสุกนั้นจะซ้าและเน่าเสียได้ง่าย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องแยกผลมะม่วงที่สุกออก จึงได้ทำการหาค่าสัดส่วนของปริมาณของพื้นที่สีเหลืองที่ปรากฏบนเปลือกของผลมะม่วงต่อปริมาณพื้นที่ทั้งหมด เพื่อหาค่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการแยกผลมะม่วงสุก ซึ่งค่าสัดส่วนดังกล่าวจะถูกเปรียบเทียบกับความหนาแน่นเนื้อ (firmness) [25] ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Instron 4301, UK)

4.5 การประเมินปริมาณตำหนิ

ตามมาตรฐานมะม่วงของประเทศไทย ปริมาณตำหนิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการแบ่งชั้นคุณภาพของผลมะม่วง ซึ่งตำหนิบนเปลือกของผลมะม่วงส่วนใหญ่จะเป็นมีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม ดังแสดงในรูปที่ 4 (กำหนดให้ระบบแมชชีนวิชันจำสีดังกล่าวก่อนการทดลอง) โดยระบบแมชชีนวิชันจะรายงานพื้นที่ของตำหนิเป็นจำนวนพิกเซล (pixel) (จากการสอบเทียบ 1 ตารางเซนติเมตร มีค่าประมาณ 200 พิกเซล) โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเปรียบเทียบค่าดังกล่าวกับปริมาณพื้นที่ทั้งหมดแล้วแบ่งชั้นคุณภาพตามที่มาตรฐานที่กำหนดให้ มะม่วงชั้นพิเศษมีตำหนิได้เล็กน้อย มะม่วงชั้นหนึ่งมีปริมาณตำหนิได้ไม่เกิน 5.4 และ 3 ตารางเซนติเมตร สำหรับมะม่วงขนาด 1.2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนมะม่วงชั้นสองกำหนดให้มะม่วงขนาด 1.2 และ 3 มีตำหนิได้ไม่เกิน 7.6 และ 5 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4 การตรวจจับตำหนิของชุดแมชชีนวิชัน

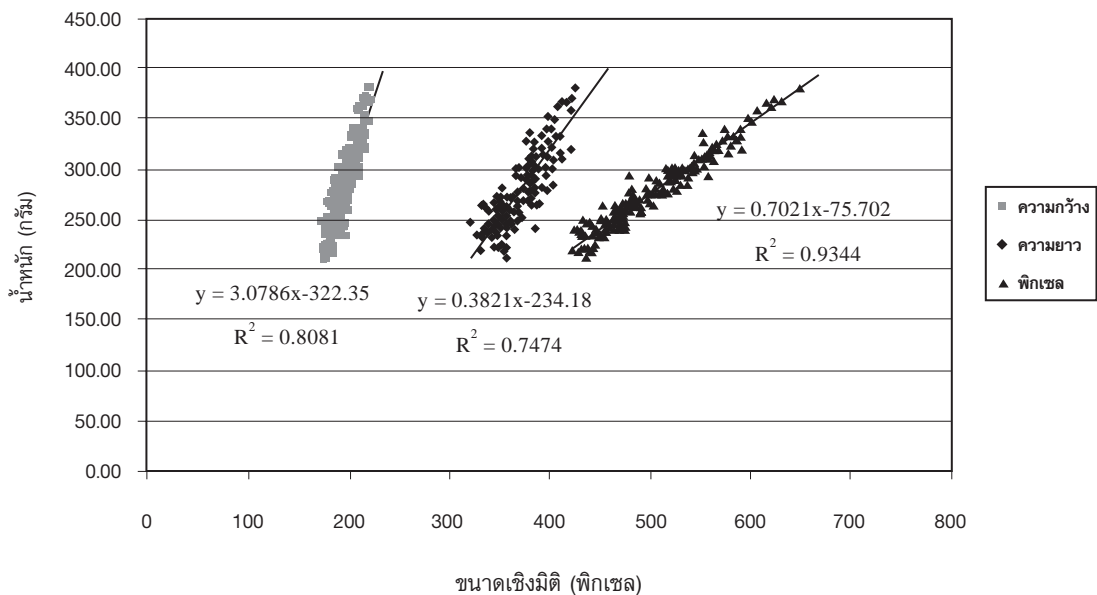
เนื่องจากเครื่องตัดคุณภาพมะม่วงไม่สามารถถ่ายภาพผลมะม่วงทั้งสองด้านได้เมื่อมะม่วงวางราบกับพื้น จึงทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลการตัดคุณภาพตามปริมาณตำหนิของผลมะม่วงเพียงด้านเดียวกับการตัดคุณภาพแบบวัดสองด้าน ทั้งนี้ปริมาณตำหนิที่ได้จากการวัดด้านเดียวจะคูณด้วยสองก่อนแล้วจึงนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

5. ผลการทดสอบและวิจารณ์

การทดสอบนี้เป็นการประเมินความสามารถของระบบในการตัดขนาด รูปร่าง ความสุกแก่ และตำหนิ ซึ่งใช้ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพกับภาพถ่ายของผลมะม่วง โดยเปรียบเทียบผลการตัดคุณภาพด้วยเครื่องกับการคัดด้วยคน ซึ่งใช้มาตรฐานมะม่วงของประเทศไทยเป็นเกณฑ์ และทำการวัดอัตราการตัดคุณภาพของเครื่องเมื่อป้อนมะม่วงด้วยมือ สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 การคัดขนาดของผลมะม่วง

จากการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเชิงมิติจากภาพถ่ายของผลมะม่วง พบว่าจำนวนพิกเซลของภาพถ่ายของผลมะม่วงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับน้ำหนักมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าเท่ากับ 0.934 ซึ่งมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของความสัมพันธ์ของความยาว (L) และความกว้าง (W) กับน้ำหนักของผลซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.747 และ 0.808 ตามลำดับ (รูปที่ 5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งความกว้าง ความยาว และพื้นที่ภาพถ่ายของผลมะม่วงมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักของผลมะม่วงทั้งสิ้น แต่ทั้งนี้พื้นที่ภาพถ่ายจะเป็นตัวแทนของน้ำหนักของผลมะม่วงได้ดีที่สุดเพราะมะม่วงที่มีความกว้างและความยาวมากกว่าย่อมมีพื้นที่ภาพถ่ายมากด้วย



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเชิงมิติกับน้ำหนักของผลมะม่วง

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว เมื่อกำหนดให้ระบบคัดขนาดผลมะม่วงคัดขนาดของผลมะม่วงจากพื้นที่ภาพถ่ายพบว่า ระบบสามารถคัดขนาดของมะม่วงตามน้ำหนักได้ความถูกต้องร้อยละ 88.88 82.60 และ 92.30 สำหรับมะม่วงขนาดหนึ่ง (น้ำหนัก > 351 กรัม) มะม่วงขนาดสอง (น้ำหนักระหว่าง 251-350 กรัม) และขนาดสาม (น้ำหนักระหว่าง 201-250 กรัม) ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 1

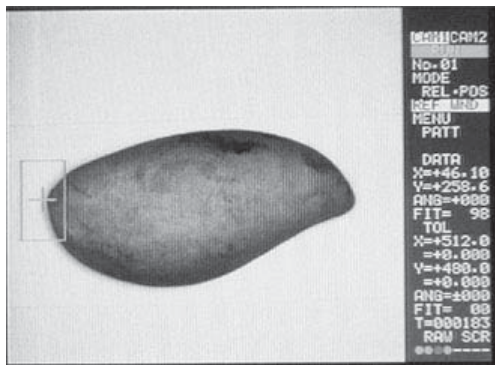
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความสามารถในการคัดขนาด

| ขนาด | คัดด้วยคน (ผล) | คัดด้วยเครื่อง (ผล) | | | ความถูกต้อง (ร้อยละ) |
|-------|----------------|---------------------|-----|-----|----------------------|
| | | หนึ่ง | สอง | สาม | |
| หนึ่ง | 81 | 72 | 9 | 0 | 88.88 |
| สอง | 115 | 8 | 95 | 12 | 82.60 |
| สาม | 39 | 0 | 3 | 36 | 92.30 |

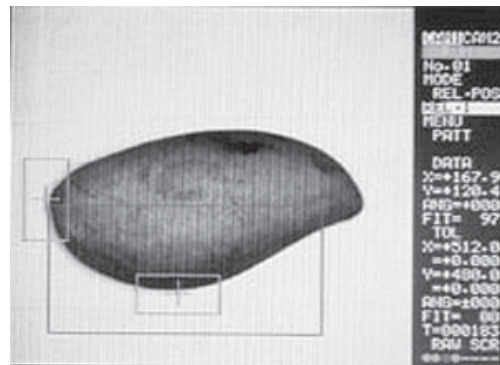
โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดกับมะม่วงที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกับจุดแบ่งชั้นซึ่งถือเป็นข้อจำกัดในการคัดขนาดโดยใช้ภาพถ่าย

5.2 การคัดรูปร่างของผลมะม่วง

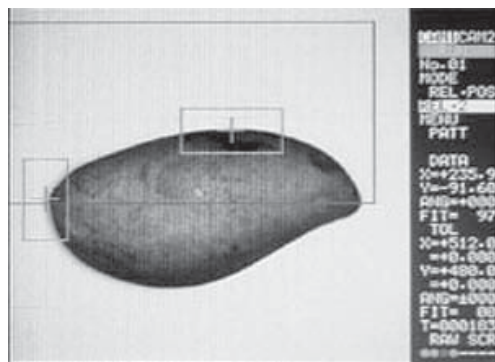
สำหรับการประเมินรูปร่างของผลมะม่วงนั้น ทำโดยกำหนดให้ชุดแมชชีนวิชันตรวจจับบริเวณขั้ว ด้านท้อง ด้านหลัง และปลายผล (รูปที่ 6) แล้วรายงานผลเป็นค่าคู่ลำดับในระบบพิกัด (x, y) จากการคำนวณ พบว่ามะม่วงปกติจะมีค่าสัดส่วนของเส้นแกนรองต่อเส้นแกนหลักในช่วง 0.503 ถึง 0.555 สำหรับระยะจากขั้วผลไปยังด้านท้องในแนวแกนหลักมีค่าประมาณ 0.428 ถึง 0.489 เท่าของความยาวเส้นแกนหลักทั้งหมด และมีค่า 0.497 ถึง 0.583 สำหรับระยะจากขั้วผลไปยังด้านหลังในแนวแกนหลัก (ตารางที่ 2)



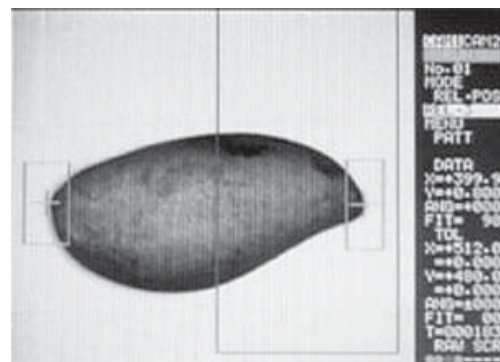
(ก) ตำแหน่งขั้ว



(ข) ตำแหน่งด้านท้อง



(ค) ตำแหน่งด้านหลัง



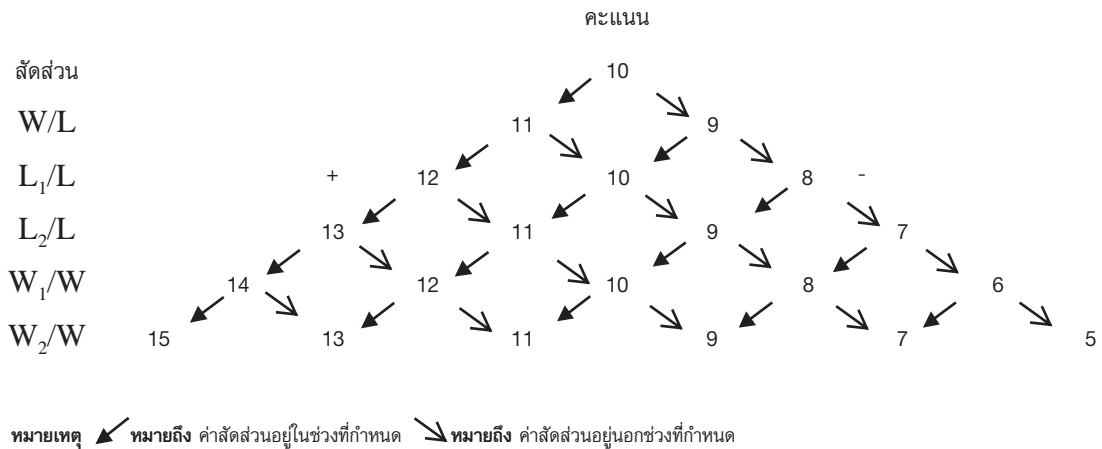
(ง) ตำแหน่งปลายผล

รูปที่ 6 การหาตำแหน่งต่างๆ ของชุดแมชชีนวิชัน

ตารางที่ 2 ค่าสัดส่วนของมะม่วงที่มีรูปร่างปกติ

| ค่าสัดส่วน | ค่าเฉลี่ย | |
|-------------------|-----------|--------|
| | ต่ำสุด | สูงสุด |
| W/L | 0.503 | 0.555 |
| W ₁ /W | 0.518 | 0.583 |
| W ₂ /W | 0.417 | 0.482 |
| L ₁ /L | 0.428 | 0.489 |
| L ₂ /L | 0.497 | 0.583 |

จากการกำหนดค่าสูงสุดของค่าสัดส่วนต่างๆ เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพในด้านรูปร่างของผลมะม่วงร่วมกับระบบการให้คะแนน ซึ่งโปรแกรมจะตรวจสอบค่าสัดส่วนของผลมะม่วงที่ละส่วนจนครบ 5 ส่วน โดยกำหนดให้มะม่วงที่มีค่าสัดส่วนอยู่ในช่วงที่กำหนดจะได้คะแนนเพิ่มขึ้น 1 คะแนน ส่วนมะม่วงที่มีค่าสัดส่วนอยู่นอกช่วงจะลดคะแนนลง 1 คะแนน ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังแสดงการตัดสินใจของระบบ

จากค่าคะแนนในตอนสุดท้ายที่ผลมะม่วงแต่ละผลได้รับกำหนดให้มะม่วงที่มีคะแนนตั้งแต่ 11 คะแนนเป็นผลมะม่วงที่มีรูปร่างดี (ชั้นพิเศษ) ผลมะม่วงที่คะแนนน้อยกว่า 11 คะแนนแต่มากกว่า 7 คะแนนเป็นผลมะม่วงที่มีความผิดปกติเล็กน้อยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ชั้นที่ 1 และ 2) ส่วนมะม่วงที่มีคะแนนต่ำกว่า 7 คะแนนจัดเป็นมะม่วงที่มีรูปร่างผิดปกติ (ไม่ผ่านเกณฑ์) จากการทดสอบกับผลมะม่วงที่มีรูปร่างต่าง ๆ กันจำนวน 167 ผลพบว่า ระบบสามารถจำแนกมะม่วงที่มีรูปร่างปกติได้ถูกต้องร้อยละ 80.3 และจำแนกมะม่วงที่มีรูปร่างไม่ผ่านเกณฑ์ได้ถูกต้องร้อยละ 81.8 ส่วนมะม่วงที่มีความผิดปกติเล็กน้อย (ชั้น 1 หรือ 2) ระบบสามารถคัดแยกได้ที่มีความถูกต้องร้อยละ 20.5 (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความสามารถในการคัดรูปร่าง

| รูปร่าง | คัดด้วยคน (ผล) | คัดด้วยเครื่อง (ผล) | | | ความถูกต้อง (ร้อยละ) |
|---------------|----------------|---------------------|---------------|--------------|----------------------|
| | | ชั้นพิเศษ | ชั้น 1 หรือ 2 | ไม่ผ่านเกณฑ์ | |
| ชั้นพิเศษ | 117 | 94 | 8 | 15 | 80.3 |
| ชั้น 1 หรือ 2 | 39 | 19 | 8 | 12 | 20.5 |
| ไม่ผ่านเกณฑ์ | 11 | 0 | 2 | 9 | 81.8 |

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการคัดแยกเกิดจากผลมะม่วงบางผลที่มีลักษณะผิดปกติแต่ระบบไม่สามารถตรวจจับได้ (รูปที่ 8) เมื่อสังเกตตำแหน่งต่างๆ ของผลมะม่วงที่ระบบสามารถตรวจจับอยู่ในช่วงที่เป็นปกติ แต่ในความเป็นจริงผลมะม่วงมีโค้งของผลบริเวณขั้วที่ผิดปกติ กอปรกับระบบการตัดสินใจที่ใช้ไม่มีความยืดหยุ่นเนื่องจากการกำหนดค่าสัดส่วนแบบตายตัว จึงอาจต้องเพิ่มจำนวนจุดที่ใช้ในการตรวจสอบรูปร่างของผลมะม่วงรวมถึงประยุกต์ใช้ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการคัดแยกรูปร่างของผลมะม่วง



รูปที่ 8 ตัวอย่างผลมะม่วงที่มีรูปร่างผิดปกติซึ่งระบบไม่สามารถจำแนกได้

5.3 การคัดความสุกแก่ของผลมะม่วง

การกำหนดค่า W_1/L ในช่วง 0.2624 ถึง 0.3136 สำหรับการคัดแยกผลมะม่วงอ่อนออกพบว่าระบบสามารถคัดความแก่ของมะม่วงได้ด้วยความถูกต้องร้อยละ 68.1 โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพราะมะม่วงบางผลมีการพัฒนาทางด้านรูปร่างสมบูรณ์ใกล้เคียงกับผลแก่ แต่ยังมีการสะสมของสารอาหารไม่เพียงพอทำให้ผลมะม่วงมีมวลน้อย จึงทำให้ความหนาแน่นน้อยด้วย [4, 5]

ส่วนการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนของพื้นที่สีเหลืองต่อพื้นที่ทั้งหมดเพื่อใช้ในการแยกมะม่วงสุกออกนั้น พบว่าความแน่นอนเมื่อเปลี่ยนแปลงไปพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนระหว่างจำนวนพื้นที่สีเหลืองต่อพื้นที่ทั้งหมด โดยมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีอัตราส่วนของพื้นที่สีเหลืองต่อพื้นที่ทั้งหมดประมาณร้อยละ 10 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของธีราพร [5] จึงกำหนดให้ระบบคัดมะม่วงที่มีอัตราส่วนของพื้นที่สีเหลืองมากกว่าร้อยละ 10 (กำหนดให้เป็นมะม่วงสุก) ออก โดยระบบสามารถคัดแยกมะม่วงสุกได้ด้วยความถูกต้องร้อยละ 93.4 ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งระบบไม่สามารถคัดแยกมะม่วงบางผลที่มีการเปลี่ยนแปลงภายใน แต่ผิวภายนอกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพียงเล็กน้อย รวมถึงมะม่วงบางผลที่มีสีเหลืองจากการโดนแสงแดด ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค Near-Infrared Spectroscopy ซึ่งได้มีการนำมาใช้ในการหาปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในอาหาร เช่น แป้งและน้ำตาล [26]

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความสามารถในการคัดความสุกแก่

| มะม่วง | คัดด้วยคน (ผล) | คัดด้วยเครื่อง (ผล) | | | ความถูกต้อง (ร้อยละ) |
|--------|----------------|---------------------|-----|-----|----------------------|
| | | อ่อน | แก่ | สุก | |
| อ่อน | 47 | 20 | 27 | 0 | 42.6 |
| แก่ | 69 | 20 | 47 | 2 | 68.1 |
| สุก | 61 | 0 | 4 | 57 | 93.4 |

5.4 การแบ่งชั้นมะม่วงตามปริมาณตำหนิ

จากการทดลองคัดแยกมะม่วงที่มีปริมาณตำหนิแตกต่างกันโดยเปรียบเทียบผลการคัดแยกโดยใช้วิธีตรวจสอบด้านเดียว เปรียบเทียบกับการตรวจสอบสองด้าน พบว่า ระบบสามารถแบ่งชั้นมะม่วงตามปริมาณตำหนิที่ผิวได้ถูกต้องร้อยละ 94.1 สำหรับมะม่วงชั้นพิเศษ ส่วนมะม่วงที่จัดอยู่ในชั้น 1 และ 2 การประเมินตำหนิโดยวัดด้านเดียวให้ความถูกต้องร้อยละ 87.5 และ 84.0 ตามลำดับ ซึ่งมะม่วงที่มีปริมาณตำหนิเกินกว่ากำหนดระบบสามารถคัดแยกได้ด้วยความถูกต้องร้อยละ 89.4 (ตารางที่ 5) ทั้งนี้เป็นเพราะตำหนิบนผิวมะม่วงนั้นส่วนใหญ่จะมีปริมาณใกล้เคียงกันทั้งสองด้าน

5.5 อัตราการคัดคุณภาพ

จากการทดลองหาความเร็วในการคัดคุณภาพของระบบเมื่อป้อนผลมะม่วงด้วยมือ พบว่า ระบบสามารถคัดคุณภาพได้ด้วยความเร็วสูงสุด 797 ผลต่อชั่วโมง (ความเร็วสายพาน 6.66 เซนติเมตรต่อวินาที) เนื่องจากข้อจำกัดของการส่งข้อมูลระหว่างชุดแม่ชีนวิชันและเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งเกิดการผิดพลาดของการรับข้อมูลเมื่อเพิ่มอัตราการคัดคุณภาพเกินกว่า 797 ผลต่อชั่วโมง แต่อาจแก้ไขได้โดยเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์ควบคุมชนิดอื่นซึ่งเชื่อมต่อกับพอร์ต I/O ของชุดแม่ชีนวิชันโดยตรง

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความสามารถในการตัดตำหนิ

| มะม่วง | วัดสองด้าน (ผล) | วัดด้านเดียว (ผล) | | | | ความถูกต้อง (ร้อยละ) |
|--------------|-----------------|-------------------|--------|--------|--------------|----------------------|
| | | ชั้นพิเศษ | ชั้น 1 | ชั้น 2 | ไม่ผ่านเกณฑ์ | |
| ชั้นพิเศษ | 51 | 48 | 2 | 0 | 0 | 94.1 |
| ชั้น 1 | 72 | 7 | 63 | 2 | 0 | 87.5 |
| ชั้น 2 | 25 | 1 | 2 | 21 | 1 | 84.0 |
| ไม่ผ่านเกณฑ์ | 94 | 0 | 1 | 9 | 84 | 89.4 |

6. สรุป

จากผลการทดสอบการทำงานของเครื่องคัดคุณภาพมะม่วงระบบแมชชีนวิชั่นที่ออกแบบให้ประเมินคุณภาพของผลมะม่วงโดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิทัล ได้แก่ จำนวนของจุดสีที่กำหนดและค่าคู่ลำดับที่แสดงถึงตำแหน่งสำคัญของผลมะม่วงจำนวน 4 จุด สามารถสรุปได้ว่า เครื่องคัดคุณภาพมะม่วงที่สร้างขึ้นมีอัตราการคัดคุณภาพที่ 797 ผลต่อชั่วโมง สามารถคัดคุณภาพในด้านขนาด ความสุก และตำหนิได้ที่มีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 80 ส่วนการตรวจสอบรูปร่างและความอ่อนแก่ของผลมะม่วงระบบมีความถูกต้องในการคัดแยกต่ำกว่าร้อยละ 80 จึงต้องทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มจุดตรวจสอบและพัฒนาระบบตัดสินใจ ประจําปีงบประมาณ 2547

7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน หมวดเงินอุดหนุนการวิจัย ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประจําปีงบประมาณ 2547

8. เอกสารอ้างอิง

- กรมศุลกากร, 2546, *สถิติการนำเข้าและส่งออก* [Online], Available: <http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.jsp>
- บัณฑิต จริโมภาส, พันศักดิ์ ศิริรัชตพงษ์, ธนิตย์ ชัยยะบุญญธินิตย์ และ สุทธิพร เนียมหอม, 2534, “เครื่องคัดขนาดมะม่วงด้วยระบบแปรรูปภาพ”, *วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 3, หน้า 333-344.
- ชูรัตน์ ธารารักษ์ และ ตะวัน สุจริตกุล, 2537, “การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดขนาดผลมะม่วงโดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์”, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต*, สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, หน้า 131.
- ดวงตรา กสานติกุล, 2526, “การศึกษาการเจริญเติบโตการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและดัชนีการเก็บเกี่ยวของมะม่วง (*Mangifera indica* L.) พันธุ์น้ำดอกไม้”, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต*, สาขาวิชา

พีชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 56.

5. อีราพร ไชยวรรณะ, 2536, “การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ-เคมีระหว่างการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้หนังกกลางวัน และแรด”, *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต*, สาขาวิชาชีววิทยา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, หน้า 80.

6. เล็ก พิสิฐพรสกุล, 2526, “การศึกษาการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีบางอย่างของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้”, *ปัญหาพิเศษปริญญาโท*, สาขาวิชาพีชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 10.

7. น้ำเพ็ญ เปมะวิภาต และ บุญชัย ธารพานิช, 2540, “การออกแบบและทดสอบเครื่องคัด-แยกความหนาแน่นของผลไม้”, *โครงการวิศวกรรมเกษตร*, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 54.

8. ฤดีกร ทับทิมทอง, 2532, “การคัดเลือกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เพื่อการส่งออกโดยการลอยในน้ำเกลือ”, *ปัญหาพิเศษปริญญาตรี*, สาขาวิชาพีชสวน, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 32.

9. จักรพงษ์ พิมพ์พิมล, 2533, “คุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ได้จากการคัดเลือกหลังการเก็บเกี่ยวด้วยการลอยในสารละลายน้ำเกลือ”, *ปัญหาพิเศษปริญญาโท*, สาขาวิชาพีชสวน, บัณฑิตวิทยาลัย, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 35.

10. ก่อเกียรติ จรัสวีรกุล และ คณิตพงษ์ แซ่ก่อง, 2540, “เครื่องคัดความสุกแก่ของมะม่วง”, *โครงการวิศวกรรมเกษตร*, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, หน้า 65.

11. Chavapradit, C., 1996, “Design and Development of a Grading Machine for the Post-harvest Handling of Mangoes”, *Ph.D. Dissertation*, School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, Bangkok, p. 136.

12. Schmilovitch, Z., Mizarch, A., Hoffman, A., and Egozi, H., 2000, “Determination of Mango Physiology Indices by Near-Infrared Spectrometry”, *Postharvest and Technology*, Vol. 19, No. 3, pp. 179-186.

13. Mizrach, A., Flitsanov, U., Schmilovitch, Z., and Fuchs, Y., 1999, “Determination of Mango Physiological Indices by Mechanical Wave Analysis”, *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 16, No. 2, pp. 179-186.

14. กรมส่งเสริมการเกษตร, 2538, *ดัชนีการเก็บเกี่ยวมะม่วงเพื่อการส่งออก*, เอกสารแผ่นพับที่ 200, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, หน้า 2.
15. สำนักมาตรฐานและตรวจสอบสินค้าเกษตร, 2544, *มาตรฐานมะม่วงของประเทศไทย*, ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ลงวันที่ 12 มีนาคม 2544, หน้า 6.
16. Chen, Y., Chao, K., and Kim, M. S., 2002, "Machine Vision Technology for Agricultural Applications", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 36, pp. 173-191.
17. Aleixos, N., Blasco, J., Navarron, F., and Molto, E., 2002, "Multispectral Inspection of Citrus in Real-time Using Machine Vision and Digital Signal Processor", *Computer and Electronics in Agriculture*, Vol. 33, No. 2, pp. 121-137.
18. Nagata, M. and Cao, Q., 1998, *Study on Grade Judgment of Fruit Vegetables using Machine Vision*, Japan Agricultural Research Quarterly, Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tsukuba, Ibaraki, Japan, Vol. 32, No. 4, pp. 257-266.
19. Keyence, 2002, *CV-701 User's Manual*, Keyence, Japan, 274 p.
20. กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล และ จำลอง ครุอุตสาหะ, 2544, *Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์*, พิมพ์ครั้งที่ 9, ดวงกมลสมัย, กรุงเทพฯ, หน้า 621.
21. กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล และ จำลอง ครุอุตสาหะ, 2544, *Visual Basic 6 ฉบับฐานข้อมูล*, พิมพ์ครั้งที่ 4, ดวงกมลสมัย, กรุงเทพฯ, หน้า 561.
22. กฤษดา ใจเย็น, 2542, *เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน*, ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ, หน้า 150.
23. อนิรุต ลีวหาทอง, 2541, *Microsoft Visual Basic 5 Step by Step*, ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ, หน้า 380.
24. Rahman, S., 1995, *Food Properties Handbook*, CRC Press, Boca Raton, p. 500.
25. Linden, G., Dieter, L., and Hurst, J. W., 1996, *Analytical Techniques for Foods and Agricultural Products*, VCH, New York, p. 578.
26. Osborne, B. G. and Fearn, T., 1986, *Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis*, Longman Scientific & Technical, Essex, p. 200.