การพัฒนาระบบการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มอัตโนมัติด้วยระบบตรวจสอบจากกล้อง
Development of Automation System for Pummelo Maturation Analysis Using Machine Vision Technique

วิโรจน์ บัวงาม และ หฤทัย ดิ้นสกุล

กลุ่มโปรแกรมวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
wirot@npru.ac.th and harutai@npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มอัตโนมัติด้วยระบบตรวจสอบจากกล้อง ด้วยการตรวจสอบคุณภาพของผลส้มโอ โดยใช้วิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอด้วยการหาความสัมพันธ์ระหว่างการวัดขนาด และหาความหนาแน่นของต่อมน้ำมันของผลส้มโอ โดยใช้เทคโนโลยีการตรวจสอบจากกล้องและเทคนิคการประมวลผลภาพซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ระบบทำการตรวจสอบความแก่ของผลส้มโอจะทำงานร่วมกับระบบสานพานลำเลียงอัตโนมัติโดยใช้กล้องจำนวนสองตัวในการตรวจจับภาพและทำการวิเคราะห์ภาพเพื่อหาขนาดและต่อมน้ำมันบนผลส้มโอ ซึ่งสามารถเป็นการตรวจสอบความแก่ของผลส้มโอได้รวดเร็ว

จากผลการวิจัยระบบสามารถวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอด้วยวิธีการวัดขนาดผลส้มโอและวิเคราะห์ขนาดต่อมน้ำมันและจำนวนต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอร่วมกันด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ เพื่อความแม่นยำในการคัดคุณภาพผลส้มโอ ผลการวิเคราะห์นอกจากจะวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอได้แล้วยังสามารถแยกขนาดผลส้มโอแบ่งขนาดของผลส้มโอออกเป็น 3 ชั้น ตามขนาดของส้มโอที่ส่งออกต่างประเทศ นอกจากนั้นยังทำงานแบบอัตโนมัติโดยทำงานร่วมกับระบบสายพานลำเลียง

คำสำคัญ: การวัดความแก่ผลส้มโอ ระบบตรวจสอบอัตโนมัติจากกล้อง

Abstract

This paper presents design and development of automation system for maturation pummelo analysis using machine vision technique. The methodical analysis for the quality pummelo that correlation between the size and density of the oil glands of the pummelo with image processing techniques are non-destructive testing. The system to examine the effects of pummelo combined with automatically conveyor using two camera to capture and analyze the images to determine the size of a pummelo and oil glands, which can be checked to investigate the effect of grapefruit in real-time.

The results of the research can be analyzed to measure the size of a pummelo and analyze the oil glands of the skin of pummelo combine with computer software to the accuracy or quality of the results of pummelo. Analysis in addition to analyze the effects of pummelo can also be separated and size of a pummelo into three classes according to the size of pummelo exported to countries. Furthermore, the system can automatically work with conveyor system and belt conveyor system.

Keywords: Measure of pummelo, Machine Vision

1. บทนำ

งานวิจัยเกี่ยวกับส้มโอที่ผ่านมาจะเป็นการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มผลผลิต การปรับปรุงพันธ์ส้มโอให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น เพื่อเพิ่มคุณภาพในการผลิตส้มโอ[2] ในการส่งออกไปต่างประเทศ งานวิจัยอีกรูปแบบหนึ่งจะเป็นการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาการวิเคราะห์คุณภาพส้มโอก่อนส่งออก[3,4] โดยการวัดความแก่ของส้มโอ จากงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวัดขนาดผลส้มโอ และใช้การวัดต่อน้ำมันของผลส้มโอ โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ ซึ่งช่วยให้ผู้ส่งออกสามารถตรวจสอบขนาดส้มโอ และความแก่ของส้มโอได้อย่างมาตรฐาน งานวิจัยดังกล่าวจะเป็นการนำภาพที่ถ่ายจากกล้องดิจิตอลมาเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม Microsoft Visual C++ หาขนาดเส้นรอบวง และปริมาณต่อมน้ำมันในการวิเคราะห์ความแก่ของส้มโอ ซึ่งในการวิเคราะห์จะทำเฉพาะสภาวะออฟไลน์ (Off Line) คือต้องมีการถ่ายภาพส้มโอมาวิเคราะห์ที่คอมพิวเตอร์ โดยไม่สามารถวิเคราะห์ผลส้มโอทำงานแบบตามเวลาจริงได้ ซึ่งในทางปฏิบัติ หรือระบบตรวจสอบคุณภาพส้มโอก่อนสงออกต่างประเทศจำเป็นจะต้องมีการวิเคราะห์ หรือตรวจสอบความแก่ของส้มโอแบบตามเวลาจริง(Real Time) และต้องทำงานร่วมกับระบบลำเลียง

งานวิจัยของ Calpe, J. และคณะ [5] และ Qingbing Z., และคณะ[6,7] มีการพัฒนางานวิจัยโดยนำระบบการมองเห็นด้วยภาพ (Machine Vision System) มาช่วยในการวิเคราะห์ภาพของผลไม้ที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพ โดยคณะผู้วิจัยได้ออกแบบระบบประกอบด้วยกล้องสำหรับตรวจจับภาพ แล้วนำข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากการกล้องมาทำการวิเคราะห์ที่ระบบคอมพิวเตอร์โดยการเขียนโปรแกรมตรวจสอบ ซึ่งระบบจะสามารถวิเคราะห์คุณภาพผลไม้ได้รวดเร็วทำงานแบบตามเวลาจริง ในงานวิจัย[5] ออกแบบโปรแกรมในการตรวจับสี สามารถตรวจจับสีของผลไม้มีความถูกต้อง 80-95% งานวิจัย[6] มีการนำระบบการมองเห็นด้วยภาพมาช่วยในการวิเคราะห์ โดยคณะผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมในส่วนของการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลไม้ ซึ่งจะสามารถการวิเคราะห์ขนาดของผลไม้ได้อย่างถูกต้อง

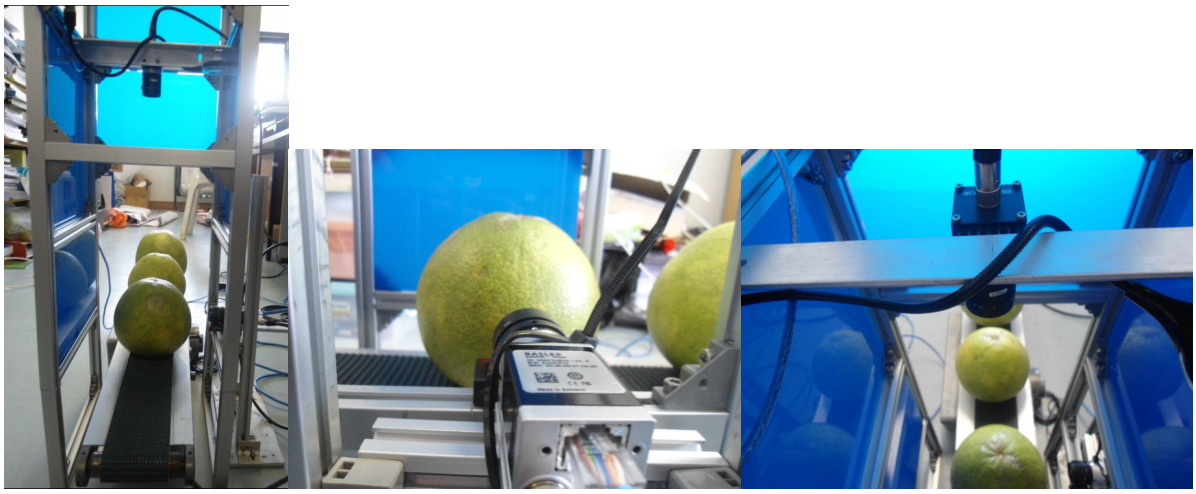
ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการวิเคราะห์ความแก่ของส้มโออัตโนมัติด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถสูงทั้งด้านระบบควบคุม และการประมวลผลภาพ โดยใช้ NI Vision Builder for Automated Inspection[8] ทำให้สามารถพัฒนาระบบการตรวจวัดความแก่ของส้มโอได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยซอฟต์แวร์มีความสามารถการประมวลผลภาพอย่างมีประสิทธิภาพ มีฟังก์ชันสำหรับการวิเคราะห์ การหาขอบภาพ การจัดการภาพ ฯลฯซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์คุณภาพของส้มโอได้ นอกจากนั้นระบบจะทำงานร่วมกับการควบคุมสายพานลำเลียงได้อย่างดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการส่งสินค้าออกต่างประเทศได้

2. การออกแบบระบบการวิเคราะห์ความแก่ของส้มโออัตโนมัติ

2.1 การออกแบบระบบของระบบสายพานลำเลียง

ระบบสายพานลำเลียง (Conveyer Belt) ประกอบด้วยสายพานลำเลียงขนาดความกว้างของสายพานมีขนาด 13 เซนติเมตร ความยาวของสายพานมีขนาด 80 เซนติเมตร โครงสร้างทำจากอลูมิเนียม การขับเคลื่อนของสายพานด้วยมอเตอร์กระแสสลับขนาด 40 วัตต์ 220V ต่อกับเกียร์ทดและมีตัวควบคุมความเร็วรอบโดยสามารถปรับความเร็วรอบได้ในช่วง 0-50 รอบต่อนาที แสดงดังภาพที่ 1

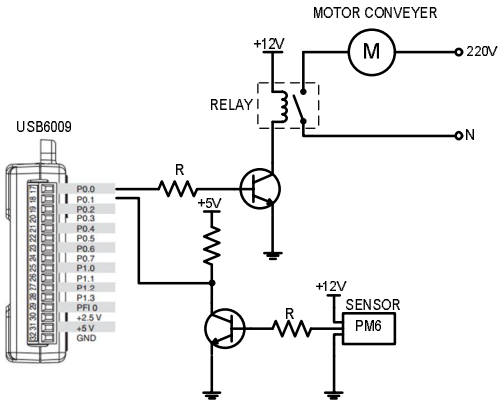
1) บอร์ด USB6009 เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท เนชั่นอินสตรูเมนท์ โดยทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ควบคุมด้วยโปรแกรมLabVIEW คุณสมบัติของบอร์ด USB6009 คือสามารถรับสัญญาณขาเข้าแบบอนาล็อกจากภายนอก(Analog Input : AI)ได้ 8 ช่องสัญญาณ มีช่องส่งสัญญาณอนาล็อกออกภายนอก(Analog Output : AO) จำนวน 2 ช่องสัญญาณ มีช่องสัญญาณรับอินพุต/เอาต์พุตแบบดิจิตอลจำนวน 12 ช่อง และมีเคาน์เตอร์ขนาด 32 บิตโดยการเชื่อมต่อแบบยูเอสบีความเร็วสูงสุด(Full-speed USB) ความเร็ว 12Mb/s ในงานวิจัยกำหนให้ USB6009 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียงโดยควบคุมจากระบบคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นระบบสายพานลำเลียงจะมีเซนเซอร์ตรวจสอบตำแหน่งของส้มโอสำหรับการตรวจสอบสำหรับการวัดขนาดและต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอ



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบและโครงสร้างระบบสายพานลำเลียงระบบการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มอัตโนมัติ

2) เซนเซอร์(Sensor) ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งส้มโอโดยใช้เซนเซอร์โมเดล PM6-DU05N เป็นเซนเซอร์ขนาดเล็กโดยมีหลักการตรวจสอบเป็นชนิดการสะท้อนแสงด้วยแสงแสงอินฟาเรดจากหลอดแอลอีดี ทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12-24V ต้องการกระแสสูงสุด 100mA เอาต์พุตชนิด NPN ความเร็วการตอบสนอง 1ms โดยแสดงดังภาพที่ 3.5 เซนเซอร์ PM6-DU05N สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายแบบเช่น การตรวจสอบวัตถุ การตรวจสอบการห่อหุ้ม การตรวจสอบตำแหน่งเป็นต้น โดยในงานวิจัยใช้เซนเซอร์ PM6-DU05N ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบโดยเซนเซอร์จะส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมเพื่อสั่งงานให้สายพานลำเลียงหยุดเพื่อนำภาพนำไปตรวจสอบและดำเนินการต่างๆต่อไป

3) การเชื่อมต่อและระบบควบคุมสายพานลำเลียงควบคุมด้วยโปรแกรมLabVIEW การออกแบบวงจรการเชื่อมต่อโดยใช้ช่องสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุตตำแหน่ง P0.0 ควบคุมการทำงานมอเตอร์โดยควบคุมผ่านวงจรขับโดยใช้รีเลย์เพื่อควบคุมมอเตอร์มีพิกัดแรงดัน 220V และใช้ช่องสัญญาณดิจิตอลอินพุตตำแหน่ง P0.1 รับสัญญาณจากเซนเซอร์ภายนอกโดยตรวจจับส้มโอผ่านวงจรทรานซิสเตอร์ดังแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเชื่อมต่อและระบบควบคุมสายพานลำเลียงผ่านUSB6009ด้วยโปรแกรม LabVIEW

2.2 องค์ประกอบของระบบการตรวจสอบจากกล้อง

1) กล้องจับภาพชนิดแอนาลอก

ระบบกล้องตรวจจับภาพชนิดแอนาลอก Toshiba IK-C44H [3] ใช้เลนส์แบบซีเมาท์(C-Mount) เป็นกล้องจับภาพสำหรับงานอุตสาหกรรมโดยมีขนาดของเซนเซอร์ CCD ขนาด 1/2นิ้ว โดยมีกล่องควบคุมกล้อง IK-CU44A ภาพจาก

กล้องมีขนาด 380,000 พิกเซล สร้างสัญญาณวีดิโอเคลื่อนที่ด้วย 470 เส้น ความสว่างต่ำสุดสำหรับการตรวจจับ 1.5 ลักซ์ สัญญาณเอาท์พุตเป็นแบบ NTSC

ภาพที่ 3 กล้องตรวจจับภาพ Toshiba IK-C44H และการ์ด NI 1405

การ์ด NI 1405 แสดงดังภาพที่ 3 ทำหน้าที่รับข้อมูลาภาพแบบโมโนโครมและภาพสี โดยรองรับข้อมูลจากกล้องแบบอนาลอก การ์ด NI 1405 รับข้อมูลแบบตามเวลาจริงและเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำของตัวการ์ด หรือส่งข้อมูลภาพไปยังส่วนประมวลผล คุณลักษณะของ NI 1405 สามารถถอดรหัสภาพวิดีโอแบบละเอียดสำหรับใช้กับงานด้านอุตสาหกรรมและงานทางด้านวิทยาศาสตร์ รองรับสัญญาณมาตรฐานแบบNTSC และแบบ PAL รองรับการสัญญาณทริกเกอร์จากภายนอก

2) กล้องจับภาพชนิดกิ๊กอี (GigE Vision Camera)

ภาพที่ 4 กล้องแบบ GigE Basler รุ่น acA640-100gm/gc

กล้องจับภาพชนิดกิ๊กอีผลิตขึ้นมาเพื่อการใช้งานทดแทนกล้องแบบอนาล็อกเพราะมีขนาดเล็กและราคาถูก กล้องชนิดกิ๊กอีมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ติดตั้งง่าย การเชื่อมต่อผ่านเครื่อข่ายระบบแลนด์ที่ความเร็ว หรือระบบอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง(Fast Ethernet) 100Mbit/s หรือระบบกิ๊กกะบิทอีเทอร์เน็ต(Gigabit Ethernet) 1000Mbit/s สามารถต่อสายมีความยาวสูงสุด 100 เมตร และสามารถต่อกับกล้องได้หลายตัวโดยใช้ฮับหรือสวิทช์

กล้องจับภาพชนิดกิ๊กอีที่ใช้ในงานวิจัยเป็นกล้องกิ๊กอีของบริษัท Basler รุ่น acA640-100gm/gc มีความละเอียดของภาพ 659x494 พิเซล เซนเซอร์ชนิดซีมอส Sony ICX618 มีอัตราความเร็วของภาพ 100 Frame/s กล้องสามารถตรวจจับภาพแบบสี ต่อกับเลนส์ชนิด C-mout แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับกล้องมีพิกัด +12V หรือต่อกับระบบ Power over Ethernet(802.3a)

2.3 โปรแกรมตรวจสอบด้วยโปรแกรม NI Vision Builder for Automated Inspection

เป็นส่วนสำคัญสำหรับเขียนโปรแกรมตรวจสอบภาพ โปรแกรมเป็นแบบเอพีไอ(API) โดยการเขียนโปรแกรมเป็นลำดับขั้นในการตรวจสอบชิ้นงาน โปรแกรมสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม LabVIEW นอกจากนั้นยังสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกสำหรับการควบคุมฮาร์ดแวร์ได้ โดยโปรแกรมมีคุณสมบัติดังนี้

1) การปรับคุณสมบัติต่างๆ ในภาพ เช่น ความสว่างของภาพ ความคมชัด และการปรับแต่งภาพ

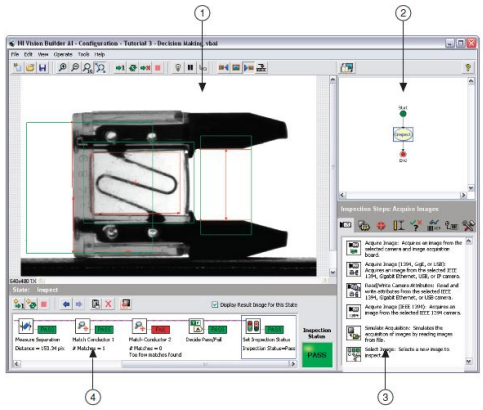
2) การวัดค่าต่างๆในภาพ เช่น การวัดระยะจากขอบวัตถุ การวิเคราะห์โครงสร้าง

3) การระบุค่าให้แก่วัตถุที่ต้องการ

4) การตรวจสอบการมีอยู่ของวัตถุ

5) ระบุตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ

ภาพที่ 5 แสดงส่วนที่ติดต่อของโปรแกรม NI Vision Builder ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ Main window, Overview window, Inspection Steps palette และ State Configuration window



ภาพที่ 5 ส่วนติดต่อการกำหนดคุณลักษณะของโปรแกรม NI Vision Builder

3. ผลการดำเนินการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มอัตโนมัติด้วยระบบตรวจสอบจากกล้อง

การดำเนินการทดสอบระบบการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโออัตโนมัติโดยการทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมดประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมตรวจสอบ NI Vision Builder for Automated Inspection ในงานวิจัยใช้รุ่นทดลองใช้งาน ทำงานร่วมกับระบบสายพานลำเลียง โดยการทดสอบกำหนดให้โปรแกรมวัดขนาดของผลส้มโอและตรวจสอบจำนวนต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอเพื่อทำการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การตรวจสอบจำนวนต่อมน้ำมันบนผลส้มโอมีขั้นตอนการประมวลผลคือ

- เตรียมผลส้มโออายุระหว่าง 4-8เดือน
- การเตรียมพื้นที่ผลของส้มโอตัวอย่างสำหรับการตรวจสอบโดยกำหนดพื้นที่บนผลส้มโอมีขนาด 1 ตารางเซนติเมตร
- รับภาพผิวส้มโอจากกล้องและปรับปรุงภาพก่อนประมวลผล
- เขียนโปรแกรมการวัดขนาดต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอ โปรแกรมตรวจสอบจำนวนต่อมน้ำมันบนผลส้มโอเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอโดยหาจำนวนต่อมน้ำมันต่อพื้นที่ที่ทำการตรวจสอบ

การตรวจสอบขนาดผลส้มโอมีขั้นตอนการประมวลผลคือ

- รับภาพผลส้มโอจากกล้อง
- ปรับปรุงภาพก่อนประมวลผล
- วัดขนานเส้นรอบวงผลส้มโอ

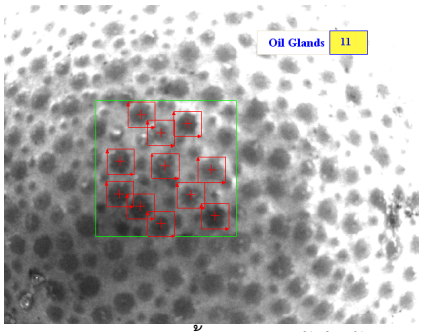
การวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโออัตโนมัติและการวัดขนาดผลส้มโอมีขั้นตอนการประมวลผลคือ

- การควบคุมสายพานลำเลียงเพื่อนำส้มโอมาตำแหน่งตรวจสอบด้วยเซนเซอร์
- รับภาพผลส้มโอจากกล้องตัวที่ 1 เพื่อวัดขนาดผลส้มโอ
- ทำการประมวลผลวัดขนาดผลส้มโอและแยกขนาดผลส้มโอแบ่งออกเป็น 3ชั้น
- รับภาพผลส้มโอจากกล้องตัวที่ 2 เพื่อวัดต่อมน้ำมัน
- หาขนาดต่อมน้ำมันที่มีขนาดใหญ่และจำนวนบนต่อมน้ำมันในพื้นที่ตรวจสอบ
- นำผลการตรวจสอบวัดขนาดผลส้มโอและวิเคราะห์ผลต่อมน้ำมันเพื่อวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอโดยแสดงผลการตรวจวัดขนาดเพื่อแยกขนาดผลส้มโอ จำนวนต่อมน้ำมันเพื่อหาความแก่ของผลส้มโอออกทางหน้าจอ

3.1 การวิเคราะห์ความแก่ของส้มโอด้วยต่อมน้ำมัน

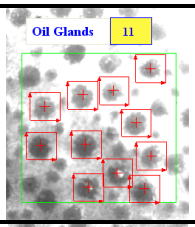
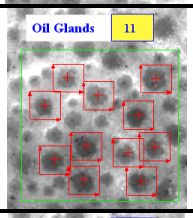
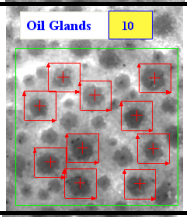
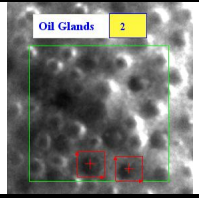
การวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอด้วยวิธีการตรวจสอบจำนวนต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอด้วยโปรแกรม NI Vision Builder การตรวจสอบว่าส้มโอมีความแก่หรือไม่โดยการตรวจสอบโดยการหาต่อมน้ำมันของส้มโอที่มีขนาดเส้นรอบวงหรือ

พื้นที่ต่อมน้ำมันขนาดไม่น้อยกว่า 4.34 มม. หรือ 1.5 ตร.มม. ขั้นตอนการตรวจสอบขนาดต่อมน้ำมันโดยใช้ฟังก์ชัน Match Pattern ด้วยโปรแกรมNI Vision Builder โปรแกรมจะตรวจสอบความเหมือนของต่อมน้ำมันที่ตรวจสอบกับภาพต้นแบบที่กำหนด โดยการตรวจสอบจะเลือกภาพต่อมน้ำมันต้นแบบสำหรับการตรวจสอบโดยเลือกต่อมน้ำมันของผลส้มโอที่มีความแก่และนำภาพไปเปรียบเทียบกับต่อมน้ำมันในพื้นที่ตรวจสอบ(ROI)



ภาพที่ 6 ผลการตรวจสอบต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอด้วนฟังก์ชัน Match Pattern พร้อมแสดงจำนวนต่อมน้ำมันที่ตรวจพบบนผิวส้มโอ

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบขนาดต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอ

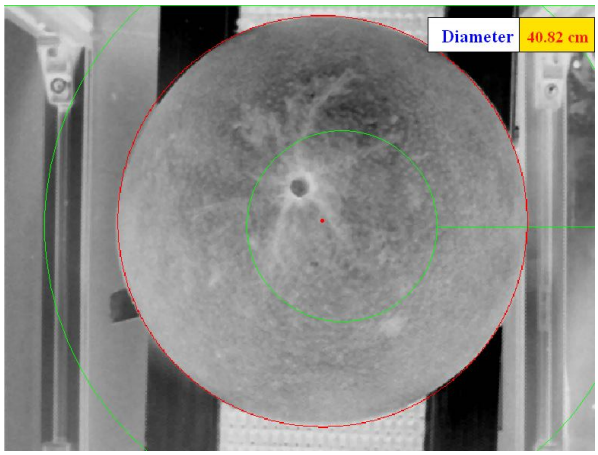
ภาพตรวจสอบ	อายุของส้มโอ(เดือน)	จำนวนต่อมน้ำมันต่อตารางเซนติเมตร	ผลการตรวจสอบ
	8	11	ผ่าน
	7	11	ผ่าน
	6	10	ผ่าน
	5	2	ไม่ผ่าน

จากผลการตรวจสอบต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอด้วนฟังก์ชัน Match Pattern ดังตารางที่ 1 พบว่าโปรแกรมสามารถวิเคราะห์ความแก่ของส้มโอด้วยการวิเคราะห์ขนาดต่อมน้ำมันและจำนวนต่อมน้ำมันต่อพื้นที่ตรวจสอบมีขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งโปรแกรมสมารถแสดงจำนวนต่อมน้ำมันออกทางหน้าจอ จากผลการทดสอบพบว่าส้มโอที่มีความแก่ผลการตรวจสอบจำนวนต่อมน้ำมันมีขนาดใหญ่อยู่ที่ประมาณ 10 ต่อม/ตารางเซนติเมตร ถ้าตรวจสอบส้มโอที่ยังไม่แก่พบว่าโปรแกรมตรวจสอบจำนวนต่อมน้ำมันได้จำนวนน้อยอยู่ในช่วง 0-2 ต่อม/ตามรางเซนติเมตร

3.2 การวัดขนาดผลส้มโอด้วยโปรแกรม

การวัดขนาดผลส้มโอเป็นการคัดส้มโอเพื่อแยกขนาดสำหรับการส่งออก และการบรรจุหีบห่อ ส้มโอที่ส่งออกไปต่างประเทศจะมีการขัดขนาดแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ ส้มชั้น 1 , ส้มชั้น 2 และส้มชั้น 3 โดยการวัดขนาดเส้นรอบวงเป็นหลัก ซึ่งจะมีการวัดส่วนที่ป่องที่สุดของผลมีหน่วยเป็นนิ้วหรือเซนติเมตร ตัวอย่างขนาดของส้มโอขาวน้ำผึ้งในการส่งออกแบ่งออกขนาดดังนี้

1) ส้มชั้น 1 มีขนาดเส้นรอบวงมากกว่า 18 นิ้ว หรือ 45.72 เซนติเมตร
2) ส้มชั้น 2 มีขนาดเส้นรอบวงประมาณ 17-18 นิ้ว หรือ 43.18-45.72 เซนติเมตร
3) ส้มชั้น 3 มีขนาดเส้นรอบวงประมาณ 16 -17 นิ้ว หรือ 40.64-43.18 เซนติเมตร



ภาพที่ 7 ผลการวัดขนาดเส้นรอบวงของผลส้มโอและการแสดงผลเส้นรอบวงด้วยโปรแกรม

การทดสอบความถูกต้องของการวัดขนาดเส้นรอบวงของผลส้มโอด้วยโปรแกรม NI Vision Builder โดยนำผลจากการวัดด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับการวัดขนาดเส้นรอบวงจริงของผลส้มโอด้วยแถบวัด โดยการทดสอบจะนำส้มโอขนาดต่างๆ ประกอบด้วยส้มโอมีขนาดเล็ก ส้มโอขนาดชั้น 1 ส้มชั้น 2 และส้มชั้น 3 จำนวนทั้งหมด 10 ผล การทดสอบจะเริ่มต้นด้วยการวัดเส้นรอบวงของผลส้มโอด้วยแถบวัดบันทึกผลและทดสอบด้วยการใช้โปรแกรมวัดขนาดเส้นรอบวงของผลส้มโอ นอกจากนั้นทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยแสดงดังตารางที่ 4.8 โดยนำผลการวัดขนาดผลส้มโอแบ่งออกเป็นสั้มโอชั้น 1 ชั้น 2 และชั้น 3 นอกจากนั้นถ้าส้มโอที่มีขนาดเล็กกว่าชั้น 3 จะกำหนดให้เป็นชั้น 0 จะเป็นส้มโอที่มีขนาดเล็กมาก

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบการวัดเส้นรอบวงของผลส้มโอด้วยโปรแกรม NI Vision Builder

ลำดับ	เส้นรอบวงจริง (ซม.)	เส้นรอบวงจากการวัดด้วยโปรแกรม (ซม.)	ค่าความคลาดเคลื่อน (ซม.)	ขนาดของผลส้มโอ (ชั้น)
1	30.18	30.28	0.10	0
2	37.65	37.54	0.11	0
3	37.20	36.65	0.55	0
4	39.00	39.17	0.17	0
5	42.30	42.74	0.44	3
6	41.62	41.50	0.12	3
7	45.20	45.75	0.55	2
8	44.50	45.08	0.58	2
9	54.25	54.83	0.58	1
10	54.85	55.22	0.37	1

ผลการทดสอบการวัดขนาดเส้นรอบวงของผลส้มโอซึ่งแสดงดังตารางที่ 2 จะเห็นว่าโปรแกรมสามารถวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและค่ารัศมีของผลส้มโอ จากนั้นจึงนำค่ารัศมีเพื่อคำนวณหาเส้นรอบวงของผลส้มโอและแสดงผลการวัดออกทางหน้าจอ จากตารางที่ 2 จะพบว่าโปรแกรมจะสามารถวัดขนาดเส้นรอบวงได้ถูกต้องใกล้เคียงกับค่าที่วัดด้วยแถบวัดของจริง ซึ่งค่าความแตกต่างของค่าทั้งสองไม่สูง ซึ่งสามารถใช้ผลการวัดขนาดเส้นรอบวงของผลส้มโอสามารถนำไปคัดแยกขนาดหรือชั้นของผลส้มโอได้

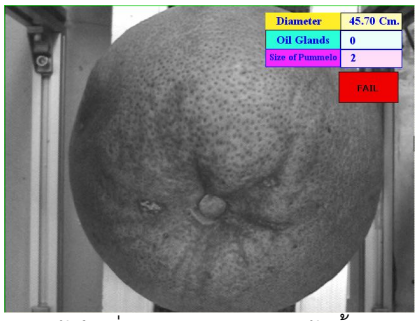
4. การตรวจสอบการวัดขนาดและตรวจสอบต่อมน้ำมันของผลส้มโอเพื่อตรวจสอบขนาดและความแก่ของผลส้มโออัตโนมัติ

จากผลการทดลองการวัดขนาดผลส้มโอและการทดลองการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอโดยวิธีการหาขนาดต่อมน้ำมันต่อพื้นที่ตรวจสอบ(1 ตารางเซนติเมตร)นั้น ลำดับต่อมาจะใช้วิธีการทั้งสองทดสอบความแก่ของผลส้มโอทำงานร่วมกับระบบสายพานลำเลียงควบคุมอัตโนมัติ โดยมีลำดับการทำงานดังนี้คือ

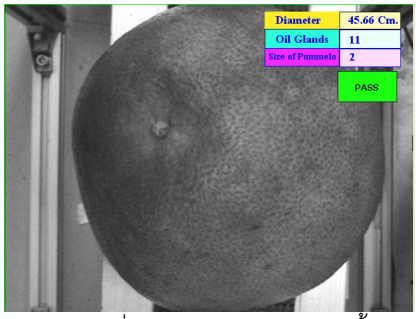
1) การควบคุมสายพานลำเลียงด้วยโปรแกรมLabVIEW ผ่านบอร์ด USB6009 รับสัญญาณจากเซนเซอร์ PM6-DU05N ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของส้มโอซึ่งโปรแกรมLabVIEW จะสั่งงานให้สายพานลำเลียงทำงานอย่างต่อเนื่องจนกว่าเซนเซอร์ PM6-DU05N จะตรวจจับส้มโอได้

2) เมื่อผลส้มโอเคลื่อนที่มายังตำแหน่งติดตั้งกล้องสำหรับการดึงภาพส้มโอเพื่อการตรวจสอบโดยการตรวจสอบเริ่มจากการวัดขนาดผลส้มโอด้วยกล้อง Toshiba IK-C44H โดยผลการวัดขนาดของผลส้มโอจะนำไปแยกขนาดแบบออกเป็น 3 ขนาดคือส้มชั้น 1 มีขนาดมากกว่า 45.72 เซนติเมตร ส้มชั้น 2 มีขนาด43.18-45.72 เซนติเมตร และส้มชั้น 3 มีขนาด 40.64-43.18 เซนติเมตร นอกจากนั้นขนาดของส้มโอที่มีขนาดต่ำกว่าขนาดส้มชั้น 3

3) การตรวจสอบความแก่ของผลส้มโอด้วยกล้อง Basler รุ่น acA640-100gm/gc โดยดึงภาพนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการดูจำนวนต่อมน้ำมันที่มีขนาดใหญ่และต้องมีจำนวนความหนาแน่นของต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอ จากการทดสอบการวัดขนาดเส้นรอบวงและพื้นที่ต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอที่ผ่านมาพบว่า ส้มโอที่มีความแก่หรือสามารถเก็บเกี่ยวได้จะมีขนาดเส้นรอบวงของต่อมน้ำมันมีขนาด 4.34มม. และมีพื้นที่ของต่อมน้ำมันขนาด 1.50 ตร.มม. นอกจากนั้นจำนวนต่อมน้ำมันต่อพื้นที่ตรวจสอบ (1 ตร.ซม) พบว่าจะมีต่อมน้ำมันอยู่ภาพในพื้นที่ตรวจสอบไม่น้อยกว่า 6 ต่อมต่อตารางเซนติเมตร จากผลการวัดขนาดผลส้มโอและการวิเคราะห์ต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอมาวิเคราะห์แยกขนาดส้มโอชั้น 1-3 และขนาดส้มโอที่ต่ำกว่าชั้น 3 โดยแสดงผลเป็นชั้น 0 นอกจากนั้นได้นำผลการวิเคราะห์แสดงผลออกทางหน้าจอ



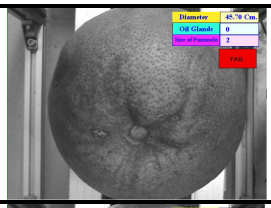
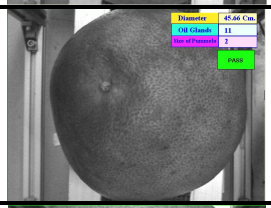
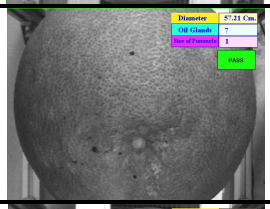
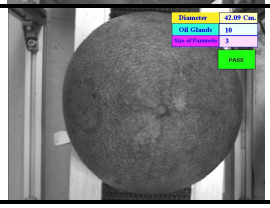
ภาพที่ 8 ผลการตรวจสอบส้มโอที่มียังอ่อนและขนาดส้มชั้น 2 ผลการตรวจสอบไม่ผ่าน



ภาพที่ 9 ผลการตรวจสอบส้มโอที่มีความแก่และขนาดส้มชั้น 2 ผลการตรวจสอบผ่าน

จากผลการทดลองการวัดขนาด และตรวจสอบต่อมน้ำมันของผลส้มโอเพื่อตรวจสอบขนาดและความแก่ของผลส้มโออัตโนมัติด้วยระบบสายพานลำเลียงทำงานร่วมกับโปรแกรม NI Vision Builder for Automated Inspection จะเห็นว่าระบบสามารถวิเคราะห์ความแก่และขนาดของผลส้มโอได้แบบอัตโนมัติ โดยระบบสามารถวิเคราะห์คัดแยกขนาดและความแก่ของผลส้มโอแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าโปรแกรมสามารถแยกขนาดหรือชั้นส้มโอออกเป็น ส้มชั้น 1 ส้มชั้น 2 ส้มชั้น 3 และส้มชั้น 0 ในการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอได้อย่างถูกต้องนั้นโดยจากผลการวิเคราะห์ทั้งวัดขนาดต้องอยู่ในส้มโอชั้น 1-3 และจำนวนต่อมน้ำมันมีขนาดมีความหนาแน่นถูกต้องจะแสดงคำว่าผ่าน(Pass) แต่ถ้าผลจากการวิเคราะห์ส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดผิดพลาดผลการวิเคราะห์จะแสดงคำว่าไม่ผ่าน(Fail) นอกจากนั้นยังสามาถวิเคราะห์หาเวลาในการทำงานของโปรแกรมโดยระยะเวลาการทำงานของโปรแกรมในการตรวจสอบความแก่และคัดขนาดของผลส้มโอแสดงดังตารางที่ 3 โดยพบว่าระยะเวลาในการตรวจสอบอยู่ในช่วง 160.20 -185.52 มิลลิวินาที

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบขนาดต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอ

ภาพตรวจสอบ	ขนาดเส้นรอบวง (ซม.)	ชั้นส้มโอ	จำนวนต่อมน้ำมัน/ตร.ซม	เวลาในการตรวจสอบ (มิลลิวินาที)	ผลการตรวจสอบ
	45.79	0	0	173.45	ไม่ผ่าน
	45.66	2	11	163.25	ผ่าน
	57.21	1	7	185.52	ผ่าน
	42.09	3	10	160.20	ผ่าน

6. สรุปผล

จากงานวิจัยการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มอัตโนมัติด้วยระบบตรวจสอบจากกล้อง ผลการวิจัยสามารถวัดขนาดผลส้มโอด้วยโปรแกรมโดยสามารถแยกขนาดผลส้มโอ สามารถวิเคราะห์ขนาดต่อมน้ำมันและจำนวนต่อมน้ำมันบนผิวส้มโอเพื่อวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอ นอกจากนั้นยังสามารถวัดขนาดและวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอแบบอัตโนมัติทำงานร่วมกับระบบสายพานลำเลียงโดยการประมวลผลและควบคุมด้วยโปรแกรม NI Vision Builder for Automated Inspection สามารถแยกขนาดหรือชั้นส้มโอออกเป็น 3 ชั้น ตามขนาดของส้มโอส่งออกต่างประเทศ โดยสามารถแสดงผลการตรวจสอบด้วยคอมพิวเตอร์ ทำให้มีความถูกต้องในการคัดแยกขนาดส้มโออัตโนมัติ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร
[2] ดรุณี นาพรหม, ชูชาติ สันธทรัพย์, อังสนา อัครพิศาล และเยาวลักษณ์ จันทร์บาง “ผลของกรดจิบเบอเรลลิกต่อการเจริญของผล และคุณภาพผลส้มโอพันธุ์ทองดี” คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[3] ปรัชญา สุริย์ “การพัฒนาโปรแกรมเพื่อวัดขนาดของผลส้มโอ” โครงงานวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[4] นภดล อรุณยะเดช “การวิเคราะห์ความแก่อ่อนของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ”วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[5] J. Calpe, F. Pla, J. Monfort, P. Diaz, and J.C Boada,.*“Robust low-cost vision system for fruit grading”* Electrotechnical Conference, 1996. MELECON '96., 8th Mediterranean Volume 3, 13-16 May 1996 Vol.3 pp.1710 – 1713.
[6] Q. Zeng, C. Liu, Y. Miao, S. Fei and S. Wang, *“A Machine Vision System for Continuous Field Measurement of Grape Fruit Diameter”* Proceeding of the 2008 Second International Symposium on Intelligent Information Technology December 20-22, 2008 Vol.2 Page: 1064-1068.
[7] Y.X. Sun, C.M. Zhang, P.Z. Liu and H.M. Zhu, *“SHAPE FEATURE EXTRACTION OF FRUIT IMAGE BASED ON CHAIN CODE.”* Proceedings of the 2007 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Beijing, China, 2-4 Nov. 2007 Vol.3, Page: 1346-1349
[8] LabVIEW IMAQ Vision Concepts Manual, Part Number: 372916D-01, 322916D-01.
[9] Andrew Wilson, “Understanding camera performance specs,” *Vision Systems Design,* vol 12,no 7, July 2007, pp. 39-45.
[10] NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial 2002–2010 National Instruments Corporation
[11] G.J. Awcock and R. Thomas “Applied Image Processing”, McGraw –hill, Inc, 1996.
[12] Ramesh jain, Rangacher Kasturi and Brian G. Schunck, “Machine Vision”, McGraw –hill, Inc, 1995.
[13] I.Pitas,“Digital image processing algorithms and application”, John Wiley & Sons, Inc, 2000
[14] J.R. Parker,“Algorithms for image processing and computer vision”, John Wiley & Sons , Inc., 1996