

การคัดแยกขนาดวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ  
OBJECT SORTING SYSTEM USING IMAGE PROCESSING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

การคัดแยกขนาดวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ  
OBJECT SORTING SYSTEM USING IMAGE PROCESSING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

# OBJECT SORTING SYSTEM USING IMAGE PROCESSING



RUTFAH  
KANYARAT  
NUCHANART

HENGCHAROEN  
PLIANPRAN  
SUPPRASERT

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไป และต้องอ้างอิงถึงชื่อของสถาบันผู้จัดทำเอกสารนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การคัดแยกขนาดวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ  
OBJECT SORTING SYSTEM USING IMAGE PROCESSING

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวรัตนฟ้า เฮงเจริญ รหัสนักศึกษา 54010025  
นางสาวกัญญารัตน์ เปลี่ยนปราณ รหัสนักศึกษา 54010084  
นางสาวนุชนาฏ ทรัพย์ประเสริฐ รหัสนักศึกษา 54010722

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ  
ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.อภิไฉย ฤกษ์รัตน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การคัดแยกขนาดวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ OBJECT SORTING SYSTEM USING IMAGE PROCESSING			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวรัตนฟ้า	เฮงเจริญ	รหัสนักศึกษา	54010025
	นางสาวกัญญารัตน์	เปลี่ยนปราณ	รหัสนักศึกษา	54010084
	นางสาวนุชนาฏ	ทรัพย์ประเสริฐ	รหัสนักศึกษา	54010722
อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา	ดร.อภิณัย ฤกษ์รัตน์ 2557			

### บทคัดย่อ

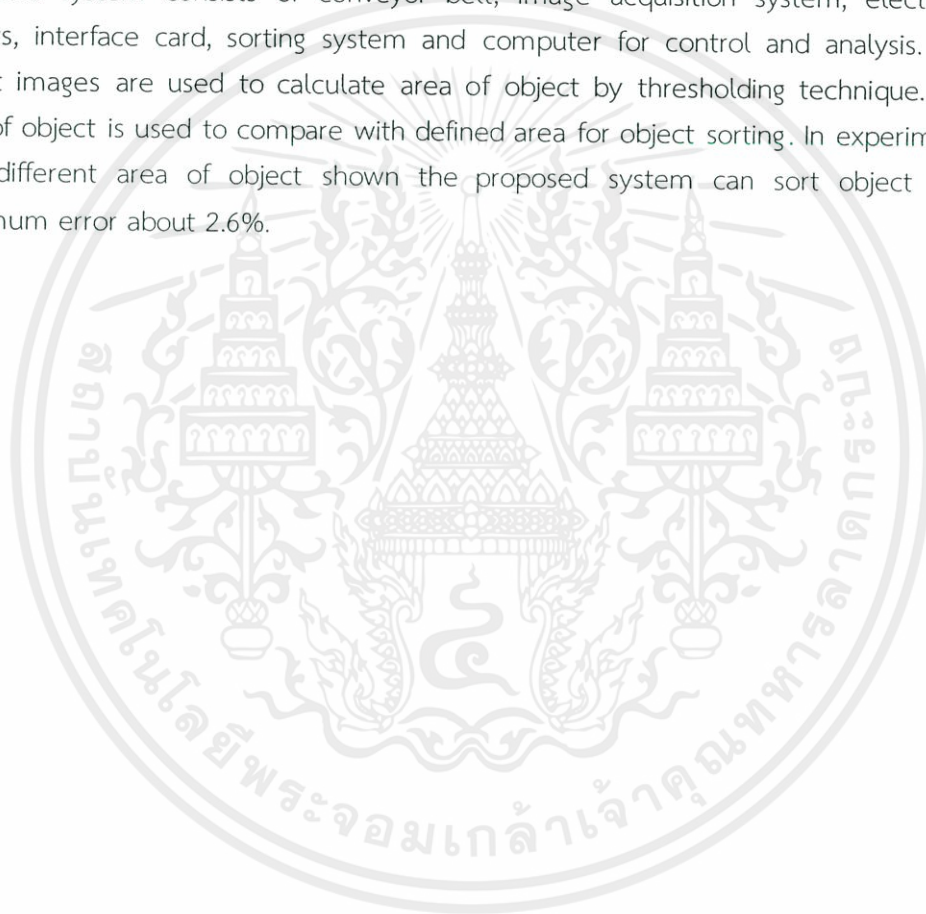
ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบสำหรับการคัดแยกขนาดวัตถุโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย ระบบสายพานลำเลียง ส่วนเก็บข้อมูลภาพ วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมและการติดต่อเฟส ส่วนของกระบวนการคัดแยกและคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลภาพและควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยภาพวัตถุที่ได้จากกล้องเว็บแคมถูกนำมาประมวลผลภาพเพื่อหาค่าพื้นที่ของวัตถุโดยใช้เทคนิคเทรชโฮลด์ (Thesholding) ผลของขนาดพื้นที่วัตถุที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้เพื่อคัดแยกขนาดวัตถุต่างๆ ไปตามช่องที่ต้องการ จากผลการทดลองระบบที่พัฒนาขึ้นมากับวัตถุที่มีขนาดพื้นที่ต่างๆ ผลปรากฏว่าระบบพัฒนาขึ้นสามารถคัดแยกวัตถุได้ด้วยค่าความผิดพลาดสูงสุดประมาณ 2.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	OBJECT SORTING SYSTEM USING IMAGE PROCESSING	
Authors	Ms. Rutfah	Hengcharoen
	Ms. Kanyarat	Plianpran
	Ms. Nuchanart	Supprasert
Thesis Advisor	Dr. Apinai Rerkratn	
Year	2014	

## ABSTRACT

This project presents object sorting system using image processing. The proposed system consists of conveyor belt, image acquisition system, electronic circuits, interface card, sorting system and computer for control and analysis. The object images are used to calculate area of object by thresholding technique. The area of object is used to compare with defined area for object sorting. In experiments with different area of object shown the proposed system can sort object with maximum error about 2.6%.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ดร. อภินัย ฤกษ์รัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษาและคำแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ และอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดระยะเวลาการศึกษาจัดทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ รศ. ประภาช อุดคกิมพันธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ และอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสวีวงศ์ ที่ให้คำแนะนำในเรื่องของการทดลอง

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี ที่ให้คำแนะนำในเรื่องเทคนิคการประมวลผลภาพ

ขอขอบคุณ นายเจษฎา เจริญวัฒน์โยธิน จากบริษัท ไทร์เนอร์ยี อินสทรูเมนต์ จำกัด ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรม LabVIEW

ขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในกลุ่มและเพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติชั้นปีที่ 4 รวมถึงน้องๆ ชั้นปีที่ 3 ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือต่างๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผู้แต่งหนังสือและเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่คณะผู้จัดทำได้นำมาใช้อ้างอิงเพื่อทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นางสาวรัตน์ฟ้า

เฮงเจริญ

นางสาวกัญญารัตน์

เปลี่ยนปราณ

นางสาวนุชนาฏ

ทรัพย์ประเสริฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ III ศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ตารางการดำเนินงาน.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การประมวลผลภาพ.....	4
2.1.1 การประยุกต์ใช้งานระบบตรวจสอบคุณภาพโดยใช้เทคนิค.....	4
การประมวลผลภาพในงานด้านต่างๆ	
2.1.1.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในอุตสาหกรรม.....	4
การผลิตขนมปัง	
2.1.1.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการตรวจจําระดับ.....	5
ของเหลวในขวด	
2.1.1.3 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในอุตสาหกรรมเกษตร.....	6
2.1.2 เซนเซอร์สำหรับการประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบคุณภาพโดยใช้เทคนิค.....	8
การประมวลผลภาพ	
2.2 LabVIEW.....	10
2.2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ในโปรแกรม LabVIEW.....	10
2.2.2 ประเภทของข้อมูล.....	11
2.2.3 Data Acquisition (DAQ).....	11
2.2.3.1 Digital I/O (DIO).....	12
2.2.4 Machine Vision.....	12
2.2.4.1 การดึงภาพและแสดงภาพใน LabVIEW.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อให้นักศึกษาได้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 รูปแบบของไฟล์ภาพ.....	13
2.3.1 JPEG.....	13
2.3.2 TIFF.....	13
2.3.3 GIF.....	13
2.3.4 PNG.....	13
2.3.5 BMP.....	14
2.3.6 AIPD.....	14
2.4 ระบบสี RGB.....	14
2.5 ภาพเกรสเกล (Grayscale).....	15
2.6 วิธีการ Thresholding.....	16
2.7 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	17
2.7.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	17
2.7.2 หลักการหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	17
2.8 ระบบนิวแมติกส์.....	18
2.8.1 ปัมลม (Air Compressor).....	18
2.8.2 เครื่องระบายความร้อน (After Cooler).....	18
2.8.3 ถังเก็บลม (Receiver Tank).....	19
2.8.4 เครื่องกำจัดความชื้น (Air Dryer).....	19
2.8.5 ตัวกรองอากาศ (Air Filter).....	19
2.8.6 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Air Pressure Regulator).....	20
2.8.7 อุปกรณ์ส่งจ่ายน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator).....	21
2.8.8 กระบอกลูกสูบ.....	21
2.8.8.1 กระบอกลูกสูบทางเดียว (Single-acting Cylinder).....	21
2.8.8.2 กระบอกลูกสูบสองทาง (Double-acting Cylinder).....	22
2.9 วาล์วที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์.....	23
2.9.1 วาล์วควบคุมทิศทางลม (Direction Control Valve).....	23
2.9.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบ 3/2.....	23
2.9.3 โครงสร้างและหลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบ 5/2.....	24
2.10 เซนเซอร์ชนิดใช้แสง.....	25
2.11 แสงสว่าง.....	26
2.11.1 Area Arrays.....	26
2.11.2 Ring.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11.3 Dark Field .....	27
2.11.4 Dome .....	28
2.11.5 Backlights.....	28
2.12 ระบบไปโอเมตริก.....	29
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบ .....</b>	<b>30</b>
3.1 โครงสร้างของระบบ .....	30
3.2 ส่วนของฮาร์ดแวร์ .....	33
3.2.1 รายละเอียดของกระบวนการ.....	33
3.2.1.1 ระบบสายพานลำเลียง.....	34
3.2.1.2 มอเตอร์.....	35
3.2.1.3 กล้องเว็บแคม.....	36
3.2.1.4 ส่วนคัดแยกชิ้นงาน.....	37
3.2.1.5 เซนเซอร์ .....	37
3.2.1.6 การ์ดอินเตอร์เฟซ (Interface Card).....	39
3.2.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ .....	40
3.2.2.1 วงจรสำหรับควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว.....	40
3.2.2.2 วงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์.....	41
3.2.2.3 วงจรสำหรับตรวจจับวัตถุ.....	42
3.2.2.4 วงจรสำหรับตรวจจับวัตถุ.....	43
3.2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อส่วนต่างๆ .....	43
3.2.3.1 รูปแบบการจัดวางในส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์.....	43
3.2.3.2 การเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับการ์ดอินเตอร์เฟซ .....	44
3.2.3.3 การทำงานของระบบนิวแมติกส์ .....	44
3.3 ส่วนของโปรแกรม .....	45
3.3.1 โปรแกรมในการคำนวณและประมวลผลภาพ .....	45
3.3.1.1 การควบคุมการทำงานของระบบ .....	45
3.3.1.2 การประมวลผลภาพ .....	47
3.3.1.3 การนับจำนวนวัตถุ .....	52
3.3.2 หน้าจอกราฟิก (HMI).....	53
3.3.3 การบันทึกค่าเพื่อเป็นฐานข้อมูล .....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง .....	56
4.1 กล่าวนำ .....	56
4.2 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม .....	56
4.2.1 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนดความหนา .....	56
4.2.2 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบไม่กำหนดความหนา .....	62
4.3 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยม .....	64
4.3.1 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา .....	64
4.3.2 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบไม่กำหนดความหนา .....	70
4.4 การทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุ .....	72
4.4.1 การทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุโดยกำหนดขนาดวัตถุแบบเป็นช่วง .....	72
4.4.2 การทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุโดยกำหนดขนาดวัตถุคงที่ .....	73
4.5 การทดลองความถูกต้องของการคัดแยกขนาดวัตถุจากขอบของช่วงที่กำหนด .....	76
4.6 การทดลองหาอัตราเร็วในการคัดแยกขนาดวัตถุ .....	79
4.7 การทดลองเพื่อหาความเร็วของสายพาน .....	79
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	81
5.1 บทสรุป .....	81
5.2 ปัญหาและอุปสรรค .....	81
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	81
เอกสารอ้างอิง .....	83
ภาคผนวก.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางการดำเนินงาน .....	3
3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานในระบบ .....	31
3.2 คุณสมบัติของกล่องเว็บแคม OKER OE-177 .....	36
3.3 คุณสมบัติของไฟโตอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์ Panasonic รุ่น CX-421-P .....	38
3.4 คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟซรุ่น USB-6009 .....	40
4.1 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม แบบกำหนดความหนา .....	57
4.2 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม แบบไม่กำหนดความหนา .....	63
4.3 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยม แบบกำหนดความหนา .....	65
4.4 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยม แบบไม่กำหนดความหนา .....	71
4.5 ผลการทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุแบบกำหนดขนาดเป็นช่วง .....	72
4.6 ผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่มีพื้นที่ 20.25 ตารางเซนติเมตร .....	73
4.7 ผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่มีพื้นที่ 15.21 ตารางเซนติเมตร .....	74
4.8 ผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่มีพื้นที่ 10.89 ตารางเซนติเมตร .....	75
4.9 ตารางสรุปขนาดพื้นที่ของวัตถุชุดที่ 1 ที่ใช้ในการทดลอง .....	77
4.10 ผลการทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุจากขอบของช่วงที่กำหนด ชุดที่ 1 .....	78
4.11 ตารางสรุปขนาดพื้นที่ของวัตถุชุดที่ 2 ที่ใช้ในการทดลอง .....	78
4.12 ผลการทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุจากขอบของช่วงที่กำหนด ชุดที่ 2 .....	78
4.13 ทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ 1 รอบของสายพาน .....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างของระบบการตรวจสอบขมบึงที่ผ่านการอบ .....	4
2.2 ตัวอย่างภาพของขมบึงที่ผ่านการอบภายใต้เงื่อนไขต่างๆ .....	5
2.3 ตัวอย่างระบบตรวจจับระดับของเหลวในขวด .....	6
2.4 ตัวอย่างภาพที่ได้จากระบบตรวจจับระดับของเหลวในขวด .....	6
2.5 ตัวอย่างของระบบคัดเกรดสตรอว์เบอร์รี่ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ .....	7
2.6 ตัวอย่างการคัดเกรดของสตรอว์เบอร์รี่ .....	7
2.7 ตัวอย่างการนำเอาอัตราส่วนของพื้นที่ (Criteria Area Ratio) มาใช้ในการคัดเกรดของ .....	7
สตรอว์เบอร์รี่	
2.8 ตัวอย่างของเซนเซอร์แบบซีซีดี .....	8
2.9 ตัวอย่างของเซนเซอร์แบบโฟโตไดโอดอาร์เรย์ .....	8
2.10 ตัวอย่างของ Line Scan Cameras .....	9
2.11 ลักษณะหน้าแรกของโปรแกรม LabVIEW .....	10
2.12 ลักษณะหน้าต่าง Front Panel และ Block Diagram .....	11
2.13 ประเภทของข้อมูลและสีของสายในข้อมูลแต่ละชนิด .....	11
2.14 ระบบ DAQ บนพีซี .....	12
2.15 หน้าต่างสำหรับตั้งค่า .....	13
2.16 ระบบสี RGB .....	15
2.17 ข้อมูลภาพที่เป็นพล็อตพื้นผิว .....	15
2.18 ค่าความเข้มแสงของภาพเกรสเกล .....	16
2.19 ตัวอย่างค่าของภาพเกรสเกล .....	16
2.20 ตัวอย่างค่าของภาพ Thresholding .....	16
2.21 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....	17
2.22 ส่วนของ Stator และ Rotor .....	18
2.23 ถังเก็บลม .....	19
2.24 ลักษณะของอุปกรณ์กรองลมอัด .....	20
2.25 ลักษณะของอุปกรณ์ควบคุมความดันของลมอัด .....	20
2.26 ลักษณะของอุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปในลมอัด .....	21
2.27 องค์ประกอบภายในของกระบอกลูกสูบทางเดียว .....	21
2.28 การสั่งงานให้กระบอกลูกสูบทางเดียว .....	22
2.29 องค์ประกอบภายในของกระบอกลูกสูบสองทาง .....	22
2.30 การทำงานของกระบอกลูกสูบสองทางเมื่อจ่ายลมอัดภายใน .....	22
2.31 วาล์วควบคุมทิศทางลม .....	23
2.32 ลักษณะของโซลินอยด์วาล์ว 3/2 .....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.33 ลักษณะของโซลินอยด์วาล์ว 5/2.....	24
2.34 ลักษณะของเซนเซอร์ประเภทตรวจจับโดยตรง .....	25
2.35 ลักษณะของเซนเซอร์ประเภทลำแสงสะท้อนกลับ .....	25
2.36 ลักษณะของเซนเซอร์ประเภทลำแสงผ่านตลอด .....	26
2.37 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Area Arrays .....	26
2.38 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Ring .....	27
2.39 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Dark Field .....	27
2.40 แสดงลักษณะของวัตถุที่ถูกให้แสงแบบ Dark Field .....	28
2.41 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Dome .....	28
2.42 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Backlights .....	29
3.1 ระบบคัดแยกวัตถุโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ .....	30
3.2 แผนผังการทำงานของระบบ .....	33
3.3 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ .....	34
3.4 ลักษณะของสายพานลำเลียงแต่ละด้าน.....	35
3.5 มอเตอร์รุ่น ZKYR361 – SA – L .....	36
3.6 กล้องเว็บแคม OKER OE-177 .....	36
3.7 ส่วนคัดแยกชิ้นงาน .....	37
3.8 เซนเซอร์ Panasonic รุ่น CX-421-P .....	38
3.9 การต่อสายของเซนเซอร์ .....	38
3.10 การ์ดอินเตอร์เฟซ รุ่น USB-6009 .....	39
3.11 พอร์ตการเชื่อมต่อของการ์ดอินเตอร์เฟซ .....	39
3.12 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว .....	41
3.13 วงจรที่ใช้งานจริงสำหรับควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว .....	41
3.14 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมมอเตอร์ .....	41
3.15 วงจรที่ใช้งานจริงสำหรับควบคุมมอเตอร์ .....	42
3.16 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับวัตถุ .....	42
3.17 วงจรที่ใช้งานจริงสำหรับตรวจจับวัตถุ .....	42
3.18 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับวัตถุ .....	43
3.19 วงจรที่ใช้งานจริงสำหรับตรวจจับวัตถุ .....	43
3.20 รูปแบบการจัดวางในส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ .....	43
3.21 การเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับการ์ดอินเตอร์เฟซ .....	44
3.22 วงจรควบคุมนิวแมติกส์ .....	45
3.23 โปรแกรมส่วนควบคุมการทำงานมอเตอร์ .....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 โปรแกรมส่วนการสร้างตัวแปร .....	46
3.25 โปรแกรมส่วนควบคุมการทำงานกระบอกสูบ .....	47
3.26 โปรแกรมส่วนควบคุมการประมวลผลภาพ.....	48
3.27 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 1 .....	49
3.28 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 2.....	50
3.29 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 3.....	50
3.30 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 4.....	51
3.31 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 5.....	51
3.32 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 6 .....	52
3.33 โปรแกรมตัวอย่างส่วนที่ใช้ับจำนวนวัตถุ.....	52
3.34 หน้าจอกราฟิก .....	53
3.35 หน้าจอกราฟิกแบบแบ่งส่วนต่างๆ .....	53
3.36 โปรแกรมในส่วนการเก็บฐานข้อมูล.....	54
3.37 หน้าโปรแกรม Navicat ที่ใช้ในการเก็บฐานข้อมูล .....	54
4.1 ตัวอย่างภาพจริงของรูปทรงสี่เหลี่ยมความหนา 1.5 เซนติเมตรที่ถ่ายได้จากกล้อง .....	56
4.2 ตัวอย่างภาพหลังจากผ่านการประมวลผลของรูปทรงสี่เหลี่ยม .....	57
4.3 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนด .....	58
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 4.4 ตารางเซนติเมตร	
4.4 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนด .....	59
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 6.5025 ตารางเซนติเมตร	
4.5 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนด .....	59
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 9.18 ตารางเซนติเมตร	
4.6 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนด .....	60
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 12.39 ตารางเซนติเมตร	
4.7 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนด .....	60
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 16.4025 ตารางเซนติเมตร	
4.8 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนด .....	61
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 20.29 ตารางเซนติเมตร	
4.9 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนด .....	61
ความหนา	
4.10 ตัวอย่างภาพจริงของรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ถ่ายได้จากกล้อง .....	62
4.11 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการประมวลผลของรูปสี่เหลี่ยม .....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบไม่กำหนด.....	63
ความหนา	
4.13 ตัวอย่างภาพจริงของรูปสามเหลี่ยมที่ถ่ายได้จากกล้อง .....	64
4.14 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการประมวลผลของรูปสามเหลี่ยม .....	64
4.15 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนด .....	66
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 1.81 ตารางเซนติเมตร	
4.16 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนด .....	67
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 3.65 ตารางเซนติเมตร	
4.17 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนด .....	67
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 5.365 ตารางเซนติเมตร	
4.18 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนด .....	68
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 7.8 ตารางเซนติเมตร	
4.19 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนด .....	68
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 10.2 ตารางเซนติเมตร	
4.20 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนด .....	69
ความหนาขนาดพื้นที่จริง 12.2 ตารางเซนติเมตร	
4.21 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบกำหนด .....	69
ความหนา	
4.22 ตัวอย่างภาพจริงของรูปสามเหลี่ยมที่ถ่ายได้จากกล้อง .....	70
4.23 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการประมวลผลของรูปสามเหลี่ยม .....	70
4.24 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบไม่กำหนด .....	71
ความหนา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในยุคโลกาภิวัตน์ได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้มากมาย เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์และอำนวยความสะดวกแก่มนุษย์ ที่เห็นได้ชัดเจนคือ ในระบบอุตสาหกรรมได้มีการนำเทคโนโลยีอัตโนมัติมาใช้งานในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นในกระบวนการสั่งซื้อ การขนส่ง การผลิต การควบคุม การตรวจสอบคุณภาพสินค้า และการคัดแยกสินค้า เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อจัดการให้ระบบในอุตสาหกรรมเป็นระบบอัตโนมัติ ใช้คนปฏิบัติงานให้น้อยลง เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มความเชื่อมั่นในคุณภาพของสินค้า ลดจำนวนของเสียที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากการทำงานของคนนั้นจะมีประสิทธิภาพในการทำงานไม่เท่ากันในแต่ละวัน แต่การนำเทคโนโลยีอัตโนมัติมาใช้แทนคนนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเหล่านั้นร่วมกับการปฏิบัติงานให้เกิดประสิทธิภาพต่อการผลิตสินค้านั้นๆ

การนำเทคโนโลยีมาสร้างระบบอัตโนมัติต้องมีการประยุกต์ใช้หลายๆ เทคโนโลยีเข้าด้วยกัน อีกทั้งการสร้างระบบอัตโนมัติในส่วนต่างๆ ของอุตสาหกรรมก็มีความแตกต่างกันไป และหากอุตสาหกรรมนั้นมีความหลากหลายทางผลิตภัณฑ์ ทำให้ระบบมีการจัดการยากยิ่งขึ้น เช่น อุตสาหกรรมที่มีสินค้าหลายประเภทหรือหลายขนาดอยู่ในสายการผลิตเดียวกัน หากใช้คนทำงานก็อาจทำให้เกิดความสับสนและความผิดพลาดได้ง่ายขึ้น จึงเป็นสาเหตุของการเกิดของเสียตามมา ดังนั้นสำหรับอุตสาหกรรมประเภทนี้จึงจำที่จะต้องมีการสร้างระบบคัดแยกสินค้าอัตโนมัติเพื่อลดความผิดพลาดดังกล่าว

โดยส่วนมากระบบคัดแยกวัตถุจะใช้ในการคัดแยกวัตถุเชิงคุณภาพ ไม่ว่าจะเป็นสิ่งปนเปื้อน สี ขนาด น้ำหนัก หรือรอยตำหนิ และมีการใช้โปรแกรมในการควบคุมที่ต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน ซึ่งในส่วนของกระบวนการคัดแยกที่ผู้จัดทำสนใจพัฒนาขึ้น เป็นการคัดแยกขนาดวัตถุโดยการนำระบบประมวลผลภาพมาใช้ในการคัดแยกวัตถุ โดยรับภาพจากกล้องเว็บแคมผ่านโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้เป็นส่วนของการควบคุมการทำงานและแสดงผล

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

1. เพื่อสร้างระบบจำลองการคัดแยกขนาดของวัตถุโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ
2. เพื่อศึกษาการควบคุมระบบนิวแมติกส์ในการคัดแยกสินค้า
3. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมในการประมวลผลภาพและควบคุมระบบ

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

1. ออกแบบระบบจำลองการคัดแยกขนาดของวัตถุโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ
2. พัฒนาโปรแกรมสำหรับใช้ในการประมวลผลภาพและควบคุมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. เสนอหัวข้อโปรเจค
2. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของระบบการคัดแยกสินค้า
3. ศึกษาทฤษฎีในการประมวลผลภาพและประยุกต์ใช้งาน
4. ออกแบบและสร้างระบบคัดแยกวัตถุ
5. ออกแบบและสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการควบคุมและเชื่อมต่อระบบ
6. พัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและประมวลผลภาพ
7. ทดสอบระบบที่สร้างขึ้นมา
8. ปรับปรุงคุณภาพของระบบที่สร้างขึ้นมา
9. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์
10. นำเสนอผลงาน

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างระบบจำลองการคัดแยกขนาดของวัตถุโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพได้
2. เรียนรู้การควบคุมระบบนิวแมติกส์ในการคัดแยกสินค้าได้
3. สามารถเขียนโปรแกรมในการประมวลผลภาพและควบคุมระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ตารางการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินงาน

ตารางเวลาการดำเนินงานปริญญาโท (Thesis Schedule)	ภาคเรียนที่ 1						ปิดภาคเรียน	ภาคเรียนที่ 2																		
	03-พ.ย.-57	10-พ.ย.-57	17-พ.ย.-57	24-พ.ย.-57	01-ธ.ค.-57	08-ธ.ค.-57	15-ธ.ค.-57	22-ธ.ค.-57	29-ธ.ค.-57	05-ม.ค.-58	12-ม.ค.-58	19-ม.ค.-58	26-ม.ค.-58	02-ก.พ.-58	09-ก.พ.-58	16-ก.พ.-58	23-ก.พ.-58	02-มี.ค.-58	09-มี.ค.-58	16-มี.ค.-58	23-มี.ค.-58	30-มี.ค.-58	06-เม.ย.-58	13-เม.ย.-58	20-เม.ย.-58	
Work/Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
เสนอหัวข้อโปรเจกต์																										
ศึกษาข้อมูลทั่วไปของระบบ คัดแยกสินค้า																										
ศึกษาทฤษฎีในการประมวล ภาพและการประยุกต์ใช้งาน																										
ออกแบบและสร้างระบบคัด แยกวัตถุ																										
ออกแบบและสร้างวงจร อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการ ควบคุมและเชื่อมต่อระบบ																										
พัฒนาโปรแกรมสำหรับ ควบคุมและประมวลผลภาพ																										
ทดสอบระบบที่สร้างขึ้นมา																										
ปรับปรุงคุณภาพของระบบ ที่สร้างขึ้นมา																										
จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																										
นำเสนอผลงาน																										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การประมวลผลภาพ [1]

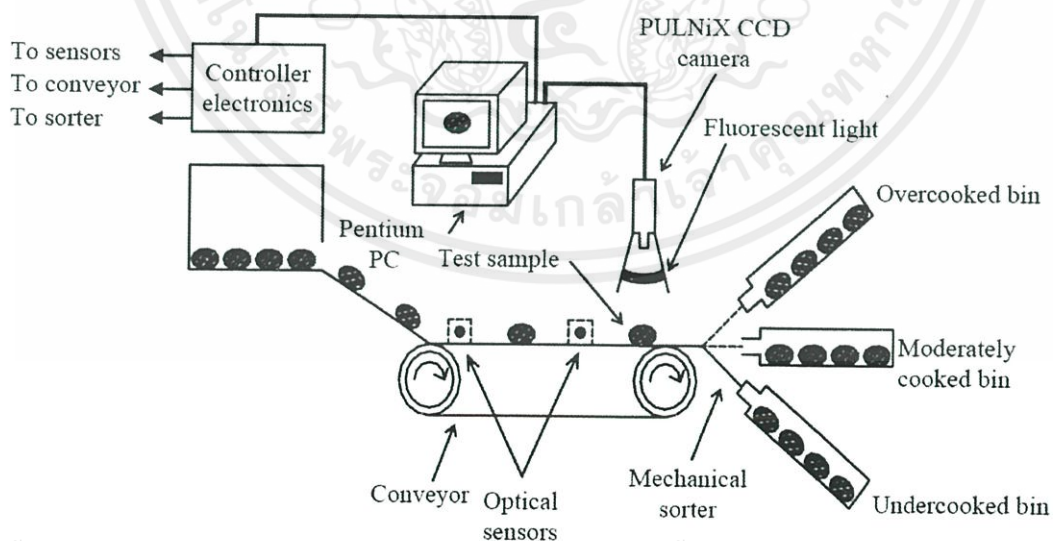
เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ที่สำคัญคือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่สนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทาง การเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบเพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ

#### 2.1.1 การประยุกต์ใช้งานระบบตรวจสอบคุณภาพโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในงานด้านต่างๆ

สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเทคนิคการประมวลผลภาพในงานด้านต่างๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

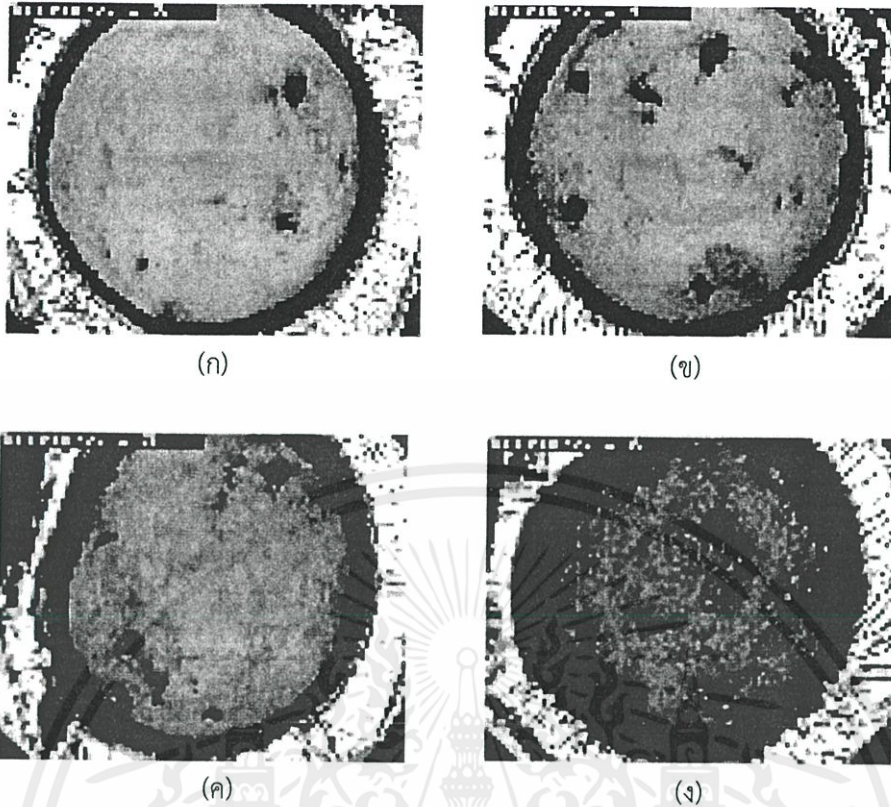
##### 2.1.1.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในอุตสาหกรรมการผลิตขนมปัง

สำหรับการประยุกต์ใช้งานเทคนิคการประมวลผลภาพในอุตสาหกรรมการผลิตขนมปังจะนิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของขนมปังต่างๆ เช่น การตรวจสอบขนมปังที่ผ่านการอบว่าเหมาะสมในการนำไปจำหน่ายหรือไม่ การตรวจสอบขนมปังที่ผ่านการอบว่ามีการแตกหักหรือไม่ เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.1 ตัวอย่างของระบบการตรวจสอบขนมปังที่ผ่านการอบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างภาพของขนมปังที่ผ่านการอบภายใต้เงื่อนไขต่างๆ

- (ก) ขนมปังที่ผ่านการอบด้วยเวลาที่น้อยไป
- (ข) ขนมปังที่ผ่านการอบด้วยเวลาพอดี
- (ค) ขนมปังที่ผ่านการอบด้วยเวลามากเกินไปเล็กน้อย
- (ง) ขนมปังที่ผ่านการอบด้วยเวลามากเกินไป

จากรูปที่ 2.2 แสดงระบบการตรวจสอบขนมปังที่ผ่านการอบ โดยระบบจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือ คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการตรวจสอบและประมวลผลภาพถ่ายพานสำหรับลำเลียงชิ้นขนมปังเข้าไปตรวจสอบ หลังจากทำการตรวจสอบแล้วก็จะทำการส่งสัญญาณผ่านวงจรควบคุมไปยังระบบคัดแยกตามประเภทของขนมปังว่า เป็นขนมปังที่ผ่านการอบด้วยเวลาที่น้อยไป ขนมปังที่ผ่านการอบด้วยเวลาพอดี หรือขนมปังที่ผ่านการอบด้วยเวลามากเกินไป เป็นต้น

#### 2.1.1.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการตรวจจับระดับของเหลวในขวด

สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มต่างๆ การตรวจจับระดับของเหลวในขวดนับว่ามีความสำคัญมาก ซึ่งในกระบวนการผลิตต้องต้องมีการตรวจสอบระดับของเหลวที่บรรจุอยู่ในขวดว่าได้ระดับที่ถูกต้องหรือไม่ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3 หากให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างระบบตรวจจําระดับของเหลวในขวด ของบริษัท MIHO Inspektions systeme GmbH : [www.miho.de](http://www.miho.de)

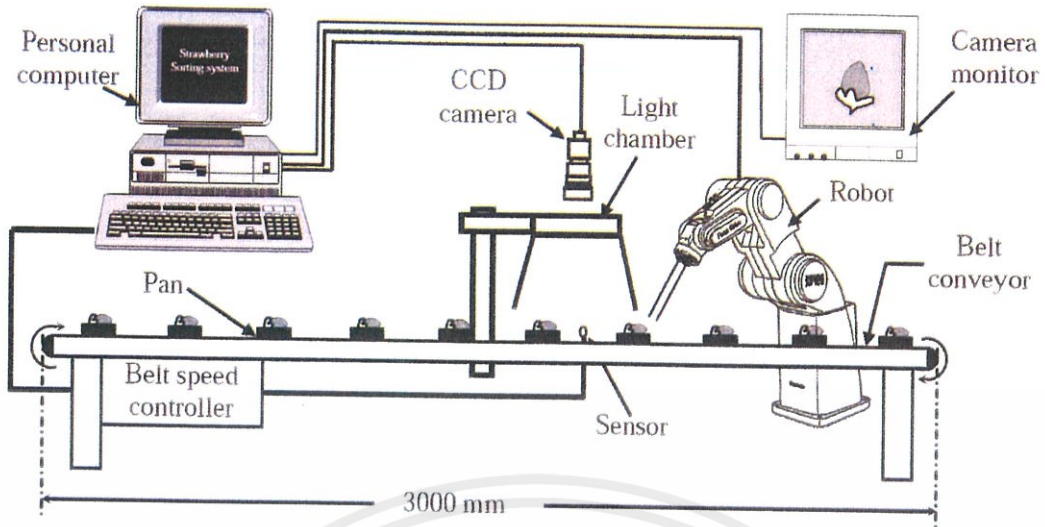


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาพที่ได้จากระบบตรวจจําระดับของเหลวในขวด ของบริษัท MIHO Inspektions Systeme GmbH : [www.miho.de](http://www.miho.de)

#### 2.1.1.3 การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในอุตสาหกรรมเกษตร

สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าทางการเกษตร สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ คุณภาพและความปลอดภัยของสินค้า ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคนิคการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในการผลิตสินค้าด้านการเกษตรมากมาย เช่น การคัดเกรดของผลไม้ต่างๆ เช่น ส้ม สตอร์เบอร์รี่ มะนาว เป็นต้น การคัดแยกขนาดของผลไม้ต่างๆ การตรวจหารอยขีดของผลไม้ต่างๆ ซึ่งตัวอย่างของการประยุกต์เทคนิคการประมวลผลภาพในอุตสาหกรรมเกษตรสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6

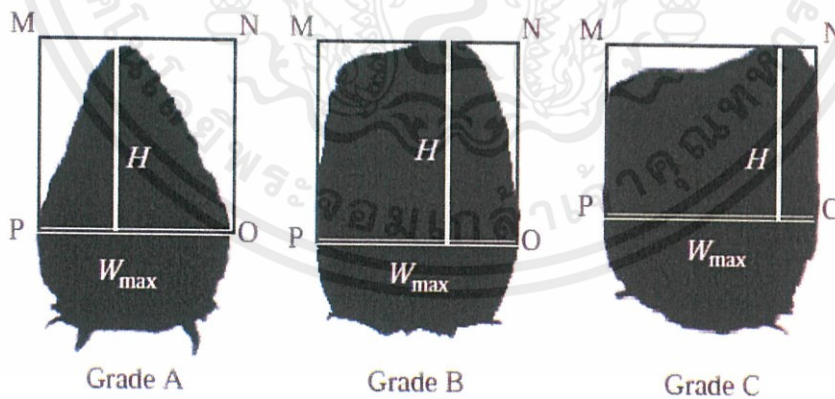
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของระบบคัดเกรดสตรอว์เบอร์รี่ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการคัดเกรดของสตรอว์เบอร์รี่



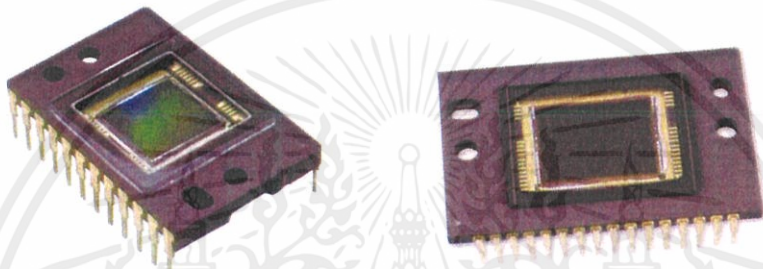
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการนำเอาอัตราส่วนของพื้นที่ (Criteria Area Ratio) มาใช้ในการคัดเกรดของสตรอว์เบอร์รี่ ในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

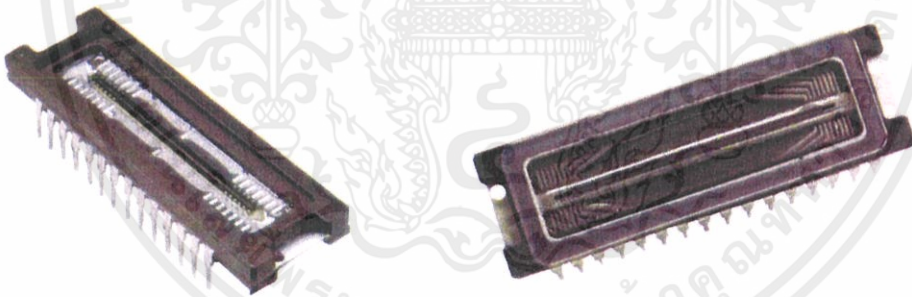
จากตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีการประมวลผลภาพในงานด้านต่างๆ จะเห็นว่าระบบตรวจสอบคุณภาพที่ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพจะให้ความเร็ว และคุณภาพการตรวจสอบที่สูง ซึ่งต่อไปจะได้อธิบายถึงส่วนประกอบของระบบการประมวลผลภาพต่อไป

### 2.1.2 เซนเซอร์สำหรับการประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบคุณภาพโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

โดยปกติแล้วเซนเซอร์ที่ใช้ทั่วไปในการตรวจสอบคุณภาพ จะใช้เป็นเซนเซอร์ประเภทโซลิดสเตต (Solid State Sensor) ทั้งแบบซีซีดี (CCD) และแบบโฟโตไดโอดอาร์เรย์ (Photo Diode Arrays) นอกจากนี้ในงานบางประเภทยังมีการใช้กล้องวิดีโอ (Video Cameras : VIDICON) และ Line Scan Cameras อีกด้วย ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.8 ถึงรูปที่ 2.10

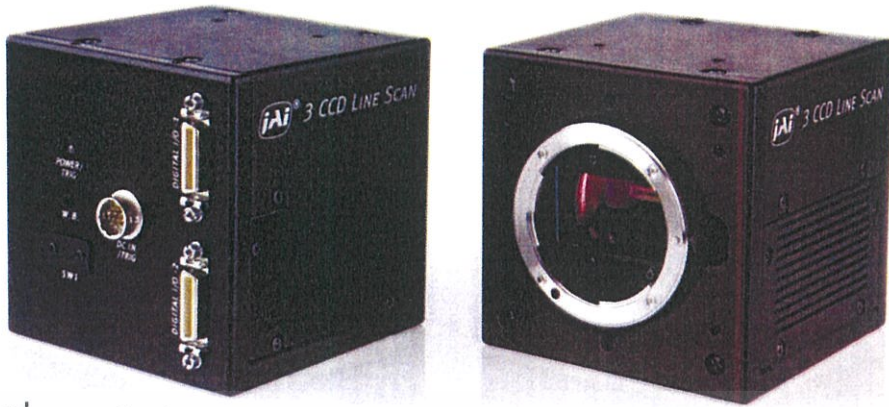


รูปที่ 2.8 ตัวอย่างของเซนเซอร์แบบซีซีดี ของบริษัท Truesense Imaging Inc. : <http://www.truesenseimaging.com/>



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างของเซนเซอร์แบบโฟโตไดโอดอาร์เรย์ ของบริษัท Truesense Imaging Inc. : <http://www.truesenseimaging.com/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างของ Line Scan Cameras ของบริษัท JAI: <http://www.jai.com/>

จากรูปที่ 2.8 ถึงรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของเซนเซอร์แบบต่างๆ ที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการประมวลผลภาพ ดังนั้นในการการเลือกใช้เซนเซอร์แบบต่างๆ มาประยุกต์ใช้งานจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับประเภทของการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโดยปกติแล้วคุณสมบัติหลักของเซนเซอร์ที่นำมาใช้ในการพิจารณามีดังนี้

#### 1. ขนาดและรูปแบบเซนเซอร์ (Shape of Sensor)

ถึงแม้ว่า Line Scan Cameras จะเหมาะสมในงานทางด้านอุตสาหกรรม แต่สำหรับในการตรวจสอบคุณภาพทางอุตสาหกรรมที่อาจมีความต้องการซิงโครไนซ์ (Synchronization) กันระหว่างสายพานลำเลียงและกล้อง ดังนั้นจึงทำให้ยากในการใช้งาน

#### 2. ความเร็วในการอ่านค่า (Readout Speed)

สำหรับความเร็วในการอ่านค่าของเซนเซอร์นับว่าเป็นพารามิเตอร์ ที่สำคัญมากของการตรวจสอบด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ เนื่องจากระบบต้องการความเร็วในการประมวลผลหรือการตรวจสอบที่สูง ซึ่งเซนเซอร์แบบกล้องวิดีโอจะให้ความเร็วในการอ่านค่าสูงกว่ากล้องแบบโซลิตสเตต

#### 3. ช่วงความสามารถในการเก็บรายละเอียดของแสง (Dynamic Range)

สำหรับค่าไดนามิกเรนจ์ของเซนเซอร์ที่นำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ระบบต้องการค่าไดนามิกเรนจ์ที่สูง ซึ่งในกล้องประเภทโซลิตสเตตจะให้ค่าไดนามิกเรนจ์ที่สูงกว่ากล้องวิดีโอทั่วไป

#### 4. ย่านการตอบสนองของเซนเซอร์ (Spectral Sensitivity)

สำหรับย่านการตอบสนองของเซนเซอร์ที่นำมาใช้จะขึ้นอยู่กับประเภทของการตรวจสอบด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

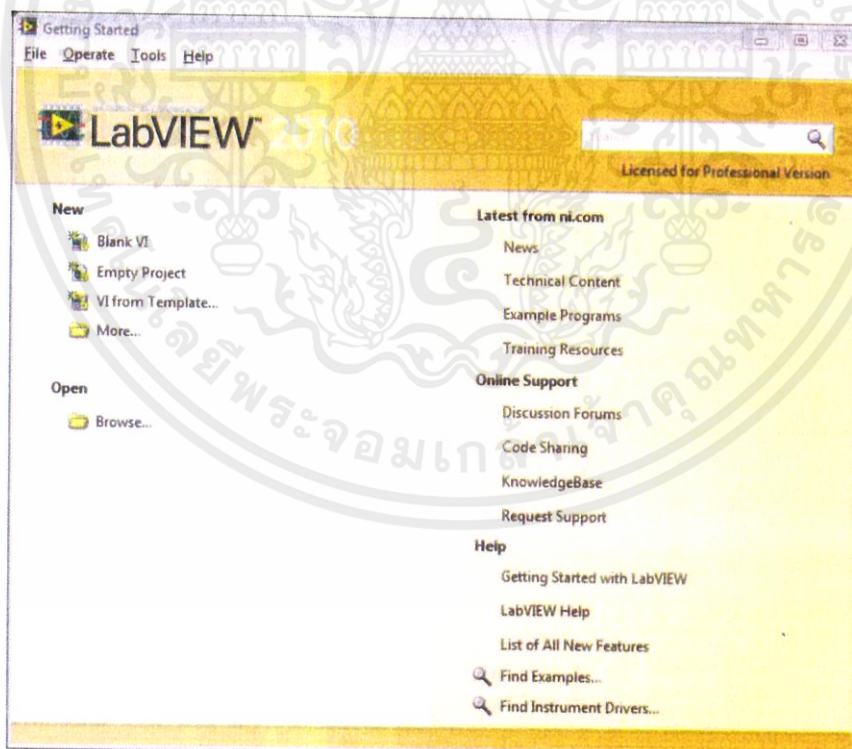
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 LabVIEW [3]

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นชุดซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาจากระบบ จากบริษัท เนชั่นแนลอินสตรูเมนต์ (NI) วัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้ในการสร้างระบบอัตโนมัติในการวัด, ทดสอบ, และควบคุม โดยการใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาโค้ดรูปภาพ (Graphical Programming) ทำให้ง่ายต่อการเรียนรู้และใช้เวลาในการเขียนโปรแกรมน้อยลง ชุดซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาจะมากับชุดฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ และวิศวกรรมสำหรับการวิเคราะห์, ประมวลผล, และแสดงข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงความสามารถต่างๆ ในการติดต่อใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อื่นๆ ได้ดี ทำให้ LabVIEW เป็นที่สนใจและถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในแทบทุกส่วนของอุตสาหกรรม และการวิจัยที่ต้องการระบบอัตโนมัติในการวัดและควบคุม อาทิเช่น ในอุตสาหกรรมการผลิต, อิเล็กทรอนิกส์, ยานยนต์, การทหารและอากาศยาน, พลังงาน, การสื่อสาร, เครื่องมือแพทย์ รวมไปถึงของเล่นอย่างเลโก้, และยังคงถูกนำไปใช้ในการกิจส่งจรวดขึ้นอวกาศที่มีมูลค่าสูงของบริษัท SpaceX

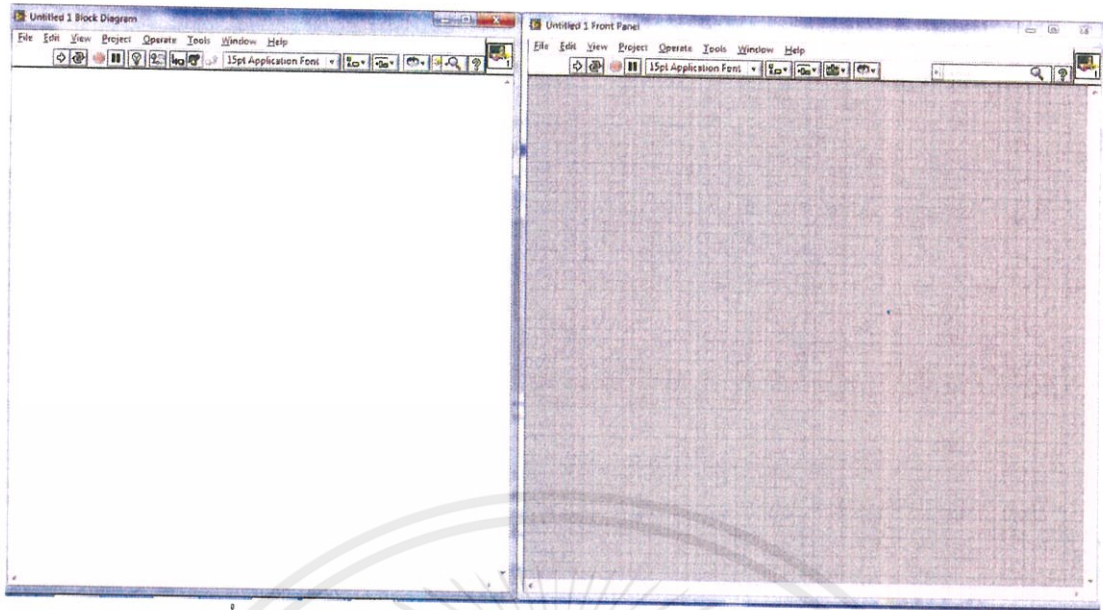
### 2.2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ในโปรแกรม LabVIEW

เมื่อเปิด LabVIEW ขึ้นมา ให้เลือก Blank VI ซึ่งจะได้วางเปล่าขึ้นมา ไฟล์ LabVIEW VI มีนามสกุลเป็น .VI ซึ่งไฟล์นี้ไฟล์เดียวจะประกอบด้วยสองหน้าต่างคือ หน้าต่างสำหรับสร้าง User Interface ที่พื้นเป็นตารางสีเทาซึ่งเรียกว่า Front Panel และหน้าต่างพื้นเป็นสีขาวสำหรับเขียนโค้ดรูปภาพ เรียกว่า Block Diagram



รูปที่ 2.11 ลักษณะหน้าแรกของโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ลักษณะหน้าต่าง Front Panel และ Block Diagram

### 2.2.2 ประเภทของข้อมูล (Data Type)

ในการเขียนโปรแกรมทั่วไป จะต้องมีการประกาศตัวแปรก่อนที่จะใช้ตัวแปรนั้น แต่สำหรับ LabVIEW ใช้วิธีการเลือกวาง Control หรือ Indicator หรือ Constant แล้วมาเลือกปรับค่าอีกที ประเภทของข้อมูลใน LabVIEW และสีของสายในข้อมูลแต่ละชนิด มีดังรูปที่ 2.13

	Scalar	1D Array	2D Array	Cluster
Numeric	Yellow	Yellow	Orange (floating point) Blue (integer)	Brown Brown
Boolean	Green	Green	Green	Pink
String	Pink	Pink	Pink	Pink
Path	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Pink
Reference	Dark Green	Dark Green	Dark Green	Pink
Hardware Resource	Purple	Purple	Purple	Pink
Variant	Purple	Purple	Purple	Pink
Waveform	Brown	Brown	Brown	Pink
Class	Red	Red	Red	Pink

รูปที่ 2.13 ประเภทของข้อมูลและสีของสายในข้อมูลแต่ละชนิด

### 2.2.3 Data Acquisition (DAQ)

ระบบ DAQ บนพีซีคือ กระบวนการในการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำบนพีซีเพื่อการวัด วิเคราะห์ จัดเก็บ หรือแสดงผลต่อไป ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุคดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละแอปพลิเคชัน ซึ่งระบบ DAQ บนพีซีจะมีส่วนประกอบหลักอยู่สามส่วนด้วยกันคือ ส่วนของแหล่งสัญญาณไฟฟ้า, ส่วนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ DAQ และพีซี ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ระบบ DAQ บนพีซี

สัญญาณที่วัดอาจเป็นสัญญาณอนาล็อก ( $\pm 10V$  หรือ  $4-20\text{ mA}$ ) หรือสัญญาณดิจิทัล หรืออาจมาจากเซนเซอร์ ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะถูกต่อสายเข้าไปที่ฮาร์ดแวร์ DAQ โดยฮาร์ดแวร์ DAQ นี้จะถูกติดตั้งบนพีซีผ่านทางที่เรียกว่าบัส เช่น USB, PCIe, Ethernet เป็นต้น โดยที่มีการติดตั้งไดรฟ์เวอร์สำหรับฮาร์ดแวร์ และมีแอปพลิเคชันที่เขียนด้วยซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนา ระบบ เช่น LabVIEW

### 2.2.3.1 Digital I/O (DIO)

สัญญาณดิจิทัลคือ สัญญาณที่มีค่าสองอย่างคือ สัญญาณสูงกับต่ำ สำหรับฟังก์ชัน DIO ใน DAQ จะใช้งานในการอ่านค่าจากอุปกรณ์ประเภทสวิตช์ หรือใช้ควบคุมอุปกรณ์ให้เปิดปิด เช่น รีเลย์, มอเตอร์ หรือหลอดไฟ

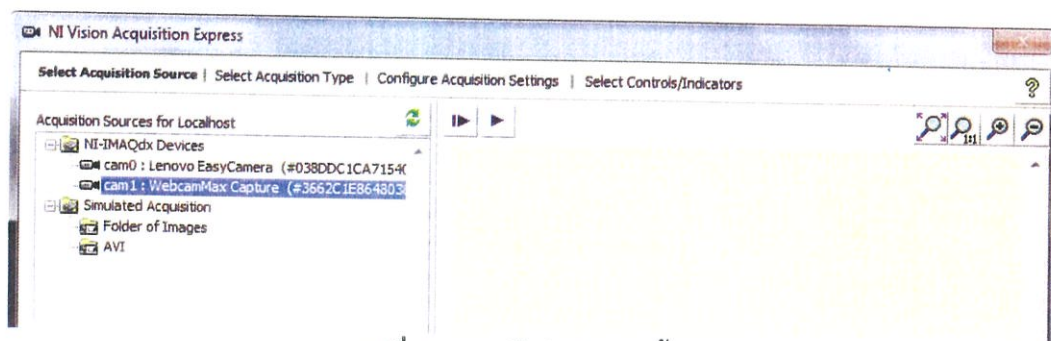
## 2.2.4 Machine Vision

เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจำเป็นในการใช้เขียนโปรแกรมติดต่อกันระหว่างโปรแกรม LabVIEW กับกล้องเว็บแคม สำหรับไฟล์ภาพที่สามารถนำมาใช้กับโปรแกรม แลปวิวได้ คือ JPEG, TIFF, GIF, PNG, BMP และ AIPD

### 2.2.4.1 การดึงภาพและแสดงภาพใน LabVIEW

ใน LabVIEW จะใช้ Vision Acquisition Express VI สำหรับดึงภาพ โดยเมื่อวาง Express VI ตัวนี้ลงไป จะพบหน้าต่างสำหรับตั้งค่า เริ่มจากหัวข้อ Select Acquisition Source ที่สามารถเลือกดึงภาพจากไฟล์ภาพหรือจากกล้องก็ได้ และทำการตั้งค่าจนเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 หน้าต่างสำหรับตั้งค่า

ชนิดข้อมูล (Data Type) ประเภท Image นี้จะแตกต่างกับชนิดข้อมูลอื่นๆ โดยจะต้องมีการจองหน่วยความจำสำหรับเก็บค่าตัวแปรก่อนที่จะใช้ได้ และการเก็บข้อมูลจะเก็บในหน่วยความจำ ดังนั้น Image จึงเป็นเพียง Pointer ไปหาหน่วยความจำที่เก็บภาพเอาไว้

## 2.3 รูปแบบของไฟล์ภาพ [4]

### 2.3.1 JPEG

JPEG ย่อมาจากคำว่า Joint Photographic Experts Group เป็นไฟล์ภาพที่พบได้มากที่สุด เหมาะสำหรับเก็บภาพถ่ายที่มีสีหลากหลาย โดยมีการบีบอัดแฟ้มภาพแบบมีความสูญเสียแต่ยังคงคุณภาพไว้สูงคือให้เสียความละเอียดน้อยที่สุด จึงไม่นิยมใช้กับภาพที่เป็นลายเส้นหรือภาพที่มีความละเอียดของสีไม่มาก

### 2.3.2 TIFF

TIFF ย่อมาจากคำว่า Tagged Image File Format เป็นไฟล์ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณภาพของไฟล์ดี มีระบบการบีบอัดไฟล์ภาพที่ไม่สูญเสียรายละเอียดของข้อมูล มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งวิธีการบีบอัดข้อมูลของไฟล์ TIFF คือแบบ Lempel-Zev-Welch (LZW) เป็นระบบการบีบอัดแบบไม่สูญเสียรายละเอียดภาพ และสามารถเปิดใช้งานในโปรแกรมอื่นได้ ซึ่งเป็นสิทธิบัตรของบริษัท Unisys ซึ่งได้รับความนิยมในภายหลัง

### 2.3.3 GIF

GIF ย่อมาจากคำว่า Graphics Interchange File มีรูปแบบเป็นแฟ้มภาพและแฟ้มภาพเคลื่อนไหว เป็นภาพที่ใช้การบีบอัดข้อมูลแบบ LZW คือไม่สูญเสียรายละเอียดภาพเช่นเดียวกับไฟล์ภาพ TIFF โดยถ้าต้องการเซฟไฟล์ออกมาเป็น GIF ได้นั้นต้องจ่ายค่าลิขสิทธิ์ให้กับ Unisys ด้วยไฟล์ภาพประเภทนี้จะแสดงสีได้สูงสุด 256 สี หากรูปใดมีสีมากกว่า 256 สี จะแสดงสีได้สูงสุดเพียง 256 สี แต่หากรูปใดมีสีน้อยกว่า 256 สี สีของมันจะถูกขยายให้ครอบคลุมเต็ม 256 สี ซึ่งส่งผลให้ไฟล์ภาพมีขนาดใหญ่และต้องใช้เวลาบีบอัดภาพช้า

### 2.3.4 PNG

PNG ย่อมาจากคำว่า Portable Network Graphics เป็นไฟล์ภาพที่ถูกนำมาใช้แทนไฟล์แบบ GIF เพื่อแก้ปัญหาด้านสิทธิบัตร โดยไฟล์ภาพ PNG สามารถนำไปพัฒนาต่อได้อย่าง

อิสระ มีการบีบอัดแบบไม่สูญเสียรายละเอียดภาพเช่นเดียวกับแบบ GIF แต่มีความแตกต่างจาก GIF คือสามารถบีบอัดขนาดไฟล์ให้มีขนาดได้เล็กกว่าแบบ GIF และเป็นไฟล์ในนำมาแสดงผลภาพบนเว็บเพจ

### 2.3.5 BMP

BMP ย่อมาจากคำว่า Bitmaps เป็นภาพที่นิยมใช้เพื่อแสดงผลกราฟิกของระบบปฏิบัติการ Windows โดยไฟล์ชนิดนี้จะไม่มีการบีบอัดข้อมูล และใช้ได้กับทั้งภาพสีและภาพขาวดำ นิยมใช้เพื่อเก็บไฟล์ที่เป็นต้นแบบเสียส่วนใหญ่และใช้ในการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

### 2.3.6 AIPD

เป็นไฟล์ภาพที่ใช้เฉพาะภายในโปรแกรม LabVIEW ของบริษัท National Instruments เพื่อเก็บภาพแบบ Floating Point, Complex และ HSL พร้อมด้วยข้อมูลรายละเอียดอื่นๆ

## 2.4 ระบบสี RGB [5]

ระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสง ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วปริซึมเกิดเป็นแถบสีที่เรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) ซึ่งแยกสีตามที่ยาวตามองเห็นได้ 7 สี คือ แดง แสด เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม ม่วง ซึ่งเป็นพลังงานอยู่ในรูปของรังสี ที่มีช่วงคลื่นที่ยาวตาสามารถมองเห็นได้ แสงสีม่วงมีความถี่คลื่นที่สูงที่สุด คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าแสงสีม่วง เรียกว่า อัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) และคลื่นแสงที่มีความถี่คลื่นต่ำที่สุด คลื่นแสงที่ต่ำกว่าแสงสีแดงเรียกว่า อินฟราเรด (Infrared) คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าสีม่วงและต่ำกว่าสีแดงนั้น สายตาของมนุษย์ไม่สามารถรับได้ และเมื่อศึกษาดูแล้วแสงสีทั้งหมดเกิดจากแสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ทั้งสามสีถือเป็นแม่สีของแสง

แม่สีของแสงมีด้วยกัน 3 สี คือ สีแดง (R), สีเขียว (G), สีน้ำเงิน (B) และเมื่อแต่ละแม่สีรวมกันจะได้สีใหม่ ดังนี้

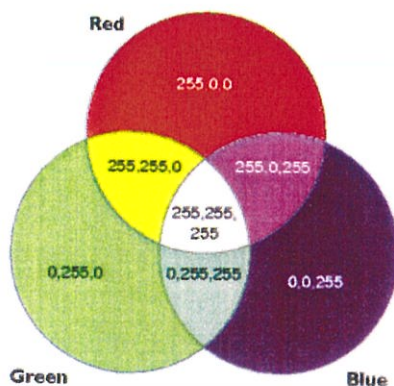
สีแดง+สีเขียว ได้ สีเหลือง (Yellow)

สีเขียว+น้ำเงิน ได้ สีฟ้าไซแอน (Cyan)

สีแดง+สีน้ำเงิน ได้ สีแดงมาเจนตา (Magenta)

เมื่อนำแม่สีของแสงทั้ง 3 มาผสมกัน ในปริมาณแสงสว่างเท่ากันก็จะได้เป็นแสงที่สีขาว แต่ถ้าผสมกันระหว่างแสงที่ระดับความสว่างต่างกัน จะได้ผลที่เป็นแสงสีๆ มากมายเป็นล้านสี ส่วนใหญ่การใช้สีลักษณะนี้จะใช้ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับแสง เช่น จอภาพ กล้องดิจิทัล สแกนเนอร์ เป็นต้น

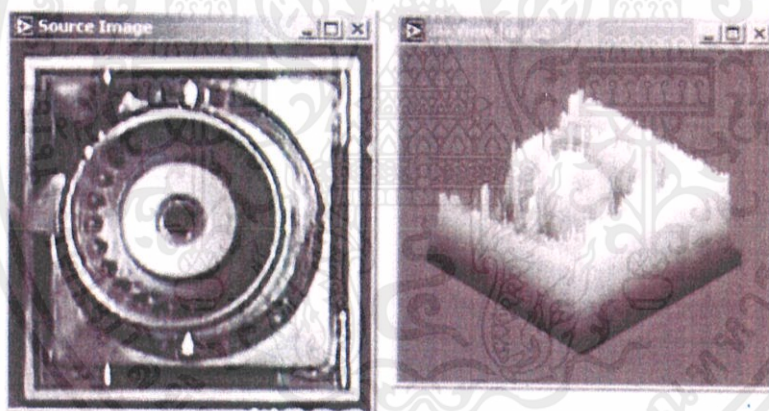
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ระบบสี RGB

## 2.5 ภาพเกรสเกล (Grayscale) [4]

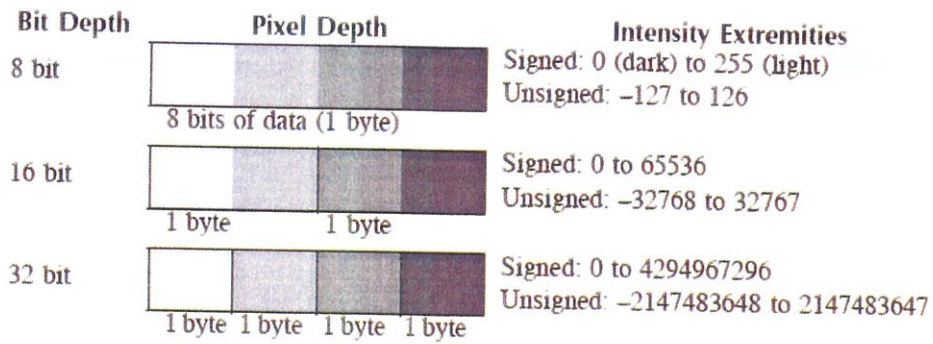
ภาพเกรสเกล หรือภาพสีเทา เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพิจารณาขั้นพื้นฐาน โดยภาพเกรสเกลประกอบไปด้วย X และ Y แสดงค่าพิกัดเชิงพื้นที่ และค่าความเข้มแสงไล่ตามลำดับ ภาพเกรสเกลยังใช้เป็นกราฟแสดงพื้นที่หน้าตัดได้อีกด้วย โดยให้แกน Z แทนค่าความเข้มแสง จากรูปที่ 2.17 พื้นที่ที่สว่างกว่าในรูปจะแสดงถึงค่าแกน Z ที่สูงกว่า ซึ่งการกำหนดพื้นที่หน้าตัดด้วยความสว่างที่ต่างกันจะแสดงถึงค่าความความเข้มแสงที่ต่างกัน



รูปที่ 2.17 ข้อมูลภาพที่เป็นพล็อตพื้นผิว

ค่าความเข้มแสงจากรูปแสดงถึงความลึก ซึ่งเป็นช่วงของค่าความสว่างที่สามารถแสดงค่าออกมาต่อพิกเซล (Pixel) โดยความลึก 1 บิตของ x จากรูปจะคิดค่าความลึกเป็น  $2^x$  หมายความว่าแต่ละพิกเซลจะมีค่าความเข้มแสงอยู่ในระดับ  $2^x$  ความลึกบิตที่แตกต่างกันจะนำมาใช้ในการตัดสินใจที่เหมาะสม ในการค้นหาลักษณะที่สำคัญของรูปจะใช้ 8 บิต ในขณะที่หากต้องการวัดความเข้มแสงที่ถูกต้องแม่นยำจะใช้ความลึกบิตที่สูงกว่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ค่าความเข้มแสงของภาพเกรสเกล

0	0	0	0	0
0	255	255	255	0
0	255	255	255	0
0	0	0	255	255
255	0	0	255	255

รูปที่ 2.19 ตัวอย่างค่าของภาพเกรสเกล

## 2.6 วิธีการ Thresholding [4]

Thresholding เป็นการแปลงภาพระบบเกรสเกล ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 ให้เป็นภาพที่มีค่าเพียงสองระดับ (Binary Image) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.20 มีเงื่อนไขว่า ค่าความเข้มแสงของจุดภาพใดมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold ที่กำหนดไว้ ให้จุดภาพนั้นมีค่าเป็น 0 หรือเป็นสีดำ และจุดภาพใดที่มีค่าสูงกว่าค่า Threshold ให้จุดภาพนั้นมีค่าเป็น 100 หรือสีขาว

0	0	0	0	0
0	100	100	100	0
0	100	100	100	0
0	0	0	100	100
100	0	0	100	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.20 ตัวอย่างค่าของภาพ Thresholding กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

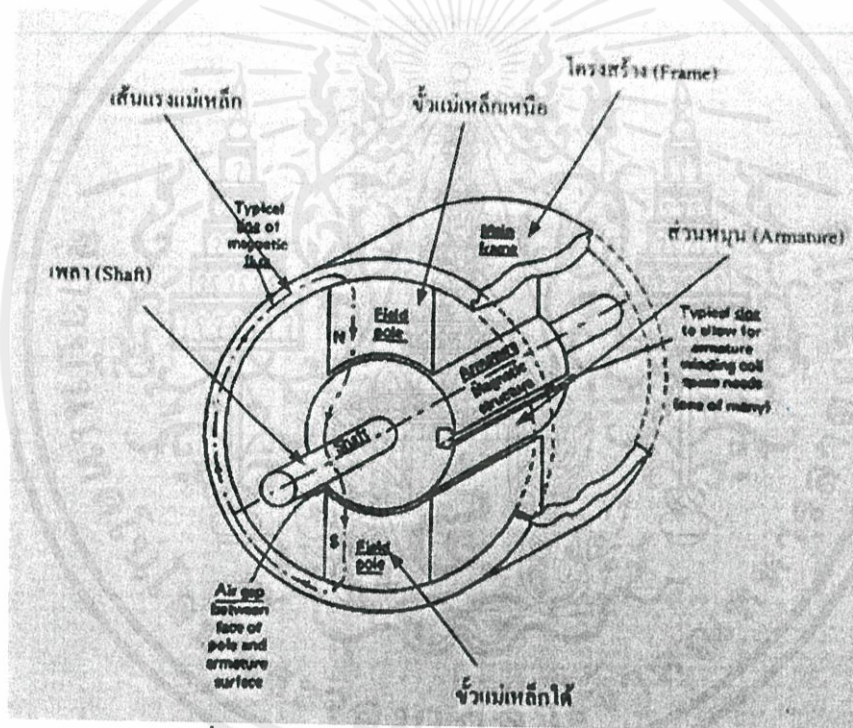
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [6]

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม

### 2.7.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบหลักๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบด้วยส่วนหนึ่งหรือโครงสร้าง (Frame) เป็นโครงสร้างภายนอกของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้สำหรับยึดกับขั้วแม่เหล็กเหนือ (N Field Pole) และขั้วแม่เหล็กใต้ (S Field Pole) ทำหน้าที่ส่งเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือสู่ขั้วใต้ และที่สำคัญมากอีกส่วนคือส่วนหมุน (Armature) ในส่วนนี้ภายในจะพันขดลวดกรณีที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator) กรณีที่ทำงานขับโหลดจะทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ซึ่งแสดงแต่ละส่วนดังรูปที่ 2.21

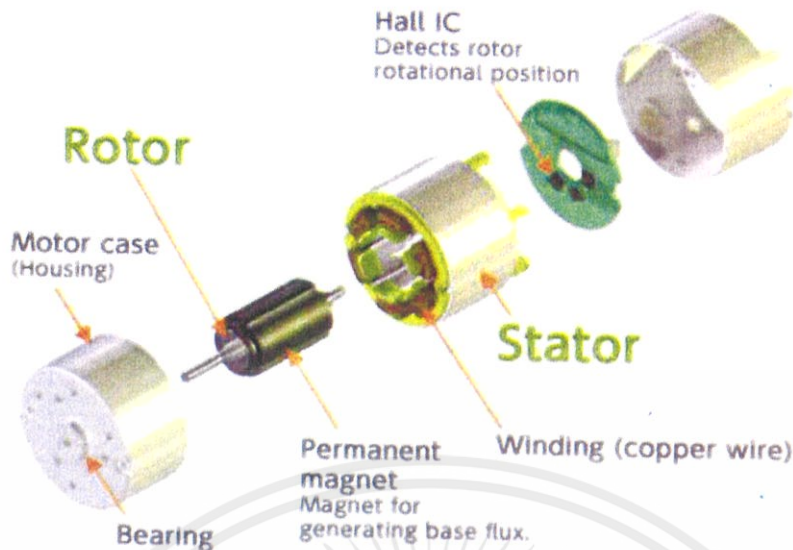


รูปที่ 2.21 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.7.2 หลักการหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) จะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก และส่วนที่หมุน (Rotor) จะเป็นส่วนที่สร้างความเร็วและแรงบิด เมื่อมีกระแสไหลในขดลวดตัวนำที่พันอยู่บนแกนอาร์เมเจอร์ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำ และทำปฏิกิริยากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นบนตัวนำทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ส่วนของ Stator และ Rotor [7]

## 2.8 ระบบนิวแมติกส์ [8]

ระบบนิวแมติกส์ หมายถึง ระบบการส่งกำลังจากต้นทางไปยังปลายทางโดยอาศัยความดันของลมเป็นตัวกลางสำหรับการส่งกำลัง และในการทำการควบคุมการทำงานต้องอาศัยอุปกรณ์ เช่น กระบอกสูบ (Cylinder) วาล์วหรือมอเตอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกล สำหรับงานควบคุมอัตโนมัตินั้นไม่ว่าการควบคุมการเคลื่อนที่ การควบคุมตำแหน่ง หรือควบคุมจุดหมุนระบบนิวแมติกส์ก็เป็นที่ยอมรับกันมาก ในอุตสาหกรรมการผลิตกันมาเป็นเวลายาวนานจากอดีตมาจนถึงปัจจุบัน ส่วนระบบการทำงานของระบบนิวแมติกส์มีโครงสร้างพื้นฐานดังต่อไปนี้

### 2.8.1 บีบลม (Air Compressor)

เป็นการนำเอาอากาศมาเป็นวัสดุในการใช้งานซึ่งต้องนำมาอัดให้เกิดความดันสูงขึ้นเพื่อใช้ในการขับเคลื่อน โดยสามารถแบ่งลักษณะการทำงานของเครื่องบีบลมออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงกับทำงานในลักษณะของการหมุน และลักษณะการทำงานในแนวตรงจะเป็นที่ยอมรับกันก็มีแบบ บีบลมแบบลูกสูบ (Piston Air Compressor) กับบีบลมแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Air Compressor) โดยแบบลูกสูบจะเป็นที่ยอมรับกันมากคือ สามารถสร้างความดันได้ตั้งแต่ความดันต่ำจนกระทั่งถึงความดันสูงขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของการอัด

ส่วนระบบที่ใช้การหมุนนั้นก็ยังมีบีบลมแบบใบพัดเลื่อน (Sliding Van Rotary Air Compressor) เป็นบีบลมที่มีการหมุนที่เสียงไม่ค่อยดังมากนัก แต่ควรระวังเรื่องของความร้อนที่ตัวบีบ ส่วนบีบลมแบบสกรู (Screw Air Compressor) เป็นบีบลมที่มีต้นทุนการผลิตสูงและสร้างความดันสูงสุดได้เพียงแค่ 10 บาร์ แต่ให้ลมได้สม่ำเสมอ

### 2.8.2 เครื่องระบายความร้อน (After Cooler)

เนื่องจากการอัดลมจากความดันบรรยากาศให้มีความดันที่สูงขึ้นทำให้เกิดความร้อน (อุณหภูมิ) สูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนออกคือ ถ้านำไปใช้เลยก็จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

ใช้งานของอุปกรณ์นิวแมติกส์มีอายุการใช้งานสั้นลง อันเป็นผลของการเกิดสนิมนั่นเองแล้วเหตุนี้ก็จะทำให้เกิดการอุดตันของนิวแมติกส์วาล์วเช่นเดียวกัน ส่วนการระบายความร้อนนี้มีอยู่ 2 รูปแบบคือ แบบใช้ลมเป่า และแบบใช้น้ำระบายความร้อน

### 2.8.3 ถังเก็บลม (Receiver Tank)

ในการทำงานของระบบนิวแมติกส์ถ้าทำงานพร้อมกันหลายๆ ตัว อาจเกิดปัญหาของปริมาณลมที่ใช้ไม่เพียงพอ ซึ่งอาจทำให้ระบบนิวแมติกส์ไม่ทำงานหรือทำงานผิดพลาดได้ หรือถ้าอุปกรณ์หยุดทำงาน ลมที่เหลือก็ไม่รู้จะไปเก็บไว้ที่ไหน ถ้าทิ้งไปก็เกิดความสูญเสียโดยใช่เหตุ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเก็บลมไว้ใช้อยู่ตลอดเวลาและสามารถใช้อย่างต่อเนื่องด้วย



รูปที่ 2.23 ถังเก็บลม (ถังหับส่วนจำกัด แอร์ คอนโทรล อินโนเวชั่น)

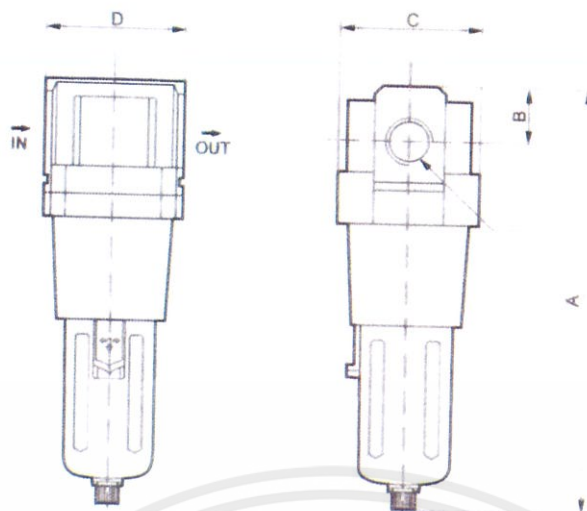
### 2.8.4 เครื่องกำจัดความชื้น (Air Dryer)

โดยปกติแล้วเครื่องระบายความร้อนนั้นไม่สามารถที่จะกำจัดความชื้นได้หมด ซึ่งทั่วไปก็กำจัดได้ประมาณ 70% เท่านั้น ส่วนที่เหลือก็ปนไปกับลม ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นิวแมติกส์เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์กำจัดความชื้นเข้ามาช่วยด้วย เช่น ใช้หลักการดูดซับด้วยสารเคมีหรือใช้หลักการของเครื่องทำความเย็น (Refrigerant Dryer)

### 2.8.5 ตัวกรองอากาศ (Air Filter)

ทำหน้าที่กำจัดสิ่งสกปรก ฝุ่นละอองที่อยู่ภายในลม มีหลักการทำงานคือเมื่อลมอัดไหลเข้ามาจะผ่านแผ่นบังคับกระแสลมที่ไหล ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลวนและสิ่งสกปรกก็จะได้รับแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางปะทะกับผนังลูกถ้วยตกลงสู่ด้านล่าง หลังจากนั้นลมอัดก็จะไหลผ่านไส้กรองที่มีขนาดรูเล็กมาก (ไมครอน) และผ่านไปยังรูทางออกเพื่อจะนำไปใช้งานต่อไป

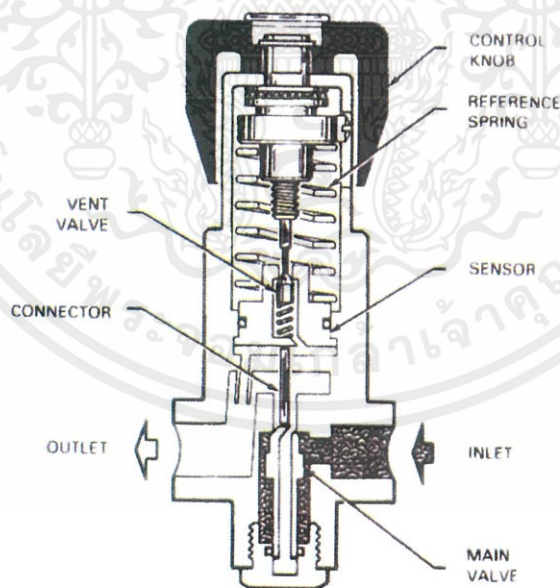
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ลักษณะของอุปกรณ์กรองลมอัด [9]

### 2.8.6 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Air Pressure Regulator)

ใช้ปรับความดันตั้งแต่ลมที่ออกจากถังลมโดยทั่วไปก็จะมีความดันที่สูงมาก (การใช้งานในระบบนิวแมติกส์จะใช้ในช่วง 6 ถึง 10 บาร์) ซึ่งอุปกรณ์นิวแมติกส์บางชนิดอาจทนความดันสูงๆ ไม่ได้ จึงต้องมีการปรับความดันที่ใช้งานให้เหมาะสม คือลดค่าความดันให้ต่ำลง ซึ่งอุปกรณ์นี้เรียกว่า อุปกรณ์ปรับค่าความดัน



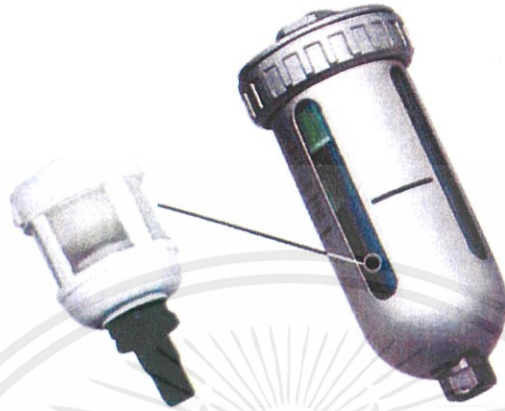
FUNCTIONAL SCHEMATIC

รูปที่ 2.25 ลักษณะของอุปกรณ์ควบคุมความดันของลมอัด [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.7 อุปกรณ์ส่งจ่ายน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator)

เป็นอุปกรณ์ส่งจ่ายน้ำมันให้กับระบบนิวแมติกส์คือ หลักการเมื่อใส่ลมเข้าไป ความดันลมจะดันให้น้ำมันที่อยู่ในลูกถ้วยขึ้นสู่ด้านบนตามท่อโดยจะไปผสมกับลมอัดที่จะจ่ายไปยังระบบนิวแมติกส์



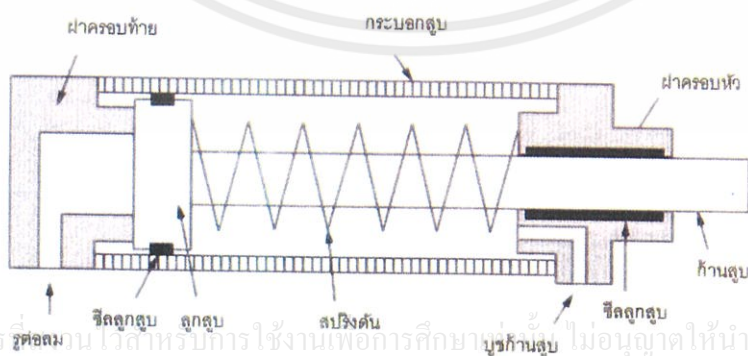
รูปที่ 2.26 ลักษณะของอุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปในลมอัด [9]

### 2.8.8 กระบอกลูกสูบ

กระบอกลูกสูบ จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกลลักษณะในการเคลื่อนที่ส่วนมากเป็นการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง มี 2 ประเภท คือ

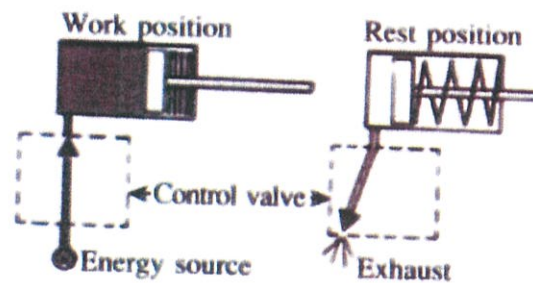
#### 2.8.8.1 กระบอกลูกสูบทางเดียว (Single-acting Cylinder)

กระบอกลูกสูบทางเดียวเหมาะสำหรับงานที่ต้องการแรงกระทำไม่มากนัก เนื่องจากแรงที่กระทำกับโพลัดจะถูกต้านด้วยแรงของสปริง (ภายในกระบอกลูกสูบ) และขนาดกระบอกลูกสูบแบบนี้จะมีขนาดไม่ใหญ่มากนักคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกลูกสูบไม่เกิน 100 มิลลิเมตร และระยะช่วงชักไม่เกิน 100 มิลลิเมตรเช่นกัน การทำงานในสภาวะปกติของลูกสูบเมื่อยังไม่มีความดันลมเข้าที่ด้านท้ายของกระบอกลูกสูบ สปริงจะดันลูกสูบให้อยู่ในตำแหน่งเคลื่อนที่เข้าสุด สภาวะการทำงานของกระบอกลูกสูบเมื่อความดันของลมเข้ามาที่ด้านท้ายของกระบอกลูกสูบ ความดันของลมจะมีแรงชนะแรงของสปริงที่ต้านไว้ก็จะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออกสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสาร วิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาย่างงั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกรูปที่ 2.27 องค์ประกอบภายในของกระบอกลูกสูบทางเดียว [10] ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

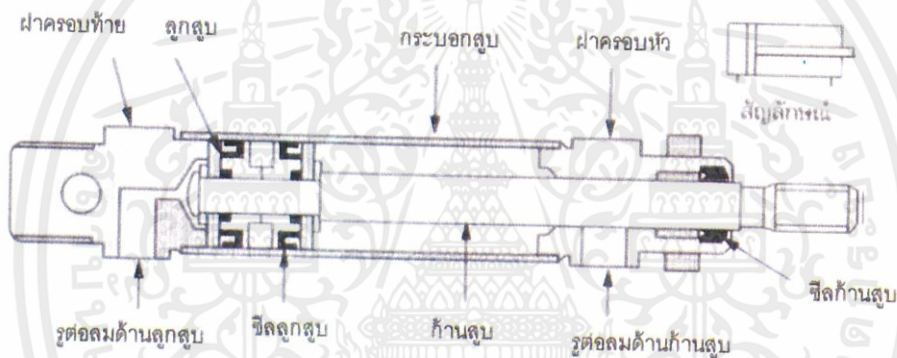
## Single-acting cylinder



รูปที่ 2.28 การสั่งงานให้กระบอกลูกสูบทางเดียว [10]

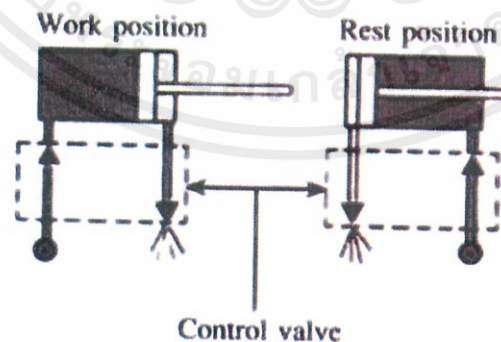
### 2.8.8.2 กระบอกลูกสูบสองทาง (Double-acting Cylinder)

การทำงานของกระบอกลูกสูบแบบสองทางไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่เข้าหรือเคลื่อนที่ออก จะใช้ความดันลมในการทำงานทั้งสองด้าน (มีลมเข้าทั้งสองด้านแต่สลับการทำงาน)



รูปที่ 2.29 องค์ประกอบภายในของกระบอกลูกสูบสองทาง [10]

## Double-acting cylinder



รูปที่ 2.30 การทำงานของกระบอกลูกสูบสองทางเมื่อจ่ายลมอัดภายใน [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 วาล์วที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์ [8]

ในการทำงานของกระบอกสูบนั้น ถ้าต้องการให้กระบอกสูบเคลื่อนที่เข้าออกได้ตามต้องการ ต้องอาศัยอุปกรณ์ให้สัญญาณและอุปกรณ์ควบคุมซึ่งได้แก่ วาล์วต่างๆ นั่นเอง ซึ่งวาล์วที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic Valve) มีหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีหน้าที่แตกต่างกันออกไป โดยในที่นี้จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

### 2.9.1 วาล์วควบคุมทิศทางลม (Direction Control Valve)

วาล์วควบคุมทิศทางลมมีหน้าที่เลือกทิศทางการไหลของลมอัดให้ไปตามทิศทางที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน เช่น กระบอกสูบ มอเตอร์ลม สามารถทำงานและเคลื่อนที่ในทิศทางที่ถูกต้องตามความต้องการ



รูปที่ 2.31 วาล์วควบคุมทิศทางลม

การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางลมนั้นสามารถกระทำได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับวงจรที่ออกแบบเพื่อใช้ในงานที่แตกต่างกันออกไป เช่น การเลื่อนวาล์วโดยใช้มือหรือกล้ามเนื้อ ใช้การทำทางกลซึ่งใช้ความดันลมเป็นหลัก แต่ถ้าเป็นระบบไฟฟ้าต้องเพิ่มชุดโซลินอยด์วาล์วมาเป็นตัวช่วยในการปิดเปิดวาล์ว ถ้าหากเข้าใจการเลื่อนและการทำงานของวาล์วแบบใดแบบหนึ่งแล้วส่วนอื่นก็ใช้หลักการที่คล้ายคลึงกัน

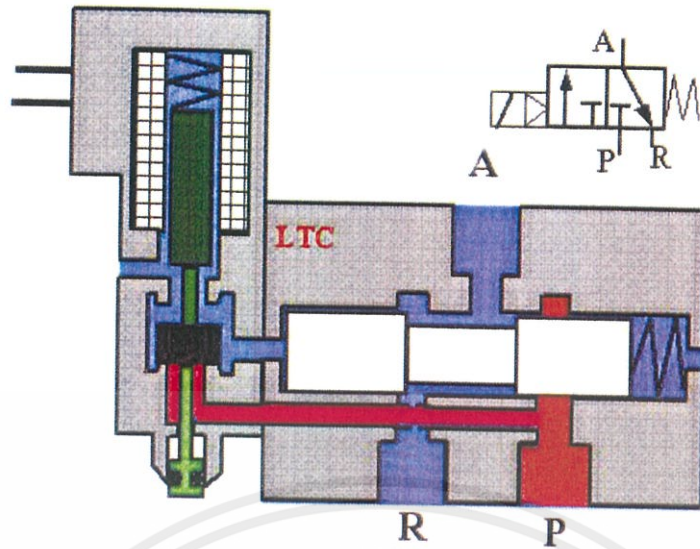
### 2.9.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบ 3/2

ในรูปที่ 2.32 แสดงตัวอย่างโซลินอยด์วาล์ว 3/2 Normally Closed จะมีการเลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์และกลับสู่สภาวะปกติ (NC) โดยสปริง

สภาวะปกติ เมื่อยังไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดโซลินอยด์ ที่โซลินอยด์จึงไม่มีอำนาจแม่เหล็ก ดังนั้นสปริงจะดันลิ้นวาล์วปิดทางลมที่มาจาก P ส่วน A ต่อถึง R

สภาวะการทำงาน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ เป็นผลทำให้เกิดแรงดึงจากอำนาจแม่เหล็กเคลื่อนลิ้นของวาล์วให้เคลื่อนที่ขึ้นทำให้ความดันลมจาก P ต่อถึง A ส่วน R จะถูกปิด

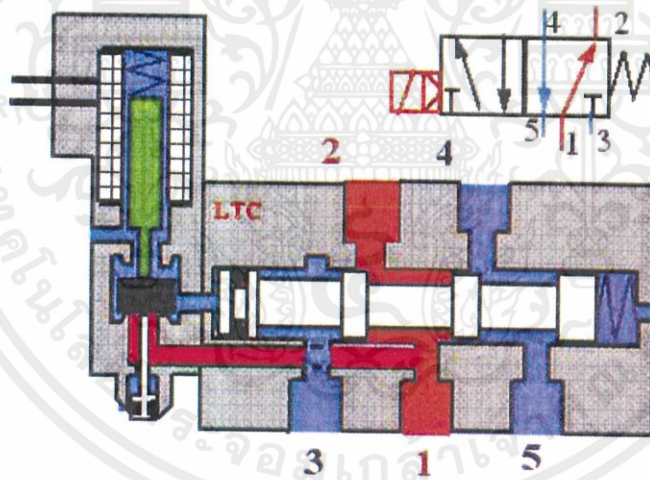
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 ลักษณะของโซลินอยด์วาล์ว 3/2 [11]

### 2.9.3 โครงสร้างและหลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบ 5/2

ในรูปที่ 2.33 แสดงตัวอย่างโซลินอยด์วาล์ว 5/2 Double Solenoid Valve โดยที่โซลินอยด์จะเปิดทางลมและลมนี้เป็นตัวเลื่อนทั้งสองด้าน



รูปที่ 2.33 ลักษณะของโซลินอยด์วาล์ว 5/2 [11]

สภาวะการทำงาน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ด้านซ้ายมือ จะทำให้โซลินอยด์เกิดแรงดึงจากอำนาจของแม่เหล็กเคลื่อนลิ้นวาล์วเล็กๆ ทางด้านซ้ายมือให้เปิดทางลม ลมจาก 1(P) จะไหลผ่านลิ้นวาล์วเล็กไปเคลื่อนลิ้นของ Main Valve ให้เลื่อนไปทางขวามือเป็นผลทำให้ความดันลมจาก 1(P) ต่อถึง 4(B) และ 2(A) จะต่อถึง 3(R) ส่วน 5(S) จะถูกปิด

สภาวะการทำงาน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ด้านขวามือ การทำงานจะทำงานตรงกันข้ามกับโซลินอยด์ทางด้านซ้ายมือเป็นผลทำให้ความดันลมจาก P เปลี่ยนทิศทิศทางการไหลคือ 1(P) จะต่อถึง 2(A) และ 4(B) จะต่อถึง 5(S) ส่วน 3(R) จะถูกปิด

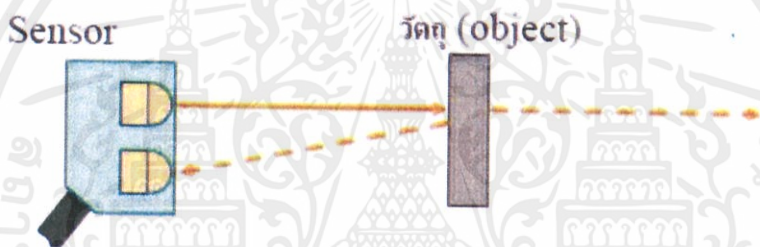
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 เซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Photo Sensor) [12] , [13]

เซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Photo Sensor) ทำงานโดยอาศัยหลักการส่งและรับแสง มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวส่งแสง (Emitter) และตัวรับแสง (Receiver) ลักษณะการตรวจจับเกิดจากการที่ลำแสงจากตัวส่งแสง ส่งไปสะท้อนกับวัตถุหรือถูกขวางกั้นด้วยวัตถุ ส่งผลให้ตัวรับแสงรู้สภาวะที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงสภาวะของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งานต่อไป อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับแสงส่วนใหญ่นิยมใช้โฟโตไดโอด (Photo Diode) หรือโฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) ส่วนตัวส่งแสงนั้นโดยทั่วไปใช้ LED (Light Emitting Diode) เนื่องจากการต่อใช้งานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำได้ง่าย

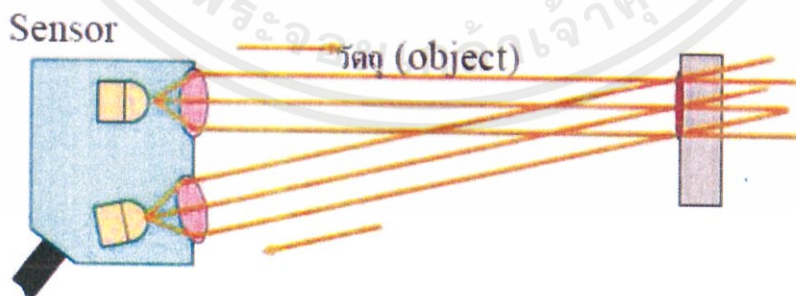
ประเภทของเซนเซอร์ชนิดใช้แสง สามารถแบ่งตามลักษณะการตรวจจับและตำแหน่งการติดตั้งตัวรับแสงและตัวส่งแสงได้ 3 ประเภท

1. ประเภทตรวจจับโดยตรง (Diffuse-reflective Optical Sensor) เป็นเซนเซอร์ที่อาศัยหลักการยิงแสงไปที่วัตถุแล้วสะท้อนกลับมา ซึ่งเซนเซอร์ลักษณะนี้นิยมใช้งานโดยทั่วไป เนื่องจากใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย เพราะใช้ผิววัตถุที่ตรวจจับเป็นตัวสะท้อนแสงกลับมา



รูปที่ 2.34 ลักษณะของเซนเซอร์ประเภทตรวจจับโดยตรง

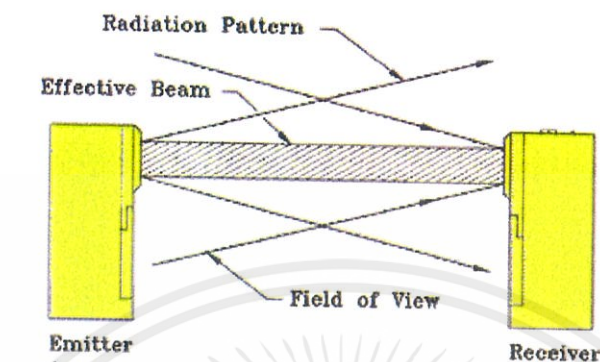
2. ประเภทลำแสงสะท้อนกลับ (Retro-reflective Optical Sensor) เป็นเซนเซอร์ที่ต้องอาศัยแผ่นสะท้อนหรือที่เราเรียกว่า Reflect เป็นตัวสะท้อนแสงกลับมา ซึ่งเซนเซอร์ลักษณะนี้สามารถใช้งานได้ดีในบริเวณที่มีการจำกัดพื้นที่การติดตั้ง นอกจากนี้แผ่นสะท้อนยังส่งผลทำให้ระยะการตรวจจับวัตถุสามารถทำได้ไกลขึ้น



รูปที่ 2.35 ลักษณะของเซนเซอร์ประเภทลำแสงสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 3) ประเภทลำแสงผ่านตลอด (Through-beam Optical Sensor) เซนเซอร์ประเภทนี้ติดตั้งตัวส่งแสงกับตัวรับแสงแยกกัน เป็นเซนเซอร์ชนิดใช้แสงที่มีระยะการตรวจจับไกล ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ที่สุด อย่างไรก็ตามเซนเซอร์ประเภทนี้ติดตั้งยากและมีราคาสูง สามารถตรวจจับได้เฉพาะวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่บดบังแสงเท่านั้น ข้อควรระวังสำหรับการติดตั้งเซนเซอร์แสงประเภทนี้คือ ต้องปรับตั้งศูนย์ของตัวรับและตัวส่งให้ตรงกันเสมอ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นมากกว่าปกติได้



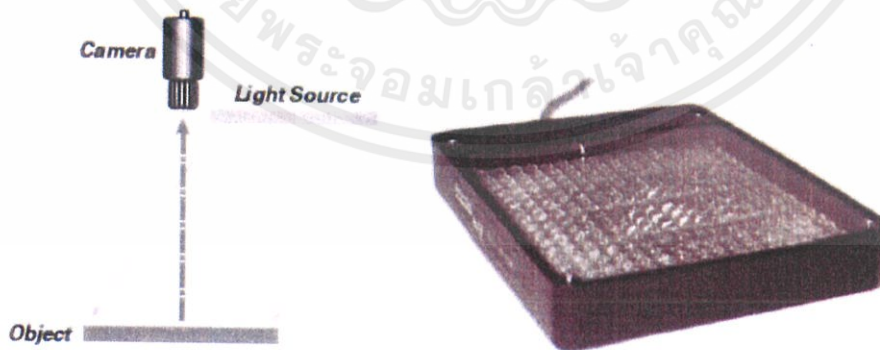
รูปที่ 2.36 ลักษณะของเซนเซอร์ประเภทลำแสงผ่านตลอด

## 2.11 แสงสว่าง [4]

แสงสว่างเป็นสิ่งสำคัญ แต่มักจะถูกมองข้ามในแง่ของการเก็บข้อมูลภาพ แสงสามารถสร้างหรือทำลายระบบได้ ลักษณะของแสงสว่างที่ใช้กับ Machine Vision จะมีหลายรูปร่างและหลายชนิด แต่แบบที่พบมากที่สุดคือ Area Arrays, Ring, Dark Field, Dome และ Backlight

### 2.11.1 Area Arrays

อุปกรณ์ให้แสงแบบ Area Arrays เป็นอุปกรณ์ที่พบมากที่สุดและมักจะใช้กับวัตถุที่พื้นผิวไม่มีการสะท้อนหรือการสะท้อนต่ำ โดยลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ชนิดนี้จะเป็นเมทริกซ์ของไฟขนาดเล็ก (LEDs) ที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีการสร้างลำแสงที่กว้างไปยังวัตถุชนิดของ Area Arrays ที่พบมากที่สุดคือ แบบจุดและแบบพื้นราบ ชนิดแบบพื้นราบเหมาะกับการใช้งานทั่วไปและแบบจุดมีประโยชน์มากในกรณีที่แหล่งกำเนิดแสงต้องอยู่ห่างจากวัตถุ

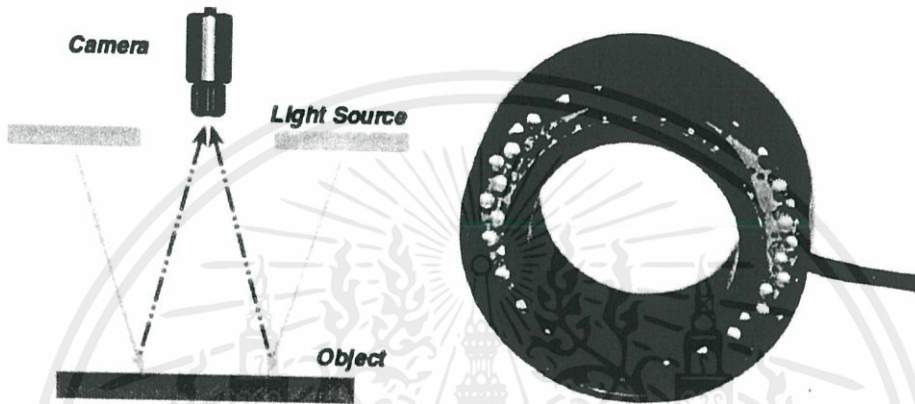


รูปที่ 2.37 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Area Arrays

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.2 Ring

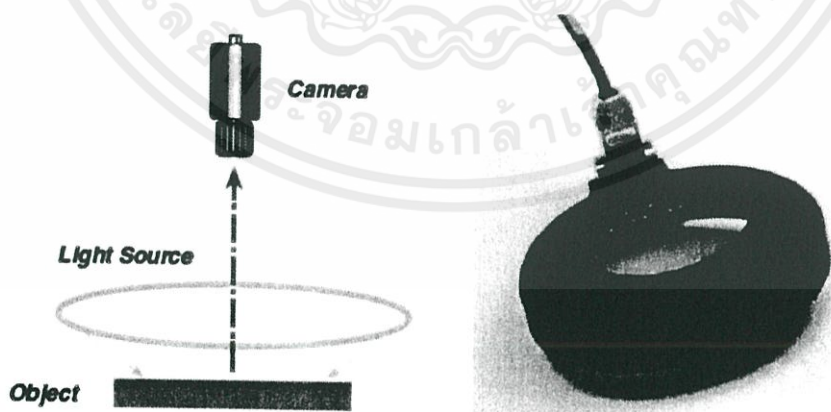
ไฟส่องสว่างแบบ Ring เป็นทางเลือกที่เป็นที่นิยมสำหรับการใช้งานที่ต้องใช้แสงคู่ และสามารถผลิตไฟส่องสว่างสม่ำเสมอเมื่อใช้ในระยะเวลาที่เหมาะสม เป็นแหวนที่สามารถอยู่รอบแกนดูวัตถุที่ถูกฉายรังสีราวกับว่าแสงจะไหลออกมาจากกล้องเอง เมื่อใช้วิธีนี้ภาพที่เกิดโดยทั่วไปจะเกิดเงา น้อย ไฟส่องสว่างแบบ Ring เป็นประโยชน์เฉพาะเมื่อส่องสว่างกับพื้นผิวที่ไม่สะท้อน มักจะใช้ในพื้นที่ จำพวกกล้องจุลทรรศน์, เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์, การวิจัยทางการแพทย์และชีวภาพ, โลหะและการ ตรวจสอบทางนิติวิทยาศาสตร์, เซมิคอนดักเตอร์ การแกะสลักและการตรวจสอบการพิมพ์ อุปกรณ์ ชนิดนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อวัตถุที่ให้แสงสว่างในระยะสั้น



รูปที่ 2.38 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Ring

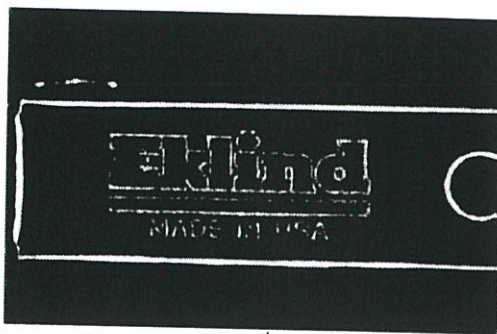
### 2.11.3 Dark Field

แสงที่ปล่อยออกมาจากการส่องสว่างของ Dark Field ให้แสงสว่างมุ่มต่ำเพื่อเพิ่มความคมชัดของลักษณะพื้นผิว และการแสดงรูปทรงของวัตถุรวมทั้งเครื่องหมายสลักและข้อบกพร่องบนพื้นผิว รูปแบบทางกายภาพของ Dark Field คล้ายกับแบบ Ring ต่างที่ไฟจะอยู่ใกล้ชิดกับวัตถุ และแสงส่องเป็นมุ่มเข้าด้านใน



รูปที่ 2.39 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Dark Field

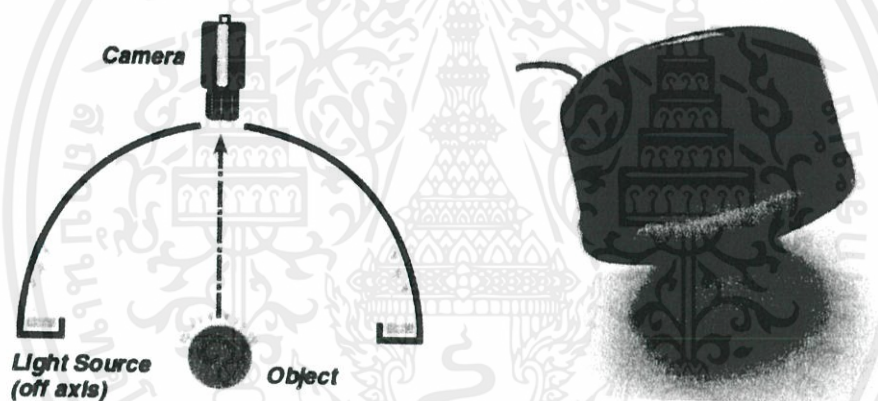
เอกซเรย์นี้เป็นเอกซเรย์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 ลักษณะของวัตถุที่ถูกให้แสงแบบ Dark Field

#### 2.11.4 Dome

อุปกรณ์ให้แสงแบบ Dome จะให้แสงสว่างออกมาแบบสม่ำเสมอ เหมาะกับให้แสงกับพื้นผิวสามมิติและเกิดเงา น้อยมาก อุปกรณ์ชนิดนี้จะติดตั้งค่อนข้างไกลกับวัตถุที่อยู่ภายใต้การตรวจสอบ กรณีที่ย้ายแสงสว่างหรือตาของกล้องที่จับภาพย้ายออกจากแนวรูของโดม (On-axis) 100% แล้ว ถ้าพื้นที่ส่วนนั้นไม่ใช่พื้นที่ส่วนที่พิจารณา สามารถเลื่อนโดมให้แสงเพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการให้แสงแก่วัตถุได้



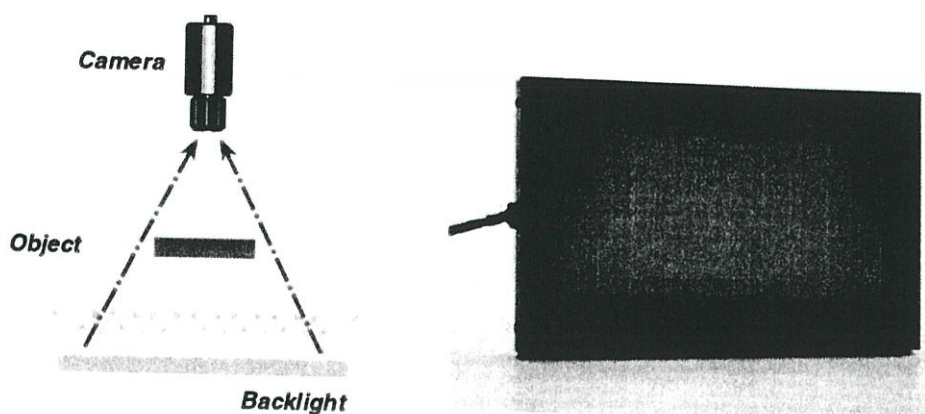
รูปที่ 2.41 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Dome

#### 2.11.5 Backlights

Backlights มีประโยชน์ในการทำให้เกิดภาพเงาดำและความชัดเจนของภาพที่

เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.42 อุปกรณ์ให้แสงแบบ Backlights

## 2.12 ระบบไบโอเมตริก

ไบโอเมตริก เป็นการผสมผสานกันระหว่างเทคโนโลยีทางด้านชีวภาพและทางการแพทย์ กับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน โดยการตรวจวัดคุณลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics) และลักษณะทางพฤติกรรม (Behaviors) ที่เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละคนมาใช้ในการระบุตัวบุคคลนั้นๆ แล้วนำสิ่งเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกับคุณลักษณะที่ได้มีการบันทึกไว้ในฐานข้อมูลก่อนหน้านี้เพื่อใช้แยกแยะบุคคลนั้นจากบุคคลอื่น ๆ กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ เป็นเทคโนโลยีที่สำหรับยืนยัน ตัวบุคคลด้วยการเปรียบเทียบรูปแบบทางกายภาพหรือพฤติกรรมต่างๆ ของมนุษย์ด้วยคอมพิวเตอร์ ผลของการตรวจสอบหรือระบุตัวผู้ใช้นั้นมีผลออกมาได้ 4 กรณีดังนี้

1. Correct Accept : อนุญาตให้ผู้ใช้ที่มีสิทธิใช้ระบบ เข้าใช้ระบบ
2. Correct Reject : ปฏิเสธผู้ที่ไม่มีความสิทธิใช้ระบบ
3. False Accept : อนุญาตให้ผู้ใช้ที่ไม่มีสิทธิ ใช้ระบบ จำนวนของ False Accept ถ้าคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ จะเรียกว่า อัตราการอนุญาตผิดพลาด (False Accept Rate หรือ FAR) ซึ่งค่า FAR สามารถหาได้จากสูตร

$$FAR = \frac{\text{จำนวนยอมรับที่ผิดพลาด}}{\text{จำนวนทั้งหมด}} \quad (2.1)$$

4. False Reject : ปฏิเสธผู้ใช้ที่มีสิทธิใช้ระบบ ไม่ให้เข้าใช้ระบบ จำนวนของ False Reject ถ้าคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ จะเรียกว่า อัตราการปฏิเสธผิดพลาด (False Reject Rate หรือ FRR)

$$FRR = \frac{\text{จำนวนปฏิเสธที่ผิดพลาด}}{\text{จำนวนทั้งหมด}} \quad (2.2)$$

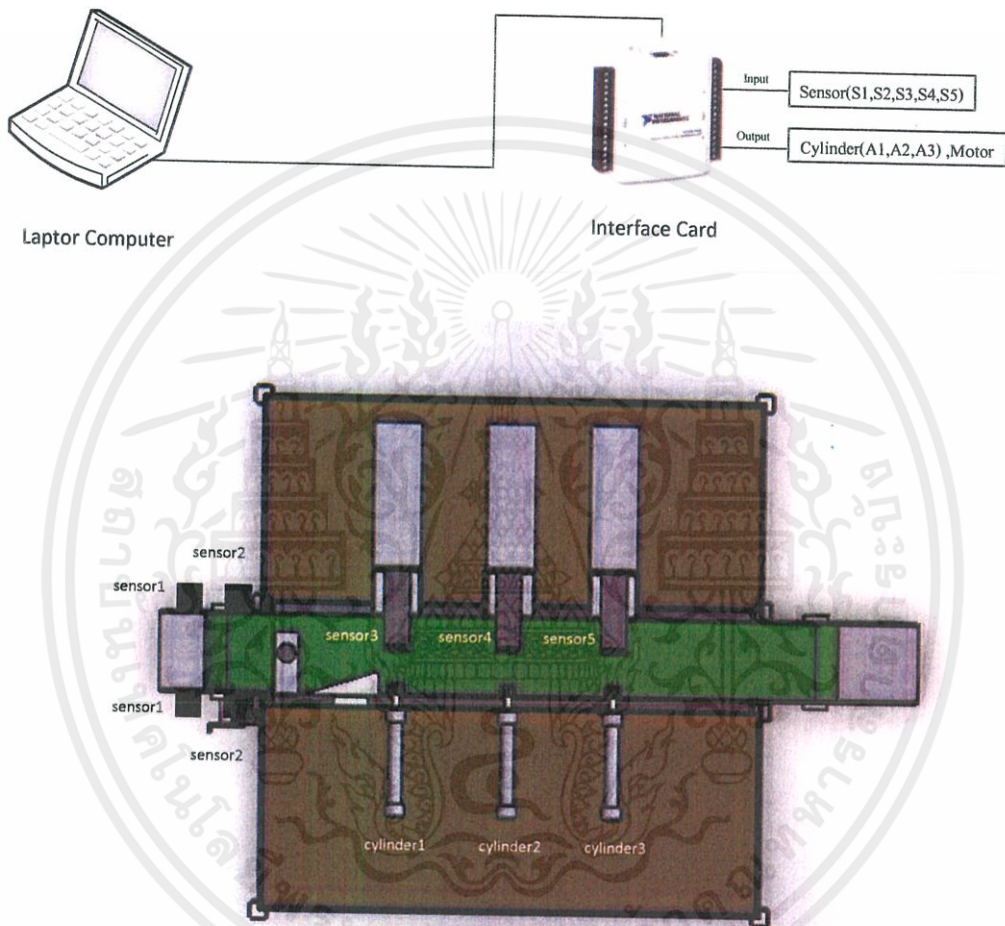
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## ขั้นตอนการออกแบบ

### 3.1 โครงสร้างของระบบ

สำหรับส่วนประกอบของระบบคัดแยกคัดแยกวัตถุโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบคัดแยกวัตถุโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

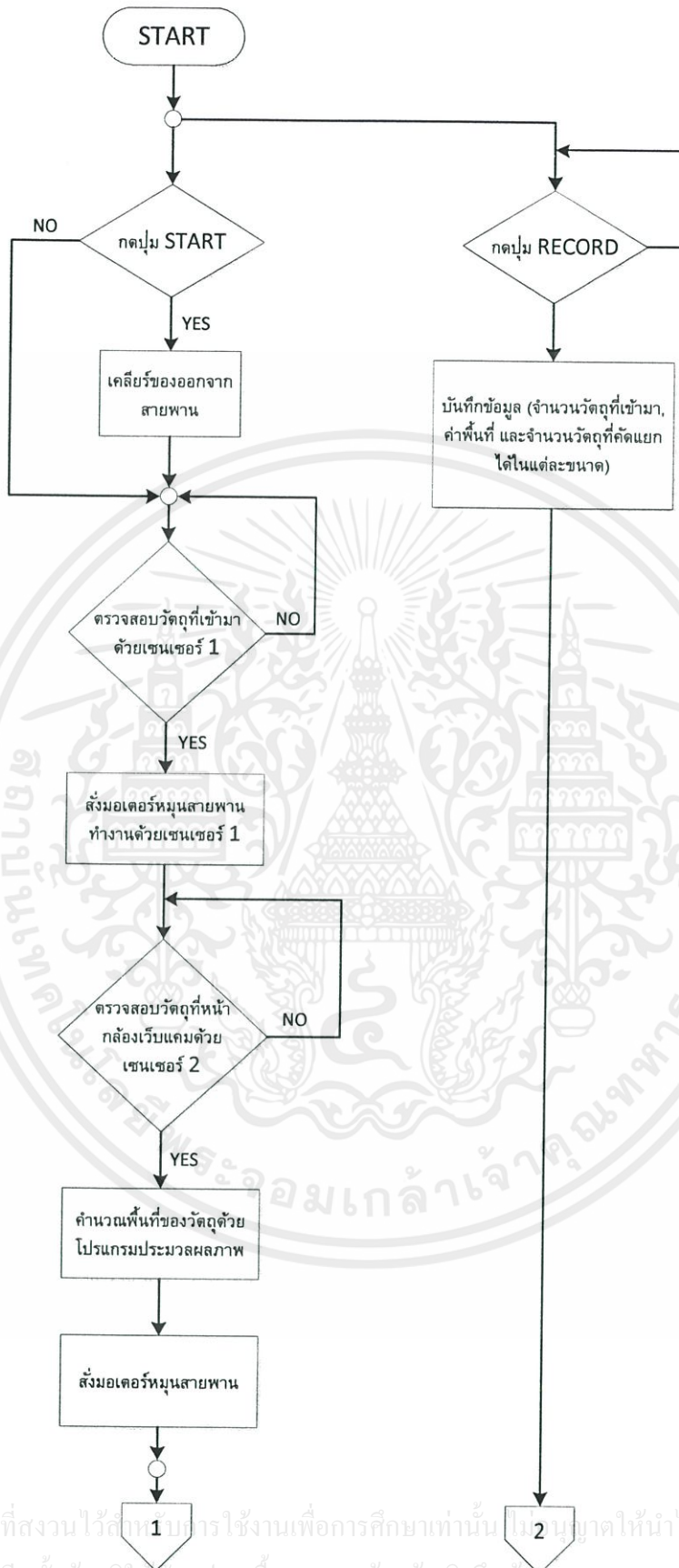
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานในระบบ

อุปกรณ์	หน้าที่การทำงาน
เซนเซอร์ 1	ตรวจเช็ควัตถุบริเวณต้นสายพาน
เซนเซอร์ 2	ตรวจเช็ควัตถุบริเวณหน้ากล้องเว็บแคม
เซนเซอร์ 3	ตรวจเช็ควัตถุขนาดเล็กบริเวณหน้าช่องคัดแยกที่ 1
เซนเซอร์ 4	ตรวจเช็ควัตถุขนาดกลางบริเวณหน้าช่องคัดแยกที่ 2
เซนเซอร์ 5	ตรวจเช็ควัตถุขนาดใหญ่บริเวณหน้าช่องคัดแยกที่ 3
กระบอกลูกสูบ 1	ดันวัตถุลงช่องคัดแยกที่ 1
กระบอกลูกสูบ 2	ดันวัตถุลงช่องคัดแยกที่ 2
กระบอกลูกสูบ 3	ดันวัตถุลงช่องคัดแยกที่ 3
มอเตอร์	ขับเคลื่อนสายพาน
กล้องเว็บแคม	จับภาพเพื่อนำไปคำนวณและประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม LabVIEW
การ์ดอินเตอร์เฟส	แปลงสัญญาณจากภายนอกเข้าสู่คอมพิวเตอร์
คอมพิวเตอร์	ควบคุมการทำงานและประมวลผลภาพ

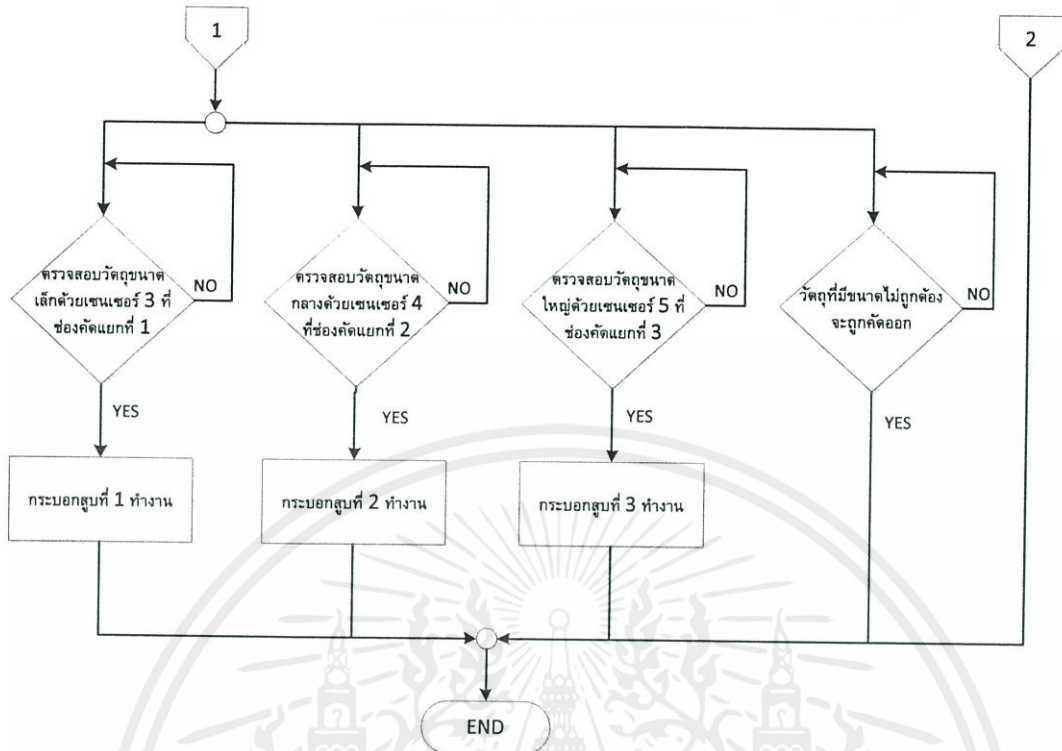
สำหรับการทำงานของระบบเริ่มจากเซนเซอร์ 1 ทำการตรวจเช็คว่ามีวัตถุอยู่บนสายพานหรือไม่ จากนั้นสั่งมอเตอร์เคลื่อนสายพานให้วัตถุไปหยุดที่หน้ากล้องเว็บแคม โดยมีเซนเซอร์ 2 ตรวจให้วัตถุหยุดพอดีกับกล้องเว็บแคม และกล้องเว็บแคมจะทำการจับภาพเพื่อนำไปคำนวณและประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW เมื่อโปรแกรมประมวลผลเสร็จจึงสั่งงานให้สายพานเคลื่อนวัตถุไปที่หน้าช่องคัดแยกตามขนาดที่คำนวณได้ และกระบอกลูกสูบตรงช่องนั้นจะทำหน้าที่ดันชิ้นงานลงช่องเพื่อเป็นการคัดแยก หากวัตถุชิ้นใดไม่ตรงตามขนาดที่กำหนดไว้จะถูกคัดออก ซึ่งขั้นตอนการทำงานสามารถแสดงได้ในแผนผังดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบ (ต่อ)

ดังนี้

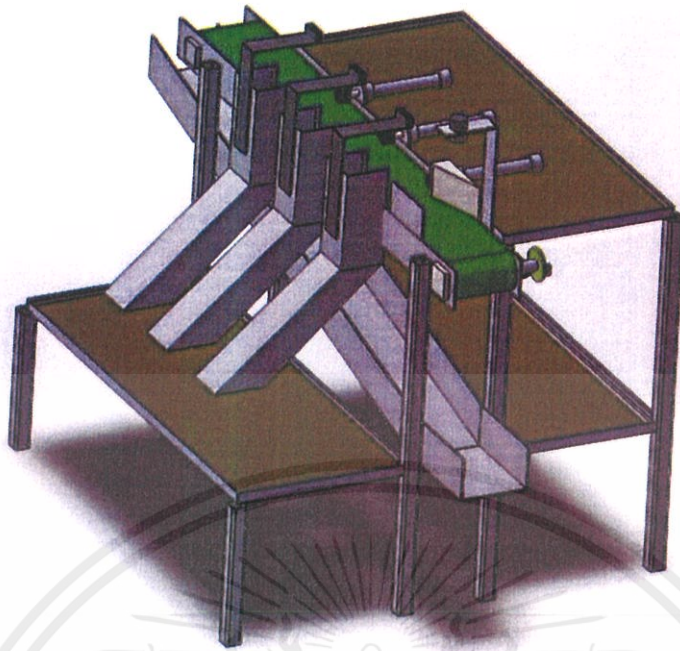
ระบบคัดแยกคัดแยกวัตถุโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน

1. ส่วนของฮาร์ดแวร์จะกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และการเชื่อมต่อต่างๆ
2. ส่วนของโปรแกรมจะกล่าวถึงโปรแกรมที่ออกแบบเพื่อใช้ในการควบคุม และหน้าจอกกราฟิก

## 3.2 ส่วนของฮาร์ดแวร์

### 3.2.1 รายละเอียดของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

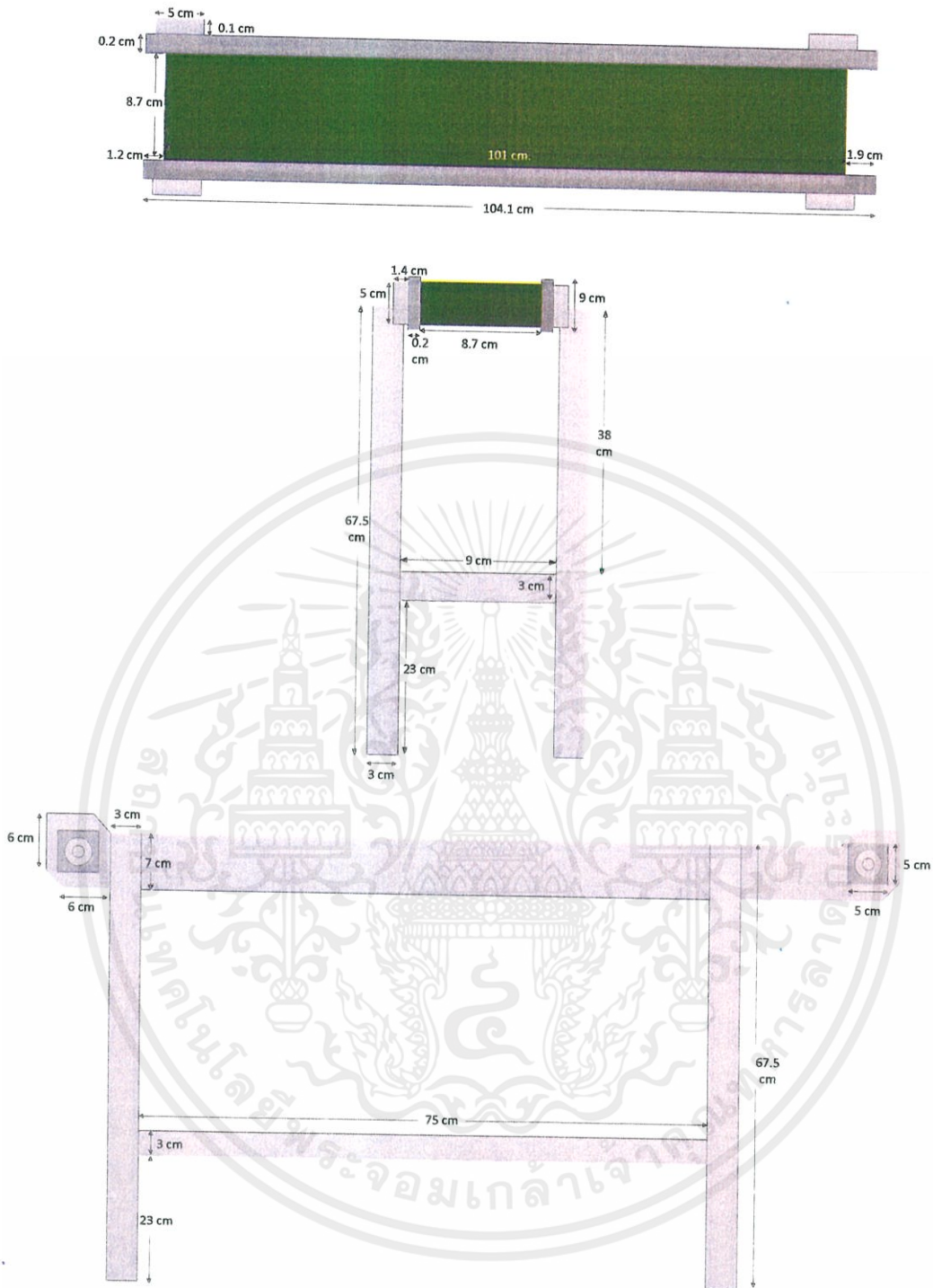


รูปที่ 3.3 โครงสร้างฮาร์ดแวร์

#### 3.2.1.1 ระบบสายพานลำเลียง

ระบบสายพานลำเลียงจะมีการรับคำสั่งญาณการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส เพื่อสั่งงานให้สายพานลำเลียงทำหน้าที่เลื่อนชิ้นงานเพื่อตัดแยก โดยลักษณะและขนาดของสายพานลำเลียงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

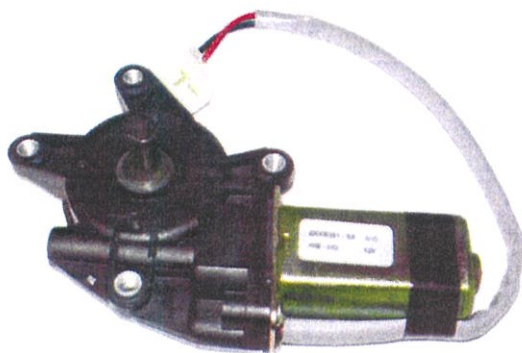


รูปที่ 3.4 ลักษณะของสายพานลำเลียงแต่ละด้าน

### 3.2.1.2 มอเตอร์

ในโครงการนี้ได้เลือกใช้มอเตอร์รุ่น ZKYR361 - SA - L เป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก ใช้แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และมีความเร็วรอบ 110 รอบต่อนาที (RPM) ลักษณะของมอเตอร์ที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3.5

งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 มอเตอร์รุ่น ZKYR361 - SA - L [14]

### 3.2.1.3 กล้องเว็บแคม

ในโครงการนี้ใช้กล้องเว็บแคม OKER OE-177 สามารถแสดงผลได้ไวมาก มีระบบปรับความสมดุลของภาพเพื่อให้ได้สีเป็นธรรมชาติสมจริง และยังสามารถหมุนปรับโฟกัสหน้าเลนส์ได้ ซึ่งลักษณะของกล้องเว็บแคมแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กล้องเว็บแคม OKER OE-177 [15]

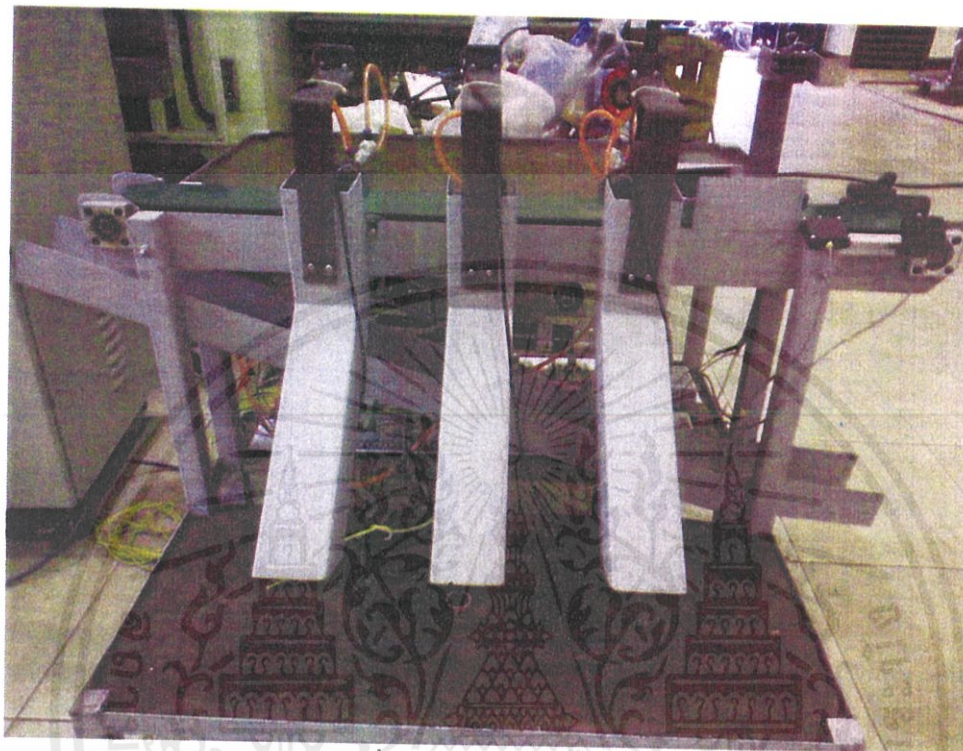
#### ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของกล้องเว็บแคม OKER OE-177

Resolution	16 Mega Pixels
Frame Rate	60 fps
Interface	USB 2.0
Info Noise Rate	48 dB
Lens	High quality glass lens
Focus Range	30 mm-infinite
OS	Windows NT, 2000, XP, Vista, Windows 7(32/64 bit), Mac OS X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.4 ส่วนคัดแยกชิ้นงาน

ส่วนคัดแยกชิ้นงานจะมีหน้าที่ในการแบ่งประเภทขนาดพื้นที่ของวัตถุตามที่โปรแกรมประมวลผลได้ มีช่องคัดแยก 3 ช่อง ตามขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยมีกระบอกสูบตรงช่องนั้นจะทำหน้าที่ดันชิ้นงานลงช่องเพื่อเป็นการคัดแยกวัตถุ ดังรูปที่ 3.7

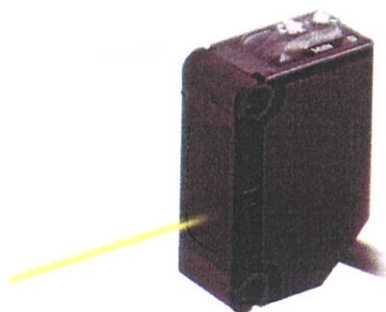


รูปที่ 3.7 ส่วนคัดแยกชิ้นงาน

### 3.2.1.5 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ (Photoelectric Sensor)

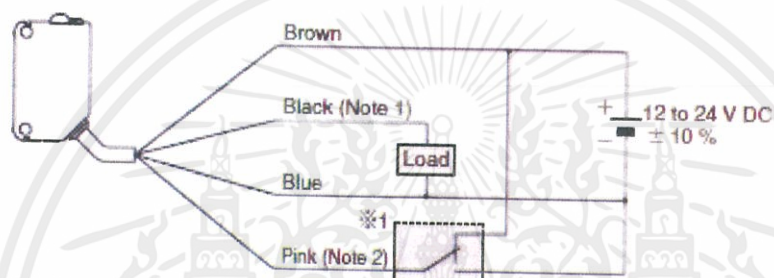
ในโครงงานนี้เลือกใช้เซนเซอร์ของ Panasonic รุ่น CX-421-P มาใช้ในการตรวจจับวัตถุก่อนทำการคัดแยก โดยติดตั้งที่หน้าช่องคัดแยก ซึ่งเซนเซอร์รุ่นนี้เป็นเซนเซอร์ชนิดใช้แสงประเภทตรวจจับโดยตรง (Diffuse-reflective Optical Sensor) มีลักษณะเป็นแบบ PNP ใช้ Infrared LED เป็นตัวรับและตัวส่งแสงจะติดตั้งรวมอยู่ภายในตัวเดียวกัน ตรวจจับโดยการสะท้อนลำแสงโดยตรงกับวัตถุ และใช้วัตถุนั้นเป็นตัวสะท้อนลำแสงกลับมายังตัวรับแสง มีระยะการตรวจจับไกลสุด 300 มิลลิเมตร สามารถตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นวัตถุที่โปร่งแสง และวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวด้านหรือดูดกลืนแสง เหมาะสำหรับการตรวจจับวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวเรียบ เป็นมันวาวและทึบแสง อีกทั้งยังมีหลอดไฟ LED แสดงสถานะของเซนเซอร์ ถ้าหลอดไฟ LED แสดงเป็นสีเขียวคือไม่มีการตรวจจับวัตถุ (สถานะปกติ) หากหลอดไฟ LED แสดงเป็นสีส้มคือมีการตรวจจับวัตถุ ลักษณะของเซนเซอร์ที่เลือกใช้แสดงได้ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ Panasonic รุ่น CX-421-P [16]

### Wiring diagram



Notes: 1) The emitter of the thru-beam type sensor does not incorporate the black wire.  
2) The pink wire is incorporated only for the CX-44□-P adjustable range reflective type. When using the CX-44□-P, be sure to wire the pink wire.

※1

รูปที่ 3.9 การต่อสายใช้งานของโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ Panasonic รุ่น CX-421-P

Model No.	CX-421-P
Type	PNP Output
Sensing Range	300 mm. (11.811 in)
Sensing Object	Opaque, translucent or transparent object
Supply Voltage	12 to 24 VDC $\pm$ 10% Ripple P-P 10% or less
Current Consumption	25 mA or less
Output	- Maximum source current: 100 mA - Applied voltage: 30 VDC or less (between output and +V) - Residual voltage: 1 V or less (at 100 mA source current) 0.4 V or less (at 16 mA source current)
Emitting Element (Modulated)	Infrared LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟสรุ่น USB-6009

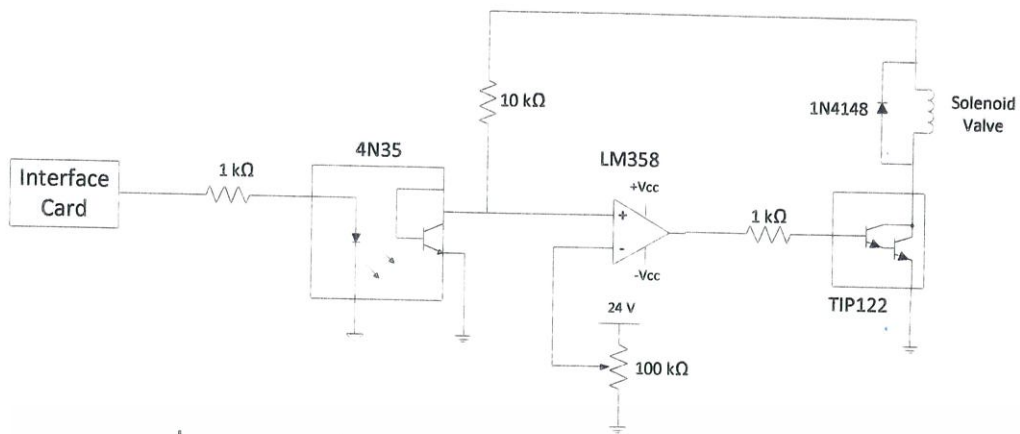
Analog inputs	Differential = 4 Channels Single-ended = Channels
Input resolution	Differential = 14 bits Single-ended = 13 bits
Max sample rate	48 kS/s
Input range	Differential = $\pm 20$ V, $\pm 10$ V, $\pm 5$ V, $\pm 4$ V, $\pm 2.5$ V, $\pm 2$ V, $\pm 1.25$ V, $\pm 1$ V Single-ended = $\pm 10$ V
Analog outputs	2
Output resolution	12 bits
Output range	0 to +5 V
Output impedance	50 $\Omega$
Output current drive	5 mA
Digital I/O lines	P0.<0..7> 8 lines P1.<0..3> 4 lines
Direction control	Each channel individually programmable as input or output
Output driver type	Each channel individually programmable as open collector or active drive
Compatibility	TTL, LVTTTL, CMOS
USB specification	USB 2.0 full-speed
USB bus speed	12 Mb/s

### 3.2.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์

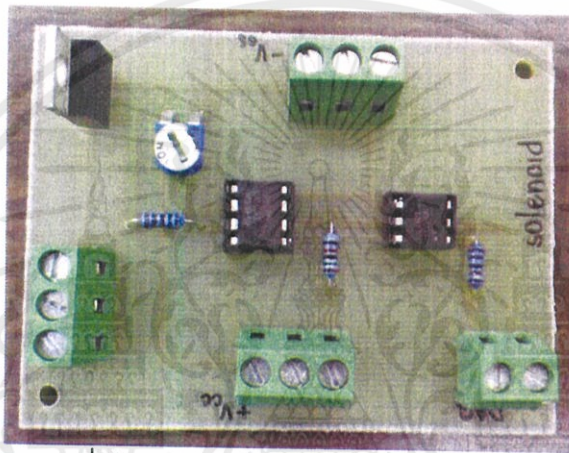
#### 3.2.2.1 วงจรสำหรับควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

วงจรส่วนนี้เป็นวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว มีทั้งหมด 3 ชุด ใช้แรงดันอ้างอิงที่ 21 โวลต์ โดยลักษณะของวงจรที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 และ รูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



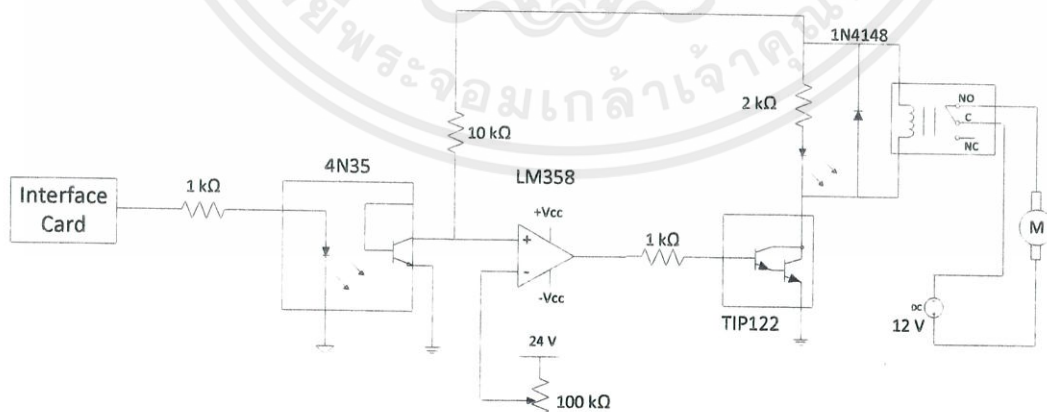
รูปที่ 3.12 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว



รูปที่ 3.13 วงจรที่ใช้งานจริงสำหรับควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

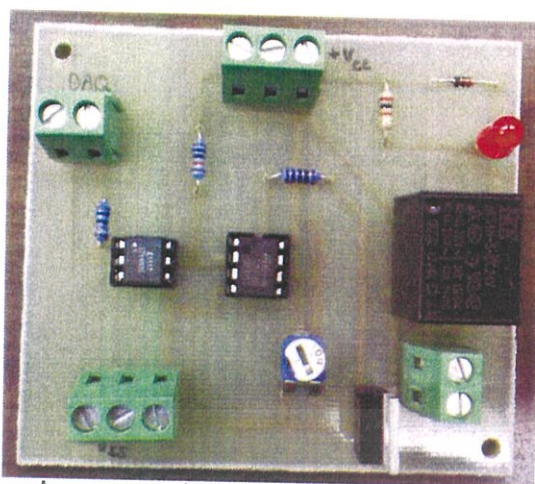
### 3.2.2.2 วงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์

วงจรส่วนนี้เป็นวงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์ ใช้แรงดันอ้างอิงที่ 21 โวลต์ โดยลักษณะของวงจรที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมมอเตอร์

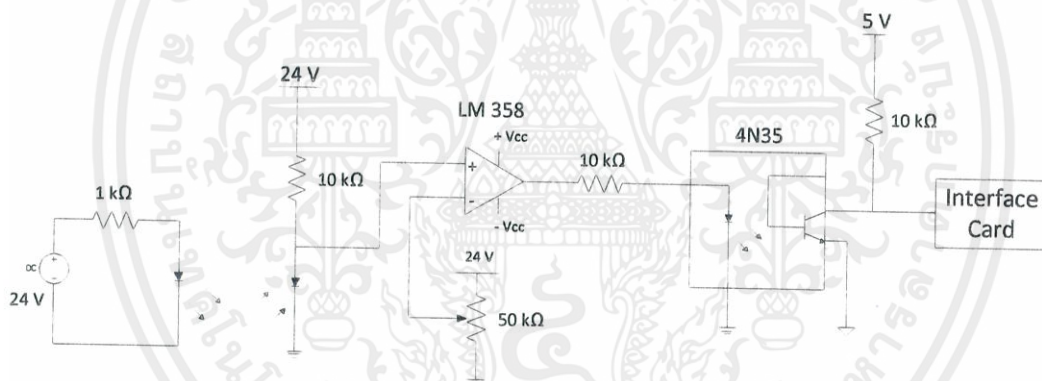
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



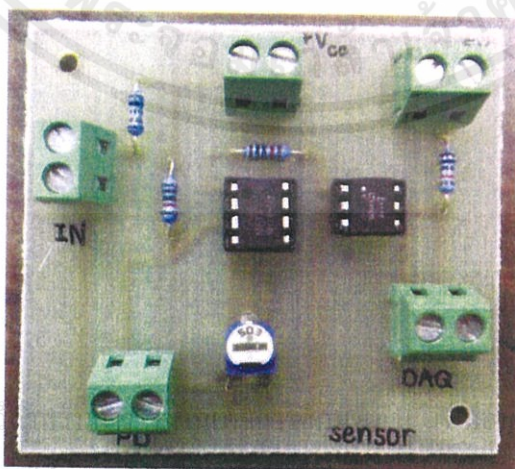
รูปที่ 3.15 วงจรที่ใช้งานจริงสำหรับควบคุมมอเตอร์

### 3.2.2.3 วงจรสำหรับตรวจจับวัตถุ (Infrared Sensor)

วงจรส่วนนี้เป็นวงจรสำหรับตรวจจับวัตถุมีทั้งหมด 2 ชุด ติดตั้งที่ตำแหน่งต้นสายพานและตำแหน่งหน้ากล้องเว็บแคม ใช้แรงดันอ้างอิงที่ 12 โวลต์ โดยลักษณะของวงจรที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับวัตถุ (Infrared Sensor)

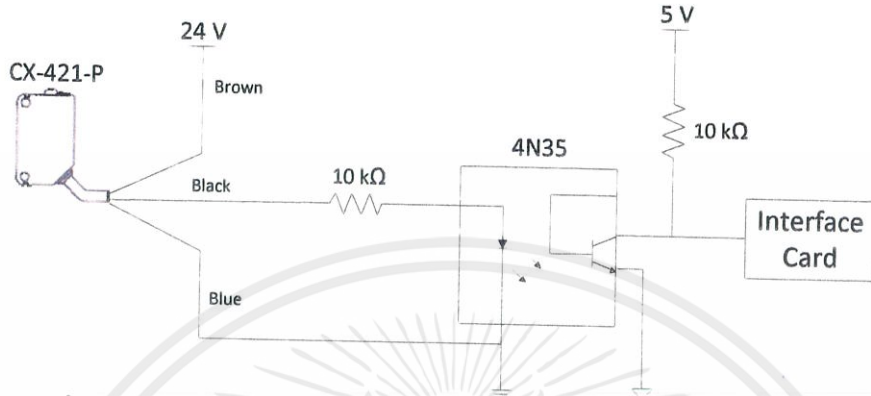


รูปที่ 3.17 วงจรที่ใช้งานจริงสำหรับตรวจจับวัตถุ (Infrared Sensor)

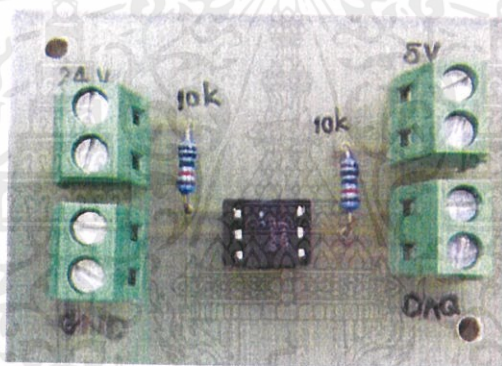
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

### 3.2.2.4 วงจรสำหรับตรวจจับวัตถุ (Photoelectric Sensor)

วงจรส่วนนี้เป็นวงจรสำหรับใช้งานกับโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ เพื่อทำการแยกส่วนของแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และ 5 โวลต์ เพื่อป้องกันความเสียหายหากมีความผิดพลาดเกิดขึ้น มีทั้งหมด 3 ชุด โดยลักษณะของวงจรที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับวัตถุ (Photoelectric Sensor)

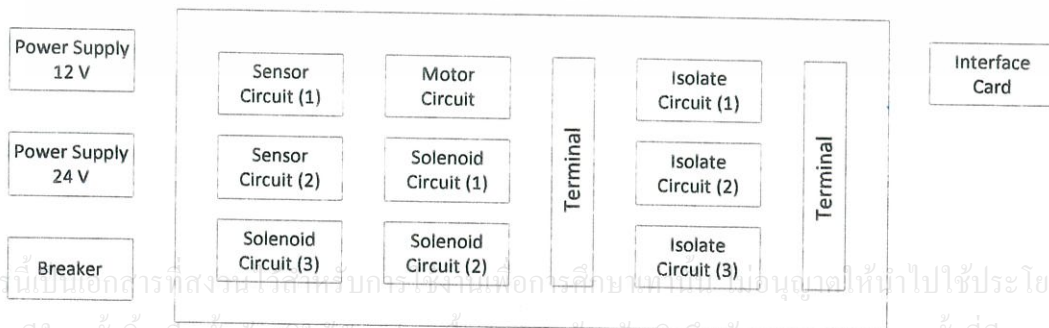


รูปที่ 3.19 วงจรที่ใช้งานจริงสำหรับตรวจจับวัตถุ (Photoelectric Sensor)

### 3.2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อส่วนต่างๆ

#### 3.2.3.1 รูปแบบการจัดวางในส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์

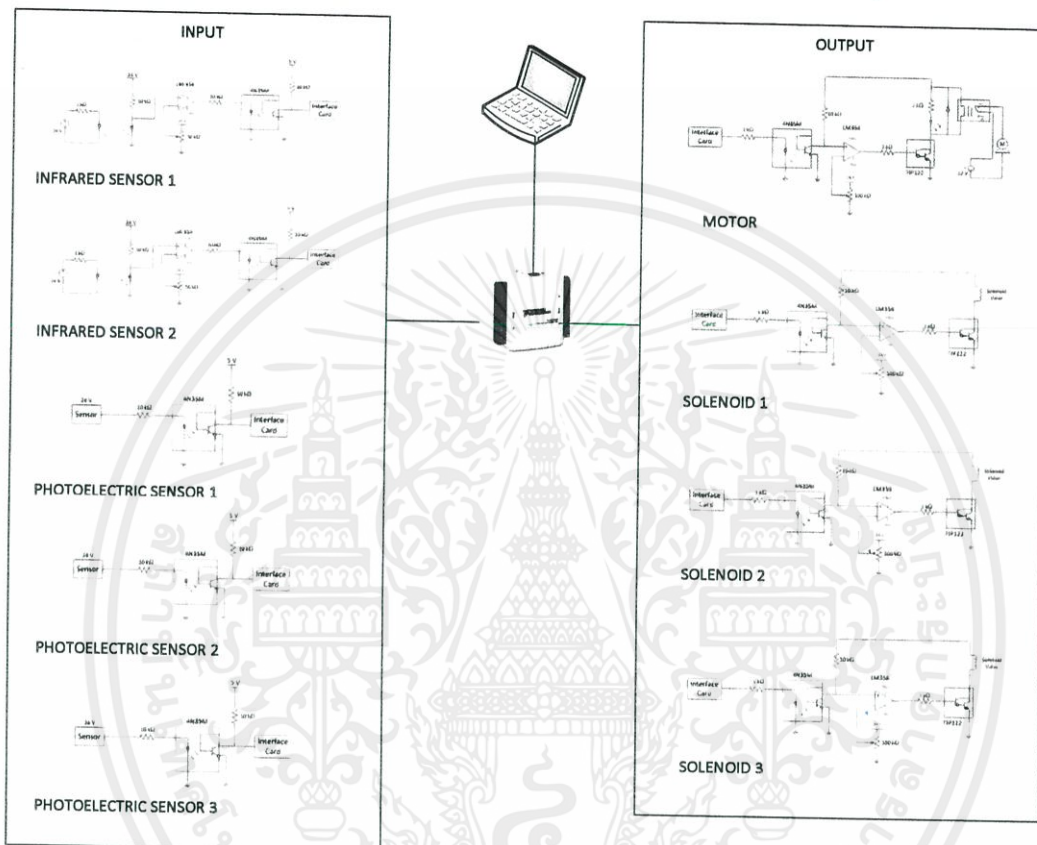
หัวข้อนี้จะเป็นการแสดงถึงการจัดวางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เบรกเกอร์ และแหล่งจ่ายไฟฟ้า ในส่วนของฮาร์ดแวร์ ก่อนจะเชื่อมโยงไปถึงส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 รูปแบบการจัดวางในส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์

### 3.2.3.2 การเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับการ์ดอินเตอร์เฟส

การเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับการ์ดอินเตอร์เฟสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.21 โดยวงจรสำหรับตรวจจับวัตถุ (Infrared Sensor) และวงจรสำหรับตรวจจับวัตถุ (Photoelectric Sensor) จะเชื่อมต่อเป็นอินพุตเข้ากับการ์ดอินเตอร์เฟส ส่วนวงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์และวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว จะเชื่อมต่อเป็นเอาต์พุตออกจากการ์ดอินเตอร์เฟส

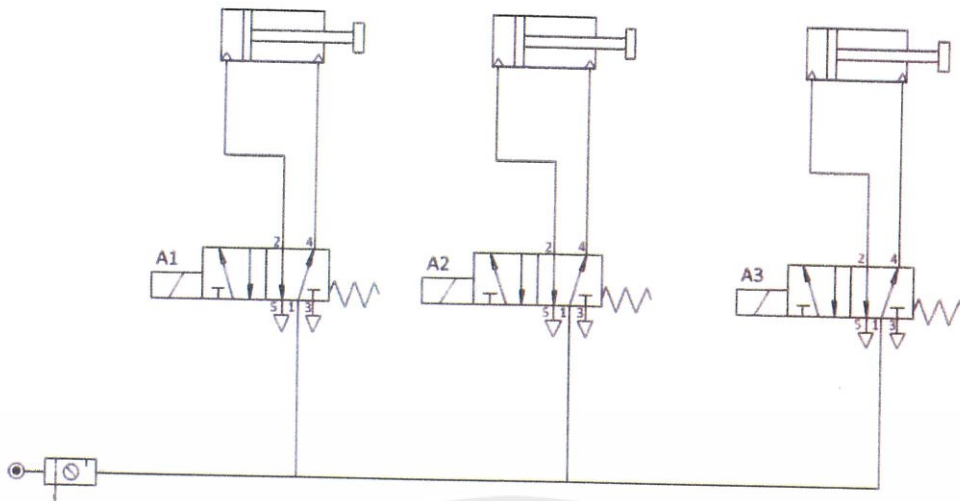


รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับการ์ดอินเตอร์เฟส

### 3.2.3.3 การทำงานของระบบนิวแมติกส์

การออกแบบวงจรไฟฟ้าของโซลินอยด์วาล์วจะต่อกับการ์ดอินเตอร์เฟส ซึ่งการ์ดอินเตอร์เฟสจะส่งสัญญาณเพื่อควบคุมการผลักดันของกระบอกสูบ โดยการทำงานเมื่อมีการส่งสัญญาณกระตุ้นขดลวดโซลินอยด์วาล์ว กระบอกสูบจะส่งแรงลมจากตำแหน่ง 1 ไปยังตำแหน่ง 2 ทำให้กระบอกสูบผลักออกไป แล้วเมื่อไม่มีสัญญาณมากระตุ้นกระบอกสูบจะจ่ายลมจากตำแหน่ง 1 ไปยังตำแหน่ง 4 ทำให้กระบอกสูบกลับไปตำแหน่งเดิม ดังแสดงในรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 วงจรควบคุมระบบนิวแมติกส์

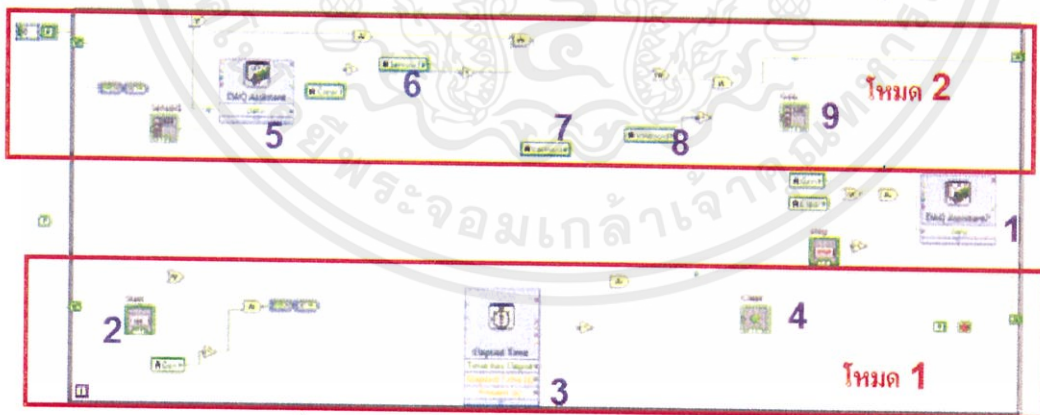
### 3.3 ส่วนของโปรแกรม

#### 3.3.1 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมและประมวลผลภาพ

ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมและประมวลผลภาพซึ่งจะแบ่งแสดงรายละเอียดแยกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

##### 3.3.1.1 การควบคุมการทำงานของระบบ

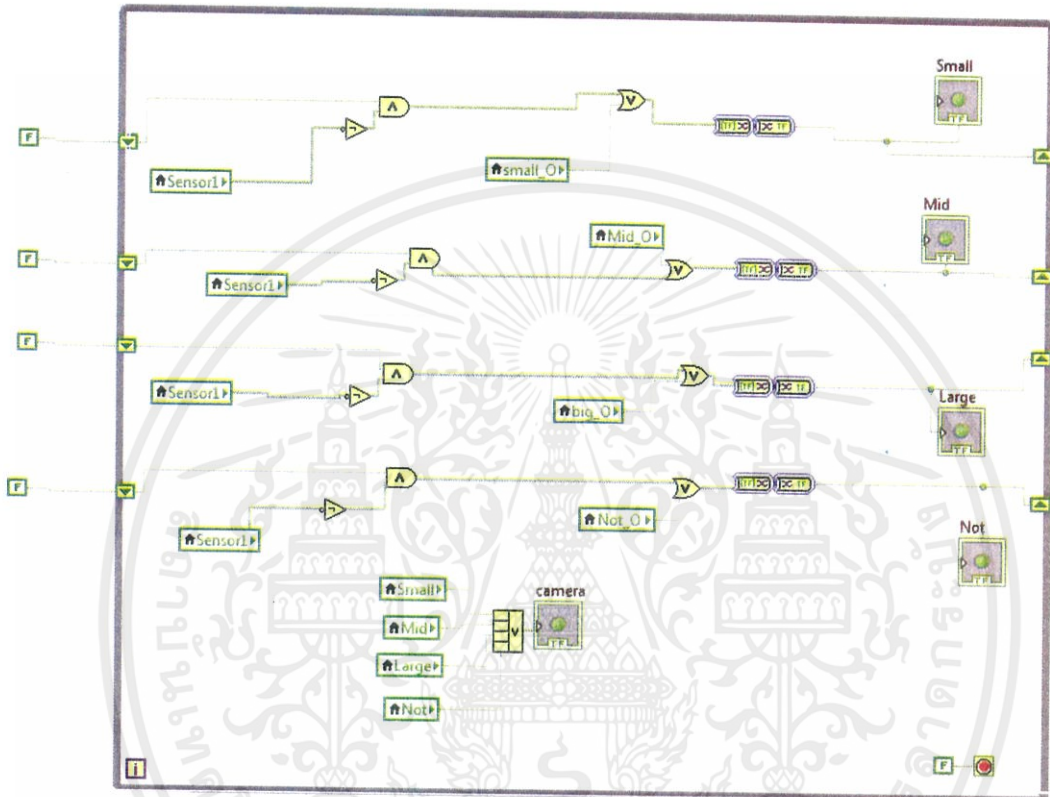
เป็นการควบคุมระบบทั้งหมดให้สามารถทำงานได้อย่างสอดคล้องกันและถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งประกอบด้วย การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่มีการแบ่งออกเป็น 2 โหมดคือ 1. เมื่อกดสวิตช์แล้วจะเป็นการเคลียร์วัตถุที่อยู่บนสายพานก่อน 2. ถ้าไม่กดสวิตช์จะเป็นการทำงานตามระบบคัตแยกที่ผู้จัดทำกำหนด และการควบคุมการทำงานของกระบอกสูบรวมทั้งควบคุมเงื่อนไขในการจับภาพของกล้อง โดยการทำงานของโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 โปรแกรมส่วนควบคุมการทำงานของมอเตอร์

จากรูปที่ 3.23 เป็นการแสดงการควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยที่ บล็อกหมายเลข 1 ในรูปเป็นส่วนเอาต์พุตที่ไปควบคุมมอเตอร์ จากรูปจะมีการแยกโหมดการทำงานของมอเตอร์ โดยเอาต์พุตของแต่ละโหมดคือหมายเลข 4 และหมายเลข 9 จากนั้นจึงนำเอาต์พุตนั้นไปใช้

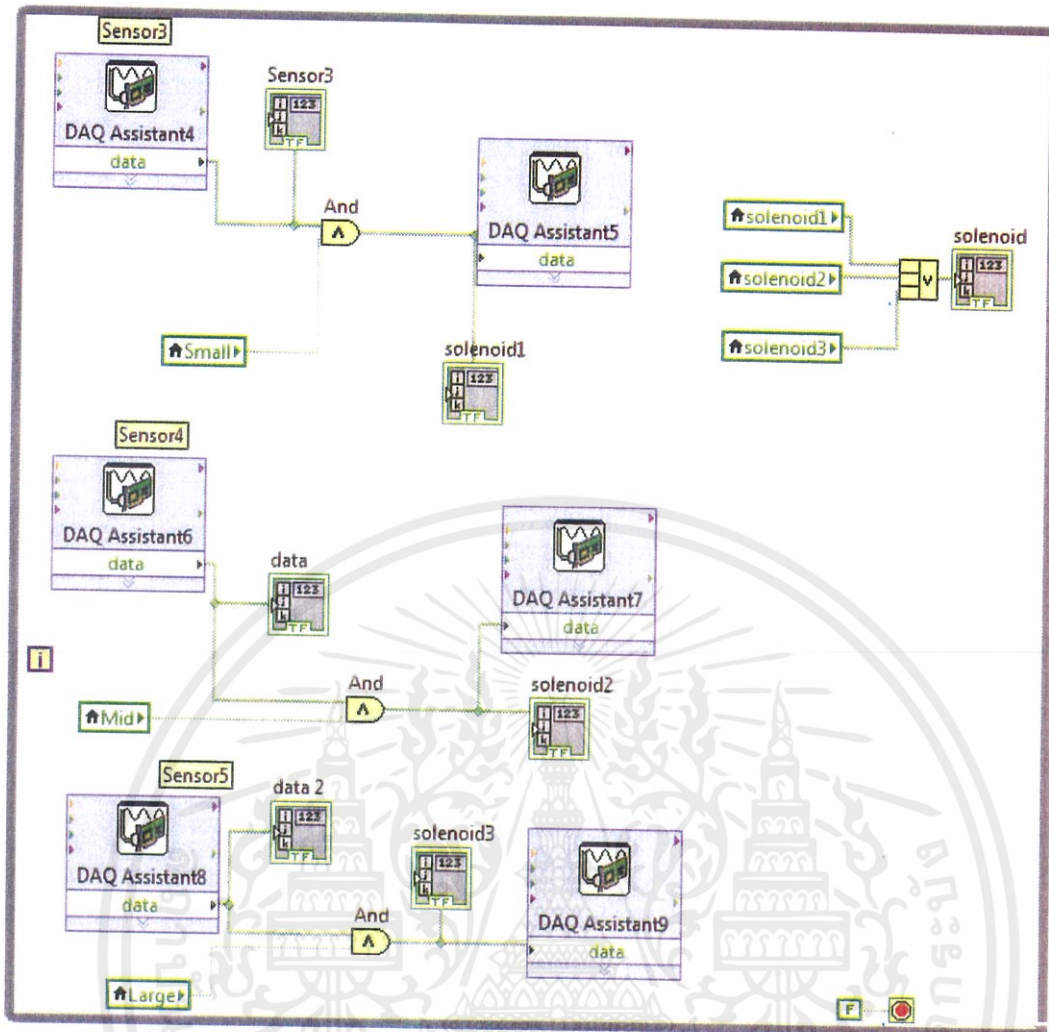
มา OR กัน โดยการทำงานในโหมดที่ 1 จะต้องกดสวิทช์ที่หมายเลข 2 เพื่อให้มอเตอร์ทำงาน เมื่อมอเตอร์ทำงานครบรอบซึ่งเป็นการเคลียร์ของที่อยู่บนสายพานจะมี Timer ที่หมายเลข 3 เป็นตัวตัดการทำงานของมอเตอร์ ในส่วนของโหมดที่ 2 บล็อกหมายเลข 5 เป็นอินพุตที่รับค่ามาจากเซนเซอร์ 1 เพื่อไปสั่งให้มอเตอร์ทำงาน แต่ตัวแปรหมายเลข 6 เป็นค่าของเซนเซอร์ 2 ที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงานเพื่อจับภาพ ส่วนตัวแปรหมายเลข 7 เป็นผลของการประมวลผลภาพที่จะไปสั่งให้มอเตอร์ทำงานอีกครั้ง และตัวแปรหมายเลข 8 สั่งให้มอเตอร์หยุดทำงานเพื่อคัดแยกวัตถุ



รูปที่ 3.24 โปรแกรมส่วนการสร้างตัวแปร

จากรูปที่ 3.24 แสดงการสร้างตัวแปรที่ต้องการนำไปใช้โดยสร้างมาจากเงื่อนไขต่างๆ ที่เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตภายในโปรแกรมที่ใช้ เพื่อให้ได้ตัวแปรที่มีเงื่อนไขในการทำงานตรงกับที่ต้องการนำไปใช้ จากรูป **Sensor1** สัญลักษณ์นี้หมายถึงค่าตัวแปรที่เป็นชนิดบูลีน ส่วน **camera** สัญลักษณ์นี้หมายถึง Shift Register เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ในการเก็บค่าของตัวแปรโดยเก็บจากทางซ้ายมือแล้วส่งค่าไปทางขวามือเพื่อที่จะให้โปรแกรมนำค่านั้นไปสร้างเงื่อนไขในการทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

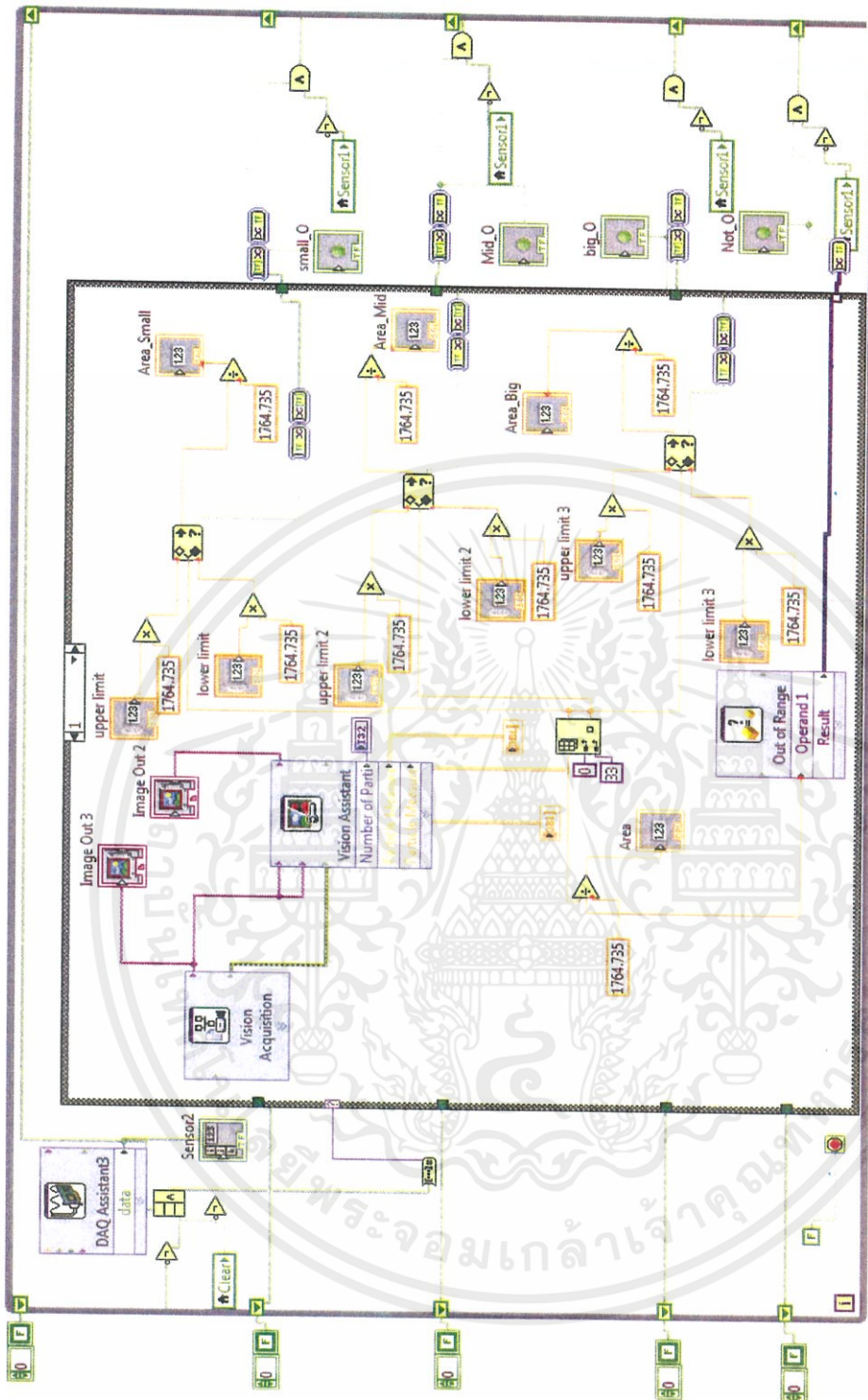


รูปที่ 3.25 โปรแกรมส่วนควบคุมการทำงานกระบอกสูบ

จากรูปที่ 3.25 เป็นการควบคุมการทำงานของกระบอกสูบ โดย DAQ Assistant 5, 7 และ 9 ในรูปเป็นส่วนเอาต์พุตที่ใช้ในการควบคุมกระบอกสูบตัวที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีเงื่อนไขขึ้นอยู่กับผลของการประมวลผลภาพและการตรวจจับของเซนเซอร์ โดยที่ DAQ Assistant 4, 6 และ 8 เป็นส่วนอินพุตที่รับค่ามาจากเซนเซอร์ตัวที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

### 3.3.1.2 การประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



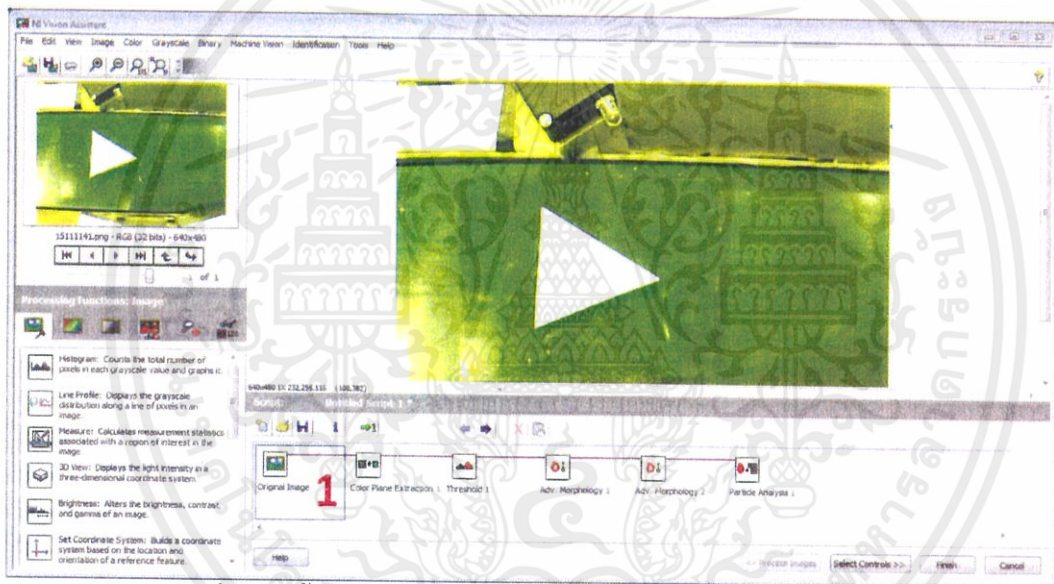
รูปที่ 3.26 โปรแกรมส่วนควบคุมการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.26 บล็อก DAQ Assistant 3 เป็นส่วนอินพุตที่รับค่ามาจากเซนเซอร์ 2 เพื่อเป็นเงื่อนไขในการกำหนดให้กล้องจับภาพ ส่วนบล็อก Vision Acquisition ทำหน้าที่รับภาพมาจากกล้องและสามารถเข้าไปกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวกับภาพที่ต้องการได้ บล็อก Vision Assistant จะทำหน้าที่นำภาพที่ได้จากบล็อก Vision Acquisition มาคำนวณและประมวลผลภาพออกมา โดยจะมีขั้นตอนในการประมวลผลภาพ 6 ขั้นตอน คือ

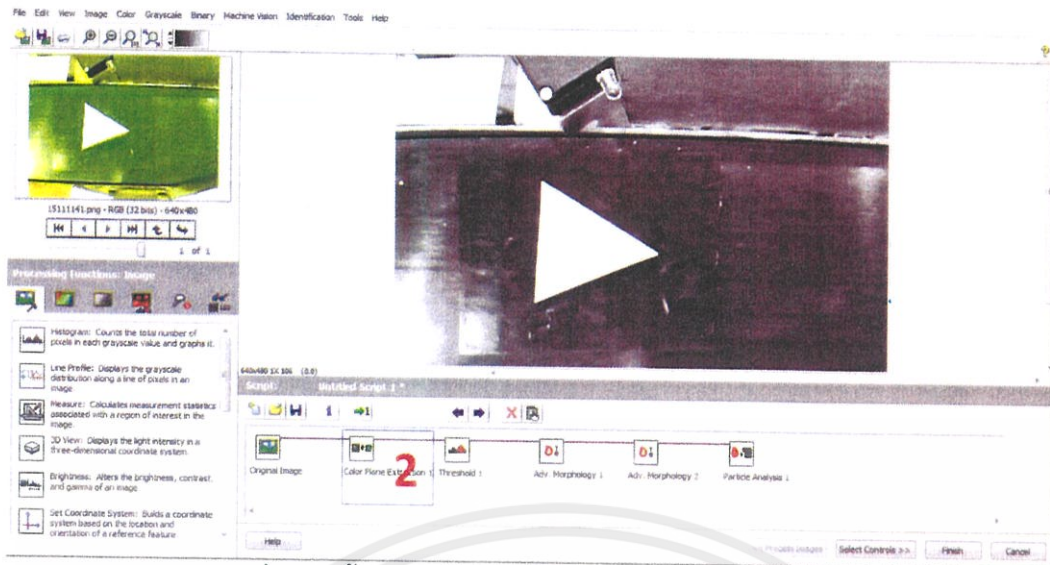
1. รับภาพต้นแบบมาจากกล้อง
2. นำภาพที่ได้จากข้อ 1. แปลงเป็นภาพเกรสเกล
3. นำภาพที่ได้จากข้อ 2. มาทำ Thresholding
4. นำภาพที่ได้จากข้อ 3. มาลบขอบภาพที่ไม่ต้องการออก
5. นำภาพที่ได้จากข้อ 4. มาลบส่วนต่างๆที่ไม่ต้องการออก
6. นำภาพที่ได้จากข้อ 5. มาคำนวณหาพื้นที่

ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.27 – 3.32 จากนั้นจะมีการนำผลที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับช่วงที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ในแต่ละขนาด และแสดงผลของการเปรียบเทียบออกมา

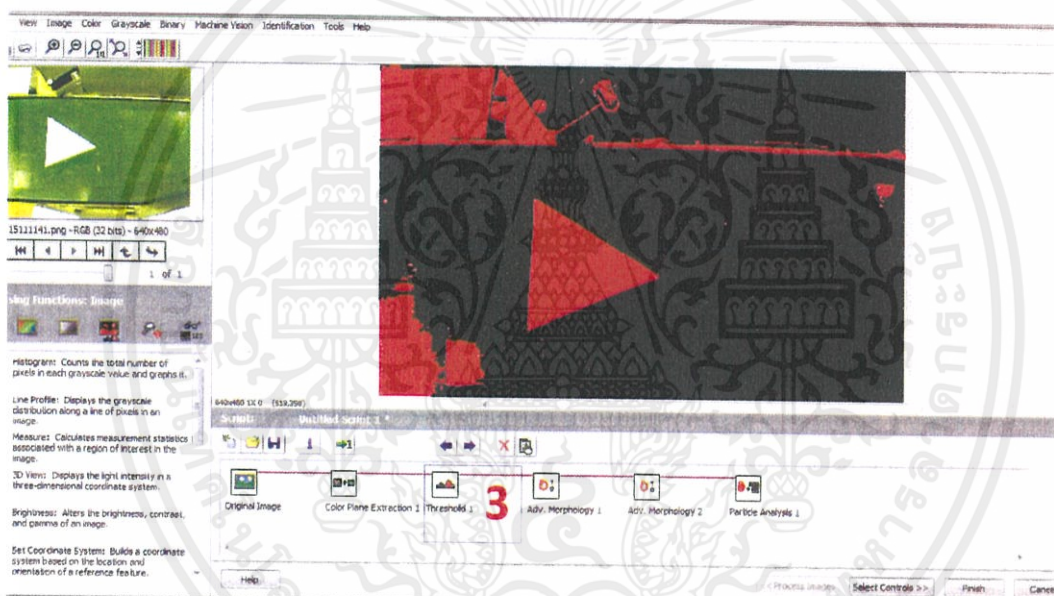


รูปที่ 3.27 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

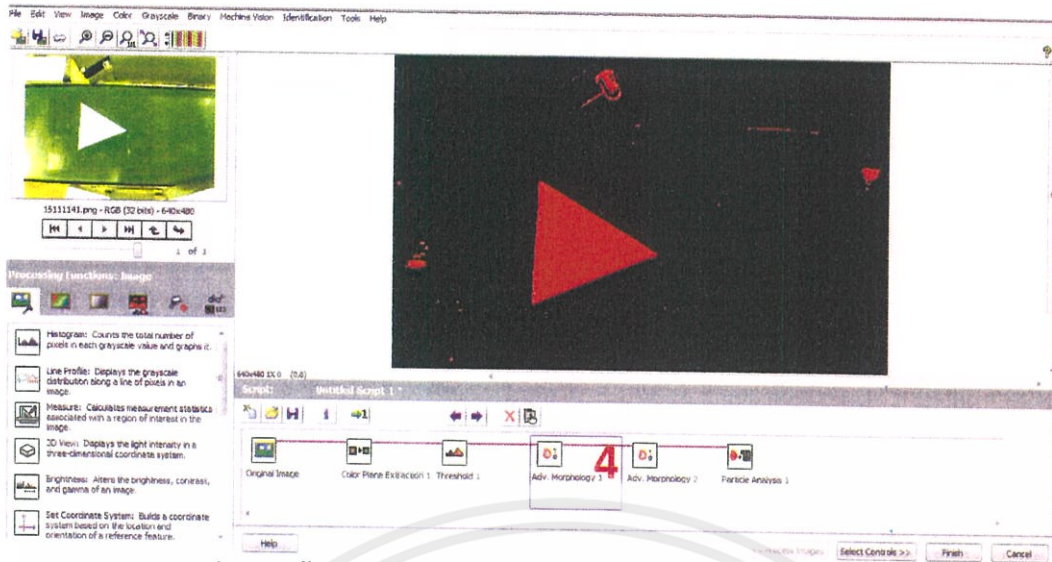


รูปที่ 3.28 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 2

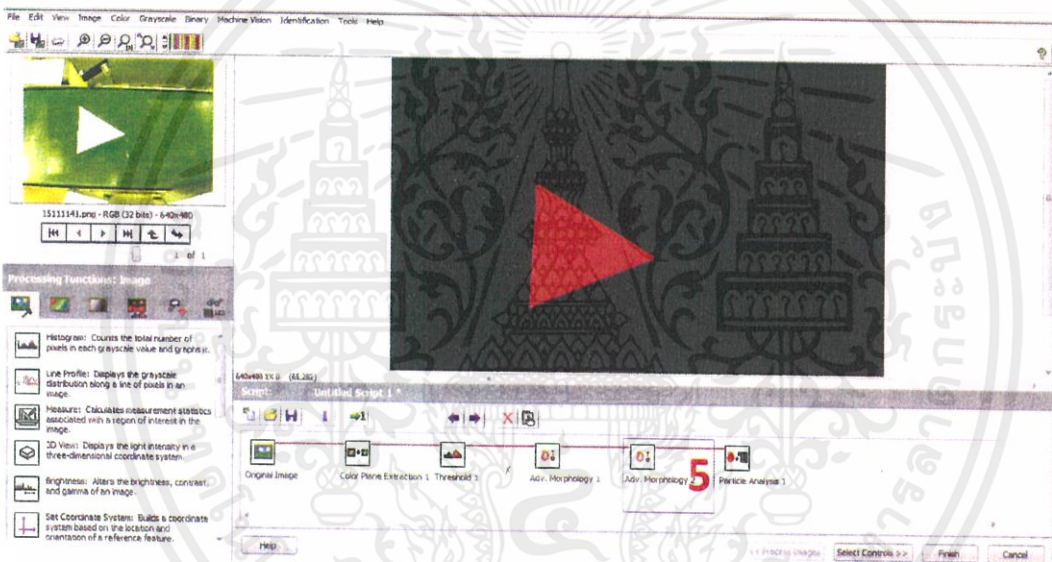


รูปที่ 3.29 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

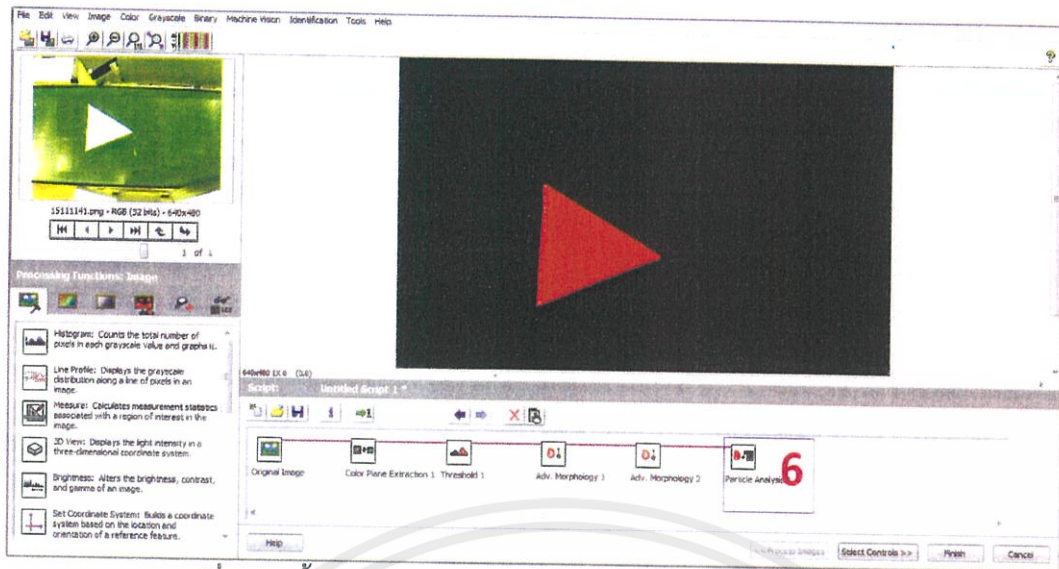


รูปที่ 3.30 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 4



รูปที่ 3.31 ขั้นตอนการประมวลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

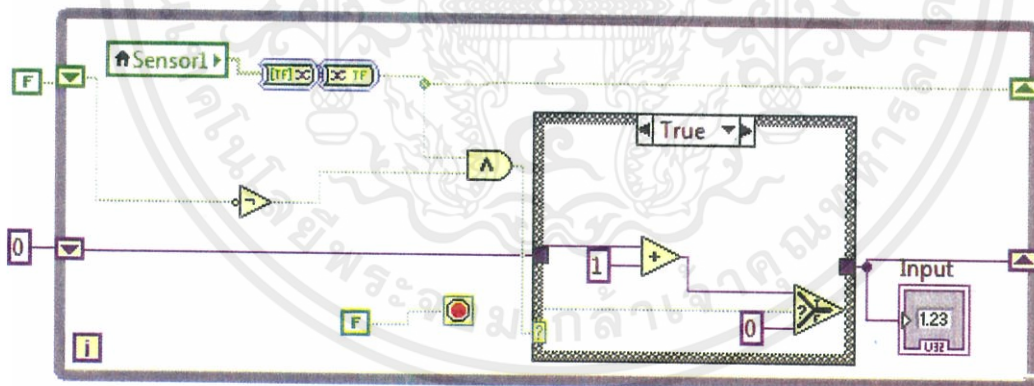


รูปที่ 3.32 ขั้นตอนการประมวลผลผลใน Vision Assistant ขั้นตอนที่ 6

จากรูปที่ 3.32 เป็นการประมวลผลภาพในขั้นตอนที่ 6 ซึ่งเป็นการนำภาพที่ถูกตัดสิ่งรบกวนเรียบร้อยแล้วจากขั้นตอนที่ 5 มาหาขนาดพิกเซล จากนั้นจึงนำมาคำนวณเป็นพื้นที่ในหน่วยตารางเซนติเมตร

### 3.3.1.3 การนับจำนวนวัตถุ

ในส่วนนี้แสดงการเขียนโปรแกรมในส่วนของ การนับจำนวนวัตถุที่เข้ามา และการนับจำนวนวัตถุที่คัดแยกได้ในขนาดต่างๆ



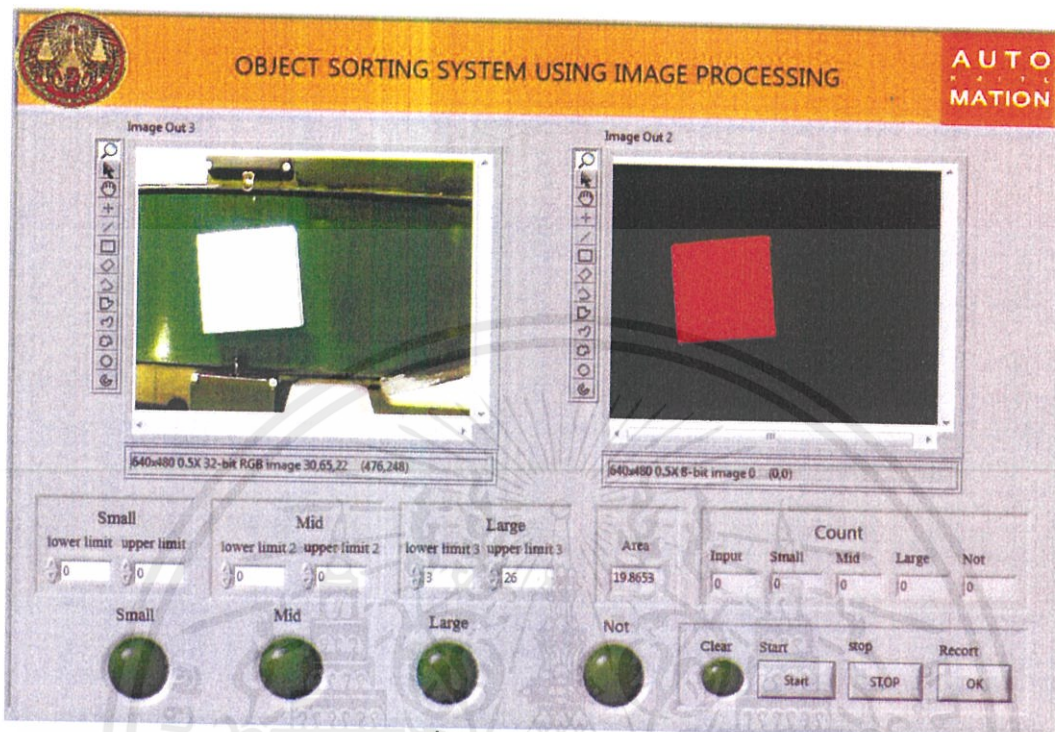
รูปที่ 3.33 โปรแกรมตัวอย่างส่วนที่ใช้ับจำนวนวัตถุ

จากรูปที่ 3.33 เป็นการแสดงโปรแกรมตัวอย่างที่ใช้ับจำนวนวัตถุที่เข้ามาทำการคัดแยก และได้ทำการนับวัตถุที่คัดแยกเสร็จแล้วในแต่ละขนาดด้วย แต่เนื่องจากโปรแกรมมีลักษณะเดียวกันจึงนำมายกตัวอย่างเพียงค่าเดียว โดยในแต่ละค่าจะแตกต่างกันที่อินพุตและเอาต์พุตเท่านั้น ซึ่งจากรูปอินพุตคือตัวแปรที่ชื่อ Sensor1 ส่วนเอาต์พุตคือตัวแสดงผลที่ชื่อ Input โดยที่เมื่อมีอินพุตเข้ามาโปรแกรมจะทำการบวกค่าเข้าไปทีละค่า

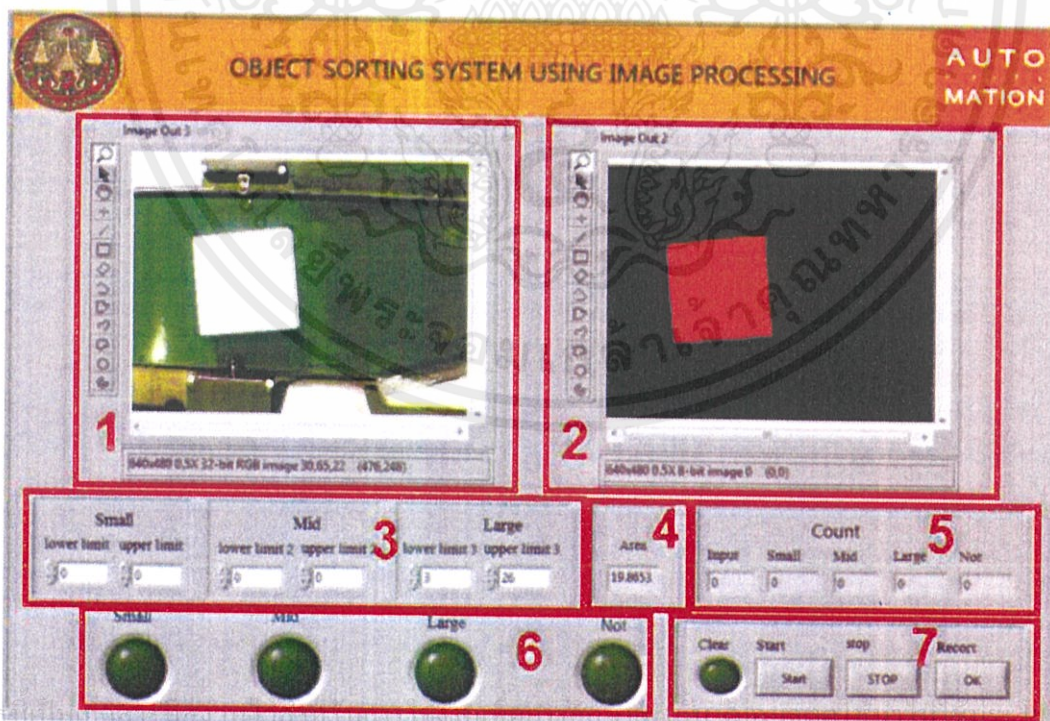
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

### 3.3.2 หน้าจอกราฟิก (HMI)

ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมและประมวลผลภาพ ซึ่งในโปรแกรมจะมีส่วนที่เป็นหน้าจอกราฟิกในการแสดงผลอยู่ด้วย



รูปที่ 3.34 หน้าจอกราฟิก



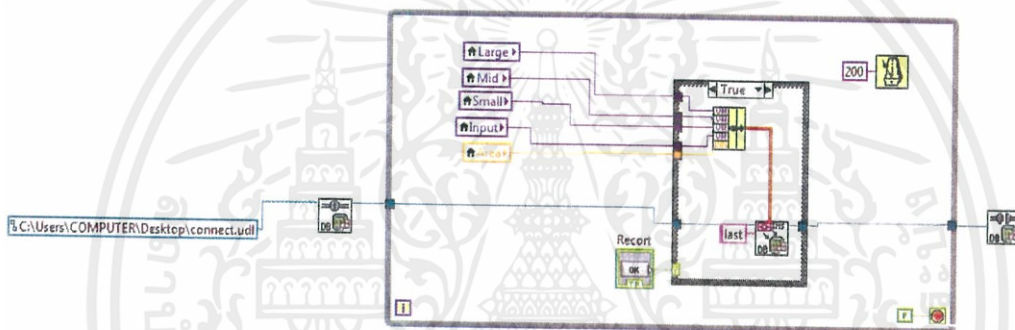
รูปที่ 3.35 หน้าจอกราฟิกแบบแบ่งส่วนต่างๆ

นอกจากนี้ยังมีหน้าจอแสดงข้อมูลการดำเนินงานด้านกราฟิก ซึ่งเป็นการนำภาพที่ผ่านการประมวลผลมาแสดงบนหน้าจอกราฟิก เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถตรวจสอบและควบคุมการทำงานของระบบได้

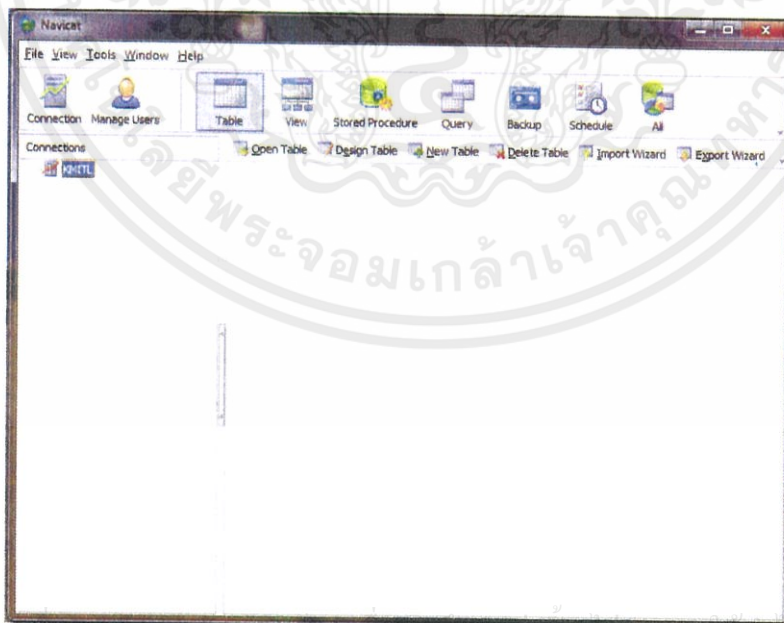
จากรูปที่ 3.35 ส่วนที่ 1 เป็นการแสดงภาพจริง ส่วนที่ 2 เป็นการแสดงภาพที่ผ่านการประมวลผลภาพแล้ว ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานใช้กำหนดขนาดพื้นที่ที่ต้องการ ส่วนที่ 4 เป็นการแสดงขนาดพื้นที่ของวัตถุที่วัดได้ ส่วนที่ 5 เป็นการแสดงจำนวนที่นับได้ของวัตถุที่นำมาคัดแยก ส่วนที่ 6 เป็นหลอดไฟแสดงผลของการคัดแยก และส่วนที่ 7 เป็นการควบคุมการทำงานของสายพานและปั๊มที่ใช้ในการบันทึกค่าเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูล

### 3.3.3 การบันทึกค่าเพื่อเป็นฐานข้อมูล

เป็นการนำค่าของขนาดพื้นที่ที่วัดได้ และผลการนับจำนวนวัตถุที่เข้ามาคัดแยกและจำนวนวัตถุที่คัดแยกเสร็จแล้วในแต่ละขนาดมาเก็บเป็นฐานข้อมูล โดยต้องมีการเขียนโปรแกรมใน LabVIEW เพื่อส่งค่าไปยังโปรแกรมที่ใช้ทำเป็นฐานข้อมูล ซึ่งใช้โปรแกรม Navicat ในการทำฐานข้อมูล โปรแกรมนี้สามารถส่งข้อมูลไปแสดงยังโปรแกรมอื่นได้ เช่น Excel หรือ Notepad เป็นต้น ในการส่งข้อมูลนี้ต้องมีการสร้างไฟล์ Text ขึ้นมาแล้วเปลี่ยนสกุลเป็น .udl เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อโปรแกรม LabVIEW กับโปรแกรม Navicat



รูปที่ 3.36 โปรแกรมในส่วนการเก็บฐานข้อมูล



รูปที่ 3.37 หน้าโปรแกรม Navicat ที่ใช้ในการเก็บฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.37 เป็นหน้าโปรแกรม Navicat ที่ใช้ทำฐานข้อมูลโดยการรับข้อมูลนั้น ต้องเริ่มจากการสร้าง New Database จากนั้นก็สร้าง New Table ขึ้นมา กำหนดหัวตารางให้ตรงกับค่าที่ต้องการบันทึกและจำนวนช่องต้องเท่ากับจำนวนข้อมูลที่ต้องการบันทึก และเมื่อต้องการให้มีการแสดงข้อมูลในไฟล์อื่นให้ทำการกด Export แล้วเลือกชนิดของโปรแกรมที่ต้องการแสดงได้เลย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะมีการทดลองตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

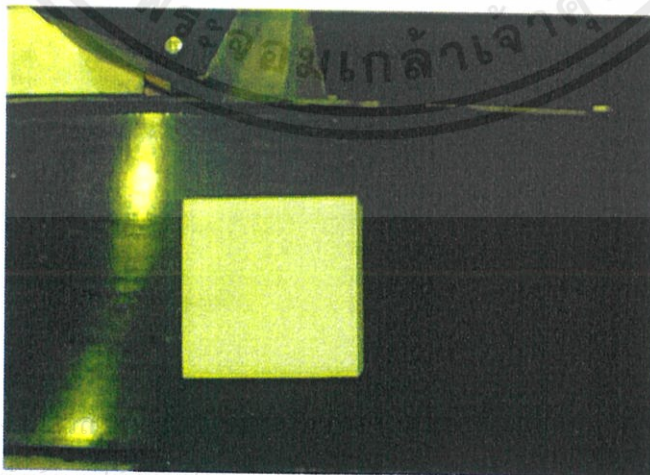
1. การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม
  - แบบกำหนดความหนา
  - แบบไม่กำหนดความหนา
2. การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยม
  - แบบกำหนดความหนา
  - แบบไม่กำหนดความหนา
3. การทดลองการตัดแยกขนาดวัตถุ
  - แบบกำหนดขนาดพื้นที่เป็นช่วง
  - แบบกำหนดขนาดพื้นที่คงที่
4. การทดลองความถูกต้องของการตัดแยกขนาดวัตถุจากขอบของช่วงที่กำหนด
5. การทดลองหาอัตราความเร็วในการตัดแยกขนาดวัตถุ
6. การทดลองเพื่อหาความเร็วของสายพาน

#### 4.2 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม

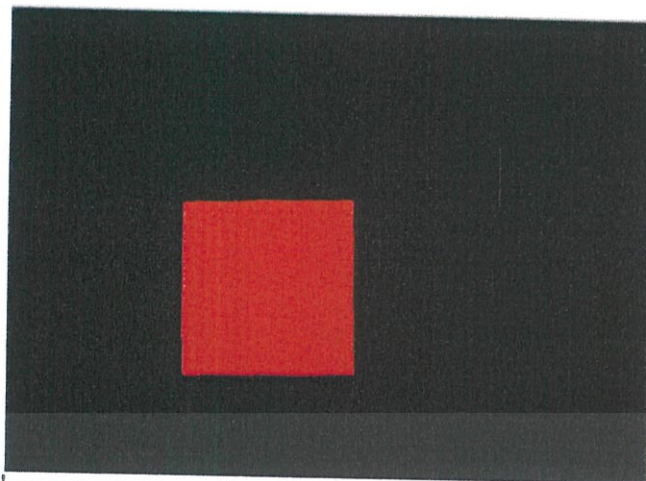
โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ความหนาของวัตถุที่อ้างอิงคือ 1.5 เซนติเมตร

##### 4.2.1 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนดความหนา

วิธีการทดลองคือทำการกำหนดความหนาให้คงที่ แต่เปลี่ยนขนาดของพื้นที่หน้าตัดของสี่เหลี่ยมให้ต่างกัน



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างภาพจริงของรูปทรงสี่เหลี่ยมความหนา 1.5 เซนติเมตรที่ถ่ายได้จากกล้อง



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพหลังจากผ่านการประมวลผลของรูปทรงสี่เหลี่ยม

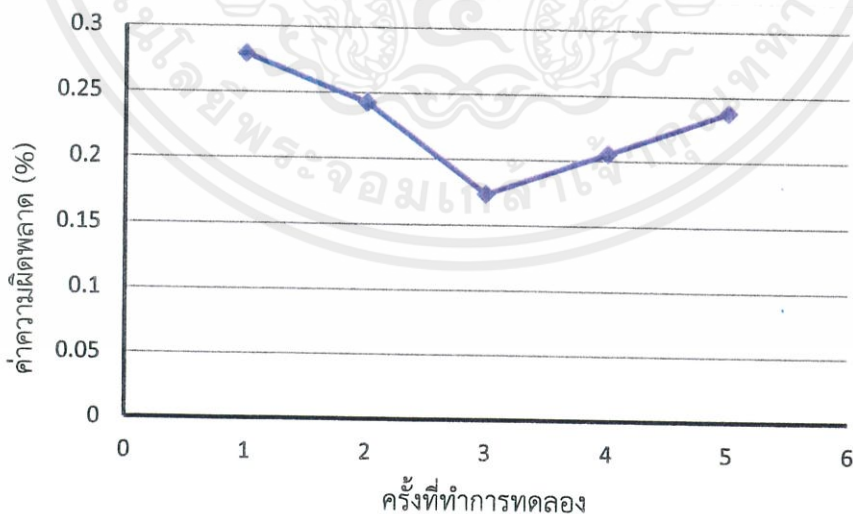
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม  
แบบกำหนดความหนา

พื้นที่จริง (ตาราง เซนติเมตร)	ความหนา (เซนติเมตร)	ครั้งที่	จำนวน พิกเซล	พื้นที่ที่ได้ (ตาราง เซนติเมตร)	ค่าความ ผิดพลาด (%)
4.4	1.5	1	7774	4.4052	- 0.1182
		2	7778	4.4075	- 0.1705
		3	7769	4.4024	- 0.0545
		4	7777	4.4069	- 0.1568
		5	7754	4.3939	0.1386
ค่าเฉลี่ย			7770	4.4032	0.07
6.5025	1.5	1	11711	6.6361	- 2.0546
		2	11698	6.6288	- 1.9423
		3	11711	6.6361	- 2.0546
		4	11712	6.6367	- 2.0638
		5	11714	6.6378	- 2.0807
ค่าเฉลี่ย			11709.2	6.6351	- 2.03
9.18	1.5	1	16533	9.3685	- 2.0534
		2	16535	9.3697	- 2.0664
		3	16537	9.3708	- 2.0784
		4	16536	9.3702	- 2.0719
		5	16524	9.3634	- 1.9978
ค่าเฉลี่ย			16533	9.3685	- 2.04

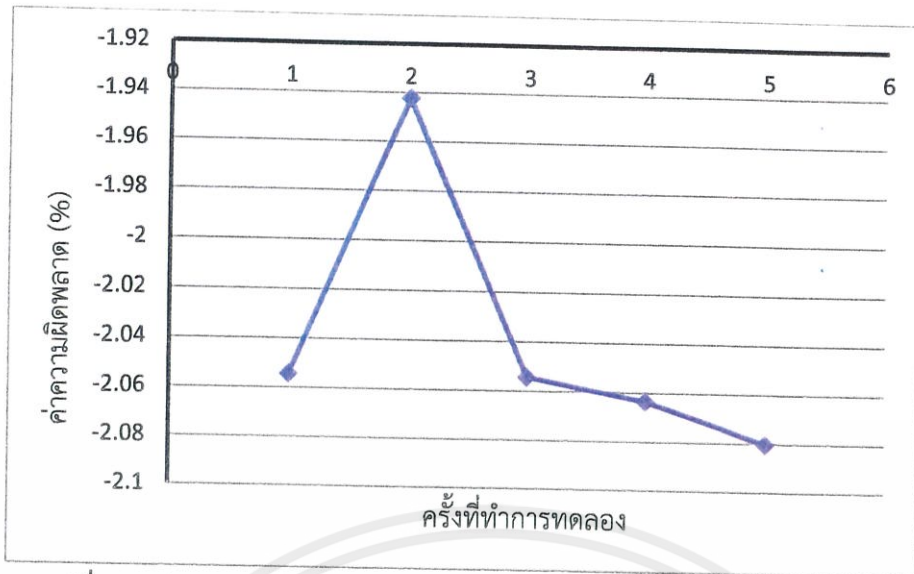
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม  
แบบกำหนดความหนา (ต่อ)

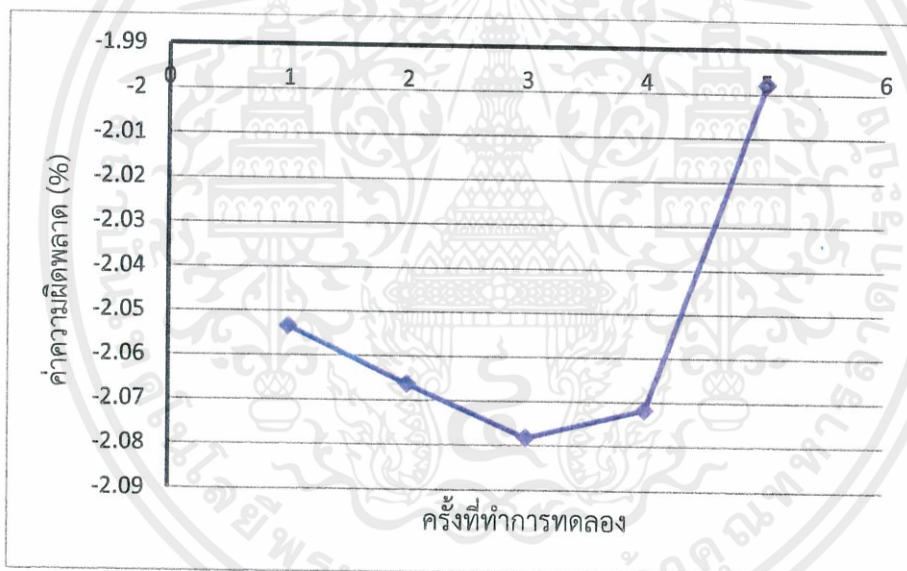
พื้นที่จริง (ตาราง เซนติเมตร)	ความหนา (เซนติเมตร)	ครั้งที่	จำนวน พิกเซล	พื้นที่ที่ได้ (ตาราง เซนติเมตร)	ค่าความ ผิดพลาด (%)
12.39	1.5	1	21804	12.3554	0.2793
		2	21812	12.3599	0.2429
		3	21827	12.3684	0.1743
		4	21820	12.3645	0.2058
		5	21813	12.3605	0.2381
ค่าเฉลี่ย			21815.2	12.3617	0.22
16.4025	1.5	1	28686	16.2551	0.8986
		2	28673	16.2478	0.9431
		3	28684	16.2540	0.9053
		4	28685	16.2546	0.9017
		5	28687	16.2557	0.8950
ค่าเฉลี่ย			28683	16.2534	0.91
20.29	1.5	1	35887	20.3356	- 0.2247
		2	35923	20.3560	- 0.3253
		3	35945	20.3685	- 0.3869
		4	35959	20.3764	- 0.4258
		5	35925	20.3572	- 0.3312
ค่าเฉลี่ย			35927.8	20.35	- 0.29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถใช้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.3 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังสื่อสังคมออนไลน์หรือการทักครั้งที่มีการนำไปใช้  
แบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 4.4 ตารางเซนติเมตร

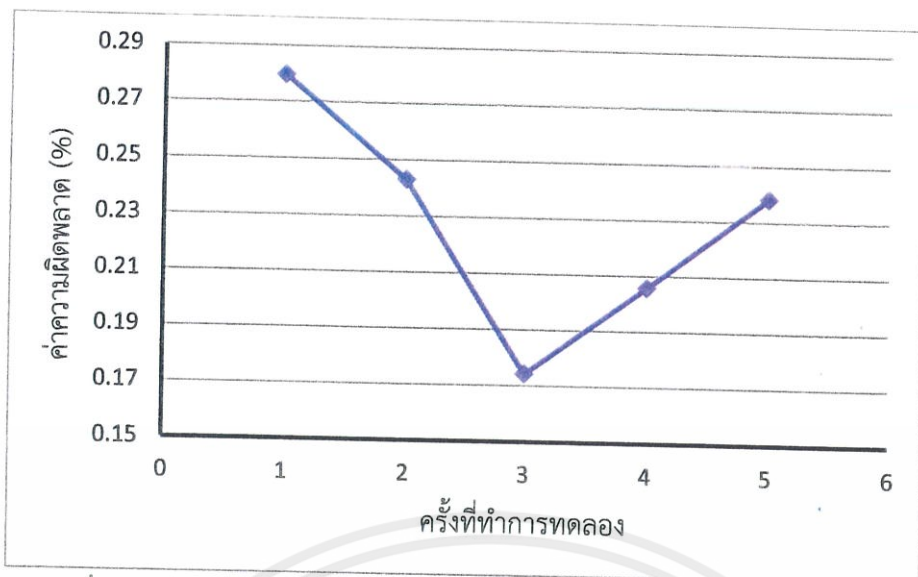


รูปที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม  
แบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 6.5025 ตารางเซนติเมตร

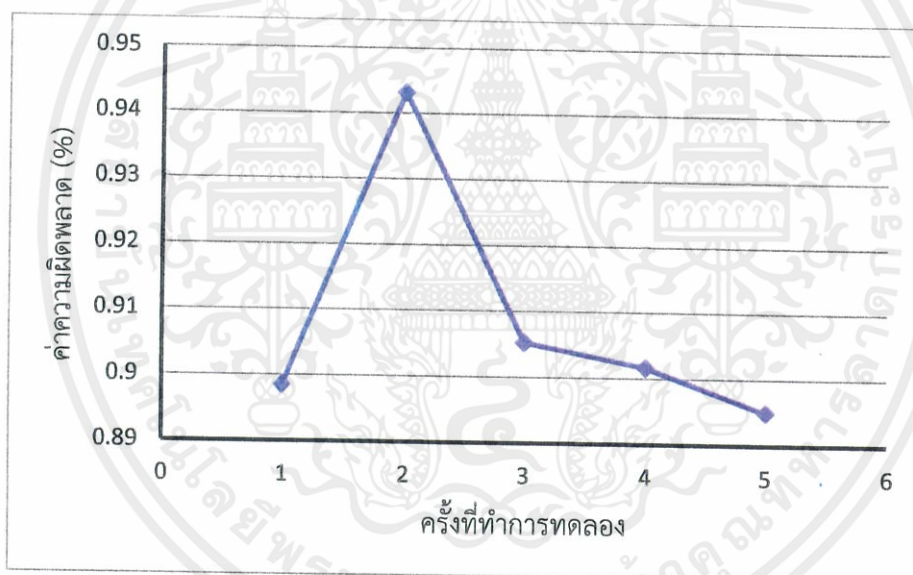


รูปที่ 4.5 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม  
แบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 9.18 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

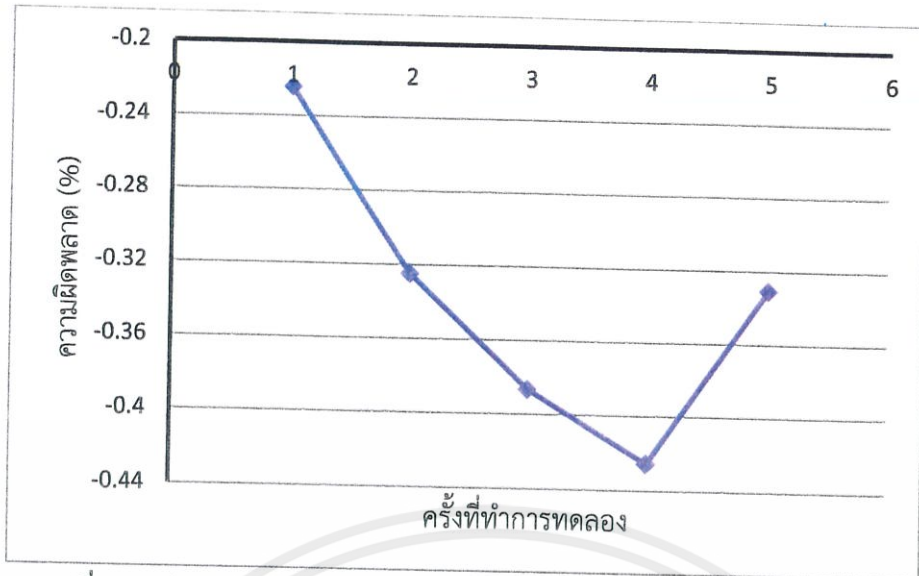


รูปที่ 4.6 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 12.39 ตารางเซนติเมตร

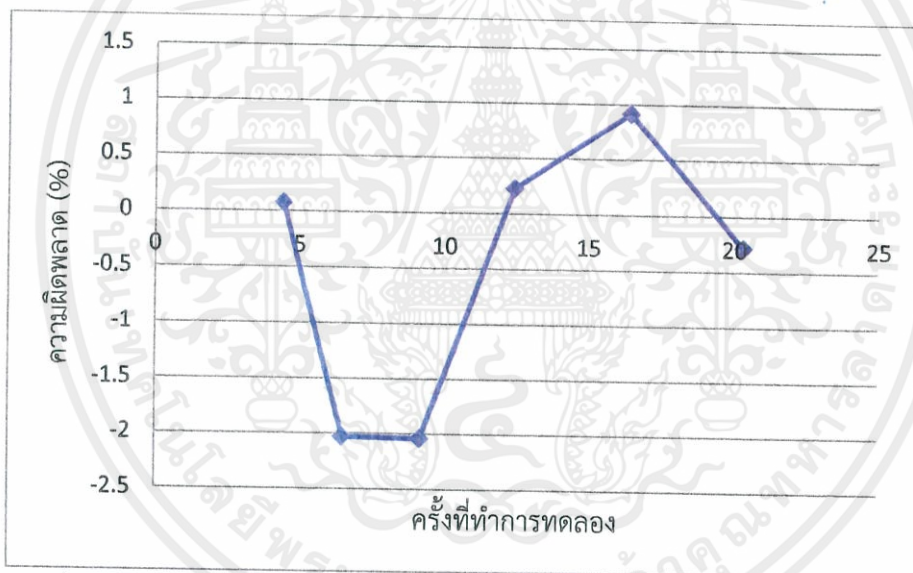


รูปที่ 4.7 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 16.4025 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 20.29 ตารางเซนติเมตร

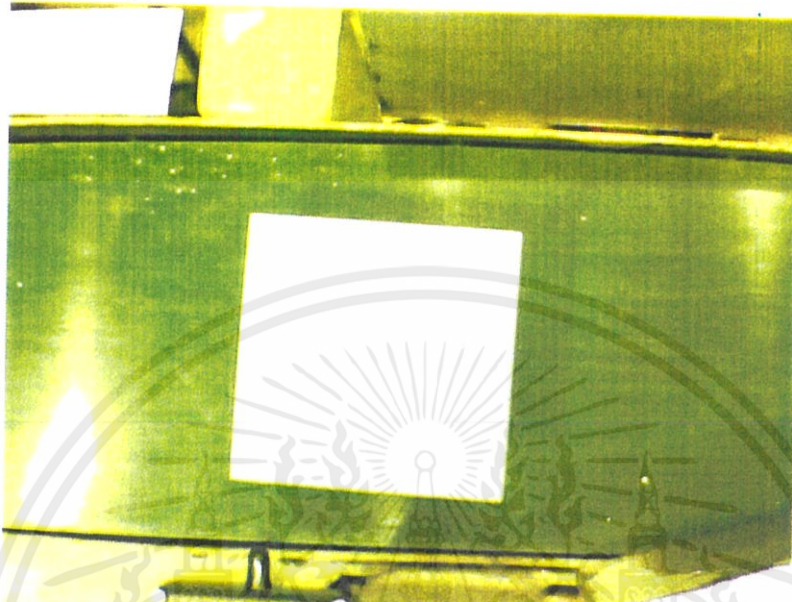


รูปที่ 4.9 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบกำหนดความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบไม่กำหนดความหนา

วิธีการทดลองคือทำการกำหนดพื้นที่หน้าตัดของสี่เหลี่ยมให้คงที่ แต่เปลี่ยนขนาดของความหนาให้แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0 - 30 มิลลิเมตร โดยใช้แผ่นอะคริลิกขนาด 3 มิลลิเมตร ซ้อนกัน เพื่อเป็นการเพิ่มความหนา



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างภาพจริงของรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ถ่ายได้จากกล้อง

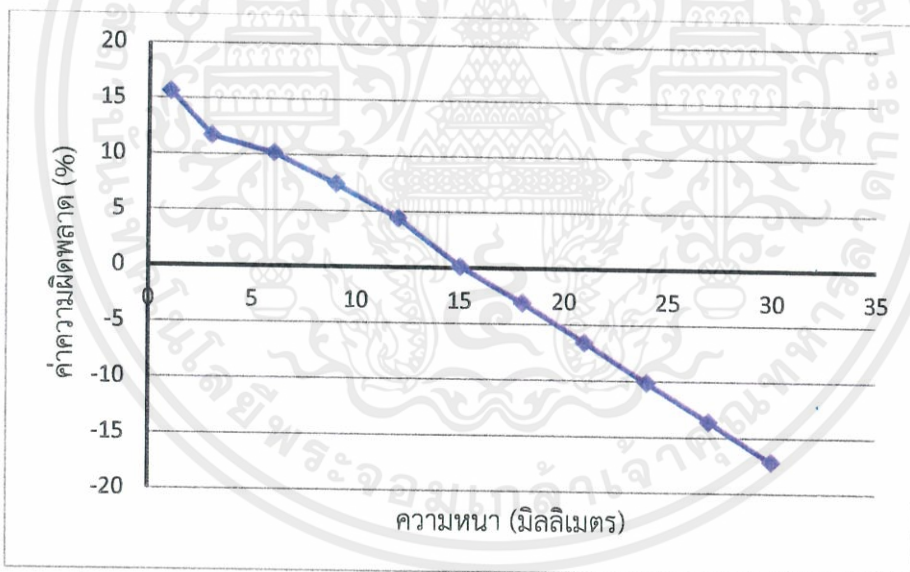


รูปที่ 4.11 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการประมวลผลของรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบไม่กำหนดความหนา

พื้นที่จริง (ตาราง เซนติเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)	จำนวน พิกเซล	พื้นที่ที่ได้ (ตาราง เซนติเมตร)	ค่าความ ผิดพลาด (%)
23.37	1	34805	19.722	15.6098
	3	36430	20.6433	11.6675
	6	37052	20.9958	10.1592
	9	38160	21.6236	7.4728
	12	39425	22.3405	4.4052
	15	41190	23.3406	0.1258
	18	42528	24.0988	- 3.1185
	21	43962	24.9114	- 6.5956
	24	45424	25.7398	- 10.1404
	27	46850	26.5479	- 13.5982
	30	48333	27.3882	- 17.1938



รูปที่ 4.12 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมแบบไม่กำหนดความหนา

จากผลการทดลองทั้งสองตารางพบว่า การวัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของวัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ต่างกันแต่มีความหนาเท่ากันพบว่า ค่าความผิดพลาดไม่เป็นเชิงเส้นแต่มีช่วงความผิดพลาดไม่กว้างมากนัก แต่ในส่วนของรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากันแต่ความหนาต่างกันค่าความผิดพลาดจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นโดยที่ค่าความผิดพลาดในความหนาที่ใช้เป็นค่าอ้างอิงในการทดลองจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุดและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะมีช่วงค่อนข้างกว้าง จะเห็นได้ว่ายังมีความหนามากขึ้นค่าพื้นที่ที่วัดได้ยังมีขนาดใหญ่ขึ้น ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมาจากหลายสาเหตุ

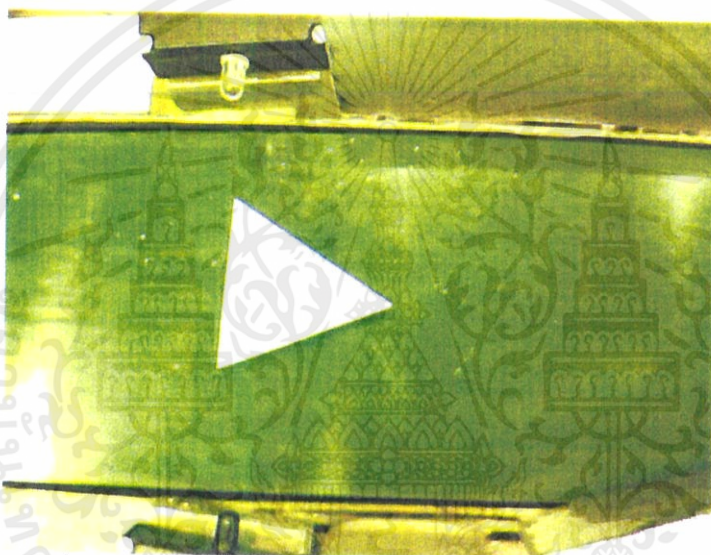
ได้แก่ วัตถุที่นำมาทดลองถูกจัดทำขึ้นด้วยมือจึงทำให้มีขนาดที่ไม่ถูกต้อง สาเหตุมาจากประสิทธิภาพในการจับภาพของกล้องและแสงรบกวนจากภายนอก

#### 4.3 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยม

โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ความหนาของวัตถุที่ค่าอ้างอิงคือ 1.5 เซนติเมตร

##### 4.3.1 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา

วิธีการทดลองคือทำการกำหนดความหนาให้คงที่ แต่เปลี่ยนขนาดของพื้นที่ของสามเหลี่ยมให้ต่างกัน



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างภาพจริงของรูปสามเหลี่ยมที่ถ่ายได้จากกล้อง



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการประมวลผลของรูปสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก

นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยม  
แบบกำหนดความหนา

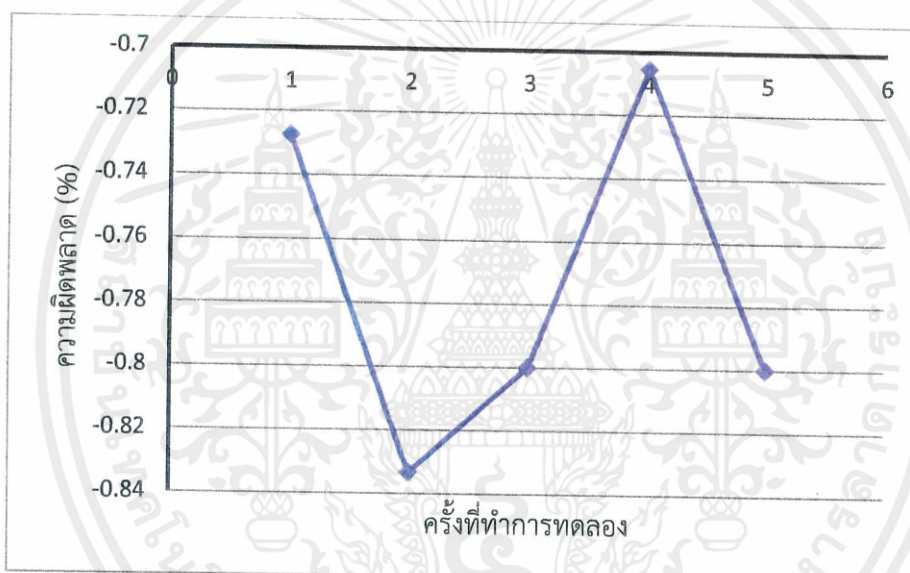
พื้นที่จริง (ตาราง เซนติเมตร)	ความหนา (เซนติเมตร)	ครั้งที่	จำนวน พิกเซล	พื้นที่ที่ได้ (ตาราง เซนติเมตร)	ค่าความ ผิดพลาด (%)
1.81	1.5	1	3182	1.8031	- 0.7278
		2	3203	1.8150	- 0.8333
		3	3202	1.8144	- 0.8000
		4	3199	1.8127	- 0.7056
		5	3202	1.8144	- 0.8000
ค่าเฉลี่ย			3197.6	1.8119	- 0.6611
3.65	1.5	1	6390	3.6209	0.7973
		2	6388	3.6198	0.8274
		3	6386	3.6187	0.8575
		4	6385	3.6181	0.8740
		5	6396	3.6243	0.7041
ค่าเฉลี่ย			6389	3.6204	0.8110
5.365	1.5	1	9372	5.3107	1.0121
		2	9375	5.3124	0.9804
		3	9374	5.3118	0.9916
		4	9365	5.3067	1.0867
		5	9373	5.3113	1.0009
ค่าเฉลี่ย			9371	5.3101	1.0233
7.8	1.5	1	13884	7.8675	- 0.8654
		2	13882	7.8663	- 0.8500
		3	13883	7.8669	- 0.8577
		4	13880	7.8652	- 0.8359
		5	13851	7.8488	- 0.6256
ค่าเฉลี่ย			13876	7.8629	- 0.8064
10.2	1.5	1	18237	10.3341	- 1.3147
		2	18245	10.3387	- 1.3598
		3	18235	10.3330	- 1.3039
		4	18236	10.3336	- 1.3098
		5	18246	10.3392	- 1.3647
ค่าเฉลี่ย			18239.8	10.3357	- 1.3304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนขึ้นโดยอัตโนมัติจากเอกสารต้นฉบับ และอาจมีข้อผิดพลาดในการจัดรูปแบบได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

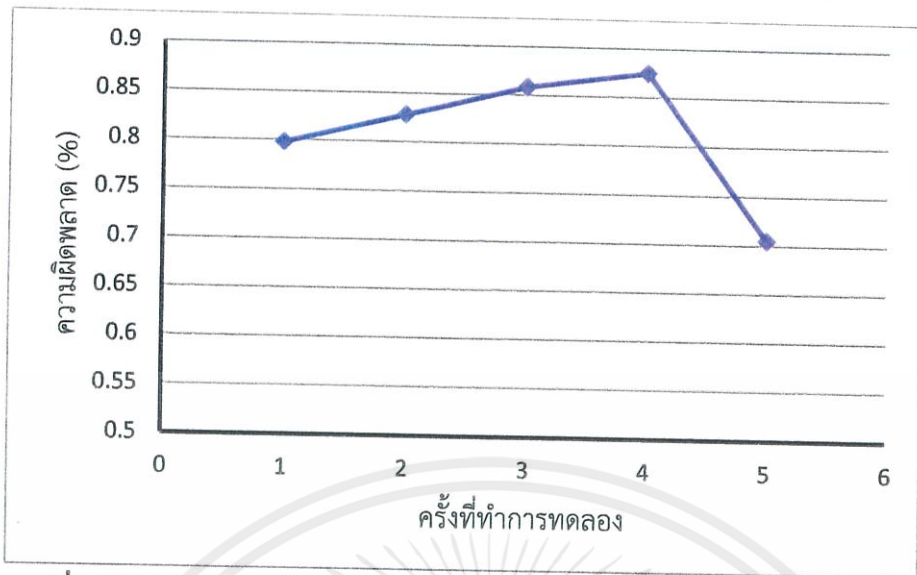
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา (ต่อ)

พื้นที่จริง (ตาราง เซนติเมตร)	ความหนา (เซนติเมตร)	ครั้งที่	จำนวน พิกเซล	พื้นที่ที่ได้ (ตาราง เซนติเมตร)	ค่าความ ผิดพลาด (%)
12.2	1.5	1	21270	12.0528	1.2066
		2	21696	12.2942	- 0.7721
		3	22056	12.4982	- 2.4443
		4	22042	12.4903	- 2.3795
		5	22078	12.5107	- 2.5467
ค่าเฉลี่ย			21828.4	12.3692	- 1.3869

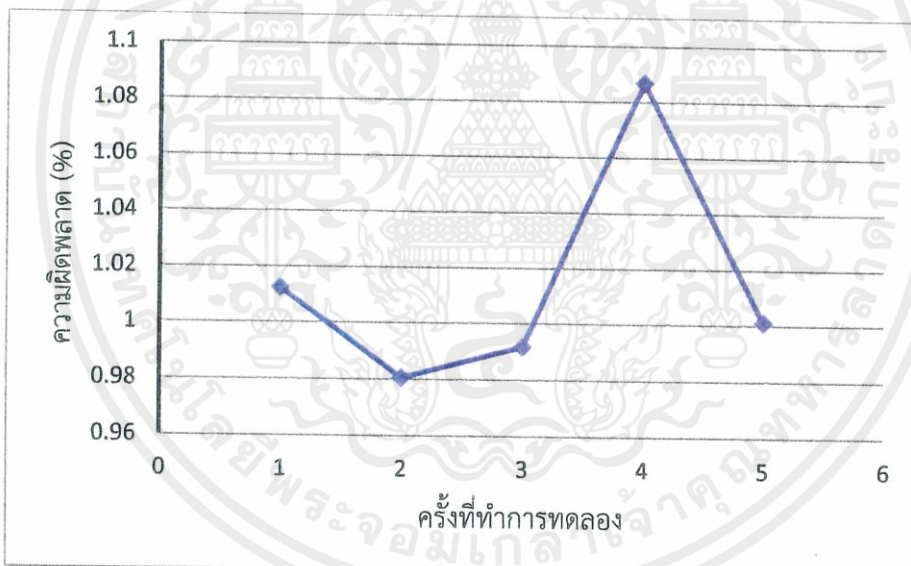


รูปที่ 4.15 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 1.81 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 3.65 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.17 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 5.365 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

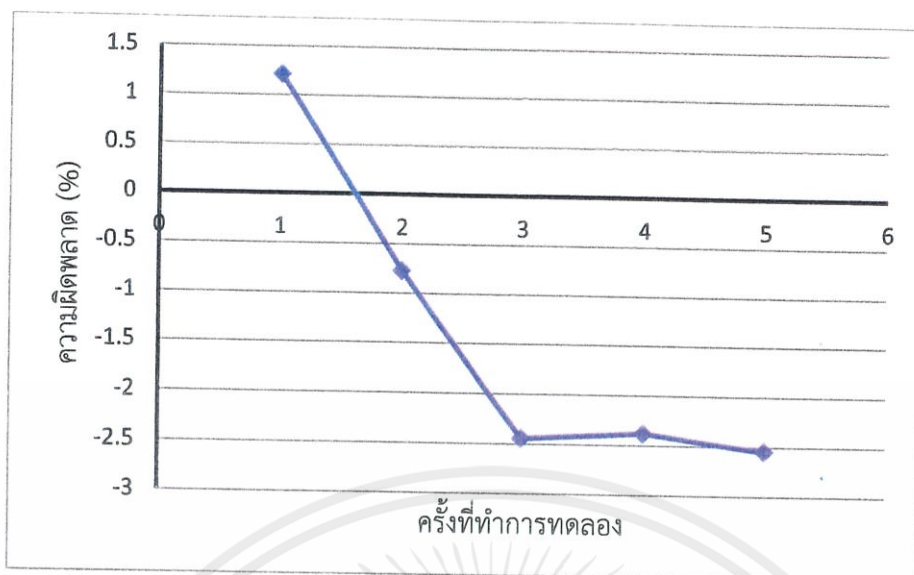


รูปที่ 4.18 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 7.8 ตารางเซนติเมตร

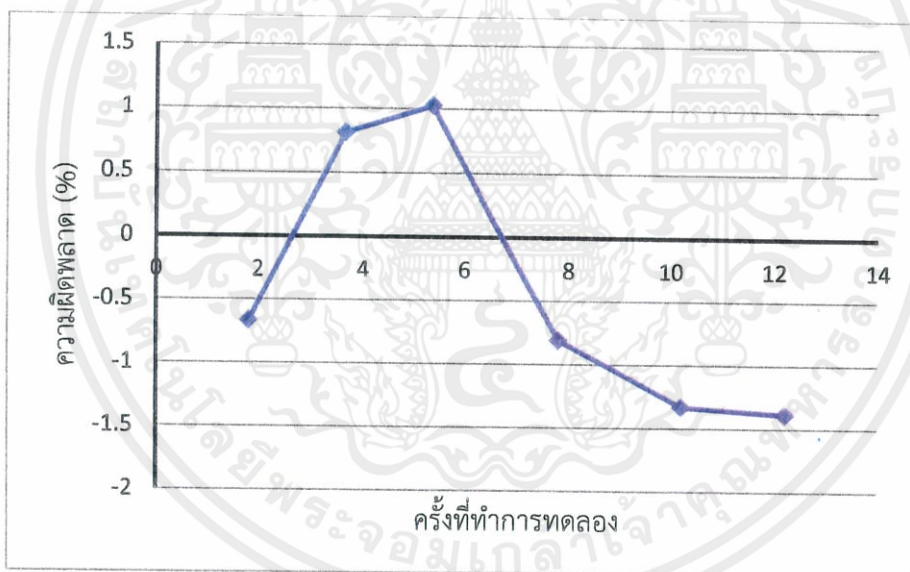


รูปที่ 4.19 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 10.2 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา ขนาดพื้นที่จริง 12.2 ตารางเซนติเมตร

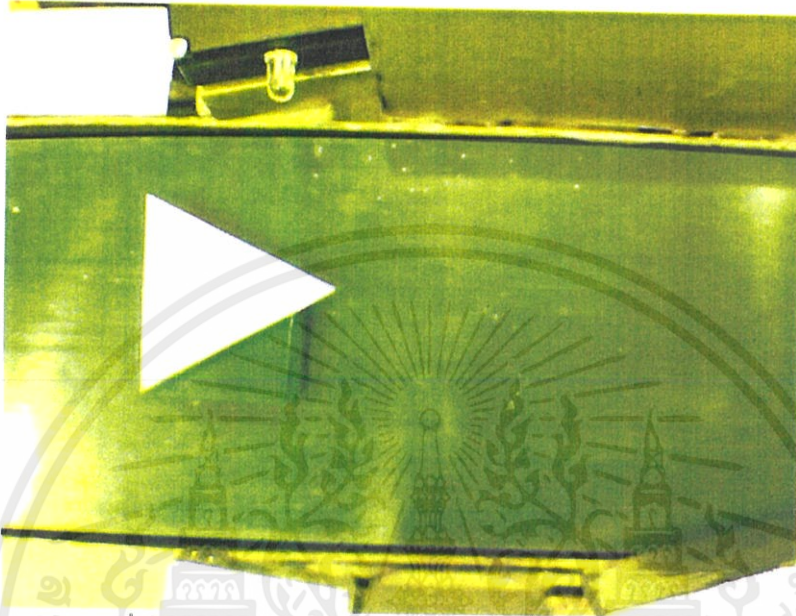


รูปที่ 4.21 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบกำหนดความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 การทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบไม่กำหนดความหนา

วิธีการทดลองคือทำการกำหนดความหนาให้คงที่ แต่เปลี่ยนขนาดของพื้นที่ของสามเหลี่ยมให้ต่างกัน ตั้งแต่ 0 – 30 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างภาพจริงของรูปสามเหลี่ยมที่ได้จากกล้อง

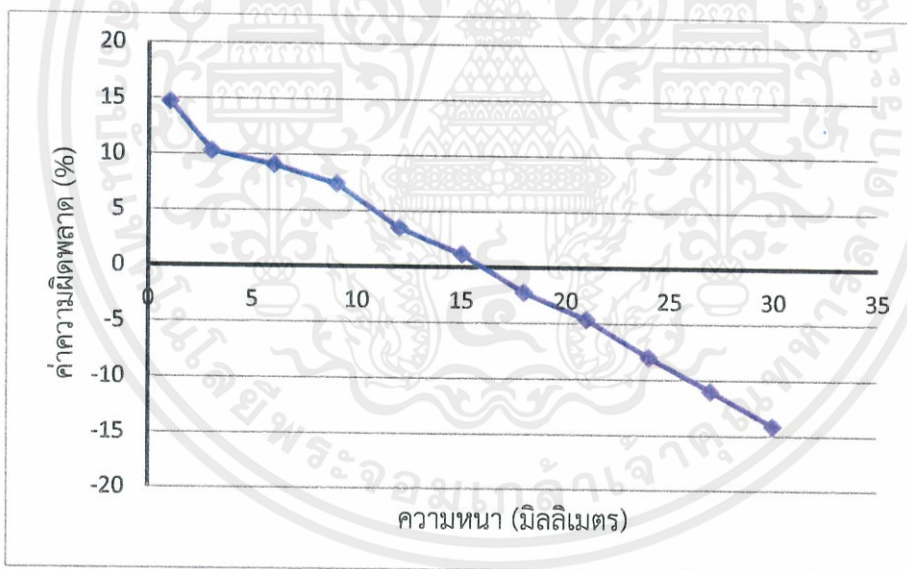


รูปที่ 4.23 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการประมวลผลมาแล้วของรูปสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบไม่กำหนดความหนา

พื้นที่จริง (ตาราง เซนติเมตร)	ขนาดความหนา (มิลลิเมตร)	จำนวน พิกเซล	พื้นที่ที่ได้ (ตาราง เซนติเมตร)	ค่าความ ผิดพลาด (%)
7.8	1	11737	6.6509	14.73
	3	12346	6.9960	10.31
	6	12514	7.0911	9.0885
	9	12744	7.2215	7.4167
	12	13303	7.5382	3.433
	15	13613	7.7139	1.1038
	18	14082	7.9797	- 2.3038
	21	14415	8.1684	- 4.7231
	24	14875	8.4290	- 8.0641
	27	15290	8.6642	- 11.0795
	30	15718	8.9067	- 14.1885



รูปที่ 4.24 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบไม่กำหนดความหนา

จากผลการทดลองของรูปทรงสามเหลี่ยมจะพบว่ามีความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองของรูปทรงสี่เหลี่ยม แต่พบว่ามีความผิดพลาดสูงกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยม เนื่องจากวัตถุที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นถูกจัดทำได้ด้วยมือและมีผลจากแสงภายนอก รวมถึงประสิทธิภาพของกล้องเช่นเดียวกัน

หมายเหตุ : จากการทดลองการประมวลผลภาพของรูปสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมในแบบกำหนดความหนาพบว่าค่าความผิดพลาดที่สูงที่สุดคือ 2.5467 %

#### 4.4 การทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุ

การทดลองนี้ทดลองเพื่อดูการคัดแยกขนาดวัตถุให้ลงช่องที่ถูกต้อง และกระบอกสูบสามารถดันวัตถุลงช่องได้ โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 2 เงื่อนไข ดังนี้

##### 4.4.1 การทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุโดยกำหนดขนาดวัตถุแบบเป็นช่วง

วัตถุที่นำมาใช้ในคัดแยกขนาดนั้นแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยแบ่งตามขนาดพื้นที่ที่ผู้จัดทำกำหนดขึ้น และมีการเผื่อค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ที่ 2.6% ดังนี้

1. ขนาดเล็ก มีพื้นที่อยู่ในช่วง 3 – 8 ตารางเซนติเมตร เมื่อเผื่อค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้แล้วมีค่าพื้นที่อยู่ในช่วง 2.92 – 8.21 ตารางเซนติเมตร

2. ขนาดกลาง มีพื้นที่อยู่ในช่วง 8.1 – 14.9 ตารางเซนติเมตร เมื่อเผื่อค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้แล้วมีค่าพื้นที่อยู่ในช่วง 8.22 – 15.29 ตารางเซนติเมตร

3. ขนาดใหญ่ มีพื้นที่อยู่ในช่วง 15 – 21 ตารางเซนติเมตร เมื่อเผื่อค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้แล้วมีค่าพื้นที่อยู่ในช่วง 15.30 – 21.55 ตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุแบบกำหนดขนาดเป็นช่วง

ชุดที่	ขนาด	ครั้งที่	พื้นที่วัตถุ (ตารางเซนติเมตร)	คัดแยก	ไม่คัดแยก
1	เล็ก	1	4		✓
		2	6	✓	
		3	6.25	✓	
	กลาง	4	9		✓
		5	12.25	✓	
		6	14.7	✓	
		7	15	✓	
	ใหญ่	8	16	✓	
		9	20.25	✓	
		10	25	✓	
2	เล็ก	1	4		✓
		2	6	✓	
		3	6.25	✓	
	กลาง	4	9	✓	
		5	12.25		✓
		6	14.7	✓	
		7	15		✓
	ใหญ่	8	16	✓	
		9	20.25	✓	
		10	25	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่และนำขึ้นเว็บไซต์หรือลงสื่อสังคมออนไลน์ที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า มีความผิดพลาดในการคัดแยกขนาดวัตถุแบบกำหนดขนาดเป็นช่วง เกิดจากระบบไม่คัดแยกวัตถุ ซึ่งสามารถหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการคัดแยกขนาดวัตถุแบบกำหนดขนาดเป็นช่วง ได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} &= \frac{\text{จำนวนการคัดแยกทั้งหมด} - \text{จำนวนที่คัดแยกได้}}{\text{จำนวนการคัดแยกทั้งหมด}} \times 100\% \quad (4.1) \\ &= \frac{20-15}{20} \times 100\% \\ &= 25\% \end{aligned}$$

ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนของการคัดแยกขนาดวัตถุแบบกำหนดขนาดเป็นช่วงคิดเป็น 25 %

#### 4.4.2 การทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุโดยกำหนดขนาดวัตถุคงที่

เป็นการทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุโดยกำหนดขนาดวัตถุคงที่ และมีการเผื่อค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ซึ่งผู้จัดทำกำหนดให้ความผิดพลาดที่ยอมรับได้มีค่า  $\pm 2.6\%$  ของพื้นที่วัตถุ (จากการทดลองการประมวลผลภาพในหัวข้อที่ผ่านมา) และจะทำการทดลองการคัดแยกวัตถุ 3 ขนาด โดยจะมีการนำวัตถุที่มีพื้นที่ไม่ตรงตามขนาดที่กำหนดมาสุ่มทดลองด้วยเพื่อเป็นการทดลองความถูกต้องในการคัดแยก

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่มีพื้นที่ 20.25 ตารางเซนติเมตร

ครั้งที่	พื้นที่จริง (ตารางเซนติเมตร)	พื้นที่ที่วัดได้ (ตารางเซนติเมตร)	คัดแยก	ไม่คัดแยก
1	20.25	20.1492	✓	
2	23.04	22.7706		✓
3	20.25	20.6705	✓	
4	23.04	23.1287		✓
5	17.64	17.4938		✓
6	20.25	20.4750	✓	
7	23.04	22.7796		✓
8	17.64	17.7086		✓
9	20.25	20.1543	✓	
10	17.64	17.7743		✓
11	20.25	20.1503	✓	
12	23.04	22.8765		✓
13	17.64	17.1391		✓
14	23.04	23.1236		✓

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการคัดแยกวัสดุที่มีพื้นที่ 20.25 ตารางเซนติเมตร (ต่อ)

ครั้งที่	พื้นที่จริง (ตารางเซนติเมตร)	พื้นที่ที่วัดได้ (ตารางเซนติเมตร)	คัดแยก	ไม่คัดแยก
15	20.25	20.3583	✓	
16	20.25	20.3509	✓	
17	17.64	17.7466		✓
18	20.25	20.0512	✓	
19	20.25	20.2818	✓	
20	20.25	20.0699	✓	

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการคัดแยกวัสดุที่มีพื้นที่ 15.21 ตารางเซนติเมตร

ครั้งที่	พื้นที่จริง (ตารางเซนติเมตร)	พื้นที่ที่วัดได้ (ตารางเซนติเมตร)	คัดแยก	ไม่คัดแยก
1	15.21	15.3031	✓	
2	15.21	15.4771	✓	
3	16	16.2381		✓
4	15.21	15.3819	✓	
5	16	16.0018		✓
6	15.21	15.4754	✓	
7	13.69	14.1392		✓
8	13.69	13.8191		✓
9	15.21	15.3012		✓
10	15.21	15.3649	✓	
11	13.69	13.9998		✓
12	16	15.9520		✓
13	15.21	15.3910		✓
14	13.69	14.0786		✓
15	15.21	15.1377	✓	
16	16	15.7412		✓
17	13.69	14.1693		✓
18	15.21	15.4329	✓	
19	16	15.9429		✓
20	15.21	15.0746	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการคัดแยกวัตถุที่มีพื้นที่ 10.89 ตารางเซนติเมตร

ครั้งที่	พื้นที่จริง (ตารางเซนติเมตร)	พื้นที่ที่วัดได้ (ตารางเซนติเมตร)	คัดแยก	ไม่คัดแยก
1	10.89	10.7359	✓	
2	10.89	10.8294	✓	
3	12.25	13.1408		✓
4	9	9.29545		✓
5	10.89	10.8192	✓	
6	9	9.36911		✓
7	10.89	10.8613		✓
8	12.25	13.0967		✓
9	9	9.38441		✓
10	10.89	10.7268	✓	
11	10.89	10.8656		✓
12	12.25	12.7478		✓
13	10.89	10.7778	✓	
14	9	9.32831		✓
15	12.25	12.9000		✓
16	10.89	10.9876		✓
17	12.25	12.8909		✓
18	9	9.27335		✓
19	10.89	10.7285	✓	
20	10.89	10.9115	✓	

จากการทดลองการคัดแยกวัตถุทั้ง 3 ขนาด พบว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นกับวัตถุที่มีพื้นที่ 15.21 ตารางเซนติเมตร จำนวน 2 ครั้ง และวัตถุที่มีพื้นที่ 10.89 ตารางเซนติเมตร จำนวน 3 ครั้ง คือระบบไม่คัดแยกวัตถุ ซึ่งเป็นความผิดพลาดแบบที่เรียกเนื่องจากการทดลองนี้ยึดอัลกอริทึมของระบบเป็นหลัก ดังนั้นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจึงเป็นความผิดพลาดแบบที่เรียกว่า อัตราการปฏิเสธผิดพลาด (False Reject Rate หรือ FRR) ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ในส่วนของวัตถุที่ไม่ตรงตามขนาดที่กำหนดแล้วนำมาสุ่มทำการทดลองนั้น จะพบว่าระบบไม่ได้ทำการคัดแยกซึ่งถือว่าถูกต้องตามที่กำหนด

อัตราการปฏิเสธผิดพลาด (False Reject Rate หรือ FRR) สามารถหาได้จากสูตร

$$FRR = \frac{\text{จำนวนปฏิเสธที่ผิดพลาด}}{\text{จำนวนทั้งหมด}} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง... อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการปฏิเสธผิดพลาด (False Reject Rate หรือ FRR) ของวัตถุที่มีพื้นที่ 15.21 ตารางเซนติเมตร

$$\text{FRR} = \frac{2}{20}$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ของอัตราการปฏิเสธผิดพลาด (False Reject Rate หรือ FRR)

$$\text{FRR} = \frac{2}{20} \times 100\%$$

$$= 10 \%$$

ดังนั้น อัตราการปฏิเสธผิดพลาดของวัตถุที่มีพื้นที่ 15.21 ตารางเซนติเมตรคิดเป็น 10 %

อัตราการปฏิเสธผิดพลาด (False Reject Rate หรือ FRR) ของวัตถุที่มีพื้นที่ 10.89 ตารางเซนติเมตร

$$\text{FRR} = \frac{3}{20}$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ของอัตราการปฏิเสธผิดพลาด (False Reject Rate หรือ FRR)

$$\text{FRR} = \frac{3}{20} \times 100\%$$

$$= 15 \%$$

ดังนั้น อัตราการปฏิเสธผิดพลาดของวัตถุที่มีพื้นที่ 10.89 ตารางเซนติเมตรคิดเป็น 15 %

#### 4.5 การทดลองความถูกต้องของการคัดแยกขนาดวัตถุจากขอบของช่วงที่กำหนด

ทำการทดลองโดยกำหนดขนาดที่คัดแยกเป็นช่วง แบ่งเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ในส่วนของวัตถุที่นำมาคัดแยกนั้นเป็นขนาดที่อยู่บริเวณขอบของช่วงที่กำหนด เพื่อเป็นการทดลองความถูกต้องของการคัดแยกขนาดวัตถุในแต่ละช่วง ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการทดลองเป็น 2 ชุด โดยการกำหนดช่วงขนาดของวัตถุให้แตกต่างกัน ซึ่งค่าของช่วงที่กำหนดได้มาจากการรวมค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ที่มีค่าเท่ากับ  $\pm 2.6\%$

วิธีการคำนวณช่วงที่กำหนดที่ใช้ในการทดลอง (ตัวเลขที่แสดงเป็นการยกตัวอย่างจากการทดลองชุดที่ 1 มีขั้นตอนดังนี้

- กำหนดช่วงพื้นที่ของวัตถุขนาดเล็กที่ใช้เป็น 4-10 ตารางเซนติเมตร ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยคิด ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ 2.6% ของ 4 มีค่าเท่ากับ 0.104  
ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ 2.6% ของ 10 มีค่าเท่ากับ 0.26

ดังนั้น ช่วงพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองของวัตถุขนาดเล็กคือ 3.89 – 10.26 ตารางเซนติเมตร

2. กำหนดช่วงพื้นที่ของวัตถุขนาดกลางเป็น 10.27 - 18 ตารางเซนติเมตร  
โดยคิด ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ 2.6% ของ 18 มีค่าเท่ากับ 0.47  
ดังนั้น ช่วงพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองของวัตถุขนาดกลางคือ 10.27 - 18.47 ตารางเซนติเมตร โดยค่าขอบล่างของช่วงวัตถุขนาดกลางใช้ค่าต่อจากขอบบนของช่วงวัตถุขนาดเล็ก ซึ่งเป็นค่าที่เผื่อความผิดพลาดแล้ว จึงต้องมีการคำนวณหาขอบล่างของพื้นที่วัตถุที่นำมาทดลอง  
หาช่วงพื้นที่ขอบล่างที่นำมาใช้ในการทดลอง  
โดยคิดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ 2.6% ของ 10.27 มีค่าเท่ากับ 0.27  
ดังนั้น ขอบล่างของพื้นที่วัตถุที่นำมาใช้ทดลองคือ  $10.27 + 0.27 = 10.54$  ตารางเซนติเมตร และช่วงพื้นที่ของวัตถุขนาดกลางที่ใช้คือ 10.54 - 18 ตารางเซนติเมตร
3. กำหนดช่วงพื้นที่ของวัตถุขนาดใหญ่เป็น 18.48 - 25 ตารางเซนติเมตร  
โดยคิด ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ 2.6% ของ 25 มีค่าเท่ากับ 0.65  
ดังนั้น ช่วงพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองของวัตถุขนาดกลางคือ 18.48 – 25.65 ตารางเซนติเมตร โดยค่าขอบล่างของช่วงวัตถุขนาดใหญ่ใช้ค่าต่อจากขอบบนของช่วงวัตถุขนาดกลาง ซึ่งเป็นค่าที่เผื่อความผิดพลาดแล้ว จึงต้องมีการคำนวณหาขอบล่างของพื้นที่วัตถุที่นำมาทดลอง  
หาช่วงพื้นที่ขอบล่างที่นำมาใช้ในการทดลอง  
โดยคิดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ 2.6% ของ 18.48 มีค่าเท่ากับ 0.48  
ดังนั้น ขอบล่างของพื้นที่วัตถุที่นำมาใช้ทดลองคือ  $18.48 + 0.48 = 18.96$  ตารางเซนติเมตร และช่วงพื้นที่ของวัตถุขนาดใหญ่ที่ใช้คือ 18.96 – 25 ตารางเซนติเมตร  
ในการทำการทดลองจริงนั้นช่วงที่กำหนดเป็นช่วงที่รวมกับค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้แล้ว แต่ในตารางการทดลองนั้นแสดงเป็นช่วงของพื้นที่จริง

จากข้อมูลวิธีการคำนวณข้างต้นสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.9 ตารางสรุปขนาดพื้นที่ของวัตถุชุดที่ 1 ที่ใช้ในการทดลอง

	พื้นที่วัตถุขนาดเล็ก (ตารางเซนติเมตร)	พื้นที่วัตถุขนาดกลาง (ตารางเซนติเมตร)	พื้นที่วัตถุขนาดใหญ่ (ตารางเซนติเมตร)
ขนาดวัตถุที่กำหนด	4 - 10	10.54 - 18	18.96 - 25
ขนาดวัตถุที่มีการเผื่อ ค่าความผิดพลาดที่ ยอมรับได้แล้ว	3.89 – 10.26	10.27 – 18.47	18.48 – 25.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุจากขอบของช่วงที่กำหนด ชุดที่ 1

ช่วงที่กำหนด (ตาราง เซนติเมตร)	พื้นที่วัตถุ (ตาราง เซนติเมตร)	พื้นที่ที่วัดได้ (ตาราง เซนติเมตร)	ผลการคัดแยก		
			ขนาดเล็ก	ขนาด กลาง	ขนาดใหญ่
ขนาดเล็ก 4-10	9.5	9.5476	✓		
	9.8	9.8004	✓		
	10	10.2506	✓		
ขนาดกลาง 10.54 – 18	10.6	10.6163		✓	
	11	11.1246		✓	
	11.3	11.3201		✓	
	17.5	17.4757		✓	
	17.8	17.7182		✓	
ขนาดใหญ่ 18.96 - 25	19	18.94			✓
	19.3	19.3591			✓
	19.5	19.6409			✓

ตารางที่ 4.11 ตารางสรุปขนาดพื้นที่ของวัตถุชุดที่ 2 ที่ใช้ในการทดลอง

	พื้นที่วัตถุขนาดเล็ก (ตารางเซนติเมตร)	พื้นที่วัตถุขนาดกลาง (ตารางเซนติเมตร)	พื้นที่วัตถุขนาดใหญ่ (ตารางเซนติเมตร)
ขนาดวัตถุที่กำหนด	5 - 12	12.65 - 20	21.07 - 25
ขนาดวัตถุที่มีการเผื่อ ค่าความผิดพลาดที่ ยอมรับได้แล้ว	4.87 - 12.32	12.33 - 20.52	20.53 - 25.65

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุจากขอบของช่วงที่กำหนด ชุดที่ 2

ช่วงที่กำหนด (ตาราง เซนติเมตร)	พื้นที่วัตถุ (ตาราง เซนติเมตร)	พื้นที่ที่วัดได้ (ตาราง เซนติเมตร)	ผลการคัดแยก		
			ขนาดเล็ก	ขนาด กลาง	ขนาดใหญ่
ขนาดเล็ก 5 - 12	11.5	11.5332	✓		
	11.8	11.829	✓		
	12	12.0301	✓		
ขนาดกลาง 12.65 - 20	12.7	12.7118		✓	
	13	13.2694		✓	
	13.3	13.3425		✓	
	19.5	19.2539		✓	
	19.8	19.6104		✓	
	20	20.2312		✓	

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองการคัดแยกขนาดวัตถุจากขอบของช่วงที่กำหนด ชุดที่ 2 (ต่อ)

ช่วงที่กำหนด (ตาราง เซนติเมตร)	พื้นที่วัตถุ (ตาราง เซนติเมตร)	พื้นที่ที่วัดได้ (ตาราง เซนติเมตร)	ผลการคัดแยก		
			ขนาดเล็ก	ขนาด กลาง	ขนาดใหญ่
ขนาดใหญ่ 21.07 – 25	21.1	21.283			✓
	21.5	21.399			✓
	21.8	21.7568			✓

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ระบบสามารถคัดแยกวัตถุได้ตรงตามช่วงที่กำหนด ซึ่งจากพื้นที่ที่วัดได้จะพบมีความคลาดเคลื่อนจากขนาดจริง แต่เนื่องจากการเผื่อค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ในแต่ละช่วง จึงทำให้ผลการทดลองออกมาถูกต้องตามที่กำหนด

#### 4.6 การทดลองหาอัตราเร็วในการคัดแยกขนาดวัตถุ

ในหัวข้อนี้เป็นการหาอัตราเร็วในการคัดแยกขนาดวัตถุ โดยใช้วิธีการจับเวลาว่าภายใน 1 นาทีนั้น ระบบสามารถคัดแยกวัตถุได้กี่ชิ้น โดยอ้างอิงที่ 4 ตำแหน่งคือ ช่องคัดแยกขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และบริเวณปลายสายพาน ซึ่งอัตราเร็วในการคัดแยกสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) อัตราเร็วในการคัดแยกวัตถุขนาดเล็ก คือ 13 ชิ้นต่อนาที
- 2) อัตราเร็วในการคัดแยกวัตถุขนาดกลาง คือ 11 ชิ้นต่อนาที
- 3) อัตราเร็วในการคัดแยกวัตถุขนาดใหญ่ คือ 9 ชิ้นต่อนาที
- 4) อัตราเร็วในการคัดแยกวัตถุที่บริเวณปลายสายพาน คือ 8 ชิ้นต่อนาที

ทั้งนี้จากการทดลองยังพบว่า สิ่งที่มีผลต่ออัตราเร็วในการคัดแยกขนาดวัตถุคือความเร็วในการวางวัตถุที่ไม่คงที่

#### 4.7 การทดลองเพื่อหาความเร็วของสายพาน

ทำการทดลองโดยจับเวลาการเคลื่อนที่ 1 รอบของสายพานเพื่อหาการทำงานของมอเตอร์

ตารางที่ 4.13 ทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ 1 รอบของสายพาน

ครั้งที่	เวลา (วินาที)
1	4.19
2	4.86
3	4.66
4	4.82
5	4.54
6	4.54
7	4.42
8	4.50
9	4.56
10	4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ภายในโรงเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้เพื่อเผยแพร่หรือใช้เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่าเวลาเฉลี่ยได้ดังนี้

$$T_{(avg)} = \frac{4.19+4.86+4.66+4.82+4.54+4.54+4.42+4.50+4.56+4.35}{10} \quad (4.3)$$

$$= 4.544 \text{ วินาที}$$

จากการทำการทดลองนำค่าที่ได้จากการจับเวลาทำการหาค่าความเร็ว ค่าอัตราเร่ง ( $\omega$ ) และค่ารอบที่เกิดจากการปฏิบัติจริง

$$V_{(avg)} = \frac{S}{T_{(avg)}} \quad (4.4)$$

$$= \frac{0.9}{4.544}$$

$$= 0.1981 \text{ m/s}$$

ดังนั้น มอเตอร์มีความเร็ว 0.1981 m/s

คำนวณหาค่า  $\omega_{ใหม่}$  จากสมการ

$$V_{(avg)} = \omega R \quad (4.5)$$

$$\omega = \frac{0.1981}{0.02}$$

$$= 9.905 \text{ rad/s}$$

ดังนั้น มอเตอร์มีความเร็วเชิงมุม 9.905 rad/s

คำนวณหาค่าการหมุนของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นจริง

$$RPM_{จากการทดลอง} = \frac{(\omega \times 60)}{2\pi} \quad (4.6)$$

$$= \frac{(9.905 \times 60)}{2\pi}$$

$$= 94.5858 \text{ รอบต่อนาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การหมุนของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานจริง =  $\frac{94.5858}{110} \times 100\% = 85.9871\%$  ไม่ว่าจะใช้จากทั้งสน อื่นทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ดังนั้น การหมุนของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงานจริง คือ 85.9871%

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

การทำปริญญานิพนธ์นี้ต้องมีความรู้หลายด้านประกอบกัน ได้แก่ การใช้โปรแกรม LabVIEW การประมวลผลภาพด้วยกล้องเว็บแคม ระบบนิวแมติกส์ การจัดแสง และความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงความรู้ในการทำฐานข้อมูล เพื่อใช้จัดทำกระบวนการคัดแยกขนาดวัตถุด้วยการประมวลผลภาพให้สำเร็จขึ้น ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถคัดแยกขนาดวัตถุได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำระบบดังกล่าวมาทดลองยังมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น เป็นผลมาจากการคำนวณหาพื้นที่ของวัตถุที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าพื้นที่จริง มีสาเหตุโดยตรงมาจากประสิทธิภาพในการจับภาพของกล้อง รวมทั้งแสงจากภายนอกที่เข้ามากระทบสายพานและวัตถุ ส่งผลให้การประมวลผลภาพออกมาคลาดเคลื่อน อีกทั้งความหนาของวัตถุที่นำมาคัดแยกยังมีผลต่อการประมวลผลภาพด้วย แม้ว่าพื้นที่หน้าตัดของวัตถุด้านที่ถูกกล้องจับภาพจะมีขนาดเท่ากันแต่มีความหนาต่างกัน ผลที่วัดได้ของค่าพื้นที่จะต่างกัน นั่นคือยังมีความหนาเพิ่มขึ้น พื้นที่ที่วัดได้จะยังมีขนาดใหญ่ขึ้น และจากการทดลองพบว่าค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของระบบคือ 2.6% ของขนาดพื้นที่ ส่วนการทดลองการคัดแยกนั้นได้มีการแบ่งเป็น 2 แบบคือ การคัดแยกวัตถุแบบกำหนดขนาดคงที่และแบบกำหนดขนาดเป็นช่วง ซึ่งผลการทดลองพบว่าระบบสามารถคัดแยกได้ถูกต้องตามที่กำหนด

#### 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. เนื่องจากโครงสร้างของแพลนที่ใช้เป็นของเดิมที่มีอยู่แล้ว พบว่ามอเตอร์ที่ขับเคลื่อนสายพานมีปัญหาติดขัดในการทำงานทำให้สายพานทำงานได้ไม่ราบรื่น
2. เนื่องจากโครงสร้างของแพลนที่มีลักษณะเป็นแพลนที่จำลองซึ่งมีขนาดเล็ก ทำให้การติดตั้งกล้องเว็บแคมทำได้ลำบาก
3. สายพานที่ใช้เป็นของเดิมที่มีอยู่แล้วเช่นกัน ซึ่งมีตำหนิในบางส่วนเป็นผลให้การตรวจจับของเซนเซอร์ผิดพลาด
4. โซลินอยด์วาล์วที่ใช้ในการควบคุมกระบอกสูบเสีย ทำให้ต้องมีการหาโซลินอยด์วาล์วใหม่มาใช้ทดแทนซึ่งหาได้ลำบาก เนื่องจากมีข้อจำกัดของขนาดหัวต่อและจำนวนที่ใช้
5. สายนิวแมติกส์ที่นำมาใช้หมดอายุการใช้งาน จึงส่งผลให้ต้องมีการเปลี่ยนสายและเดินสายใหม่
6. เนื่องจากโครงสร้างของแพลนที่ทำมาจากเหล็ก ทำให้ยากต่อการดัดแปลงและพัฒนา

#### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงแกนมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
2. ปรับปรุงหรือเปลี่ยนสายพานที่ใช้เพื่อจัดการปัญหารอยตำหนิที่ส่งผลให้การตรวจจับของเซนเซอร์ผิดพลาด
3. เลือกใช้กล้องเว็บแคมที่นำมาจับภาพให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
4. ปรับปรุงอุปกรณ์ป้องกันแสงจากภายนอกให้มีประสิทธิภาพป้องกันแสงได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ

5. เพิ่มจำนวนกล้องให้สามารถตรวจจับวัตถุได้หลายมิติมากขึ้น
6. ปรับปรุงระบบการทำงานเพื่อให้สามารถคัดแยกวัตถุแบบต่อเนื่องได้
7. การประมวลผลภาพของกล้องได้รับผลกระทบจากแสงภายนอก จึงควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ในการป้องกันแสงเพิ่มเติม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] อภินัย ฤกษ์รัตน์ “การพัฒนากระบวนการตรวจสอบการตกค้างของกระดูกในเนื้อไก่โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2556.
- [2] “เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ.” [Online] Available : <https://silllovely.wordpress.com/>
- [3] กิจไพบุลย์ ชิวพันธุ์ศรี. การสร้างระบบอัตโนมัติด้วย LabVIEW ร่วมกับระบบ Data Acquisition และ Machine Vision สำหรับผู้เริ่มต้น. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2557.
- [4] Christopher G. Relf “Image Acquisition and Processing with LabVIEW™.” [Online] Available : <http://bookzz.org/book/850163/917441> 2003.
- [5] “RGB คืออะไร อาร์จีบี คือระบบสีของแสง.” [Online] Available : <http://www.mindphp.com>
- [6] โยธิน บุญเจริญ และ ศิริชัย แสงจันทร์ “การคัดแยกผลิตภัณฑ์ด้วยการตรวจจับสี.” ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555.
- [7] “Brushless Motor.” [Online] Available <http://www.nidec.com/en-IN/technology/capability/brushless/?prt=1>
- [8] รองศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์. ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย. 2556.
- [9] “ชุดควบคุมคุณภาพลม.” [Online] Available : <http://xn--12c3bl6a3a1fd7g.com/>
- [10] “กระบอกสูบ.” [Online] Available : <http://webserv.kmitl.ac.th/s1010958/web/php/ActingCylinder.php>
- [11] “Solenoid Valve คืออะไร.” [Online] Available : <http://epautomation.blogspot.com/2011/11/solenoid-valve.html>
- [12] “Photoelectric Sensor.” [Online] Available : <http://www.inno-ins.com/862580/photoelectric-sensors->
- [13] “photo sensor / เซนเซอร์ชนิดใช้แสง.” [Online] Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki>
- [14] “มอเตอร์ปัดน้ำฝน ZKYR361 - SA” [Online] Available : <http://www.warf.com>
- [15] “OKER 177” [Online] Available : <https://www.google.co.th>
- [16] “CX-421-P | Compact Photoelectric Sensor CX-400 Ver.2” [Online] Available : [http://www3.panasonic.biz/ac/e/search\\_num/index.jsp?c=detail&part\\_no=CX-421-P](http://www3.panasonic.biz/ac/e/search_num/index.jsp?c=detail&part_no=CX-421-P)
- [17] “ระบบไบโอเมตริก” [Online] Available : <http://www.vcharkarn.com/blog/35610/5458>

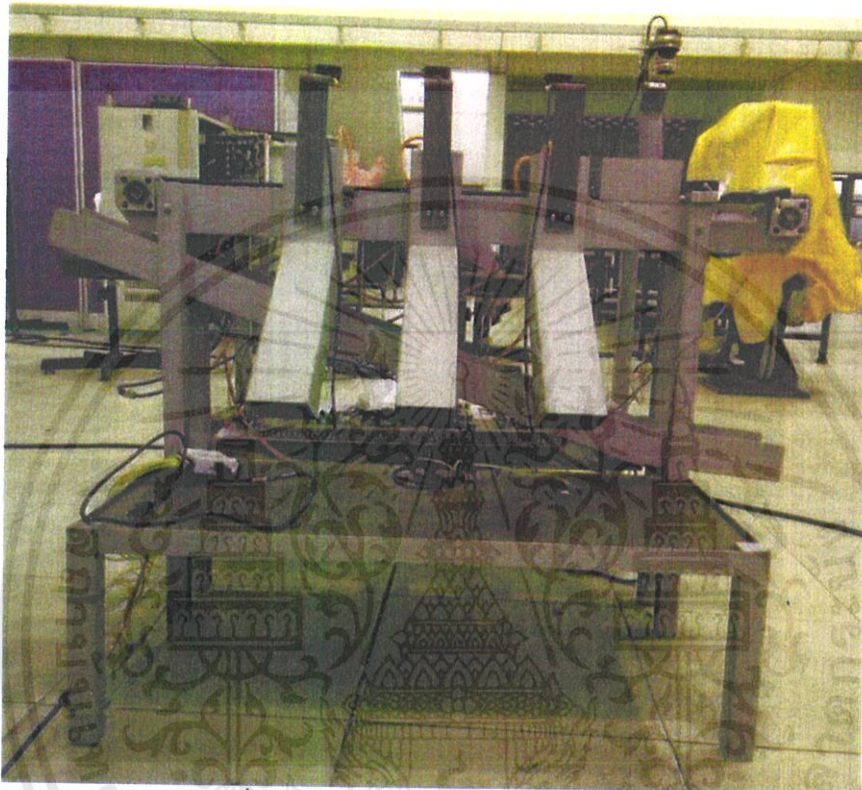
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก. ส่วนประกอบของระบบ

### 1. ภาพรวมโครงสร้างของระบบ



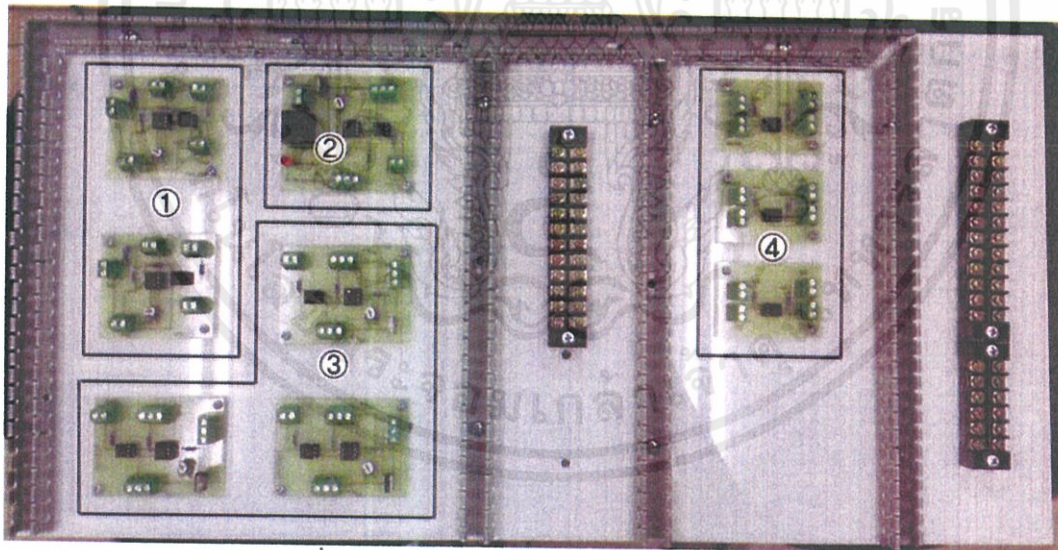
รูปที่ 1ก ภาพโครงสร้างของระบบด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2ก ภาพโครงสร้างของระบบด้านหลัง

## 2. ภาพรวมของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

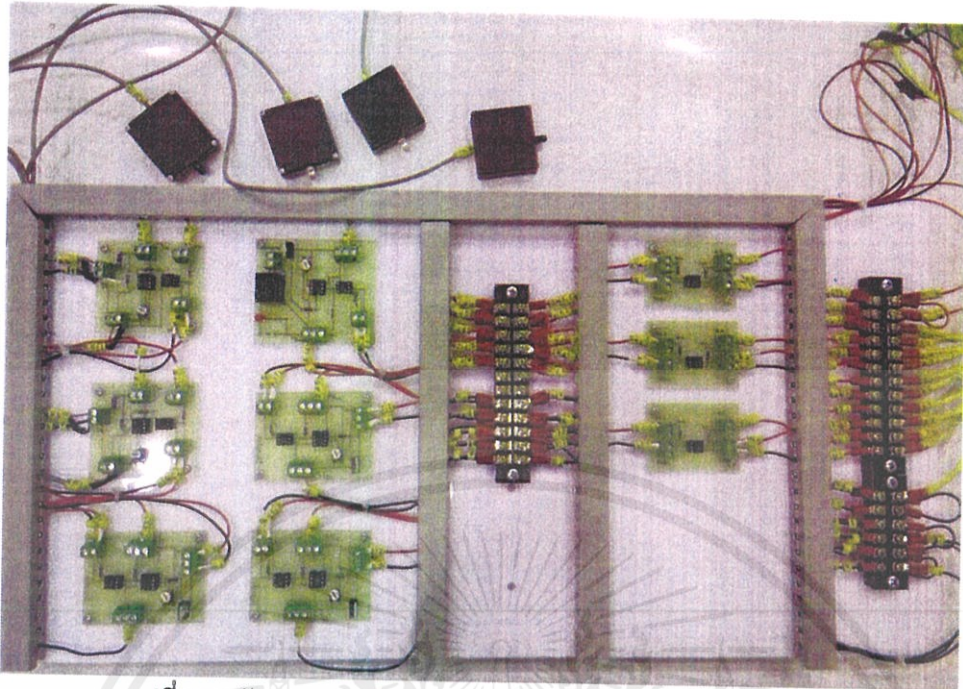


รูปที่ 3ก ลักษณะการจัดวางวงจรอิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 3ก การจัดวางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นดังนี้

1. วงจรตรวจจับวัตถุ (Infrared sensor)
2. วงจรควบคุมมอเตอร์
3. วงจรควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว
4. วงจรตรวจจับวัตถุ (Photoelectric sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งอาจเป็นเหตุตบปองฟ้องร้องได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4ก ลักษณะการจัดวางวงจรถอนิกส์พร้อมเชื่อมต่อสาย



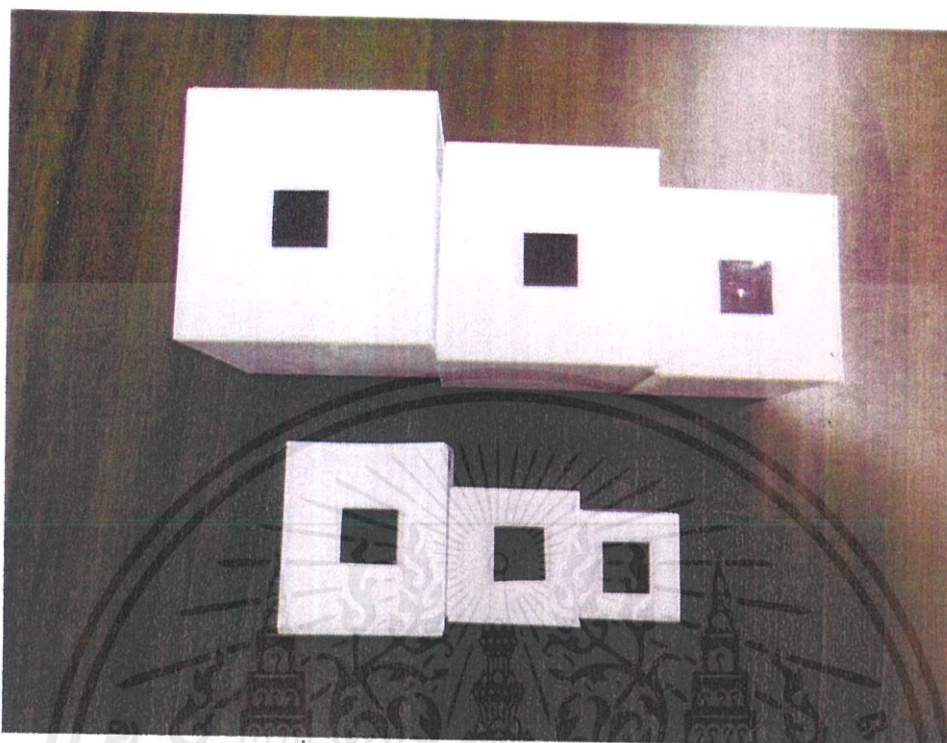
รูปที่ 5ก การเชื่อมต่อส่วนควบคุมของระบบ

จากรูปที่ 5ก ในส่วนควบคุมทั้งหมดประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์
2. แหล่งจ่ายไฟ 24 โวลต์
3. เบรกเกอร์
4. วงจรถวลคุมทั้งหมด 9 วงจร
5. โซลินอยด์วาล์ว
6. การ์ดอินเตอร์เฟซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ 5. โซลินอยด์วาล์ว ให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ตัวอย่างวัตถุที่ใช้ในการทดสอบ

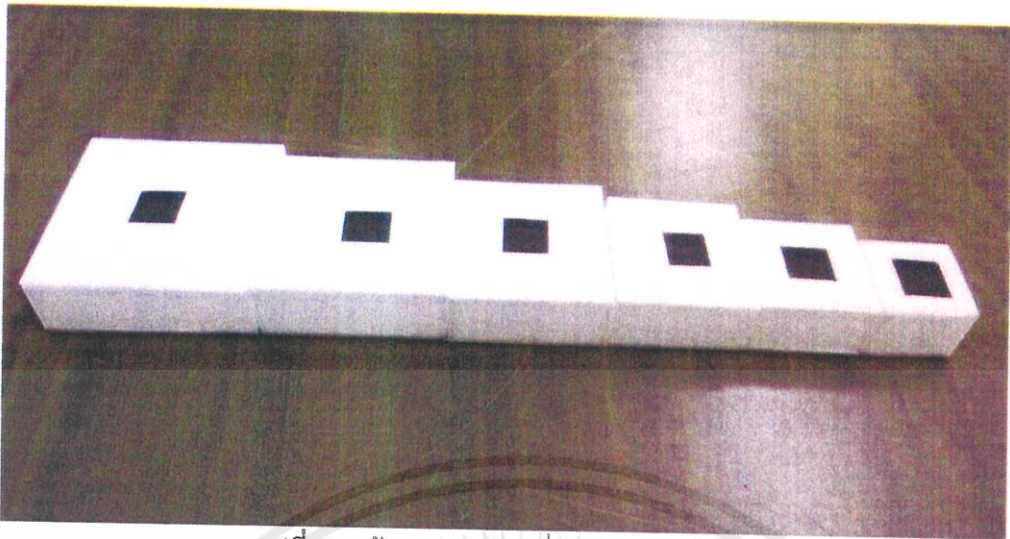


รูปที่ 6ก ด้านบนของวัตถุที่นำมาทดสอบ



รูปที่ 7ก ด้านหน้าของวัตถุที่นำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของศูนย์เทคโนโลยีพระราชาคณะสงฆ์เพื่อใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8ก ด้านบนของวัตถุที่มีความหนาเท่ากัน



รูปที่ 9ก ด้านข้างของวัตถุที่มีความหนาเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.  
เอกสารอ้างอิงอุปกรณ์ (Datasheet)

4N35



4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V<sub>RMS</sub>
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground Isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

DESCRIPTION

Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

AGENCY APPROVALS

- Underwriters laboratory file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO; EN 60065, EN 60335, EN 60950 certificate no. 25156

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
4N35	CTR > 100 %, DIP-6
4N36	CTR > 100 %, DIP-6
4N37	CTR > 100 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup>				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT</b>				
Reverse voltage		V <sub>R</sub>	6	V
Forward current		I <sub>F</sub>	50	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I <sub>FSM</sub>	1	A
Power dissipation		P <sub>diss</sub>	70	mW
<b>OUTPUT</b>				
Collector emitter breakdown voltage		V <sub>CEO</sub>	70	V
Emitter base breakdown voltage		V <sub>EBO</sub>	7	V
Collector current	t ≤ 1 ms	I <sub>C</sub>	50	mA
		I <sub>C</sub>	100	mA
Power dissipation		P <sub>diss</sub>	70	mW
<b>COUPLER</b>				
Isolation test voltage		V <sub>ISO</sub>	5000	V <sub>RMS</sub>
Creepage			≥ 7	mm
Clearance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm

เอกสารนี้... (Faint background text)

ไม่ว่ากรณีใดๆ... (Faint background text)

# 4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>COUPLER</b>				
Comparative tracking index	DIN IEC 112/VDE 0303, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$R_{IO}$	$10^{12}$	$\Omega$
	$V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	$R_{IO}$	$10^{11}$	$\Omega$
Storage temperature		$T_{stg}$	- 55 to + 150	$^{\circ}\text{C}$
Operating temperature		$T_{amb}$	- 55 to + 100	$^{\circ}\text{C}$
Junction temperature		$T_j$	100	$^{\circ}\text{C}$
Soldering temperature (2)	max. 10 s dip soldering: distance to seating plane $\geq 1.5\text{ mm}$	$T_{sld}$	260	$^{\circ}\text{C}$

**Notes**

(1)  $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified.

Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

(2) Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (DIP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (1)								
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
<b>INPUT</b>								
Junction capacitance	$V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$		$C_j$		50		pF	
Forward voltage (2)	$I_F = 10\text{ mA}$		$V_F$		1.3	1.5	V	
	$I_F = 10\text{ mA}, T_{amb} = - 55\text{ }^{\circ}\text{C}$		$V_F$	0.9	1.3	1.7	V	
Reverse current (2)	$V_R = 6\text{ V}$		$I_R$		0.1	10	$\mu\text{A}$	
Capacitance	$V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$		$C_O$		25		pF	
<b>OUTPUT</b>								
Collector emitter breakdown voltage(2)	$I_C = 1\text{ mA}$	4N35	$BV_{CEO}$	30			V	
		4N36	$BV_{CEO}$	30			V	
		4N37	$BV_{CEO}$	30			V	
Emitter collector breakdown voltage(2)	$I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$		$BV_{ECO}$	7			V	
<b>OUTPUT</b>								
Collector base breakdown voltage (2)	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}, I_B = 1\text{ }\mu\text{A}$	4N35	$BV_{CBO}$	70			V	
		4N36	$BV_{CBO}$	70			V	
		4N37	$BV_{CBO}$	70			V	
Collector emitter leakage current (2)	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 0$	4N35	$I_{CEO}$		5	50	nA	
		4N36	$I_{CEO}$		5	50	nA	
	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 0$	4N37	$I_{CEO}$		5	50	nA	
		4N35	$I_{CEO}$				500	$\mu\text{A}$
				4N36	$I_{CEO}$			500
4N37	$I_{CEO}$				500	$\mu\text{A}$		
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		$C_{CE}$		6		pF	
<b>COUPLER</b>								
Resistance, input output (2)	$V_{IO} = 500\text{ V}$		$R_{IO}$	$10^{11}$			$\Omega$	
Capacitance, input output	$f = 1\text{ MHz}$		$C_{IO}$		0.6		pF	

**Notes**

(1)  $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified.

Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

(2) Indicates JEDEC registered value.

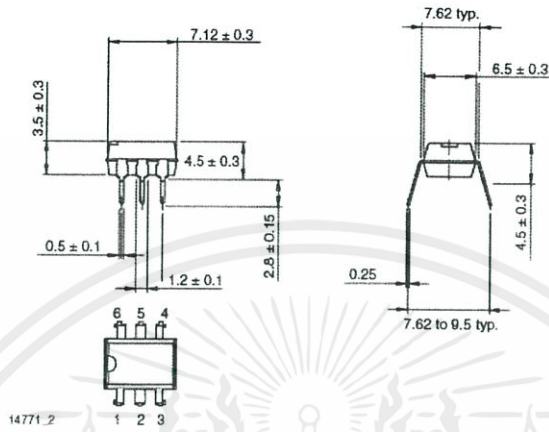
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4N35, 4N36, 4N37**

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,  
with Base Connection



**PACKAGE DIMENSIONS** in millimeters



**PACKAGE MARKING**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Infrared LED

**EVERLIGHT****Technical Data Sheet****5mm Infrared LED , T-1 3/4****IR333-A****Features**

- High reliability
- High radiant intensity
- Peak wavelength  $\lambda_p=940\text{nm}$
- 2.54mm Lead spacing
- Low forward voltage
- Pb free
- The product itself will remain within RoHS compliant version.

**Descriptions**

- EVERLIGHT'S Infrared Emitting Diode(IR333-A) is a high intensity diode , molded in a blue transparent plastic package.
- The device is spectrally matched with phototransistor , photodiode and infrared receiver module.

**Applications**

- Free air transmission system
- Infrared remote control units with high power requirement
- Smoke detector
- Infrared applied system

**Device Selection Guide**

LED Part No.	Chip	Lens Color
	Material	
IR	GaAlAs	Blue

Everlight Electronics Co., Ltd.

<http://www.everlight.com>

Rev 3

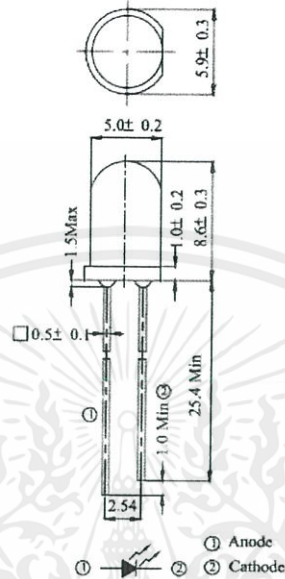
Page: 1 of 7

Device No : DIR-033-004

Prepared date : 07-20-2005

Prepared by : Jaine Tsai

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EVERLIGHT****IR333-A****Package Dimensions**

- Notes: 1. All dimensions are in millimeters  
2. Tolerances unless dimensions  $\pm 0.25\text{mm}$

**Absolute Maximum Ratings ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )**

Parameter	Symbol	Rating	Units
Continuous Forward Current	$I_F$	100	mA
Peak Forward Current	$I_{FP}$	1.0	A
Reverse Voltage	$V_R$	5	V
Operating Temperature	$T_{opr}$	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	$T_{sol}$	260	$^\circ\text{C}$
Power Dissipation at(or below) 25 $^\circ\text{C}$ Free Air Temperature	$P_d$	150	mW

Notes: \*1:  $I_{FP}$  Conditions--Pulse Width  $\leq 100 \mu\text{s}$  and Duty  $\leq 1\%$ .

\*2: Soldering time  $\leq 5$  seconds.

Everlight Electronics Co., Ltd.  
Device No : DIR-033-004

<http://www.everlight.com>  
Prepared date : 07-20-2005

Rev 3 Page: 2 of 7  
Prepared by : Jaine Tsai

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EVERLIGHT****IR333-A****Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)**

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Radiant Intensity	Ee	I <sub>F</sub> =20mA	7.8	20	--	mW/sr
		I <sub>F</sub> =100mA Pulse Width ≤ 100 μs, Duty ≤ 1%	--	85	--	
		I <sub>F</sub> =1A Pulse Width ≤ 100 μs, Duty ≤ 1%	--	750	--	
Peak Wavelength	λ <sub>p</sub>	I <sub>F</sub> =20mA	--	940	--	nm
Spectral Bandwidth	Δλ	I <sub>F</sub> =20mA	--	45	--	nm
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> =20mA	--	1.2	1.5	V
		I <sub>F</sub> =100mA Pulse Width ≤ 100 μs, Duty ≤ 1%	--	1.4	1.8	
		I <sub>F</sub> =1A Pulse Width ≤ 100 μs, Duty ≤ 1%	--	2.6	4.0	
Reverse Current	I <sub>R</sub>	V <sub>R</sub> =5V	--	--	10	μA
View Angle	2θ 1/2	I <sub>F</sub> =20mA	--	20	--	deg

**Rank**Condition : I<sub>F</sub>=20mA

Unit : mW/sr

Bin Number	M	N	P	Q
Min	7.80	11.0	15.0	21.0
Max	12.5	17.6	24.0	34.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

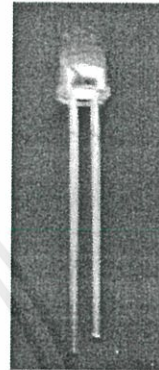
## Phototransistor

**EVERLIGHT****Technical Data Sheet****5mm Phototransistor T-1****PT333-3C****Features**

- Fast response time
- High photo sensitivity
- Pb free
- This product itself will remain within RoHS compliant version.

**Descriptions**

- PT333-3C is a high speed and high sensitive NPN silicon NPN epitaxial planar phototransistor molded in a standard 5 mm package. Due to is water clear epoxy the device is sensitive to visible and near Infrared radiation.

**Applications**

- Infrared applied system
- Camera
- Cockroach catcher

**Device Selection Guide**

LED Part No.	Chip	Lens Color
	Material	
PT333-3C	Silicon	Water clear

Everlight Electronics Co., Ltd.

<http://www.everlight.com>

Rev 1

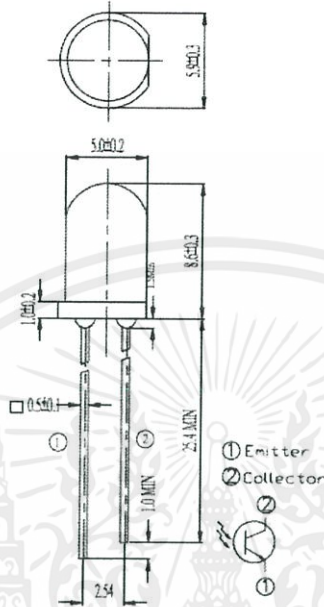
Page: 1 of 7

Device No : CDPT-033-008

Prepared date : 2005/7/24

Prepared by : Yinhua He

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EVERLIGHT****PT333-3C****Package Dimensions**

- Notes: 1. All dimensions are in millimeters  
2. Tolerances unless dimensions  $\pm 0.25\text{mm}$

**Absolute Maximum Ratings ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )**

Parameter	Symbol	Rating	Units
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	30	V
Emitter-Collector-Voltage	$V_{ECO}$	5	V
Collector Current	$I_C$	20	mA
Operating Temperature	$T_{opr}$	$-25 \sim +85^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	$T_{stg}$	$-40 \sim +85^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$
Lead Soldering Temperature(*1)	$T_{sol}$	260	$^\circ\text{C}$
Power Dissipation at (or below) $25^\circ\text{C}$ Free Air Temperature	$P_c$	75	mW

Notes: \*1: Soldering time  $\leq 5$  seconds.

Everlight Electronics Co., Ltd.  
Device No : CDPT-033-008

<http://www.everlight.com>  
Prepared date : 2005/7/24

Rev 1 Page: 2 of 7  
Prepared by : Yinhua He

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EVERLIGHT****PT333-3C****Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)**

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Collector – Emitter Breakdown Voltage	$BV_{CEO}$	$I_C=100\mu A$ $E_e=0mW/cm^2$	30	---	---	V
Emitter-Collector Breakdown Voltage	$BV_{ECO}$	$I_E=100\mu A$ $E_e=0mW/cm^2$	5	---	---	V
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C=2mA$ $E_e=1mW/cm^2$	---	---	0.4	V
Rise Time	$t_r$	$V_{CE}=5V$ $I_C=1mA$	---	15	---	$\mu S$
Fall Time	$t_f$	$RL=1000\Omega$	---	15	---	
Collector Dark Current	$I_{CEO}$	$E_e=0mW/cm^2$ $V_{CE}=20V$	---	---	100	nA
On State Collector Current	$I_{C(on)}$	$E_e=1mW/cm^2$ $V_{CE}=5V$	0.7	4.0	---	mA
Wavelength of Peak Sensitivity	$\lambda_p$	---	---	940	---	nm
Rang of Spectral Bandwidth	$\lambda_{0.5}$	---	---	400-1100	---	nm

**Rankings**

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
G	$I_{C(on)}$	0.70	1.90	mA	$V_{CE}=5V$ $E_e=1mW/cm^2$
H		1.14	2.60		
J		1.77	3.61		
K		2.67	5.07		
L		4.18	7.07		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM358

- Product Folder
- Sample & Buy
- Technical Documents
- Tools & Software
- Support & Community



LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N  
SNOSBT3I – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

**LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers**

**1 Features**

- Available in 8-Bump DSBGA Chip-Sized Package, (See AN-1112, SNVA009)
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100 dB
- Wide Bandwidth (Unity Gain): 1 MHz (Temperature Compensated)
- Wide Power Supply Range:
  - Single Supply: 3V to 32V
  - Or Dual Supplies: ±1.5V to ±16V
- Very Low Supply Current Drain (500 µA)—Essentially Independent of Supply Voltage
- Low Input Offset Voltage: 2 mV
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Large Output Voltage Swing
- Unique Characteristics:
  - In the Linear Mode the Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground and the Output Voltage Can Also Swing to Ground, even though Operated from Only a Single Power Supply Voltage.
  - The Unity Gain Cross Frequency is Temperature Compensated.
  - The Input Bias Current is also Temperature Compensated.
- Advantages:
  - Two Internally Compensated Op Amps
  - Eliminates Need for Dual Supplies
  - Allows Direct Sensing Near GND and V<sub>OUT</sub> Also Goes to GND
  - Compatible with All Forms of Logic
  - Power Drain Suitable for Battery Operation

**3 Description**

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard 3.3-V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional ±15V power supplies.

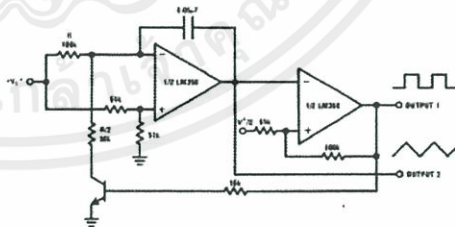
The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump DSBGA) using TI's DSBGA package technology.

**Device Information<sup>(1)</sup>**

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM158-N	TO-CAN (8)	9.08 mm x 9.09 mm
	CDIP (8)	10.16 mm x 6.502 mm
LM258-N	TO-CAN (8)	9.08 mm x 9.09 mm
	DSBGA (8)	1.31 mm x 1.31 mm
LM2904-N	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	PDIP (8)	9.81 mm x 6.35 mm
	TO-CAN (8)	9.08 mm x 9.09 mm
LM358-N	DSBGA (8)	1.31 mm x 1.31 mm
	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	PDIP (8)	9.81 mm x 6.35 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

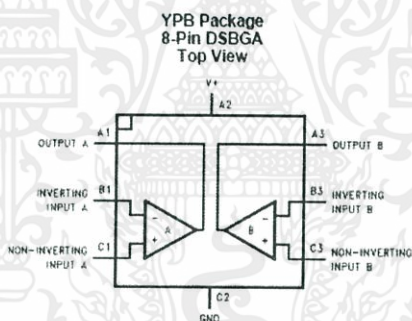
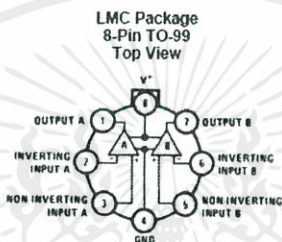
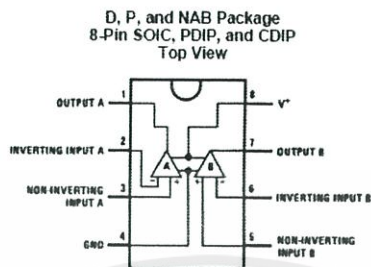
**Voltage Controlled Oscillator (VCO)**



**IMPORTANT NOTICE** at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

D/P/LMC NO.	PIN		TYPE	DESCRIPTION
	DSBGA NO.	NAME		
1	A1	OUTA	O	Output, Channel A
2	B1	-INA	I	Inverting Input, Channel A
3	C1	+INA	I	Non-Inverting Input, Channel A
4	C2	GND / V-	P	Ground for Single supply configurations. negative supply for dual supply configurations
5	C3	+INB	I	Output, Channel B
6	B3	-INB	I	Inverting Input, Channel B
7	A3	OUTB	O	Non-Inverting Input, Channel B
8	A2	V+	P	Positive Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOSBT3I – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

www.ti.com

## 6 Specifications

### 6.1 Absolute Maximum Ratings

See <sup>(1)(2)(3)</sup>

		LM158, LM258, LM358, LM158A, LM258A, LM358A		LM2904		UNIT	
		MIN	MAX	MIN	MAX		
Supply Voltage, V*		32		26		V	
Differential Input Voltage		32		26		V	
Input Voltage		-0.3	32	-0.3	26	V	
Power Dissipation <sup>(4)</sup>	PDIP (P)	830		830		mW	
	TO-99 (LMC)	550				mW	
	SOIC (D)	530		530		mW	
	DSBGA (YPB)	435				mW	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) <sup>(5)</sup>	V* ≤ 15 V and T <sub>A</sub> = 25°C		Continuous		Continuous		
Input Current (V <sub>IN</sub> < -0.3V) <sup>(6)</sup>		50		50		mA	
Temperature		-55	125			°C	
	PDIP Package (P): Soldering (10 seconds)	260		260		°C	
	SOIC Package (D)	Vapor Phase (60 seconds)	215		215		°C
		Infrared (15 seconds)	220		220		°C
Lead Temperature	PDIP (P): (Soldering, 10 seconds)	260		260		°C	
	TO-99 (LMC): (Soldering, 10 seconds)	300		300		°C	
Storage temperature, T <sub>slp</sub>		-65	150	-65	150	°C	

- (1) *Absolute Maximum Ratings* indicate limits beyond which damage to the device may occur. *Recommended Operating Conditions* indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not ensured. For ensured specifications and the test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.
- (3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (4) For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 120°C/W for PDIP, 182°C/W for TO-99, 189°C/W for SOIC package, and 230°C/W for DSBGA, which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a +150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.
- (5) Short circuits from the output to V\* can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V\*. At values of supply voltage in excess of +15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- (6) This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V\* voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3 V (at 25°C).

### 6.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
V <sub>(ESD)</sub> Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 <sup>(1)</sup>	±250 V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT
Supply Voltage (V+ - V-):LM158, LM258, LM358	3 (±1.5)	32 (±16)	V
Supply Voltage (V+ - V-):LM2904	3 (±1.5)	26 (±13)	V
Operating Temperature: LM158	-55	125	°C
Operating Temperature: LM258	-25	85	°C
Operating Temperature: LM358	0	70	°C
Operating Temperature: LM2904	-40	85	°C

### 6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	LM158-N, LM258-N, LM358-N	LM158-N	LM2904-N, LM358-N			UNIT
	LMC	NAB	YPB	D	P	
	8 PINS					
R <sub>θJA</sub> Junction-to-ambient thermal resistance	155	132	230	189	120	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.

### 6.5 Electrical Characteristics: LM158A, LM358A, LM158, LM258

V<sup>+</sup> = +5.0 V, See<sup>(1)</sup>, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM158A			LM358A			LM158, LM258			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See <sup>(2)</sup> , T <sub>A</sub> = 25°C	1	2	2	3	2	5	mV			
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub> , T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0 V, <sup>(3)</sup>	20	50	45	100	45	150	nA			
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub> , V <sub>CM</sub> = 0 V, T <sub>A</sub> = 25°C	2	10	5	30	3	30	nA			
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30 V, <sup>(4)</sup> (LM2904, V <sup>+</sup> = 26 V), T <sub>A</sub> = 25°C	0	V <sup>+</sup> -1.5	0	V <sup>+</sup> -1.5	0	V <sup>+</sup> -1.5	V			
Supply Current	Over Full Temperature Range R <sub>L</sub> = ∞ on All Op Amps V <sup>+</sup> = 30 V (LM2904 V <sup>+</sup> = 26 V) V <sup>+</sup> = 5 V	1	2	1	2	1	2	mA			
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = 15 V, T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ, (For V <sub>O</sub> = 1 V to 11 V)	50	100	25	100	50	100	V/mV			
Common-Mode Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0 V to V <sup>+</sup> -1.5 V	70	85	65	85	70	85	dB			
Power Supply Rejection Ratio	V <sup>+</sup> = 5 V to 30 V (LM2904, V <sup>+</sup> = 5 V to 26 V), T <sub>A</sub> = 25°C	65	100	65	100	65	100	dB			

(1) These specifications are limited to -55°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +125°C for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ 85°C, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ 70°C, and the LM2904 specifications are limited to -40°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ 85°C.

(2) V<sub>O</sub> = 1.4 V, R<sub>θ</sub> = 0 Ω with V<sup>+</sup> from 5 V to 30 V; and over the full input common-mode range (0 V to V<sup>+</sup> -1.5 V) at 25°C. For LM2904, V<sup>+</sup> from 5 V to 26 V.

(3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

(4) The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V<sup>+</sup> -1.5 V (at 25°C), but either or both inputs can go to 32 V without damage (26 V for LM2904), independent of the magnitude of V<sup>+</sup>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOSBT31 – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

www.ti.com

## Electrical Characteristics: LM158A, LM358A, LM158, LM258 (continued)

 $V^+ = +5.0\text{ V}$ , See<sup>(1)</sup>, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM158A			LM358A			LM158, LM258			UNIT		
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX			
Power Supply	$V^+ = 5\text{ V to }30\text{ V}$												
Rejection Ratio	(LM2904, $V^+ = 5\text{ V to }26\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	65	100		65	100		65	100		dB		
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred), See <sup>(5)</sup>		-120			-120			-120		dB		
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1\text{ V}$ , $V_{IN}^- = 0\text{ V}$ , $V^+ = 15\text{ V}$ , $V_O = 2\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		20	40		20	40		20	40		mA	
		Sink $V_{IN}^- = 1\text{ V}$ , $V_{IN}^+ = 0\text{ V}$ , $V^+ = 15\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_O = 2\text{ V}$		10	20		10	20		10	20		mA
			$V_{IN}^- = 1\text{ V}$ , $V_{IN}^+ = 0\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_O = 200\text{ mV}$ , $V^+ = 15\text{ V}$		12	50		12	50		12	50	
	Short Circuit to Ground $T_A = 25^\circ\text{C}$ , See <sup>(6)</sup> , $V^+ = 15\text{ V}$			40	60		40	60		40	60		mA
	Input Offset Voltage	See <sup>(2)</sup>			4			5			7		mV
	Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$		7	15		7	20		7			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$			30			75			100		nA	
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10	200		10	300		10			$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	100		40	200		40	300		nA	
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$ , See <sup>(4)</sup> (LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$ )	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V		
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15\text{ V}$												
	$(V_O = 1\text{ V to }11\text{ V})$		25			15			25			V/mV	
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$												
Output Voltage	$V_{OH}$	$V^+ = +30\text{ V}$		$R_L = 2\text{ k}\Omega$	26		26		26			V	
	$(\text{LM2904, } V^+ = 26\text{ V})$		27	28		27	28		27	28		V	
Swing	$V_{OL}$	$V^+ = 5\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$		5	20		5	20		5	20	mV	
Output Current	Source $V_{IN}^+ = +1\text{ V}$ , $V_{IN}^- = 0\text{ V}$ , $V^+ = 15\text{ V}$ , $V_O = 2\text{ V}$		10	20		10	20		10	20		mA	
		Sink $V_{IN}^- = +1\text{ V}$ , $V_{IN}^+ = 0\text{ V}$ , $V^+ = 15\text{ V}$ , $V_O = 2\text{ V}$		10	15		5	8		5	8		mA

- (5) Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
- (6) Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of  $V^+$ . At values of supply voltage in excess of +15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.ti.com

LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOSBT31 – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

## 6.6 Electrical Characteristics: LM358, LM2904

V<sup>+</sup> = +5.0 V. See<sup>(1)</sup>, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM358			LM2904			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See <sup>(2)</sup> , T <sub>A</sub> = 25°C		2	7		2	7	mV
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub> ; T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0 V. See <sup>(3)</sup>		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub> ; V <sub>CM</sub> = 0 V, T <sub>A</sub> = 25°C		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30 V. See <sup>(4)</sup> (LM2904, V <sup>+</sup> = 26 V), T <sub>A</sub> = 25°C	0		V <sup>+</sup> - 1.5	0		V <sup>+</sup> - 1.5	V
Supply Current	Over Full Temperature Range							
	R <sub>L</sub> = ∞ on All Op Amps							
	V <sup>+</sup> = 30 V (LM2904 V <sup>+</sup> = 26 V)		1	2		1	2	mA
	V <sup>+</sup> = 5 V		0.5	1.2		0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage	V <sup>+</sup> = 15 V, T <sub>A</sub> = 25°C,							
Gain	R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ. (For V <sub>O</sub> = 1 V to 11 V)	25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C,	65	85		50	70		dB
	V <sub>CM</sub> = 0 V to V <sup>+</sup> - 1.5 V							
Power Supply Rejection Ratio	V <sup>+</sup> = 5 V to 30 V	65	100		50	100		dB
	(LM2904, V <sup>+</sup> = 5 V to 26 V), T <sub>A</sub> = 25°C							
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, T <sub>A</sub> = 25°C (Input Referred). See <sup>(5)</sup>		-120			-120		dB
Output Current	Source	V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 1 V,						
		V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 0 V,						
		V <sup>+</sup> = 15 V,	20	40		20	40	
		V <sub>O</sub> = 2 V, T <sub>A</sub> = 25°C						
	Sink	V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 1 V, V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 0 V						
		V <sup>+</sup> = 15 V, T <sub>A</sub> = 25°C,	10	20		10	20	
		V <sub>O</sub> = 2 V						
		V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 1 V,						
	V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 0 V							
	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 200 mV,	12	50		12	50		
	V <sup>+</sup> = 15 V							
Short Circuit to Ground	T <sub>A</sub> = 25°C. See <sup>(6)</sup> , V <sup>+</sup> = 15 V		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage	See <sup>(2)</sup>			9			10	mV
Input Offset Voltage Drift	R <sub>θ</sub> = 0 Ω		7			7		μV/°C
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub>			150		45	200	nA
Input Offset Current Drift	R <sub>θ</sub> = 0 Ω		10			10		pA/°C
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub>		40	500		40	500	nA

- These specifications are limited to -55°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +125°C for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ 85°C, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ 70°C, and the LM2904 specifications are limited to -40°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ 85°C.
- V<sub>O</sub> = 1.4 V, R<sub>θ</sub> = 0 Ω with V<sup>+</sup> from 5 V to 30 V; and over the full input common-mode range (0 V to V<sup>+</sup> - 1.5 V) at 25°C. For LM2904, V<sup>+</sup> from 5 V to 26 V.
- The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V<sup>+</sup> - 1.5 V (at 25°C), but either or both inputs can go to 32 V without damage (26 V for LM2904), independent of the magnitude of V<sup>+</sup>.
- Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
- Short circuits from the output to V<sup>+</sup> can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V<sup>+</sup>. At values of supply voltage in excess of +15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Copyright © 2000–2014, Texas Instruments Incorporated

Submit Documentation Feedback

7

Product Folder Links: LM158-N LM258-N LM2904-N LM358-N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

DS90BT31—JANUARY 2000—REVISED DECEMBER 2014

www.ti.com

## Electrical Characteristics: LM358, LM2904 (continued)

 $V^+ = +5.0\text{ V}$ , See<sup>(1)</sup>, unless otherwise stated

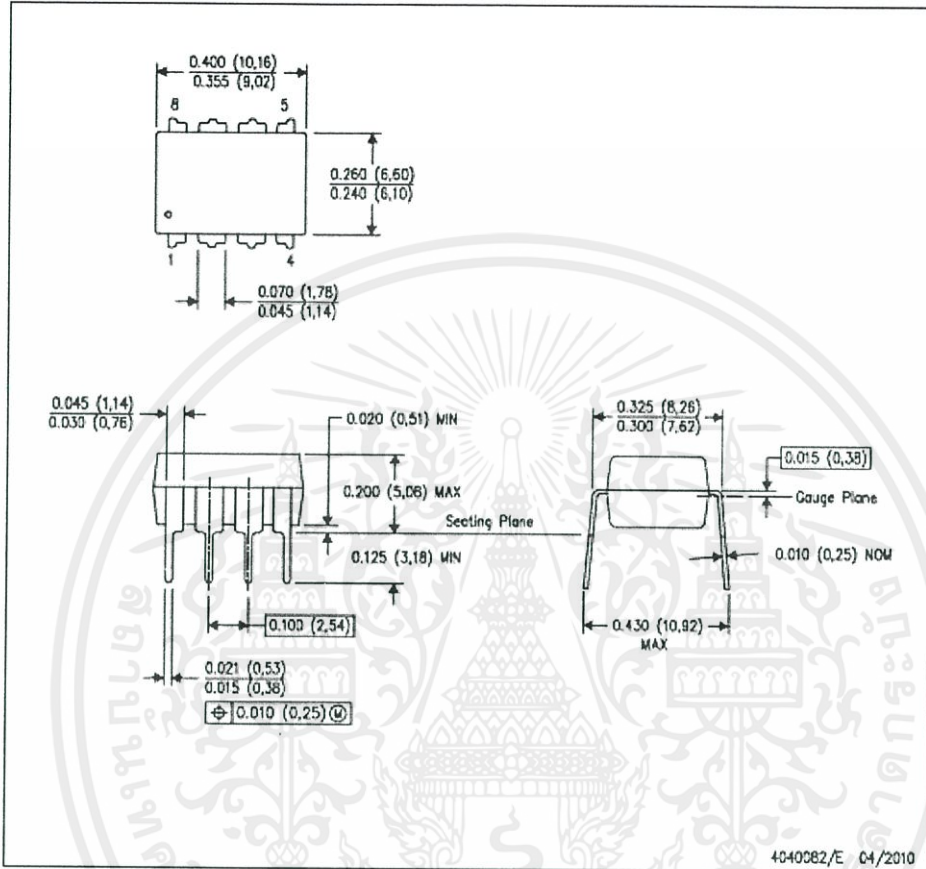
PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM358			LM2904			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$ , See <sup>(4)</sup> (LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$ )	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15\text{ V}$							V/mV	
	( $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$ )	15			15				
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$								
Output Voltage Swing	$V^+ = 30\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ (LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$ ), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	26			22			V	
Swing	$V^+ = 5\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$		5	20		5	100	mV	
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = 1\text{ V}$ , $V_{IN}^- = 0\text{ V}$ , $V^+ = 15\text{ V}$ , $V_O = 2\text{ V}$			10			20	mA
	Sink	$V_{IN}^- = 1\text{ V}$ , $V_{IN}^+ = 0\text{ V}$ , $V^+ = 15\text{ V}$ , $V_O = 2\text{ V}$			5			8	
					5			8	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MECHANICAL DATA

P (R-PDIP-8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE



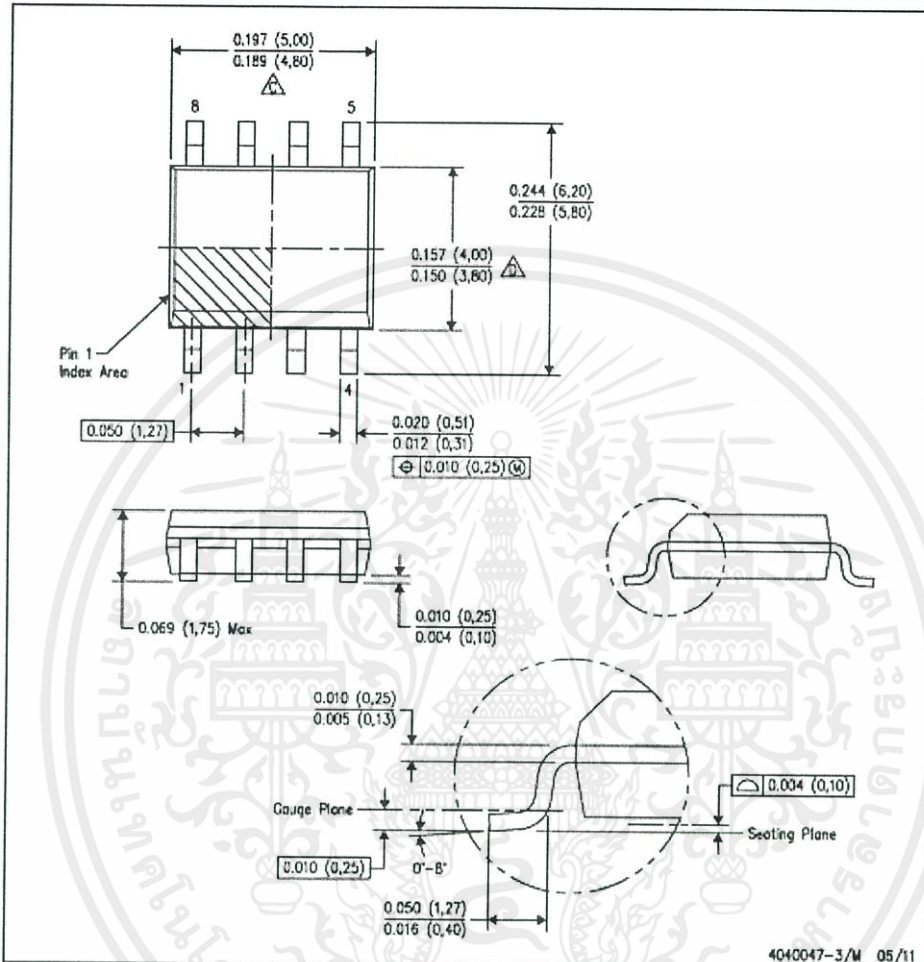
- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MECHANICAL DATA

D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.006 (0,15) each side.
  - Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.017 (0,43) each side.
  - Reference JEDEC MS-012 variation AA.


**TEXAS**  
**INSTRUMENTS**  
 www.ti.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP122

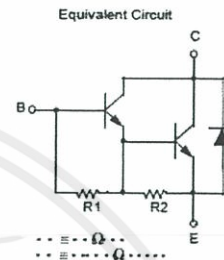
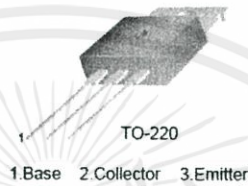


November 2014

## TIP120 / TIP121 / TIP122 NPN Epitaxial Darlington Transistor

### Features

- Medium Power Linear Switching Applications
- Complementary to TIP125 / TIP126 / TIP127



### Ordering Information

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
TIP120	TIP120	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP120TU	TIP120	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail
TIP121	TIP121	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP121TU	TIP121	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail
TIP122	TIP122	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP122TU	TIP122	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail

### Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage	TIP120	60
		TIP121	80
		TIP122	100
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage	TIP120	60
		TIP121	80
		TIP122	100
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	5	V
$I_C$	Collector Current (DC)	5	A
$I_{CP}$	Collector Current (Pulse)	8	A
$I_B$	Base Current (DC)	120	mA
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
$T_{STG}$	Storage Temperature Range	-65 to 150	$^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Thermal Characteristics

Values are at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	2	W
	Collector Dissipation ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ )	65	

### Electrical Characteristics

Values are at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max.	Unit
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	TIP120	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 0$	60	V
		TIP121		80	
		TIP122		100	
$I_{CEO}$	Collector Cut-Off Current	TIP120	$V_{CE} = 30\text{ V}, I_B = 0$	0.5	mA
		TIP121	$V_{CE} = 40\text{ V}, I_B = 0$	0.5	
		TIP122	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_B = 0$	0.5	
$I_{CBO}$	Collector Cut-Off Current	TIP120	$V_{CB} = 60\text{ V}, I_E = 0$	0.2	mA
		TIP121	$V_{CB} = 80\text{ V}, I_E = 0$	0.2	
		TIP122	$V_{CB} = 100\text{ V}, I_E = 0$	0.2	
$I_{EBO}$	Emitter Cut-Off Current	$V_{EB} = 5\text{ V}, I_C = 0$		2	mA
$h_{FE}$	DC Current Gain <sup>(1)</sup>	$V_{CE} = 3\text{ V}, I_C = 0.5\text{ A}$	1000		
		$V_{CE} = 3\text{ V}, I_C = 3\text{ A}$	1000		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage <sup>(1)</sup>	$I_C = 3\text{ A}, I_B = 12\text{ mA}$		2.0	V
		$I_C = 5\text{ A}, I_B = 20\text{ mA}$		4.0	
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage <sup>(1)</sup>	$V_{CE} = 3\text{ V}, I_C = 3\text{ A}$		2.5	V
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0,$ $f = 0.1\text{ MHz}$		200	pF

Note:

1. Pulse test:  $p_w \leq 300\ \mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Physical Dimensions

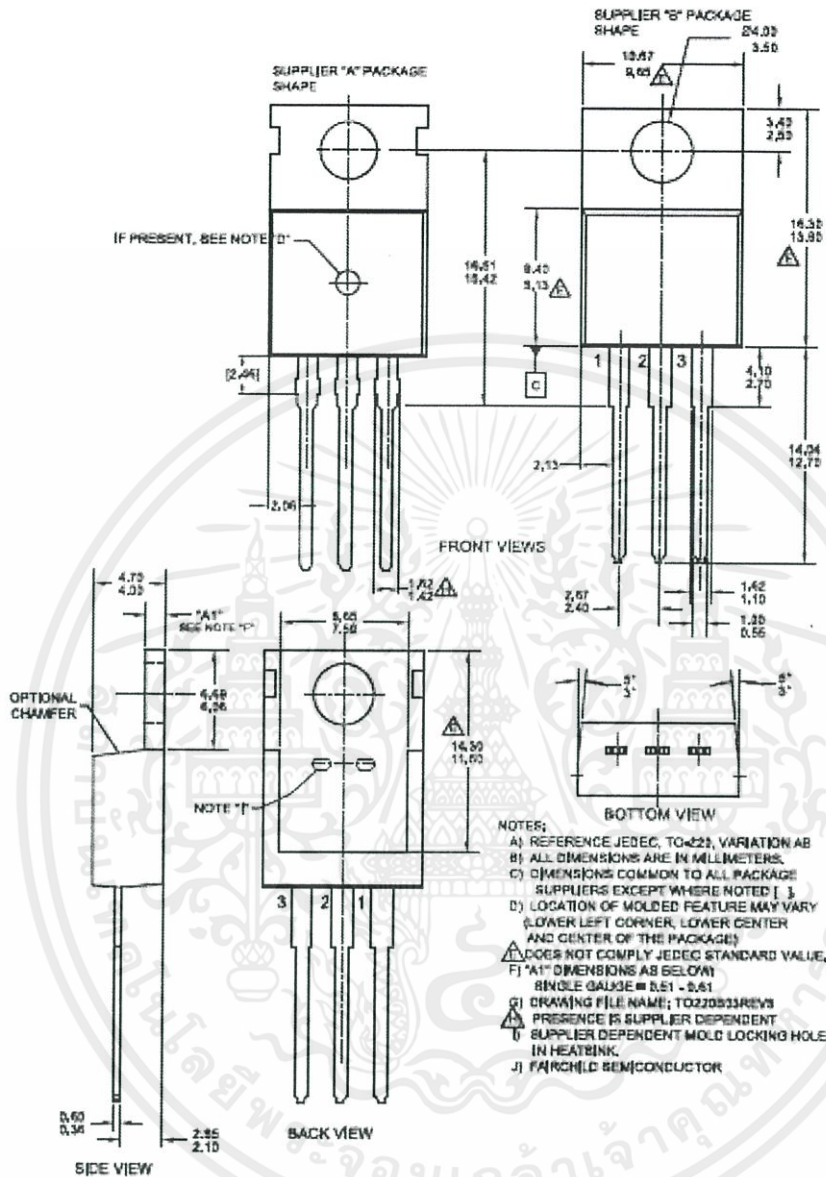


Figure 6. TO-220, MOLDED, 3LEAD, JEDEC VARIATION AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

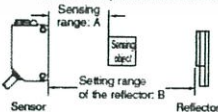
CX-421-P

# CX-400

## SPECIFICATIONS

Item	Type	Thru-beam		Retroreflective				Diffuse reflective			Narrow-view
		Long sensing range	With polarizing filter	Long sensing range	For transparent object sensing						
Model No.	NPN output	CX-411	CX-412	CX-491	CX-493	CX-481	CX-482	CX-424	CX-421	CX-422	CX-423
	PNP output	CX-411-P	CX-412-P	CX-491-P	CX-493-P	CX-481-P	CX-482-P	CX-424-P	CX-421-P	CX-422-P	CX-423-P
Sensing range		10 m 32.808 ft	15 m 49.213 ft	2 m 6.543 ft (Note 1)	5 m 16.404 ft (Note 1)	50 to 500 mm 0.1 to 2 m 1.969 to 19.685 ft (Note 1)	0.1 to 2 m 0.328 to 6.562 ft (Note 1)	100 mm 3.937 in (Note 2)	300 mm 11.811 in (Note 2)	800 mm 31.496 in (Note 2)	70 to 200 mm 2.756 to 64.961 in (Note 2)
Sensing object		φ 12 mm φ 0.472 in or more opaque object (Note 3)		φ 50 mm φ 1.969 in or more opaque, translucent or specular obj. (Note 1)	φ 50 mm φ 1.969 in or more opaque or translucent object (Note 1)	φ 50 mm φ 1.969 in or more transparent, translucent or opaque object (Note 1)		Opaque, translucent or transparent object			Opaque, translucent or transparent object (Note 1)
Hysteresis							15 % or less of operation distance				
Repeatability (perpendicular to sensing axis)		0.5 mm 0.020 in or less					1 mm 0.039 in or less			0.5 mm 0.020 in or less	
Supply voltage		12 to 24 V DC ± 10 % Ripple P-P 10 % or less									
Current consumption		Emitter: 20 mA or less Receiver: 20 mA or less	Emitter: 25 mA or less Receiver: 20 mA or less	20 mA or less		25 mA or less		25 mA or less			20 mA or less
Output		<NPN output type> NPN open-collector transistor • Maximum sink current: 100 mA • Applied voltage: 30 V DC or less (between output and 0 V) • Residual voltage: 1 V or less (at 100 mA sink current) 0.4 V or less (at 16 mA sink current)					<PNP output type> PNP open-collector transistor • Maximum source current: 100 mA • Applied voltage: 30 V DC or less (between output and +V) • Residual voltage: 1 V or less (at 100 mA source current) 0.4 V or less (at 16 mA source current)				
Output operation		Switchable either Light-ON or Dark-ON									
Short-circuit protection		Incorporated									
Response time		1 ms or less									
Operation indicator		Orange LED (lights up when the output is ON)(incorporated on the receiver for thru-beam type)									
Stability indicator		Green LED (lights up under stable light received condition or stable dark condition)(incorporated on the receiver for thru-beam type)									
Power indicator		Green LED (lights up when the power is ON)(incorporated on the emitter)									
Sensitivity adjuster		Continuously variable adjuster (incorporated on the receiver for thru-beam type)									
Automatic interference prevention function		The sets of sensors can be mounted close together with interference prevention filter. (Sensing range 5 to 100 ft)		Incorporated (Two units of sensors can be mounted close together.)							
Protection		IP67 (IEC)									
Ambient temperature		- 25 to + 55 °C - 13 to + 131 °F (No dew condensation or icing allowed). Storage: - 30 to + 70 °C - 22 to + 158 °F									
Ambient humidity		35 to 85 % RH, Storage: 35 to 85 % RH									
Ambient illuminance		Sunlight: 10,000 lx at the light-receiving face, incandescent light: 3,000 lx at the light-receiving face									
EMC		EN 60947-5-2									
Voltage withstandability		1,000 V AC for one min. between all supply terminals connected together and enclosure									
Insulation resistance		20 M Ω, or more, with 250 V DC megger between all supply terminals connected together and enclosure									
Vibration resistance		10 to 500 Hz frequency, 1.5 mm 0.059 in double amplitude (10 G max.) in X, Y and Z directions for two hours each									
Shock resistance		500 ms <sup>2</sup> acceleration (50 G approx.) in X, Y and Z directions for three times each									
Emitting element (modulated)		Red LED	Infrared LED	Red LED		Infrared LED					Red LED
Material		Enclosure: PBT (polybutylene terephthalate), Lens: acrylic (CX-481): polycarbonate, Front cover: acrylic (CX-481): polycarbonate									
Cable		0.2 mm <sup>2</sup> 3-core (thru-beam type emitter: 2-core) cable type, 2 m 6.562 ft long									
Cable extension		Extension up to total 100 m 328.084 ft is possible with 0.3 mm <sup>2</sup> , or more, cable (thru-beam type: both emitter and receiver)									
Weight		50 g approx. (Emitter of thru-beam type: 45 g approx.)									
Accessories		RF-230 (Reflector): 1 pc.									

Notes: 1) The sensing range and the sensing object of the retroreflective type sensor are specified for the RF-230 reflector. The sensing range represents the actual sensing range of the sensor. The sensing ranges itemized in 'A' of the table below may vary depending on the shape of sensing object. Be sure to check the operation with the actual sensing object.



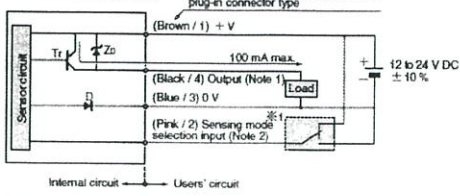
	CX-491	CX-493	CX-481	CX-482
A	3 m 9.843 ft	5 m 16.404 ft	50 to 500 mm 1.969 to 19.685 ft	0.1 to 2 m 0.328 to 6.562 ft
B	0.1 to 3 m 0.328 to 9.843 ft	0.1 to 5 m 0.328 to 16.404 ft	100 to 500 mm 3.937 to 19.685 ft	0.8 to 2 m 2.625 to 6.562 ft

2) The sensing range of the diffuse reflective type sensor is specified for white non-glossy paper (200 × 200 mm 7.874 × 7.874 in) as the object.  
 3) If slit masks (optional) are fitted, an object of φ 0.5 mm φ 0.020 in (using round slit mask) can be detected.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PNP output type**

**I/O circuit diagram**

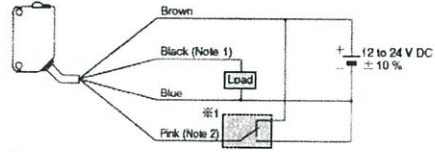


Notes: 1) The emitter of the thru-beam type sensor does not incorporate the output.  
 2) Sensing mode selection input is incorporated only for the CX-44□-P adjustable range reflective type. When using the CX-44□-P, be sure to wire the sensing mode selection input (pink / 2).

※1  
 \* Sensing mode selection input  
 BGS function: Connect to 0 V  
 FGS function: Connect to +V

Symbols ... D : Reverse supply polarity protection diode  
 Zr: Surge absorption zener diode  
 Tr: PNP output transistor

**Wiring diagram**

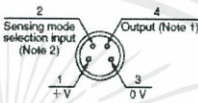


Notes: 1) The emitter of the thru-beam type sensor does not incorporate the black wire.  
 2) The pink wire is incorporated only for the CX-44□-P adjustable range reflective type. When using the CX-44□-P, be sure to wire the pink wire.

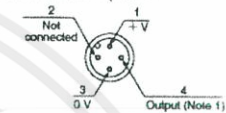
※1  
 \* Sensing mode selection input  
 BGS function: Connect to 0 V  
 FGS function: Connect to +V

**Connector pin position**

**M8 plug-in connector type**



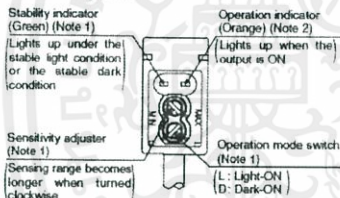
**M12 pigtailed type**



Notes: 1) The emitter of the thru-beam type sensor does not incorporate the output.  
 2) Sensing mode selection input is incorporated only for the CX-44□-P adjustable range reflective type. When using the CX-44□-P, be sure to wire the sensing mode selection input (pink / 2).

**CX-41□/42□  
 CX-49□/48□**

**Functional description**



Notes: 1) Not incorporated on the thru-beam type sensor emitter.  
 2) It is the power indicator (Green LED)(lights up when the power is ON) for the thru-beam type sensor emitter.

**Operation mode switch**

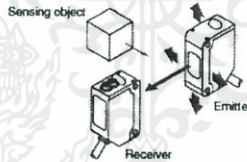
Operation mode switch	Description
	Light-ON mode is obtained when the operation mode switch (located on the receiver for the thru-beam type) is turned fully clockwise (L side).
	Dark-ON mode is obtained when the operation mode switch (located on the receiver for the thru-beam type) is turned fully counterclockwise (D side)

**Beam alignment**

**Thru-beam type sensor**

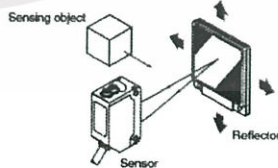
- 1) Set the operation mode switch to the Light-ON mode position (L side).
- 2) Placing the emitter and the receiver face to face along a straight line, move the emitter in the up, down, left and right directions, in order to determine the range of the light received condition with the help of the operation indicator (orange). Then, set the emitter at the center of this range.

- 3) Similarly, adjust for up, down, left and right angular movement of the emitter.
- 4) Further, perform the angular adjustment for the receiver also.
- 5) Check that the stability indicator (green) lights up.
- 6) Choose the operation mode, Light-ON or Dark-ON, as per your requirement, with the operation mode switch.



**Retroreflective type sensor**

- 1) Set the operation mode switch to the Light-ON mode position (L side).
- 2) Placing the sensor and the reflector face to face along a straight line, move the reflector in the up, down, left and right directions, in order to determine the range of the light received condition with the help of the operation indicator (orange). Then, set the reflector at the center of this range.
- 3) Similarly, adjust for up, down, left and right angular movement of the reflector.
- 4) Further, perform the angular adjustment for the sensor also.
- 5) Check that the stability indicator (green) lights up.
- 6) Choose the operation mode, Light-ON or Dark-ON, as per your requirement, with the operation mode switch.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CX-400

## PRECAUTIONS FOR PROPER USE

CX-41□/42□  
CX-49□/48□

### Sensitivity adjustment

Step	Sensitivity adjuster	Description
①		Turn the sensitivity adjuster fully counter-clockwise to the minimum sensitivity position, MIN.
②		In the light received condition, turn the sensitivity adjuster slowly clockwise and confirm the point ㉑ where the sensor enters the 'Light' state operation.
③		In the dark condition, turn the sensitivity adjuster further clockwise until the sensor enters the 'Light' state operation and then bring it back to confirm point ㉒ where the sensor just returns to the 'Dark' state operation. If the sensor does not enter the 'Light' state operation even when the sensitivity adjuster is turned fully clockwise, the position is point ㉒.
④		The position at the middle of point ㉑ and ㉒ is the optimum sensing position.

Note: Use the 'minus' adjusting screwdriver (please arrange separately) to turn the adjuster slowly. Turning with excessive strength will cause damage to the adjuster.

	Light received condition	Dark condition
Thru-beam type		
Retroreflective type		
Diffuse reflective type		

### Relation between output and indicators

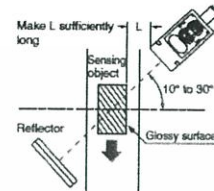
In case of Light-ON			Sensing condition	In case of Dark-ON		
Stability indicator	Operation indicator	Output		Output	Operation indicator	Stability indicator
●	●	ON	Stable light receiving	OFF	●	●
●	●	ON	Unstable light receiving	OFF	●	●
●	●	OFF	Unstable dark receiving	ON	●	●
●	●	OFF	Stable dark receiving	ON	●	●

● : lights up ● : lights off

### Retroreflective type sensor (except CX-491□)

Please take care of the following points when detecting materials having a gloss.

- Make L, shown in the diagram, sufficiently long.
- Install at an angle of 10 to 30 degrees to the sensing object.



### Retroreflective type sensor with polarizing filters (CX-491□)

If a shiny object is covered or wrapped with a transparent film, such as those described below, the retroreflective type sensor with polarizing filters may not be able to detect it. In that case, follow the steps given below.

#### Example of sensing objects

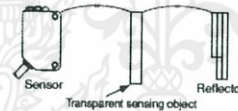
- Can wrapped by clear film
- Aluminum sheet covered by plastic film
- Gold or silver color (specular) label or wrapping paper

#### Steps

- Tilt the sensor with respect to the sensing object while fitting.
- Reduce the sensitivity.
- Increase the distance between the sensor and the sensing object.

### Retroreflective type sensor for transparent object sensing (CX-48□)

Optimum sensing is possible when the position of the transparent sensing object is set at the center of the sensor and the reflector. If the sensing position is set near the sensor or the reflector, the sensing may be unstable. In this case, set the sensing position at the center of the sensor and the reflector.



- When the sensor detects an uneven plastic receptacle or glass bottle, the received-light amount may differ with the sensing position or direction. Adjust the sensitivity after confirming the stable sensing condition by turning the sensing object, etc.
- When sensing pipe-shaped transparent sensing object, set it in a standing, not lying, position as shown in Figure A. The sensor may fail to detect a lying object as shown in Figure B.

