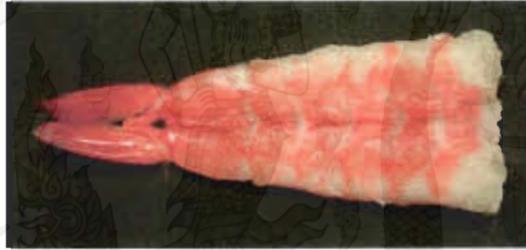


## คำนำ

กุ้งเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย ในแต่ละปีไทยส่งออกกุ้งไปยังประเทศต่างๆ ทั่วโลกทั้งในรูปแบบต่างๆ เช่น กุ้งแช่แข็ง กุ้งแช่น้ำเกลือ กุ้งแห้ง กุ้งแช่เย็น กุ้งต้ม เป็นต้น จากข้อมูล การส่งออกแสดงให้เห็นว่าการส่งออกกุ้งสามารถนำรายได้เข้าประเทศไทยได้ปีละกว่าสี่หมื่นล้านบาท (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2553) โดยมีประเทศคู่ค้าที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และ แคนาดา (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2553)

กุ้งผ่าหลังแบบมีเปลือกเป็นผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง (ภาพที่ 1) ชนิดหนึ่งที่มีความนิยมมาก ในตลาดทั้งในและต่างประเทศเนื่องจากกุ้งลักษณะดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญของการ ทำอาหารญี่ปุ่นประเภทซูชิ (ซูชิหมายถึงข้าวปั้นปิดด้วยหน้าต่าง ๆ เช่น เนื้อปลาและกุ้ง เป็นต้น)



ภาพที่ 1 ลักษณะของกุ้งผ่าหลังแบบมีเปลือก

จากลักษณะการบริโภคกุ้งในรูปแบบซูชิทำให้ความยาวและรูปร่างของกุ้งเป็นปัจจัยสำคัญ ในการกำหนดระดับคุณภาพของสินค้า ในกระบวนการผลิตหลังจากกุ้งผ่านการผ่าหลังและแกะ เปลือกแล้วพนักงานจะทำการวัดขนาดความยาวของกุ้งโดยใช้แผ่นวัดความยาวที่ทำขึ้นตาม ข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและคู่ค้าแล้วคัดแยกกุ้งเป็นกลุ่ม (ภาพที่ 2) เพื่อรอบรรจุลงในถาดก่อนเข้าสู่ กระบวนการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วแบบแยกชิ้น (Individual Quick Freezing: IQF) ซึ่งนอกจาก พนักงานจะทำหน้าที่ในการวัดและเปรียบเทียบความยาวของตัวกุ้งแล้วยังต้องตรวจสอบรูปร่างของ ตัวกุ้งว่ามีส่วนหางติดอยู่หรือไม่และรอยผ่านนั้นทะลุถึงอีกด้านหนึ่งหรือไม่ กุ้งที่มีรูปร่างผิดปกติและ รอยผ่าทะลุจะถูกคัดออกในขั้นตอนนี้



ภาพที่ 2 การคัดแยกความยาวกุ้งด้วยแรงงานคน

การวัดความยาวของกุ้งผ่าหลังแบบฝีเสื่อนั้นไม่สามารถใช้เครื่องคัดขนาดกุ้งแบบลูกกลิ้ง (ภาพที่ 3) ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดได้ เนื่องจากเครื่องดังกล่าวถูกออกแบบมาสำหรับคัดขนาดกุ้งทั้งตัว ที่ยังไม่ผ่าหลัง ตามความกว้างของลำตัวกุ้งโดยอาศัยการทำงานของลูกกลิ้งหลายชุด ซึ่งมีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งแต่ละชุดแตกต่างกันเพื่อให้ตัวกุ้งสามารถลอดผ่านช่องว่างนั้นลงไปสู่ส่วนรองรับได้



ภาพที่ 3 เครื่องคัดขนาดกุ้งแบบลูกกลิ้ง

จากข้อจำกัดของวิธีการและเครื่องมือสำหรับคัดขนาดที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงควรมีการพัฒนาเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับคัดแยกกุ้งตามความยาวของกุ้งผ่าหลังแบบฝีเสื่อ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาความผันแปรในความสม่ำเสมอ ความถูกต้อง และความเร็วในการตรวจสอบ เนื่องมาจากความแตกต่างของบุคคลและความเหนื่อยล้าในการทำงาน รวมถึงค่าใช้จ่ายทางตรงและทางอ้อมสำหรับแรงงานดังกล่าว (Chen, 2002) อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการผลิตกุ้งผ่าหลังแบบฝีเสื่อเพื่อการส่งออกด้วย

ในต่างประเทศระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ผลไม้ เช่น ส้ม (Blasco, Aleixos, Gómez, *et al.*, 2007) พืชช้ำ (Sun and Brosnan, 2003) ปลา (Strachan, 1993) เป็นต้น เนื่องจากระบบดังกล่าวสามารถตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างสม่ำเสมอ แม่นยำและถูกต้องรวดเร็ว นอกจากนั้นยังสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่เหน็ดเหนื่อย (Brosnan and Sun, 2002) ซึ่งช่วยลดปัญหาต้นทุนและการขาดแคลนแรงงานที่ผู้ประกอบการประสบอยู่ในปัจจุบันได้

ในปัจจุบันยังไม่มีประดิษฐ์เครื่องคัดขนาดและรูปร่างกุ้งแห้งแบบฝีเสื้อด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ การพัฒนาเครื่องคัดขนาดและรูปร่างดังกล่าวนอกจากจะเป็นการยกระดับการควบคุมคุณภาพสินค้าส่งออกของประเทศไทยแล้ว องค์ความรู้เกี่ยวกับลำดับขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการตรวจสอบคุณภาพกุ้งแห้งแบบฝีเสื้อด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ รวมถึงองค์ความรู้ในการพัฒนาระบบตัดสินใจหรือปัญญาประดิษฐ์เพื่อการแบ่งชั้นคุณภาพของกุ้งยังสามารถนำไปสู่การจดสิทธิบัตรและการเผยแพร่ผลงานในระดับนานาชาติได้

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อพัฒนาเครื่องคัดขนาดกุ้งแห้งแบบฝีเสื้ออัตโนมัติระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์

### ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) เครื่องคัดขนาดระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์สามารถคัดขนาดตามความยาวของตัวกุ้งแห้งแบบฝีเสื้อได้ด้วยความถูกต้องไม่น้อยกว่า 80%
- 2) เครื่องคัดขนาดระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์สามารถคัดขนาดกุ้งแห้งแบบฝีเสื้อได้โดยอัตโนมัติ
- 3) เครื่องคัดขนาดระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์สามารถคัดแยกกุ้งตามความยาวได้อย่างน้อยสามกลุ่มตามความยาวที่กำหนด

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป

ได้ค้นวัตกรรมเครื่องคัดขนาดกุ้งระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ที่มีอุปกรณ์และวิธีการใช้แตกต่างจากเครื่องคัดขนาดกุ้งแบบลูกกลิ้งที่มีอยู่ ซึ่งยังไม่มีรายงานการพัฒนาเครื่องลักษณะนี้ขึ้นมาก่อนในประเทศไทย

กลุ่มเป้าหมาย นักวิจัย วิศวกรอาหาร บริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรกลอาหาร

## 2) บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจ

ภาคธุรกิจที่ประกอบการผลิตกึ่งแปรรูป สามารถนำผลวิจัยไปปรับเพื่อพัฒนาสายการผลิตกับธุรกิจตัวเองได้

กลุ่มเป้าหมาย อุตสาหกรรมผลิตกึ่งแปรรูปแช่เยือกแข็ง

## 3) นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์

ผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้กับการผลิตเชิงพาณิชย์ได้ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรกลอาหาร

กลุ่มเป้าหมาย อุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรกลอาหาร

## 4) เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

ผลงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการคัดขนาดกึ่งผ่าหลังแบบมีเสื่อด้วยเครื่องคัดขนาดระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ ซึ่งคาดว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลได้มากขึ้นกว่าการใช้แรงงานคน

กลุ่มเป้าหมาย อุตสาหกรรมผลิตกึ่งแปรรูปแช่เยือกแข็ง

### กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพอาหารอย่างกว้างขวางโดยใช้ภาพถ่ายดิจิทัลของผลิตภัณฑ์นั้น เช่น การวัดขนาด รูปร่าง สีผิว ตำนาน การแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากมีการกำหนดลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์ภาพที่เหมาะสมให้กับระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์จึงมีความเป็นไปได้ที่จะตรวจวัดและคัดขนาดกึ่งผ่าหลังแบบมีเสื่อได้โดยอัตโนมัติ

### การตรวจเอกสาร

กึ่งผ่าหลังแบบมีเสื่อเป็นสินค้าประเภทกึ่งแช่เยือกแข็งแปรรูปที่มีมูลค่าการส่งออกสูง สินค้ากึ่งแปรรูปชนิดนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญของอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะอาหารญี่ปุ่นประเภทข้าวปั้นหรือซูชิ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การนำกุ้งผ่าหลังแบบฝีเสื่อทำเป็นข้าวปั้น (Anon.2008)

จากลักษณะการนำไปประกอบอาหารนอกจากความสะอาดของกุ้งแล้วความยาวของตัวกุ้งเป็นตัวแปรสำคัญในการแบ่งชั้นคุณภาพของกุ้งผ่าหลังแบบฝีเสื่อ เพราะเมื่อทำเป็นข้าวปั้นแล้วตัวกุ้งต้องยาวพอดีกับข้าวปั้นซึ่งความยาวของกุ้งสำหรับทำข้าวปั้นมีความยาวตั้งแต่ 7-11 เซนติเมตร ทั้งนี้ความยาวของกุ้งในแต่ละชั้นคุณภาพถูกกำหนดตามข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้นำเข้าสินค้าและความผิดพลาดในการวัดความยาวของกุ้งที่ยอมรับได้ต้องมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิเมตร (ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ระหว่างการเยี่ยมชม โรงงานผู้ผลิตกุ้งผ่าหลังแบบฝีเสื่อเพื่อการส่งออกในจังหวัดสมุทรสาคร)

ในปัจจุบันการวัดความยาวกุ้งผ่าหลังแบบฝีเสื่อทำโดยใช้แรงงานคนเป็นสำคัญ (ภาพที่ 5) พนักงานจะทำแบ่งชั้นของกุ้งตามความยาวที่วัดได้โดยใช้แผ่นวัดขนาด (ภาพที่ 6) แล้วใส่กุ้งลงในถาดรองรับเพื่อเรียงบรรจุเข้าสู่กระบวนแช่เยือกแข็งต่อไป อัตราการคัดแยกของพนักงานคัดขนาดกุ้งแต่ละคนมีค่าประมาณ 1,500 – 1,800 ตัวต่อคนต่อชั่วโมง และพนักงานแต่ละคนทำงาน 8 ชั่วโมงต่อกะ



ภาพที่ 5 การคัดขนาดกุ้งด้วยแรงงานคน



ภาพที่ 6 ลักษณะของแผ่นวัดความยาวกุ้ง

การคัดขนาดกุ้งด้วยวิธีการดังกล่าวจะไม่ต้องกรเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีการทำงานซับซ้อนแต่ต้องใช้ความชำนาญและความอดทนของแรงงานที่ทำการคัดแยกอย่างยิ่ง เนื่องจากแรงงานเหล่านั้นต้องคัดแยกขนาดของกุ้งแต่ละตัวเพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานและมีความไม่แน่นอน เนื่องจากประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพขึ้นอยู่กับความชำนาญในการประเมินระดับคุณภาพและการตัดสินใจของแต่ละ

บุคคล ซึ่งประสิทธิภาพในการประเมินคุณภาพและการตัดสินใจนี้ได้รับผลกระทบโดยตรงจากความเหนื่อยล้าจากการทำงานในแต่ละวัน นอกจากนี้ข้อจำกัดในการตัดคุณภาพจากขีดจำกัดของมนุษย์แล้ว ผู้ประกอบการยังอาจประสบปัญหาต้นทุนแรงงานที่เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีความเชี่ยวชาญในการคัดแยกคุณภาพอีกด้วย

ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถใช้ตัดคุณภาพของอาหารได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์เพื่อตรวจสอบขนาด รูปร่าง ความบริบูรณ์และคำหีบของอาหารต่างๆ เช่น ส้มและมะนาว (Blasco, Aleixos, Cubero, *et al.*, 2009) มะขามหวาน (Jarimopas and Jaisin, 2008) มะม่วงน้ำดอกไม้ (Poonnoy and Tansakul, 2003) กล้วย (Mendoza and Aguilera, 2004) แทนการใช้แรงงานคน โดยแรงงานคนเปลี่ยนบทบาทจากผู้ปฏิบัติการคัดแยกเป็นผู้ควบคุมเครื่องจักรแทน

### ส่วนประกอบและหลักการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์

ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เลียนแบบการมองเห็นและการตัดสินใจของมนุษย์ (Sonka, Hlavac and Boyle, 2008) กล่าวคือการมองเห็นและการตัดสินใจของมนุษย์เกิดจากการที่แสงสะท้อนจากวัตถุไปกระตุ้นเซลล์รูปแท่ง (Rod cell) และเซลล์รูปกรวย (Cone cell) ที่จอตา (Retina) ให้สร้างกระแสประสาทส่งผ่านเส้นประสาทไปยังสมอง เมื่อสมองได้รับกระแสประสาทก็จะแปลความหมายของภาพที่เห็นโดยเปรียบเทียบกับความทรงจำที่มีอยู่แล้ว จำแนกว่าสิ่งที่มองเห็นนั้นคืออะไร จากนั้นสมองจะตัดสินใจว่าควรทำอะไร เช่น หากเรามองเห็นสิ่งของวางกีดขวางทางเดิน สมองอาจตัดสินใจให้เราเดินหลบไปทางอื่น หรือให้เคลื่อนย้ายสิ่งของนั้นออกจากทางเดินเสีย

ในการทำงานเดียวกันระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ (ภาพที่ 7) ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักสามส่วนคือ 1) หน่วยรับภาพ 2) หน่วยประมวลผล และ 3) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการทำงาน หน่วยรับภาพจะแปลงความเข้มของแสงสะท้อนจากวัตถุให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digitization) ในกระบวนการนี้ค่าความเข้มของแสงสีต่างๆ จะเปลี่ยนเป็นตัวเลขบรรจุในเมทริกซ์ตามขนาดตามความละเอียดของอุปกรณ์รับภาพ เช่น  $640 \times 480$  พิกเซล สำหรับภาพสีจะประกอบไปด้วยเมทริกซ์สามเมทริกซ์ซึ่งแสดงความเข้มของสีแดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) แต่ละเมทริกซ์มีจำนวนหลักเท่ากับ 640 หลัก และจำนวนแถวเท่ากับ 480 แถวข้อมูลตัวเลขเหล่านี้จะถูกส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งภายในบรรจุโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่แยกวัตถุที่สนใจออกจากพื้นหลัง (Segmentation) ประมวลผลภาพ (Image processing) และแปลความหมายของของภาพวัตถุ (Image interpretation) นั้นโดยเปรียบเทียบข้อมูลตัวเลขในเมทริกซ์เหล่านั้นกับข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำตามลำดับขั้นตอน (Algorithm) ที่กำหนดไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ความสามารถ

ในการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์จึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการจัดการข้อมูลและแปลความหมายข้อมูลที่ฝังอยู่ในรูปภาพนั้น ๆ ภายในระยะเวลาอันสั้นเป็นสำคัญ



ภาพที่ 7 แผนผังส่วนประกอบของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์

สมรรถนะของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ทั้งในด้านความเร็วและความถูกต้องในการคัดแยกขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพถ่าย ความเร็วในการประมวลผลและจำนวนคำสั่งในลำดับขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่าย การใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์นี้ตรวจสอบคุณภาพของผักผลไม้จึงต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการถ่ายภาพเพื่อให้ภาพที่ได้มีคุณภาพดีไม่มีแสงรบกวน มีความสว่างสม่ำเสมอ (Yam and Papadakis, 2004) ไม่เกิดเงา โดยการเลือกชนิดของแหล่งกำเนิดแสงให้เหมาะสมกับรูปร่างและผิวของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงมีสำหรับระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ความถี่สูง (High-frequency Fluorescent) หลอดแอลอีดี (LED) เป็นต้น การเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมจะช่วยลดเวลาในการประมวลผลภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่าย ซึ่งเวลาในการประมวลผลภาพถ่ายเป็นปัจจัยสำคัญต่อสมรรถนะของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ (Sonka, Hlavac and Boyle, 2008) นอกจากนี้ อุปกรณ์รับภาพก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของภาพถ่ายโดยทั่วไปแล้วในการคัดคุณภาพของผลผลิตจะใช้กล้องซีซีดีและเลนส์คุณภาพสูงเป็นอุปกรณ์ในการจับภาพของวัตถุ เนื่องจากการใช้กล้องซีซีดีและเลนส์คุณภาพสูงจะช่วยให้ภาพที่ได้มีรูปร่าง สันฐาน สี ใกล้เคียงกับวัตถุจริงมากกว่าการใช้อุปกรณ์รับภาพคุณภาพต่ำ การใช้อุปกรณ์รับภาพและเลนส์คุณภาพต่ำทำให้ภาพที่ได้บิดเบี้ยว (Koc, 2007) ถึงแม้ว่าความบิดเบี้ยวจะสามารถแก้ไขได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แต่วิธีการแก้ไขนี้ไม่เหมาะสมสำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพแบบเวลาจริง (Real-time inspection) เพราะเป็นการเพิ่มภาระในการประมวลผลให้กับหน่วยประมวลผลของระบบ เมื่อแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับภาพได้รับการติดตั้งอย่าง

เหมาะสมแล้วภาพที่ส่งให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลมีคุณภาพดีลดเวลาในการแก้ไขข้อบกพร่องของภาพถ่ายได้ ในส่วนของการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อแปลความหมายใหญ่ถูกต้องตามที่ต้องการนั้น นอกจากกำลังของหน่วยประมวลผลแล้วประสิทธิภาพในการประมวลผลภาพถ่ายยังขึ้นอยู่กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย

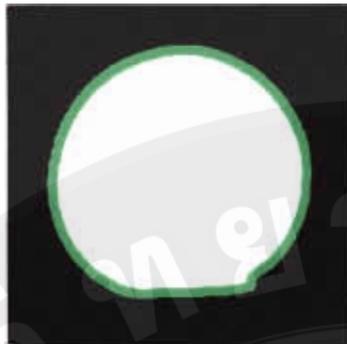
การเขียน โปรแกรมเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถจำแนกวัตถุให้ได้เหมือนกับมนุษย์นั้นมีความท้าทายอย่างยิ่งเพราะมนุษย์มีความสามารถในการตีความหมายจากภาพที่มองเห็นได้โดยใช้ฐานความรู้ความเข้าใจซึ่งเกิดจากการสะสมประสบการณ์ ความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลของวัตถุที่กำลังพิจารณากับสิ่งแวดล้อมรอบๆ วัตถุนั้น (Sonka, Hlavac and Boyle, 2008) รวมถึงความสามารถในการประมวลผลอย่างรวดเร็วของระบบประสาทในสมองมนุษย์ ซึ่งแตกต่างกับระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ที่ใช้ข้อมูลตัวเลขแสดงระดับความเข้มของแสงสีจากภาพถ่ายดิจิทัลในการประมวลผล โดยเปรียบเทียบข้อมูลตัวเลขนั้นกับแบบจำลองของวัตถุที่บันทึกไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเมื่อแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์รับภาพและหน่วยประมวลผลได้รับการติดตั้งอย่างเหมาะสมแล้ว ความถูกต้องและความเร็วของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์จึงขึ้นอยู่กับจำนวนลำดับการทำงานของ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลนั้น โดยทั่วไปแล้วโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์มีลำดับการทำงานสามขั้นตอนนี้

#### ก. การประมวลผลภาพขั้นต่ำ (Low-level image processing)

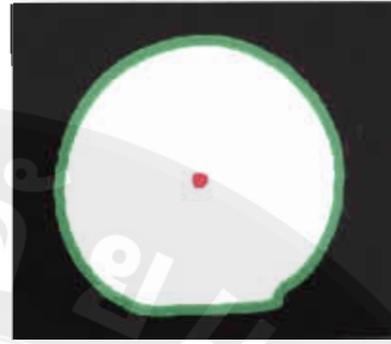
หลังจากคอมพิวเตอร์ได้รับภาพถ่ายดิจิทัลจากอุปกรณ์ถ่ายภาพแล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลภาพขั้นต่ำ ได้แก่การปรับความเข้มของแสง การเพิ่มความคมชัดของภาพ การปรับความสว่าง การหาขอบของชิ้นอาหาร การแยกของจุดที่มีสีเหมือนกัน การลบจุดสว่างหรือมืดที่ไม่ต้องการในภาพออก รวมถึงการปรับรูปแบบของภาพเพื่อให้สะดวกต่อการหาลักษณะของวัตถุในภาพ

#### ข. การประมวลผลภาพขั้นสูง (High-level image processing)

หลังจากการประมวลผลภาพขั้นต่ำแล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะประมวลผลข้อมูลเพื่อแยกข้อมูลที่อยู่ในภาพดิจิทัลซึ่งกำหนดโดยผู้เขียน โปรแกรมเพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ตัวอย่างเช่น การนับจำนวนจุดสีขาวที่ปรากฏบนภาพเพื่อบอกขนาดของผลลำไย การหาเส้นขอบของผลลำไยโดยเปรียบเทียบความเข้มของแสงระหว่างพื้นหลังและพื้นที่ผิวของลำไย การหาจุดศูนย์กลางของผลลำไย การคำนวณหารัศมีจากระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางและเส้นขอบ (Sonka, Hlavac and Boyle, 2008) ภาพที่ 8 แสดงลักษณะของผลลำไยหลังผ่านกระบวนการประมวลผลภาพขั้นสูง ได้แก่การหาดำแหน่งขอบเขตของผลลำไย (ภาพที่ 8ก) การหาดำแหน่งจุดศูนย์กลางของผลลำไย (ภาพที่ 8ข)



(ก) ตำแหน่งเส้นขอบของผลลำไย



(ข) ตำแหน่งจุดศูนย์กลางผลลำไย

ภาพที่ 8 ภาพดิจิทัลของผลลำไยในการประมวลผลภาพขั้นสูง

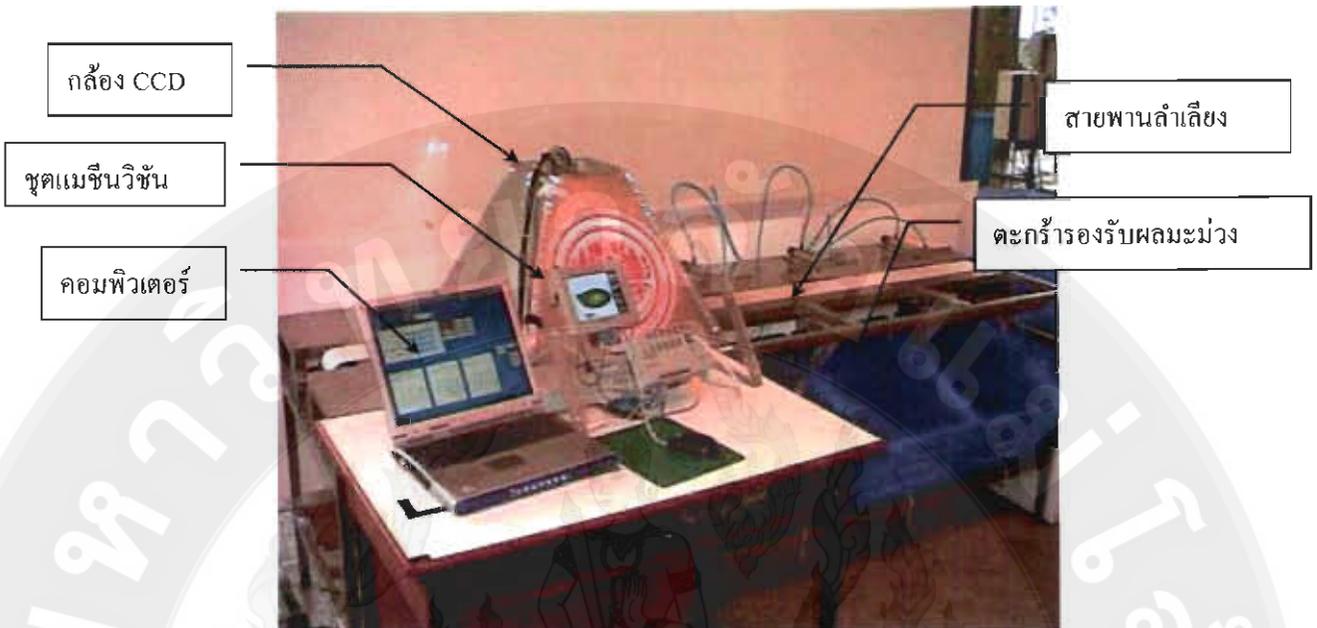
ค. การแปลความหมาย (Interpretation)

ขั้นตอนการแปลความหมายเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและมีความยากมากที่สุดเพราะผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเขียนคำสั่งให้คอมพิวเตอร์สามารถแปลความหมายจากข้อมูลที่ได้จากภาพถ่าย เช่น จากภาพถ่ายคอมพิวเตอร์คำนวณหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 2.5 เซนติเมตร จึงเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้ว่าถ้าหากลำไยมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2.2 เซนติเมตรถึง 2.5 เซนติเมตรแสดงว่าลำไยผลนี้มีขนาด 2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลความหมายนี้สามารถใช้เป็นสัญญาณควบคุมกลไกคัดแยกเพื่อผลัดผลลำไยดังกล่าวลงในช่องที่กำหนด ในกรณีที่มีการตรวจสอบคุณภาพต้องพิจารณาลักษณะของผลิตภัณฑ์หลายๆ ด้านเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็จะมี ความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

การประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ในการตรวจสอบคุณภาพอาหาร

เนื่องจากข้อเสนอโครงการนี้ได้มุ่งเน้นเกี่ยวกับการใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์เพื่อคัดแยกกุ้งผ่าหลังแบบมีเปลือกตามความยาวของกุ้ง ผู้เสนอโครงการวิจัยจึงได้สืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

Poonnoy (2003) ได้พัฒนาเครื่องคัดคุณภาพมะม่วงระบบแมชชีนวิชัน (ภาพที่ 9) เพื่อคัดแยกมะม่วงตามมาตรฐานมะม่วงส่งออกของประเทศไทย โดยระบบจะคัดแยกขนาด ความสุกและปริมาณค้ำหนึ่จากจำนวนจุดสีที่กำหนด ข้อมูลพิกัดของขั้ว ปลาย ด้านหน้า และด้านหลังของผลมะม่วง



ภาพที่ 9 เครื่องคัดมะม่วงระบบแมชชีนวิชัน

เมื่อผลมะม่วงถูกป้อนเข้าสู่เครื่องคัดแยกเซนเซอร์แบบลำแสงจะส่งสัญญาณให้ระบบแมชชีนวิชันถ่ายภาพผลมะม่วงพร้อมหาพื้นที่ภาพฉายของผลมะม่วง (ภาพที่ 10 ก) พื้นที่สีเหลือง (ภาพที่ 10 ข) พื้นที่ดำหนิ (ภาพที่ 10 ค) โดยเปรียบเทียบสีของผลมะม่วงกับตัวอย่างสีที่บันทึกไว้ ค่าที่ตรวจวัดถูกส่งให้คอมพิวเตอร์เพื่อประเมินขนาด ความสุก และปริมาณดำหนิบนพื้นผิวทั้งหมด



(ก) พื้นที่ทั้งหมด

(ข) พื้นที่สีเหลือง

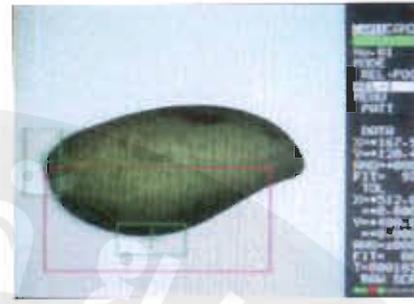
(ค) พื้นที่ดำหนิ

ภาพที่ 10 การวิเคราะห์ภาพถ่ายของผลมะม่วง

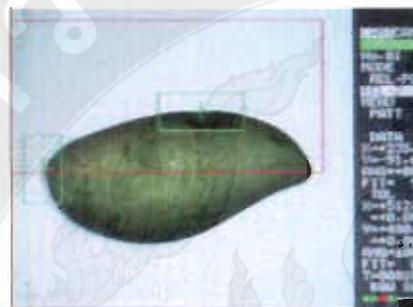
นอกจากนั้นระบบแมชชีนวิชันจะตรวจจับตำแหน่งขั้ว ปลาย ท้องและหลังของผลมะม่วง (ภาพที่ 12) เพื่อคำนวณสัดส่วนของผลมะม่วง ค่าสัดส่วนของมะม่วงนี้ใช้ในการตรวจสอบรูปร่างและความอ่อนแก่ของผลมะม่วง



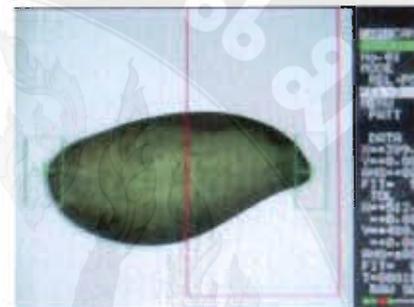
(ก) ตำแหน่งขั้ว



(ข) ตำแหน่งด้านท้อง



(ค) ตำแหน่งด้านหลัง



(ง) ตำแหน่งปลายผล

### ภาพที่ 11 การกำหนดตำแหน่งของผลมะม่วงด้วยแมชชีนวิชัน

จากพิกัดของตำแหน่งขั้ว ปลาย ด้านท้องและด้านหลังของผลมะม่วง โปรแกรมจะคำนวณหาระยะของแกนหลักและแกนรองของผลมะม่วง เมื่อกำหนดให้เส้นแกนหลักของผลมะม่วงหรือระยะที่ยาวที่สุดที่ลากจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของผลมะม่วง (ภาพที่ 12) สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างจุด  $(RF_x, RF_y)$  และ  $(B_x, B_y)$  โดยกำหนดให้จุดอ้างอิง  $(RF_x, RF_y)$  มีค่าเท่ากับ  $(0,0)$  ดังแสดงในสมการนี้

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

สำหรับความยาวของเส้นแกนรองสามารถหาได้จากการคำนวณหาความยาวของเส้นตรงที่ลากตั้งฉากกับเส้นแกนหลักจากด้านท้องไปยังด้านหลังของผลมะม่วง ซึ่งจะต้องทำการหาความยาวของเส้นตรงที่ลากจากขั้วไปยังจุดทั้งสองก่อน โดย

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

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

เพื่อหาระยะในแนวแกนรองจะต้องทราบค่ามุมระหว่างเส้นตรงทั้งสองกับเส้นแกนหลัก ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์

$$\theta = \tan^{-1}(|By/Bx|) \quad (4)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(|Ry/Rx|) \quad (5)$$

$$\beta = \tan^{-1}(|Ly/Lx|) \quad (6)$$

เมื่อทราบค่ามุมที่ต้องการแล้วจะสามารถหาความยาวของส่วนต่าง ๆ ได้ ดังนี้

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

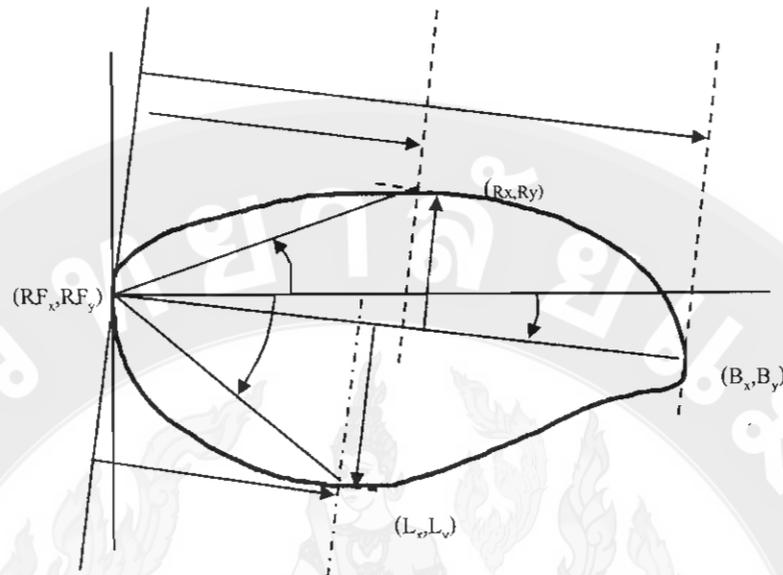
$$L_2 = ad \times \cos(\alpha + \theta) \quad (8)$$

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

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

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

โดยที่  $L_1$  เป็นระยะในแนวแกนหลักที่วัดจากขั้วไปยังด้านห้อง  
 $L_2$  เป็นระยะในแนวแกนหลักที่วัดจากขั้วไปยังด้านหลัง  
 $W_1$  เป็นระยะในแนวแกนรองที่วัดจากขั้วไปยังด้านห้อง  
 $W_2$  เป็นระยะในแนวแกนรองที่วัดจากขั้วไปยังด้านหลัง  
 $W$  เป็นความยาวของเส้นแกนรอง



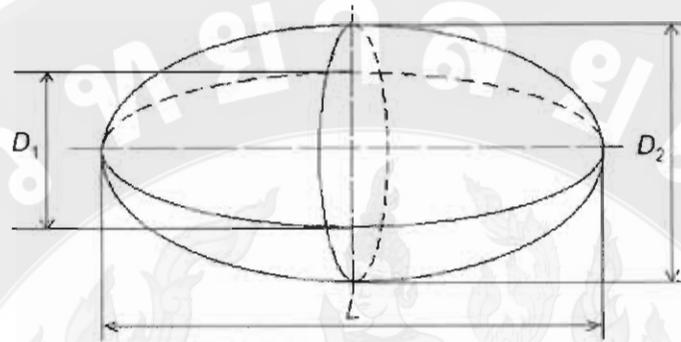
ภาพที่ 12 ภาพร่างประกอบการคำนวณหาระยะแกนหลักและแกนรองจากพิกัดตำแหน่งต่างๆ บนผลมะม่วง

หลังการทดสอบการทำงานของเครื่องด้วยมะม่วงน้ำดอกไม้ได้พบว่าระบบสามารถคัดคุณภาพของมะม่วงได้ เมื่อเปรียบเทียบผลกับการคัดด้วยคน พบว่า ระบบสามารถคัดขนาดได้ที่ความถูกต้องร้อยละ 94.9 โดยระบบทำนายน้ำหนักด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ภาพถ่ายและน้ำหนักของผลมะม่วง ระบบสามารถคัดแยกผลมะม่วงที่มีรูปร่างผิดปกติได้ร้อยละ 80.3 โดยเปรียบเทียบสัดส่วนของค่า  $w_1/w$ ,  $w_2/w$ ,  $L_1/L$ ,  $L_2/L$  และ  $w/L$  กับค่าอ้างอิง สำหรับการคัดแยกมะม่วงอ่อนโปรแกรมจะใช้อัตราส่วนของระยะในแนวแกนรองที่วัดจากหัวไปยังด้านท้อง ( $w_1$ ) ต่อระยะจากหัวผลไปยังปลายผล ( $L$ ) ระบบสามารถคัดแยกได้ที่ความถูกต้องร้อยละ 64.51 ส่วนการคัดมะม่วงสุกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างจำนวนจุดสีเหลืองต่อจำนวนจุดสีทั้งหมด พบว่า ระบบสามารถคัดแยกได้ที่ความถูกต้องร้อยละ 93.4 จากการเปรียบเทียบการแบ่งชั้นมะม่วงตามปริมาณตำหนิระหว่างการตรวจสอบแบบด้านเดียวและสองด้านพบว่าการตรวจสอบแบบด้านเดียวให้ผลในการแบ่งชั้นตำหนิสอดคล้องกับการตรวจสอบแบบสองด้านร้อยละ 94.1

Koc (2007) ได้เปรียบเทียบความถูกต้องของการหาปริมาตรของผลแดงโมด้วยวิธี Ellipsoid Approximation และวิธีวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้กล้อง CMOS ดันทุนต่ำเป็นอุปกรณ์รับภาพและพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยภาษา LABVIEW ในการหาปริมาตรด้วยวิธี Ellipsoid Approximation ผู้วิจัยได้ดัดแปลงสมการหาปริมาตรของทรงกลม ดังแสดงในสมการ (12)

$$V_{\text{sphere}} = 4/3 \times \pi \times r^3 \quad (12)$$

โดยแทนค่า  $r$  ด้วยความยาวของผล ( $L$ ) ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางหลัก ( $D_1$ ) และเส้นผ่านศูนย์กลางรองของผลแดงโม ( $D_2$ ) เส้นผ่านศูนย์กลางหลักและรองนี้วัดเมื่อหมุนแดงโมตามเส้นแกนยาว 90 องศา (ภาพที่ 13)

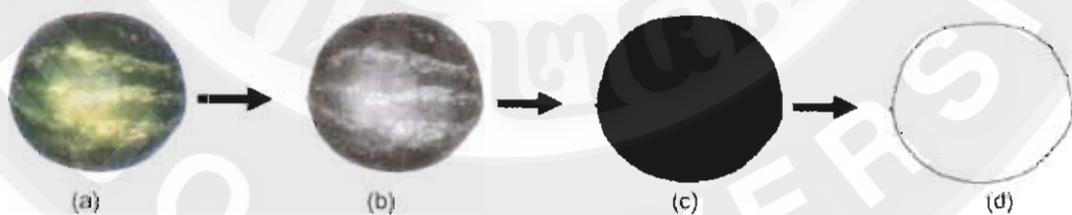


ภาพที่ 13 การวัดระยะความยาวของผล ( $L$ ) ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางหลัก ( $D_1$ ) และเส้นผ่านศูนย์กลางรองของผลแดงโม ( $D_2$ ) Koc, 2007

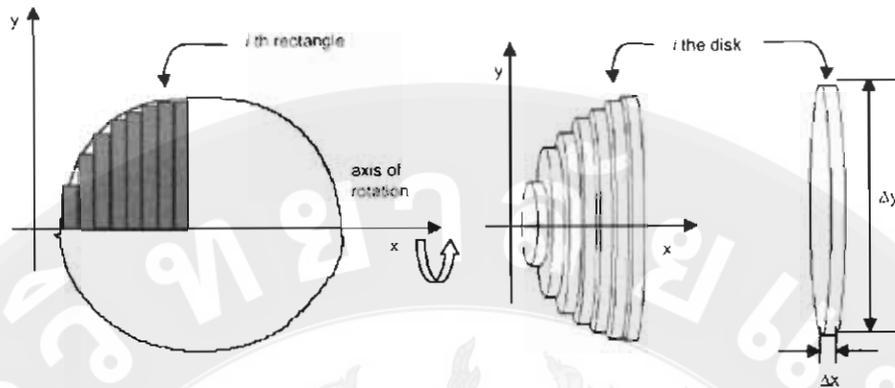
ได้สมการ (13) สำหรับหาคำนวณหาปริมาตรของผลแดงโม

$$V_{\text{ellipsoid}} = 4/3 \times \pi \times 0.5 \times L \times D_1 \times D_2 \quad (13)$$

ส่วนการหาปริมาตรโดยใช้ภาพถ่ายนั้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะหาเส้นขอบของผลแดงโมจากภาพถ่ายดิจิทัล (ภาพที่ 14) แล้วสร้างแผ่นกลมความหนา  $\Delta x$  จำนวนหลายแผ่นซ้อนกันขึ้นรอบแกน  $x$  เพื่อหาคำนวณหาปริมาตรของผลแดงโม (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 14 (a) ภาพแดงโมแบบ RGB (b) ภาพแดงโมแบบ 8 บิต (c) ภาพแดงโมแบบไบนารี (d) เส้นขอบของแดงโม (Koc, 2007)



ภาพที่ 15 แผ่นกลมเสมือนสร้างขึ้นโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาปริมาตรของผลแดงโม (Koc, 2007)

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดและความหนาของแผ่นกลมจึงคำนวณหาปริมาตรของแต่ละแผ่นได้จาก

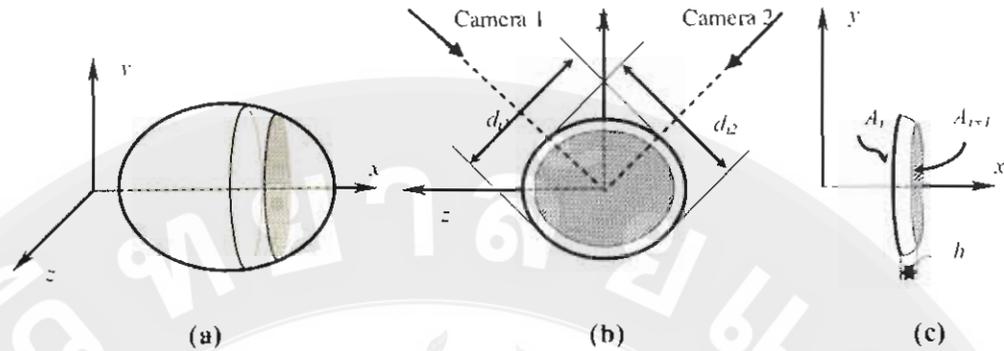
$$V_i = \pi \times (\Delta y_i / 2)^2 \quad (14)$$

และปริมาตรของผลแดงโมมีค่าเท่ากับ

$$V_t \cong \sum_{i=1}^n V_i \quad (15)$$

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Paired *t*-test แสดงให้เห็นว่าปริมาตรของผลแดงโมที่ประมาณโดยใช้วิธี Ellipsoid Approximation มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับปริมาตรที่หาได้โดยการแทนที่น้ำเนื่องจากในความเป็นจริงแล้วผลแดงโมมีรูปร่างที่ไม่สมมาตร ความถูกต้องของการประมาณค่าปริมาตรด้วยวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของรูปร่างของผลแดงโม ในทางตรงกันข้าม โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณปริมาตรของผลกล้าไฮโดยสมมุติให้รัศมีหรือค่า  $\Delta y$  มีค่าคงที่สำหรับระนาบนั้นๆ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าปริมาตรที่คำนวณได้ด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพถ่ายไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) กับปริมาตรที่หาได้โดยการแทนที่น้ำ

Omid, Khojastehnazhand and Tabatabaeefar (2010) ได้พัฒนาเทคนิคการประมาณปริมาตรและมวลของผลไม้ด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย เทคนิคนี้ใช้กล้องดิจิทัลสองตัวติดตั้งทำมุมตั้งฉากกันเพื่อถ่ายภาพผลไม้ตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาตรภาพถ่ายที่ได้ถูกประมวลผลและวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นโดยใช้ภาษาวิซวลเบสิก โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแบ่งภาพของตัวอย่างออกเป็นส่วนๆ เท่ากันๆ ตามแนวแกน x (ภาพที่ 16a)



ภาพที่ 16 การแบ่งส่วนภาพเพื่อประมาณหาปริมาตรของผลไม้ (Omid, Kbojastehnazhand and Tabatabaefar, 2010)

จากนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างที่ตำแหน่งด้านบนและด้านล่างของผิวหน้าตัด (ภาพที่ 16b) ซึ่งความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางนี้จะนำมาใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ระนาบทั้งสอง ( $A_i$  และ  $A_{i+1}$ ) ดังสมการ (16)

$$A_i = \pi \times 0.5d_{i1} \times 0.5d_{i2} \quad (16)$$

ค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดเมื่อนำมาคูณกับระยะห่าง  $h$  ก็จะสามารถคำนวณหาปริมาตรของผลไม้ตัวอย่างในส่วนหน้าตัดนั้นได้ (ภาพที่ 16c) ดังสมการ (17)

$$V_i = 0.5 \times (A_i + A_{i+1}) \times h \quad (17)$$

ซึ่งผลรวมของปริมาตรทั้งหมด  $V_{IP}$  จะเท่ากับผลรวมของปริมาตรย่อย ( $V_i$ ) ทั้งหมดจำนวน  $n$  ส่วน (สมการ (18))

$$V_{IP} \cong \sum_{i=1}^n V_i \quad (18)$$

จากการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างปริมาตรที่ประมาณด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพถ่ายกับการแทนที่น้ำพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ระหว่างปริมาตรที่วัดโดยการแทนที่น้ำกับการหาด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพในช่วงตั้งแต่ 0.9592 – 0.9852 ค่าปริมาตรที่ประมาณด้วยวิธีวิเคราะห์ภาพนี้ถูกนำไปคำนวณหามวลของตัวอย่างโดยสมมุติให้ความหนาแน่นของตัวอย่างมีค่าคงที่แล้วสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับมวลจากการวิเคราะห์ความถดถอยของสมการทำนายมวลของผลไม้ด้วยปริมาตรนั้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการมีค่าสูงเพียงพอต่อการนำไปใช้คัดแยกมวลของผลไม้ ค่าความถูกต้องของการคัดแยกโดยใช้มวลที่ได้จากสมการดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 94% ความผิดพลาดในการคัดแยกเกิดขึ้นได้สองกรณีคือ 1) เมื่อผลไม้มีรูปร่างไม่ปกติ และ 2) มวลของผลไม้มีค่าใกล้เคียงกับค่ามวลอ้างอิงที่ใช้แบ่งชั้นของผลไม้ (Omid,

Khojastehnazhand and Tabatabaefar, 2010) ความผิดพลาดในการคัดแยกขนาดในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับรายงานวิจัยเรื่องการคัดขนาดของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ (Poonnoy, 2003)

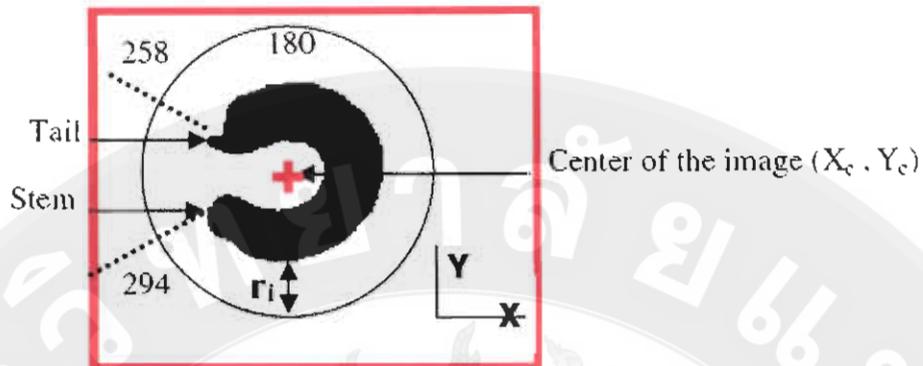
Jarimopas and Jaisin (2008) ได้ศึกษาทดลองใช้ระบบแมชชีนวิชันเพื่อคัดแยกรูปร่าง และ รอยแตกบนฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองและสีชมพู รูปร่างของฝักมะขามหวานแบ่งออกเป็นสาม ลักษณะคือ ตรง โค้งเล็กน้อย และ โค้ง (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 รูปร่างของฝักมะขามหวาน (Jarimopas and Jaisin, 2008)

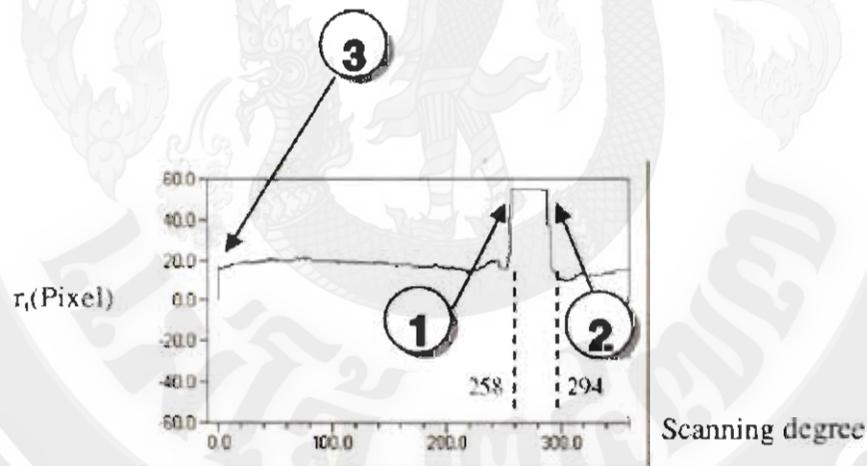
เพื่อคัดแยกลักษณะของฝักมะขามหวาน โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะประมวลผลภาพถ่าย ดิจิตอลของฝักมะขาม โดยแปลงภาพสีแบบ RGB ให้เป็นภาพแบบ 8 บิต จากนั้นแยกฝักมะขามออก จากพื้นหลัง โดยการเปรียบเทียบค่าความสว่างของแต่ละจุดบนภาพกับค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเปลี่ยนจุดที่มีค่าความเข้มของแสงสอดคล้องกับสีปกติกของมะขามให้เป็น จุดสีดำในขณะที่พื้นหลังเปลี่ยนเป็นสีขาว

จากภาพขาวดำของฝักมะขาม คอมพิวเตอร์คำนวณหาจุดกึ่งกลางของภาพแล้วสร้างวงกลม อ้างอิงรัศมี 55 พิกเซลล้อมรอบฝักมะขาม ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณหาระยะทางจากเส้น รอบวงกลมนั้นถึงขอบสีดำที่สามารถตรวจจับได้ในแนวรัศมี ( $r$ ) ตั้งแต่มุม 0 ถึง 360 องศาของ วงกลมในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 การวัดระยะตามแนวรัศมี (Jarimopas and Jaisin, 2008)

ค่าระยะทางที่ได้จากกระบวนนี้ถูกนำมากำหนดจุดบนแผนภูมิแบบเส้น (ภาพที่ 19) เพื่อกำหนดตำแหน่งของขั้วและปลายของฝักมะขาม ในภาพจะเห็นได้ว่าค่า  $r_i$  ที่ตำแหน่งขั้ว (เลข 1) และ ปลาย (เลข 2) มีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ



ภาพที่ 19 แผนภูมิแสดงความโค้งงอของฝักมะขาม (Jarimopas and Jaisin, 2008)

ซึ่งค่ามุมที่ตรวจพบบริเวณขั้วและปลายนี้ใช้ในการคำนวณหาดัชนีรูปร่าง (Shape index) ของฝักมะขามโดย

$$C = 100 \times \frac{p - (sd_{max} - sd_{min})}{p} \quad (19)$$

เมื่อ  $C$  คือ ดัชนีรูปร่าง  
 $sd_{max}$  คือ ตำแหน่งมุมของขั้วที่ตรวจพบ  
 $sd_{min}$  คือ ตำแหน่งมุมของปลายที่ตรวจพบ

p คือ ค่าคงที่เท่ากับ 360

จากการทดสอบโดยใช้วิธีการนี้คำนวณหาดัชนีรูปร่างของผลมะขามลักษณะต่างๆ พบว่าดัชนีรูปร่างของฝักมะขามโค้ง โค้งเล็กน้อย และตรงมีค่าเท่ากับ 75.8 61.6 และ 51.1 ตามลำดับ จึงสามารถใช้วิธีการนี้ในการคัดแยกฝักมะขามหวานตามรูปร่างได้

สำหรับการตรวจจําบรอยตำหนิบนเปลือกมะขามหวานนั้น Jarimopas and Jaisin (2008) ได้ใช้ความแตกต่างของสีระหว่างเปลือกมะขามและเนื้อมะขามในการตรวจจําบ โดยกำหนดให้โปรแกรมวิเคราะห์ความสว่างของภาพแบบ 8 บิตแทนการใช้ภาพขาวดำเพื่อให้สามารถแยกรอยแตกออกจากเปลือกและพื้นหลังได้ ในการทดสอบผู้วิจัยได้เจาะรูบนเปลือกมะขามหวานขนาดต่างๆ กันเพื่อจําลองลักษณะของรอยแตกบนเปลือกมะขาม แล้วทดสอบการตรวจจําบของระบบ พบว่าความสามารถในการตรวจจําบพื้นที่ตำหนิของระบบนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของตำหนิ ถ้าหากรอยแตกบนผิวมะขามมีขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร) ระบบจะสามารถประเมินพื้นที่ตำหนิได้ใกล้เคียงกับขนาดของตำหนิจริงมากกว่ารอบตำหนิที่มีขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร)

จากหลักการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจจําบขนาดของกึ่งผ่าหลังแบบผีเสื้อ

#### อุปกรณ์และวิธีการ

- 1) ออกแบบและสรรหาวัสดุอุปกรณ์สำหรับสร้างเครื่องคัดขนาดกึ่งระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์
- 2) ประกอบและติดตั้งเครื่องคัดขนาดกึ่งระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์
- 3) ติดตั้งอุปกรณ์และถ่ายภาพตัวอย่างกึ่งบันทึกรายข้อมูลทางกายภาพของกึ่งตัวอย่าง
- 4) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดขนาดและการคัดแยกชั้นของกึ่งจากภาพถ่ายดิจิทัล
- 5) ทดสอบและปรับปรุงการทำงานของโปรแกรม
- 6) ประเมินประสิทธิภาพและสรุปผลการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 7) ทดสอบและปรับปรุงเครื่องคัดขนาดกึ่งระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์
- 8) สรุปผลการวิจัย

## ผลการวิจัย

### 1) การออกแบบและจัดสร้างเครื่องคัดขนาดกิ่งผ้าหลังแบบมีเลื่ออัตโนมัติระบบคอมพิวเตอร์ วิสัยทัศน์ต้นแบบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบและจัดสร้างเครื่องคัดขนาดกิ่งผ้าหลังแบบมีเลื่ออัตโนมัติระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ต้นแบบซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ คือ สายพานลำเลียงกิ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่ลำเลียงกิ่งไปยังส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้ เมื่อกิ่งเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้ เมื่อกิ่งเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้ เมื่อกิ่งเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้

เมื่อกิ่งเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้ เมื่อกิ่งเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้ เมื่อกิ่งเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้

เมื่อกิ่งเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้ เมื่อกิ่งเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้ เมื่อกิ่งเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณส่วนตรวจสอบขนาดกิ่งซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องซีซีดีไว้

ชุดกล้องซีซีดี และ  
แหล่งกำเนิดแสง

สายพานลำเลียงกิ่ง

อุปกรณ์ควบคุม  
ความเร็วสายพาน



เซนเซอร์ตรวจจับการ  
ปรากฏของกิ่ง

ชุดอุปกรณ์คัดแยกด้วย  
ลม

อุปกรณ์ขับเคลื่อน  
สายพานและเซนเซอร์  
วัดการกระจัด

ภาพที่ 20 ลักษณะของเครื่องคัดขนาดกิ่งผ้าหลังแบบมีเลื่ออัตโนมัติ

จากการทดสอบ การทำงานของสายพานลำเลียง การส่งการของวาล์วไฟฟ้า การเชื่อมต่อสัญญาณเซนเซอร์ตรวจจับการปรากฏของกิ่งและเซนเซอร์วัดการกระจัดแบบโรตารี การเชื่อมต่อสัญญาณกับกล้องถ่ายภาพกับคอมพิวเตอร์และโปรแกรมควบคุม จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า

เครื่องคัดขนาดกึ่งผ้าหลังแบบมีเลื่ออัตโนมัติฯ สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมได้ ชุดสายพานลำเลียงที่สร้างขึ้นนี้ใช้ในการบันทึกภาพถ่ายของตัวอย่างกึ่งผ้าหลังแบบมีเลื่อและใช้ทดสอบสมรรถนะของการคัดแยกขนาดของกึ่ง

#### 1) การพัฒนาลำดับขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์เพื่อการคัดขนาดของกึ่งผ้าหลังแบบมีเลื่อ

##### 1.1) การเตรียมตัวอย่าง

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้กึ่งผ้าหลังแบบมีเลื่อแช่แข็งเป็นตัวอย่าง จำนวน 2,000 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกึ่งรูปร่างปกติ จำนวน 2,000 ตัวอย่าง กึ่งทั้งหมดเก็บรักษาไว้ในตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ระหว่างรอการบันทึกข้อมูลด้านน้ำหนัก ความยาวและภาพถ่าย

##### 1.2) การตรวจวัดน้ำหนัก

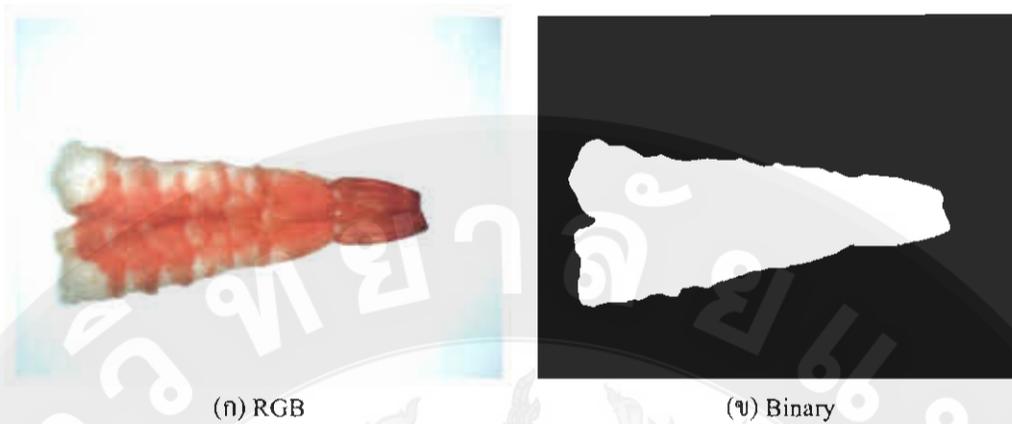
เนื่องจากน้ำหนักของกึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายน้ำหนักและการพัฒนาลำดับขั้นตอนในการวัดความยาวของกึ่งที่มีรูปร่างปกติ ผู้วิจัยจึงได้บันทึกข้อมูลดังกล่าว โดยการกำหนดเลขประจำตัวขึ้นตัวอย่าง วัดความยาวของกึ่งจากปลายสุดของส่วนหัวถึงปลายสุดของหางถูกโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ความยาวของตัวอย่างกึ่งอยู่ในช่วง 67.99 ถึง 102.70 มิลลิเมตร

##### 1.3) การบันทึกภาพถ่าย

หลังจากการตรวจวัดน้ำหนักและความยาวแล้ว ตัวอย่างกึ่งถูกป้อนไปยังเครื่องคัดขนาดกึ่งฯ ซึ่งในตอนนี้ได้กำหนดให้เครื่องคัดขนาดกึ่งฯ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บันทึกภาพถ่ายของตัวอย่างกึ่งอัตโนมัติ โดยไม่ได้เปิดการทำงานของกลไกคัดแยก ภาพถ่ายที่ได้เป็นภาพสีแบบดิจิทัลความละเอียด  $640 \times 480$  พิกเซล บิ๊กทีกบนฮาร์ดไดรฟ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์

##### 1.4) การประมวลผลภาพถ่ายตัวอย่างกึ่ง

จากภาพสีแบบ RGB ของตัวอย่าง (ภาพที่ 21 ก) ที่บันทึกไว้ในฮาร์ดไดรฟ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยได้กำหนดให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพถ่ายเพื่อแยกส่วนของกึ่งตัวอย่างออกจากฉากหลัง โดยการกำหนดช่วงสีของกึ่งให้กับโปรแกรม (Thresholding) ส่วนที่เหลือของภาพที่มีค่าสีอยู่นอกช่วงที่กำหนดจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ส่วนของตัวอย่างกึ่งเป็นสีขาว ได้ภาพดิจิทัลแบบขาวดำ (Binary image) (ภาพที่ 21 ข)

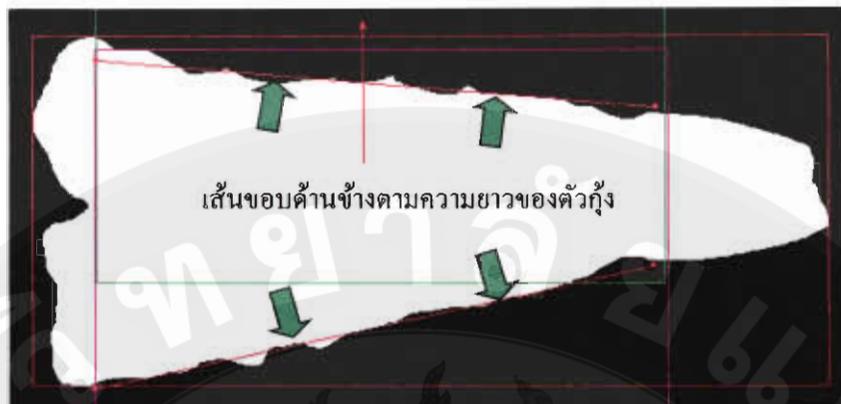


ภาพที่ 21 ภาพถ่ายดิจิทัลของกุ้งผำหลังแบบผีเสื้อ

- 1.5) การพัฒนาลำดับขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์เพื่อวัดความยาวของกุ้งผำหลังแบบผีเสื้อ
- ในการตรวจวัดความยาวของกุ้งด้วยวิธีคอมพิวเตอร์วิทัศน์จะกำหนดให้คอมพิวเตอร์วัดความยาวของตัวกุ้งจากส่วนหัวไปจนสุดปลายหางในแนวกึ่งกลางของลำตัวกุ้ง ซึ่งเป็นลักษณะการวัดความยาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดความยาวจากภาพถ่ายขาวดำของตัวอย่าง (ภาพที่ 21 ข.) โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass) จากภาพถ่ายกุ้ง จุดศูนย์กลางมวลนี้ใช้เป็นจุดอ้างอิงหลักสำหรับกำหนดทิศทางการวัดความยาวของตัวกุ้ง เมื่อได้จุดอ้างอิงหลักแล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะกำหนดขอบเขตเพื่อค้นหาแนวขอบตามความยาวของตัวกุ้งทั้งสองด้าน (ภาพที่ 23)

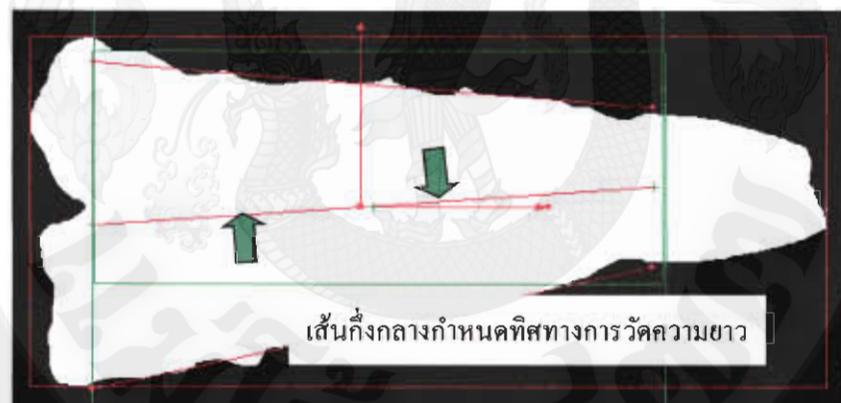


ภาพที่ 22 จุดศูนย์กลางมวล (Center of mass) ของภาพถ่ายกุ้ง



ภาพที่ 23 แนวขอบด้านข้างตามความยาวของตัวกู่่ง

จากเส้นแนวขอบด้านบนและด้านล่างของตัวกู่่ง โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณหาเส้นตรงกึ่งกลางระหว่างแนวเส้นขอบทั้งสองด้าน เส้นตรงนี้ ใช้กำหนดทิศทางการวัดความยาวของตัวกู่่ง (ภาพที่ 24)

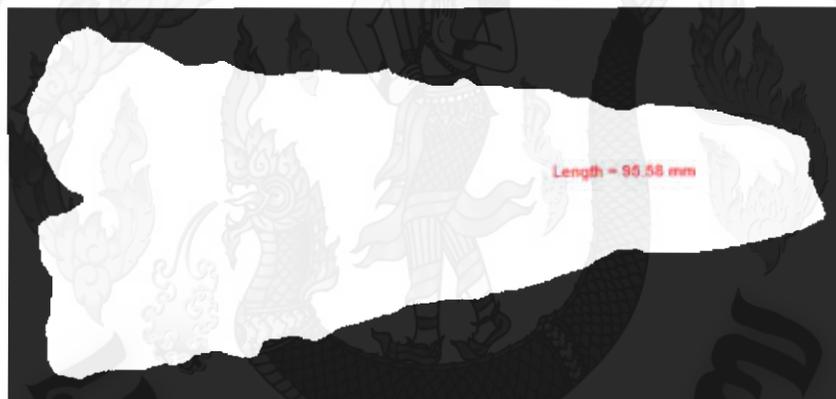


ภาพที่ 24 แนวเส้นกึ่งกลางกำหนดทิศทางการวัดความยาวของตัวกู่่ง

เมื่อกำหนดทิศทางการวัดความยาวแล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะวัดความยาวตัวกู่่งดังแสดงในภาพที่ 25 พร้อมแสดงความยาวที่วัดได้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ภาพที่ 26) ค่าความยาวที่วัดได้จะใช้ในการควบคุมกลไกตัดแยกต่อไป



ภาพที่ 25 การวัดความยาวของตัวกึ่ง



ภาพที่ 26 การแสดงผลการวัดความยาวของตัวกึ่ง

1.6) การประเมินสมรรถนะของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ในการคัดขนาดกึ่งผ้าหลังแบบ  
ฝูเสื้อ

ผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะในการคัดขนาดของกึ่งผ้าด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ที่  
พัฒนาขึ้น โดยแบ่งขนาดของกึ่งออกเป็น 4 ขนาดตามความยาวที่วัดได้ ดังนี้

1. ขนาด L คือ กึ่งความยาวมากกว่า 90.00 มิลลิเมตร
2. ขนาด M คือ กึ่งความยาวตั้งแต่ 80.00 ถึง 89.99 มิลลิเมตร
3. ขนาด S คือ กึ่งความยาวตั้งแต่ 70.00 ถึง 79.99 มิลลิเมตรและ
4. ขนาด SS คือ กึ่งความยาวน้อยกว่า 70.00 มิลลิเมตร

การแบ่งขนาดของกึ่งโดยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์จะนำมาเปรียบเทียบกับการแบ่งขนาดจากกึ่งที่กำหนดตามท้องตลาด จำนวนของกึ่งแต่ละขนาดจำแนก โดยวิธีการต่างๆ แสดงดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 1 จำนวนกึ่งแต่ละขนาดจำแนกด้วยวิธีการต่างๆ

ท้องตลาด		ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์			
		L	M	S	SS
L	680	679	1	0	0
M	660	118	540	2	0
S	660	0	35	621	4
รวม	2,000	797	576	623	4

จากตารางแสดงจำนวนกึ่งที่จำแนกด้วยวิธีการต่างๆ จะเห็นได้ว่าจำนวนของกึ่งที่จัดจำหน่ายตามท้องตลาดซึ่งมีการแบ่งขนาดตามความยาวด้วยแรงงานคน มีจำนวนเท่ากับ 680 ตัวสำหรับขนาด L และจำนวน 660 ตัว สำหรับขนาด M และขนาด S รวมกึ่งทั้งสิ้น 2,000 ตัว

เมื่อเปรียบเทียบผลการจำแนกกึ่งตามความยาวด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์กับขนาดของกึ่งที่กำหนดตามท้องตลาด พบว่า การจำแนกกึ่งขนาด L ได้ผลใกล้เคียงกันทั้งสองวิธี โดยถูกคัดแยกเป็นกึ่งขนาด L จำนวน 679 ตัว หรือ ร้อยละ 99.85 และขนาด M จำนวน 1 ตัว ร้อยละ 0.15 ของกึ่งขนาด L ทั้งหมด สำหรับกึ่งที่กำหนดตามท้องตลาดขนาด M เมื่อนำมาคัดขนาดอีกครั้งด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ พบว่า กึ่งถูกจำแนกเป็นขนาด L จำนวน 118 ตัว หรือคิดเป็นร้อยละ 17.88 ขนาด M จำนวน 540 ตัวเท่ากับร้อยละ 81.82 และกึ่งถูกจำแนกเป็นขนาด S จำนวน 2 ตัวหรือร้อยละ 0.30 ของกึ่งขนาด M ทั้งหมด ส่วนกึ่งขนาด S จำนวนทั้งสิ้น 660 ตัวถูกคัดเป็นขนาด M เท่ากับ 35 ตัว (คิดเป็นร้อยละ 5.30 ของกึ่งขนาด S ทั้งหมด) และคัดเป็นขนาด S เท่ากับ 621 ตัวหรือเท่ากับร้อยละ 94.09 และยังพบว่ากึ่งที่กำหนดขนาด S จำนวน 4 ตัวหรือคิดเป็นร้อยละ 0.61 ของกึ่งทั้งหมด มีความยาวน้อยกว่า 70.00 มิลลิเมตร (กำหนดให้เป็นขนาด SS)

จากผลการทดสอบการคัดแยกขนาดของกึ่งด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์เปรียบเทียบกับการจำแนกขนาดของกึ่งที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดในทุกกลุ่มจะมีความแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาหาสาเหตุที่ทำให้เกิดความแตกต่างของการคัดขนาดที่เกิดขึ้น พบว่า

กรณีที่ 1 การจำแนกขนาดได้เล็กกว่าขนาดที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด เช่น ขนาด L แต่ถูกจัดให้มีขนาดอยู่ในกลุ่มขนาด M โดยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์

ในกรณีนี้พบว่า เมื่อนำกุ้งขนาด L ตัวดังกล่าวมาวัดความยาวด้วยเวอร์เนียสคาลิปเปอร์ พบว่า กุ้งมีความยาวเท่ากับ 88.47 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความยาวที่ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ คำนวณได้ คือ 87.98 มิลลิเมตร กุ้งตัวนี้จึงจัดอยู่ในขนาด M

กรณีที่ 2 การจำแนกขนาดได้ใหญ่กว่าขนาดที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด เช่น กุ้งวางจำหน่ายตามท้องตลาด ขนาด M แต่ถูกจัดให้มีขนาดอยู่ในกลุ่มขนาด L โดยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความยาวของกุ้งตัวอย่างในกรณีนี้พบว่ามี 2 สาเหตุหลัก คือ 1) ความยาวของตัวกุ้งที่ถูกจัดให้อยู่ในขนาด M นั้น มีความยาวมากกว่า 90.00 มิลลิเมตร และ 2) ความยาวของตัวกุ้งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความยาวค่าสุดของเกณฑ์กำหนดขนาด L เช่น กุ้งตัวอย่างหมายเลข 819 มีความยาวที่วัดได้โดยเวอร์เนียสคาลิปเปอร์เท่ากับ 89.39 มิลลิเมตร ส่วนระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์วัดได้เท่ากับ 90.16 มิลลิเมตร จึงทำให้การกำหนดขนาดของกุ้งไม่สัมพันธ์กัน

เมื่อพิจารณาลักษณะของการใช้อุปกรณ์วัดความยาวของกุ้งแบบแรกคือการใช้เวอร์เนียสคาลิปเปอร์ ต้องปรับส่วนวัดให้พอดีกับความยาวของตัวกุ้งแต่เนื่องจากตัวกุ้งมีลักษณะที่อ่อนนุ่ม การปรับเลื่อนเวอร์เนียสคาลิปเปอร์จนกระชับกับตัวกุ้งจึงอาจทำให้ความยาวที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง สำหรับการวัดความยาวกุ้ง โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์จะคำนวณความยาวของตัวกุ้งจากภาพถ่ายโดยไม่มีการสัมผัสกับตัวกุ้งที่มีความอ่อนนุ่ม ไม่มีการบีบอัดจากเครื่องมือ ความยาวที่วัดได้จึงเป็นระยะที่วัดจากจุดเริ่มต้นบริเวณส่วนหัวไปยังส่วนปลายสุดของหาง การใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ในการคัดขนาดตามความยาวจึงเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการผลิต เนื่องจากกุ้งที่มีขนาดใหญ่มีราคาสูงกว่ากุ้งขนาดกลาง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการประเมินสมรรถนะของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ในการคัดขนาดกุ้ง ในด้านของความเร็วของการประมวลผล ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์สามารถคำนวณหาขนาดของตัวอย่างกุ้งๆ โดยใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 0.5 วินาทีต่อตัว หรือเท่ากับ 7,200 ตัวต่อชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรคัดด้วยคนจะใช้เวลาไม่น้อยกว่า 2 วินาทีต่อตัว หรือเท่ากับ 1,800 ตัวต่อชั่วโมง การนำระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์มาใช้คัดขนาดกุ้งๆ สามารถลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการคัดขนาดได้ 3 เท่าและยังช่วยลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานชำนาญงานในอุตสาหกรรมผลิตกุ้งแช่เยือกแข็ง

จากความสามารถในการคัดแยกขนาดของกุ้งที่อัตราการคัดแยกเท่ากับ 7,200 ตัวต่อชั่วโมง เมื่อกำหนดระยะห่างของกุ้งแต่ละตัวเท่ากับ 0.20 เมตร ดังนั้นความเร็วสายพานที่เหมาะสมคือ 0.40 เมตรต่อวินาที อย่างไรก็ตามในการทดสอบนี้ทำการทดสอบระบบคัดแยกโดยการป้อนกุ้งด้วยมือซึ่งต้องมีการจัดทิศทางการวางตัวของกุ้งตามแนวขวางของสายพานเพื่อให้ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์

สามารถตรวจวัดความยาวของกึ่งได้เหมาะสม จึงปรับลดความเร็วของสายพานที่ 0.08 เมตรต่อวินาที

ในการทดสอบการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ร่วมกับระบบคัดแยกขนาดอัตโนมัติ โดยป้อนตัวอย่างกึ่งๆ ลงบนสายพานด้วยมือ พบว่า เมื่อกึ่งๆ เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการปรากฏกึ่งไว้ ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์จะถ่ายภาพตัวกึ่งแล้วคำนวณหาความยาวของตัวกึ่งตามวิธีการที่กำหนดไว้ จากนั้นส่งข้อมูลไปยังระบบควบคุมการคัดแยกซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นวาล์วไฟฟ้าจ่ายลมอัดผลักตัวกึ่งลงในช่องรองรับด้านข้าง ระบบควบคุมการคัดแยกประมวลผลสัญญาณที่ได้รับจากเอนโคเดอร์ที่ติดตั้งกับสายพานทำให้สามารถกระตุ้นวาล์วไฟฟ้าให้ทำงานสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของกึ่งบนสายพานอย่างแม่นยำ สำหรับเครื่องต้นแบบนี้ระบบควบคุมกลไกคัดแยกสามารถควบคุมช่องทางออกของตัวกึ่งตามเกณฑ์ความยาวที่กำหนดไว้ล่วงหน้า จำนวน 3 ช่องทางออกส่วนที่ปลายสายพานกำหนดให้เป็นช่องทางออกของกึ่งที่ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดแยก รวมเป็นช่องทางออกทั้งสิ้น 4 ช่องทางออก

จากการทดสอบข้างต้นจะเห็นได้ว่าเครื่องคัดขนาดกึ่งผ่าหลังแบบมีเลื่อยต้นแบบสามารถคัดขนาดกึ่งตามความยาวโดยประมวลผลจากภาพถ่ายได้อย่างน้อย 3 ขนาดโดยอัตโนมัติ ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย อย่างไรก็ตามควรมีการพัฒนาระบบป้อนกึ่งเข้าสู่เครื่องคัดแยกๆ อย่างอัตโนมัติ เพื่อให้เครื่องคัดแยกสามารถคัดขนาดกึ่งได้เต็มสมรรถนะ

### สรุปผลการวิจัย

ในโครงการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องคัดขนาดกึ่งผ่าหลังแบบมีเลื่อยอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ โดยระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์จะคำนวณหาหน้าหนักและวัดความยาวของกึ่งผ่าหลังแบบมีเลื่อยจากภาพถ่ายแบบดิจิทัลและคัดแยกขนาดอย่างอัตโนมัติด้วยความเร็วสูงสุดเท่ากับ 0.5 วินาทีต่อตัว หรือ 7,200 ตัวต่อชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่าการคัดด้วยคน 3 เท่า ช่วยลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการคัดขนาดของกึ่งมีความถูกต้องอย่างไรก็ตามควรมีการพัฒนาระบบกลไกสำหรับป้อนและลำเลียงกึ่งผ่าหลังแบบมีเลื่อยเข้าสู่ระบบคัดแยกแทนการป้อนด้วยมือ