

การสร้างรหัสสำหรับเครื่องกัดชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์วิชัน  
MACHINE CODE GENERATION FOR ENGRAVING MACHINE  
BY COMPUTER VISION

สุเทพ อาษา  
SUTHEP ASA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2558  
KMITL-2015-EN-M-060-034

การสร้างรหัสสำหรับเครื่องกัดชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์วิชัน  
MACHINE CODE GENERATION FOR ENGRAVING MACHINE  
BY COMPUTER VISION

สุเทพ อาษา  
SUTHEP ASA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-060-034

MACHINE CODE GENERATION FOR ENGRAVING MACHINE

BY COMPUTER VISION

SUTHEP ASA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2015  
KMITL-2015-EN-M-060-034

COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKARABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสร้างรหัสสำหรับเครื่องกัดชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์วิชัน

Thesis Title

Machine code generation for engraving machine by computer vision

นักศึกษา

นายสุเทพ อาษา

รหัสประจำตัว

55611762

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.ทวิพล ชื้อสัตย์

หมายเลขวิทยานิพนธ์

KMITL-2002-XX-X-XXX-XXX

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.วิริยะ กองรัตน์	
ดร.ยุทธพงศ์ ทัพผดุง	
รศ.สุพรรณ กุลพานิชย์	
รศ.ดร.ทวิพล ชื้อสัตย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ

สถานที่สอบ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ศาสตราจารย์ ดร.สุขชัย สุวรรณสวัสดิ์)

วันที่ xx xx xx xx

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างรหัสสำหรับเครื่องกัดชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์วิชั่น
นักศึกษา	นายสุเทพ อาษา
รหัสประจำตัว	55611762
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการอย่างง่ายที่มีประสิทธิภาพในการสร้างรหัสคำสั่งสำหรับใช้กับเครื่องกัด เครื่องพลอตเตอร์ และเครื่องหยอดกาวซึ่งมีลักษณะการทำงานเป็นเส้นทางเดิน งานวิจัยนี้ได้เลือกการสร้างรหัสคำสั่งสำหรับเครื่องกัดชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์วิชั่นและการประมวลผลภาพดิจิทัลจากภาพถ่ายของวัตถุต้นแบบเป็นกรณีศึกษา โดยวิธีเดิมใช้การสร้างรหัสคำสั่งจากแบบเลย์เอาต์ของต้นแบบที่เขียนด้วยโปรแกรม CAD/CAM หรือการสร้างจากวิธีป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teaching point) ซึ่งใช้เวลานานในการตั้งค่าการทำงาน วิธีการใหม่นี้จัดเป็นวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับการสร้างเส้นทางเดินของเครื่องมือจากภาพสองมิติ โดยกระบวนการประมวลผลภาพประกอบด้วยการค้นหาขอบภาพของชิ้นงานแล้วใช้วิธีการโครงกระดูก (Skeleton) เพื่อทำให้ขอบภาพคมชัดขึ้น จากนั้นพิจารณาตัดจุดที่ไม่ต้องการออกจากรูปภาพของชิ้นงานรวมทั้งทำการแปลงพิกัดจริงด้วยวิธีโฮโมกราฟี (Homography transformation) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนจากมุมมองภาพและใช้รหัสลูกโซ่ (Chain code) ในการจัดเรียงพิกัดและแปลงเส้นทางเดินของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ ซึ่งการสร้างรหัสทางเดินของเครื่องมือด้วยรหัสลูกโซ่เป็นวิธีการอัตโนมัติอย่างง่ายจากการทดลองพบว่าวิธีนี้มีความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teaching point) และวิธีเลือกตำแหน่งจากภาพสองมิติ

คำหลัก: การประมวลผลภาพ ; วิศวกรรมย้อนรอย ; การแปลงโฮโมกราฟี;

<b>Thesis</b>	Machine Code Generation for Engraving Machine by Computer vision
<b>Student</b>	Mr. SuthepAsa
<b>Student ID.</b>	55611762
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Instrumentation Engineering
<b>Year</b>	2015
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.TaweepolSuesut

## **ABSTRACT**

This thesis presents simple and effective method to generate the routing path machine code for using in engraving machine, plotter machine and glue injecting machine. In this research, the code generation for engraving machine was selected to demonstrate as a case study by computer vision and digital image processing digital. Due to the waste of setup time in traditional method by generating machine code from layout drawing of CAD/CAM program and manual teaching point, the new technique was created. Our method is one of the reverse engineering to create routing of tool path from two-dimensional image. The skeleton image processing and the edge detection were applied to enhance sharper image. Afterward, the homography transformation was used to transform the image plane to the real world plane in order to correct the perspective distortion. The chain code was employed to formulate the machine path from the image coordinates automatically. The

experimental results showed that this method is faster and more accurate when comparing to the teaching point method.

**Keywords:**Image processing; Reverse engineering; Homography Transform;

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์ และ รศ.สุพรรณ กุลพานิชย์ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุมที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ในการศึกษา และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมและของบัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ และญาติพี่น้อง รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่น่ารักทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกๆ ด้านทั้งเรื่องการเรียน การเงิน และเรื่องส่วนตัวจนทำให้ผู้เขียนผ่านทุกอย่างจนมาถึงวันนี้ได้

สุดท้ายนี้คุณประโยชน์ที่พึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และขอให้ทุกท่านจงมีแต่ความสุขตลอดไป

สุเทพ อาษา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 เปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	2
1.6 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	4
2.1 ประเภทแหล่งกำเนิดแสง.....	4
2.2 ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง.....	11
2.3 วิธีการเลือกขนาดกล้อง.....	12
2.4 ทฤษฎีการหาขอบภาพ (Edge Detection).....	15
2.4.1 การหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล (Sobel Edge Detection).....	15
2.4.2 การหาขอบภาพด้วยวิธีพรีวิทท์ (Prewitt Edge Detection).....	16
2.5 ทฤษฎีการหาแกนกลาง (Skeleton Detection).....	17
2.6 ทฤษฎีการหาตำแหน่งพิกัด (Coordinate Detection).....	19
2.7 การคำนวณและประมาณค่าของไฮโมกราฟีเมตริกซ์.....	20
2.8 การสอบเทียบ.....	22
2.9 ตารางการแปลงโรแลนด์โค้ด.....	23

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง.....	24
3.1 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.1 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.3 มอเตอร์ (Stepping Motor) ที่มีชุดขับอยู่ในตัว.....	25
3.4 ระบบสื่อสารระหว่างตัวควบคุมกับคอมพิวเตอร์.....	25
3.5 การใช้งานโปรแกรม Monitoring .....	26
3.6 การใช้งานโปรแกรม Dockinght.....	27
3.7 คำนวณหาขนาดของกล่องและเลนส์.....	28
3.8 วิธีการเลือกประเภทแหล่งกำเนิดแสงสำหรับวิชชัน.....	29
3.9 ขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบการสร้างรหัสโฮลเลนส์.....	30
3.10 หลักการเก็บตัวอย่างภาพของวัตถุที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้.....	31
3.10.1 การสอบเทียบ.....	31
3.11 การทดสอบกระบวนการจับภาพ.....	32
3.12 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 90 องศา.....	33
3.13 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 60 องศา.....	33
3.14 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 45 องศา.....	34
3.15 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 90 องศา.....	35
3.16 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 60 องศา.....	35
3.17 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 45 องศา.....	36
3.18 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงหลายเหลี่ยมที่มุม 90 องศา.....	37
3.19 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงหลายเหลี่ยมที่มุม 60 องศา.....	37
3.20 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงหลายเหลี่ยมที่มุม 45 องศา.....	38
3.21 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงแปดเหลี่ยมที่มุม 90 องศา.....	39
3.22 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงแปดเหลี่ยมที่มุม 60 องศา.....	39
3.23 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงแปดเหลี่ยมที่มุม 45 องศา.....	40
3.24 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงกลมที่มุม 90 องศา.....	41

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.25 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงกลมที่มุม 60 องศา.....	41
3.26 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงกลมที่มุม 45 องศา.....	42
3.27 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงอื่นๆที่มุม 90 องศา.....	43
3.28 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงอื่นๆที่มุม 60 องศา.....	43
3.29 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงอื่นๆที่มุม 45 องศา.....	44
3.30 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 90 องศา.....	45
3.31 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 60 องศา.....	46
3.32 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 45 องศา.....	47
3.33 การแปลงตำแหน่งอโตรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 90 องศา.....	48
3.34 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 60 องศา.....	49
3.43 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงกลมที่มุม 60 องศา.....	58
3.44 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงกลมที่มุม 45 องศา.....	59
3.45 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงอื่นๆที่มุม 90 องศา.....	60
3.46 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงอื่นๆที่มุม 60 องศา.....	61
3.47 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงอื่นๆที่มุม 45 องศา.....	62
3.48 การสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสแบบเลือกจุดรูปทรงต่างๆที่มุม 90,60,45 องศา.....	63
3.49 การสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสแบบอัตโนมัติรูปทรงต่างๆที่มุม 90,60,45 องศา.....	64
3.50 การสอบเทียบความยาวของวัตถุแบบเลือกจุดที่องศาถ่ายภาพ 90,60,45 องศา.....	65
3.51 การสอบเทียบความยาวของวัตถุแบบอัตโนมัติที่องศาถ่ายภาพ 90,60,45 องศา.....	67
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	69
4.1 มุมกล้องที่เก็บภาพตัวอย่าง.....	69
4.2 ตารางการแปลงรหัสโรแลนด์โค้ด.....	69
4.3 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา รูปทรงอื่นๆ.....	71
4.4 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา รูปทรงหลายเหลี่ยม.....	72

4.5 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา รูปทรงแปดเหลี่ยม.....	73
4.6 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา สี่เหลี่ยม.....	74
4.7 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา สามเหลี่ยม.....	75

### สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.8 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา รูปทรงกลม.....	76
4.9 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา รูปทรงอื่นๆ.....	77
4.10 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา รูปทรงหลายเหลี่ยม.....	78
4.11 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา รูปทรงแปดเหลี่ยม.....	79
4.12 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา รูปทรงสี่เหลี่ยม.....	80
4.13 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา สามเหลี่ยม.....	81
4.14 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา รูปทรงกลม.....	82
4.15 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศา รูปทรงอื่นๆ.....	83
4.16 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศา รูปทรงหลายเหลี่ยม.....	84
4.17 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศา รูปทรงแปดเหลี่ยม.....	85

4.18 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศารูปทรงสี่เหลี่ยม.....	86
4.19 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศารูปทรงสามเหลี่ยม.....	87
4.20 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศารูปทรงกลม.....	88
4.21 แสดงผลการสอบเทียบความยาวของวัตถุตัวอย่างที่องศาถ่ายภาพต่างๆ.....	89
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	91
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ.....	92

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างตารางแสดงรายละเอียดคุณสมบัติของกล้อง.....	15
2.2 ตารางแสดงการแปลงรหัส Roland Printer.....	23
3.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวที่มุมถ่ายภาพต่างๆแบบเลือกจุด.....	66
3.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวที่มุมถ่ายภาพต่างๆแบบอัตโนมัติ.....	68
4.1 แสดงการแปลงเป็นรหัสโรแลนด์.....	69
4.2 แสดงการแปลงเป็นรหัสโรแลนด์.....	70
4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวที่มุมถ่ายภาพต่างๆ.....	90

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงภาพแหล่งกำเนิดแสงแบบต่างๆ.....	4
2.2 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบส่องด้านหลัง.....	5
2.3 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบพื้นที่.....	6
2.4 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวน.....	7
2.5 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบมุมต่ำ.....	8
2.6 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบกระจาย.....	9
2.7 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบแนวแกน.....	10
2.8 แสดงลักษณะการจัดทิศทางแสง.....	11
2.9 แสดงทิศทางของแหล่งกำเนิดแสง.....	11
2.10 พื้นฐานโครงสร้างของกล้อง.....	12
2.11 ตัวอย่างมาตรฐานขนาดเซ็นเซอร์ของกล้องแบบซีซีดี.....	13

2.12 ภาพบาร์โค้ดที่ใช้ในการคำนวณ.....	13
2.13 ตัวอย่างรูปกล้วยที่ใช้ในการคำนวณ.....	14
2.14 หน้าต่างการหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบลในแนวนอนและแนวตั้ง.....	16
2.15 หน้าต่างการหาขอบภาพด้วยวิธีพรีวิทท์ในแนวนอนและแนวตั้ง.....	16
2.16 หน้าต่างขนาด 3x3.....	17
2.17 ตัวอย่างตารางการเปลี่ยนค่าจาก “0” เป็น “1”.....	18
2.18 พิกัดจุด $(x_n, y_n)$ รูปตัวซี.....	19
2.19 ทิศทาง 8 ทิศทางรอบจุด P1 ที่พิจารณา.....	20
2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดบนพิกัด.....	20
2.21 ตารางขนาด 30x30 mm.ที่ใช้ในการสอบเทียบ.....	22
2.22 ขั้นตอนและผลลัพธ์ที่ได้จากการสอบเทียบ.....	22
3.1 แสดงอุปกรณ์ของระบบการสร้างรหัสสำหรับเครื่องกัด.....	24
3.2 แสดงชุดทดลอง EGV-235S.....	24
3.3 แสดงลักษณะสเตปมอเตอร์กับชุดขับ.....	25
3.4 แสดงการสื่อสารแบบ RS232.....	25
3.5 แสดงการสื่อสารแบบ RS232.....	26
3.6 แสดงผลของการดูรหัสการสื่อสาร.....	26
3.7 แสดงผลของการส่งรหัสการสื่อสาร.....	27
3.8 แสดงผลของการส่งรหัสการสื่อสาร.....	27

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บภาพ.....	28
3.10 แสดงรูปตัวอย่างวัตถุ.....	28
3.11 แสดงรูปตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบส่องด้านหลัง.....	29
3.12 แผนภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลสร้างลายเส้น.....	30
3.13 แสดงการเก็บภาพตัวอย่าง.....	31
3.14 ภาพสำหรับสอบเทียบกล้อง.....	31
3.15 ภาพแสดงผลการสอบเทียบ.....	31

3.16 แสดงลักษณะการเก็บภาพตัวอย่าง.....	32
3.17 แสดงขั้นตอนการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	32
3.18 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	33
3.19 แสดงขนาดของวัตถุ.....	33
3.20 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	33
3.21 แสดงขนาดของวัตถุ.....	34
3.22 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	34
3.23 แสดงขนาดของวัตถุ.....	34
3.24 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	35
3.25 แสดงขนาดของวัตถุ.....	35
3.26 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	35
3.27 แสดงขนาดของวัตถุ.....	36
3.28 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	36
3.29 แสดงขนาดของวัตถุ.....	36
3.30 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	37
3.31 แสดงขนาดของวัตถุ.....	37
3.32 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	37
3.33 แสดงขนาดของวัตถุ.....	38
3.34 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	38
3.35 แสดงขนาดของวัตถุ.....	38
3.36 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	39
3.37 แสดงขนาดของวัตถุ.....	39
3.38 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	39
3.39 แสดงขนาดของวัตถุ.....	40

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.40 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	40
3.41 แสดงขนาดของวัตถุ.....	40

3.42 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	41
3.43 แสดงขนาดของวัตถุ.....	41
3.44 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	41
3.45 แสดงขนาดของวัตถุ.....	42
3.46 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	42
3.47 แสดงขนาดของวัตถุ.....	42
3.48 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	43
3.49 แสดงขนาดของวัตถุ.....	43
3.50 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	43
3.51 แสดงขนาดของวัตถุ.....	44
3.52 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด.....	44
3.53 แสดงขนาดของวัตถุ.....	44
3.54 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	45
3.55 แสดงภาพขาวดำ.....	45
3.56 แสดงภาพหา Sobel.....	45
3.57 แสดงภาพหา Skeletons.....	45
3.58 แสดงภาพหา Chain Code.....	45
3.59 แสดงภาพ Homography Transformation.....	45
3.60 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	46
3.61 แสดงภาพขาวดำ.....	46
3.62 แสดงภาพหา Sobel.....	46
3.63 แสดงภาพหา Skeletons.....	46
3.64 แสดงภาพหา Chain Code.....	46
3.65 แสดงภาพ Homography Transformation.....	46
3.66 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	47
3.67 แสดงภาพขาวดำ.....	47
3.68 แสดงภาพหา Sobel.....	47
3.69 แสดงภาพหา Skeletons.....	47

3.70 แสดงภาพหา Chain Code.....	47
--------------------------------	----

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.71 แสดงภาพ Homography Transformation.....	47
3.72 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	48
3.73 แสดงภาพขาวดำ.....	48
3.74 แสดงภาพหา Sobel.....	48
3.75 แสดงภาพหา Skeletons.....	48
3.76 แสดงภาพหา Chain Code.....	48
3.77 แสดงภาพ Homography Transformation.....	48
3.78 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	49
3.79 แสดงภาพขาวดำ.....	49
3.80 แสดงภาพหา Sobel.....	49
3.81 แสดงภาพหา Skeletons.....	49
3.82 แสดงภาพหา Chain Code.....	49
3.83 แสดงภาพ Homography Transformation.....	49
3.84 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	50
3.85 แสดงภาพขาวดำ.....	50
3.86 แสดงภาพหา Sobel.....	50
3.87 แสดงภาพหา Skeletons.....	50
3.88 แสดงภาพหา Chain Code.....	50
3.89 แสดงภาพ Homography Transformation.....	50
3.90 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	51
3.91 แสดงภาพขาวดำ.....	51
3.92 แสดงภาพหา Sobel.....	51
3.93 แสดงภาพหา Skeletons.....	51
3.94 แสดงภาพหา Chain Code.....	51
3.95 แสดงภาพ Homography Transformation.....	51

3.96 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	52
3.97 แสดงภาพขาวดำ.....	52
3.98 แสดงภาพหา Sobel.....	52
3.99 แสดงภาพหา Skeletons.....	52
3.100 แสดงภาพหา Chain Code.....	52
3.101 แสดงภาพ Homography Transformation.....	52

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.102 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	53
3.103 แสดงภาพขาวดำ.....	53
3.104 แสดงภาพหา Sobel.....	53
3.105 แสดงภาพหา Skeletons.....	53
3.106 แสดงภาพหา Chain Code.....	53
3.107 แสดงภาพ Homography Transformation.....	53
3.108 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	54
3.109 แสดงภาพขาวดำ.....	54
3.110 แสดงภาพหา Sobel.....	54
3.111 แสดงภาพหา Skeletons.....	54
3.112 แสดงภาพหา Chain Code.....	54
3.113 แสดงภาพ Homography Transformation.....	54
3.114 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	55
3.115 แสดงภาพขาวดำ.....	55
3.116 แสดงภาพหา Sobel.....	55
3.117 แสดงภาพหา Skeletons.....	55
3.118 แสดงภาพหา Chain Code.....	55
3.119 แสดงภาพ Homography Transformation.....	55
3.120 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	56
3.121 แสดงภาพขาวดำ.....	56

3.122 แสดงภาพหา Sobel.....	56
3.123 แสดงภาพหา Skeletons.....	56
3.124 แสดงภาพหา Chain Code.....	56
3.125 แสดงภาพ Homography Transformation.....	56
3.126 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	57
3.127 แสดงภาพขาวดำ.....	57
3.128 แสดงภาพหา Sobel.....	57
3.129 แสดงภาพหา Skeletons.....	57
3.130 แสดงภาพหา Chain Code.....	57
3.131 แสดงภาพ Homography Transformation.....	57
3.132 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	58

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.133 แสดงภาพขาวดำ.....	58
3.134 แสดงภาพหา Sobel.....	58
3.135 แสดงภาพหา Skeletons.....	58
3.136 แสดงภาพหา Chain Code .....	58
3.137 แสดงภาพ Homography Transformation.....	58
3.138 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	59
3.139 แสดงภาพขาวดำ.....	59
3.140 แสดงภาพหา Sobel.....	59
3.141 แสดงภาพหา Skeletons.....	59
3.142 แสดงภาพหา Chain Code.....	59
3.143 แสดงภาพ Homography Transformation.....	59
3.144 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	60
3.145 แสดงภาพขาวดำ.....	60
3.146 แสดงภาพหา Sobel.....	60
3.147 แสดงภาพหา Skeletons.....	60

3.148 แสดงภาพหา Chain Code.....	60
3.149 แสดงภาพ Homography Transformation.....	60
3.150 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	61
3.151 แสดงภาพขาวดำ.....	61
3.152 แสดงภาพหา Sobel.....	61
3.153 แสดงภาพหา Skeletons.....	61
3.154 แสดงภาพหา Chain Code.....	61
3.155 แสดงภาพ Homography Transformation.....	61
3.156 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง.....	62
3.157 แสดงภาพขาวดำ.....	62
3.158 แสดงภาพหา Sobel.....	62
3.159 แสดงภาพหา Skeletons.....	62
3.160 แสดงภาพหา Chain Code.....	62
3.161 แสดงภาพ Homography Transformation.....	62
3.162 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 90 องศา.....	63
3.163 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 60 องศา.....	63

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.164 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 45 องศา.....	63
3.165 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 90 องศา.....	64
3.166 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 60 องศา.....	64
3.167 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 45 องศา.....	64
3.168 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 90 องศา.....	65
3.169 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 60 องศา.....	65
3.170 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 45 องศา.....	65
3.171 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว.....	66
3.172 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว.....	67
3.173 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว.....	67

3.174 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว.....	67
3.175 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว.....	68
4.1 แสดงลักษณะการเก็บภาพตัวอย่าง.....	69
4.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	71
4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	72
4.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	73
4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	74
4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	75
4.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	76
4.8 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	77
4.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	78
4.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	79

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	80
4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	81
4.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก	82

ภาพถ่าย.....	
4.14 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	83
4.15 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	84
4.16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	85
4.17 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	86
4.18 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	87
4.19 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจาก ภาพถ่าย.....	88
4.20 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว.....	89
4.21 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว.....	89
4.22 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว.....	89
4.23 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว.....	90

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ระบบการทำงานในอุตสาหกรรมการผลิตได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว การผลิตชิ้นงานเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม ต้องมีการตรวจสอบคุณภาพและขั้นตอนการประกอบชิ้นงานต้องมีความรวดเร็วและมีคุณภาพดีและมีขนาดและสัดส่วนที่ถูกต้องตามกำหนดไว้ ส่วนใหญ่ในกระบวนการผลิตจะใช้วิธีแปลงรหัสทางเดินด้วยวิธีเรียนรู้ตำแหน่ง ซึ่งในอุตสาหกรรมเครื่องพล็อตเตอร์ เครื่องกัด และเครื่องหยอดกาวจะทำงานด้วยการป้อนรหัสทางเดินแบบเรียนรู้ตำแหน่ง หรือแบบแปลงรหัสทางเดินจากโปรแกรมอโตแคด (AutoCAD) จากการปฏิบัติงานพบว่าการป้อนรหัสทางเดินแบบเรียนรู้ตำแหน่ง จะใช้เวลาในการป้อนรหัสทางเดินค่อนข้างนาน เมื่อรหัสทางเดินของเครื่องพล็อตเตอร์ เครื่องกัด เครื่องหยอดกาวมีความซับซ้อน จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ มีความแม่นยำและรวดเร็วขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการสร้างรหัสสำหรับเครื่องกัดชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์วิชัน เพื่อสร้างรหัสทางเดินอย่างง่าย และย่นระยะเวลาในกระบวนการสร้างรหัสทางเดิน โดยใช้คอมพิวเตอร์วิชันและการประมวลผลภาพดิจิทัลจากภาพถ่ายของวัตถุต้นแบบ วิธีการที่นำเสนอนี้จัดเป็นวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับใช้งานกับการสร้างเส้นทางเดินจากภาพสองมิติ โดยค้นหาขอบภาพของชิ้นงาน[1] แล้วใช้วิธีการโครงกระดูก (Skeleton)[2] เพื่อทำให้ขอบภาพคมชัดขึ้นซึ่งจะเป็นทางเดินของเครื่องจักรอัตโนมัติอย่างง่าย จากนั้นพิจารณาจุดที่ไม่ต้องการออกจากรูปภาพของชิ้นงาน รวมทั้งทำการแปลงพิกัดจริงด้วยวิธีโฮโมกราฟี (Homography transformation)[3] เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนจากมุมมองภาพและใช้วิธีเชนโค้ด (chain code) ในการแปลงเส้นทางเดิน[4]ของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ ซึ่งการสร้างรหัสทางเดินด้วยวิธีเชนโค้ดจากการทดลองพบว่าวิธีนี้มีความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teaching point) และวิธีเลือกตำแหน่งบนภาพสองมิติ [3]

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการพัฒนาและค้นคว้าวิธีการที่นำเสนอนี้จัดเป็นวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับใช้งานกับการสร้างเส้นทางเดินจากภาพสองมิติ โดยค้นหาขอบภาพของชิ้นงานแล้วใช้วิธีการโครงกระดูก (Skeleton) เพื่อทำให้ขอบภาพคมชัดขึ้น ซึ่งจะเป็นทางเดินของเครื่องจักรอัตโนมัติอย่าง

ง่าย จากนั้นพิจารณาตัดจุดที่ไม่ต้องการออกจากรูปภาพของชิ้นงานรวมทั้งทำการแปลงพิกัดจริงด้วยวิธีโฮโมกราฟี (Homography transformation) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนจากมุมมองภาพและใช้รหัสลูกโซ่ (chain code) ในการจัดเรียงลำดับเส้นทางเดินของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ ซึ่งการสร้างรหัสทางเดินด้วยรหัสลูกโซ่จากการทดลองพบว่าวิธีนี้มีความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teaching point) และวิธีเลือกตำแหน่งบนภาพสองมิติ

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การออกแบบอุปกรณ์ในการสร้างรหัสทางเดินของเครื่องพลอตเตอร์ เครื่องกัด และเครื่องหยอดกาวของวัตถุตัวอย่างต่างๆ เพื่อให้สามารถแปลงรหัสทางเดินได้ถูกต้องและมีความแม่นยำสูงและลดเวลาในการปฏิบัติงานระหว่างการผลิต ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษารวบรวมอุปกรณ์หลักในแต่ละส่วนเพื่อยืนยันว่าเป็นไปตามที่คำนวณและสามารถนำไปออกแบบและใช้งานได้จริง ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้ ส่วนประกอบที่ 1 คือการคัดเลือกกล่องมาใช้งานกล่องที่นำมาใช้งานวิจัยนี้มีความละเอียด 10.1 ล้านพิกเซลเป็นความละเอียดที่เพียงพอกับวัตถุที่ต้องการจะแปลงรหัสทางเดินของเครื่องจักร ส่วนประกอบที่ 2 คือ การเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบส่องจากด้านหลัง (Back light) และไฟส่องสว่างแบบโดม (Dome Light) ซึ่งไฟทั้ง 2 แบบนี้เป็นไฟที่เหมาะสม เพื่อให้ภาพของวัตถุที่เข้ามายังคอมพิวเตอร์มีความชัดเจนและสามารถหาขอบของวัตถุได้ง่าย ส่วนประกอบที่ 3 คือขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมเพื่อให้สามารถสร้างรหัสทางเดินได้ถูกต้อง

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 คือทฤษฎีการประมวลผลภาพ เช่น ทฤษฎีการปรับภาพเป็นระดับสีเทา (Gray Scale) และกระบวนการปรับเทรชโธล (threshold) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อนการประมวลผล วิธีการโครงกระดูก (Skeleton) เพื่อทำให้ขอบภาพคมชัดขึ้น ซึ่งจะเป็นทางเดินของเครื่องจักรอัตโนมัติอย่างง่ายและวิธีโฮโมกราฟี (Homography transformation) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนจากมุมมองภาพและใช้รหัสลูกโซ่ (chain code) ในการแปลงเส้นทางเดินของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ ส่วนที่ 2 คือการออกแบบอุปกรณ์ในระบบวิชัน (Machine Vision Design) เพื่อให้เข้าใจถึงแนวคิดการคัดเลือกและออกแบบ

อุปกรณ์ให้ถูกต้อง ส่วนที่ 3 คือการประยุกต์การใช้โปรแกรม Matlab สำหรับการปรับปรุงและประมวลผลภาพ

## 1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

เนื่องด้วยในการแปลงรหัสทางเดินของเครื่อง พนักงานจะต้องนำคอมพิวเตอร์ทำการติดต่อกับเครื่องจักรเพื่อที่จะปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรหัสทางเดินให้ได้ตามเป้าหมาย ดังนั้นในการแปลงรหัสทางเดินแต่ละครั้งต้องใช้เวลาทดลองมากและต้องใช้ทำให้ทักษะการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าพอสมควร ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการแปลงรหัสทางเดินโดยใช้หลักการประมวลผลภาพ

## 1.6 ขอบเขตของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา เพื่อนำเสนอวิธีการการแปลงรหัสทางเดินของเครื่องจักร เพื่อลดเวลาในการปฏิบัติงาน โดยจะทดลองกับวัตถุในรูปแบบต่างๆ เช่น รูปวงกลม สามเหลี่ยม หกเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และอื่นๆ

## 1.7 ขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 1 ความเป็นมาของงานวิจัย, ความมุ่งหมาย, วัตถุประสงค์, สมมติฐาน, ทฤษฎีที่ใช้, ขอบเขตของงานวิจัยและขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของระบบวิชั่นที่ใช้ในการวิจัย และพื้นฐานของอุปกรณ์ที่นำมาทำการออกแบบ

บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์และผลทดลองในโปรแกรม Matlab

บทที่ 4 ผลการทดสอบ

บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

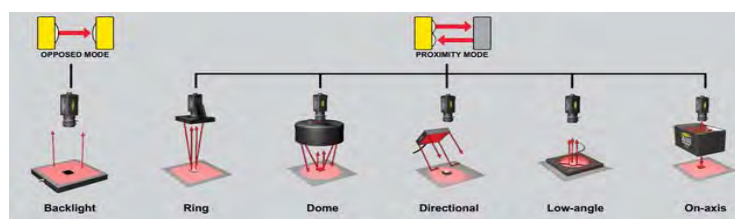
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาวิจัยและขั้นตอนการออกแบบการสร้างรหัสโรแลนด์โค้ดของเส้นทางเดินของเครื่องกัดเครื่องพลอตเตอร์ และเครื่องหยอดกาวด้วยคอมพิวเตอร์วิชันโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการประมวลผลภาพ ซึ่งได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วน คือ หลักการเก็บภาพตัวอย่างของวัตถุที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์วิธีการเลือกเลนส์กล้อง ความละเอียดของกล้องถ่ายภาพและแหล่งแสงสว่าง

### 2.1 ประเภทแหล่งกำเนิดแสง

การที่จะมองเห็นภาพชัดเจนหรือไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแสงเป็นส่วนสำคัญแสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ไปยังวัตถุ (Object) เมื่อแสงกระทบกับวัตถุจะมีการสะท้อนกลับมาที่ตาของเราหรือในที่นี้คือตัวกล้องจักรกลวิทัศน์นั่นเอง ความคมชัดของภาพที่เห็นขึ้นอยู่กับว่าวัตถุนั้นๆ ดูซับหรือสะท้อนแสงกลับได้เท่าไรซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพรูปร่าง และสีของวัตถุ เพราะฉะนั้นการเลือกแหล่งกำเนิดแสงในงานวิชันเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในระบบการบันทึกภาพตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพไว้ในตัวกล้อง ซึ่งเป็นการสอนให้จำภาพได้ ทำโดยอาศัยภาพต้นแบบ (Template) ซึ่งได้จากการคัดเลือกภาพที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจาก ความคมชัด , ความสมบูรณ์ และ ความสว่างของภาพ มาเป็นตัวเปรียบเทียบกับภาพปัจจุบัน โดยในการประมวลผลข้อมูลภาพเป็นเครื่องมือตัดสินใจ ซึ่งภาพต้นแบบจะต้องสามารถเป็นตัวแทนของภาพทั้งหมดได้ เพราะฉะนั้นการที่เราเลือกใช้แสงให้ถูกต้องและควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้คงที่ในขณะที่บันทึกภาพต้นแบบและในขณะที่เดินเครื่องการผลิตจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมคุณภาพการผลิต[5]

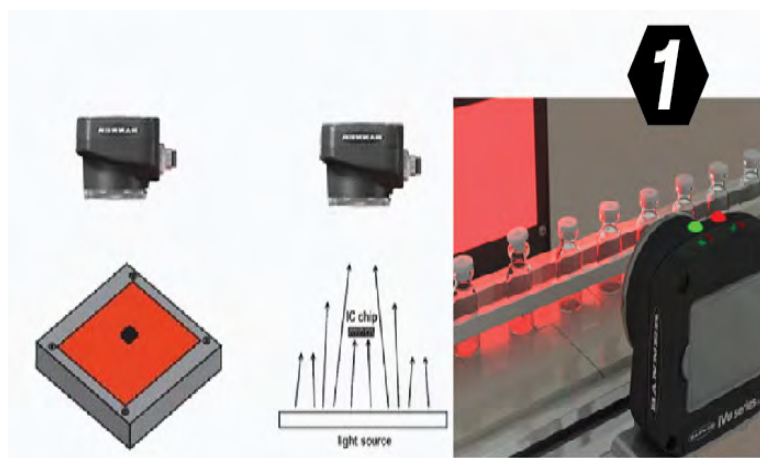
ในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงนั้นเราสามารถแบ่งประเภทของแหล่งกำเนิดแสงได้เป็น 2 แบบ คือ OPPOSED MODE และ PROXIMITY MODE ซึ่งแต่ละแบบก็จะใช้กับชิ้นงานแต่ละประเภทแตกต่างกันไปแล้วแต่ความเหมาะสมของชิ้นงาน ไม่ว่าจะเป็น รูปร่าง พื้นผิว พื้นผิวสี และ เงา รวมไปถึงถึงการสะท้อนของชิ้นงาน



## รูปที่ 2.1 แสดงภาพแหล่งกำเนิดแสงแบบต่างๆ [16]

โดยแหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งได้ 6 ประเภทดังนี้ แบล็คไลท์ (Backlights) แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ ติดตั้งไว้ด้านหลังของวัตถุ แอเรียไลท์ (Area lights) แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของแสงสูงจะทำให้เห็นเงาและพื้นผิวของวัตถุได้ชัดเจน ริงไลท์ (Ring light) แหล่งกำเนิดแสงให้แสงสว่างในพื้นที่ขนาดจำกัด สำหรับติดกับตัววิชันเซ็นเซอร์ โลว์แอนเจิลไลท์ (Low-angle light) แหล่งกำเนิดแสงมุมต่ำช่วยเพิ่มความคมชัดของคุณลักษณะพื้นผิว ดิฟฟิวส์ไลท์ (Highly-diffused light) แหล่งกำเนิดแสงแบบโดม จะให้แสงแบบรอบทิศทาง ออนเอ็กซ์ซิสไลท์ (On-axis light) แหล่งกำเนิดแสงที่จะช่วยลดการสะท้อนของพื้นผิววัตถุได้เป็นอย่างดี [5]

การเลือกแสงให้ถูกต้องเป็นส่วนสำคัญในการนำอุปกรณ์วิชันไปประยุกต์ใช้งานจริงในกระบวนการตรวจสอบถึงแม้ว่า อุปกรณ์กล้องวิชันจะมีประสิทธิภาพสูง หากใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ผลการตรวจสอบผิดพลาดได้ ดังนั้นหากเราเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมแล้ว ถึงแม้ว่าตัวอุปกรณ์จะสเปคไม่สูงมากก็สามารถให้ผลลัพธ์ในการตรวจสอบที่ดีได้ ซึ่งเป็นการประหยัดเงินได้ทางหนึ่งเพราะไม่ต้องซื้อกล้องวิชันที่มีสเปคสูงเกินไป



## รูปที่ 2.2 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบส่องด้านหลัง [16]

### การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงส่องด้านหลังวัตถุ

แสงแบบส่องด้านหลัง คือ แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ ส่วนใหญ่จะติดตั้งไว้ด้านหลังของวัตถุด้วยจุดประสงค์ในการให้เกิดเงาของวัตถุขึ้นเพื่อที่จะให้วัตถุมีขนาดและรูปร่างสำหรับให้อุปกรณ์วิชันเซ็นเซอร์ตรวจจับ

**ข้อดี**

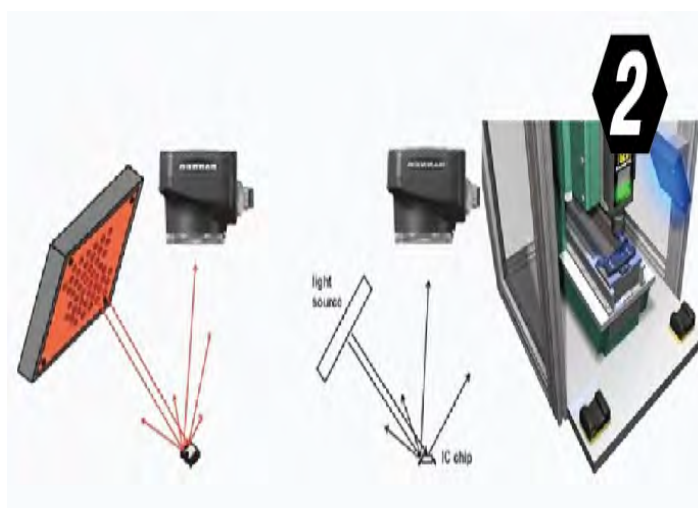
- ตัวระบบวิชันเซ็นเซอร์จะไม่เห็นพื้นผิวของวัตถุ
- เซ็นเซอร์จะเห็นเพียงแต่เงาของวัตถุเพื่อตรวจสอบชิ้นงาน

**ข้อเสีย**

- กล้องจะไม่เห็นพื้นผิวของชิ้นงาน

**ตัวอย่างการใช้งาน**

- ตรวจสอบขนาดของขวด



รูปที่ 2.3 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบพื้นที่ [16]

**การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบพื้นที่**

แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของแสงมากจะทำให้เกิดแสงจ้าทำให้เห็นเงาและพื้นผิวของวัตถุได้ชัดเจนขึ้น

**ข้อดี**

- แสงสว่างจะสร้างเงาเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในเชิงลึก
- สามารถเจาะจงพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ
- หลีกเลี่ยงแสงจ้าของพื้นผิวสะท้อนเมื่อทำมุมเอียงจากเลนส์

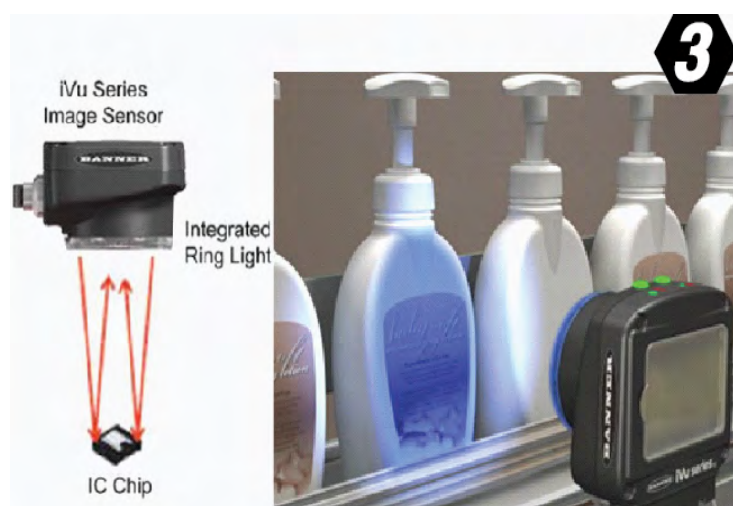
**ข้อเสีย**

- แสงที่ออกมานั้นอาจจะทำให้เกิดเงาที่ไม่ต้องการได้

- แสงสะท้อนที่ค่อนข้างสูง

#### ตัวอย่างการใช้งาน

- ตรวจสอบรอยหยัก
- ตรวจสอบการพิมพ์บนพื้นผิวสะท้อน



รูปที่ 2.4 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวน [16]

#### การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวน

แหล่งกำเนิดแสงให้แสงสว่างในพื้นที่ขนาดจำกัดตรงกลางเปิดเป็นรูเพื่อเอาไว้สำหรับติดกับตัววิชั่นเซ็นเซอร์

#### ข้อดี

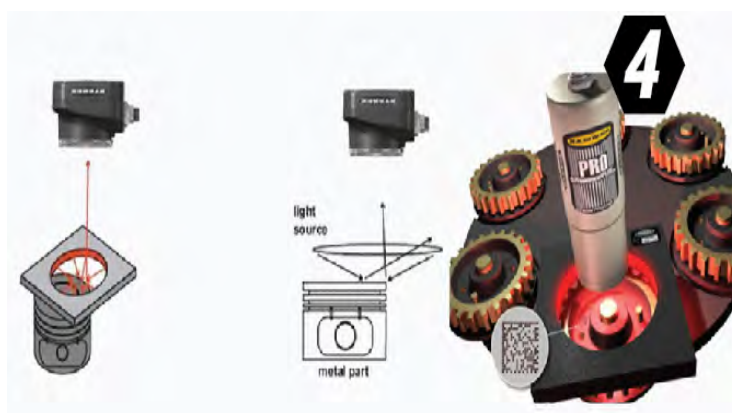
- ให้แสงสว่างถึงแม้วัตถุมีขนาดเล็ก
- ช่วยลดเงาบนภาพในส่วนที่ยื่นออกมา
- แสงจะอยู่ตรงกลางของวัตถุที่จะจับภาพ

### ข้อเสีย

- เมื่อวัตถุมีขนาดใหญ่ด้านมุมของภาพอาจมองไม่เห็น
- มีแสงสะท้อนสูง,ภาพที่ถ่ายออกมาอาจจะเห็นแสงสะท้อนของแหล่งกำเนิดแสงเป็นทรงกลม

### ตัวอย่างการใช้งาน

- ตรวจสอบวันที่และงานจับการยิงจากสัญลักษณ์จากเครื่องพิมพ์
- ตรวจสอบฉลาก



รูปที่ 2.5 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบมุมต่ำ [16]

### การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบมุมต่ำ

แหล่งกำเนิดแสงมุมต่ำช่วยเพิ่มความคมชัดของคุณลักษณะพื้นผิวมากยิ่งขึ้นด้วยการติดตั้งในแนวตั้งฉากกับตัวกล้องโดยใช้มุมเอียงเล็กน้อยของแหล่งกำเนิดแสง

### ข้อดี

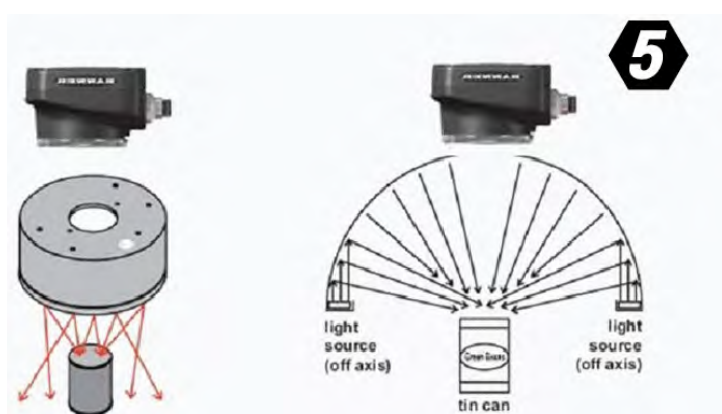
- ตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวจุดเด่น เช่น ฝุ่น, รอยบุบ, รอยขีดข่วน
- ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวของชิ้นงานที่หมุนขึ้นมา เช่น การแกะสลัก

### ข้อเสีย

- จะต้องติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงอยู่ใกล้กับวัตถุ
- แสงทำให้เกิดจุดร้อนและแสงเงา

### ตัวอย่างการใช้งาน

- ตรวจสอบการเข้คลูกสูบ
- ตรวจสอบหาพื้นผิวที่หายไป



รูปที่ 2.6 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบกระจาย [16]

การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบกระจาย

แหล่งกำเนิดแสงแบบโดมนี้จะให้แสงแบบรอบทิศทาง และ โดมนี้จะช่วยลดการเกิดแสงจ้าและเงาได้ดี

### ข้อดี

- ช่วยลดแสงสะท้อนและเงาได้ดี
- แสงสว่างที่ออกมาจากโดมจะนุ่มนวล

### ข้อเสีย

- ใช้พื้นที่เป็น 3 เท่าในการส่องสว่างของวัตถุ
- พื้นผิวที่สัมผัสแสงจะไม่ค่อยชัดเจนเหมือนกับแบบที่สัมผัส แสงโดยตรง

### ตัวอย่างการใช้งาน

- ตรวจสอบการพิมพ์วันที่ที่กันกระป๋อง เช่น COKE PEPSI โซดา
- ตรวจสอบการพิมพ์บนพลาสติก
- ตรวจสอบการพิมพ์บนขวดใส



## รูปที่ 2.7 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบแนวแกน [16]

### การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบแนวแกน

แหล่งกำเนิดแสงแบบนี้จะช่วยลดในการสะท้อนของพื้นผิว วัตถุได้เป็นอย่างดี

#### ข้อดี

- ให้แสงสว่างมากกว่าแบบวงแหวน
- ให้แสงได้ดีแม้มีการสะท้อนของวัตถุ

#### ข้อเสีย

- แสงที่ได้ออกมาจะได้แค่ 25% ของแสงที่ออกมา
- ตัวของแหล่งกำเนิดแสงจะต้องใกล้กับวัตถุ
- ตัวของแหล่งกำเนิดแสงจะต้องใหญ่กว่าวัตถุที่จะตรวจสอบ

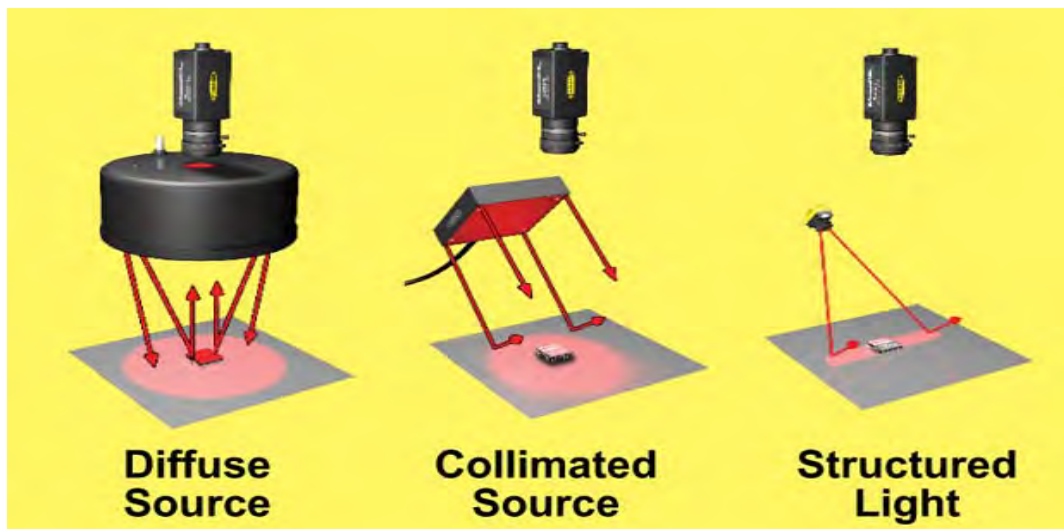
#### ตัวอย่างการใช้งาน

- ตรวจสอบการพิมพ์วันที่ที่กันกระป๋อง เช่น COKE PEPSI โซดา
- ตรวจสอบการพิมพ์บนพลาสติก
- ตรวจสอบการพิมพ์บนขวดใส

## 2.2 ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง

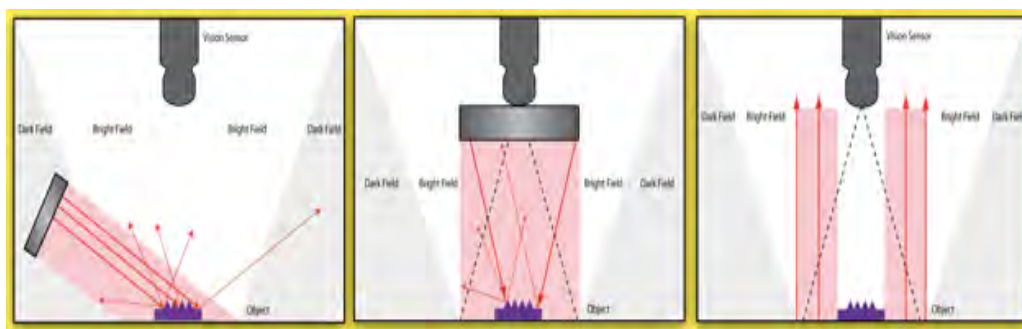
ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงสำหรับวิชัน นั้นมีอยู่หลายแบบมากในงานวิจัยนี้ขอแบ่งเป็น 3 ข้อหลักที่จะต้องใช้ในระบวิชันรูปทรงและรูปร่างของแหล่งกำเนิดแสง รูปทรงและรูปร่างของแหล่งกำเนิดแสงสำคัญมากในระบบวิชัน ควรเลือกให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่จะตรวจสอบ

ผลิตภัณฑ์แบบใด ไม่ว่าจะเป็นด้านบนด้านข้างหรือด้านหลัง เพราะจะช่วยเรื่องเพิ่มความคมชัดของ  
ชิ้นงานให้มากขึ้นลดแสงสะท้อนของวัตถุลดการเกิดจุดสะท้อน



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการจัดทิศทางแสง [16]

เทคนิคการจัดแสงในระบบวิชันเทคนิคการจัดแสงในระบบวิชัน นั้นควรดูที่เป้าหมายของ  
ผลิตภัณฑ์ ของสินค้าที่จะถ่าย ดูที่ พื้นที่ รูปร่าง และเรื่องการเอียงของแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 2.9 แสดงทิศทางของแหล่งกำเนิดแสง [16]

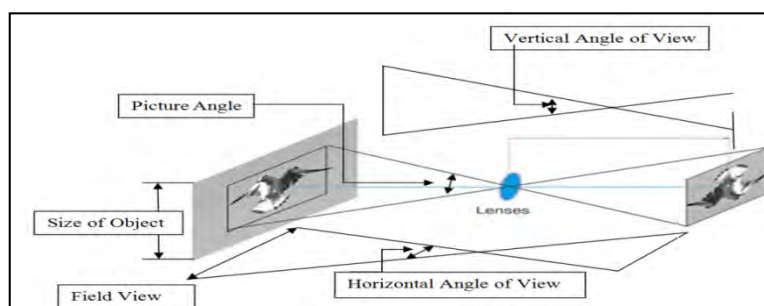
**Dark-Field** : การให้แหล่งกำเนิดแสงทางด้านข้างเกิดแสงสะท้อนจากชิ้นงานสูงมาก

**Bright-Field** : การให้แหล่งกำเนิดแสงโดยตรง ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีและรูปร่าง

**Backlight** : การให้แหล่งกำเนิดแสงทางด้านหลังตรวจสอบโดยใช้เงาของชิ้นงาน

## 2.3 วิธีการเลือกขนาดกล้อง

การคัดเลือกกล้องเป็นส่วนสำคัญมาก [5] เพราะการถ้าคัดเลือกกล้องได้เหมาะสมก็จะทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพดีและต้นทุนที่ไม่สูง สมการที่ (2.1) เป็นสมการหาความยาวโฟกัสของเลนส์ (Focal length) ของกล้องแบบซีซีดี (CCD) ซึ่งเป็นการคำนวณหาระยะของเลนส์ ถึงระยะของวัตถุที่ตกอยู่บนเซ็นเซอร์ โดยปกติจะมีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาย้อนกลับไป เพื่อหาระยะการทำงานของกล้อง (Working Distance) ซึ่งเป็นระยะของวัตถุจริงถึงตำแหน่งเลนส์ของกล้อง กับการเลือกชนิดของความยาวโฟกัสเลนส์ ว่ามีความเหมาะสมตามที่ผู้ออกแบบต้องการ ค่าของความยาวโฟกัสเลนส์ในแต่ละช่วงโดยปกติจะถูกกำหนดเป็นมาตรฐานขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ค่าตัวแปรขนาดของรูปภาพ (Size of Image) คือขนาดของรูปภาพที่ตกกระทบบนระนาบเซ็นเซอร์กล้อง Size of Object คือ ขนาดของวัตถุจริง โดยสามารถอ้างอิงรายละเอียดของตำแหน่งได้จากรูปที่ 2.26 สำหรับการคำนวณหาความยาวโฟกัส ด้านกว้าง (Focal length of width) และความยาวโฟกัสด้านความสูง (Focal length of height) เป็นการคำนวณหาเพื่อเลือกชนิดของกล้องและขนาดของเซ็นเซอร์กล้องให้เหมาะสมกับขนาดของวัตถุจริง ที่ต้องการบันทึกภาพ โดยทำการแทนค่าของตัวแปรความกว้างของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ (Object Width) และความสูงของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ (Object Height) ขนาดความกว้างของเซ็นเซอร์ที่ต้องการ (CCD width) และขนาดความสูงของเซ็นเซอร์ที่ต้องการ (CCD Height) ในสมการที่ (2.2) และ (2.3) ตามลำดับ ตัวอย่างรูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดตามมาตรฐานกล้องแบบซีซีดี (CCD) กับขนาดของความสูงของเซ็นเซอร์แบบซีซีดี (CCD Height) และขนาดของความกว้างของเซ็นเซอร์แบบ (CCD Width) แสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อเลือกชนิดของกล้องในหัวข้อถัดไป

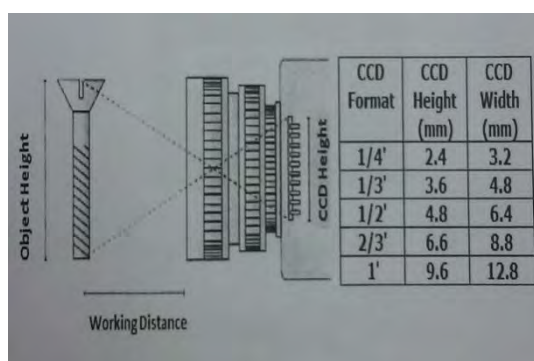


## รูปที่ 2.10 พื้นฐานโครงสร้างของกล้อง [16]

$$\text{Focal length} = (\text{Distance}) * (\text{Size of Image}) / (\text{Size of Object} + \text{Size of Image}) \quad (2.1)$$

$$\text{Focal length} = (\text{Distance}) * (\text{CCD Width}) / (\text{Object Width}) + (\text{CCD Width}) \quad (2.2)$$

$$\text{Focal length of height} = (\text{Distance}) * (\text{CCD Height}) / (\text{Object Height}) + (\text{CCD Height}) \quad (2.3)$$



## รูปที่ 2.11 ตัวอย่างมาตรฐานขนาดเซ็นเซอร์ของกล้องแบบซีซีดี [5]

### ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณหาความยาวโฟกัสของกล้อง

การเลือกที่จะคำนวณระหว่าง ความยาวโฟกัสด้านกว้าง (Focal length of width) และ ความยาวโฟกัสด้านสูง (Focal length of height) นั้น จะพิจารณาจากลักษณะของภาพที่สนใจ เพื่อความชัดเจนจึงได้แสดงขั้นตอนการคำนวณ แสดงดังตัวอย่างในหัวข้อถัดไปนี้

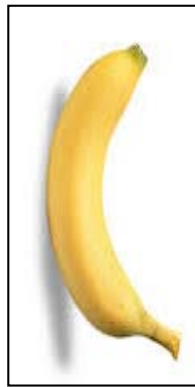
### ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณความยาวโฟกัสด้านกว้าง (Focal length of width)

ยกตัวอย่างการคำนวณจากรูปที่ 2.13 เป็นงานอ่านค่าภาพของบาร์โค้ด โดยขนาดรูปภาพที่แท้จริงของวัตถุ (Object Width) มีค่าเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ระยะการทำงาน (Working Distance) มีค่าเท่ากับ 300 มิลลิเมตร มีขนาดของเซ็นเซอร์ตามมาตรฐานของกล้อง CCD เท่ากับ 1/4" อ้างอิงจากรูปที่ 2.12(ข)จะมีขนาดความกว้างของเซ็นเซอร์ CCD (CCD Width) เท่ากับ 3.2 มิลลิเมตรเมื่อแทนค่าในสมการ (2.2) จะได้ค่าความยาวโฟกัสด้านกว้าง (Focal length of width) เท่ากับ 28.9 มิลลิเมตร

$$\text{Focal length of width} = 300 * 3.2 / 30 + 3.2 = 28.9 \text{ มิลลิเมตร}$$


### รูปที่ 2.12 ภาพบาร์โค้ดที่ใช้ในการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณความยาวโฟกัสด้านความสูง (Focal length of height)



### รูปที่ 2.13 ตัวอย่างรูปกล้วยที่ใช้ในการคำนวณ

ยกตัวอย่างจากการคำนวณจากรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นรูปกล้วย ที่มีขนาดความสูงที่แท้จริงของวัตถุ (Object Height) เท่ากับ 200 มิลลิเมตร มีระยะการทำงาน (Working Distance) เท่ากับ 1000 มิลลิเมตร มาตรฐานของกล้องซีซีดี (CCD) ที่มีขนาดของเซ็นเซอร์เท่ากับ 1/3” อ้างอิงจากตัวอย่างในรูปที่ 2.12 จะมีขนาดความสูงของเซ็นเซอร์ซีซีดี (CCD Height) เท่ากับ 3.6 มิลลิเมตร เมื่อแทนค่าในสมการ (2.3) จะได้ค่าความยาวโฟกัสด้านความสูง (Focal length of height) เท่ากับ 17.7 มิลลิเมตร

$$\text{Focal length of height} = \frac{1000 \times 3.6}{200 + 3.6} = 17.7 \text{ มิลลิเมตร}$$

ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกเลนส์

การคำนวณหาความยาวโฟกัส (Focus Length) เป็นพื้นฐานที่สำคัญ ที่จะทำให้สามารถเลือกใช้ชนิดของเลนส์ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยไม่จำเป็นต้องซื้อเลนส์หลายขนาดเพื่อทำการทดสอบ จากตัวอย่างที่ 1 ผลลัพธ์จากการคำนวณ ทำให้ทราบว่าต้องเลือกใช้เลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัส (Focal Length) เท่ากับ 28.9 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นตารางการเลือกชนิดของกล้อง ดังนั้นกล้องที่พิจารณาเลือกใช้คือรุ่นกล้อง C2514-M(KP) เพราะมีขนาดความยาวโฟกัสเท่ากับ 25 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ สำหรับตัวอย่างการคำนวณที่ 2 ผลลัพธ์จากการคำนวณจะต้องเลือกใช้เลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัส (Focal length) เท่ากับ 17.7 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงทำการเลือกกล้องรุ่น C1614-M(KP) ซึ่งมีความยาวโฟกัสเท่ากับ 16 ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างตารางแสดงรายละเอียดคุณสมบัติของกล้อง [5]

Product Code	Format Code	Focal length
Ho51-MP	1/2"	5
M0814-MP	2/3"	8
H121-M(KP)	1/2"	12
C1614-M(KP)	2/3"	16
C2514-M(KP)	2/3"	25
C3516-M(KP)	2/3"	35
C5028-M(KP)	2/3"	50

### ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการลดระยะการทำงาน (Working Distance)

สามารถประยุกต์ใช้ในกรณีวัตถุที่มีขนาดเล็ก ซึ่งอาจมีระยะการทำงาน (Working Distance) น้อยกว่าเลนส์ที่ทำการเลือก ดังนั้นเราสามารถลดระยะเวลาการทำงาน (Working Distance) โดยเลือกแหวนรอง (Extension Ring) ใส่ระหว่างเลนส์และตัวกล้อง แล้วค่อยทำการปรับความคมชัด

## 2.4 ทฤษฎีการหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพเป็นการหาขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพโดยขอบภาพจะช่วยอธิบายถึงรูปร่าง ลักษณะและขนาดของวัตถุอีกทั้งยังเป็นการลดจำนวนของข้อมูลภาพลงและคงความเป็นเอกลักษณ์ เดิมของวัตถุเอาไว้การหาขอบภาพคือการตรวจสอบว่าเส้นขอบลากผ่านหรือใกล้เคียงกับจุดใดโดยวัด จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดดังกล่าวซึ่งวิธีที่นำมาเลือกใช้คือการหา ขอบภาพด้วยวิธีโซเบล

#### 2.4.1 การหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล (Sobel Edge Detection)

การหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล [1][3][7][8] สามารถดำเนินการกับภาพสองระดับ (Binary image) หรือภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image) อย่างไรก็ตามมโนทัศน์ฉบับนี้เป็น การหาขอบภาพที่ดำเนินการกับภาพสองระดับเพื่อแสดงรูปร่างของวัตถุตัวอย่างที่ยังคงเอกลักษณ์ของ วัตถุนั้นไว้

การหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบลเป็นการหาขอบภาพโดยใช้หน้าต่างขนาด 3x3 วาง ทาบกับข้อมูลภาพสองมิติ  $f(x,y)$  ที่ตำแหน่ง  $(x,y)$  แล้วทำการคอนโวลูชัน (Convolution) ค่า น้ำหนักในหน้าต่างกับข้อมูลภาพซึ่งการหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบลจะทำการหาขอบภาพทั้งในแนวนอน และแนวตั้ง ดังนั้นจึงมีหน้าต่าง 3x3 จำนวน 2 หน้าต่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.14

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(ก)

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

(ข)

รูปที่ 2.14 หน้าต่างการหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบลในแนวนอนและแนวตั้ง

(ก) แสดงหน้าต่างสำหรับหาขอบภาพแนวนอน

(ข) แสดงหน้าต่างสำหรับหาขอบภาพแนวตั้ง

#### 2.4.2 การหาขอบภาพด้วยวิธีพรีวิทท์ (Prewitt Edge Detection)

การหาขอบด้วยพรีวิทท์ [3][8] มีกระบวนการที่คล้ายกับการหาขอบด้วยวิธีโซเบล โดยใชหน้าต่าง 3x3 วางทาบกับข้อมูลสองระดับหรือภาพระดับเทา  $f(x,y)$  ที่ตำแหน่ง  $(x,y)$  แล้ว ทำการคอนโวลูชันค่าน้ำหนักในหน้าต่างกับภาพข้อมูลภาพซึ่งการหาขอบภาพด้วยวิธีพรีวิทท์จะทำ

การหาขอบภาพทั้งในแนวนอนและตั้งเช่นกัน ดังนั้นจึงมีหน้าตาต่างขนาด  $3 \times 3$  จำนวน 2 หน้าต่างดังแสดงในรูปที่ 2.15

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

(ก)

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

(ข)

**รูปที่ 2.15** หน้าต่างการหาขอบภาพด้วยวิธีพริวิต์ในแนวนอนและแนวตั้ง

(ก) แสดงหน้าต่างสำหรับหาขอบภาพแนวนอน

(ข) แสดงหน้าต่างสำหรับหาขอบภาพแนวตั้ง

เนื่องจากวิธีโซเบลและวิธีพริวิต์จะหาขอบภาพทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ดังนั้นในตอนแรกจะทำการวางหน้าต่างในแนวนอนทาบลงไปบนด้านซ้ายมือของข้อมูลภาพ  $f(x,y)$  จากนั้นทำการคอนโวลูชันน้ำหนักที่อยู่ในหน้าต่างกับข้อมูลภาพสองมิติผลลัพธ์ที่ได้จะเก็บไว้ที่ภาพเอ๊าท์พุท  $G_x(x,y)$  เมื่อได้ผลลัพธ์แล้วหน้าต่างจะเลื่อนไปทางด้านซ้ายมือหนึ่งพิกเซลแล้วทำการคอนโวลูชันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์และเก็บข้อมูลไว้ที่ภาพเอ๊าท์พุท  $G_x(x,y)$  อีก ดำเนินการเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่างจนหมดทั้งภาพ ซึ่งผลที่ได้คือขอบภาพในแนวนอน  $G_x(x,y)$  ในทำนองเดียวกันก็จะใช้หน้าต่างในแนวตั้งแล้วทำการคอนโวลูชันกับข้อมูลภาพ  $f(x,y)$  จนกระทั่งครบทั้งภาพและจะได้ขอบภาพในแนวตั้ง  $G_y(x,y)$

เมื่อได้ขอบภาพทั้งแนวนอน  $G_x(x,y)$  และแนวตั้ง  $G_y(x,y)$  แล้วจะทำการหาขอบภาพทั้งหมดในรูปภาพด้วยการคำนวณหาขนาดของเกรเดียน ( $\nabla f$ ) โดยใช้สมการที่ ใช้สมการ (2.4) หรือ (2.5)

$$\nabla f = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.4)$$

$$\nabla f = |G_x| + |G_y| \quad (2.5)$$

อย่างไรก็ตามเนื่องจากขนาดภาพของเกรเดียน ( $\nabla f$ ) ที่คำนวณได้อาจจะมีค่ามากกว่า “1” และน้อยกว่า “0” ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการสเกลลิง (Scaling) เพื่อให้ขนาดของเกรเดียน

อยู่ในช่วง 0-1 เพื่อในสามารถแสดงขอบภาพเป็นสีขาวและสีดำหรือภาพสองระดับ (Binary Image) ต่อไป

## 2.5 ทฤษฎีการหาแกนกลาง (Skeleton Detection)

การหาแกนกลางภาพเป็นการหาแกนกลางของวัตถุ ซึ่งในที่นี้คือทำขอบภาพของวัตถุ ตัวอย่างให้บางลงจนเหลือแต่แกนกลางที่มีความหนาเพียงแค่ 1 พิกเซล เพื่อเป็นการลดขนาดของข้อมูลของวัตถุตัวอย่างเหลือแต่ส่วนสำคัญเท่านั้น

ภาพที่ต้องการหาขนาดของแกนกลางนั้นจะต้องเป็นภาพสองระดับ (Binary Image) เท่านั้น คือมีค่าเป็น “0” และ “1” โดยส่วนที่เป็นพื้นที่ขอบภาพของวัตถุตัวอย่างมีค่าเป็น “1” และ “0” คือส่วนที่เป็นพื้นที่และฉากหลัง

การหาแกนกลางประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังที่เขียนไว้ด้านล่าง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะทำการลบจุดภาพแต่ละจุดที่ขอบวัตถุตัวอย่างออก โดยใช้หน้าต่างขนาด  $3 \times 3$  ดังแสดงในรูปที่ 2.16 วางทาบลงไปจุดภาพ การหาแกนกลางภาพเริ่มต้นด้วยการตรวจหาพิกเซลที่มีค่าเป็น “1” ก่อน ซึ่งเมื่อตรวจพบแล้วจึงดำเนินการบนขั้นตอนที่ 1 และ 2 [2][3][11]

p9	p2	p3
p8	p1	p4
p7	p6	p5

รูปที่ 2.16 หน้าต่างขนาด  $3 \times 3$

ขั้นตอนในการหาแกนกลางประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** เป็นการลบจุดภาพบริเวณขอบวัตถุทางด้านขวามือและด้านล่าง โดยวางหน้าต่าง  $3 \times 3$  ทาบไปบนจุดภาพที่มีค่าเป็น “1” และกำหนดให้เป็น p1 จากนั้นตรวจสอบเงื่อนไขต่อไปนี้

a)  $2 = N(p1) < 6$

b)  $S(p1) = 1$

c)  $p_2.p_4.p_6=0$

d)  $p_4.p_6.p_8=0$

**ขั้นตอนที่ 2** เป็นการลบจุดภาพบริเวณขอบวัตถุทางด้านซ้ายมือและด้านบนโดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

a)  $2 \leq N(p_1) \leq 6$

b)  $S(p_1)=1$

c)  $p_2.p_4.p_8=0$

d)  $p_2.p_6.p_8=0$

เงื่อนไข a) เป็นการคำนวณผลรวมของจุดภาพมีค่าเป็น “1” ที่อยู่ล้อมรอบจุด  $p_1$  ผลรวมของจุดภาพต้องมีจำนวนตั้งแต่ 2-6 จุดภาพ เช่น  $N(p_1)=p_2+p_3+\dots+p_8+p_9$

เงื่อนไข b) เป็นจำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงจาก “0” เป็น “1” รอบจุด  $p_1$  ตัวอย่างเช่น

0	0	0
1	0	1
1	0	1

**รูปที่ 2.17** ตัวอย่างตารางการเปลี่ยนค่าจาก “0” เป็น “1”

จากรูปที่ 2.11 จะพบว่าจำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงจาก “0” เป็น “1” รอบจุด  $p_1$  เกิดขึ้นจำนวน 2 ครั้ง ดังนั้น  $S(p_1)$  จึงมีค่าเท่ากับ 2 อย่างไรก็ตามทั้งขั้นตอนที่ 1 และ 2 มีเงื่อนไข a) และ b) เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็แต่เพียงเงื่อนไข c) และ d) ของขั้นตอนที่ 1 และเงื่อนไข c\*) และ d\*) ในขั้นตอนที่ 2

เงื่อนไข c) เป็นการกระทำการ AND กันทางโลจิกของจุด  $p_2, p_4$  และ  $p_6$  แล้วได้ผลลัพธ์เท่ากับ “0”

เงื่อนไข d) เป็นการกระทำการ AND กันทางโลจิกของจุด  $p_4, p_6$  และ  $p_8$  แล้วได้ผลลัพธ์เท่ากับ “0”

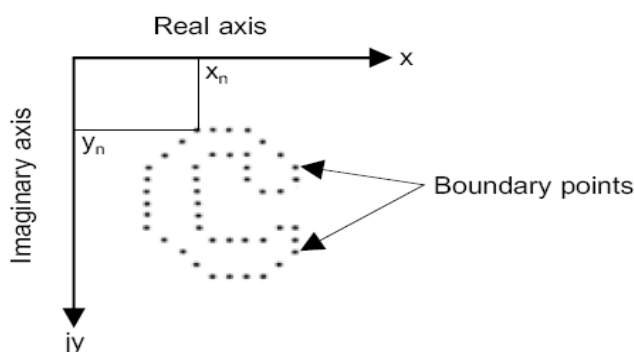
เงื่อนไข c\*) เป็นการกระทำการ AND กันทางโลจิกของจุด  $p_2, p_4$  และ  $p_8$  แล้วได้ผลลัพธ์เท่ากับ “0”

เงื่อนไข  $d^*$ ) เป็นการกระทำการ AND กันทางโลจิกของจุด  $p_2, p_6$  และ  $p_8$  แล้วได้ผลลัพธ์เท่ากับ “0”

วิธีการหาแกนกลางของภาพ เป็นการลบจุดภาพออกไปโดยจะวางหน้าต่างขนาด  $3 \times 3$  ทาบไปบนจุดภาพที่มีค่าเป็น “1” และกำหนดให้เป็น  $p_1$  จากนั้นตรวจสอบว่าเป็นไปตามเงื่อนไขในขั้นตอนที่ 1 หรือไม่ ถ้า  $p_1$  มีเงื่อนไขตรงกับเงื่อนไข 4 ข้อข้างต้นพิกัดของจุด  $p_1$  จะถูกจัดเก็บไว้จากนั้นหน้าต่าง  $3 \times 3$  จะเลื่อนไปทางขวามือ 1 พิกเซล และดำเนินการเหมือนกับที่กล่าวไปแล้วข้างต้นจนหมดทั้งภาพ เมื่อดำเนินการครบทุกจุดในภาพแล้ว พิกัดที่ถูกจัดเก็บไว้ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนจาก “1” เป็น “0” หรือเป็นการลบจุดภาพนั้น โดยการลบพิกเซลนั้นจะลบจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง จากนั้นเมื่อเสร็จในขั้นตอนที่ 1 แล้ว จึงพิจารณาตรวจสอบเงื่อนไขในขั้นตอนที่ 2 ต่อ เมื่อตรงตามเงื่อนไขก็จะดำเนินการเหมือนกับขั้นตอนที่ 1 วนอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนเหลือแต่พิกเซลสุดท้ายที่เป็นแกนกลางของภาพ

## 2.6 ทฤษฎีการหาตำแหน่งพิกัด (Coordinate Detection)

การหาตำแหน่งพิกัดคือการค้นหาและเก็บพิกัดของจุดภาพที่อยู่บนขอบของนิ้วมือที่มีความหนาเพียง 1 พิกเซล ทั้งในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  [4][12]

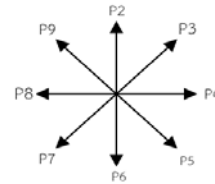


รูปที่ 2.18 พิกัดจุด  $(x_n, y_n)$  รูปตัวซี

รูปที่ 2.18 เป็นการแสดงพิกัดของเส้นของรูปตัวซี ที่มีจำนวนจุด  $N$  จุด ใน  $xy$ -plane โดยกำหนดให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่จุด  $(x_0, y_0)$  พิกัดของเส้นขอบรูปตัวซีที่จุดถัดไปคือ  $(x_1, y_1)$

,  $(x_2, y_2), \dots, (x_{0n-1}, y_{0n-1})$  พิกัดเหล่านี้จะถูกจัดเก็บแยกกันในแต่ละแนวแกนเป็น  $x_i$  และ  $y_i$  โดยที่  $i = 0, 1, 2, \dots, n - 1$

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5

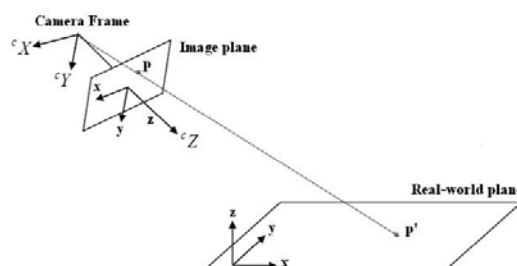


รูปที่ 2.19 ทิศทาง 8 ทิศทางรอบจุด P1 ที่พิจารณา

ในการหาพิกัดของเส้นขอบของรูปตัวซีที่แสดงในรูปที่ 2.19 เพื่อเก็บพิกัดข้อมูลก่อนอื่นนั้นก็ จะใช้ภาพที่ผ่านการหาเส้นขอบมาแล้ว และถูกทำให้บางลงจนเหลือความหนาเพียง 1 พิกเซล จากนั้นจึงทำการตรวจหาจุดภาพที่มีค่า “1” โดยโปรแกรมจะเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง เมื่อพบจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ “1” จะวางหน้าต่าง 3x3 ทาบที่จุดนั้นและเก็บพิกัดจุดภาพในแนวแกน x และ y แล้วพิจารณาจุดข้างเคียงที่อยู่ล้อมรอบจุด P1 ในลักษณะ 8 ทิศทางตาม เซ็มนานาฬิกาตั้งรูปที่ 2.19 ถ้าตรวจพบจุดภาพถัดไปมีค่าเป็น “1” ให้ทำการเก็บจุดภาพในแนวแกน x และ y จากนั้นย้ายจุด P1 ไปที่จุดถัดไปที่ตรวจพบว่ามีค่าเป็น “1” อีก การดำเนินการจะ กระทำไปเรื่อยๆจนกระทั่งเก็บพิกัดจุดภาพที่อยู่บนขอบของรูปตัวซีได้ทั้งหมด สุดท้ายนำพิกัดให้ แนวแกน x และ y มาจัดเก็บแยกกันในแต่ละแนวแกนเป็น  $x_i$  และ  $y_i$  ตามลำดับ โดยที่  $i = 0, 1, 2, \dots, N - 1$

### 2.7 การคำนวณและประมาณค่าของโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์

ระบบการวัดบนระนาบเป็นวิธีการวัดในลักษณะเรขาคณิตบนระนาบ นำมาใช้เพื่อแปลง ระยะทางในพิกัดบนรูปภาพเป็นค่าระยะทางจริงโดยเทียบกับพิกัดอ้างอิง [6][10][13][14][15] ใน ระบบสองมิติ Homography Matrix จะเป็นตัวแปลงระหว่าง Homogeneous Point และ Homogeneous Coordinate



รูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดบนพิกัด

$(p)$  และจุดบนพิกัดจริง  $(p')$

จากความสัมพันธ์ระหว่างระนาบในระบบพิกัดรูปภาพ  $(p)$  และจุดบนพิกัดจริง  $(p')$  สามารถที่เขียนได้เป็น

$$p' = Hp \quad (2.6)$$

เมื่อ  $p'$  และ  $p$  เป็น Homogeneous Coordinate ที่ร่วมกันของตำแหน่ง  $p$  (พิกัดรูปภาพ) และ  $p'$  (พิกัดจริง) ซึ่งมี  $H$  เป็น Homography Matrix

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

โดยในสมการที่ (2.7) จะเพิ่มจุดสมมุติ  $w$  และ  $w'$  ขึ้นมาโดยให้มีค่าเท่ากับ 1 แล้วคูณ  $p$  และ  $H$  เมื่อ  $\frac{x'}{w'}$  และ  $\frac{y'}{w'}$  โดยที่ค่า  $w = w' = 1$  จัดรูปแบบสมการใหม่ได้เป็น

$$x'_i = \frac{h_{11}x_i + h_{12}y_i + h_{13}}{h_{31}x_i + h_{32}y_i + h_{33}}, \quad y'_i = \frac{h_{21}x_i + h_{22}y_i + h_{23}}{h_{31}x_i + h_{32}y_i + h_{33}} \quad (2.8)$$

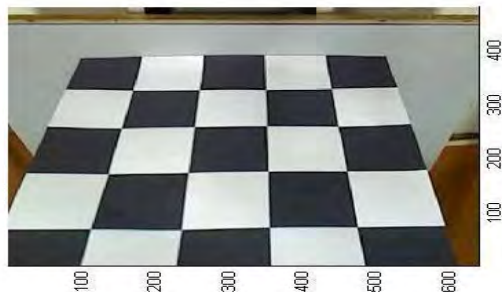
ซึ่งสามารถจัดสมการใหม่ให้อยู่ในรูปแบบ Homogeneous ได้เป็นสมการที่ (2.9) โดยที่ตัวแปร 9 ตัวภายใน  $H$  สามารถที่จะแปลความหมายเป็นอัตราการขยายหรือตัวแปลงค่าจุดระหว่างพิกัดซึ่งในการหาค่า Homography Matrix จำเป็นจะต้องทราบค่าจุดบนพิกัดอย่างน้อย 4 จุด

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & x'_1 & y'_1 & x'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & x'_4 & y'_4 & x'_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & y'_1 & x'_1 & y'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & y'_4 & x'_4 & y'_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \\ h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Homography Matrix สามารถที่จะหาได้โดยการใช้ระบบสมการเชิงเส้น Singular value decomposition (SVD) เป็นวิธีการประมาณค่าแบบ Least Squares (LS) ซึ่งเมื่อทราบค่าของ  $H$  ก็จะสามารถที่จะนำไปคำนวณหาค่าจริงของตำแหน่งบนรูปภาพโดยการคูณกันระหว่าง  $H$  และ  $p$  ดังสมการที่ (2.6)

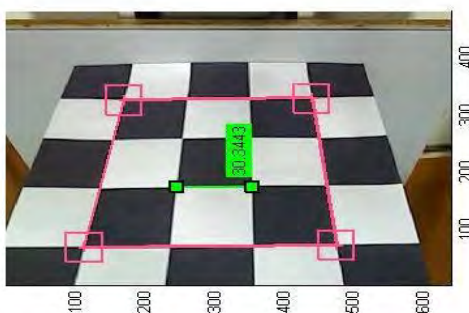
## 2.8 การสอบเทียบ

ในการสอบเทียบจะใช้ตารางที่ทราบขนาดเพื่อจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง 4 จุดของพิกัดรูปภาพเทียบกับขนาดจริงในพิกัดจริง เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่า Homography Matrix ( $H$ ) ซึ่งเป็นค่าแพคเตอร์ที่นำไปแปลงค่าจากข้อมูลรูปภาพเป็นค่าในพิกัดจริง



รูปที่ 2.21 ตารางขนาด 30x30 mm.ที่ใช้ในการสอบเทียบ

ขั้นตอนจะทำการกำหนดจุดแต่ละจุดและนำค่าที่ได้จากกำหนดนี้ไปคำนวณตามสมการที่(4) โดยการใช้ฟังก์ชัน SVD ที่เป็นการประมาณค่าแบบ Least Squares (LS) ในโปรแกรม Matlab เป็นตัวช่วยในการคำนวณหาค่า Homography Matrix ( $H$ ) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ขนาด  $3 \times 3$  และสามารถนำค่า  $H$  ไปใช้ในสมการที่ (3)



รูปที่ 2.22 ขั้นตอนและผลลัพธ์ที่ได้จากการสอบเทียบ

## 2.9 ตารางการแปลงโรแลนด์โค้ด

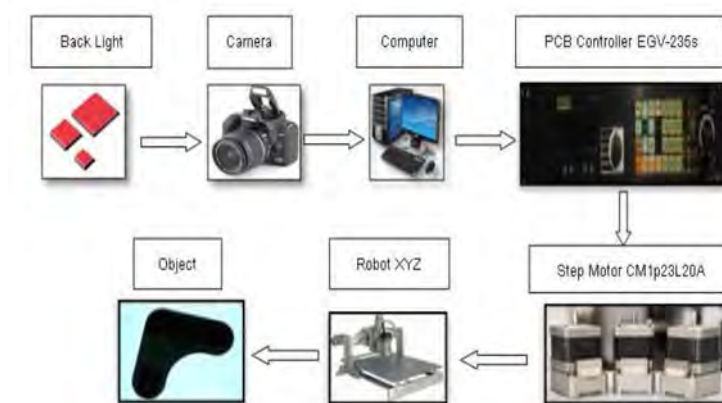
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงการแปลงรหัส Roland Printer

^	PD	X1	,	Y1	;
^	PD	X2	,	Y2	;
^	PD	X3	,	Y3	;
^	PD	X4	,	Y4	;

.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
^	PD <sub>n</sub>	X <sub>n</sub>	,	Y <sub>n</sub>	;

## บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

### 3.1 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ของระบบการสร้างสรรค์สำหรับเครื่องกัด

### 3.2 ศึกษาส่วนประกอบของ EGV-235S

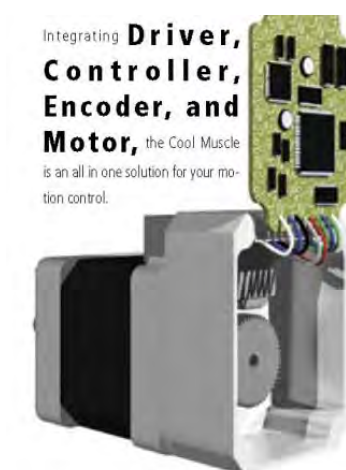
ในงานวิจัยนี้จะใช้ชุดทดลอง EGV-235S ประกอบไปด้วย ชุดขับเคลื่อน 3 แกนแบบคาร์ทีเซียน ในส่วนนี้จะมีชุดปืนหยอดกาวหรือชุดกัดและชุดพลอตเตอร์ ติดตั้งอยู่บนแกน Z ชุดดังกล่าวสามารถควบคุมการเปิดปิดได้จากภายนอกขนาดของพื้นที่ทำงานของชุดขับเคลื่อน 3 แกน แบบคาร์ทีเซียน คือ ระยะ X = 500 มิลลิเมตร, ระยะ Y = 500 มิลลิเมตร, ระยะ Z = 200 มิลลิเมตร, การขับเคลื่อนจะใช้บอลสกรูที่มีความกว้างของ Pitch 5 มิลลิเมตร [3]



### รูปที่ 3.2 แสดงชุดทดลอง EGV-235S

### 3.3 มอเตอร์ (Stepping Motor) ที่มีชุดขับในตัว

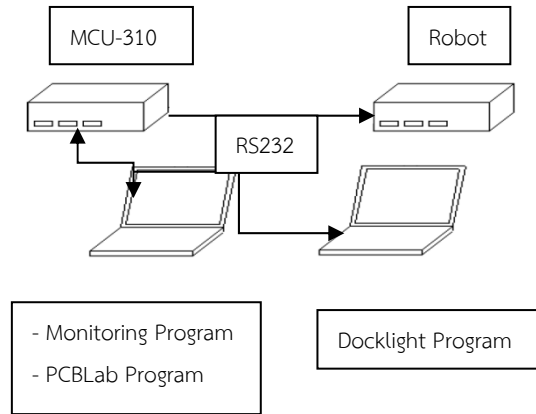
ชุดขับ Stepping มอเตอร์เป็นส่วนที่รับสัญญาณควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุน ชุดขับ Stepping ที่ใช้ในบทความนี้ใช้ของบริษัท Cool Muscle รุ่น CM1-P-23L20-0222 ซึ่งจะมีชุดขับและมอเตอร์อยู่ในตัวเลย มีความละเอียดสูงสุดอยู่ที่ 50000 Step/Rew สามารถขับมอเตอร์ที่กระแสสูงสุด 3.4 A ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้ร่วมกับชุดขับนี้เป็น Stepping มอเตอร์ 2 เฟส Motor Output Power 30w, Maximum Speed 2000 rpm, Continuous Torque 0.87 Nm, Peak Torque 1.25 Nm



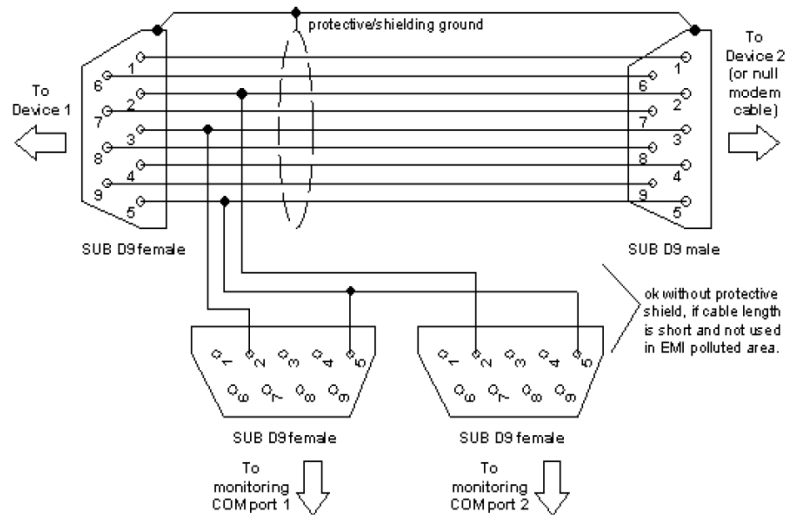
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะสเตปมอเตอร์กับชุดขับ [17]

### 3.4 ระบบสื่อสารระหว่างตัวควบคุมกับคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ชุดทดลองจะสื่อสารด้วย RS232 ระหว่างตัวควบคุมกับโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ โดยการส่งคำสั่งในลักษณะต่างๆ ซึ่งผู้วิจัยจำเป็นต้องรู้ลักษณะกับส่งคำสั่งระหว่าง PCB Program กับ MCU-310 ดังนั้นจึงใช้โปรแกรม Monitoring กับ Dockinght มาลักษณะการสื่อสารของระบบเครื่องกัดนี้ ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5

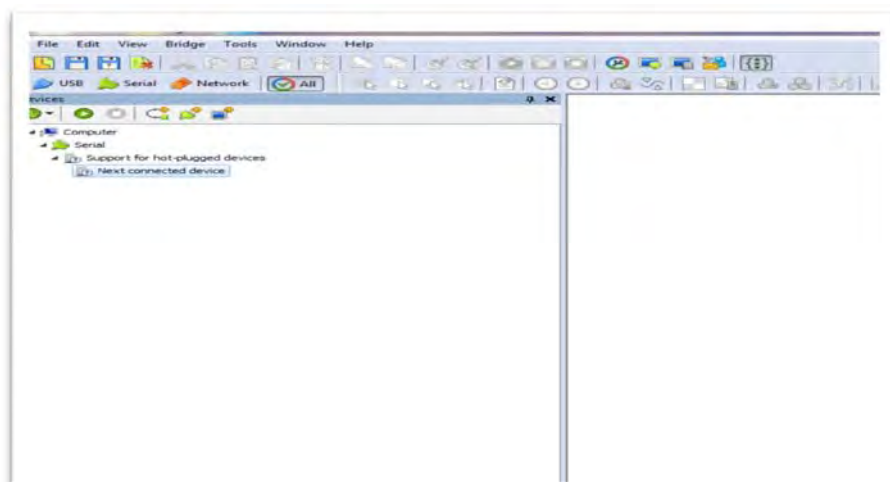


รูปที่ 3.4 แสดงการสื่อสารแบบ RS232 [18]



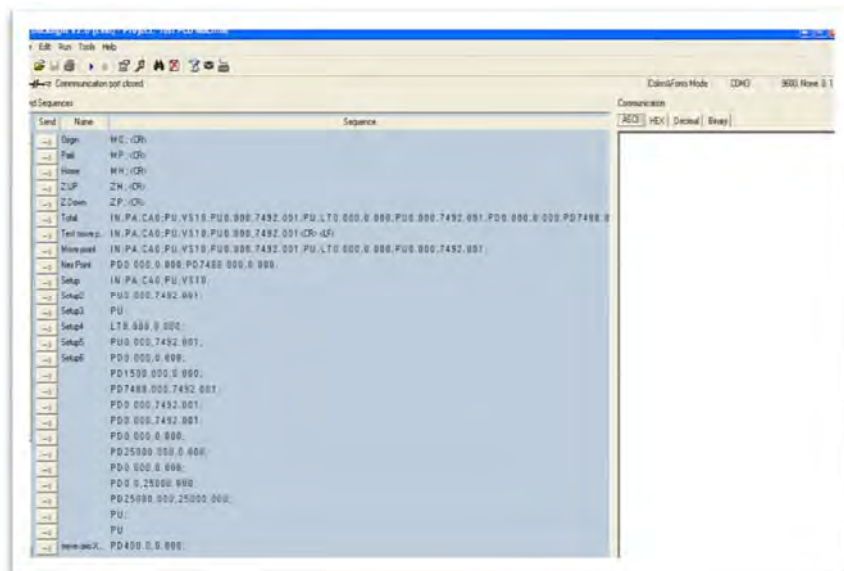
รูปที่ 3.5 แสดงการสื่อสารแบบ RS232 [18]

### 3.5 การใช้งานโปรแกรม Monitoring

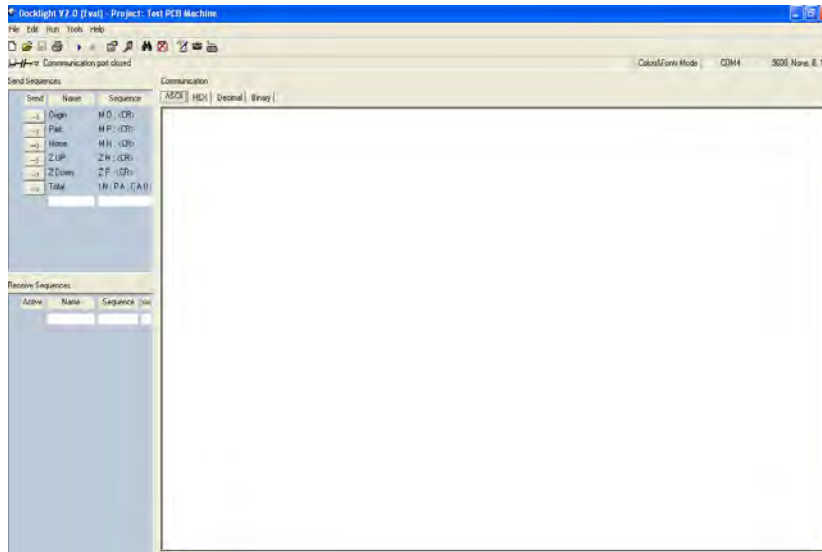


รูปที่ 3.6 แสดงผลของการดูรหัสการสื่อสาร

### 3.6 การใช้งานโปรแกรม Dockingt



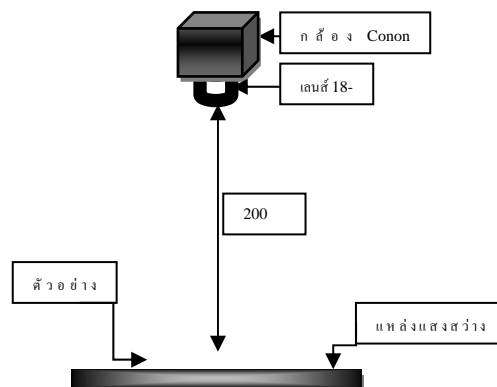
รูปที่ 3.7 แสดงผลของการส่งรหัสการสื่อสาร



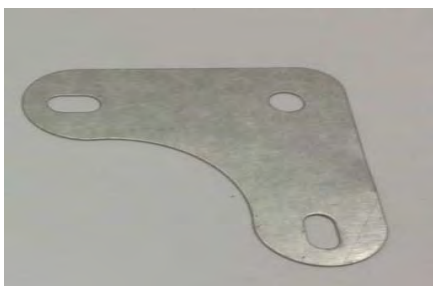
รูปที่ 3.8 แสดงผลของการส่งรหัสการสื่อสาร

### 3.7 คำนวณหาขนาดของกล้องและเลนส์

งานวิจัยนี้จะใช้ตัวอย่างวัตถุที่มีขนาด 74mm x74mm และกล้องมีความสูงจากผิวด้านบนของวัตถุจนถึงหน้าเลนส์ 300 mm ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บภาพ

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณหาความยาวโฟกัสของกล้อง

รูปที่ 3.10 แสดงรูปตัวอย่างวัตถุ

$$\text{Focal length of width} = \frac{200 \times 22.2}{74 + 22.2} = 46.153 \text{ mm}$$

$$\text{Focal length of height} = \frac{200 \times 14.8}{74 + 14.8} = 33.333 \text{ mm}$$

ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกเลนส์

การคำนวณหาความยาวโฟกัส (Focus Length) เป็นพื้นฐานที่สำคัญ ที่จะทำให้สามารถเลือกใช้ชนิดของเลนส์ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยไม่จำเป็นต้องซื้อเลนส์หลายขนาดเพื่อทำการทดสอบ จากตัวอย่างการคำนวณทำให้เราทราบว่าต้องเลือกใช้เลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัส (Focal Length) อยู่ในช่วง 33.333mm – 46.153mm ซึ่งเลนส์ที่มีอยู่คือช่วง 18mm – 55mm สามารถใช้ได้กับงานนี้

**3.8 วิธีการเลือกประเภทแหล่งกำเนิดแสงสำหรับวิชชัน**

การที่จะมองเห็นภาพชัดเจนหรือไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแสงเป็นส่วนสำคัญแสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ไปยังวัตถุ (Object) เมื่อแสงกระทบกับวัตถุจะมีการสะท้อนกลับมาที่ตาของเราหรือในที่นี้คือตัวกล้องแมกซิวิชันนั่นเอง ความคมชัดของภาพที่เห็นขึ้นอยู่กับว่าวัตถุนั้นๆ ดูชัดหรือสะท้อนแสงกลับได้เท่าไรซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพรูปร่าง และสีของวัตถุ เพราะฉะนั้นการเลือกแหล่งกำเนิดแสงในงานของวิชชันเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในระบบแมกซิวิชันนั้น

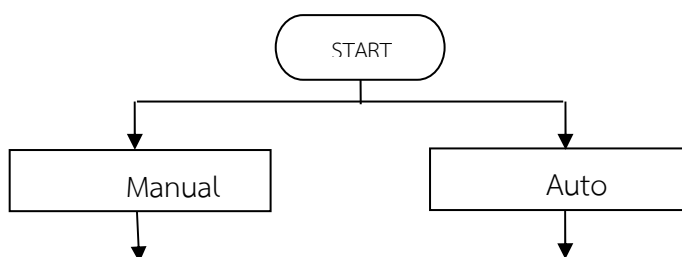
จะบันทึกภาพตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพไว้ในตัวกล้อง ซึ่งเป็นการสอนให้แมชชีน (Machine) รู้หรือจำภาพได้ ทำโดยอาศัยภาพต้นแบบ (Template) ซึ่งได้จากการคัดเลือกภาพที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากความคมชัด , ความสมบูรณ์ และความสว่างของภาพ มาเป็นตัวเปรียบเทียบกับภาพปัจจุบัน โดยแมชชีนวิชัน ในการประมวลผลข้อมูลภาพเป็นเครื่องมือตัดสินใจ ซึ่งภาพต้นแบบจะต้องสามารถเป็นตัวแทนของภาพทั้งหมดได้ เพราะฉะนั้นการที่เราเลือกใช้แสงให้ถูกต้องและควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้คงที่ในขณะที่บันทึกภาพต้นแบบและในขณะที่เดินเครื่องการผลิตจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมคุณภาพการผลิต



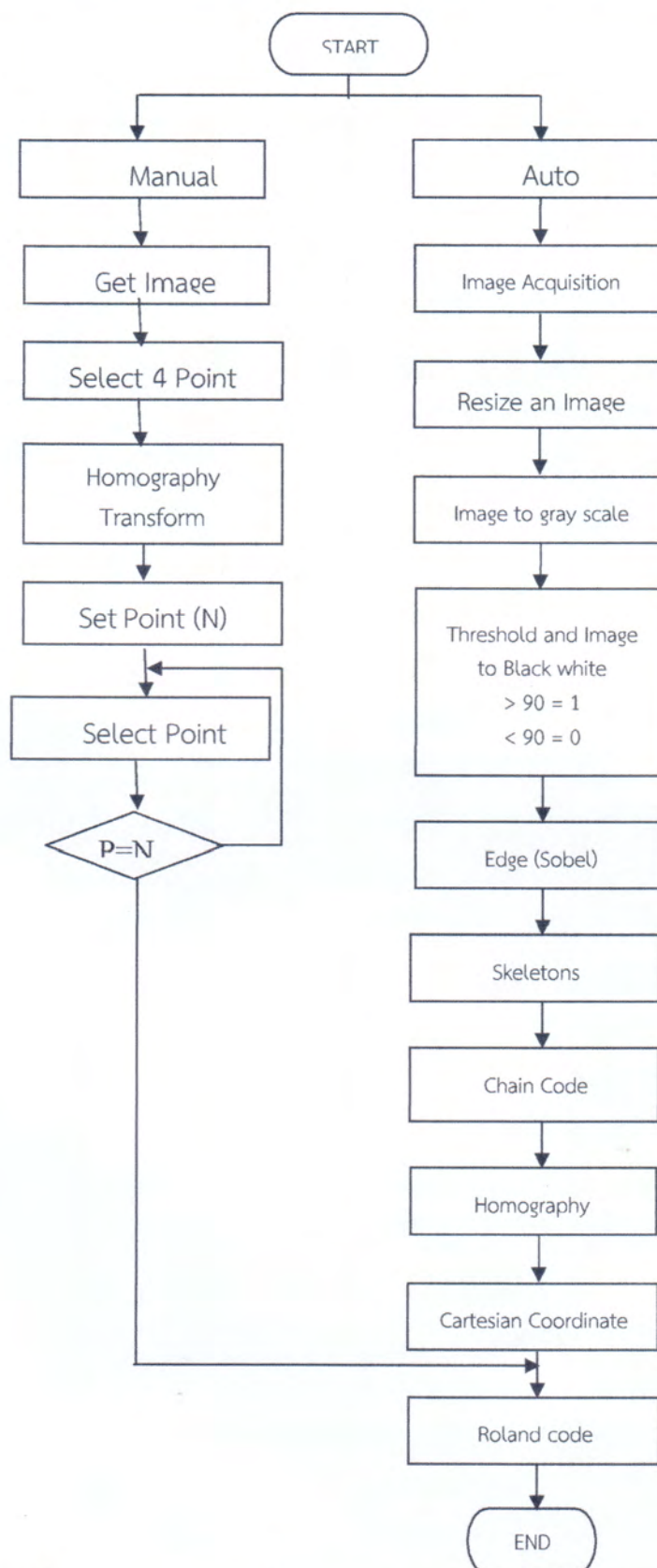
รูปที่ 3.11 แสดงรูปตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบส่องด้านหลัง

การเลือกแสงให้ถูกต้องเป็นส่วนสำคัญในการนำอุปกรณ์วิชันไปประยุกต์ใช้งานจริงในกระบวนการตรวจสอบถึงแม้ว่า อุปกรณ์กล้องวิชันจะมีประสิทธิภาพสูง หากใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ผลการตรวจสอบผิดพลาดได้ ดังนั้นหากเราเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมแล้วถึงแม้ว่าตัวอุปกรณ์จะสเปคไม่สูงมากก็จะสามารถให้ผลลัพธ์ ในการตรวจสอบที่ดีได้ ซึ่งก็จะเป็นการประหยัดเงินได้ทางหนึ่งเพราะไม่ต้องซื้อกล้องวิชันที่มีสเปคสูงเกินไป

### 3.9 ขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบการสร้างรหัสโลแลนส์



### 3.9 ขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบการสร้างรหัสโลแลนส์



รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลสร้างลายเส้น

### รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลสร้างลายเส้น

#### 3.10 หลักการเก็บตัวอย่างภาพของวัตถุที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงหลักการเก็บตัวอย่างภาพของวัตถุที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างภาพของวัตถุที่วางบนระนาบการทำงานของเครื่องจักรในมุมต่างๆ แล้วนำไปสร้างรหัส โรแลนด์โค้ด ของเส้นทางเดินของเครื่องกัดเครื่องพลอตเตอร์และเครื่องหยอดกาว



รูปที่ 3.13 แสดงการเก็บภาพตัวอย่าง

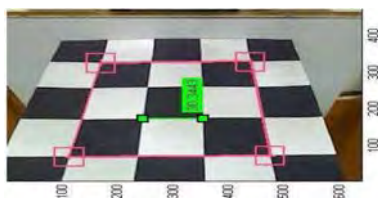
##### 3.10.1 การสอบเทียบ

ในการสอบเทียบจะใช้หลักการของ Homography Transform โดยใช้ตารางที่ทราบขนาดเพื่อจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง 4 จุดของพิกัดรูปภาพเทียบกับขนาดจริงในพิกัดจริงเพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่า Homography Matrix( $H$ ) ซึ่งเป็นค่าแพคเตอร์ที่นำไปแปลงค่าจากข้อมูลรูปภาพเป็นค่าในพิกัดจริง [3][10]



รูปที่ 3.14 ภาพสำหรับสอบเทียบกล้อง

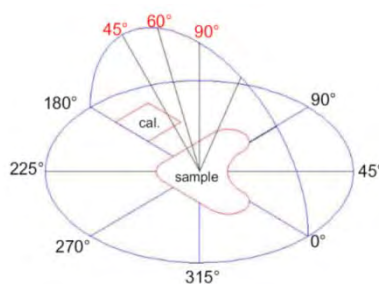
ขั้นตอนจะทำการกำหนดจุดแต่ละจุดและนำค่าที่ได้จากการกำหนดนี้ไปคำนวณตามสมการที่ (4) โดยการใช้ฟังก์ชัน SVD ที่เป็นการประมาณค่าแบบ Least Squares (LS) ในโปรแกรม Matlab เป็นตัวช่วยในการคำนวณหาค่า Homography Matrix( $H$ )ซึ่งผลลัพธ์นี้จะอยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ขนาด  $3 \times 3$  และสามารถนำค่า  $H$



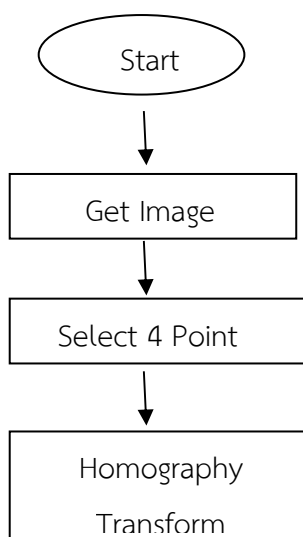
รูปที่ 3.15 ภาพแสดงผลการสอบเทียบ

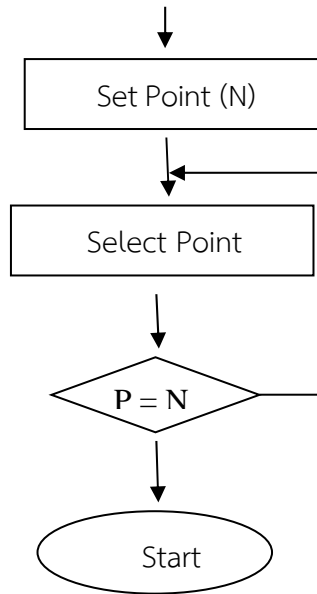
### 3.11 การทดสอบกระบวนการจับภาพ

งานวิจัยนี้แบ่งการทดสอบสองอย่างคือการแปลงรหัสแบบเลือกจุดมุมกล้องเก็บภาพตัวอย่าง 45,60,90 องศา



รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะการเก็บภาพตัวอย่าง



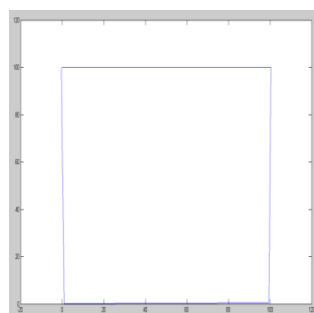


รูปที่ 3.17 แสดงขั้นตอนการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

### 3.12 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 90 องศา



รูปที่ 3.18 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

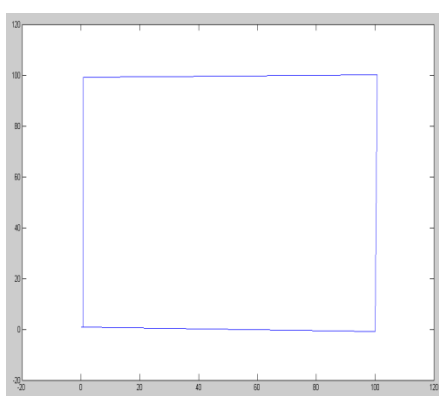


รูปที่ 3.19 แสดงขนาดของวัตถุ

## 3.13 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 60 องศา



รูปที่ 3.20 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

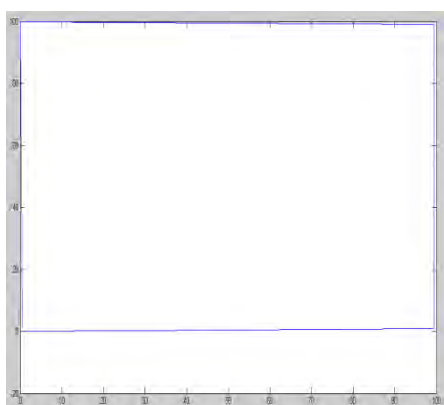


รูปที่ 3.21 แสดงขนาดของวัตถุ

## 3.14 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 45 องศา

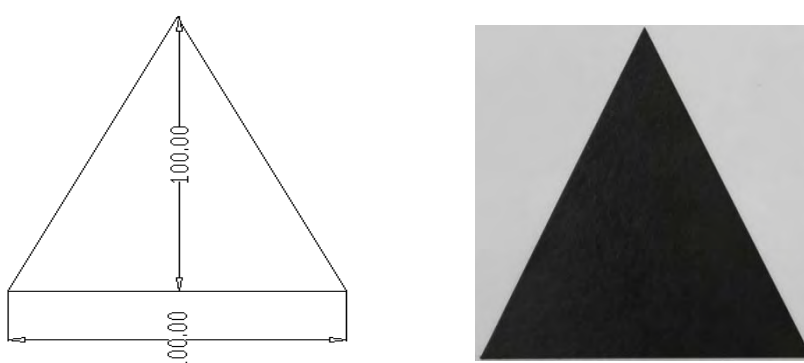


รูปที่ 3.22 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

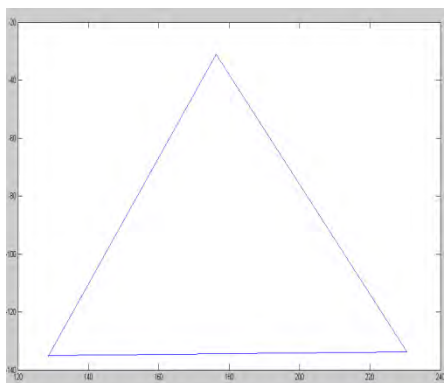


รูปที่ 3.23 แสดงขนาดของวัตถุ

### 3.15 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 90 องศา

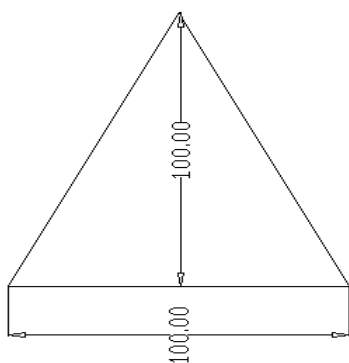


รูปที่ 3.24 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

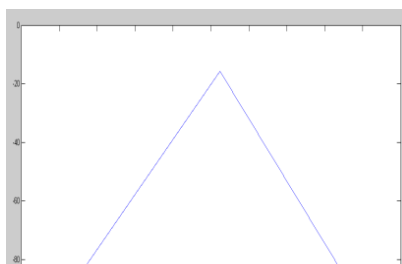


รูปที่ 3.25 แสดงขนาดของวัตถุ

### 3.16 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสามเหลี่ยมที่มีมุม 60 องศา

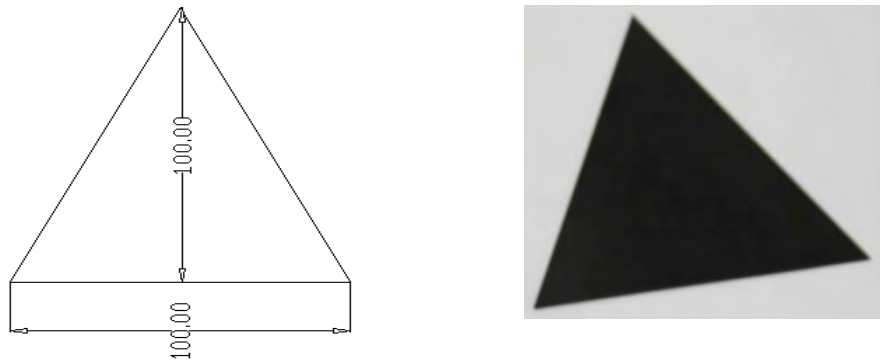


รูปที่ 3.26 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

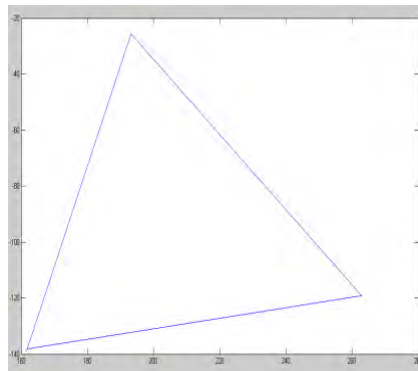


รูปที่ 3.27 แสดงขนาดของวัตถุ

### 3.17 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 45 องศา

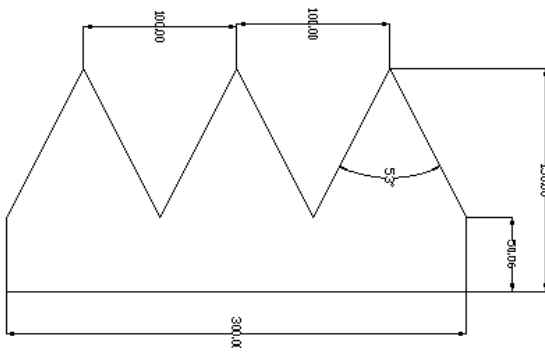


รูปที่ 3.28 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

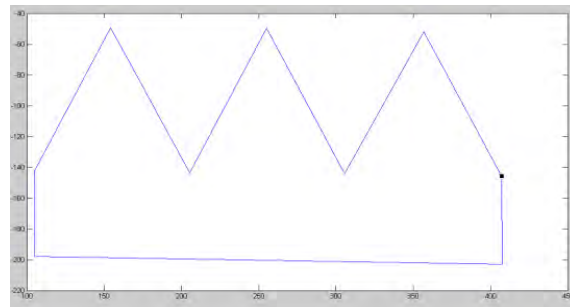


รูปที่ 3.29 แสดงขนาดของวัตถุ

## 3.18 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงหลายเหลี่ยมที่มุม 90 องศา

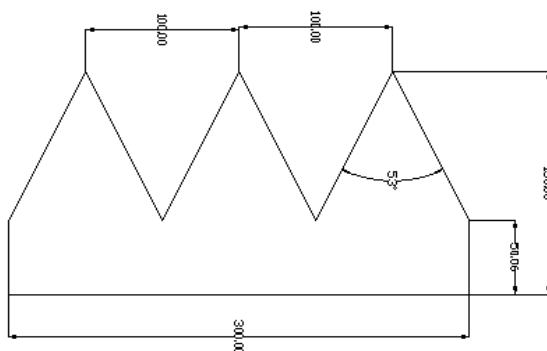


รูปที่ 3.30 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

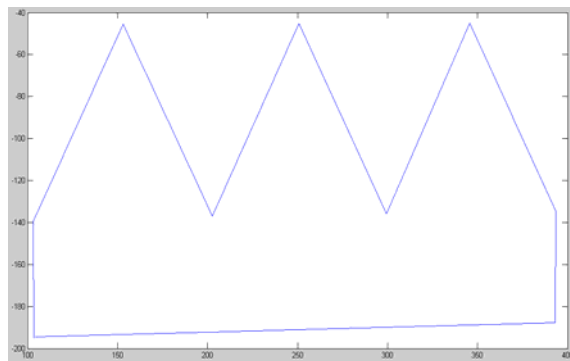


รูปที่ 3.31 แสดงขนาดของวัตถุ

## 3.19 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงหลายเหลี่ยมที่มุม 60 องศา

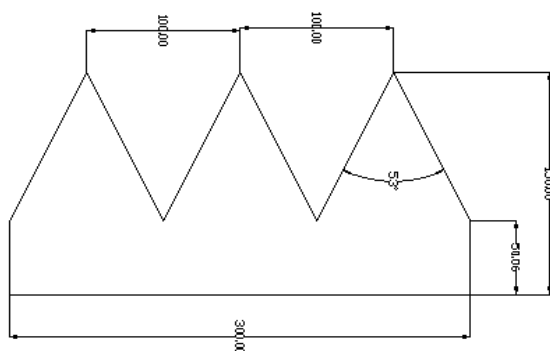


รูปที่ 3.32 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

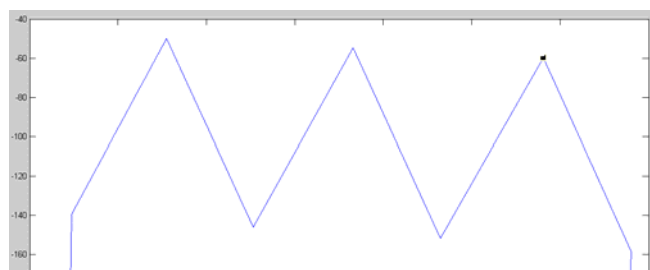


รูปที่ 3.33 แสดงขนาดของวัตถุ

3.20 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงหลายเหลี่ยมที่มุม 45 องศา

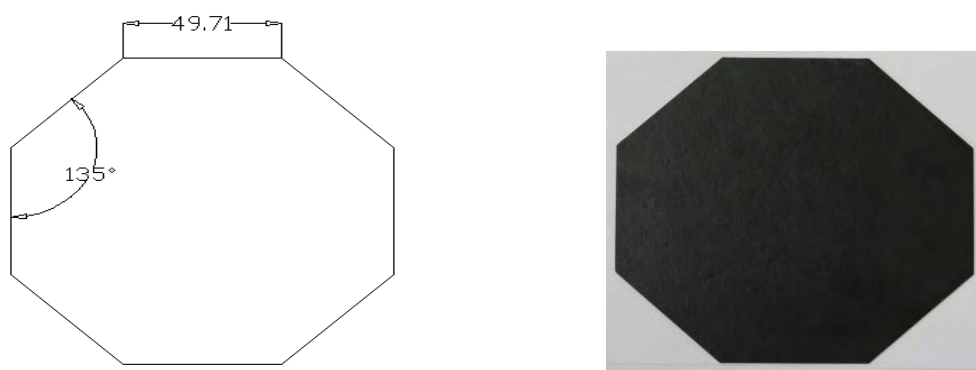


รูปที่ 3.34 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

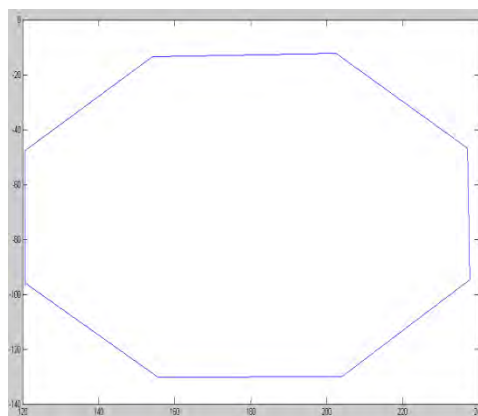


รูปที่ 3.35 แสดงขนาดของวัตถุ

## 3.21 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงแปดเหลี่ยมที่มุม 90 องศา

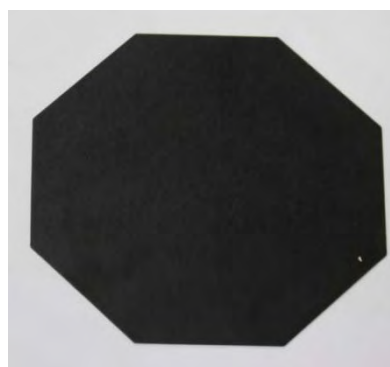
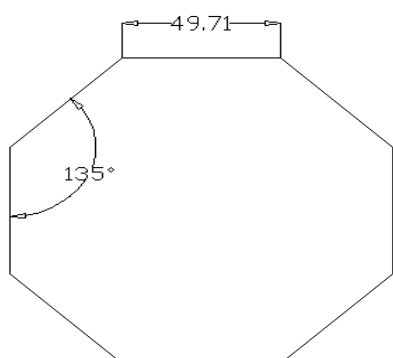


รูปที่ 3.36 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

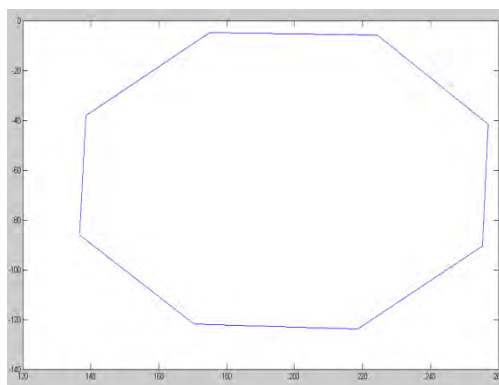


รูปที่ 3.37 แสดงขนาดของวัตถุ

## 3.22 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงแปดเหลี่ยมที่มุม 60 องศา

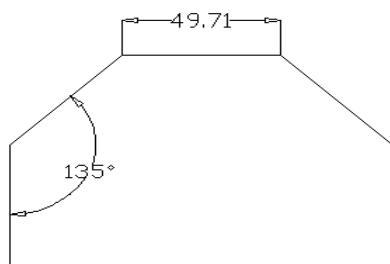


รูปที่ 3.38 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

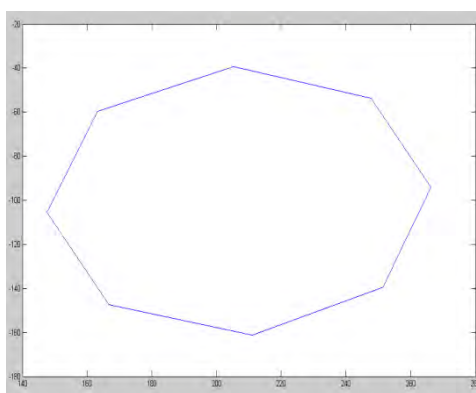


รูปที่ 3.39 แสดงขนาดของวัตถุ

## 3.23 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงแปดเหลี่ยมที่มุม 45 องศา

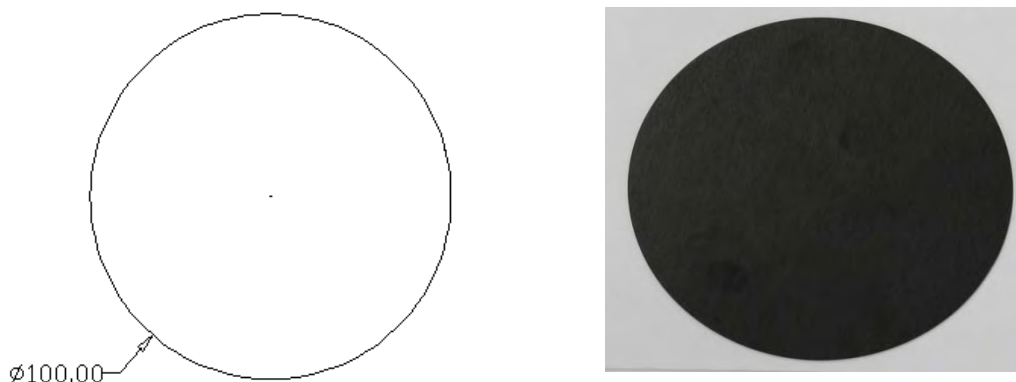


รูปที่ 3.40 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

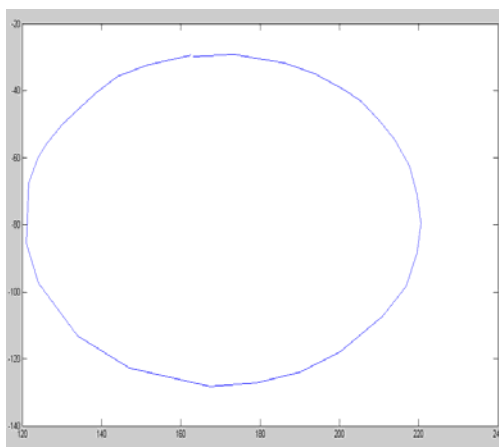


รูปที่ 3.41 แสดงขนาดของวัตถุ

### 3.24 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงกลมที่มีมุม 90 องศา

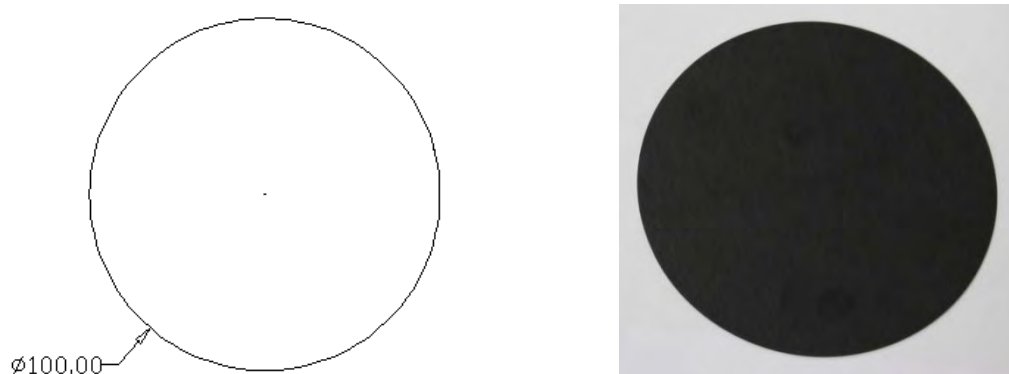


รูปที่ 3.42 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

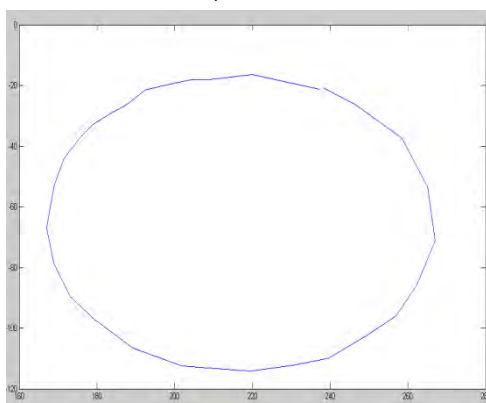


รูปที่ 3.43 แสดงขนาดของวัตถุ

### 3.25 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงกลมที่มีมุม 60 องศา

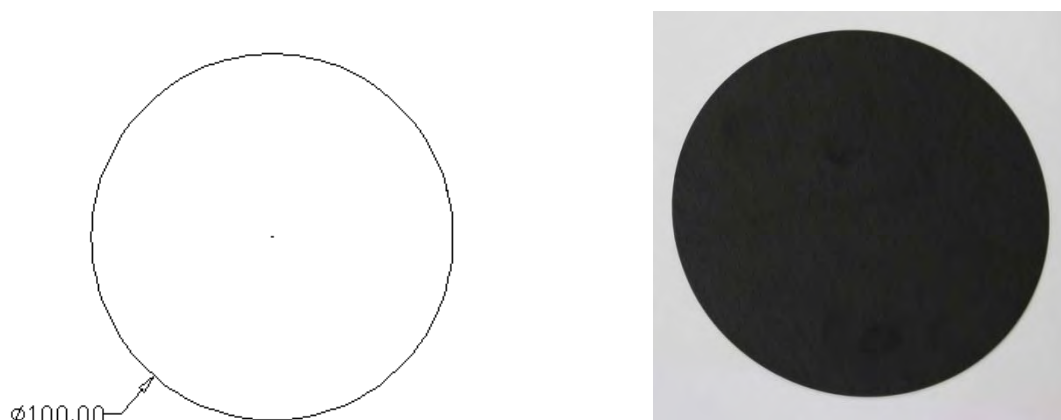


รูปที่ 3.44 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

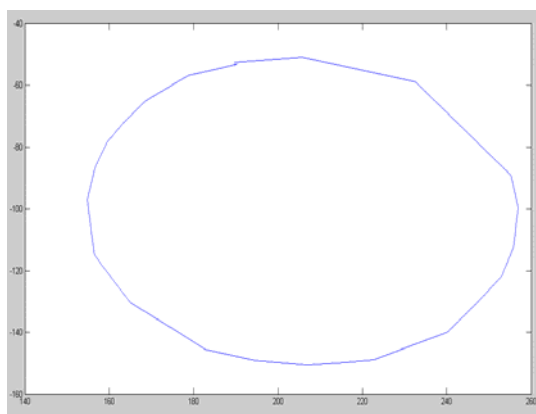


รูปที่ 3.45 แสดงขนาดของวัตถุ

### 3.26 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงกลมที่มีมุม 45 องศา

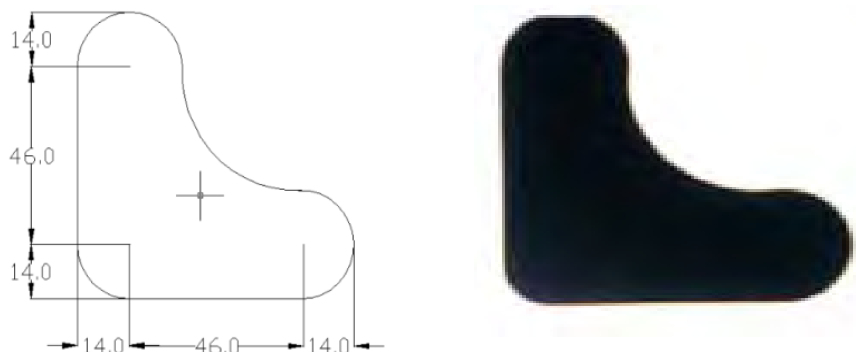


รูปที่ 3.46 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

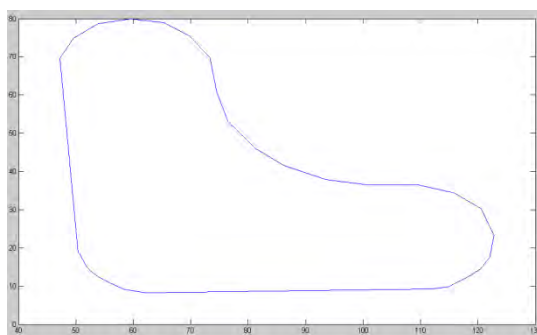


รูปที่ 3.47 แสดงขนาดของวัตถุ

### 3.27 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงอื่นๆที่มุม 90 องศา

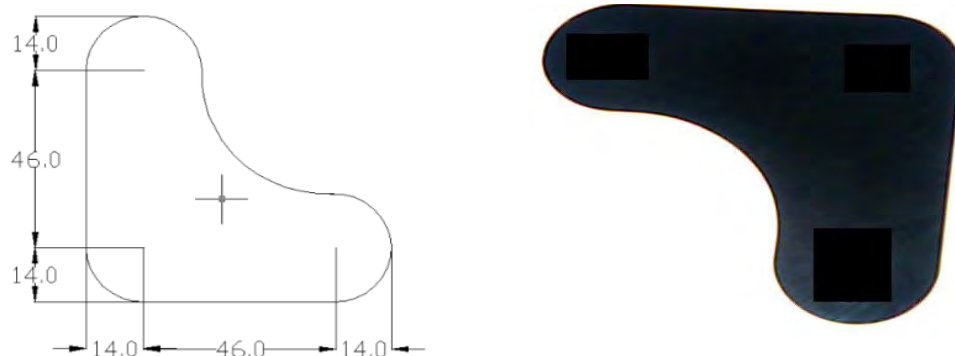


รูปที่ 3.48 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

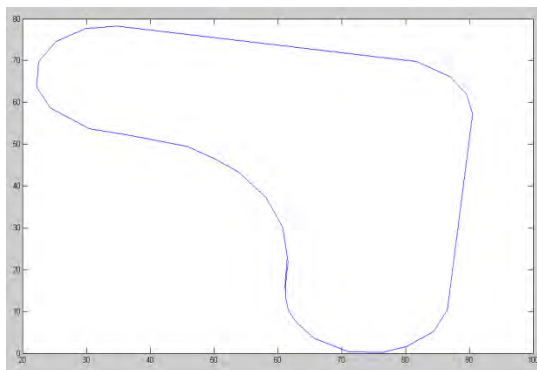


รูปที่ 3.49 แสดงขนาดของวัตถุ

### 3.28 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงอื่นๆที่มุม 60 องศา

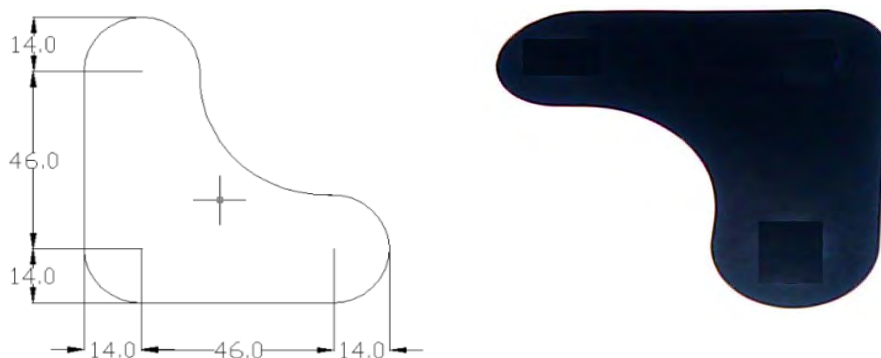


รูปที่ 3.50 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด

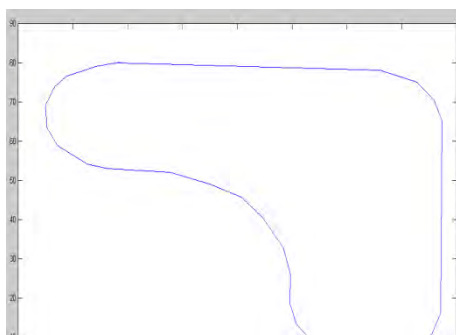


รูปที่ 3.51 แสดงขนาดของวัตถุ

### 3.29 การแปลงตำแหน่งแบบเลือกจุดรูปทรงอื่นๆที่มีมุม 45 องศา

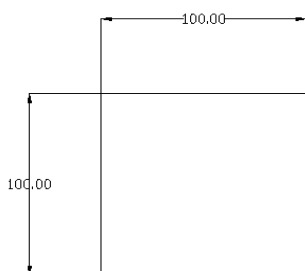


รูปที่ 3.52 แสดงวัตถุตัวอย่างในการแปลงรหัสแบบเลือกจุด



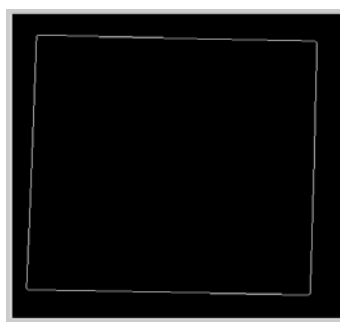
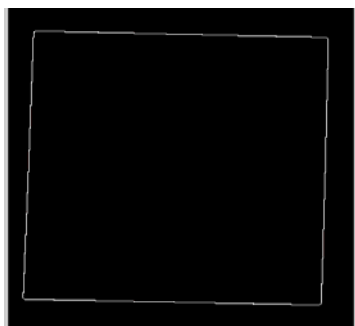
รูปที่ 3.53 แสดงขนาดของวัตถุ

## 3.30 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 90 องศา



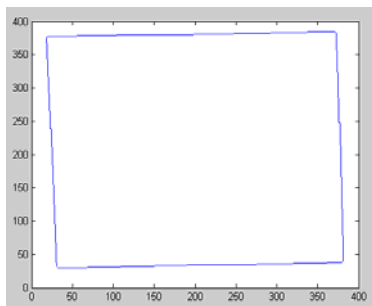
รูปที่ 3.54 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง

รูปที่ 3.55 แสดงภาพขาวดำ

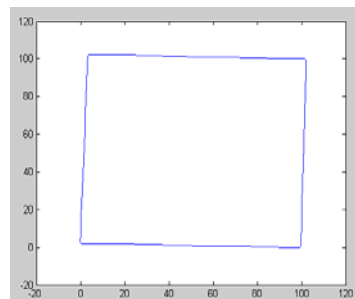


รูปที่ 3.56 แสดงภาพหา Sobel

รูปที่ 3.57 แสดงภาพหา Skeletons

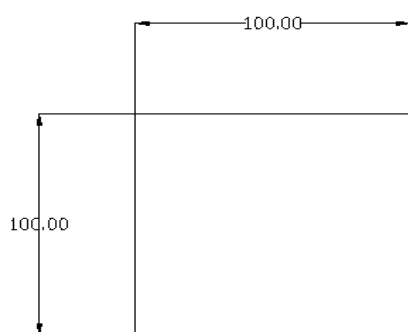


รูปที่ 3.58 แสดงภาพหา Chain Code



รูปที่ 3.59 แสดงภาพ Homography

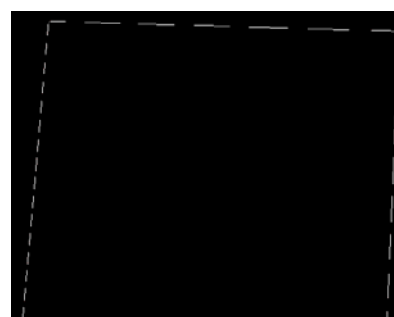
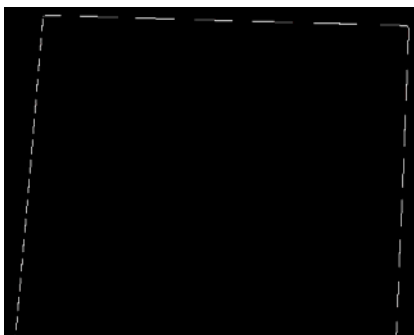
### 3.31 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 60 องศา



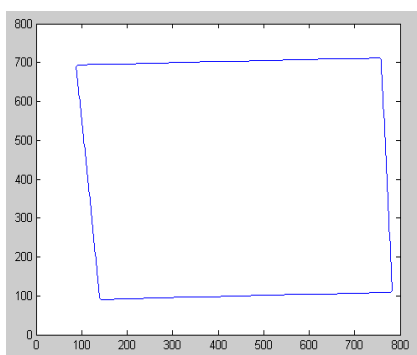
รูปที่ 3.60 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



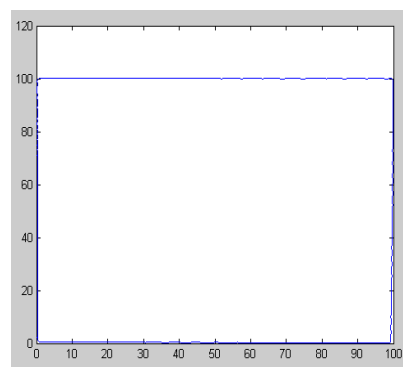
รูปที่ 3.61 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.62 แสดงภาพหา Sobel



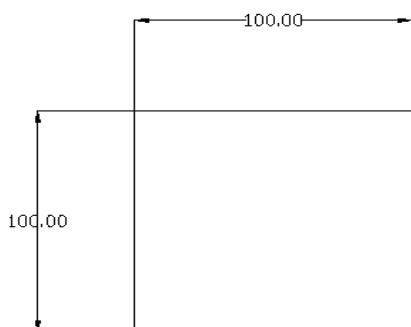
รูปที่ 3.63 แสดงภาพหา Skeletons



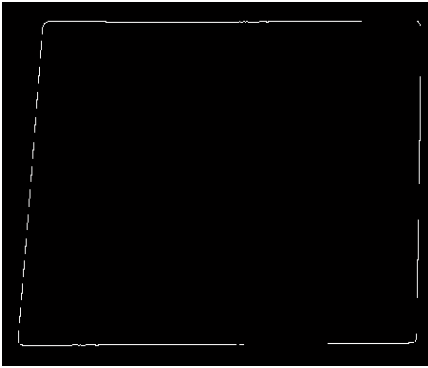
รูปที่ 3.64 แสดงภาพหา Chain Code

รูปที่ 3.65 แสดงภาพ Homography

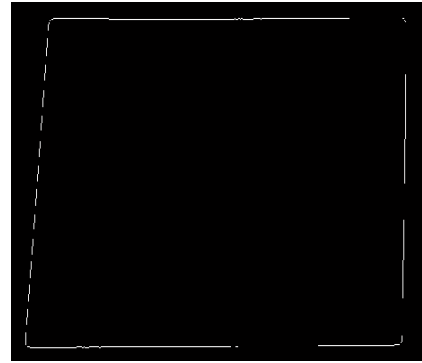
### 3.32 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มุม 45 องศา



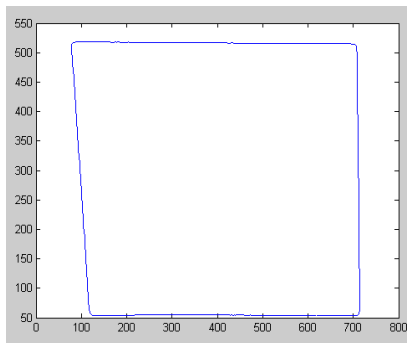
รูปที่ 3.66 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



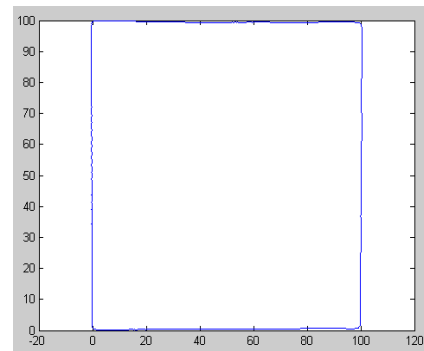
รูปที่ 3.67 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.68 แสดงภาพหา Sobel



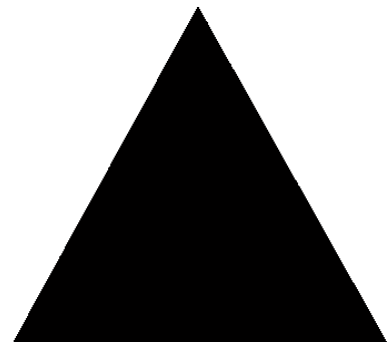
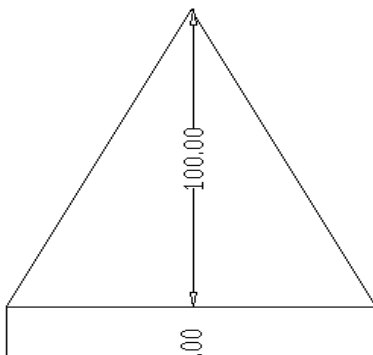
รูปที่ 3.69 แสดงภาพหา Skeletons



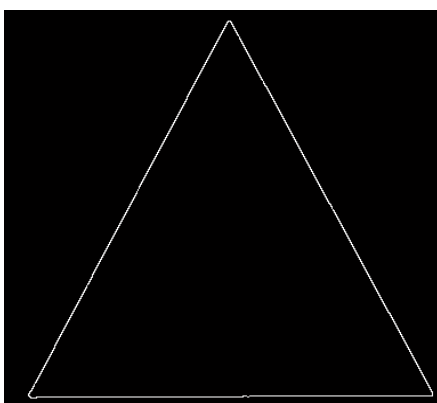
รูปที่ 3.70 แสดงภาพหา Chain Code

รูปที่ 3.71 แสดงภาพ Homography

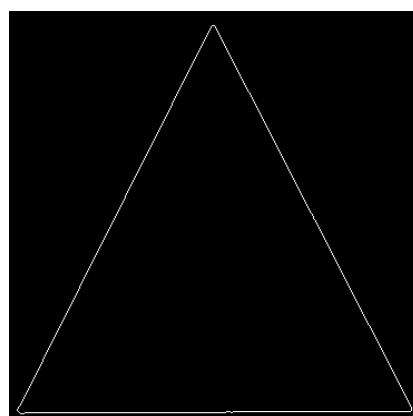
### 3.33 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 90 องศา



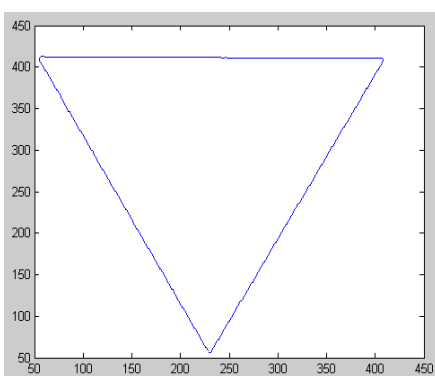
รูปที่ 3.72 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



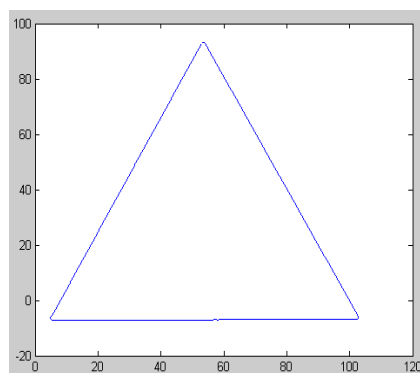
รูปที่ 3.73 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.74 แสดงภาพหา Sobel



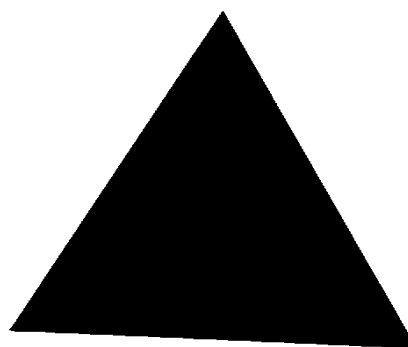
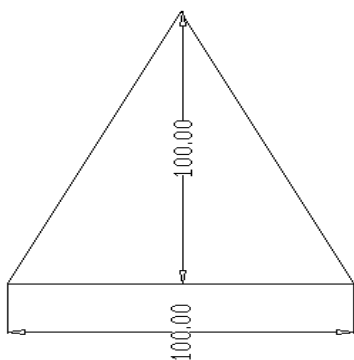
รูปที่ 3.75 แสดงภาพหา Skeletons



รูปที่ 3.76 แสดงภาพหา Chain Code

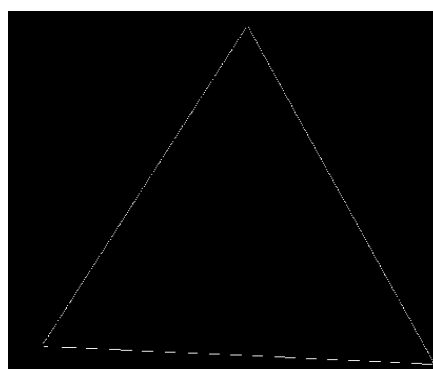
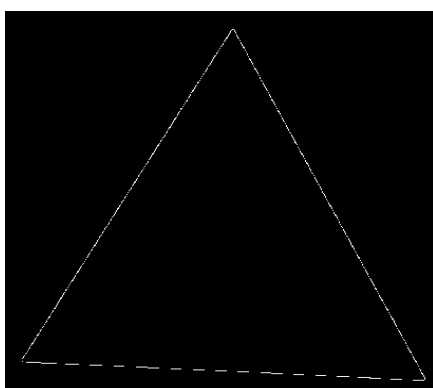
รูปที่ 3.77 แสดงภาพ Homography

### 3.34 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 60 องศา



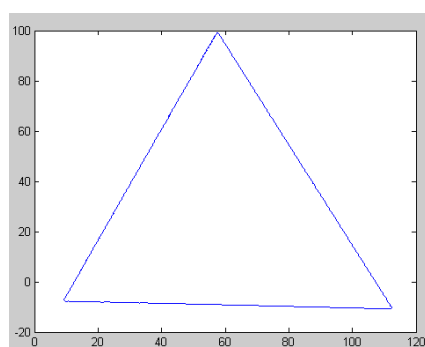
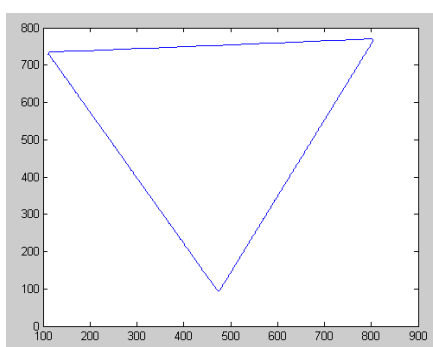
รูปที่ 3.78 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง

รูปที่ 3.79 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.80 แสดงภาพหา Sobel

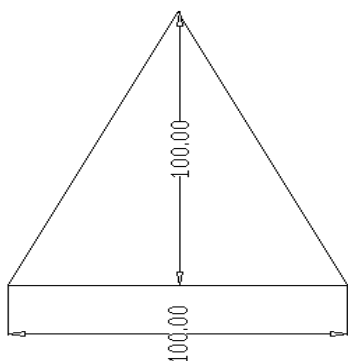
รูปที่ 3.81 แสดงภาพหา Skeletons



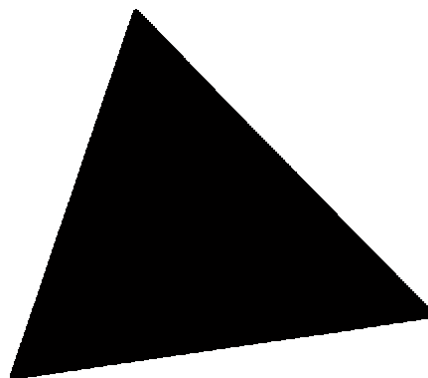
รูปที่ 3.82 แสดงภาพหา Chain Code

รูปที่ 3.83 แสดงภาพ Homography

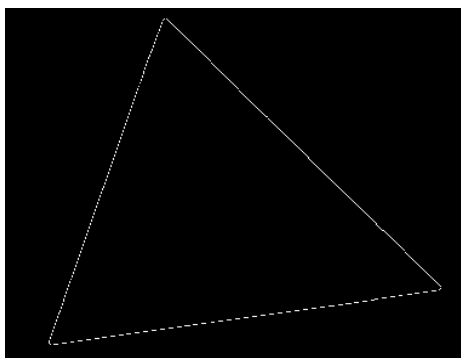
### 3.35 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงสามเหลี่ยมที่มุม 45 องศา



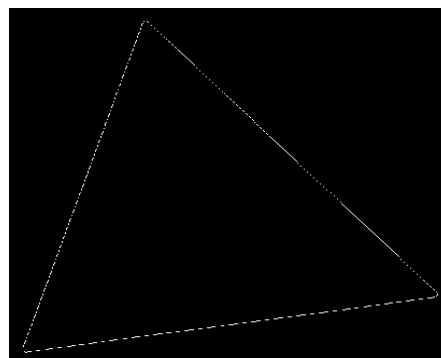
รูปที่ 3.84 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



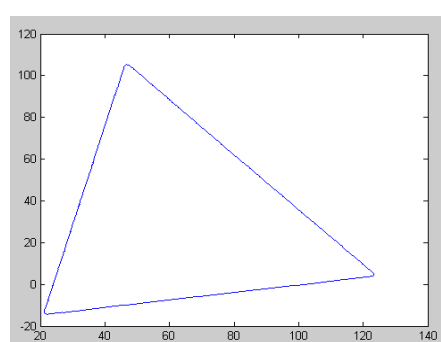
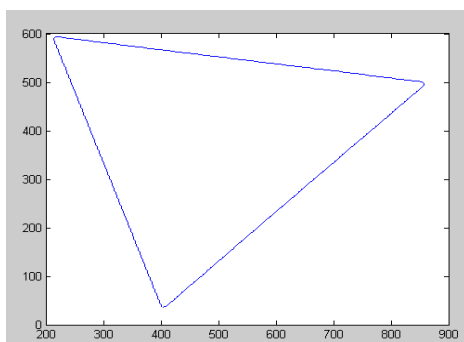
รูปที่ 3.85 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.86 แสดงภาพหา Sobel



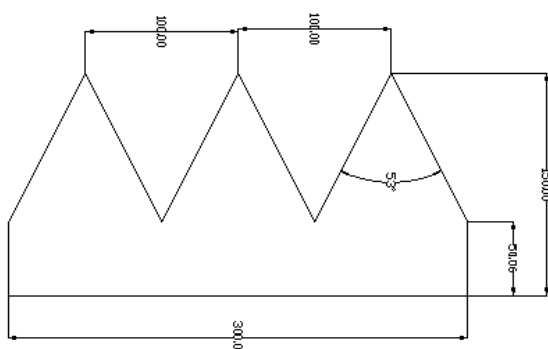
รูปที่ 3.87 แสดงภาพหา Skeletons



รูปที่ 3.88 แสดงภาพหา Chain Code

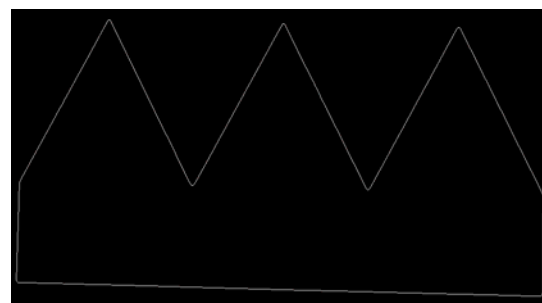
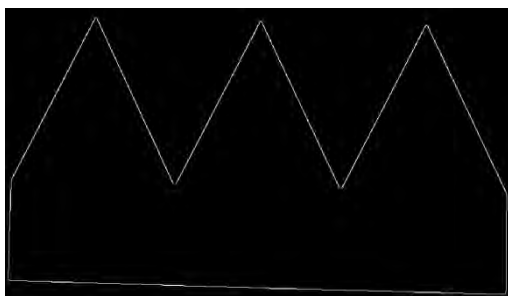
รูปที่ 3.89 แสดงภาพ Homography

## 3.36 การแปลงตำแหน่งแบบอโรรูปทรงหลายเหลี่ยมที่มุม 90 องศา



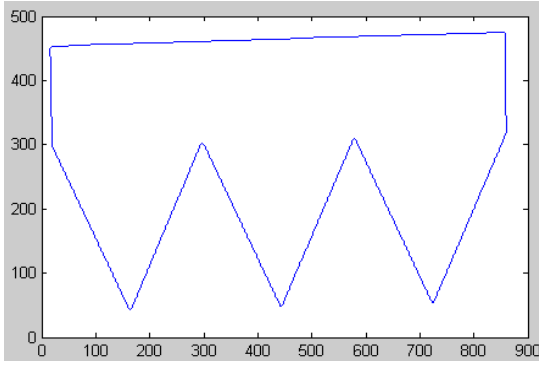
รูปที่ 3.90 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง

รูปที่ 3.91 แสดงภาพขาวดำ

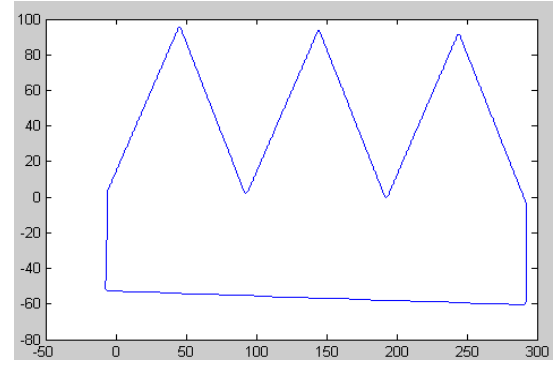


รูปที่ 3.92 แสดงภาพหา Sobel

รูปที่ 3.93 แสดงภาพหาSkeletons

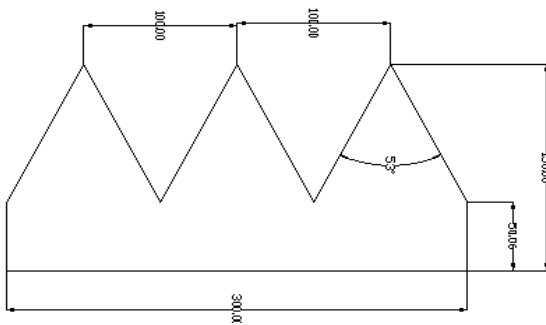


รูปที่ 3.94 แสดงภาพหา Chain Code



รูปที่ 3.95 แสดงภาพ Homography

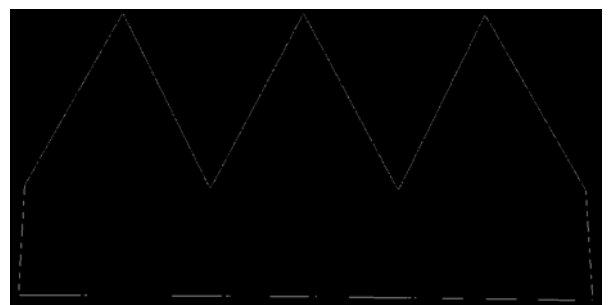
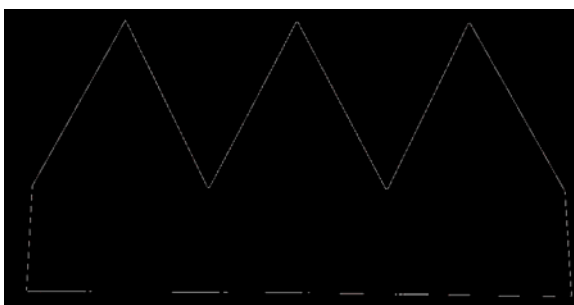
3.37 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงหลายเหลี่ยมที่มุม 60 องศา



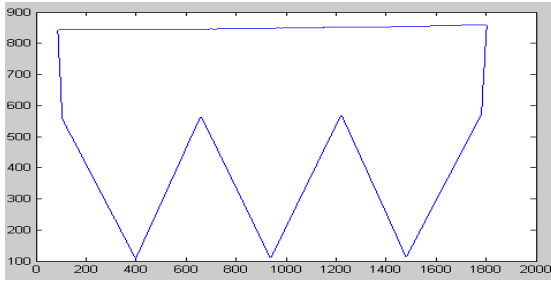
รูปที่ 3.96 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



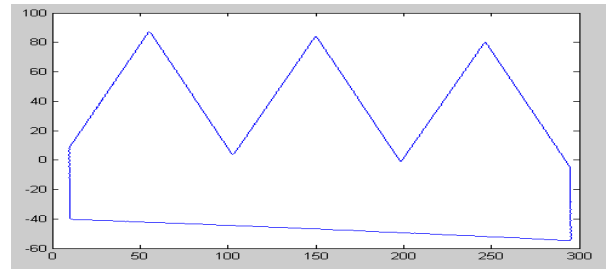
รูปที่ 3.97 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.98 แสดงภาพหา Sobel



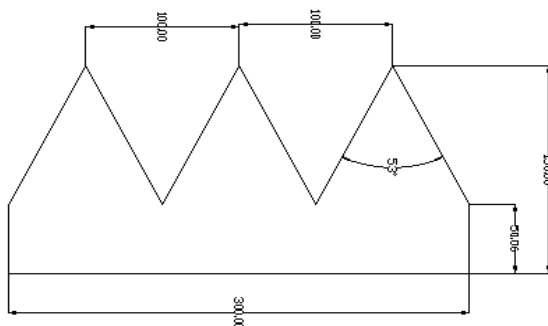
รูปที่ 3.99 แสดงภาพหา Skeletons



รูปที่ 3.100 แสดงภาพหา Chain Code

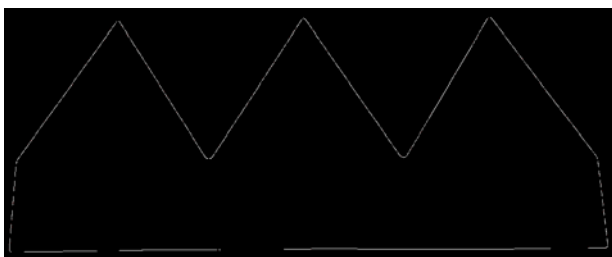
รูปที่ 3.101 แสดงภาพ Homography

3.38 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงหลายเหลี่ยมที่มุม 45 องศา

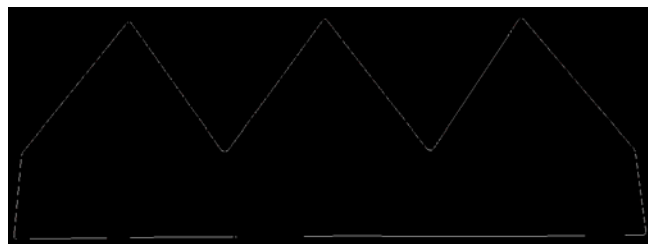


รูปที่ 3.102 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง

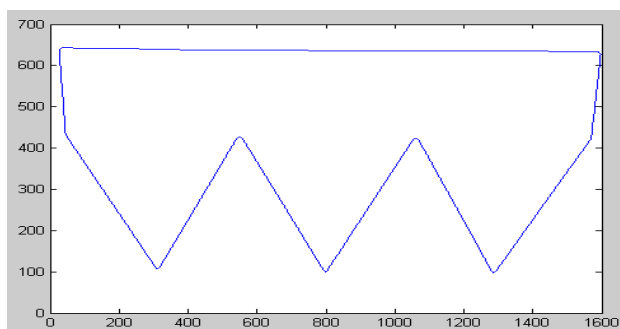
รูปที่ 3.103 แสดงภาพขาวดำ



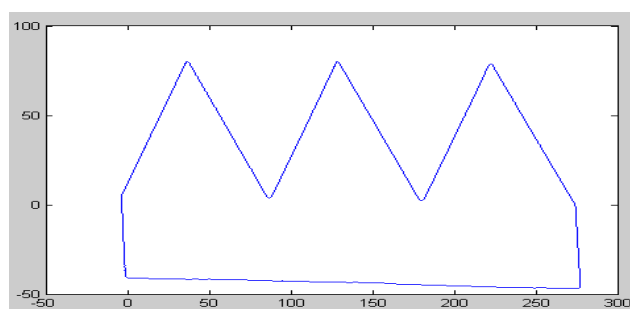
รูปที่ 3.104 แสดงภาพหา Sobel



รูปที่ 3.105 แสดงภาพหา Skeletons

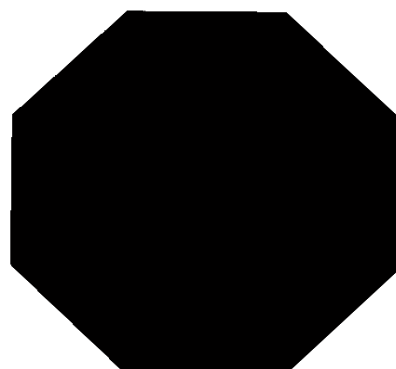
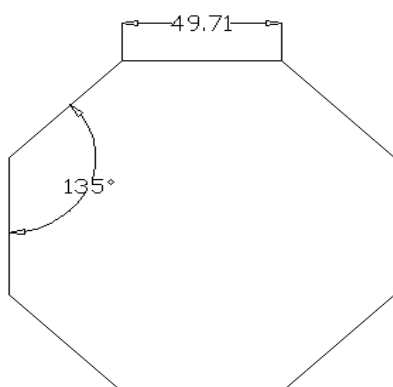


รูปที่ 3.106 แสดงภาพหา Chain Code

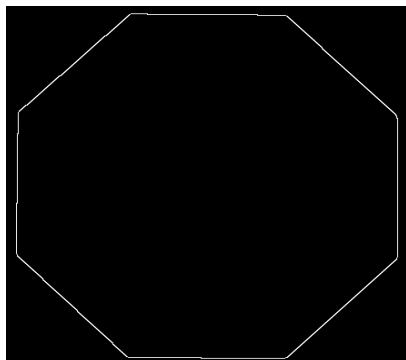


รูปที่ 3.107 แสดงภาพ Homography

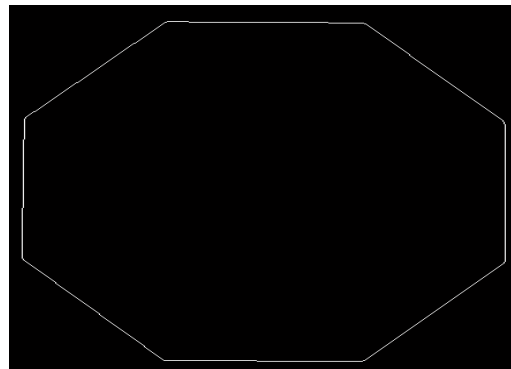
### 3.39 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงแปดเหลี่ยมที่มุม 90 องศา



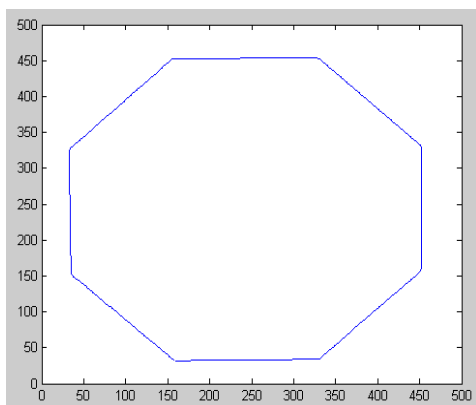
รูปที่ 3.108 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



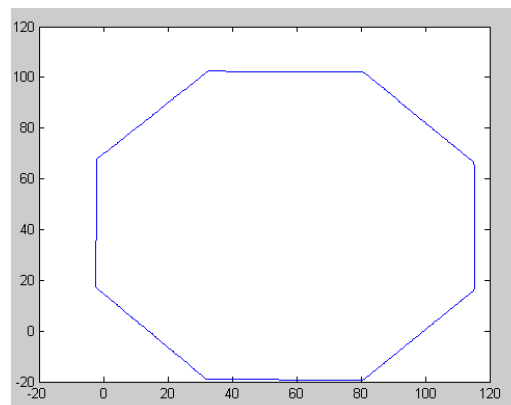
รูปที่ 3.109 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.110 แสดงภาพหา Sobel



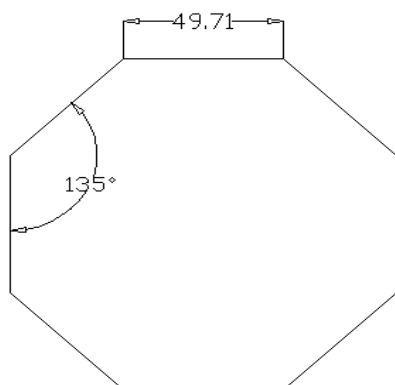
รูปที่ 3.111 แสดงภาพหา Skeletons



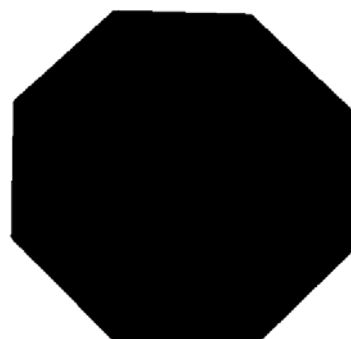
รูปที่ 3.112 แสดงภาพหา Chain Code

รูปที่ 3.113 แสดงภาพ Homography

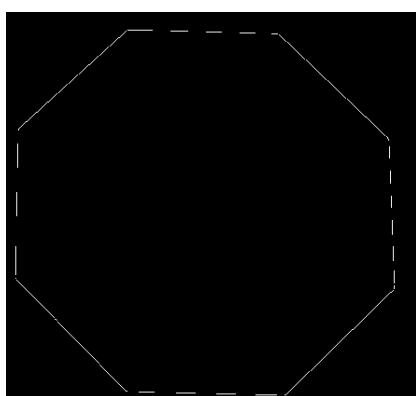
### 3.40 การแปลงตำแหน่งแบบอโรทรูปทรงแปดเหลี่ยมที่มีมุม 60 องศา



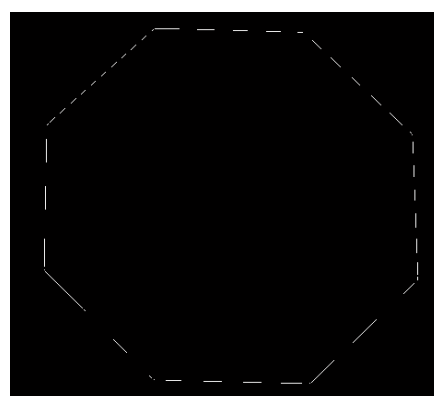
รูปที่ 3.114 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



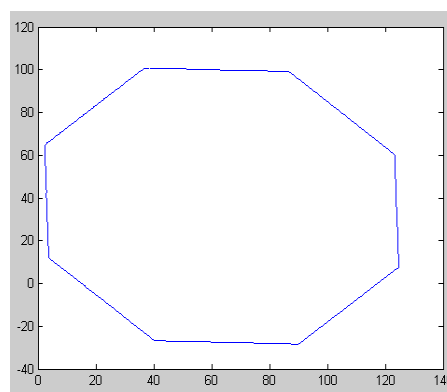
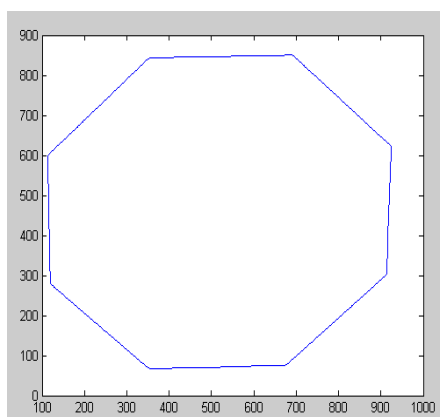
รูปที่ 3.115 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.116 แสดงภาพหา Sobel



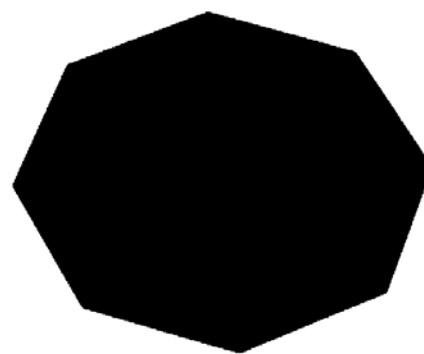
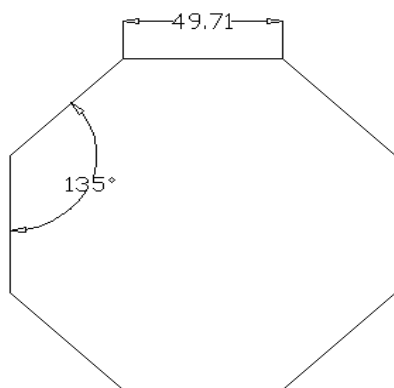
รูปที่ 3.117 แสดงภาพหา Skeletons



รูปที่ 3.118 แสดงภาพหา Chain Code

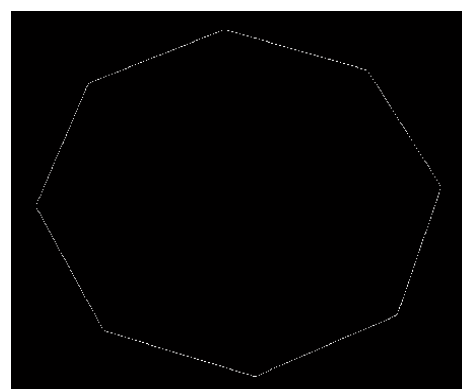
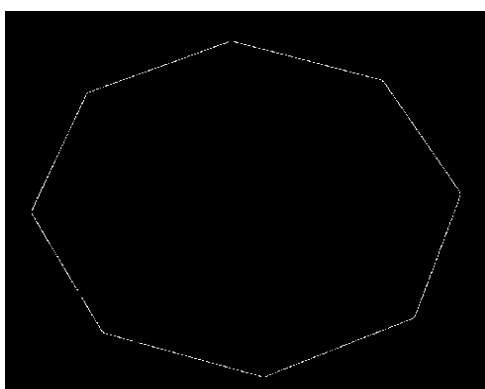
รูปที่ 3.119 แสดงภาพ Homography

## 3.41 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงแปดเหลี่ยมที่มุม 45 องศา



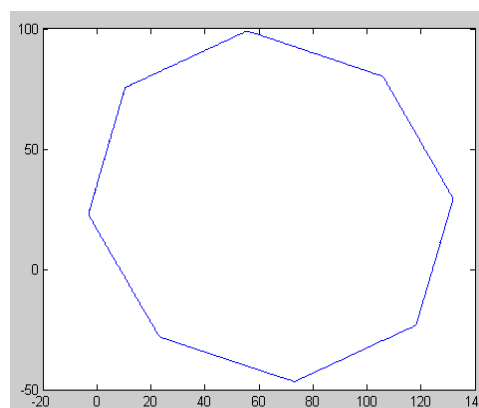
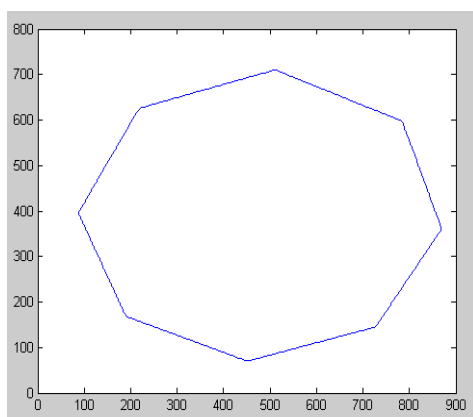
รูปที่ 3.120 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง

รูปที่ 3.121 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.122 แสดงภาพหา Sobel

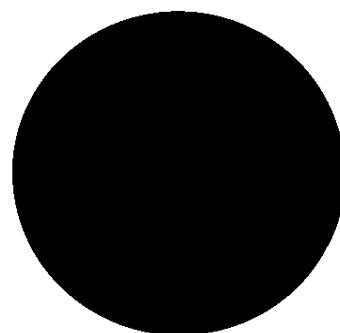
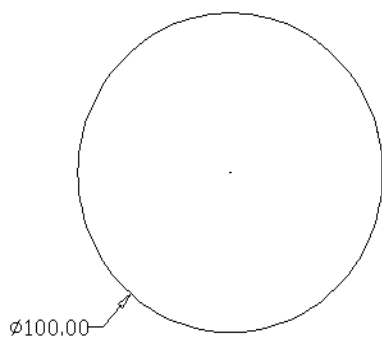
รูปที่ 3.123 แสดงภาพหา Skeletons



รูปที่ 3.124 แสดงภาพหา Chain Code

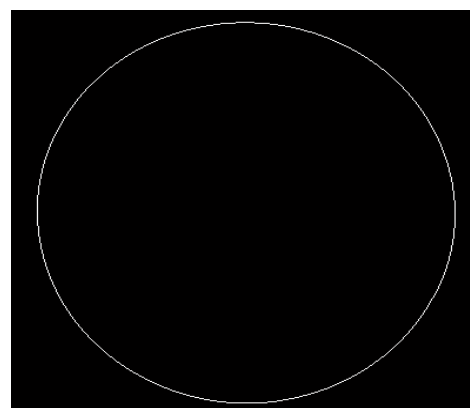
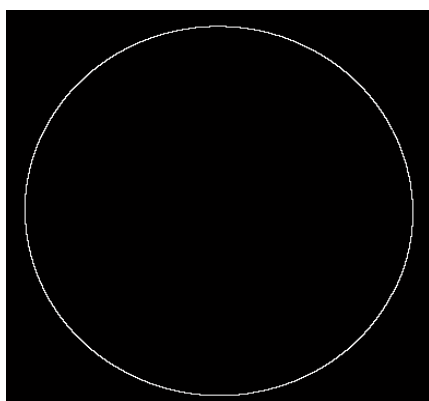
รูปที่ 3.125 แสดงภาพ Homography

## 3.42 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงกลมที่มุม 90 องศา



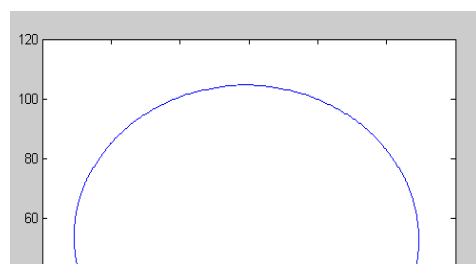
รูปที่ 3.126 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง

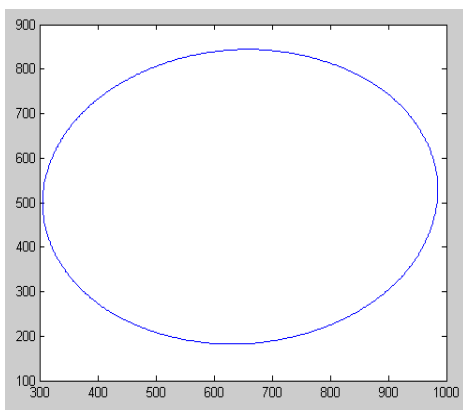
รูปที่ 3.127 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.128 แสดงภาพหา Sobel

รูปที่ 3.129 แสดงภาพหา Skeletons

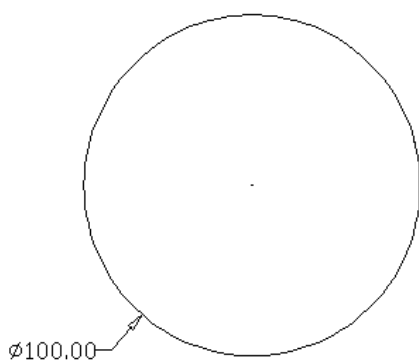




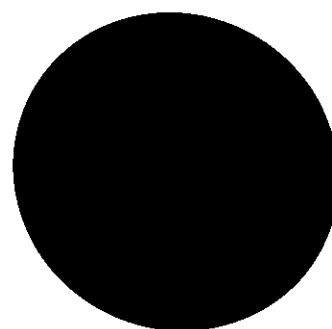
รูปที่ 3.130 แสดงภาพหา Chain Code

รูปที่ 3.131 แสดงภาพ Homography

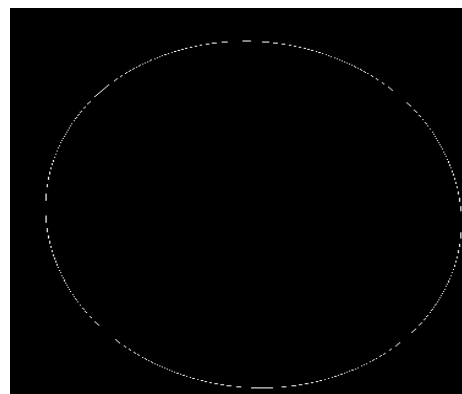
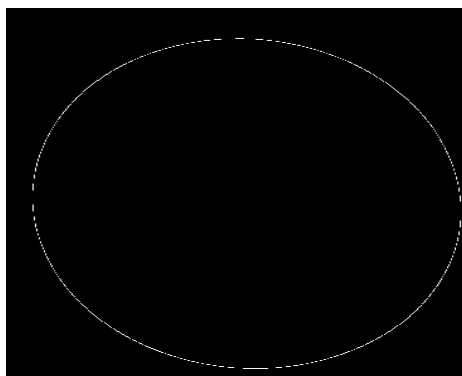
### 3.43 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงกลมที่มุม 60 องศา



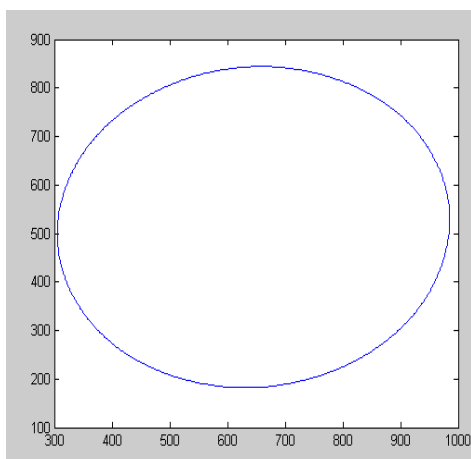
รูปที่ 3.132 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



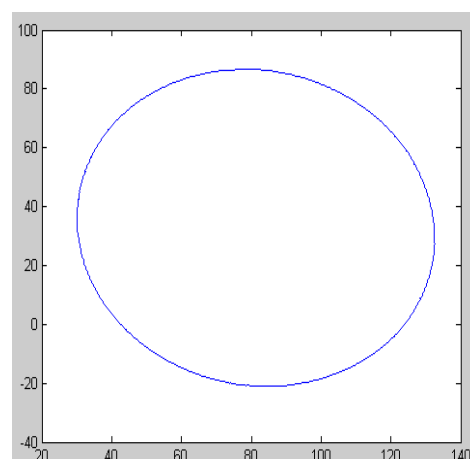
รูปที่ 3.133 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.134 แสดงภาพหา Sobel



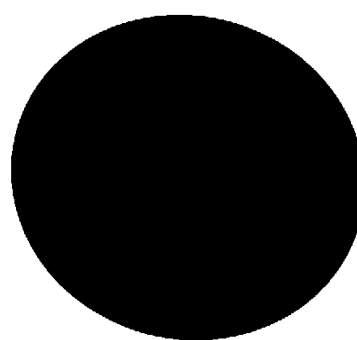
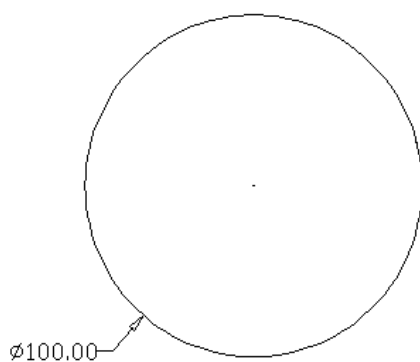
รูปที่ 3.135 แสดงภาพหา Skeletons



รูปที่ 3.136 แสดงภาพหา Chain Code

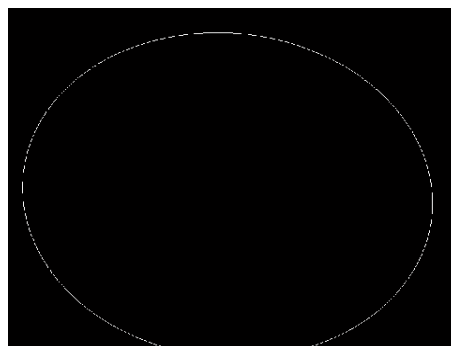
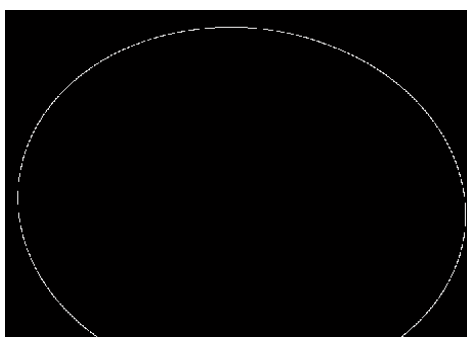
รูปที่ 3.137 แสดงภาพ Homography

### 3.44 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงกลมที่มุม 45 องศา

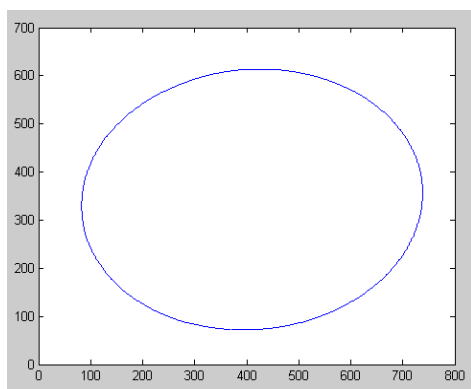


รูปที่ 3.138 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง

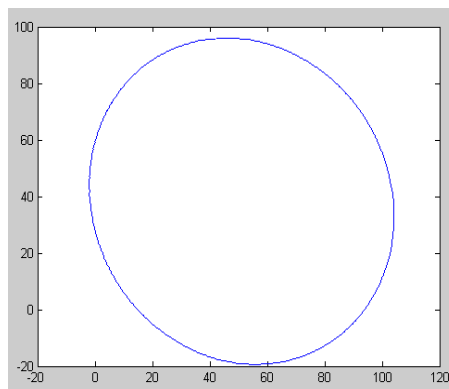
รูปที่ 3.139 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.140 แสดงภาพหา Sobel



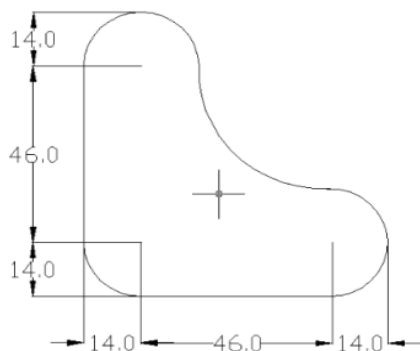
รูปที่ 3.141 แสดงภาพหาSkeletons



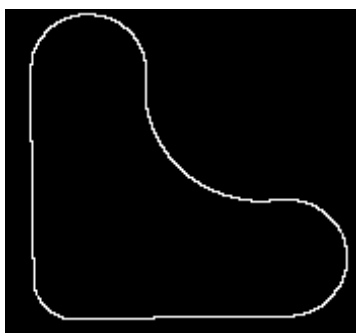
รูปที่ 3.142 แสดงภาพหา Chain Code

รูปที่ 3.143 แสดงภาพ Homography

### 3.45 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงอื่นๆที่มุม 90 องศา



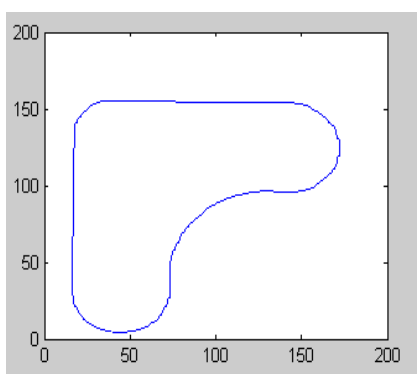
รูปที่ 3.144 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



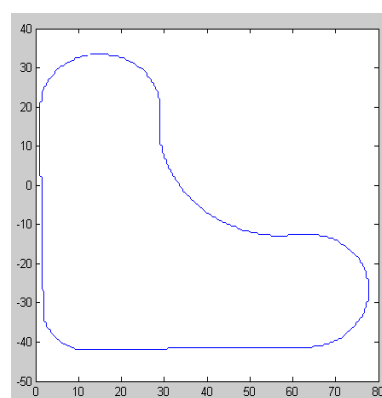
รูปที่ 3.145 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.146 แสดงภาพหา Sobel



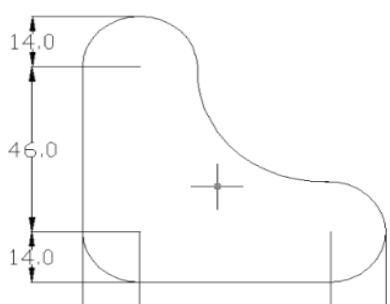
รูปที่ 3.147 แสดงภาพหา Skeletons



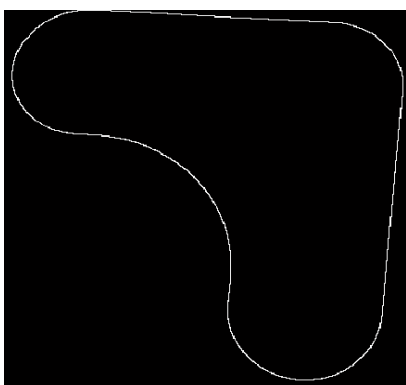
รูปที่ 3.148 แสดงภาพหา Chain Code

รูปที่ 3.149 แสดงภาพHomography

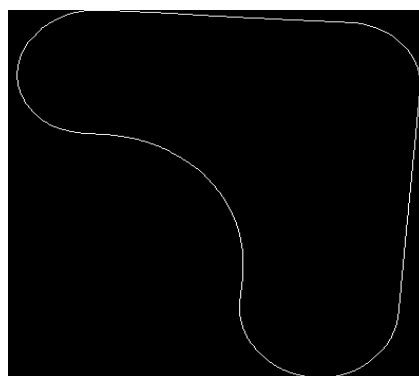
### 3.46 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงอื่นๆ ที่มุม 60 องศา



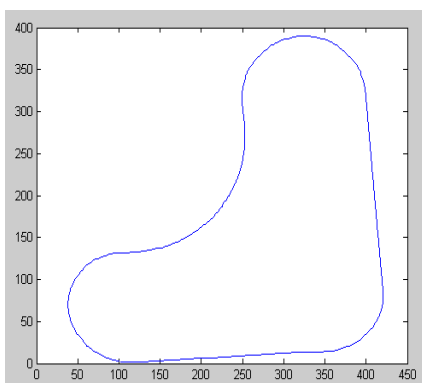
รูปที่ 3.150 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง



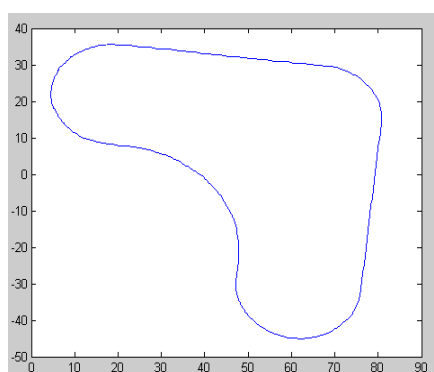
รูปที่ 3.151 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.152 แสดงภาพหา Sobel



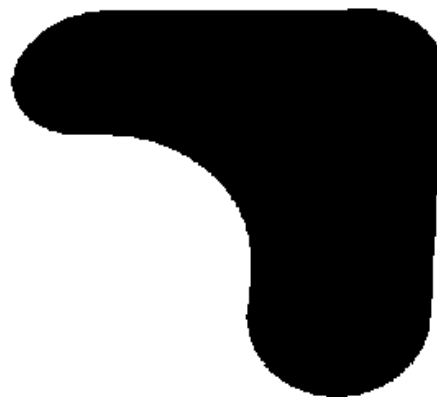
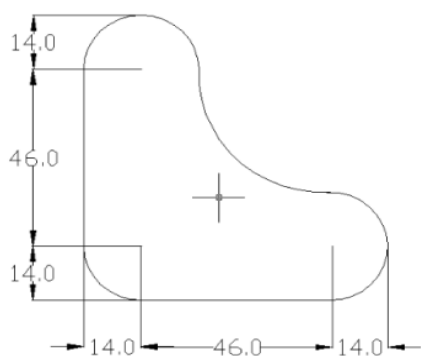
รูปที่ 3.153 แสดงภาพหา Skeletons



รูปที่ 3.154 แสดงภาพหา Chain Code

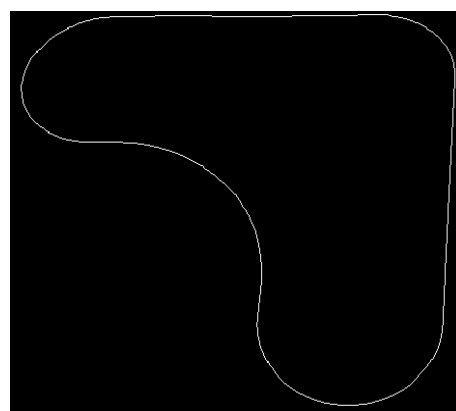
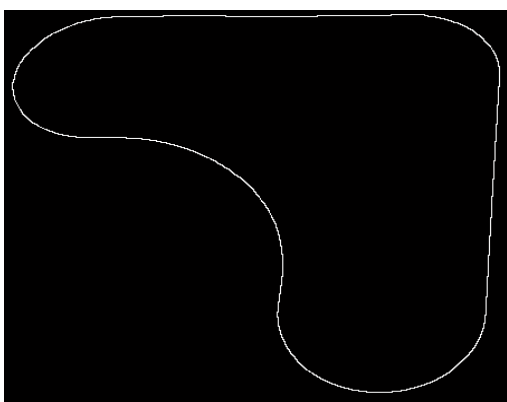
รูปที่ 3.155 แสดงภาพ Homography

### 3.47 การแปลงตำแหน่งแบบอโตรูปทรงอื่นๆ ที่มีมุม 45 องศา



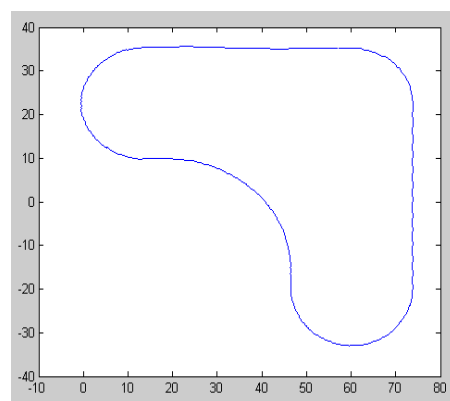
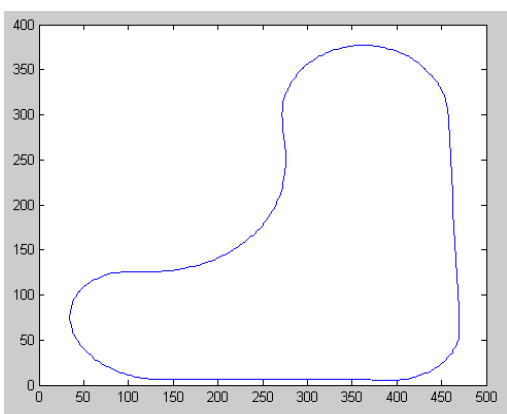
รูปที่ 3.156 แสดงขนาดของวัตถุตัวอย่าง

รูปที่ 3.157 แสดงภาพขาวดำ



รูปที่ 3.158 แสดงภาพหา Sobel

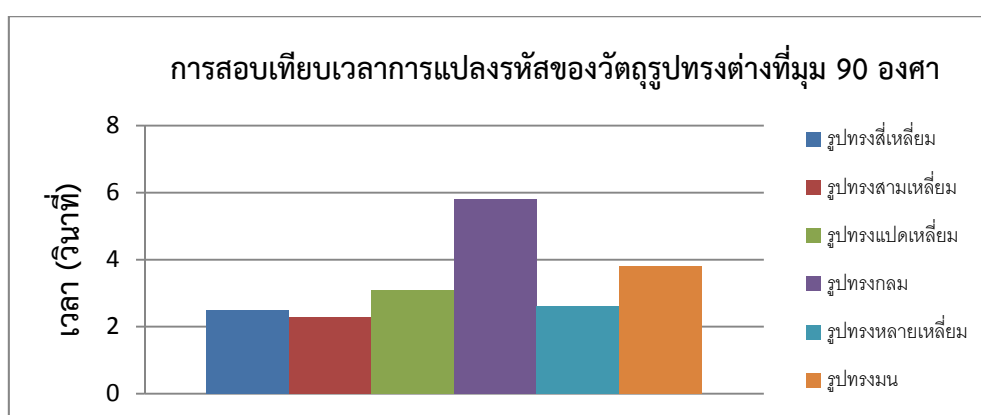
รูปที่ 3.159 แสดงภาพ Skeletons



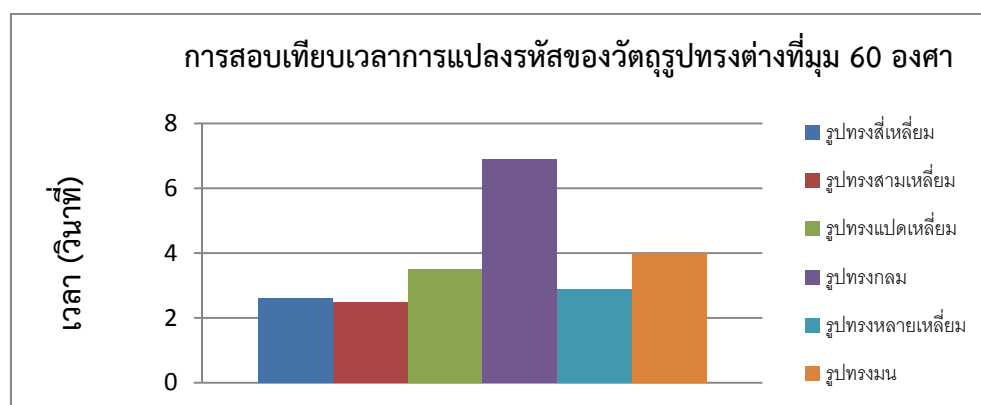
รูปที่ 3.160 แสดงภาพหา Chain Code

รูปที่ 3.161 แสดงภาพ Homography

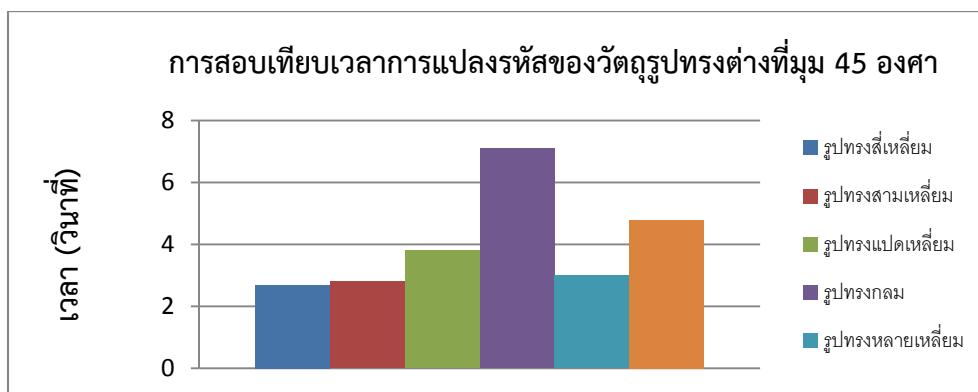
### 3.48 การสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสแบบเลือกจุดรูปทรงต่างๆที่มุม 90,60,45 องศา



รูปที่ 3.162 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 90 องศา

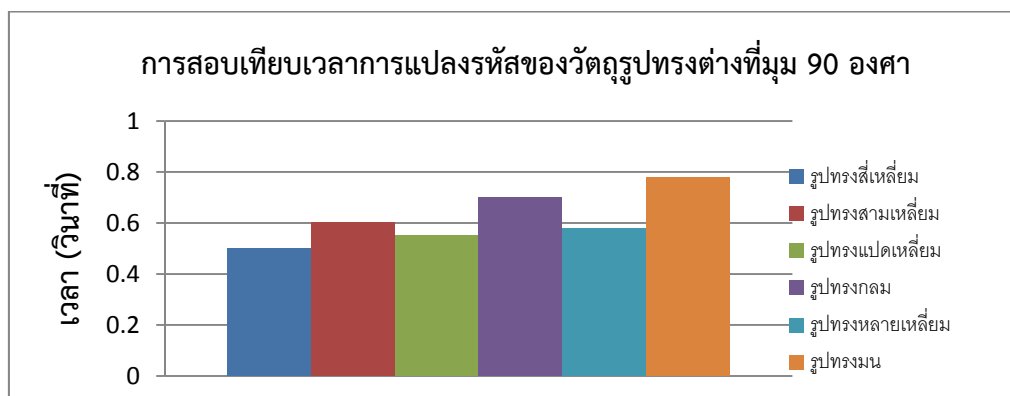


รูปที่ 3.163 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 60 องศา

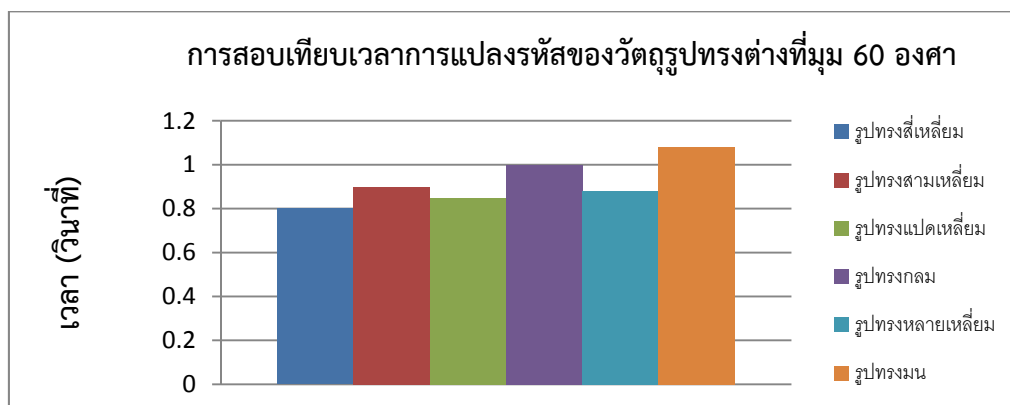


รูปที่ 3.164 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 45 องศา

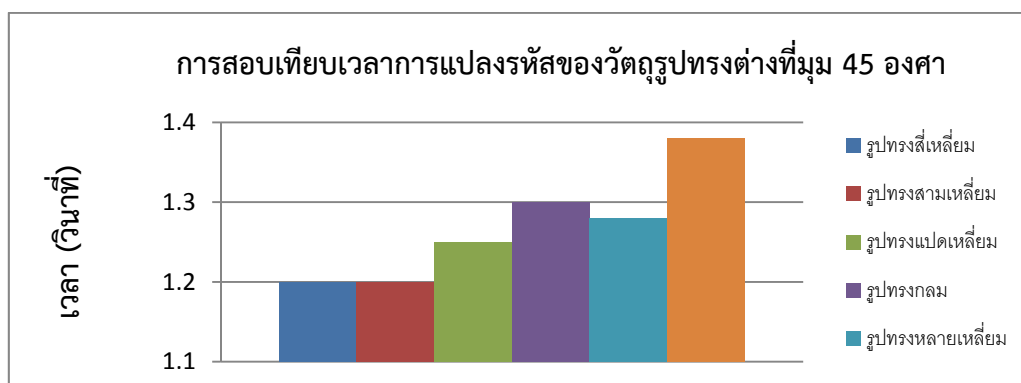
### 3.49 การสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสแบบอัตโนมัติรูปทรงต่างที่มุม 90,60,45 องศา



รูปที่ 3.165 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 90 องศา

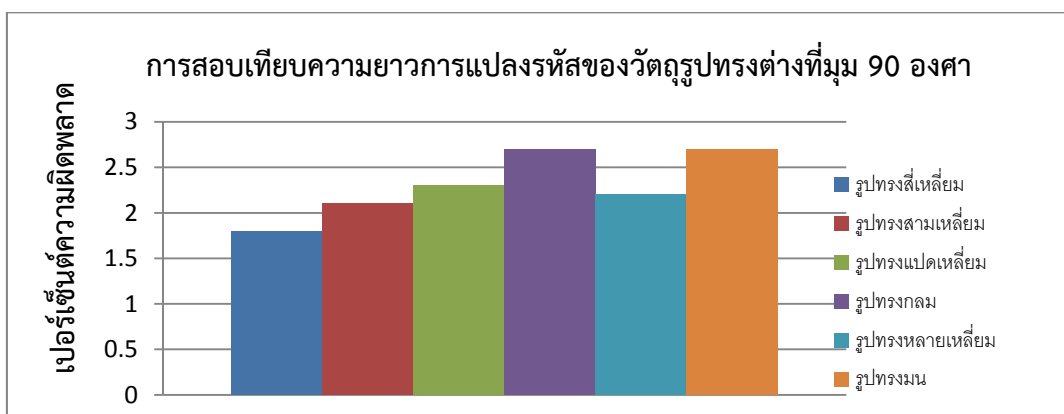


รูปที่ 3.166 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 60 องศา

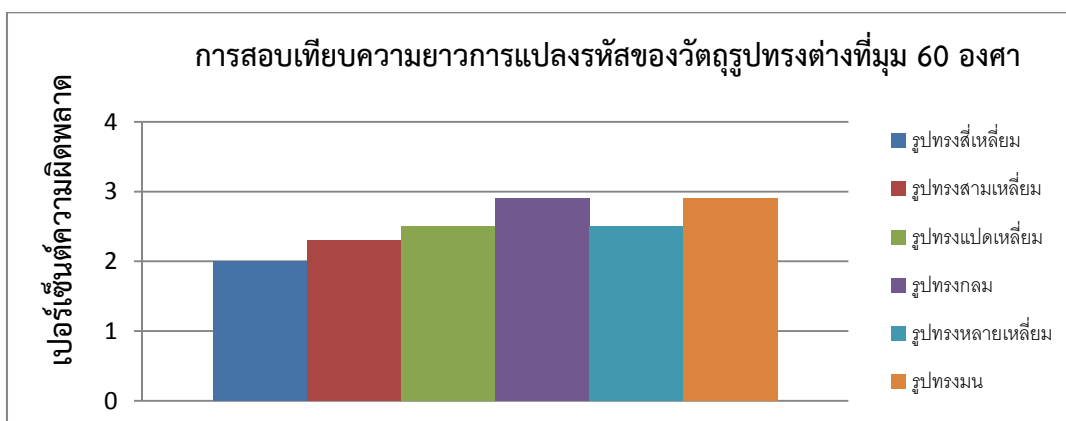


รูปที่ 3.167 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 45 องศา

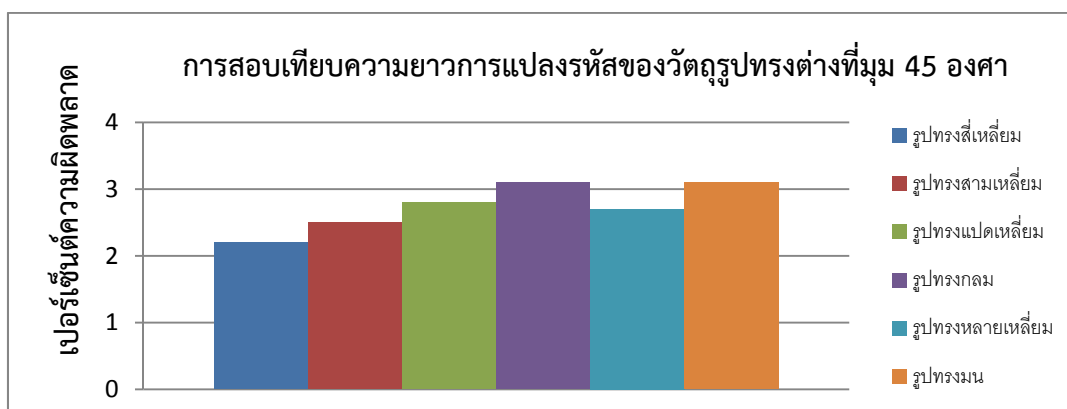
### 3.50 การสอบเทียบความยาวของวัตถุแบบเลือกจุดที่องค์ถ่ายภาพ 90,60,45 องศา



รูปที่ 3.168 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 90 องศา



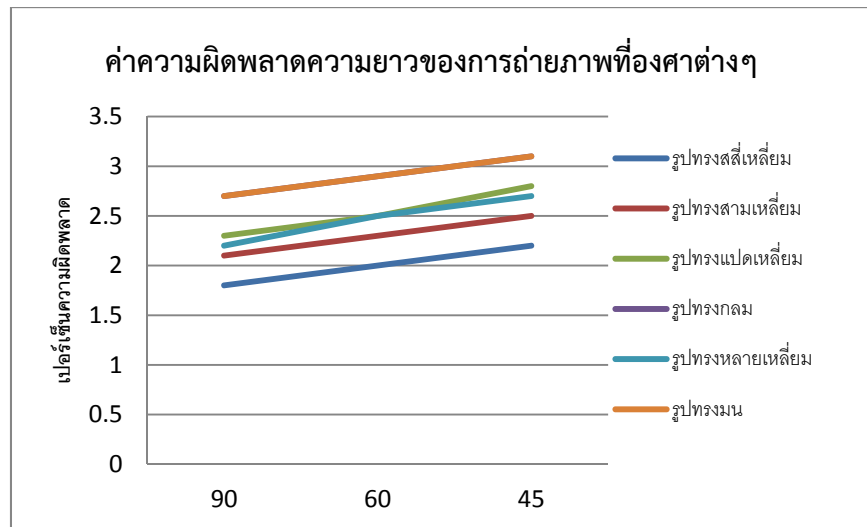
รูปที่ 3.169 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 60 องศา



รูปที่ 3.170 แสดงกราฟการสอบเทียบเวลาการแปลงรหัสของวัตถุรูปทรงต่างๆที่มุม 45 องศา

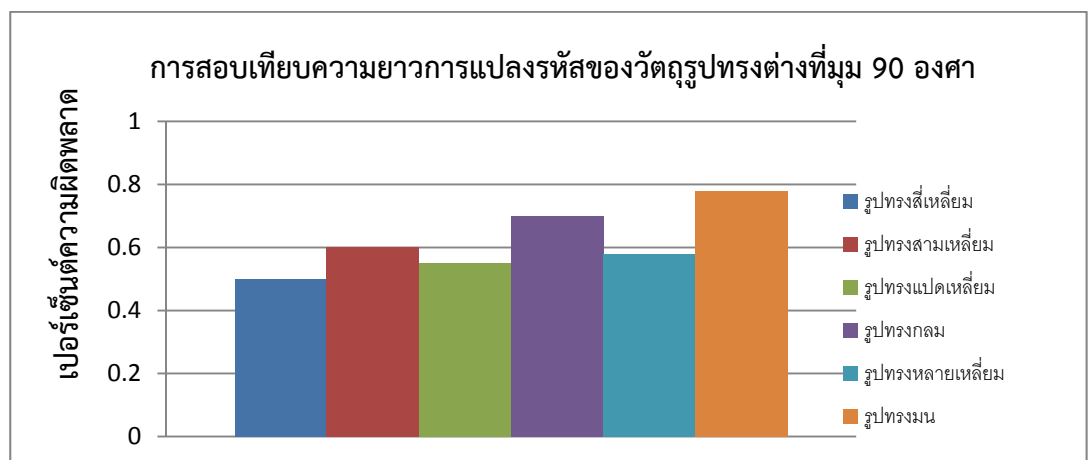
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวที่มุมถ่ายภาพต่างๆแบบเลือกจุด

เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวเมื่อวางวัตถุที่มุมต่างๆ						
องศา	สี่เหลี่ยม	สามเหลี่ยม	แปดเหลี่ยม	ทรงกลม	หลายเหลี่ยม	ทรงมน
	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
90	1.8	2.1	2.3	2.7	2.2	2.7
60	2	2.3	2.5	2.9	2.5	2.9
45	2.2	2.5	2.8	3.1	2.7	3.1
ค่าผิดพลาดเฉลี่ย	2	2.3	2.53	2.9	2.46	2.9
ค่าผิดพลาดจากอุปกรณ์	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ค่าผิดพลาดน้อยสุด	1.8	2.1	2.3	2.7	2.2	2.7
ค่าผิดพลาดมากที่สุด	2.2	2.5	2.8	3.1	2.7	2.9

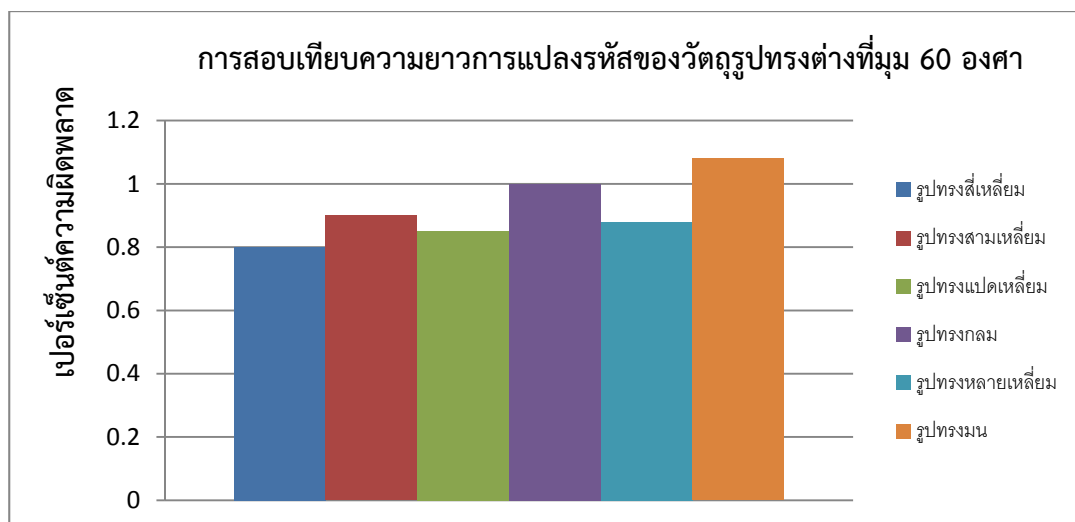


รูปที่ 3.171 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว

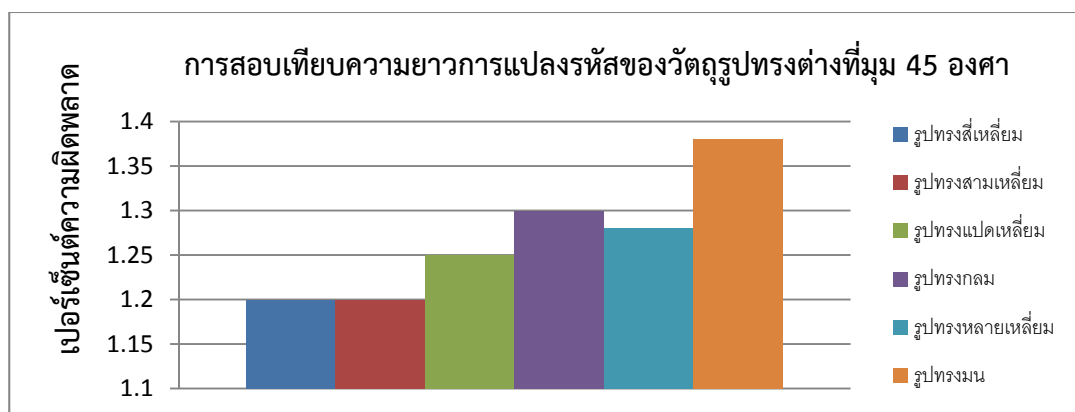
### 3.52 การสอบเทียบความยาวของวัตถุแบบอัตโนมัติที่องศาถ่ายภาพ 90,60,45 องศา



รูปที่ 3.172 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว



รูปที่ 3.173 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว

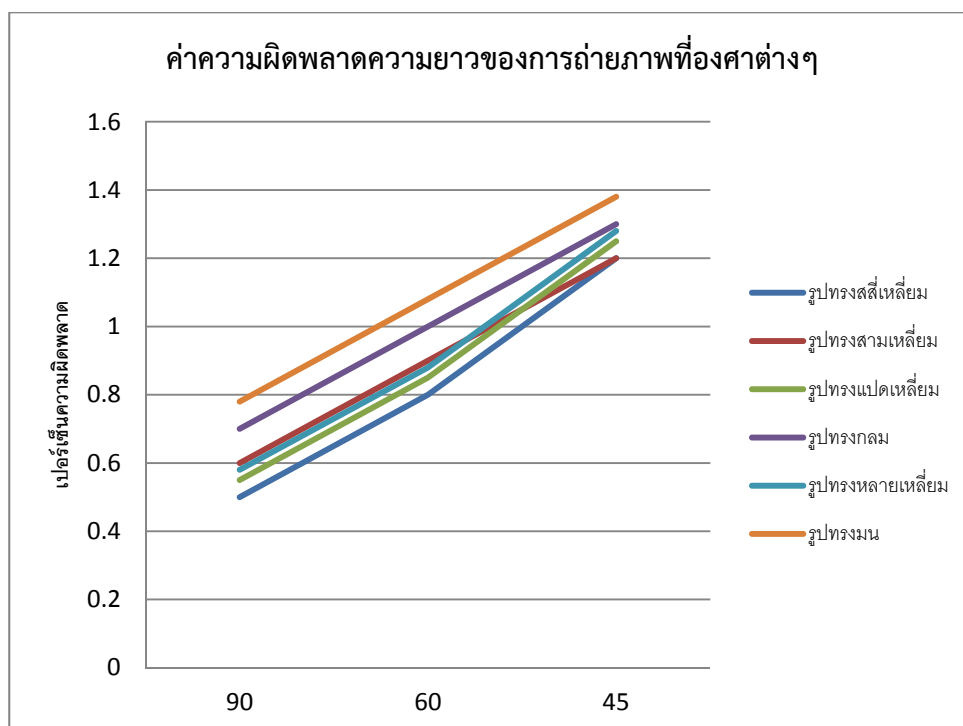


รูปที่ 3.174 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวที่มุมถ่ายภาพต่างๆแบบอัตโนมัติ

เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวเมื่อวางวัตถุที่มุมต่างๆ						
องศา	สี่เหลี่ยม	สามเหลี่ยม	แปดเหลี่ยม	ทรงกลม	หลายเหลี่ยม	ทรงมน
	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
90	0.5	0.6	0.55	0.7	0.58	0.78
60	0.8	0.9	0.85	1	0.88	1.08
45	1.2	1.2	1.25	1.3	1.28	1.38
ค่าผิดพลาดเฉลี่ย	0.8333333	0.9	0.8833333	1	0.9133333	1.08
ค่าผิดพลาดจากอุปกรณ์	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ค่าผิดพลาดน้อยสุด	0.5	0.6	0.55	0.7	0.58	0.78

ค่าผิดพลาดมากที่สุด	1.2	1.2	1.25	1.3	1.28	1.38
---------------------	-----	-----	------	-----	------	------



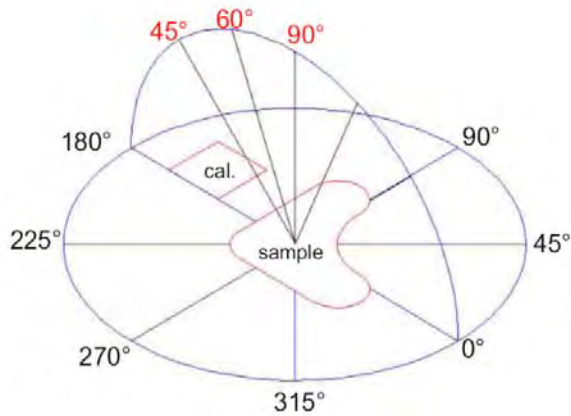
รูปที่ 3.175 แสดงกราฟการสอบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองที่มุมกล้องเก็บภาพตัวอย่าง 45,60,90 องศา ต่อจากนั้นก็แปลงเป็นรหัสโรแลนด์ได้ดแบบเลือกจุดและแบบออโต

#### 4.1 มุมกล้องที่เก็บภาพตัวอย่าง



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการเก็บภาพตัวอย่าง

#### 4.2 ตารางการแปลงรหัสโรแลนด์โค้ด

ตารางที่ 4.1 แสดงการแปลงเป็นรหัสโรแลนด์

^	PD	X1	,	Y1	;
^	PD	X2	,	Y2	;
^	PD	X3	,	Y3	;
^	PD	X4	,	Y4	;
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
^	PDn	Xn	,	Yn	;

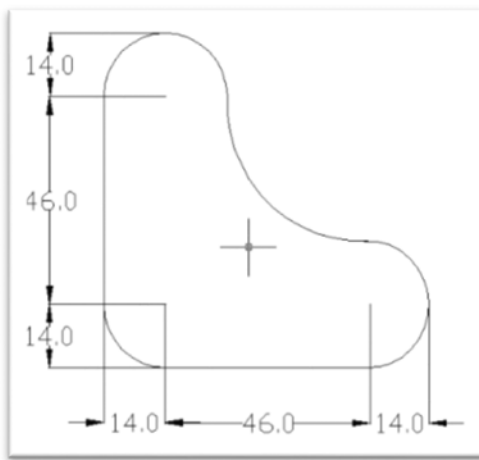
**ตารางที่ 4.2** แสดงการแปลงรหัสโรแลนด์

X	Y	SCALE	COMMAND	X(Roland Code)		Y(Roland Code)	
13.3884	33.1707	40	PD	535.536	,	1326.828	;
13.6364	33.1707	40	PD	545.456	,	1326.828	;
13.8843	33.1707	40	PD	555.372	,	1326.828	;
14.1322	33.1707	40	PD	565.288	,	1326.828	;
14.3802	33.1707	40	PD	575.208	,	1326.828	;
14.6281	33.1707	40	PD	585.124	,	1326.828	;
14.876	33.1707	40	PD	595.04	,	1326.828	;
15.124	33.1707	40	PD	604.96	,	1326.828	;
15.3719	33.1707	40	PD	614.876	,	1326.828	;
15.6198	33.1707	40	PD	624.792	,	1326.828	;
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
16.6116	32.9268	40	PD	664.464	,	1317.072	;
16.8595	32.9268	40	PD	674.38	,	1317.072	;
17.1074	32.9268	40	PD	684.296	,	1317.072	;
17.3554	32.9268	40	PD	694.216	,	1317.072	;
17.6033	32.9268	40	PD	704.132	,	1317.072	;
17.8512	32.9268	40	PD	714.048	,	1317.072	;
18.0992	32.6829	40	PD	723.968	,	1307.316	;
18.3471	32.6829	40	PD	733.884	,	1307.316	;

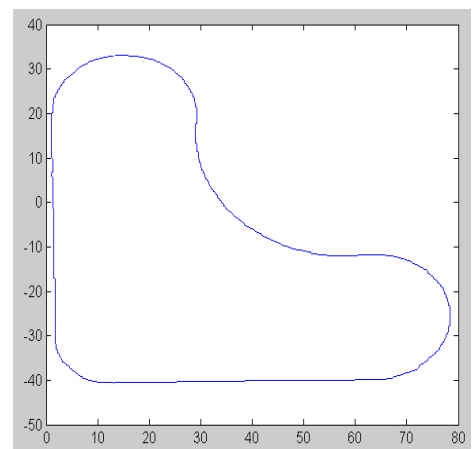
18.595	32.6829	40	PD	743.8	,	1307.316	;
18.843	32.6829	40	PD	753.72	,	1307.316	;
19.0909	32.439	40	PD	763.636	,	1297.56	;
19.3388	32.439	40	PD	773.552	,	1297.56	;
19.5868	32.439	40	PD	783.472	,	1297.56	;

#### 4.3 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา

รูปทรงอื่นๆ



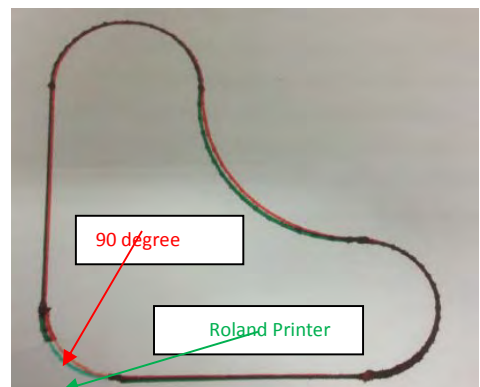
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

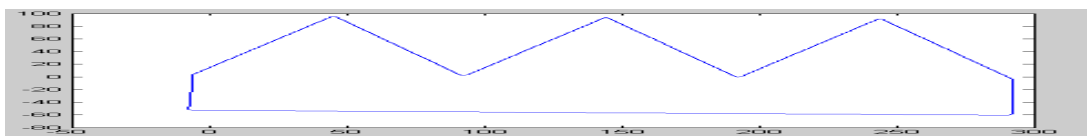
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีวิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนแปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

#### 4.4 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา รูปทรงหลายเหลี่ยม



(ก)



(ข)



(ค)

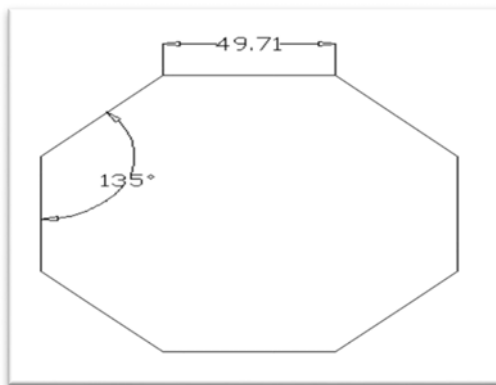


(ง)

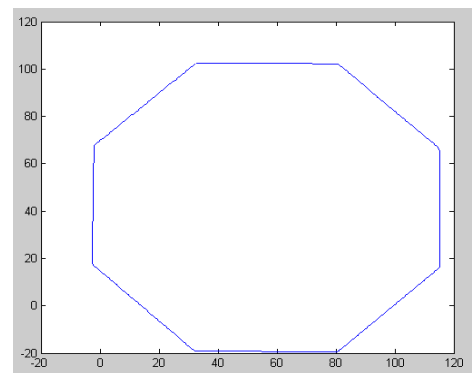
รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

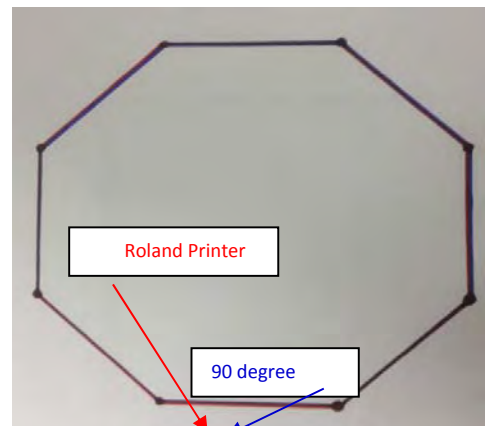
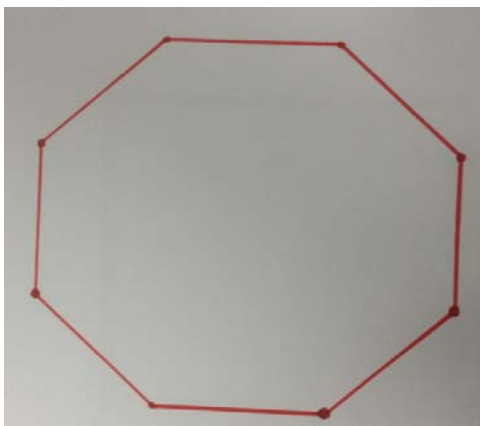
#### 4.5 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา รูปทรงแปดเหลี่ยม



(ก)



(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมออตแคตและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

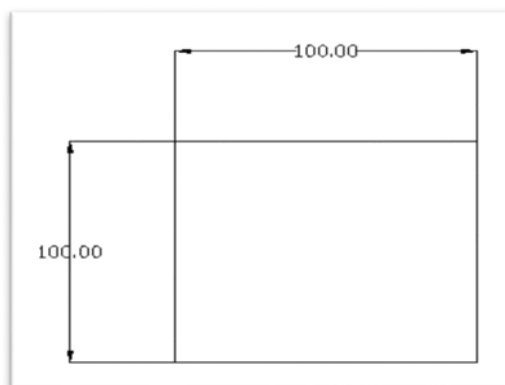
(ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง

(ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีวิธีโฮโมกราฟฟี

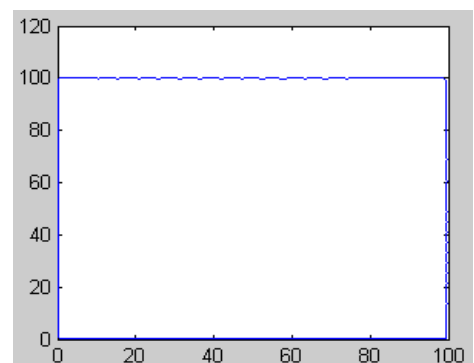
(ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนแปลงจากโปรแกรมออตแคต

(ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมออตแคตกับแปลงรหัสจากภาพ

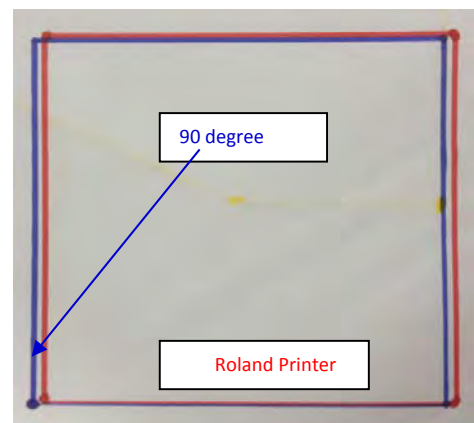
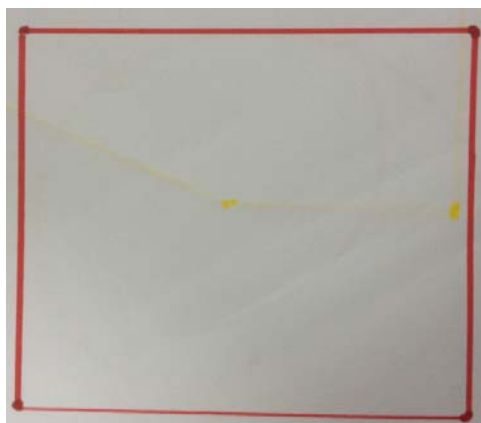
4.6 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา  
รูปทรงสี่เหลี่ยม



(ก)



(ข)





(ค)

(ง)

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

(ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง

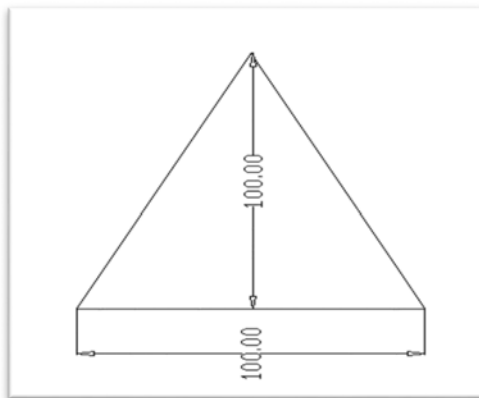
(ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟฟี

(ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ

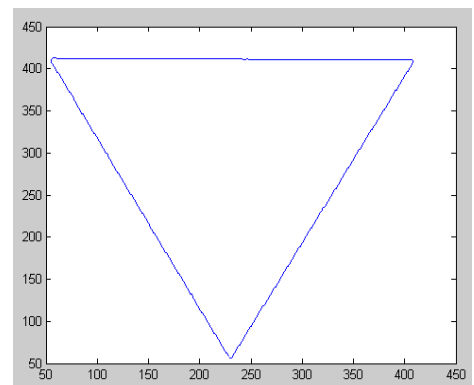
(ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

4.7 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา

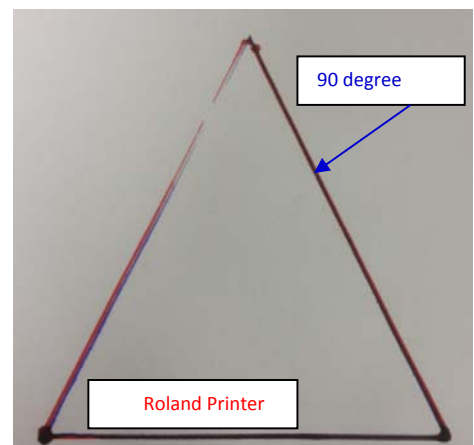
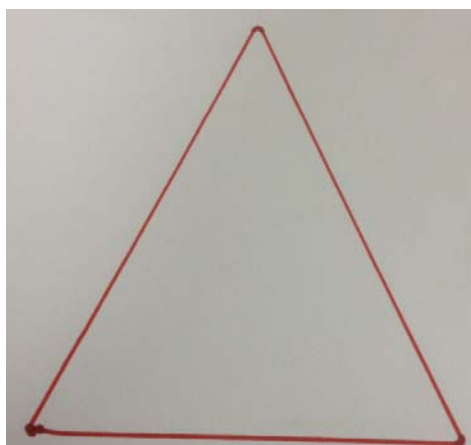
รูปทรงสามเหลี่ยม



(ก)



(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

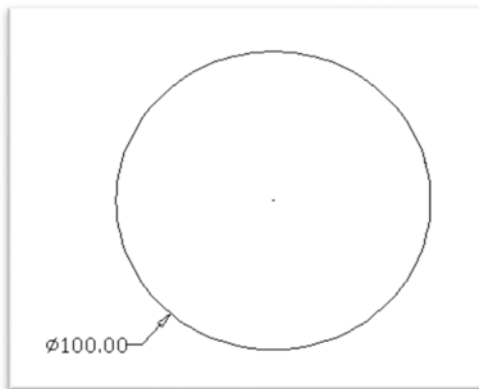
(ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง

(ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟฟี

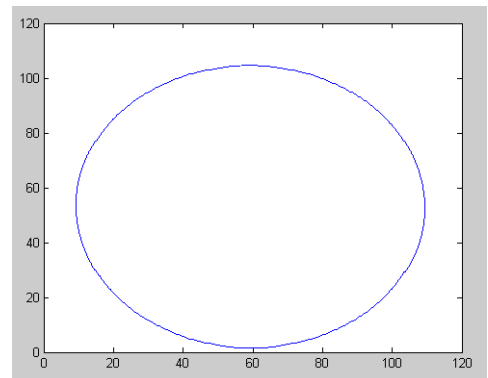
(ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ

(ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

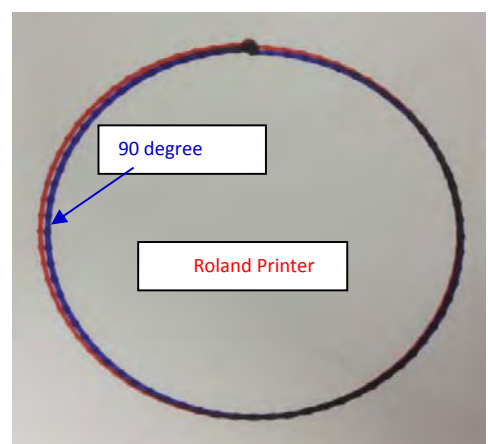
4.8 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90 องศา  
รูปทรงกลม



(ก)



(ข)





(ค)

(ง)

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

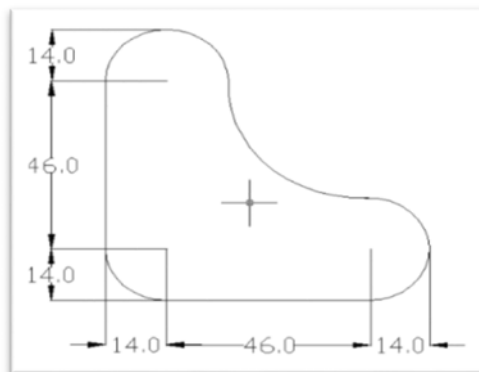
(ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง

(ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟฟี

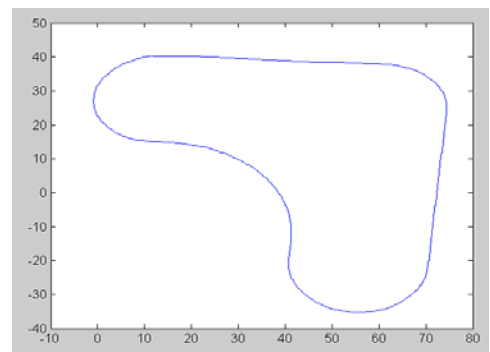
(ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนแปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ

(ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

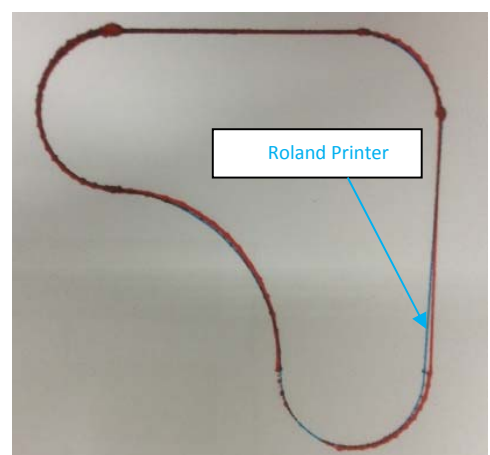
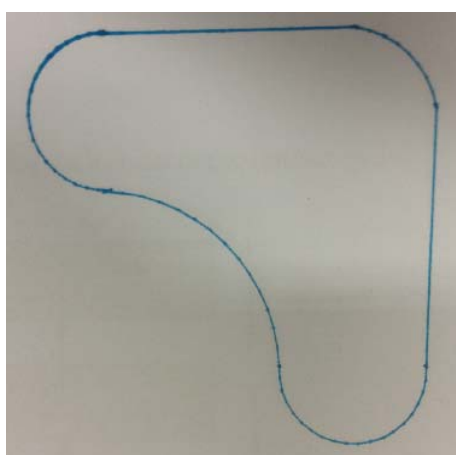
4.9 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา  
รูปทรง อื่นๆ

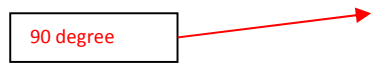


(ก)



(ข)





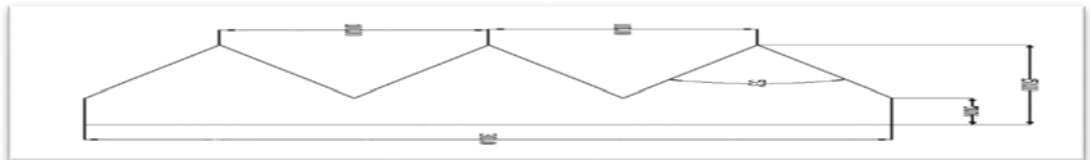
(ค)

(ง)

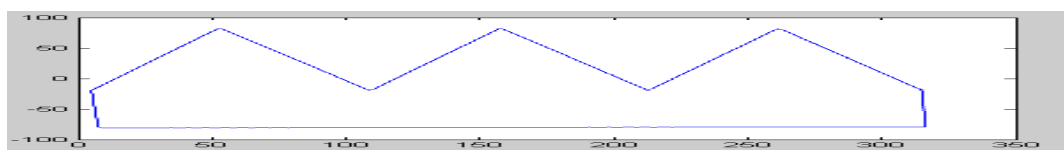
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

#### 4.10 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา รูปทรงหลายเหลี่ยม



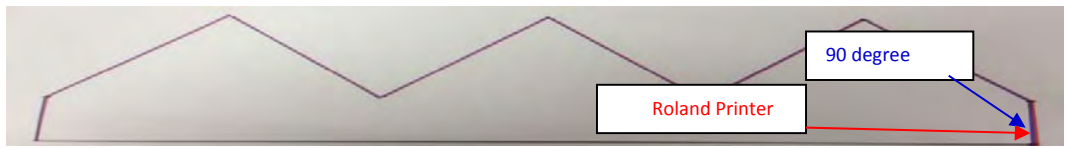
(ก)



(ข)



(ค)

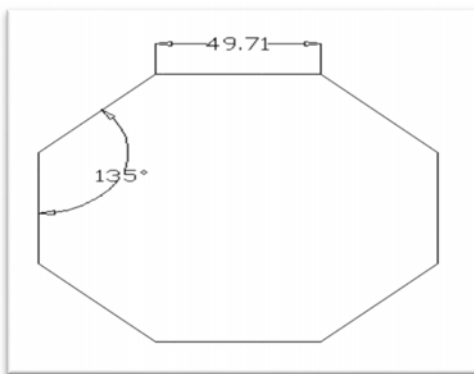


(ง)

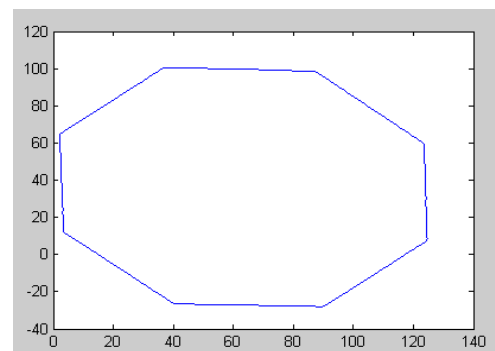
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

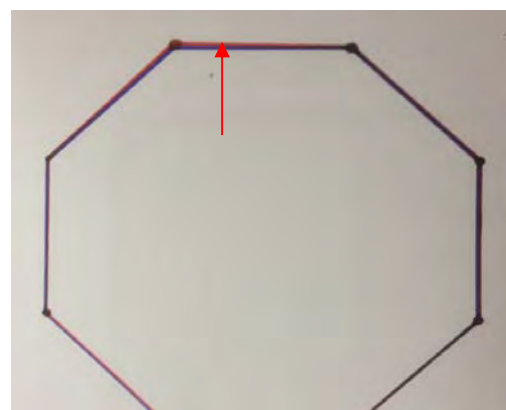
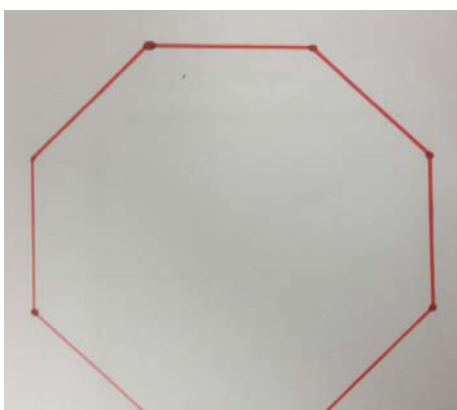
4.11 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา  
รูปทรงแปดเหลี่ยม

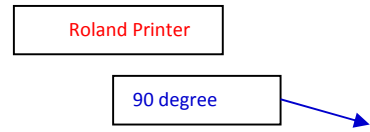


(ก)



(ข)





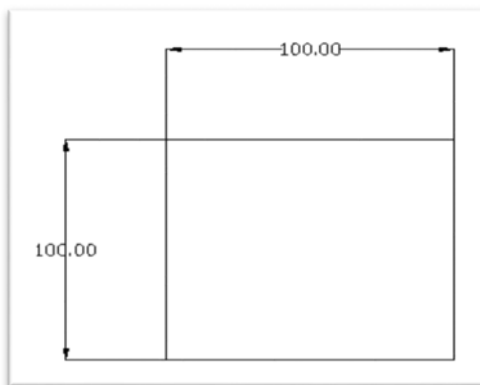
(ค)

(ง)

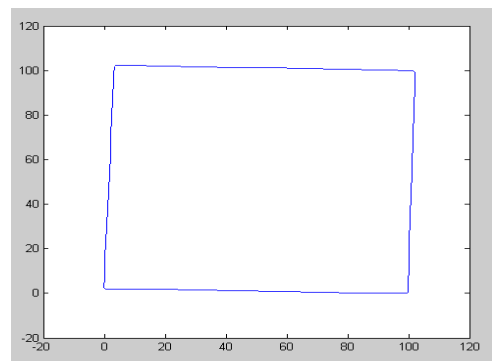
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอโต้แคตและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีวิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนแปลงจากโปรแกรมอโต้แคต
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอโต้แคตกับแปลงรหัสจากภาพ

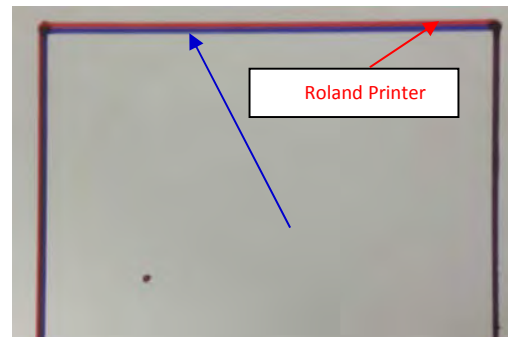
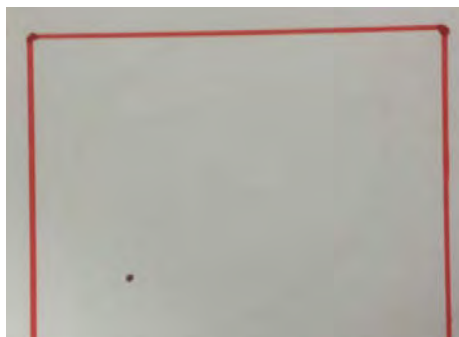
4.12 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา  
รูปทรงสี่เหลี่ยม



(ก)



(ข)



90 degree

(ค)

(ง)

รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมออตแคตและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

(ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง

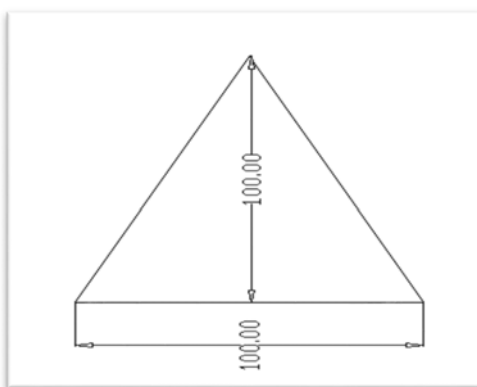
(ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีวิธีโฮโมกราฟฟี

(ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมออตแคต

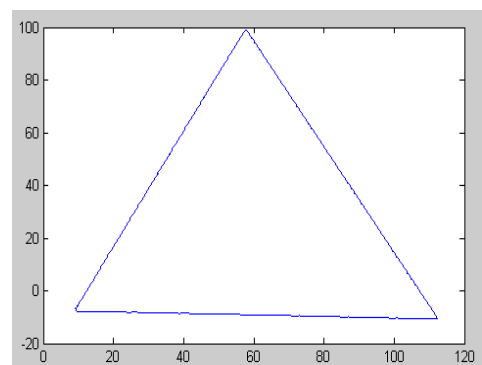
(ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมออตแคตกับแปลงรหัสจากภาพ

4.13 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา

รูปทรงสามเหลี่ยม

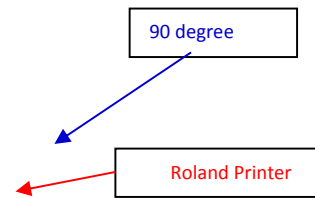


(ก)



(ข)





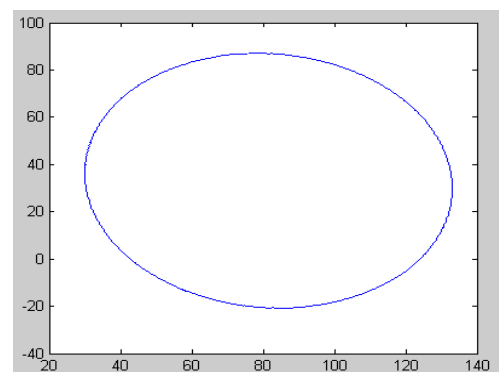
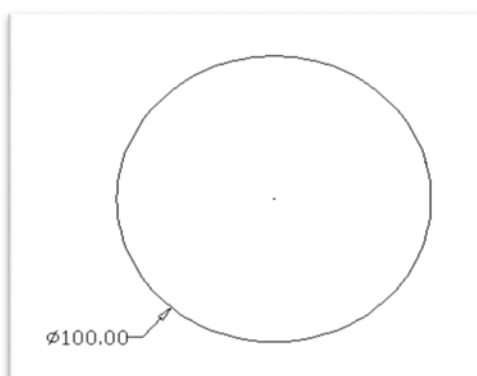
(ค)

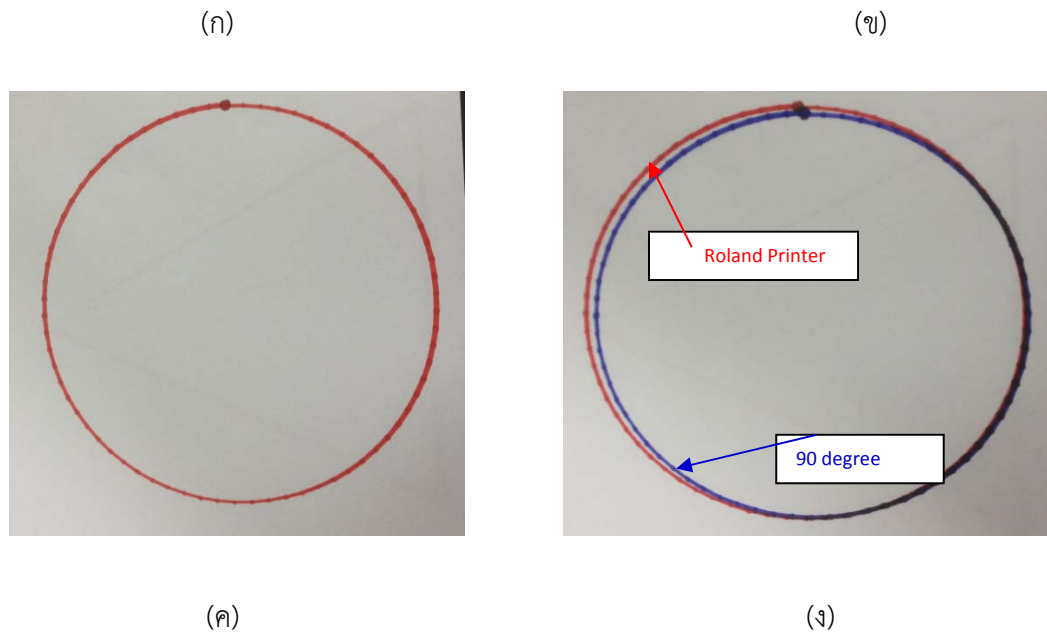
(ง)

รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีไฮโมกราฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

4.14 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 60 องศา  
รูปทรงกลม

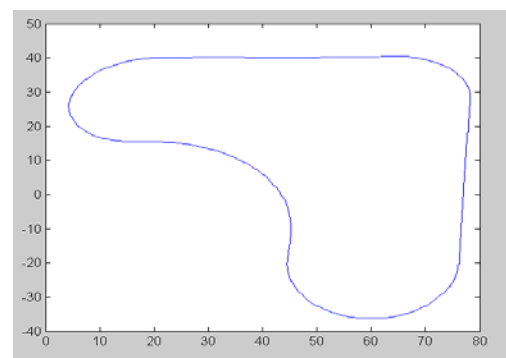
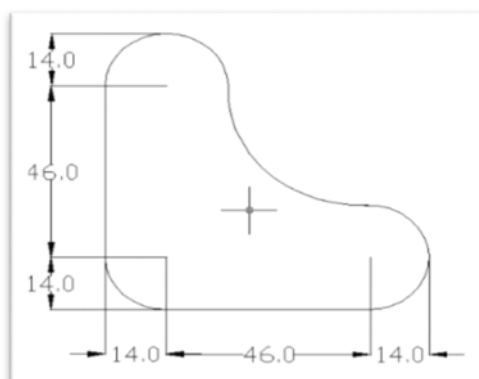


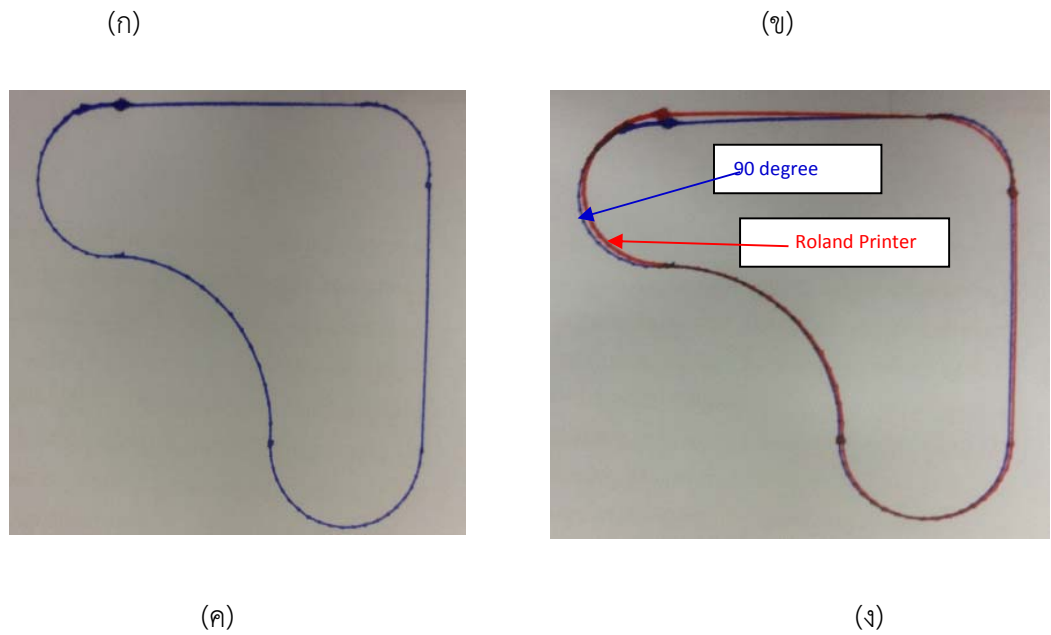


รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับการแปลงรหัสจากภาพ

#### 4.15 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศา รูปทรงอื่นๆ

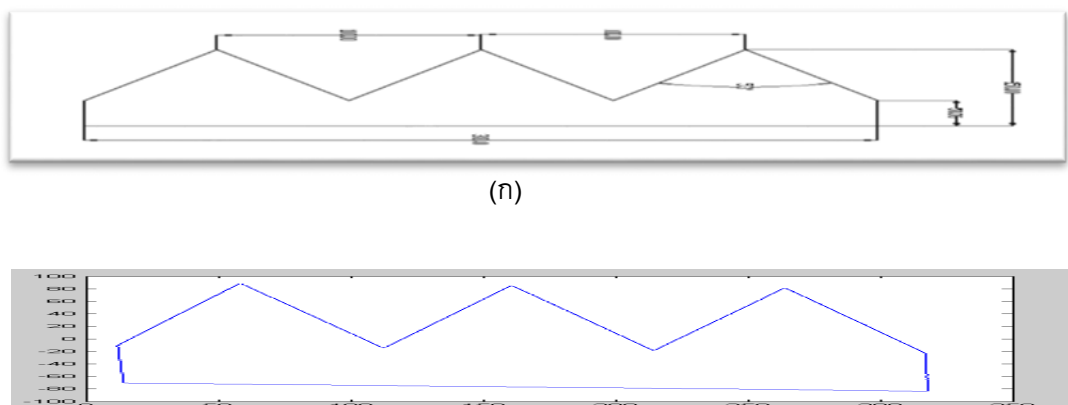




รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีวิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

#### 4.16 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศา รูปทรงหลายเหลี่ยม



(ข)



(ค)



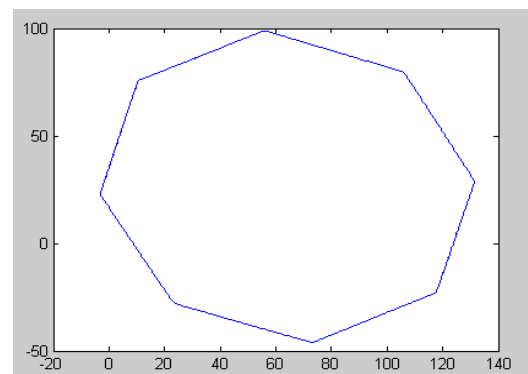
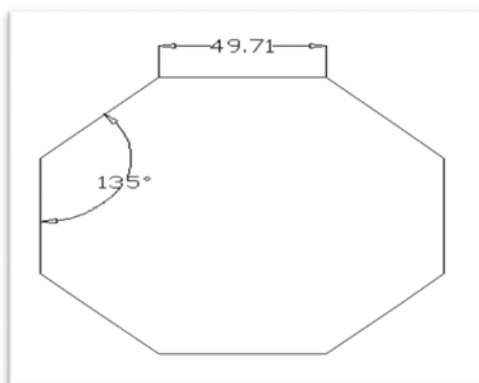
(ง)

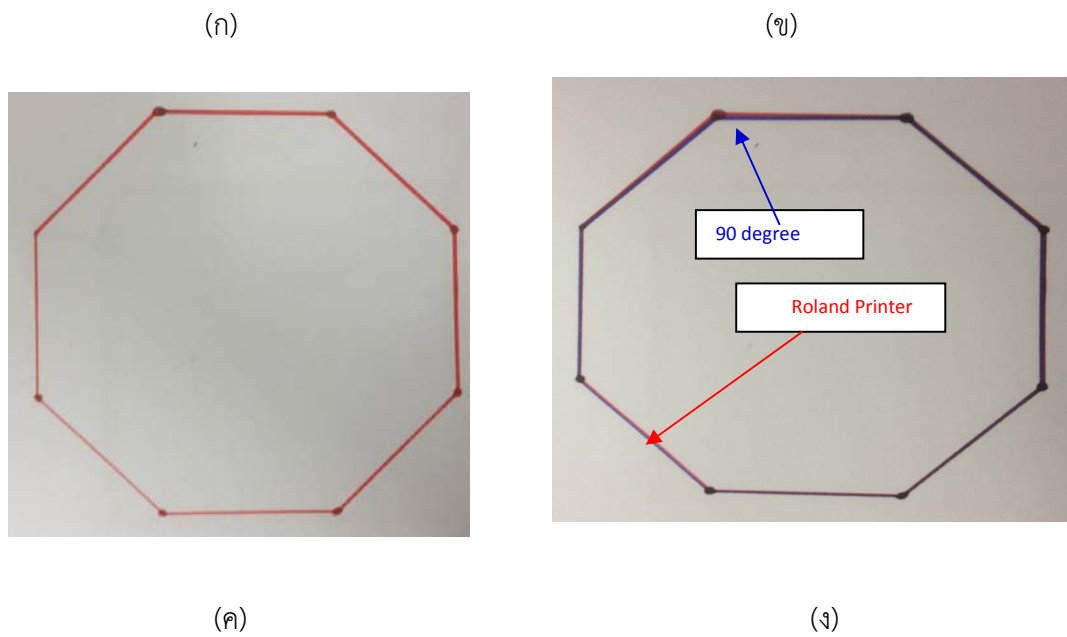
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนด์แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

4.17 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศา

รูปทรงแปด

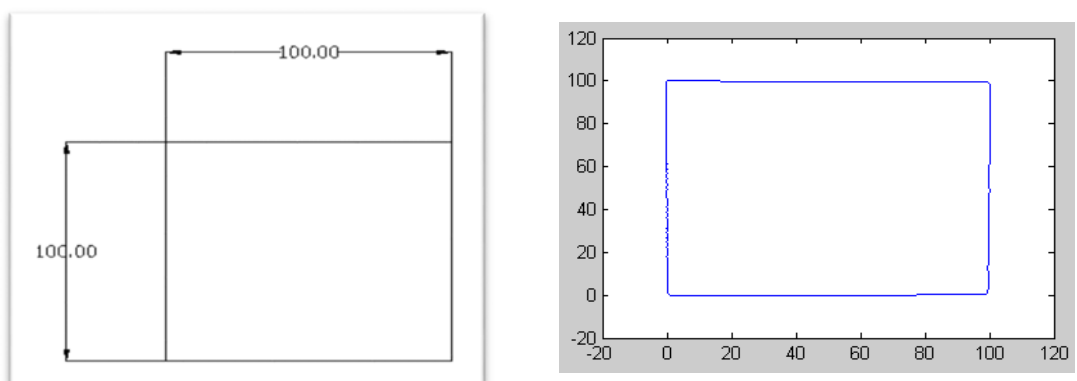


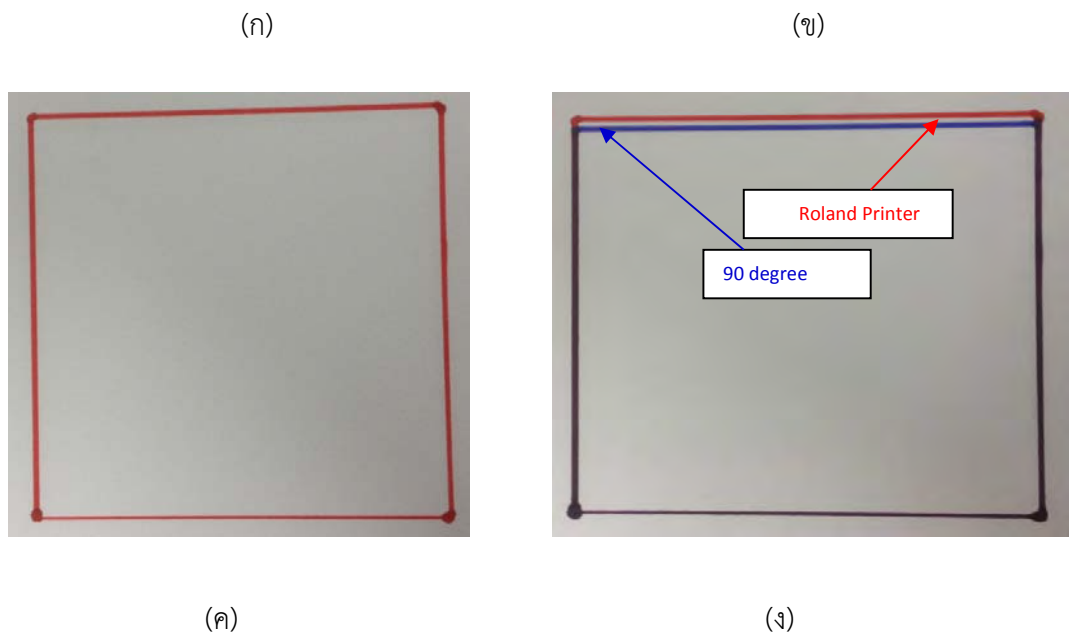


รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอโต้แคตและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนแปลงจากโปรแกรมอโต้แคต
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอโต้แคตกับแปลงรหัสจากภาพ

#### 4.18 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศา สีเหลี่ยม

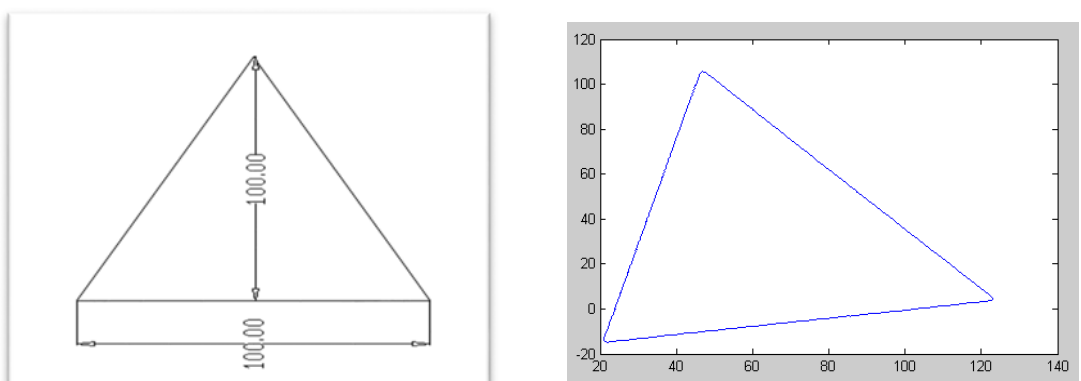


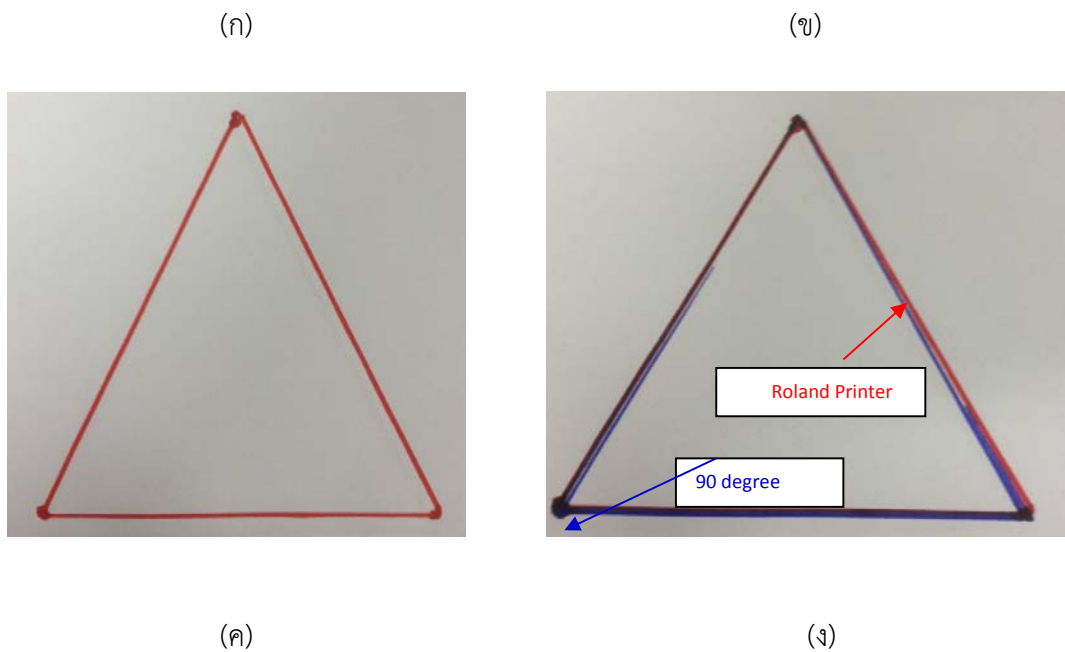


รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนแปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติ
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอัตโนมัติกับแปลงรหัสจากภาพ

#### 4.19 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศา สามเหลี่ยม

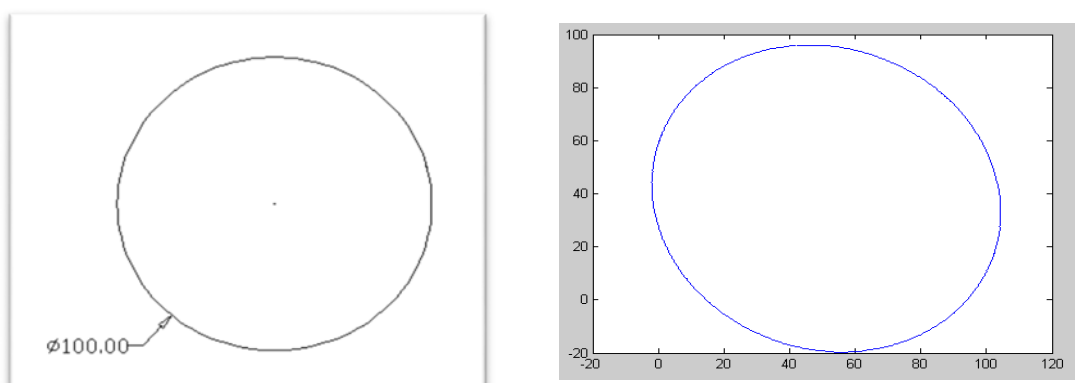


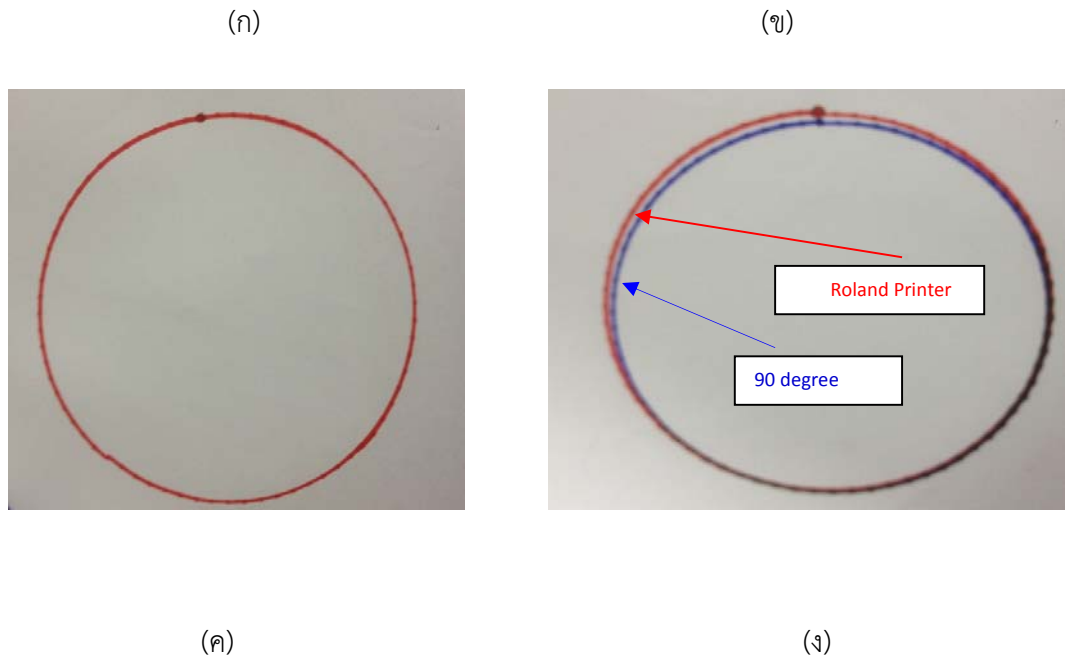


รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมอโต้แคตและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีฮีโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนแปลงจากโปรแกรมอโต้แคต
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมอโต้แคตกับแปลงรหัสจากภาพ

#### 4.20 ผลการทดลองการประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 45 องศา รูปทรงกลม

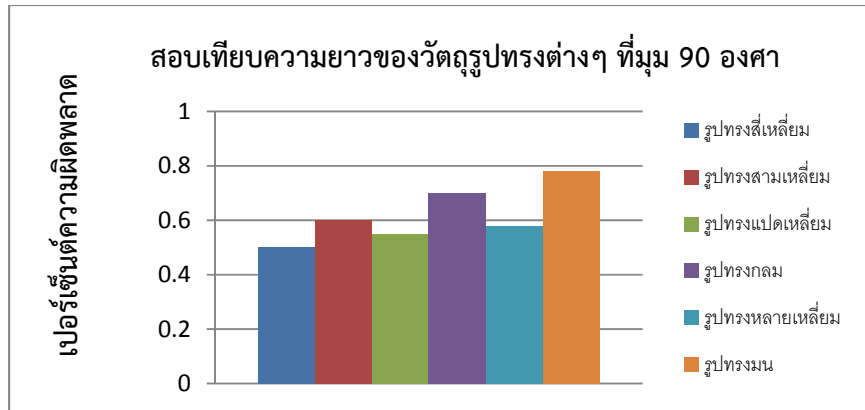




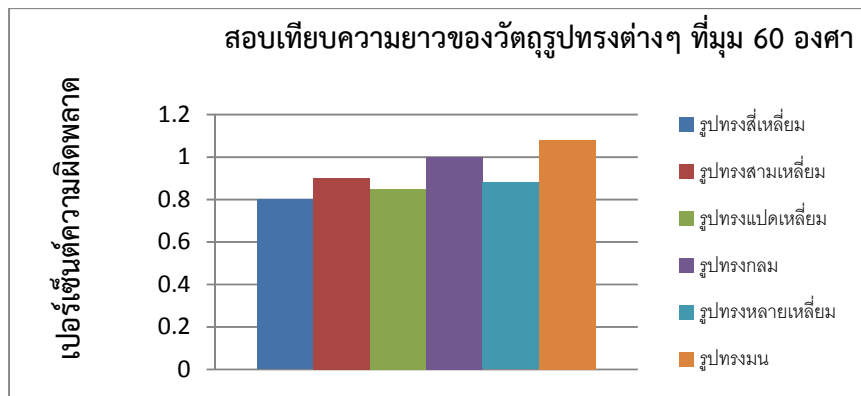
รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบการแปลงรหัสจากโปรแกรมออตโตแคตและการแปลงรหัสจากภาพถ่าย

- (ก) แสดงขนาดของภาพตัวอย่าง
- (ข) แสดงภาพขนาดจริงโดยใช้วิธีวิธีโฮโมกราฟฟี
- (ค) แสดงภาพการพลอตรหัสโรแลนแปลงจากโปรแกรมออตโตแคต
- (ง) แสดงภาพเปรียบเทียบระหว่างแปลงรหัสจากโปรแกรมออตโตแคตกับแปลงรหัสจากภาพ

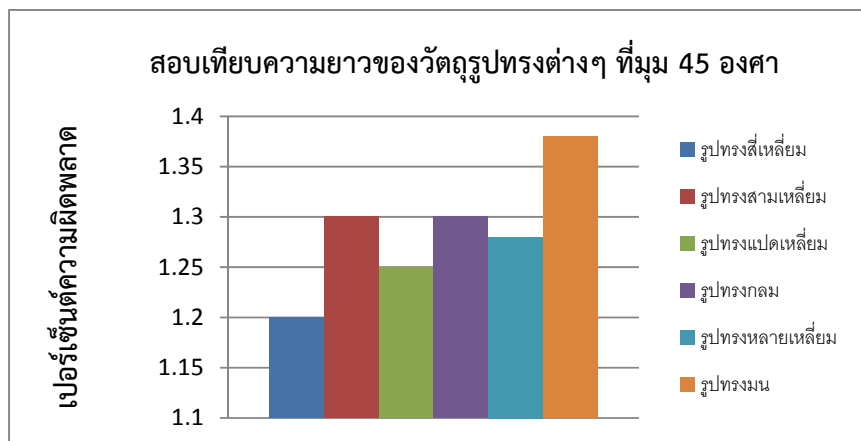
#### 4.21 แสดงการสอบเทียบความยาวของวัตถุตัวอย่างที่อิงภาพถ่ายต่างๆ



รูปที่ 4.20 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว



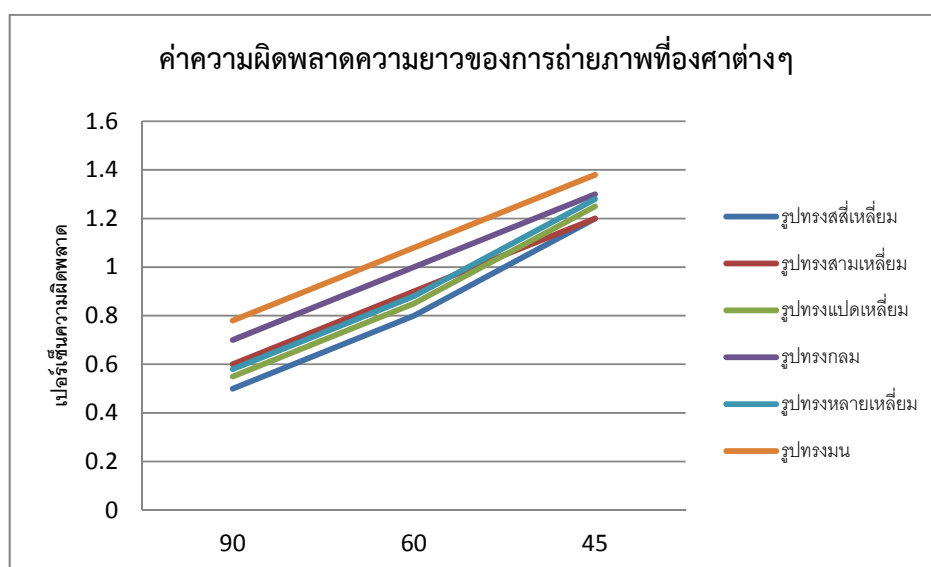
รูปที่ 4.21 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว



รูปที่ 4.22 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวที่มูมถ่ายภาพต่างๆ

เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาวเมื่อวางวัตถุที่มุมต่างๆ						
องศา	สี่เหลี่ยม	สามเหลี่ยม	แปดเหลี่ยม	ทรงกลม	หลายเหลี่ยม	ทรงมน
	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด	ผิดพลาด
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
90	0.5	0.6	0.55	0.7	0.58	0.78
60	0.8	0.9	0.85	1	0.88	1.08
45	1.2	1.3	1.25	1.3	1.28	1.38
ค่าผิดพลาดเฉลี่ย	0.8333333	0.9	0.8833333	1	0.9133333	1.08
ค่าผิดพลาดจากอุปกรณ์	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ค่าผิดพลาดน้อยสุด	0.5	0.6	0.55	0.7	0.58	0.78
ค่าผิดพลาดมากที่สุด	1.2	1.2	1.25	1.3	1.28	1.38



รูปที่ 4.23 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความยาว

## บทที่ 5

# สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพสำหรับสร้างรหัสคำสั่งที่ใช้ได้กับเครื่องกัด เครื่องพล็อตเตอร์ และเครื่องหยอดกาว ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นทางเดิน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การสร้างรหัสคำสั่งสำหรับเครื่องพล็อตเตอร์เป็นกรณีศึกษา โดยใช้คอมพิวเตอร์วิชันและการประมวลผลภาพดิจิทัลจากภาพถ่ายของวัตถุต้นแบบ วิธีการที่จะนำเสนอนี้จัดเป็นวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับใช้งานกับการสร้างเส้นทางเดินจากภาพสองมิติ โดยการค้นหาขอบภาพของชิ้นงานแล้วใช้วิธีการ Skeleton เพื่อทำให้ขอบภาพคมชัดขึ้น ซึ่งจะเป็นทางเดินของเครื่องพล็อตเตอร์อัตโนมัติอย่างง่าย จากนั้นแปลงพิกัดด้วยวิธี Homography Transformation เพื่อแก้ไขมุมมองของขอบภาพแบบค้นหาตำแหน่งในการเปรียบเทียบพิกัดแบบอัตโนมัติทั้ง 4 จุด หลังจากนั้นใช้วิธีการ Chain Code ในการแปลงเส้นทางเดินของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ ซึ่งการสร้างรหัสทางเดินด้วยวิธีการ Chain Code จากการทดลองพบว่าที่มุมกล้อง 90 องศา จะให้ความแม่นยำและเที่ยงตรงมากที่สุดและเมื่อเทียบกับวิธีการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teach Point) และวิธีเลือกตำแหน่งบนภาพ 2 มิติ ยังให้ผลที่รวดเร็วและแม่นยำมากที่สุดหลังจากนั้น ทำการทดลองแบบปรับเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุตัวอย่างที่มีรูปร่างแปดเหลี่ยม และรูปร่างอิสระจากการทดลองในการแปลงรหัสทางเดินสำหรับเครื่องกัด เครื่องหยอดกาวและเครื่องพล็อตเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์วิชันจะได้พิกัดตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกับการแปลงรหัสทางเดินที่แปลงจากโปรแกรมอัตโนมัติแคดส่วนประกอบของของระบบในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงรุ่น LP-200 Fluorescent lamp 178 mm x 127 mm และส่วนของการรับภาพจะใช้กล้อง EOS Canon 1000D เลนส์ EFS18-55 mm คอมพิวเตอร์ Lenovo T500 Intel core2duo CPU T9600 2.8 GHz Ram 4 GB Win7 32 bit Controller Robot รุ่น EGV-235s Motor Stepping รุ่น CM1P23L20A พื้นที่การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 540 mm x 540 mm ในการกำหนดเส้นทางเดินของเครื่องกัดแบบอัตโนมัติทำงานด้วยการเขียนแบบในโปรแกรม Auto Cad และเปรียบเทียบการเคลื่อนที่จากการแปลงรหัสแบบ Roland Printer MDX-650 (RML-1) ด้วยโปรแกรม VCAM Version 3.0 ผ่านพอร์ทการสื่อสารอนุกรมโดยการแปลงจาก CAD ซึ่งจะมีความถูกต้องมากที่สุดแต่ในการปฏิบัติงานจริงพบว่าในบางครั้งจะไม่สามารถรู้ขนาดของวัตถุตัวอย่างได้ด้วยการวัดด้วย

เครื่องมือวัด เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักร ลายไทย บนไม้ฝาฉลอร่า ในงานวิจัยนี้ได้นำคอมพิวเตอร์วิชั่นมาประยุกต์ใช้ในการเพื่อสร้างรหัสทางเดินของเครื่องกัดแบบอัตโนมัติได้จากการจับภาพด้วยกล้อง EOS Canon 1000D หลังจากที่ได้ภาพมาแล้วจะทำการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Matlab 7.0.4 และแปลงเป็นรหัสทางเดินของ เครื่องกัดความแม่นยำของพิกัดขึ้นอยู่กับความละเอียดของกล้อง

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

จากการวิจัยพบปัญหาในการแปลงรหัสแต่ละครั้งต้องใช้โปรแกรม Output Rs232 ในการส่งตำแหน่ง X,Y ไปยัง Controller จะมีความยุ่งยากในการทำงานผู้ใช้ต้องมีความชำนาญมากพอสมควรซึ่งสามารถแก้ไขโดยการเขียนโปรแกรม GUI เพื่อลดความยุ่งยากในการทำงานและถ้าต้องการความแม่นยำเพิ่มมากขึ้นให้แก้ปัญหาคารบิตเบี้ยวของเลนส์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] JyotiMalik, G. Sainarayanan, and RatnaDahiya. 2010. “Min Max Threshold Range (MMTR) based approach in palmprint authentication by sobel code method”. Pages149-158.Volume2.Original Research Article Procedia Computer Science.
- [2] Lorna Herda. Pascal Fua. Ralf Plänkers. Ronan Boulic and Daniel Thalmann. June 2001. “Using skeleton-based tracking to increase the reliabilityof optical motioncapture”.Volume 20. Issue 3.Pages 313-341. Human Movement Science.
- [3] วิษณุ พัฒนารัตนากุล.สุเทพ อาษา.รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์ และ รศ.สุพรรณ กุลพานิชย์.2556. “การสร้างรหัส G-Code ของเส้นทางการหยุดปะเกินเหลวสำหรับเครื่องยนต์ด้วย คอมพิวเตอร์วิชั่น”.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย.ครั้งที่ 27.วันที่ 16-18 ตุลาคม.ชลบุรี:คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- [4] Anika Pflug. Daniel Hartung and Christoph Bussch.February2012. “Feature extraction from vein images using spatial information and chain codes”. Volume 17. Report.Issues1-2.Pages 26-35. original Research ArticleInformation Security Technical.
- [5] อมกต นามบุตรดี 2553. “อุปกรณ์ถอดรหัสบาร์โค้ดแบบสองมิติสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติก. ใส”.กรุงเทพฯ:คณะวิศวกรรมศาสตร์.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] TzuYen Wong.Peter Kovesi and AmitavaDatta. 2009. “Projective Transformations for Image Transition Animations”.The University of Western Australia,School of Computer Science & Software Engineering.Australia.
- [7] C. Harris and M.J. Stephens. 1988. “A combined corner and edge detector”.pages 147–152.In Alvey Vision Conference.
- [8] ศรายุทธ อินทุเศรษฐ. 2553. “การวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ”. กรุงเทพฯ:คณะวิศวกรรมศาสตร์.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] นพรัตน์ สุขเกษม. 2554.การวัดปริมาตรผักและผลไม้ด้วยวิธีลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง.กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [10] Suesut T. and Inthuset.S. 2009. “Fish Size Measurement by Computer Vision using Light Sectioning”.International Conference on Innovations in Agricultural Food and Renewable Energy Productions for Mankind.
- [11] R. Hartley and A. Zisserman. 2003. “Multiple View Geometry in Computer Vision. Press”.Second edition.Cambridge University
- [12] Lorna Herda.Pascal Fua.Ralf Plänkers.Ronan Boulic and Daniel Thalmann, June 2001. “Using skeleton-based tracking to increase the reliability of optical motion capture Human Movement”.Volume 20. Issue 3.Pages 313-341.Science.
- [13] Zhigang Yang.Yi An.Yanbin Sun and Jingchun Zhang.2012. “Research on Intelligent Glue-coating Robot Based on Visual Servo”.Volume 24.Pages 2165-2171.
- [15] I. Ardpairin and T. Suesut.2012.“Inspection depth of grooves on tire using 3D computer vision system”. Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference.Architecture and Engineering.
- [16] Krittin.วิธีเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง.[Online].Available:www.engineerfriend.com
- [17] Smart Motiontech.Coolmuscle.[Online].Available:www.smartmotion.co.th
- [18] Flachmann & Heggelbacher.Rs232 Terminal.[Online].Available:www.docklight.de

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ผลงานทางวิชาการ



**ME NETT28**  
KHON KAEN UNIVERSITY

The 28<sup>th</sup> Conference of  
Mechanical Engineering Network of Thailand  
**การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล  
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28**  
วันที่ 15-17 ตุลาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น



"Driving ME  
Research  
Education  
and Innovation  
Towards Creative  
Economy"



## วิธีการที่มีประสิทธิภาพในการสร้างรหัสสำหรับเครื่องกัดชิ้นงาน ด้วยคอมพิวเตอร์วิชัน

### An effective technique to generate the code for engraving machine by computer vision

นายสุเทพ อาษา<sup>1</sup>

รศ.ดร.ทวีพล ช่อสัจย์<sup>1\*</sup> และ รศ.สุพรรณ กุลพานิชย์

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

\*Email: suthepasa@gmail.com, 0814944903,

\*Email: taweepol.suesut@gmail.com, \*Email: kgsuphan@kmitl.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพสำหรับสร้างรหัสคำสั่งที่ใช้ได้กับเครื่องกัด เครื่องพลอตเตอร์ และเครื่องหยอดกาวซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นทางเดิน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การสร้างรหัสคำสั่งสำหรับเครื่องกัดชิ้นงานเป็นกรณีศึกษา โดยใช้คอมพิวเตอร์วิชันและการประมวลผลภาพดิจิทัลจากภาพถ่ายของวัตถุต้นแบบ เนื่องจากการสร้างรหัสคำสั่งวิธีเดิมอาศัยการสร้างจากโปรแกรม CAD/CAM เพื่อเป็นต้นแบบ วิธีการที่นำเสนอนี้จัดเป็นวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับใช้งานกับการสร้างเส้นทางเดินจากภาพสองมิติ โดยค้นหาขอบภาพของชิ้นงานแล้วใช้วิธีการสเกิร์ตตัน(Skeleton) เพื่อลดขนาดของขอบให้เหลือขอบพิกเซลเดียว ซึ่งจะเป็นทางเดินของเครื่องจักรอัตโนมัติอย่างง่าย จากนั้นพิจารณาตัดจุดที่ไม่ต้องการออกจากรูปภาพของชิ้นงานรวมทั้งทำการแปลงพิกัดจริงด้วยวิธีโฮโมกราฟฟี (Homography transform) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนจากมุมมองภาพและใช้วิธีเซนโค้ด (chain code) ในการแปลงเส้นทางเดินของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ ซึ่งการสร้างรหัสทางเดินด้วยวิธีเซนโค้ดจากการทดลองพบว่าวิธีนี้มีความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teaching point) และวิธีเลือกตำแหน่งบนภาพสองมิติ

คำหลัก:CAD/CAM;สเกิร์ตตัน;โฮโมกราฟฟี;เซนโค้ด;ภาพสองมิติ

#### Abstract

This paper presents a simple and effective method to generate the machine tool path code for applying to the milling, the plotter and the glue coating machines. The plotter coding for the engraving machine using computer vision and image processing was used as a case study in the paper. Generating command code using CAD/CAM software for prototype is the traditional method. Our method is one of the reverse engineering technique to create routing of tool path from two-dimensional image. The skeleton image processing technique and edge finding were applied to sharpen images for the basic machine path. The homography transform was used to transform the image plane to the real world plane in order to correct the perspective distortion. The chain code was employed to formulate the machine path from the image coordinates automatically. The experimental results showed that this method is faster and more accurate when compared to the teach point method.

**Keywords:** CAD / CAM; Skeleton; Homography;Chain code; Images two-dimensional.

## AMM18

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการผลิตได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว การผลิตชิ้นงานเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม ต้องเป็นชิ้นงานที่มีคุณภาพดี มีขนาดและสัดส่วนที่ถูกต้องตามกำหนดไว้ ส่วนใหญ่ในกระบวนการประกอบเครื่องยนต์จะใช้วิธีแปลงรหัสทางเดินด้วยวิธีเรียนรู้ตำแหน่งแบบจุด[1][7] ซึ่งในอุตสาหกรรมเครื่องพลอตเตอร์ เครื่องกัด และเครื่องหยอดกาวจะทำงานด้วยการป้อนรหัสทางเดินแบบเรียนรู้ตำแหน่ง หรือแบบแปลงรหัสทางเดินจากโปรแกรมออโตแคด (AutoCAD) จากการปฏิบัติงานพบว่าการป้อนรหัสทางเดินแบบเรียนรู้ตำแหน่ง จะใช้เวลาในการป้อนรหัสทางเดินค่อนข้างนาน เมื่อรหัสทางเดินของเครื่องพลอตเตอร์ เครื่องกัด เครื่องหยอดกาวมีความซับซ้อน จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ มีความแม่นยำและรวดเร็วขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการสร้างรหัสสำหรับเครื่องกัดชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์วิชัน เพื่อสร้างรหัสทางเดินอย่างง่ายและประหยัดเวลาในกระบวนการสร้างรหัสทางเดินโดยใช้คอมพิวเตอร์วิชันและการประมวลผลภาพดิจิทัลจากภาพถ่ายของวัตถุต้นแบบ วิธีการที่นำเสนอนี้จัดเป็นวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับใช้งานกับการสร้างเส้นทางเดินจากภาพสองมิติ โดยค้นหาขอบภาพของชิ้นงาน[4] แล้วใช้วิธีสเก็ทตัน(Skeleton) เพื่อลดขนาดของขอบให้เหลือขอบพิกเซลเดียว[5] ซึ่งจะเป็นทางเดินของเครื่องจักรอัตโนมัติอย่างง่าย จากนั้นพิจารณาตัดจุดที่ไม่ต้องการออกจากรูปภาพของชิ้นงาน รวมทั้งทำการแปลงพิกัดจริงด้วยวิธีโฮโมกราฟี (Homography transform) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนจากมุมมองภาพ[2][3][6] และใช้วิธีเชนโค้ด (chain code) ในการแปลงเส้นทางเดิน[7]ของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ ซึ่งการสร้างรหัสทางเดินด้วยวิธีเชนโค้ดจากการทดลองพบว่าวิธีนี้มีความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teaching point) และวิธีเลือกตำแหน่งบนภาพสองมิติ [7]

### 2. หลักการของโซเบล (Sobel)

การหาขอบภาพจะกระทำกับภาพระดับสีเทา (Gray level image) ที่มีค่าระดับสีเทาอยู่ระหว่าง 0-255 ซึ่งในที่นี้จะเป็นการหาขอบของวัตถุเพื่อลดจำนวนข้อมูลให้น้อยลงโดยยังคงเอกลักษณ์ของวัตถุนั้นๆ การหาขอบด้วยวิธีโซเบล (Sobel) [4] เป็นการหาขอบภาพโดยใช้หน้าต่างขนาด 3x3 วางทับกับข้อมูลภาพสองมิติ  $f(x,y)$  ที่ตำแหน่ง  $(x,y)$  แล้วทำการคอนโวลูชัน (Convolution) คำนวณน้ำหนักในหน้าต่างกับข้อมูลภาพ ซึ่งการหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล (Sobel) ซึ่งจะทำให้การหาขอบภาพทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ดังนั้นจึงมีหน้าต่างขนาด 3x3 จำนวน 2 หน้าต่างดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ดังนี้

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

ตารางที่ 1 หน้าต่างสำหรับหาขอบภาพแนวนอน

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

ตารางที่ 2 หน้าต่างสำหรับหาขอบภาพแนวตั้ง

เนื่องจากวิธีโซเบล(Sobel) จะหาขอบภาพทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ดังนั้นในตอนแรกจะทำการวางหน้าต่างในแนวนอนทับลงไปบนด้านซ้ายมือของข้อมูลภาพ  $f(x,y)$  จากนั้นทำการคอนโวลูชัน (Convolution) น้ำหนักที่อยู่ในหน้าต่างกับข้อมูลภาพสองมิติผลลัพธ์ที่ได้จะเก็บไว้ที่ภาพเอาท์พุท  $G_x(x,y)$  เมื่อได้ผลลัพธ์แล้วหน้าต่างจะเลื่อนไปทางขวามือหนึ่งพิกเซลและทำการคอนโวลูชัน (Convolution) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์และเก็บภาพเอาท์พุท  $G_x(x,y)$  การดำเนินการจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่างจนหมดทั้งภาพ ซึ่งผลที่ได้คือขอบภาพในแนวนอน  $G_x(x,y)$  ในทำนองเดียวกันจะใช้หน้าต่างในแนวตั้งทำการคอนโวลูชัน (Convolution)

## AMM18

กับข้อมูลภาพ  $f(x,y)$  จนกระทั่งครบทั้งภาพ จะได้ขอบภาพในแนวตั้ง  $Gy(x,y)$  เมื่อได้ขอบภาพในแนวนอน  $Gx(x,y)$  และแนวตั้ง  $Gy(x,y)$  แล้วจะทำการหาขอบภาพทั้งหมดในรูปภาพด้วยการคำนวณหาขนาดของเกรเดียนท์ ( $\nabla f$ ) โดยให้สมการที่ (1) และ (2)

$$\nabla f = \sqrt{Gx^2 + Gy^2} \quad (1)$$

$$\nabla f \approx |Gx| + |Gy| \quad (2)$$

อย่างไรก็ตามเนื่องจากขนาดของเกรเดียนท์ ( $\nabla f$ ) ที่คำนวณได้อาจมีค่ามากกว่า 255 ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการสเกล (Scaling) อยู่ในช่วง 0 – 255 ก่อนจากนั้นจึงเลือกค่า Threshold เพื่อแสดงขอบภาพเป็นสีขาวและสีดำหรือภาพสองระดับ (Binary images)

### 3. หลักการ Skeletons detection

การหาแกนกลางภาพเป็นการหา [5] แกนกลางของวัตถุซึ่งในที่นี้เส้นขอบให้บางลงจนเหลือแต่แกนกลางที่มีความหนาเพียง 1 พิกเซลเพื่อเป็นการลดขนาดของข้อมูลของเส้นขอบให้เหลือแต่ส่วนที่สำคัญเท่านั้นภาพที่ต้องการหาแกนกลางนั้นจะต้องเป็นภาพสองระดับ (Binary Image) นั่นคือมีค่าเป็น "0" และ "1" โดยที่ในส่วนที่เป็นพื้นที่ของเส้นมีค่าเป็น "1" และ "0" คือส่วนที่เป็นพื้นจากหลัง วิธีที่การหาแกนกลางนั้นประกอบด้วยสองขั้นตอนซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะทำการลบพิกเซลแต่ละพิกเซลของเส้นขอบโดยใช้หน้าต่าง 3x3 ดังแสดงในตารางที่ 3 วางทาบลงไปจุดภาพ โดยการตรวจหาพิกเซลที่มีค่าเป็น "1" เมื่อตรวจพบแล้วจึงเริ่มขั้นตอนที่ 1 และ 2

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5

ตารางที่ 3 หน้าต่างขนาด 3x3 ซึ่ง p1 คือขอบของวัตถุ

ขั้นตอนในการหาแกนกลางมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการลบจุดภาพบริเวณขอบวัตถุทางด้านขวามือและด้านล่าง โดยวางหน้าต่าง 3x3 ทาบไปบนจุดภาพที่มีค่าเป็น "1" และกำหนดให้เป็น p1 จากนั้นตรวจสอบเงื่อนไขต่อไปนี้

- $2 < N(p1) < 6$
- $S(p1) = 1$
- $p2.p4.p6 = 0$
- $p4.p6.p8 = 0$

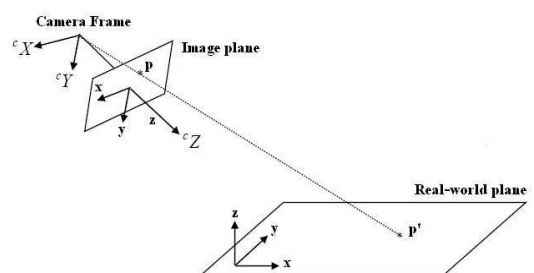
ขั้นตอนที่ 2 เป็นการลบจุดภาพบริเวณขอบวัตถุทางด้านซ้ายมือและด้านบนโดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- $2 < N(p1) < 6$
- $S(p1) = 1$
- $p2.p4.p8 = 0$
- $p2.p6.p8 = 0$

### 4. หลักการ Homography Transform

#### 4.1 Homography Transform

ระบบการวัดบนระนาบเป็นวิธีการวัดในลักษณะเรขาคณิตบนระนาบ นำมาใช้เพื่อแปลงระยะทางในพิกัดบนรูปภาพเป็นค่าระยะทางจริงโดยเทียบกับพิกัดอ้างอิง [2][3][6] ในระบบสองมิติ Homography Matrix จะเป็นตัวแปลงระหว่าง Homogeneous Point และ Homogeneous Coordinate



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดบนพิกัด ( $p$ ) และจุดบนพิกัดจริง ( $p'$ )

จากความสัมพันธ์ระหว่างระนาบในระบบพิกัดรูปภาพ ( $p$ ) และจุดบนพิกัดจริง ( $p'$ ) สามารถเขียนได้เป็น

$$p' = Hp \quad (3)$$

เมื่อ  $p'$  และ  $p$  เป็น Homogeneous Coordinate ที่

## AMM18

ร่วมกันของตำแหน่ง  $p$  (พิกัดรูปภาพ) และ  $p'$  (พิกัดจริง) ซึ่งมี  $H$  เป็น Homography Matrix

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (4)$$

โดยในสมการที่ (4) จะเพิ่มจุดสมมุติ  $w$  และ  $w'$  ขึ้นมา

โดยให้มีค่าเท่ากับ 1 แล้วคูณ  $p$  และ  $H$  เมื่อ  $\frac{x'}{w'}$

และ  $\frac{y'}{w'}$  โดยที่ค่า  $w = w' = 1$  จัดรูปแบบสมการใหม่ได้เป็น

$$x' = \frac{h_1x + h_2y + h_3}{h_7x + h_8y + h_9}, \quad y' = \frac{h_4x + h_5y + h_6}{h_7x + h_8y + h_9} \quad (5)$$

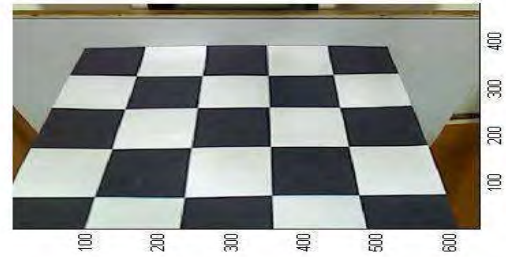
ซึ่งสามารถจัดสมการใหม่ให้อยู่ในรูปแบบ Homogeneous ได้เป็นสมการที่ (6) โดยที่ตัวแปร 9 ตัวภายใน  $H$  สามารถที่จะแปลความหมายเป็นอัตราการขยายหรือตัวแปลงค่าจุดระหว่างพิกัด ซึ่งในการหาค่า Homography Matrix จำเป็นจะต้องทราบค่าจุดบนพิกัดอย่างน้อย 4 จุด [4]

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & x'_1x_1 & x'_1y_1 & x'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & x'_4x_4 & x'_4y_4 & x'_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & y'_1x_1 & y'_1y_1 & y'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & y'_4x_4 & y'_4y_4 & y'_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \\ h_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Homography Matrix สามารถที่จะหาได้โดยการใช้ระบบสมการเชิงเส้น Singular value decomposition (SVD) เป็นวิธีการประมาณค่าแบบวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Squares; LS) ซึ่งเมื่อทราบค่าของ  $H$  ก็จะสามารถที่จะนำไปหาคำนวนหาค่าจริงของตำแหน่งบนรูปภาพโดยการคูณกันระหว่าง  $H$  และ  $p$  ดังสมการที่ (3)

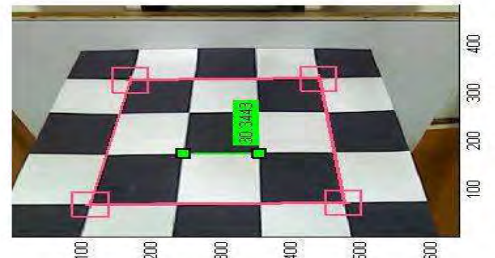
## 4.2 การสอบเทียบ

ในการสอบเทียบจะใช้ตารางที่ทราบขนาดเพื่อจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง 4 จุดของพิกัดรูปภาพเทียบกับขนาดจริงในพิกัดจริง เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่า Homography Matrix ( $H$ ) ซึ่งเป็นค่าแฟกเตอร์ที่นำไปแปลงค่าจากข้อมูลรูปภาพเป็นค่าในพิกัดจริง



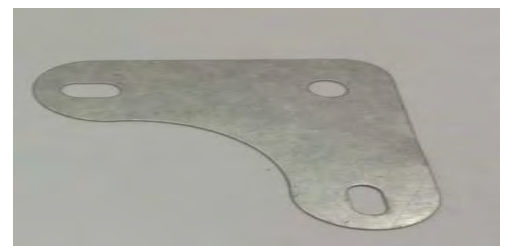
รูปที่ 2 ตารางขนาด 30x30 mm.ที่ใช้ในการสอบเทียบ

โดยทำการกำหนดจุดแต่ละจุดและนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสมการที่ (4) โดยการใชัพังก์ชัน SVD ที่เป็นการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยสุด (Least Squares; LS) ในโปรแกรม Matlab เป็นตัวช่วยในการคำนวณหาค่า Homography Matrix ( $H$ ) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ขนาด 3X3 และสามารถนำค่า  $H$  ไปใช้ในสมการที่ (3)



รูปที่ 3 ขั้นตอนและผลลัพธ์ที่ได้จากการสอบเทียบ

## 4.3 วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

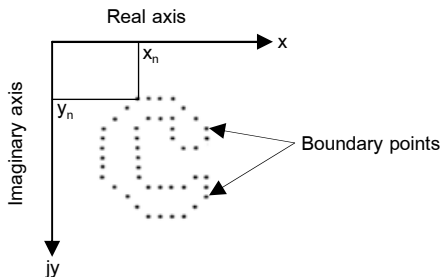


รูปที่ 4 แสดงวิธีการเก็บภาพตัวอย่าง

## AMM18

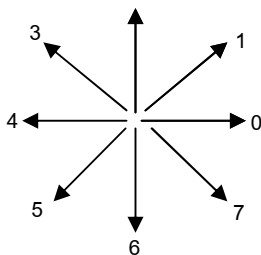
### 5. หลักการของ Chain Code

การหาตำแหน่งพิกัดคือการค้นหาและเก็บพิกัดของจุดภาพ [7] ที่อยู่บนขอบในแนวแกน x และ y แล้วจัดเก็บในรูปของตัวเลขเชิงซ้อน



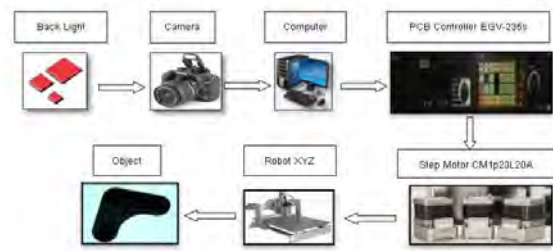
รูปที่ 5 แสดงในรูปตัวเลขเชิงซ้อน จุด  $(x_n, y_n)$

จากรูปที่ 5 แสดงพิกัดของเส้นขอบที่มีจำนวน  $N$  จุด ในแนวแกน  $x, y$  โดยกำหนดให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่จุด  $(x_n, y_n)$  ในการหาพิกัดของเส้นขอบของภาพต้องผ่านการหาเส้นขอบภาพมาแล้วและถูกทำให้บางลงเหลือความหนาขอบเพียง 1 พิกเซล จากนั้นทำการตรวจหาจุดภาพที่มีค่าเป็น "1" โดยโปรแกรมจะเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่างเมื่อพบจุดพิกเซลที่มีค่าเป็น "1" จะวางหน้าต่าง  $3 \times 3$  ทาบที่จุดนั้น แล้วพิจารณาจุดข้างเคียงที่อยู่ล้อมรอบจุด  $P_1$  ในลักษณะ 8 ทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 6 ถ้าตรวจพบจุดภาพถัดไปมีค่าเป็น "1" จะทำการย้ายจุด  $P_1$  ไปที่จุดนั้นแล้วตรวจหาจุดข้างเคียง 8 ทิศทางอีกเมื่อพบจุดที่มีค่าเป็น "1" จะเก็บพิกัดในแนวแกน  $x$  และ  $y$  การดำเนินการจะกระทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสามารถเก็บพิกัดของจุดภาพที่อยู่บนขอบภาพได้ทั้งหมดสุดท้ายจะได้พิกัด  $x$  และ  $y$  ของตำแหน่งพิกัดจุดทั้งหมดที่มีค่าเป็น "1"



รูปที่ 6 ทิศทาง 8 ทิศทางรอบจุด  $p_1$  ที่พิจารณา

### 6. ส่วนประกอบของระบบ



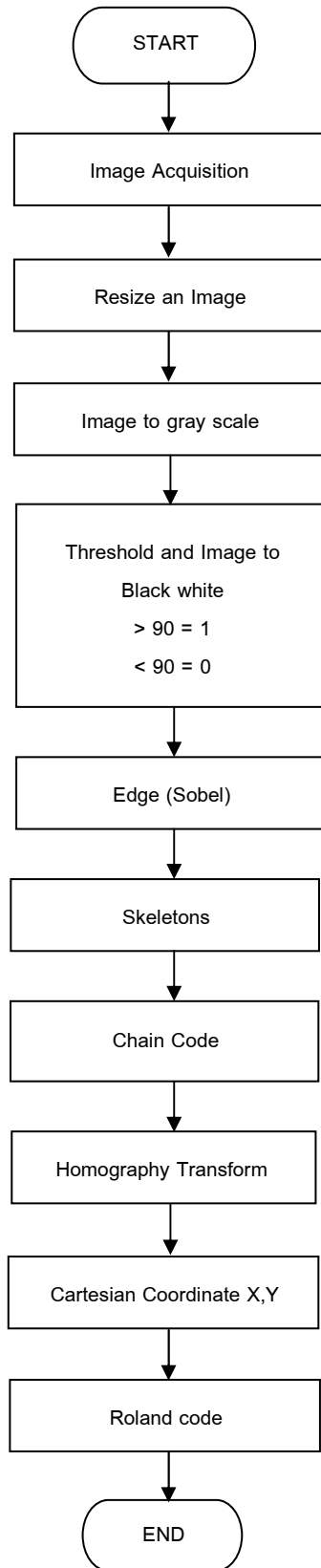
รูปที่ 7 ส่วนประกอบของเครื่องกัด PCB

ส่วนประกอบของของระบบในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงรุ่น LP-200 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 178 มม. x 127 มม. และส่วนของการรับภาพจะใช้กล้อง EOS Canon 1000D เลนส์ EFS18-55 mm คอมพิวเตอร์ Lenovo T500 Intel core2duo CPU T9600 2.8 GHz Ram 4 GB Win7 32 bit Controller Robot รุ่น EGV-235s Motor Stepping รุ่น CM1P23L20A พื้นที่ของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 540 มม. x 540 มม. ในการกำหนดเส้นทางเดินของเครื่องกัดแบบอัตโนมัติทำงานด้วยการเขียนแบบในโปรแกรมออโตแคด เปรียบเทียบการเคลื่อนที่จากการแปลงรหัสแบบ Roland Printer MDX-650 (RML-1) ด้วยโปรแกรม VCAM Version 3.0 ผ่านพอร์ตการสื่อสารอนุกรมโดยการแปลงจาก CAD ซึ่งจะมีความถูกต้องมากที่สุดแต่ในการปฏิบัติงานจริงพบว่าในบางครั้งจะไม่สามารถรู้ขนาดของวัตถุตัวอย่างได้ด้วยการวัดด้วยเครื่องมือวัด เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักร ลายไทย บนไม้ฝาเมอรา

ในงานวิจัยนี้ได้นำคอมพิวเตอร์วิชั่นมาประยุกต์ใช้งานเพื่อสร้างรหัสทางเดินของเครื่องกัดแบบอัตโนมัติ ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้อง EOS Canon 1000D หน่วงความเร็วในการถ่ายภาพ 1/40 และเปิดรูรับแสง F4.0 เพื่อแก้ปัญหาการบิดเบี้ยวของภาพ หลังจากที่ได้ภาพที่สมบูรณ์มาแล้วจะทำการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Matlab 7.0.4 และแปลงเป็นรหัสทางเดินของ เครื่องกัด

## AMM18

### 7. กระบวนการเก็บตัวอย่างภาพ



รูปที่ 8 แสดงการประมวลผลสร้างทางเดินเครื่องกัด

### 8. การกำหนดและปรับปรุงรหัสทางเดินของเครื่อง

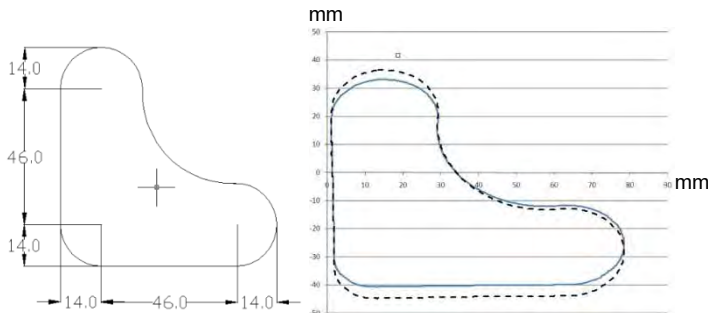
กระบวนการกำหนดและปรับปรุงทางเดินของเครื่องกัดเครื่องพล็อตเตอร์ และเครื่องหยอดกาว เริ่มต้นจากการใช้กล้อง EOS Canon 1000D Lens EFS 18-55 mm ปรับรูรับแสงให้กว้างสุด (F4.0) ความเร็วในการถ่ายภาพ 1/40 ความไวแสง ISO 100 ถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างที่มุมกล้องแตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำและเที่ยงตรงของการแปลงรหัสทางเดินแต่ละครั้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการถ่ายภาพตัวอย่างที่มุม 90, 60 และ 45 องศา หลังจากที่ได้ภาพถ่ายที่มุมต่างๆมาครบทั้ง 3 ภาพแล้วจะทำการลดขนาดภาพเพื่อลดสัญญาณรบกวน ในงานวิจัยนี้จะลดขนาดภาพ 80 เปอร์เซ็นต์ของความละเอียดกล้องสูงสุดและใช้โปรแกรม MatLab 7.0.4 ในการแปลงภาพทั้ง 3 ภาพเป็นภาพเทา เพื่อลดขนาดของข้อมูลในการประมวลผล ทำการปรับ Threshold เพื่อแปลงเป็นภาพขาวดำ (Binary) ต่อจากนั้นให้หาขอบภาพโดยใช้หลักการของโซเบล (Sobel) แต่ผลของขอบภาพที่ได้จะยังคงมีความหนาแน่นมากกว่า 1 พิกเซล และใช้หลักการของสกีรี้ตัน (skeleton) เพื่อให้ได้ขอบภาพ 1 พิกเซล กระบวนการต่อมาจึงแปลงภาพให้เป็นขนาดจริง โดยใช้หลักการของ Homography Transform และแปลงเป็นพิกัด (x,y) โดยใช้หลักการของเซนโค้ด หลังจากที่ได้พิกัด (x,y) จะบ่งบอกรหัสทางเดินของเครื่องกัด เครื่องพล็อตเตอร์และเครื่องหยอดกาวและแปลงเป็นรหัส Roland Printer ดังตารางที่ 5

^	PD	X1	,	Y1	;
^	PD	X2	,	Y2	;
^	PD	X3	,	Y3	;
^	PD	X4	,	Y4	;
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
^	PDn	Xn	,	Yn	;

ตารางที่ 5 ตารางแสดงการแปลงรหัสโรแลนด์ปริ้นเตอร์

## AMM18

### 8.1 การเปรียบเทียบระหว่างการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้อัตโนมัติกับการแปลงพิกัดแบบอัตโนมัติ



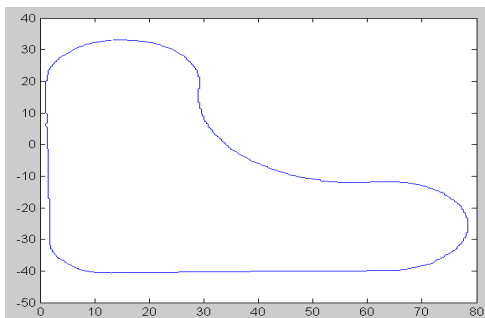
รูปที่ 9 แสดงขนาดวัตถุตัวอย่าง (ด้านซ้าย) และการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงพิกัดแบบเลือกจุดแสดงด้วยเส้นประ กับการแปลงพิกัดแบบอัตโนมัติแสดงด้วยเส้นทึบ (ด้านขวา)

### 8.2 การประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นที่มุมถ่ายภาพ 90,60 และ 45 องศา

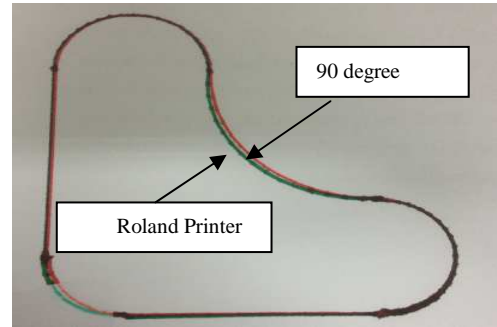
นำภาพ RGB ที่ได้มาประมวลผลภาพบนโปรแกรม MATLAB 7.0.4 เพื่อแปลงเป็นภาพเทา และแปลงเป็นภาพขาวดำตามลำดับ จากนั้น พิจารณาภาพเพื่อลบพื้นที่บริเวณกลุ่มพิกเซลสีขาวออก และหาเส้นขอบภาพของวัตถุตัวอย่างโดยใช้วิธีโซเบล (Sobel) และทำให้ขอบภาพบางเหลือ 1 พิกเซลโดยใช้หลักการสเกิร์ตตัน (Skeleton) แล้วทำการหาตำแหน่งพิกเซลโดยใช้หลักการเชนโค้ด (Chain code)

8.2.1 มุมกล้อง 90° นำพิกัดที่ได้จากเชนโค้ดมาคูณกับสมการที่ 7 เพื่อแปลงเป็นพิกัดจริง แสดงดังรูปที่ 10

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0136 & -0.0000 & -0.1903 \\ 0.0000 & -0.0138 & 0.9811 \\ -0.0000 & -0.0000 & 0.0276 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (7)$$



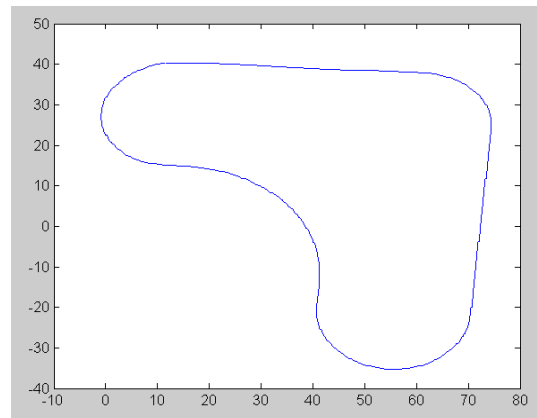
รูปที่ 10 แสดงภาพหาโซโมกราฟฟิทรานฟอร์ม



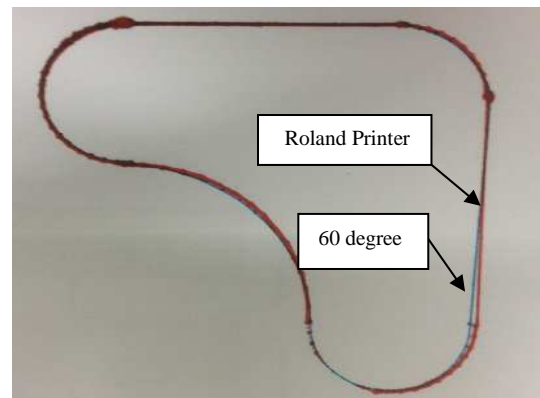
รูปที่ 11 แสดงภาพรหัสทางเดินจากโปรแกรมอัตโนมัติ เติบกับ รหัสทางเดินจากการแปลงภาพ

8.2.2 มุมกล้อง 60° นำพิกัดที่ได้จากเชนโค้ดมาคูณกับสมการที่ 8 เพื่อแปลงเป็นพิกัดจริง แสดงดังรูปที่ 12

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0056 & -0.0001 & -0.0982 \\ -0.0002 & -0.0056 & 0.9948 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0266 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (8)$$



รูปที่ 12 แสดงภาพหาโซโมกราฟฟิทรานฟอร์ม

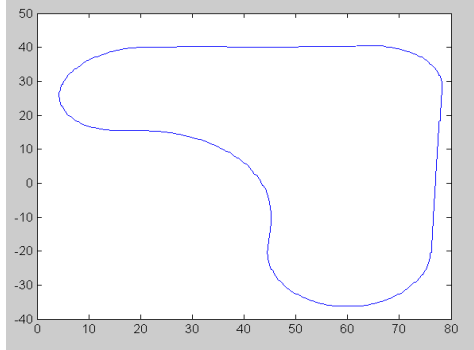


รูปที่ 13 แสดงภาพรหัสทางเดินจากโปรแกรมอัตโนมัติ เติบกับ รหัสทางเดินจากการแปลงภาพ

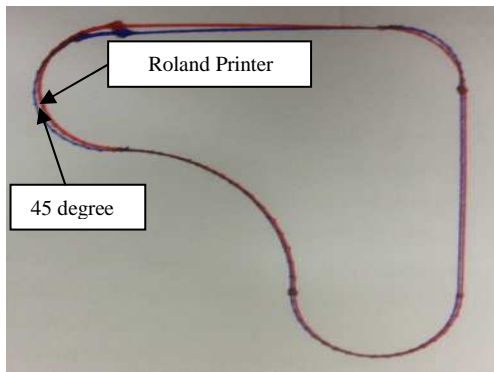
## AMM18

8.2.3 มุมกล้อง 45° นำพิกัดที่ได้จากเซนโค้ดมาคูณกับสมการที่ 9 เพื่อแปลงเป็นพิกัดจริง แสดงดังรูปที่ 14

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0050 & 0.0012 & -0.2655 \\ 0.0001 & -0.0056 & 0.9637 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0257 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (9)$$

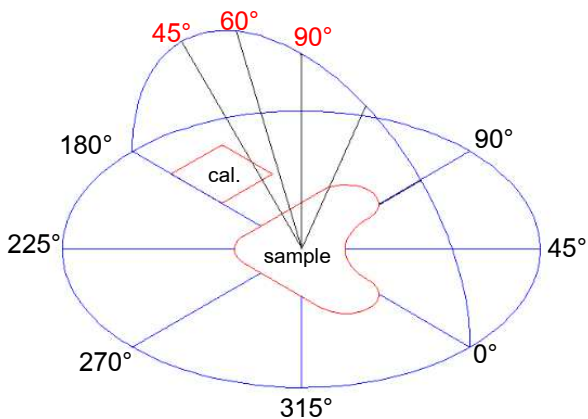


รูปที่ 14 แสดงภาพหาไฮโมกราฟพีทรานฟอร์ม



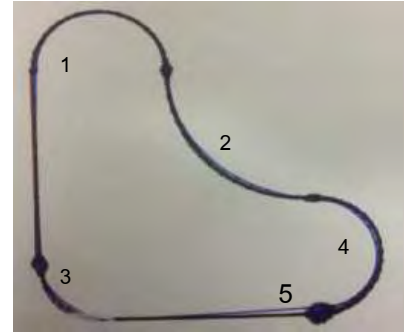
รูปที่ 15 แสดงภาพรหัสทางเดินของเครื่องจักรจากโปรแกรมอัตโนมัติแคดเทียบกับรหัสทางเดินจากการแปลงภาพ

### 8.3 เปรียบเทียบแปลงรหัสด้วยวิธีโรแลนด์ปริ้นเตอร์ (Roland Printer)



รูปที่ 16 การพล็อตที่มุมกล้อง 90,60 และ 45 องศาเปรียบเทียบกับตัวอย่าง

หลังจากทำการพล็อตจุดด้วยโปรแกรม ออกโตแคด (AutoCAD) และวิธีรหัสโรแลนด์ (Roland Code) พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ  $\pm 1.5$  มม. โดยส่วนใหญ่จะพบบริเวณส่วนโค้งของขอบภาพ แสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ส่วนของภาพที่มีความคลาดเคลื่อนทั้ง 5 จุด

มุมถ่ายภาพ (องศา)	ค่าความคลาดเคลื่อน (มม.)					ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (มม.)
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	
90°	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.34
60°	0.4	0.6	0.4	1	0.3	0.54
45°	0.5	1	0.7	0.4	2	0.94

ตารางที่ 6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละองศา

### 9. การประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้นรูปร่างต่าง ๆ

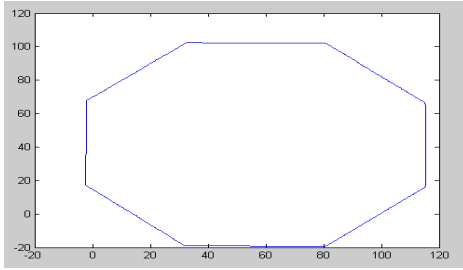
หลังจากทำการแปลงพิกัดภาพจะได้ผลดังตารางที่ 6 ซึ่งแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานแต่ละองศา พบว่าเมื่อปรับมุมกล้องที่ 45 องศา จะให้ค่าความแม่นยำน้อยที่สุด และที่มุม 90 องศาให้ค่าความแม่นยำมากที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.94, 0.34 มม. ตามลำดับ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารูปทรงที่หลากหลายมากขึ้นอีก 2 รูปทรง ได้แก่ รูปทรงแปดเหลี่ยม และรูปทรงอิสระ โดยมีผลการประมวลผลภาพดังต่อไปนี้

## AMM18

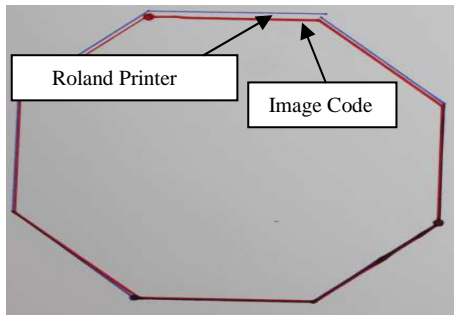
### 9.1 การประมวลผลภาพและการปรับปรุงลายเส้น รูปร่างแปดเหลี่ยม และรูปร่างอิสระ

9.1.1 จากรูปร่างแปดเหลี่ยมนำพิกัดที่ได้จากเซนโค้ดมาคูณกับสมการที่ 10 เพื่อแปลงเป็นพิกัดจริง แสดงดังรูปที่ 18

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0025 & 0.0000 & -0.1049 \\ 0.0000 & -0.0026 & 0.9944 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0089 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (10)$$



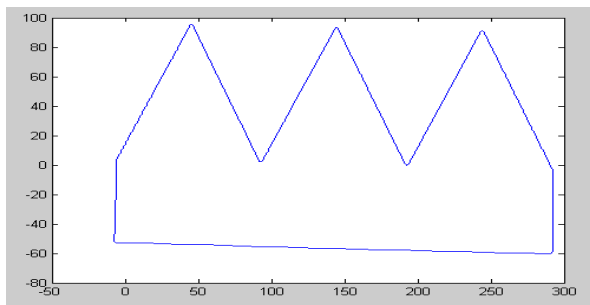
รูปที่ 18 แสดงภาพหา Homography Transform



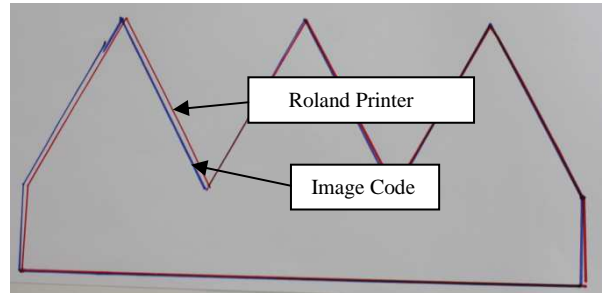
รูปที่ 19 แสดงภาพรหัสทางเดินจากโปรแกรมอโต้  
แคด เทียบกับ รหัสทางเดินจากการแปลงภาพ

9.1.2 จากรูปร่างอิสระนำพิกัดที่ได้จากเซนโค้ดมาคูณกับสมการที่ 11 เพื่อแปลงเป็นพิกัดจริง แสดงดังรูปที่ 20

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0032 & -0.0000 & -0.1140 \\ 0.0001 & -0.0032 & 0.9634 \\ 0.0000 & -0.0000 & 0.0089 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (11)$$



รูปที่ 20 แสดงภาพหาโฮโมกราฟฟีทรานฟอร์ม



รูปที่ 21 แสดงภาพรหัสทางเดินจากโปรแกรมอโต้  
แคด เทียบกับ รหัสทางเดินจากการแปลงภาพ

## 11. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพสำหรับสร้างรหัสคำสั่งที่ใช้ได้กับเครื่องกัด เครื่องพลิ้อเตอร์ และเครื่องหยอดกาว ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นทางเดิน โดยใช้คอมพิวเตอร์วิชันและการประมวลผลภาพดิจิทัลจากภาพถ่ายของวัตถุต้นแบบ วิธีการนี้จะนำเสนอนี้จัดเป็นวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับใช้งานกับการสร้างเส้นทางเดินจากภาพสองมิติ โดยการค้นหาขอบภาพของชิ้นงานแล้วใช้วิธีการสกีรตัน (Skeleton) เพื่อลดขนาดของขอบภาพให้เหลือขอบพิกเซลเดียว ซึ่งจะเป็นทางเดินของเครื่องพลิ้อเตอร์อัตโนมัติอย่างง่าย จากนั้นแปลงพิกัดด้วยวิธี โฮโมกราฟฟีทรานฟอร์ม (Homography Transform) เพื่อแก้ไขมุมมองของขอบภาพแบบค้นหาตำแหน่งในการเปรียบเทียบพิกัดทั้ง 4 จุด หลังจากนั้นใช้วิธีการเซนโค้ด (Chain Code) ในการแปลงเส้นทางเดินของเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ จากการทดลองพบว่าที่มุมกล้อง 90 องศา จะให้ความแม่นยำและเที่ยงตรงมากที่สุด และเมื่อเทียบกับวิธีป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teach Point) และวิธีเลือกตำแหน่งบนภาพ 2 มิติ[6] ยังให้ผลที่รวดเร็วกว่าและแม่นยำมากที่สุด หลังจากนั้นทำการทดลองแบบปรับเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุตัวอย่างที่มีรูปร่างแปดเหลี่ยม และรูปร่างอิสระจากการทดลองในการแปลงรหัสทางเดินสำหรับเครื่องกัด เครื่องหยอดกาวและเครื่องพลิ้อเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์วิชันจะได้พิกัดตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกับการแปลงรหัสทางเดินที่แปลงจากโปรแกรมอโต้แคด

## AMM18

### 12. เอกสารอ้างอิง

- [1] Research on Intelligent Glue-coating Robot Based on Visual ServoPhysics Procedia, Volume 24, Part C, 2012, Pages2165-2171Zhigang Yang, Yi An, Yanbin Sun, Jingchun Zhang
- [2] I. Ardpairin and T. Suesut, 2012. "Inspection depth of grooves on tire using 3D computer vision system." Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Architecture and Engineering
- [3] Suesut, T. and Inthuset.S, 2009. "Fish Size Measurement by Computer Vision using Light Sectioning." International Conference on Innovations in Agricultural Food and Renewable Energy Productions for Mankind.
- [4] Min Max Threshold Range (MMTR) based approach in palmprint authentication by sobel code method Original Research Article Procedia Computer Science,Volume 2,2010, Pages149-158 Jyoti Malik, G. Sainarayanan, Ratna Dahiya
- [5] Using skeleton-based tracking to increase the reliabilityof optical motioncapture Human Movement Science, Volume 20, Issue 3, June 2001, Pages 313-341Lorna Herda, Pascal Fua, Ralf Plänklers, Ronan Boulic, Daniel Thalmann
- [6] การสร้างรหัส G-Code ของเส้นทางการหยอด ปะเก็นเหลวสำหรับเครื่องยนต์ด้วยคอมพิวเตอร์วิชั่น, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27, วันที่ 16-18 ตุลาคม 2556, วิทยุ พัฒนาชาติตากุล,สุเทพ อาษา,รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์,รศ.สุพรรณ กุลพานิชย์
- [7] Feature extraction from vein images using spatial information and chain codes original Research Article Information Security Technical Report, Volume 17,Issues 1-2,February 2012,Pages 26-35 Anika Pflug, Daniel Hartung,Christoph Bussch

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	สุเทพ อาษา
วัน เดือน ปี เกิด	3 มกราคม 2524
ที่อยู่	62 หมู่ 8 ต.แก่งดินสอ อ.นาดี จ.ปราจีนบุรี 25220 โทร.0814944903
ประวัติการศึกษา	2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.)ออกแบบระบบอัตโนมัติ 2.)ออกแบบระบบวิชั่น 3.)ออกแบบระบบหุ่นยนต์
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2547 -พ.ศ.2550	Auto Flexible Advanced Engineering Co.,LTD วิศวกรระบบอัตโนมัติ
พ.ศ.2550 -พ.ศ.2551	Aerofluid (Thailand) Co.,LTD วิศวกรการขาย ระบบ Safety Sensor for EUCHNER
พ.ศ.2551 -พ.ศ.2558	Freelance Service Engineer and sale Engineer Programming control Servo Motor of Parker Controller