

ระบบวิทัศน์จักรกลสำหรับวัดปริมาตรแบบต่อเนื่อง Machine Vision System for Continuous Volume Measurement

รัชพล ภิวัฒน์ภักพ และ รศ.ดร. ทวีพล ชื้อสัตย์*

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*ติดต่อ: ratchapol99@gmail.com และ kstaweep@kmitl.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการวัดปริมาตรของวัตถุรูปทรงสมมาตรแบบต่อเนื่องบนสายพานลำเลียง ระบบต้นแบบประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพจากกล้องที่รับภาพของลำแสงเลเซอร์ตัดขวางวัตถุด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยวัตถุจะเคลื่อนที่ไปบนสายพานลำเลียง ภาพของลำแสงเลเซอร์สีแดงที่ได้ผ่านตัวกรองแสงความยาวคลื่นย่านแคบที่ 650 nm เพื่อตัดแสงรบกวนจากภายนอกและทำการปรับปรุงภาพด้วย Bresenham's Line Algorithm และ Savitzky-Golay Filter เพื่อให้ได้โครงร่างของแสงเลเซอร์ที่สมบูรณ์ ก่อนนำมาคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ การคำนวณอาศัยการแปลงจำนวนพิกเซลของภาพให้เป็นหน่วยของพื้นที่ (ตารางมิลลิเมตร) ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ พื้นที่หน้าตัดจะถูกคำนวณและนำมารวมกันเป็นปริมาตรของวัตถุ ในการทดลองได้ทำการทดสอบความถูกต้องของระบบการวัดด้วยการวัดปริมาตรของวัตถุรูปทรงเรขาคณิตที่รู้ค่าปริมาตร ค่าผิดพลาดจากการทดลองอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ วิธีการที่นำเสนอนี้ จัดเป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายวัตถุ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องคัดขนาดแบบอัตโนมัติ เช่น ปลา พืชผลทางการเกษตรและอื่น ๆ ที่มีลักษณะรูปทรงสมมาตรได้เป็นอย่างดี

คำหลัก: การวัดปริมาตร; วิทัศน์จักรกล; ลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง

Abstract

This paper presents the 3-D continuous volume measurement on the conveyor for a symmetrical shape object. The prototype system consists of a computer image processing with the machine vision camera getting images of red laser line projected on the object using LabVIEW vision, the samples moved along the conveyor belt and the narrow band pass filter of a wavelength of 650 nm for eliminating the light from the environment. The image processing algorithms were applied to enhance the laser line image quality before computation the cross-sectional area of the object such as Bresenham's Line Algorithm and Savitzky-Golay. The pixels under the laser line were converted to the unit of area (sq.mm.). During the object moving on the conveyor, all area cross sections were integrated to the volume of the object. In the experiment, the accuracy of the measurement system is acceptable. Our scheme is a non-destructive method for measuring objects that can be applied to automate sizing machine such as fish, agricultural product and other symmetrical shapes as well.

CST-42

Keywords: Volume Measurement; Machine Vision; Laser Light Sectioning.

1. บทนำ

โดยทั่วไปการวัดปริมาณของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร เช่น ผลไม้ และ พืชผัก เนื้อปลาเนื้อสัตว์อื่น ๆ กำหนดด้วยน้ำหนัก โดยมูลค่าหรือราคาขึ้นอยู่กับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ แต่สำหรับสินค้าอุตสาหกรรมบางอย่าง จำเป็นต้องกำหนดขนาดโดย มิติเชิงเรขาคณิต [1] เช่น ความกว้าง ความยาว ความสูง พื้นที่หน้าตัด ปริมาตร เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดคุณภาพและปริมาณ

จุดมุ่งหมายของการวิจัยนี้คือการประมาณค่าของขนาดวัตถุ สำหรับการใช้ในการคัดแยกขนาดแบบอัตโนมัติบนสายพานลำเลียง โดยทำการวัดต่อเนื่องแบบไม่ทำลายวัตถุ เทคโนโลยีเครื่องจักรกลวิทัศน์ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินขนาดของผลิตภัณฑ์ สำหรับการตรวจสอบนี้ใช้วัดขนาดเป็นพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรของวัตถุโดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวัดขนาดวัตถุที่มีรูปทรงสมมาตร

โดยปกตินิยมใช้เทคนิคการประมวลผลภาพแบบสองมิติเพื่อหาขนาดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านการวัดที่ไม่มีข้อมูลความหนา ทำให้ผลการวัดที่ได้ไม่ถูกต้อง วิธีการลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง ซึ่งใช้การจับภาพของลำแสงเลเซอร์ที่ทะลุผ่านพื้นผิวของวัตถุ โดยเป็นการวัดแบบสองมิติ [7] เพื่อนำมาสร้างเป็นพื้นที่หน้าตัดและปริมาตร

เครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์สามมิติได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานหลายอย่าง เช่น การสร้างพื้นผิว [2] การสร้างแบบจำลองพื้นผิวและการตรวจสอบชิ้นงาน [3] [4] [6] และการวัดมิติเชิงเรขาคณิต [1] [8] [9] การติดตามตำแหน่งจากภาพเลเซอร์ในมุมมอง 3 มิติ ในระบบนำทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ [5] และการหาปริมาตรของวัตถุรูปทรงสมมาตรโดยใช้เทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง [10] ซึ่งใช้วิธีการแบบเดียวกัน แต่ใช้วิธีการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดจากสูตรทางเรขาคณิต และมีข้อจำกัดในการวางวัตถุ ซึ่งต้องวางวัตถุในแนวเส้นตรง สำหรับวิธีการที่ได้นำเสนอนี้สามารถหาปริมาตรของวัตถุได้ใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณ เมื่อวางวัตถุในมุมเอียงต่าง ๆ

ในบทความนี้นำเสนอการวัดปริมาตรของวัตถุรูปทรงสมมาตรต่าง ๆ เช่น รูปทรงกระบอก รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงสามเหลี่ยมและรูปทรงหกเหลี่ยม ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดขนาดของวัตถุและคำนวณเป็นปริมาตร นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเทคนิคการวัดปริมาตรจากภาพโครงร่างของแสงเลเซอร์ โดยทำการทดลองวางวัตถุในมุมเอียงที่แตกต่างกัน คือ ทำมุมกับสายพานลำเลียง -30° -15° 0° $+15^\circ$ $+30^\circ$ เพื่อศึกษาผลกระทบจากการวางวัตถุเอียง ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

วิธีที่ได้เสนอนี้จัดเป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายวัตถุสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการคัดขนาดของปลาและพืชผลทางการเกษตรอื่น ๆ ที่มีลักษณะรูปทรงสมมาตรได้เป็นอย่างดี

CST-42

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ระบบการวัดโดยใช้แสงเลเซอร์ตัดขวางวัตถุ

รูปที่ 1 แสดงระบบแสงเลเซอร์ตัดขวางสำหรับวัดปริมาตรของวัตถุ ซึ่งวัตถุตัวอย่างจะถูกวางบนสายพานลำเลียงที่สามารถปรับระดับความเร็วได้ โดยติดตั้งแสงเลเซอร์ให้เส้นของแสงเลเซอร์ฉายไปในทิศทางขวางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแสงเลเซอร์ตามลักษณะพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งเลเซอร์ที่ใช้เป็นเลเซอร์แบบเส้นสีแดงมีความยาวคลื่น 650 nm ขนาด 16 mW (Roithner Laser Technik, Austria) และทำการเก็บข้อมูลรูปภาพโดยใช้กล้องรุ่น Basler Scout SCA1000-30FC FireWire-b ความละเอียดในการรับภาพ 1032 Pixels x 778 Pixels และอัตราการเร็วในการรับภาพ 30 เฟรมต่อวินาที



รูปที่ 1 ระบบการวัดโดยใช้แสงเลเซอร์ตัดขวางวัตถุ

หลักการใช้แสงเลเซอร์ตัดขวางเป็นเทคนิคการวัดรูปทรงที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความสะดวกและง่ายในการออกแบบ โดยวิธีนี้เป็นการฉายแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ลงบนพื้นผิวของวัตถุ เพื่อให้เกิดเป็นลักษณะตามพื้นผิวของวัตถุที่แสงเลเซอร์ตกกระทบ ซึ่งส่วนมากแล้วแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์นี้จะใช้เส้นแสงเลเซอร์สีแดง เนื่องจากนำมาวิเคราะห์และประมวลผลได้ง่ายและช่วยลดขั้นตอนในการปรับแต่งรูปภาพ แสงที่กระทบกับพื้นผิวของวัตถุจะถูกจับภาพและบันทึกไว้ด้วยกล้องที่วางทำมุมเอียงกับแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ โดยข้อมูลรูปภาพที่ได้มาจะเปรียบเสมือนเป็นข้อมูลความสูงและความกว้างของ

แต่ละจุดบนพื้นผิวของวัตถุ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ก็จะได้ข้อมูลในส่วน ถัดไปของวัตถุในลักษณะของภาพตัดขวางของแต่ ละส่วนดังรูปที่ 2 และนำมารวมกันเพื่อสร้างเป็นระบบพิกัดสามมิติที่เป็นตัวบอกได้ถึงความกว้าง ความยาวและความสูงของวัตถุนั้น ๆ



รูปทรงกระบอก



รูปทรงสี่เหลี่ยม



รูปทรงสามเหลี่ยม

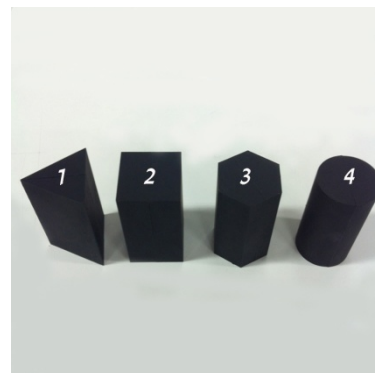


รูปทรงหกเหลี่ยม

รูปที่ 2 แสดงภาพแสงเลเซอร์ตัดขวางวัตถุรูปทรงสมมาตรต่าง ๆ

2.2 วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ใช้เวอเนียร์ทำการวัดขนาดความกว้าง ความยาวและความสูง ของวัตถุรูปทรงกระบอก รูปทรงสี่เหลี่ยม รูป ทรงสามเหลี่ยม และรูป ทรงหกเหลี่ยม เพื่อทำการสอบเทียบ ค่าที่ได้จากวิธีการที่ได้นำเสนอ กับ ค่าที่ได้จากการ คำนวณ เพื่อ หาค่าเปอร์เซ็นต์ ความผิด พลาดของการวัดความยาวของวัตถุและปริมาตร



(1) รูปทรงสามเหลี่ยม (2) รูปทรงสี่เหลี่ยม
(3) รูปทรงหกเหลี่ยม (4) รูปทรงกระบอก
รูปที่ 3 วัตถุรูปทรงสมมาตรที่ใช้ในการทดสอบ

CST-42

2.3 การประมวลผลภาพ

การรวมพื้นที่ของแต่ละส่วนให้เป็นปริมาตร

จากรูปที่ 4 แสดง ขั้นตอนการประมวลผลภาพ และรูปที่ 5 แสดง ภาพที่ได้จาก ขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่ง ถูก ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม LabVIEW 2013 และรับ ภาพมาจากกล้อง Basler ทำการปรับปรุงภาพก่อน การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด โดยแต่ละ กระบวนการมี รายละเอียดดังต่อไปนี้

- Extract Color Planes (RGB – Red Plane 8 Bit Image)
เป็นกระบวนการดึงโครงสร้างของแสงเลเซอร์สีแดงที่ต้องการออกจากภาพ ภาพที่ได้เป็นภาพ 8-bit grayscale
- Threshold Setup and Lookup Table
เป็นกระบวนการแยก โครงสร้างของแสงเลเซอร์ ที่มี ค่าความเข้มของแสงอยู่ใน Range ตามที่ต้องการ ออกจากภาพและเปลี่ยนภาพให้เป็น Full Grayscale [0, 255] หรือมีเฉพาะสีดำกับสีขาว เท่านั้น
- Profile Extraction (Center of Gravity Calculation) หรือ COG
เป็นกระบวนการหาค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละคอลัมน์ ของภาพ เมื่อหาครบทุกคอลัมน์ จะได้เส้นโครงสร้าง ของแสงเลเซอร์หรือวัตถุ
- Bresenham's Line Algorithm
เป็นกระบวนการเติม Pixel ที่ขาดของเส้น COG ทำให้สมบูรณ์ใกล้เคียงกับโครงสร้างจริงของวัตถุ
- Savitzky-Golay Filter Process
เป็นกระบวนการ ทำให้เส้น COG ราบเรียบขึ้น สมบูรณ์ ใกล้เคียงกับโครงสร้างจริงของวัตถุมากยิ่งขึ้น
- Cross Section Image Process
เป็นกระบวนการเติมพื้นที่ของ Cross Section ด้วย Pixel สีขาวให้เต็มในแนวแกน Y
- Volume Calculation
เป็นกระบวนการแปลงจำนวน Pixel สีขาวของ ภาพในแต่ละ Cross Section ให้เป็นพื้นที่และทำ

CST-42

2.4 การคำนวณหาเส้น COG

วิธีการหาจุดศูนย์กลาง (Central of Gravity) คือ การหาค่าเฉลี่ยของพิกัดของภาพ จากแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุ เนื่องจากแสงเลเซอร์มีความกว้างและความเข้มแสงที่ไม่เท่ากันทุกจุด การหา COG คือการหาค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละคอลัมน์ของภาพ ดังสมการข้างล่าง

$$COG = \frac{\sum yI(y,x)}{\sum I(y,x)} = \frac{W_m}{m} \quad (1)$$

$I(y,x)$ คือความเข้มของระดับสีเทาและมีย่านน้อยกว่า Threshold

y คือแถวในแนวแกน y

W_m คือผลรวมของค่าความเข้มของระดับสีเทาคูณกับค่าตำแหน่งของแถว y

m ผลรวมของค่าความเข้มระดับสีเทา

2.5 การคำนวณหาความยาวของวัตถุ

การคำนวณหาความยาวของวัตถุ ใช้สมการความเร็วเส้นตรงคือความเร็วไปหน้าหรือถอยหลัง วัตถุเป็นแนวตรง ดังสมการข้างล่าง

$$V = \frac{s}{t} \quad (2)$$

ดังนั้นความยาวของวัตถุ

$$s = Vt \quad (3)$$

V ความเร็วของสายพานลำเลียง (มิลลิเมตร/วินาที)

s ความยาวของวัตถุ (มิลลิเมตร)

t เวลาที่วัตถุตัดผ่านเส้นแสงเลเซอร์ (วินาที)

2.6 การคำนวณหาปริมาตร

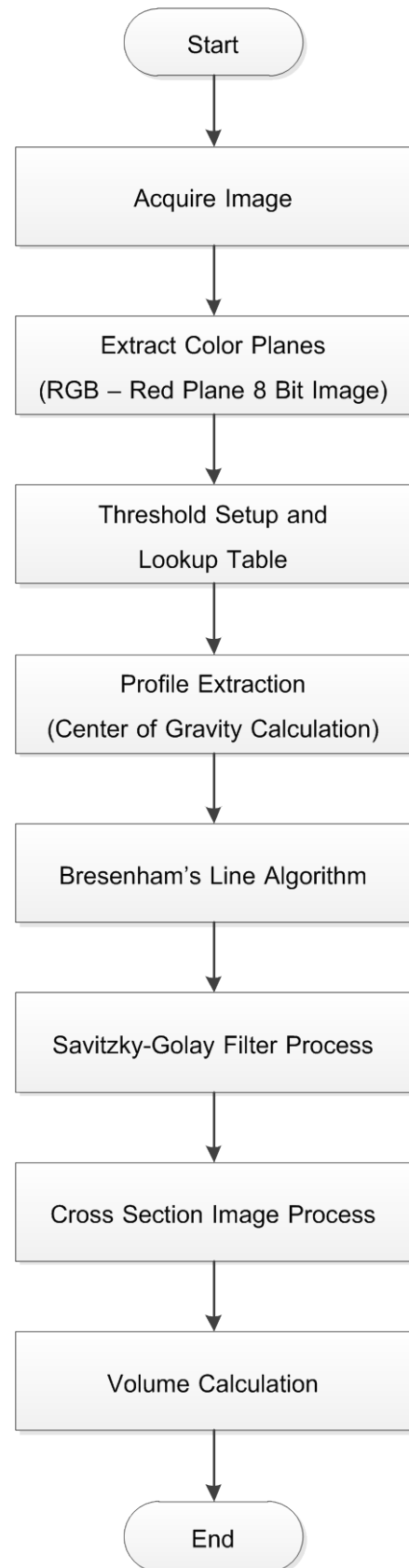
นำพื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วน ที่ได้จากการแปลงจำนวน Pixel ของภาพให้เป็นพื้นที่ (ตารางมิลลิเมตร) มารวมกันให้เป็นปริมาตร (ลูกบาศก์มิลลิเมตร) ดังสมการข้างล่าง

$$V = \sum_{j=1}^L A_j \quad (4)$$

V คือปริมาตรหรือพื้นที่รวมของวัตถุ

A คือพื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนของวัตถุ

L คือจำนวนเฟรมที่มีวัตถุตัดผ่านเส้นแสงเลเซอร์ หรือความยาวของวัตถุ



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพ

CST-42

Acquire Image



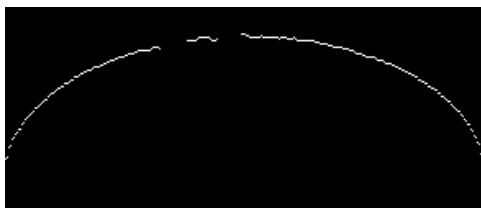
Extract Color, Threshold Setup and Lookup Table



Compare Image with COG Image



Profile Extraction (COG Image)



Bresenham Image



Savitzky-Golay Filter Image



Cross Section Image

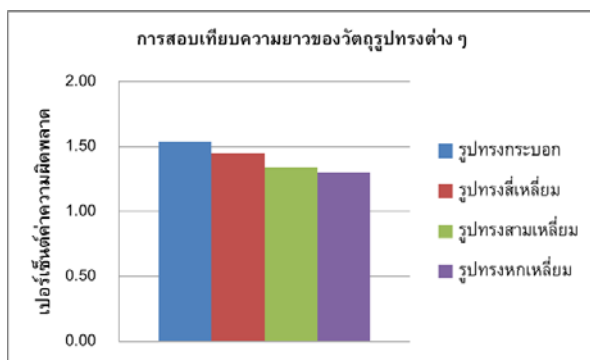


รูปที่ 5 แสดงภาพที่ได้จากขั้นตอนต่าง ๆ

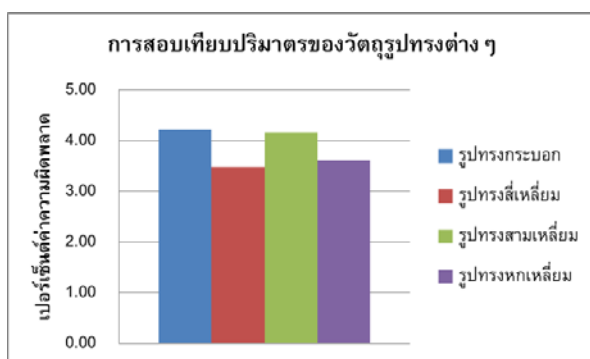
CST-42

2.7 การสอบเทียบความยาวและปริมาตร

ในการทดลอง ได้ทำการสอบเทียบความถูกต้องของระบบการวัดด้วยการสอบเทียบค่าความยาวและปริมาตรที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอกับวัตถุรูปทรงเรขาคณิตที่รู้ค่าความยาวและปริมาตร จากรูปที่ 6 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว พบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน จากรูปที่ 7 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของปริมาตร พบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ค่าความผิดพลาดจากการสอบเทียบค่าความยาวและปริมาตรอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับ



รูปที่ 6 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว



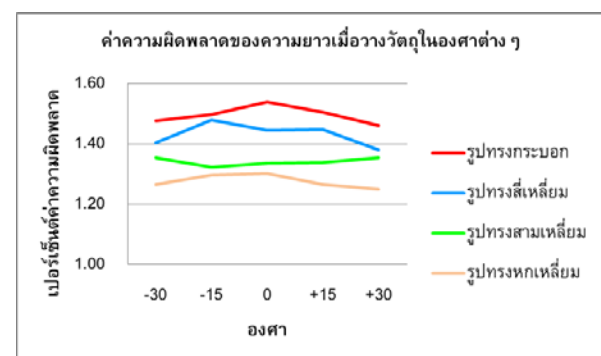
รูปที่ 7 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของปริมาตร

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด ในการวัด ความยาวของวัตถุเมื่อวางวัตถุ -30° -15° 0° $+15^{\circ}$ $+30^{\circ}$ ตามตารางที่ 1 และ รูปที่ 8 วัตถุ รูปทรงกระบอก รูปทรงสี่เหลี่ยม รูป ทรงสามเหลี่ยม และรูป ทรงหกเหลี่ยม มีค่าเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดสูงสุด 1.54% 1.48% 1.35% และ 1.30% ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำสุด 1.46% 1.38% 1.32% และ 1.25% ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย 1.49% 1.43% 1.34% และ 1.28% ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.03% 0.04% 0.01% และ 0.02% ตามลำดับ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวเมื่อวางวัตถุในองศาต่างๆ

องศา	วัตถุ			
	รูปทรงกระบอก	รูปทรงสี่เหลี่ยม	รูปทรงสามเหลี่ยม	รูปทรงหกเหลี่ยม
	ความผิดพลาด (%)	ความผิดพลาด (%)	ความผิดพลาด (%)	ความผิดพลาด (%)
-30	1.48	1.40	1.35	1.27
-15	1.50	1.48	1.32	1.30
0	1.54	1.45	1.34	1.30
+15	1.50	1.45	1.34	1.26
+30	1.46	1.38	1.35	1.25
Mean Error	1.49	1.43	1.34	1.28
Std Dev Error	0.03	0.04	0.01	0.02
Minimum Error	1.46	1.38	1.32	1.25
Maximum Error	1.54	1.48	1.35	1.30



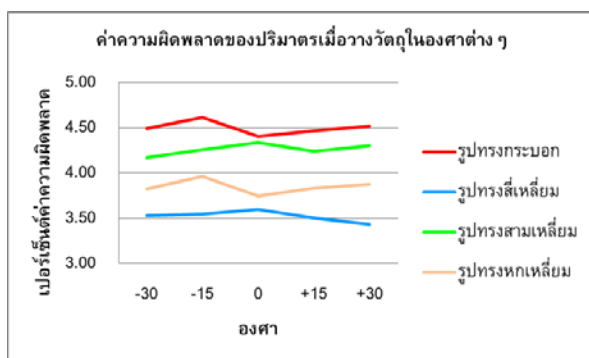
รูปที่ 8 แสดงกราฟค่าความผิดพลาดของความยาวเมื่อวางวัตถุในองศาต่าง ๆ

CST-42

จาก เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด ในการวัด ปริมาตรของวัตถุเมื่อวางวัตถุ -30° -15° 0° $+15^{\circ}$ $+30^{\circ}$ ตามตารางที่ 2 และ รูปที่ 9 วัตถุรูปทรงกระบอก รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงสามเหลี่ยม และรูปทรงหกเหลี่ยม มีค่าเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดสูงสุด 4.61% 3.59% 4.34% และ 3.96% ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดต่ำสุด 4.40% 3.43% 4.17% และ 3.74% ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย 4.50% 3.52% 4.26% และ 3.85% ตามลำดับ ค่า เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.08% 0.06% 0.06% และ 0.08% ตามลำดับ

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของปริมาตร เมื่อวางวัตถุในองศาต่างๆ

องศา	วัตถุ			
	รูปทรงกระบอก	รูปทรงสี่เหลี่ยม	รูปทรงสามเหลี่ยม	รูปทรงหกเหลี่ยม
	ความผิดพลาด (%)	ความผิดพลาด (%)	ความผิดพลาด (%)	ความผิดพลาด (%)
-30	4.49	3.52	4.17	3.82
-15	4.61	3.55	4.26	3.96
0	4.40	3.59	4.34	3.74
+15	4.46	3.50	4.24	3.83
+30	4.52	3.43	4.30	3.88
Mean Error	4.50	3.52	4.26	3.85
Std Dev Error	0.08	0.06	0.06	0.08
Minimum Error	4.40	3.43	4.17	3.74
Maximum Error	4.61	3.59	4.34	3.96



รูปที่ 9 แสดงกราฟค่าความผิดพลาดของปริมาตรเมื่อวางวัตถุในองศาต่าง ๆ

ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวและปริมาตร จากการทดลองวางวัตถุในองศาต่าง ๆ พบว่าค่าที่ได้จากวิธีการที่ได้นำเสนอกับค่าที่ได้จากการคำนวณ มีค่าใกล้เคียงกัน มีความแม่นยำอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

ค่าความผิดพลาดโดยรวมที่เกิดขึ้นของความยาวและปริมาตร เกิดมาจากวิธีการที่ใช้ในการหาเนื่องจากการเป็นการรวมพื้นที่หน้าตัดของแต่ละส่วนของวัตถุเข้าด้วยกัน หากค่าความยาวและพื้นที่หน้าตัดมีความผิดพลาดอยู่แล้วเมื่อนำมาคำนวณเป็นปริมาตร ก็จะทำให้เพิ่มค่าความผิดพลาดให้เพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย

4. สรุป

วิธีการที่ได้นำเสนอในบทความนี้ให้ผลลัพธ์ในการวัดความยาวและ ปริมาตรของวัตถุที่มีความแม่นยำสูงและมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดค่อนข้างต่ำ และจะมีความผิดพลาดอยู่บ้างพอสมควรในการวัดปริมาตรแต่ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการคำนวณขนาดหรือตรวจสอบวัตถุที่ไม่ได้ต้องการความแม่นยำสูงมาก หรือนำไปประยุกต์ใช้วัดขนาดและตรวจสอบวัตถุที่มีลักษณะรูปทรงที่สมมาตรและเป็นรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐานต่าง ๆ ได้แก่ รูปทรงกระบอก รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงสามเหลี่ยม รูปทรงหกเหลี่ยม รูปทรงกลม รูปทรงวงรี ผักและผลไม้

นอกจากนั้นวิธีการที่ได้เสนอนี้อาจเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปเป็นระบบอัตโนมัติแบบ Real-Time และพัฒนาให้เพิ่มความแม่นยำมากยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ระบบคัดแยกและตรวจสอบขนาดวัตถุดิบ ระบบคัดแยกและตรวจสอบขนาดชิ้นส่วน ระบบคัดแยกและตรวจสอบขนาดผลผลิตในอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร เป็นต้น

CST-42

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] N.Nunak & T.Suesut, Measuring geometric mean diameter of fruit and vegetable using computer vision, PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment-ICEE-2007, Thailand, 2007
- [2] B.D. Bradley, M.J.D. Hayes, & A.D.C. Chan, A simple low cost 3D scanning system using the laser light-sectioning method, IEEE conference on Instrumentation and Measurement Technology (I2MTC), 2008, British Columbia, Canada, 2008
- [3] F.Pernkopf & P.O'Leary, Image acquisition techniques for automatic visual inspection of metallic surfaces, NDT&E International, Vol.36, 2003, 609–617.
- [4] Y. Zhongdong, W. Peng, L. Xiaohui & S. Chang, 3D laser scanner system using high dynamic range imaging, Optics and Lasers in Engineering, 54, 2014, 31-41.
- [5] G.Fu, A.Menciassia & P. Dario, Development of a low-cost active 3D triangulation laser scanner for indoor navigation of miniature mobile robots, Robotics and Autonomous Systems, 60, 2012, 1317–1326
- [6] S. Ozan & S. Gümüstekin, Calibration of double stripe 3D laser scanner systems using planarity and orthogonality constraints Digital Signal Processing, Article in press, 2014.
- [7] A.Criminisi, I.Reid & A.Zisserman, Single View Metrology, International Journal of Computer vision, 40(2), 2000, 123 – 148.
- [8] P.O'Leary, M.Harker, & P.Zsombor-Murray, Direct least-squares fitting of coupled geometric object, IEE Proceeding Vision, Image and Signal Processing, Vol.152, 2005, 687-694.
- [9] N.Nunak & T.Suesut, Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning ,
- The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering, Thailand, 2009.
- [10] S.Gulphanich, M.Songthai & T.Suesut, Volume Estimation of Symmetrical Object Using Laser Light Sectioning, Proceedings of the IASTED International Conference Modelling, Identification and Control (MIC 2014) February 17 - 19, 2014 Innsbruck, Austria