

การประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ  
AREA ESTIMATION OF OBJECTS USING IMAGE PROCESSING



ณัฐพล ปัญญาไว  
ธนา นาคนาวา  
วรพธฤต เกษมสานต์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

การประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ  
AREA ESTIMATION OF OBJECTS USING IMAGE PROCESSING



ณัฐพล ปัญญาไว  
ธนา นาคนาวา  
วรทฤต เกษมสานต์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือดัดแปลงโดยไม่ได้รับอนุญาต

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# AREA ESTIMATION OF OBJECTS USING IMAGE PROCESSING



NATTAPON PANYAWAI  
THANA NAKNAWA  
VAROTARIT KASEAMSAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในชื่อของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์      การประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ  
AREA ESTIMATION OF OBJECTS USING IMAGE PROCESSING

นักศึกษาผู้จัดทำ      นายณัฐพล                      ปัญญาไว                      รหัสนักศึกษา      53010490  
   นายธนา                              นาคนาวา                      รหัสนักศึกษา      53010674  
   นายวรทฤต                      เกษมสานต์                      รหัสนักศึกษา      53011398

ปริญญา                      วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา                      วิศวกรรมอัตโนมัติ  
ปีการศึกษา                      2556

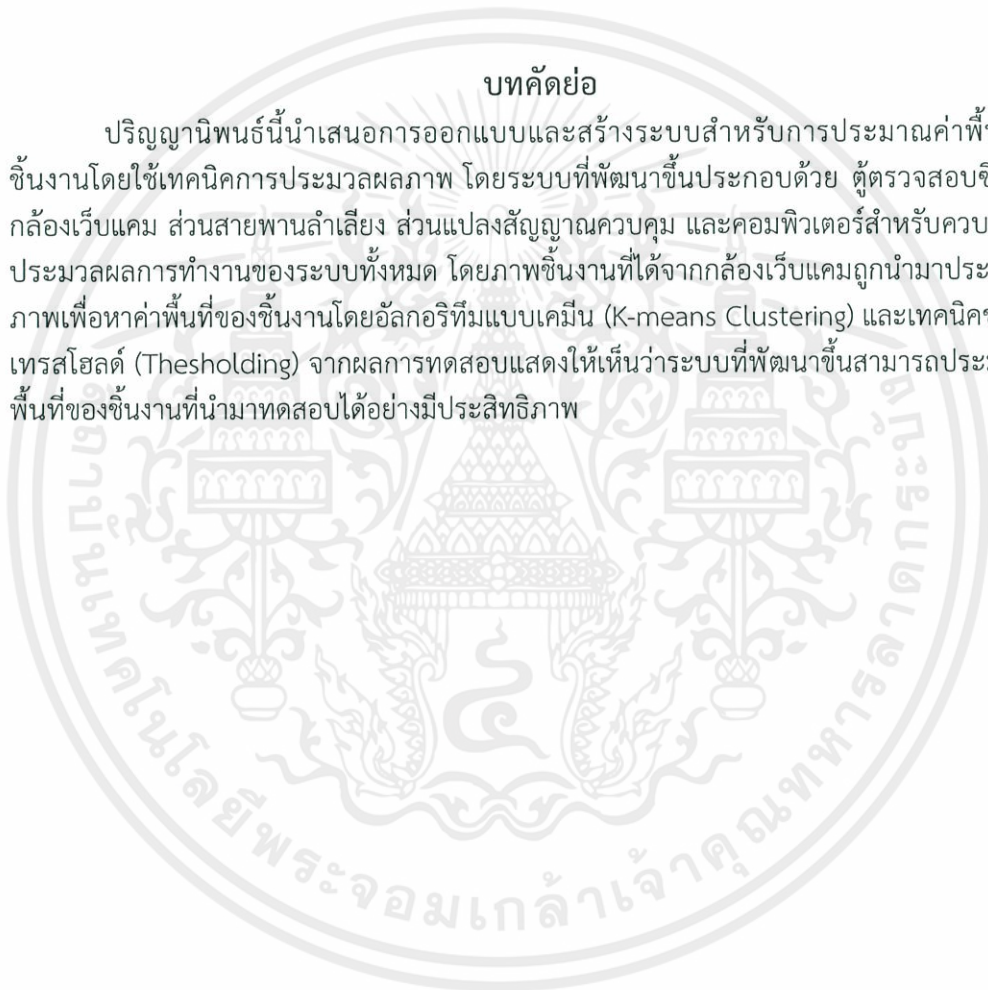
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ไสว พงศ์สวัสดิ์	
ดร. อภินัย ฤกษ์รัตน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ		
	AREA ESTIMATION OF OBJECTS USING IMAGE PROCESSING		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณัฐพล	ปัญญาไว	รหัสนักศึกษา 53010490
	นายธนา	นาคนาวา	รหัสนักศึกษา 53010674
	นายวรทฤต	เกษมสานต์	รหัสนักศึกษา 53011398
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ไสว	พงศ์สวัสดิ์	
	ดร. อภินัย	ฤกษ์รัตน์	
ปีการศึกษา	2556		

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบสำหรับการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย ผู้ตรวจสอบซึ่งติดตั้งกล้องเว็บแคม ส่วนสายพานลำเลียง ส่วนแปลงสัญญาณควบคุม และคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมและประมวลผลการทำงานของระบบทั้งหมด โดยภาพชิ้นงานที่ได้จากกล้องเว็บแคมถูกนำมาประมวลผลภาพเพื่อหาค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยอัลกอริทึมแบบเคมีน (K-means Clustering) และเทคนิคของการเทรชโฮลด์ (Thesholding) จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่นำมาทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

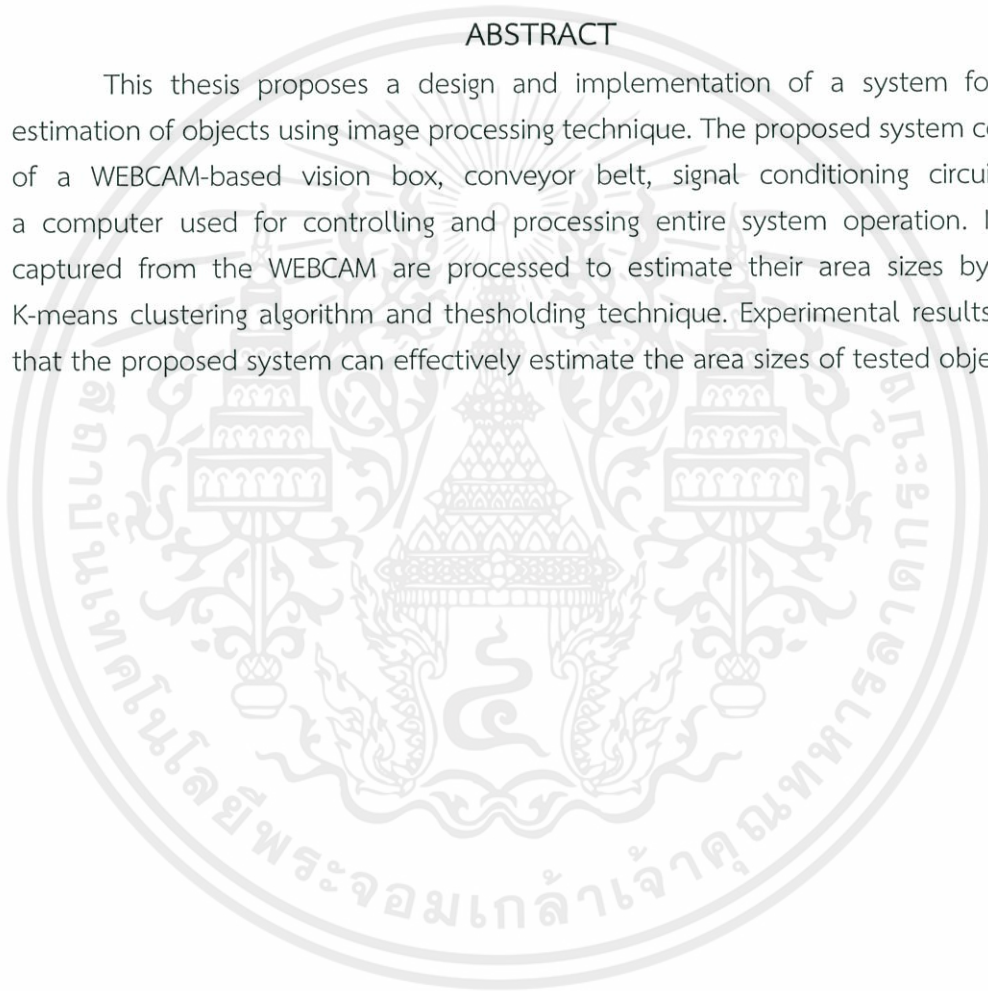


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	AREA ESTIMATION OF OBJECTS USING IMAGE PROCESSING	
Authors	Mr. Nattapon	Panyawai
	Mr. Thana	Naknawa
	Mr. Varottarit	Kaseamsan
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr. Sawai	Pongswatd
	Dr. Apinai	Rerkratn
Year	2013	

### ABSTRACT

This thesis proposes a design and implementation of a system for area estimation of objects using image processing technique. The proposed system consists of a WEBCAM-based vision box, conveyor belt, signal conditioning circuit and a computer used for controlling and processing entire system operation. Images captured from the WEBCAM are processed to estimate their area sizes by using K-means clustering algorithm and thesholding technique. Experimental results show that the proposed system can effectively estimate the area sizes of tested objects.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณในความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจากอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทั้งด้านคำแนะนำข้อมูลต่างๆรวมถึงด้านเครื่องมืออุปกรณ์ สำหรับการทำให้ปริญญานิพนธ์ สุดทำยนี้ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ไสว พงศ์สวัสดิ์และ ดร. อภินัย ฤกษ์รัตน์ ผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ

ขอขอบคุณผู้แต่งหนังสือและเอกสารอ้างอิงต่างๆที่คณะผู้จัดทำนำมาใช้อ้างอิงเพื่อทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

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

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขต.....	1
1.4 วิธีดำเนินการ.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ตารางการทำงาน.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ซอฟต์แวร์.....	6
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับมาตรฐานของสี.....	6
2.3.1 ระบบสีแบบ $L^*a^*b^*$ .....	7
2.3.2 ระบบสีแบบ RGB.....	7
2.4 การแบ่งกลุ่มแบบ K – Means Cluster Analysis.....	8
2.5 การแบ่งขีดของข้อมูลด้วย Thresholding.....	9
2.6 การจัดแสงให้กับชิ้นงานที่นำมาทดสอบ.....	10
2.6.1 การจัดแสงด้านหน้า.....	11
2.6.2 การจัดแสงด้านหลัง.....	11
2.6.3 การจัดแสงตามลักษณะโครงสร้างวัตถุ.....	11
2.6.4 การแก้ปัญหาเรื่องแสงสำหรับรูปแบบการจัดแสงด้านหน้า.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพที่นำเสนอ.....	17
3.1 กล่าวนำ .....	17
3.2 โครงสร้างของระบบที่นำเสนอ.....	17
3.2.1 ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการ์ดอินเตอร์เฟส .....	20
3.2.2 ส่วนของฮาร์ดแวร์ .....	20
3.2.3 ส่วนของซอฟต์แวร์.....	20
3.3 ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการ์ดอินเตอร์เฟส .....	20
3.3.1 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน .....	20
3.3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์สำหรับ หมุนสายพาน .....	21
3.3.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้ในการ คัดแยกชิ้นงาน .....	22
3.3.4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแหล่งจ่ายไฟ.....	23
3.3.5 การ์ดอินเตอร์เฟส .....	23
3.4 รายละเอียดผู้ตรวจสอบชิ้นงาน .....	26
3.4.1 หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ต.....	27
3.4.2 กล้องเว็บแคม.....	29
3.5 ระบบสายพานลำเลียงคัดแยกชิ้นงาน.....	30
3.5.1 คาปาซิเตอร์มอเตอร์.....	31
3.5.2 ส่วนคัดแยกชิ้นงาน.....	32
3.5.3 มอเตอร์เซอร์โว.....	32
3.5.3.1 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์.....	34
3.5.3.2 ความเร็วในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์.....	36
3.5.3.3 เซอร์โวมอเตอร์ที่เลือกใช้ .....	36
3.6 โปรแกรมในการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ.....	36
3.6.1 อัลกอริทึมในการแยกสีของชิ้นงาน.....	37
3.6.2 อัลกอริทึมในการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเป็นเจ้าของโดยผู้อื่น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดสอบระบบ.....	41
4.1 กล่าวนำ .....	41
4.2 การทดสอบโปรแกรมในการแยกสีของชิ้นงาน .....	41
4.3 การทดสอบโปรแกรมในการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน.....	42
4.4 การทดสอบโปรแกรมเพื่อการหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการ ..... 43	
ประมวลผลภาพ	
4.4.1 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผล .....43	
ภาพค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่มีขนาดต่างๆ	
4.4.1.1 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาพื้นที่ .....	43
โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม	
4.4.1.2 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาพื้นที่ .....	46
โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงวงกลม	
4.4.1.3 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาพื้นที่ .....	48
โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยม	
4.4.1.4 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาพื้นที่ .....	51
โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงที่ไม่สมมาตร	
4.4.2 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผล .....54	
ภาพค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่มีสีต่างกัน	
4.5 การทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับชิ้นงานแบบสองสี.....	57
4.5.1 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผล .....57	
ภาพค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่มีสองสี	
4.5.2 การทดสอบหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นที่ชิ้นงานโดย.....62	
การวางที่ต่างกัน	
4.6 การทดสอบโปรแกรมเพื่อหาค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากเหตุปัจจัยภายนอก .....	66
4.6.1 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการ .....	66
ประมวลผลภาพจากการเคลื่อนที่ตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน	
4.6.2 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการ .....	69
ประมวลผลภาพจากชิ้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไป	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 การประยุกต์ใช้งานโปรแกรมในการหาพื้นที่ด้วยชิ้นงานที่มีองค์ประกอบ ..... 75	
ที่ไม่สามารถวัดค่าพื้นที่ได้ด้วยวิธีการวัดทั่วไป	
<b>บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>84</b>
5.1 บทสรุป .....	84
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	84
เอกสารอ้างอิง .....	85
ภาคผนวก .....	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางการทำงาน .....	3
2.1 ข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีในการแก้ปัญหาการจัดแสงด้านหน้า .....	16
3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานในระบบที่นำเสนอ .....	18
3.2 คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟส .....	25
3.3 คุณสมบัติของกล่องเว็บแคมที่เลือกใช้ .....	29
3.4 คุณสมบัติของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ที่เลือกใช้ .....	31
4.1 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม .....	44
4.2 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ ด้วยรูปทรงวงกลม .....	46
4.3 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยม .....	49
4.4 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ ด้วยรูปทรงที่ไม่สมมาตร .....	53
4.5 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ ด้วยชิ้นงานที่มีสีต่างกัน .....	56
4.6 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ ด้วยชิ้นงาน (A) .....	58
4.7 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ ด้วยชิ้นงาน (B) .....	59
4.8 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ ด้วยชิ้นงาน (C) .....	60
4.9 ผลการทดสอบหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยการวางที่ต่างกัน ด้วยชิ้นงาน (A) .....	63
4.10 ผลการทดสอบหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยการวางที่ต่างกัน ด้วยชิ้นงาน (A) .....	64
4.11 ผลการทดสอบหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยการวางที่ต่างกัน ด้วยชิ้นงาน (B) .....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีให้คำปรึกษา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพ..... 68 จากการเคลื่อนตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน	68
4.13 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพ..... 72 จากชิ้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไปของชิ้นงาน (I)	72
4.14 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพ..... 73 จากชิ้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไปของชิ้นงาน (II)	73
4.15 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพ..... 74 จากชิ้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไปของชิ้นงาน (III)	74
4.16 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ก. .... 76	76
4.17 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ข. .... 78	78
4.18 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ค. .... 79	79
4.19 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ง. .... 80	80
4.20 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ จ. .... 82	82
4.21 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ฉ. .... 83	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยเทคนิคประมวลผลภาพ.....	2
2.1 ตัวอย่างการใช้งานเทคนิคประมวลผลภาพในอุตสาหกรรม.....	4
2.2 ส่วนประกอบของการประมวลผลภาพ .....	5
2.3 ซอฟต์แวร์ MATLAB .....	6
2.4 L*a*b color chart.....	7
2.5 ระบบสี RGB .....	8
2.6 ตัวอย่างการใช้ K – Means Cluster Analysis.....	9
2.7 ตัวอย่างการแบ่งขีดของข้อมูลด้วย Thresholding .....	10
2.8 รูปแบบการจัดแสงด้านหน้า .....	11
2.9 รูปแบบการจัดแสงด้านหลัง.....	11
2.10 รูปแบบการจัดแสงตามลักษณะโครงสร้างของวัตถุ .....	12
2.11 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 1 แบบที่ 1 .....	13
2.12 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 1 แบบที่ 2 .....	13
2.13 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 2.....	14
2.14 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 3 แบบที่ 1 .....	14
2.15 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 3 แบบที่ 2 .....	15
2.16 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 4.....	15
2.17 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 5.....	16
3.1 ระบบประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ .....	17
3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบประมาณค่าพื้นที่โดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ.....	19
3.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน .....	21
3.4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์สำหรับหมุนสายพาน .....	21
3.5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้ในการคัดแยกชิ้นงาน.....	22
3.6 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแหล่งจ่ายไฟ .....	23
3.7 การ์ดอินเตอร์เฟซ National Instrument รุ่น USB-6009 .....	23
3.8 ลักษณะโครงสร้างของการ์ดอินเตอร์เฟซรุ่น USB-6009.....	24
3.9 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ในการควบคุมระบบสายพานลำเลียงและคัดแยกชิ้นงาน .....	26
3.10 การออกแบบตู้ตรวจสอบชิ้นงาน .....	27
3.11 ช่วงความยาวคลื่นของหลอดยูวี.....	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 ตัวอย่างหลอดไฟที่ให้แสงอัลตราไวโอเลต.....	28
3.13 หลอดद्यูวี่ที่เลือกใช้งาน.....	29
3.14 กล้องเว็บแคม.....	30
3.15 การออกแบบสายพานลำเลียง.....	30
3.16 วงจรการทำงานคาปาซิเตอร์ร่นมอเตอร์.....	31
3.17 คาปาซิเตอร์มอเตอร์ที่ใช้งาน.....	31
3.18 การออกแบบส่วนคัดแยกชิ้นงาน.....	32
3.19 เซอร์โวมอเตอร์.....	33
3.20 ส่วนประกอบต่างๆในเซอร์โวมอเตอร์.....	33
3.21 สัญญาณพัลส์ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์.....	34
3.22 เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางขวา.....	35
3.23 เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางซ้าย.....	35
3.24 เซอร์โวมอเตอร์อยู่กึ่งกลาง.....	35
3.25 เซอร์โวมอเตอร์ที่เลือกใช้.....	36
3.26 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมในการแยกสีของชิ้นงาน.....	37
3.27 ภาพชิ้นงานเมื่อทำการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต.....	38
3.28 ภาพชิ้นงานทั้งหมดก่อนทำการแยกสี.....	38
3.29 ภาพชิ้นงานหลังทำการแยกสี.....	38
3.30 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมในการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน.....	39
3.31 ภาพชิ้นงานทั้งหมดที่จะนำไปคำนวณหาค่าพื้นที่.....	40
3.32 ภาพชิ้นงานเมื่อทำการแยกสีและคำนวณ.....	40
4.1 ภาพก่อนการแยกสีของชิ้นงาน.....	41
4.2 ภาพหลังการแยกสีของชิ้นงาน.....	42
4.3 รูปการทดสอบการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน.....	42
4.4 ตัวอย่างชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยม.....	43
4.5 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่รูปทรงสี่เหลี่ยม.....	45
4.6 ตัวอย่างชิ้นงานรูปทรงกลม.....	46
4.7 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่รูปทรงกลม.....	48
4.8 ตัวอย่างชิ้นงานรูปทรงสามเหลี่ยม.....	49

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่รูปทรงสามเหลี่ยม.....	51
4.10 ชิ้นงาน (ก) ค่าพื้นที่ 24 ตารางเซนติเมตร.....	52
4.11 ชิ้นงาน (ข) ค่าพื้นที่ 32 ตารางเซนติเมตร.....	52
4.12 ชิ้นงาน (ค) ค่าพื้นที่ 50 ตารางเซนติเมตร.....	52
4.13 ชิ้นงาน (ง) ค่าพื้นที่ 28 ตารางเซนติเมตร.....	53
4.14 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ชิ้นงานรูปทรงที่ไม่สมมาตร.....	54
4.15 ชิ้นงาน (จ) สีเหลืองพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร.....	54
4.16 ชิ้นงาน (ฉ) สีเขียวพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร.....	55
4.17 ชิ้นงาน (ช) สีฟ้าพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร.....	55
4.18 ชิ้นงาน (ซ) สีขาวพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร.....	55
4.19 ชิ้นงาน (ฌ) สีแดงพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร.....	55
4.20 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ชิ้นงานสีต่างกัน.....	56
4.21 ชิ้นงาน (A) สัดส่วนสีแดงต่อสีขาว 50:50 ตารางเซนติเมตร.....	57
4.22 ชิ้นงาน (B) สัดส่วนสีแดงต่อสีขาว 60:40 ตารางเซนติเมตร.....	57
4.23 ชิ้นงาน (C) สัดส่วนสีแดงต่อสีขาว 52:48 ตารางเซนติเมตร.....	58
4.24 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ในชิ้นงานสองสี.....	62
4.25 การทดสอบการหมุนชิ้นงานในมุมต่างๆด้วยชิ้นงาน (A).....	63
4.26 การทดสอบการหมุนชิ้นงานในมุมต่างๆด้วยชิ้นงาน (B).....	64
4.27 การทดสอบการหมุนชิ้นงานในมุมต่างๆด้วยชิ้นงาน (C).....	65
4.28 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ในชิ้นงานสองสี.....	66
4.29 ชิ้นงาน (I) ค่าพื้นที่ 9 ตารางเซนติเมตร.....	67
4.30 ชิ้นงาน (II) ค่าพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร.....	67
4.31 ชิ้นงาน (III) ค่าพื้นที่ 30 ตารางเซนติเมตร.....	68
4.32 ค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจาก การเคลื่อนตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน.....	69
4.33 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่มีความสูง 0 มิลลิเมตร.....	69
4.34 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่มีความสูง 2 มิลลิเมตร.....	70
4.35 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่มีความสูง 4 มิลลิเมตร.....	70
4.36 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่มีความสูง 6 มิลลิเมตร.....	70

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.37 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่มีความสูง 8 มิลลิเมตร.....	71
4.38 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่มีความสูง 10 มิลลิเมตร.....	71
4.39 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร.....	71
4.40 ค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพ.....	71
จากชิ้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไปของชิ้นงาน (I)	
4.41 ค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพ.....	73
จากชิ้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไปของชิ้นงาน (II)	
4.42 ค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพ.....	74
จากชิ้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไปของชิ้นงาน (III)	
4.43 ชั้นเนื้อ ก. ....	75
4.44 ชั้นเนื้อ ก. ส่วนไขมัน.....	76
4.45 ชั้นเนื้อ ก. ส่วนเนื้อแดง.....	76
4.46 ชั้นเนื้อ ข. ....	77
4.47 ชั้นเนื้อ ข. ส่วนไขมัน.....	77
4.48 ชั้นเนื้อ ข. ส่วนเนื้อแดง.....	77
4.49 ชั้นเนื้อ ค. ....	78
4.50 ชั้นเนื้อ ค. ส่วนไขมัน.....	78
4.51 ชั้นเนื้อ ค. ส่วนเนื้อแดง.....	79
4.52 ชั้นเนื้อ ง. ....	79
4.53 ชั้นเนื้อ ง. ส่วนไขมัน.....	80
4.54 ชั้นเนื้อ ง. ส่วนเนื้อแดง.....	80
4.55 ชั้นเนื้อ จ. ....	81
4.56 ชั้นเนื้อ จ. ส่วนไขมัน.....	81
4.57 ชั้นเนื้อ จ. ส่วนเนื้อแดง.....	81
4.58 ชั้นเนื้อ ฉ. ....	82
4.59 ชั้นเนื้อ ฉ. ส่วนไขมัน.....	82
4.60 ชั้นเนื้อ ฉ. ส่วนเนื้อแดง.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

การหาค่าพื้นที่ซึ่งงานนับว่ามีความสำคัญต่อการนำไปใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและการคัดแยกสินค้าหรือผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่างๆ เช่น ระบบคัดแยกขนาดของผลส้ม แอปเปิล หรือผลไม้ต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นการหาขนาดพื้นที่ซึ่งงานจึงมีความสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบต่างๆดังที่กล่าวมา สำหรับปัจจุบันเทคนิคการประมวลผลภาพได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆมากมายเช่นการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานต่าง ๆ และการประมวลผลภาพทางการแพทย์ เป็นต้น

ดังนั้นผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพขึ้นมา เพื่อ ในการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่นำมาวัดซึ่งจะช่วยเพิ่มความรวดเร็วในการวัดเมื่อเทียบกับการวัดด้วยมือ

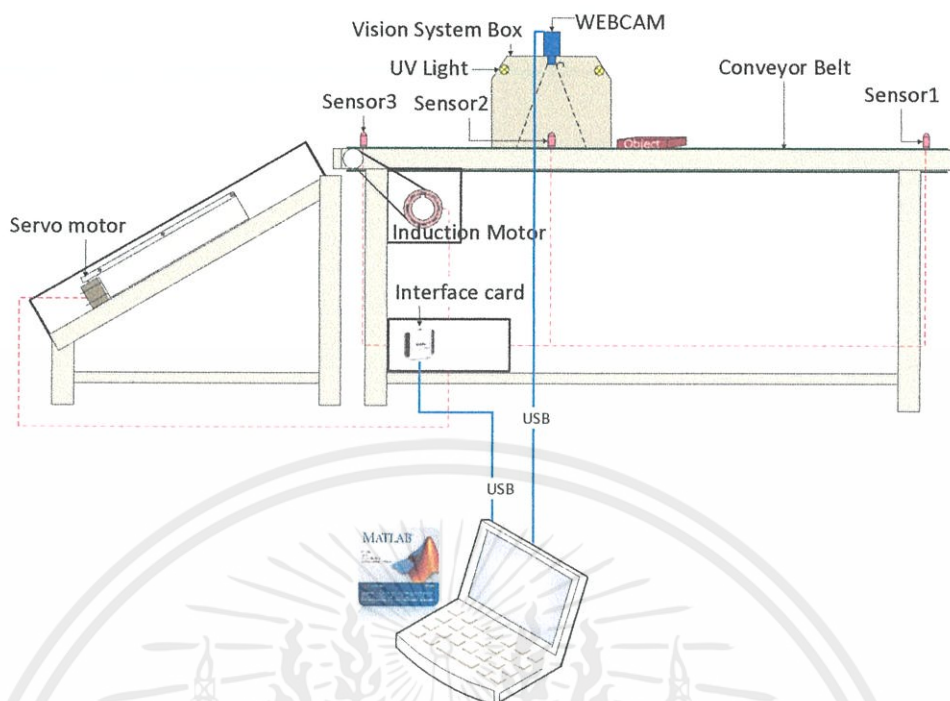
### 1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาเทคนิคในการประมาณค่าพื้นที่โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพโดยมีช่วงการทดสอบอยู่ที่ 1 ตารางเซนติเมตร ถึง 100 ตารางเซนติเมตร
2. พัฒนาเทคนิคในการวัดค่าพื้นที่โดยไม่สัมผัสชิ้นงาน
3. ศึกษาในการควบคุมระบบสายพานลำเลียงและคัดแยกชิ้นงานด้วยเกณฑ์ค่าพื้นที่และอัตราส่วนของชิ้นงาน

### 1.3 ขอบเขต

ในโครงการนี้เป็นการพัฒนาระบบในการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพมาช่วยในการตรวจสอบโดยระบบนี้พัฒนาขึ้นซึ่งประกอบไปด้วย กล้องเว็บแคม , การ์ดอินเตอร์เฟซและวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุม, คอมพิวเตอร์ และ สายพานลำเลียงคัดแยกชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ระบบประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยเทคนิคประมวลผลภาพ

#### 1.4 วิธีดำเนินการ

ในการดำเนินการจะแบ่งส่วนประกอบของการศึกษาเป็น 3 ส่วน ดังนี้

##### 1. ส่วนของซอฟต์แวร์

ใช้โปรแกรม MATLAB พัฒนาสร้างระบบวิเคราะห์และประมวลผลภาพ (Image processing) เพื่อประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงาน ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขการตัดแยกชิ้นงานและลำดับในการควบคุมสายพานตามเงื่อนไข (Sequence Control) รวมถึงส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface)

##### 2. ส่วนของฮาร์ดแวร์

จัดทำต้นแบบตู้ตรวจสอบชิ้นงาน สายพานลำเลียงและตัดแยกชิ้นงานโดยใช้แรงกล

##### 3. ส่วนของการควบคุม

ใช้การ์ดอินเตอร์เฟซเพื่อเป็นการรับค่าและสั่งการ อินพุต (Input) และ เอาต์พุต (Output) โดยค่าที่ได้จากอุปกรณ์เซนเซอร์ (Sensor) ผ่านการแปลงสัญญาณด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งไปยังการ์ดอินเตอร์เฟซ เข้าคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB เพื่อประมวลผล แสดงผล และสั่งงานส่งเอาต์พุตออกไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อแปลงสัญญาณเพื่อสั่งมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานและตัดแยกชิ้นงาน

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ระบบการประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพพร้อมด้วยระบบควบคุมสายพานลำเลียงแบบกึ่งอัตโนมัติ และระบบตัดแยกชิ้นงานด้วยเกณฑ์ค่าพื้นที่และอัตราส่วนของชิ้นงาน ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตามมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ตารางการทำงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางการทำงาน

เดือน	กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ศึกษาเกี่ยวกับระบบการประมวลผลภาพ และโปรแกรม MATLAB																								
ออกแบบและแก้ไขสายพานลำเลียง																								
ศึกษาและทดลองการควบคุมด้วยการ์ด อินเตอร์เฟซ																								
ออกแบบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์																								
ออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับสายพาน ลำเลียง																								
สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับสายพานลำเลียง และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์																								
เขียนโปรแกรมควบคุมระบบสายพานและ ประมวลผลภาพ																								
สร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (UI)																								
แก้ไขปัญหา																								
จัดทำปฏิทินพันธ์																								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กล่าวนำ [1]

เทคนิคการประมวลผลภาพเป็นอีกเทคโนโลยีที่ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้งานในกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ แรกเริ่มเทคนิคประมวลผลภาพถูกใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่ออำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์สิ่งที่มีขนาดเล็ก เช่น การวิเคราะห์ขนาด และรูปร่างของเกรนในเนื้อโลหะ ต่อมาเทคนิคประมวลผลภาพได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนในปัจจุบันมีการนำเทคนิคประมวลผลภาพไปใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การจำแนกบุคคลโดยการจดจำใบหน้า, การตรวจจับความเร็วของรถ, การตรวจจับผู้บุกรุก, การประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ และการประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม

การประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมมีหลายอย่าง เช่น การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ว่าตรงกับความต้องการที่กำหนดหรือไม่, การใช้เทคนิคประมวลผลภาพในการคัดลอกโมเดลจากผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่, การวัดขนาดของวัสดุ, การอ้างอิงตำแหน่ง เช่น การกำหนดตำแหน่งในการเชื่อม, การกำหนดตำแหน่งในการขึ้นสกรู, การกำหนดตำแหน่งในการประกอบ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้งานเทคนิคประมวลผลภาพในอุตสาหกรรม : [www.pptvision.com](http://www.pptvision.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคประมวลผลภาพ (Image Processing) ทำงานโดยการนำภาพที่ได้จากกล้องมาประมวลผลโดยฟังก์ชัน และสมการทางคณิตศาสตร์ที่ต้องการเข้าไป เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ โดยสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนดังรูปที่ 2.2 คือ

- 1.) อุปกรณ์รับภาพ ทำหน้าที่จับภาพที่ต้องการเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เช่น กล้อง CCD, Scanner และรวมไปถึง ตัวแปลงสัญญาณ (Capture Card) สำหรับแปลงสัญญาณจากกล้องอนาล็อก (Analog Camera) เข้าสู่คอมพิวเตอร์
- 2.) อุปกรณ์ในการประมวลผล ทำหน้าที่ประมวลผลภาพที่รับมาจากอุปกรณ์รับภาพโดยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลอาจอยู่ในรูปคอมพิวเตอร์, ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หรือเป็นคอนโทรลเลอร์ (Controller) สำเร็จรูปสำหรับแต่ละยี่ห้อ โดยจัดเป็นชุดพร้อมใช้งานประกอบด้วย กล้อง, ตัวแปลงสัญญาณ, คอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์เพื่อต่อไปยังเอาต์พุต (Output)
- 3.) โปรแกรมประมวลผลภาพ ถือเป็นหัวใจหลักในเทคนิคประมวลผลภาพ เป็นตัวจัดการวิธีการทำงานกับภาพที่รับมา มีการปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อนการประมวลผล การใช้อัลกอริทึม และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลภาพมีหลายประเภท ทั้งแบบที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี เช่น OpenCV, OpenVIDIA หรือแบบที่มีลิขสิทธิ์ เช่น IMAQ, Scorpion และแบบที่เป็นเฟิร์มแวร์ (Firmware) ติดมากับคอนโทรลเลอร์ เช่น KEYENCE, Omron, Schneider, Siemens และซอฟต์แวร์ที่เปิดกว้างในการเขียนโปรแกรมเช่น MATLAB, LABVIEW เป็นต้น



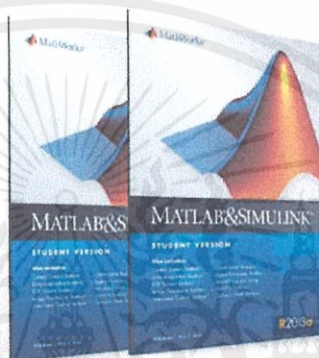
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของการประมวลผลภาพ

ระบบประมวลผลภาพที่ดีจะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์รับภาพที่เหมาะสม มีความละเอียดและความเร็วในการจับภาพเพียงพอกับงานที่ใช้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลมีความเร็วและความสามารถในการคำนวณ โปรแกรมจะต้องจัดการภาพอย่างเหมาะสม และเป็นระเบียบ รวมถึงสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในการทำงาน เช่น แสงจากภายนอกต้องไม่ไปรบกวนการทำงานของระบบ, ขนาด, ความยาวโฟกัสของเลนส์กล้อง และระบบแสงสว่างที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ซอฟต์แวร์ [2]

ซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้ในการเขียนโปรแกรมประมวลผลภาพคือโปรแกรม MATLAB ซึ่งย่อมาจาก Matrix Laboratory เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Computing) แสดงผลกราฟฟิก (Graphic) และเขียนแอปพลิเคชัน (Application) ทำให้สามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนา อัลกอริทึม สร้างแบบจำลอง และแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็วมาก ภายในตัว MATLAB ประกอบด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ เครื่องมือ (Toolbox) และฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมาก ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธี พร้อมกับคำตอบที่รวดเร็วกว่าโปรแกรมตารางคำนวณ (Spreadsheet) หรือภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น C, C++, Fortran, Java และอื่นๆ



รูปที่ 2.3 ซอฟต์แวร์ MATLAB

MATLAB สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายสาขามาก ทั้ง การประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) การสื่อสาร (Communication) การประมวลผลภาพและวิดีโอ (Image and Video Processing) ระบบควบคุม (Control System) การวัดและควบคุม (Instruments and Control) การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ (Economic) การคำนวณทางชีววิทยา (Biology) และอื่นๆ มีนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรหลายล้านคนทั้งในแวดวงการศึกษาและอุตสาหกรรมที่ใช้ MATLAB ในการคำนวณเชิงตัวเลข

## 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับมาตรฐานของสี [3]

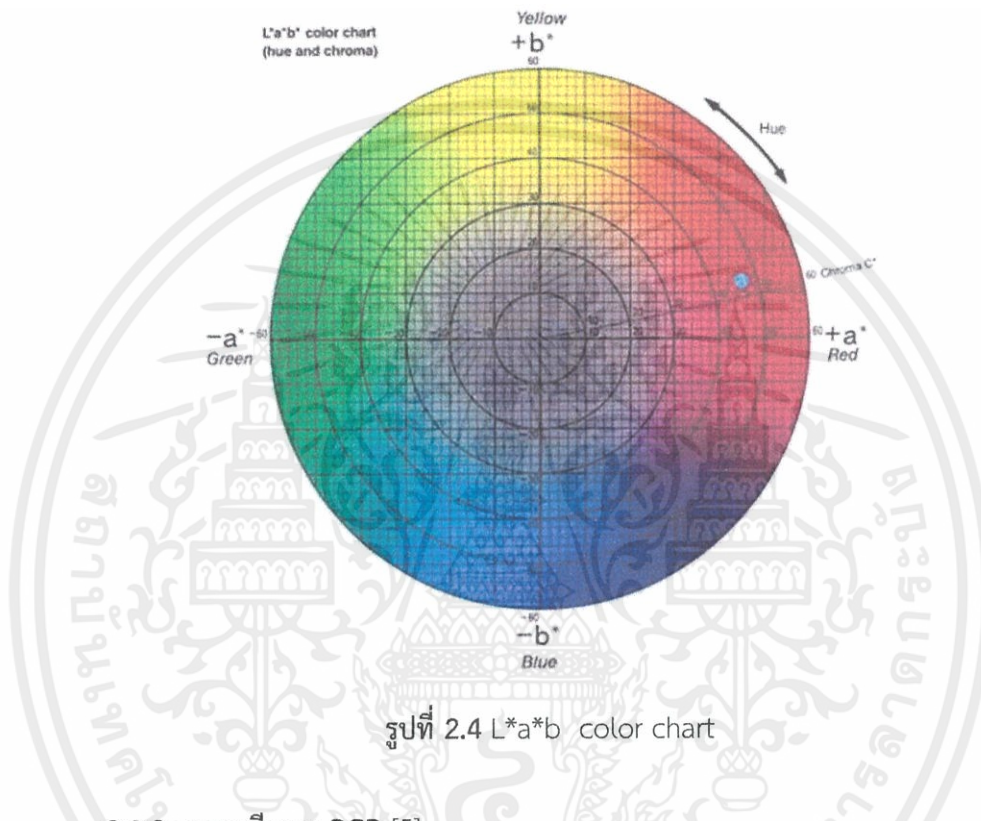
ระบบค่าของสี (color system) ในชีวิตประจำวันการบอกค่าสีของอาหาร นิยมบอกชื่อของสี เช่น สีแดง เหลือง เขียว เป็นต้น หรือเพิ่มคำอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติม เช่น อ่อน เข้ม จาง สด หรือใช้คำเปรียบเทียบกับสิ่งที่คุ้นเคย เช่น เขียวใบตองอ่อน เขียวใบเตย ขาวดอกมะลิ น้ำตาลช็อกโกแลต และอาจจะเพิ่มความรู้สึกทางด้านจิตใจเสริมด้วย เช่น ขาวบริสุทธิ์ แดงสดใส เหลืองอร่าม ซึ่งการบอกค่าของสีด้วยวิธีการดังกล่าว ไม่สามารถนำมาใช้เมื่อต้องการใช้ค่าของสีเป็นปัจจัยในการควบคุมคุณภาพอาหาร หรือควบคุมกระบวนการผลิต ดังนั้น จึงต้องมีระบบค่าของสีซึ่งเป็นที่เข้าใจตรงกัน โดยไม่ได้รับอิทธิพลจากความรู้สึกนึกคิดส่วนบุคคลระบบค่าของสีที่ใช้เป็นมาตรฐานสากล และที่นิยมเอกสารนี้เป็นใช้ในการบอกค่าสีของอาหารมีดังนี้คือ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ระบบ C.I.E. LAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบสีแบบ RGB

### 2.3.1 ระบบสีแบบ $L^*a^*b^*$ [4]

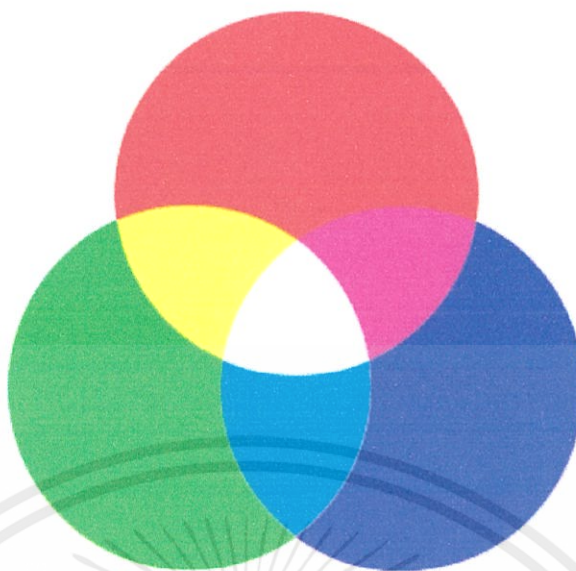
ระบบ  $L^*a^*b^*$  เป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ - L หมายถึง ค่าความสว่างมีค่า 0 – 100 ซึ่ง 0 หมายถึง สีมืดที่สุด 100 หมายถึง สว่างที่สุด a หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว +a หมายถึง แสดงความเป็นสีแดง -a หมายถึง แสดงความเป็นสีเขียว b หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน +b หมายถึง แสดงความเป็นสีเหลือง -b หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีน้ำเงิน



รูปที่ 2.4  $L^*a^*b^*$  color chart

### 2.3.2 ระบบสีแบบ RGB [5]

ระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสง ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วปริซึม จะเกิดแถบสีที่เรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) ซึ่งแยกสีตามทึ่สายตามองเห็นได้ 7 สี คือ แดง แสด เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม ม่วง ซึ่งเป็นพลังงานอยู่ในรูปของรังสี ที่มีช่วงคลื่นที่สายตา สามารถมองเห็นได้ แสงสีม่วงมีความถี่คลื่นสูงสุด คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าแสงสีม่วง เรียกว่า อัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) และคลื่นแสงสีแดง มีความถี่คลื่นต่ำที่สุด คลื่นแสง ที่ต่ำกว่า แสงสีแดงเรียกว่า อินฟราเรด (Infrared) คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าสีม่วงและต่ำกว่าสีแดงนั้น สายตาของมนุษย์ไม่สามารถรับได้ และเมื่อศึกษาดูแล้วแสงสีทั้งหมดเกิดจาก แสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ทั้งสามสีถือเป็นแม่สีของแสงเมื่อนำมาฉายรวมกันจะทำให้เกิดสีใหม่ อีก 3 สี คือ สีแดงมาเจนน้า (Magenta) สีฟ้าไซแอน (Cyan) และสีเหลือง (Yellow) และถ้าฉายแสงสีทั้งหมดรวมกันจะได้แสงสีขาวจากคุณสมบัติของแสงนี้ได้ นำมาใช้ประโยชน์ทั่วไป ในการฉายภาพยนตร์ การบันทึกภาพวิดีโอ ภาพโทรทัศน์ การสร้างไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ภาพเพื่อการนำเสนอทางจอคอมพิวเตอร์ และการจัดแสงสีในการแสดง เป็นต้นการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ระบบสี RGB

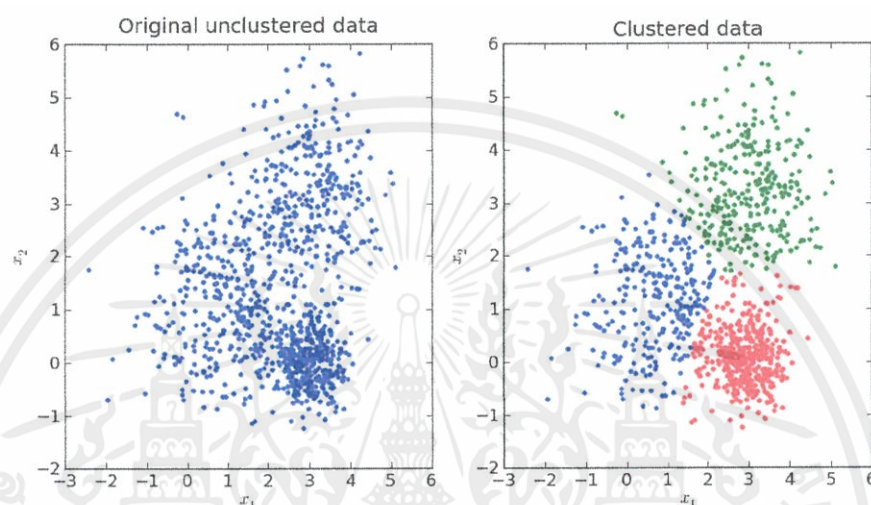
## 2.4 การแบ่งกลุ่มแบบ K – Means Cluster Analysis [6]

การจัดกลุ่มข้อมูลคือ การรวมกลุ่มของข้อมูลที่มีลักษณะเหมือนกัน รูปแบบและแนวโน้มที่เหมือนกัน โดยเริ่มจากการหาตัวแทนของกลุ่ม จากนั้นทำการเปรียบเทียบข้อมูลกับตัวแทนของแต่ละกลุ่มถ้าข้อมูลคล้ายคลึงกับตัวแทนของกลุ่มไหนก็จะถูกจัดให้อยู่กลุ่มนั้น วิธีในการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ นั้นคือ การจัดกลุ่มข้อมูลแบบโครงสร้างลำดับชั้น (Hierarchical Clustering) และ การจัดกลุ่มข้อมูลแบบแบ่งส่วน (Partitional Clustering) ซึ่งการจำแนกกลุ่มแบบ K-Means Cluster Analysis หรือที่เรียกอีกอย่างว่า การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Cluster Analysis) หรือ การแบ่งส่วน (Partitioning) โดยวิธีนี้โดยอัลกอริทึม K-Means จะตัดแบ่ง (Partition) วัตถุออกเป็น K กลุ่ม โดยแทนแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ซึ่งใช้เป็นจุดศูนย์กลาง (centroid) ของกลุ่มในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน ในขั้นแรกของการจัดกลุ่มโดยการหาค่าเฉลี่ยแบบ K ต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม (K) ที่ต้องการ และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นจำนวน K จุด สิ่งสำคัญในการกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่มนี้ ควรจะถูกกำหนดด้วยวิธีที่เหมาะสม เพราะตำแหน่งจุดศูนย์กลางเริ่มต้นที่แตกต่างกันทำให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายแตกต่างกัน ดังนั้นในทางที่ดีควรจะกำหนดจุดศูนย์กลางนี้ให้ห่างจากจุดศูนย์กลางอื่นๆ ขั้นตอนต่อไปคือสร้างกลุ่มข้อมูลและความสัมพันธ์กับจุดศูนย์กลางที่ใกล้มากที่สุด โดยแต่ละจุดจะถูกกำหนดไปยังจุดศูนย์กลางที่ใกล้เคียงที่สุดจนครบหมดทุกจุด และคำนวณจุดศูนย์กลางใหม่ โดยการหาค่าเฉลี่ยทุกวัตถุที่อยู่ในกลุ่ม หากจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มถูกเปลี่ยนตำแหน่ง จะได้จุดมีความสัมพันธ์กับกลุ่มใหม่และใกล้กับจุดศูนย์กลางใหม่ ทำซ้ำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จะสังเกตเห็นว่าผลลัพธ์จากการทำซ้ำแบบนี้ทำให้จุดศูนย์กลางเปลี่ยนตำแหน่งทุกรอบ จนกระทั่งจุดศูนย์กลางจำนวน K จุด ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงจะสิ้นสุดกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### อัลกอริทึมการจัดกลุ่มโดย K-means

1. กำหนดจำนวนกลุ่ม K กลุ่ม และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นจำนวน K จุด
2. นำวัตถุทั้งหมดจัดเข้ากลุ่มที่มีจุดศูนย์กลางที่อยู่ใกล้วัตถุชิ้นมากที่สุด โดยคำนวณจากการวัดระยะห่างระหว่างจุดที่น้อยที่สุด
3. คำนวณจุดศูนย์กลาง K จุดใหม่ โดยหาจากค่าเฉลี่ยทุกวัตถุที่อยู่ในกลุ่ม
4. ทำซ้ำในข้อ 2. จนกระทั่งจุดศูนย์กลางไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการใช้ K – Means Cluster Analysis

### 2.5 การแบ่งขีดของข้อมูลด้วย Thresholding [7]

ค่าขีดแบ่ง (Threshold Value) คือ การกำหนดค่าความเข้มที่ต้องการอ้างอิงหรือผู้ใช้สามารถกำหนดได้เองหรือใช้อัลกอริทึมในการกำหนดขีดแบ่ง ค่าของภาพที่ประกอบด้วยสีขาวและสีดำเป็นหลัก ในทางดิจิทัลหมายความว่ามีเพียง 2 สถานะ คือ 0 และ 1 ถ้าพิกเซลใดมีค่าเป็น 0 หมายความว่าพิกเซลนั้นมีสีดำ พิกเซลใดมีค่าเป็น 1 หมายความว่าพิกเซลนั้นมีสีขาว การแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาว-ดำ นอกจากนี้นี้ยังมี Threshold ที่เป็นแบบตัวแปรหรือ รูปแบบที่มีหลายระดับ และยังใช้สถิติมาช่วยใช้ร่วมด้วย

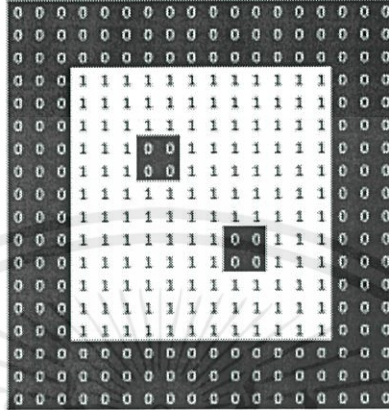
#### 1. Global Thresholding

เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกวัตถุ ที่มีความแตกต่างจากภาพพื้นหลังของภาพ การจำแนกแต่ละกลุ่มของพิกเซลว่าเป็นวัตถุเดียวกันหรือว่าเป็นภาพพื้นหลัง สามารถกำหนดค่าให้กับภาพต้นฉบับได้ ถ้าอยู่ในช่วงที่กำหนด

2. Semi Thresholding นำประโยชน์ของ Global Thresholding ที่มีการเปลี่ยนแปลงมาใช้งานค่าของแต่ละพิกเซลจะอยู่ภายในช่วงของค่า Threshold จะเก็บค่าพิกเซลเดิมไว้ หรือถ้าค่าของพิกเซลไม่อยู่ในช่วงของ Threshold จะถูกเปลี่ยนค่าให้เป็น “0”

3. Multi-Level Thresholding จากวิธีการของ Thresholding ที่กล่าวมาทั้งสองวิธีนั้น การทำเซกเมนต์กับภาพจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีขอบเขตหรือว่าพื้นที่นั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ไม่ว่าจะวิธีใดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นที่จะต้องแบ่งเซกเมนต์ (Segment) ภาพออกมามากกว่าสองส่วน Multilevel Threshold จะทำให้แบ่งภาพหรือจัดกลุ่มได้มากกว่า ยกตัวอย่างเช่นฮิสโตแกรม (histogram) ของภาพที่มีจุดสูงสุดสามจุด สามารถแบ่งจุดเพื่อทำ Threshold ได้ 2 จุดโดยช่วงที่แบ่งไม่ทับซ้อนซึ่งกันและกัน



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการแบ่งขีดของข้อมูลด้วย Thresholding : Wikipedia.org

## 2.6 การจัดแสงให้กับชิ้นงานที่นำมาทดสอบ [8],[10]

สำหรับการจัดแสงให้กับเนื้อที่นำมาทดสอบ (Lighting setup) นับว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในการถ่ายรูปชิ้นเนื้อที่นำมาทดสอบ เนื่องจากการถ่ายรูปเนื้อให้มีความชัดเจนจะต้องอาศัยการจัดวางแหล่งกำเนิดแสง ตลอดจนอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ให้เหมาะสมกับตำแหน่งของชิ้นเนื้อ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ภาพถ่ายเนื้อที่มีความชัดเจน ปราศจากเงา เพื่อนำภาพถ่ายที่ได้ไปใช้ในการประมวลผลภาพ และตรวจสอบได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการจัดแสงจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่จะต้องทำการพิจารณาดังต่อไปนี้

- ความเข้มของแหล่งกำเนิดแสง
- เสถียรภาพของแหล่งกำเนิดแสง
- ความยาวคลื่นของแสงที่ใช้
- ความยาวคลื่นของตัวกรองความถี่แสงและอุปกรณ์ประกอบ
- ค่าดัชนีการหักเหของแสงในวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้
- รูปแบบของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แบบคงที่ (Steady) แบบแฟลช (Flashing) หรือแบบอิมพัลส์ (Impulse)
- โพลาริเซชัน (Polarization) ของแสง
- สภาพแวดล้อมที่ทำการติดตั้ง

จากองค์ประกอบต่างๆ ของการจัดแสง ดังที่กล่าวมาข้างต้น ต้องนำมาใช้ประกอบการพิจารณาเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงตลอดจนอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ให้เหมาะสม สำหรับรูปแบบการจัดแสงที่สำคัญมีด้วยกัน 3 แบบ คือ

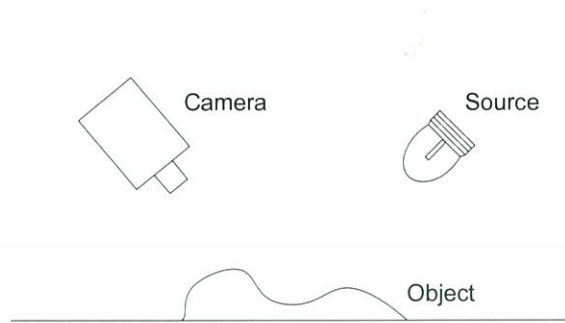
1. การจัดแสงด้านหน้า (Front lighting)
2. การจัดแสงด้านหลัง (Back lighting)
3. การจัดแสงตามโครงสร้างของวัตถุ (Structured lighting)

สำหรับรายละเอียดการจัดแสงแต่ละแบบสามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาใช้ระบบเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนลิขสิทธิ์และสงวนชื่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 การจัดแสงด้านหน้า

สำหรับรูปแบบการจัดแสงด้านหน้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8

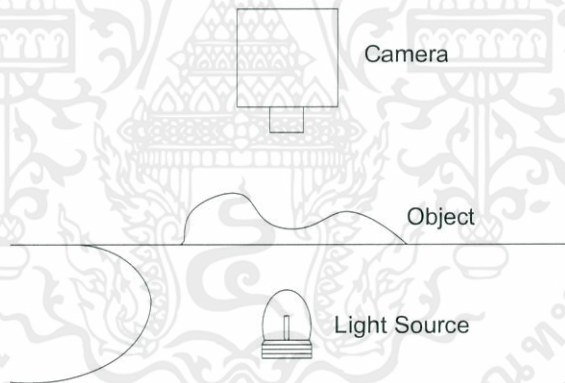


รูปที่ 2.8 รูปแบบการจัดแสงด้านหน้า

จากรูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการจัดรูปแบบการจัดแสงด้านหน้า สำหรับการจัดแสงแบบนี้ตัวกล้องและแหล่งกำเนิดแสงจะถูกติดตั้งอยู่ด้านเดียวกัน

### 2.6.2 การจัดแสงด้านหลัง

สำหรับรูปแบบการจัดแสงด้านหลังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8

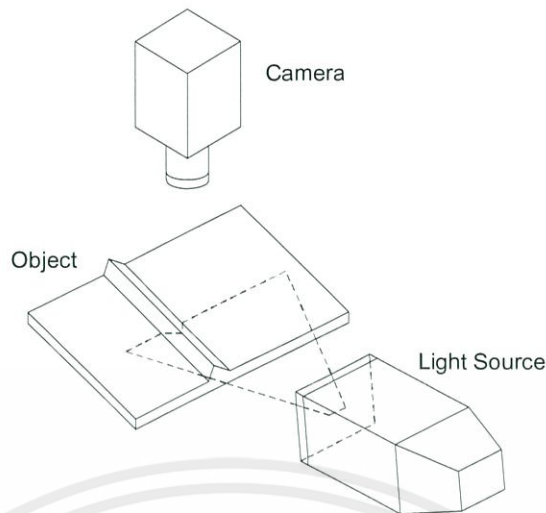


รูปที่ 2.9 รูปแบบการจัดแสงด้านหลัง

จากรูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการจัดรูปแบบการจัดแสงด้านหลัง สำหรับการจัดแสงแบบนี้ตัวกล้องและแหล่งกำเนิดแสงจะถูกติดตั้งอยู่ด้านตรงข้ามกัน การจัดรูปแบบการให้แสงแบบนี้จะให้ความสามารถในการแยกแยะองค์ประกอบภายในของเนื้อได้ดี แต่อย่างไรก็ตามการจัดแสงแบบนี้ไม่เหมาะสำหรับการตรวจรอยบกพร่องบนผิวของเนื้อ

### 2.6.3 การจัดแสงตามลักษณะโครงสร้างของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้  
 รูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแบบการจัดแสงตามลักษณะโครงสร้างของวัตถุ

จากรูปที่ 2.10 แสดงลักษณะรูปแบบการจัดแสงตามลักษณะโครงสร้างของวัตถุ ซึ่งการจัดแสงแบบนี้จะใช้กับแหล่งกำเนิดแสงที่มีลักษณะเป็น Dot array ซึ่งจะฉายแสงให้กับวัตถุโดยตรงตามแนวระนาบของแหล่งกำเนิดแสงด้วยความมุมที่แตกต่างจากตัวกล้องที่ทำหน้าที่จับภาพ ซึ่งรูปแบบการให้แสงแบบนี้จะเหมาะสำหรับการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเนื้อ (Contour)

#### 2.6.4 การแก้ปัญหาเรื่องแสงสำหรับรูปแบบการจัดแสงด้านหน้า

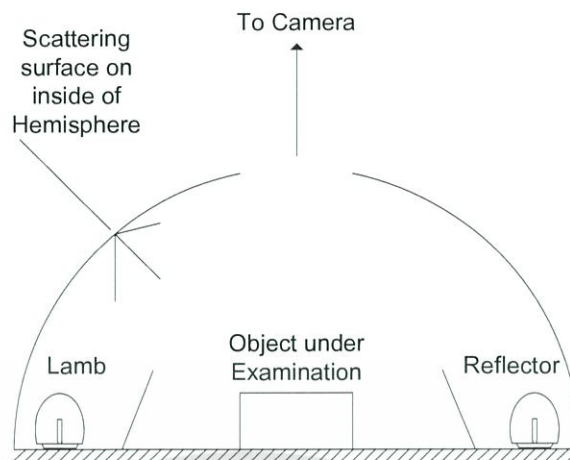
จากรูปแบบการจัดแสงแบบต่างๆ ดังที่กล่าวมา รูปแบบการจัดแสงด้านหน้าจะมีการใช้งานมากที่สุด และถูกเลือกนำมาใช้ในการจัดแสงสำหรับโครงการวิจัยนี้ ดังนั้นจะทำการพิจารณาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบที่ใช้รูปแบบการจัดแสงด้านหน้าเป็นหลัก โดยในการจัดแสงด้านหน้าจะมีปัญหาหลักอยู่ 4 ประการ คือ

- การสะท้อนแสงของพื้นผิว (Glinting) เนื่องจากผิวของเนื้อที่นำมาตรวจสอบมีความมันเงา
- เงาที่เกิดจากเนื้อ (Shadow)
- ความไม่คมชัดของมุม (Edges) ระหว่างเนื้อส่วนต่างๆ
- ความไม่คมชัดของมุมระหว่างเนื้อกับสายพานที่ใช้ในการเคลื่อนเนื้อเข้ามาทำการตรวจสอบ

จากปัญหาต่างๆ ดังที่กล่าวมา จึงได้มีการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาดังที่กล่าวมาทั้ง 4 ประการ ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

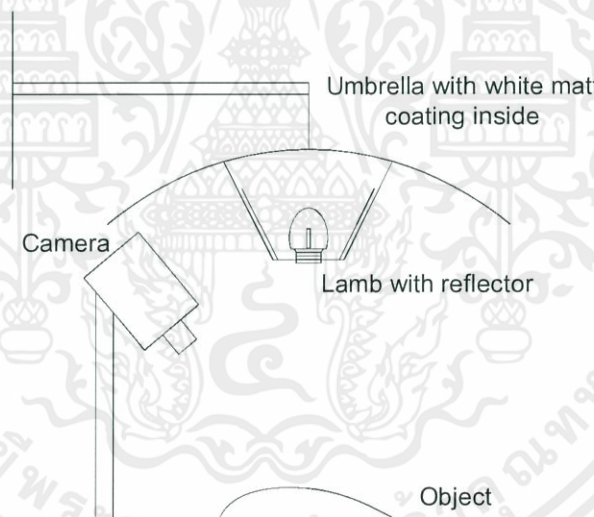
1.) การจัดแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีลักษณะโค้งครึ่งวงกลม (Circular) เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบวงกลม ใช้แผงสะท้อนแบบครึ่งวงกลม เป็นต้น โดยลักษณะการจัดแสงแบบนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ตามเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 1 แบบที่ 1

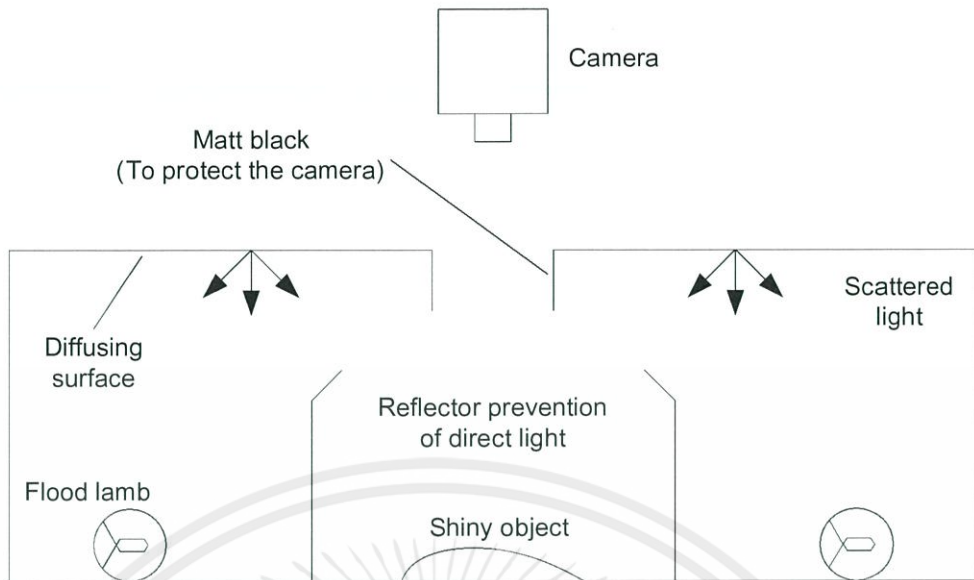
จากรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าตัวกล้องสำหรับจับภาพจะถูกติดตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งรูปแบบการจัดแสงแบบนี้จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องเงาที่เกิดขึ้นกับภาพถ่ายเนื้อที่ถ่ายได้สำหรับการแก้ปัญหาเรื่องเงาที่เกิดขึ้นด้วยวิธีที่ 1 สามารถจัดรูปแบบการให้แสงได้อีกแบบหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 1 แบบที่ 2

2.) สำหรับการแก้ปัญหาของการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 2 นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาการสะท้อนแสงของผิวชิ้นงาน โดยลักษณะการจัดแสงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.12

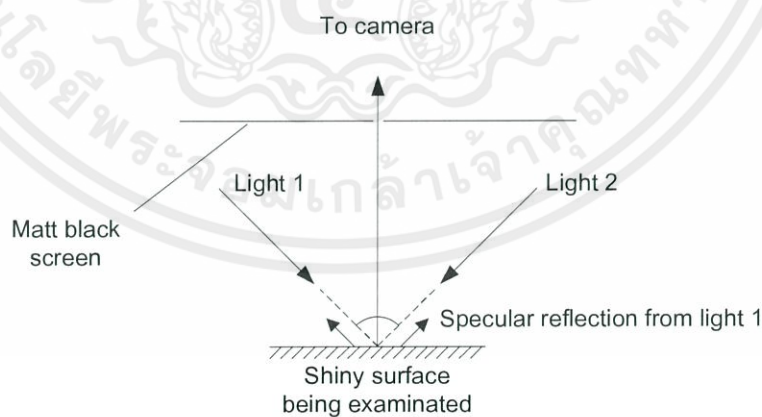
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 2

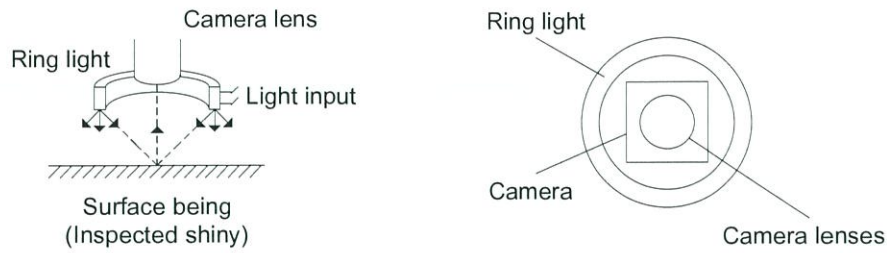
จากรูปที่ 2.13 สำหรับการแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 2 นี้ ทำการจัดแสงให้กับวัตถุทางอ้อมโดยอาศัยการสะท้อนของแสงแทนการให้แสงโดยตรงกับวัตถุ ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยลดแสงสะท้อนที่เกิดจากตัวชิ้นงานหรือวัตถุต่าง ๆ ได้

3.) สำหรับวิธีการแก้ปัญหาของการจัดแสงวิธีที่ 3 นี้ จะช่วยแก้ปัญหการสะท้อนของแสงที่ตกกระทบชิ้นงาน โดยรูปแบบการให้แสงกับวัตถุจะทำให้แสงไปที่วัตถุในลักษณะทำมุม 45 องศา โดยไม่ต้องอาศัยการสะท้อนเหมือนในแบบวิธีที่ 2 ซึ่งลักษณะรูปแบบการแก้ปัญหการจัดแสงด้วยวิธีที่ 3 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 3 แบบที่ 1

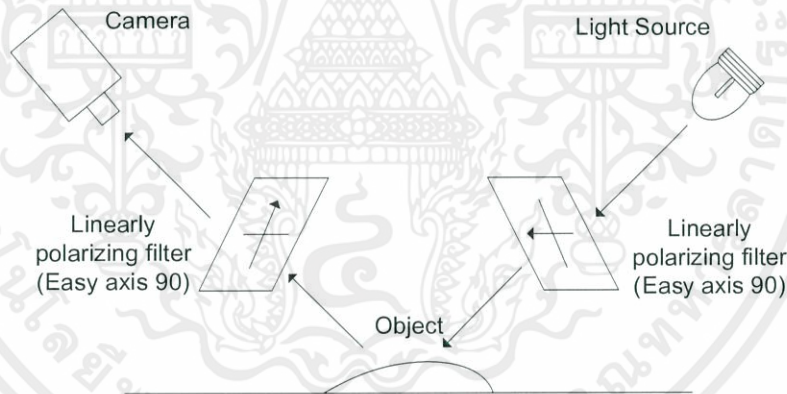
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 3 แบบที่ 2

จากรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15 แสดงการแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 3 โดยแบบที่ 1 จะใช้หลอดไฟสำหรับจ่ายแสงจำนวน 2 ดวง ให้แสงที่นุ่มนวล 45 องศา และแบบที่ 2 จะใช้หลอดไฟชนิดวงแหวน (Ring light) เพียงดวงเดียวในการให้แสงกับวัตถุ

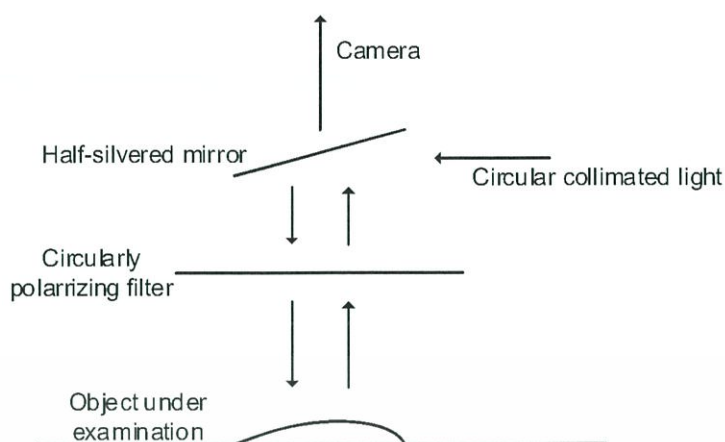
4.) สำหรับวิธีการแก้ปัญหาของการจัดแสงวิธีที่ 4 นี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดทอนการสะท้อนของแสงเช่นเดียวกัน แต่จะเน้นไปที่วัสดุที่ทำหน้าที่รองรับชิ้นงานเช่น โลหะ พลาสติก เซรามิก เป็นต้น โดยลักษณะการจัดแสงจะใช้แผ่นโพลาไรส์ 2 แผ่น ในการกำหนดโพลาไรส์ของแสงทั้งทางด้านแหล่งกำเนิดแสงและทางด้านกล้องสำหรับถ่ายภาพ โดยลักษณะการแก้ไขปัญหาร่องแสงด้วยวิธีที่ 4 นี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.16 การแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 4

5.) สำหรับการแก้ปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 5 นี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดแสงสะท้อนที่เกิดจากชิ้นเนื้อ โดยลักษณะของการจัดแสงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การแก้ไขปัญหาเนื่องจากการจัดแสงด้านหน้าวิธีที่ 5

จากรูปแบบการแก้ไขปัญหาของการจัดแสงด้านหน้าทั้ง 5 วิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีในการแก้ปัญหการจัดแสงด้านหน้า

เกณฑ์ปัญหา	ทฤษฎีที่ 1		ทฤษฎีที่ 2		ทฤษฎีที่ 3		ทฤษฎีที่ 4		ทฤษฎีที่ 5	
	รูปที่ 2.11	รูปที่ 2.12	รูปที่ 2.13	รูปที่ 2.14	รูปที่ 2.15	รูปที่ 2.16	รูปที่ 2.17			
Shadow free	++	+	+	-	-	+	++			
No glinting	+	+	++	+	+	++	++			
Sharp edges	++	+	+	+	+	+	++			
Parasitic effect	-	+	-	+	+	-	-			
Reliability	-	++	++	-	-	-	-			
Maintenance	-	+	+	+	-	-	-			
Price	-	+	-	-	-	-	-			

(+ = Good, - = Bad)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

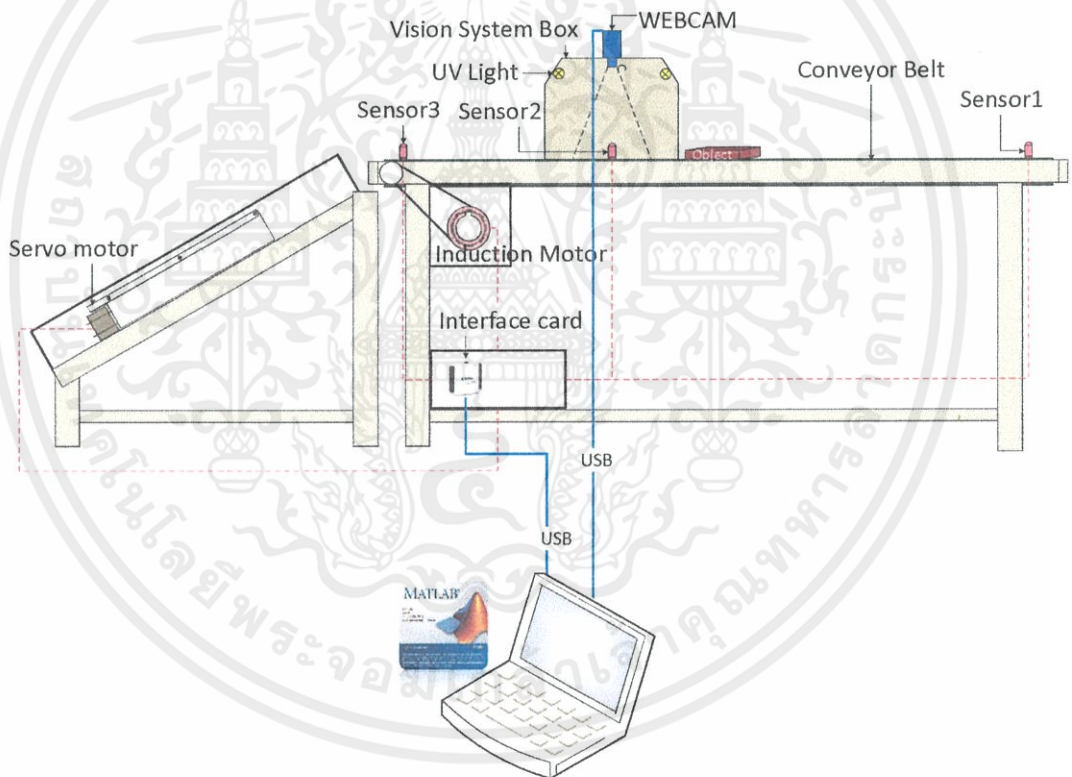
## การประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพที่นำเสนอ

### 3.1 กล่าวนำ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบเก็บข้อมูลภาพเพื่อใช้ในการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานและการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการหมุนสายพานและการตัดแยกชิ้นงาน รวมถึงโปรแกรมสำหรับประมวลผลภาพที่พัฒนาขึ้น

### 3.2 โครงสร้างของระบบที่นำเสนอ

สำหรับส่วนประกอบทั้งหมดของระบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ

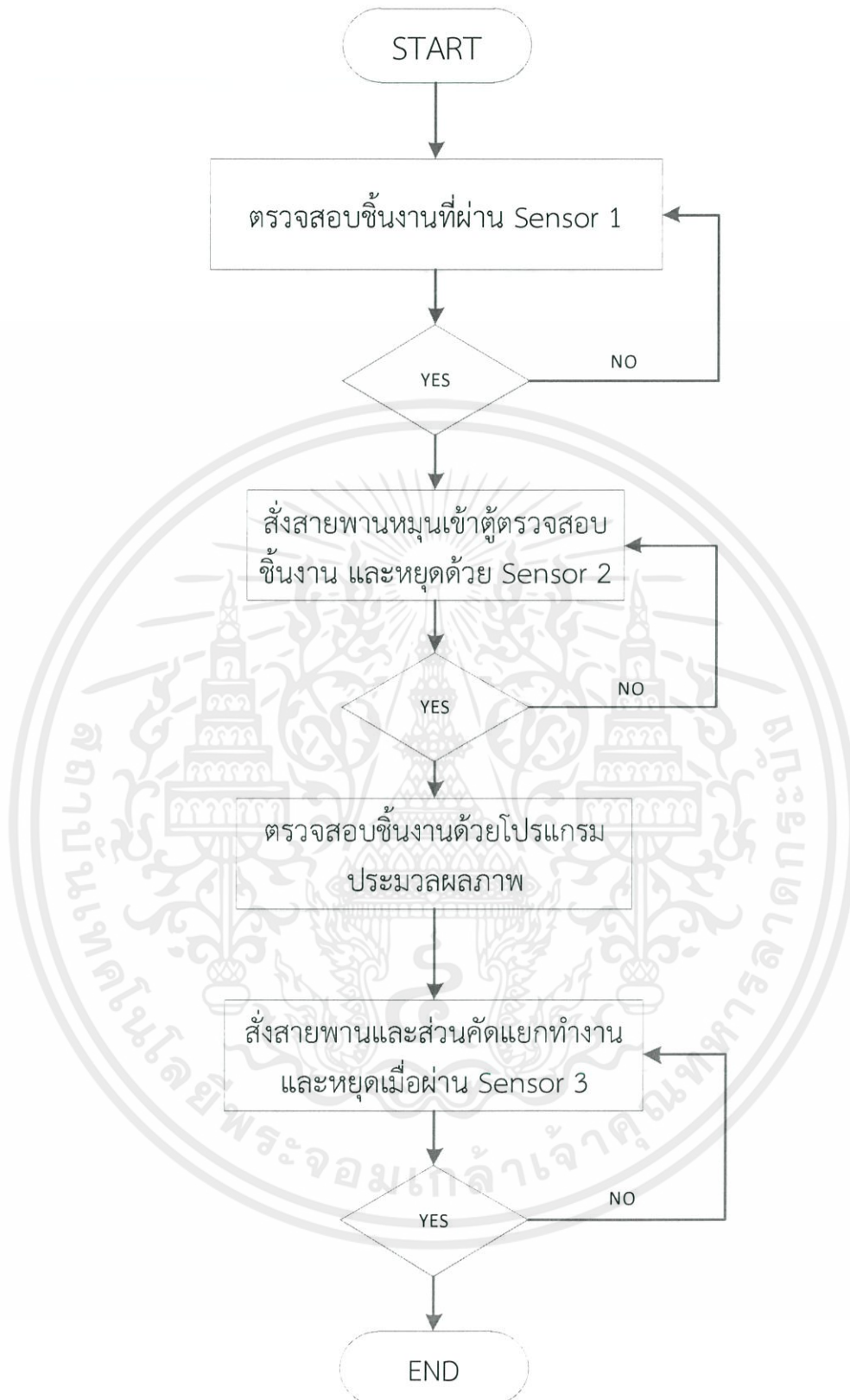
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานในระบบที่นำเสนอ

อุปกรณ์	หน้าที่การทำงาน
เซนเซอร์ 1	ติดตั้งบริเวณนำชิ้นงานเข้าสายพานลำเลียง
เซนเซอร์ 2	ติดตั้งบริเวณภายในตู้ตรวจสอบชิ้นงาน
เซนเซอร์ 3	ติดตั้งบริเวณนำชิ้นงานออกจากสายพานลำเลียงไปยังส่วนคัดแยกชิ้นงาน
ตู้ตรวจสอบชิ้นงาน	ตู้ซึ่งติดตั้งกล้องเว็บแคม และ หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ต
สายพานลำเลียง	สายพานลำเลียงซึ่งติดตั้งอินดักชันมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนสายพานลำเลียง
ส่วนคัดแยกชิ้นงาน	ส่วนซึ่งต่อจากสายพานลำเลียงทำหน้าที่คัดแยกชิ้นงานตามเงื่อนไขที่กำหนดด้วยเซอร์โวมอเตอร์
การ์ดอินเตอร์เฟซ	อุปกรณ์แปลงสัญญาณและส่งค่าระหว่างคอมพิวเตอร์กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมกระบวนการ
คอมพิวเตอร์	ควบคุมการทำงานของระบบและประมวลผลภาพรวมถึงแสดงผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยซอฟต์แวร์ MATLAB

สำหรับขั้นตอนการทำงานของระบบประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพจะมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ เริ่มจากเซนเซอร์ (Sensor) ตัวแรกซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของสายพานเพื่อทำหน้าที่ในการตรวจชิ้นงาน เพื่อสั่งการให้มอเตอร์ควบคุมสายพานเคลื่อนนำชิ้นงานเข้าสู่ตู้ตรวจสอบชิ้นงานซึ่งจะมีเซนเซอร์ตัวที่สองเพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานให้หยุดพอดีกับระยะเก็บภาพของกล้องเว็บแคม (WEBCAM) และเก็บภาพเพื่อนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนา และเมื่อคอมพิวเตอร์ประมวลผลเสร็จจึงสั่งงานให้ ส่วนคัดแยกและมอเตอร์ควบคุมสายพานทำงานเพื่อนำชิ้นงานออกไปยังส่วนคัดแยกและหยุดการทำงานของสายพานเมื่อชิ้นงานเคลื่อนผ่าน เซนเซอร์ตัวที่สาม ซึ่งอยู่ปลายของสายพาน ซึ่งขั้นตอนการทำงานของระบบประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยเทคนิคประมวลผลภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 ระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนนั้นคือ

### 3.2.1 ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการ์ดอินเตอร์เฟส

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics circuit) สำหรับตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพานและควบคุมการทำงานของมอเตอร์สำหรับหมุนสายพานและตัดแยกชิ้นงาน รวมถึง การ์ดอินเตอร์เฟส (Interface Card) คืออุปกรณ์ควบคุมหลักซึ่งเป็นเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อรับค่า แปลงสัญญาณ และส่งค่า ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดของส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการ์ดอินเตอร์เฟสในหัวข้อ 3.3

### 3.2.2 ส่วนของฮาร์ดแวร์

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบประมวลผลภาพที่ชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักดังนี้

1. ตู้ตรวจสอบชิ้นงาน  
สำหรับตู้ตรวจสอบชิ้นงานประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังนี้ หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV Lamp) ช่วยให้ภาพของชิ้นงานมีความชัดเจนยิ่งขึ้นเพื่อสะดวกในการตรวจสอบชิ้นงานที่ใช้ทดสอบและกล้องเว็บแคม (WEBCAM) สำหรับถ่ายภาพชิ้นงาน ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 3.4

2. ระบบสายพานลำเลียงคัดแยกชิ้นงาน  
สำหรับระบบสายพานลำเลียงคัดแยกชิ้นงานนั้นจะรับค่าจากคอมพิวเตอร์ผ่าน การ์ดอินเตอร์เฟสแปลงสัญญาณเพื่อส่งงานให้สายพานลำเลียงจะทำหน้าที่ในการนำชิ้นงานเข้าสู่ตู้ตรวจสอบชิ้นงานและนำชิ้นงานที่ได้รับการตรวจสอบแล้วออกไปยังส่วนคัดแยกชิ้นงาน ซึ่งเซอร์โวมอเตอร์จะทำการคัดแยกชิ้นงานที่ไหลมาจากสายพานลำเลียง ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 3.5

### 3.2.3 ส่วนของซอฟต์แวร์

ส่วนของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพซึ่งรับข้อมูลที่ได้มาจากกล้องเว็บแคม (WEBCAM) และนำมาประมวลผลภาพและสั่งงานสายพานคัดแยก ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อ 3.6

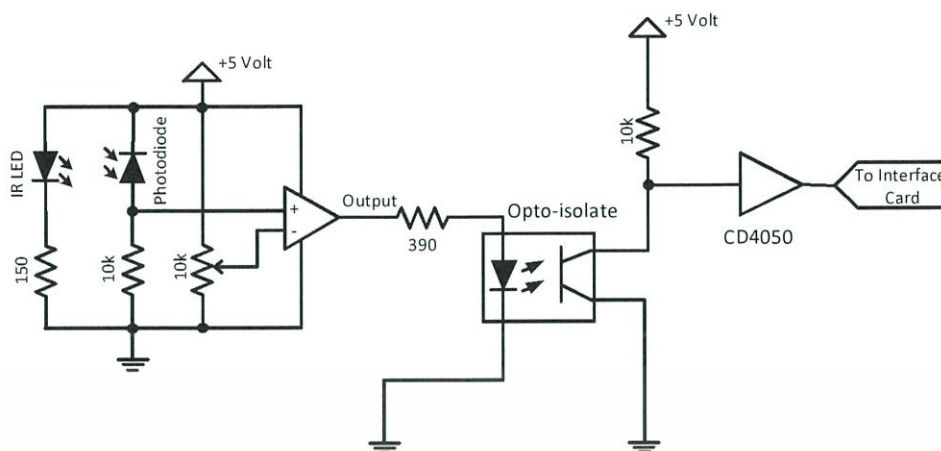
## 3.3 ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการ์ดอินเตอร์เฟส

ส่วนฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นมานั้นประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สำหรับตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพานและควบคุมการทำงานของมอเตอร์สำหรับหมุนสายพานและตัดแยกชิ้นงานรวมถึงการ์ดอินเตอร์เฟสสำหรับแปลงสัญญาณ จะอธิบายรายละเอียดต่อไปนี้

### 3.3.1 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน

สำหรับวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ในการตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน โดยลักษณะของวงจรที่ออกแบบและทำการสร้างขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

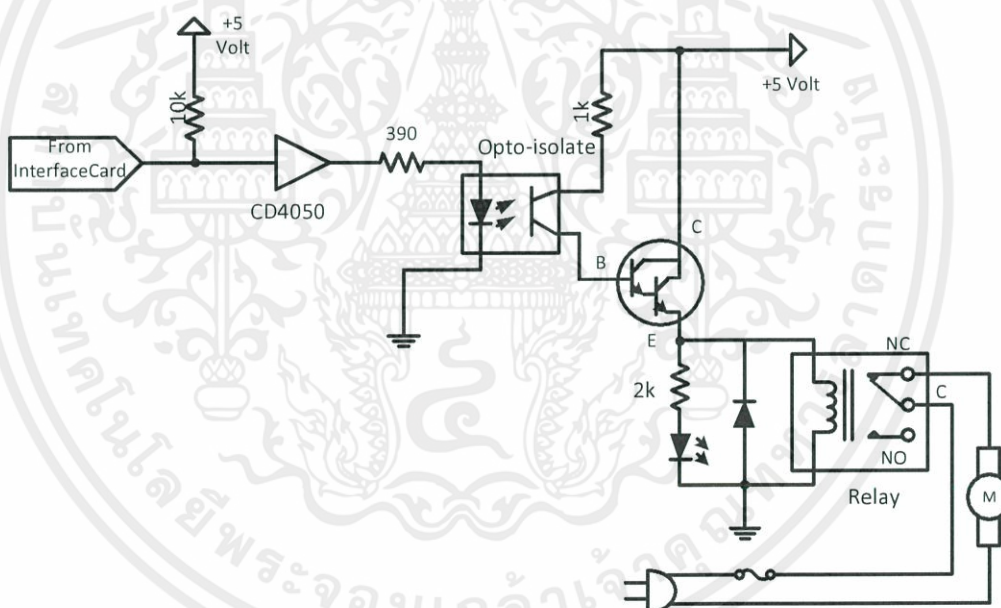
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษารวมเป็นออนไลน์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปตีพิมพ์เผยแพร่ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน

### 3.3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์สำหรับหมุนสายพาน

สำหรับวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์สำหรับหมุนสายพาน โดยลักษณะของวงจรที่ออกแบบและทำการสร้างขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

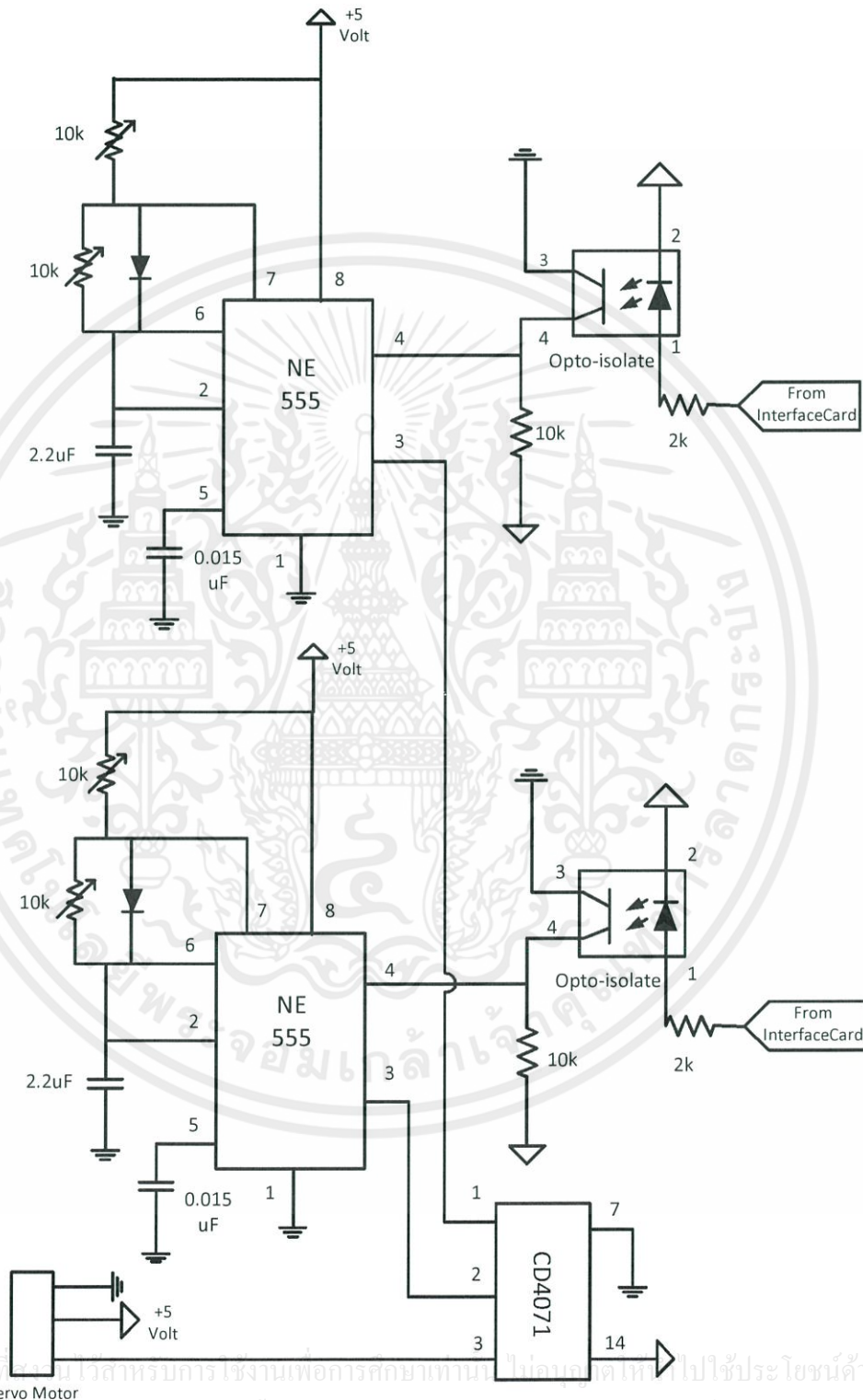


รูปที่ 3.4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์สำหรับหมุนสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้ในการคัดแยกชิ้นงาน

สำหรับวงจรในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้ในการคัดแยกชิ้นงานโดยลักษณะของวงจรที่ออกแบบและทำการสร้างขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



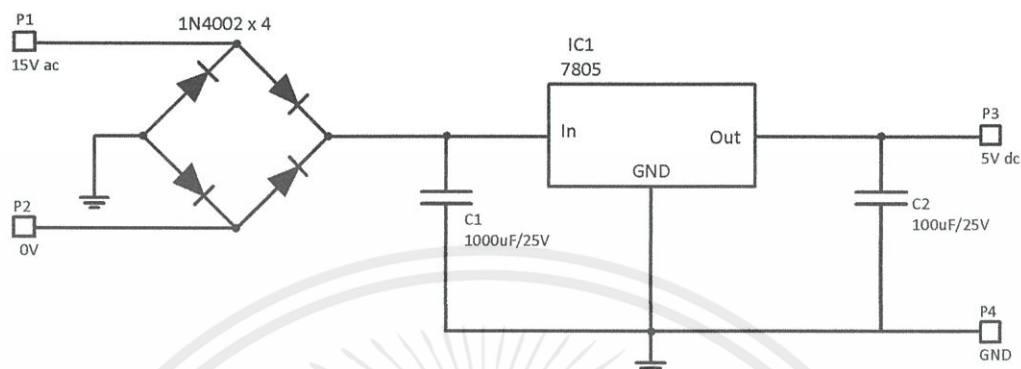
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้ในการคัดแยกชิ้นงาน

### 3.3.4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแหล่งจ่ายไฟ [7]

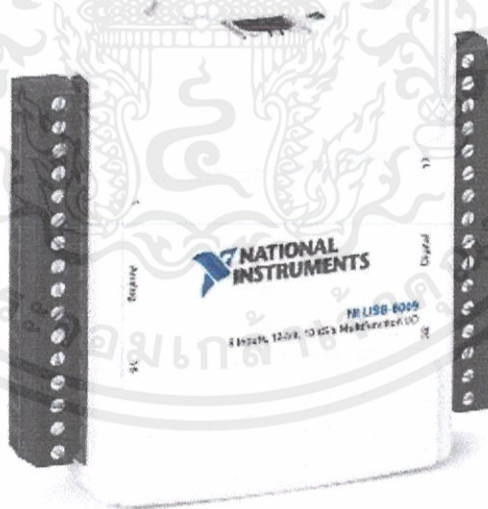
สำหรับวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการจ่ายไฟให้กับวงจรควบคุมทั้งหมดของระบบโดยลักษณะของวงจรที่ออกแบบและทำการสร้างขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแหล่งจ่ายไฟ

### 3.3.5 การ์ดอินเตอร์เฟซ [9]

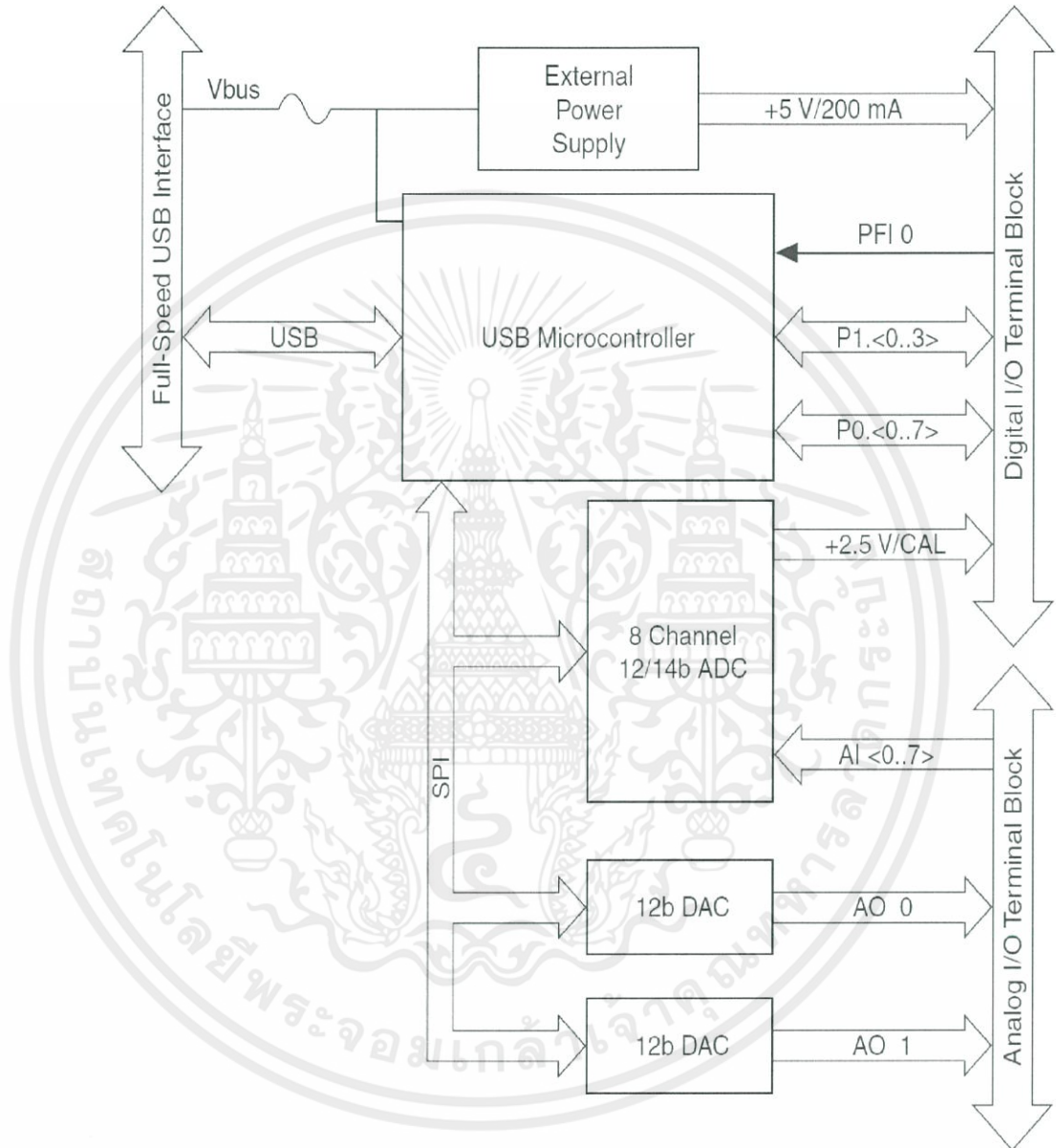
การ์ดอินเตอร์เฟซ (Interface card) หรือการ์ดเชื่อมต่อ ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมการทำงานระหว่างคอมพิวเตอร์กับระบบต่างๆที่สร้างขึ้นมาโดยในโครงการนี้ได้เลือกใช้การ์ดอินเตอร์เฟซของบริษัท National Instruments รุ่น USB-6009 ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การ์ดอินเตอร์เฟซ National Instruments รุ่น USB-6009 : ni.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ์ดอินเทอร์เฟซรุ่น USB-6009 ของบริษัท National Instruments โดยการ์ดอินเทอร์เฟซรุ่นนี้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมผ่านสาย USB ทำให้มีความสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน สำหรับลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของการ์ดอินเทอร์เฟซรุ่น USB-6009 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8 และตารางที่ 3.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 ลักษณะโครงสร้างของการ์ดอินเทอร์เฟซรุ่น USB-6009 : ni.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

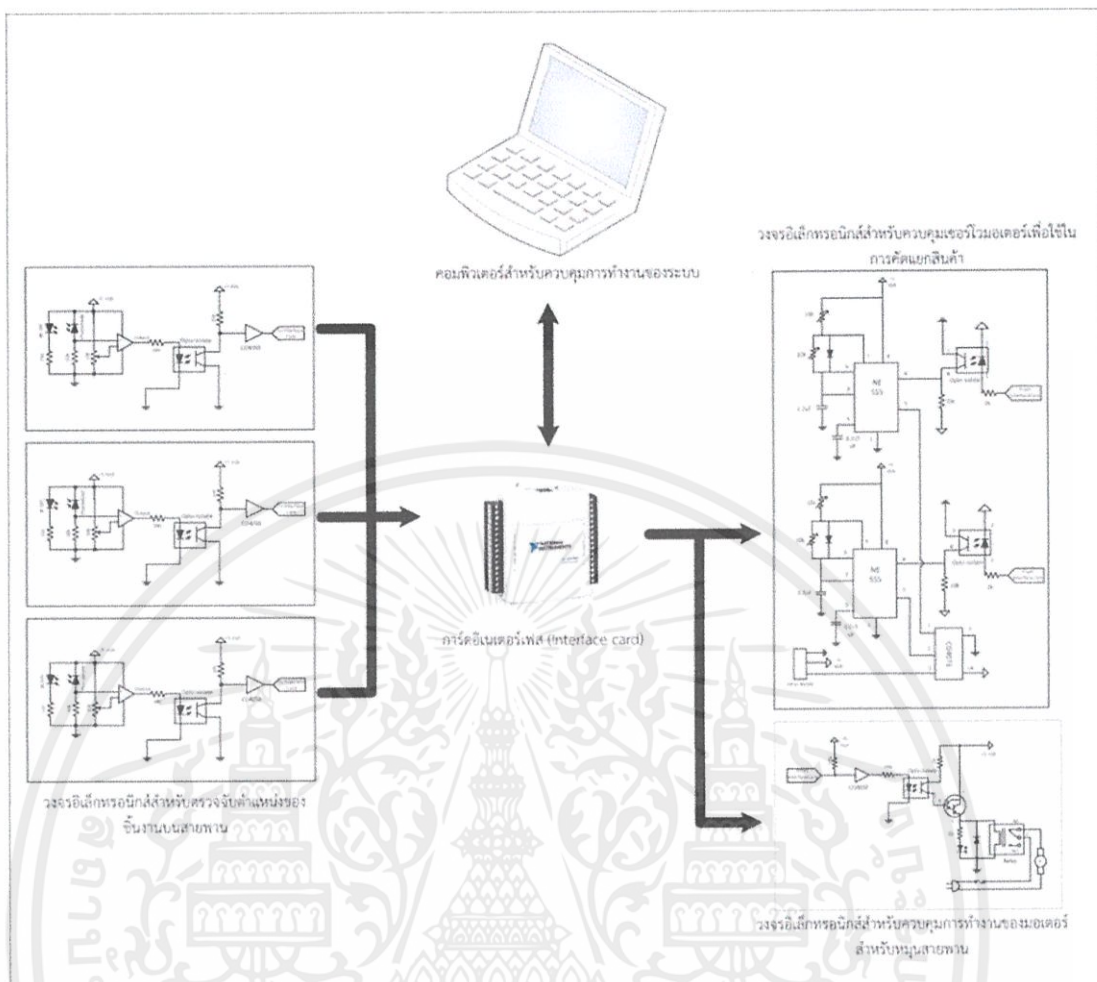
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟซรุ่น USB-6009

คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟซรุ่น 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 <sub>2</sub> , $\pm 10$ 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

จากรูปที่ 3.8 และตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าการ์ดอินเตอร์เฟซรุ่น USB-6009 ประกอบไปด้วย วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter circuit) วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A Converter circuit) และอินพุทเอาต์พุทแบบดิจิทัล สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ควบคุม วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกต่างๆ โดยจะใช้การ์ดอินเตอร์เฟซนี้ในการควบคุมส่วนต่างๆ ของระบบ คัดแยกและมอเตอร์เพื่อหมุนสายพานลำเลียง

จากวงจรย่อยต่างๆ สามารถแสดงวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการควบคุมระบบสายพานลำเลียงและคัดแยกชิ้นงานทั้งหมดได้ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

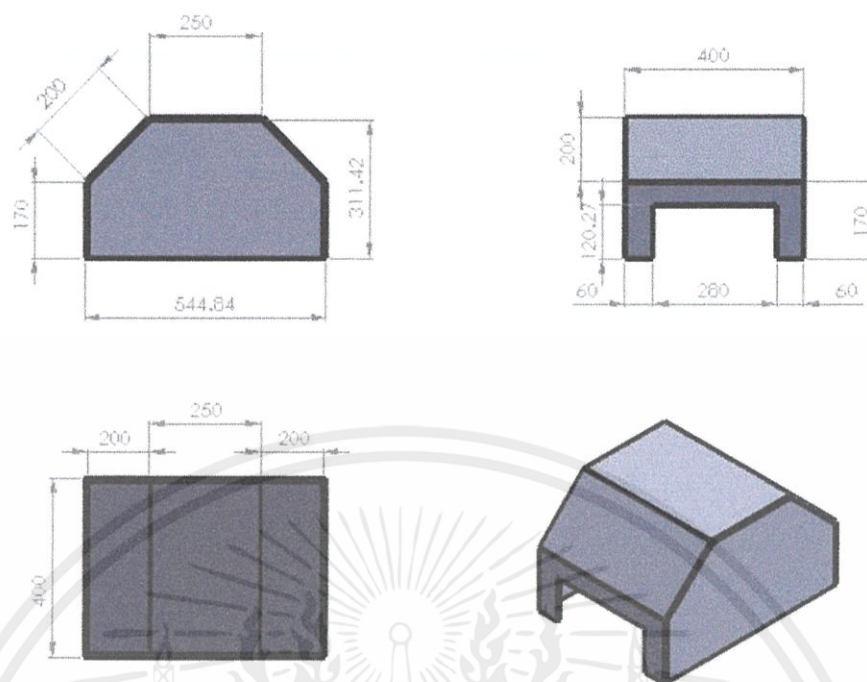


รูปที่ 3.9 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการควบคุมระบบสายพานลำเลียงและคัดแยกชิ้นงาน

### 3.4 รายละเอียดตู้ตรวจสอบชิ้นงาน

สำหรับส่วนนี้จะพูดถึงส่วนประกอบของตู้ตรวจสอบชิ้นงาน (Vision system box) ซึ่งติดตั้งกล้องเว็บแคม (WEBCAM) เพื่อถ่ายภาพและส่งข้อมูลภาพไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลภาพที่ได้และส่งงานต่อไป รวมถึงแหล่งกำเนิดแสงภายในตู้ตรวจสอบซึ่งใช้หลอดแสงอัลตราไวโอเลต (UV lamp) ในการกำเนิดแสง ส่วนการออกแบบตู้ตรวจสอบชิ้นงานมีดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การออกแบบตู้ตรวจสอบชิ้นงาน

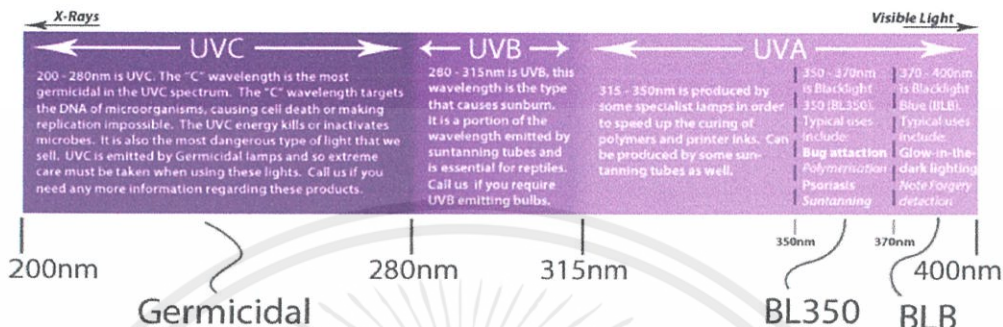
#### 3.4.1 หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ต [10]

สำหรับการนำเอาหลอดแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV Lamp) มาประยุกต์ใช้งานส่วนมากนั้นนิยมนำมาใช้ในการตรวจและวิเคราะห์หัตถุ (Detection and Analysis) เนื่องจากสารบางชนิดจะเกิดการเรืองแสงให้เป็นรังสีที่มองเห็นได้ ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเราเรียกว่า ปฏิกริยาเรืองแสง (Fluorescence Effect) เรานำเอาคุณสมบัตินี้มาประยุกต์กับงานได้หลายประเภท รวมถึง การวิเคราะห์ปฏิกริยาเรืองแสง (Fluorescence Analysis) โดยหลอดไฟที่นำมาใช้งานประเภทนี้จะเป็นชนิด Low-pressure Mercury-vapour Lamp Black Light หรือ Black Light Blue ให้รังสี UV-A ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 360nm. (340-380nm.) ส่วนแสงสว่างที่ตาคนเห็นมีน้อยมากทำให้เห็นผลของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่เด่นชัดซึ่งในโครงการนี้จะใช้หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ตฉายชิ้นงานเพื่อให้ภาพชิ้นงานมีความคมชัดและลดแสงรบกวนที่เข้ามาขณะถ่ายภาพ แสงภายนอกที่ส่องเข้ามาในตู้ตรวจสอบชิ้นงานมีผลกระทบต่อภาพถ่ายของกล้องเว็บแคม แสงอัลตราไวโอเล็ตนั้นเป็นแสงที่ลดการสะท้อนได้ดี

สำหรับแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือแสงยูวีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100 – 400 นาโนเมตร โดยเราสามารถแบ่งแสงยูวีแบ่งเป็น 3 ช่วงดังนี้

- 1.) UV A ช่วงความยาวคลื่น 315 – 400 nm เป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานต่ำที่สุดของแสงยูวีสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ในทางด้านเคมีและฟิสิกส์ได้ เนื่องจากเป็นคลื่นที่อยู่ใกล้กับแสงที่ตามองเห็น จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า near UV
- 2.) UV B ช่วงความยาวคลื่น 280 – 315 nm จะมีพลังงานสูงชัน สามารถทำให้ผิวหนังไหม้เกรียม และมีหลักฐานว่า เป็นต้นเหตุของการเกิดมะเร็งผิวหนัง แต่คุณประโยชน์ในการรักษาโรคผิวหนังบางชนิดได้ รวมถึงการประยุกต์ในงานอุตสาหกรรมเคมี

3.) UV C ช่วงความยาวคลื่น 200 - 280 nm ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าแสงยูวีทั้งสองชนิดแรก เป็นรังสีที่มีอันตรายต่อร่างกายได้อย่างรุนแรง เช่น ผิวแดงไหม้เกรียม (Erythema) หรือ เยื่อบุตาอักเสบ (Conjunctivitis) แต่เราประยุกต์มาทำประโยชน์ในการฆ่าเชื้อโรคได้



รูปที่ 3.11 ช่วงความยาวคลื่นของหลอดยูวี : [www.lightbulbs-direct.com](http://www.lightbulbs-direct.com)

สำหรับหลอดไฟที่ให้แสงอัลตราไวโอเล็ต ในปัจจุบันมีผลิตขึ้นมามากมายหลายบริษัทดังตัวอย่าง รูปที่ 3.12 โดยหลอดที่เลือกใช้สามารถแสดงดังรูปที่ 3.13 ซึ่งหลอดที่เลือกใช้นี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อตรวจสอบชิ้นงานในโรงงานนี้

**ACTINIC LAMPS**  
Actinic TL / 06 and Super Actinic TL / 03 lamps are highly efficient ultraviolet radiation sources with radiation peaks of 375 nm and 420 nm, respectively. The spectral energy distributions match the sensitivity of many of the diazo papers used in photoprinting. Actinic TL / 09 and Cleo lamps emit a highly concentrated radiation between 330 and 390 nm. This makes the lamps very effective for the treatment of skin diseases such as psoriasis. They are also used for direct pigmentation of the skin, in insect traps and in photochemical processes. Longwave ultraviolet lamps TL / 10, virtually without UV-B and peaking at 370 nm, are used for skin treatment and tanning. TL / 10R lamps have an integrated reflector, which makes it possible to obtain very high intensities by placing the lamps close together. Nowadays, there are also PL actinic lamps.

Type	Length	Dia	Cap	Radiation W	Ordering number
TL 0 15 W / 03	440	26	G 13	2.4	8222 206 405
TL 0K 30 W / 03	440	26	G 13	3.6	8280 196 001
TL 20 W / 03	600	38	G 13	3.2	8280 157 001
TL K 40 W / 03	600	38	G 13	4.8	8280 194 001
TL 40 W / 03	1200	38	G 13	8.0	8280 113 001
TL 20 W / 02	600	38	G 13	4.1	8222 206 801
TL 20 W / 12	600	38	G 13	1.4	8222 206 241
TL 40 W / 12	1200	38	G 13	6.5	8222 206 298
TL 100 W / 12	1800	38	R 17d	16.6	8222 342 279
TL 100 W / 01	1800	38	R 17d	12.4	8222 342 279

Type	Length	Dia	Cap	Radiation W	Ordering number
TL 4 W / 06	150	16	G 5	0.7	8280 000 006
TL 6 W / 06	230	16	G 5	0.8	8280 006 006
TL 8 W / 06	290	16	G 5	0.9	8280 010 006
TL 11 W / 06	330	16	G 5	1.1	8222 208 593
TL 0 15 W / 06	440	26	G 13	1.8	8280 248 006
TL 0K 30 W / 06	440	26	G 13	2.8	8280 196 006
TL 20 W / 06	600	38	G 13	2.4	8280 036 006
TL K 40 W / 06	600	38	G 13	3.8	8280 194 006
TL 40 W / 06	1200	38	G 13	6.0	8280 080 006
PL 9 W / 10	180	-	G 21	2.1	8222 342 106
PL 36 W / 09n	420	-	G 21	9.0	8222 342 261

Type	Length	Dia	Cap	Radiation W	Ordering number
TL 80 W / 06	1500	38	G 13	12.8	8280 083 006
TL 140 W / 06	1500	38	G 13	14.6	8222 342 062
TL 60 W / 10	1200	38	G 13	11.2	8222 206 298
TL 140 W / 03	1500	38	G 13	20.0	8280 127 003

Type	Length	Dia	Cap	Radiation W	Ordering number
TL K 40 W / 10R	600	38	G 13	6.8	8222 342 063
TL 80 W / 10R	1200	38	G 13	15	8222 342 229
TL 80 W / 09R	1500	38	G 13	18	8222 342 064
TL 100 W / 10R	1800	38	G 13	25	8222 342 065
TL 140 W / 10	1800	38	G 13	30	8280 127 010
TL 176 D 38 / 10	1800	38	G 13	32	8280 169 010
TL 29 D 16 / 09n	290	16	G 5	1.7	8280 017 009
TL 0 15 W / 09n	440	26	G 13	2.0	8280 048 009
TL 44 D 25 / 09n	440	26	G 13	2.2	8222 206 527
TL 36 D 25 / 09n	360	26	G 13	3.4	8222 206 582
PL 36 W / 09n	420	-	G 21	9.0	8222 342 261
TL 20 W / 09n	600	38	G 13	3.5	8280 036 009
TL 40 W / 09n	1200	38	G 13	7.0	8280 060 009
UVA 40 W	600	38	G 13	6.5	8280 033 009
UVA 80 W	1500	38	G 13	20	8280 032 009
UVA 100 W	1800	38	G 13	26	8280 043 009
UVA 80 W W	1500	38	G 13	19	8280 033 009
UVA 100 W W	1800	38	G 13	24	8280 044 009
RUVA 40 W R	600	38	G 13	6.0	8280 045 009
RUVA 80 W R	1500	38	G 13	16	8280 034 009
RUVA 100 W R	1800	38	G 13	22	8280 057 009
RUVA 40 W W/R	600	38	G 13	6.0	8280 046 009
RUVA 80 W W/R	1500	38	G 13	16	8280 046 009
RUVA 100 W W/R	1800	38	G 13	22	8280 058 009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างหลอดไฟที่ให้แสงอัลตราไวโอเล็ต

### T5 16mm BLB UV tube 12" 8W (UVA)



Ultra-violet fluorescent tube for forgery detection or special "glow in the dark" lighting effects.



#### Specification

Attribute	Value
Our Part Number	1655
Cap Description	2-Pins 5mm Apart (G5)
Wattage	8W
Voltage	240V
Finish	Blacklight Blue
Length	300mm
Diameter	16mm
Barcode	5410288000244
Manufacturer Part Number	24
Manufacturer	SYLVANIA

#### Buy this item

Quantity	Price Inc VAT	Price Ex VAT
1 - 9	£12.72	£10.80
10 +	£11.47	£9.56

1 [Add to basket](#)

### รูปที่ 3.13 หลอดยูวีที่เลือกใช้งาน

#### 3.4.2 กล้องเว็บแคม

กล้องเว็บแคม (WEBCAM) ใช้ในการจับภาพชิ้นงานเพื่อนำไปประมวลผลภาพโดยกล้องที่ใช้ในโครงการนี้คือกล้องเว็บแคม ซึ่งเหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้งานเพราะมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งรายละเอียดและคุณสมบัติกล้องเว็บแคม ที่เลือกใช้งานสามารถแสดงในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.14

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของกล้องเว็บแคมที่เลือกใช้

กล้อง WEBCAM OKER OE-177	
ความละเอียด	16 Mega pixels
Resolution	2.0 M pixels up to 16.0M by software
Frame rate	60 FPS
Info noise rate	48dB
Focus range	30mm-infinite
OS support (Plug and Play)	Window NT/2000/XP/Vista/Windows 7(32/64 bit)/Mac OS X

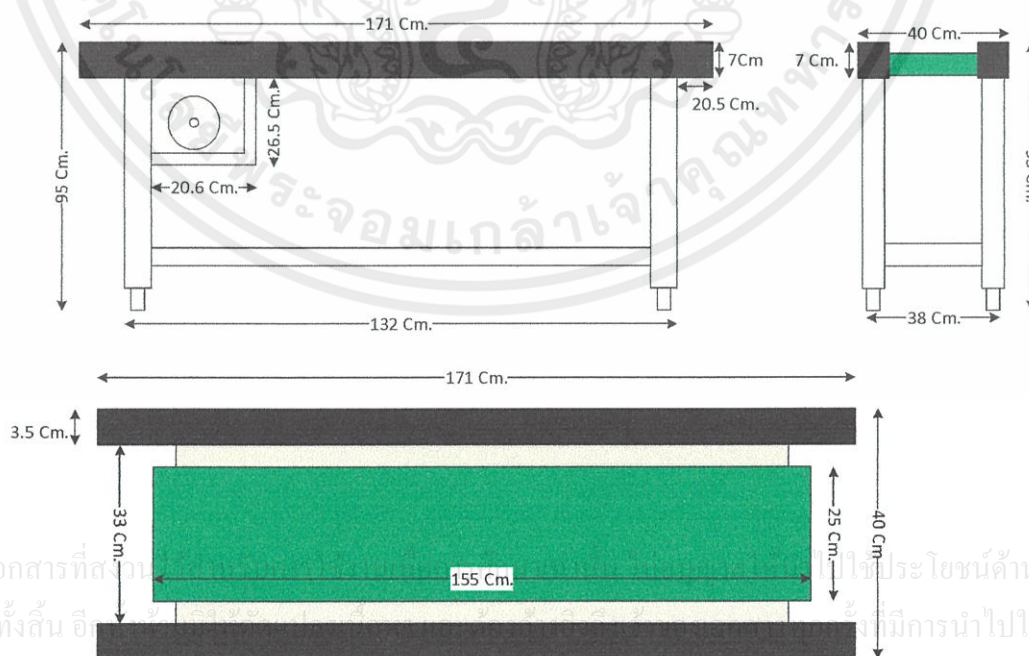
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 กล้องเว็บแคม (WEBCAM OKER OE-177)

### 3.5 ระบบสายพานลำเลียงคัดแยกชิ้นงาน

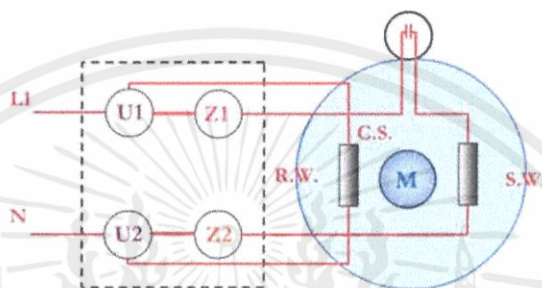
ระบบสายพานลำเลียงคัดแยกชิ้นงานนั้นจะรับค่าสัญญาณการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส เพื่อสั่งงานให้สายพานลำเลียงจะทำหน้าที่ในการนำชิ้นงานเข้าสู่ตู้ตรวจสอบชิ้นงาน และนำชิ้นงานที่ได้รับการตรวจสอบแล้วออกไปยังส่วนคัดแยกชิ้นงาน โดยรายละเอียดการออกแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การออกแบบสายพานลำเลียง

### 3.5.1 คาปาซิเตอร์มอเตอร์

คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส (AC motor) มีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงใช้กระแสขณะสตาร์ทน้อย ซึ่งใช้ในการควบคุมสายพานลำเลียงซึ่งเชื่อมต่อกับแบบ คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ (Capacitor run motor) จึงมีแรงบิดน้อยขณะทำงาน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.16 เมื่อรับกระแสไฟฟ้าจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จึงทำงานเคลื่อนชิ้นงานไปบนสายพาน รายละเอียดของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ ที่ใช้งานแสดงได้ดังตารางที่ 3.4 และลักษณะของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ที่ใช้ในโครงการแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 วงจรการทำงานคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ : edu.e-tech.ac.th

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ที่เลือกใช้

Type	Capacitor run motor / 4 pole
Input	220Vac 0.55A 50/60 hz 55/55 Watt
Horse power	90/108
Gear ratio	1 : 15
Duty	30 min



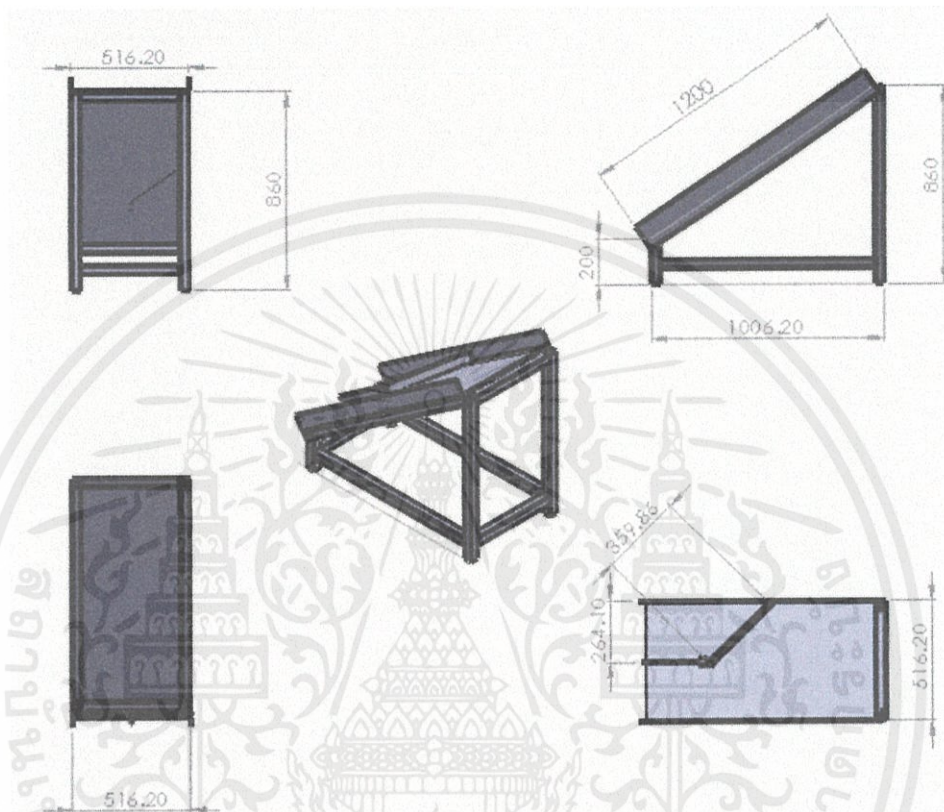
รูปที่ 3.17 คาปาซิเตอร์มอเตอร์ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ

ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ทั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 ส่วนคัตแยกชิ้นงาน

ส่วนคัตแยกชิ้นงานนั้นคือส่วนที่ต่อจากสายพานลำเลียงและติดตั้งเซอร์โวมอเตอร์กับแผ่นคัตแยกเพื่อทำหน้าที่แบ่งประเภทของชิ้นงานที่ประมวลผลภาพได้ ดังรูปที่ 3.18 โดยรายละเอียดของเซอร์โวมอเตอร์จะอธิบายในหัวข้อ 3.5.3

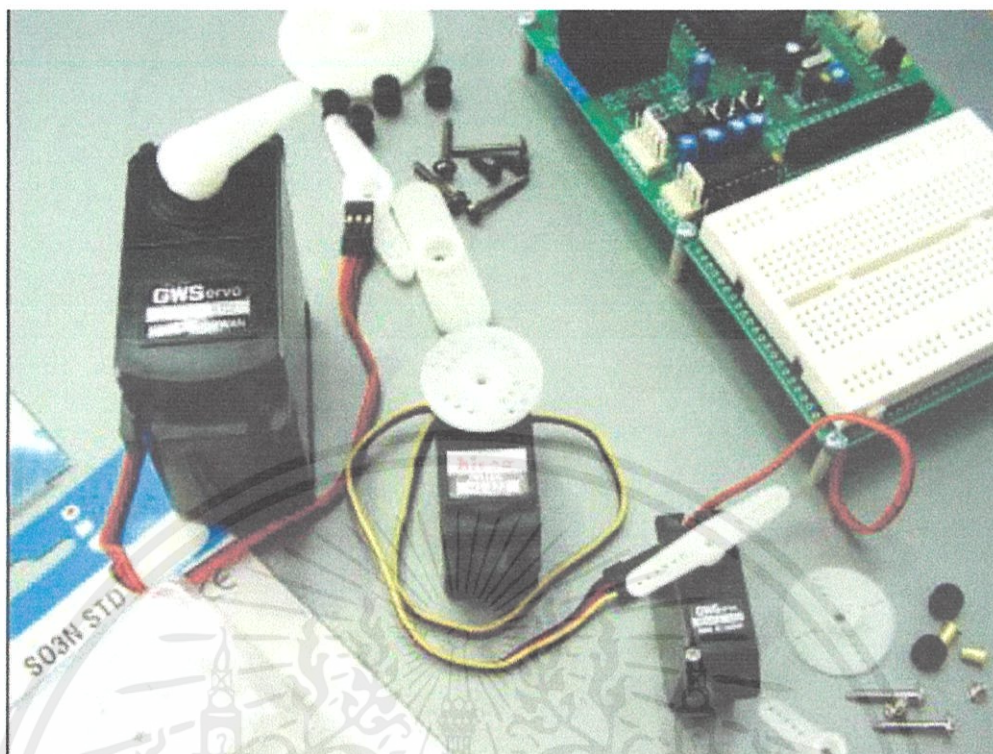


รูปที่ 3.18 การออกแบบส่วนคัตแยกชิ้นงาน

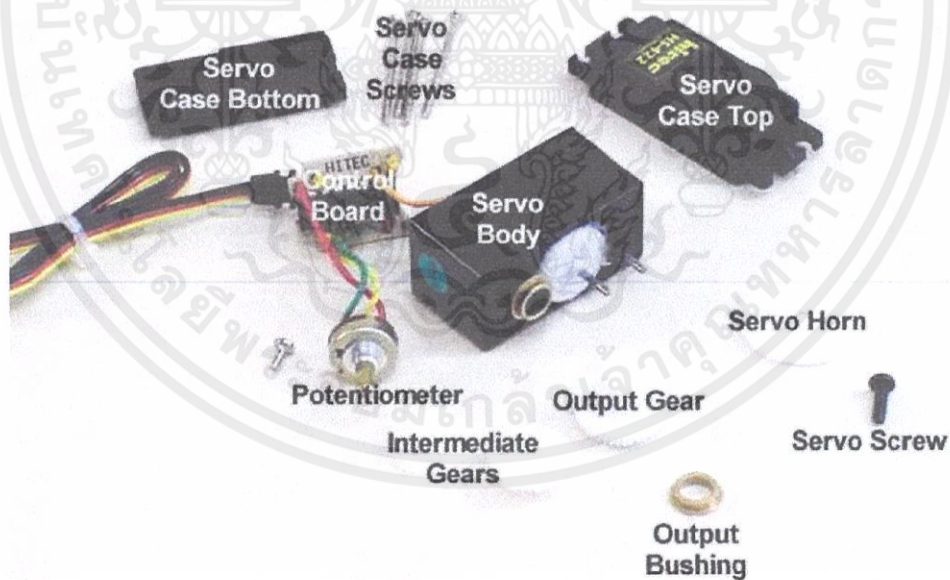
### 3.5.3 มอเตอร์เซอร์โว [11]

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นมอเตอร์ที่ประกอบไปด้วยชุดเกียร์ (Gear) มอเตอร์กระแสตรง (DC motor) และส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ที่อยู่รวมภายในตัวมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.20 เซอร์โวมอเตอร์จะทำงานได้ด้วยสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างอยู่ระหว่าง 1 มิลลิวินาที ถึง 2 มิลลิวินาที (พัลส์บวกหรือลอจิก 1) โดยส่งพัลส์ดังกล่าวห่างกันเป็นระยะเวลา 20 มิลลิวินาที (พัลส์ลบหรือลอจิก 0) แสดงดังในรูปที่ 3.21 การส่งสัญญาณพัลส์ดังกล่าวมีผลให้มอเตอร์หมุน โดยทิศทางการหมุนนั้นจะขึ้นอยู่กับความกว้างของพัลส์บวก ส่วนรูปร่างของเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะแสดงในรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

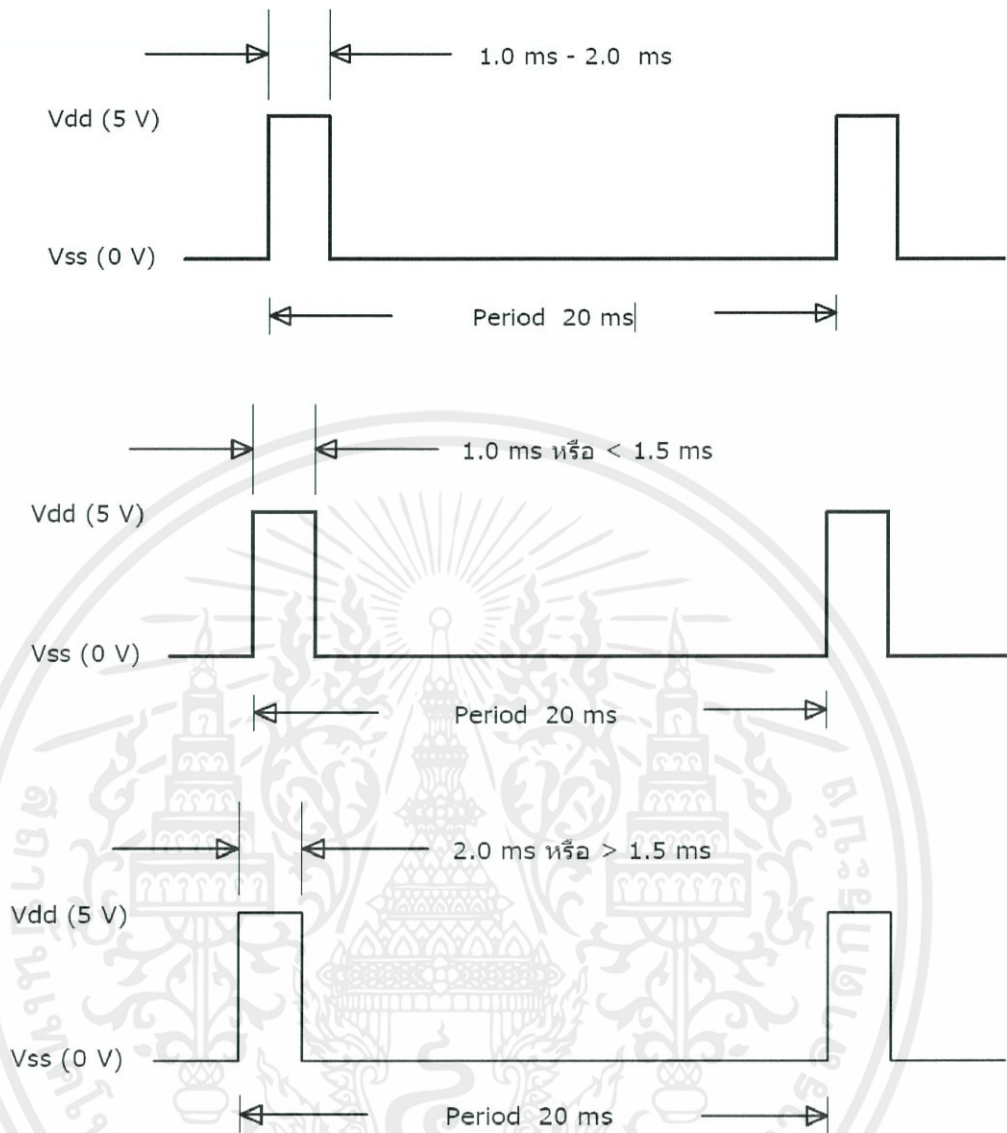


รูปที่ 3.19 เซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 3.20 ส่วนประกอบต่างๆภายในเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

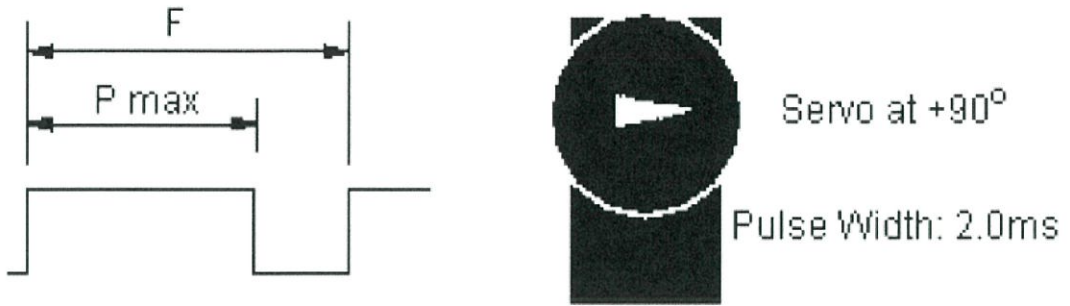


รูปที่ 3.21 สัญญาณพัลส์ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

### 3.5.3.1 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะถูกควบคุมด้วยพัลส์หรือลอจิก 1 (5V) เป็นระยะเวลาที่กำหนดและช่วงเวลาหรือส่งลอจิก 0 เป็นระยะเวลาคงที่ 20 มิลลิวินาที สลับกันไป ส่งผลให้สามารถควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ได้โดยทิศทางการหมุนเป็นดังนี้ เซอร์โวมอเตอร์ จะหมุนไปทางขวา หรือ ตามเข็มนาฬิกา เมื่อพัลส์บวกมีความกว้าง 1 มิลลิวินาที (1ms) และพัลส์ลบ 20 มิลลิวินาที แสดงดังรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางขวา

เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปทางซ้าย(ทวนเข็มนาฬิกา) เมื่อพัลส์บวกมีความกว้าง 2 มิลลิวินาที และพัลส์ลบ 20 มิลลิวินาที แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางซ้าย

เซอร์โวมอเตอร์จะอยู่กึ่งกลาง (หยุดหมุน) เมื่อพัลส์บวกมีความกว้าง 1.5 มิลลิวินาทีและพัลส์ลบ 20 มิลลิวินาที แสดงดังรูปที่ 3.24 (หากเซอร์โวมอเตอร์ไม่หยุดหมุน จะต้องปรับค่าความต้านทานของเซอร์โวมอเตอร์ใหม่ โดยที่ช่องปรับจะอยู่ใกล้กับสายไฟของเซอร์โวมอเตอร์)



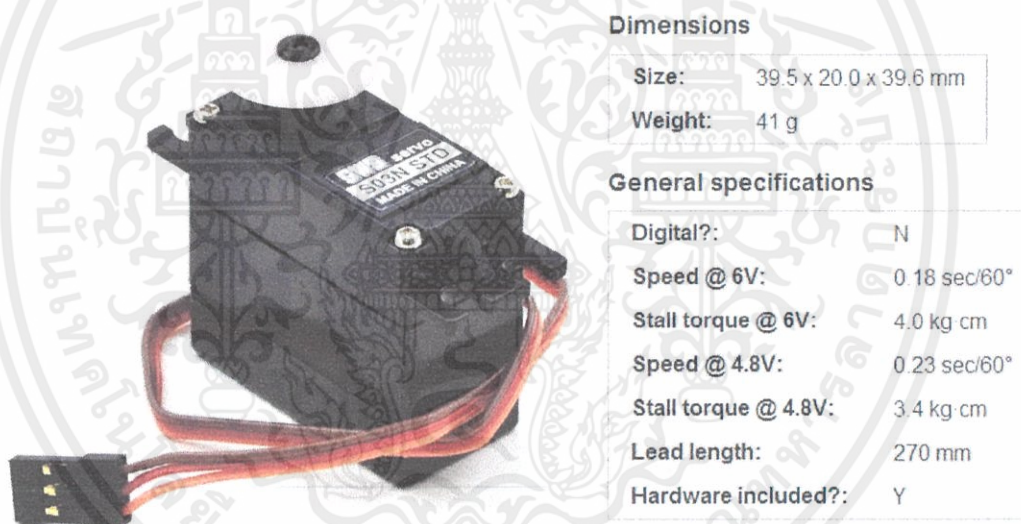
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.24 เซอร์โวมอเตอร์อยู่กึ่งกลาง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3.2 ความเร็วในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์

ความเร็วในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับสัญญาณพัลส์ที่มีคาบช่วงบวก ดังนั้นความเร็วสูงสุดของการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อพัลส์คาบช่วงบวกมากกว่า 1.5 ถึง 2 มิลลิวินาที เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา โดยความเร็วจะเพิ่มขึ้นเมื่อคาบเวลาบวกเพิ่มขึ้น และจะหมุนได้เร็วที่สุดเมื่อค่าช่วงบวกมีค่าเท่ากับ 2 มิลลิวินาที ความเร็วสูงสุดของการหมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อพัลส์คาบช่วงบวกตั้งแต่ 1 และน้อยกว่า 1.5 มิลลิวินาที เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา โดยความเร็วจะเพิ่มขึ้นเมื่อคาบเวลาบวกลดลงจาก 1.5 มิลลิวินาที และจะหมุนได้เร็วที่สุดเมื่อคาบช่วงบวกมีค่าเท่ากับ 1 มิลลิวินาที

### 3.5.3.3 เซอร์โวมอเตอร์ที่เลือกใช้

เซอร์โวมอเตอร์ที่เลือกนำมาใช้งานติดตั้งที่ส่วนคัดแยกชิ้นงานนั้นได้เลือก เซอร์โวมอเตอร์ รุ่น GWS S03N Standard Servo ด้วยความเร็วที่ Speed @ 4.8V: 0.23 sec/60° และ Stall torque @ 4.8V: 3.4 kg-cm ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในการหมุนเพื่อปิดคัดแยก



รูปที่ 3.25 เซอร์โวมอเตอร์ที่เลือกใช้ (GWS S03N Standard Servo) : [www.pololu.com](http://www.pololu.com)

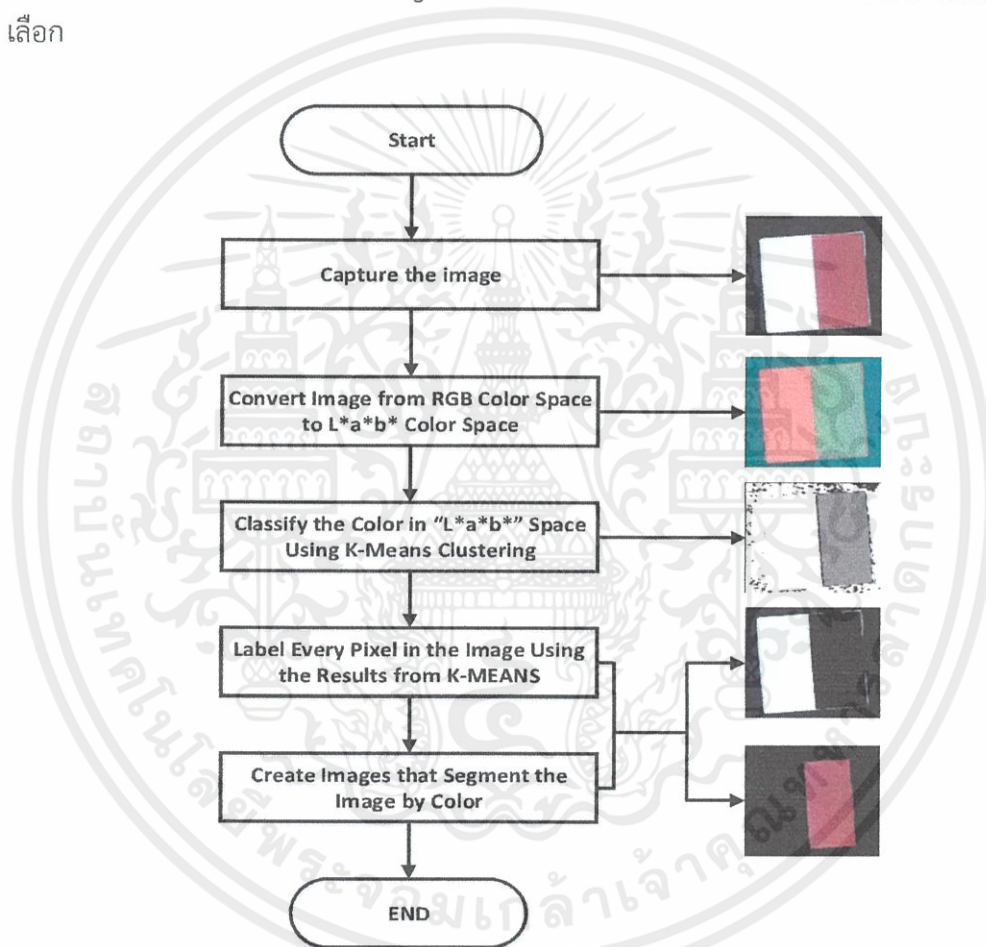
## 3.6 โปรแกรมในการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ

สำหรับโปรแกรมในการประมวลผลภาพนี้พัฒนาขึ้นมาจะรับรูปภาพที่ถูกถ่ายมาจากกล้องเว็บแคม (WEBCAM) มาทำการประมวลผลโดยการประมวลผลภาพโดยอัลกอริทึมนี้พัฒนาขึ้นมาซึ่งสามารถแยกเป็นส่วนสำคัญคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.1 อัลกอริทึมในการแยกสีของชิ้นงาน

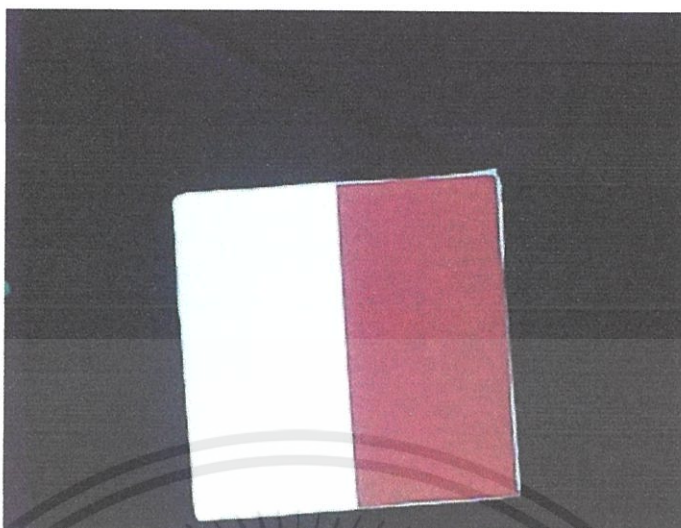
สำหรับอัลกอริทึมนี้จะทำหน้าที่เป็นการแยกพื้นที่สีของชิ้นงานออกจากสายพานหรือแยกสีที่ต่างกันของตัวชิ้นงาน โดยอัลกอริทึมในการประมวลผลจะใช้อัลกอริทึมแบบเคมีน (K-Means clustering) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering Analysis) โดยลักษณะขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในระบบประมวลผลภาพเพื่อแยกชิ้นงานกับเนื้อแดง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.26 โดยเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 การถ่ายภาพชิ้นงานด้วยกล้องเว็บแคม (WEBCAM) จากนั้นภาพที่ได้จะถูกนำไปประมวลผลภายในอัลกอริทึม เริ่มจากการแปลงภาพที่ได้นั้นจากระบบสี RGB เป็นระบบสีแบบ  $L^*a^*b$  Color เพื่อความง่ายในการแยกสีของภาพ จากนั้นใช้ K-Means Clustering เพื่อแยกสีของภาพเป็นสัดส่วนตามฟังก์ชันประมวลผลภาพที่เลือก



รูปที่ 3.26 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมในการแยกสีของชิ้นงาน

สำหรับตัวอย่างของผลการทดสอบอัลกอริทึมโดยใช้ภาพถ่ายชิ้นงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.27 ถึง 3.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ภาพชิ้นงานเมื่อทำการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต



รูปที่ 3.28 ภาพชิ้นงานทั้งหมดก่อนทำการแยกสี



(ก)

(ข)

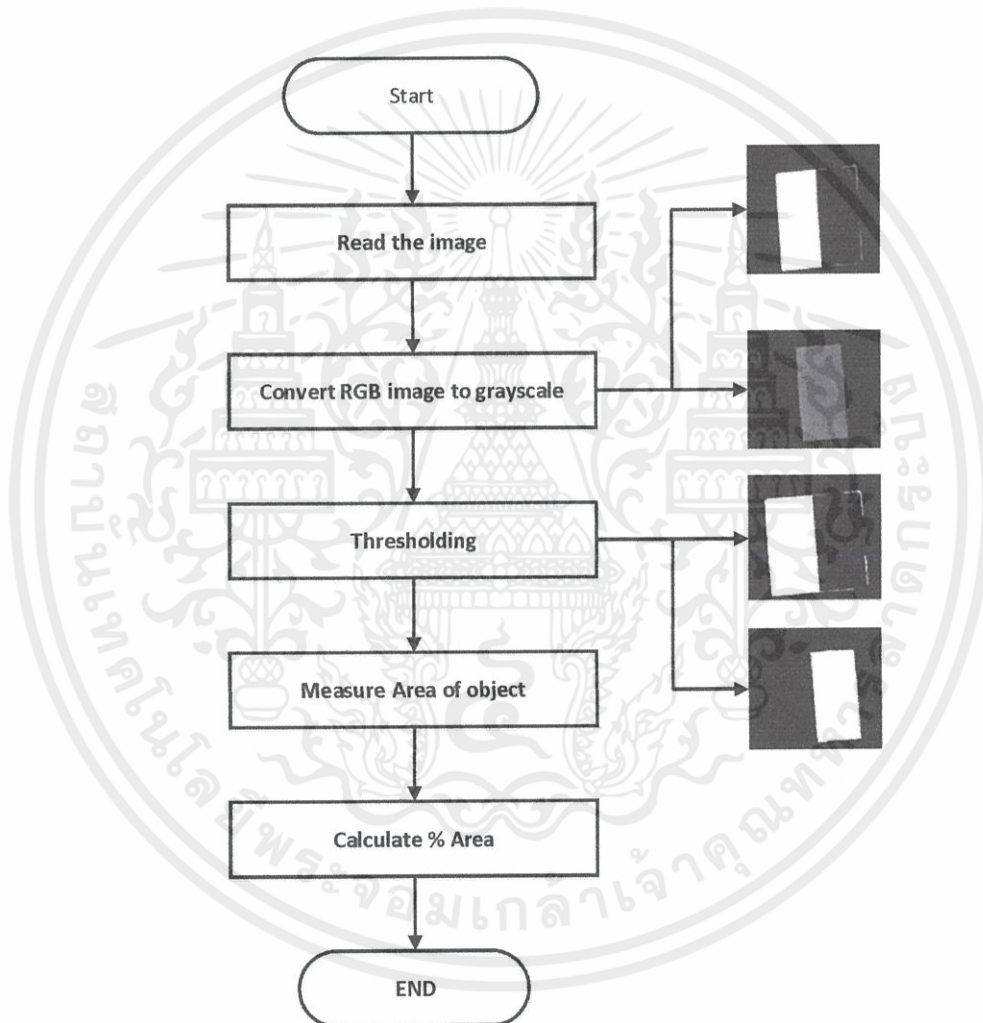
รูปที่ 3.29 ภาพชิ้นงานหลังทำการแยกสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก (ก) ภาพชิ้นงานส่วนสีขาวหลังทำการแยกสี (ข) ภาพชิ้นงานส่วนสีแดงหลังทำการแยกสี ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2 อัลกอริทึมในการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน

สำหรับอัลกอริทึมส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการคำนวณหาค่าของพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้ภาพที่ได้จากอัลกอริทึมในการแยกสีของชิ้นงานมาใช้เพื่อคำนวณหาค่าพื้นที่ซึ่งหากชิ้นงานที่นำมาทดสอบมีสองสีก็จะมี การหาขนาดของทั้งสองสีแยกกันอีกด้วย

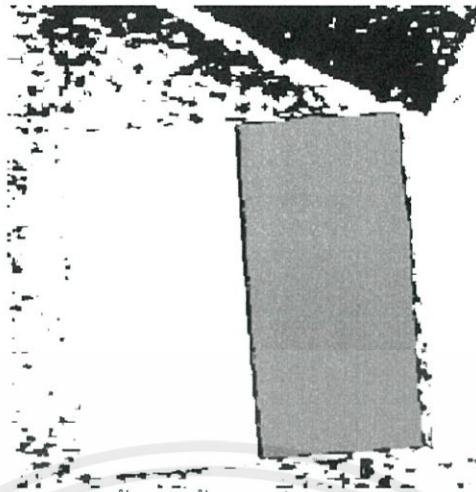
ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมในการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยลักษณะขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมนั้นจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.30 โดยการทำงานเริ่มจากนำภาพที่ได้จากอัลกอริทึมในการแยกสีของชิ้นงานมาแปลงค่าระบบสีให้กลายเป็น Grayscale จากนั้นใช้คำสั่ง Thresholding เพื่อแปลงค่าภาพให้กลายเป็นรูปของข้อมูลพิกเซล (Pixel) มีสองระดับขั้นตอนต่อไปคือการนับจำนวนพิกเซลของสีในแต่ละภาพเพื่อทำการคำนวณเป็นค่าพื้นที่



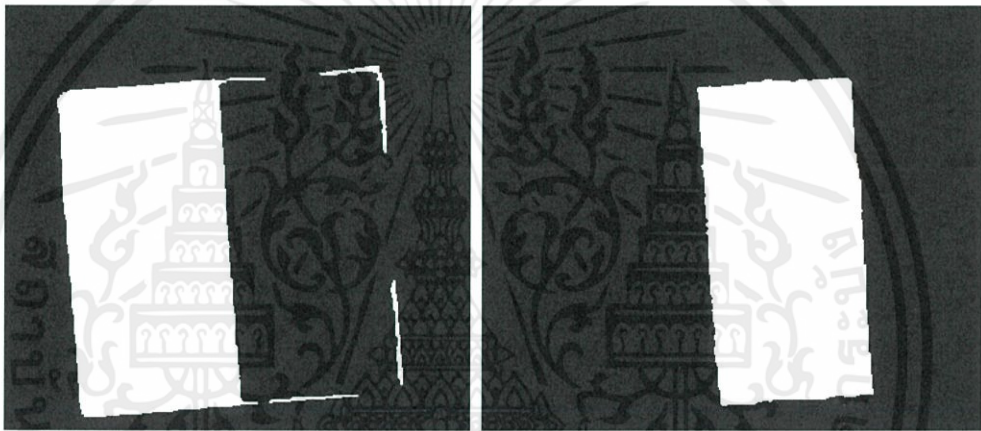
รูปที่ 3.30 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมในการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน

สำหรับตัวอย่างของผลการทดสอบอัลกอริทึมใช้ภาพชิ้นงานเพื่อนำมาหาค่าพื้นที่ที่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.31 ถึงรูปที่ 3.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 ภาพชิ้นงานทั้งหมดที่จะนำไปคำนวณหาค่าพื้นที่



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.32 ภาพชิ้นงานหลังทำการแยกสีและคำนวณ

(ก) ภาพชิ้นงานส่วนสีขาวหลังทำการแยกสีและคำนวณ

(ข) ภาพชิ้นงานส่วนสีแดงหลังทำการแยกสีและคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดสอบระบบ

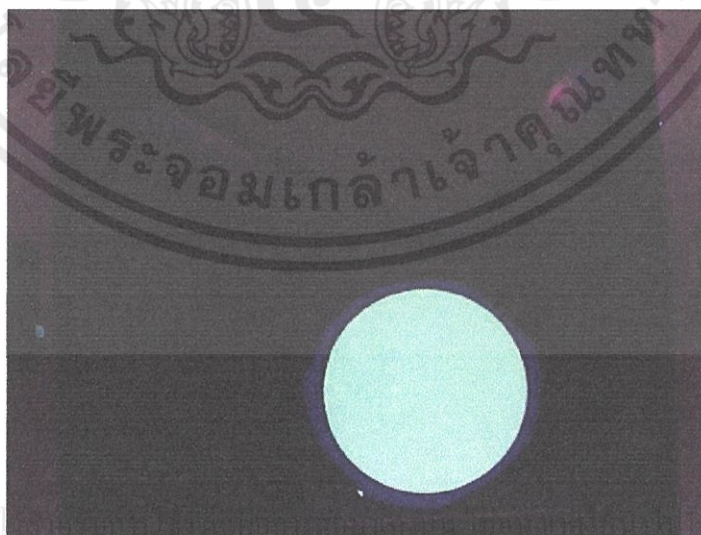
#### 4.1 กล่าวนำ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระบบการประมาณค่าพื้นที่โดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ โดยจะมีส่วนในการทดสอบตามรายละเอียดต่อไปนี้

- การทดสอบโปรแกรมในการแยกสีของชิ้นงาน
- การทดสอบโปรแกรมในการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน
- การทดสอบโปรแกรมเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพ
- การทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับชิ้นงานแบบสองสี
- การทดสอบโปรแกรมเพื่อหาค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากเหตุปัจจัยภายนอก
- การประยุกต์ใช้งานโปรแกรมในการหาค่าพื้นที่ด้วยชิ้นงานที่มีองค์ประกอบที่ไม่สามารถวัดค่าพื้นที่ได้ด้วยการวิธีวัดทั่วไป

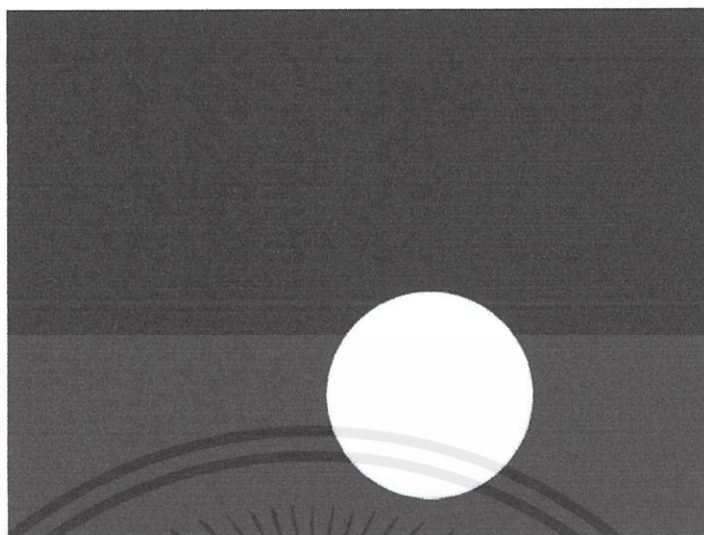
#### 4.2 การทดสอบโปรแกรมในการแยกสีของชิ้นงาน

สำหรับการทดสอบนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการทำงานการแยกสีชิ้นงาน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการแยกสีของชิ้นงานออกจากสีของสายพานซึ่งมีสีต่างกันโดยการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้คือ ขั้นแรกนำชิ้นงานสำหรับการทดสอบเข้าไปวางไว้ในตู้ตรวจสอบ และทำการเก็บภาพชิ้นงาน จากนั้นทำการประมวลผลภาพโดยโปรแกรมในการแยกสีของชิ้นงาน จากการทดสอบสามารถแสดงภาพของชิ้นงานก่อนและหลังการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมในการแยกสีของชิ้นงานได้ ดังรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ภาพก่อนการแยกสีของชิ้นงาน

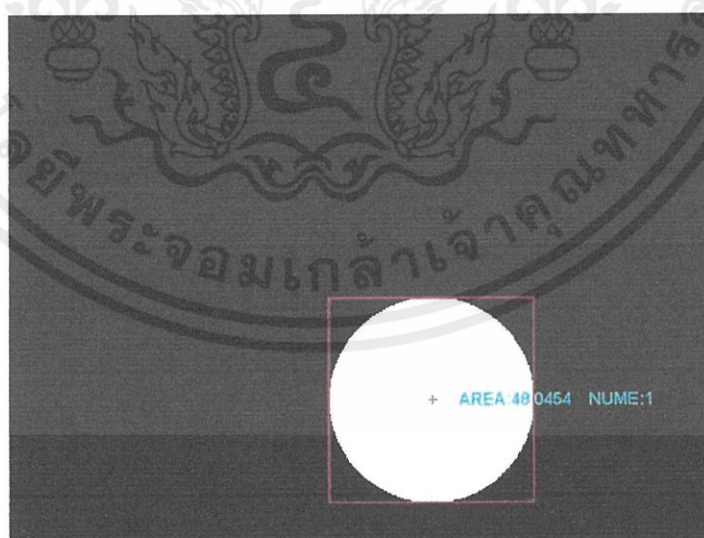
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ภาพหลังการแยกสีของชิ้นงาน

#### 4.3 การทดสอบโปรแกรมในการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน

สำหรับในการทดสอบนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยการทดสอบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ ขั้นแรกนำภาพที่ได้จากผลการทดสอบโปรแกรมในส่วนการแยกสีของชิ้นงานมาเข้าโปรแกรมในการคำนวณหาพื้นที่ของชิ้นงาน จากนั้นทำการประมวลผลภาพที่ได้จากโปรแกรมในการแยกสีของชิ้นงาน จากการทดสอบสามารถแสดงผลภาพของการคำนวณพื้นที่ของชิ้นงานซึ่งมีค่าจริงอยู่ที่ 49 ตารางเซนติเมตร และค่าที่วัดได้จากโปรแกรมในการคำนวณหาพื้นที่ชิ้นงาน อยู่ที่ 48.045 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูปการทดสอบการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดสอบโปรแกรมเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพ

จากการถ่ายภาพโดยกล้องเว็บแคม (WEBCAM) นั้นจะต้องมีการคำนวณค่าความผิดพลาดที่คลาดเคลื่อนระหว่างชิ้นงานจริงและภาพที่ได้จากการถ่ายเพื่อนำไปประมวลผลภาพ โดยวิธีการหาค่าความผิดพลาดนั้นจะใช้ชิ้นงานทดสอบเพื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่รู้ค่าพื้นที่จริงกับผลการคำนวณค่าพื้นที่จากภาพถ่ายโดยโปรแกรมประมวลผลภาพที่พัฒนาขึ้นด้วยชิ้นงานรูปทรงต่างๆและขนาดที่ต่างกัน รวมถึงสีของชิ้นงาน ว่ามีผลต่อการประมวลผลภาพหรือไม่ด้วยการทดสอบหาค่าความผิดพลาดด้วยรูปแบบชิ้นงานต่าง ๆ ดังนี้

##### 4.4.1 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่มีขนาดต่างๆ

การทดสอบนี้จะนำชิ้นงานที่มีรูปทรง และขนาดที่ต่างกัน มาทดสอบในโปรแกรมหาค่าพื้นที่ของชิ้นงานเพื่อเก็บข้อมูลของค่าพื้นที่เพื่อนำมาหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพได้โดยจะมีการทดสอบดังนี้ นำชิ้นงานสำหรับทดสอบวางไว้ในตู้ตรวจสอบ จากนั้นทำการเก็บภาพชิ้นงานด้วยกล้องเว็บแคม แล้วจึงทำการประมวลผลภาพที่ได้โดยโปรแกรมในการหาพื้นที่ของชิ้นงาน โดยในการทดสอบนี้จะนำชิ้นงานที่มีรูปทรง และขนาดที่ต่างกันมาทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลของค่าพื้นที่เพื่อทำการหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ ดังนี้

##### 4.4.1.1 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม

การทดสอบนี้จะนำชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาดต่างๆมาเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน หรือภาพที่จะใช้ทดสอบวัดค่าความผิดพลาดนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยจากชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งรู้ค่าที่แน่นอนจากการวัด แล้วจึงนำไปเข้าในระบบการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพซึ่งจะนำค่าพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลภาพเทียบกับค่าพื้นที่จริงของรูปและหาค่าความผิดพลาดโดยการเก็บสถิติตั้งตารางผลการทดสอบต่อไป

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม

ชั้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	1.025	1.026	1.026	1.022	1.025	1.025
	ค่าความผิดพลาด (%)	3.033	3.103	3.103	2.745	2.963	2.990
2 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	1.985	1.987	1.987	1.983	1.980	1.984
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.149	-0.079	-0.083	-0.275	-0.433	-0.204
3 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	3.040	3.039	3.035	3.037	3.036	3.037
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.777	1.725	1.594	1.684	1.638	1.684
4 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	4.030	4.034	4.035	4.037	4.030	4.033
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.953	1.049	1.066	1.117	0.957	1.028
5 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	5.138	5.131	5.144	5.140	5.142	5.139
	ค่าความผิดพลาด (%)	2.796	2.652	2.902	2.825	2.866	2.808
6 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	6.117	6.110	6.116	6.113	6.117	6.115
	ค่าความผิดพลาด (%)	2.075	1.945	2.053	2.003	2.073	2.030
7 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	7.068	7.069	7.069	7.068	7.070	7.069
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.036	1.056	1.056	1.036	1.068	1.051
8 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	8.014	8.021	8.025	8.024	8.024	8.022
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.326	0.413	0.465	0.448	0.456	0.421
9 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	8.969	8.972	8.974	8.967	8.967	8.969
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.236	-0.198	-0.182	-0.259	-0.260	-0.227
10 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	10.122	10.121	10.117	10.117	10.121	10.120
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.469	1.460	1.420	1.417	1.462	1.445
20 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	20.197	20.197	20.200	20.191	20.195	20.196
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.094	1.095	1.108	1.063	1.084	1.089
30 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	30.031	30.033	30.028	30.028	30.017	30.028
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.123	0.130	0.111	0.114	0.076	0.111

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม (ต่อ)

ชั้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
40 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	40.089	40.088	40.087	40.096	40.087	40.090
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.269	0.265	0.263	0.284	0.263	0.269
50 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	49.672	49.671	49.671	49.665	49.680	49.672
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.632	-0.634	-0.634	-0.647	-0.617	-0.633
60 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	58.759	58.760	58.781	58.775	58.786	58.772
	ค่าความผิดพลาด (%)	-2.061	-2.060	-2.024	-2.035	-2.017	-2.039
70 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	69.376	69.378	69.383	69.395	69.367	69.380
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.878	-0.876	-0.869	-0.852	-0.891	-0.873
80 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	78.647	78.656	78.648	78.644	78.654	78.650
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.671	-1.659	-1.670	-1.675	-1.663	-1.668
90 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	89.355	89.352	89.357	89.354	89.348	89.353
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.700	-0.703	-0.698	-0.701	-0.708	-0.702
100 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	96.520	96.515	96.517	96.503	96.512	96.513
	ค่าความผิดพลาด (%)	-3.472	-3.477	-3.475	-3.490	-3.480	-3.479

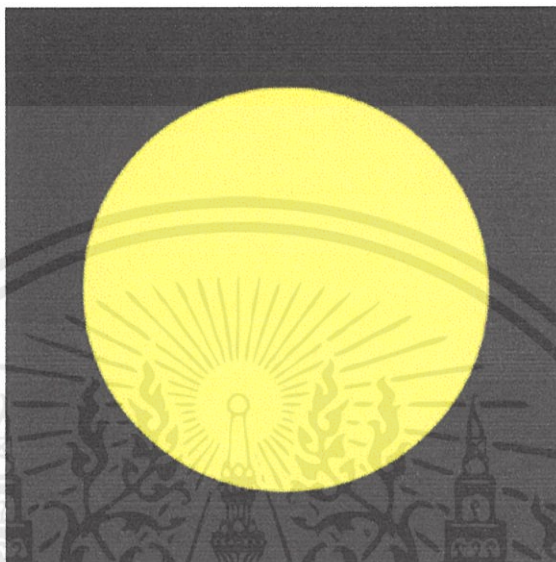


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่รูปทรงสี่เหลี่ยม

#### 4.4.1.2 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผล ภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงวงกลม

การทดสอบนี้จะนำชิ้นงานรูปทรงวงกลมที่มีขนาดต่างๆมาเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าพื้นที่ของชิ้นงาน หรือภาพที่จะใช้ทดสอบวัดค่าความผิดพลาดนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างชิ้นงานรูปทรงวงกลม

จากชิ้นงานรูปทรงวงกลมซึ่งรู้ค่าที่แน่นอนจากการวัด แล้วจึงนำไปเข้าในระบบการประมวลผลค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพซึ่งจะนำค่าพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลภาพเทียบกับค่าพื้นที่จริงของรูปและหาค่าความผิดพลาดโดยการเก็บสถิติดังตารางผลการทดสอบต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงวงกลม

ชิ้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	0.981	0.987	0.983	0.980	0.985	0.983
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.539	-0.918	-1.276	-1.617	-1.067	-1.283
2 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	1.945	1.943	1.941	1.943	1.946	1.944
	ค่าความผิดพลาด (%)	-2.465	-2.570	-2.640	-2.570	-2.430	-2.535
3 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	2.947	2.949	2.943	2.942	2.943	2.945
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.515	-1.469	-1.655	-1.676	-1.655	-1.594

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงวงกลม (ต่อ)

ชั้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
4 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	3.993	3.986	3.993	3.988	3.988	3.990
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.044	-0.151	0.026	-0.079	-0.079	-0.048
5 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	4.958	4.959	4.960	4.961	4.958	4.959
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.642	-0.628	-0.614	-0.600	-0.640	-0.625
6 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	6.004	6.015	6.001	6.008	5.998	6.005
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.242	0.417	0.192	0.310	0.146	0.261
7 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	6.887	6.885	6.895	6.889	6.889	6.889
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.460	-1.481	-1.339	-1.429	-1.433	-1.428
8 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	7.814	7.806	7.803	7.813	7.804	7.808
	ค่าความผิดพลาด (%)	-2.171	-2.269	-2.315	-2.189	-2.294	-2.247
9 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	8.870	8.865	8.873	8.867	8.865	8.868
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.302	-1.356	-1.262	-1.334	-1.357	-1.322
10 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	10.040	10.044	10.043	10.044	10.048	10.044
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.537	0.578	0.565	0.572	0.619	0.574
20 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	19.847	19.849	19.846	19.848	19.852	19.848
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.667	-0.660	-0.671	-0.664	-0.643	-0.661
30 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	30.009	30.005	30.007	29.999	30.003	30.005
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.109	0.097	0.101	0.076	0.090	0.094
40 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	39.955	39.951	39.970	39.957	39.950	39.957
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.044	-0.054	-0.007	-0.040	-0.056	-0.040
50 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	49.888	49.902	49.889	49.897	49.894	49.894
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.164	-0.136	-0.161	-0.144	-0.151	-0.151
60 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	59.562	59.565	59.567	59.567	59.566	59.566
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.673	-0.670	-0.665	-0.665	-0.668	-0.668

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงวงกลม (ต่อ)

ชั้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
70 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	69.335	69.342	69.338	69.331	69.341	69.337
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.899	-0.888	-0.894	-0.904	-0.890	-0.895
80 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	78.915	78.913	78.908	78.908	78.908	78.910
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.309	-1.311	-1.317	-1.318	-1.317	-1.314
90 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	87.800	87.796	87.789	87.796	87.800	87.796
	ค่าความผิดพลาด (%)	-2.399	-2.403	-2.411	-2.403	-2.399	-2.403
100 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	96.652	96.656	96.645	96.640	96.636	96.646
	ค่าความผิดพลาด (%)	-3.305	-3.302	-3.312	-3.318	-3.321	-3.312



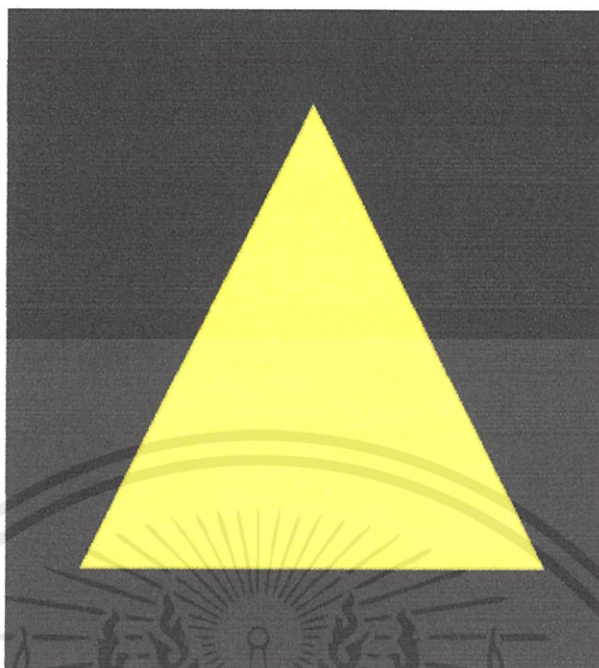
รูปที่ 4.7 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่รูปทรงวงกลม

#### 4.4.1.3 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยม

การทดสอบนี้จะนำชั้นงานรูปทรงสามเหลี่ยมที่มีขนาดต่างๆมาเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าพื้นที่ของชั้นงาน สำหรับภาพที่จะใช้ทดสอบวัดค่าความผิดพลาดนั้น สามารถแสดงได้ดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.8

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างชิ้นงานรูปทรงสามเหลี่ยม

จากชิ้นงานรูปทรงกลมซึ่งรู้ค่าที่แน่นอนจากการวัด แล้วจึงนำไปเข้าในระบบการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพซึ่งจะนำค่าพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลภาพเทียบกับค่าพื้นที่จริงของรูปและหาค่าความผิดพลาดโดยการเก็บสถิติตั้งตารางผลการทดสอบต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยม

ชิ้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	0.987	0.990	0.992	0.987	0.993	0.990
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.813	-0.603	-0.324	-0.892	-0.262	-0.579
2 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	2.021	2.010	2.011	2.018	2.025	2.017
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.482	0.922	0.996	1.346	1.665	1.282
3 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	3.037	3.033	3.036	3.033	3.035	3.035
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.664	1.544	1.640	1.550	1.597	1.599
4 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	4.026	4.021	4.023	4.026	4.019	4.023
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.822	0.706	0.745	0.833	0.651	0.751
5 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	5.043	5.036	5.037	5.039	5.044	5.040
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.021	0.883	0.895	0.939	1.049	0.957

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยม (ต่อ)

ชั้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
6 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	5.993	5.992	5.998	5.989	6.001	5.995
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.022	0.007	0.112	-0.037	0.149	0.051
7 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	7.026	7.031	7.031	7.033	7.026	7.030
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.509	0.588	0.588	0.619	0.518	0.565
8 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	8.101	8.091	8.100	8.101	8.098	8.098
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.393	1.265	1.380	1.401	1.353	1.358
9 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	9.112	9.118	9.105	9.112	9.116	9.113
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.366	1.436	1.288	1.366	1.412	1.373
10 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	10.109	10.109	10.106	10.110	10.113	10.109
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.367	1.368	1.347	1.381	1.415	1.376
20 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	20.116	20.108	20.114	20.115	20.112	20.113
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.665	0.626	0.657	0.662	0.643	0.651
30 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	30.198	30.199	30.196	30.197	30.187	30.195
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.723	0.726	0.715	0.719	0.684	0.713
40 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	39.740	39.753	39.757	39.759	39.757	39.753
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.591	-0.559	-0.548	-0.544	-0.550	-0.558
50 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	49.048	49.050	49.055	49.054	49.050	49.052
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.791	-1.787	-1.777	-1.779	-1.786	-1.784
60 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	58.257	58.262	58.270	58.269	58.273	58.266
	ค่าความผิดพลาด (%)	-2.862	-2.853	-2.839	-2.842	-2.835	-2.846
70 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	67.894	67.878	67.898	67.896	67.897	67.893
	ค่าความผิดพลาด (%)	-2.968	-2.991	-2.962	-2.965	-2.963	-2.970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงสามเหลี่ยม (ต่อ)

ชั้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
80 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	77.088	77.061	77.084	77.065	77.079	77.075
	ค่าความผิดพลาด (%)	-3.603	-3.638	-3.608	-3.632	-3.614	3.619
90 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	86.910	86.901	86.918	86.901	86.911	86.908
	ค่าความผิดพลาด (%)	-3.398	-3.409	-3.389	-3.409	-3.397	3.400
100 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	96.302	96.314	96.315	96.307	96.311	96.310
	ค่าความผิดพลาด (%)	-3.665	-3.653	-3.651	-3.660	-3.655	3.657



รูปที่ 4.9 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่รูปทรงสามเหลี่ยม

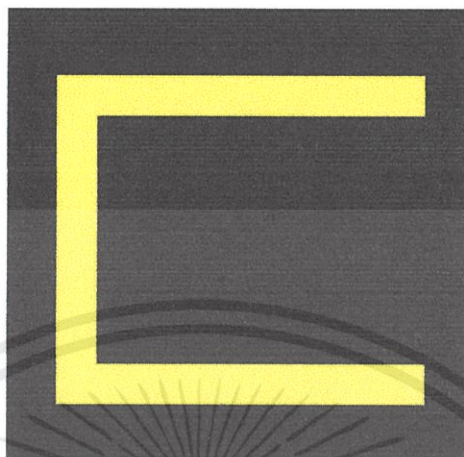
#### 4.4.1.4 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงที่ไม่สมมาตร

การทดสอบนี้จะนำชั้นงานรูปทรงไม่สมมาตรที่มีพื้นที่ต่าง ๆ มาเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าพื้นที่ของชั้นงานเพื่อแสดงค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ สำหรับภาพที่จะใช้ทดสอบวัดค่าความผิดพลาดนั้น จะมีชั้นงานที่ใช้ทดสอบวัดค่าความผิดพลาดดังนี้

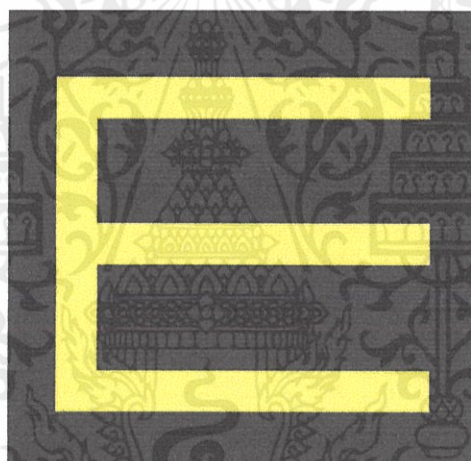
- (ก) พื้นที่ 24 ตารางเซนติเมตร
- (ข) พื้นที่ 32 ตารางเซนติเมตร
- (ค) พื้นที่ 50 ตารางเซนติเมตร
- (ง) พื้นที่ 28 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

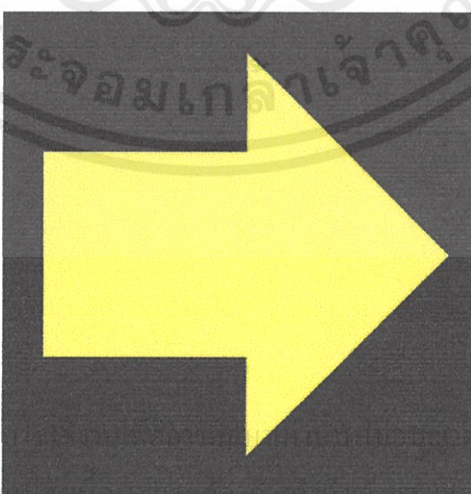
โดยสามารถแสดงชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตรซึ่งนำมาทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่  
โดยการประมวลผลภาพได้ดังรูปที่ 4.10 ถึง รูปที่ 4.13



รูปที่ 4.10 ชิ้นงาน (ก) ค่าพื้นที่ 24 ตารางเซนติเมตร

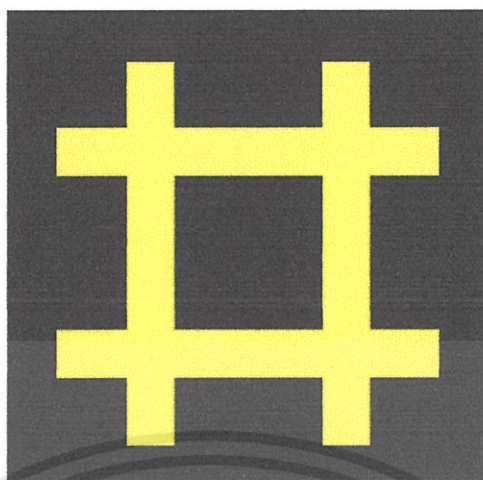


รูปที่ 4.11 ชิ้นงาน (ข) ค่าพื้นที่ 32 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.12 ชิ้นงาน (ค) ค่าพื้นที่ 50 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก... สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



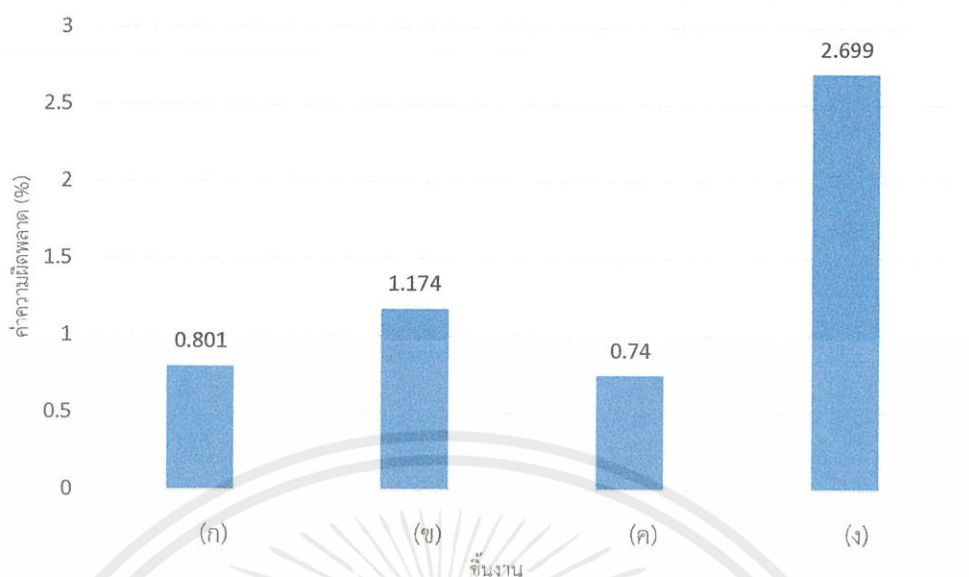
รูปที่ 4.13 ชั้่งงาน (จ) ค่าพื้นที่ 28 ตารางเซนติเมตร

จากระบบการประมาณค่าพื้นที่ของชั้่งงานโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพซึ่งจะนำค่าพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลภาพเทียบกับค่าพื้นที่จริงของรูปและหาค่าความผิดพลาดโดยการเก็บสถิติดังตารางผลการทดสอบต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยรูปทรงที่ไม่สมมาตร

ชั้่งงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
(ก) 24 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	24.186	24.198	24.179	24.187	24.210	24.192
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.775	0.825	0.746	0.781	0.877	0.801
(ข) 32 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	32.392	32.366	32.366	32.371	32.385	32.376
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.226	1.143	1.143	1.158	1.202	1.174
(ค) 50 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	49.627	49.630	49.625	49.632	49.636	49.630
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.745	-0.740	-0.749	-0.737	-0.727	0.740
(ง) 28 ตร.ชม.	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	28.759	28.760	28.771	28.749	28.740	28.756
	ค่าความผิดพลาด (%)	2.711	2.714	2.754	2.674	2.644	2.699

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



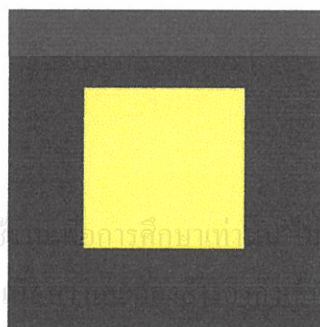
รูปที่ 4.14 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ชิ้นงานรูปทรงที่ไม่สมมาตร

#### 4.4.2 การทดสอบหาความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยชิ้นงานที่มีสีต่างกัน

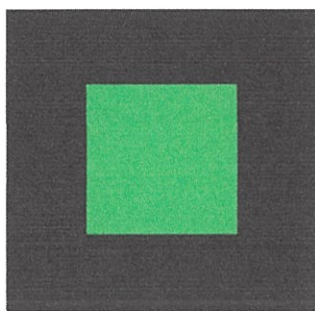
การทดสอบนี้จะนำชิ้นงานที่มีค่าพื้นที่เท่ากัน แต่สีของชิ้นงานต่างกันมาเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าพื้นที่ของชิ้นงานเพื่อแสดงค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพ สำหรับภาพที่จะใช้ทดสอบวัดค่าความผิดพลาดนั้น โดยการทดสอบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ โดยนำชิ้นงานสำหรับทดสอบวางไว้ในตู้ตรวจสอบจากนั้นทำการเก็บภาพชิ้นงานด้วยกล้องเว็บแคม แล้วจึงทำการประมวลผลภาพที่ได้โดยโปรแกรมในส่วนการหาค่าพื้นที่ ซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบวัดค่าความผิดพลาดมีดังนี้

- (จ) ชิ้นงานสีเหลือง พื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร
- (ฉ) ชิ้นงานสีเขียว พื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร
- (ช) ชิ้นงานสีฟ้า พื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร
- (ซ) ชิ้นงานสีขาว พื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร
- (ฅ) ชิ้นงานสีฟ้า พื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร

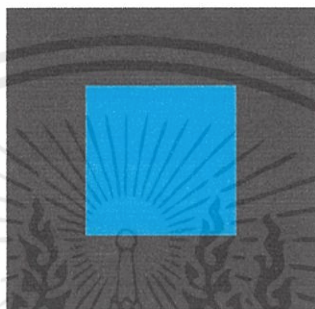
ซึ่งสามารถแสดงชิ้นงานที่มีสีต่างกันซึ่งนำมาทดสอบหาความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพได้ดังรูปที่ 4.15 ถึง รูปที่ 4.19



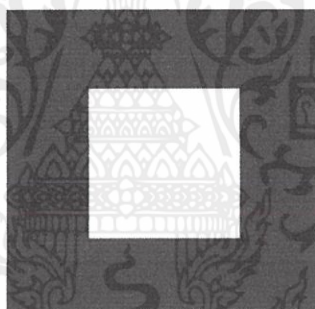
รูปที่ 4.15 ชิ้นงาน (จ) สีเหลืองพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร



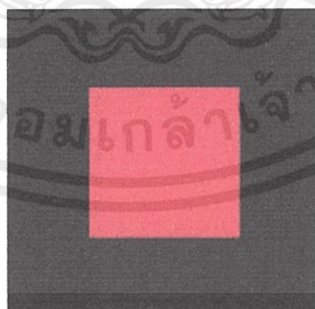
รูปที่ 4.16 ชิ้นงาน (ฉ) สีเขียวพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.17 ชิ้นงาน (ซ) สีฟ้าพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.18 ชิ้นงาน (ช) สีขาวพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร

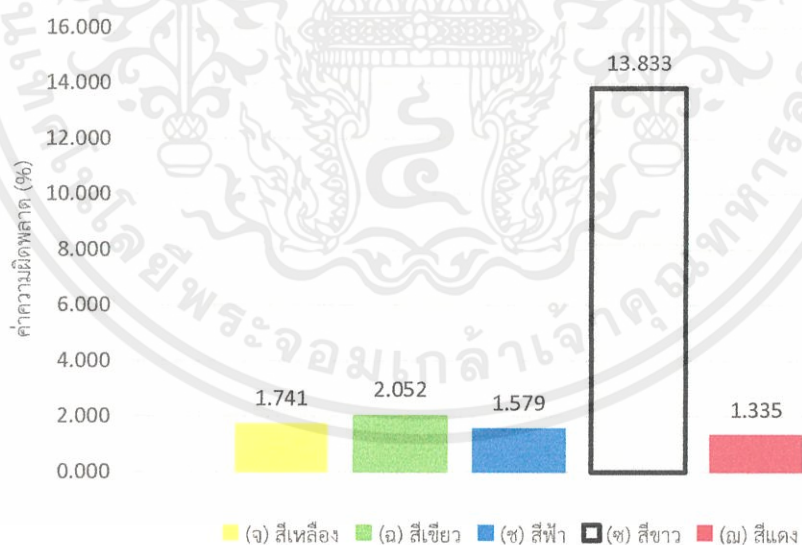


รูปที่ 4.19 ชิ้นงาน (ฉ) สีแดงพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วย  
ชั้นงานที่มีสีต่างกัน

ชั้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
(จ) สีเหลือง 4 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	3.934	3.926	3.935	3.923	3.922	3.928
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.596	-1.794	-1.561	-1.856	-1.899	1.741
(ฉ) สีเขียว 4 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	3.918	3.915	3.915	3.912	3.921	3.916
	ค่าความผิดพลาด (%)	-2.009	-2.076	-2.076	-2.164	-1.936	2.052
(ช) สีฟ้า 4 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	4.062	4.063	4.059	4.060	4.065	4.062
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.582	1.595	1.508	1.543	1.667	1.579
(ซ) สีขาว 4 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	4.551	4.548	4.551	4.549	4.555	4.551
	ค่าความผิดพลาด (%)	13.834	13.762	13.834	13.797	13.937	13.833
(ณ) สีแดง 4 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	3.949	3.942	3.942	3.945	3.933	3.942
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.172	-1.344	-1.344	-1.241	-1.571	1.335



รูปที่ 4.20 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ชั้นงานสีต่างกัน

สำหรับการทดสอบการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ของชั้นงานที่มีขนาดต่างๆทำให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นอาจเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุเช่นชั้นงานมีขนาดเล็กและชั้นงานขนาดใหญ่ รวมถึงชั้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและสีของชั้นงาน โดยเฉพาะสีขาวก็อาจเกิดการกระเจิงของแสงจากตัวชั้นงานได้

#### 4.5 การทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับชิ้นงานแบบสองสี

จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นมีอัลกอริทึมสองแบบตามลักษณะชิ้นงานนั้นคืออัลกอริทึมสำหรับชิ้นงานที่มีพื้นที่ผิวหนึ่งสีและอัลกอริทึมสำหรับชิ้นงานที่มีพื้นที่ผิวสองสี ซึ่งความคลาดเคลื่อนระหว่างภาพจริงและภาพที่ได้จากการถ่าย โดยวิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อนนั้นจะใช้ขั้นตอนทดสอบเพื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่วัดได้จริงกับภาพที่กล้องถ่ายได้ ด้วยชิ้นงานที่มีอัตราส่วนค่าพื้นที่สองสีต่างๆและวิธีในการวางชิ้นงาน ว่ามีผลต่อการประมวลผลภาพหรือไม่ ด้วยการคำนวณหาค่าความผิดพลาดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

##### 4.5.1 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่มีสองสี

สำหรับการทดสอบนี้จะนำชิ้นงานที่มีลักษณะพื้นผิวสองสี และสัดส่วนของพื้นที่สองสีต่างกัน มาทำการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลของค่าพื้นที่เพื่อนำมาหาค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพโดยการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้ โดยนำชิ้นงานสำหรับทดสอบวางไว้ในตู้ตรวจสอบ ต่อมาจึงทำการเก็บภาพชิ้นงานโดยกล้องเว็บแคม จากนั้นจึงทำการประมวลผลภาพที่ได้โดยโปรแกรมในส่วนของหาค่าพื้นที่ของชิ้นงานซึ่งในการทดสอบนั้นใช้ชิ้นงานที่มีลักษณะพื้นผิวสองสีทดสอบหาค่าความผิดพลาดดังนี้

(A) ชิ้นงานที่มีสัดส่วนสีแดงต่อสีขาว 50:50 ตารางเซนติเมตร

(B) ชิ้นงานที่มีสัดส่วนสีแดงต่อสีขาว 60:40 ตารางเซนติเมตร

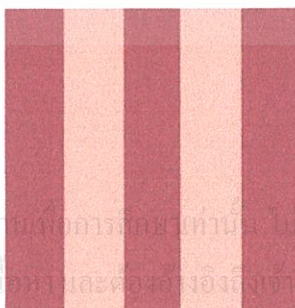
(C) ชิ้นงานที่มีสัดส่วนสีแดงต่อสีขาว 52:48 ตารางเซนติเมตร

สำหรับภาพที่จะใช้ทดสอบวัดค่าความผิดพลาดนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.21 ถึง

รูปที่ 4.23

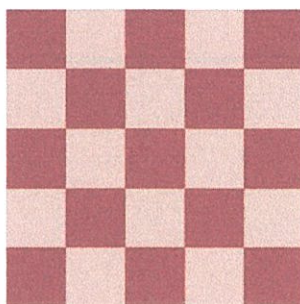


รูปที่ 4.21 ชิ้นงาน (A) สัดส่วนสีแดงต่อสีขาว 50:50 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.22 ชิ้นงาน (B) สัดส่วนสีแดงต่อสีขาว 60:40 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ชีงงาน (C) สัดส่วนสีแดงต่อสีขาว 52:48 ตารางเซนติเมตร

จากชีงงานซึ่งทดสอบวัดค่าความผิดพลาดซึ่งรู้ค่าที่แน่นอนจากการวัด แล้วจึงนำไป  
 เข้าในระบบตรวจสอบและประมวลผลภาพซึ่งจะนำค่าพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลภาพเทียบกับค่า  
 พื้นที่จริงของรูปและหาค่าความผิดพลาดโดยการเก็บสถิติตั้งตารางผลการทดสอบต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่  
 ด้วยชีงงาน (A)

ครั้งที่	พื้นที่จากการประมวลผลภาพ (ตร.ซม.)			ค่าความผิดพลาด (%)		
	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง
1	102.501	50.320	52.180	2.501	0.641	4.360
2	102.586	50.322	52.264	2.586	0.644	4.529
3	102.746	50.304	52.442	2.746	0.608	4.885
4	102.831	50.307	52.523	2.831	0.615	5.047
5	102.639	50.322	52.317	2.639	0.644	4.634
6	102.715	50.308	52.408	2.715	0.616	4.815
7	102.81	50.291	52.519	2.81	0.581	5.039
8	102.678	50.32	52.358	2.678	0.64	4.716
9	102.687	50.312	52.375	2.687	0.624	4.75
10	102.778	50.306	52.473	2.778	0.611	4.945
11	102.713	50.298	52.416	2.713	0.596	4.831
12	102.608	50.33	52.278	2.608	0.66	4.555
13	102.684	50.315	52.369	2.684	0.63	4.738
14	102.798	50.313	52.485	2.798	0.626	4.971
15	102.793	50.305	52.489	2.793	0.609	4.978

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยชิ้นงาน (A) (ต่อ)

ครั้งที่	พื้นที่จากการประมวลผลภาพ (ตร.ซม.)			ค่าความผิดพลาด (%)		
	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง
16	102.746	50.293	52.453	2.746	0.585	4.907
17	102.749	50.31	52.439	2.749	0.62	4.878
18	102.618	50.318	52.3	2.618	0.635	4.6
19	102.742	50.303	52.439	2.742	0.606	4.878
20	102.631	50.311	52.32	2.631	0.622	4.639
รวม	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ (ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (%)		
	102.7027	50.3104	52.39235	2.70265	0.62065	4.78475

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยชิ้นงาน (B)

ครั้งที่	พื้นที่จากการประมวลผลภาพ (ตร.ซม.)			ค่าความผิดพลาด (%)		
	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง
1	99.958	41.797	58.16	-0.042	4.493	-3.066
2	100.189	41.788	58.402	0.189	4.469	-2.664
3	99.858	41.767	58.091	-0.142	4.417	-3.181
4	100.21	41.781	58.429	0.21	4.453	-2.618
5	100.077	41.798	58.28	0.077	4.494	-2.867
6	100.128	41.79	58.339	0.128	4.474	-2.769
7	99.999	41.745	58.254	-0.001	4.363	-2.91
8	99.973	41.769	58.204	-0.027	4.422	-2.993
9	100.12	41.78	58.34	0.12	4.449	-2.766
10	99.971	41.761	58.21	-0.029	4.403	-2.984

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยชิ้นงาน (B) (ต่อ)

ครั้งที่	พื้นที่จากการประมวลผลภาพ (ตร.ซม.)			ค่าความผิดพลาด (%)		
	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง
11	100.075	41.799	58.276	0.075	4.498	-2.874
12	100.022	41.818	58.204	0.022	4.544	-2.993
13	99.938	41.755	58.184	-0.062	4.386	-3.027
14	100.007	41.739	58.268	0.007	4.347	-2.886
15	100.02	41.735	58.285	0.02	4.339	-2.859
16	100.029	41.757	58.272	0.029	4.392	-2.88
17	99.997	41.776	58.221	-0.003	4.441	-2.965
18	99.835	41.779	58.057	-0.165	4.447	-3.239
19	99.826	41.784	58.041	-0.174	4.461	-3.264
20	100.17	41.775	58.395	0.17	4.438	-2.675
รวม	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ (ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (%)		
	100.0201	41.77465	58.2456	0.0201	4.4365	2.924

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยชิ้นงาน (C)

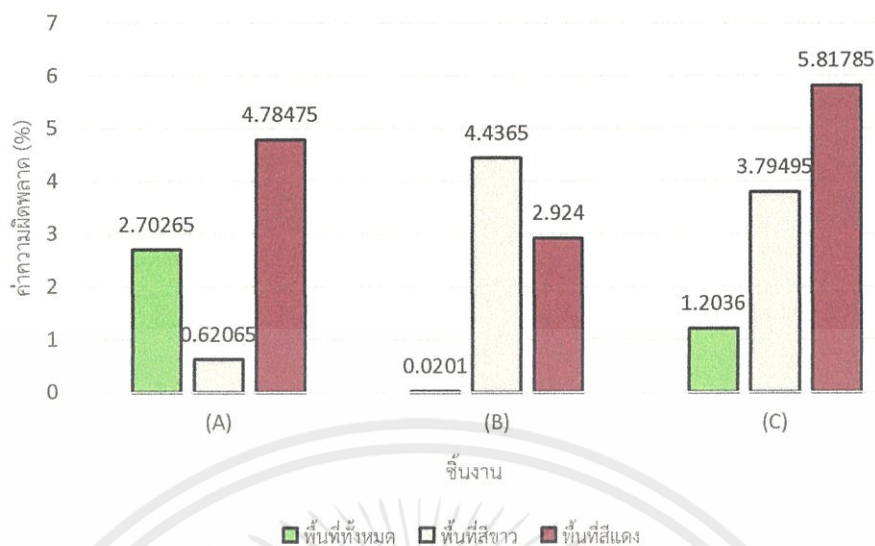
ครั้งที่	พื้นที่จากการประมวลผลภาพ (ตร.ซม.)			ค่าความผิดพลาด (%)		
	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง
1	99.958	41.797	58.16	-0.042	4.493	-3.066
2	100.189	41.788	58.402	0.189	4.469	-2.664
3	99.858	41.767	58.091	-0.142	4.417	-3.181
4	100.21	41.781	58.429	0.21	4.453	-2.618
5	99.54	49.911	49.63	-0.46	3.98	-4.558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ด้วยชิ้นงาน (C) (ต่อ)

ครั้งที่	พื้นที่จากการประมวลผลภาพ (ตร.ซม.)			ค่าความผิดพลาด (%)		
	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง	ทั้งหมด	สีขาว	สีแดง
5	99.54	49.911	49.63	-0.46	3.98	-4.558
6	99.586	49.884	49.702	-0.414	3.926	-4.42
7	96.072	51.08	44.992	-3.928	6.416	-13.477
8	99.745	49.91	49.835	-0.255	3.979	-4.163
9	96.132	51.141	44.992	-3.868	6.543	-13.477
10	99.689	49.931	49.757	-0.311	4.024	-4.313
11	96.062	51.108	44.953	-3.938	6.476	-13.551
12	99.64	49.936	49.704	-0.36	4.032	-4.415
13	95.89	51.111	44.779	-4.11	6.481	-13.886
14	95.878	51.074	44.804	-4.122	6.403	-13.838
15	99.726	49.866	49.86	-0.274	3.887	-4.116
16	99.639	49.875	49.764	-0.361	3.906	-4.301
17	99.689	49.938	49.751	-0.311	4.038	-4.326
18	99.518	49.875	49.643	-0.482	3.906	-4.533
19	99.6	49.91	49.69	-0.4	3.98	-4.443
20	99.522	49.883	49.639	-0.478	3.922	-4.54
รวม	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ (ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (%)		
	98.73715	50.2043	48.53285	1.26285	4.59205	6.6676

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ค่าความผิดพลาดของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ในชิ้นงานสองสี

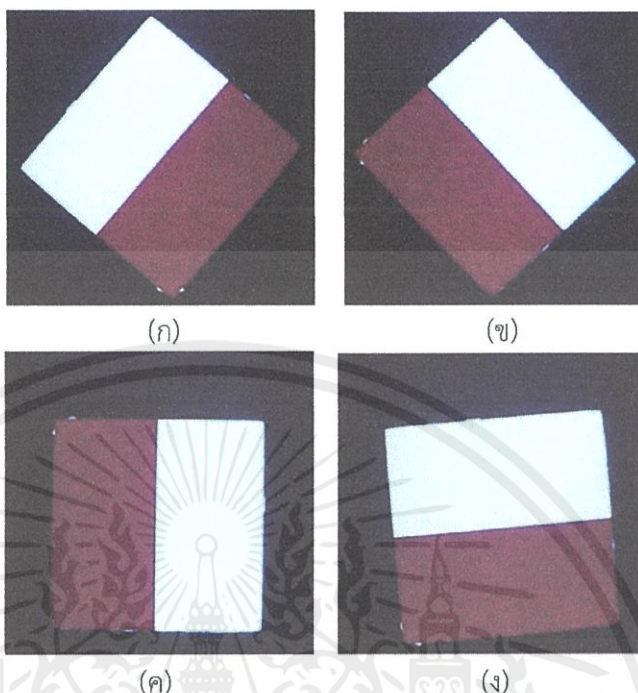
จากการทดสอบหาค่าความผิดพลาดข้างต้นจะเห็นได้ว่ายิ่งชิ้นงานมีความซับซ้อนมากขึ้นค่าความผิดพลาดของการวัดค่าพื้นที่จากการประมวลผลภาพชิ้นงานที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

#### 4.5.2 การทดสอบหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยการวางที่ต่างกัน

สำหรับในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบโดยการนำชิ้นงานที่มีพื้นที่ผิวสองสีมาทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลของค่าพื้นที่โดยการวางที่ต่างกันเพื่อหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประมวลผลภาพ การหาค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้ โดยเริ่มจากนำชิ้นงานสำหรับทดสอบวางในตู้ตรวจสอบจากนั้นเก็บภาพชิ้นงานโดยกล้องเว็บแคมทำการประมวลผลภาพที่ได้โดยโปรแกรมการหาพื้นที่ของชิ้นงาน แล้วจึงทำการหมุนชิ้นงานและถ่ายภาพเพื่อประมวลผลอีกครั้ง ตามรูปที่ 4.25 ถึงรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1) การทดสอบการหมุนชิ้นงานในมุมต่างๆด้วยชิ้นงาน (A)



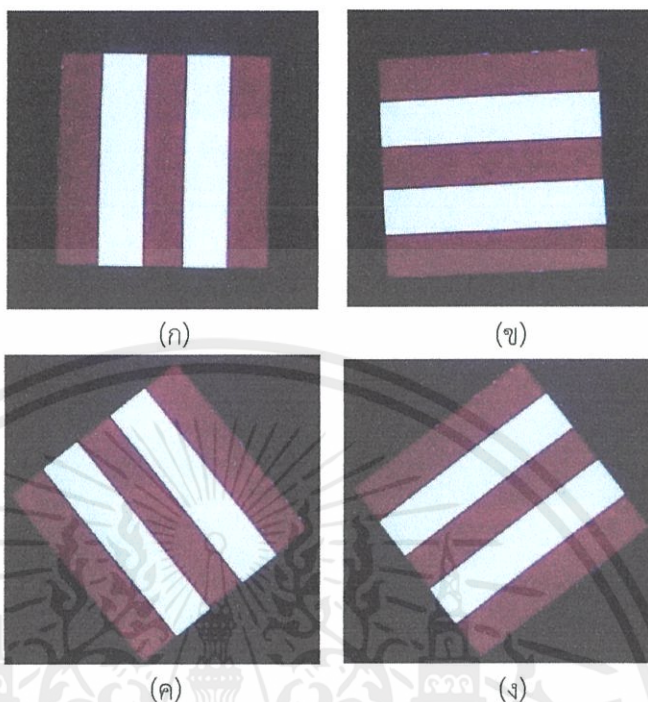
รูปที่ 4.25 การทดสอบการหมุนชิ้นงานในมุมต่างๆด้วยชิ้นงาน (A)

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยการวางที่ต่างกัน ด้วยชิ้นงาน (A)

รูป	พื้นที่ทั้งหมด(ตร.ซม.)	พื้นที่สีแดง(ตร.ซม.)	พื้นที่สีขาว(ตร.ซม.)
ก	109.7991	55.6920	54.1072
ข	109.8811	55.9504	53.9307
ค	109.8909	55.7190	54.1719
ง	110.2957	56.0040	54.2917
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.176728	0.144273	0.126911

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) การทดสอบการหมุนชิ้นงานในมุมต่างๆด้วยชิ้นงาน (B)



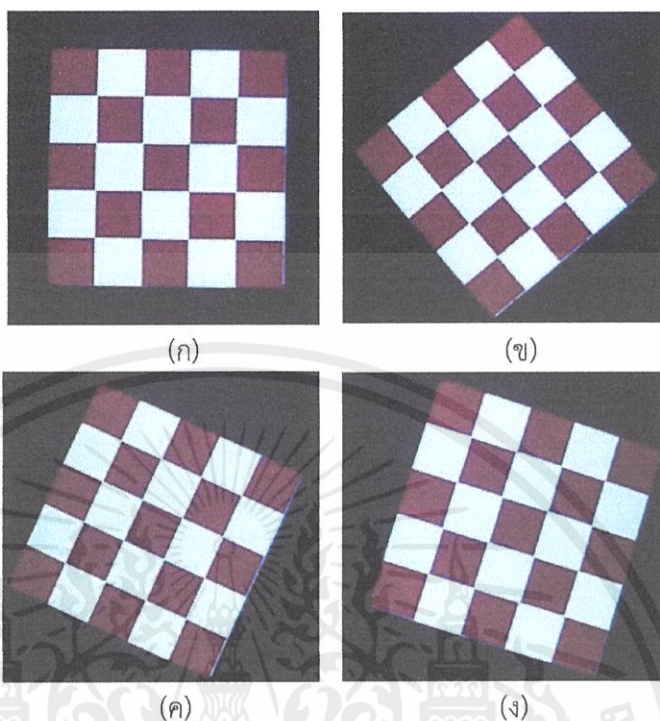
รูปที่ 4.26 การทดสอบการหมุนชิ้นงานในมุมต่างๆด้วยชิ้นงาน (B)

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยการวางที่ต่างกันด้วยชิ้นงาน (B)

รูป	พื้นที่ทั้งหมด(ตร.ซม.)	พื้นที่สีแดง(ตร.ซม.)	พื้นที่สีขาว(ตร.ซม.)
ก	106.4251	63.3908	43.0342
ข	107.1553	64.0727	43.0825
ค	107.1605	64.0796	43.0809
ง	107.1104	64.1651	42.9453
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.290564	0.297833	0.053026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) การทดสอบการหมุนชิ้นงานในมุมต่างๆด้วยชิ้นงาน (C)

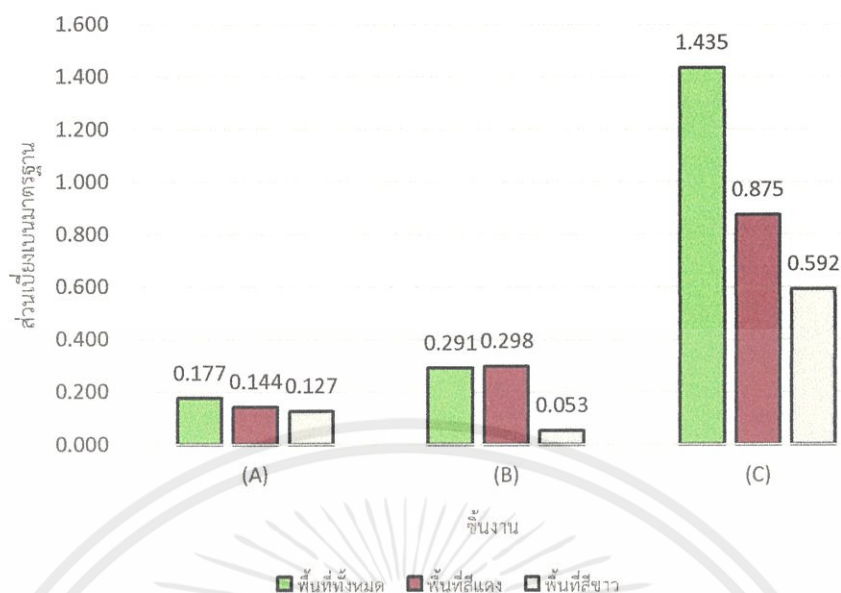


รูปที่ 4.27 การทดสอบการหมุนชิ้นงานในมุมต่างๆด้วยชิ้นงาน (C)

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยการวางที่ต่างกันด้วยชิ้นงาน (C)

รูป	พื้นที่ทั้งหมด(ตร.ซม.)	พื้นที่สีแดง(ตร.ซม.)	พื้นที่สีขาว(ตร.ซม.)
ก	103.6196	51.3558	52.2638
ข	104.1555	51.8167	52.3387
ค	102.0827	50.3163	51.7664
ง	100.6822	49.8081	50.8741
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.434709	0.875059	0.591927

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประมวลผลภาพค่าพื้นที่ในชิ้นงานสองสี

สำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ของวัตถุโดยการวางที่ต่างกันนั้นจากการทดสอบเพื่อเก็บค่าพื้นที่ของชิ้นงานจากการประมวลผลภาพพบว่าค่าที่ได้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยในต้นแบบที่ไม่ค่อยซับซ้อนส่วนในชิ้นงานที่มีความซับซ้อน เช่น ชิ้นงาน (C) นั้นมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ชิ้นงานสูงกว่าชิ้นงานที่ไม่ซับซ้อน ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดขึ้นนั้นอาจเกิดขึ้นจากแสงที่เข้ามาในตู้ตรวจสอบทำให้การประมวลผลภาพผิดพลาด

#### 4.6 การทดสอบโปรแกรมเพื่อหาค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดจากเหตุปัจจัยภายนอก

สำหรับการทดสอบในส่วนนี้เป็นการหาค่าความผิดพลาดจากเหตุปัจจัยภายนอกของระบบซึ่งเกิดจากเหตุต่างๆคือความสูงของชิ้นงานที่เปลี่ยนไปเมื่อวางบนสายพาน และการเคลื่อนตำแหน่งของชิ้นงานเมื่อวางบนสายพานลำเลียง ซึ่งจะมีรายละเอียดในการทดสอบในหัวข้อดังต่อไปนี้

##### 4.6.1 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจากการเคลื่อนตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน

สำหรับการทดสอบนี้เป็นการนำชิ้นงานวางบนสายพานลำเลียงซึ่งทำงานเคลื่อนพาชิ้นงานเข้าไปยังตู้ตรวจสอบและวัดค่าความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการเคลื่อนตำแหน่งเมื่อชิ้นงานเคลื่อนไปบนสายพานลำเลียง

โดยวิธีการทดสอบจะเริ่มจากการนำชิ้นงานวางบนสายพานที่ตำแหน่งเซนเซอร์ตัวที่หนึ่ง โดยการวางที่กึ่งกลางของสายพาน จากนั้นสายพานจะทำงานเคลื่อนชิ้นงานเข้าไปยังตู้ตรวจสอบและประมวลผลภาพเพื่อหาค่าพื้นที่จากนั้นจึงนำค่าพื้นที่ที่มามีค่าความผิดพลาด

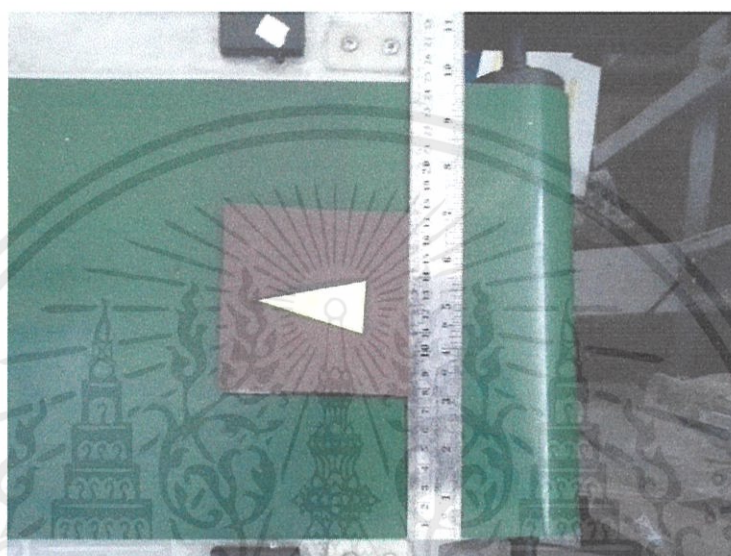
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบนั้นใช้ชิ้นงานเพื่อหาค่าความผิดพลาดดังนี้

- (I) พื้นที่ 9 ตารางเซนติเมตร
- (II) พื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร
- (III) พื้นที่ 30 ตารางเซนติเมตร

สำหรับภาพที่จะใช้ทดสอบวัดค่าความผิดพลาดนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.29 ถึง

รูปที่ 4.31

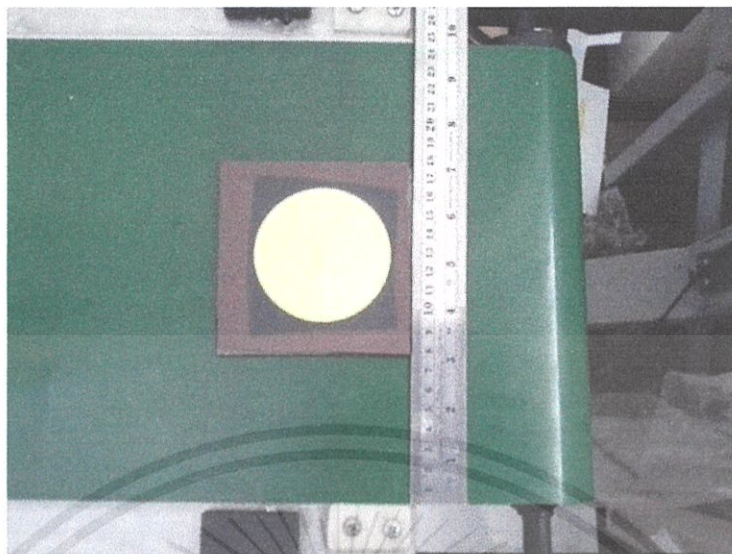


รูปที่ 4.29 ชิ้นงาน (I) ค่าพื้นที่ 9 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.30 ชิ้นงาน (II) ค่าพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



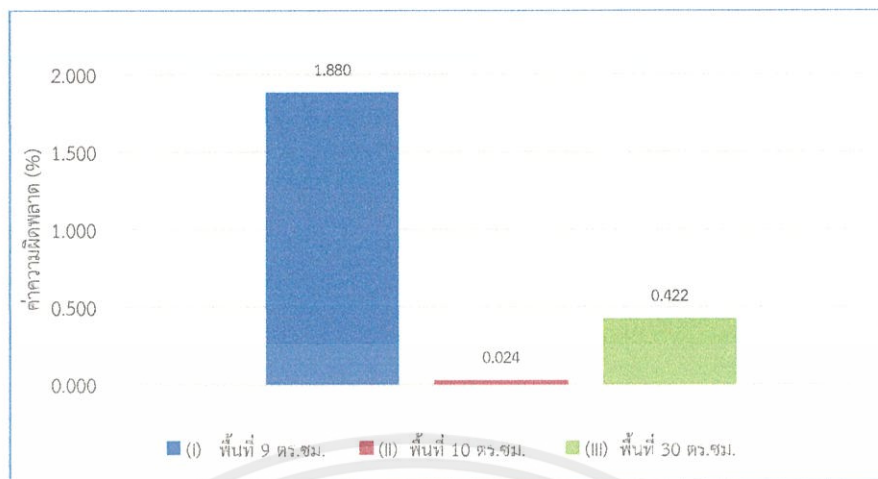
รูปที่ 4.31 ชิ้นงาน (III) ค่าพื้นที่ 30 ตารางเซนติเมตร

จากชิ้นงานซึ่งทดสอบวัดค่าความผิดพลาดซึ่งรู้ค่าที่แท้จริงแล้วจึงนำไปเข้าในระบบการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานซึ่งจะนำค่าพื้นที่ที่ได้จากการประมวลผลภาพเทียบกับค่าพื้นที่จริงของรูปและหาค่าความผิดพลาดโดยการเก็บสถิติดังตารางผลการทดสอบต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจากการเคลื่อนตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน

ชิ้นงาน	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
(I) 9 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	9.172	9.163	9.163	9.172	9.176	9.169
	ค่าความ ผิดพลาด (%)	1.912	1.812	1.812	1.912	1.951	1.880
(II) 10 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	9.988	9.992	10.019	10.005	10.008	10.002
	ค่าความ ผิดพลาด (%)	-0.116	-0.080	0.189	0.046	0.081	0.024
(III) 30 ตร.ซม.	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	30.135	30.126	30.114	30.119	30.137	30.126
	ค่าความ ผิดพลาด (%)	0.451	0.422	0.380	0.398	0.457	0.422

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



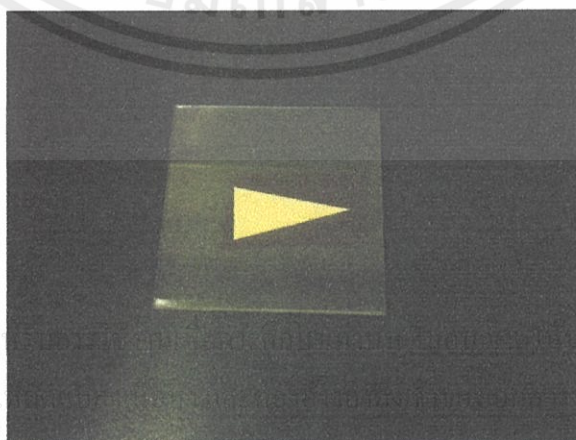
รูปที่ 4.32 ค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจากการเคลื่อนตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพาน

จากค่าที่ได้สามารถเห็นได้ว่าการเคลื่อนตำแหน่งของชิ้นงานบนสายพานนั้นอาจมีค่าความผิดพลาดได้ซึ่งอาจเกิดจากกระเทือนของสายพานลำเลียงและแสงภายนอกตู้ตรวจสอบแต่ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของสายพานจะมีน้อยเนื่องจากระบบจะทำการหยุดชิ้นงานก่อนการถ่ายภาพ

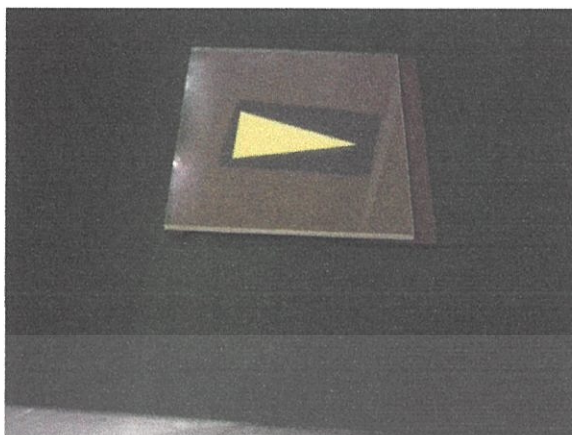
#### 4.6.2 การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจากชิ้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไป

สำหรับการทดสอบนี้เป็นการนำชิ้นงานวางบนสายพานลำเลียงด้วยชิ้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไปและเก็บความค่าพื้นที่เพื่อประเมินแนวโน้มผลความผิดพลาดที่เปลี่ยนไปเมื่อความสูงมากขึ้น ซึ่งเป็นการจำลองเหตุการณ์หากชิ้นงานบนสายมีข้อบกพร่องทำให้ชิ้นงานบนสายพานมีความสูงมากขึ้นเช่นมีวัตถุไม่พึงประสงค์อยู่ใต้ชิ้นงาน เป็นต้น

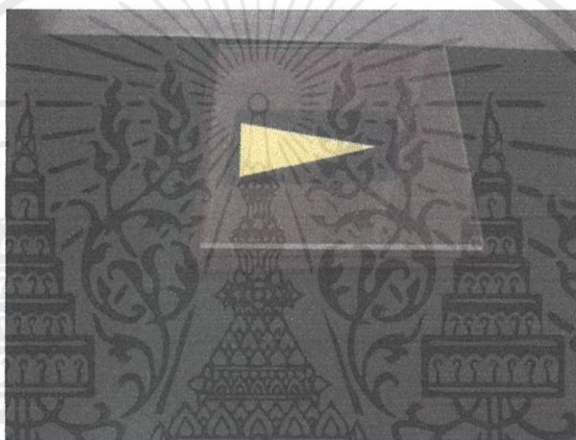
วิธีการทดสอบจะนำชิ้นงานมาเก็บค่าพื้นที่เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างชิ้นงานที่มีความสูง 0 มิลลิเมตร จนถึง 12 มิลลิเมตร ว่ามีแนวโน้มของค่าความผิดพลาดเปลี่ยนไปอย่างไร โดยลักษณะของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.33 ถึง รูปที่ 4.39



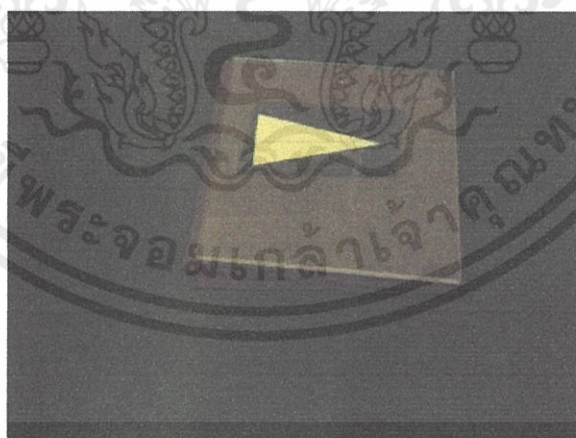
รูปที่ 4.33 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่ความสูง 0 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.34 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่ความสูง 2 มิลลิเมตร

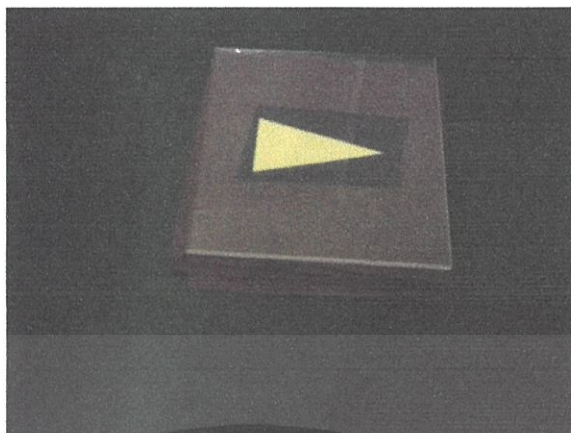


รูปที่ 4.35 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่ความสูง 4 มิลลิเมตร

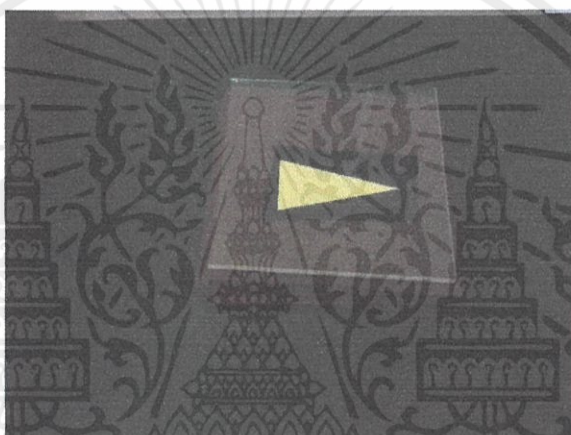


รูปที่ 4.36 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่ความสูง 6 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่ความสูง 8 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.38 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่ความสูง 10 มิลลิเมตร

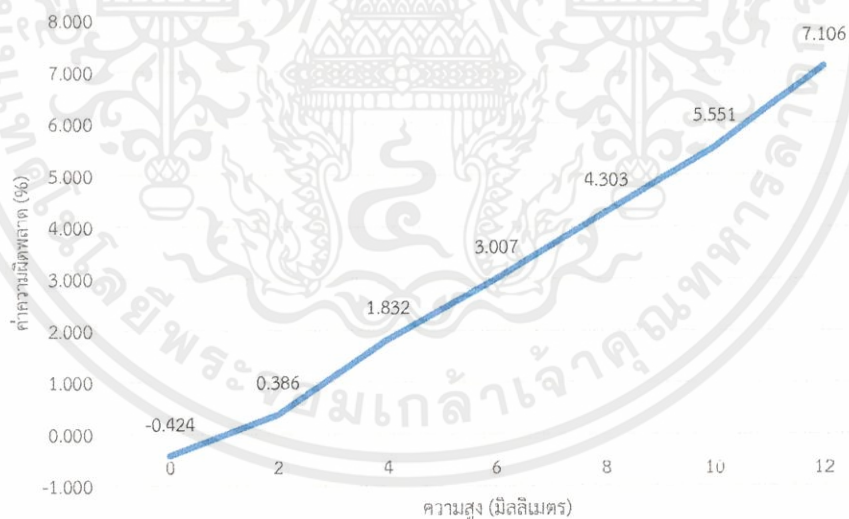


รูปที่ 4.39 ตัวอย่างการวางชิ้นงานที่ความสูง 12 มิลลิเมตร

โดยในการทดสอบใช้ชิ้นงาน (I) พื้นที่ 9 ตารางเซนติเมตร, ชิ้นงาน (II) พื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร และ ชิ้นงาน (III) พื้นที่ 30 ตารางเซนติเมตร ในการทดสอบที่มีลักษณะเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1 ซึ่งการทดสอบจะมีการบันทึกค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่จากความสูงที่เปลี่ยนไปซึ่งผลการทดสอบสามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.13 ถึง ตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจาก  
ชั้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไป ของชั้นงาน (I)

ความสูง	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
0	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	8.949	8.971	8.961	8.963	8.965	8.962
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.570	-0.327	-0.428	-0.408	-0.388	-0.424
2	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	9.031	9.033	9.033	9.034	9.043	9.035
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.341	0.362	0.362	0.382	0.483	0.386
4	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	9.153	9.162	9.167	9.167	9.175	9.165
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.698	1.800	1.861	1.861	1.942	1.832
6	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	9.275	9.262	9.282	9.266	9.268	9.271
	ค่าความผิดพลาด (%)	3.056	2.914	3.137	2.954	2.975	3.007
8	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	9.381	9.395	9.395	9.384	9.381	9.387
	ค่าความผิดพลาด (%)	4.230	4.392	4.392	4.271	4.230	4.303
10	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	9.497	9.494	9.510	9.499	9.497	9.500
	ค่าความผิดพลาด (%)	5.527	5.486	5.668	5.547	5.527	5.551
12	ค่าที่ได้ (ตร.ชม.)	9.634	9.640	9.641	9.643	9.640	9.640
	ค่าความผิดพลาด (%)	7.046	7.106	7.127	7.147	7.106	7.106

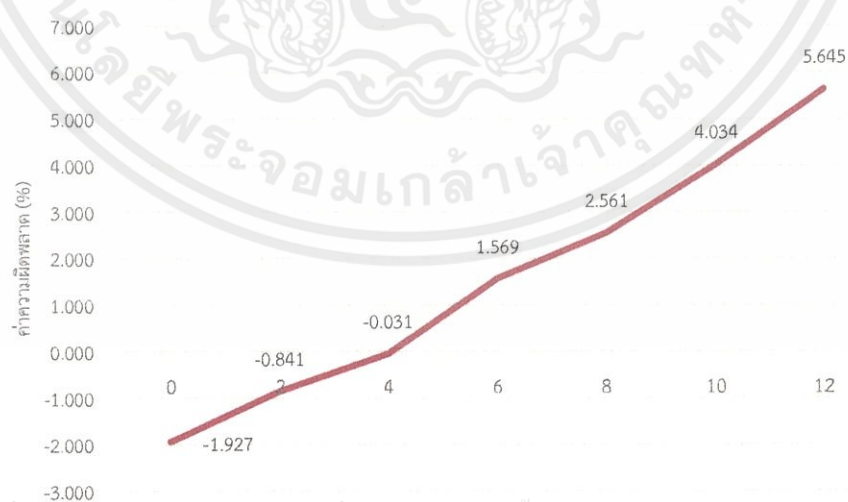


รูปที่ 4.40 ค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจากชั้นงานที่มีความสูง  
เปลี่ยนไปของชั้นงาน (I)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจาก  
 ชั้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไป ของชั้นงาน (II)

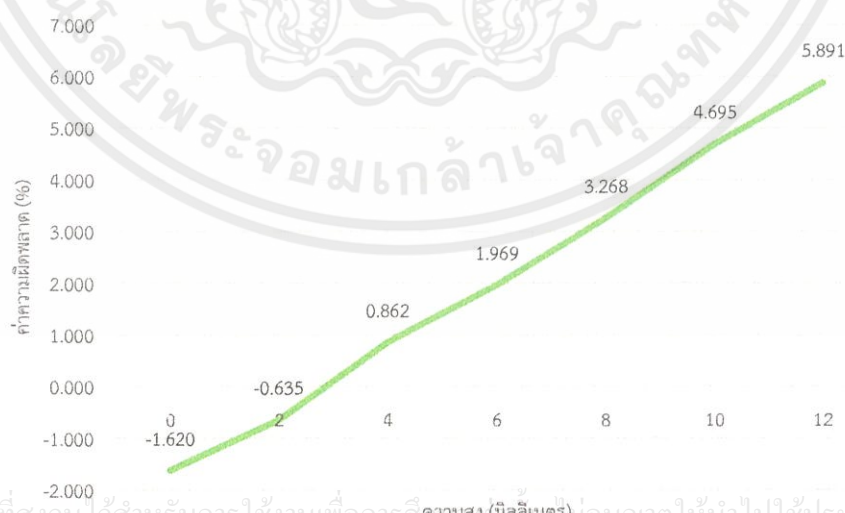
ความสูง	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
0 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	9.805	9.807	9.809	9.809	9.805	9.807
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.945	-1.927	-1.909	-1.909	-1.945	-1.927
2 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	9.920	9.917	9.915	9.906	9.922	9.916
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.797	-0.833	-0.852	-0.943	-0.779	-0.841
4 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	9.984	9.995	9.995	10.002	10.008	9.997
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.159	-0.049	-0.049	0.023	0.078	-0.031
6 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	10.159	10.152	10.163	10.163	10.148	10.157
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.591	1.518	1.628	1.628	1.482	1.569
8 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	10.256	10.261	10.261	10.248	10.254	10.256
	ค่าความผิดพลาด (%)	2.557	2.612	2.612	2.484	2.539	2.561
10 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	10.402	10.411	10.405	10.400	10.400	10.403
	ค่าความผิดพลาด (%)	4.016	4.107	4.052	3.997	3.997	4.034
12 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	10.577	10.555	10.571	10.560	10.560	10.565
	ค่าความผิดพลาด (%)	5.766	5.547	5.711	5.602	5.602	5.645



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 4.41 ค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจากชั้นงานที่มีความสูง  
 เปลี่ยนไปของชั้นงาน (II)

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจาก  
 ชั้นงานที่มีความสูงเปลี่ยนไป ของชั้นงาน (III)

ความสูง	ครั้งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
0 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	29.515	29.504	29.518	29.509	29.524	29.514
	ค่าความผิดพลาด (%)	-1.617	-1.654	-1.605	-1.635	-1.587	-1.620
2 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	29.810	29.799	29.827	29.810	29.801	29.809
	ค่าความผิดพลาด (%)	-0.633	-0.669	-0.578	-0.633	-0.663	-0.635
4 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	30.268	30.259	30.253	30.259	30.255	30.259
	ค่าความผิดพลาด (%)	0.892	0.862	0.844	0.862	0.850	0.862
6 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	30.598	30.596	30.598	30.578	30.585	30.591
	ค่าความผิดพลาด (%)	1.992	1.986	1.992	1.925	1.950	1.969
8 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	30.991	30.970	30.971	30.995	30.975	30.980
	ค่าความผิดพลาด (%)	3.305	3.232	3.238	3.317	3.250	3.268
10 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	31.418	31.396	31.398	31.420	31.411	31.408
	ค่าความผิดพลาด (%)	4.727	4.654	4.660	4.733	4.702	4.695
12 มิลลิเมตร	ค่าที่ได้ (ตร.ซม.)	31.753	31.773	31.781	31.755	31.773	31.767
	ค่าความผิดพลาด (%)	5.845	5.911	5.936	5.851	5.911	5.891



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ

รูปที่ 4.22 ค่าความผิดพลาดของการหาค่าพื้นที่โดยการประมวลผลภาพจากชั้นงานที่มีความสูง  
 เปลี่ยนไปของชั้นงาน (III)

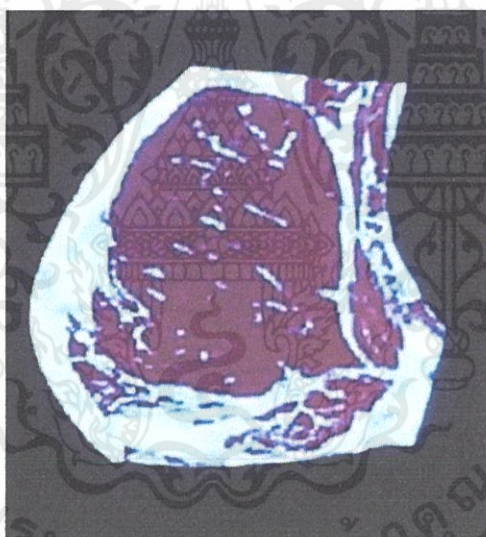
จากผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่าระดับความสูงของชิ้นงานมีผลต่อค่าความผิดพลาดของพื้นที่ที่วัดได้ โดยหากความสูงของชิ้นงานมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าความสูงของชิ้นงานที่ใช้ในการปรับกล้องเว็บแคมก็จะส่งผลต่อค่าความผิดพลาดของค่าพื้นที่ที่วัดได้ ดังนั้น ในการใช้งานจะต้องมีการชดเชยค่าความสูงชิ้นงานที่นำมาวัดด้วย

#### 4.7 การประยุกต์ใช้งานโปรแกรมในการหาค่าพื้นที่ด้วยชิ้นงานที่มีองค์ประกอบที่ไม่สามารถวัดค่าพื้นที่ได้ด้วยวิธีการวัดทั่วไป

สำหรับส่วนนี้จะกล่าวถึงการนำโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้กับการหาค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่ไม่สามารถวัดได้ด้วยวิธีการทั่วไป เช่น เนื้อสัตว์

สำหรับการทดสอบนั้นจะนำชิ้นงานเนื้อมาเข้าระบบการประมาณค่าพื้นที่โดยเทคนิคประมวลผลภาพและหาค่าพื้นที่ของส่วนเนื้อแดงและส่วนของไขมันของเนื้อทั้งหมดเทียบเป็นหน่วยตารางเซนติเมตร และเทียบเป็นอัตราส่วนของเนื้อแดงและไขมัน ดังนี้

- 1) การทดสอบหาค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ก.

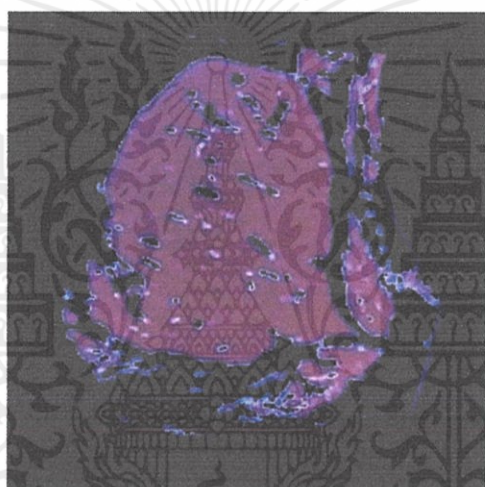


รูปที่ 4.43 ชิ้นเนื้อ ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 ชันเนื้อ ก. ส่วนไขมัน



รูปที่ 4.45 ชันเนื้อ ก. ส่วนเนื้อแดง

ชันเนื้อ ก. ที่ทำการทดสอบเก็บข้อมูลได้ค่าพื้นที่ดังตารางที่ 4.16

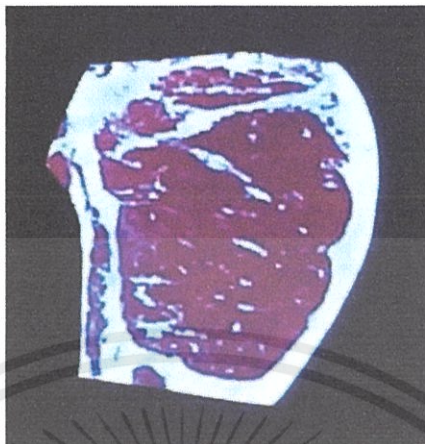
ตารางที่ 4.16 ค่าพื้นที่ของชันเนื้อ ก.

เนื้อทั้งหมด(ตร.ซม.)	เนื้อแดง(ตร.ซม.)	ไขมัน(ตร.ซม.)
59.717	38.178	21.539

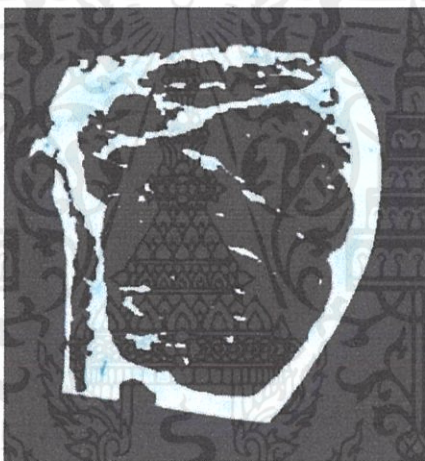
จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของเนื้อแดงเท่ากับ 57.233%  
จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของไขมันเท่ากับ 36.068%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

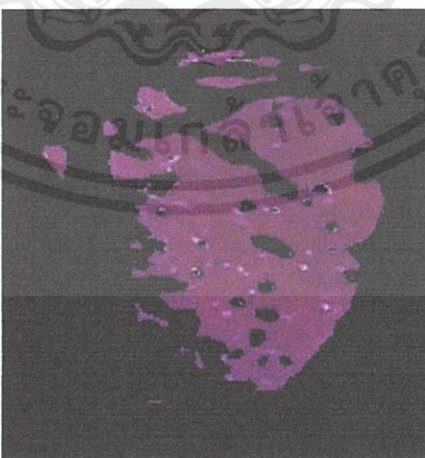
2) การทดสอบหาค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ข.



รูปที่ 4.46 ชิ้นเนื้อ ข.



รูปที่ 4.47 ชิ้นเนื้อ ข. ส่วนไขมัน



รูปที่ 4.48 ชิ้นเนื้อ ข. ส่วนเนื้อแดง

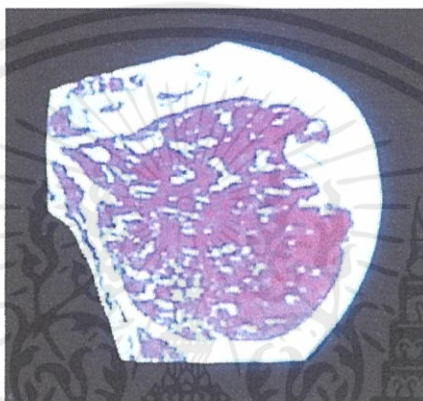
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ชิ้นเนื้อ ข. ที่ทำการทดสอบเก็บข้อมูลได้ค่าพื้นที่ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ข.

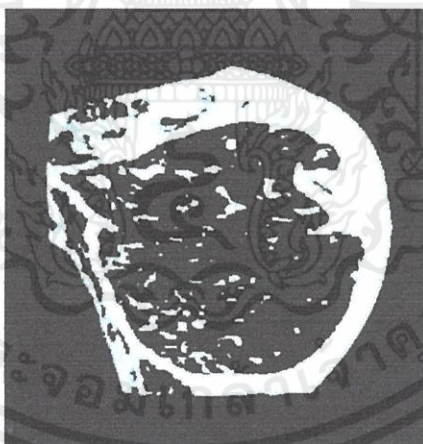
เนื้อทั้งหมด(ตร.ซม.)	เนื้อแดง(ตร.ซม.)	ไขมัน(ตร.ซม.)
43.131	25.604	17.527

จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของเนื้อแดงเท่ากับ 59.363%  
จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของไขมันเท่ากับ 40.636%

## 3) การทดสอบหาค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ค.

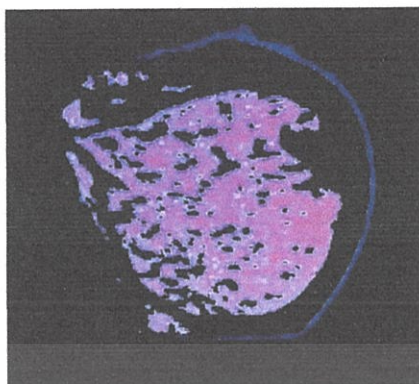


รูปที่ 4.49 ชิ้นเนื้อ ค.



รูปที่ 4.50 ชิ้นเนื้อ ค. ส่วนไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.51 ชิ้นเนื้อ ค. ส่วนเนื้อแดง

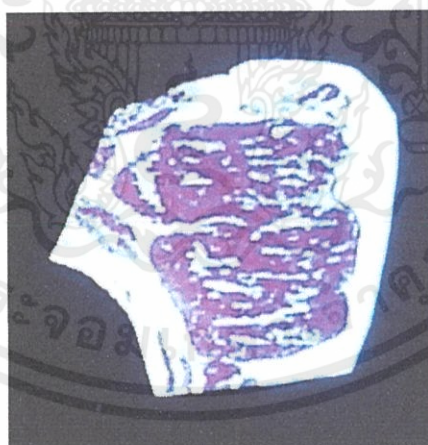
ชิ้นเนื้อ ค. ที่ทำการทดสอบเก็บข้อมูลได้ค่าพื้นที่ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ค.

เนื้อทั้งหมด(ตร.ซม.)	เนื้อแดง(ตร.ซม.)	ไขมัน(ตร.ซม.)
60.593	34.222	26.371

จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของเนื้อแดงเท่ากับ 56.478%  
จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของไขมันเท่ากับ 43.521%

4) การทดสอบหาค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ง.

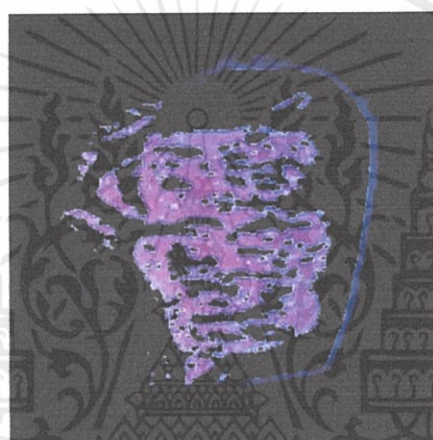


รูปที่ 4.52 ชิ้นเนื้อ ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.53 ชิ้นเนื้อ ง. ส่วนไขมัน



รูปที่ 4.54 ชิ้นเนื้อ ง. ส่วนเนื้อแดง

ชิ้นเนื้อ ง. ที่ทำการทดสอบเก็บข้อมูลได้ค่าพื้นที่ดังตารางที่ 4.19

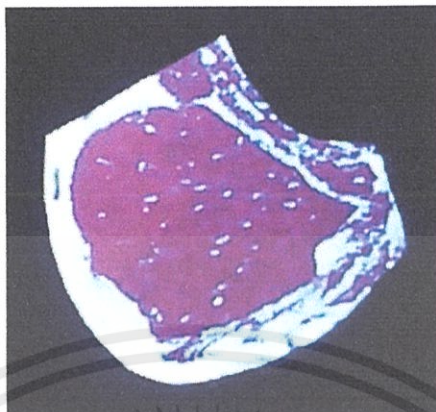
ตารางที่ 4.19 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ง.

เนื้อทั้งหมด(ตร.ซม.)	เนื้อแดง(ตร.ซม.)	ไขมัน(ตร.ซม.)
51.460	24.169	27.291

จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของเนื้อแดงเท่ากับ 46.966%  
จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของไขมันเท่ากับ 53.033%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

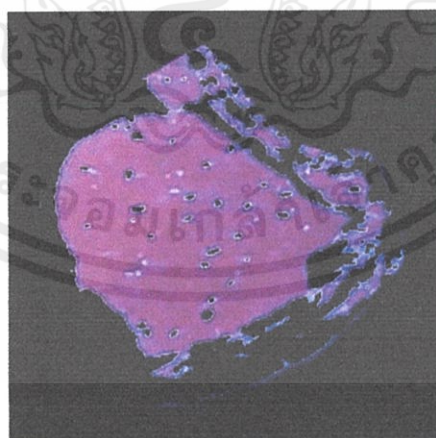
5) การทดสอบหาค่าพื้นที่ของซินเนื้อ จ.



รูปที่ 4.55 ซินเนื้อ จ.



รูปที่ 4.56 ซินเนื้อ จ. ส่วนไขมัน



รูปที่ 4.57 ซินเนื้อ จ. ส่วนเนื้อแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารซินเนื้อ จ. ที่ทำการทดสอบเก็บข้อมูลได้ค่าพื้นที่ดังตารางที่ 4.20 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ จ.

เนื้อทั้งหมด(ตร.ซม.)	เนื้อแดง(ตร.ซม.)	ไขมัน(ตร.ซม.)
53.861	38.855	15.006

จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของเนื้อแดงเท่ากับ 72.139%  
จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของไขมันเท่ากับ 27.860%

6) การทดสอบหาค่าพื้นที่ของชิ้นเนื้อ ฉ.

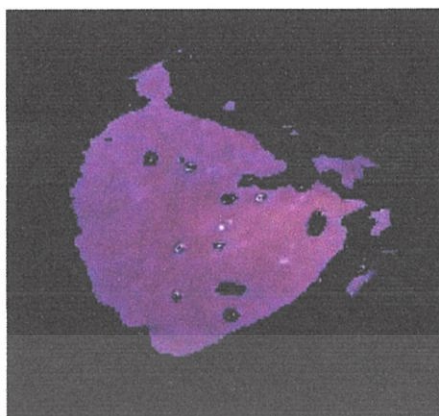


รูปที่ 4.58 ชิ้นเนื้อ ฉ.



รูปที่ 4.59 ชิ้นเนื้อ ฉ. ส่วนไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 ชั้นเนื้อ ฉ. ส่วนเนื้อแดง

ชั้นเนื้อ ฉ. ที่ทำการทดสอบเก็บข้อมูลได้ค่าพื้นที่ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่าพื้นที่ของชั้นเนื้อ ฉ.

เนื้อทั้งหมด(ตร.ซม.)	เนื้อแดง(ตร.ซม.)	ไขมัน(ตร.ซม.)
37.995	26.410	11.585

จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของเนื้อแดงเท่ากับ 69.509%  
จากการคำนวณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันนั้นได้สัดส่วนของไขมันเท่ากับ 30.490%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

จากการทดสอบระบบการประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพที่พัฒนาขึ้นกับชิ้นงานที่มีขนาดและรูปแบบต่างๆ ผลปรากฏว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถจะใช้ประมาณค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่นำมาทดสอบได้ แต่อย่างไรก็ตามค่าพื้นที่ของชิ้นงานที่วัดได้ยังคงมีค่าความผิดพลาดอยู่บ้าง ซึ่งเป็นผลเนื่องจาก

1. ผลของคุณภาพของกล้องที่นำมาใช้ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผลภาพ
2. ผลกระทบจากแสงภายนอกที่เข้ามากระทบวัตถุทำให้ภาพถ่ายชิ้นงานที่ได้มีความผิดพลาดเนื่องจากแสงภายนอก
3. ผลของการกระเจิงของแสง (Scattering of Light) ในวัตถุที่มีสีขาว ทำให้ค่าที่วัดพื้นที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าของจริง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบที่พัฒนาขึ้นในหัวข้อ 5.1 ทางผู้จัดทำจึงขอแนะนำแนวทางในการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปพัฒนาต่อดังนี้

1. การเลือกใช้กล้องดิจิทัลคุณภาพสูงมาใช้ในการเก็บภาพของชิ้นงานในการนำมาประมวลผลภาพ
2. ปรับปรุงคุณภาพของผู้ตรวจสอบชิ้นงานให้มีการป้องกันแสงจากภายนอกให้ดียิ่งขึ้น
3. การเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่สามารถปรับค่าความสว่างได้ ทั้งนี้เพื่อลดผลการกระเจิงของแสงในชิ้นงานที่มีสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

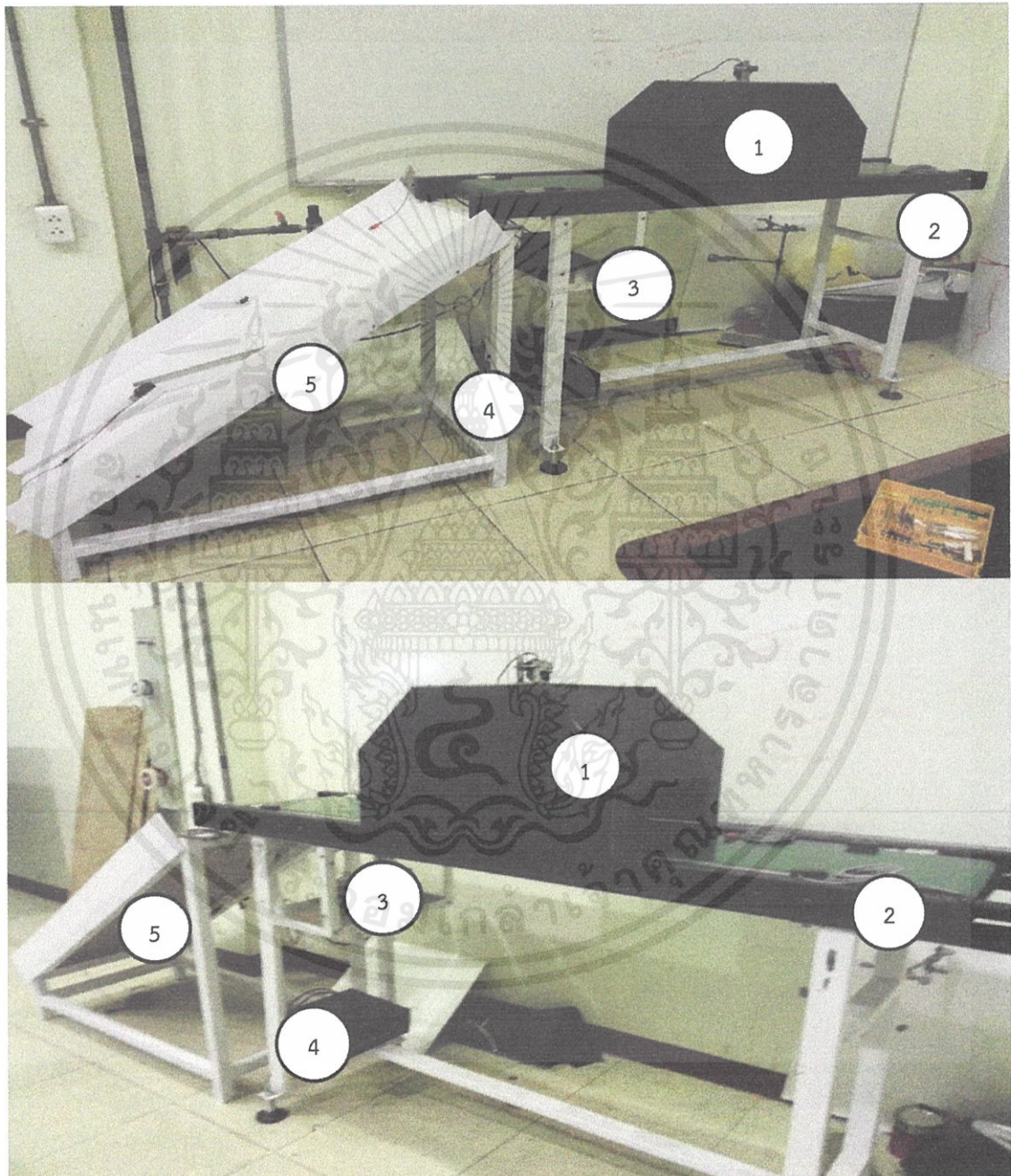
- [1] Thailandindustry.com “Image Processing ผู้ช่วยคนใหม่ในกระบวนการผลิต.”[Online].  
Available : <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=19424&section=9>. 2009.
- [2] Phakinee Anunonthat “Matlab คือ อะไร? ตอนที่ 1 และ ตอนที่ 2.”[Online].  
Available : [http://matabthai.blogspot.com/2013\\_04\\_01\\_archive.html](http://matabthai.blogspot.com/2013_04_01_archive.html) . 2013.
- [3] Khangkla’s Geocities “ทฤษฎีสี ( Theory Of Color ).”[Online].  
Available : <http://www.geocities.ws/khangkla/theory.html>. 2003.
- [4] Jatuphong Varith “Physical Properties of Agricultural Products : Color.”[Online].  
Available : [http://coursewares.mju.ac.th:81/elearning47/ea341/lesson2/ch02\\_6.pdf](http://coursewares.mju.ac.th:81/elearning47/ea341/lesson2/ch02_6.pdf). 2004.
- [5] ระบบการเรียนการสอนออนไลน์ โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย “ระบบสี.”[Online].  
Available : <http://color.prc.ac.th/newart/webart/colour08.html> . 2006.
- [6] Wipawan’s Blog “Data Mining: Clustering (K-means).”[Online].  
Available : <http://wipawanblog.files.wordpress.com/2012/10/chapter8-clustering-k-means.pdf>. 2012.
- อำนาจ มณีศรีวงศ์กุล. 2541. Cluster Analysis . วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [7] ธนารมย์ สายเชื้อ. 2555. การตรวจจับและวิเคราะห์ต้นปาล์มจากภาพถ่ายทางอากาศ. ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [8] Cheng-Jin Du and Da-Wen Sun. “Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review”, Journal of Food Engineering, 72 (2006) 39–55.
- [9] National Instrument. “NI USB-6009.”[Online].  
Available : <http://thailand.ni.com>. 2013.
- [10] อภินัย ฤกษ์รัตน์. 2555. การพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเนื้อปลาโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ. รายงานโครงการวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [11] บริษัท อีทีที จำกัด “SERVO MOTOR.”[Online].  
Available : <http://ett.co.th/product/1601.html>. 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

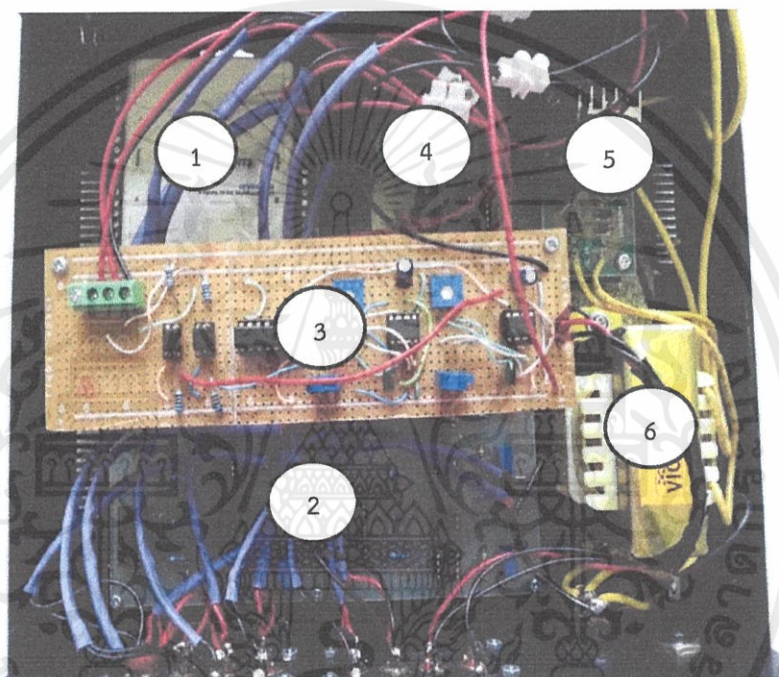
ภาคผนวก ก.  
ส่วนประกอบของระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อใช้ในการประเมินค่าพื้นที่ซึ่งงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ  
 ภาพที่ 1ก. ระบบการประมาณค่าพื้นที่ซึ่งงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของการประมาณค่าพื้นที่ชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพมีดังนี้

1. ส่วนเก็บผลภาพ
2. สายพานลำเลียง
3. มอเตอร์สำหรับหมุนสายพาน
4. ชุดคอนโทรลสายพานลำเลียง
5. ส่วนคัดแยกชิ้นงาน

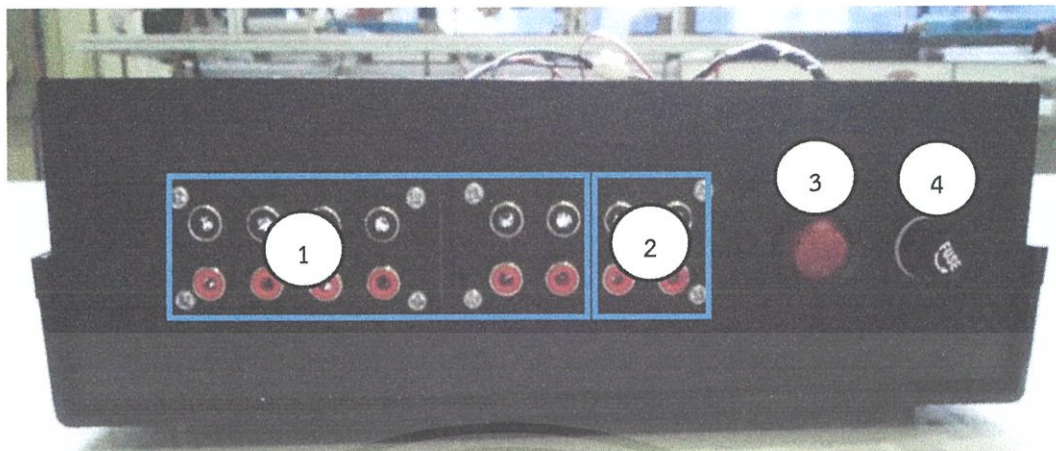


ภาพที่ 2ก. ส่วนประกอบของชุดคอนโทรล (ด้านใน)

ส่วนประกอบของชุดคอนโทรล (ด้านใน) มีดังนี้

1. การ์ดอินเตอร์เฟซ (Interface Card)
2. วงจรตรวจจับตำแหน่งของชิ้นงาน
3. วงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์
4. วงจรควบคุมสายพานลำเลียง
5. วงจรแหล่งจ่ายไฟ
6. ทรานส์ฟอเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3ก. ส่วนประกอบของชุดคอนโทรล (ด้านหน้า)

ส่วนประกอบของชุดคอนโทรล (ด้านหน้า) มีดังนี้

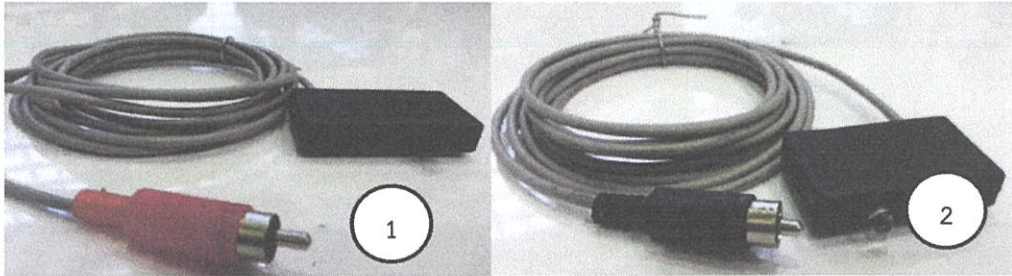
1. ช่องสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง
2. ช่องสำหรับเชื่อมต่อเซอร์โวมอเตอร์
3. สวิตช์สำหรับเปิดชุดคอนโทรล
4. ฟิวส์



ภาพที่ 4ก. ส่วนประกอบของชุดคอนโทรล (ด้านหลัง)

ส่วนประกอบของชุดคอนโทรล (ด้านหลัง) มีดังนี้

1. ช่องเชื่อมต่อ USB
2. ช่องเชื่อมต่อสำหรับวงจรแหล่งจ่ายไฟ
3. ช่องสำหรับเชื่อมต่อมอเตอร์สำหรับหมุนสายพาน



ภาพที่ 5ก. อุปกรณ์สำหรับตรวจจับตำแหน่ง

ส่วนประกอบของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งมีดังนี้

1. ตัวส่งของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง (อินฟราเรด)
2. ตัวรับของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง (โฟโตเซ็นเตอร์)



ภาพที่ 6ก. วิธีการเชื่อมต่อตัวรับและตัวส่งเข้ากับชุดคอนโทรล

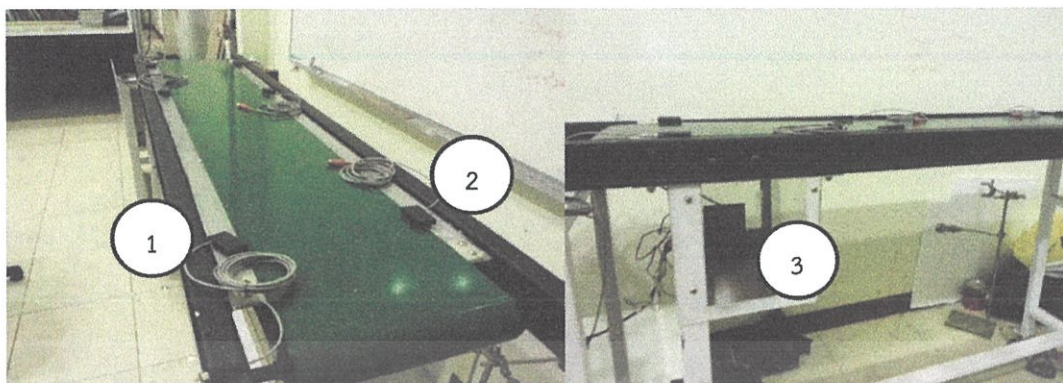


ภาพที่ 7ก. ส่วนประกอบของส่วนเก็บภาพ

ส่วนประกอบของส่วนเก็บภาพมีดังนี้

1. กล้องเว็บแคม
2. หลอดไฟยูวี (อัลตราไวโอเล็ต)

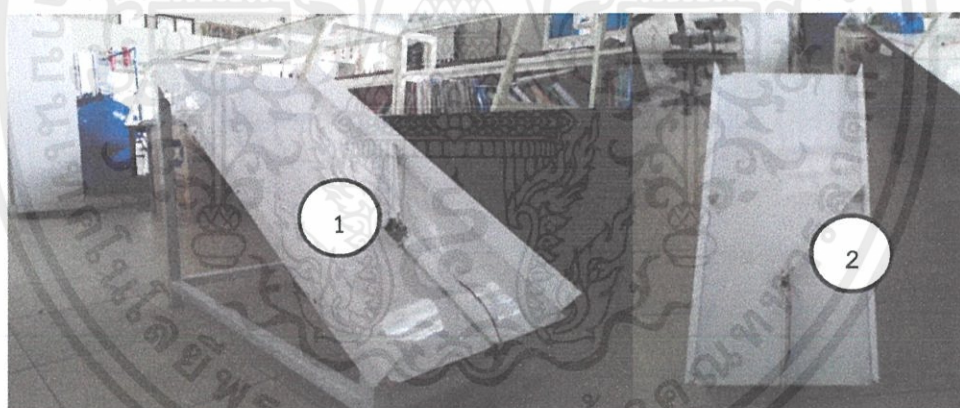
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิได้ขอสงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8ก. ส่วนประกอบของสายพานลำเลียง

ส่วนประกอบของสายพานลำเลียงมีดังนี้

1. ตัวรับของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง (โฟโต้เซนเซอร์)
2. ตัวส่งของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง (อินฟราเรด)
3. มอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง



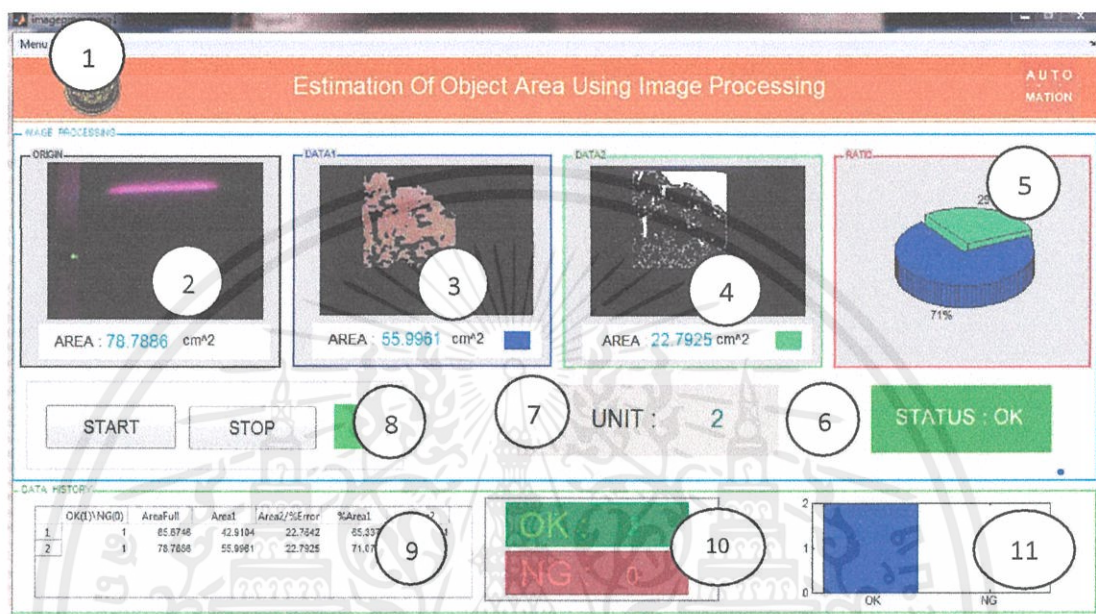
ภาพที่ 9ก. ส่วนประกอบของส่วนคัดแยกชิ้นงาน

ส่วนประกอบของส่วนคัดแยกชิ้นงานมีดังนี้

1. เซอร์โวมอเตอร์
2. ส่วนปัดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข. โปรแกรมประมวลผลภาพ

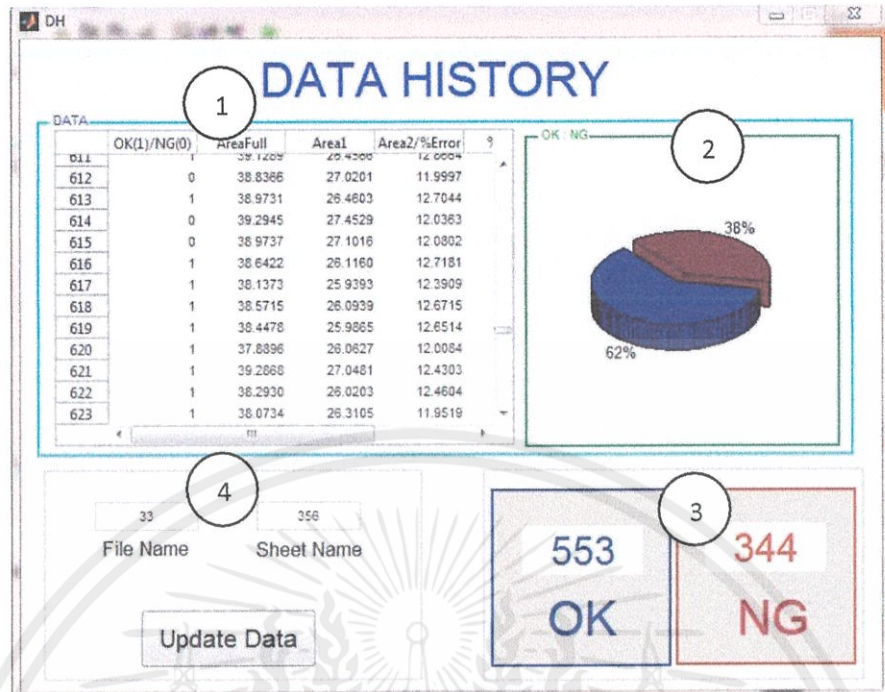


ภาพที่ 1ข. หน้าต่างหลักของโปรแกรม

ส่วนประกอบของหน้าต่างหลักโปรแกรมมีดังนี้

1. ปุ่มเมนู
2. ภาพและพื้นที่รวมของชิ้นงาน
3. ภาพและพื้นที่ของสีชิ้นงาน
4. ภาพและพื้นที่ของสีชิ้นงาน
5. อัตราส่วนระหว่างสีของชิ้นงาน
6. แสดงสถานะของชิ้นงาน
7. แสดงจำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ
8. ปุ่มเริ่มและปุ่มหยุดระบบ
9. ตารางแสดงข้อมูล ของชิ้นงานก่อนหน้า
10. แสดงจำนวนของชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบ
11. กราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบ

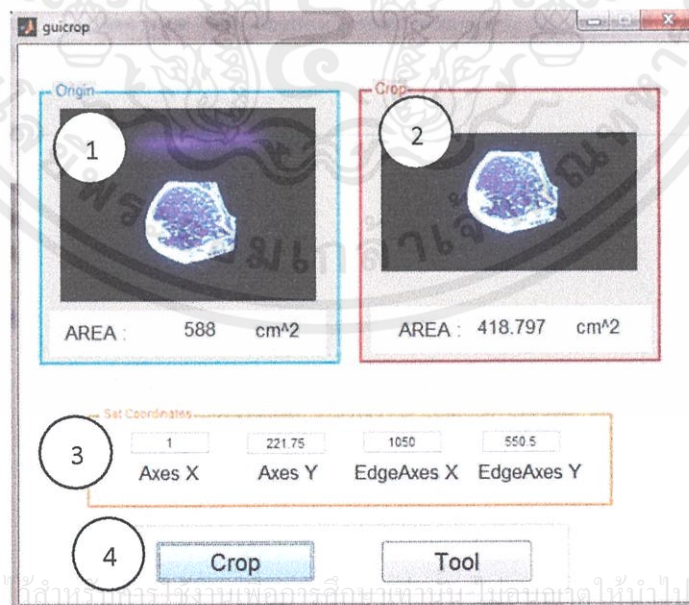
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2ข. หน้าต่างข้อมูลที่บันทึกไว้

ส่วนประกอบของหน้าต่างข้อมูลที่บันทึกไว้มีดังนี้

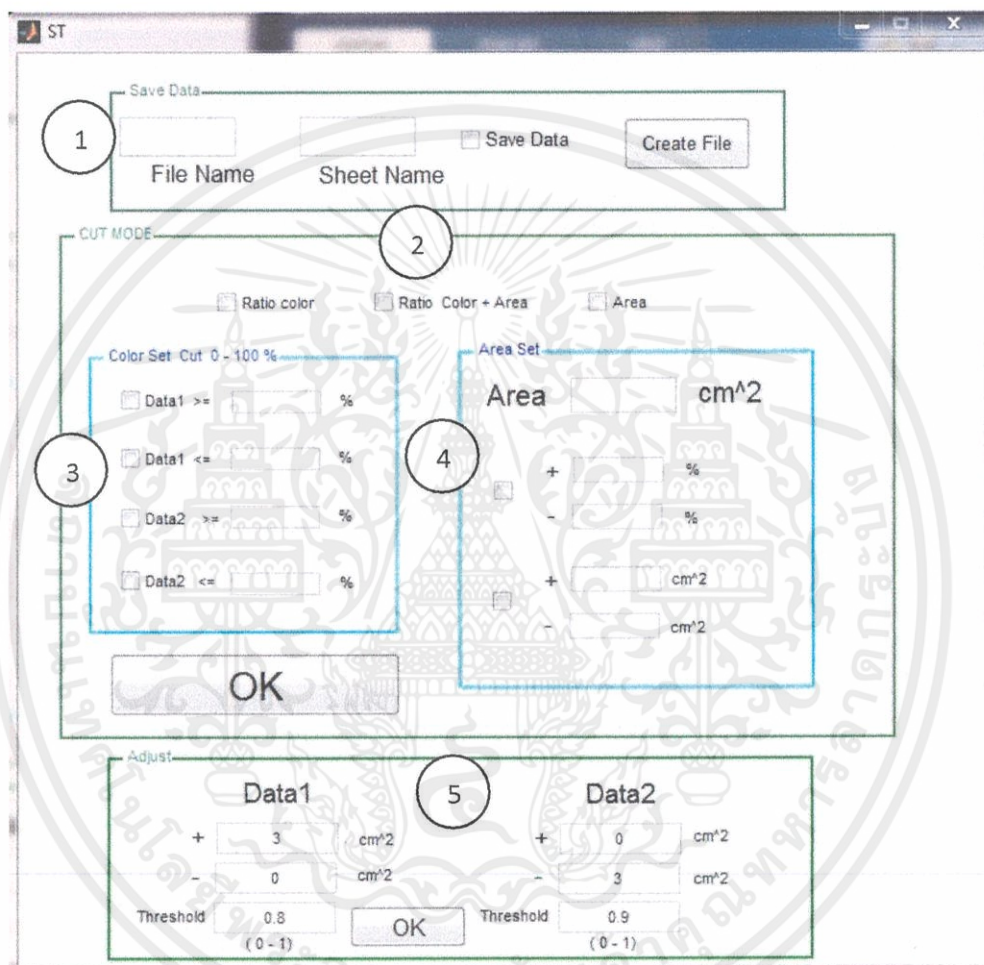
1. ตารางแสดงข้อมูลการตรวจสอบที่บันทึกไว้
2. อัตราส่วนระหว่างของดีกับของเสียของข้อมูลที่เรียกดู
3. จำนวนของดีและของเสียของข้อมูลที่เรียกดู
4. ช่องใส่ชื่อและหน้าของข้อมูลที่บันทึกไว้ และปุ่มกดเรียกดูข้อมูล



ภาพที่ 3ข. หน้าต่างการตั้งค่าการตัดภาพ (ใช้ตัดแสงรบกวน)

### ส่วนประกอบของหน้าต่างการตั้งค่าการตัดภาพมีดังนี้

1. รูปและพื้นที่ต้นฉบับ
2. รูปและพื้นที่หลังการตัดภาพ
3. ช่องสำหรับใส่ค่าพิกัดการตัด
4. ปุ่มตัดรูป และเครื่องมือช่วยหาพิกัด



ภาพที่ 4ข. หน้าต่างการตั้งค่าอื่นๆ

### ส่วนประกอบของหน้าต่างการตั้งค่าอื่นๆมีดังนี้

1. ใช้สำหรับตั้งค่าการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบ
2. ใช้สำหรับเลือกวิธีในการตัดแยก
3. ใช้สำหรับตั้งค่าการตัดแยกด้วยวิธี Ratio Color

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

4. ใช้สำหรับตั้งค่าการตัดแยกด้วยวิธี Area
5. ใช้สำหรับตั้งค่าปรับแก้ และ ตั้งค่า Threshold

จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

เอกสารอ้างอิงอุปกรณ์ (Datasheet)

IC CD4050



CD4049UB, CD4050B

Data sheet acquired from Harris Semiconductor  
SCHS046D

August 1998 - Revised February 2003

CMOS Hex Buffer/Converters

The CD4049UB and CD4050B devices are inverting and non-inverting hex buffers, respectively, and feature logic-level conversion using only one supply voltage ( $V_{CC}$ ). The input-signal high level ( $V_{IH}$ ) can exceed the  $V_{CC}$  supply voltage when these devices are used for logic-level conversions. These devices are intended for use as CMOS to DTL/TTL converters and can drive directly two DTL/TTL loads. ( $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{OL} = 0.4V$ , and  $I_{OL} \geq 3.3mA$ .)

The CD4049UB and CD4050B are designated as replacements for CD4009UB and CD4010B, respectively. Because the CD4049UB and CD4050B require only one power supply, they are preferred over the CD4009UB and CD4010B and should be used in place of the CD4009UB and CD4010B in all inverter, current driver, or logic-level conversion applications. In these applications the CD4049UB and CD4050B are pin compatible with the CD4009UB and CD4010B respectively, and can be substituted for these devices in existing as well as in new designs. Terminal No. 16 is not connected internally on the CD4049UB or CD4050B, therefore, connection to this terminal is of no consequence to circuit operation. For applications not requiring high sink-current or voltage conversion, the CD4069UB Hex Inverter is recommended.

Features

- CD4049UB Inverting
- CD4050B Non-Inverting
- High Sink Current for Driving 2 TTL Loads
- High-To-Low Level Logic Conversion
- 100% Tested for Quiescent Current at 20V
- Maximum Input Current of  $1\mu A$  at 18V Over Full Package Temperature Range: 100nA at 18V and 25°C
- 5V, 10V and 15V Parametric Ratings

Applications

- CMOS to DTL/TTL Hex Converter
- CMOS Current "Sink" or "Source" Driver
- CMOS High-To-Low Logic Level Converter

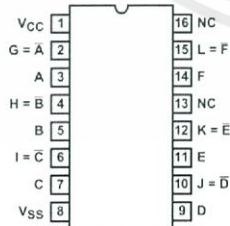
Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE
CD4049UBF3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP
CD4050BF3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP
CD4049UBD	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4049UBDR	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4049UBDW	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4049UBDWR	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4049UBE	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD4049UBNSR	-55 to 125	16 Ld SOP
CD4049UBPW	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD4049UBPWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD4050BD	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4050BDR	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4050BDW	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4050BDWR	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD4050BE	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD4050NSR	-55 to 125	16 Ld SOP
CD4050BPW	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD4050BPWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP

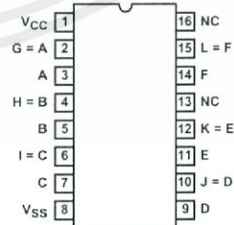
NOTE: When ordering, use the entire part number. The suffix R denotes tape and reel.

Pinouts

CD4049UB (PDIP, CERDIP, SOIC, SOP, TSSOP)  
TOP VIEW



CD4050B (PDIP, CERDIP, SOIC, SOP)  
TOP VIEW



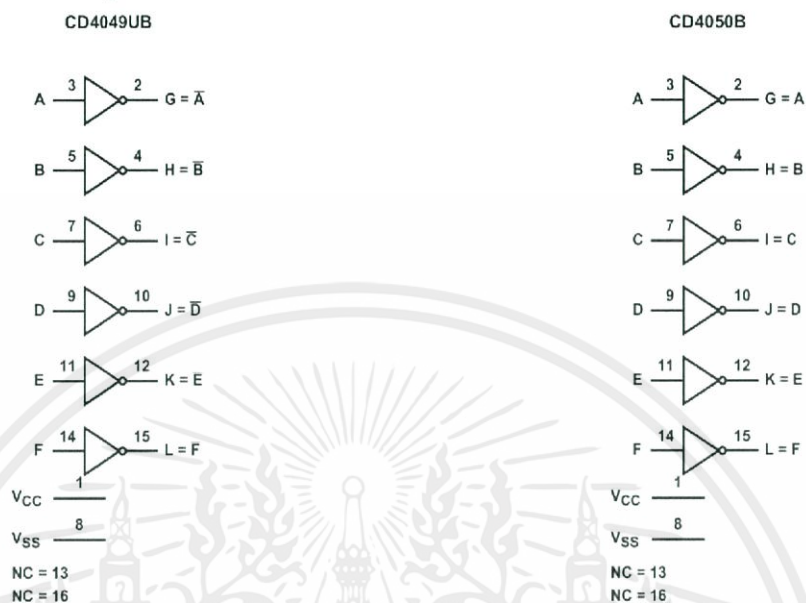
1

CAUTION These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures. Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่มีการรับประกันใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบแก้ไข

## CD4049UB, CD4050B

## Functional Block Diagrams



## Schematic Diagrams



FIGURE 1A. SCHEMATIC DIAGRAM OF CD4049UB, 1 OF 6 IDENTICAL UNITS

FIGURE 1B. SCHEMATIC DIAGRAM OF CD4050B, 1 OF 6 IDENTICAL UNITS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CD4049UB, CD4050B

## Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V+ to V-) ..... -0.5V to 20V  
 DC Input Current, Any One Input .....  $\pm 10$ mA

## Operating Conditions

Temperature Range ..... -55°C to 125°C

## Thermal Information

Package Thermal Impedance,  $\theta_{JA}$  (see Note1):

E Package ..... 67°C/W  
 D Package ..... 73°C/W  
 DW Package ..... 57°C/W  
 NS Package ..... 64°C/W  
 PW Package ..... 108°C/W  
 Maximum Junction Temperature (Plastic Package) ..... 150°  
 Maximum Storage Temperature Range ..... 65°C to 150°  
 Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) ..... 265°  
 SOIC - Lead Tips Only)

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

## NOTE:

1. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

## DC Electrical Specifications

PARAMETER	TEST CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURE (°C)							UNITS
	V <sub>O</sub> (V)	V <sub>IN</sub> (V)	V <sub>CC</sub> (V)	-55	-40	85	125	25			
								MIN	TYP	MAX	
Quiescent Device Current I <sub>DD</sub> (Max)	-	0.5	5	1	1	30	30	-	0.02	1	$\mu$ A
	-	0.10	10	2	2	60	60	-	0.02	2	$\mu$ A
	-	0.15	15	4	4	120	120	-	0.02	4	$\mu$ A
	-	0.20	20	20	20	600	600	-	0.04	20	$\mu$ A
Output Low (Sink) Current I <sub>OL</sub> (Min)	0.4	0.5	4.5	3.3	3.1	2.1	1.8	2.6	5.2	-	mA
	0.4	0.5	5	4	3.8	2.9	2.4	3.2	6.4	-	mA
	0.5	0.10	10	10	9.6	6.6	5.6	8	16	-	mA
	1.5	0.15	15	26	25	20	18	24	48	-	mA
Output High (Source) Current I <sub>OH</sub> (Min)	4.6	0.5	5	-0.81	-0.73	-0.58	-0.48	-0.65	-1.2	-	mA
	2.5	0.5	5	-2.6	-2.4	-1.9	-1.55	-2.1	-3.9	-	mA
	9.5	0.10	10	-2.0	-1.8	-1.35	-1.18	-1.65	-3.0	-	mA
	13.5	0.15	15	-5.2	-4.8	-3.5	-3.1	-4.3	-8.0	-	mA
Out Voltage Low Level V <sub>OL</sub> (Max)	-	0.5	5	0.05	0.05	0.05	0.05	-	0	0.05	V
	-	0.10	10	0.05	0.05	0.05	0.05	-	0	0.05	V
	-	0.15	5	0.05	0.05	0.05	0.05	-	0	0.05	V
Output Voltage High Level V <sub>OH</sub> (Min)	-	0.5	5	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	5	-	V
	-	0.10	10	9.95	9.95	9.95	9.95	9.95	10	-	V
	-	0.15	15	14.95	14.95	14.95	14.95	14.95	15	-	V
Input Low Voltage, V <sub>IL</sub> (Max) CD4049UB	4.5	-	5	1	1	1	1	-	-	1	V
	9	-	10	2	2	2	2	-	-	2	V
	13.5	-	15	2.5	2.5	2.5	2.5	-	-	2.5	V
Input Low Voltage, V <sub>IL</sub> (Max) CD4050B	0.5	-	5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	-	1.5	V
	1	-	10	3	3	3	3	-	-	3	V
	1.5	-	15	4	4	4	4	-	-	4	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 3. การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CD4049UB, CD4050B

## DC Electrical Specifications (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURE (°C)							UNITS
								25			
	V <sub>O</sub> (V)	V <sub>IN</sub> (V)	V <sub>CC</sub> (V)	-55	-40	85	125	MIN	TYP	MAX	
Input High Voltage, V <sub>IH</sub> Min CD4049UB	0.5	-	5	4	4	4	4	4	-	-	V
	1	-	10	8	8	8	8	8	-	-	V
	1.5	-	15	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	-	-	V
Input High Voltage, V <sub>IH</sub> Min CD4050B	4.5	-	5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	V
	9	-	10	7	7	7	7	7	-	-	V
	13.5	-	15	11	11	11	11	11	-	-	V
Input Current, I <sub>IN</sub> Max	-	0.18	18	±0.1	±0.1	±1	±1	-	±10 <sup>-5</sup>	±0.1	μA

AC Electrical Specifications T<sub>A</sub> = 25°C. Input t<sub>r</sub>, t<sub>f</sub> = 20ns, C<sub>L</sub> = 50pF, R<sub>L</sub> = 200k Ω

PARAMETER	TEST CONDITIONS		LIMITS (ALL PACKAGES)		UNITS
	V <sub>IN</sub>	V <sub>CC</sub>	TYP	MAX	
Propagation Delay Time Low to High, t <sub>PLH</sub> CD4049UB	5	5	60	120	ns
	10	10	32	65	ns
	10	5	45	90	ns
	15	15	25	50	ns
	15	5	45	90	ns
Propagation Delay Time Low to High, t <sub>PLH</sub> CD4050B	5	5	70	140	ns
	10	10	40	80	ns
	10	5	45	90	ns
	15	15	30	60	ns
	15	5	40	80	ns
Propagation Delay Time High to Low, t <sub>PHL</sub> CD4049UB	5	5	32	65	ns
	10	10	20	40	ns
	10	5	15	30	ns
	15	15	15	30	ns
	15	5	10	20	ns
Propagation Delay Time High to Low, t <sub>PHL</sub> CD4050B	5	5	55	110	ns
	10	10	22	55	ns
	10	5	50	100	ns
	15	15	15	30	ns
	15	5	50	100	ns
Transition Time, Low to High, t <sub>TLH</sub>	5	5	80	160	ns
	10	10	40	80	ns
	15	15	30	60	ns
Transition Time, High to Low, t <sub>THL</sub>	5	5	30	60	ns
	10	10	20	40	ns
	15	15	15	30	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM2904, LM358/LM358A, LM258/ LM258A

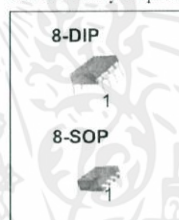
## Dual Operational Amplifier

### Features

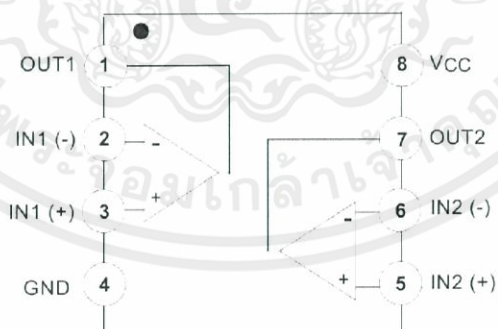
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:  
LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V–32V (or  $\pm 1.5V$  ~ 16V)  
LM2904: 3V–26V (or  $\pm 1.5V$  ~ 13V)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V DC to Vee -1.5V DC
- Power Drain Suitable for Battery Operation.

### Description

The LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A consist 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 voltage. 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 amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



### Internal Block Diagram



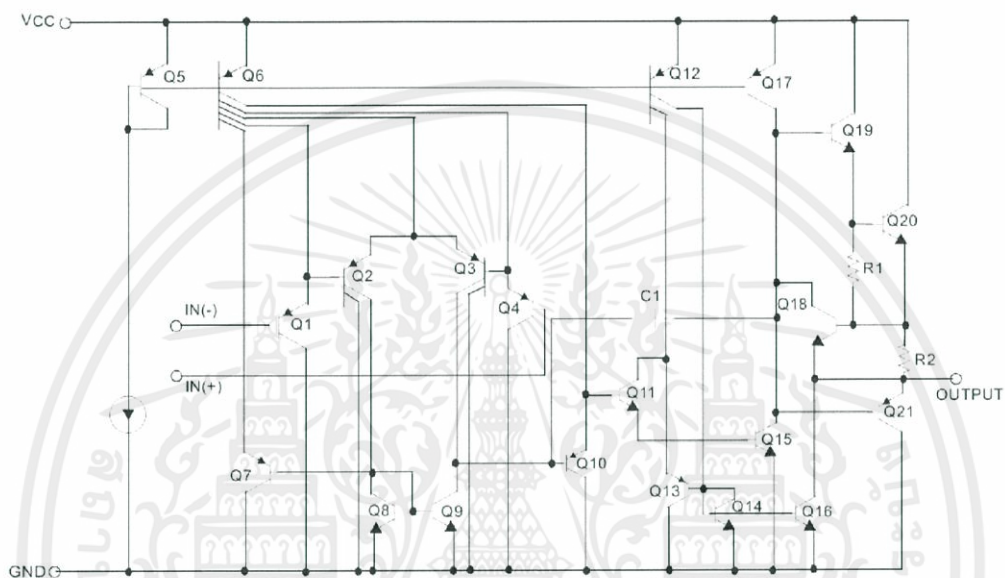
Rev. 1.0.3

# LM358

LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A

## Schematic Diagram

(One section only)



## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM258/LM258A	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	VCC	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	32	32	26	V
Input Voltage	VI	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND VCC ≤ 15V, TA = 25°C (One Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	TOPR	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Maximum Junction Temperature	TJ(MAX)	+150	+150	+150	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics

(VCC = 5.0V, VEE = GND, TA = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> -1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0Ω	-	2.9	5.0	-	2.9	7.0	-	2.9	7.0	mV
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	3	30	-	5	50	-	5	50	nA
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	45	150	-	45	250	-	45	250	nA
Input Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V (LM2904, V <sub>CC</sub> =26V)	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	V
Supply Current	I <sub>CC</sub>	R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 30V (LM2904, V <sub>CC</sub> =26V)	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 5V	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = 2kΩ V <sub>O(P)</sub> = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	V <sub>O(H)</sub>	V <sub>CC</sub> =30V, R <sub>L</sub> = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		V <sub>CC</sub> = 26V for LM2904, R <sub>L</sub> = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	V <sub>O(L)</sub>	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	80	-	50	80	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note1)	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I <sub>SC</sub>	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V, V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	20	30	-	20	30	-	20	30	-	mA
		V <sub>I(+)</sub> = 0V, V <sub>I(-)</sub> = 1V, V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	15	-	10	15	-	10	15	-	mA
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 0V, V <sub>I(-)</sub> = 1V, V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 200mV	12	100	-	12	100	-	-	-	-	μA
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V

### Note:

เอกสารนี้เป็น 1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production. ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A

**Electrical Characteristics** (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of  $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$  for the LM258; and the  $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$  for the LM358; and the  $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$  for the LM2904

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> - 1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0Ω	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	ΔV <sub>IO</sub> /ΔT	R <sub>S</sub> = 0Ω	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	μV/°C	
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	-	100	-	-	150	-	45	200	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI <sub>IO</sub> /ΔT	-	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C	
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	40	300	-	40	500	-	40	500	nA	
Input Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V (LM2904, V <sub>CC</sub> = 26V)	0	-	V <sub>CC</sub> - 2.0	0	-	V <sub>CC</sub> - 2.0	0	-	V <sub>CC</sub> - 2.0	V	
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = 2.0kΩ V <sub>O(P)</sub> = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V <sub>O(H)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V (V <sub>CC</sub> = 26V for LM2904)	R <sub>L</sub> = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			R <sub>L</sub> = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	V <sub>O(L)</sub>	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV	
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V, V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	30	-	10	30	-	10	30	-	mA	
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 0V, V <sub>I(-)</sub> = 1V, V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	5	8	-	5	9	-	5	9	-	mA	
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics** (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, TA = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258A			LM358A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> - 1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0Ω	-	1.0	3.0	-	2.0	3.0	mV
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	2	15	-	5	30	nA
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	40	80	-	45	100	nA
Input Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V	0	-	V <sub>CC</sub> - 1.5	0	-	V <sub>CC</sub> - 1.5	V
Supply Current	I <sub>CC</sub>	R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 30V	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 5V	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = 2kΩ V <sub>O</sub> = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	V <sub>OH</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V	R <sub>L</sub> = 2kΩ	26	-	-	26	-	V
	R <sub>L</sub> = 10kΩ		27	28	-	27	28	-	V
	V <sub>O(L)</sub>	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note 1)	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I <sub>SC</sub>	-	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	20	30	-	20	30	-	mA
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	15	-	10	15	-	mA
		V <sub>in(+)</sub> = 0V, V <sub>in(-)</sub> = 1V V <sub>O(P)</sub> = 200mV	12	100	-	12	100	-	μA
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V

**Note:**

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A

**Electrical Characteristics** (Continued)

(VCC = 5.0V, VEE = GND, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of  $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$  for the LM258A; and the  $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$  for the LM358A

Parameter	Symbol	Conditions	LM258A			LM358A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> - 1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0Ω	-	-	4.0	-	-	5.0	mV
Input Offset Voltage Drift	ΔV <sub>IO</sub> /ΔT	-	-	7.0	15	-	7.0	20	μV/°C
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	-	30	-	-	75	nA
Input Offset Current Drift	ΔI <sub>IO</sub> /ΔT	-	-	10	200	-	10	300	pA/°C
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	40	100	-	40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V	0	-	V <sub>CC</sub> -2.0	0	-	V <sub>CC</sub> -2.0	V
Output Voltage Swing	V <sub>O(H)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V R <sub>L</sub> = 2kΩ	-	-	-	26	-	-	V
			R <sub>L</sub> = 10kΩ	27	28	-	27	28	-
	V <sub>O(L)</sub>	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = 2.0kΩ V <sub>O(P)</sub> = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	V/mV
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	30	-	10	30	-	mA
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	5	9	-	5	9	-	mA
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM340-N/LM78XX Series 3-Terminal Positive Regulators

Check for Samples: LM340-N, LM78xx

### FEATURES

- Complete Specifications at 1A Load
- Output Voltage Tolerances of  $\pm 2\%$  at  $T_j = 25^\circ\text{C}$  and  $\pm 4\%$  Over the Temperature Range (LM340A)
- Line Regulation of 0.01% of  $V_{\text{OUT}}/V$  of  $\Delta V_{\text{IN}}$  at 1A Load (LM340A)
- Load Regulation of 0.3% of  $V_{\text{OUT}}/A$  (LM340A)
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short-circuit Current Limit
- Output Transistor Safe Area Protection
- P\* Product Enhancement Tested

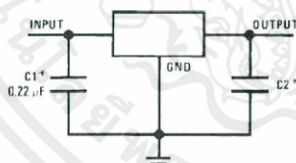
### DESCRIPTION

The LM140/LM340A/LM340-N/LM78XXC monolithic 3-terminal positive voltage regulators employ internal current-limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.0A output current. They are intended as fixed voltage regulators in a wide range of applications including local (on-card) regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition to use as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents.

Considerable effort was expended to make the entire series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

The 5V, 12V, and 15V regulator options are available in the steel TO-3 power package. The LM340A/LM340-N/LM78XXC series is available in the TO-220 plastic power package, and the LM340-N-5.0 is available in the SOT-223 package, as well as the LM340-5.0 and LM340-12 in the surface-mount DPAK/TO-263 package.

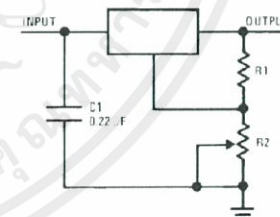
### Typical Applications



\*Required if the regulator is located far from the power supply filter.

\*\*Although no output capacitor is needed for stability, it does help transient response. (If needed, use 0.1  $\mu\text{F}$ , ceramic disc).

Figure 1. Fixed Output Regulator



$$V_{\text{OUT}} = 5V + (5V/R1 + I_O) R2 \quad 5V/R1 > 3 I_O$$

$$\text{load regulation } (L_r) = [(R1 + R2)/R1] \quad (L_r \text{ of LM340-5}).$$

Figure 2. Adjustable Output Regulator



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็น  
ไม่ว่ากรณีใด

สงวนลิขสิทธิ์  
Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

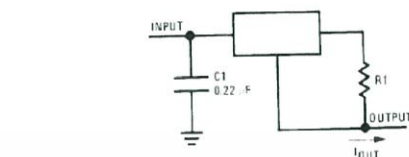
## LM7805

## LM340-N, LM78xx



SNOSBT0J – FEBRUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2013

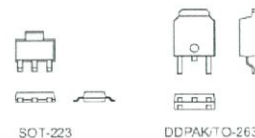
www.ti.com



$$I_{O,UT} = \frac{V_{2-3}}{R_1} + I_Q$$

 $\Delta I_Q = 1.3 \text{ mA}$  over line and load changes.

Figure 3. Current Regulator

Figure 4. Comparison between SOT-223 and DDPAK/TO-263 Packages  
Scale 1:1

## Connection Diagrams

Figure 5. DDPAK/TO-263 Surface-Mount Package  
Top View  
See Package Number KTT0003BFigure 6. 3-Lead SOT-223  
Top View  
See Package Number DCY

These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

Absolute Maximum Ratings<sup>(1)(2)(3)</sup>

DC Input Voltage		35V
Internal Power Dissipation <sup>(4)</sup>		Internally Limited
Maximum Junction Temperature		150°C
Storage Temperature Range		-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	TO-3 Package (NDS)	300°C
	TO-220 Package (NDE), DDPAK/TO-263 Package (KTT)	230°C
ESD Susceptibility <sup>(5)</sup>		2 kV

- (1) Absolute Maximum Ratings are limits beyond which damage to the device may occur. Operating Conditions are conditions under which the device functions but the specifications might not be ensured. For ensured specifications and test conditions see the Electrical Characteristics.
- (2) Military datasheets are available upon request. At the time of printing, the military datasheet specifications for the LM140K-5.0/883, LM140K-12/883, and LM140K-15/883 complied with the min and max limits for the respective versions of the LM140. The LM140H and LM140K may also be procured as JAN devices on slash sheet JM38510/107.
- (3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (4) The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is a function of the maximum junction temperature for operation ( $T_{J,MAX} = 125^\circ\text{C}$  or  $150^\circ\text{C}$ ), the junction-to-ambient thermal resistance ( $\theta_{JA}$ ), and the ambient temperature ( $T_A$ ).  $P_{D,MAX} = (T_{J,MAX} - T_A)/\theta_{JA}$ . If this dissipation is exceeded, the die temperature will rise above  $T_{J,MAX}$  and the electrical specifications do not apply. If the die temperature rises above  $150^\circ\text{C}$ , the device will go into thermal shutdown. For the TO-3 package (NDS), the junction-to-ambient thermal resistance ( $\theta_{JA}$ ) is  $39^\circ\text{C/W}$ . When using a heatsink,  $\theta_{JA}$  is the sum of the  $4^\circ\text{C/W}$  junction-to-case thermal resistance ( $\theta_{JC}$ ) of the TO-3 package and the case-to-ambient thermal resistance of the heatsink. For the TO-220 package (NDE),  $\theta_{JA}$  is  $54^\circ\text{C/W}$  and  $\theta_{JC}$  is  $4^\circ\text{C/W}$ . If SOT-223 is used, the junction-to-ambient thermal resistance is  $174^\circ\text{C/W}$  and can be reduced by a heatsink (see Applications Hints on heatsinking). If the DDPAK/TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $50^\circ\text{C/W}$ ; with 1 square inch of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $37^\circ\text{C/W}$ ; and with 1.6 or more inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $32^\circ\text{C/W}$ .
- (5) ESD rating is based on the human body model, 100 pF discharged through 1.5 kΩ.

Operating Conditions<sup>(1)</sup>

- (1) Absolute Maximum Ratings are limits beyond which damage to the device may occur. Operating Conditions are conditions under which the device functions but the specifications might not be ensured. For ensured specifications and test conditions see the Electrical Characteristics.

2 Submit Documentation Feedback

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

## LM340-N, LM78xx



SNOSBT0J – FEBRUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2013

www.ti.com

## LM340A Electrical Characteristics

 $I_{OUT} = 1A$ ,  $0^{\circ}C \leq T_J \leq +125^{\circ}C$  (LM340A) unless otherwise specified<sup>(1)</sup>

Symbol	Output Voltage		5V			12V			15V			Units
	Input Voltage (unless otherwise noted)		10V			19V			23V			
	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^{\circ}C$	4.9	5	5.1	11.75	12	12.25	14.7	15	15.3	V
		$P_D \leq 15W$ , $5mA \leq I_O \leq 1A$	4.8		5.2	11.5		12.5	14.4		15.6	V
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$ )			(14.8 $\leq V_{IN} \leq 27$ )			(17.9 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			V
$\Delta V_O$	Line Regulation	$I_O = 500mA$	10			18			22			mV
		$\Delta V_{IN}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$ )			(14.8 $\leq V_{IN} \leq 27$ )			(17.9 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			V
		$T_J = 25^{\circ}C$	3	10		4	18		4	22	mV	
		$\Delta V_{IN}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$ )			(14.5 $\leq V_{IN} \leq 27$ )			(17.5 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			V
		$T_J = 25^{\circ}C$			4			9			10	mV
		Over Temperature			12			30			30	mV
$\Delta V_O$	Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$	10			12			12			mV
		$5mA \leq I_O \leq 1.5A$	15			19			21			mV
		$250mA \leq I_O \leq 750mA$	25			60			75			mV
$I_Q$	Quiescent Current	$T_J = 25^{\circ}C$	6			6			6			mA
		Over Temperature	6.5			6.5			6.5			mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$5mA \leq I_O \leq 1A$	0.5			0.5			0.5			mA
		$T_J = 25^{\circ}C$ , $I_O = 1A$	0.8			0.8			0.8			mA
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$ )			(14.8 $\leq V_{IN} \leq 27$ )			(17.9 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			V
		$I_O = 500mA$	0.8			0.8			0.8			mA
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(8 $\leq V_{IN} \leq 25$ )			(15 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			(17.9 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			V
$V_N$	Output Noise Voltage	$T_A = 25^{\circ}C$ , $10Hz \leq f \leq 100kHz$	40			75			90			$\mu V$
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$T_J = 25^{\circ}C$ , $f = 120Hz$ , $I_O = 1A$	68	80		61	72		60	70		dB
		or $f = 120Hz$ , $I_O = 500mA$	68			61			60			dB
		Over Temperature, $V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(8 $\leq V_{IN} \leq 18$ )			(15 $\leq V_{IN} \leq 25$ )			(18.5 $\leq V_{IN} \leq 28.5$ )			V
$R_O$	Dropout Voltage	$T_J = 25^{\circ}C$ , $I_O = 1A$	2.0			2.0			2.0			V
		Output Resistance	$f = 1kHz$	8			18			19		
	Short-Circuit Current	$T_J = 25^{\circ}C$	2.1			1.5			1.2			A
	Peak Output Current	$T_J = 25^{\circ}C$	2.4			2.4			2.4			A
	Average TC of $V_O$	Min, $T_J = 0^{\circ}C$ , $I_O = 5mA$	-0.6			-1.5			-1.8			$mV/^{\circ}C$
$V_{IN}$	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$	7.5			14.5			17.5			V

- (1) All characteristics are measured with a 0.22  $\mu F$  capacitor from input to ground and a 0.1  $\mu F$  capacitor from output to ground. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ( $t_w \leq 10ms$ , duty cycle  $\leq 5\%$ ). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

**LM140 Electrical Characteristics<sup>(1)</sup>**–55°C ≤ T<sub>J</sub> ≤ +150°C unless otherwise specified

Symbol	Output Voltage		5V			12V			15V			Units	
	Input Voltage (unless otherwise noted)		10V			19V			23V				
	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
V <sub>O</sub>	Output Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V	
		P <sub>D</sub> ≤ 15W, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V	
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>			(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(15.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	V	
ΔV <sub>O</sub>	Line Regulation	I <sub>O</sub> = 500 mA		3	50		4	120		4	150	mV	
		T <sub>J</sub> = 25°C										V	
		–55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C										150	mV
		ΔV <sub>IN</sub>			(7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	V	
		ΔV <sub>IN</sub>			(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	V	
		I <sub>O</sub> ≤ 1A	T <sub>J</sub> = 25°C			50			120			150	mV
		–55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C				25			60			75	mV
		ΔV <sub>IN</sub>			(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 12)			(16 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 22)			(20 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 26)	V	
ΔV <sub>O</sub>	Load Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.5A		10	50		12	120		12	150	mV
		250 mA ≤ I <sub>P</sub> ≤ 750 mA			25			60			75	mV	
		–55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C,	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A			50			120			150	mV
		5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A											
I <sub>O</sub>	Quiescent Current	I <sub>O</sub> ≤ 1A	T <sub>J</sub> = 25°C		6		6			6		mA	
		–55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C			7		7			7		mA	
ΔI <sub>O</sub>	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A			0.5		0.5			0.5		mA	
		T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ 1A				0.8		0.8		0.8		mA	
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>			(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	V	
		I <sub>O</sub> = 500 mA, –55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C				0.8		0.8			0.8	mA	
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>			(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	V	
V <sub>N</sub>	Output Noise Voltage	T <sub>A</sub> = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz		40		75		90			μV		
ΔV <sub>IN</sub> / ΔV <sub>OUT</sub>	Ripple Rejection	f = 120 Hz	I <sub>O</sub> ≤ 1A, T <sub>J</sub> = 25°C or	68	80		61	72		60	70	dB	
		I <sub>O</sub> ≤ 500 mA, –55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C		68		61		60			dB		
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>			(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 18)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 28.5)	V	
R <sub>O</sub>	Dropout Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> = 1A		2.0		2.0		2.0		2.0		V	
		Output Resistance	f = 1 kHz		8		18		19		mΩ		
		Short-Circuit Current	T <sub>J</sub> = 25°C		2.1		1.5		1.2		A		
		Peak Output Current	T <sub>J</sub> = 25°C		2.4		2.4		2.4		A		
		Average TC of V <sub>OUT</sub>	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C, I <sub>O</sub> = 5 mA		–0.6		–1.5		–1.8		mV/°C		

(1) All characteristics are measured with a 0.22 μF capacitor from input to ground and a 0.1 μF capacitor from output to ground. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t<sub>w</sub> ≤ 10 ms, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

## LM340-N, LM78xx



SNOSBT0J—FEBRUARY 2000—REVISED DECEMBER 2013

www.ti.com

LM140 Electrical Characteristics<sup>(1)</sup> (continued)-55°C ≤ T<sub>J</sub> ≤ +150°C unless otherwise specified

Symbol	Output Voltage		5V			12V			15V			Units
	Input Voltage (unless otherwise noted)		10V			19V			23V			
	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V <sub>IN</sub>	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ 1A	7.5			14.6			17.7			V

LM340-N Electrical Characteristics<sup>(1)</sup>0°C ≤ T<sub>J</sub> ≤ +125°C unless otherwise specified

Symbol	Output Voltage		5V			12V			15V			Units
	Input Voltage (unless otherwise noted)		10V			19V			23V			
	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V <sub>O</sub>	Output Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		P <sub>D</sub> ≤ 15W, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
ΔV <sub>O</sub>	Line Regulation	I <sub>O</sub> = 500 mA, T <sub>J</sub> = 25°C		3	50		4	120		4	150	mV
		ΔV <sub>IN</sub>	(7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
		0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C			50			120			150	mV
		ΔV <sub>IN</sub>	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
		I <sub>O</sub> ≤ 1A, T <sub>J</sub> = 25°C			50			120			150	mV
		ΔV <sub>IN</sub>	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.6 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
		0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C			25			60			75	mV
		ΔV <sub>IN</sub>	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 12)			(16 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 22)			(20 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 26)			V
ΔV <sub>O</sub>	Load Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C		10	50		12	120		12	150	mV
		5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.5A			25			60			75	mV
		250 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 750 mA			25			60			75	mV
		5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A, 0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C			50			120			150	mV
I <sub>O</sub>	Quiescent Current	I <sub>O</sub> ≤ 1A, T <sub>J</sub> = 25°C			8			8			8	mA
		0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C			8.5			8.5			8.5	mA
ΔI <sub>O</sub>	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A		0.5				0.5			0.5	mA
		T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ 1A			1.0			1.0			1.0	mA
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.9 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
		I <sub>O</sub> ≤ 500 mA, 0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C			1.0			1.0			1.0	mA
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	(7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
V <sub>N</sub>	Output Noise Voltage	T <sub>A</sub> = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz			40			75			90	μV
	Ripple Rejection	I <sub>O</sub> ≤ 1A, T <sub>J</sub> = 25°C	62	80		55	72		54	70		dB
		f = 120 Hz, or I <sub>O</sub> ≤ 500 mA, 0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	62			55			54			dB
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 18)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 28.5)			V

(1) All characteristics are measured with a 0.22 μF capacitor from input to ground and a 0.1 μF capacitor from output to ground. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t<sub>w</sub> ≤ 10 ms, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

6. Submit Documentation Feedback | ไม่ทำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร | Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

Product Folder Links: LM340-N LM78xx

**LM340-N Electrical Characteristics<sup>(1)</sup> (continued)**0°C ≤ T<sub>J</sub> ≤ +125°C unless otherwise specified

Symbol	Output Voltage										Units	
	Input Voltage (unless otherwise noted)		5V			12V			15V			
	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ		Max
R <sub>O</sub>	Dropout Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> = 1A		2.0			2.0			2.0	V	
	Output Resistance	f = 1 kHz		8			18			19	mΩ	
	Short-Circuit Current	T <sub>J</sub> = 25°C		2.1			1.5			1.2	A	
	Peak Output Current	T <sub>J</sub> = 25°C		2.4			2.4			2.4	A	
	Average TC of V <sub>OUT</sub>	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C, I <sub>O</sub> = 5 mA		-0.6			-1.5			-1.8	mV/°C	
V <sub>IN</sub>	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ 1A	7.5			14.6				17.7	V	

**LM7808C Electrical Characteristics**0°C ≤ T<sub>J</sub> ≤ +150°C, V<sub>I</sub> = 14V, I<sub>O</sub> = 500 mA, C<sub>I</sub> = 0.33 μF, C<sub>O</sub> = 0.1 μF, unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions <sup>(1)</sup>	LM7808C			Units	
			Min	Typ	Max		
V <sub>O</sub>	Output Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C	7.7	8.0	8.3	V	
ΔV <sub>O</sub>	Line Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C	10.5V ≤ V <sub>I</sub> ≤ 25V		6.0	160	mV
			11.0V ≤ V <sub>I</sub> ≤ 17V		2.0	80	
ΔV <sub>O</sub>	Load Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C	5.0 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.5A		12	160	mV
			250 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 750 mA		4.0	80	
V <sub>O</sub>	Output Voltage	11.5V ≤ V <sub>I</sub> ≤ 23V, 5.0 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.0A, P ≤ 15W	7.6		8.4	V	
I <sub>O</sub>	Quiescent Current	T <sub>J</sub> = 25°C		4.3	8.0	mA	
ΔI <sub>O</sub>	Quiescent Current Change	With Line	11.5V ≤ V <sub>I</sub> ≤ 25V			1.0	mA
		With Load	5.0 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.0A			0.5	
V <sub>N</sub>	Noise	T <sub>A</sub> = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz		52		μV	
ΔV <sub>I</sub> /ΔV <sub>O</sub>	Ripple Rejection	f = 120 Hz, I <sub>O</sub> = 350 mA, T <sub>J</sub> = 25°C	56	72		dB	
V <sub>DO</sub>	Dropout Voltage	I <sub>O</sub> = 1.0A, T <sub>J</sub> = 25°C		2.0		V	
R <sub>O</sub>	Output Resistance	f = 1.0 kHz		16		mΩ	
I <sub>OS</sub>	Output Short Circuit Current	T <sub>J</sub> = 25°C, V <sub>I</sub> = 35V		0.45		A	
I <sub>PK</sub>	Peak Output Current	T <sub>J</sub> = 25°C		2.2		A	
ΔV <sub>O</sub> /ΔT	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	I <sub>O</sub> = 5.0 mA		0.8		mV/°C	

(1) All characteristics are measured with a 0.22 μF capacitor from input to ground and a 0.1 μF capacitor from output to ground. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t<sub>w</sub> ≤ 10 ms, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

# LM555/NE555/SA555

## Single Timer

### Features

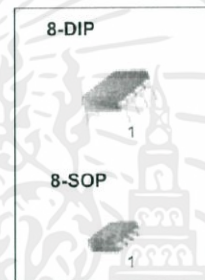
- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From  $\mu$ Sec to Hours
- Turn off Time Less Than 2 $\mu$ Sec

### Applications

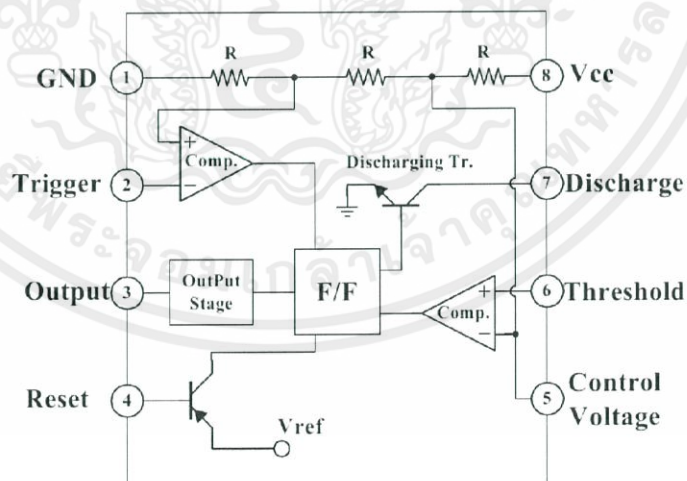
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

### Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor.



### Internal Block Diagram



## NE555

LM555/NE555/SA555

**Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	16	V
Lead Temperature (Soldering 10sec)	TLEAD	300	°C
Power Dissipation	PD	600	mW
Operating Temperature Range LM555/NE555 SA555	TOPR	0 ~ +70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 2  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics

( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5 \sim 15\text{V}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	$V_{CC}$	-	4.5	-	16	V
Supply Current *1(Low Stable)	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5\text{V}$ , $R_L = \infty$	-	3	6	mA
		$V_{CC} = 15\text{V}$ , $R_L = \infty$	-	7.5	15	mA
Timing Error *2 (Monostable)						
Initial Accuracy	ACCUR	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	1.0	3.0	%
Drift with Temperature	$\frac{\Delta T}{T}$		50			ppm/ $^\circ\text{C}$
Drift with Supply Voltage	$\frac{\Delta V}{V_{CC}}$		0.1	0.5		%/V
Timing Error *2(Astable)						
Initial Accuracy	ACCUR	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	2.25	-	%
Drift with Temperature	$\frac{\Delta T}{T}$		150			ppm/ $^\circ\text{C}$
Drift with Supply Voltage	$\frac{\Delta V}{V_{CC}}$		0.3			%/V
Control Voltage	$V_C$	$V_{CC} = 15\text{V}$	9.0	10.0	11.0	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	$V_{TH}$	$V_{CC} = 15\text{V}$	-	10.0	-	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$	-	3.33	-	V
Threshold Current *3	$I_{TH}$	-	-	0.1	0.25	$\mu\text{A}$
Trigger Voltage	$V_{TR}$	$V_{CC} = 5\text{V}$	1.1	1.67	2.2	V
		$V_{CC} = 15\text{V}$	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	$I_{TR}$	$V_{TR} = 0\text{V}$	-	0.01	2.0	$\mu\text{A}$
Reset Voltage	$V_{RST}$	-	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	$I_{RST}$	-	-	0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	$V_{OL}$	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SINK} = 10\text{mA}$ $I_{SINK} = 50\text{mA}$	-	0.06 0.3	0.25 0.75	V V
		$V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SINK} = 5\text{mA}$	-	0.05	0.35	V
High Output Voltage	$V_{OH}$	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SOURCE} = 200\text{mA}$ $I_{SOURCE} = 100\text{mA}$	12.75	13.3	-	V V
		$V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SOURCE} = 100\text{mA}$	2.75	3.3	-	V
Rise Time of Output	$t_R$	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output	$t_F$	-	-	100	-	ns
Discharge Leakage Current	$I_{LKG}$	-	-	20	100	nA

### Notes:

- Supply current when output is high is typically 1mA less at  $V_{CC} = 5\text{V}$
- Tested at  $V_{CC} = 5.0\text{V}$  and  $V_{CC} = 15\text{V}$
- This will determine maximum value of  $R_A + R_B$  for 15V operation, the max. total  $R = 20\text{M}\Omega$ , and for 5V operation the max. total  $R = 6.7\text{M}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Application Information

Table 1 below is the basic operating table of 555 timer:

Table 1. Basic Operating Table

Threshold Voltage (V <sub>th</sub> )(PIN 6)	Trigger Voltage (V <sub>tr</sub> )(PIN 2)	Reset(PIN 4)	Output(PIN 3)	Discharging Tr. (PIN 7)
Don't care	Don't care	Low	Low	ON
$V_{th} > 2V_{cc} / 3$	$V_{tr} > 2V_{cc} / 3$	High	Low	ON
$V_{cc} / 3 < V_{th} < 2 V_{cc} / 3$	$V_{cc} / 3 < V_{tr} < 2 V_{cc} / 3$	High	-	-
$V_{th} < V_{cc} / 3$	$V_{tr} < V_{cc} / 3$	High	High	OFF

When the low signal input is applied to the reset terminal, the timer output remains low regardless of the threshold voltage or the trigger voltage. Only when the high signal is applied to the reset terminal, timer's output changes according to threshold voltage and trigger voltage.

When the threshold voltage exceeds 2/3 of the supply voltage while the timer output is high, the timer's internal discharge Tr. turns on, lowering the threshold voltage to below 1/3 of the supply voltage. During this time, the timer output is maintained low. Later, if a low signal is applied to the trigger voltage so that it becomes 1/3 of the supply voltage, the timer's internal discharge Tr. turns off, increasing the threshold voltage and driving the timer output again at high.

#### 1. Monostable Operation

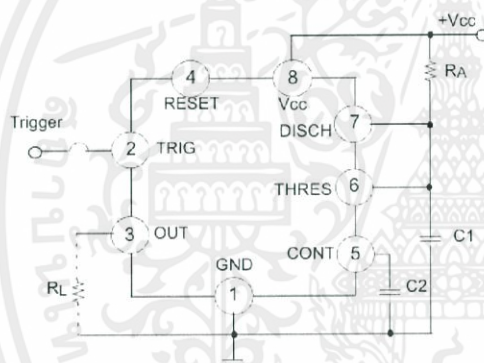


Figure 1. Monoatable Circuit

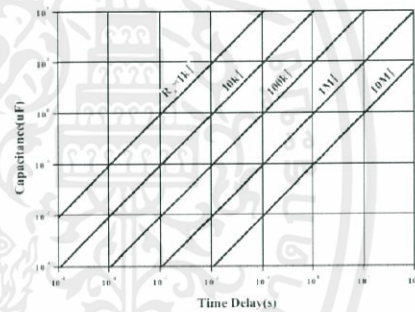


Figure 2. Resistance and Capacitance vs. Time delay(td)

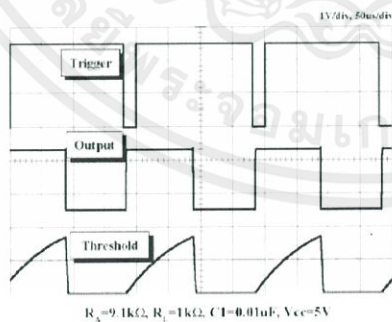


Figure 3. Waveforms of Monostable Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1 illustrates a monostable circuit. In this mode, the timer generates a fixed pulse whenever the trigger voltage falls below  $V_{cc}/3$ . When the trigger pulse voltage applied to the #2 pin falls below  $V_{cc}/3$  while the timer output is low, the timer's internal flip-flop turns the discharging Tr. off and causes the timer output to become high by charging the external capacitor C1 and setting the flip-flop output at the same time.

The voltage across the external capacitor C1,  $V_{C1}$  increases exponentially with the time constant  $t=R_A \cdot C$  and reaches  $2V_{cc}/3$  at  $t_d=1.1R_A \cdot C$ . Hence, capacitor C1 is charged through resistor  $R_A$ . The greater the time constant  $R_A C$ , the longer it takes for the  $V_{C1}$  to reach  $2V_{cc}/3$ . In other words, the time constant  $R_A C$  controls the output pulse width.

When the applied voltage to the capacitor C1 reaches  $2V_{cc}/3$ , the comparator on the trigger terminal resets the flip-flop, turning the discharging Tr. on. At this time, C1 begins to discharge and the timer output converts to low.

In this way, the timer operating in monostable repeats the above process. Figure 2 shows the time constant relationship based on  $R_A$  and C. Figure 3 shows the general waveforms during monostable operation.

It must be noted that, for normal operation, the trigger pulse voltage needs to maintain a minimum of  $V_{cc}/3$  before the timer output turns low. That is, although the output remains unaffected even if a different trigger pulse is applied while the output is high, it may be affected and the waveform not operate properly if the trigger pulse voltage at the end of the output pulse remains at below  $V_{cc}/3$ . Figure 4 shows such timer output abnormality.

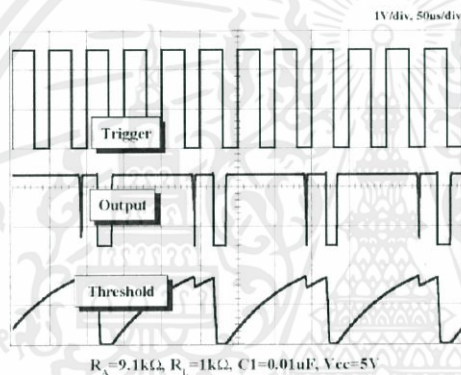


Figure 4. Waveforms of Monostable Operation (abnormal)

2. Astable Operation

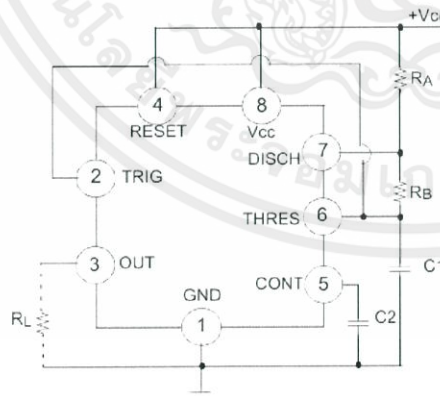


Figure 5. Astable Circuit

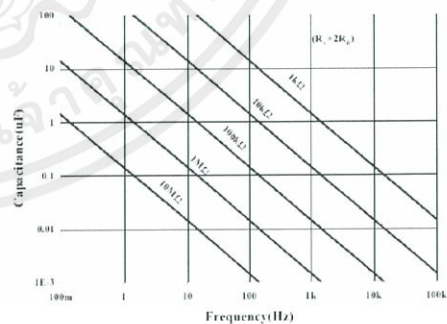


Figure 6. Capacitance and Resistance vs. Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรอ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PC817 Series

## High Density Mounting Type Photocoupler

※ Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817I/ PC817P) (Page 656)  
 ※ TUV (VDE0884) approved type is also available as an option.

### s Features

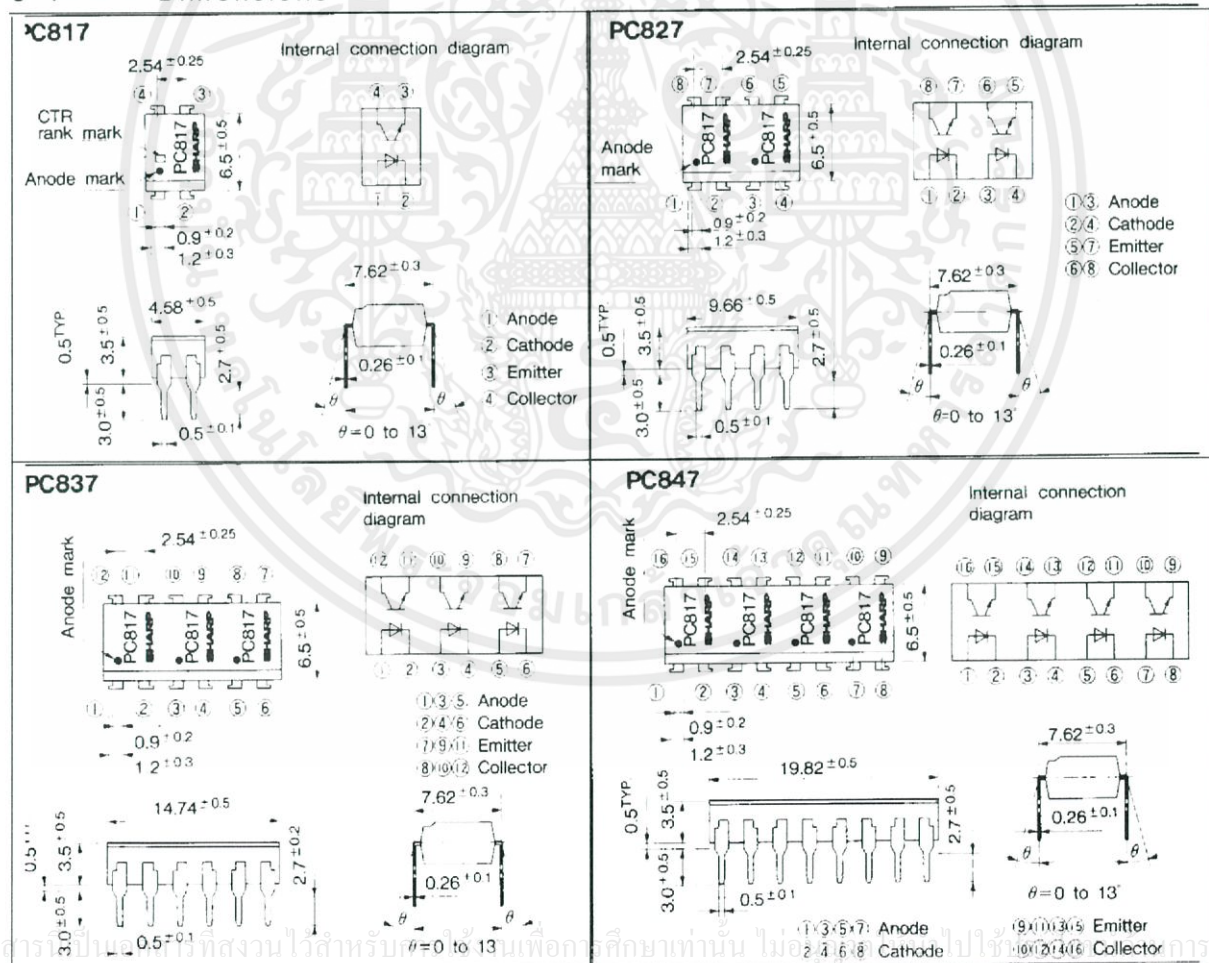
1. Current transfer ratio  
(CTR : MIN. 50% at  $I_t = 5\text{mA}$ )
2. High isolation voltage between input and output ( $V_{iso} : 5000V_{rms}$ )
3. Compact dual-in-line package  
PC817 : 1-channel type  
PC827 : 2-channel type  
**PC837** : 3-channel type  
PC847 : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

### s Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Medical instruments, physical and chemical equipment
6. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

### s Outline Dimensions

(Unit : mm)



6 Photocopiers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้เพื่อการพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Sharp

\*In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that recur in equipment using any of SHARP's devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any WAR's "vice"

**■ Absolute Maximum Ratings** (Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Forward current	I <sub>F</sub>	50	mA
*1 Peak forward current	I <sub>FM</sub>	1	A
Reverse voltage	V <sub>R</sub>	6	V
Power dissipation	P	70	mW
Collector -emitter voltage	V <sub>CEO</sub>	35	v
Emitter -collector voltage	V <sub>ECO</sub>	6	V
Collector current	I <sub>C</sub>	50	mA
Collector power dissipation	P <sub>C</sub>	150	mW
Total power dissipation	P <sub>tot</sub>	200	mW
*2 Isolation voltage	V <sub>iso</sub>	5000	V <sub>rms</sub>
Operating temperature	T <sub>op</sub>	-30 to +100	°C
Storage temperature	T <sub>stg</sub>	-55 to +125	°c
*3 Soldering temperature	T <sub>sol</sub>	260	°C

\*1 Pulse width ≤ 100 μs, Duty ratio 0.001  
 \*2 40 to 60%RH, AC for 1 minute  
 \*3 For 10 seconds

**S Electro-optical Characteristics** (Ta = 25°C)

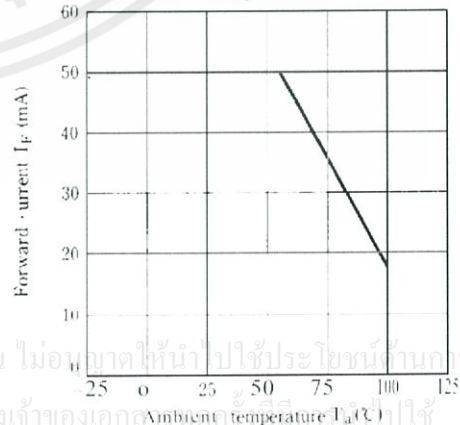
Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Forward voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> = 20mA	-	1.2	1.4	V
Peak forward voltage	V <sub>FM</sub>	I <sub>FM</sub> = 0.5A	-	-	3.0	v
Reverse current	I <sub>R</sub>	V <sub>R</sub> = 4V	-	-	10	μA
Terminal capacitance	C <sub>t</sub>	V = 0, f = 1kHz	-	30	250	pF
Output	Collector dark current	I <sub>CEO</sub> V <sub>CE</sub> = 20V	-	-	10	A
	*Current transfer ratio	CTR I <sub>F</sub> = 5mA, V <sub>CE</sub> = 5V	50	-	600	%
	Collector-emitter saturation voltage	V <sub>CE(sat)</sub> I <sub>F</sub> = 20mA, I <sub>C</sub> = 1mA	-	0.1	0.2	V
Transfer characteristics	Isolation resistance	R <sub>iso</sub> DC500V, 40 to 60%RH	5 × 10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>	-	Ω
	Floating capacitance	C <sub>f</sub> V = 0, f = 1MHz	-	0.6	1.0	pF
	*Cut-off frequency	f <sub>c</sub> V <sub>CE</sub> = 5V, I <sub>C</sub> = 2mA, R <sub>L</sub> = 100Ω, -3dB	-	80	-	kHz
	Response time	Rise time	t <sub>r</sub> V <sub>CE</sub> = 2V, I <sub>C</sub> = 2mA, R <sub>L</sub> = 100Ω	-	4	18
Fall time		t <sub>f</sub>	-	3	18	μs

\*1 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	c	200 to 400
PC817D	r)	300 to 600
PC8*7A8	A or H	80 to 260
PC8*7BC	B or C	130 to 400
PC8*7CD	C or D	200 to 600
PC8*7AC	A, B or C	80 to 400
PC8*7BD	B, C or D	130 to 600
PC8*7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8*7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

\* 1) or 2) or 3) or 4)

**Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature**

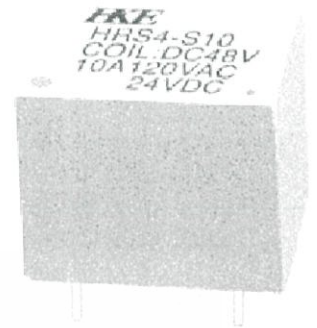


เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินสงวนลิขสิทธิ์ของ Sharp Corporation. ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต. ข้อมูลนี้ใช้สำหรับข้อมูลเท่านั้น ไม่ควรใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น. ข้อมูลนี้ใช้สำหรับข้อมูลเท่านั้น ไม่ควรใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น. ข้อมูลนี้ใช้สำหรับข้อมูลเท่านั้น ไม่ควรใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น.

# HRS4(H) Relay

## 1.COIL DATA

1-1.Nominal Voltage	3 VDC to 48 VDC
1-2.Coil Resistance	Refer to Table 1
1-3.Operate Voltage	Refer to Table 1
1-4.Release Voltage	Refer to Table 1
1-5.Nominal Power Consumption	360 to 450 mW



HRS4(H) Relay

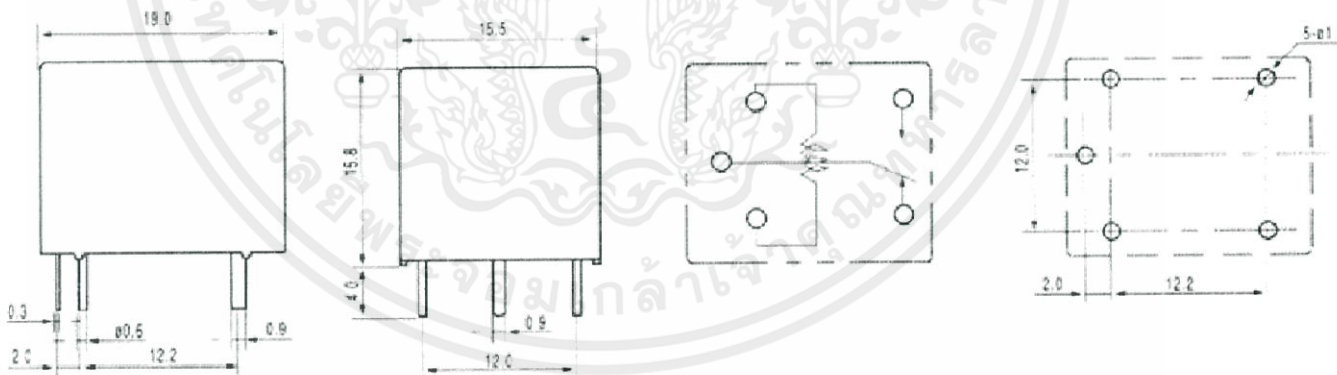
## 2.CONTACT DATA

2-1.Contact Arrangement	1 Form A , 1 Form C
2-2.Contact Material	AgCdo
2-3.Contact Rating	10A 120VAC / 24 VDC (1C) 15A 120VAC / 24 VDC (1A)
2-4.Max. Switching Voltage	110 VDC / 240 VAC
2-5.Max. Switching Current	15A
2-6.Max. Switching Power	1800 VA , 360W
2-7.Contact Resistance ( Initial )	50 m $\Omega$ , at 6 VDC 1A
2-8.Life Expectancy	Electrical 100,000 operations at nominal load Mechanical 10,000,000 operations

## 3.GENERAL DATA

3-1.Insulation Resistance	Min. 100M $\Omega$ , at 500 VDC
3-2.Dielectric Strength	750VAC , 1min between open contacts 1,500VAC , 1min between contacts and coil
3-3.Operate Time	Max. 8ms
3-4.Release Time	Max. 5ms
3-5.Temperature Range	-30 to +85 $^{\circ}$ C
3-6.Shock Resistance	10G
3-7.Vibration Resistance	10 - 55 Hz , Amplitude 1.5mm
3-8.Weight	10 gr.
3-9.Safety Standard	UL NO. E164730

## 4.DIMENSIONS ( in mm )



ii

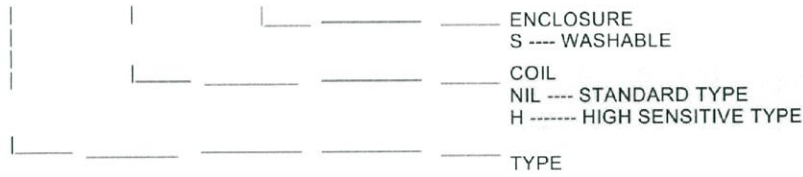
## 5.ORDERING CODE

**HRS4**    **H-**    **S**    **DC 3V**    **A**    ii  
 CONTACT ARRANGEMENT  
 A: 1 FORM A C: 1 FORM C

NOMINAL VOLTAGE:  
 DC3V , DC5V , DC6V , DC12V , DC24V , DC48V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HRS4H



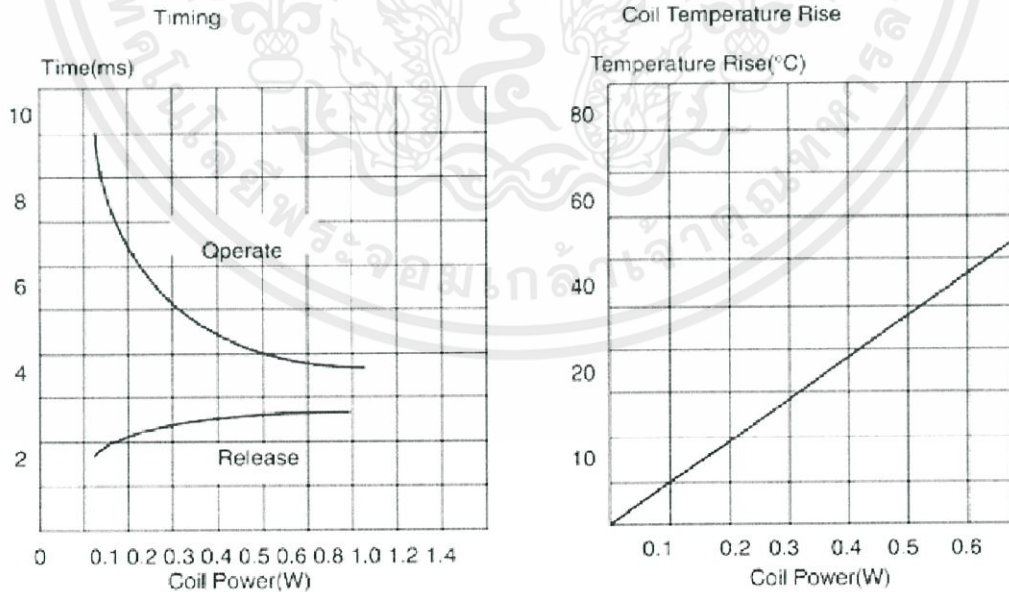
6.COIL DATA CHART

at 20°C

ORDERING CODE	COIL NOMINAL VDC	COIL RESISTANCE Ω, +/- 10%	OPERATE VOLTAGE VDC	RELEASE VOLTAGE VDC	COIL NOMINAL mW
HRS4-S DC3V	3	20	2.25	0.30	450
HRS4-S DC5V	5	50	3.75	0.50	
HRS4-S DC6V	6	80	4.50	0.60	
HRS4-S DC9V	9	180	6.75	0.90	
HRS4-S DC12V	12	320	9.00	1.20	
HRS4-S DC24V	24	820	18.00	2.40	
HRS4-S DC48V	48	5200	36.00	4.80	
HRS4H-S DC3V	3	25	2.25	0.30	360
HRS4H-S DC5V	5	70	3.75	0.50	
HRS4H-S DC6V	6	100	4.50	0.60	
HRS4H-S DC9V	9	225	6.75	0.90	
HRS4H-S DC12V	12	400	9.00	1.20	
HRS4H-S DC24V	24	1600	18.00	2.40	
HRS4H-S DC48V	48	6400	36.00	4.80	

Table 1

7.HRS4(H) CHARACTERISTIC DATA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## USER GUIDE AND SPECIFICATIONS

# USB-6008/6009

This guide describes how to use the National Instruments USB-6008/6009 data acquisition (DAQ) devices and lists specifications.

## Introduction

The NI USB-6008/6009 provides connection to eight analog input (AI) channels, two analog output (AO) channels, 12 digital input/output (DIO) channels, and a 32-bit counter with a full-speed USB interface.



**Note** This manual revision updates naming conventions to reflect the conventions used in NI-DAQmx. Table 1 notes the correlation between the old and updated names.

**Table 1.** Digital Output Driver Type Naming Conventions

Hardware Functionality	NI-DAQmx Terminology
Open-drain	Open collector
Push-pull	Active drive

**Table 2.** Differences Between the USB-6008 and USB-6009

Feature	USB-6008	USB-6009
AI Resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI Sample Rate, Single Channel*	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI Sample Rate, Multiple Channels (Aggregate)**	10 kS/s	42 kS/s
DIO Configuration	Open collector	Open collector or active drive

\* Might be system dependent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

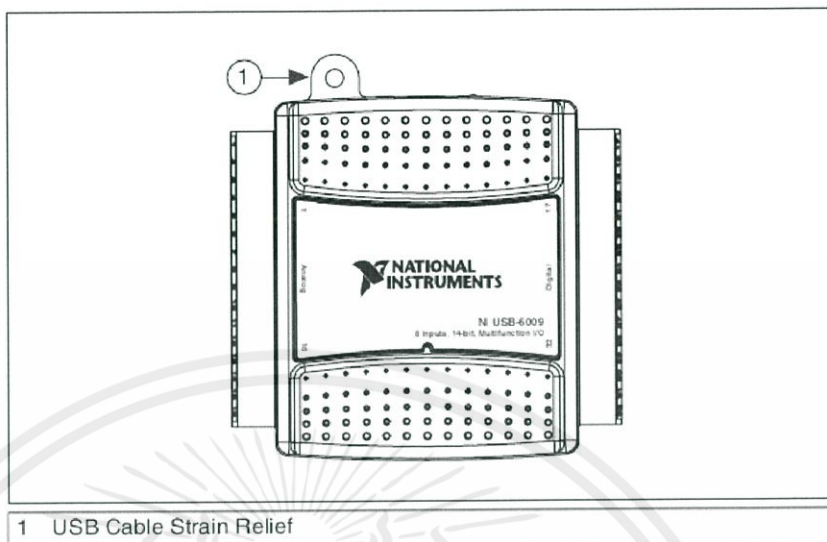


Figure 1. USB-6008/6009

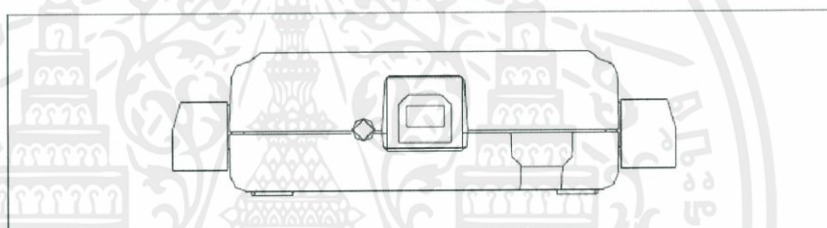


Figure 2. USB-6008/6009 Back View

## Safety Guidelines



**Caution** Operate the hardware only as described in these operating instructions.

The following section contains important safety information that you must follow when installing and using the USB-6008/6009.

Do not operate the USB-6008/6009 in a manner not specified in this document. Misuse of the device can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the device if the device is damaged in any way. If the device is damaged, contact National Instruments for repair.

Do not substitute parts or modify the device except as described in this document. Use the device only with the chassis, modules, accessories, and cables specified in the installation instructions. You must have all covers and filler panels installed during operation of the device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Setting Up Hardware

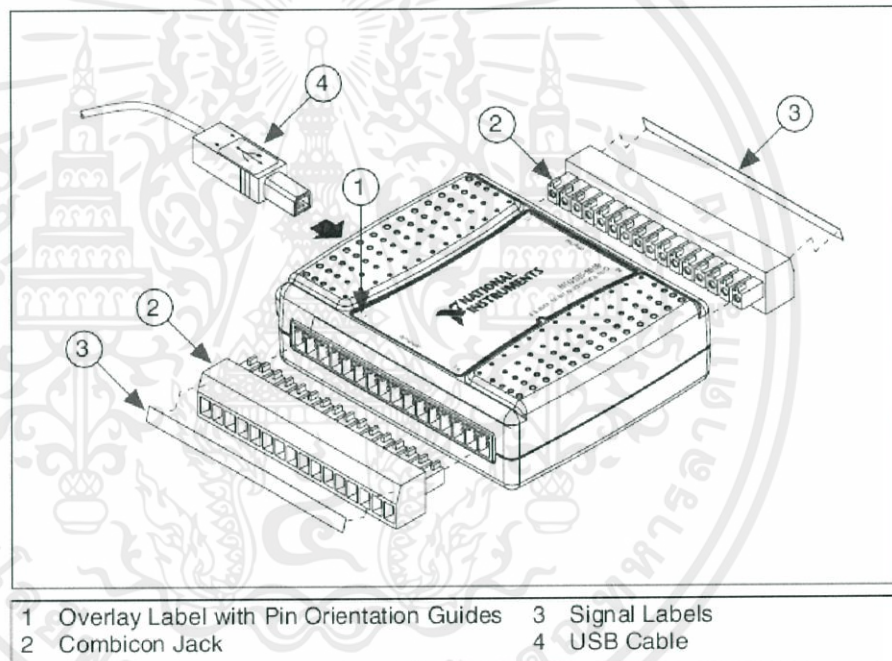
Complete the following steps to set up the hardware:

1. Install combicon screw terminal blocks by inserting them into the combicon jacks.



**Note** The USB-6008/6009 kit ships with signal labels. You can apply the signal labels to the screw terminal blocks for easy signal identification.

2. Refer to Table 3 and Figure 4 for label orientation and affix the provided signal labels to the screw terminal blocks. Until the signal labels are applied, you can insert the screw terminal blocks into either of the combicon jacks. Refer to Figure 4 for more information about signal label orientation.



**Figure 4.** Signal Label Application Diagram



**Note** Once you label the screw terminal blocks, you must only insert them into the matching combicon jack, as indicated by the overlay label on the USB-6008/6009 device.

3. Connect the wiring to the appropriate screw terminals.

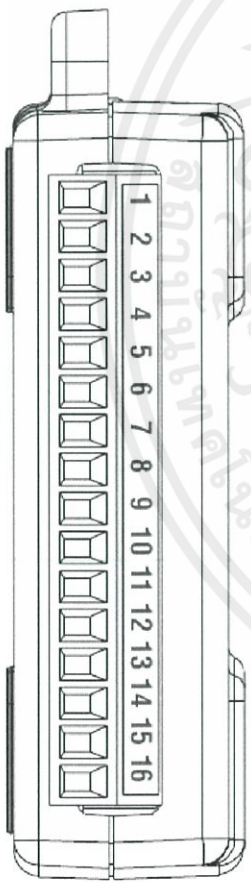
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## I/O Connector

The USB-6008/6009 ships with one detachable screw terminal block for analog signals and one detachable screw terminal block for digital signals. These terminal blocks provide 16 connections that use 16 AWG to 28 AWG wire.

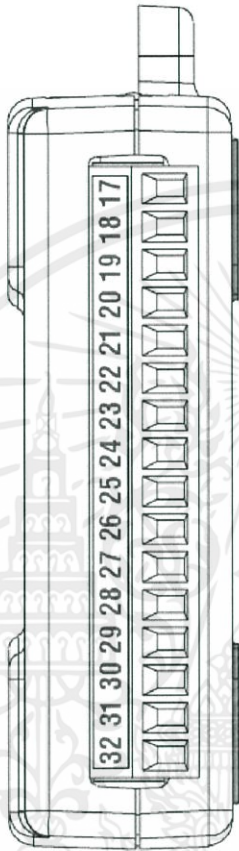
Table 3 lists the analog terminal assignments, and Table 4 lists the digital terminal assignments.

**Table 3.** Analog Terminal Assignments

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4. Digital Terminal Assignments

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Signal Descriptions

Table 5 describes the signals available on the I/O connectors.

**Table 5.** Signal Descriptions

Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	<b>Ground</b> —The reference point for the single-ended AI measurements, bias current return point for differential mode measurements, AO voltages, digital signals at the I/O connector, +5 VDC supply, and the +2.5 VDC reference.
AI <0..7>	Varies	Input	<b>Analog Input Channels 0 to 7</b> —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: <AI 1, AI 5>, <AI 2, AI 6>, and <AI 3, AI 7>.
AO 0	GND	Output	<b>Analog Channel 0 Output</b> —Supplies the voltage output of AO channel 0.
AO 1	GND	Output	<b>Analog Channel 1 Output</b> —Supplies the voltage output of AO channel 1.
P1.<0..3> P0.<0..7>	GND	Input or Output	<b>Digital I/O Signals</b> —You can individually configure each signal as an input or output.
+2.5 V	GND	Output	<b>+2.5 V External Reference</b> —Provides a reference for wrap-back testing.
+5 V	GND	Output	<b>+5 V Power Source</b> —Provides +5 V power up to 200 mA.
PFI 0	GND	Input	<b>PFI 0</b> —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Connecting Analog Output Loads

To connect loads to the USB-6008/6009, connect the positive lead of the load to the AO terminal, and connect the ground of the load to a GND terminal.

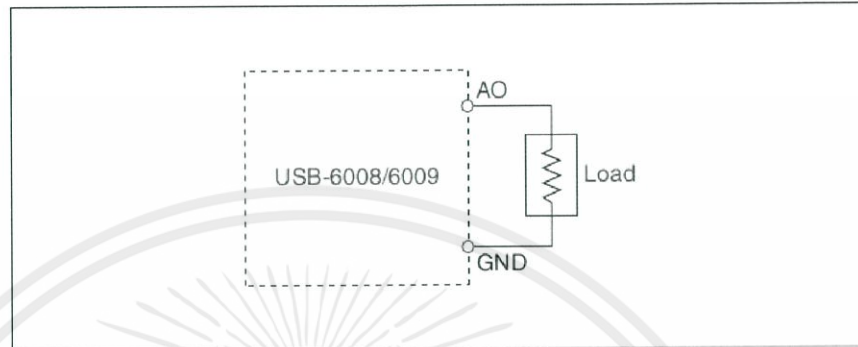


Figure 11. Connecting a Load

## Minimizing Glitches on the Output Signal

When you use a DAC to generate a waveform, you may observe glitches in the output signal. These glitches are normal; when a DAQ switches from one voltage to another, it produces glitches due to released charges. The largest glitches occur when the most significant bit of the DAC code changes. You can build a low-pass deglitching filter to remove some of these glitches, depending on the frequency and nature of the output signal. Refer to [ni.com/support](http://ni.com/support) for more information about minimizing glitches.

## Digital I/O

The USB-6008/6009 has 12 digital lines, P0.<0..7> and P1.<0..3>, which comprise the DIO port. GND is the ground-reference signal for the DIO port. You can individually program all lines as inputs or outputs.

### Digital I/O Circuitry

Figure 12 shows P0.<0..7> connected to example signals configured as digital inputs and digital outputs. You can configure P1.<0..3> similarly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

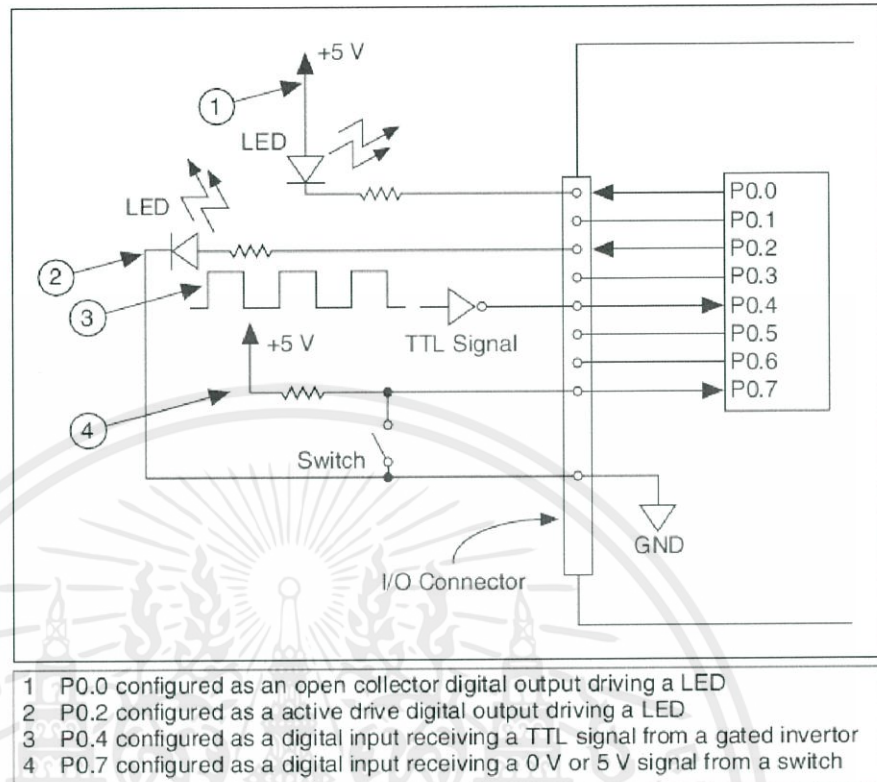


Figure 12. Example of Connecting a Load



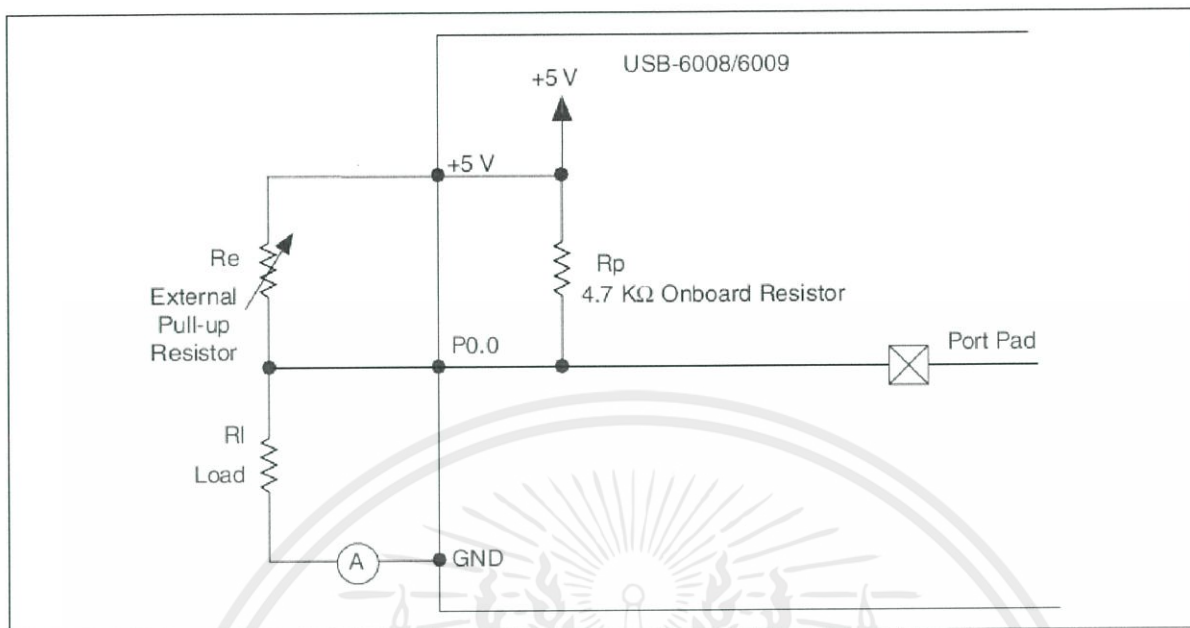
**Caution** Exceeding the maximum input voltage ratings or maximum output ratings, which are listed in the *Specifications*, can damage the DAQ device and the computer. National Instruments is not liable for any damage resulting from such signal connections.

## Source/Sink Information

The default configuration of the USB-6008/6009 DIO ports is open collector, allowing 5 V operation, with an onboard 4.7 k $\Omega$  pull-up resistor. An external, user-provided, pull-up resistor can be added to increase the source current drive up to a 8.5 mA limit per line as shown in Figure 13.

The USB-6009 ports can also be configured as active drive using the DAQmx API, allowing 3.3 V operation with a source/sink current limit of  $\pm 8.5$  mA. Refer to the *NI-DAQmx Help* for more information about how to set the DIO configuration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Figure 13.** Example of Connecting External User-Provided Resistor

Complete the following steps to determine the value of the user-provided pull-up resistor:

1. Place an ammeter in series with the load.
2. Place a variable resistor between the digital output line and the +5 V.
3. Adjust the variable resistor until the ammeter current reads as the intended current. The intended current must be less than 8.5 mA.
4. Remove the ammeter and variable resistor from your circuit.
5. Measure the resistance of the variable resistor. The measured resistance is the ideal value of the pull-up resistor.
6. Select a static resistor value for your pull-up resistor that is greater than or equal to the ideal resistance.
7. Re-connect the load circuit and the pull-up resistor.

## I/O Protection

To protect the USB-6008/6009 against overvoltage, undervoltage, and overcurrent conditions, as well as ESD events, you should avoid these fault conditions by using the following guidelines:

- If you configure a DIO line as an output, do not connect it to any external signal source, ground signal, or power supply.
- If you configure a DIO line as an output, understand the current requirements of the load connected to these signals. Do not exceed the specified current output limits of the DAQ device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Instruments has several signal conditioning solutions for digital applications requiring high current drive.

- If you configure a DIO line as an input, do not drive the line with voltages outside of its normal operating range. The DIO lines have a smaller operating range than the AI signals.
- Treat the DAQ device as you would treat any static sensitive device. Always properly ground yourself and the equipment when handling the DAQ device or connecting to it.

## Power-On States

At system startup and reset, the hardware sets all DIO lines to high-impedance inputs. The DAQ device does not drive the signal high or low. Each line has a weak pull-up resistor connected to it.

## Static DIO

Each of the USB-6008/6009 DIO lines can be used as a static DI or DO line. You can use static DIO lines to monitor or control digital signals. All samples of static DI lines and updates of DO lines are software-timed.

## Event Counter

You can configure PFI0 as a source for a gated inverter counter input edge count task. In this mode, falling-edge events are counted using a 32-bit counter. For more information about event timing requirements, refer to the *Specifications* section.

## Reference and Power Sources

The USB-6008/6009 creates an external reference and supplies a power source.

### +2.5 External References

The USB-6008/6009 creates a high-purity reference voltage supply for the ADC using a multi-state regulator, amplifier, and filter circuit. The resulting +2.5 V reference voltage can be used as a signal for self test.

### +5 V Power Source

The USB-6008/6009 supplies a 5 V, 200 mA output. This source can be used to power external components.



**Note** While the device is in USB suspend, the output is disabled.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Specifications

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted.

### Analog Input

Converter type .....	Successive approximation
Analog inputs.....	8 single-ended, 4 differential, software selectable
Input resolution	
USB-6008 .....	12 bits differential, 11 bits single-ended
USB-6009 .....	14 bits differential, 13 bits single-ended
Max sampling rate <sup>1</sup>	
Single channel	
USB-6008.....	10 kS/s
USB-6009.....	48 kS/s
Multiple channels (aggregate)	
USB-6008.....	10 kS/s
USB-6009.....	42 kS/s
AI FIFO .....	512 bytes
Timing resolution .....	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy .....	100 ppm of actual sample rate
Input range	
Single-ended .....	±10 V
Differential .....	±20 V, ±10 V, ±5 V, ±4 V, ±2.5 V, ±2 V, ±1.25 V, ±1 V
Working voltage .....	±10 V
Input impedance .....	144 kΩ
Oversvoltage protection .....	±35

<sup>1</sup> Might be system dependent.  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Trigger source ..... Software or external digital trigger

#### System noise

USB-6008, differential..... 1.47 mVrms  
 USB-6009, single-ended..... 2.93 mVrms  
 USB-6009, differential..... 0.37 mVrms  
 USB-6009, single-ended..... 0.73 mVrms

#### Absolute accuracy at full scale, single ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±10	14.7	138

#### Absolute accuracy at full scale, differential<sup>1</sup>

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

<sup>1</sup> Input voltages may not exceed the working voltage range.

## Analog Output

Converter type..... Successive approximation

Analog outputs..... 2

Output resolution..... 12 bits

Maximum update rate ..... 150 Hz, software-timed

Output range..... 0 to +5 V

Output impedance ..... 50 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output current drive.....	5 mA
Power-on state .....	0 V
Slew rate .....	1 V/ $\mu$ s
Short circuit current.....	50 mA
Absolute accuracy (no load).....	7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale

## Digital I/O

Digital I/O	
P0.<0..7> .....	8 lines
PI.<0..3>.....	4 lines
Direction control.....	Each channel individually programmable as input or output
Output driver type	
USB-6008.....	Open collector (open-drain)
USB-6009.....	Each channel individually programmable as active drive (push-pull) or open collector (open-drain)
Compatibility.....	TTL, LVTTTL, CMOS
Absolute maximum voltage range .....	-0.5 to 5.8 V with respect to GND
Pull-up resistor.....	4.7 k $\Omega$ to 5 V
Power-on state .....	Input (high impedance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	—	50	$\mu$ A
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8	V
Output high voltage			
Active drive (push-pull), I = -8.5mA	2.0	3.5	V
Open collector (open-drain), I = -0.6mA, nominal	2.0	5.0	V
Open collector (open-drain), I = -8.5mA, with external pull-up resistor	2.0	—	V

## External Voltage

+5 V output (200 mA maximum) .....	+5 V typical, +4.85 V minimum
+2.5 V output (1 mA maximum) .....	+2.5 V typical
+2.5 V accuracy .....	0.25% max
Reference temperature drift .....	50 ppm/ $^{\circ}$ C max

## Counter

Number of counters.....	1
Resolution .....	32 bits
Counter measurements .....	Edge counting (falling-edge)
Pull-up resistor .....	4.7 k $\Omega$ to 5 V
Maximum input frequency.....	5 MHz
Minimum high pulse width.....	100 ns
Minimum low pulse width .....	100 ns
Input high voltage .....	2.0 V
Input low voltage .....	0.8 V

## Bus Interface

USB specification .....	USB 2.0 full-speed
USB bus speed .....	12 Mb/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Power Requirements

### USB

4.10 to 5.25 VDC.....	80 mA typical, 500 mA max
USB suspend .....	300 $\mu$ A typical, 500 $\mu$ A max

## Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

### Dimensions

Without connectors.....	6.35 cm $\times$ 8.51 cm $\times$ 2.31 cm (2.50 in. $\times$ 3.35 in. $\times$ 0.91 in.)
With connectors.....	8.18 cm $\times$ 8.51 cm $\times$ 2.31 cm (3.22 in. $\times$ 3.35 in. $\times$ 0.91 in.)
I/O connectors.....	USB series B receptacle, (2) 16 position terminal block plug headers

### Weight

With connectors.....	84 g (3 oz)
Without connectors.....	54 g (21 oz)
Screw-terminal wiring .....	16 to 28 AWG
Torque for screw terminals.....	0.22 to 0.25 N $\cdot$ m (2.0 to 2.2 lb $\cdot$ in.)

## Safety

### Standards

The USB-6008/6009 is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1
- CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label, or visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

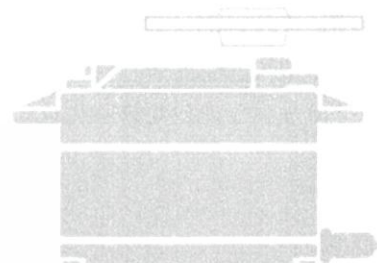
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Servomotor

### GWS S03N - Standard Servo

#### Basic Information

Modulation:	Analog
Torque:	<b>4.8V:</b> 47.0 oz-in (3.38 kg-cm) <b>6.0V:</b> 56.0 oz-in (4.03 kg-cm)
Speed:	<b>4.8V:</b> 0.23 sec/60° <b>6.0V:</b> 0.18 sec/60°
Weight:	1.45 oz (41.1 g)
Dimensions:	Length: 1.56 in (39.6 mm) Width: 0.79 in (20.1 mm) Height: 1.40 in (35.6 mm)
Motor Type:	? (add)
Gear Type:	? (add)
Rotation/Support:	? (add)



[Submit Photo](#)

#### Additional Specifications

Rotational Range:	? (add)
Pulse Cycle:	20 ms
Pulse Width:	500-1500 $\mu$ s
Connector Type:	? (add)

Brand:	<b>GWS</b>
Product Number:	S03N STD
Suggested Retail:	? (add)
Street Price:	? (add)
Compare:	add

#### User Reviews

Number of Reviews:	2
Average Rating:	4.0 / 5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้