

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม กลุ่มสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรจัดเป็นสินค้าที่สร้างรายได้ให้กับประเทศชาติเป็นอย่างมาก โดยมีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้นในปี พ.ศ. 2553 มูลค่ากว่า 662,251.53 ล้านบาท คิดเป็นรายได้จากพืชผัก ผลไม้และผลิตภัณฑ์ 20,488.21 ล้านบาท (ที่มา: กรมส่งเสริมการส่งออก, 2553) อุตสาหกรรมการส่งออกผักและผลไม้ของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ในกระบวนการส่งออกผักและผลไม้ดังกล่าวสิ่งสำคัญหลักที่ต้องคำนึงถึงคือ วิธีการควบคุมและการตรวจสอบคุณภาพซึ่งมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้รวมถึงคุณภาพที่ต้องการตรวจวัด

ปริมาณเป็นสมบัติทางกายภาพพื้นฐานที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบหรือการคัดแยกคุณภาพของผักและผลไม้ได้ เช่น การวัดปริมาณเพื่อการคัดขนาด (Sizing) หรือการวัดปริมาณเพื่อการคำนวณความหนาแน่น (Density) ของผลิตภัณฑ์และเชื่อมโยงไปสู่คุณภาพอื่น ๆ เช่น การตรวจสอบคุณภาพของแตงโม เป็นต้น โดยการคัดแยกคุณภาพของผักและผลไม้อาจพิจารณาจากทั้งขนาดและความหนาแน่นซึ่งควรมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ นอกจากนี้การวัดปริมาณผักและผลไม้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการคำนวณหาพื้นที่สำหรับการเก็บรักษา (Storage) ตลอดจนการคำนวณหาขนาดของบรรจุภัณฑ์ (Packaging) ประโยชน์จากการตรวจวัดปริมาณทั้งในด้านคุณภาพและด้านการเก็บรักษาดังกล่าวข้างต้นล้วนเป็นสิ่งสำคัญต่ออุตสาหกรรมการส่งออกผักและผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่ต้องการวิธีการตรวจวัดคุณภาพแบบต่อเนื่อง

วิธีการวัดปริมาณผักและผลไม้มีอยู่หลายวิธี ได้แก่ วิธีการแทนที่ด้วยของเหลว (ปานมนัส และคณะ, 2538; Mohsenin, 1980) วิธีการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (ปานมนัส และคณะ, 2538; Nunak and Suesut, 2009) วิธีการวัดค่าความจุไฟฟ้า (Jarimopas *et al.*, 2005) และวิธีการวัดปริมาณด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น (Scott, 1998) เป็นต้น ทั้งนี้วิธีการวัดปริมาณที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องได้แก่ วิธีการแทนที่ด้วยของเหลวและวิธีการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต โดยวิธีการแทนที่ด้วยของเหลวเป็นวิธีที่อาจทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพได้ เนื่องจากอาหารต้องสัมผัสกับน้ำหรือของเหลวชนิดอื่น ๆ ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ (Cey, 2006) ส่วนวิธีการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตเป็นวิธีที่ผักและผลไม้เสี่ยงต่อการบอบช้ำเนื่องจากการสัมผัสของมนุษย์ (Cey, 2006) วิธีการวัดปริมาณที่สามารถใช้ในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ได้แก่ วิธีการวัดค่าความจุไฟฟ้าและวิธีการวัดปริมาณด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น โดยวิธีการวัดค่าความจุไฟฟ้าเป็นวิธีที่สามารถวัดปริมาณผัก

และผลไม้ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว อย่างไรก็ตามวิธีการวัดค่าความจุไฟฟ้านี้มีข้อจำกัดการใช้งาน คือสามารถวัดได้ถูกต้องแม่นยำเฉพาะผักและผลไม้ที่มีรูปทรงเรขาคณิต เช่น ทรงกลมและทรงรี เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้ยังมีราคาค่อนข้างสูง (Jarimopas *et al.*, 2005) ส่วนวิธีการวัดปริมาณด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นเป็นการวัดขนาดและปริมาณจากภาพถ่ายทั้งในระบบ 2 มิติ และ 3 มิติ เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมีความสะดวกในการใช้งานและการติดตั้ง อีกทั้งยังเป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลาย (ศรายุทธ, 2553; Scott, 1998) สามารถทำการตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่องประมวลผลและวิเคราะห์ผลเร็ว นอกจากนี้ยังช่วยอำนวยความสะดวก ลดระยะเวลาในการดำเนินงาน ให้ค่าความถูกต้องแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูง และช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดจากผู้ปฏิบัติงานได้ วิธีการวัดปริมาณด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นนี้ โดยรวมแล้วสามารถกล่าวได้ว่าเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี

เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสำหรับระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นมีหลายเทคนิค เช่น เทคนิคการสแกน 3 มิติ (Ferruh and Rahmi, 2009) เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติโดยใช้โปรแกรม Visual Basic (VB) (Khojastehnazhand *et al.*, 2010) เป็นต้น โดยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบสองมิติ (2D) เทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบสามมิติ (3D) และเทคนิคการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน (3D-laser light sectioning, 3D-LLS) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานในหลากหลายด้าน เนื่องจากการตรวจวัดโดยตรงที่มีการสอบเทียบระยะในภาพได้อย่างเที่ยงตรงและแม่นยำ อย่างไรก็ตาม แต่ละเทคนิคต่างมีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมสำหรับวัดปริมาณผักและผลไม้รูปทรงต่าง ๆ โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบสองมิติ (2D) เทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบสามมิติ (3D) และการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน (3D-laser light sectioning, 3D-LLS) และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละเทคนิคเพื่อประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้งานสำหรับผักและผลไม้แต่ละรูปทรง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับวัดปริมาณผักและผลไม้รูปทรงต่าง ๆ โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบสองมิติ (2D) เทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบสามมิติ (3D) และการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน (3D-laser light sectioning, 3D-LLS)

2) เพื่อเปรียบเทียบการวัดปริมาณผักและผลไม้โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นด้วยเทคนิคต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

พัฒนาและออกแบบวิธีการวัดปริมาตรโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นด้วยเทคนิค 2D 3D และ 3D-LLS บนโปรแกรม MATLAB สำหรับวัดปริมาตรผักและผลไม้ในหน่วยมาตรฐานสากล โดยให้มีความถูกต้องแม่นยำและมีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ รวมทั้งนำไปประยุกต์ใช้งาน และหาเทคนิคการวัดปริมาตรที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้แต่ละรูปทรง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1) รวบรวมข้อมูลการหาปริมาตรด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ และศึกษาโปรแกรม MATLAB
- 2) เขียนโปรแกรมสำหรับการประมวลผลภาพสองมิติ ศึกษาหลักการวางวัตถุและขั้นตอนการประมวลผลภาพสองมิติ ทำการทดสอบหาปริมาตรกับตัวอย่างผักและผลไม้และปรับแก้โปรแกรมสำหรับการประมวลผลภาพสองมิติ
- 3) ศึกษาโปรแกรมสำหรับการประมวลผลภาพสามมิติ ทำการทดสอบหาปริมาตรกับตัวอย่างผักและผลไม้และปรับแก้
- 4) ศึกษาโปรแกรมสำหรับการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน ทดสอบหาปริมาตรกับผักและผลไม้ และปรับแก้
- 5) ทำการทดสอบโปรแกรมโดยเปรียบเทียบกับวิธีการวัดปริมาตรด้วยวิธีแทนที่ด้วยน้ำ
- 6) ทดลองวัดปริมาตรผักและผลไม้ที่มีรูปทรงต่าง ๆ เช่น แครอท มะม่วง ฝรั่งและส้ม ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาจากเทคนิค 2D 3D และ 3D-LSS ที่ได้รับการปรับแก้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว
- 7) วิเคราะห์ประสิทธิภาพและความแม่นยำ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้โปรแกรมสำหรับวัดปริมาตรผักและผลไม้โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติ การวิเคราะห์ภาพสามมิติ และการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน
- 2) ได้เทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการวัดปริมาตรของผักและผลไม้รูปทรงต่าง ๆ

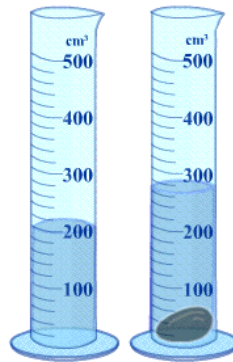
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริมาตรเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ สามารถบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างมวลและความหนาแน่น รายละเอียดการวัดปริมาตรฝึกและผลไม่สำหรับแต่ละวิธีมีดังนี้

2.1 การวัดปริมาตรด้วยวิธีการแทนที่ด้วยของเหลว

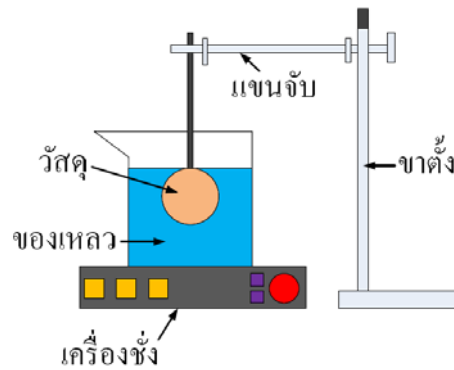
เมื่อวัตถุแทรกตัวลงไปลงในของเหลวทำให้ระบบมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเท่ากับปริมาตรของวัตถุนั้น การแทนที่ของเหลวเป็นวิธีการง่ายๆ สำหรับการหาปริมาตรของวัตถุ วิธีการหาปริมาตรโดยการแทนที่ของเหลวแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การหาปริมาตรโดยการแทนที่ของเหลว

นอกจากนี้อาจใช้วิธีชั่งน้ำหนักวัตถุในของเหลวดังแสดงในภาพที่ 2.2 น้ำหนักวัตถุที่ชั่งในของเหลวแสดงถึงน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ ซึ่งคือแรงพยุงวัตถุของของเหลวนั่นเอง ปริมาตรของวัตถุคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$\text{ปริมาตร (m}^3\text{)} = \frac{\text{มวลของของเหลวที่ถูกแทนที่ (kg)}}{\text{ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m}^3\text{)}} \quad (2.1)$$

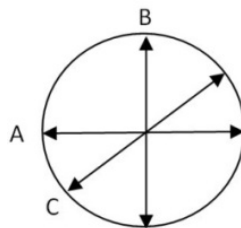


ภาพที่ 2.2 การหาปริมาตรโดยการชั่งน้ำหนักในของเหลว

การหาปริมาตรด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากไม่สามารถกำหนดระยะเวลาที่ของเหลวถ่ายเทเข้าไปในช่องว่างของรูพรุนได้ โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำเป็นของเหลวในการทดลอง หากวัตถุไม่ดูดซับน้ำหรืออาจเคลือบวัตถุก่อนด้วยไขมันบางๆ เพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าไปก็ได้ ของเหลวชนิดอื่นที่สามารถใช้แทนน้ำได้ เช่น โทลูอิน เฮกเซน เป็นต้น (Mohsenin, 1980)

2.2 การวัดปริมาตรด้วยวิธีการวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต

การวัดปริมาตรด้วยวิธีนี้เป็นการประมาณปริมาตรผลไม้ด้วยรูปทรงเรขาคณิต หากวัตถุมีรูปร่างเป็นทรงกลมสามารถกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางได้เลย หากมีรูปร่างคล้ายทรงกลมหรือไม่เป็นทรงกลม สามารถกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตได้ดังแสดงในสมการ (2.2) เมื่อรู้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตแล้ว จึงสามารถคำนวณปริมาตรได้ดังสมการ (2.3)



ภาพที่ 2.3 ตำแหน่ง a b c ของวิธีการวัดปริมาตรแบบ GMD

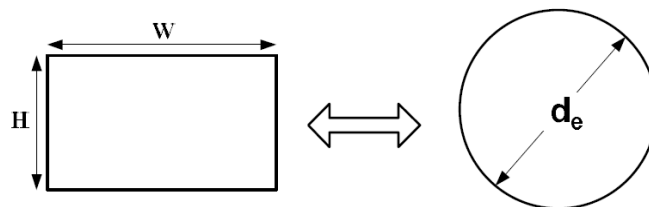
$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต } GMD = \sqrt[3]{abc} \quad (2.2)$$

เมื่อ a คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด b คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a และ c คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a และ b

$$\text{ปริมาตร (V)} = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{GMD}{2} \right)^3 \quad (2.3)$$

การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ ทำได้โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) หรือไมโครมิเตอร์ (Micrometer) อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดที่ใช้ได้ดีกับวัตถุที่มีรูปร่างสมมาตร เช่น สัมและมะนาว ถ้าใช้วิธีนี้กับวัตถุที่มีรูปร่างไม่สมมาตรจะทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาด (Nunak and Suesut, 2009)

เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (Equivalent diameter) เป็นสมบัติทางกายภาพที่คล้ายคลึงกับเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิต ใช้สำหรับการคำนวณพื้นที่ผิวและผลไม้มันที่มีลักษณะสมมาตร โดยวิธีการนี้เป็นการประมาณปริมาตรผักและผลไม้ด้วยระนาบสองมิติดังภาพที่ 2.4 กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลได้ดังสมการ (2.4) เมื่อรู้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลแล้วคำนวณปริมาตรดังสมการ (2.5) (ปานมนัส และคณะ, 2538)



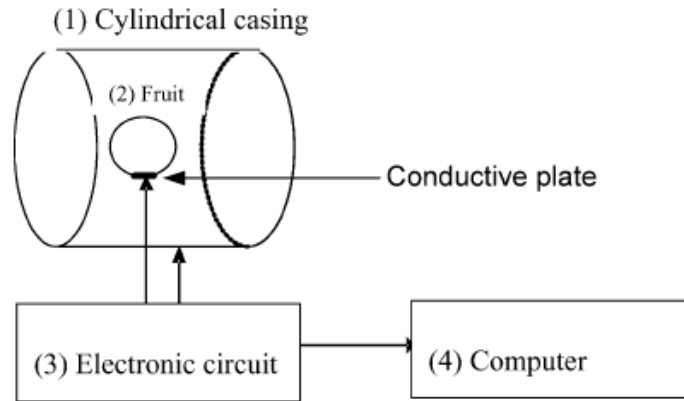
ภาพที่ 2.4 เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (Equivalent Diameter)

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล } \text{Equivalent diameter} = \sqrt[2]{\text{height} \times \text{width} \times \text{width}} \quad (2.4)$$

$$\text{ปริมาตร } \text{Estimated Volume} = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\text{equivalent diameter}}{2} \right)^3 \quad (2.5)$$

2.3 การวัดปริมาตรด้วยวิธีการวัดค่าความจุไฟฟ้า

วิธีที่ใช้ค่าความจุไฟฟ้าในการวัดปริมาตรแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การวัดปริมาตรด้วยวิธีการวัดค่าความจุไฟฟ้า

ที่มา : Jarimopas *et al.*, 2005

การดำเนินการของวิธีนี้ทำได้โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าไปยังวัตถุที่ต้องการวัดปริมาตรและโครงทดลองรูปทรงกระบอก ทำให้เกิดความต่างของค่าความจุไฟฟ้าระหว่างวัตถุทั้งสอง ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าระหว่างวัตถุและโครงทดลองแสดงดังสมการ (2.6) และการคำนวณหาปริมาตรของวัตถุแสดงดังสมการ (2.7)

$$\text{ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างวัตถุและกล่องทดลอง } C_e (\text{F, farad}) = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r_1 r_2}{r_2 - r_1} \quad (2.6)$$

เมื่อ ϵ_0 คือ ความสามารถในการดูดซับในสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} F/m

ϵ_r คือ Relative Permittivity ของช่องว่างระหว่างวัสดุและกล่องทดลอง

r_1 คือ รัศมีของวัตถุที่ต้องการวัดปริมาตร

r_2 คือ รัศมีของกล่องทดลอง

ในความเป็นจริง r_2 มีค่าสูงกว่า r_1 มาก ($r_2 \gg r_1$) ดังนั้น $\frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \rightarrow r_1$

$$\text{ปริมาตรของวัตถุ } V = \frac{4}{3}\pi r_1^3 = \frac{C_e^3}{48\pi^2 \epsilon_0^3 \epsilon_r^3} \quad (2.7)$$

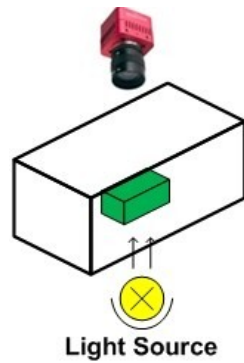
การวัดปริมาตรด้วยวิธีนี้ใช้ได้กับผลไม้ที่มีรูปร่างทรงกลมและทรงรีซึ่งมีอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวอยู่ในช่วง 0.86 - 1.16 และใช้งานได้ดีเมื่อโครงทดลองมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุมากๆ ข้อจำกัดของวิธีการวัดค่าความจุไฟฟ้าคืออุปกรณ์ที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะสามารถวัดปริมาตรผักและผลไม้ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว (Jarimopas *et al.*, 2005)

2.4 การวัดปริมาตรด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น

การวัดปริมาตรด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นเป็นการวัดขนาดและปริมาตรจากภาพถ่ายในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งมีความสะดวกในการใช้งานและติดตั้ง รวมทั้งมีความเร็วในการประมวลผลและวิเคราะห์ผล ส่วนประกอบของระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น ประกอบด้วยอุปกรณ์รับและแสดงภาพของระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น โดยคอมพิวเตอร์รับภาพจากกล้อง เครื่องสแกนหรือเครื่องเล่นวิดีโอ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะประมวลผลภาพเหล่านี้ และแสดงผลลัพธ์ที่อุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ จอแสดงภาพ เครื่องปริ้นท์ ฟิล์ม และเครื่องบันทึกวิดีโอ เป็นต้น (Scott, 1998) โดยขั้นตอนการวัดปริมาตรด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น เริ่มจากการเก็บข้อมูลภาพของวัตถุที่ต้องการทราบปริมาตร โดยใช้อุปกรณ์รับภาพ ภาพที่ได้เป็นภาพระดับสีเทา (Grey-Scale Image) หรือภาพสี (Color Image) ทำการปรับแต่งภาพได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นภาพฐานสอง (Binary Image) จากนั้นประมวลผลและวิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรม MATLAB จนได้ค่าปริมาตรของวัตถุ สำหรับการประมวลผลภาพ เป็นการเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใดๆ มากระทำกับภาพ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ (วราศิริ และคณะ, 2551) ซึ่งแบ่งเป็นการอธิบายการประมวลผลภาพสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติ เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสามมิติ และเทคนิคการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน ดังต่อไปนี้

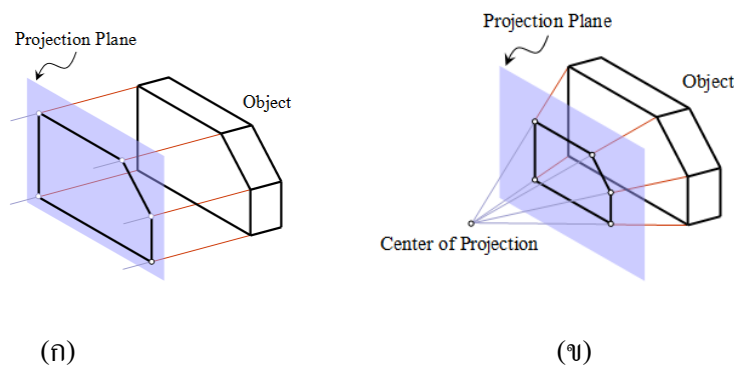
2.4.1 การประมวลผลภาพสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติ

เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติเป็นการวัดปริมาตรโดยใช้ภาพถ่ายที่มองเห็นวัตถุในมุมมองสองมิติ คือ แกน x และแกน y การวัดปริมาตรด้วยวิธีนี้ใช้ภาพถ่ายสองมิติสองมุมมอง ภาพถ่ายมุมแรกใช้ในการหาพื้นที่ของวัตถุ และภาพถ่ายมุมที่สองใช้ในการหาความสูงของวัตถุ จากนั้นนำภาพทั้งสองมาคำนวณเป็นปริมาตร การถ่ายภาพในเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติแสดงดังภาพที่ 2.6 ซึ่งได้นำเทคนิคไฟหลัง (Back-lighting) มาใช้ในการถ่ายภาพ ซึ่งเป็นเทคนิคการส่องไฟมาจากด้านหลังของวัตถุที่จะถ่าย ใช้แหล่งไฟที่มีขนาดย่อม เพื่อช่วยให้วัตถุเกิดความเด่นชัด โดยภาพวัตถุที่ได้จะเป็นภาพเงาค่าที่ปรากฏบนพื้นหลังที่สว่างหรืออ่อนกว่า (Awcock and Thomas, 1995)



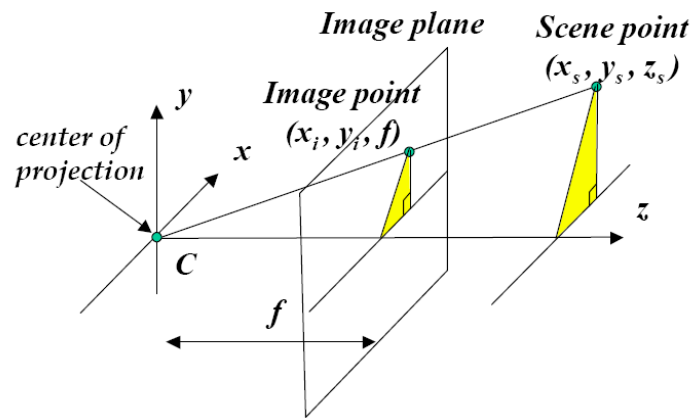
ภาพที่ 2.6 การถ่ายภาพในเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติ

การโปรเจกชัน (Projection) คือการแปลงจาก n มิติไปเป็น $n - 1$ มิติ เมื่อมีวัตถุสามมิติที่ถูกโปรเจกต์ลงบนระนาบของการโปรเจกต์ โดยต้องมีผู้สังเกตลักษณะการโปรเจกต์ของวัตถุและเพื่อให้สามารถมองลักษณะการโปรเจกชันได้จึงต้องกำหนดให้ผู้สังเกตและวัตถุอยู่คนละข้างกันของระนาบการโปรเจกต์ สามารถแบ่งได้เป็นแบบเชิงเส้น (linear projections) และแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear projections) โดยที่ในส่วนของการโปรเจกชันแบบเชิงเส้นประกอบด้วย 2 ชนิดใหญ่ๆ คือการโปรเจกชันแบบขนาน (parallel projections) และการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ (perspective projections) ส่วนใหญ่การโปรเจกชันแบบขนานนี้ถูกใช้ในการวาดภาพทางวิศวกรรม ส่วนการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟนั้นมีจุดศูนย์กลางของการโปรเจกต์อยู่ที่จุดๆหนึ่ง แนวลำแสงและเงาของวัตถุที่ฉายจะพุ่งเข้าไปยังจุดศูนย์กลางของการโปรเจกต์มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม ซึ่งผู้สังเกตจะเห็นวัตถุที่อยู่ไกลมีขนาดเล็กกว่าความเป็นจริง เนื่องจากของวัตถุเปลี่ยนแปลงไปโดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของการโปรเจกต์ (Gundersen *et al.*, 2004)



ภาพที่ 2.7 (ก) การโปรเจกชันแบบขนาน (ข) การโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ

ภาพ 2 มิติส่วนใหญ่ได้มาจากการมองวัตถุ 3 มิติผ่านเลนส์ของตาหรือเลนส์ของกล้อง การเกิดภาพของกล้องคือการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทิฟ ภาพที่ 2.8 เป็นการแสดงแบบจำลองของระบบสร้างภาพของกล้อง แทนแทนระบบพิกัดของวัตถุจริงด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ (X, Y, Z) และแทนแทนระบบพิกัดของกล้องด้วยตัวอักษรตัวเล็ก (x, y, z) ซึ่งในกรณีนี้สมมติให้พิกัดของวัตถุจริงซ้อนทับกับระบบพิกัดของกล้อง แสงจากวัตถุจริงที่เป็น 3 มิติส่องผ่านจุดศูนย์กลางของการโปรเจก แล้วโปรเจกลงบนระนาบของภาพที่เป็น 2 มิติ โดยให้จุด (x_s, y_s, z_s) แทนจุดบนพิกัดของวัตถุจริง (3 มิติ) และให้ (x_i, y_i) แทนจุดพิกัดของวัตถุที่ถูกฉายลงบนระนาบของภาพ โดยระนาบของภาพจะอยู่ห่างไปทางขวาของจุดกำเนิดของพิกัดของกล้องเป็นระยะเท่ากับ f ซึ่ง f คือความยาวโฟกัสที่เกิดจากผลของเลนส์กล้อง (ศรายุทธ, 2553)



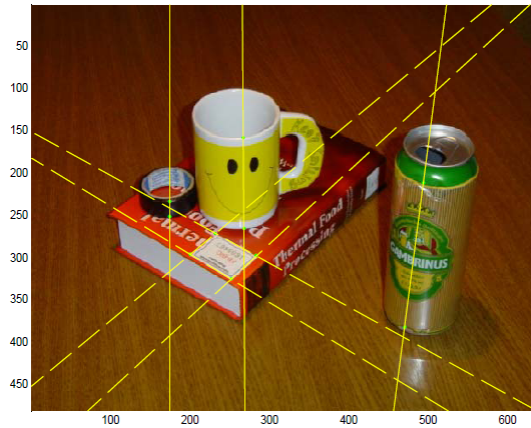
ภาพที่ 2.8 แบบจำลองของระบบสร้างภาพของกล้อง

ที่มา : ศรายุทธ, 2553

2.4.2 การประมวลผลภาพสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสามมิติ

เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสามมิติเป็นการวัดปริมาตรจากภาพถ่าย 3 มิติ ซึ่งภาพถ่าย 3 มิติ คือภาพที่มีลักษณะเหมือนจริง อยู่ในรูปทรง 3 มิติ ที่มีทั้งแกน x แกน y และแกน z แสดงดังภาพที่ 2.9 การวัดปริมาตรด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการสอบเทียบระยะทางของวัตถุที่รู้ระยะทางจริง ซึ่งจะช่วยให้รู้ขนาดวัตถุอื่นๆ ในทิศทางเดียวกันกับวัตถุที่รู้ระยะทางจริง โดยการสอบเทียบจำนวนพิกเซลกับระยะทางจริง ตัวอย่างเช่นจากภาพที่ 2.9 ถ้ารู้ความสูงจริงของแก้วจะได้ค่าสอบเทียบที่เป็นพิกเซลไปใช้ในการวัดความสูงของวัตถุอื่นๆ จากนั้นนำค่าพิกเซลที่ได้จากการสอบเทียบนี้ไปหาค่าความสูงของหนังสือ ความสูงของกระป๋อง และความ

สูงของเทปกาว ซึ่งอยู่ในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้การวัดระยะในทิศทางอื่นๆ สามารถทำได้โดยอาศัยหลักการดังกล่าว จากนั้นนำระยะที่ได้ไปคำนวณเป็นค่าปริมาตรต่อไป (Suesut, 2006)



ภาพที่ 2.9 ภาพถ่ายสามมิติ

ที่มา : Suesut, 2006

1) ทฤษฎีโฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์ม

โฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์ม (Homography Transform) เป็นการแปลงระหว่างพิกัดจริงกับพิกัดระนาบของภาพที่เป็นผลมาจากการรับภาพของกล้อง ซึ่งเป็นลักษณะการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ การหาค่าโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ (Homography Matrix) ที่เป็นการแปลงระหว่างพิกัดจริงกับพิกัดของรูปภาพส่วนใหญ่นิยมใช้ความสัมพันธ์ของจุดที่อยู่บนพิกัดจริงกับพิกัดรูปภาพที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน และเป็นจุดพิกัดที่ทราบค่าเป็นตัวช่วยในการประมาณค่าโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ (H) ดังจะเห็นจากสมการ (2.8) (Hartley and Zisserman, 2003)

$$p' = Hp \quad (2.8)$$

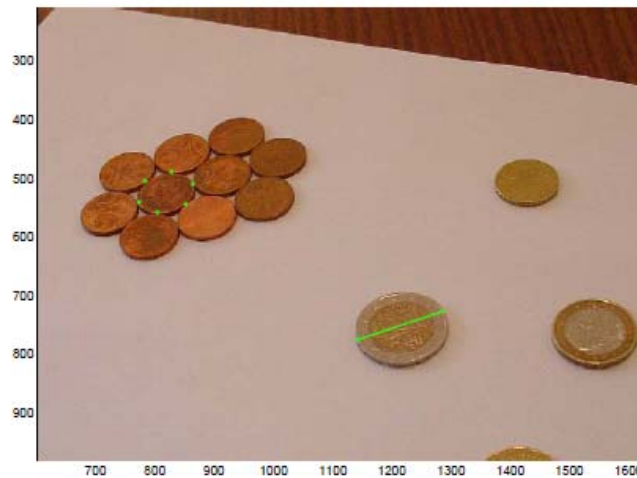
เมื่อ p เป็นจุดที่อยู่บนระบบพิกัดของภาพ (Image Coordinate)

p' เป็นจุดที่อยู่บนระบบพิกัดจริง (Real World Coordinate)

H เป็น โฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ (Homography Matrix)

2) การหาค่าระยะทางจริงบนระนาบของรูปภาพ

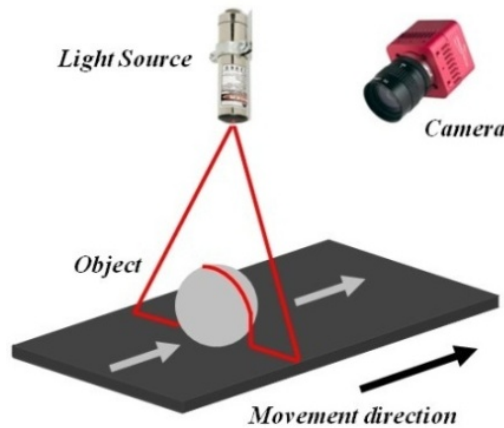
ใช้โฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ประมาณระยะทางจากรูปภาพ เมื่อรู้ระยะทางจริงของวัตถุหนึ่ง ๆ ก็สามารถประมาณระยะทางของวัตถุอื่นๆ ได้ Suesut (2006) กล่าวว่าถ้ารู้เส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ 2 เซนต์ และค่าโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์แล้ว ก็จะสามารถหาค่าอื่นๆที่อยากรู้ได้ดังภาพที่ 2.10 เมื่อรู้ว่าเหรียญ 2 เซนต์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20.3025 มิลลิเมตร ดังนั้น จากการคำนวณโดยใช้โฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ก็จะได้ว่าเหรียญ 2 ยูโรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39.2017 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2.10 การประมาณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ 2 ยูโร จากเหรียญ 2 เซนต์
ที่มา : Suesut, 2006

2.4.3 การประมวลผลภาพสำหรับการวัดปริมาตร โดยใช้เทคนิคการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน

เทคนิคการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนแสดงดังภาพที่ 2.11 ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นจะมองลักษณะของแสงเลเซอร์สีแดงบนพื้นผิววัตถุขณะเคลื่อนที่ผ่านแสงเลเซอร์สีแดงซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ และทำการวัดออกมาเป็นตัวเลข โดยมีสองขั้นตอนหลักในการวัดแบบสามมิติคือ แยกโครงสร้างสองมิติของแต่ละส่วนจากภาพและสร้างพื้นผิวสามมิติจากการรวมแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน (จตุพล และคณะ, 2546) ภาพลักษณะของแสงเลเซอร์ที่ฉายไปบนพื้นผิววัตถุถูกเก็บบันทึกด้วยกล้องในรูปแบบไฟล์วีดีโอ โฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์มจะถูกนำมาใช้เพื่อแปลงภาพเส้นแสงเลเซอร์ให้เป็นระยะทางจริงของวัตถุ (Bradley *et al.*, 2008; Ofner *et al.*, 2005; Ofner *et al.*, 2008)



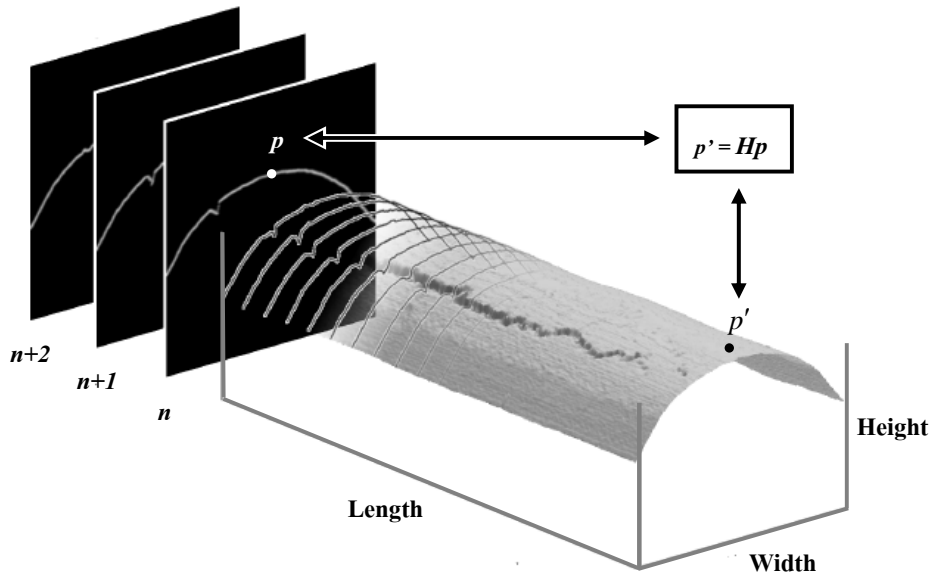
ภาพที่ 2.11 อุปกรณ์สำหรับเทคนิคการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน
ที่มา : ศรายุทธ, 2553

1) การประยุกต์ใช้ทฤษฎีไฮโมกราฟีและแสงเลเซอร์แบ่งส่วนในการตรวจวัดขนาดวัตถุ

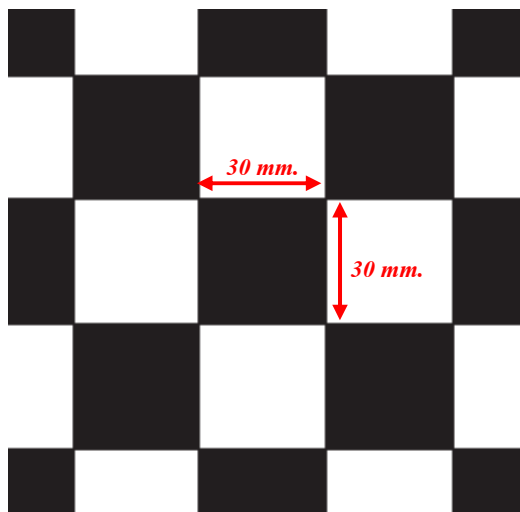
ในการแปลงขนาดวัตถุที่อยู่ในหน่วยพิกเซลไปเป็นขนาดที่เป็นพิคัดจริงในหน่วยวัดมาตรฐาน เช่น มิลลิเมตร และเซนติเมตร เป็นต้น จำเป็นต้องนำเอาทฤษฎีไฮโมกราฟีทรานส์ฟอร์มมาใช้ในการแปลงขนาดวัตถุโดยการแปลงพิกัดบนระนาบของภาพให้เป็นพิกัดจริงเพื่อคำนวณออกมาเป็นความกว้างและความหนาของวัตถุ ส่วนความยาวของวัตถุนั้นได้จากการเลื่อนวัตถุแล้วใช้กล้องวิดีโอจับภาพในเฟรมตัดไปจนครบทั้งวัตถุ เมื่อนำภาพแต่ละเฟรมมารวมกันจะได้เป็นความยาวของวัตถุนั้นๆ ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุจะต้องสัมพันธ์กับความเร็วในการจับภาพของกล้องวิดีโอ การประยุกต์ใช้ทฤษฎีไฮโมกราฟีในการตรวจวัดขนาดวัตถุแสดงดังภาพที่ 2.12 (ศรายุทธ, 2553; Suesut, 2006)

2) การสอบเทียบ

การสอบเทียบเป็นการหาค่าไฮโมกราฟีทรานส์ฟอร์มซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการแปลงจุดพิกัดภาพเป็นพิกัดจริง การหาค่าไฮโมกราฟีเมทริกซ์สามารถหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดที่อยู่บนพิกัดภาพกับตำแหน่งของจุดที่อยู่บนพิกัดจริงที่ทราบค่าตำแหน่งของจุดอย่างน้อย 4 จุดเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าไฮโมกราฟีเมทริกซ์ ดังนั้นจึงใช้ตารางหมากรุกในการสอบเทียบ ซึ่งในแต่ละช่องของตารางหมากรุกจะมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 30 มิลลิเมตรแสดงดังภาพที่ 2.13 (ศรายุทธ, 2553)



ภาพที่ 2.12 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีโฮโมกราฟฟีในการตรวจวัดขนาดวัตถุ
ที่มา : ศรายุทธ, 2553



ภาพที่ 2.13 ตารางหมากรุกขนาด 30 x 30 mm ที่ใช้ในการสอบเทียบ
ที่มา : ศรายุทธ, 2553

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Khojastehnazhand *et al.* (2010) ศึกษาวิธีการวัดปริมาตรและมวลของมะนาว และส้ม โดยการถ่ายภาพผลไม้แบบ 2 มิติซึ่งใช้กล้อง 2 ตัววางตั้งฉากกับผลไม้ ทำให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เส้นที่ตั้งฉากกัน จากนั้นใช้โปรแกรม Visual Basic (VB) ในการคำนวณปริมาตร จากการศึกษาพบว่าวิธีการวัดปริมาตรโดยวิธีนี้ มีความแม่นยำสูง สามารถใช้ได้ดีกับผลไม้ที่มีแกนสมมาตรเช่น แครอท แตงกวา หัวหอม และมะนาว เป็นต้น

Ferruh and Rahmi (2009) ทำการศึกษาเครื่องสแกนอาหาร 3 มิติ รูปทรงของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากอาหารมีรูปทรงแปลกประหลาดมากมาย เครื่องสแกนอาหาร 3 มิตินี้ใช้ในการถ่ายภาพอาหาร 3 มิติ อาทิเช่น ลูกแพร์ สตรอเบอร์รี่ กล้วย แอปเปิ้ล และไข่ มีการบันทึกภาพถ่าย และใช้โปรแกรม Computational fluid dynamics (CFD) ในการคำนวณพื้นที่ผิวและปริมาตรอาหาร วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดเวลา และมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 %

Nunak and Suesut (2009) ศึกษาวิธีการวัดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของแอปเปิ้ล ส้ม และมะนาว จากนั้นคำนวณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตจากภาพถ่ายสามมิติโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีการฉายแสงเลเซอร์ไปยังวัตถุนั้นๆ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของวัตถุสามารถคำนวณได้จากภาพถ่ายเพียงภาพเดียว วิธีนี้ใช้ได้ดีกับวัตถุที่มีรูปร่างสมมาตร ตัวอย่างเช่น ส้มและมะนาว แต่เมื่อใช้วิธีนี้กับวัตถุที่มีรูปทรงไม่สมมาตรและไม่เป็นรูปทรงทางเรขาคณิตจะมีความคลาดเคลื่อนสูง วิธีนี้สามารถวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของแอปเปิ้ล ส้ม และมะนาว โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.03-5.14 %

Inthuset *et al.* (2009) ศึกษาและพัฒนาวิธีการวัดขนาดและปริมาตรจากคุณลักษณะสามมิติของวัตถุ ด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ โดยใช้วัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและทรงกระบอกมาทดสอบประสิทธิภาพของระบบ อีกทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดขนาดปลาฉลาม แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดลองกับวิธีการวัดด้วยการใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการวัดค่าความหนาและความกว้าง 5.669 และ 10.309 % ตามลำดับ ระบบนี้เป็นประโยชน์ในการออกแบบเครื่องมือคัดแยกอัตโนมัติและเป็นระบบที่ไม่ทำลายวัตถุ

Nunak and Suesut (2009) ศึกษาวิธีการวัดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของแอปเปิ้ล ส้ม และมะนาว จากนั้นคำนวณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตจากภาพถ่ายสามมิติโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีการฉายแสงเลเซอร์ไปยังวัตถุนั้นๆ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของวัตถุสามารถคำนวณได้จากภาพถ่ายเพียงภาพเดียว วิธีนี้ใช้ได้ดีกับวัตถุที่มีรูปร่างสมมาตร ตัวอย่างเช่น ส้มและมะนาว แต่เมื่อใช้วิธีนี้กับวัตถุที่มีรูปทรงไม่สมมาตรและไม่เป็นรูปทรงทางเรขาคณิตจะมีความคลาดเคลื่อนสูง

ค่าความคลาดเคลื่อนสูง วิธีนี้สามารถวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของแอปเปิ้ล ส้ม และมะนาว โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.03-5.14 %

Du and Sun (2006) ศึกษาการประมาณค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรของแฮมทริงรีโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ วิธีการนี้เป็นการวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรแฮมอย่างอัตโนมัติ โดยแบ่งออกเป็นสองเทคนิคดังนี้ เทคนิคที่ 1 แบ่งแฮมออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำการวัดปริมาตร เทคนิคที่ 2 กำหนดค่าปริมาตรจากขอบของพื้นที่ภาพฉาย ความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยของทั้งสองเทคนิคคือ -1.79% และ -4.96% ตามลำดับ

Jarimopas *et al.* (2005) ศึกษาการออกแบบอุปกรณ์วัดปริมาตรผักและผลไม้โดยอาศัยค่าความจุไฟฟ้าและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ด้วยแดงโม แดงกวา ฝรั่ง และพริกเขียว การวัดปริมาตรด้วยวิธีนี้ใช้ได้กับผักและผลไม้ที่มีรูปร่างกลมและทรงรี ซึ่งมีอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวอยู่ในช่วง 0.86-1.16 และใช้งานได้ดีเมื่อโครงทดลองมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุมากๆ ข้อจำกัดของวิธีการวัดปริมาตรโดยอาศัยค่าความจุไฟฟ้าคืออุปกรณ์ที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะสามารถวัดปริมาตรผักและผลไม้ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

Brosnan and Sun (2004) ศึกษาระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติที่ไม่ทำลายผลิตภัณฑ์และมีประสิทธิภาพสูง สามารถนำมาใช้งานได้จริง ระบบที่ทำการวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์รูปภาพผักและผลไม้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งเน้นไปที่ศักยภาพของการตรวจจับและคัดคุณภาพผักและผลไม้ นอกจากนี้ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นยังถูกนำมาปรับใช้สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของเนื้อวัว ปลา พืชชา ซีส และขนมปัง โดยระบบนี้มีค่าความแม่นยำอยู่ระหว่าง 81 – 99%

Aleixos *et al.* (2003) ศึกษาและพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยเครื่องจักรเพื่อประมาณคุณภาพของส้ม ลูกพีช และแอปเปิ้ล การประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคนี้ทำได้โดยการวัดขนาด สี ตำแหน่งก้าน และการตรวจจับรอยตำหนิภายนอก ทำการทดสอบเทคนิคนี้โดยใช้แอปเปิ้ลในการตรวจจับรอยตำหนิภายนอกและขนาด ประสิทธิภาพของเทคนิคนี้อยู่ที่ 86 และ 93% ตามลำดับ ซึ่งความแม่นยำของระบบนี้เทียบเท่ากับการคัดขนาดโดยใช้คน

Karplus *et al.* (1999) ศึกษาการแยกปลาพันธุ์ต่างๆ ออกจากกัน โดยการใช้สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพื้นที่ภาพฉาย และความยาวของปลา การแยกปลาพันธุ์เกรย์มุลเลทออกจากปลาพันธุ์อื่นๆ จะแยกโดยใช้ส่วนลำตัว การแยกปลาพันธุ์คาร์พออกจากพันธุ์เซนตปีเตอร์แยกโดยใช้ส่วนหาง สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพื้นที่ภาพฉายของปลาพันธุ์เกรย์มุลเลท คาร์พ และเซนตปีเตอร์คือ 0.954 0.968 และ 0.986 ตามลำดับ ความยาวของปลาสามารถคำนวณได้จากไปนารีอิมเมจ ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่ได้จากการคำนวณและความยาวจริงเป็น 0.95 0.997 และ 0.983 ตามลำดับ

บทที่ 3

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวัดปริมาตร

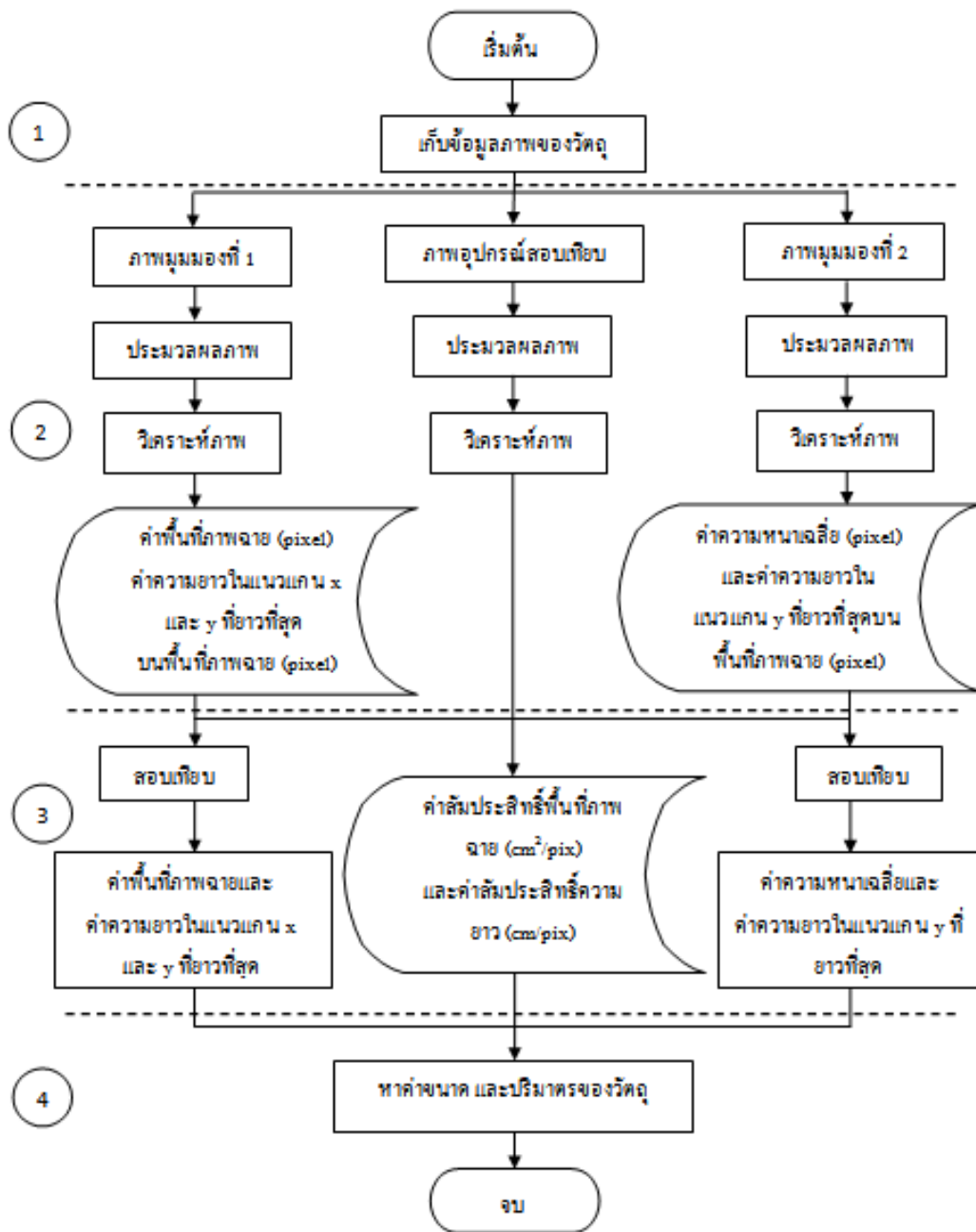
การพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดปริมาตรผักและผลไม้ที่มีรูปทรงต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติ (2D) เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสามมิติ (3D) และเทคนิคการวัดขนาดวัตถุสามมิติ โดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน (3D-laser light sectioning, 3D-LLS)

3.1 การวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 2D

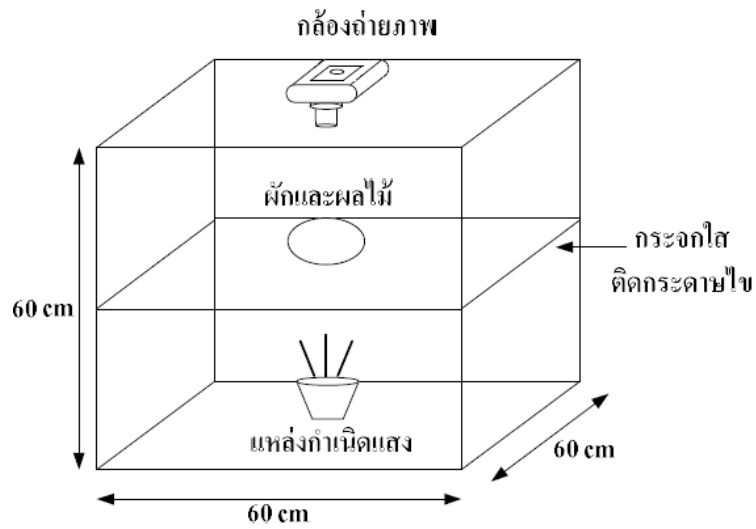
ขั้นตอนการทำงานของเทคนิค 2D แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้ การเก็บข้อมูลภาพของวัตถุ การประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพ การสอบเทียบ และการคำนวณหาปริมาตรของวัตถุ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.1

1) การเก็บข้อมูลภาพของวัตถุ

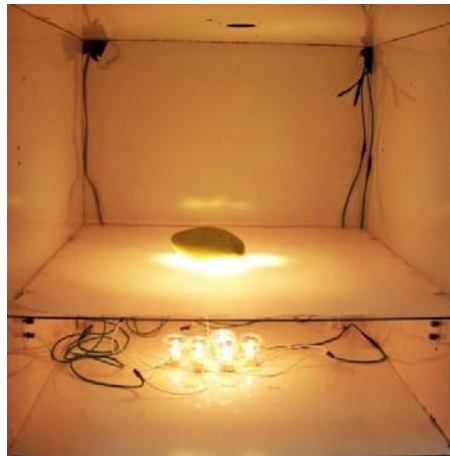
การวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 2D ใช้ภาพถ่ายสองมิติสองมุมมอง โดยเก็บข้อมูลภาพของวัตถุในรูปแบบไฟล์ JPEG และใช้เทคนิคไฟหลังในการถ่ายภาพ (Awcock and Thomas, 1995) ซึ่งมีรายละเอียดสำหรับอุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพ หลักการวางวัตถุ อุปกรณ์สอบเทียบ และภาพตัวอย่างผักและผลไม้สองมิติ ดังนี้ อุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพใช้กล้องดิจิทัล (ยี่ห้อ โกดัก รุ่น M341 ที่มีความละเอียด 1.2 ล้านพิกเซล SD Card หน่วยความจำ 2 GB) สำหรับเก็บข้อมูลภาพวัตถุในลักษณะสองมิติโดยใช้กล้องถ่ายภาพด้วยเทคนิคไฟหลังที่มีขนาด 60 x 60 x 60 เซนติเมตรดังภาพที่ 3.2 และ 3.3 ภายในกล่องประกอบไปด้วยหลอดไฟ down light กำลัง 20 วัตต์จำนวน 5 หลอด และกระจกใสความหนา 3 มิลลิเมตรหุ้มด้วยกระดาษไข เพื่อช่วยให้วัตถุเกิดความเด่นขึ้น โดยภาพวัตถุที่ได้จะเป็นภาพเงาค่าที่ปรากฏบนพื้นหลังที่สว่างกว่าหรืออ่อนกว่า (Awcock and Thomas, 1995)



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพของเทคนิค 2D



ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบของกล้องถ่ายภาพด้วยเทคนิคไฟหลัง

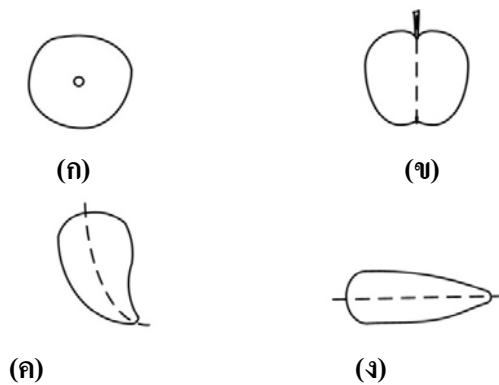


ภาพที่ 3.3 กล้องถ่ายภาพด้วยเทคนิคไฟหลังที่ใช้ในการทดลอง

- หลักการวางวัตถุ

การถ่ายภาพวัตถุที่ต้องการทราบปริมาตรมีหลักการวางวัตถุเพื่อใช้ในการถ่ายภาพดังนี้ เมื่อแกนของวัตถุเป็นเส้นตรงและวัตถุมีพื้นที่ภาพตัดขวางเป็นรูปร่างเดียวกันตลอดความยาวแกน ให้วางวัตถุขวางแกน โดยภาพที่ 3.4 (ก) แสดงการถ่ายภาพมุมมองแรกเพื่อหาพื้นที่ภาพฉายและความยาวในแนวแกน x และแกน y ที่ยาวที่สุดบนพื้นที่ภาพฉายของวัตถุ และภาพที่ 3.4 (ข) แสดงการถ่ายภาพมุมมองที่สองเพื่อหา

ความหนาเฉลี่ยของวัตถุและความยาวในแนวแกน y ที่ยาวที่สุดบนพื้นที่ภาพฉายของวัตถุ แต่เมื่อแกนของวัตถุไม่เป็นเส้นตรง ให้อ่างวัตถุตามแกน โดยภาพที่ 3.4 (ก) แสดงการถ่ายภาพมุมมองแรกเพื่อหาพื้นที่ภาพฉายและความยาวในแนวแกน x และแกน y ที่ยาวที่สุดบนพื้นที่ภาพฉายของวัตถุ และภาพที่ 3.4 (ง) แสดงการถ่ายภาพมุมมองที่สองเพื่อหาความหนาเฉลี่ยของวัตถุและความยาวในแนวแกน y ที่ยาวที่สุดบนพื้นที่ภาพฉายของวัตถุ



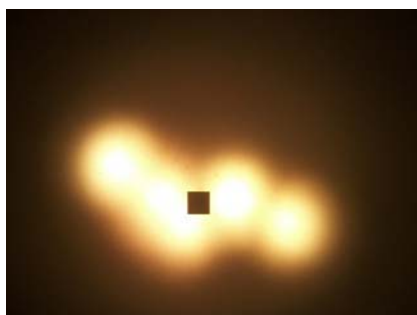
ภาพที่ 3.4 หลักการวางวัตถุ

- อุปกรณ์สอบเทียบ

อุปกรณ์สอบเทียบที่ใช้ในเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติคือกระดาษแข็งสีดำเทาขนาด 2x2 เซนติเมตร ที่มีความสูงตั้งแต่ 0 ถึง 10 เซนติเมตร (เพิ่มความสูงขึ้น 0.5 เซนติเมตร) แสดงดังภาพที่ 3.5 ทำการถ่ายภาพอุปกรณ์สอบเทียบในรูปแบบสองมิติหนึ่งมุมมองโดยมีหลักการวางเช่นเดียวกับภาพที่ 3.4 (ก) ดังภาพที่ 3.6 เพื่อหาจำนวนพิกเซลของแต่ละอุปกรณ์สอบเทียบที่มีความสูงแตกต่างกัน



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์สอบเทียบของเทคนิค 2D



ภาพที่ 3.6 ภาพถ่ายอุปกรณ์สอบเทียบจากเทคนิคไฟหลัง

- ภาพตัวอย่างผักและผลไม้สองมิติ

ภาพตัวอย่างผักและผลไม้สองมิติสองมุมมอง เพื่อวัดปริมาตรด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพสองมิติแสดงดังภาพที่ 3.7 โดยภาพถ่ายในมุมมองที่ 1 และ 2 ของแครอท มะม่วง ฝรั่ง และส้ม แสดงดังภาพที่ 3-7 (ก-ง)

2) การประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพ

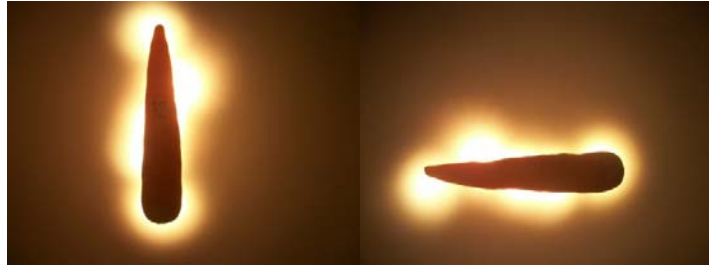
การประมวลผลภาพเป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้มีคุณสมบัติตามต้องการ ส่วนการวิเคราะห์ภาพเป็นกระบวนการวิเคราะห์เพื่อทำให้ได้ค่าปริมาตรออกมา ซึ่งมีรายละเอียดสำหรับการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพอุปกรณ์สอบเทียบ ภาพวัตถุในมุมมองที่ 1 และ 2 ดังนี้

- การประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพอุปกรณ์สอบเทียบ

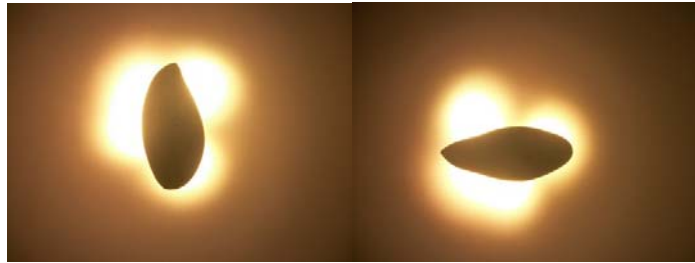
ขั้นตอนการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพอุปกรณ์สอบเทียบแสดงดังภาพที่ 3.8 โดยภาพที่ 3.9 (ก-ฉ) แสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพอุปกรณ์สอบเทียบ และภาพที่ 3.9 (ซ) และ 3.9 (ฅ) แสดงการวิเคราะห์ภาพอุปกรณ์สอบเทียบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์พื้นที่ภาพฉาย และค่าสัมประสิทธิ์ความยาว ดังสมการ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ

$$\text{สัมประสิทธิ์พื้นที่ภาพฉาย (cm}^2/\text{pixel)} = \frac{\text{พื้นที่ของวัตถุจริง (cm}^2\text{)}}{\text{พื้นที่ภาพ (pixel)}} \quad (3.1)$$

$$\text{สัมประสิทธิ์ความยาว (cm/pixel)} = \frac{\text{ความยาวของวัตถุจริง (cm)}}{\text{ความยาวภาพ (pixel)}} \quad (3.2)$$



(ก)



(ข)



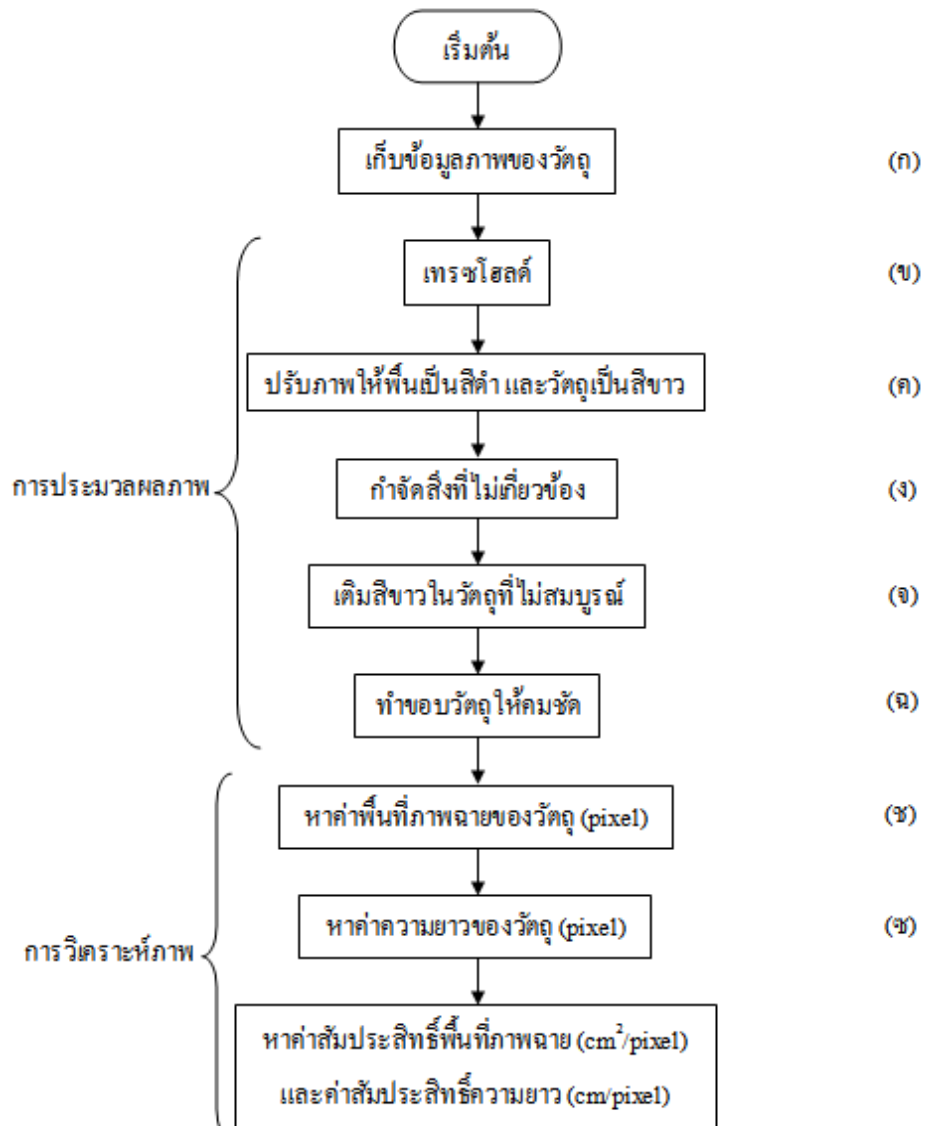
(ค)



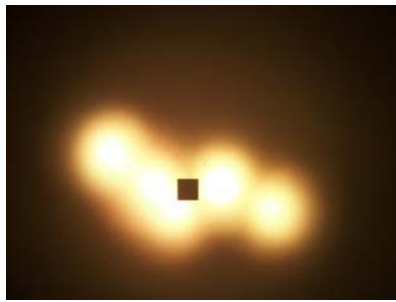
(ง)

ภาพที่ 3.7 ภาพตัวอย่างผักและผลไม้สองมิติสองมุมมองจากเทคนิคไฟหลัง

(ก) แครอท (ข) มะม่วง (ค) ฝรั่ง (ง) ส้ม



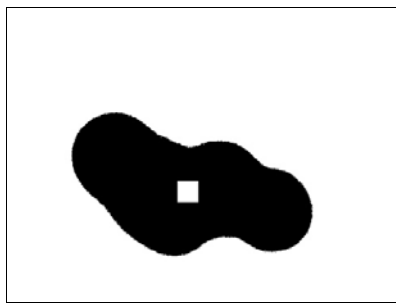
ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ภาพอุปกรณ์สอบเทียบ



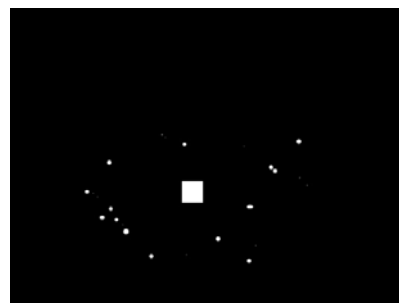
(ก)



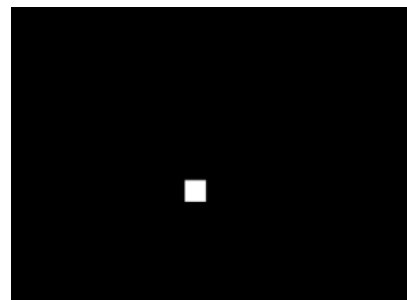
(ข)



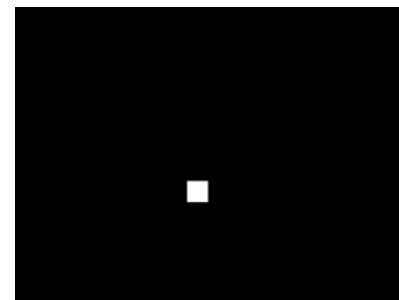
(ค)



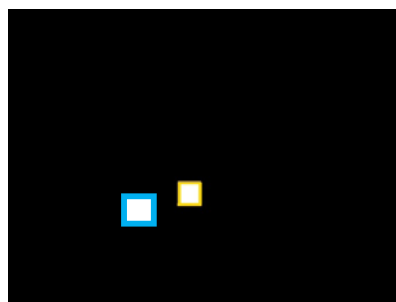
(ง)



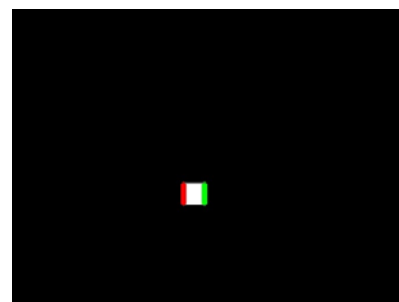
(จ)



(ฉ)



(ช)



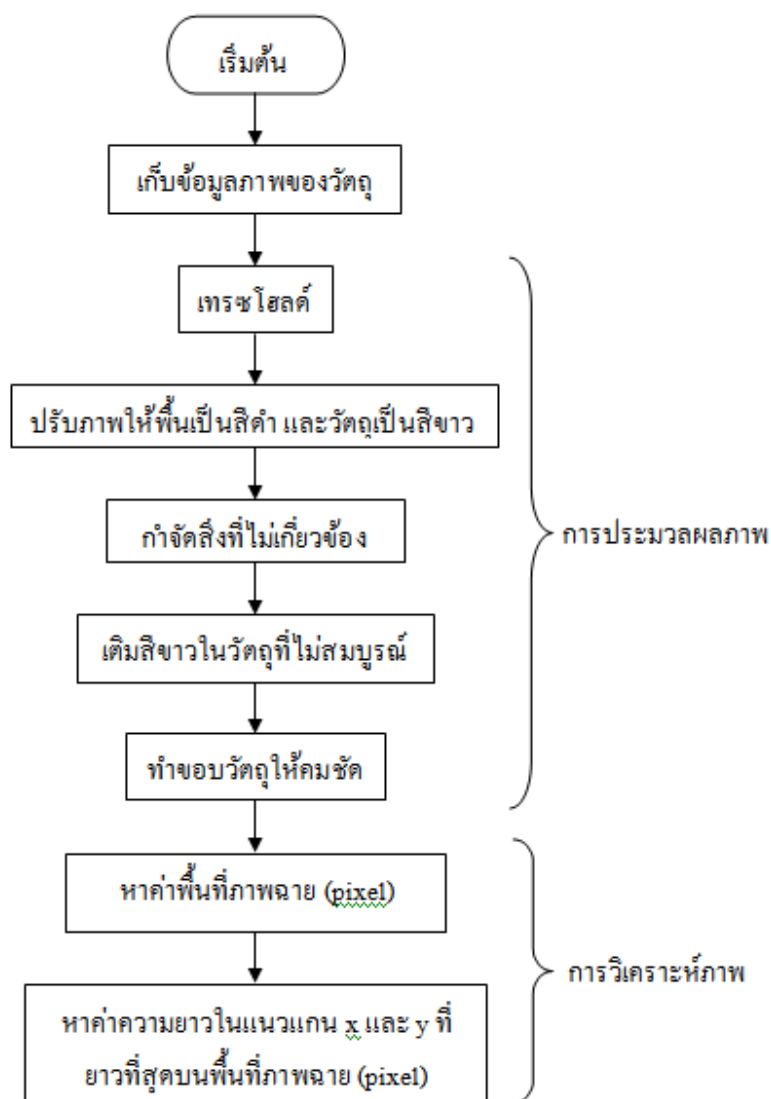
(ซ)

ภาพที่ 3.9 การประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ภาพอุปกรณ์สอบเทียบ

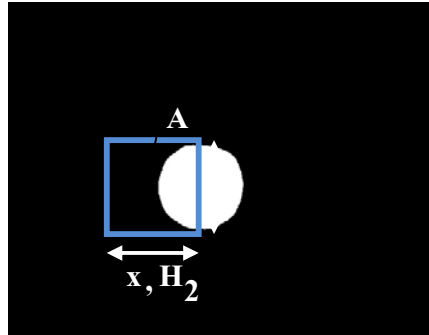
(ก) เก็บข้อมูลภาพ (ข) เทรซโฮลด์ (ค) ปรับภาพให้พื้นเป็นสีดำและวัตถุเป็นสีขาว (ง) กำจัดสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องออก (จ) เติมสีขาวในวัตถุให้สมบูรณ์ (ฉ) ทำขอบวัตถุให้คมชัด (ช) หาค่าพื้นที่ภาพฉายของวัตถุ (ซ) หาค่าความยาวของวัตถุ

- การประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพวัตถุในมุมมองที่ 1

ขั้นตอนการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพวัตถุในมุมมองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 3.10 ซึ่งการประมวลผลภาพวัตถุในมุมมองที่ 1 มีขั้นตอนเช่นเดียวกับการประมวลผลภาพอุปกรณ์สอบเทียบ การวิเคราะห์ภาพวัตถุในมุมมองที่ 1 แสดงดังภาพที่ 3.11 ซึ่งเป็นการหาค่าพื้นที่ภาพฉาย (Area, A) พร้อมทั้งหาความยาวในแนวแกน x และ y ที่ยาวที่สุดบนพื้นที่ภาพฉาย และหาค่าความสูงของอุปกรณ์สอบเทียบ โดยประมาณสำหรับสอบเทียบภาพมุมมองที่ 2 (H_2) ดังสมการ (3.3)



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ภาพในมุมมองที่ 1 ของวัตถุ



ภาพที่ 3.11 ภาพของวัตถุในมุมมองที่ 1 ที่ใช้ในการวิเคราะห์

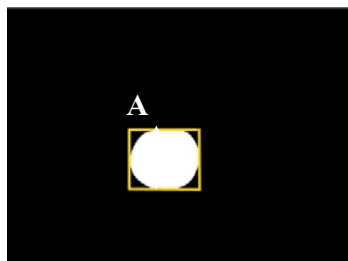
$$H_2 = \text{ความยาวแกน } x \times \text{สัมประสิทธิ์ความยาว} \quad (3.3)$$

- การประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพวัตถุในมุมมองที่ 2

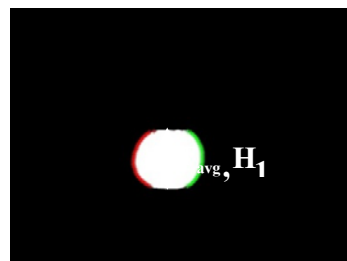
ขั้นตอนการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพวัตถุในมุมมองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 3.13 ซึ่งการประมวลผลภาพวัตถุในมุมมองที่ 2 มีขั้นตอนเช่นเดียวกับการประมวลผลภาพอุปกรณ์สอบเทียบและภาพวัตถุในมุมมองที่ 1 การวิเคราะห์ภาพวัตถุในมุมมองที่ 2 แสดงดังภาพที่ 3.12 โดยภาพที่ 3.12 (ก) แสดงการหาค่าพื้นที่ภาพฉาย (Area, A) และหาค่าความยาวในแนวแกน y ที่ยาวที่สุดบนพื้นที่ภาพฉาย ส่วนภาพที่ 3.13 (ข) นั้นแสดงการหาค่าความยาวเฉลี่ยในแนวแกน x พร้อมทั้งหาค่าความสูงของตัวสอบเทียบโดยประมาณสำหรับสอบเทียบภาพมุมที่ 1 (H_1) ดังสมการ (3.4) และหาค่าความหนาเฉลี่ยของวัตถุ (T_{avg}) ดังสมการ (3.5)

$$H_1 = \text{ความยาวแกน } y \times \text{สัมประสิทธิ์ความยาว} \quad (3.4)$$

$$T_{avg} = \frac{\text{พื้นที่ภาพฉายของวัตถุ (A)}}{\text{ความยาวเฉลี่ยในแนวแกน } x} \quad (3.5)$$

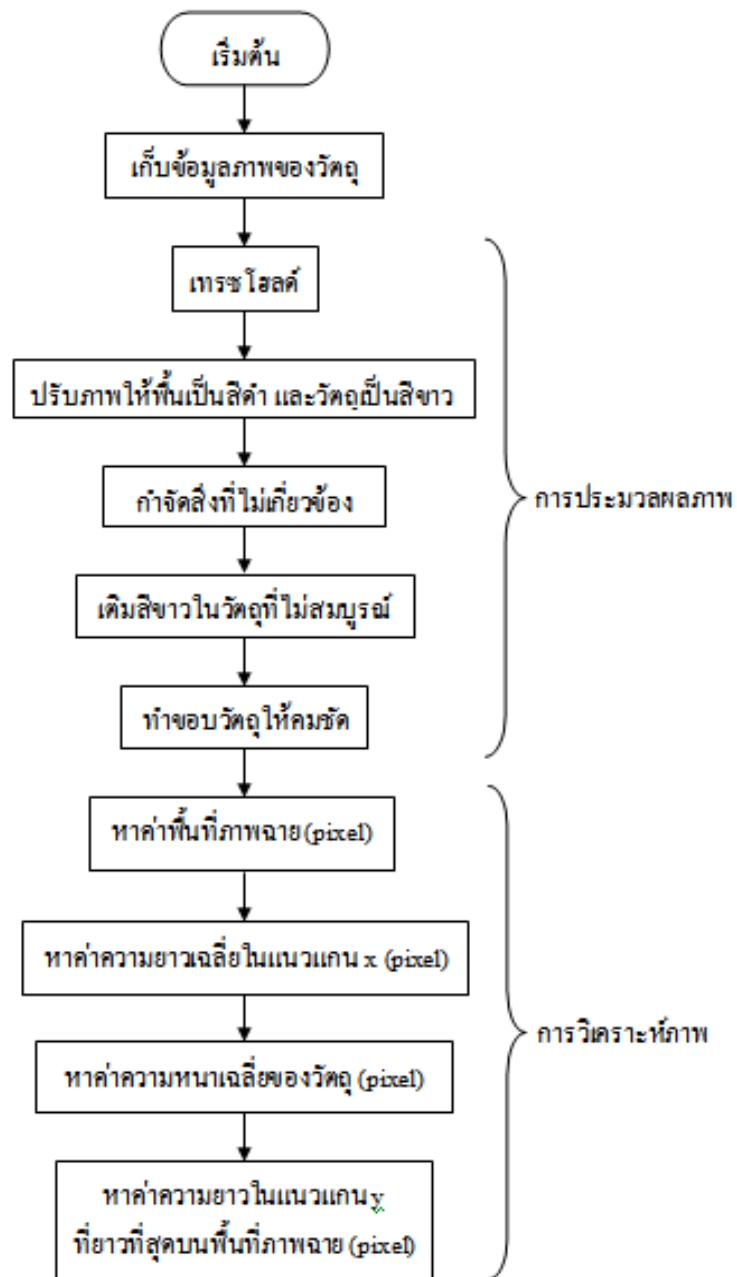


(ก)



(ข)

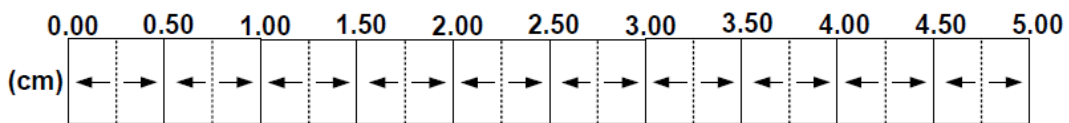
ภาพที่ 3.12 ภาพของวัตถุในมุมมองที่ 2 ที่ใช้ในการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ภาพในมุมมองที่ 2 ของวัตถุ

3) การสอบเทียบ

เมื่อป้อนภาพสองมิติเข้าไปยังโปรแกรม โปรแกรมจะวิเคราะห์ภาพเพื่อประมาณค่าความสูงของอุปกรณ์สอบเทียบ จากนั้นเลือกใช้อุปกรณ์สอบเทียบจำนวน 4 ตัวต่อภาพ ซึ่งมีหลักเกณฑ์ในการเลือกใช้อุปกรณ์สอบเทียบดังนี้ ถ้าความสูงของอุปกรณ์สอบเทียบมีค่าจุดทศนิยมอยู่ระหว่าง 0.00-0.25 หรือ 0.50-0.75 ให้ปิดค่าจุดทศนิยมความสูงลงเป็น 0.00 และ 0.50 ตามลำดับ และถ้าค่าจุดทศนิยมอยู่ระหว่าง 0.25-0.50 หรือ 0.75-1.00 ให้ปิดค่าจุดทศนิยมความสูงขึ้นเป็น 0.50 และ 1.00 ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น ค่าความสูงของอุปกรณ์สอบเทียบโดยประมาณของภาพมุมมองที่ 1 มีค่ามากกว่า 4.75 เซนติเมตร ให้เลือกอุปกรณ์สอบเทียบที่มีค่า 5 เซนติเมตร 1 ตัว และน้อยกว่า 5 เซนติเมตรอีก 3 ตัว และถ้าความหนาของภาพถ่ายในมุมมองที่ 2 มีค่าน้อยกว่า 4.75 เซนติเมตร ให้เลือกอุปกรณ์สอบเทียบที่มีค่า 4.5 เซนติเมตร 1 ตัว และน้อยกว่า 4.5 เซนติเมตรอีก 3 ตัว สรุปได้ว่าถ้าความหนาของภาพถ่ายในมุมมองที่ 2 มีค่าน้อยกว่า 4.75 ให้ปิดค่าลง และถ้ามีค่ามากกว่า 4.75 ให้ปิดค่าขึ้นดังภาพที่ 3.14 และการเลือกอุปกรณ์สอบเทียบของภาพมุมมองที่ 2 ก็มีเกณฑ์การเลือกในทำนองเดียวกัน



ภาพที่ 3.14 เกณฑ์ในการเลือกอุปกรณ์สอบเทียบ

หลังจากการเลือกอุปกรณ์สอบเทียบแล้ว โปรแกรมจะทำการสอบเทียบภาพของวัตถุในมุมมองที่ 1 เพื่อหาค่าพื้นที่ภาพฉายของวัตถุ (Area, A) ดังสมการ (3.6) และสอบเทียบภาพของวัตถุในมุมมองที่ 2 เพื่อหาค่าความหนาเฉลี่ยของวัตถุ (T_{avg}) ดังสมการ (3.7)

$$A \text{ (cm}^2\text{)} = A \text{ (pix)} \times \text{ค่าสัมประสิทธิ์พื้นที่ภาพฉาย (cm}^2\text{/pix)} \quad (3.6)$$

$$T_{avg} \text{ (cm)} = T_{avg} \text{ (pix)} \times \text{ค่าสัมประสิทธิ์ความยาว (cm/pix)} \quad (3.7)$$

4) การคำนวณหาปริมาตรของวัตถุ

การคำนวณหาปริมาตรของวัตถุสามารถคำนวณได้จากค่าพื้นที่ภาพฉายของภาพวัตถุทั้งในมุมมองที่ 1 และค่าความหนาเฉลี่ยของภาพในมุมมองที่ 2 ดังสมการ (3.8)

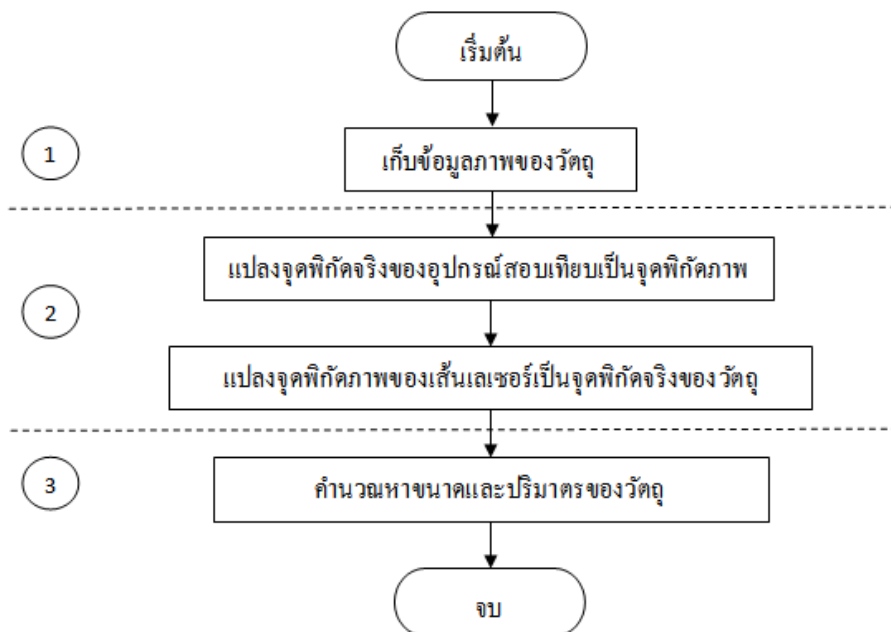
$$\text{ปริมาตรของวัตถุ (cm}^3\text{)} = \text{พื้นที่ภาพฉาย (cm}^2\text{)} \times \text{ความหนาเฉลี่ย (cm)} \quad (3.8)$$

3.2 การวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 3D

เทคนิค 3D คือการวัดปริมาตรของวัตถุจากภาพถ่ายสามมิติเพียงภาพเดียว ขั้นตอนและลำดับการทำงานของโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 3.15 (Suesut, 2006) ซึ่งมีรายละเอียดสำหรับ การเก็บข้อมูลภาพของวัตถุ การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพ และการคำนวณหาปริมาตรของวัตถุดังนี้

1) การเก็บข้อมูลภาพของวัตถุ

การเก็บข้อมูลภาพวัตถุในเทคนิค 3D เป็นการเก็บข้อมูลภาพสามมิติในรูปแบบ JPEG ด้วยกล้องดิจิทัล (ยี่ห้อโกดัก รุ่น M431) ซึ่งทำมุมกับระนาบของแสงเลเซอร์ 45 องศา ดังภาพที่ 3.16 โดยในภาพถ่ายต้องประกอบด้วยอุปกรณ์สอบเทียบคือ กระดาษขนาด A4 และเทปกาวพันสายไฟยี่ห้อ 3m สูง 1.78 เซนติเมตร และวัตถุที่ต้องการทราบปริมาตร โดยมีหลักการวางวัตถุดังนี้ วางตำแหน่งความกว้างของกระดาษที่ระนาบเดียวกับความกว้างของวัตถุ วางตำแหน่งความสูงของเทปกาวพันสายไฟที่ระนาบเดียวกับความสูงของวัตถุ และวางส่วนที่ยาวและสูงที่สุดของวัตถุให้เส้นเลเซอร์สีแดงตัดผ่าน ในที่นี้ใช้แสงเลเซอร์สีแดงที่มีค่าความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร เพื่อช่วยให้การพล็อตจุดทำได้ง่ายขึ้น จากนั้นป้อนรูปภาพเข้าไปยังหน้าต่าง GUI ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.17

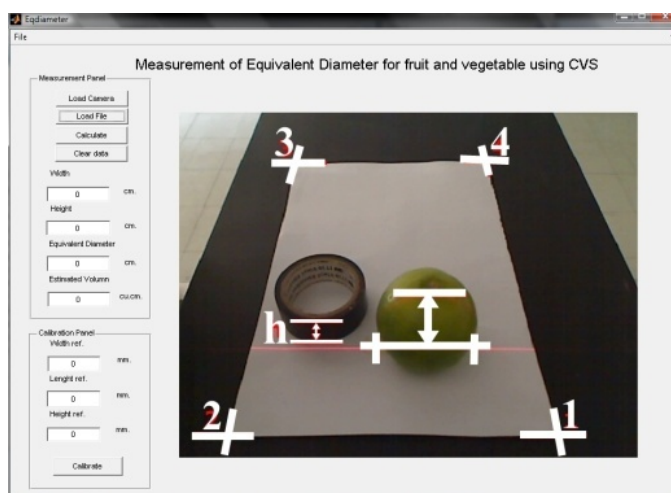


ภาพที่ 3.15 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพของเทคนิค 3D

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Suesut, 2006



ภาพที่ 3.16 การเก็บข้อมูลภาพของวัตถุสำหรับเทคนิค 3D



ภาพที่ 3.17 หน้าต่าง GUI ของเทคนิค 3D

2) การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพ

การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพของเทคนิค 3D ประกอบไปด้วยการแปลงจุดพิกัดจริงของอุปกรณ์สอบเทียบเป็นจุดพิกัดภาพ และการแปลงจุดพิกัดภาพของเส้นเลเซอร์เป็นจุดพิกัดจริงของวัตถุ

- การแปลงจุดพิกัดจริงของอุปกรณ์สอบเทียบเป็นจุดพิกัดภาพ

ป้อนค่าความกว้าง ความยาว และความสูงของอุปกรณ์สอบเทียบ แล้วพล็อตจุดพิกัดซึ่งเป็นจุดที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัตถุ โดยพล็อตจุดพิกัดจำนวน 4 จุดที่ขอบกระดาษ โดยสองจุดในแนวนอน (พิกัด 1-2 หรือ 3-4) เป็นคุณสมบัติความกว้างของอุปกรณ์สอบเทียบ และสองจุดในแนวตั้ง (พิกัด 1-4 หรือ 2-3) เป็นคุณสมบัติความยาวของกระดาษ แล้วพล็อตจุดพิกัดจำนวน 2 จุดที่เป็นขอบบนและล่างของเทปกาวซึ่ง

เป็นคุณสมบัติของความสูง (h) เมื่อพล็อตจุดครบแล้วก็ทำให้จุดพิกัดจริงเหล่านี้เป็นจุดพิกัดภาพด้วยการแปลงแบบโฮโมกราฟฟี โดยค่าโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดที่อยู่บนพิกัดจริงกับตำแหน่งของจุดที่อยู่บนพิกัดภาพ

- แปลงจุดพิกัดภาพของเส้นเลเซอร์เป็นจุดพิกัดจริงของวัตถุ

ทำการพล็อตจุดวัตถุที่ต้องการทราบปริมาตรจำนวน 4 จุดตามจุดพิกัดเส้นแสงเลเซอร์ที่ตัดผ่านวัตถุ ซึ่งเป็นค่าความกว้างและความสูงของวัตถุ จากนั้นทำให้จุดพิกัดภาพเหล่านี้เป็นจุดพิกัดจริงด้วยการแปลงแบบโฮโมกราฟฟี โดยใช้ค่าโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์จากอุปกรณ์สอบเทียบเป็นตัวแปลงจุดพิกัดภาพให้เป็นจุดพิกัดจริงของวัตถุ

3) การคำนวณหาปริมาตรของวัตถุ

เมื่อได้พิกัดจริงของวัตถุจากการแปลงแบบโฮโมกราฟฟีแล้ว สามารถคำนวณหาความกว้าง (width, W) และความสูง (height, H) ของวัตถุได้ โดยการหาระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด ดังสมการ (3.8) และ (3.9) ตามลำดับ

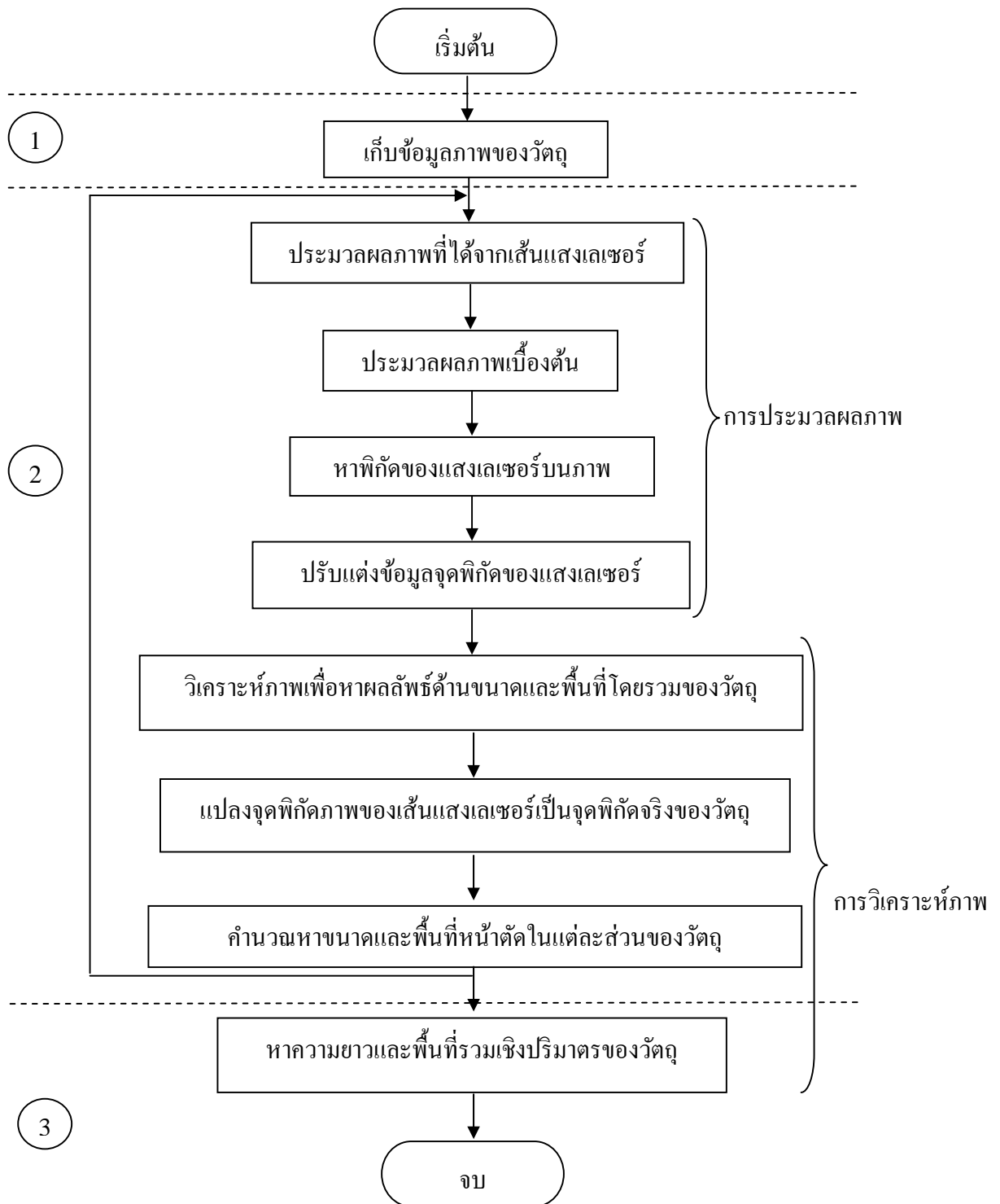
$$\text{ความกว้างของวัตถุ (W)} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (3.8)$$

$$\text{ความสูงของวัตถุ (H)} = \sqrt{(x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2} \quad (3.9)$$

จากขนาดความกว้างและความสูงที่ได้ ก็สามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลปริมาตรได้

3.3 การวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 3D-LLS

โปรแกรมการหาปริมาตรด้วยเทคนิค 3D-LLS มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ การเก็บข้อมูลภาพของวัตถุ การประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพ และการคำนวณหาปริมาตรของวัตถุ

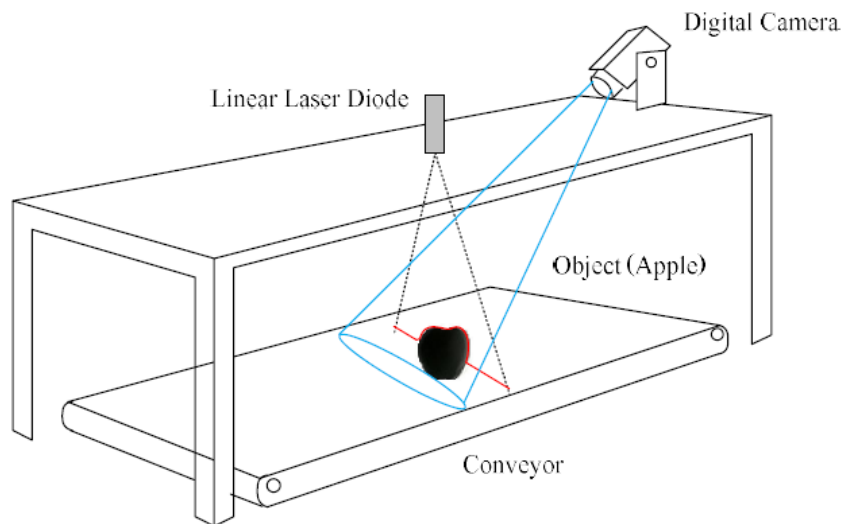


ภาพที่ 3.18 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพของเทคนิค 3D-LLS

ที่มา : ดัดแปลงมาจากนายพนรัตน์ สุขเกษม

1) การเก็บข้อมูลภาพของวัตถุ

การเก็บข้อมูลภาพของวัตถุเก็บเป็นภาพเคลื่อนไหวในรูปแบบไฟล์ AVI ดังภาพที่ 3.19 ด้วยกล้องเว็บแคม (ยี่ห้อ Logitech QuickCam ความละเอียด 640x480 พิกเซล ความเร็ว 30 เฟรมต่อวินาที) โดยวางวัตถุบนสายพานลำเลียงที่ใช้มอเตอร์กระแสสลับหนึ่งเฟสเป็นตัวขับเคลื่อน ควบคุมความเร็วของสายพานด้วยอินเวอร์เตอร์ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุต้องสัมพันธ์กับความเร็วในการจับภาพของกล้อง วัตถุเคลื่อนที่ผ่านแสงเลเซอร์แบบเส้นความยาวคลื่น 650 สิ่งสำคัญในการเก็บข้อมูลภาพของวัตถุคือการจัดสภาพแวดล้อมของแสงเพื่อลดผลกระทบจากแสงภายนอก เทคนิค 3D-LLS การสอบเทียบต้องทราบค่าตำแหน่งของจุดอย่างน้อย 4 จุด ดังนั้นจึงใช้ตารางหมากรุกที่มีความกว้างและความยาวเท่ากับ 30 มิลลิเมตร การเก็บภาพอุปกรณ์สอบเทียบทำเช่นเดียวกับการเก็บภาพวัตถุ



ภาพที่ 3.19 การเก็บข้อมูลภาพของเทคนิค 3D-LLS

2) การประมวลผลภาพและวิเคราะห์ภาพ

การประมวลผลจะดึงข้อมูลภาพมาประมวลผลทีละเฟรม จนครบจำนวนเฟรมทั้งหมด ทำการประมวลผลภาพเพื่อปรับแสงเลเซอร์ให้ชัดเจน และวิเคราะห์ภาพเพื่อคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดในแต่ละเฟรม ดังนี้

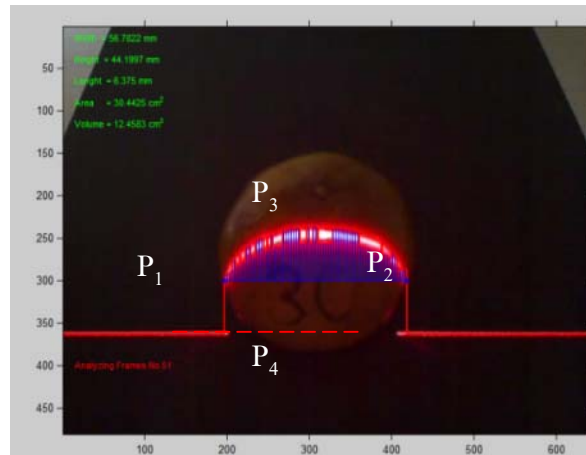
- การประมวลผลภาพที่ได้จากเส้นแสงเลเซอร์

นำภาพในแต่ละเฟรมมาประมวลผลเพื่อแยกบริเวณที่เป็นแสงเลเซอร์กับภาพพื้นหลัง ซึ่งเส้นเลเซอร์นี้จะเป็นคุณสมบัติเกี่ยวกับรูปทรงของวัตถุ การประมวลผลภาพแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การ

ประมวลผลภาพเบื้องต้น การหาพิกัดของแสงเลเซอร์บนภาพ และการปรับแต่งข้อมูลจุดพิกัดของแสงเลเซอร์ โดยการประมวลผลภาพเบื้องต้นเป็นการปรับแต่งภาพที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาพของวัตถุให้ดีขึ้นก่อนนำไปประมวลผลเพื่อหาบริเวณเส้นแสงเลเซอร์ โดยเก็บข้อมูลภาพของวัตถุเป็นภาพสี (RGB) และนำค่าความสว่างในแถบสีแดงมาประมวลผล ปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยการถ่ายภาพในที่มืดเพื่อลดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การหาพิกัดของแสงเลเซอร์บนภาพเป็นการตรวจหาระดับความสว่างที่เกิดขึ้นในภาพ หลังจากทำการปรับแต่งภาพแล้ว โดยหลักการหาบริเวณที่เป็นส่วนของแสงเลเซอร์จะใช้การเปรียบเทียบจุดพิกเซลของภาพกับค่าเทรชโวลต์ เพื่อเป็นการแยกบริเวณแสงเลเซอร์ออกจากพื้นหลังของภาพ ซึ่งค่าเทรชโวลต์จะเป็นค่าที่ทำการกำหนดขึ้นเพื่อแบ่งระดับความสว่างที่เป็นเลเซอร์กับระดับความสว่างที่เป็นพื้นหลัง ถ้าจุดพิกเซลใดๆ ในภาพมีความสว่างมากกว่าค่าเทรชโวลต์ให้กำหนดจุดนั้นเป็นจุดของเส้นแสงเลเซอร์ และการปรับแต่งข้อมูลจุดพิกัดของแสงเลเซอร์ เป็นการหาพิกัดของแสงเลเซอร์ให้มีความราบเรียบ เพื่อช่วยลดความผิดพลาดในการนำข้อมูลของรูปทรงวัตถุที่ได้จากแสงเลเซอร์ไปใช้ในการคำนวณหาขนาดของวัตถุ ทำได้โดยการประมาณค่าในช่วง (Interpolation)

- การวิเคราะห์ภาพเพื่อหาผลลัพธ์ด้านขนาดและพื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนของวัตถุ

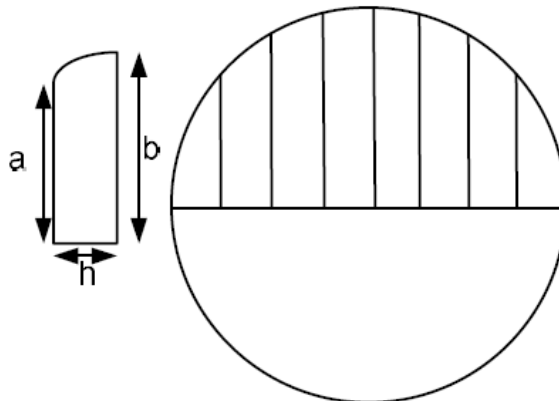
ในการหาขนาดของวัตถุจำเป็นต้องวิเคราะห์รูปทรงทางเรขาคณิตของวัตถุ เพื่อใช้ในการกำหนดจุดที่เป็นคุณสมบัติของความกว้างและความหนาของวัตถุ แล้วทำการแปลงจุดพิกัดบนภาพนี้ให้เป็นพิกัดจริงก่อนจะนำจุดพิกัดที่ได้ไปคำนวณหาขนาดและพื้นที่ของวัตถุ ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงวิธีการแปลงจุดพิกัดภาพของเส้นแสงเลเซอร์ไปเป็นจุดพิกัดจริงของวัตถุ และการคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนของวัตถุ โดยการแปลงจุดพิกัดภาพของเส้นแสงเลเซอร์เป็นจุดพิกัดจริงของวัตถุ ทำโดยการวิเคราะห์รูปทรงเรขาคณิตของวัตถุที่นำมาใช้ในการวัดขนาด ซึ่งมีจุดพิกัดอยู่ 4 จุด ที่จะเป็นจุดที่บอกถึงคุณสมบัติของวัตถุ โดยสองจุดในแนวนอนที่เป็นขอบซ้ายขวาของจุดพิกัดเส้นแสงที่ได้จะเป็นคุณสมบัติของความกว้างของวัตถุ และสองจุดในแนวตั้งคือจุดพิกัดของเส้นแสงเลเซอร์ที่มีค่าสูงสุดและจุดเส้นแสงอ้างอิง (จุดพิกัดของแสงเลเซอร์เมื่อไม่มีวัตถุตัดผ่าน) จะเป็นคุณสมบัติของความหนาหรือความสูงของวัตถุดังแสดงในภาพที่ 3.20 เมื่อได้จุดทั้ง 4 จุดจะต้องทำการทำให้จุดเหล่านี้ใช้เป็นจุดพิกัดจริงของวัตถุด้วยการแปลงแบบโฮโมกราฟฟี



ภาพที่ 3.20 จุดที่เป็นคุณสมบัติความกว้าง (P_1, P_2) และจุดที่เป็นคุณสมบัติความหนา (P_3, P_4)

การคำนวณหาขนาดและพื้นที่ที่หน้าตัดในแต่ละส่วนของวัตถุ เมื่อได้พิกัดจริงของวัตถุจากการแปลงแบบโฮโมกราฟฟีแล้ว สามารถคำนวณหาขนาดพื้นที่ในแต่ละเฟรมโดยการคำนวณหาพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูดังภาพที่ 3.21 และคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดได้ดังสมการ (3.10)

$$\text{พื้นที่หน้าตัด } A = 2 \int \frac{1}{2}(a+b)h \, dh \quad (3.10)$$



ภาพที่ 3.21 การแบ่งส่วนและคำนวณพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู

3) การคำนวณหาปริมาตรของวัตถุ

ข้อมูลรูปภาพในแต่ละเฟรมจากการเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านแสงเลเซอร์ สามารถนำมาคำนวณหาค่าความกว้างความหนาและพื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนของวัตถุได้ ซึ่งเมื่อนำจำนวนเฟรมที่มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแสงเลเซอร์จากการเคลื่อนที่ของวัตถุมารวมกันจะทำให้ได้เป็นข้อมูลของความยาวของวัตถุนั่นเอง โดยความละเอียดในการหาความยาวของวัตถุจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่และความเร็วในการเก็บภาพของกล้อง ซึ่งสามารถปรับความละเอียดในการวัดขนาดความยาวของวัตถุโดยการปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อนำพื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนมารวมกันก็จะได้เป็นพื้นที่โดยรวมหรือปริมาตรของวัตถุ

$$V = \sum_{n=1}^L A_n \quad (3.11)$$

เมื่อ L คือ ปริมาตร

A คือ พื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนของวัตถุ

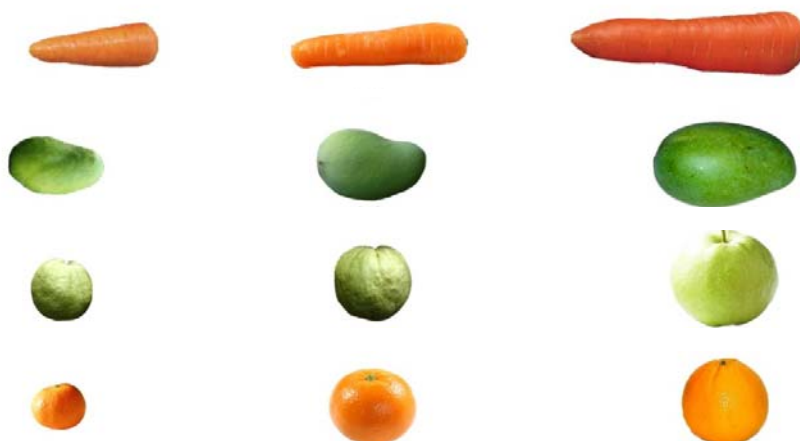
n คือ จำนวนเฟรมที่มีวัตถุตัดผ่านเส้นแสงเลเซอร์หรือความยาวของวัตถุ

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

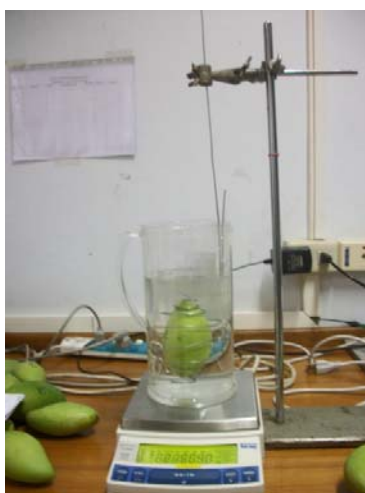
ผักและผลไม้ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แครอท มะม่วง ฝรั่งและส้ม โดยซื้อมาจากตลาดสดหัวตะเข้ และฝรั่งซื้อจากตลาดมีนบุรีชนิดละ 30 ลูก แบ่งออกเป็นขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่อย่างละ 10 ลูก ดังภาพที่ 4.1 โดยช่วงขนาดความยาวในแนวแกน a ของแครอท เท่ากับ 14.875-23.733 เซนติเมตร มะม่วง เท่ากับ 9.320-15.48 เซนติเมตร ฝรั่งเท่ากับ 6.497-9.935 เซนติเมตร และส้มเท่ากับ 3.000-6.945 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.1 เรียงผักและผลไม้ตามขนาดจากเล็กไปใหญ่

ทำการทดลองเพื่อหาปริมาตรผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิค 2D 3D และ 3D-LLS แล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาตรจริงซึ่งหาได้จากวิธีการแทนที่ด้วยน้ำ โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก (Shimadzu รุ่น UX3200G Japan ทศนิยม 3 ตำแหน่ง) ภาชนะรูปทรงกระบอกสูง 25 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ขดลวดจับยี่วัดตุ และริงสแตน (Ring stand) ที่มียูทิลิตี้แคลมป์ (Utility Clamp) เป็นแขนจับ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 น้ำหนักวัดตุที่ชั่งในน้ำแสดงถึงน้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยวัดตุ ดังนั้น ปริมาตรของวัดตุคำนวณได้จากสมการ (4.1)

$$\text{ปริมาตร (m}^3\text{)} = \frac{\text{มวลของของเหลวที่ถูกแทนที่ (kg)}}{\text{ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m}^3\text{)}} \quad (4.1)$$



ภาพที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาปริมาตรด้วยวิธีการแทนที่ด้วยน้ำ

คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัดปริมาตร โดยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นเปรียบเทียบกับ ปริมาตรที่ได้จากการแทนที่น้ำดังสมการ (4.2) จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (Analysis of Variance) และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรม SPSS version 14.0

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผิดพลาด} = \frac{(\text{ปริมาตรจากระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น} - \text{ปริมาตรจากการแทนที่น้ำ})}{\text{ปริมาตรจากการแทนที่น้ำ}} \times 100 \quad (4.2)$$

(%Error)

4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นสำหรับการวัดปริมาตรผักและผลไม้ที่มีรูปทรงต่าง ๆ ได้แก่ แครอท แดงร้าน มะม่วง ฝรั่งและส้ม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติ (2D) เทคนิคการวิเคราะห์ ภาพสามมิติ (3D) และเทคนิคการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน (3D-laser light sectioning, 3D-LLS) และการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแต่ละเทคนิคโดยเปรียบเทียบกับ ปริมาตรจริงที่วัดได้จากวิธีการแทนที่ด้วยน้ำ แสดงดังต่อไปนี้

4.2.1 การวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 2D ต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์สอบเทียบกับรูปทรงของผักและผลไม้รูปทรงต่างๆ เพื่อพิจารณาหาอุปกรณ์สอบเทียบที่เหมาะสม โดยเลือกจากอุปกรณ์สอบเทียบที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าความสูงของอุปกรณ์สอบเทียบมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการวัดปริมาตรผักและผลไม้รูปทรงต่าง ๆ ด้วยเทคนิค 2D ($P \leq 0.05$) โดยอุปกรณ์สอบเทียบที่มีความสูงเพิ่มขึ้นจะมีค่าความผิดพลาดน้อยลง เนื่องจากความสูงของอุปกรณ์สอบเทียบยังมีค่าสูงมากจนใกล้เคียงกับความสูงของผักและผลไม้ ทำให้ระยะการโปรเจกอุปกรณ์สอบเทียบกับผักและผลไม้อยู่ในระนาบใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับที่ Gundersen *et al.* (2004) กล่าวว่าไว้วางขนาดของวัตถุเปลี่ยนแปลงไปโดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดของการโปรเจก

เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของอุปกรณ์สอบเทียบของผักและผลไม้แต่ละชนิดพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการวัดปริมาตร แครอทและส้มสามารถแบ่งกลุ่มอุปกรณ์สอบเทียบได้ 3 กลุ่ม โดยอุปกรณ์สอบเทียบตัวที่ 3 ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเท่ากับ 3.283 และ 5.302% ตามลำดับ มะม่วงสามารถแบ่งกลุ่มอุปกรณ์สอบเทียบได้ 4 กลุ่ม โดยอุปกรณ์สอบเทียบตัวที่ 4 ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเท่ากับ 7.207% พิจารณาค่าความผิดพลาดจากการวัดปริมาตรฝรั่งด้วยเทคนิค 2D โดยใช้อุปกรณ์สอบเทียบต่าง ๆ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) โดยความผิดพลาดเฉลี่ยที่น้อยที่สุดของฝรั่งคือ 6.908% และจากการพิจารณาตารางที่ 4.1 แม้อุปกรณ์สอบเทียบตัวที่ 3 จะให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่น้อยที่สุดสำหรับการวัดปริมาตรแครอทและส้ม อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์สอบเทียบตัวที่ 3 และตัวที่ 4 จัดเป็นกลุ่มที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยเฉลี่ยที่สุดและอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นในการวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 2D จึงเลือกใช้ อุปกรณ์สอบเทียบตัวที่ 4 สำหรับผักและผลไม้ทั้ง 4 ชนิด

ตารางที่ 4.1 ความผิดพลาดเฉลี่ยจากการวัดปริมาตรผักและผลไม้ต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์สอบเทียบทั้ง 4 ตัว

อุปกรณ์สอบเทียบตัวที่	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)			
	แครอท	มะม่วง	ฝรั่ง	ส้ม
1	9.915±4.22 c	19.865±3.82 d	9.074±7.10 a	14.439±7.38 c
2	5.764±4.17 b	16.241±3.47 c	6.918±5.43 a	9.400±6.38 b
3	3.283±2.46 a	12.293±2.92 b	6.908±4.68 a	5.338±4.06 a
4	4.893±3.12 ab	7.201±3.70 a	8.069±5.99 a	5.302±4.94 a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังกันในแนวนอน แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-2 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความยาวแกนสั้นและแกนยาวของฝักและผลไม้มิมีผลต่อค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการวัดปริมาตรฝักและผลไม้มิรูปทรงต่างๆ ด้วยเทคนิค 2D ($P \leq 0.05$) เนื่องจากค่าความผิดพลาดในการวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 2D ขึ้นอยู่กับการพล็อตจุดอัตโนมัติของภาพในมุมมองที่ 2 โดยในการพล็อตจุดเพื่อหาระยะของขอบวัตถุในแนวแกน x จะต้องมีค่าใกล้เคียงกัน ยิ่งไปกว่านั้นฝักและผลไม้มิที่มีพื้นผิวขรุขระและมีรัศมีความโค้งสูงก็ส่งผลต่อค่าความผิดพลาดในการคำนวณหาปริมาตรเช่นกัน

เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของฝักและผลไม้มิแต่ละรูปทรงพบว่าสามารถแบ่งกลุ่มความผิดพลาดออกได้เป็น 3 กลุ่ม มะม่วงและฝรั่งอยู่ในกลุ่มที่มีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ 7.201 และ 8.069% ตามลำดับเนื่องจากมะม่วงมีรูปทรงที่ไม่สามารถบ่งบอกได้ในเชิงเรขาคณิต และการพล็อตจุดอัตโนมัติภาพมุมที่ 2 ของมะม่วงมีค่าระยะของขอบวัตถุในแนวแกน x แตกต่างกันอย่างมากระหว่างรูปทรง และฝรั่งถึงแม้จะรูปทรงใกล้เคียงกับทรงกลมซึ่งเป็นรูปทรงเชิงเรขาคณิตและการพล็อตจุดอัตโนมัติภาพมุมที่ 2 ของฝรั่งมีค่าระยะของขอบวัตถุในแนวแกน x ใกล้เคียงกันแต่มีพื้นที่ผิวที่ขรุขระ ส่วนแครอท ส้มก็มีรูปทรงใกล้เคียงกับรูปทรงเชิงเรขาคณิต การพล็อตจุดอัตโนมัติภาพมุมที่ 2 ก็มีค่าระยะของขอบวัตถุในแนวแกน x ใกล้เคียงกัน และมีพื้นที่ผิวที่เรียบอีกด้วย ค่าอัตราส่วนความยาวแกนสั้นและแกนยาวสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มเช่นกัน โดยแครอทอยู่ในกลุ่มที่มีค่าอัตราส่วนต่ำสุดที่ 0.210 ฝรั่งและส้มอยู่ในกลุ่มที่มีค่าอัตราส่วนสูงสุดที่ 0.904 และ 0.916 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของฝักและผลไม้มิชนิดต่าง ๆ จากการวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 2D

ชนิด	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนความยาว แกนสั้นและแกนยาว
แครอท	4.893±3.12 a	0.210±0.02 a
มะม่วง	7.201±3.70 bc	0.484±0.05 b
ฝรั่ง	8.069±5.99 c	0.904±0.03 c
ส้ม	5.302±4.94 ab	0.916±0.03 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังกันในแนวตั้ง แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.2.2 การวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 3D

ตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความยาวแกนสั้นและแกนยาวของผักและผลไม้มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการวัดปริมาตรผักและผลไม้รูปทรงต่าง ๆ ด้วยเทคนิค 3D ($P \leq 0.05$) โดยค่าอัตราส่วนความยาวแกนสั้นและแกนยาวมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาด สามารถแบ่งค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ ได้เป็น 3 กลุ่ม ฝรั่งและส้มอยู่ในกลุ่มที่มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำสุดคือ 12.265 และ 4.323% ตามลำดับ แครอทอยู่ในกลุ่มที่มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสูงสุดคือ 456.835% เนื่องจากเทคนิค 3D นี้ใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลในการคำนวณค่าปริมาตร จึงส่งผลให้ผักและผลไม้ที่มีค่าอัตราส่วนความยาวแกนสั้นและแกนยาวเข้าใกล้ 1 มีความผิดพลาดน้อย แต่อย่างไรก็ตามผักและผลไม้รูปทรงอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปทรงเชิงเรขาคณิต ก็สามารถหาปริมาตรได้จากเทคนิคนี้เช่นกัน แต่ต้องมีการคำนวณหาค่าปริมาตรให้สอดคล้องกับรูปทรงของผักและผลไม้ชนิดนั้นๆ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ จากการวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 3D

ชนิด	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนความยาว แกนสั้นและแกนยาว
แครอท	456.835±119.56 c	0.210±0.02 a
มะม่วง	48.186±8.80 b	0.484±0.05 b
ฝรั่ง	12.265±2.24 a	0.904±0.03 c
ส้ม	4.323±0.79 a	0.916±0.03 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังกันในแนวตั้ง แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.2.3 การวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 3D-LLS

ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความยาวแกนสั้นและแกนยาวไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการวัดปริมาตรผักและผลไม้รูปทรงต่างๆ ด้วยเทคนิค 3D-LLS ($P \leq 0.05$) เนื่องจากค่าความผิดพลาดในการวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 3D-LLS ขึ้นอยู่กับความยาวในแนวแกน a ของผักและผลไม้ที่วางบนสายพาน เนื่องจากความเร็วรอบของมอเตอร์ไม่สัมพันธ์กับความเร็วในการจับภาพของกล้องวิดีโอ เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของผักและผลไม้รูปทรงต่างๆ พบว่าไม่สามารถแบ่งกลุ่ม

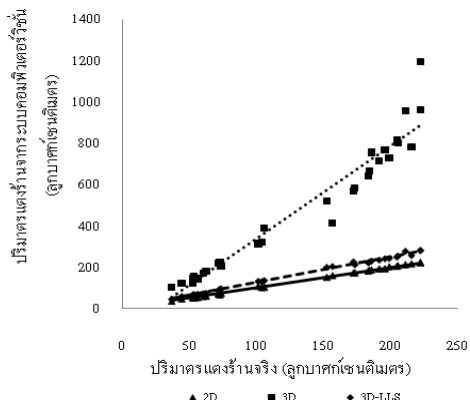
ได้ แสดงให้เห็นถึงค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในช่วง 0.521-0.799% โดยส้มมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 0.521% เนื่องจากมีลักษณะความสมมาตรสูงและมีค่าความยาวในแกน a ต่ำกว่าผักและผลไม้รูปทรงอื่นๆ มะม่วงมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.799% เพราะมีลักษณะความสมมาตรต่ำ และมีค่าความยาวในแนวแกน a สูง

ตารางที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ จากการวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 3D-LLS

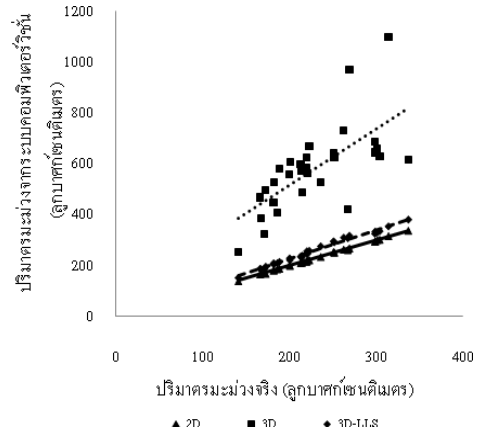
ชนิด	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนความยาว แกนสั้นและแกนยาว
แครอท	0.709±0.56 a	0.210±0.02a
มะม่วง	0.799±0.58 a	0.484±0.05b
ฝรั่ง	0.570±0.43 a	0.904±0.03c
ส้ม	0.521±0.33 a	0.916±0.03c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังกันในแนวตั้ง แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

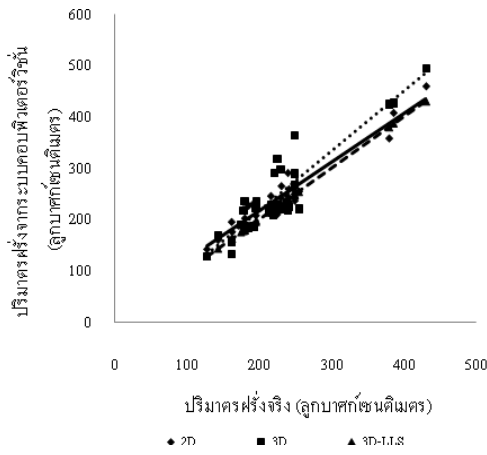
เมื่อเปรียบเทียบการวัดปริมาตรของผักและผลไม้ทั้ง 4 ชนิด ด้วยเทคนิค 2D 3D และ 3D-LLS ดังภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4-5 และ 4-6 พบว่าการวัดปริมาตรด้วยเทคนิค 3D-LLS ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยน้อยที่สุด การวัดปริมาตรของแครอท และมะม่วงสามารถนำเทคนิค 2D และ 3D-LLS มาประยุกต์ใช้ได้ โดยเทคนิค 3D-LLS มีค่าความแม่นยำที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจริงกับปริมาตรที่ได้จากเทคนิค 3D-LLS พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Squared) เข้าใกล้ 1 และสมการความสัมพันธ์มีแนวโน้มในเชิงเส้นตรง ซึ่งมีความชันมากกว่าเทคนิคอื่นๆ การวัดปริมาตรของฝรั่งและส้มนั้นสามารถนำเอาเทคนิคทั้ง 3 เทคนิคมาประยุกต์ใช้ได้ โดยเทคนิค 2D และ 3D มีความแม่นยำที่ใกล้เคียงกัน เทคนิค 3D-LLS มีความแม่นยำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจริงกับปริมาตรที่ได้จากเทคนิค 3D-LLS พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Squared) เข้าใกล้ 1 และสมการความสัมพันธ์มีแนวโน้มในเชิงเส้นตรง ซึ่งมีความชันมากกว่าเทคนิคอื่นๆ



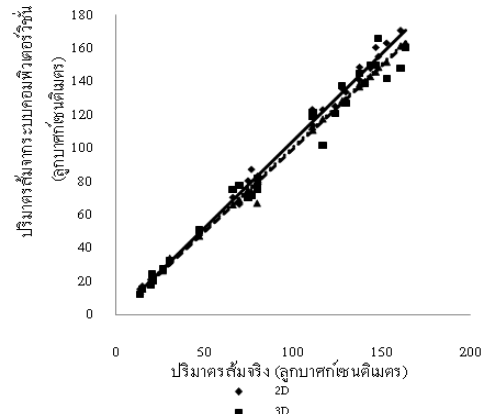
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจริงกับปริมาณจากระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นทั้ง 3 เทคนิคของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจริงกับปริมาตรจากระบบคอมพิวเตอร์วีชันทั้ง 3 เทคนิค และค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดคลื่นใจ (R-Squared) ของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ

ชนิด	เทคนิค	สมการความสัมพันธ์	R-Squared
แครอท	2D	$y=0.859x+15.62$	0.970
	3D	$y=5.886x-50.71$	0.533
	3D-LLS	$y=1.000x-0.202$	0.998
มะม่วง	2D	$y=0.988x+0.535$	0.986
	3D	$y=2.195x+77.15$	0.462
	3D-LLS	$y=1.130x-1.503$	0.998
ฝรั่ง	2D	$y=0.947x+27.61$	0.934
	3D	$y=1.001x-15.49$	0.835
	3D-LLS	$y=1.163x-0.124$	0.999
ส้ม	2D	$y=0.997x-0.167$	0.994
	3D	$y=0.999x+1.190$	0.979
	3D-LLS	$y=1.047x-0.148$	0.997

ซึ่งเทคนิค 2D สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับผักและผลไม้ที่มีรูปทรงเชิงเรขาคณิต มีพื้นผิวเรียบและมีรัศมีความโค้งต่ำ เทคนิค 3D สามารถนำไปประยุกต์ได้กับผักและผลไม้ที่มีรูปทรงกลมและมีลักษณะสมมาตร แต่อย่างไรก็ตามสามารถนำเอาเทคนิค 3D มาประยุกต์ใช้กับผักและผลไม้ที่มีรูปทรงเชิงเรขาคณิตอื่นๆ ได้โดยปรับแก้สมการการหาปริมาตรให้สอดคล้องกับรูปทรงของผักและผลไม้ชนิดนั้นๆ จากค่าความกว้างและความสูงของวัตถุ ส่วนเทคนิค 3D-LLS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับผักและผลไม้รูปทรงต่างๆ ที่มีลักษณะสมมาตร แม้ว่าเทคนิค 3D-LLS จะให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นดังนี้ การจัดสภาพสิ่งแวดล้อมของแสงเพื่อลดผลกระทบจากแสงภายนอกซึ่งเป็นข้อจำกัดของเทคนิค 3D เช่นเดียวกัน สามารถแก้ปัญหาได้โดยการติดตั้งกรองแสงที่กล้องเพื่อลดแสงรบกวนจากภายนอกโดยตัวกรองแสงจะทำหน้าที่ในการกรองใช้เฉพาะแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 650 นาโนเมตรเท่านั้น ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานต้องมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการจับภาพของกล้องวิดีโอ และสีของผักและผลไม้ ไม่ควรมีสีเดียวกับแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเทคนิค 3D เช่นเดียวกัน สำหรับเทคนิค 2D มีข้อจำกัดดังนี้ การวางวัตถุสำหรับเก็บข้อมูลภาพต้องวางให้ตรงตามหลักการวางวัตถุ ระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุ

และอุปกรณ์สอบเทียบควรมีระยะห่างที่เท่ากัน การติดตั้งกล้องถ่ายภาพต้องติดตั้งในแนวตั้งฉากกับวัตถุ ต้องควบคุมแสงในการถ่ายภาพให้เหมาะสม และการพล็อตจุดอัตโนมัติ จำนวนจุดต้องสัมพันธ์กับรูปทรงของผักและผลไม้ ส่วนเทคนิค 3D มีข้อจำกัดดังนี้ การติดตั้งกล้องควรติดตั้งให้ทำมุม 45 องศากับวัตถุ และอุปกรณ์สอบเทียบต้องมีขอบภาพที่คมชัดเพื่อใช้ในการพล็อตจุด

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ จากการวัดปริมาตรด้วยเทคนิคต่างๆ

ชนิด	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย		
	2D	3D	3D-LLS
แครอท	4.893±3.12 b, B	456.835±119.56 d, C	0.709±0.56 a, A
แตงร้าน	2.324±1.95 a, B	64.766±11.82 c, C	0.721±0.56 a, A
มะม่วง	7.201±3.70 cd, B	48.186±8.80 b, C	0.799±0.58 a, A
ฝรั่ง	8.069±5.99 d, B	12.265±2.24 a, C	0.570±0.43 a, A
ส้ม	5.302±4.94 bc, B	4.323±0.79 a, B	0.521±0.33 a, A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังกันในแนวตั้ง แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการวัดปริมาตรของผักและผลไม้โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสองมิติ (2D) เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสามมิติ (3D) และเทคนิคการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน (3D-laser light sectioning, 3D-LLS) เมื่อเปรียบเทียบการวัดปริมาตรทั้ง 3 เทคนิคพบว่า เทคนิค 3D-LLS มีประสิทธิภาพและแม่นยำมากที่สุด ซึ่งเป็นเทคนิคการวัดปริมาตรแบบต่อเนื่องสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องได้ทันที และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผักและผลไม้ที่มีรูปร่างต่างๆ และมีลักษณะสมมาตรได้ เทคนิค 2D เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำรองลงมาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดีกับผักและผลไม้ที่มีรูปร่างเชิงเรขาคณิต มีพื้นผิวเรียบและมีรัศมีความโค้งต่ำ เทคนิค 2D สามารถนำไปดัดแปลงให้เป็นเทคนิคการวัดปริมาตรแบบต่อเนื่องได้โดยติดตั้งกล้องจำนวน 2 ตัวเพื่อถ่ายภาพวัตถุสองมิติสองมุมมอง ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านบริเวณควบคุมแสงที่เป็นเทคนิคไฟหลัง ส่วนเทคนิค 3D นั้นเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำพอใช้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดีกับผักและผลไม้ที่มีรูปร่างทรงกลมและสมมาตร แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผักและผลไม้ที่มีรูปร่างเชิงเรขาคณิตอื่นๆ ได้โดยปรับแก้สมการการหาปริมาตรให้สอดคล้องกับรูปร่างของผักและผลไม้ชนิดนั้นๆ จากค่าความกว้างและความสูงของวัตถุ เทคนิค 3D สามารถนำไปดัดแปลงให้เป็นเทคนิคการวัดปริมาตรแบบต่อเนื่องได้โดยติดตั้งกล้องทำมุม 45 องศาเพื่อถ่ายภาพวัตถุสามมิติ ขณะวัตถุเคลื่อนที่บนสายพาน ที่มีตำแหน่งจุดพิกัดของอุปกรณ์สอบเทียบอยู่ในบริเวณใกล้เคียงที่กล้องสามารถจับภาพได้อย่างครอบคลุม และทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อพล็อตจุดอัตโนมัติ

การนำเทคนิคทั้ง 3 ไปดัดแปลงให้เป็นเทคนิคการวัดปริมาตรแบบต่อเนื่อง จะเห็นว่าเทคนิค 2D มีความซับซ้อนมากที่สุดเนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์เป็นจำนวนมาก ยากในการออกแบบและติดตั้ง ยิ่งไปกว่านั้นการควบคุมแสงด้วยเทคนิคไฟหลังให้เหมาะสมก็ทำได้ยาก เทคนิค 3D และ 3D-LLS เป็นเทคนิคที่ใช้จำนวนอุปกรณ์ไม่มาก ง่ายในการออกแบบและติดตั้ง แต่มีปัญหาในเรื่องของการลดผลกระทบจากแสงภายนอก ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นที่ได้นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ดีกับผักและผลไม้ที่มีรูปร่างหลากหลาย และสามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการพัฒนาหรือปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น

บรรณานุกรม

- จตุพล เพื่อกกลางเมือง, ศรศวัฒน์ ศรีศิริ, อภิชน ต้นตนนานท์ และเอกรัช พุทธิรักษา. เครื่องสร้างภาพสามมิติ ด้วยแสงเลเซอร์ [ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม]. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2546.
- ปฐมภรณ์ หิรัญลาก, ปริญญา เมฆโมก และพงศ์พันธ์ สมบัติพานิช. การควบคุมการทำงานของโปรแกรม MS Microsoft PowerPoint ด้วยการใส่สัญญาณมือ [ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์] กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2551.
- ปานมนัส ศรีสมบุรณ์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และสาทิป รัตนภาสกร. 2538. สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วราศิริ พวงมาลัย, วริศร์ วรเวทย์สกุล และวัชรพงษ์ คุปตวุฒินันท์. การรู้จำภาพใบหน้า [ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์] กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2551.
- Aleixos, N., Blasco, J., and Molto, E. 2003. Machine Vision System for Automatic Quality Grading of Fruit. Vol. 85 No. 4, Sciencedirect, 415-423.
- Awcock, G.W. and Thomas R, 1995. Applied Image Processing. THE MACMILLAN PRESS LTD, London.
- Bradley, B.D., Chan, A.D.C., and Hayes, M.J.D. 2008. A Simple, Low Cost, 3D Scanning System Using the Laser Light-Sectioning Method, IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Victoria, Canada, May 12–15, 2008.
- Brosnan, T., Sun, D.W. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision-a review. Vol.61, Elsevier, 3-16.
- Cey, K. 2006. A comparison of the antibacterial effectiveness of commercial fruit and vegetable washes using an *Escherichia coli* zone of inhibition test and an optical density test to measure bacterial presence on the surface of organic versus non-organic apples. Senior Seminar, St. Martin's University.
- Du, C.J. and Sun, D.W. 2006. Estimating the surface area and volume of ellipsoidal ham using computer vision. Vol.73, Elsevier, 260-268.

- Ferruh, E. and Rahmi, U. 2009. Potential use of 3-dimensional scanners for food process modeling. Vol.93, Elsevier, 337-343.
- Gundersen, H.J.G., Jensen, V., and Wulfsohn, D. 2004. Volume estimation from projections. *Journal of Microscopy*. Vol. 215 , Elsevie, 111–120.
- Hartley, R. and Zisserman, A. 2003. *Multiple View Geomerty in ComputerVision*. second ed. Cambridge University Press.
- Inthuset, S., Nunak, N., and Suesut, T. 2009. Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning. School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Jarimopas, B., Nunak, N., and Nunak, T. 2005. Electronic device for measuring volume of selected fruit and vegetables. Vol. 35, Elsevier, 25–31.
- Karplus, I., Shklyar, A., and Zion, B. 1999. Sorting fish by computer vision. Vol. 23, Elsevier, 175-187.
- Khojastehnazhand, M., Omid, M., and Tabatabaeefar, A. 2010. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. Vol.100, Elsevier, 315-321.
- Mohsenin, N.N. 1980. *Physical properties of plant and animal materials*. third ed. Gordon and Breach, Science Publisher Inc., New York.
- Nunak, N. and Suesut, T. 2009. Measuring Geometric Mean Diameter of fruits and vegetables using Light Sectioning Method. Vol. 31, Prince of Songkla University, 629-633.
- Ofner, R, O’Leary P., and Leitner, M. 2005. A Collection of algorithms for the determination of construction points in the measurement of 3D geometries via light-sectioning. Institute for Automation, University of Leoben, Austria.
- Ofner, R., O’Leary P., Schalk, P., and Gfrerrer, A. 2008. Measuring and Analyzing Cross-Sectional Profiles of Rotating Objects Using Light Sectioning. Vol. 57, No. 10, *IEEE Transaction on instrumentation and Measurement*, 2329–2338.
- Scott, U.E. 1998. *Computer Vision and Image Processing a practical approach using CVIPtools*. Prentice-Hall International (UK) Limited, England.
- Suesut, T. 2006. Assignment of measurement of 3D-Objects. Institute for Automation, University of Leoben, Austria.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว (หัวหน้าโครงการวิจัย)

ชื่อ-สกุล ผศ.ดร. นวภัทรา หนูนาคน

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 07 กันยายน 2519 อายุ 36 ปี

สถานภาพ โสด สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเกษตร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า- เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2542
M.Eng.	Post-Harvest and Food Process Engineering	Asian Institute of Technology	2545
Dr.Nat.tech	Food Technology	University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria	2549

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ... Food Properties (Mechanical, Optical, Thermal and Textural Properties),
Measurement and Instruments in Food Processing, Hygienic Design of Food Processing Equipment...

ตำรา

- นวภัทรา หนูนาคน และ ทวีพล ชื้อสตัย. 2555. การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 316 หน้า

ผลงานวิชาการ

International Journals

- Nunak N. and Schleining G. (2011). Instrumental Textural Changes in Raw White Shrimp during Iced Storage. Journal of Aquatic Food Product Technology, 20, 4, 350-360
- Pimpem Pornchaloempong Panmanas Sirisomboon and Navapattra Nunak. 2011.

Mass-Volume-Area properties of frozen Skipjack tuna. International Journal of Food Properties
Available online: 12 Feb 2011

- **N.Nunak** and T.Suesut. (2010). Measuring geometric mean diameter of fruits and vegetables using light sectioning method. Songklanakarin Journal Science Technology
- **Nunak N.** and Schleining G. (2006). A rapid blade cutting method for the evaluation of osmotic dehydration of apples and potatoes. Journal of Texture Studies, 37, 1, 80-92
- Jarimopas B., Nunak T., and **Nunak N.** (2005). Electronic device for measuring volume of selected fruit and vegetables. Postharvest Biology and Technology, 35, 25-31

National Journals

- **นวกัทธา หนูนาค และ อมรรัตน์ มุขประเสริฐ**, “จลนศาสตร์การถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติกไซโป้วหวาน”, วิศวกรรมสาร มข., ปีที่ 38, ฉบับที่ 1, มกราคม-มีนาคม 2554
- **นวกัทธา หนูนาค**, “ปัจจัยและกระบวนการเบื้องต้นที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลของชิ้นอาหารในระหว่างกระบวนการออสโมติก”, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 32, ฉบับที่ 1, มกราคม-มีนาคม 2552

Selected Proceedings

- **Navaphattra Nunak** and Kiattisak Roonprasang, “Use of Electrical Conductivity to Monitor Gel Forming of Soft-Tofu, Hanoi, Vietnam, 3rd -4th March, 2011
- **Navaphattra Nunak** and Taweepol Suesut, “Design of an Instrument for Concentration Control of Sugar Solution during Osmotic Process”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- **Navaphattra Nunak**, Teerawat Nunak and Taweepol Suesut, “Identification of Thermal Distribution in Liquid during Ohmic Heating Process by Infrared Thermography”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- **Navaphattra Nunak** and Taweepol Suesut, “Evaluation of White Shrimp Freshness during Iced Storage by Computer Vision”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010

- **Navaphattra Nunak** and Taweepol Suesut, “Fish Species Sorting and Size Estimation using Laser Light Sectioning”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- **Navaphattra Nunak** and Taweepol Suesut, “Electrical Conductivity of Bonito Tuna during Ohmic Thawing”, International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1st – 3rd April, 2009
- **Navaphattra Nunak**, Taweepol Suesut, and Sarayut Inthuset, “Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning”, International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1st – 3rd April, 2009
- **N.NUNAK** and G.SCHLEINING, “Evaluation of the water transfer in osmotically dehydrated fruit and vegetables using TA-XT2”, International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/ Production Technology, 21 – 24 January 2007, pp.
- Schleining, G. and **Nunak, N.** A rapid texture measurement method to determine the mass transfer in osmotically dehydrated plant products. In: Pedro Fito and Fidel Toldra: Intrafood 2005: Innovations in Traditional foods, 25-28 October, Valencia; Conference Proceedings, Vol 1, 261-264; Elsevier, London; ISBN 84-9705-880-1.

ประวัติส่วนตัว (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

ชื่อ-สกุล รศ.ดร.ทวิพล ชื่อสัตย์

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 18 เมษายน 2515 อายุ 40 ปีสถานภาพ โสด สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมการวัดคุม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า- เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2539
วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า- เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2541
Dr.Mont.	Automation	University of Leoben, Austria	2551

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ การออกแบบเครื่องจักรและระบบโรงงานอัตโนมัติ การวัดคุมและทดสอบ
ทางอุตสาหกรรม ระบบตรวจสอบด้วยมาชีนวิชั่น ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมอาหาร

ตำรา

- นวภัทรา หนูนาค และ ทวิพล ชื่อสัตย์. 2555. การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม
อาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 316 หน้า

ผลงานวิชาการ

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ (International Publications)

- o N.Nunak and T.Suesut, "Measuring geometric mean diameter of fruit and vegetable using
computer vision", Songklanakarin Journal Science Technology 2010, มี impact factor

ผลงานวิชาการ International Proceeding

Selected Presentations (ย้อนหลัง 3 ปี)

- o Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, "Design of an Instrument for Concentration Control of
Sugar Solution during Osmotic Process", International Conference on Precision Instrumentation and
Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010

- o Navaphattra Nunak, Teerawat Nunak and Taweepol Suesut, “Identification of Thermal Distribution in Liquid during Ohmic Heating Process by Infrared Thermography”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- o Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Evaluation of White Shrimp Freshness during Iced Storage by Computer Vision”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- o Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Fish Species Sorting and Size Estimation using Laser Light Sectioning”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010