

การวัดปริมาตรรูปทรงเรขาคณิตโดยการประมวลผลภาพ

GEOMETRY VOLUME MEASUREMENT USING
IMAGE PROCESSING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GEOMETRY VOLUME MEASUREMENT USING
IMAGE PROCESSING



A SPECIAL PROJECT SUMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BAHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULITY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวัดปริมาตรรูปทรงเรขาคณิตโดยการประมวลผลภาพ	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเบญจมาศ คำฟัก	รหัสนักศึกษา 58051090
	นางสาวอุทัยวรรณ ยอดดี	รหัสนักศึกษา 58051180
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2561	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการออกแบบสร้างเครื่องวัดปริมาตร 3 มิติและขั้นตอนการวัดปริมาตรวัตถุด้วยระบบเลเซอร์แกนเนอร์ 3 มิติ โดยการออกแบบระบบได้เลือกใช้วัสดุที่มีความทนทานและเบาเพื่อสามารถเคลื่อนย้ายได้ ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ที่ได้ออกแบบได้นำหัวยิงเลเซอร์แบบเส้นเป็นตัวกำเนิดแสง เพื่อที่จะยิงเลเซอร์ลงบนวัตถุที่นำมาวัดหาปริมาตร โดยที่วัตถุที่นำมาวัดต้องเป็นวัตถุทึบแสง วัตถุที่วัดถูกวางบนแผ่นจานหมุน ซึ่งได้ถูกควบคุมการหมุนโดยสตีปิ้งมอเตอร์ แล้วบันทึกข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้กล้องดิจิทัลในการบันทึกภาพจากนั้นทำการประมวลผลภาพและคำนวณตำแหน่งเส้นเลเซอร์บนผิววัตถุที่ได้จากข้อมูลภาพเพื่อคำนวณในการวัดปริมาตรได้พัฒนาโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB จากการทดลองวัดปริมาตรได้ใช้วัตถุรูปทรงเรขาคณิตที่มีความสมมาตรและวัตถุที่มีรูปทรงที่ไม่สมมาตรมาวัดปริมาตร ด้วยวัตถุรูปทรงเรขาคณิตที่นำมาวัดปริมาตร ได้แก่ รูปทรงกระบอก รูปทรงกลม รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงกรวย รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมด้านเท่า และได้นำถุงน้ำตาลทรายกับขวดน้ำมาวัดปริมาตร จากการทดลองพบว่าเลเซอร์ที่ได้ออกแบบนี้สามารถใช้วัดวัตถุรูปทรงสมมาตรมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวัตถุที่ไม่สมมาตรโดยให้รูปทรงใกล้เคียงกับวัตถุจริง ส่วนวัตถุที่เป็นขวดน้ำเลเซอร์สแกนเนอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนที่มากกว่าวัตถุรูปทรงเรขาคณิตโดยรูปทรงที่ได้ผิดเพี้ยนไปจากรูปทรงจริงรวมไปถึงขนาดด้วย

คำสำคัญ : เครื่องสแกนสามมิติ เลเซอร์แบบเส้น การประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Geometry measurement using image processing	
Students	Miss.Benjamas Kamfak	Student ID 58051090
	Miss.Utaiwan Yoddee	Student ID 58051180
Degree	Bachelor of Science	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2018	
Advisor	Dr. Bhanupol Klongratog	

Abstract

The propose of This special project is a study of the design of a 3D volumetric instrument and the process of measuring object volume using a 3D laser scanner system. The materials used in the design was durable and light weighted so the system is portable. The designed laser scanner system adopted a linear laser head as a light source so that it can illuminate certain part of the object under test. The object being measured must be opaque. A rotating plate which is controlled by a step motor was used as an object platform. The image was captured via a digital camera. Then, the image processing was used to calculate the laser line position on the surface of the object and calculate the volume of the object. The program was developed using MATLAB software. The objects under measurement include symmetrical geometric shapes, including a cylinder, a sphere, a cube, a cone, regular pentagonal pyramid, and irregular shapes, including a sugar bag and a water bottle. From the experiment, it is found that the calculated volume of symmetrical objects has less error than that of asymmetric objects. In addition, the scan result is resemble to the real objects. As for the water bottle, the laser scanner has a greater error than the geometric shape, with both the shape and size deviate greatly from the real object.

Keywords : 3D scanner, linear laser, image processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณ ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก ที่มีความเมตตาและกรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รวมทั้งได้ให้คำชี้แนะแนวทางดำเนินโครงการตั้งแต่ต้นจนจบโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์อนุพงศ์ สรงประภา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี ท่านคณะกรรมการที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และชี้จุดบกพร่องของโครงการ อันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาโครงการต่อไป

ขอบพระคุณอาจารย์ภาคพิสิทธ์ประยুক্ত คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานในการทำโครงการนี้

ขอบพระคุณนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือกับผู้ทำโครงการในการเก็บผลข้อมูลที่ใช้ในโครงการ

ขอบพระคุณภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ

และขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จของโครงการนี้ ซึ่งไม่ได้กล่าวนามไว้ที่ท่าน

เบญจมาศ คำฟัก
อุทัยวรรณ ยอดดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎี.....	3
2.1.1 วิธีในการเก็บข้อมูลสามมิติ.....	3
2.1.2 วิธีการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเครื่องสแกนสามมิติแบบใช้เลเซอร์แบ่งได้ 2 วิธี.....	4
2.1.3 หลักการวัดแสงเลเซอร์แบบเส้น.....	5
2.2 Laser Triangulation System.....	6
2.3 การประมวลผลภาพ.....	6
2.3.1 ความหมายของการประมวลผลภาพ.....	7
2.3.2 การวิเคราะห์รูปภาพ.....	7
2.3.3 การตีความรูปภาพ.....	7
2.3.4 รูปภาพ.....	8
2.3.5 ความหมายของพิกเซล.....	9
2.3.6 ความละเอียดของรูปภาพ.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

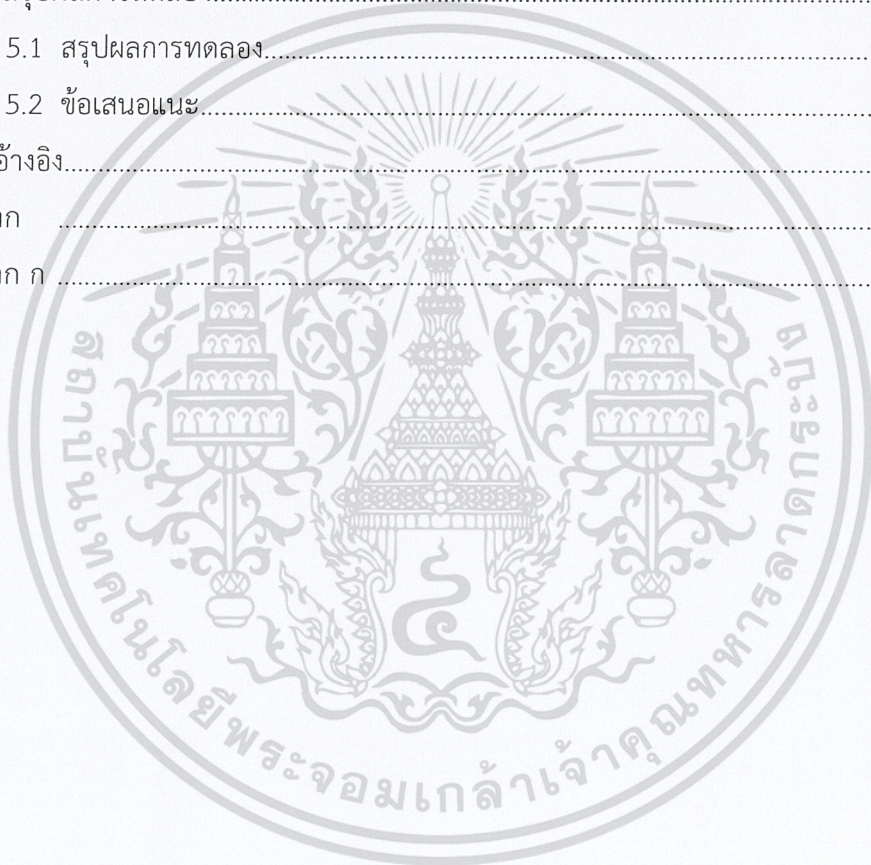
สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.7 รูปร่างของภาพ.....	9
2.3.8 ประเภทของภาพ.....	10
2.3.9 กระบวนการทำเทรซโฮลด์.....	12
2.3.10 การกรองข้อมูลภาพ.....	12
2.3.11 มาตรฐานของสี.....	13
2.4 เซนเซอร์ที่ใช้ในการรับภาพ.....	17
2.5 คุณสมบัติของ Image Sensor.....	19
2.6 วิธีการวัดปริมาตร.....	20
2.6.1 การวัดปริมาตรรูปทรงเรขาคณิตโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์.....	20
2.6.2 การวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต.....	21
2.6.3 ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น.....	22
2.6.4 วิธีการแทนที่ด้วยของน้ำ.....	23
2.7 การหาตำแหน่งบนเส้นเลเซอร์ในข้อมูลรูปภาพ.....	24
2.8 การคำนวณหาปริมาตรรูปทรงเรขาคณิตจากเส้นแสงเลเซอร์.....	26
2.9 การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน.....	27
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	30
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.2 ตำแหน่งอุปกรณ์บนเครื่องสแกนสามมิติ.....	31
3.2.1 การควบคุมการทำงานของเครื่องสแกนสามมิติ.....	31
3.2.2 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องสแกนสามมิติ.....	32
3.3 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ.....	36
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	38
4.1 การทดลองสแกนวัตถุรูปทรงกระบอก.....	38
4.2 การทดลองสแกนวัตถุรูปทรงกลม.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 การทดลองสแกนวัตถุรูปทรงกรวย.....	46
4.4 การทดลองสแกนวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	50
4.5 การทดลองสแกนวัตถุรูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยม.....	54
4.6 การทดลองสแกนกึ่งน้ำตาทราย.....	58
4.7 การทดลองสแกนขวดน้ำ.....	62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	66
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
เอกสารอ้างอิง.....	67
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก.....	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	2
4.1 ผลการวัดปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใช้อนุภาคที่ 2.21 และปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ปริมาตรรูปทรงกระบอกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38.....	41
4.2 ผลการวัดปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใช้อนุภาคที่ 2.20 และปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ปริมาตรรูปทรงกลมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38.....	45
4.3 ผลการวัดปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใช้อนุภาคที่ 2.22 และปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ปริมาตรรูปทรงกรวยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38.....	49
4.4 ผลการวัดปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใช้อนุภาคที่ 2.19 และปริมาณที่ได้ จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ปริมาตรรูปทรงสี่เหลี่ยมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38.....	53
4.5 ผลการวัดปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใช้อนุภาคที่ 2.23 และปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ปริมาตรรูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38.....	57
4.6 ผลการวัดปริมาณที่ได้จากการวัดโดยการแทนที่ด้วยน้ำโดยใช้อนุภาคที่ 2.28 และปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ปริมาตรของน้ำตาลทรายในถุงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38.....	61
4.7 ผลการวัดปริมาณที่ได้จากการวัดโดยการแทนที่ด้วยน้ำโดยใช้อนุภาคที่ 2.28 และปริมาณที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนของปริมาตรน้ำในขวดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่อง CMM.....	3
2.2 แสดงภาพเลเซอร์ตัดขวางวัตถุรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ.....	5
2.3 Laser Triangulation System.....	6
2.4 แสดงภาพบิตแมปและภาพแบบเวกเตอร์.....	8
2.5 ตัวอย่างภาพขยายภาพแบบบิตแมปและภาพขยายแบบเวกเตอร์.....	9
2.6 ภาพขาวดำ.....	10
2.7 ภาพระดับเทา.....	11
2.8 ภาพสี.....	11
2.9 ภาพดัชนี.....	12
2.10 แสดงการกรองภาพ.....	13
2.11 เซนเซอร์ CCD และ CMOS.....	17
2.12 แสดงโครงสร้างภายในของเซนเซอร์ CCD.....	17
2.13 แสดงโครงสร้างภายในของเซนเซอร์ CMOS.....	18
2.14 เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล.....	21
2.15 ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น.....	22
2.16 แผนภาพการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมระยะและมุมบนฐาน.....	24
2.17 ระบบพิกัดในการคำนวณหาตำแหน่งของเลเซอร์บนวัตถุ.....	24
2.18 การวิเคราะห์ทางเรขาคณิตของวัตถุจากเส้นแสงเลเซอร์.....	26
2.19 Geometry of triangulation technique.....	29
3.1 แสดงการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมระยะ.....	31
3.2 เลเซอร์แบบเส้น.....	32
3.3 กล้องดิจิทัล.....	32
3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	33
3.5 สเต็ปเปอร์มอเตอร์.....	33
3.6 แสดงตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ และไดอะแกรมการทำงาน.....	35
3.7 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

3.8	ขั้นตอนการประมวลผลภาพ.....	37
4.1	แสดงระบบการทำงานการบันทึกข้อมูลภาพรูปทรงกระบอก.....	38
4.2	แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพรูปทรงกระบอก.....	39
4.3	รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 1.....	39
4.4	รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2.....	40
4.5	รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3.....	40
4.6	รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4.....	40
4.7	รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5.....	41
4.8	แสดงระบบการทำงานการบันทึกข้อมูลภาพรูปทรงกลม.....	42
4.9	แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพรูปทรงกลม.....	42
4.10	รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 1.....	43
4.11	รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2.....	43
4.12	รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3.....	44
4.13	รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4.....	44
4.14	รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5.....	44
4.15	แสดงระบบการทำงานการบันทึกข้อมูลภาพรูปทรงกรวย.....	46
4.16	แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพทรงกรวย.....	46
4.17	รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 1.....	47
4.18	รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2.....	47
4.19	รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3.....	47
4.20	รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4.....	48
4.21	รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5.....	48
4.22	แสดงระบบการทำงานการเก็บข้อมูลภาพรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	50
4.23	แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพทรงสี่เหลี่ยม.....	50
4.24	รูปทรงสี่เหลี่ยมได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 1.....	51
4.25	รูปทรงสี่เหลี่ยมได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2.....	51
4.26	รูปทรงสี่เหลี่ยมได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 รูปทรงสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4.....	52
4.28 รูปทรงสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5.....	52
4.29 แสดงระบบการทำงานการบันทึกข้อมูลภาพรูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยม.....	54
4.30 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพทรงพีระมิดห้าเหลี่ยม.....	54
4.31 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 1.....	55
4.32 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2.....	55
4.33 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3.....	56
4.34 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4.....	56
4.35 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5.....	56
4.36 แสดงระบบการทำงานการบันทึกข้อมูลภาพของถุงน้ำตาลทราย.....	58
4.37 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพของถุงน้ำตาลทราย.....	58
4.38 แสดงรูปถุงน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 1.....	59
4.39 แสดงรูปถุงน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2.....	59
4.40 แสดงรูปถุงน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3.....	59
4.41 แสดงรูปถุงน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4.....	60
4.42 แสดงรูปถุงน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5.....	60
4.43 แสดงระบบการทำงานการบันทึกข้อมูลภาพหาปริมาตรน้ำในขวด.....	62
4.44 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพขวดน้ำ.....	63
4.45 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 1.....	63
4.46 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2.....	64
4.47 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3.....	64
4.48 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4.....	64
4.49 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทกับโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกและเทคโนโลยีที่ทันสมัยซึ่งในการที่จะวัดปริมาณของวัตถุของวัตถุละชนิดก็มีความยุ่งยากและซับซ้อน อาจเกิดความผิดพลาดในการวัดในการคำนวณ และใช้ระยะเวลาจากปัญหาข้างต้นที่กล่าวมา โครงการนี้จึงออกแบบการประมวลผลภาพด้วยระบบ 3D เลเซอร์สแกนเพื่อใช้แสงเลเซอร์ในการวัด พิกัดบนผิววัตถุ และส่งข้อมูลไปประมวลผลผ่านโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณของ วัตถุนั้น ๆ ได้งานขึ้น

ปริมาณเป็นสมบัติทางกายภาพพื้นฐานที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบหรือคัดแยก คุณภาพและขนาด เช่น การวัดปริมาตรเพื่อการคัดขนาด (Sizing) หรือการวัดปริมาตรเพื่อการ คำนวณความหนาแน่น (Density) ของผลิตภัณฑ์และเชื่อมโยงไปสู่คุณภาพอื่นๆ เช่น การตรวจสอบ คุณภาพของผลไม้ การคำนวณหาพื้นที่สำหรับการเก็บรักษา (Storage) และการคำนวณหาขนาดของ บรรจุภัณฑ์ (Packaging) เป็นประโยชน์จากการตรวจวัดปริมาตรทั้งในด้านคุณภาพและด้านการเก็บ รักษาดังกล่าวข้างต้นล้วนเป็นสิ่งสำคัญต่ออุตสาหกรรมการส่งออกชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การผลิตบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่ต้องการวิธีการตรวจวัดคุณภาพ [1]

ในการศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์หาปริมาตรของรูปทรงเรขาคณิต โดยรูปทรงที่นำมาศึกษาวิจัย ได้แก่ รูปทรงกระบอก รูปทรงกลม รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงกรวย รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมโดยใช้ วิธีการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB ทำการทดลอง 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้แสงเลเซอร์ชนิดตัดขวางในการวัดปริมาตรบนผิววัตถุรูปทรงเรขาคณิต
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดปริมาตรของวัตถุรูปทรงเรขาคณิตโดยใช้แสงเลเซอร์ชนิด ตัดขวาง

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ
 2. ใช้เลเซอร์ชนิดตัดขวางในการวัดปริมาตรผิววัตถุรูปทรงเรขาคณิต
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบ และสร้างระบบควบคุมระยะเชิงมุมของจานหมุน
- ขั้นตอนที่ 2 เขียนโปรแกรมวิเคราะห์ MATLAB
- ขั้นตอนที่ 3 สร้างระบบควบคุมระยะเชิงมุมของจานหมุน
- ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบวัดปริมาตรของวัตถุ
- ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ผลและอภิปราย
- ขั้นตอนที่ 6 จัดทำรายงานปริญญานิพนธ์

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	
ขั้นตอนที่ 1										
ขั้นตอนที่ 2										
ขั้นตอนที่ 3										
ขั้นตอนที่ 4										
ขั้นตอนที่ 5										
ขั้นตอนที่ 6										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้แสงเลเซอร์ชนิดตัดขวางในการวัดปริมาตรบนขอบวัตถุแบบไม่สัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

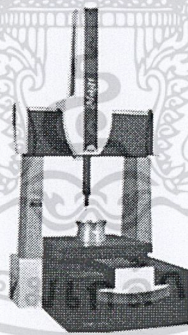
2.1 ทฤษฎี

ในการเก็บข้อมูลนั้น มีหลักการการทำงานคือเราต้องเก็บข้อมูลของวัตถุที่เราต้องการวัดให้ครบคุณสมบัติของวัตถุ คือ ความกว้าง ความยาวและความสูง เพื่อที่หาพิกัดหรือระยะห่างของวัตถุจริง จากนั้นส่งข้อมูลพิกัดที่ได้ไปประมวลผลคำนวณทางทฤษฎีจากข้อมูลที่ได้รับมา สามารถนำไปสร้างแบบจำลองสามมิติหรือหาขนาดของวัตถุจริงได้ เป็นต้น ซึ่งวิธีในการเก็บข้อมูลสามมิติสามารถทำได้ 2 วิธี คือ แบบสัมผัส (Contact) และแบบไม่สัมผัส (Non-Contact)

2.1.1 วิธีในการเก็บข้อมูลสามมิติ

2.1.1.1 แบบสัมผัส

เป็นวิธีการเก็บข้อมูลบนพื้นผิวของวัตถุแบบสัมผัส ได้แก่ เครื่องวัดตำแหน่ง (Coordinate Measuring Machine - CMM) โดยจะใช้หัวโพรบ (Probe) สัมผัสกับวัตถุในการวัดจุดพิกัดตำแหน่งต่างๆของวัตถุ ดังรูปที่ 2.1 ข้อเสียของวิธีแบบสัมผัสคือใช้เวลามาก แต่มีความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.1 เครื่อง CMM

(ที่มา <http://www.itokin2000.com/Coordinate-Measuring-Machine--coordinate-measuring-machine-model-magi-series.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 แบบไม่สัมผัส

เป็นวิธีการเก็บข้อมูลบนพื้นผิวของวัตถุแบบไม่สัมผัส โดยใช้เทคโนโลยีแสงเลเซอร์หรือแสงที่มีรูปแบบ (Structured light) ทำงานร่วมกับกล้อง (Charged coupling device - CCD) เพื่อวัดตำแหน่งบนพื้นผิวของวัตถุ วิธีนี้มีความแม่นยำสูงมากและใช้เวลารวดเร็ว ซึ่งเครื่องสแกนชนิดนี้สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

2.1.1.2.1 Active ใช้เทคนิคการฉายแสงหรือรังสีลงบนพื้นผิววัตถุที่ต้องการสแกน จากนั้นทำการตรวจจับการสะท้อนของแสงที่ฉายลงบนวัตถุ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับมาประมวลผลหาตำแหน่งของจุดต่างๆบนวัตถุ

2.1.1.2.2 Passive จะไม่ใช้เทคนิคการฉายแสงหรือรังสีลงบนพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการสแกน แต่จะใช้การตรวจจับรังสีหรือแสงรอบๆที่สะท้อนไปยังวัตถุซึ่งส่วนใหญ่จะตรวจจับแสงที่มีช่วงความถี่ที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นได้

2.1.2 วิธีการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเครื่องสแกนสามมิติแบบใช้เลเซอร์แบ่งได้ 2 วิธี

2.1.2.1 การฉายแสงเลเซอร์แบบจุด (Laser Point)

เป็นวิธีการฉายแสงเลเซอร์ให้ตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุ ทำให้ผิววัตถุเกิดจุดจากแสงเลเซอร์ จากนั้นรับข้อมูลภาพจากตัวรับภาพ ซึ่งตัวรับภาพมี Sensor ชนิด CCD หรือ ชนิด CMOS เป็นตัวเก็บภาพของวัตถุ แสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุที่ได้นำมาคำนวณหาระยะพิกัดของวัตถุเทียบกับกล้อง

2.1.2.2 การฉายแสงเลเซอร์แบบเส้น (Laser line)

เป็นการฉายแสงเลเซอร์ไปยังผิวของวัตถุเพื่อให้เกิดการสะท้อนของแสงเลเซอร์กลับไปยังตัวรับภาพทำให้เกิดภาพบนฉากรับภาพที่มีลักษณะเป็นเส้นจากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณหาระยะพิกัดของวัตถุ วิธีการฉายแสงเลเซอร์แบบเส้นดีกว่าแบบจุดตรงที่ การฉายแสงเลเซอร์แบบเส้นนั้นสามารถหาพิกัดของผิววัตถุได้หลายตำแหน่งจากเส้นของแสงเลเซอร์ที่เกิดบนฉากรับภาพของตัวรับภาพ ใน 1 รอบของการประมวลผล จึงทำให้หาพิกัดของผิววัตถุทั้งหมดได้รวดเร็วและง่ายกว่า

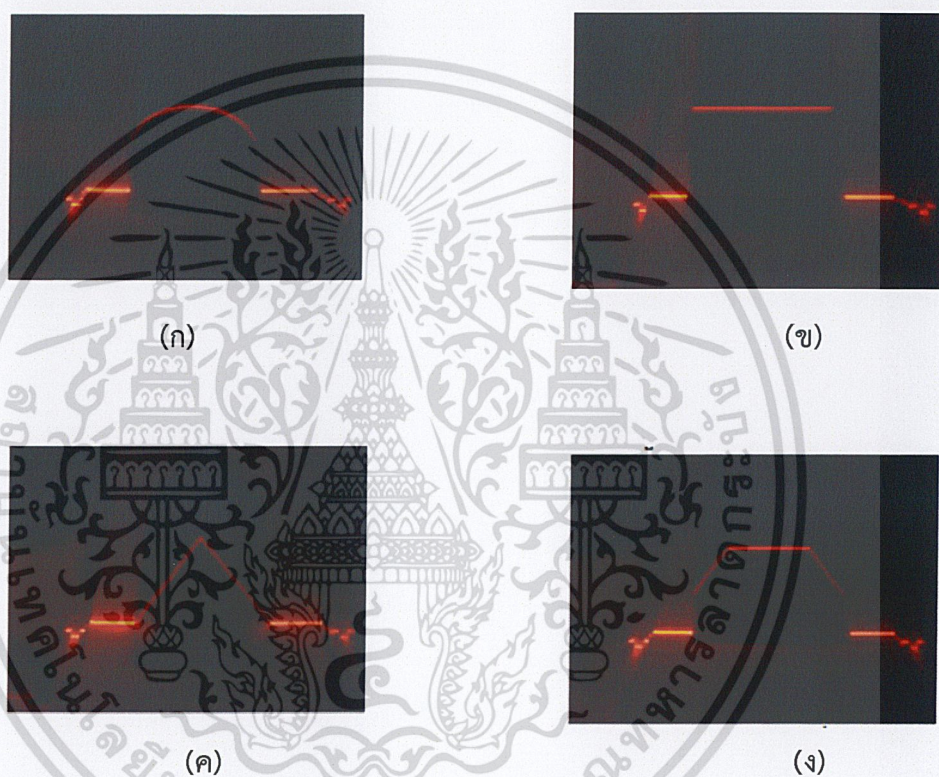
จากการศึกษาทฤษฎีต่างๆ จึงพบว่าการใช้วิธีการวัดแบบไม่สัมผัสในการฉายแสงเลเซอร์แบบเส้นนั้นทำให้สามารถสแกนได้อย่างรวดเร็วและง่ายต่อการประมวลผลเพื่อหาพิกัดของพื้นผิววัตถุ ในการสร้างโครงงานพิเศษนี้จึงเลือกใช้วิธีการฉายแสงเลเซอร์แบบเส้นในการออกแบบเครื่องสแกนสามมิติ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 หลักการวัดแสงเลเซอร์แบบเส้น (Laser line)

ระบบแสงเลเซอร์ตัดขวางใช้สำหรับวัดหาปริมาตรของวัตถุ โดยมีหลักการคือ วางวัตถุบนฐาน โดยติดตั้งให้แสงเลเซอร์ฉายไปในทิศทางขวางกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแสงเลเซอร์เป็นไปตามลักษณะพื้นผิวของวัตถุ

หลักการใช้แสงเลเซอร์ตัดขวางเป็นเทคนิคการฉายแสงเลเซอร์ลงบนผิวของวัตถุเพื่อให้เป็นไปตามลักษณะตามพื้นผิวที่แสงเลเซอร์ตกกระทบ แสงที่ตกกระทบถูกเก็บภาพข้อมูลและนำไปประมวลผลหาพิกัดสามมิติที่จะบอกถึงความกว้าง ความยาว และความสูงของวัตถุ [2]



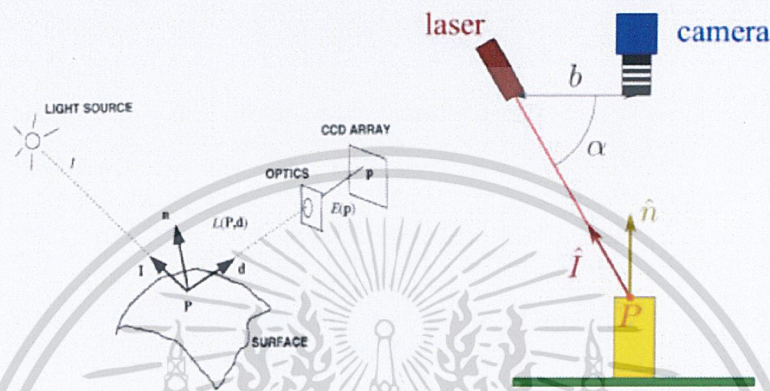
รูปที่ 2.2 แสดงภาพเลเซอร์ตัดขวางวัตถุรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ

(ก) รูปทรงกระบอก (ข) รูปทรงสี่เหลี่ยม (ค) รูปทรงสามเหลี่ยม (ง) รูปทรงหกเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 laser triangulation system

ระบบ laser triangulation ประกอบไปด้วย เลเซอร์ (laser) เลนส์ (lens) และตัวตรวจจับแสง (detector) โดยที่เลเซอร์จะทำการฉายแสงลงบนวัตถุ จากนั้นเลนส์จะทำการถ่ายภาพรูปภาพของแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุลงบนตัวตรวจจับแสงสะท้อน ในขั้นตอนของการคำนวณหาตำแหน่งของเส้นแสงที่สะท้อนลงบนตัวตรวจจับแสงสะท้อนโดยใช้มุมระหว่างเลเซอร์กับตัวตรวจจับแสงสะท้อนมาช่วยในการคำนวณโดยใช้หลักการ triangulation ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 laser triangulation system [3]

2.3 การประมวลผลภาพ

รูปภาพที่ถูกถ่ายโดยกล้องดิจิทัล เมื่อมองในแบบของคอมพิวเตอร์ นั่นคือ จุดสีหลาย ๆ จุดที่นำมาเรียงต่อ ๆ กันจนสามารถบอกได้ว่าเรียงกันเป็นรูปอะไร การมองภาพหนึ่ง ๆ ไม่ว่าจะเป็นภาพถ่ายหรือภาพที่เป็นแบบดิจิทัลในคอมพิวเตอร์ก็ตาม ในมุมมองของมนุษย์กับคอมพิวเตอร์นั้นเป็นคนละมุมกันและแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง มนุษย์สามารถทำความเข้าใจในเนื้อหาของภาพที่ปรากฏได้ สามารถแยกแยะความน่าสนใจมากน้อยของภาพได้ และภาพนี้กำลังสื่อถึงความรู้สึกอะไรบางอย่าง และอีกหลาย ๆ ความรู้สึกที่ได้ขณะกำลังมองภาพ

แต่เมื่อรูปภาพถูกนำมาใช้ในคอมพิวเตอร์ จะรับรู้เข้าใจว่าเป็นเพียงจุดสีหลาย ๆ จุดเท่านั้น ภาพดิจิทัลถึงแม้ว่าจะบันทึกอยู่ในคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของไฟล์บันทึกภาพหรือแม้แต่การนำเอาภาพมาตั้งเป็นวอลเปเปอร์พื้นหลัง Desktop ใน Windows คอมพิวเตอร์ไม่สามารถรับรู้และเข้าใจถึงเนื้อหาของภาพที่ปรากฏนั้นได้ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ความหมายของการประมวลผลภาพ

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ภาพมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่น ความคมชัด หรือการประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล โดยปกติระดับของการประมวลผลภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับคือ

2.3.1.1 ระดับต่ำ (Low-Level) เป็นการจัดการเกี่ยวกับค่าสี และจุดภาพ เช่น การแปลงปริภูมิสี (Color Space) ภาพไบนารี การวิเคราะห์หัดชนีสี การแยกสี เป็นต้น

2.3.1.2 ระดับกลาง (Mid-Level) เป็นนำเสนอความรู้ (Knowledge) จากภาพ เช่น การสกัดลักษณะเด่น (Feature Extraction) การสกัดและวิเคราะห์รูปร่าง รูปทรง (Geometry Extraction) เป็นต้น

2.3.1.3 ระดับสูง (High-Level) เป็นการวิเคราะห์และนำเสนอความรู้และการรู้จำลักษณะหรือลวดลายของภาพ (Recognition)

2.3.2 การวิเคราะห์รูปภาพ (Image Analysis)

การนำเข้รูปภาพ ส่งค่าที่วัดได้ออก วิธีนี้จะได้กระบวนการประมวลผลภาพ เพื่อให้ได้ค่าการวัดออกมา เช่น การวัดขนาดในงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

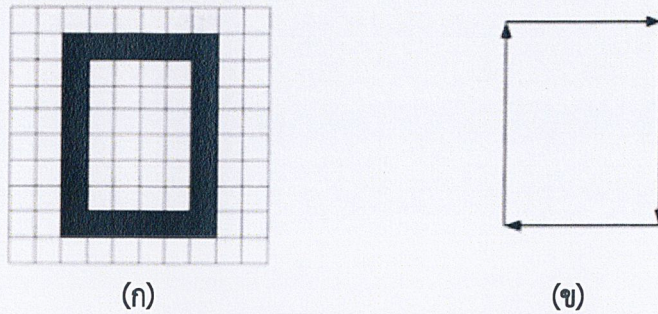
2.3.3 การตีความรูปภาพ (High-Level Description)

การนำเข้รูปภาพ ส่งออกคำบรรยายภาพระดับสูง วิธีนี้จะใช้กระบวนการประมวลผลภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความหมายตัวอย่างการตีความรูปภาพ เช่น การจดจำตัวอักษร (Optical Character Recognition : OCR) เป็นต้น [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 รูปภาพ [5]

โดยทั่วไปแล้วเราสามารถแบ่งรูปภาพที่ปรากฏและใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ออกเป็น 2 ประเภท คือ ภาพบิตแมป และภาพเวกเตอร์ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงประเภทของภาพแบบดิจิทัล

(ก) ภาพบิตแมป (ข) ภาพแบบเวกเตอร์

โดยรูปภาพแบบบิตแมปพิจารณาตัวรูปภาพซึ่งถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อยเล็ก ๆ หลาย ๆ ส่วน หรือที่เรียกว่า พิกเซล ที่ถูกนำมารวมกันและใช้แสดงผลภาพ ส่วนรูปภาพแบบเวกเตอร์จะประกอบด้วยเส้นสายต่างๆ ที่สร้างขึ้นจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของลักษณะทางเรขาคณิตเพื่อสร้างรูปทรงต่างๆ ที่เราเห็นซึ่งเรียกว่า เวกเตอร์ (Vectors)

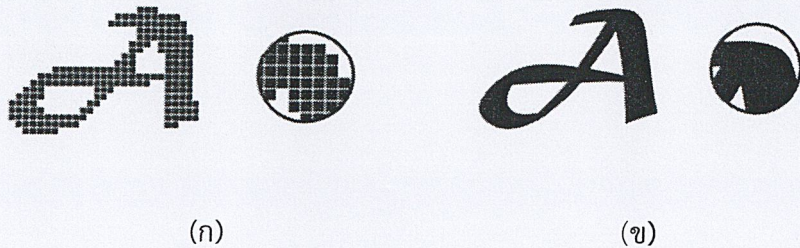
2.3.4.1 บิตแมป (Bitmap Image)

ภาพบิตแมปหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าภาพแบบราสเตอร์ (Raster Image) เป็นภาพที่ประกอบขึ้นจากจุดขนาดเล็กๆ หรือที่เรียกว่าพิกเซลจำนวนมากที่เรียงต่อกันจนเป็นภาพภาพหนึ่ง เพื่อให้เห็นภาพลักษณะนี้ชัดเจนนยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.5 ก ให้นำถึงการสร้างภาพบนตารางสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ใช้สีแดงแต้มลงในช่องสี่เหลี่ยมแต่ละช่องจนเป็นภาพสมบูรณ์ที่มีขนาดใหญ่ เหมือนกับการแปลสีแปลอักษรบนอ้อมจันทร์ ภาพแบบบิตแมปนี้มีจำนวนจุดขนาดเล็กๆ จำนวนมาก ดังนั้น ดวงตาของมนุษย์ไม่สามารถที่จะมองเห็นเป็นรูปตาราง ยิ่งขยายใหญ่เท่าไร ตารางสี่เหลี่ยมก็ยิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจนทำให้มองเห็นจุดของภาพหรือพิกเซล จึงมีผลทำให้รายละเอียดของภาพมีความไม่ชัดเจนมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วภาพบิตแมปเป็นภาพประเภทที่นิยมใช้กันมากในภาพถ่าย

2.3.4.2 ภาพแบบเวกเตอร์ (Vector Image)

ภาพแบบเวกเตอร์จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกับแบบบิตแมป คือภาพประเภทนี้ไม่ว่าจะขยายใหญ่แค่ไหน ก็ยังคงรายละเอียดและความคมชัดไว้ได้เหมือนเช่นเดิมโดยไม่ผิดเพี้ยน ดังรูปที่ 2.5 ข เนื่องจากภาพแบบเวกเตอร์นั้นประกอบด้วยเส้นตรง เส้นโค้ง และรูปทรงต่างๆ ภาพที่ได้สร้างขึ้นจากคำสั่งที่บอกถึงลักษณะของภาพในรูปแบบทางเรขาคณิตด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้น โปรแกรมที่ต้องการเปิดรูปภาพต้องนำสมการต่างๆ ให้ใหม่ทุกครั้งทำให้ภาพที่เกิดขึ้นมามีความคมชัด ภาพแบบเวกเตอร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวกเตอร์จึงเหมาะสมกับงานที่มีความแม่นยำและต้องการความละเอียดสูง เช่น การสร้างภาพสามมิติ การสร้างแบบร่างทางวิศวกรรม การสร้างภาพโลโก้



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการขยายภาพดิจิทัล

(ก) ตัวอย่างภาพขยายภาพแบบบิตแมป (ข) ตัวอย่างภาพขยายแบบเวกเตอร์

2.3.5 ความหมายของพิกเซล

จุดภาพ หรือ พิกเซลเป็นหน่วยของรูปภาพ คือจุดภาพจากจอแสดงผล หรือ จุดภาพที่เรียงกันจนสามารถเป็นรูปภาพขึ้นมา โดยที่รูปภาพนั้นประกอบไปด้วยพิกเซลเป็นจำนวนมาก และรูปภาพที่ถูกสร้างขึ้นมีความหนาแน่นของพิกเซล หรือสมารถแทนค่าความละเอียดที่แตกต่างกันไป สามารถใช้บอกคุณสมบัติของภาพ จอภาพ หรือ อุปกรณ์แสดงผลภาพได้ ภาพที่มีพิกเซลเป็นจำนวนมากจะความละเอียดของภาพมาก คำว่า พิกเซล (pixel) มาจากคำว่า พิกเจอร์ (picture) ที่แปลว่า รูปภาพ และ เอเลเมนต์ (element) ที่แปลว่า องค์ประกอบ

2.3.6 ความละเอียดของรูปภาพ (Resolution)

ความละเอียดของภาพบอกถึงคุณภาพของภาพนั้น ซึ่งกำหนดเป็น พิกเซลต่อนิ้ว (Pixel/Inch) ยิ่งมีค่ามากก็ยิ่งมีความละเอียดสูง โดยกำหนดจากจำนวนพิกเซลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของภาพ ตัวอย่าง หากภาพนั้นมีค่า Resolution = 150 pixel/inches แสดงว่าในพื้นที่ 1 ตารางนิ้วของภาพประกอบไปด้วย 150 pixel

2.3.7 รูปร่างของภาพ (Image Shape)

การกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular image model) เป็นวิธีที่ใช้กันมาก เนื่องจากทำให้การอ่าน และการบันทึกภาพในหน่วยความจำรวมถึงการแสดงผลภาพทางอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในการบันทึกข้อมูลของภาพลงหน่วยความจำบนคอมพิวเตอร์ สามารถใช้หน่วยความจำของเครื่องในรูปของตัวแปรแถวลำดับ (Array) โดยที่ค่าของแต่ละช่องตัวแปรแถวลำดับบอกถึงตำแหน่งของช่องแถวลำดับซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพและคุณสมบัติของพิกเซล ซึ่งปกติการบันทึกข้อมูลของภาพเครื่องมือต่าง ๆ จะทำการบันทึกการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

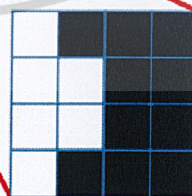
ตามมาตรฐานของโทรทัศน์ซึ่งมีอัตราส่วน X ต่อ Y เท่ากับ 4:3 สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลภาพที่ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน 4:3 เมื่อนำภาพไปแสดงในจอภาพมาตรฐานทำให้ภาพที่แสดงนั้นมีขนาดของจุดภาพไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของจุดภาพขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุดมากขึ้นทำให้จำนวนของสีมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับการแสดงข้อมูลของภาพมีขนาด 1 บิต และ 8 บิตนั้น จะมีการทำงานที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากหน่วยประมวลผลจะไม่สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นบิตเดี่ยว ๆ ได้ดังนั้นในการแสดงข้อมูลออกมาจากทางจอภาพตัวโปรเซสเซอร์ทำการสำเนาข้อมูลทั้ง 8 บิต (1 ไบต์) ส่งให้กับจอภาพซึ่งในกรณีที่พิกเซลมีขนาด 1 บิตที่เหลือ ส่วนในกรณีพิกเซลที่มีขนาด 8 บิต โปรเซสเซอร์ทำการสำเนาข้อมูลใหม่ก็ต่อเมื่อโปรเซสเซอร์ทำงานกับทุกบิตแล้ว

2.3.8 ประเภทของภาพ (Image Types)

สามารถแบ่งประเภทของภาพบิตแมปตามคุณสมบัติของสีออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.3.8.1 ภาพขาวดำ (Binary Image)

ลักษณะของภาพขาวดำคือในแต่ละพิกเซลนั้นแสดงด้วยค่าไบนารี (Binary) คือมี 1 บิต ซึ่งประกอบไปด้วยค่า 1 และ 0 ที่ใช้ในการบอกสีของจุดภาพ โดยที่ 1 หมายถึงจุดภาพสีขาว และ 0 หมายถึงจุดภาพสีดำ ดังรูปที่ 2.6 ภาพประเภทนี้เหมาะสำหรับภาพที่เกี่ยวกับตัวอักษร (Text) ภาพลายนิ้วมือ



Binary Data

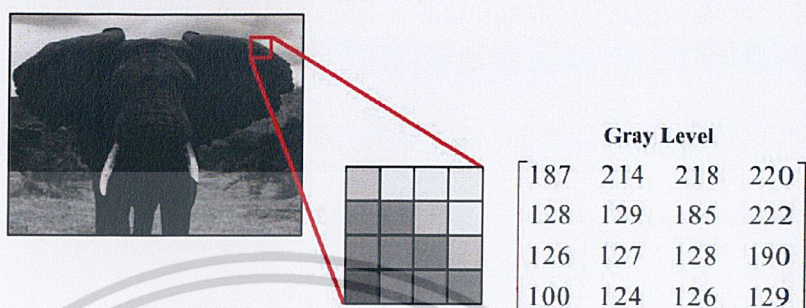
1	0	0	0
1	1	0	0
1	1	0	0
1	0	0	0

รูปที่ 2.6 ภาพขาวดำ

2.3.8.2 ภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image)

ลักษณะของภาพชนิดนี้ในแต่ละพิกเซล มีค่าความเข้มของแสงในแต่ละเอกซาร์เป็นเอกซาร์ที่ระดับที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่สีขาวไปยังสีดำ เราสามารถกำหนดระดับความเข้มของสีได้ว่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

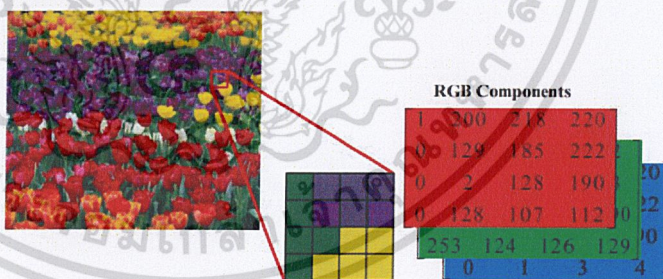
แสงนั้นได้โดยใช้ค่าระดับเทา โดยปกติแล้ว ภาพแบบระดับสีเทาจะมีความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 8 บิต ซึ่งภาพจะมีค่าระดับความเข้มแสงของสีดำเท่ากับ 0 ส่วนค่าระดับความเข้มของสีขาวมีค่าเท่ากับ 255 ส่วนค่าระดับระหว่าง 0-255 มีค่าเฉลี่ยจาก สีดำไปหาสีขาวดังรูปแสดงที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ภาพระดับเทา

2.3.8.3 ภาพสี (Color Image)

ในแต่ละพิกเซลของภาพสีจะเก็บค่าระดับความเข้มแสงของแต่ละแถบแสงของแม่สีหลัก 3 สีที่ซ้อนกันคือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งในแต่ละพิกเซลนั้นๆ ก็แสดงผลของค่าสีของแต่ละพิกเซลตามระดับความเข้มในแต่ละแถบแสงสีนั้นแสดงดังรูปที่ 2.8

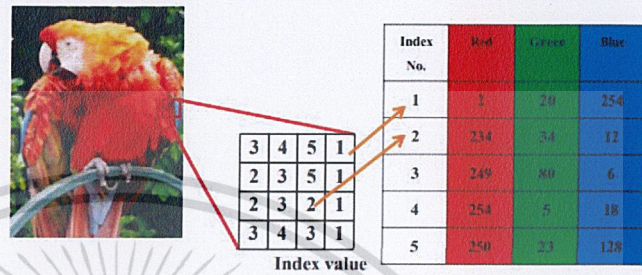


รูปที่ 2.8 ภาพสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8.4 ภาพแบบดัชนี (Index Image)

ลักษณะของภาพชนิดนี้คือ แต่ละพิกเซลของภาพมีการเก็บค่าดัชนี (Index Number) ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม ค่าดัชนีดังกล่าวจะถูกนำไปเทียบกับตารางสี (Color Table) เป็นตารางที่แสดงค่าแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ค่าดัชนีสามารถบอกให้ทราบว่าภาพในตำแหน่งที่พิกเซลนั้น ๆ มีค่าอัตราส่วนของแม่สีแสง 3 สีในอัตราส่วนละเท่าใดแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพดัชนี

2.3.9 กระบวนการทำเทรชโฮลด์ (Threshold)

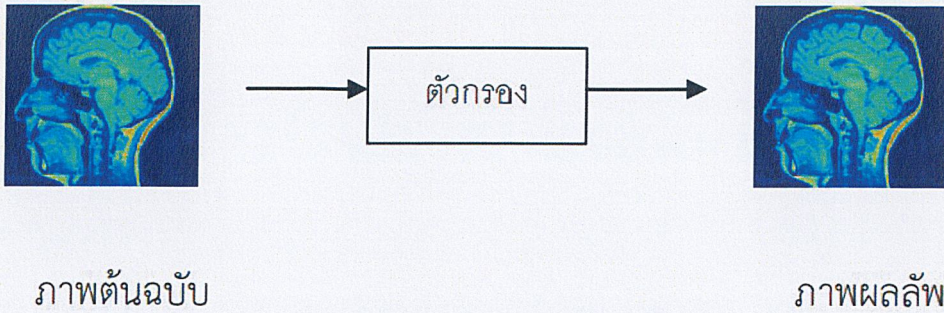
วิธีการทำเทรชโฮลด์เป็นการลดสิ่งรบกวน (Noise) ของภาพและกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการก่อนการนำภาพไปประมวลผลโดยการตั้งค่า เพื่อใช้ในการปรับค่าของระดับสีในภาพ โดยทั่วไปภาพขาวดำมีค่าระดับเทาตั้งแต่ 0-225 การกำหนดค่าคงที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าของระดับเทาในแต่ละพิกเซล ถ้าน้อยกว่านี้ปรับให้เป็น 0 ถ้ามากกว่านี้ปรับให้มีค่าเป็น 255 เทรชโฮลด์มี 2 ลักษณะ คือ

- 1) การกำหนดค่าล่วงหน้า (Preassigned Threshold Value) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดนทำการเลือกค่าคงที่ขึ้นมาค่าหนึ่งโดยทั่วไปส่วนมากเป็นค่ากลางของภาพ
- 2) การเทรชโฮลด์จากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value) เป็นการคำนวณอัตโนมัติโดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องกำหนด โดนทั่วไปคำนวณโดยการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย

2.3.10 การกรองข้อมูลภาพ (Image Filtering)

การนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (enhance) หรือลดทอน (attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงการกรองข้อมูลภาพ

ซึ่งการประมวลผลด้วยภาพเพื่อหาคุณลักษณะต่าง ๆ ของภาพได้อย่างสมบูรณ์ จะต้องทำการลดทอนในส่วนของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นด้วยตัวกรองสัญญาณ (filter) เช่น ตัวกรองสัญญาณรบกวนด้วยเกาส์เซียน (Gaussian filtering) ตัวกรองสัญญาณแบบ anisotropic filtering เป็นต้น ซึ่งลักษณะการทำงานของตัวกรองสัญญาณจะสามารถแสดงขั้นตอนได้ ซึ่งตัวกรองสัญญาณรบกวนต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นจะลดสัญญาณรบกวนและรายละเอียดของภาพไปด้วย ทำให้การประมวลผลภาพถูกลดประสิทธิภาพลงไปด้วย ได้ถูกนำมาใช้ทางด้านการประมวลผลภาพ [7]

2.3.11 มาตรฐานของสี

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน โดยจะขึ้นอยู่กับวิธีที่นำไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในพื้นที่ 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในพื้นที่ซึ่งในแต่ละแกนจะแยกต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบ RGB จะมีแกนสีคือ แกนสีแดง เขียว และน้ำเงินในระบบ HLS จะมีแกนเป็น ค่าสี (hue) ความสว่าง (lightness) และค่าการวัดความบริสุทธิ์ของสี (saturation)

ตัวอย่างระบบสีที่นิยมใช้กันได้แก่ ระบบ RGB HSV (Hue Saturation Value) และ HLS (Hue Lightness Saturation)

2.3.11.1 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินโดยเป็นการรวมกันแบบ Additive ซึ่งโดยทั่วไปจะนำไปใช้ในด้านจอภาพแบบ CRT (Cathode ray tube) ในการใช้งานระบบสี RGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งานกันทั่วไปได้แต่ RGB_{CIE} และ RGB_{NTSC}

1) ระบบสีแบบ RGB ของ CIE

เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นโดย CIE (Commission International l 'Eclairage) ซึ่งอ้างอิงสีด้วยสีแดงที่มีความยาวคลื่น 700 nm สีเขียวเท่ากับ 546.1 nm และสีน้ำเงิน 435.8 nm

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.11.1.1 ระบบสีแบบ RGB ของ CIE

เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นโดย CIE (Commission International l 'Eclairage) ซึ่งอ้างอิงสีด้วยสีแดงที่ความยาวคลื่น 700 nm สีเขียวเท่ากับ 546.1 nm และสีน้ำเงิน 435.8 nm

2.3.11.1.2 ระบบสีแบบ RGB ของ NTSC

เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาโดย NTSC (National Television System Committee) เพื่อใช้ในการแสดงจอภาพแบบ CRT ซึ่งเป็นมาตรฐานของผู้ผลิตแบบ CRT ให้มีลักษณะไปในทางเดียวกัน

2.3.11.2 ระบบสี HSV

ระบบสี HSV เป็นการวิเคราะห์สีโดยใช้ Hue Saturation และ Value ซึ่ง Hue เป็นค่าสีของสีหลัก (แดง เขียวและน้ำเงิน) โดยปกติมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 คือแทนสีแดง และเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึงค่า 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง ซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ ดังนี้คือ สีแดง = 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศา ซึ่ง Hue สามารถคำนวณได้จากระบบสี RGB ได้ดังสมการ

$$red_k = red - \min(red, green, blue) \quad (2.1)$$

$$green_k = green - \min(red, green, blue) \quad (2.2)$$

$$blue_k = blue - \min(red, green, blue) \quad (2.3)$$

จากลักษณะรูปแบบของระบบ Hue พบว่ามีค่าน้อยหนึ่งค่าที่จะเท่ากับ 0 แต่ถ้ามีสองค่าที่เท่ากับ 0 แล้ว hue จะเป็นค่าสี เป็นไปตามสีที่สามและถ้าทั้งสามสีมีค่าเท่ากับ 0 แล้วจะทำให้ไม่มีค่าของ Hue หรือสีที่ได้จะมีค่าเท่ากับสีขาวนั่นเอง ตัวอย่างเช่น จอภาพขาว-ดำ ถ้าเกิดมีสีใดสีหนึ่งมีค่าเท่ากับ 0 จะทำให้ค่าสีที่ได้เป็นไปตามสีที่เหลือ การให้น้ำหนักในการพิจารณาเมื่อสีแดงมีค่าเท่ากับ 0 สามารถคำนวณหาค่าน้ำหนักสีได้ดังสมการ 2.4

$$\frac{(240 \times blue_k) + (120 \times green_k)}{blue_k + green_k} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Saturation คือความบริสุทธิ์ของสีซึ่งถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 แล้วสีที่ได้จะไม่มี Hue ซึ่งจะทำให้เป็นสีขาวล้วนแต่ถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 255 แสดงว่าจะไม่มีสีขาวอยู่เลยซึ่ง Saturation สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.5

$$Saturation = \frac{\max(red, green, blue) - \min(red, green, blue)}{\max(red, green, blue)} \quad (2.5)$$

Value คือความสว่างของสี โดยมีวิธีการวัดโดยค่าความเข้มของความสว่างของแต่ละสีที่ประกอบกัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$value = \max(red, green, blue) \quad (2.6)$$

2.3.11.3 ระบบสีแบบ HLS

ระบบสี HLS (Hue lightness saturation) ได้รับการพัฒนาโดย Teletromix Incorporated มีลักษณะคล้ายกับ HSV คือสีของระบบจะขึ้นอยู่กับค่า Hue Lightness และ Saturation Hue คือค่าของสีหลักโดยที่สีน้ำเงินมีค่าอยู่ที่ 0 องศา สีเขียวอยู่ที่ 120 องศา และสีแดงอยู่ที่ 240 องศา Lightness คือค่าความสว่างซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน L โดยที่ L = 0 เป็นสีดำ L = 1 เป็นสีขาว สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.7

$$lightness = \frac{\max(red, green, blue) + \min(red, green, blue)}{2} \quad (2.7)$$

Saturation คือค่าการวัดความอิ่มตัวของสีสามารถหาได้ดังสมการ 2.8 และ 2.9

$$saturation = \frac{\max(red, green, blue) - \min(red, green, blue)}{\max(red, green, blue) + \min(red, green, blue)} \text{ if } L \leq 0.5 \quad (2.8)$$

$$saturation = \frac{\max(red, green, blue) - \min(red, green, blue)}{2 - \max(red, green, blue) - \min(red, green, blue)} \text{ if } otherwise \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.11.4 ระบบสีแบบ CMY

CMY (Cyan Magenta Yellow) เป็นระบบสีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดยใช้สำหรับการพิมพ์ภาพสีโดยมีสีหลักคือสี Cyan Magenta และ Yellow ซึ่งเรียกว่า Subtractive primaries Color (สีแดง เขียว และ น้ำเงิน เรียกว่า Additive primaries Color) ระบบสีแบบ CMY มีวิธีการหาโดยการนำเอาสีในระบบ RGB ลบกับสีขาวดังสมการ 2.10 2.11 และ 2.12

$$C = 1 - R \quad (2.10)$$

$$M = 1 - G \quad (2.11)$$

$$Y = 1 - B \quad (2.12)$$

ระบบสี CMY จะนำไปใช้สำหรับการพิมพ์ภาพสีแต่ยังไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากไม่ยังสามารถสร้างสีดำได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงมีการใช้ระบบ CMYK แทนโดยสมการ 2.13 2.14 2.15 และ 2.16

$$K = \min(C, M, Y) \quad (2.13)$$

$$C = C - K \quad (2.14)$$

$$M = M - K \quad (2.15)$$

$$Y = Y - K \quad (2.16)$$

2.3.11.5 ระบบสีแบบ YUV

ระบบสีแบบ YUV ใช้สำหรับโทรทัศน์แบบ PAL และ SECAM ซึ่งหลาย ๆ ประเทศยังมีการใช้งานอยู่ โดยที่ Y เป็นค่าของความสว่างของภาพ ส่วน U และ V เป็นสัญญาณที่เก็บค่าสีของภาพ ต่อมาได้มีการนำระบบ YIQ มาใช้แทนเนื่องจากพบว่าสัญญาณ I และ Q สามารถลด Bandwidth ได้มากกว่าสัญญาณแบบ U และ V ในขณะที่ภาพมีคุณภาพเท่ากัน

2.3.11.6 ระบบสีแบบ YIQ

เป็นระบบที่ใช้ใน TV Broadcasting สำหรับ NTSC ประโยชน์หลักคือเพื่อให้สามารถใช้งานได้กับโทรทัศน์แบบขาว-ดำ โดยที่ y คือความสว่างของภาพ ส่วน I และ Q เป็นสัญญาณที่เข้ารหัสสีของภาพ

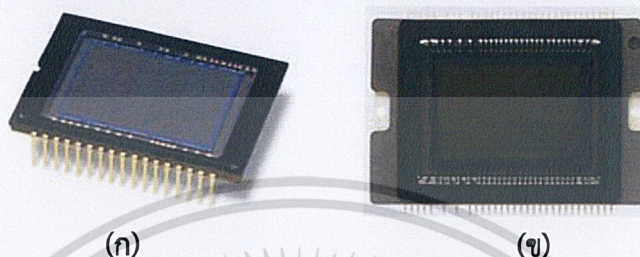
ดังนั้นโทรทัศน์ขาว-ดำ ใช้ค่า Y ค่าเดียวก็สามารถได้ภาพที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.11.7 ระบบสีแบบ XYZ

เป็นระบบสี CIE มีการกำหนดให้เป็นมาตรฐานเนื่องจากในระบบสี RGB ยังไม่สามารถทำการสร้างสีที่เป็นได้ทั้งหมดดังนั้นจึงได้มีตั้งระบบสี XYZ ซึ่งเป็นระบบสีที่ทำการสมมุติขึ้นมา [9]

2.4 เซนเซอร์ที่ใช้ในการรับภาพ

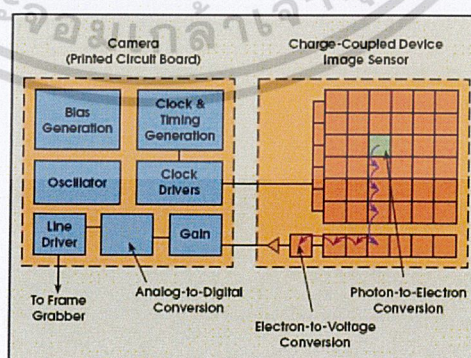


รูปที่ 2.11 เซนเซอร์รับภาพ

(ก) เซนเซอร์ชนิด CCD (ข) เซนเซอร์ชนิด CMOS

กล้องดิจิทัลมีอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายภาพออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นคือ Sensor รับภาพซึ่งมีหน้าที่รับแสงที่เข้ามาแปลงแปลงค่าแสงนั้นให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล Sensor รับภาพแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ CCD และ CMOS ดังแสดงรูปที่ 2.11 [9]

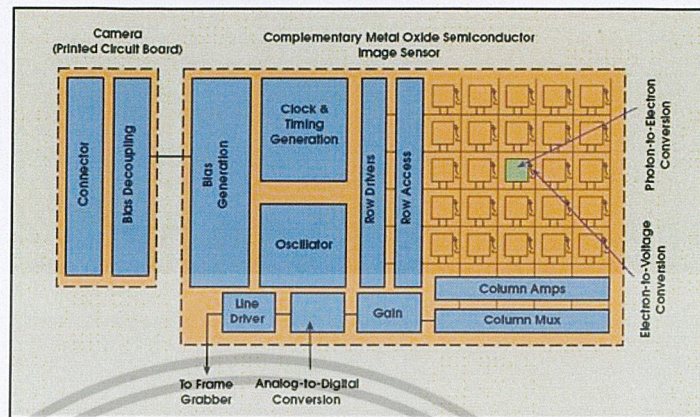
2.4.1 CCD ย่อมาจาก Charge Coupled Device เป็น Sensor ที่ทำงานโดยส่วนที่เป็น Sensor แต่ละพิกเซล จะทำหน้าที่รับแสงและแปลงค่าแสงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณอนาล็อก ส่งเข้าสู่วงจรแปลงค่าอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยโครงสร้างภายในของเซนเซอร์ CCD แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างภายในของเซนเซอร์ CCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 CMOS ย่อมาจาก Complementary Metal Oxide Semiconductor เป็น Sensor การทำงานคือ แต่ละพิกเซลมีวงจรแปลงค่าแสงที่เข้ามาให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลทันทีโดยที่ไม่ต้องส่งออกไปแปลงเหมือน CCD โครงสร้างภายในของเซนเซอร์ CMOS แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างภายในของเซนเซอร์ CMOS

2.4.1 ความแตกต่างของเซนเซอร์รับภาพ CCD และ CMOS สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.4.1.1 ความเร็วในการตอบสนอง

CMOS มีความเร็วในการตอบสนองได้ดีกว่า CCD เนื่องจากตัว CMOS จะแปลงสัญญาณเสร็จในตัวเอง ไม่ต้องส่งข้อมูลไปยังวงอื่นอีก

2.4.1.2 Dynamic Range

CCD ได้เปรียบอย่างมาก เนื่องจากตัวรับแสงของ CCD มีแต่ส่วนรับแสงเพียงอย่างเดียว ต่างกับ CMOS ที่ต้องมียังวงจรแปลงสัญญาณในแต่ละพิกเซลด้วย ดังนั้นถ้าในขนาดที่เท่ากัน ส่วนรับแสงของ CCD จะมีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากไม่ต้องเสียพื้นที่ไปให้วงจรอื่นๆเหมือน CMOS

2.4.1.3 ความละเอียด

CCD มีความละเอียดมากกว่า CMOS เนื่องจากเหตุผลเดียวกันกับ Dynamic Range

2.4.1.4 การใช้พลังงาน

CMOS เหนือกว่าเนื่องจากสามารถรวมวงจรต่าง ๆ ไว้ในตัวได้เลย ต่างจาก CCD ที่ต้องมียังวงจรแปลงค่าเพิ่มขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คุณสมบัติของ Image Sensor

2.5.1 ความลึกสีหรือ Color Depth หมายถึง จำนวนเฉดสีที่ Sensor รับภาพ ยิ่งความลึกสีมาก จะทำให้ได้ภาพที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น จำนวนเฉดสีของภาพก็จะมากขึ้น หมายถึง จะได้ภาพที่มีคุณภาพดีขึ้น ความลึกสีนั้นบอกเป็นจำนวน Bit/สี หรือ Bit/3สี เช่น CCD ให้ภาพความลึกสี 12bit/สี ก็เท่ากับ 36 bit จำนวนเฉดสีที่ Sensor รับภาพ ถ่ายทอดได้สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ 2.17 และ 2.18

$$\text{จำนวนเฉดสี/สี} = 2 \text{ ยกกำลัง Bit สีโดย} \quad (2.17)$$

$$\text{จำนวนเฉดสีทั้งหมด} = \text{จำนวนเฉดสี/สี ยกกำลัง 3} \quad (2.18)$$

2.5.2 Image Size หรือขนาดภาพ คือจำนวนของพิกเซลที่จะปรากฏบนภาพ ยิ่งจำนวนพิกเซลมากก็สามารถนำภาพไปขยายให้ใหญ่ขึ้นได้โดยที่สามารถคงความคมชัดไว้ได้ มีลักษณะคล้ายกับฟิล์มเกรนหยาบกับเกรนละเอียด ขนาดภาพของ Sensor รับภาพนั้นบอกเป็นจำนวน Effective Pixel เช่น กล้องมี Effective Pixel ขนาด 6.17 ล้านพิกเซล

วิธีการตรวจสอบจำนวนพิกเซลให้เพียงพอต่อการใช้งาน สามารถดูได้จากขนาดภาพที่ต้องการใช้งานเป็นหลัก เช่น ต้องการภาพที่ใช้ส่งไปใน E-Mail ซึ่งภาพมีขนาดประมาณ 4.87 แสนพิกเซล ควรใช้กล้องขนาด 1 ล้านพิกเซล แต่ถ้าไปใช้งานขยายภาพขนาด 8.25x11.5 นิ้ว ควรมีความละเอียดประมาณ 8.5 ล้านพิกเซลจะได้ภาพคุณภาพสูงสุด เป็นต้น การใช้ Sensor รับภาพที่มีความละเอียดสูงเกินกว่าขนาดภาพที่ต้องการใช้งานไม่ทำให้เกิดประโยชน์ใด ๆ นอกจากต้องจ่ายค่ากล้องที่มีราคาแพงขึ้น แล้วยังต้องใช้แบตเตอรี่มากขึ้น เปลืองการ์ดเก็บข้อมูลมากขึ้น

2.5.3 Aspect Ratio หรือ สัดส่วนภาพ หรือสัดส่วนของภาพด้านกว้าง:ด้านยาว สัดส่วนตรงนี้มีสำคัญกับการนำภาพไปใช้งาน เช่น ต้องการใช้อัดขยายภาพขนาด 4x6 นิ้ว เท่ากับภาพมีสัดส่วน 1:1.5 แต่ใช้กล้องดิจิทัลที่มีสัดส่วนกว้างยาว 1200x1600 พิกเซล หรือ 1:1.33 สัดส่วนกว้างยาวของภาพที่ต้องการและ Image Sensor ไม่เท่ากัน เมื่อนำภาพไปขยายจะได้ภาพไม่เต็มกระดาษ หรือเกิดการตัดส่วนภาพบนกระดาษไป กล้องดิจิทัลระดับมือสมัครเล่นจะมีสัดส่วนภาพอยู่ประมาณ 1:1.33 เพื่อให้เข้ากับจอมอนิเตอร์หรือ TV ส่วนกล้องดิจิทัลระดับมืออาชีพจะมีสัดส่วนประมาณ 1:1.5 ซึ่งเท่ากับฟิล์มขนาด 35 มม.

2.5.4 ความไวแสง หรือ Sensitivity ความไวแสงของ Sensor รับภาพเป็นความไวแสงที่เทียบจากความไวแสงของฟิล์มในมาตรฐานของ ISO (International Standard Organization) ยิ่งความไวแสงสูงจะทำให้สามารถใช้ความเร็วชัตเตอร์สูงหรือช่องรับแสงแคบได้มากกว่า กล้องดิจิทัลส่วนใหญ่จะเริ่มความไวแสงที่ความไวแสงประมาณ ISO 100 แต่สามารถเลือกความไวแสงได้หลายค่าในกล้องตัวเดียว เช่น 100 , 200, 400, 800, 1600 ซึ่งไม่เหมือนฟิล์มที่จะไม่สามารถเปลี่ยนความไวแสงสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงฟิล์มได้ และสามารถถ่ายภาพแต่ละภาพโดยใช้ความไวแสงที่แตกต่างกันได้ทำให้สะดวกในการทำงานในสภาพแสงต่าง ๆ กัน

การปรับตั้งความไวแสงสูงขึ้นในกล้องดิจิทัลจะเกิดสัญญาณรบกวน ทำให้ภาพมีคุณภาพลดลงไปบ้าง เช่นเดียวกับการเพิ่มเวลาดำของฟิล์มถ่ายภาพ

2.5.5 ขนาดของ Sensor รับภาพถ้ามีการใช้ตัว Sensor รับภาพขนาดใหญ่มีแนวโน้มจะให้คุณภาพที่ดีกว่า Sensor รับภาพขนาดเล็ก (จำนวน pixel เท่ากัน) เพราะจะมีขนาดของ Photosite ใหญ่กว่า ทำให้ไวต่อแสง มี Bit สีมากกว่า มีความคมชัดและรายละเอียดดีกว่า แต่ราคาจะแพงมากขึ้นตามขนาดของ Image Sensor ที่ใหญ่ขึ้น ตัวกล้องจะใหญ่ขึ้นตามด้วย จึงใช้เฉพาะกล้องระดับมืออาชีพเท่านั้นชนิดของ Image Sensor [10]

2.6 วิธีการวัดปริมาตร

ปริมาตรเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ สามารถบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างมวลและความหนาแน่น วิธีการวัดปริมาตรรูปทรงเรขาคณิต มีวิธีดังนี้

2.6.1 การวัดปริมาตรรูปทรงเรขาคณิตโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)

ในการหาปริมาตรรูปทรงเรขาคณิตต่างๆโดยการใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ เราจำเป็นต้องใช้สมการการหาพื้นที่ของรูปทรงต่างๆมาใช้ในการคำนวณ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{สมการการหาพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \quad (2.19)$$

$$\text{สมการการหาปริมาตรทรงกลม} = \frac{4}{3} \times \text{พาย} \times \text{รัศมี}^3 \quad (2.20)$$

$$\text{สมการการหาปริมาตรทรงกระบอก} = \text{พาย} \times \text{รัศมี}^2 \times \text{สูง} \quad (2.21)$$

$$\text{สมการการหาปริมาตรทรงกรวย} = \frac{1}{3} \times \text{พาย} \times \text{รัศมี}^2 \times \text{สูง} \quad (2.22)$$

$$\text{สมการการหาปริมาตรพีระมิด} = \frac{1}{3} \times \text{พื้นที่ฐาน} \times \text{สูง} \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric Mean Diameter)

ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญในการตัดขนาดของรูปทรงต่างๆ วิธีนี้เป็นการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูปทรงต่างๆ ที่มีขนาดสมมาตรกัน เมื่อทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตจากสมการที่ 2.24 จึงสามารถคำนวณหาปริมาตรได้ ดังสมการ 2.25

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต} \quad GMD = \sqrt[3]{abc} \quad (2.24)$$

เมื่อ a คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาว

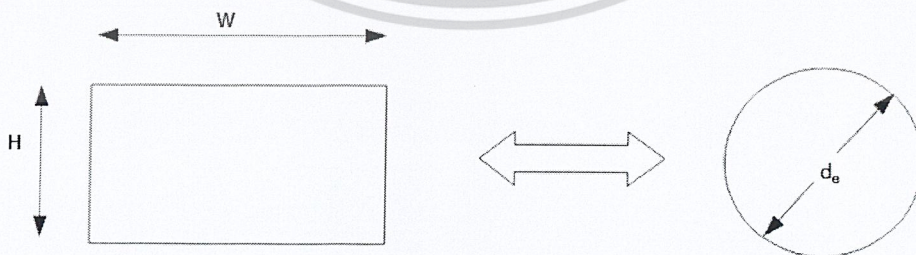
b คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a

c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a และ b

$$\text{ปริมาตร (V)} = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{GMD}{2}\right)^3 \quad (2.25)$$

การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ ทำได้โดยการใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) หรือไมโครมิเตอร์ (Micrometer) วิธีการวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตมีข้อจำกัด จะใช้ได้กับวัตถุที่มีความสมมาตร ถ้าใช้วิธีนี้กับวัตถุที่มีรูปร่างไม่สมมาตรจะทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาด

เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (Equivalent diameter) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายคลึงกับเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิต และสามารถตัดแยกขนาดได้ โดยวิธีการนี้เป็นการประมาณด้วยระนาบสองมิติดังรูปที่ 2.14 และสามารถกำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลได้ดังสมการ 2.26 เมื่อรู้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลแล้ว จึงสามารถคำนวณปริมาตรได้ดังสมการ 2.27



รูปที่ 2.14 เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล

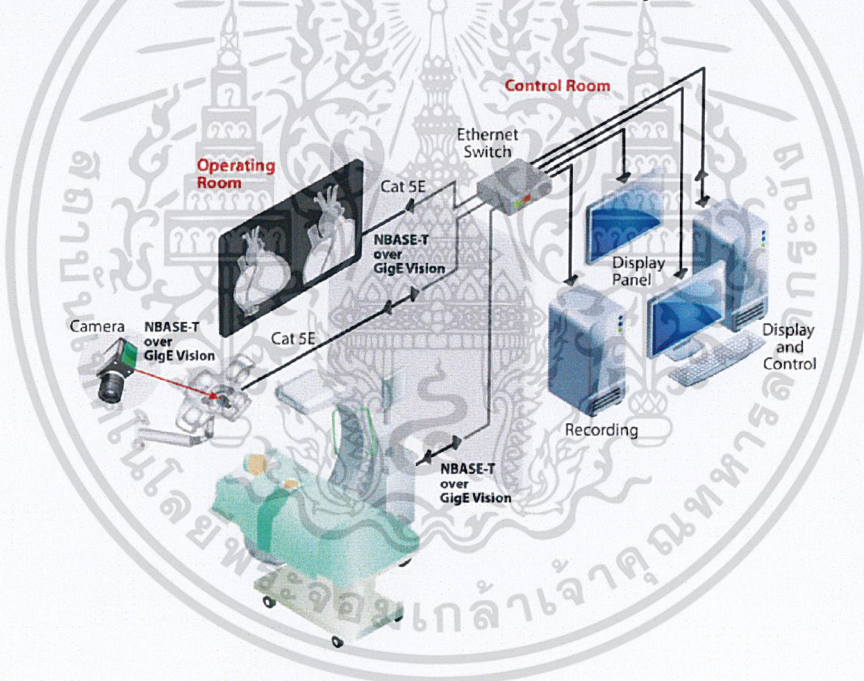
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล } EquivalentDiameter(E.D) = \sqrt[3]{height \times width \times width} \quad (2.26)$$

$$\text{ปริมาตร } EstimatedVolume = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{E.D}{2} \right)^2 \quad (2.27)$$

2.6.3 ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น (Computer vision system)

ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นคือ การประมวลผลภาพเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถทำความเข้าใจกับองค์ประกอบของภาพหรือสามารถแยกแยะวัตถุในภาพได้ โดยทำให้คอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและแยกแยะวัตถุต่าง ๆ ได้ การวิจัยและพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานสาขาต่างๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ภูมิศาสตร์ การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม การคัดแยก การตรวจสอบการวัดขนาดชิ้นงานในอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวก ลดระยะเวลาในการดำเนินงานให้ถูกต้องและแม่นยำและช่วยลดข้อผิดพลาด ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น

(ที่มา <https://www.qualitymag.com/articles/93708-fueling-innovation-in-machine-vision>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 วิธีการแทนที่ด้วยของน้ำ

เมื่อวัตถุแทรกตัวลงไปใต้น้ำทำให้ระบบมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเท่ากับปริมาตรของวัตถุนั้น การแทนที่ของเหลวเป็นวิธีการง่าย ๆ สำหรับการหาปริมาตรของวัตถุ

นอกจากนี้อาจใช้วิธีชั่งน้ำหนักวัตถุในของเหลว น้ำหนักวัตถุที่ชั่งในของของเหลวแสดงถึงน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ นั่นคือแรงพยุงวัตถุของของเหลวนั่นเอง ฉะนั้นปริมาตรของวัตถุคำนวณได้ดังสมการ 2.28

$$\text{volume } (m^3) = \frac{\text{Mass of objects (g)}}{\text{density}(g / m^3)} \quad (2.28)$$

โดยที่ volume คือ ค่าปริมาตรของวัตถุ โดยมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร
 Mass of objects คือ มวลของวัตถุ โดยมีหน่วยเป็น กรัม
 density คือ ความหนาแน่นของวัตถุ โดยมีหน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เนื่องจากวัตถุทางการแพทย์ และอาหารบางชนิดมักจะมีรูพรุนหรือดูดซับของเหลวโดยเฉพาะน้ำเป็นอย่างดี การหาปริมาตรโดยวิธีเหล่านี้อาจมีข้อผิดพลาดได้มาก จึงมีการเลือกใช้ของเหลวที่เหมาะสมกับวัตถุที่จากปริมาตรและคำนึงถึงปริมาตรภายนอก และปริมาตรที่แท้จริงดังสมการ 2.29 และ 2.30 ตามลำดับ

ปริมาตรภายนอก = ปริมาตรของเหลวที่ถูกแทนที่ + ปริมาตรของของเหลวที่ซึมเข้าไปในวัตถุ (2.29)

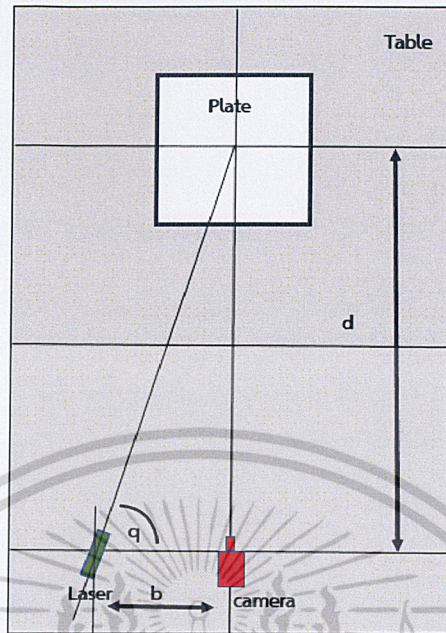
ปริมาตรที่แท้จริง = ปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่ (2.30)

การหาปริมาตรที่แท้จริงโดยวิธีการนี้ไม่เหมาะสมเนื่องจากไม่สามารถกำหนดเวลาที่ของเหลวถ่ายเทเข้าไปในช่องว่างของรูพรุนได้ เนื่องจากน้ำเป็นของเหลวที่หาง่ายที่สุด และง่ายต่อการทดลองจึงมักนิยมใช้น้ำเป็นของเหลวในการทดลอง หากวัตถุไม่ดูดซับน้ำหรืออาจเคลือบวัตถุก่อนด้วยไขบาง ๆ เพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าไปก็ได้ ส่วนของเหลวอื่น ๆ ที่ใช้ได้แก่ โทลูอีน ซึ่งมีข้อดีคือไม่ค่อยซึมเข้าไปในวัตถุ มีความตึงผิว เป็นตัวทำละลายที่ไม่ดีต่อไขมัน และน้ำมัน มีจุดเดือดสูง ความถ่วงจำเพาะ และความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับอากาศ และมีความถ่วงจำเพาะต่ำ นอกจากนี้ยังมีสารละลายอื่น ๆ ได้แก่

เฮกเซนซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 0.66 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

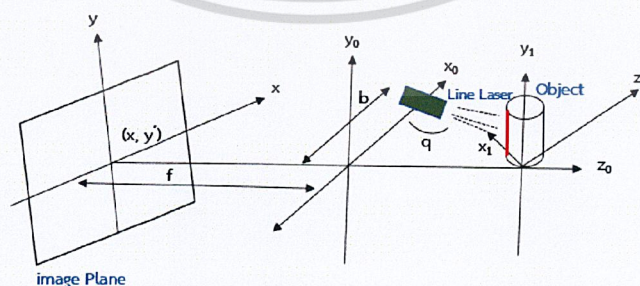
2.7 การหาตำแหน่งบนเส้นเลเซอร์ในข้อมูลรูปภาพ



รูปที่ 2.16 แผนภาพการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมระยะและมุมบนฐาน

ในโครงการนี้วัตถุจะถูกวางบนจานหมุนในกล้องสี่เหลี่ยม และมีเลเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดแสงสีแดงไปโปรเจกบนวัตถุ และมีกล้อง webcam มาเก็บภาพเส้นสีแดงที่ตกกระทบบนวัตถุดังแสดงดังรูปที่ 2.16 เพื่อจะนำไปคำนวณหาตำแหน่งหรือพิกัดเส้นที่ตกกระทบซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งหรือพิกัดของเส้นที่ตกกระทบนั้นดังแสดงดังรูปที่ 2.17 จะมีกระบวนการคำนวณอยู่หลายขั้นตอนด้วยกันคือ

2.7.1 การคำนวณหาตำแหน่งของเส้นเลเซอร์ตกกระทบจากเฟรมของรูปภาพ $(x' y')$ ให้อยู่ในเฟรมเมื่อจุดกำเนิดอยู่ที่เลนส์ $(x_0 y_0 z_0)$



รูปที่ 2.17 ระบบพิกัดในการคำนวณหาตำแหน่งของเลเซอร์บนวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการการหาตำแหน่งเส้นจาก Laser บนวัตถุเมื่อเทียบกับ Frame xyz คือ

$$x = \frac{bd_x x}{f \cot(\theta) - d_x x} \quad (2.31)$$

$$y = \frac{bd_y y}{f \cot(\theta) - d_y y} \quad (2.32)$$

$$z = \frac{bf}{f \cos(\theta) - d_x x} \quad (2.33)$$

โดยที่ f คือ focal length of the lens

θ คือ มุมระหว่าง Base line กับแนวของเส้น laser

b คือ ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางกล้องหรือเลนส์ไปถึงจุดศูนย์กลางของหัว laser

x, y คือ ค่าตำแหน่งของเส้นเลเซอร์บนข้อมูลภาพ

d_x, d_y คือ ขนาดของพิกเซลในเลเซอร์กล้องในแนวแกน x และ y

2.7.2 การแปลงค่าตำแหน่ง x ของเส้นเลเซอร์เป็นรัศมีจริงในการแปลงค่าตำแหน่งจะนำค่า

x ที่เป็นค่าพิกเซลของรูปมาแปลงเป็นรัศมีจริงเพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาตร

สมการการแปลงค่าตำแหน่ง x ของเส้นเลเซอร์เป็นรัศมีจริงคือ

$$R = \frac{(r + xoffset)}{\sin(camAngle)}, \text{ (เมื่อ } xoffset > 0 \text{)} \quad (2.34)$$

$$R = \frac{(rect(3) - r - xoffset)}{\sin(camAngle)}, \text{ (เมื่อ } xoffset < 0 \text{)} \quad (2.35)$$

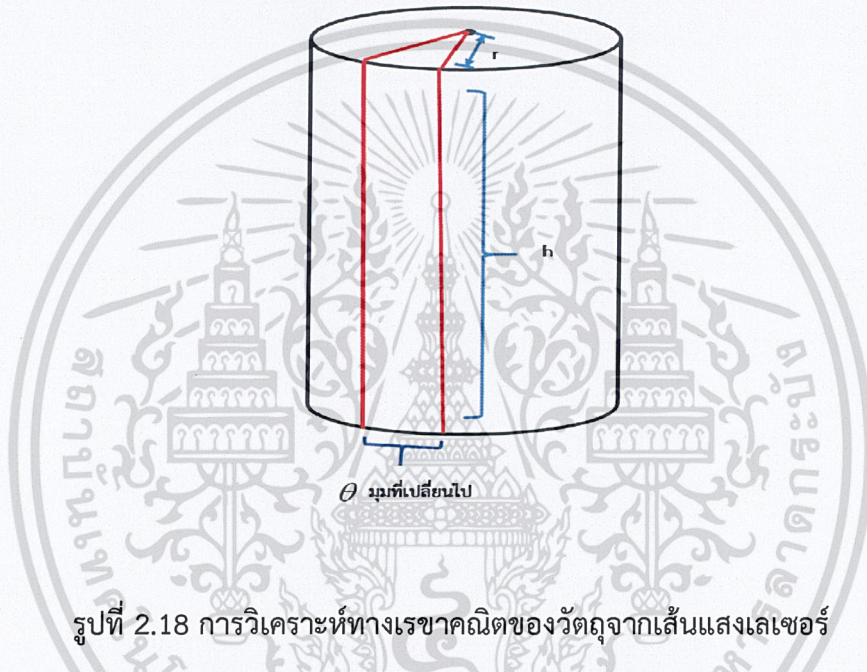
โดยที่ r คือ ค่าตำแหน่ง x ในหน่วยพิกเซล

$xoffset$ คือ ตำแหน่งของมุมซ้ายบนของแกนหมุนวัดเป็นพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การคำนวณหาปริมาตรรูปทรงเรขาคณิตจากเส้นแสงเลเซอร์

เมื่อทำการฉายแสงเลเซอร์ลงบนวัตถุจะทำให้แสงเลเซอร์เปลี่ยนไปตามพื้นผิวของวัตถุนั้นๆ ซึ่งสามารถนำแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุที่ได้จากกล้องแล้วบันทึกข้อมูลเป็นภาพมาวิเคราะห์ถึงรูปทรงวัตถุได้สามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวของวัตถุได้โดยการนำค่าความสูง และค่ารัศมีในแต่ละมุมมาทำการอินทิเกรตเพื่อหาพื้นที่ในแต่ละมุมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.36 โดยโครงการนี้ได้ทำการทดสอบการวัดรูปทรงเรขาคณิต ได้แก่ รูปทรงกระบอก รูปทรงกลม รูปทรงกรวย รูปทรงสี่เหลี่ยม และรูปทรงพีระมิดนอกจากนี้ยังนำถ่วงน้ำหนักตลทราย และขวดน้ำมาทำการวัดปริมาตร ดังนั้นลักษณะของเส้นเลเซอร์ที่ฉายลงบนวัตถุจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การวิเคราะห์ทางเรขาคณิตของวัตถุจากเส้นแสงเลเซอร์

จากรูปที่ 2.18 สามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวของวัตถุได้โดยการนำค่าความสูงและค่ารัศมี ในแต่ละมุมมาทำการอินทิเกรตโดยการอินทิเกรตจะอินทิเกรตค่ารัศมีทั้งแกน x และ แกน y จากนั้นทำการอินทิเกรตค่ามุมที่เปลี่ยนไปในแต่ละครั้ง และอินทิเกรตค่าความสูง ในที่นี้ค่ารัศมีกับค่าความสูง อาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากมีอาจบางจุดเมื่อแสงเลเซอร์ตกกระทบพื้นผิวแล้วมุมกล้องไม่สามารถบันทึกเพื่ออ่านค่าของแสงเลเซอร์ ณ จุดๆนั้นได้ จากที่กล่าวมาเราสามารถคำนวณหาพื้นที่ในแต่ละมุมได้จากสมการที่ 2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = \iiint r dr d\theta dh \quad (2.36)$$

- เมื่อ A คือ พื้นที่ในแต่ละมุมของวัตถุ
 r คือ ค่ารัศมีของวัตถุ
 θ คือ ค่ามุมที่เปลี่ยนไป
 h คือ ค่าความสูงของวัตถุ

เมื่อนำพื้นที่ในแต่ละมุมที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 2.36 มาคำนวณรวมกันทั้งหมดจำนวนเฟรมที่วัตถุตัดผ่านเส้นแสงเลเซอร์จะได้เป็นค่าพื้นที่โดยรวมหรือปริมาตรของวัตถุ ซึ่งสามารถหาได้โดย

$$V = \sum_{i=1}^k A_i \quad (2.37)$$

- เมื่อ V คือ ปริมาตรหรือพื้นที่รวมของวัตถุ
 A คือ พื้นที่หน้าตัดในแต่ละมุมของวัตถุ
 k คือ จำนวนเฟรมที่วัตถุตัดผ่านเส้นแสงเลเซอร์

2.9 การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage Error)

ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน คือ ความถูกต้องและความเชื่อถือของการทดลองพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้ต้องมีปริมาณที่เป็นจริงและถูกต้องไว้เปรียบเทียบกับตั้งนั้น เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหาได้ดังสมการ 2.38

$$\%Error = \left| \frac{x_{measure} - x_{true}}{x_{true}} \right| \times 100 \quad (2.38)$$

เมื่อ $\%Error$ คือ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการวัด

$x_{measure}$ คือ ค่าที่วัดได้จากการทดลอง

x_{true} คือ ค่าที่เชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องสแกนสามมิติ พบว่าในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตได้นำเทคโนโลยีย้อนรอยมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติจากชิ้นงานหรือตัวต้นแบบโดยใช้การสแกนแบบสามมิติ เครื่องสแกนสามมิติจึงถูกนำมาใช้วัดหาพิกัดพื้นผิววัตถุ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปขึ้นรูปสามมิติ ในการทดลองได้นำวัตถุรูปร่างแตกต่างกันมาทำการสแกนหาปริมาตรของวัตถุจริงและทำการหมุนวัตถุในมุมที่ต่างกันเพื่อหาการหมุนที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด จากการทดลองเห็นได้ว่าความละเอียดของการหมุนวัตถุมีผลต่อการเก็บจุดข้อมูลถึงความละเอียดการหมุนวัตถุน้อยยิ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อย ความซับซ้อนของวัตถุที่ใช้สแกนมีผลต่อการสแกนเช่นกัน ยิ่งมีความซับซ้อนความคลาดเคลื่อนก็ยิ่งมาก เนื่องจากมีบางจุดเมื่อแสงเลเซอร์ตกกระทบพื้นผิวแล้วมุมกล้องไม่สามารถบันทึกเพื่ออ่านค่าของแสงเลเซอร์ ณ จุด ๆ นั้นได้

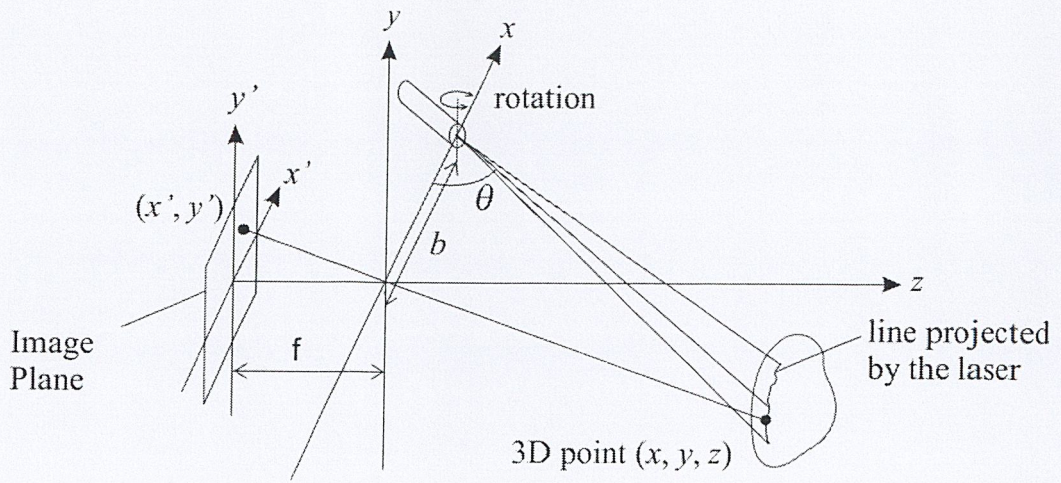
[2] ได้ศึกษาระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยอุปกรณ์คิเนค พบว่าแบบจำลองที่ได้มีความใกล้เคียงกับวัตถุที่นำมาสแกน แต่ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ เนื่องมาจากกล้องคิเนคมีความละเอียดค่อนข้างต่ำ

[3] ได้ศึกษาวิธีการวัดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของแอปเปิ้ล ส้ม และมะนาว จากนั้นคำนวณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตจากภาพถ่ายสามมิติโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งมีการฉายแสงเลเซอร์ไปยังวัตถุนั้นๆ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของวัตถุสามารถคำนวณได้จากภาพถ่ายเพียงภาพเดียว วิธีนี้ใช้ได้กับวัตถุที่มีขนาดสมมาตร แต่เมื่อใช้กับวัตถุที่ไม่มีความสมมาตรจะมีความคลาดเคลื่อนสูง

[4] ได้ศึกษาวิธีการวัดปริมาตรผักและผลไม้ด้วยวิธีลำแสงเลเซอร์ตัดขวางโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพโดยเทคนิคการวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วน (3D-laser light sectioning, 3D-LLS) เมื่อเปรียบเทียบการวัดปริมาตรของ 3D-LLS กับวิธีการวัดปริมาตรด้วยน้ำ จะเห็นได้ว่าวิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพและแม่นยำสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องได้ทันที และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผักและผลไม้รูปทรงต่างๆ ที่มีลักษณะสมมาตร

[5] ได้ศึกษาการนำเสนอระบบสแกนสามมิติ ซึ่งใช้หลักการของ laser triangulation และได้พัฒนาขึ้นมาใช้ในลักษณะรูปแบบที่มี field of view เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นได้ทำให้ระบบสแกนมีความถูกต้องมากขึ้นและระยะเวลาการทำงานกว้างมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 geometry of triangulation technique [5]



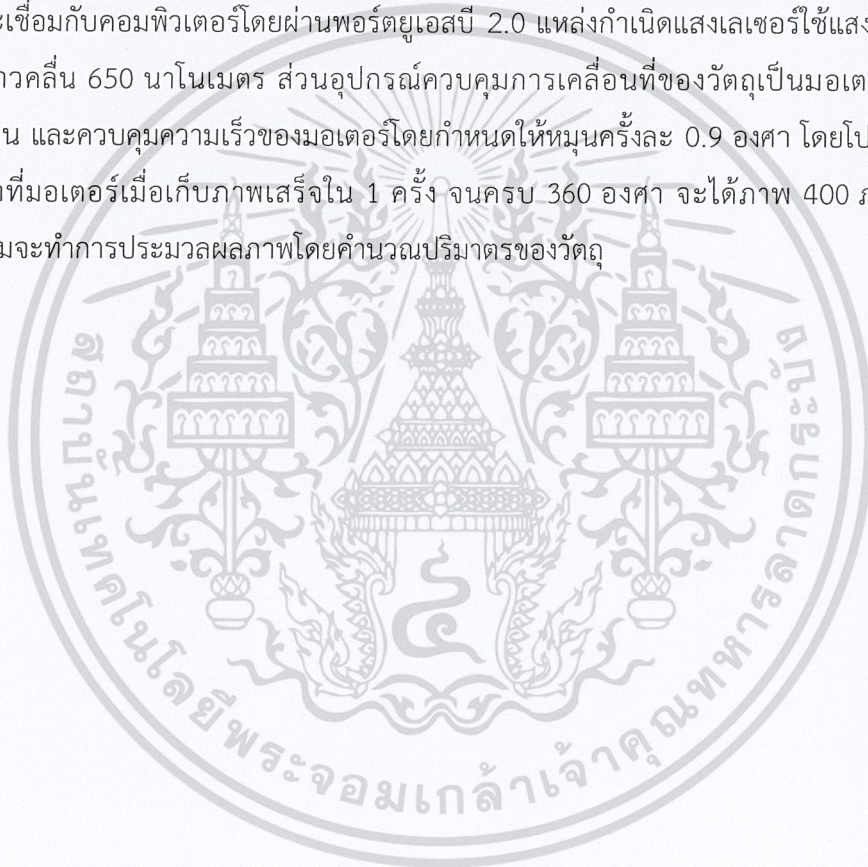
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

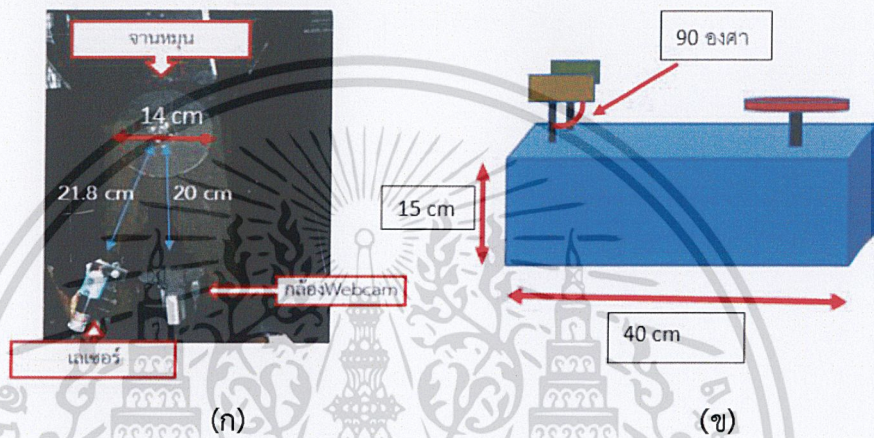
ในการทดลองจะใช้โปรแกรมที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นบนโปรแกรม Matlab 2018b เป็นโปรแกรมที่ใช้ทดสอบและวิเคราะห์ผล โดยการประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการประมวลผล 4.0 GHz ขนาดหน่วยความจำ 4 GB และใช้กล้องเว็บแคมเป็นตัวเก็บข้อมูลภาพและมีความละเอียดในการถ่ายภาพนิ่งที่ 1024x768 พิกเซลซึ่งกล้องจะเชื่อมกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ตยูเอสบี 2.0 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ใช้แสงเลเซอร์แบบความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ส่วนอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นมอเตอร์ใช้เป็นตัวขับเคลื่อน และควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยกำหนดให้หมุนครั้งละ 0.9 องศา โดยโปรแกรมจะส่งคำสั่งไปที่มอเตอร์เมื่อเก็บภาพเสร็จใน 1 ครั้ง จนครบ 360 องศา จะได้ภาพ 400 ภาพ จากนั้นโปรแกรมจะทำการประมวลผลภาพโดยคำนวณปริมาตรของวัตถุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ตำแหน่งอุปกรณ์บนเครื่องวัดปริมาตรสามมิติ

ในการออกแบบเครื่องวัดปริมาตรสามมิติมีขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ความยาว 40 เซนติเมตร เรากำหนดให้เครื่องวัดปริมาตรสามารถใช้กับวัตถุที่มีความสูงไม่เกิน 15x15 เซนติเมตร โดยในที่นี้จะแสดงตำแหน่งการวางและระยะจากกล้องถึงกลางงานหมุนและระยะเลเซอร์ถึงกลางงานหมุนโดยที่ระยะจากกล้องถึงงานมีค่าเท่ากับ 20 เซนติเมตร และระยะจากเลเซอร์ถึงงานมีค่าเท่ากับ 21.8 เซนติเมตร ขนาดของงาน 14 เซนติเมตร โดยที่กล้อง และ เลเซอร์ทำมุม 90 องศาตั้งฉากกับพื้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมระยะ
(ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองด้านข้าง

3.2.1 การควบคุมการทำงานของเครื่องวัดปริมาตรสามมิติ

การควบคุมการทำงาน เมื่อเปิดเครื่องอุปกรณ์แสงเลเซอร์แบบเส้นให้ตกกระทบบนผิวของวัตถุในแนวตั้งฉากและอยู่ตรงจุดศูนย์กลางของการหมุน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์กล้องและชุดคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งสัญญาณในการควบคุมให้ชุดคอนโทรลเลอร์ควบคุมการสั่งงานควบคุมให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ในการหมุนวัตถุซึ่งการเก็บภาพครบ 1 รอบ คือ 360 องศา จำนวนภาพที่โปรแกรมเก็บได้คือ 400 ภาพ ภาพที่ได้โปรแกรมจะนำไปประมวลผลภาพโดยโปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานเครื่องวัดปริมาตรสามมิติ

3.2.2.1 เลเซอร์แบบเส้น

เลเซอร์แบบเส้น เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการฉายแสงไปยังวัตถุที่ใช้สแกนในลักษณะระนาบ แสดงดังรูปที่ 3.2 เพื่อทำให้เกิดระดับความแตกต่างของความสว่างของแสงที่เกิดบนภาพของวัตถุในการแยกลักษณะของพื้นผิววัตถุที่มีความแตกต่างกัน ระดับความสว่างของแสงที่แตกต่างกันนี้สามารถทำให้ทราบได้ว่าลักษณะพื้นผิวหรือระยะของตำแหน่งพิกัดจริงของวัตถุมีค่าเท่าใดเมื่อผ่านการประมวลผลทางรูปภาพจากโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุม



รูปที่ 3.2 เลเซอร์แบบเส้น

3.2.2.2 กล้องดิจิทัล

กล้องดิจิทัล ในโครงการพิเศษนี้ใช้เป็นกล้อง NUBWO NWC-500 ซึ่งเป็นกล้องที่มีความละเอียด 1920x1080 pixel ระบบ auto Focus สามารถปรับภาพหรือวิดีโอได้อัตโนมัติ และสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่นด้วยพอร์ต USB2.0 โดยจะใช้ในการเก็บภาพดิจิทัลของการสแกนที่ใช้ในการประมวลผลภาพแสดงดังรูปที่ 3.3

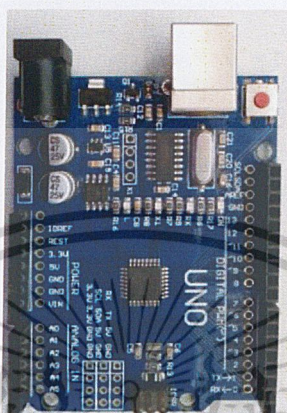


รูปที่ 3.3 กล้องดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller)

คอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.4 ที่เป็นตัวหมุนจานหมุนของเครื่องวัดปริมาตร ในเครื่องวัดปริมาตรสามมิตินี้จะใช้บอร์ด Arduino UNO แรงดันไฟฟ้าขาออก 0 ถึง 5 โวลต์



รูปที่ 3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2.4 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor)

สเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนที่รองรับการสแกนแสดงดังรูปที่ 3.5 เพื่อให้วัตถุนั้นเกิดการหมุนรอบในแนวแกน ซึ่งจะถูควบคุมโดยสัญญาณพัลส์ (Pulse) ที่สร้างจากคอนโทรลเลอร์ สัญญาณการควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะถูกส่งมาจากชุดคอนโทรลเลอร์ผ่านตัวขับเพื่อใช้ขับเคลื่อน สเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ใช้คือ NEMA1742HB34F08AB ชนิด Hybrid มีแรงบิด 3.5 Nm



รูปที่ 3.5 สเต็ปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.5 ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์

ตัวขับเคลื่อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วทิศทาง และองศาของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ตัวขับเคลื่อนที่ใช้เป็น TB6600 มีกระแสขาเข้า 0-5 แอมป์ ในตัวขับเคลื่อนชนิดนี้มีสวิทช์ 6 สวิทช์ สวิทช์ 1-3 ใช้ควบคุมความเร็วการหมุนโดยจ่ายกระแสเป็น Pulse ต่อรอบ สวิทช์ 4-6 ใช้ในการปรับเพื่อควบคุมกระแสสามารถปรับการขับเคลื่อนกระแสขาออกได้ 0.5-4 แอมป์ แรงดันที่สั่งการการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์โดยจะใช้แรงดันตั้งแต่ 3 - 5.5 โวลต์ ในการสั่งการสถานะ HIGH หรือ LOW ปริมาณกระแสต่อเฟสสูงสุดที่สามารถทนได้ 2 แอมป์แสดงดังรูปที่ 3.6 ก

โดยการเชื่อมต่อวงจรตัวขับเคลื่อนเข้ากับบอร์ด Arduino และตัวสเต็ปเปอร์มอเตอร์ มีรายละเอียดดังนี้

ขา Pul ทำงานที่สถานะ active low ทำหน้าที่ จ่ายสัญญาณ Pulse ซึ่งขา Pul - ต่อเข้ากับขา 7 และ Pul + ต่อเข้ากับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ของบอร์ด Arduino

ขา Dir ทำงานที่สถานะ active low ทำหน้าที่ ควบคุมการหมุนของทิศทางมอเตอร์ ซึ่งขา Dir - ต่อที่ขา 6 และ Dir + ต่อเข้ากับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ของบอร์ด Arduino

ขา EN ทำงานที่สถานะ active low ทำหน้าที่ ปล่อยสัญญาณให้เป็น LOW ตลอดการใช้งาน เนื่องจากถ้ามีสถานะเป็น High จะทำให้ Output ไปยังมอเตอร์เป็น Disable Mode ซึ่งขา EN - ต่อเข้ากับขา 5 และ EN+ ต่อเข้ากับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ของบอร์ด Arduino

ขา B ทำหน้าที่ จ่าย Output ให้กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ซึ่งขา B - ให้ Output เป็น Negative ขา B + ให้ Output เป็น Positive ต่อเข้ากับตัวสเต็ปเปอร์มอเตอร์

ขา A ทำหน้าที่ จ่าย Output ให้กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ซึ่งขา A - ให้ Output เป็น Negative ขา A + ให้ Output เป็น Positive ต่อเข้ากับตัวสเต็ปเปอร์มอเตอร์

ขา GAN ทำหน้าที่ จ่ายไฟเลี้ยง 0 โวลต์ ให้กับตัวขับเคลื่อนซึ่งต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์

ขา VCC ทำหน้าที่ จ่ายไฟเลี้ยง 9 โวลต์ถึง 42 โวลต์ ให้กับตัวขับเคลื่อนซึ่งต่อเข้ากับขั้วบวกแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์

แสดงดังรูปที่ 3.6 ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายไฟฟ้าให้กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนวัตถุ มี Input AC 100~240V / 47~63Hz Output DC 24V / 5A แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์

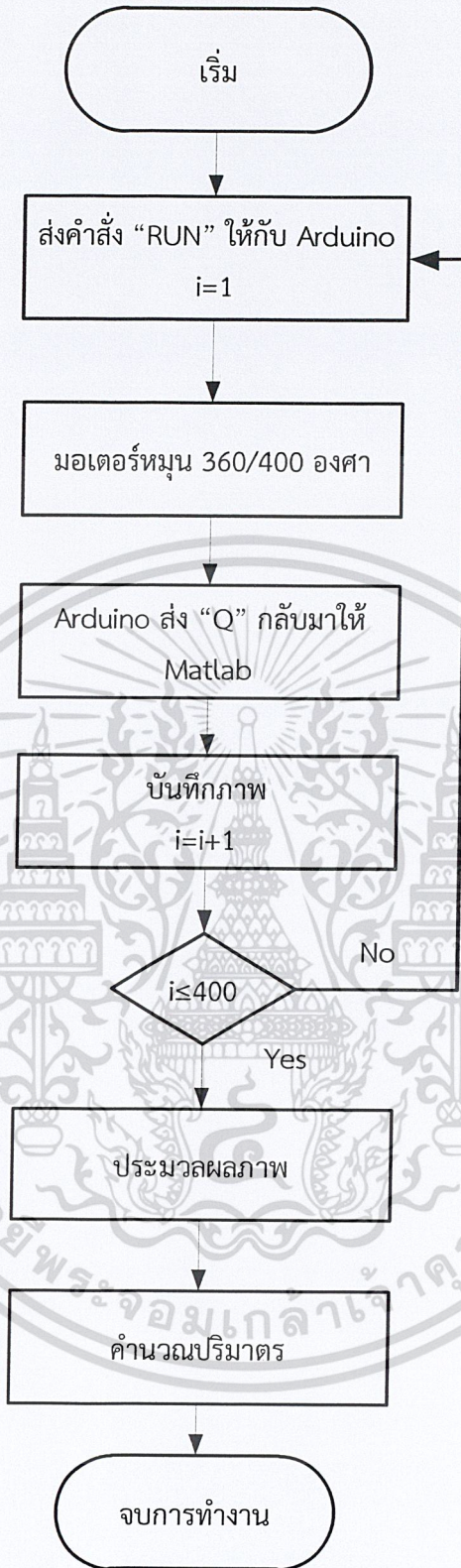
3.3 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

ในการประมวลผลภาพนั้นจะใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลโดยผ่านโปรแกรมที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น ซึ่งในโครงการนี้ใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 2018b ในการเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบและใช้หาปริมาตร โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ส่งคำสั่ง “RUN” ให้กับโปรแกรม Arduino
2. เมื่อ Arduino ได้รับคำสั่งจะทำการหมุนมอเตอร์ไป 0.9 องศา
3. Arduino ส่งคำสั่ง “Q” กลับมาให้โปรแกรม Matlab เมื่อหมุนไป 0.9 องศาแล้ว
4. บันทึกภาพจากกล้อง
5. ตรวจสอบการทำงานให้ครบตามรอบที่กำหนด
6. ประมวลผลรูปภาพและคำนวณหาตำแหน่งจุดบนเส้นของเลเซอร์
7. วัดปริมาตรโดยนำพื้นที่แต่ละมุมที่เปลี่ยนไปมาอินทิเกรตตั้งสมการที่ 2.34 และ 2.35 ตามลำดับ

จากลำดับการทำงานของโปรแกรมข้างต้นสามารถเขียนแผนภาพลำดับการทำงานของโปรแกรมได้ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แผนภาพขั้นตอนการทำงาน of โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองจากการสแกนวัตถุโดยใช้แสงเลเซอร์ฉายไปบนผิววัตถุที่ได้นำเสนอมาในบทที่ 3 มาทำการทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบสแกนวัดปริมาตรโดยใช้เลเซอร์ โดยการสแกนหาขนาด พื้นที่และพื้นที่รวมเชิงปริมาตรจากรูปทรงเรขาคณิต ได้แก่ รูปทรงกระบอก รูปทรงกลม รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงกรวย รูปทรงสี่เหลี่ยมรูปพีระมิด และ ทดลองวัดปริมาตรของน้ำตลทรายขนาด 500 กรัม และ ขวดน้ำขนาด 350 มิลลิลิตร

4.1 การทดลองวัดปริมาตรวัตถุรูปทรงกระบอก

วัตถุที่ทดลองเป็นวัตถุรูปทรงกระบอกสีดำด้านเพื่อเน้นเส้นเลเซอร์บนวัตถุการวางจะวางวัตถุไว้ตรงกลางของแท่นโต๊ะหมุนโดยการขั้นตอนการทำงานจะแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงระบบการทำงานการบันทึกข้อมูลภาพวัดปริมาตรรูปทรงกระบอก

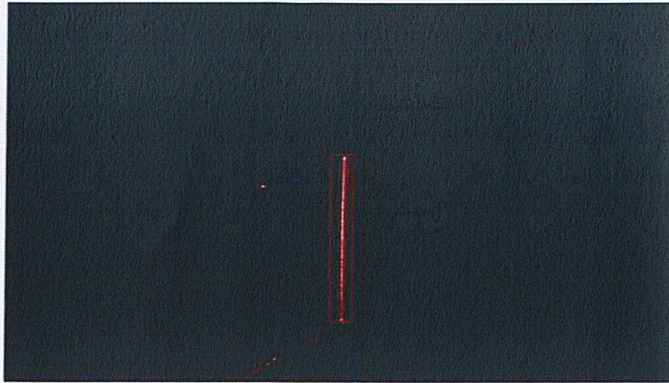
(ก) แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงเท่ากับ 5.990 ซม.

และ 11.927 ซม ตามลำดับ

(ข) แสดงการติดตั้งก่อนเก็บข้อมูลภาพรูปทรงกระบอก

(ค) แสดงเส้นเลเซอร์เมื่อฉายไปบนวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



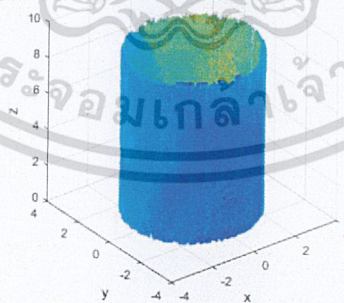
(ข)

รูปที่ 4.2 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพรูปทรงกระบอก

(ก) แสดงการเลือกแกนหมุนและกรอบเลือกกระยะเลเซอร์ที่ต้องการ
ประมวลผลของทรงกระบอก

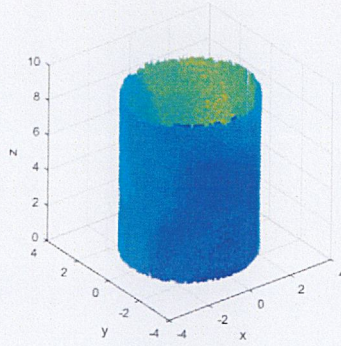
(ข) แสดงภาพหลังการกรอบเลือกกระยะเลเซอร์

จากผลการสแกน ในที่นี้เห็นได้ว่าเฉดสีบนวัตถุมีความแตกต่างกันเนื่องจากระดับความเข้มแสงของเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุมีความเข้มแสงต่างกัน ดังนั้นเมื่อทำการประมวลผลเป็นภาพระดับสีเทา เราจะสามารถจำแนกสีของวัตถุตามระดับความเข้มแสงได้เป็นดังรูปที่แสดง 4.3 4.4 4.5 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.3 รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

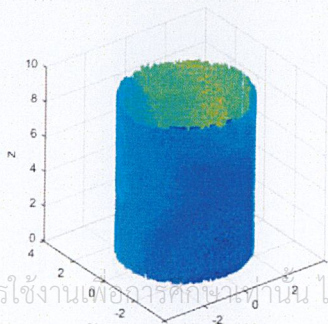


รูปที่ 4.4 รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.5 รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3

รูปที่ 4.6 รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 รูปทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5

ตารางที่ 4.1 ผลการหาปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใช้สมการที่ 2.21 และปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของปริมาตรรูปทรงกระบอกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38

ครั้งที่	ปริมาตรที่ได้จากการคำนวณ (ลบ.ซม)	ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม (ลบ.ซม)
1	336.105	327.483
2	336.135	328.433
3	332.579	328.784
4	332.439	338.567
5	331.074	328.101
ค่าเฉลี่ย	333.667	330.274
ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		1.020%

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดปริมาตรที่ได้จากวิธีการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ได้ค่าเฉลี่ยปริมาตรเท่ากับ 331.074 ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ได้จากวัดโดยใช้โปรแกรมเท่ากับ 330.274 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.020%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองวัดปริมาตรวัตถุทรงกลม

วัตถุที่ทดลองเป็นวัตถุรูปทรงกลมสีดำด้านเพื่อเน้นเส้นเลเซอร์บนวัตถุการวางจะวางวัตถุไว้ตรงกลางของแท่นโต๊ะหมุนโดยการขั้นตอนการทำงานจะแสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9

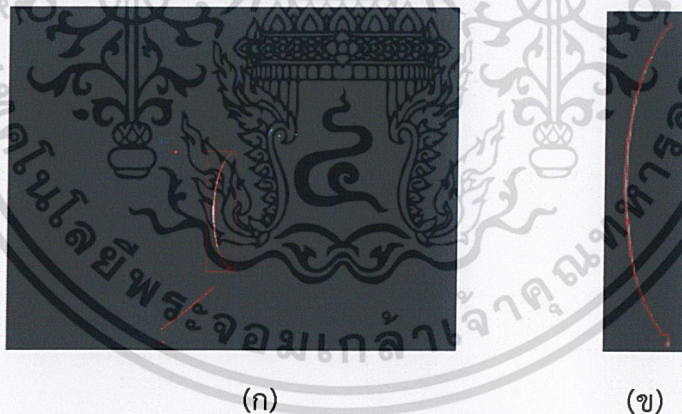


รูปที่ 4.8 แสดงระบบการทำงานการบันทึกข้อมูลภาพวัตถุปริมาตรรูปทรงกลม

(ก) แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5.990 ซม.

(ข) แสดงการติดตั้งก่อนเก็บข้อมูลภาพรูปทรงกลม

(ค) แสดงเส้นเลเซอร์เมื่อฉายไปบนวัตถุ



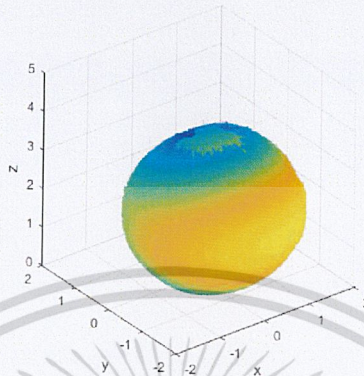
รูปที่ 4.9 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพรูปทรงกลม

(ก) แสดงการเลือกแกนหมุนและกรอบเลือกกระยะเลเซอร์ที่ต้องการประมวลผลของทรงกลม

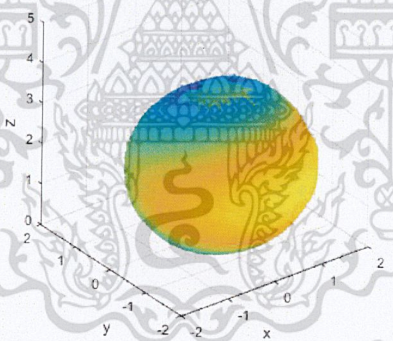
(ข) แสดงภาพหลังการกรอบเลือกกระยะเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการสแกน ในที่นี้เห็นได้ว่าคณิตศาสตร์มีความแตกต่างกันเนื่องจากระดับความเข้มแสงของเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุมีความเข้มแสงต่างกัน ดังนั้นเมื่อทำการประมวลผลเป็นภาพระดับสีเทา เราจะสามารถจำแนกสีของวัตถุตามระดับความเข้มแสงได้เป็นดังรูปที่แสดง 4.10 4.11 4.12 4.13 และ 4.14

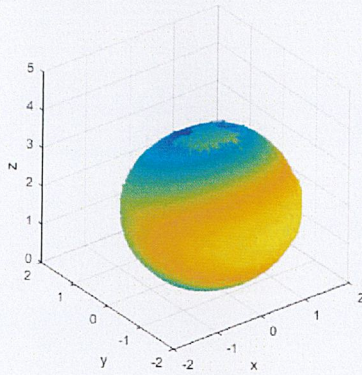


รูปที่ 4.10 รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 1



รูปที่ 4.11 รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 2

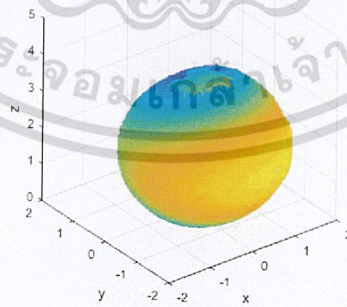
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 3



รูปที่ 4.13 รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 4



รูปที่ 4.14 รูปทรงกลมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใช้สมการที่ 2.20 และปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ปริมาตรรูปทรงกลมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38

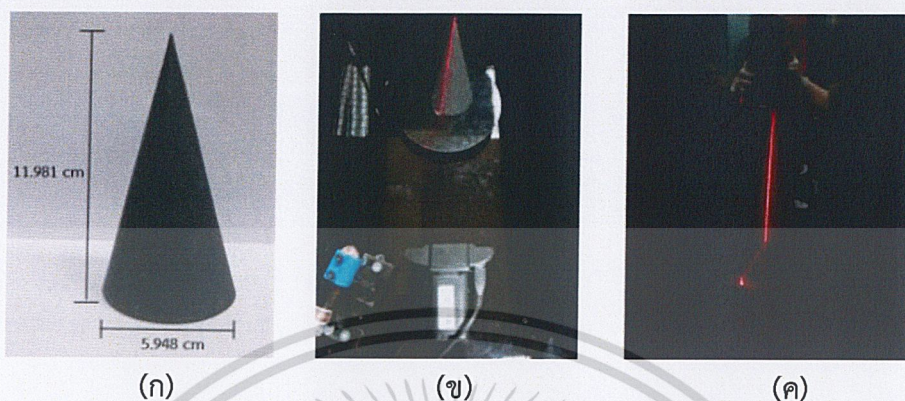
ครั้งที่	ปริมาตรที่ได้จากการคำนวณ (ลบ.ซม)	ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม (ลบ.ซม)
1	117.449	105.014
2	110.962	88.612
3	111.633	104.853
4	113.721	89.942
5	115.604	98.221
ค่าเฉลี่ย	113.874	97.328
ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		14.530%

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดปริมาตรที่ได้จากวิธีการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ได้ค่าเฉลี่ยปริมาตรเท่ากับ 113.874 ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ได้จากวัดโดยใช้โปรแกรมเท่ากับ 97.328 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.020%

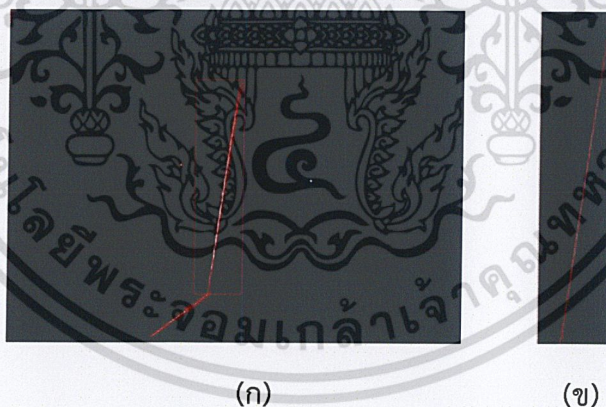
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวัดปริมาตรวัตถุทรงกรวย

วัตถุที่ทดลองเป็นวัตถุทรงกรวยสีดำด้านเพื่อเน้นเส้นเลเซอร์บนวัตถุการวางจะวางวัตถุไว้ตรงกลางของแท่นโต๊ะหมุนโดยการขั้นตอนการทำงานจะแสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16



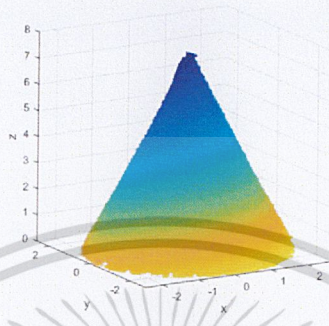
รูปที่ 4.15 แสดงระบบการทำงานการเก็บข้อมูลภาพวัตถุทรงกรวย
 (ก) แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงเท่ากับ 5.948 ซม. และ 11.981 ซม. ตามลำดับ
 (ข) แสดงการติดตั้งก่อนเก็บข้อมูลภาพรูปทรงกรวย
 (ค) แสดงเส้นเลเซอร์เมื่อฉายไปบนวัตถุ



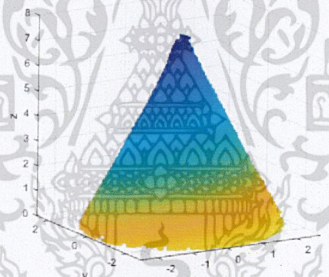
รูปที่ 4.16 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพรูปทรงกรวย
 (ก) แสดงการเลือกแกนหมุนและกรอบเลือกระยะเลเซอร์ที่ต้องการประมวลผลของทรงกรวย
 (ข) แสดงภาพหลังการกรอบเลือกระยะเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

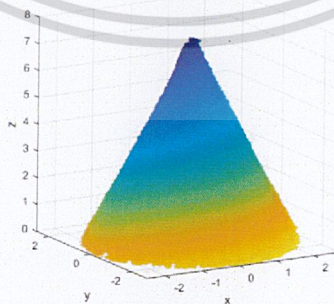
จากผลการสแกน ในที่นี้เห็นได้ว่าคณิตศาสตร์มีความแตกต่างกันเนื่องจากระดับความเข้มแสงของเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุมีความเข้มแสงต่างกัน ดังนั้นเมื่อทำการประมวลผลเป็นภาพระดับสีเทา เราจะสามารถจำแนกสีของวัตถุตามระดับความเข้มแสงได้เป็นดังรูปที่แสดง 4.17 4.18 4.19 4.20 และ 4.21



รูปที่ 4.17 รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 1

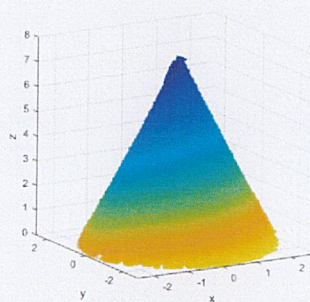


รูปที่ 4.18 รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 2

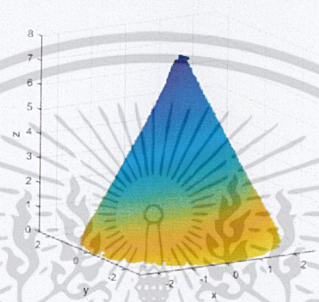


รูปที่ 4.19 รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 4



รูปที่ 4.21 รูปทรงกรวยที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใช้สมการที่ 2.22 และปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของปริมาตรรูปทรงกรวยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38

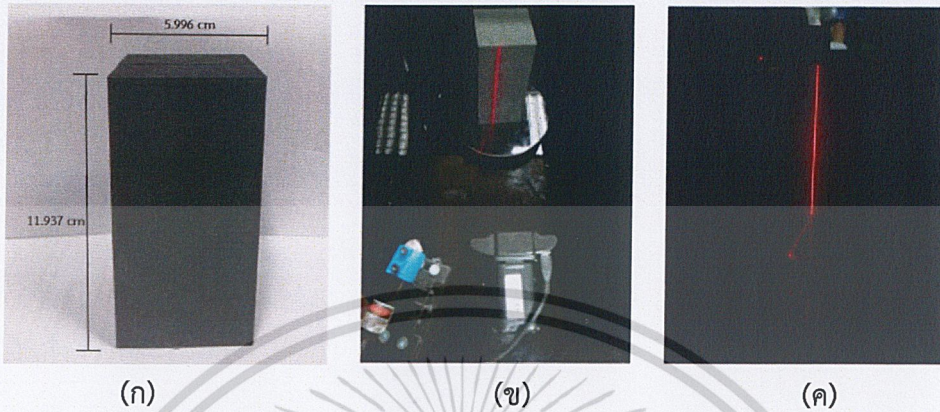
ครั้งที่	ปริมาตรที่ได้จากการคำนวณ (ลบ.ซม)	ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม (ลบ.ซม)
1	111.596	104.83
2	108.450	105.626
3	109.825	106.654
4	108.992	102.045
5	108.679	102.903
ค่าเฉลี่ย	109.509	104.412
ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		4.650%

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดปริมาตรที่ได้จากวิธีการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ได้ค่าเฉลี่ยปริมาตรเท่ากับ 109.509 ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ได้จากวัดโดยใช้โปรแกรมเท่ากับ 104.412 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.650%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองวัดปริมาตรวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยม

วัตถุที่ทดลองเป็นวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมสีดำด้านเพื่อเน้นเส้นเลเซอร์บนวัตถุการวางจะวางวัตถุไว้ตรงกลางของแท่นโต๊ะหมุนโดยการขั้นตอนการทำงานจะแสดงดังรูปที่ 4.22 และ 4.23



รูปที่ 4.22 แสดงระบบการทำงานการเก็บข้อมูลภาพวัตถุปริมาตรรูปทรงสี่เหลี่ยม

(ก) แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงเท่ากับ 5.996 ซม. และ 11.937 ซม. ตามลำดับ

(ข) แสดงการติดตั้งก่อนเก็บข้อมูลภาพรูปทรงสี่เหลี่ยม

(ค) แสดงเส้นเลเซอร์เมื่อฉายไปบนวัตถุ



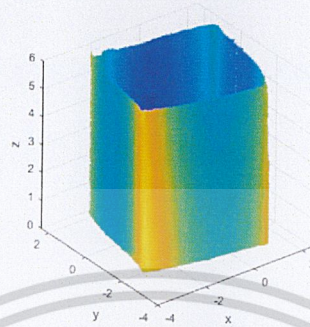
รูปที่ 4.23 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพรูปทรงสี่เหลี่ยม

(ก) แสดงการเลือกแกนหมุนและกรอบเลือกกระยะเลเซอร์ที่ต้องการประมวลผลของทรงสี่เหลี่ยม

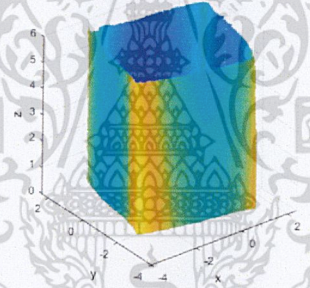
(ข) แสดงภาพหลังการกรอบเลือกกระยะเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

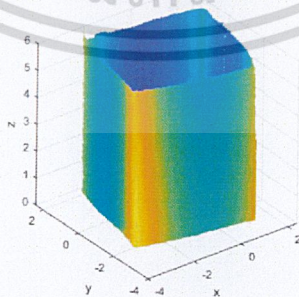
จากผลการสแกน ในที่นี้เห็นได้ว่าคณิตศาสตร์มีความแตกต่างกันเนื่องจากระดับความเข้มแสงของเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุมีความเข้มแสงต่างกัน ดังนั้นเมื่อทำการประมวลผลเป็นภาพระดับสีเทา เราจะสามารถจำแนกสีของวัตถุตามระดับความเข้มแสงได้เป็นดังรูปที่แสดง 4.24 4.25 4.26 4.27 และ 4.28



รูปที่ 4.24 รูปทรงสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 1

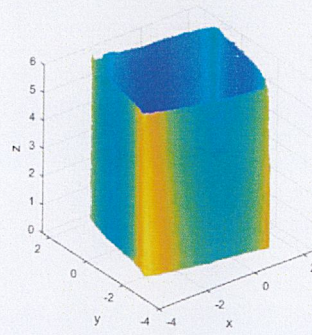


รูปที่ 4.25 รูปทรงสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 2



รูปที่ 4.26 รูปทรงสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 รูปทรงสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 4



รูปที่ 4.28 รูปทรงสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใช้สมการที่ 2.19 และปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ปริมาตรรูปทรงสี่เหลี่ยมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38

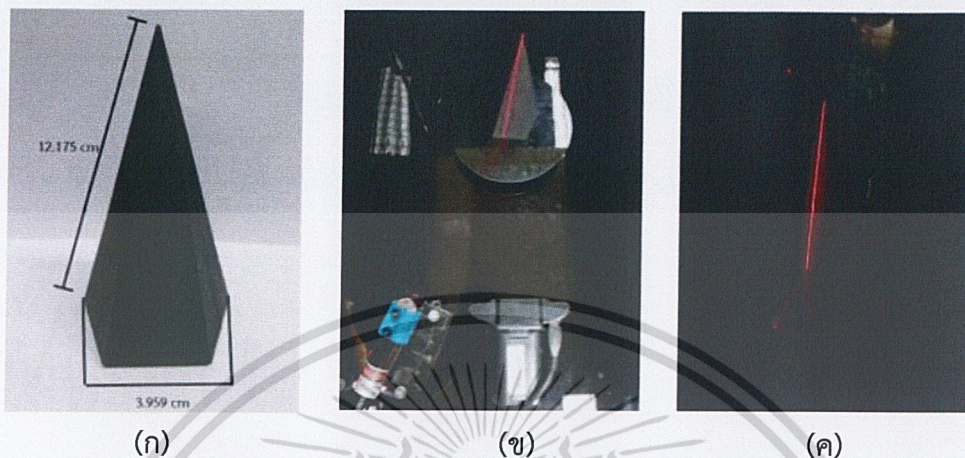
ครั้งที่	ปริมาตรที่ได้จากการคำนวณ (ลบ.ซม)	ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม (ลบ.ซม)
1	150.121	143.698
2	149.116	140.364
3	139.566	140.792
4	149.491	147.514
5	149.015	148.399
ค่าเฉลี่ย	147.462	144.153
ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		2.240%

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดปริมาตรที่ได้จากวิธีการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ได้ค่าเฉลี่ยปริมาตรเท่ากับ 147.462 ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ได้จากวัดโดยใช้โปรแกรมเท่ากับ 144.153 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.240%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองวัดปริมาตรวัตถุทรงพีระมิดห้าเหลี่ยม

วัตถุที่ทดลองเป็นวัตถุรูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมสีดำด้าน เพื่อเน้นเส้นเลเซอร์บนวัตถุ การวางจะวางวัตถุไว้ตรงกลางของแท่นโต๊ะหมุนโดยการขึ้นตอนการทำงานจะแสดงดังรูปที่ 4.29 และ 4.30



รูปที่ 4.29 แสดงระบบการทำงานการเก็บข้อมูลภาพวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยม

(ก) แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงเท่ากับ 12.175 ซม. และ 3.959 ซม. ตามลำดับ

(ข) แสดงการติดตั้งก่อนเก็บข้อมูลภาพรูปทรงสี่เหลี่ยม

(ค) แสดงเส้นเลเซอร์เมื่อฉายไปบนวัตถุ



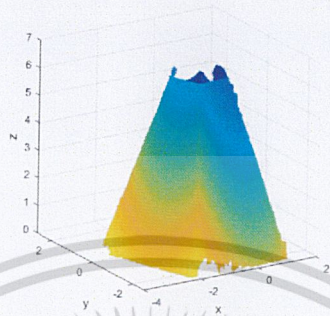
รูปที่ 4.30 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพรูปทรงพีระมิด

(ก) แสดงการเลือกแกนหมุนและกรอบเลือกระยะเลเซอร์ที่ต้องการประมวลผลของทรงพีระมิด

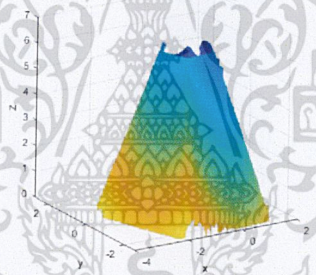
(ข) แสดงภาพหลังการกรอบเลือกระยะเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

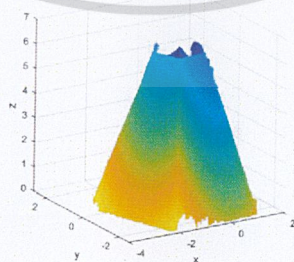
จากผลการสแกน ในที่นี้เห็นได้ว่าเจดีย์บนวัดภูมิจึงมีความแตกต่างกันเนื่องจากระดับความเข้มแสงของเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัดภูมิจึงค่าความเข้มแสงต่างกัน ดังนั้นเมื่อทำการประมวลผลเป็นภาพระดับสีเทา เราจะสามารถจำแนกสีของวัดภูมิจึงตามระดับความเข้มแสงได้เป็นดังรูปที่แสดง 4.31 4.32 4.33 4.34 และ 4.35



รูปที่ 4.31 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 1

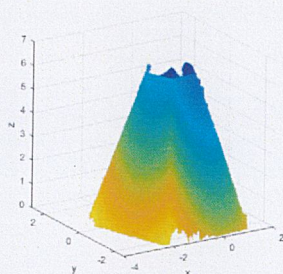


รูปที่ 4.32 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 2

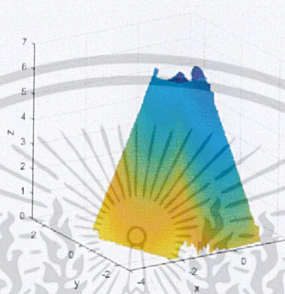


รูปที่ 4.33 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 4



รูปที่ 4.35 รูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยการใชสมการที่ 2.23 และปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ปริมาตรรูปทรงพีระมิดห้าเหลี่ยมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38

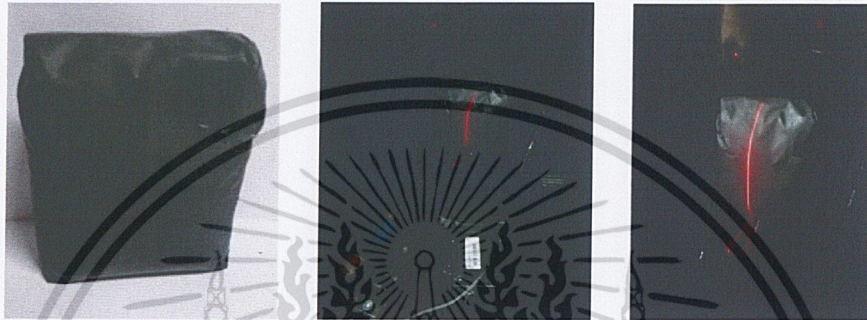
ครั้งที่	ปริมาตรที่ได้จากการคำนวณ (ลบ.ซม)	ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม (ลบ.ซม)
1	119.013	112.266
2	115.755	108.339
3	115.946	110.896
4	118.795	111.921
5	118.425	111.695
ค่าเฉลี่ย	117.587	111.024
ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		5.580%

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลการวัดปริมาตรที่ได้จากวิธีการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ได้ ค่าเฉลี่ยปริมาตรเท่ากับ 117.587 ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ได้จากวัดโดยใช้โปรแกรมเท่ากับ 111.024 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 5.580%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองวัดปริมาตรถุ้งน้ำตาลทราย

วัตถุที่ทดลองเป็นถุ้งน้ำตาลทราย ยี่ห้อมิตรผล ขนาด 500 กรัม ความหนาแน่นเท่ากับ 1.002 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรสามารถคำนวณหาความหนาแน่นได้จากสมการที่ 2.28 โดยการวัดปริมาตรวัตถุรูปทรงไม่สมมาตรจะทำการวัดโดยการด้วยแทนที่ด้วยน้ำเพื่อเป็นการประมาณค่าปริมาตร และนำค่ามาเปรียบเทียบและหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการวัดโดยโปรแกรมโดยการวัดปริมาตรด้วยโปรแกรมโดยจะนำวัตถุมาทำให้เป็นสีดำด้านเพื่อเน้นเส้นเลเซอร์บนวัตถุจะวางวัตถุไว้ตรงกลางของแท่นโต๊ะหมุนโดยการขั้นตอนการทำงานจะแสดงดังรูปที่ 4.36 และ 4.37



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.36 แสดงระบบการทำงานการเก็บข้อมูลภาพวัดปริมาตรถุ้งน้ำตาล

(ก) แสดงขนาดถุ้งน้ำตาลทรายที่นำมาสแกนหาปริมาตร

(ข) แสดงการติดตั้งก่อนเก็บข้อมูลภาพของถุ้งน้ำตาลทราย

(ค) แสดงเส้นเลเซอร์เมื่อฉายไปบนวัตถุ



(ก)

(ข)

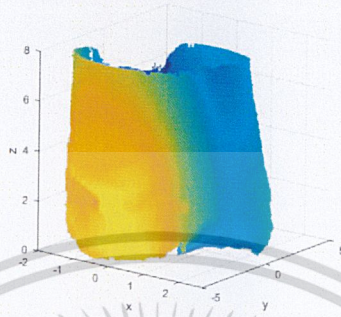
รูปที่ 4.37 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพถุ้งน้ำตาล

(ก) แสดงการเลือกแกนหมุนและกรอบเลือกกระยะเลเซอร์ที่ต้องการประมวลผลของถุ้งน้ำตาลทราย

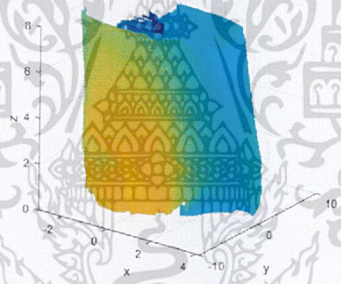
(ข) แสดงภาพหลังการกรอบเลือกกระยะเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

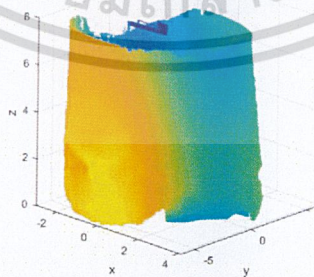
จากผลการสแกน ในที่นี้เห็นได้ว่าเฉดสีบนวัตถุมีความแตกต่างกันเนื่องจากระดับความเข้มแสงของเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุมีค่าความเข้มแสงต่างกัน ดังนั้นเมื่อทำการประมวลผลเป็นภาพระดับสีเทา เราจะสามารถจำแนกสีของวัตถุตามระดับความเข้มแสงได้เป็นดังรูปที่แสดง 4.38 4.39 4.40 4.41 และ 4.42



รูปที่ 4.38 แสดงรูปภูงน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 1

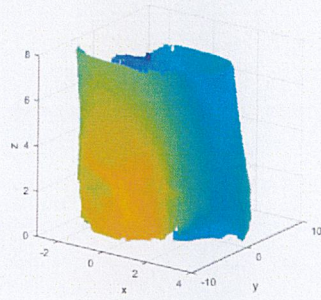


รูปที่ 4.39 แสดงรูปภูงน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.40 แสดงรูปภูงน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 แสดงรูปผิวน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4



รูปที่ 4.42 แสดงรูปผิวน้ำตาลทรายที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยการแทนที่ด้วยน้ำโดยใช้สมการที่ 2.28 และ ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของปริมาตรของ น้ำตาลทรายในถุงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38

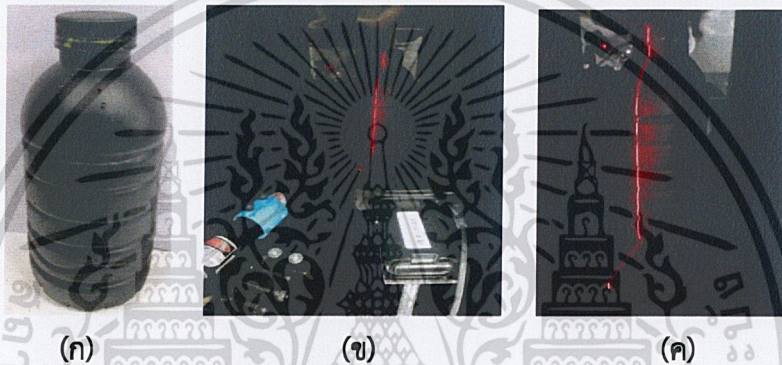
ครั้งที่	ปริมาตรที่ได้จากการคำนวณ (ลบ.ชม)	ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม (ลบ.ชม)
1	511.000	461.566
2	492.000	478.356
3	501.000	477.085
4	489.000	464.437
5	502.000	474.907
ค่าเฉลี่ย	499.000	471.270
ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		5.560%

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการวัดปริมาตรที่ได้จากวิธีการวัดโดยการแทนที่ด้วยน้ำได้ ค่าเฉลี่ยปริมาตรเท่ากับ 499.000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ได้จากวัดโดยใช้ โปรแกรมเท่ากับ 471.270 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 5.560%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดลองวัดปริมาตรขวดน้ำ

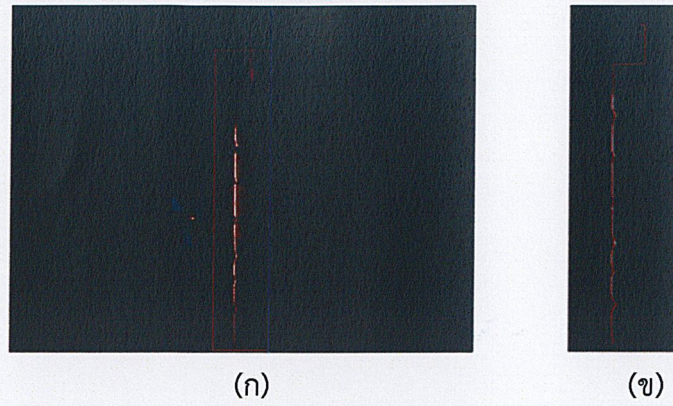
วัตถุที่ทดลองเป็นขวดน้ำ ยี่ห้อ 7-Select ขนาด 350 มิลลิลิตร นำมาใส่น้ำให้เต็มแล้วทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหามวลได้มวลเท่ากับ 386 กรัม ความหนาแน่นเท่ากับ 1.057 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรสามารถคำนวณหาความหนาแน่นได้จากสมการที่ 2.28 โดยการวัดปริมาตรวัตถุรูปทรงไม่สมมาตรจะทำการวัดโดยการดัดแปลงที่ด้วยน้ำเพื่อเป็นการประมาณค่าปริมาตร และนำค่ามาเปรียบเทียบและหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการวัดโดยโปรแกรมโดยการวัดปริมาตรด้วยโปรแกรมจะนำวัตถุมานำให้เป็นสีดำด้านเพื่อเน้นเส้นเลเซอร์บนวัตถุจะวางวัตถุไว้ตรงกลางของแท่นโต๊ะหมุนโดยการขั้นตอนการทำงานจะแสดงดังรูปที่ 4.43 และ 4.44



รูปที่ 4.43 แสดงระบบการทำงานการบันทึกข้อมูลภาพวัดปริมาตรน้ำในขวด

- (ก) แสดงขนาดขวดน้ำที่นำมาสแกนหาปริมาตร
- (ข) แสดงการติดตั้งก่อนเก็บข้อมูลภาพของขวดน้ำ
- (ค) แสดงเส้นเลเซอร์เมื่อฉายไปบนวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

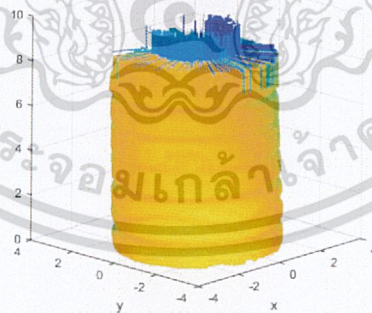


รูปที่ 4.44 แสดงการเลือกตำแหน่งในการประมวลผลภาพขวดน้ำ

(ก) แสดงการเลือกแกนหมุนและกรอบเลือกระยะเลเซอร์ที่ต้องการประมวลผลของขวดน้ำ

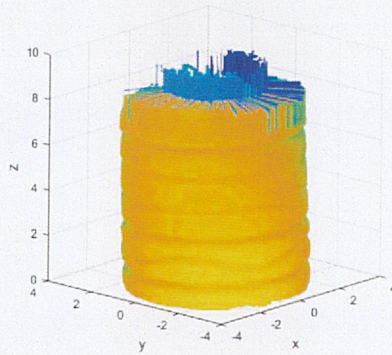
(ข) แสดงภาพหลังการครอเลือกระยะเลเซอร์

จากผลการสแกน ในที่นี้เห็นได้ว่าเจดสีบนวัตถุมีความแตกต่างกันเนื่องจากระดับความเข้มแสงของเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุมีความเข้มแสงต่างกัน ดังนั้นเมื่อทำการประมวลผลเป็นภาพระดับสีเทา เราจะสามารถจำแนกสีของวัตถุตามระดับความเข้มแสงได้เป็นดังรูปที่แสดง 4.45 4.46 4.47 4.48 และ 4.49



รูปที่ 4.45 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



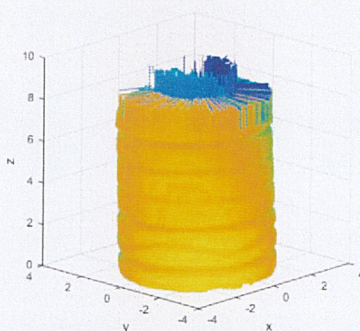
รูปที่ 4.46 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.47 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 3

รูปที่ 4.48 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 แสดงรูปขวดน้ำที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ ครั้งที่ 5

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยการแทนที่ด้วยน้ำโดยใช้สมการที่ 2.28 และปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของปริมาตรน้ำในขวดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38

ครั้งที่	ปริมาตรที่ได้จากการคำนวณ (ลบ.ซม)	ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยใช้ โปรแกรม (ลบ.ซม)
1	366.000	280.754
2	371.000	275.846
3	376.000	340.447
4	364.000	274.966
5	362.000	321.346
ค่าเฉลี่ย	367.800	298.672
ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		18.790%

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลการวัดปริมาตรที่ได้จากวิธีการวัดโดยการแทนที่ด้วยน้ำได้ค่าเฉลี่ยปริมาตรเท่ากับ 367.800 ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่ได้จากวัดโดยใช้โปรแกรมเท่ากับ 298.672 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 18.790%

ค่าปริมาตรออกมามีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากรูปทรง และพื้นผิววัตถุมีผลต่อการสแกนวัตถุที่พื้นผิวไม่เรียบหรือขนาดสูงเกินไป เส้นเลเซอร์ที่ยิงไปที่วัตถุอาจมีความเข้มแสงไม่พอ และส่วนที่เส้นเลเซอร์เข้าไม่ถึง อาจทำให้ข้อมูลบางส่วนหายไปจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้เป็นการประยุกต์ใช้เลเซอร์แบบฉายแสงเป็นเส้นมาประยุกต์รวมเข้ากับกล้อง Webcam มาทำเป็นระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ เพื่อวัดปริมาตรของรูปทรงเรขาคณิต โดยวัตถุที่ใช้ในการสแกนเป็นสีดำด้าน เพื่อเน้นเส้นเลเซอร์บนวัตถุให้คมชัดมากขึ้น และช่วยลดการสะท้อนแสงลงด้วย ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะประกอบไปด้วยแผ่นจานหมุน โดยแผ่นจานหมุนเป็นที่วางของวัตถุที่ใช้ในการสแกนแผ่นจานทำการหมุนครั้งละ 0.9 องศา ควบคุมการหมุนด้วยสเต็ปมอเตอร์ การสแกนหนึ่งครั้งของวัตถุแผ่นจานทำการหมุน 360 องศา และในการหมุนหนึ่งครั้งทำการบันทึกภาพด้วยกล้อง Webcam ดังนั้นเมื่อแผ่นจานหมุนครบ 360 องศา จะได้ภาพทั้งหมด 400 ภาพ

จากการทดลองพบว่าการใช้แสงเลเซอร์แบบเส้นชนิดตัดขวางในการวัดปริมาตรวัตถุแบบสมมาตรวัตถุที่ไม่ใช่ทรงกลมจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการวัดไม่เกิน 6% ถ้าเป็นวัตถุทรงกลมจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 14.53% และจากการทดลองการวัดปริมาตรถุงน้ำตาลทราย ขนาด 500 กรัมมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 5.560% และขวดน้ำ ขนาด 350 มิลลิลิตรมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 18.790% พบว่าพื้นผิววัตถุมีผลต่อการสแกนวัตถุที่ไม่พื้นไม่เรียบมีชั้นๆ หรือขนาดสูงเกินไปเส้นเลเซอร์ที่ยิงไปที่วัตถุอาจมีความเข้มแสงไม่พอทำให้ข้อมูลบางส่วนหายไปจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบเครื่องวัดปริมาตรสามมิติควรเลือกใช้วัตถุ ที่มีความแข็งแรงและสามารถเคลื่อนที่ได้
2. ควรออกแบบวิธีที่ให้วัตถุอยู่นิ่งแล้วให้เลเซอร์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประภาคาร ทองคำไม้, นวพล จักรโนวรรณ และ ตะวัน “การออกแบบและสร้างเครื่องสแกนสาม มิติ” ,มหาวิทยาลัยบูรพา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.lib.buu.ac.th/st/ST0002870.pdf>
- [2] จักรพันธ์ ยกเซ็น, ปารเมศ ลิ้มตระกูล และ จูติวรรณ ศรีนาค “ระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยอุปกรณ์ คิเนค” ,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~jeab/papers/3Dscan_ECTICARD2012.pdf
- [3] Matteo Munaro, Edmond Wai Yan So, Stefano Tonello and Emanuele Menegatt “Efficient completeness inspection using real-time 3D color reconstruction with adual-laser triangulation system” , Intelligent Autonomous Systems Laboratory, University of Padova, September 2015
- [4] กรรณิการ์ แก้วกันเนตร, “การอ่านเงาวัตถุแบบเข็มด้วยระบบวิสัยทัศน์จักรกล” (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม) กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2558
- [5] โสภณ ผู้มีจรรยา “การประมวลผลภาพดิจิตอล” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://sites.google.com/site/dip7123512/sheet> , มิถุนายน 2555
- [6] จิราภรณ์ มั่นศิลป์ “กระบวนการปรับปรุงภาพและการประยุกต์ใช้กับนิติวิทยาศาสตร์” , มหาวิทยาลัยศิลปากร สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.thapra.lib.su.ac.th>
- [7] 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 Vicoria, Canada, May 12-15,2008.
- [8] FIR Filtering and Image Processing, the University of Michigan, All rights reserved [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.eecs.umich.edu/courses/eecs206/public/lab/lab6/lab6.pdf>
- [9] เซ็นเซอร์รับภาพ แบบ CCD และ CMOS [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา :

เอกสารนี้เป็น http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701 , มิถุนายน 2552 หน้าที่ ๑๐
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] นพรัตน์ สุขเกษม , “การวัดปริมาตรผักและผลไม้ด้วยวิธีลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง ”

[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม] กรุงเทพฯ:
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2554

[11] Franca, J.G.D.M., Gazziro, M.A., Ide, A.N. & Saito, J.H. “A 3D scanning system based on laser triangulation and variable field of view”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

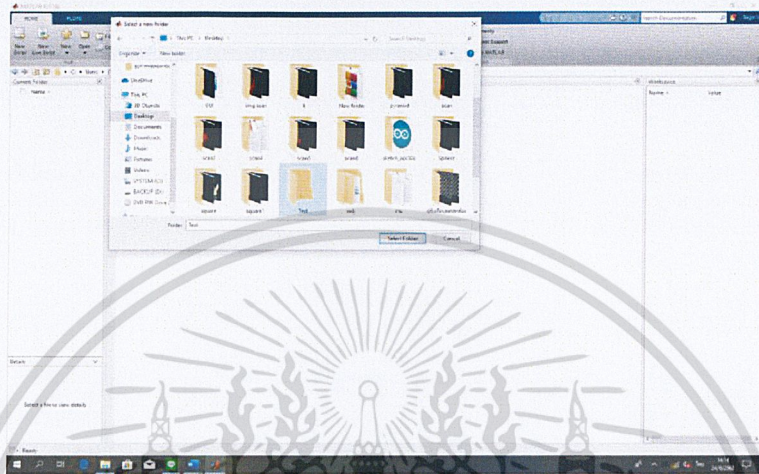


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

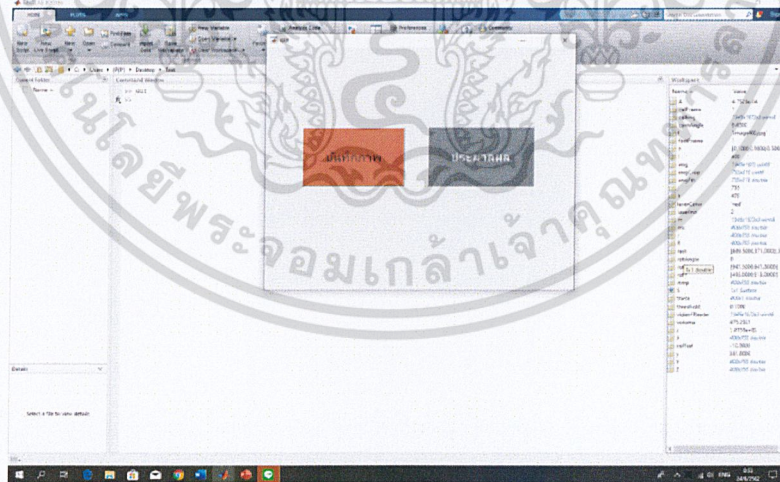
ขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรมประมวลผลภาพ

ขั้นตอนที่ 1 เปิดโปรแกรม Matlab ขึ้นมาเลือก folder ที่ต้องการเก็บภาพไว้ใน folder นั้น ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 แสดงการเลือก folder

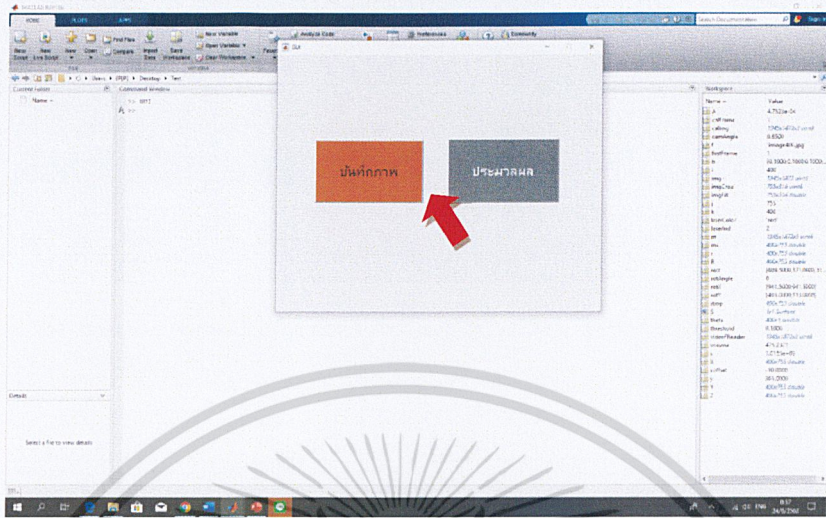
ขั้นตอนที่ 2 พิมพ์เรียกคำสั่ง GUI ขึ้นมา โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง GUI บนโปรแกรมดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 แสดงการเรียกหน้าต่าง GUI

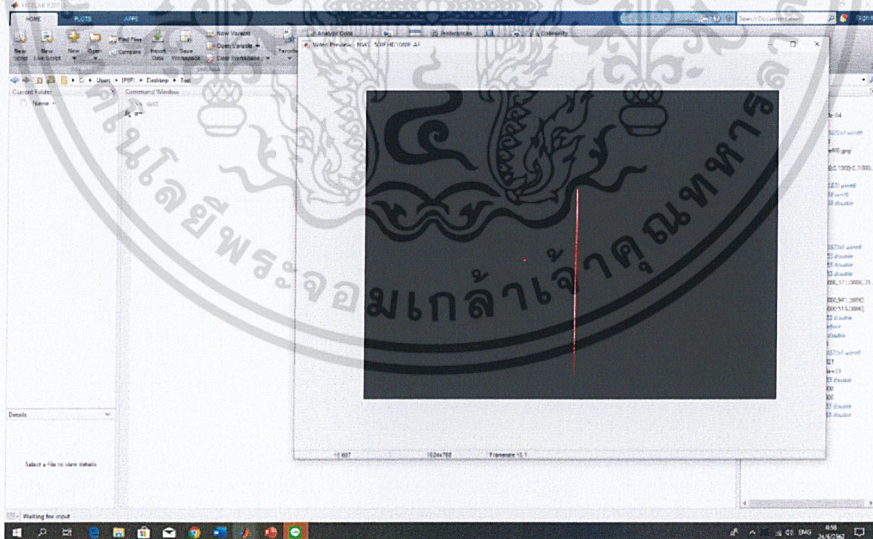
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 คลิกที่ปุ่ม บันทึกภาพ บนหน้าโปรแกรมดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 แสดงการบันทึกภาพ

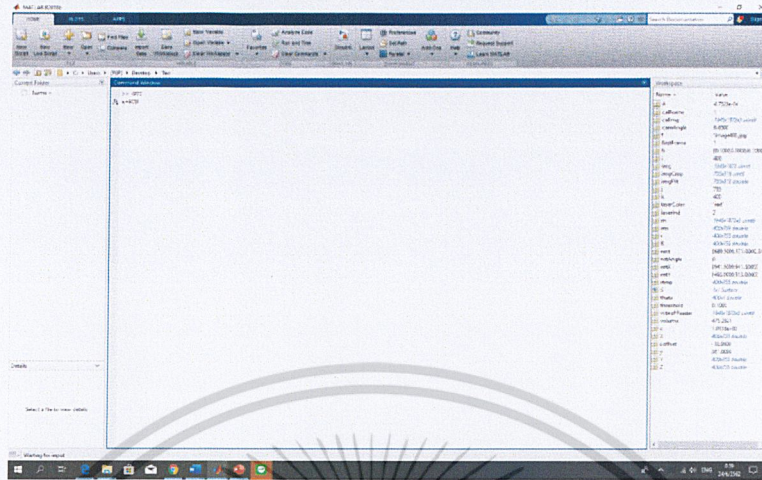
ขั้นตอนที่ 4 หน้าโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างของกล่องขึ้นมา ดังรูปที่ ก.4



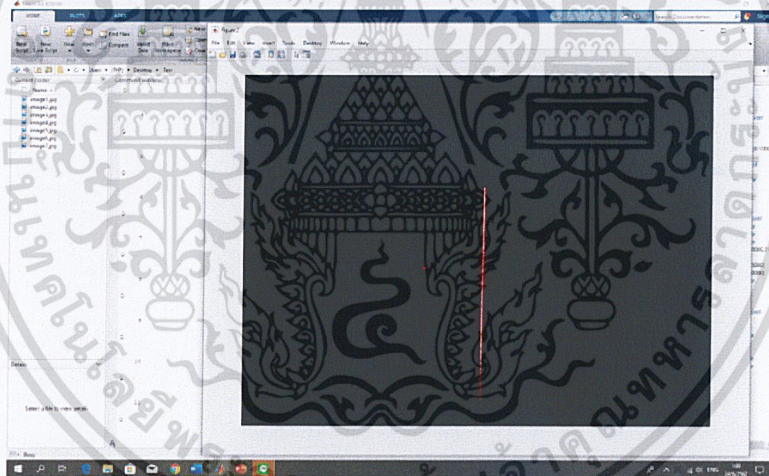
รูปที่ ก.4 แสดงหน้าต่างกล่องบนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 พิมพ์คำสั่ง RUN ดังรูปที่ ก.5 และ ก.6



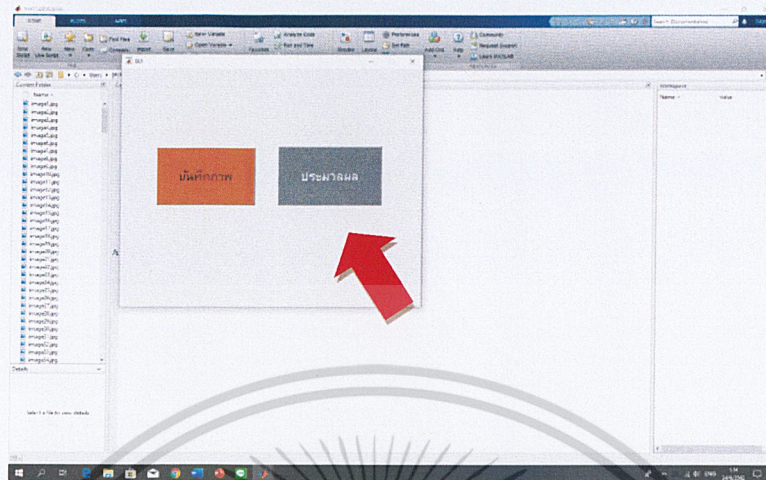
รูปที่ ก.5 แสดงหน้าต่างการพิมพ์คำสั่งในโปรแกรม



รูปที่ ก.6 แสดงการบันทึกภาพในโปรแกรม

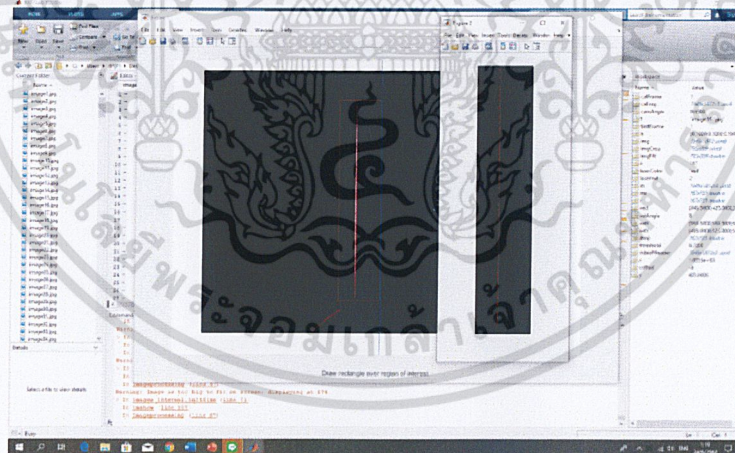
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 6 คลิกที่ปุ่ม ประมวลผล บนหน้าโปรแกรม ดังรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7 แสดงการประมวลผล

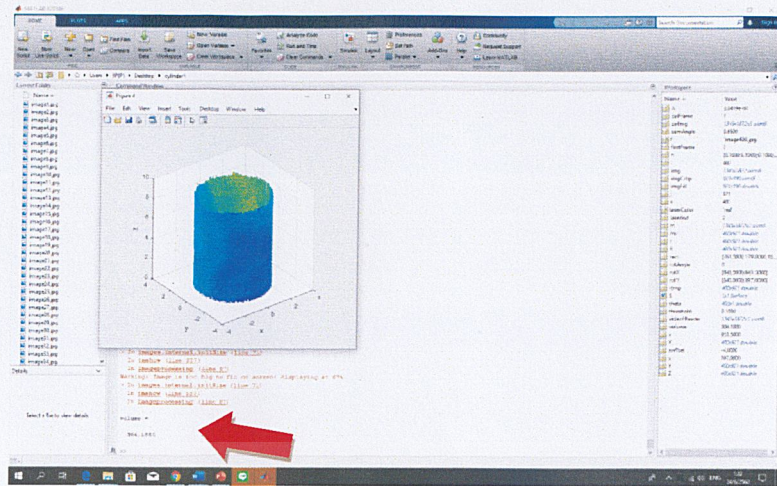
ขั้นตอนที่ 7 เลือกแกนหมุนบนภาพ และครอบประยะภาพที่เราต้องการ ดังรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 แสดงภาพที่ได้จากการเลือกแกนหมุนและระยะครอบภาพ

ขั้นตอนที่ 8 ทำการอ่านค่าปริมาตร และทำการบันทึกภาพที่สแกนได้จากโปรแกรม ดังรูปที่ ก.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 แสดงภาพที่ได้จากการสแกน และค่าปริมาตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้