

ระบบวิทัศน์จักรกลสำหรับวัดปริมาตรและคัดแยกปลาแบบต่อเนื่อง

MACHINE VISION SYSTEM FOR CONTINUOUS FISH SORTING  
AND VOLUME MEASUREMENT

พงศ์เทพ ศรีสกุลเตียว  
PONGTHEP SRISAKULTIEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

KMITL-2014-EN-M-060-074

MACHINE VISION SYSTEM FOR CONTINUOUS FISH SORTING  
AND VOLUME MEASUREMENT

PONGTHEP SRISAKULTIEW

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

2014

KMITL-2014-EN-M-060-074

COPYRIGHT 2014

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบวิทัศน์จักรกลสำหรับวัดปริมาตรและคัดแยกปลาแบบต่อเนื่อง  
Thesis Title Machine Vision System for Continuous Fish Sorting and Volume Measurement  
นักศึกษา นายพงศ์เทพ ศรีสกุลเตียว  
รหัสประจำตัว 53611218  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-EN-M-060-074

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.สุพรรณ	กุลพาณิชย์	
ดร.ยุทธพงศ์	ทัพผดุง	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
รศ.ดร.ทวีพล	ชื้อสัตย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เวลา 13.00-15.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุช์ขวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบวิทัศน์จักรกลสำหรับวัดปริมาตรและคัดแยกปลาแบบต่อเนื่อง
นักศึกษา	นายพงศ์เทพ ศรีสกุลเดียว
รหัสประจำตัว	53611218
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการคัดแยกขนาดของปลา โดยวัดขนาดของวัตถุแบบสามมิติจากกล้องด้วยการประมวลผลภาพแบบเวลาจริง บทความนี้นำเสนอวิธีการวัดปริมาตรของวัตถุโดยสร้างภาพเป็นรูปทรง 3 มิติ สำหรับวัตถุที่มีรูปทรงสมมาตร โดยนำการวัดขนาดของปลาด้วยระบบวิทัศน์จักรกลเป็นกรณีศึกษา ระบบต้นแบบประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพจากกล้องที่รับภาพของลำแสงเลเซอร์ตัดขวางวัตถุโดยใช้โปรแกรม Labview ของ National Instrument ตัวอย่างจะเคลื่อนที่ไปบนสายพานอย่างต่อเนื่อง ภาพของเลเซอร์ที่ได้ผ่านตัวกรองความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร เพื่อตัดแสงรบกวนจากภายนอกจากนั้นทำการปรับปรุงภาพด้วยวิธีการกรองแบบ Savitzky-Golay Filter เพื่อเติมเส้นที่ขาดหายไปให้สมบูรณ์ก่อนการนำมาคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดอาศัยการแปลงจำนวนพิกเซลของภาพให้เป็นหน่วยของพื้นที่ (ตารางมิลลิเมตร) โดยใช้ทฤษฎี Projective Geometry ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านไปบนสายพานลำเลียงพื้นที่หน้าตัดจะถูกคำนวณและนำมารวมกันเป็นปริมาตรของวัตถุ ในการทดลองได้ทำการทดสอบความถูกต้องของระบบการวัดกับการวัดปริมาตรของวัตถุรูปทรงเรขาคณิต จากนั้นนำตัวอย่างของปลาต่างขนาดและชนิด เช่นปลานิล ปลาโอมมาทำการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการหาปริมาตรด้วยวิธีการแทนที่ด้วยน้ำ วิธีที่นำเสนอนี้จัดเป็นวิธีการวัดที่ไม่ทำลายวัตถุสามารถประยุกต์สำหรับการคัดขนาดของ ปลา และพืชผลทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีลักษณะรูปทรงสมมาตรได้เป็นอย่างดี สามารถพัฒนาสู่การใช้งานในระดับอุตสาหกรรมในอนาคตได้ เช่น งานด้านการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตรกรรมเพื่อใช้ในการคัดแยกวัตถุดิบ เป็นต้น

<b>Thesis</b>	Machine Vision System For Continuous Fish Sorting And Volume Measurement
<b>Student</b>	Mr. Pongthep Srisakultiew
<b>Student ID.</b>	53611218
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Instrumentation Engineering
<b>Year</b>	2014
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Taweepol Suesut

## **Abstract**

This thesis presents a sorting of fish by measuring the size of a three-dimensional object from a camera with real-time image processing. This method can apply to measure the volume of the object by creating a 3D shape for objects that are symmetrical shapes. The fish size measurement by machine vision system was used as a case study. The prototype system consists of a computer image processing and the machine vision camera to get images of projected laser beam on the object. The samples are moved along the conveyor belt continuously. The image of the projected laser line with a wavelength of 650 nm is filtered the light source of environment by a narrow band pass filter. Savitzky-Golay filter is the method to fill the missing part of the cross-sectional line in order to enhance the image quality before computing the cross-sectional area. The pixel of the image is converted as a unit of area (Square millimeters) using projective geometry theory while the object moves along a conveyor belt through a cross-sectional area is calculated and combined with the volume of the object. In the experiment, the testing of measurement accuracy system was performed by measuring the dimension and volume of the geometry object. Afterward, the several kinds of fish such tilapia, frigate tuna were performed the volume measurement by comparing with the water displacement method. This method is the non-destructive measurement which can be applied for the fish sorting

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	1
1.3 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์ .....	3
บทที่ 2 วิธีการคัดแยกขนาดและการวัดปริมาตรด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น.....	4
2.1 ระดับของความซับซ้อนในการคัดแยกขนาดของปลา .....	5
2.2 เทคนิคที่ใช้ในการคัดแยกขนาดของปลา .....	5
บทที่ 3 หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	12
3.1 การเก็บข้อมูลสามมิติ .....	12
3.2 รูปแบบการสแกนวัตถุ .....	26
3.3 วิธีการหาจุดศูนย์กลาง .....	30
3.4 อัลกอริทึมเส้นตรง Bresenham .....	32
3.5 ตัวกรองสวาวิทซกี-โกเลย์ .....	34
3.6 โฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์ม .....	37
บทที่ 4 การออกแบบระบบตรวจวัดปริมาตรของปลาโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ .....	48
4.1 หลักการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ .....	48
4.2 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุ .....	51
4.3 ขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบตรวจวัดปริมาตรของวัตถุ .....	54

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	61
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	61
5.2 การทดสอบวัดขนาดพื้นที่รวมเชิงปริมาตรจากวัตถุตัวอย่าง .....	62
5.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาตรของปลาชนิดต่างๆ .....	65
5.4 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	69
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	70
6.1 สรุปผลการวิจัย .....	70
6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อ .....	70
เอกสารอ้างอิง .....	71
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ .....	74
ประวัติผู้เขียน .....	81

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงระดับความซับซ้อนในการคัดแยกปลา .....	5
2.2 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีการคัดแยกขนาดของปลาแบบต่างๆ .....	10
5.1 แสดงผลการทดลองการวัดความยาวของวัตถุเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง .....	63
5.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดจากผลการทดลองวัดความยาวของวัตถุตัวอย่าง .....	63
5.3 แสดงผลการทดลองการวัดปริมาตรของวัตถุเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง .....	64
5.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดจากผลการทดลองหาปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง .....	64
5.5 แสดงผลของการหาปริมาตรของปลาโดยวิธีการชั่งน้ำหนักในของเหลว (น้ำ) .....	67
5.6 แสดงผลการทดลองการวัดความยาวของปลาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง .....	68
5.7 แสดงผลการทดลองการวัดปริมาตรของปลาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง .....	68

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงการตัดแยกขนาดโดยอาศัยการหลักการประมาณค่าโดยใช้สายตามนุษย์ ..... 6
2.2	แสดงการตัดแยกขนาดโดยอาศัยการมองเปรียบเทียบกับไม้บรรทัด ..... 7
2.3	แสดงลักษณะและวิธีการใช้งานของไม้บรรทัดที่ใช้ในการตัดแยกขนาด ..... 7
2.4	แสดงการตัดแยกขนาดของปลาโดยใช้อุปกรณ์ช่วยในการตัดแยกขนาด ..... 8
3.1	หลักการวัดระยะทางโดยใช้คลื่นแสง ..... 13
3.2	ความต่างของมุมเฟสที่สะท้อนกลับมาเมื่อกระทบวัตถุ ..... 13
3.3	การวัดระยะทางโดยหลักการของรูปสามเหลี่ยม ..... 14
3.4	หลักการของระบบสเตอริโอวิชั่น ..... 15
3.5	การวัดระยะทางในระบบสเตอริโอวิชั่น ..... 15
3.6	ภาพถ่ายสเตอริโอที่ได้จากกล้องซ้ายและกล้องขวา ..... 17
3.7	ภาพความแตกต่างของกล้องทั้งสองเมื่อนำมารวมกัน ..... 17
3.8	ตัวอย่างการคำนวณหาระยะทางระหว่างกล้องทั้งสองตัวกับวัตถุ ..... 18
3.9	หลักการวัดระยะทางโดยวิธีรูปสามเหลี่ยมร่วมกับแสงเลเซอร์แบบจุด ..... 20
3.10	การวิเคราะห์ระยะทางของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ ..... 20
3.11	หลักการวัดระยะทางโดยวิธีรูปสามเหลี่ยมร่วมกับแสงเลเซอร์แบบเส้น ..... 22
3.12	ฉากรหัสไบนารี ..... 22
3.13	เทคนิคการฉายแสงผ่านรหัสไบนารี ..... 23
3.14	ภาพวัตถุที่ได้จากการฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารี ..... 23
3.15	ความผิดพลาดจากความเหลื่อมล้ำของร่องแสงที่อยู่ติดกันในฉากรหัสไบนารี ..... 24
3.16	ฉากรหัสเกรย์ ..... 25
3.17	ความผิดพลาดจากความเหลื่อมล้ำของร่องแสงที่อยู่ติดกันในฉากรหัสเกรย์ ..... 26
3.18	รูปแบบการสแกนวัตถุโดยการหมุนวัตถุ ..... 27
3.19	รูปแบบการสแกนวัตถุโดยการหมุนทำมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพ ..... 28
3.20	การสแกนโดยการใช้แสงแบ่งส่วนวัตถุ ..... 28
3.21	การเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านเส้นแสงและภาพที่ได้ในเฟรมต่างๆเมื่อมีวัตถุตัดผ่าน ..... 29
3.22	ตัวอย่างการนำภาพตัดขวางแต่ละส่วนมารวมเพื่อสร้างภาพตัดขวาง 3 มิติ ..... 29

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 เมทริกซ์ขนาด4x5 .....	31
3.24 แสดงการสร้างเส้นตรงบนจอภาพ .....	32
3.25 อัลกอริทึมในการวาดเส้นตรงของ Bresenham .....	33
3.26 แสดงผลการทดสอบการใช้ตัวกรอง .....	37
3.27 ความสัมพันธ์และการโปรเจกชันของจุดที่อยู่บนระนาบ .....	37
3.28 ตัวอย่างลักษณะของการแปลงในเชิงการโปรเจกชันแบบต่างๆ .....	38
3.29 การบิดเบือนของระนาบซึ่งเป็นผลของการแปลงแบบ Affine .....	41
3.30 คุณสมบัติและลักษณะของการแปลงภาพแบบต่างๆ .....	42
4.1 แนวคิดที่นำมาใช้ในการตรวจวัดวัตถุ .....	48
4.2 แสดงระบบแสงเลเซอร์ตัดขวางที่ตกกระทบกับพื้นผิวของวัตถุตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ .....	50
4.3 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุ .....	51
4.4 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอดแบบเส้นที่ใช้ในงานวิจัย .....	51
4.5 กล้อง Basler รุ่น SCA1000-30fc .....	52
4.6 เลนส์และตัวกรองคลื่นแสงย่านความถี่สีแดง .....	52
4.7 แสดงทุกย่านความถี่ของคลื่นแสง .....	53
4.8 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุ .....	53
4.9 แสดงโปรแกรม Labview ที่ใช้ในการประมวลผลภาพแบบต่อเนื่อง .....	54
4.10 ขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบตรวจวัดปริมาตรของวัตถุ .....	55
4.11 ตารางหมากรุกขนาด 30x30mm. ที่ใช้ในการสอบเทียบวัตถุบนมุมกล้องจริง .....	56
4.12 แสดง COG Calculation บนโปรแกรม Labview .....	57
4.13 แสดง Math Script Node ของ Bresenham's Line Algorithm บน Labview .....	58
4.14 แสดง Savitzky-Golay Filter Process บนโปรแกรม Labview .....	58
4.15 แสดง Cross Section Image Process บนโปรแกรม Labview .....	59
4.16 แสดง Volume Calculation บนโปรแกรม Labview .....	60

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 กล้อง Basler รุ่น SCA1000-30fc .....	61
5.2 เลนส์และตัวกรองคลื่นแสงย่านความถี่สีแดง .....	61
5.3 ระบบตรวจวัดปริมาตรและคัดแยกขนาดของปลาแบบต่อเนื่อง .....	62
5.4 วัตถุทรงต่างๆที่ใช้เป็นวัตถุตัวอย่างในการทดลอง .....	63
5.5 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความยาวที่ได้จากการทดลอง .....	63
5.6 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของปริมาตรที่ได้จากการทดลอง .....	64
5.7 แสดงปลาทั้ง 3 ชนิดที่นำมาใช้ในการทดสอบ .....	65
5.8 แสดงการวัดขนาดความยาวของปลาโดยใช้ไม้บรรทัดมาตรฐาน .....	66
5.9 แสดงการหาปริมาตรของปลาที่นำมาทดลองโดยวิธีการชั่งน้ำหนักในของเหลว (น้ำ) .....	66
5.10 การหาปริมาตรโดยวิธีการชั่งน้ำหนักในของเหลว .....	67
5.11 กราฟแสดงค่าของความยาวของปลาที่วัดได้จากการทดลองกับค่าความยาวจริง .....	68
5.12 กราฟแสดงค่าของปริมาตรของปลาที่วัดได้จากการทดลองกับปริมาตรจริง .....	68

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ทวีพล ชี้อัสตัย อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม และ ผศ.ดร.นวกัทราน หนูนาถ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ที่คอยช่วยเหลือแนะนำ ตลอดจนให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ในการศึกษา เจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม และของบัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้อง รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่น่ารักทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกๆด้านทั้งเรื่องการเรียน การเงินและเรื่องส่วนตัวจนทำให้ผู้เขียนผ่านทุกอย่างอย่างจนมาถึงทุกวันนี้ได้

สุดท้ายต้องขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า คุณพิลาวัลย์ น้อยสุข ที่เป็นเสมือนคูคิด และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า และขอให้ทุกท่านจงมีแต่ความสุขตลอดไป

พงศ์เทพ ศรีสกุลเตียว

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากอดีตถึงปัจจุบันการทำฟาร์มปลาน้ำจืด ที่ซึ่งมีเพียงปลาเพียงไม่กี่สายพันธุ์ ที่เติบโตในบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งในทางธุรกิจมีความจำเป็นต้องคัดแยกปลาที่มีขนาดตามความต้องการของตลาด โดยวิธีปฏิบัติ (เรียกว่าการคัดแยกขนาดของปลา) คือการเก็บผลผลิตจากบ่อปลา เป็นช่วงฤดูกาล หรือในช่วงเวลาเฉพาะระหว่างฤดูกาล สำหรับปลาที่มีความพร้อม สำหรับตลาดโดยเฉพาะปลาที่มีขนาดใหญ่ในแต่ละสายพันธุ์ ในการเก็บผลผลิตเพื่อเป็นการลดความหนาแน่นของปลาภายในบ่อ และลดการแบ่งปันในการเจริญเติบโตของปลาโดยการการแบ่งปันเพื่อความอยู่รอดของปลาใหญ่และปลาเล็ก ทำได้โดยการจำกัดขนาดของปลาภายในบ่อ ซึ่งในเชิงพาณิชย์แล้วนั้นในการคัดแยกขนาดของปลานั้นเป็นงานของภาคแรงงาน และการทำงานมีการทำงานอย่างซ้ำซากจำเจ ทั้งบนบกและบนเรือประมง ซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ มักจะทำให้แรงงานหันไปสู่อุตสาหกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องที่มีทางเลือกมากกว่า จึงนำมาสู่ปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคประมง จนต้องนำเข้าแรงงานจากต่างประเทศ จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้มีการคิดค้นเครื่องจักรเพื่อช่วยในการคัดแยกขนาดของปลาที่สามารถจำแนกขนาดของปลา เพื่อที่จะสามารถที่จะลดต้นทุนในด้านการผลิต และมีผลผลิตที่ดีขึ้นกว่าเดิม การประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติในทางอุตสาหกรรมได้รับการพิสูจน์แล้วว่า เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวม และเป็นการลดต้นทุนทางด้านแรงงานและลดความเสียหายของปลาจากการคัดเลือกโดยคน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอระบบที่มีความสามารถตรวจสอบหรือวัดปริมาตรและคัดแยกขนาดของปลาแบบต่อเนื่อง ที่มีความสะดวกในการใช้งานและติดตั้งได้ รวมทั้งมีความเร็วในการประมวลผลและบอกได้ถึงปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง และปลาชนิดต่างๆ ที่เป็นหน่วยวัดมาตรฐานสากล เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากยิ่งขึ้น

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการค้นคว้าและพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง และปลาชนิดต่างๆ ด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น ซึ่งนำภาพที่ได้จากกล้อง และทำการทดลองวัดปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง และปลาชนิดต่างๆ ด้วยระบบประมวลผลภาพแบบต่อเนื่อง (Real-time) โดยเป็นการนำเสนอการใช้เทคนิควิธีการวัดขนาดด้วยภาพ (Metric Vision) บนระนาบภาพ 2 มิติมาประยุกต์ร่วมกับเทคนิคที่ใช้หลักการของแสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ (Laser Light Sectioning) ร่วมกับเทคนิคการประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัล โดยใช้ตัวกรองแบบสวิตซกี-โกลีย์ (Savitzky-Golay Filter) ร่วมกับการคำนวณพื้นที่หน้าตัด โดยอาศัยการแปลงจำนวนพิกเซลล์ของภาพให้เป็นหน่วยของพื้นที่ (ตาราง

มิลลิเมตร) ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านไปบนสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่องพื้นที่หน้าตัดที่ถูกคำนวณได้ จะถูกนำมารวมกันเป็นพื้นที่โดยรวมเชิงปริมาตร ในหน่วยของการวัดมาตรฐานสากลของวัตถุตัวอย่าง และปลาต่างชนิดกัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอ โดยการออกแบบคำนึงถึงความง่าย ในการออกแบบติดตั้ง รวมทั้งให้ความเร็วในการทำงาน และผลของความถูกต้องแม่นยำ ที่มีค่าความ ผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

### 1.3 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากการศึกษาถึงปัญหาต่างๆจึงมีแนวความคิดในการออกแบบระบบการวัดขนาดและ ตรวจสอบวัตถุ ในลักษณะการสแกนบนสายพานลำเลียงซึ่งอยู่ในกระบวนการผลิตโดยทั่วไป และ นำเสนอเทคนิคการใช้หลักการของแสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ (Laser Light Sectioning) ที่เป็นเทคนิค การวัดรูปทรงแบบตัดขวางที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความสะดวกและง่ายในการ ออกแบบ โดยวิธีนี้เป็นการฉายแหล่งกำเนิดแสงลงบนพื้นผิววัตถุ เพื่อให้เกิดเป็นลักษณะตามพื้นผิวของ วัตถุที่แสงตกกระทบ และแสงที่กระทบกับพื้นผิวของวัตถุจะถูกจับภาพแล้วนำไปประมวลผลโดยใช้ เทคนิคการประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัล โดยใช้ตัวกรองแบบซาวิทซกี-โกเลย์ (Savitzky-Golay Filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากภายนอก แล้วใช้ไฮโมกราฟีฟิทรานส์ฟอร์ม์เพื่อทำการแปลงพิกัดที่ อยู่บนภาพให้เป็นพิกัดจริง และทำการคำนวณพื้นที่หน้าตัด โดยอาศัยการแปลงจำนวนพิกเซลส์ของ ภาพให้เป็นหน่วยของพื้นที่ (ตารางมิลลิเมตร) ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านไปบนสายพานลำเลียงอย่าง ต่อเนื่อง โดยกระบวนการประมวลผลทั้งหมดจะพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Labview ของ National Instrument ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตร ของวัตถุตัวอย่าง และปลาชนิดต่างๆ ได้โดยสามารถทำ การประมวลผลได้ในแบบเวลาจริงแบบต่อเนื่อง

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการตรวจวัดปริมาตรและคัดแยกขนาดของปลาชนิดต่างๆ ร่วมกับวัตถุตัวอย่างที่สามารถคำนวณหาปริมาตรได้เพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่ นำเสนอ โดยการใช้เทคนิคแสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุร่วมกับการประมวลผลภาพแบบต่อเนื่อง จากภาพ ที่ได้รับค่าจากกล้องร่วมกับการใช้ตัวกรองแบบซาวิทซกี-โกเลย์ (Savitzky-Golay Filter) แล้วทำการ คำนวณพื้นที่หน้าตัด โดยอาศัยการแปลงจำนวนพิกเซลส์ ของภาพที่ได้ให้เป็นหน่วยของพื้นที่ (ตาราง มิลลิเมตร) โดยทำการพัฒนาและออกแบบโปรแกรมบน Labview ของ National Instrument ให้ สามารถวัดปริมาตรของวัตถุตัวอย่างและปลาชนิดต่างๆ ในหน่วยของการวัดมาตรฐานสากล โดยให้ ความถูกต้องแม่นยำและมีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

## 1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาทั้งหมดออกเป็น 6 บทด้วยกัน โดยเนื้อหาแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการ และวิธีการตัดแยกขนาดของปลาแบบต่างๆ

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การเก็บข้อมูลสามมิติ, รูปแบบการสแกนวัตถุ, วิธีการหาจุดศูนย์กลาง, การวาดเส้นด้วยอัลกอริทึมแบบ Bresenham, ทฤษฎีตัวกรองแบบสาขาวิทซกี-โกเลย์ (Savitzky-Golay Filter), ทฤษฎีไฮโมกราฟฟิทรานส์ฟอร์ม และการคำนวณ ค่าของไฮโมกราฟฟิทรานส์ฟอร์ม เมทริกซ์

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบระบบตรวจวัดปริมาตรและคัดแยกปลาแบบต่อเนื่อง การติดตั้งระบบและอุปกรณ์ ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

บทที่ 5 เป็นขั้นตอนของการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของระบบ โดยใช้วัตถุตัวอย่างและปลาชนิดต่างๆเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะและแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ

## บทที่ 2

### วิธีการคัดแยกขนาดของปลา

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง วิธีการคัดแยกขนาดของปลาแบบต่างๆ ที่มีมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว การใช้เครื่องจักรในคัดแยกขนาดของปลานั้น สามารถที่จะช่วยในการลดต้นทุนในการผลิต โดยอาศัยการเพิ่มผลผลิตจากการคัดแยกขนาด รวมไปถึงการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการแยกในสายการผลิตนี้ ยังสามารถเพิ่มคุณภาพของผลผลิตโดยรวมได้ แต่ในทางกลับกัน ก็ยังเป็นการเพิ่มการลงทุน และเป็นการเพิ่มความสลับซับซ้อนของกระบวนการผลิต เมื่อกระบวนการคัดแยกนี้ มีความเกี่ยวข้องกับวัตถุดิบหลักซึ่งก็คือต้นทุนของแรงงานของมนุษย์ การที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเพียงเล็กน้อยนั้น จะสามารถผลักดันให้การเพิ่มผลผลิตที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถที่จะนำไปสู่การลดต้นทุนอย่างมีนัยสำคัญ [1] ได้แสดงให้เห็นว่านัยสำคัญของการปรับปรุงกระบวนการคัดแยกขนาดนั้นคือ ความเป็นไปได้ของการที่จะประหยัดวัตถุดิบตลอดจนความสามารถที่จะประหยัดแรงงานที่ใช้อยู่ในกระบวนการ และการลงทุนโดยใช้การคัดแยกปลาที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น มีเหตุผลหลักๆอยู่ 3 ประการ [2] ว่าทำไมต้องมีการคัดแยกขนาดของปลาโดยอาศัยความยาวหรือน้ำหนัก โดยส่วนมากคือ

1. จากผลการวิจัยเราอาจต้องการคัดเลือกปลาโดยการประมาณการขนาดเพื่อ นำไปใช้กับเครื่องจักรที่ต้องตัดหัวปลา ความยาวของปลาสามารถใช้ประมาณการผลผลิตที่จะได้ [3] ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้ จะสามารถคำนวณความผิดพลาดได้ค่า บวกลบ 2 เปอร์เซ็นต์ และเพื่อความแม่นยำ ต้องมีการคัดเลือกจากความเร็วขั้นต่ำที่ ปลา 200 ถึง 300 ตัวต่อนาที [2]

2. ในทวีปยุโรป การวัดความยาวของปลานั้นเป็นสิ่งที่ต้องทำ เป็นสืบเนื่องมาจากระเบียบของสหภาพยุโรป [4] ปลาที่ทำการประมงมาได้ทั้งหมดต้องได้รับการคัดเลือกเพื่อความสดใหม่ ของสายพันธุ์ และน้ำหนักก่อนที่จะทำการส่งขายเพื่อการบริโภคของมนุษย์ ดังนั้นชาวประมงจึงต้องการวิธีการวัดขนาดความยาวของปลา เพื่อที่พวกเขาจะสามารถบรรลุตามระเบียบของสหภาพยุโรป ผู้ที่ทำการตรวจจะต้องวัดขนาดของปลา โดยทั่วไปจะทำการตรวจสอบที่ตลาดปลา เพื่อที่จะเช็คขนาดตามระเบียบของสหภาพยุโรปซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องปฏิบัติตาม

3. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรประมงและอาหารของอังกฤษ(MAFF) และสำนักงานการเกษตรและประมงของสกอตแลนด์(SOAFD) ได้มีศึกษาและการพัฒนาโปรแกรมการวัดขนาดของปลาที่ตลาดปลา ท่าเรือ และการวัดขนาดบนเรือประมง กระบวนการเหล่านี้ จะต้องอาศัยความแม่นยำ และรวดเร็ว ในการคัดแยกขนาดของปลา จากการวัดขนาดความยาวของปลา

## 2.1 ระดับซับซ้อนในการคัดแยกขนาดของปลา

การคัดแยกปลาโดยระบบอัตโนมัตินั้นเป็นประเด็นของงานวิจัยที่มีความท้าทายและความซับซ้อน [5] ซึ่งระดับของความซับซ้อนนั้นได้มีกระบวนการแบ่งและอธิบายตามตารางที่ 2.1 ที่ได้แสดงระดับของความซับซ้อนในการคัดแยกขนาดของปลา แบบต่างๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับของความซับซ้อนในการคัดแยกปลา

ระดับความซับซ้อน	คุณลักษณะของวัตถุ
1	มุ่งเน้นที่ระยะห่างขนาดเล็กระหว่างกัน
2	ไม่มุ่งเน้นระยะห่างเล็กน้อยระหว่างกัน
3	มุ่งเน้นที่การสัมผัสแต่ละอันและไม่ทับซ้อนกัน
4	ไม่ได้มุ่งเน้นและไม่ทับซ้อนกัน
5	ไม่ได้มุ่งเน้นและมีการทับซ้อนกัน

## 2.2 เทคนิคที่ใช้ในการคัดแยกขนาดของปลา

เทคนิคที่ใช้ในการคัดแยกขนาดของปลาแบบต่างๆ จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับของความซับซ้อนในการคัดแยกขนาดของปลา การใช้ระบบอัตโนมัติคัดแยกขนาดของปลา ขึ้นอยู่กับความใหญ่ และการนำปลาป้อนเข้าสู่ระบบการคัดแยก ระดับของความซับซ้อนสามารถสรุปได้ตามรายละเอียดทั้งหมด 5 ระดับ โดยการคัดปลาโดยใช้ความยาวในปัจจุบันมีวิธีการโดยทั่วไปมีดังนี้

- การคัดแยกขนาดโดยอาศัยหลักการประมาณค่าโดยใช้สายตามนุษย์
- การคัดแยกขนาดของปลาโดยอาศัยการมองเปรียบเทียบกับไม้บรรทัด
- การคัดแยกขนาดของปลาโดยการใช้อุปกรณ์ช่วยในการคัดแยกขนาด
- การคัดแยกขนาดของปลาโดยใช้ระบบของแสงช่วยในการตรวจวัดขนาด
- การคัดแยกขนาดของปลาโดยการประมวลผลภาพจากคอมพิวเตอร์

### 2.2.1 การคัดแยกขนาดโดยอาศัยหลักการประมาณค่าโดยใช้สายตามนุษย์

การประมาณค่าขนาดความยาวโดยใช้สายตาของมนุษย์ช่วย นั้นจะทำให้การคัดแยกขนาดของปลาขาดความแม่นยำ และมีการทำงานที่ช้า เพราะอาศัยแรงงานของคนเป็นหลัก ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะนำมาใช้กับอุตสาหกรรมประมงขนาดใหญ่ที่ต้องการความแม่นยำสูงได้



รูปที่ 2.1 แสดงการคัดแยกขนาดโดยอาศัยหลักการประมาณค่าโดยใช้สายตามนุษย์  
ที่มา: <http://shareholidayinfo.wordpress.com/2011/06/>

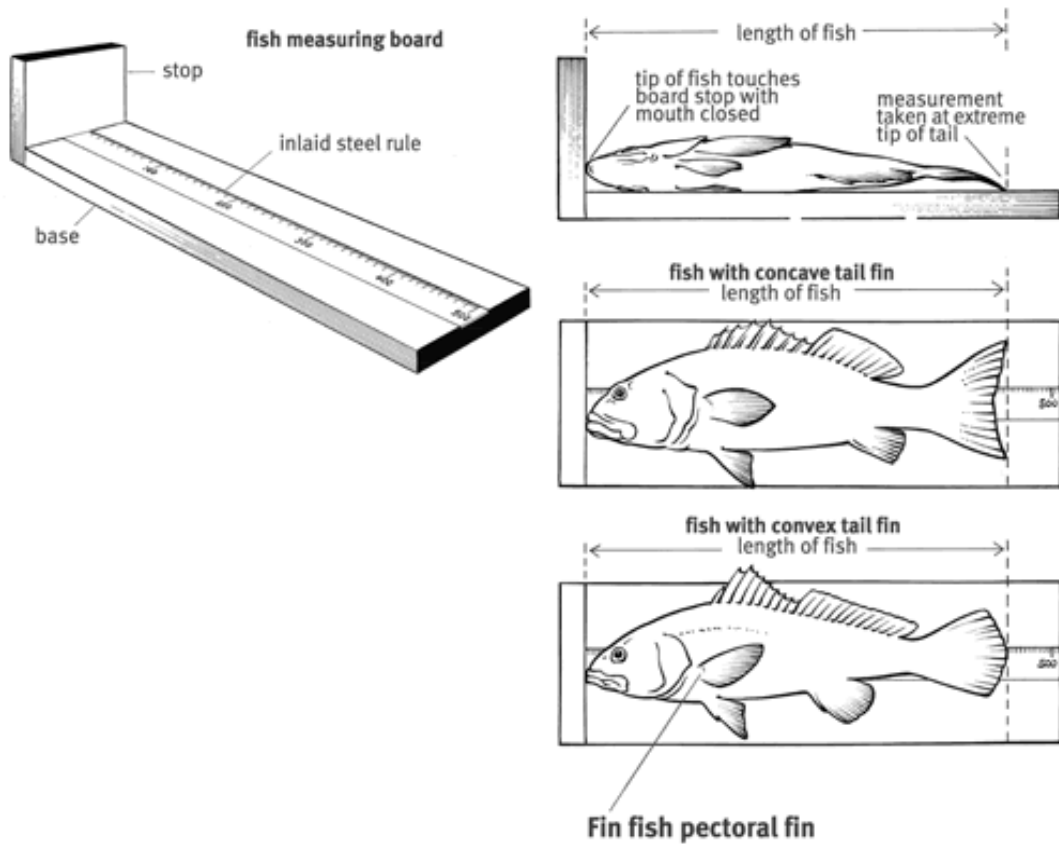
### 2.2.2 การคัดแยกขนาดของปลาโดยอาศัยการมองเปรียบเทียบกับไม้บรรทัด

ในบางคู่มือการจำแนกประเภทของปลาโดยใช้การเปรียบเทียบขนาดนั้น จะทำโดยการเทียบขนาดความยาวของปลากับไม้บรรทัด การใช้ไม้บรรทัดวัดเปรียบเทียบขนาดปลานั้น มีความแม่นยำมากกว่าการใช้การประมาณการขนาดของปลาโดยสายตา แต่อย่างไรก็ดี เนื่องจากกระบวนการทำโดยแรงงานคนเป็นหลัก และการคัดการโดยสายตาของมนุษย์นั้นมีข้อจำกัด จึงทำให้การปฏิบัติงานทำได้ค่อนข้างช้า ดังนั้นวิธีการคัดเลือกขนาดของปลาโดยการเปรียบเทียบโดยใช้การมองเปรียบเทียบกับไม้บรรทัดนี้ ในทางเศรษฐกิจแล้วจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับอุตสาหกรรมประมงขนาดใหญ่ในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 2.2 แสดงการตัดแยกขนาดโดยอาศัยการมองเปรียบเทียบกับไม้บรรทัด

ที่มา: <http://nefsc.noaa.gov/esb/mainpage/>

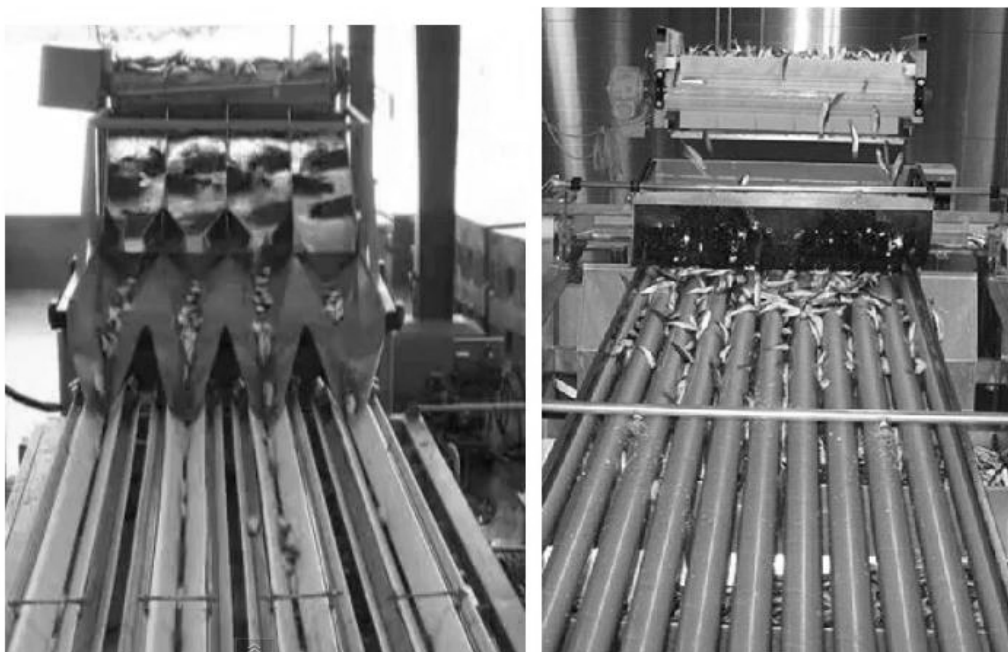


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะและวิธีการใช้งานของไม้บรรทัดที่ใช้ในการคัดแยกขนาด

ที่มา: <http://www.daff.qld.gov.au/fisheries/recreational/rules-regulations/measuring>

### 2.2.3 การคัดแยกขนาดของปลาโดยการใช้อุปกรณ์ช่วยในการคัดแยกขนาด

การใช้อุปกรณ์ช่วยในการคัดแยกขนาดนั้นจะประกอบไปด้วย สายพานหรือลูกกลิ้งสองด้าน[6] ที่มีการคัดแยกขนาดจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคัดแยกขนาดที่ใช้ในวิธีนี้คือความหนา จากวิธีนี้ ความยาวและมวลของปลาจะอาศัยหลักการประมาณการ ช่องว่างระหว่างสายพานที่ค่อยๆเพิ่มขึ้น จากจุดเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดของเครื่องจักร จะทำให้ปลาจะตกจากสายพานของเครื่องคัดแยกจากตำแหน่งที่กำหนดตามความหนาของปลา ในความเป็นจริงแล้ว จากความยาวของปลาที่ได้จากการประมาณการ จึงทำให้ผลการคัดแยกขนาดขาดความแม่นยำและห่างไกลความเป็นจริง แม้ว่าขนาดของปลาสามารถที่จะผ่านเครื่องจักรไปได้จากความซับซ้อนในระดับที่ 5 แต่ก็ยังมีความเสี่ยงที่จะทำให้ปลาเสียหายเกินไป หากนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประมง



รูปที่ 2.4 การคัดแยกขนาดของปลาโดยการใช้อุปกรณ์ช่วยในการคัดแยกขนาด

ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/>

### 2.2.4 การคัดแยกขนาดของปลาโดยใช้ระบบของแสงช่วยในการตรวจวัดขนาด

มีความพยายามที่จะนำแสงของหลอด LED เข้ามาช่วยในการคัดแยกขนาดความยาวของปลา [7] โดยในขณะที่ปลาเคลื่อนที่ตัดกับแหล่งกำเนิดของแสง ในขณะที่เดินทางผ่านบนสายพานลำเลียง ความยาวของปลาสามารถที่จะคำนวณแบบต่อเนื่องโดยอาศัย เวลาที่ลำแสงถูกปิดกั้น ร่วมกับความเร็วยของสายพานลำเลียง การปฏิบัติการของระบบนี้ ถูกจำกัด ในระดับความซับซ้อนที่อยู่ในระดับแรก เนื่องจากความยืดหยุ่นตามธรรมชาติของปลา

ในความเป็นจริงแล้วน้ำหนัก หรือการวัดขนาด ตลอดจนปริมาตร สามารถที่กำหนดขนาดของปลาได้ แต่การคัดแยกขนาดโดยใช้น้ำหนักจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบน้ำหนัก ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมประมง ถึงแม้ว่ามาตรวัดจะใช้หลักการพื้นฐานธรรมดาทั่วไป แต่อย่างไรก็ดีการคัดแยกขนาดของปลาแบบต่อเนื่องก็เริ่มกลับกลายเป็นที่นิยม เพราะความเร็วของเทคนิคการคัดแยกโดยวิธีนี้ค่อนข้างที่จะมีความรวดเร็วมากกว่าแบบเดิม โดยการเปรียบเทียบกับเครื่องคัดขนาดของปลาแบบเดิมที่อาศัยหลักการคัดแยกโดยน้ำหนัก มีความเร็วอยู่ที่อัตรา 50-70 ตัวต่อนาที ในขณะที่การคัดแยกขนาดของปลาแบบต่อเนื่องสามารถที่จะดำเนินการได้ในอัตรา 60-120 ตัวต่อนาที ในขณะที่ความแม่นยำของเครื่องคัดแยกขนาดของปลาแบบต่อเนื่องถือว่าดีกว่ามาก มีความผิดพลาดอยู่ที่ 0.1-1 เปอร์เซ็นต์ แต่การป้อนทำด้วยมือ ที่จัดอยู่ในระดับความซับซ้อนที่ 1 และ 2 จากปลาถูกนำเสนอดัวหนึ่งทีละเวลาและไม่มุ่งเน้น ข้อเสียเปรียบหลักๆของวิธีการนี้คือการดำเนินการด้วยมือ และสนใจเฉพาะความยาว ซึ่งไม่ได้สนใจที่น้ำหนัก

### 2.2.5 การคัดแยกขนาดของปลาโดยการประมวลผลภาพจากคอมพิวเตอร์

มีความพยายามที่จะนำคอมพิวเตอร์ร่วมกับการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เข้ามาใช้ในการคัดแยกขนาดของปลา Strachan et al. [8] ได้อธิบายเครื่องคัดแยกขนาดแบบอัตโนมัติจากขนาดความยาวของปลาในท้องทดลอง โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพทางคอมพิวเตอร์ซึ่งรับข้อมูลจากวิดีโอ สำหรับการวัดพื้นที่ของปลาซึ่งสามารถแสดงผลได้ดีที่สุดของปลาในแนวราบ อย่งไรก็ดี ความกว้างที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างเงาและความยาวเช่นการแสดงของครีบและท้องปลา

ได้มีการใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพ โดยอาศัยโครงสร้างของแสง เพื่อคัดแยกขนาดของปลาจากปริมาตร [9] และจากผลการวิจัยรายงานฉบับนี้ เครื่องคัดแยกขนาดสามารถที่จะทำความเร็วได้ถึง 100 ตัวต่อนาที โดยที่มีความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 5 เปอร์เซ็นต์

ได้มีการศึกษาวิธีการคัดแยกปลาโดยใช้สายพานลำเลียงโปร่งแสง วิธีการในการวัดความยาวของปลา ได้ถูกอธิบายโดย Strachan [2] ซึ่งใช้ระบบการวัดโดยคอมพิวเตอร์ โดยใช้สายพานลำเลียงโปร่งแสง สายพานลำเลียงใช้แสงแบล็คไลท์ และสัญญาณจากกล้องวิดีโอ ที่มีความละเอียดภาพเท่ากับ 512x512 พิกเซล และมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล ซึ่งอัลกอริทึมวิธีการนี้ประสบความสำเร็จและมีความถูกต้องแม่นยำเป็นที่พึงพอใจสำหรับความซับซ้อนในลำดับแรก

Karplus et al. (1999)[11]ศึกษาการแยกปลาพันธุ์ต่างๆ ออกจากกัน โดยการใช้สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพื้นที่ภาพฉาย และความยาวของปลา การแยกปลาพันธุ์เกรย์มุลเลทออกจากปลาพันธุ์อื่นๆ จะแยกโดยใช้ส่วนลำตัว การแยกปลาพันธุ์คาร์พออกจากพันธุ์เซนต์ปีเตอร์แยกโดยใช้ส่วนหาง สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพื้นที่ภาพฉายของปลาพันธุ์เกรย์มุลเลท คาร์พ

และเซนต์ปีเตอร์คือ 0.954 0.968 และ 0.986 ตามลำดับ ความยาวของปลาสามารถคำนวณได้จากไบনারีอิมเมจ ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่ได้จากการคำนวณและความยาวจริงเป็น 0.95 0.997 และ 0.983 ตามลำดับ

Inthuset *et al.* (2009)[12] ศึกษาและพัฒนาวิธีการวัดขนาดและปริมาตรจากคุณลักษณะสามมิติของวัตถุด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ โดยใช้วัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและทรงกระบอกมาทดสอบประสิทธิภาพของระบบ อีกทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดขนาดปลานิล แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดลองกับวิธีการวัดด้วยการใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการวัดค่าความหนาและความกว้าง 5.669 และ 10.309 % ตามลำดับ ระบบนี้เป็นประโยชน์ในการออกแบบเครื่องมือคัดแยกอัตโนมัติและเป็นระบบที่ไม่ทำลายวัตถุ

**ตารางที่ 2.2** แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีการคัดแยกขนาดของปลาแบบต่างๆ ที่มา: [10]

หัวข้อ	หลักการคัดแยกปลาจาก				
	สายตาของมนุษย์	เปรียบเทียบกับไม้บรรทัด	เกจช่วยในการคัดแยก	แสง LED	ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น
ค่าความผิดพลาด	10%	3%	5-10%	2%	2-5%
ความเร็วในการคัดแยก (ตัว/นาที)	20	12	100-200	100-400	60-100
ระดับความซับซ้อน	1-5	1-5	1-5	1	1-3
มีการใช้งานอยู่จริง	มี	มี	มี	ไม่มี	มี

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้เราได้ทราบว่าได้มีความพยายามปรับปรุงระบบคัดแยกปลาตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันโดยอธิบายได้จากตารางที่ 2.2 เพื่อแสดงการเปรียบเทียบวิธีการคัดแยกขนาดของปลาแบบต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น การคัดแยกขนาดปลาโดยใช้เครื่องมือแบบต่างๆ ที่ประดิษฐ์และคิดค้นในสภาพแวดล้อมแบบต่างๆ ของอุตสาหกรรมประมง เพื่อให้สามารถที่จะลดต้นทุนในการผลิต และทำให้มีผลผลิตที่ดีว่า ด้วยคุณภาพที่มั่นคง และยังสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ ในการคัดแยกจำแนก และทำให้มีประสิทธิภาพมากในภาพรวม ตลอดจนเป็นการพยายามลดความเสียหายของปลาที่คัดแยกจากการใช้มือ จำนวนของการยอมรับ พบได้จากบทความวรรณกรรมในการคัดแยกขนาดของปลา วิธีการนั้นมีฐานมาจากคอมพิวเตอร์วิทัศน์จักรกลซึ่งแสดงให้เห็นถึงเป้าหมายที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ดี ในรายละเอียดการวิเคราะห์นั้นได้นำเสนอเทคนิคที่พบว่าไม่

มีความพึงพอใจในการพัฒนาเทคนิคการคัดเลือกขนาดของปลาโดยใช้ความเร็ว ความถูกต้อง ตลอดจนการรับมือกับความสลับซับซ้อน สิ่งที่ดีที่สุดคือความรู้ของเรา ซึ่งในขณะนี้ยังไม่มีระบบอัตโนมัติในเชิงพาณิชย์ ที่จะสามารถตอบสนองต่อความพึงพอใจตามที่ต้องการได้ ดังนั้น นี่คือโอกาสที่ดีที่จะพัฒนาขอบเขตของงานวิจัย นิยามและระเบียบวิธีวิจัยที่มีประสิทธิภาพนี้ สำหรับเครื่องคัดแยกขนาดของปลาอัตโนมัติและนำไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมต่อไป [10]

## บทที่ 3

# หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 การเก็บข้อมูลสามมิติ (3D Range Acquisition)

ในการเก็บข้อมูลสามมิติจะใช้ตัวตรวจจับชนิดต่างๆซึ่งของข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับยังไม่ใช้เป็นระยะทางจริง จะต้องนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการคำนวณใหม่เสียก่อน ซึ่งเรียกข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับนี้ว่าข้อมูลระยะทาง (Range data) โดยที่ข้อมูลระยะทางที่ได้จะมีประโยชน์มากในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ เช่น การมองเห็นของหุ่นยนต์ การวินิจฉัยโรคในด้านการแพทย์ กระบวนการผลิตในงานด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเก็บข้อมูลสามมิติแบบต่างๆ รวมทั้งการสแกนวัตถุที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

การเก็บข้อมูลสามมิติเป็นการตรวจจับหรือตรวจวัดข้อมูลของวัตถุที่ต้องการ ในลักษณะทั้งความกว้าง ความยาว รวมทั้งความสูงหรือความหนาของวัตถุ การเก็บข้อมูลสามมิติมีหลักการและวิธีการอยู่หลายอย่าง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเก็บข้อมูลสามมิติแบบต่างๆที่น่าสนใจ

#### 3.1.1 หลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญหายไป (Time of flight)

การวัดระยะทางวิธีนี้จะใช้การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปยังวัตถุที่ต้องการเมื่อสัญญาณนี้กระทบกับวัตถุมันก็จะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ ซึ่งรูปแบบของสัญญาณมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน และระยะทางหาได้จากผลคูณระหว่างความเร็วกับเวลา โดยสามารถที่จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (3.1)$$

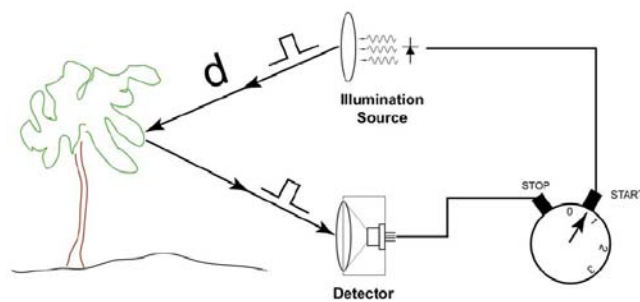
เมื่อ  $d$  คือ ระยะทางจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไปยังวัตถุ (เมตร)

$v$  คือ ความเร็วขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณที่ใช้ (เมตร/วินาที)

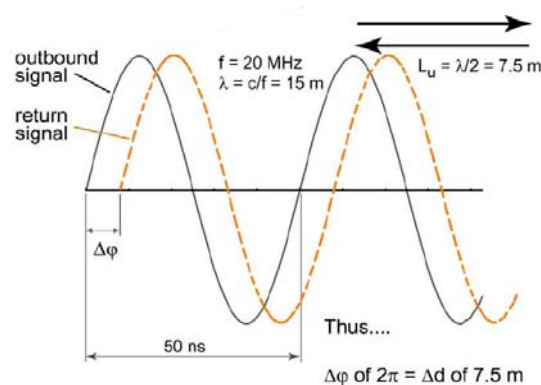
$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปและสะท้อนกลับมา (วินาที)

โดยคุณสมบัติของสัญญาณโดยทั่วไปที่ต้องคำนึงถึงที่นำมาใช้ในหลักการของเวลาที่สูญหายไปนี้แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ มุมเบี่ยงเบนของสัญญาณ และความเร็วของสัญญาณซึ่งมุมเบี่ยงเบนของสัญญาณที่ส่งออกไปมีมุมกว้างแต่วัตถุมีขนาดเล็ก จะทำให้ระยะทางที่คำนวณได้มีความแม่นยำลดลง เพราะสัญญาณจะครอบคลุมบริเวณได้กว้างกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่มีมุมแคบกว่า ซึ่งทำให้มีความแม่นยำมากกว่า

ซึ่งทั่วไปแล้วมีสัญญาณอยู่ 3 ชนิดที่นำมาใช้ในหลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไปซึ่งได้แก่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแสง และคลื่นเสียง ซึ่งวิธีในการคำนวณหาระยะทางจะมีลักษณะเหมือนกัน อย่างไรก็ตามสัญญาณแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวของมัน และจะมีผลต่อความแม่นยำของระยะทางที่คำนวณได้ ในที่นี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะสัญญาณที่เป็นคลื่นแสงเท่านั้น โดยการใช้คลื่นแสงมาใช้ในหลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไปวิธีนี้ถูกเรียกว่า LIDAR (Light Detection and Ranging) ซึ่งจะกำเนิดคลื่นแสงสั้นๆออกไปและรอคลื่นสะท้อนกลับมาหาเวลาที่สูญเสียไปมาคำนวณหาระยะทาง ในวิธีนี้จะนิยมใช้แสงเลเซอร์ (Laser) เพราะว่ามีมุมเบี่ยงเบนของคลื่นจะแคบมากเป็นผลให้ระยะทางที่คำนวณได้มีความถูกต้องสูงซึ่งจะดีกว่าคลื่นแสงทั่วไป นอกเหนือจากเวลาที่นำไปใช้คำนวณแล้วความเข้มแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นความเข้มในระดับเกรย์ได้อีกด้วย ความเข้มแสงที่สะท้อนกลับมาจะเปลี่ยนไปตามสัดส่วนกับจำนวนแสงที่ถูกดูดซับด้วยวัตถุที่แตกต่างกัน ดังนั้นนอกจากจะรู้ระยะทางแล้ว ความเข้มแสงที่ได้รับมาในแต่ละจุดสามารถนำมาแสดงรวมกันได้ภาพสามมิติอีกด้วย



รูปที่ 3.1 หลักการวัดระยะทางโดยใช้คลื่นแสง

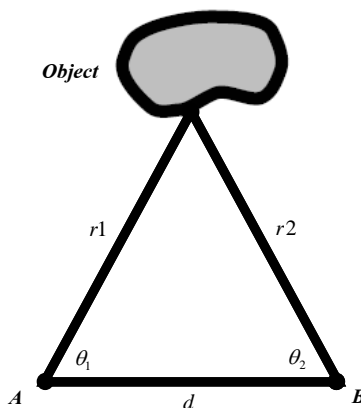


รูปที่ 3.2 ความต่างของมุมเฟสที่สะท้อนกลับมาเมื่อกระทบวัตถุ

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวิธีนี้คือถ้านำไปวัดระยะทางที่น้อยกว่าหนึ่งฟุต แสงเลเซอร์จะใช้เวลาการเดินทางและสะท้อนกลับประมาณ 1 นาโนวินาทีที่จะไม่สามารถตรวจวัดได้ทัน วิธีแก้คือเปลี่ยนไปวัดเฟสของคลื่นที่สะท้อนกลับมาแทน โดยใช้แสงเลเซอร์นี้ผสม (Modulate) แบบ AM (Amplitude Modulation) [14] แล้วจึงส่งออกไปเมื่อแสงไปกระทบวัตถุและสะท้อนกลับมาจะมีเฟสต่างกับ คลื่นที่ส่งออกไปปริมาณความต่างเฟสจะเป็นสัดส่วนกับระยะทางของวัตถุ นอกจากนี้ยังสามารถวัดระยะทางที่ 1 เซนติเมตรได้อีกด้วย ดังนั้นวิธีนี้สามารถนำไปวัดระยะทางในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ได้

### 3.1.2 หลักการของรูปสามเหลี่ยม (Triangulation)

เราอาจจะคุ้นเคยกับแนวความคิดของการนำหลักการของรูปสามเหลี่ยมมาวัดระยะทางสมมุติว่ามีเครื่องมืออยู่สองตัวซึ่งวางห่างกันเป็นระยะทางที่แน่นอน ( $d$ ) อุปกรณ์ A และ B จะเก็บตำแหน่งบนวัตถุที่ตำแหน่งเดียวกันดังภาพที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การวัดระยะทางโดยหลักการของรูปสามเหลี่ยม

จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ทั้งสอง (A, B) และวัตถุวางในลักษณะรูปสามเหลี่ยม มีด้านหนึ่งด้านและมุมสองมุมที่เราทราบอยู่ก่อนแล้วคือด้าน  $d$  กำหนดให้มุมที่เกิดขึ้นระหว่าง  $d$  และ  $r_1$  คือมุม  $\theta_1$  ส่วนมุมที่เกิดขึ้นระหว่าง  $d$  และ  $r_2$  คือมุม  $\theta_2$  ส่วนมุมที่สามสามารถหาได้โดยใช้มุมสองมุมที่เราทราบค่าลบออกจาก 180 องศา ซึ่งระยะทางระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวไปยังวัตถุสามารถหาได้โดย

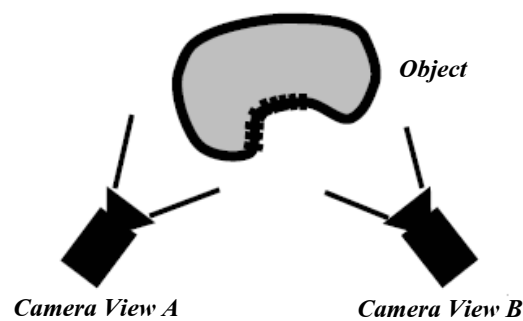
$$r_1 = \frac{d \sin \theta_2}{\sin(180^\circ - (\theta_1 + \theta_2))} \quad (3.2)$$

$$r_2 = \frac{d \sin \theta_1}{\sin(180^\circ - (\theta_1 + \theta_2))} \quad (3.3)$$

ในการวัดระยะทางโดยใช้หลักการรูปสามเหลี่ยมจะเป็นพื้นฐานในการวัดระยะทางแบบต่างๆ ซึ่งหลักการรูปสามเหลี่ยมจะแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ซึ่งวิธีแรกเรียกว่าแบบแอคทีฟ (Active) จะใช้เครื่องมือเก็บภาพ 1 ตัวร่วมกับเครื่องกำเนิดแสงอีก 1 ตัว อีกวิธีเรียกว่าแบบพาสซีฟ (Passive) จะใช้เครื่องมือเก็บภาพ 2 ตัว เช่นกล้องวิดีโอ เป็นต้น

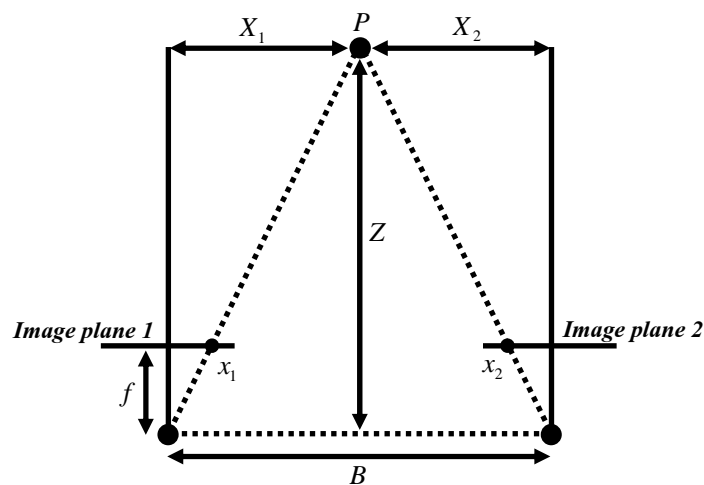
### 3.1.3 หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ (Passive Triangulation)

วิธีนี้บางครั้งถูกเรียกว่าสเตอริโอวิชัน (Stereo vision) อธิบายได้เหมือนกับการใช้ตาทั้งสองของมนุษย์ในการวัดระยะทาง ในวิธีนี้ใช้กล้องวิดีโอเป็นเครื่องมือที่ใช้เก็บภาพ โดยใช้กล้องวิดีโอทั้งสองตัววางห่างกันในระยะทางที่แน่นอนดังภาพที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หลักการของระบบสเตอริโอวิชัน (Stereo vision)

หลักการของสเตอริโอวิชันหรือรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟเป็นการหาระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุ โดยอาศัยความแตกต่าง (Disparity) ของจุดภาพที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพของกล้องทั้งสอง ซึ่งในการคำนวณหาระยะทางโดยวิธีนี้สามารถอธิบายได้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การวัดระยะทางในระบบสเตอริโอวิชัน

จากรูปที่ 3.5 นั้นสามารถนำมาเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกล้องทั้งสองได้โดยกำหนดให้  $P$  เป็นจุดของวัตถุในระบบพิกัดกล้อง โดย  $X_1$  และ  $X_2$  เป็นขนาดของวัตถุเมื่อเปรียบเทียบกับแนวแกน  $Z$  ของระบบพิกัดกล้อง และ  $x_1, x_2$  เป็นขนาดของวัตถุที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพดั่งนั้น

กล้องที่ 1

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z} \quad (3.4)$$

กล้องที่ 2

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_2}{Z} \quad (3.5)$$

และ

$$X_2 = X_1 + B \quad (3.6)$$

นำสมการที่ 3.6 แทนลงในสมการที่ 3.5 เขียนใหม่ได้เป็น

$$B + X_1 = \frac{Z \cdot x_2}{f} \quad (3.7)$$

นำสมการที่ 3.7 ลบสมการที่ 3.4 ดั่งนั้นระยะทาง  $Z$  จะหาได้ดังสมการที่ 3.8

$$Z = \frac{B \cdot f}{x_2 - x_1} \quad (3.8)$$

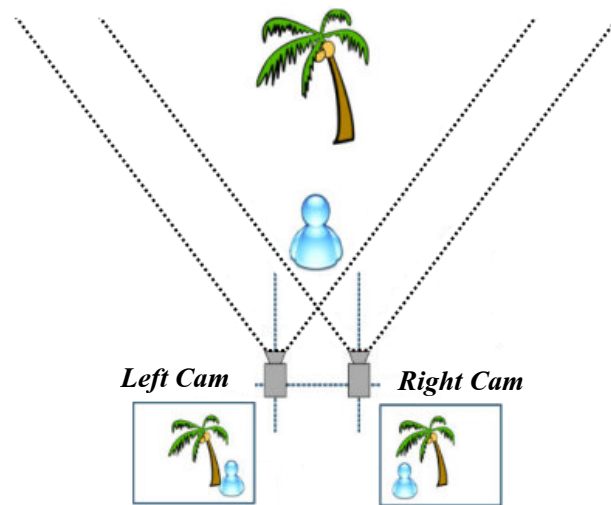
โดยกำหนดให้  $Z$  คือระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุ  $P$

$B$  คือระยะทางระหว่างกล้องทั้งสองตัว

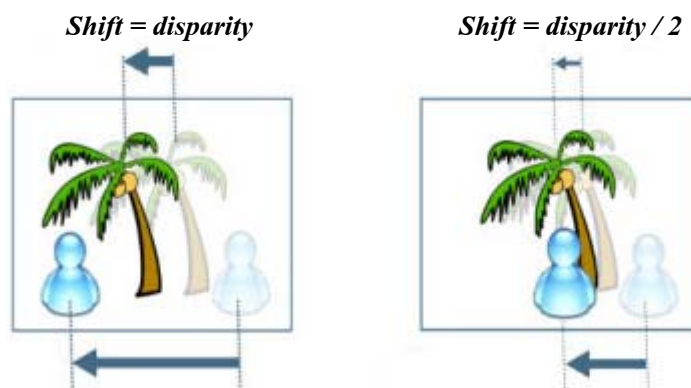
$f$  คือความยาวโฟกัสของกล้องทั้งสองตัว

$x_1, x_2$  คือระยะจุดภาพที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพ

จุดของภาพทั้งสองคือ  $x_1$  และ  $x_2$  จะไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันจะได้ระยะห่างระหว่างจุดเรียกว่าค่าความแตกต่าง ระยะทาง  $Z$  จากกล้องวิดีโอไปยังจุดบนวัตถุจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความแตกต่างระหว่าง  $x_1$  และ  $x_2$  เช่นถ้าค่าความแตกต่างเข้าใกล้ศูนย์ระยะทาง  $Z$  จะมีค่าได้ไม่สิ้นสุด (Infinite) ซึ่งจะไม่เกิดระยะทางขึ้นระหว่างจุดภาพทั้งสองที่สอดคล้องกัน ในทางกลับกันถ้าระยะทาง  $Z$  ลดลงค่าความแตกต่างก็จะเพิ่มขึ้น

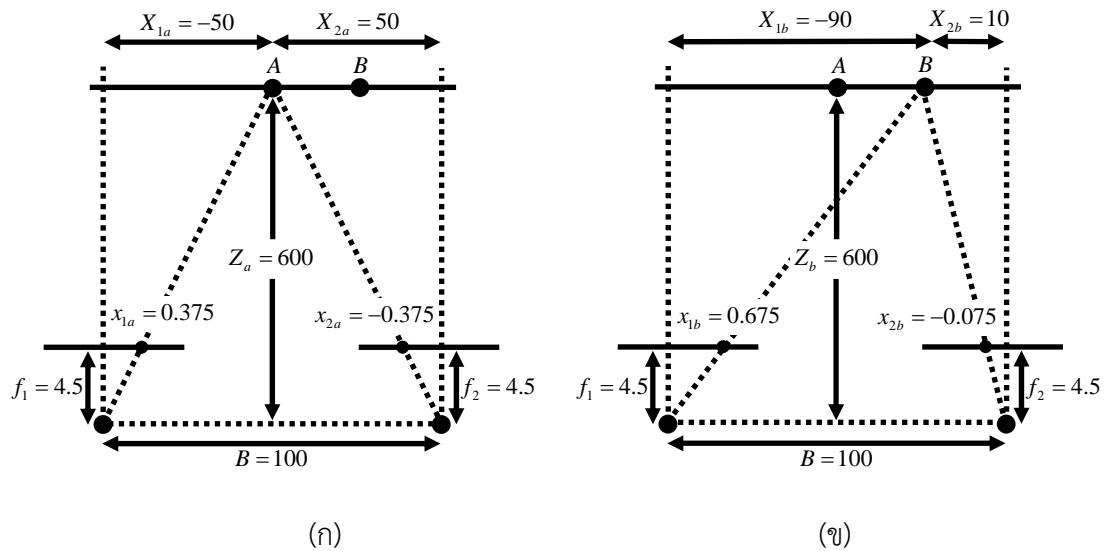


รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายสเตอริโอที่ได้จากกล้องซ้ายและกล้องขวา



รูปที่ 3.7 ภาพความแตกต่างของกล้องทั้งสองเมื่อนำมารวมกัน

รูปที่ 3.6 เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องซ้ายและขวา ถ้าเรานำภาพทั้งสองกล้องมาซ้อนกันดังรูปที่ 3.7 จะเห็นความแตกต่างของวัตถุที่อยู่ในภาพได้ รูปที่ 3.7 อาจจะเรียกได้ว่าเป็นภาพความแตกต่างหรือภาพสเตอริโอ (Stereo image) ซึ่งค่าความแตกต่างของตำแหน่งจุดภาพสามารถนำมาคำนวณหาระยะทางแบบสามมิติที่จะแสดงให้เห็นในตัวอย่างดังต่อไปนี้ การคำนวณหาระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุ กำหนดให้กล้องทั้งสองมีความยาวโฟกัส ( $f$ ) 4.5 มม. มีระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสอง ( $B$ ) 100 มม. CCD มีขนาด  $4.8 \times 3.6$  มม. ขนาดของภาพคือ  $384 \times 244$  พิกเซล (1 พิกเซล = 0.0125 มม.)



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการคำนวณหาระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุ (ก) ระยะทางที่จุด A (ข) ระยะที่จุด B

การคำนวณหาระยะทางที่จุด A ในภาพที่ 3.8 (ก) กำหนดให้  $x_{1a} = 30$  พิกเซล = 0.375 มม. เป็นจุดของวัตถุที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพที่ถ่ายจากกล้องทางซ้าย และ  $x_{2a} = 30$  พิกเซล = -0.375 มม. เป็นจุดของวัตถุที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพที่ถ่ายจากกล้องทางขวาดังนั้น

$$\begin{aligned}
 Z_a &= \frac{B \cdot f_1}{x_{2a} - x_{1a}} & (3.9) \\
 &= \frac{100 \cdot (-45)}{(-0.375 - 0.375)} \\
 &= 600 \text{ มม.}
 \end{aligned}$$

การคำนวณหาระยะทางที่จุด B ในภาพที่ 3.8 (ข) กำหนดให้  $x_{1b} = 54$  พิกเซล = 0.675 มม. เป็นจุดของวัตถุที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพที่ถ่ายจากกล้องทางซ้าย และ  $x_{2b} = 6$  พิกเซล = -0.075 มม. เป็นจุดของวัตถุที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพที่ถ่ายจากกล้องทางขวาดังนั้น

$$\begin{aligned}
 Z_a &= \frac{B \cdot f_1}{x_{2a} - x_{1a}} & (3.10) \\
 &= \frac{100 \cdot (-45)}{(-0.375 - 0.375)} \\
 &= 600 \text{ มม.}
 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าในระบบสเตอริโอที่ความแม่นยำของการหาระยะทางจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพที่ตรงกันหรือสอดคล้องกันของภาพที่ได้จากระนาบของกล้องทั้งสองตัว และตำแหน่งของสองจุดภาพนี้จะต้องคำนวณให้ถูกต้องด้วย ซึ่งกลายเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นเสมอกับวิธีนี้ และปัญหาดังกล่าวนี้ได้ถูกเรียกว่า ปัญหาการหาจุดสอดคล้องกันของกล้องทั้งสองตัว (Correspondence Problem)

ในทางอุดมคติมันเป็นไปได้ในการหาจุดภาพจากกล้องตัวที่หนึ่งซึ่งสอดคล้องกับจุดภาพจากกล้องตัวที่สอง แต่ในความเป็นจริงแล้วเราไม่สามารถรับประกันได้ว่า สองจุดภาพซึ่งมีค่าระดับสีหรือระดับเกรย์ที่เหมือนกันจะเป็นจุดภาพบนวัตถุจุดเดียวกัน ในการหาจุดภาพจุดเดียวกันของภาพ 2 ภาพจากกล้องทั้งสองไม่ยากนัก ถ้าหากภาพวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพทั้งสองมีรูปร่างเหมือนกัน อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยสำหรับวิธีนี้ก็คือ ภาพวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพทั้งสองมีลักษณะรูปร่างไม่เหมือนกัน ยิ่งไปกว่านั้นวัตถุในภาพแรกอาจจะดูมืดมัวไม่ชัดเจนหรือไม่ปรากฏรูปร่างวัตถุขึ้นในภาพที่สอง ในการแก้ไขเราสามารถลดระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสอง เพื่อช่วยลดปัญหาการหาจุดสอดคล้องกันของกล้องทั้งสองตัว แต่ในการลดระยะห่างนี้จะเป็นผลทำให้ความแม่นยำของระบบลดลงตามไปด้วย

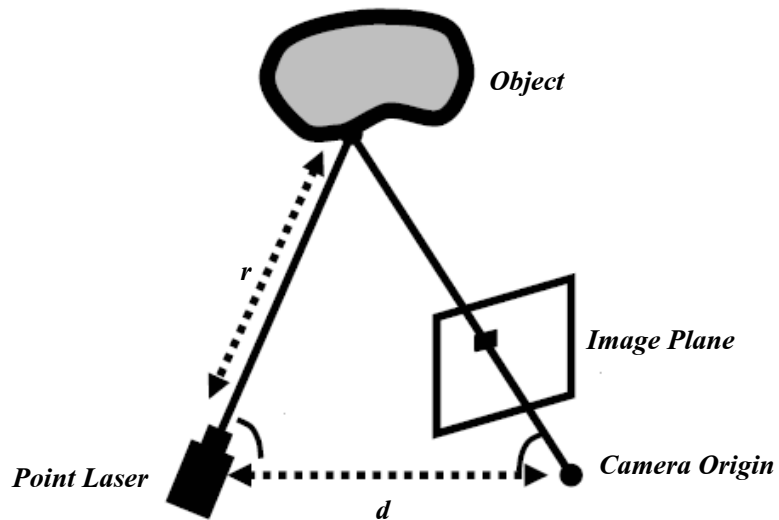
ปัญหาการหาจุดสอดคล้องกันของกล้องทั้งสองตัวที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไข และทำให้ลดลงได้ด้วยการตัดอุปกรณ์เก็บภาพออกไป 1 ตัว ซึ่งมันจะไม่ถูกเรียกว่าวิธีสเตอริโอวิชันอีกต่อไป อย่างไรก็ตามหลักการของรูปสามเหลี่ยมยังคงนำมาใช้กับวิธีนี้ได้ โดยการแทนกล้องตัวที่ตัดออกไปด้วยเครื่องกำเนิดแสงและเรียกรูปสามเหลี่ยมว่าหลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ ซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อต่อไป

### 3.1.4 หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ (Active Triangulation)

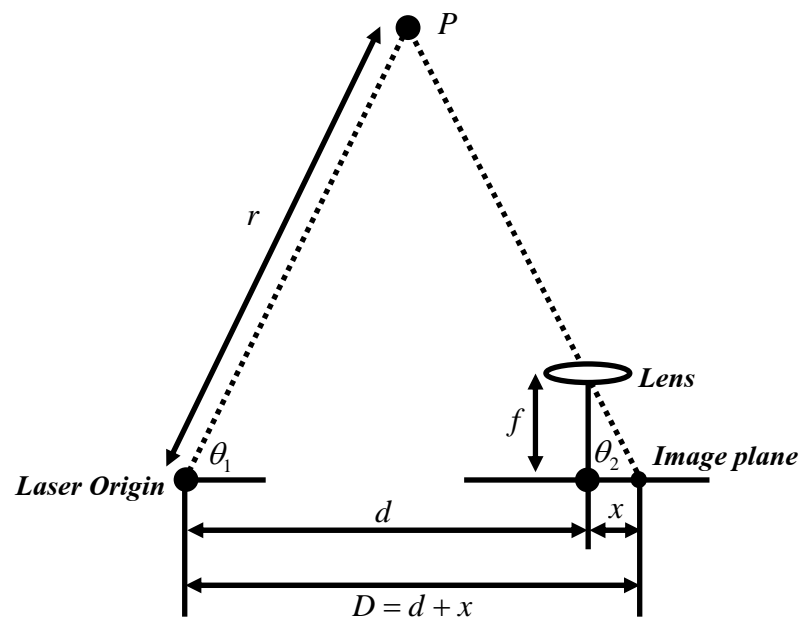
หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟจะแตกต่างกับวิธีแบบพาสซีฟ คือการใช้เครื่องกำเนิดแสงร่วมกับกล้องวิดีโอเพียง 1 ตัว โดยเครื่องกำเนิดแสงจะเป็นแบบจุด แบบสายเส้น ซึ่งภาพที่ได้เราจะนำจุดภาพที่ถูกลำแสงกระทบหรือถูกฉายมาคำนวณหาระยะทาง

#### 3.1.4.1 วิธีฉายแสงแบบจุด (Light Spot Triangulation)

สมมุติว่าเราฉายลำแสงไปบนวัตถุตั้งรูปที่ 3.9 ลำแสงดังกล่าวจะสร้างจุดแสงบนวัตถุและจะสะท้อนไปยังกล้องวิดีโอ โดยระยะห่างระหว่างกล้องวิดีโอกับเครื่องกำเนิดแสงเป็นระยะ  $d$  จะเห็นว่าเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมขึ้นระหว่างเครื่องกำเนิดแสง วัตถุและกล้องวิดีโอ ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาระยะทาง  $r$  จากกล้องวิดีโอไปยังจุดบนวัตถุได้



รูปที่ 3.9 หลักการวัดระยะทางโดยวิธีรูปสามเหลี่ยมร่วมกับแสงเลเซอร์แบบจุด



รูปที่ 3.10 การวิเคราะห์ระยะทางของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ

จุดแสงที่สะท้อนไปยังกล้องวิดีโอจะเกิดเป็นจุดภาพขึ้น จุดภาพนี้พบได้ง่ายซึ่งมันจะเป็นจุดที่มีความสว่างมากที่สุด ในการคำนวณหาระยะทาง  $r$  นั้นสามารถคำนวณหาได้จากมุม  $\theta_1, \theta_2$  และระยะทาง  $d$  ซึ่งมุม  $\theta_2$  คำนวณได้จากความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอ ( $f$ ) ซึ่งมีค่าคงที่กับระยะห่างจากศูนย์กลางเลนส์กล้องกับจุดภาพ ( $x$ ) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.10 ดังนั้นมุม  $\theta_2$  สามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{f}{x}\right) \quad (3.11)$$

และระยะทางระหว่างเครื่องกำเนิดแสงและจุดภาพนั้นสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$D = d + x \quad (3.12)$$

เมื่อ  $f$  คือ ความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอ  
 $x$  คือ ระยะห่างจากศูนย์กลางของเลนส์กล้องกับจุดภาพที่ได้  
 $d$  คือ ระยะห่างคงที่ระหว่างเครื่องกำเนิดแสงกับกล้องวิดีโอ

ซึ่ง  $x$  สามารถเป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับว่าจุดภาพที่ถูกแสงนั้นอยู่ด้านขวา (เป็นบวก) หรืออยู่ด้านซ้าย (เป็นลบ) ของจุดศูนย์กลางของเลนส์กล้อง มุม  $\theta_1$  เป็นมุมเอียงของเครื่องกำเนิดแสง ดังนั้นระยะทาง  $r$  สามารถคำนวณได้โดยใช้กฎของซายน์ดังต่อไปนี้

$$\frac{r}{\sin \theta_2} = \frac{D}{\sin(180^\circ - (\theta_1 + \theta_2))} \quad (3.13)$$

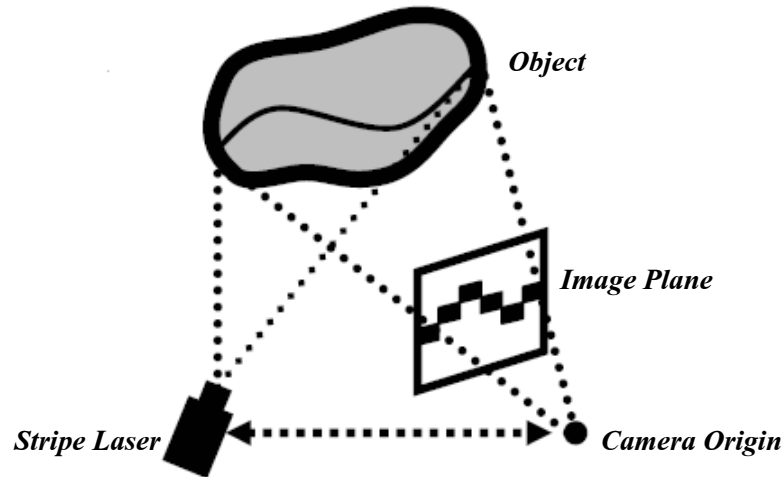
$$r = \frac{D \cdot \sin \theta_2}{\sin(180^\circ - (\theta_1 + \theta_2))} \quad (3.14)$$

ในวิธีนี้เมื่อต้องการหาระยะทางที่จุดอื่น ๆ บนวัตถุจะต้องเลื่อนจุดแสงไปทั่วตลอดภาพ ซึ่งต้องใช้เวลานานมาก ส่วนเครื่องกำเนิดแสงที่นิยมใช้ได้แก่ แสงอินฟราเรดและแสงเลเซอร์ โดยสามารถใช้ได้ดีและไม่จำเป็นต้องใช้เฉพาะที่มีด ห้องที่มีระดับแสงปกติก็สามารถใช้ได้แต่ควรติดตั้งตัวกรองแสง (Filter) ไว้ที่ด้านหน้าของกล้องด้วยเพื่อลดปริมาณแสงบริเวณห้องนั้น แสงเลเซอร์เป็นแสงที่ดีที่สุดเพราะให้จุดแสงที่ชัดเจนและมีขนาดเล็กมากและการกระจายของแสงน้อยเป็นผลให้สามารถใช้ในระยะทางที่ไกลๆได้ดี

#### 3.1.4.2 วิธีฉายแสงแบบลายเส้น (Light Stripe Triangulation)

หลักการฉายแสงแบบลายเส้นเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีฉายแสงแบบจุด โดยลายเส้นของแสงจะได้จากการฉายแสงผ่านร่องแสงหรือจากเครื่องกำเนิดแสงแบบจุดผ่านเลนส์ที่มีลักษณะกลมซึ่งทำให้แสงที่ได้กลายเป็นเส้นแสง โดยทำการฉายแสงที่ได้นี้ไปยังวัตถุและใช้กล้องเก็บลายเส้นที่เกิดขึ้นบนวัตถุ ดังรูปที่ 3.12 โดยลายเส้นจะถูกแบ่งออกเป็นจุดภาพย่อยๆ และระยะทางจะคำนวณที่แต่ละจุดตามลายเส้น ส่วนวิธีการคำนวณหาระยะทางจะเหมือนกับวิธีการฉายแสงแบบจุดทุกประการรวมทั้งการวางและติดตั้งอุปกรณ์ก็มีความเหมือนกัน

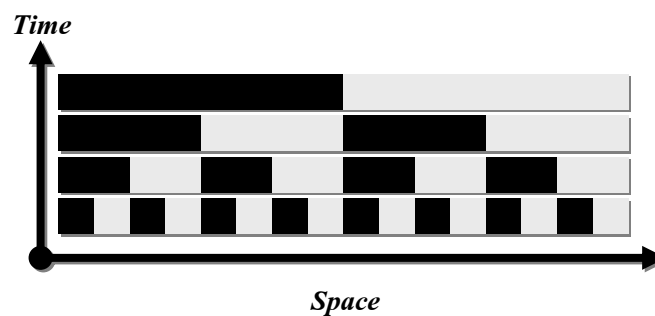
ข้อดีของวิธีการฉายแสงแบบลายเส้นเดี่ยวคือง่ายและรวดเร็วกว่าวิธีการฉายแสงแบบจุด นอกจากนี้ขอบเขตและพื้นที่ของวัตถุ สามารถหาได้โดยการต่อที่จุดปลายของแต่ละลายเส้นเข้าด้วยกัน ดังนั้นวิธีการใช้แสงแบบลายเส้นนี้สามารถใช้ในการแบ่งย่านภาพวัตถุ (Image segmentation) ได้อีกด้วย



รูปที่ 3.11 หลักการวัดระยะทางโดยวิธีรูปสามเหลี่ยมร่วมกับแสงเลเซอร์แบบเส้น

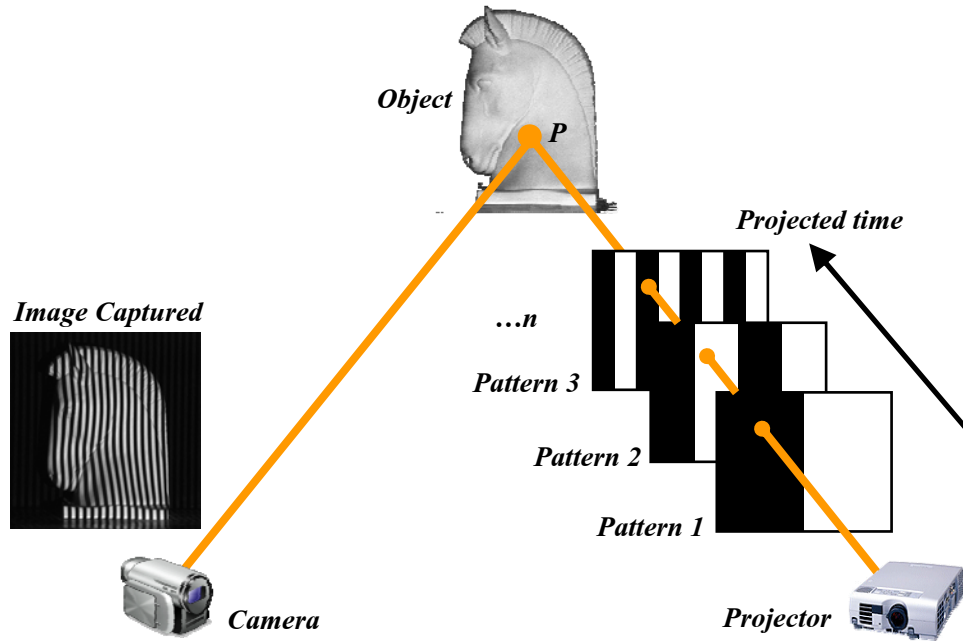
### 3.1.5 เทคนิคการฉายแสงด้วยรหัสไบนารี (Binary code pattern)

วิธีนี้จะใช้เครื่องกำเนิดแสงร่วมกับกล้องวิดีโอ ซึ่งส่วนมากนิยมใช้โปรเจคเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการฉายแสง โดยแสงที่ฉายไปยังวัตถุจะเป็นรหัสไบนารี (Binary code) [15] และใช้กล้องวิดีโอเก็บภาพแสงที่กระทบกับวัตถุ ซึ่งข้อมูลภาพที่ได้นี้จะเป็นข้อมูลของระยะทางบนตำแหน่งของวัตถุซึ่งจะถูกเข้ารหัสเป็นระดับความสว่างและความมืดของแสง โดยจุดของภาพที่มีความสว่างจะเป็น “1” และจุดของภาพที่มีความสว่างน้อยหรือมืดจะเป็น “0” จึงจำเป็นต้องนำรหัสบนจุดภาพดังกล่าวไปถอดรหัสนับและคำนวณเพื่อทำการหาระยะทางจริงบนวัตถุ

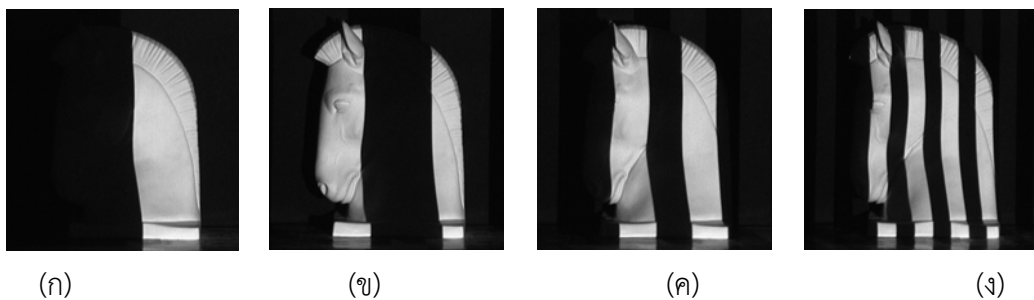


รูปที่ 3.12 ฉากรหัสไบนารี (Binary code pattern) [15]

ในรูปที่ 3.13 สมมุติใช้ฉากจำนวน 3 ฉาก จุด  $P$  ซึ่งอยู่บนผิวของวัตถุจะถูกเข้ารหัสเป็นระดับมืดหรือ “0” โดยฉากที่ 1 บิตนี้ถูกกำหนดเป็นบิตที่อยู่ซ้ายมือสุดเป็นบิตที่มีค่าประจำหลักมากที่สุด (Most Significant Bit : MSB) เมื่อเปลี่ยนฉากเป็นฉากที่ 2 จะถูกเข้ารหัสใหม่เป็นระดับสว่างหรือ “1” และในฉากที่ 3 จะถูกเข้ารหัสใหม่เป็นระดับมืดหรือ “0” ซึ่งในบิตนี้ถูกกำหนดเป็นบิตที่อยู่ขวามือสุดเป็นบิตที่มีค่าประจำหลักน้อยที่สุด (Least Significant Bit : LSB) เมื่อนำข้อมูลในแต่ละฉากที่ได้มาอนุกรมกันดังนั้นจุด  $P$  จะถูกเข้ารหัสเป็น “101” ดังนั้นถ้าหากใช้ฉากจำนวน  $n$  ฉากก็จะสามารถรหัสได้เป็น  $2^n$  ถ้าสมมุติว่าใช้ฉากจำนวน 7 ฉากก็จะเข้ารหัสให้มีความละเอียดได้เป็น  $2^7$  หรือ 128 รหัส



รูปที่ 3.13 เทคนิคการฉายแสงผ่านรหัสไบนารี (Binary code pattern)



รูปที่ 3.14 ภาพวัตถุที่ได้จากการฉายแสงผ่านฉากไบนารี

การเปลี่ยนภาพรหัสไบนารีไปเป็นข้อมูลระยะทางนั้น จะนำภาพวัตถุที่ได้จากการฉายแสงผ่านฉากไบนารีไปเปรียบเทียบกับภาพวัตถุที่ระดับแสงปกติ โดยเปรียบเทียบทีละจุดภาพแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าเบี่ยงเบน (Deviation) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง เพื่อเป็นการแยกภาพที่ได้จาก

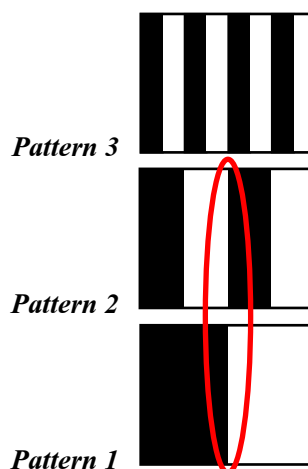
การฉายแสงผ่านฉากรหัสไบนารีให้ได้เป็นภาพ 2 ระดับ (Binary Image) จากนั้นนำข้อมูลแต่ละจุดของภาพมาอนุกรมกันจะได้ข้อมูลไบนารีขนาด 7 บิต ซึ่งก็คือข้อมูลระยะทางของแต่ละจุดบนภาพนั่นเองจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 127 ถ้าหากใช้จำนวนฉากเท่ากับ 7 ฉาก โดยระยะทางจริงจะได้รับการแปลงข้อมูลไบนารีเป็นตัวเลขฐานสิบซึ่งสามารถแปลงได้โดย

$$d = \sum_{i=0}^{n-1} (B_i \times 2^i) \quad (3.15)$$

เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนฉาก และ  $B$  เป็นตำแหน่งแต่ละจุดของภาพไบนารีของภาพทั้งหมด 7 ภาพ ( $n = 7$ ) ซึ่งจะต้องกระทำการแปลงทุกจุดของภาพตัวอย่างเช่น ที่จุดภาพ  $B$  ที่ตำแหน่ง  $x = 120, y = 80$  ภาพแรกที่เป็นบิตที่อยู่ขวามือสุดและมีค่า  $B_{(0)} = 1$ , ภาพที่สอง  $B_{(1)} = 0$ , ภาพที่สาม  $B_{(2)} = 1$ , ภาพที่สี่  $B_{(3)} = 0$ , ภาพที่ห้า  $B_{(4)} = 1$ , ภาพที่หก  $B_{(5)} = 1$  ส่วนภาพที่เจ็ดซึ่งเป็นบิตที่อยู่ซ้ายมือสุดและมีค่า  $B_{(6)} = 0$  เมื่อนำมาอนุกรมกันจะได้  $B_{(120,80)} = (0110101)_B$  ซึ่งแปลงเป็นระยะทางได้โดย

$$\begin{aligned} \text{ข้อมูลระยะทางที่ } B_{(120,80)} &= (B_{(0)} \times 2^0) + (B_{(1)} \times 2^1) + (B_{(2)} \times 2^2) + \dots + (B_{(6)} \times 2^6) \\ &= (1 \times 1) + (0 \times 2) + (1 \times 4) + \dots + (0 \times 64) = 53 \end{aligned}$$

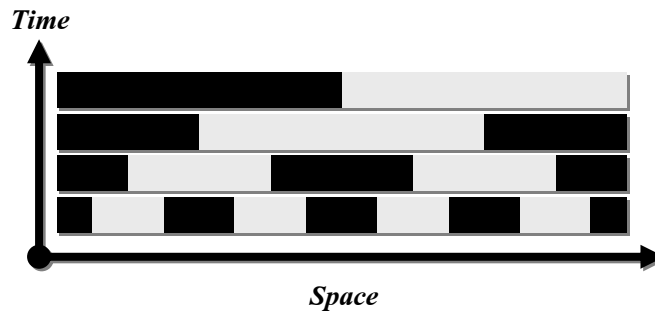
การฉายแสงผ่านรหัสไบนารี (Binary code pattern) นั้นจะเกิดปัญหาขึ้นที่ความเหลื่อมล้ำของแสงระหว่างร่องแสงข้างเคียงที่อยู่ติดกัน ซึ่งเป็นผลให้ระยะทางบางตำแหน่งที่ได้ผิดไปมาก เช่นถ้าหากในฉากที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น การเข้ารหัสอาจผิดพลาดจาก "011" หรือ 3 ไปเป็น "111" หรือ 7 ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดไปถึง 4 ตำแหน่งและอาจเกิดขึ้นได้ในทุกๆฉาก



รูปที่ 3.15 ความผิดพลาดจากความเหลื่อมล้ำของร่องแสงที่อยู่ติดกันในฉากรหัสไบนารี

### 3.1.6 เทคนิคการฉายแสงด้วยรหัสเกรย์ (Gray code pattern)

เนื่องจากเทคนิคการฉายแสงด้วยรหัสไบนารีจะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นที่บางตำแหน่งบนวัตถุ โดยเฉพาะบริเวณร่องแสงที่ติดกัน เพื่อลดความผิดพลาดดังกล่าวจึงเปลี่ยนการเข้ารหัสระยะจากการใช้รหัสไบนารีด้วยการใช้รหัสเกรย์ [15][16][17] เนื่องจากทั้งรหัสไบนารี และรหัสเกรย์ต่างก็เป็นเลขฐานสองจึงสามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ ลักษณะการฉายแสงและการวางตำแหน่งของอุปกรณ์สามารถใช้วิธีการเดียวกันกับการใช้รหัสไบนารี เพียงแต่รหัสเกรย์มีขั้นตอนในการแปลงข้อมูลที่ซับซ้อนกว่า ส่วนในการคำนวณหาระยะทางจะเหมือนกันทุกประการ



รูปที่ 3.16 ฉากรหัสเกรย์ (Gray code pattern)

การเปลี่ยนภาพรหัสเกรย์เป็นข้อมูลระยะทางจะเหมือนกับการเปลี่ยนของภาพรหัสไบนารี ซึ่งจะนำจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันของทุกภาพที่ได้จากการฉายฉากรหัสเกรย์ มาทำการอนุกรมกันจะได้เป็นข้อมูลรหัสเกรย์แล้วเปลี่ยนเป็นข้อมูลรหัสไบนารีโดยบิตที่เป็นบิตที่อยู่ซ้ายมือสุด(MSB)

$$B_{(n-1)} = G_{(n-1)} \quad (3.16)$$

ซึ่ง  $B$  คือตำแหน่งบิตของจุดภาพรหัสไบนารี  $G$  คือตำแหน่งบิตของจุดภาพรหัสเกรย์และบิตที่เหลือจนถึงบิตที่อยู่ขวาสุด(LSB) เมื่อ  $i = n - 2, n - 3, \dots, 1, 0$  และ  $\oplus$  คือเครื่องหมาย Exclusive-OR จะสามารถทำได้โดย

$$B_{(i)} = B_{(i+1)} \oplus G_i \quad (3.17)$$

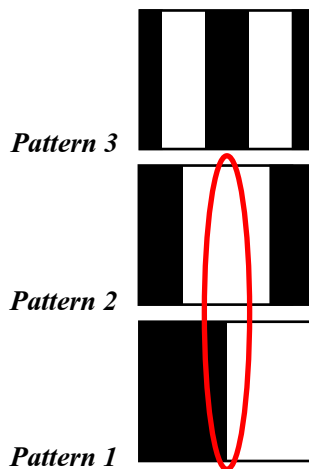
จากนั้นทำการเปลี่ยนข้อมูลรหัสไบนารีที่ได้ให้เป็นข้อมูลระยะทางอีกครั้งโดยที่

$$\text{ข้อมูลระยะทาง} = \sum_{i=0}^{n-1} (B_i \times 2^i) \quad (3.18)$$

ตัวอย่างการหาระยะทางจากฉากรหัสเกรย์ที่จุดภาพ  $x = 120, y = 80$  และใช้จำนวนฉากรหัสเกรย์ทั้งหมด 7 ฉาก ในภาพแรกซึ่งเป็นบิตที่อยู่ขวามือสุด(LSB) มีค่า  $G_{(0)} = 1$ , ภาพที่สองมีค่า  $G_{(1)} = 1$ , ภาพที่สามมีค่า  $G_{(2)} = 1$ , ภาพที่สี่มีค่า  $G_{(3)} = 1$ , ภาพที่ห้ามีค่า  $G_{(4)} = 0$ , ภาพที่หกมีค่า  $G_{(5)} = 1$  และภาพที่เจ็ดซึ่งเป็นบิตที่อยู่ซ้ายมือสุด(MSB) มีค่า  $G_{(6)} = 0$  เมื่อนำมาอนุกรมกันจะได้  $(0101111)_G$  และทำการแปลงเป็นรหัสไบนารีจะได้เป็น  $(0110101)_B$  คำนวณเป็นระยะทางจะได้

$$\begin{aligned} d_{(120,80)} &= (B_{(0)} \times 2^0) + (B_{(1)} \times 2^1) + (B_{(2)} \times 2^2) + \dots + (B_{(6)} \times 2^6) \\ &= (1 \times 1) + (0 \times 2) + (1 \times 4) + \dots + (0 \times 64) = 53 \end{aligned}$$

เมื่อเปลี่ยนมาใช้ฉากรหัสเกรย์ในการเข้ารหัสระยะทางแทนฉากไบนารี หากมีความเหลื่อมล้ำของแสงระหว่างร่องแสงข้างเคียง ความผิดพลาดจากการใช้ฉากรหัสเกรย์จะลดลงเนื่องจากความเหลื่อมล้ำของสองตำแหน่งที่อยู่ติดกันจะมีค่าผิดพลาดไปได้แค่ 1 ค่า ตัวอย่างเช่น ถ้าหากในฉากที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น การเข้ารหัสเกรย์อาจผิดพลาดจาก “010” ไปเป็น “110” หรือเมื่อแปลงเป็นระยะทางแล้วคือมีค่าความผิดพลาด “3” ไปเป็น “4” มีค่าความผิดพลาดไปเพียง 1 ตำแหน่งเท่านั้น



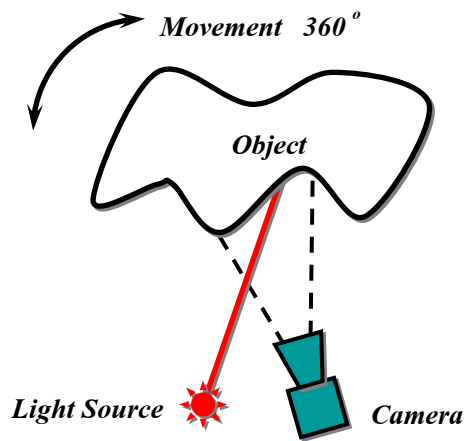
รูปที่ 3.17 ความผิดพลาดจากความเหลื่อมล้ำของร่องแสงที่อยู่ติดกันในฉากรหัสเกรย์

### 3.2 รูปแบบการสแกนวัตถุ (Scanning Patterns)

การสแกนวัตถุเป็นรูปแบบในการเก็บข้อมูลสามมิติของวัตถุต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่สามารถแบ่งลักษณะของการสแกนวัตถุได้เป็น 3 แบบ คือ การสแกนโดยการหมุนวัตถุ ( $360^\circ$ ) การสแกนโดยการหมุนทำมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพ และการสแกนโดยการเคลื่อนที่ของวัตถุ

### 3.2.1 การสแกนโดยการหมุนวัตถุ

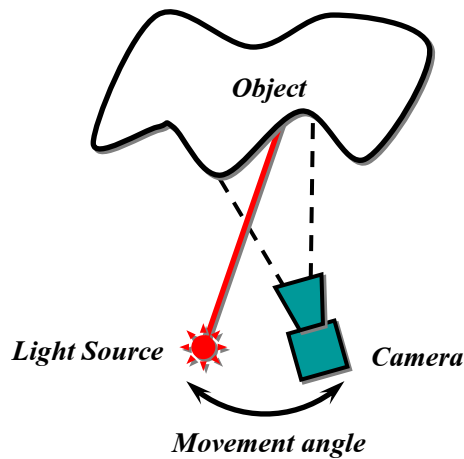
วิธีการสแกนโดยการหมุนวัตถุจะทำการวางวัตถุที่ต้องการเก็บข้อมูลระยะทางลงบนแท่นหมุน โดยทำการหมุนวัตถุเพื่อเก็บข้อมูลระยะทางของวัตถุทั้ง 360 องศา ลักษณะการสแกนโดยการหมุนวัตถุ ส่วนใหญ่จะใช้ร่วมกับหลักการเก็บข้อมูลระยะทางด้วยหลักการสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟด้วยลำแสงแบบเส้น (Light Stripe Triangulation) เมื่อทำการฉายแสงลงไปบนวัตถุแล้วทำการเก็บข้อมูลโดยกล้องวีดีโอ ก็จะสามารถนำมาคำนวณหาข้อมูลระยะทางของวัตถุตัวอย่างได้ ถ้าทำการหมุนวัตถุ เคลื่อนที่ไปเป็นมุมต่างๆก็จะทำให้ได้ข้อมูลระยะทางในมุมอื่นๆของวัตถุ หากทำการหมุนไปเรื่อยๆจนครบ 360 องศา ก็จะทำให้ได้ข้อมูลระยะทางของวัตถุครบทุกๆส่วนของวัตถุ ดังนั้นการสแกนด้วยการหมุนวัตถุนี้จะทำให้ได้ข้อมูลระยะทางของวัตถุครบทั้ง 360 องศาจึงนิยมนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุ



รูปที่ 3.18 รูปแบบการสแกนวัตถุโดยการหมุนวัตถุ

### 3.2.2 การสแกนโดยการหมุนท่ามมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพ

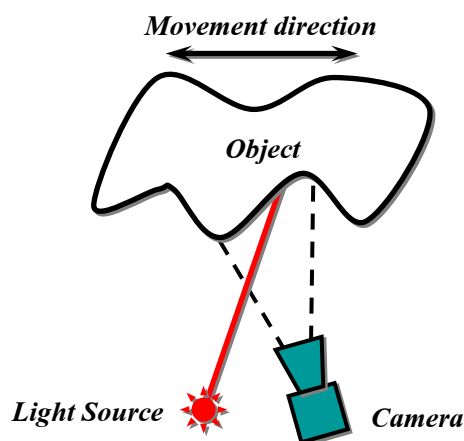
การสแกนโดยการหมุนท่ามมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพจะกำหนดให้วัตถุที่ต้องการเก็บข้อมูลระยะทางวางอยู่กับที่ ส่วนที่เคลื่อนที่จะเป็นส่วนของแหล่งกำเนิดแสงเพียงอย่างเดียว ซึ่งในกรณีนี้จะใช้ร่วมกับหลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไปโดยการใช่แสง หรือส่วนเคลื่อนที่จะเป็นส่วนของแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์ตรวจจับภาพ ในกรณีนี้จะใช้ร่วมกับการเก็บข้อมูลระยะทางด้วยหลักการสามเหลี่ยมแอคทีฟโดยใช้แสงแบบจุดอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการควบคุมการหมุนหรือเปลี่ยนมุมของแสงคือ MEMS (Micro Electro Mechanical System) ซึ่งเป็นอุปกรณ์นี้ประกอบด้วยกระจกขนาดเล็กและส่วนควบคุมการเอียงของกระจก การสแกนโดยการหมุนท่ามมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพจะนิยมใช้ในงานการสร้างแผนที่สามมิติ หรือการเก็บข้อมูลของวัตถุขนาดเล็กเพราะจะใช้เวลาในการสแกนมาก



รูปที่ 3.19 รูปแบบการสแกนวัตถุโดยการหมุนทำมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพ

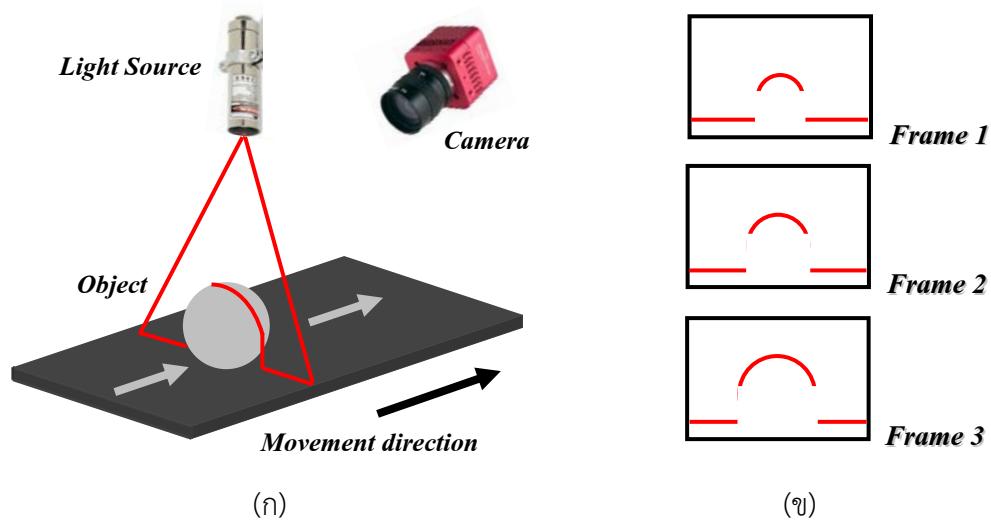
### 3.2.3 การสแกนโดยการเคลื่อนที่ของวัตถุ

การสแกนโดยการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือเรียกว่า การสแกนโดยใช้แสงแบ่งส่วนของวัตถุ (Light-Sectioning) เป็นเทคนิคการวัดรูปทรงแบบตัดขวางที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ[18][19] ซึ่งการสแกนโดยใช้แสงแบ่งส่วนของวัตถุเป็นส่วนที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย ซึ่งวิธีนี้เปรียบเสมือนจะเป็นการแบ่งวัตถุ 3 มิติออกเป็นส่วนย่อยๆ(2 มิติ) ตามแนวความยาวของวัตถุ โดยการฉายแหล่งกำเนิดแสงลงบนพื้นผิววัตถุเพื่อให้เกิดเป็นลักษณะตามพื้นผิวของวัตถุที่แสงตกกระทบ ซึ่งส่วนมากแล้วแหล่งกำเนิดแสงจะใช้เส้นเลเซอร์สีแดงเนื่องจากการนำมาวิเคราะห์และประมวลผลทำได้ง่าย นอกจากนั้นยังช่วยลดขั้นตอนในการแบ่งส่วนวัตถุกับภาพพื้นหลัง

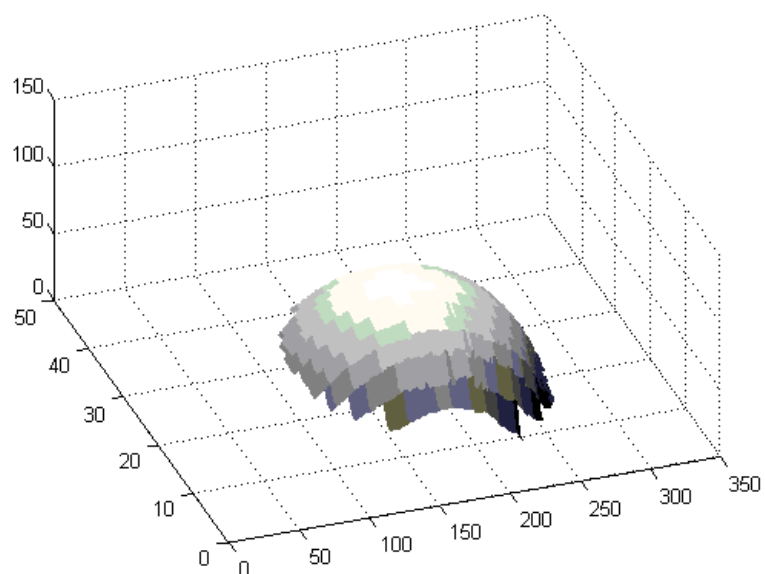


รูปที่ 3.20 การสแกนโดยใช้แสงแบ่งส่วนวัตถุ (Light-Sectioning)

โดยแสงที่กระทบกับพื้นผิวของวัตถุจะถูกจับภาพและบันทึกไว้ด้วยกล้องที่วางทำมุมเอียงกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งข้อมูลของภาพที่ได้มาจะเปรียบเทียบเสมือนเป็นข้อมูลความหนาและความกว้างในแต่ละจุดบนพื้นผิววัตถุ เมื่อทำการเคลื่อนที่วัตถุก็จะได้ข้อมูลในส่วนต่อไปของวัตถุในลักษณะของภาพตัดขวางของแต่ละส่วน และนำภาพตัดขวางแบบ 2 มิติแต่ละส่วนของวัตถุมารวมกันเพื่อสร้างเป็นภาพตัดขวาง 3 มิติที่เป็นตัวบอกได้ถึงความกว้าง ความสูง และความยาวของวัตถุนั้นๆ [13]



รูปที่ 3.21 (ก) การเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านเส้นแสง (ข) ภาพที่ได้ในเฟรมต่างๆเมื่อมีวัตถุตัดผ่าน



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการนำภาพตัดขวางแต่ละส่วนมารวมเพื่อสร้างภาพตัดขวาง 3 มิติ

จากรูปที่ 3.21 (ข) แสดงภาพที่ได้จากกล้องในเฟรมต่างๆ [13] เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านทำให้เส้นแสงเลเซอร์เปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามพื้นผิวของวัตถุ โดยรูปร่างของเส้นแสงที่ได้จะบอกถึงคุณลักษณะของวัตถุที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติ 2 มิติในเชิงระยะพิกัดหรือขนาดของวัตถุที่จะบอกถึงความกว้างและความสูง นอกจากนั้นเมื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สอดคล้องกับความเร็วในการเก็บภาพของกล้อง (Frame per Second) แล้วทำการเก็บข้อมูลภาพอย่างต่อเนื่อง เมื่อนำข้อมูลภาพที่ได้ในแต่ละส่วนที่เป็น 2 มิติของวัตถุมาต่อกันจะทำให้เกิดคุณลักษณะของวัตถุใน 3 มิติ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติที่เป็นขนาดของวัตถุทั้ง ความกว้าง ความยาว และความหนาของวัตถุ รวมทั้งพื้นที่โดยรวมของวัตถุซึ่งปกตินิยมใช้หลักการของรูปสามเหลี่ยมมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งมีข้อจำกัดคือถ้าการติดตั้งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของหลักการรูปสามเหลี่ยมเช่น ระยะห่างระหว่างกล้องกับแหล่งกำเนิดแสงรวมทั้งการทำมุมของกล้องหรือแหล่งกำเนิดแสงมีการคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งนอกจากนั้นหลักการของรูปสามเหลี่ยมมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของวัตถุไม่สามารถทำการขยายย่อในการตรวจวัด (Non Scale-Up)

การใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนของวัตถุ (Laser Light-Sectioning) เป็นวิธีการที่แบ่งวัตถุสามมิติออกเป็นส่วนๆ ในลักษณะสองมิติจึงเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำมาใช้วัดขนาดวัตถุในงานวิจัยนี้ แต่จากข้อจำกัดของหลักการของรูปสามเหลี่ยมในการวิเคราะห์ถึงขนาดของวัตถุ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการแปลงแบบโฮโมกราฟฟีซึ่งเป็นการแปลงของภาพสองมิติจึงสามารถนำมาใช้ร่วมกับหลักการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนของวัตถุได้โดยตรง การแปลงแบบโฮโมกราฟฟีจะนำมาแปลงภาพของเส้นแสงเลเซอร์ที่ได้จากการฉายไปยังวัตถุมาวิเคราะห์เพื่อหาขนาดของวัตถุ

### 3.3 วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG)

วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG) คือการหาค่าเฉลี่ยของพิกัดของภาพจากแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุ เนื่องจากแสงเลเซอร์มีความกว้างและความเข้มแสงที่ไม่เท่ากันทุกจุด การหา COG คือการหาค่าถ่วงน้ำหนัก ในแต่ละคอลัมน์ของภาพ เพื่อทำการแยกพิกัดที่สอดคล้อง (Profile Extraction) กับวัตถุมากที่สุด จากตัวอย่างการหา COG คือการหาจุดในแต่ละคอลัมน์ที่สัมพันธ์กับแสงเลเซอร์เพื่อให้เข้าใจง่ายจึงยกตัวอย่างการคำนวณ COG จากสมการที่ 3.19 เป็นการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Center of gravity) [23]

$$COG = \frac{\sum y \cdot I(y, x)}{\sum I(y, x)} = \frac{W m}{m} \quad (3.19)$$

เมื่อ  $I(y, x) > \text{Threshold}$

เมื่อ กำหนดค่า  $\text{Threshold} = 30$ ,

$I(y,x)$  คือ ความเข้มของระดับสีเทา

$y$  คือ แถวในแนวแกน  $y$

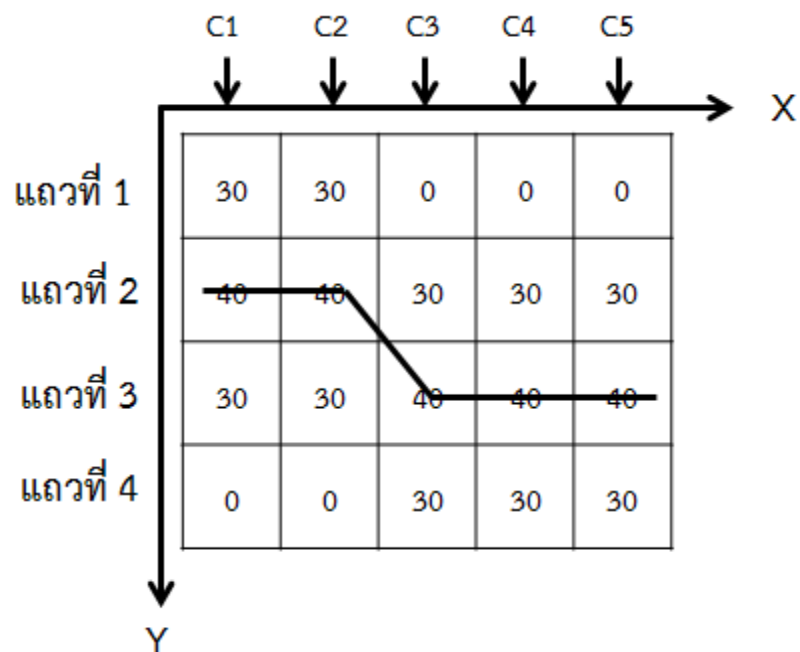
ตัวอย่างการคำนวณมีดังนี้

มีขนาดเมทริกซ์  $4 \times 5$  พิกเซลค่าภายในเมทริกซ์คือค่าความเข้มของระดับสีเทา (Intensity) ใช้ค่าเทรสเตอร์ 30 ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Center of gravity) ของเมทริกซ์  $4 \times 5$  พิกเซล

กำหนดให้

$Wm$  = ผลรวมของค่าความเข้มของระดับสีเทาคูณกับค่าตำแหน่งของแถว  $y$

$m$  = ผลรวมของค่าความเข้มระดับสีเทา



รูปที่ 3.23 เมทริกซ์ขนาด  $4 \times 5$

พิจารณาค่าความเข้มของระดับสีเทา (Intensity) ที่มีค่ามากกว่าค่าเทรสเตอร์คือ 30  
คำนวณหาค่า COG ของ  $Y$  ในแต่ละคอลัมน์ C1,C2,C3,C4 และ C5

$$(C1) COG (X=1) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1 \times 30) + (2 \times 40) + (3 \times 30) + (4 \times 0)}{30 + 40 + 30 + 0} = 2 \quad (3.20)$$

$$(C2) COG (X=2) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1 \times 30) + (2 \times 40) + (3 \times 30) + (4 \times 0)}{30 + 40 + 30 + 0} = 2 \quad (3.21)$$

$$(C3) \text{ COG } (X=3) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1x0) + (2x30) + (3x40) + (4x30)}{0 + 30 + 40 + 30} = 3 \quad (3.22)$$

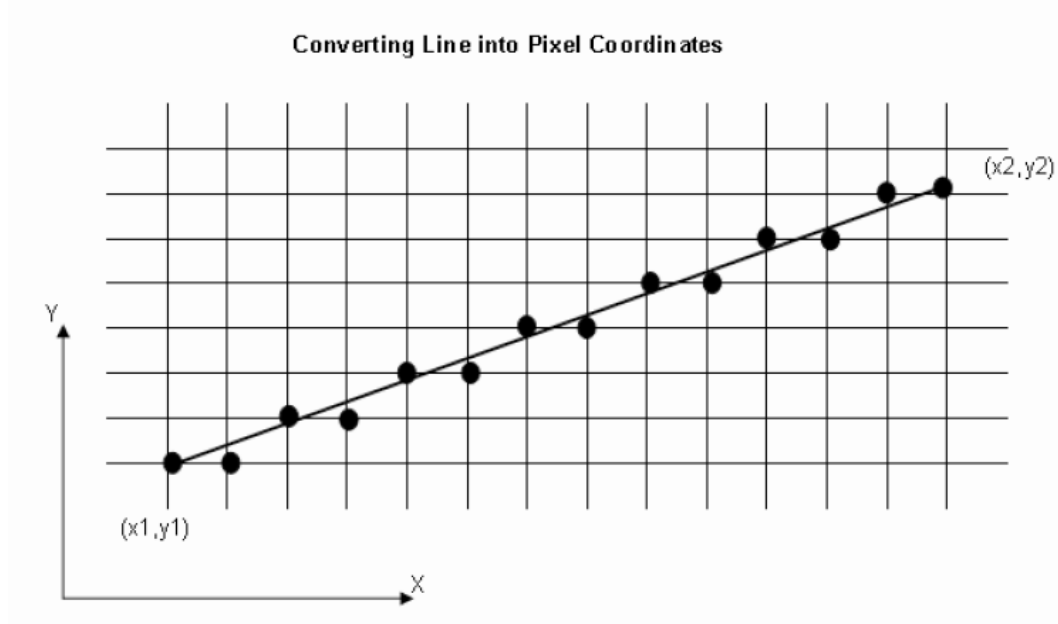
$$(C4) \text{ COG } (X=4) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1x0) + (2x30) + (3x40) + (4x30)}{0 + 30 + 40 + 30} = 3 \quad (3.23)$$

$$(C5) \text{ COG } (X=5) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1x0) + (2x30) + (3x40) + (4x30)}{0 + 30 + 40 + 30} = 3 \quad (3.24)$$

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าพิกัด X และ Y โดยที่ X เป็นคอลัมน์ที่ 1,2,3...n สัมพันธ์กับค่าของ Y เป็นค่าแถวที่ 1,2,3...n ดังนั้นคำตอบที่ได้คือ  $(X,Y) = \{(1,2), (2,2), (3,3), (4,3), (5,3)\}$

### 3.4 อัลกอริทึมเส้นตรง Bresenham

ในการแสดงพิกัดของภาพดิจิทัลจะบอกในลักษณะของจุดภาพ(พิกเซล) ซึ่งอาจเรียกอีกชื่อว่าอุปกรณ์รaster (Raster Devices) เช่น จอภาพหรือเครื่องพิมพ์ ในการวาดเส้นตรงลงบนอุปกรณ์ประเภทนี้ จะใช้การเชื่อมจุดระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นตรง ดังนั้นถ้าอุปกรณ์มีความละเอียดสูง จะทำให้ได้รูปเส้นตรงที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าจอภาพที่มีความละเอียดต่ำ ในรูปที่ 3.24 แสดงกระบวนการวาดเส้นตรงบนอุปกรณ์ประเภทรaster โดยการตัดกันของเส้นแสดงถึงตัวแทนของจุดภาพ และเส้นตรงแสดงถึงเส้นตรงที่ต้องการวาด



รูปที่ 3.24 แสดงการสร้างเส้นตรงบนจอภาพ

ในแต่ละตำแหน่งบนแกน X ของจอภาพ จะต้องคำนวณหาเลขจำนวนเต็มที่จะใช้แทนค่า y เนื่องจากการอ้างอิงจุดภาพจะเป็นจำนวนเต็มเสมอ โดยต้องเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่า y ที่แท้จริงมากที่สุด โดยวิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้สมการเส้นตรง

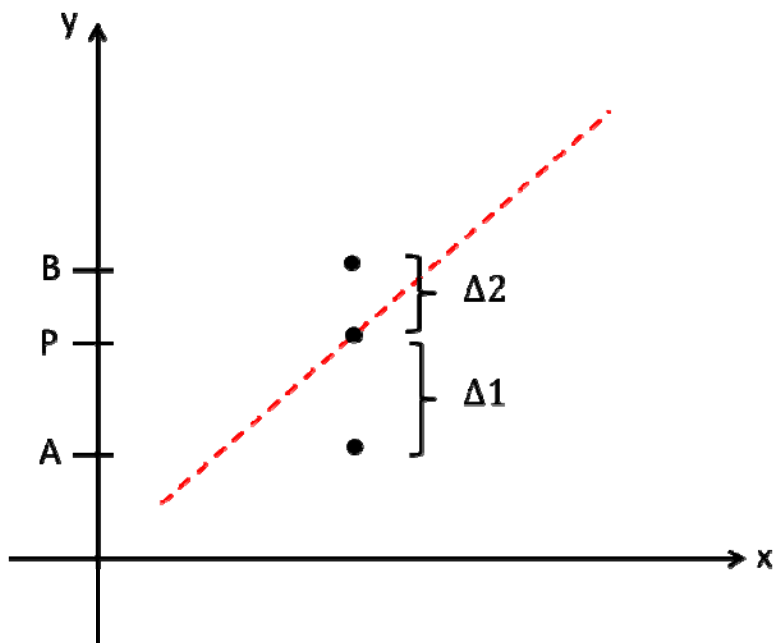
$$y = mx + c \quad (3.25)$$

ตัวแปร m คือค่าความชันของเส้นตรง ซึ่งจะสามารถหาค่าความชันได้จาก

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.26)$$

ผลการคำนวณจากสมการจะได้เป็นจุดทศนิยม จึงต้องทำการค่า y ขึ้นหรือลง เพื่อให้ได้จำนวนเต็มที่ใกล้เคียงมากที่สุด

ปัญหาจากการใช้วิธีดังกล่าวข้างต้นคือ จะใช้เวลาในการคำนวณมาก เนื่องจากมีทั้งการคูณและการหาร ในปี 1965 J.E. Bresenham ได้นำเสนอวิธีการวาดเส้นตรงที่ใช้วิธีการอันชาญฉลาด โดยในการคำนวณมีเพียงแค่การบวกและการคูณด้วยสองเท่านั้น และนิยมใช้กันอย่างมากในปัจจุบัน



รูปที่ 3.25 อัลกอริทึมในการวาดเส้นตรงของ Bresenham

จากรูปที่ 3.25 จะเป็นการแสดงวิธีการคำนวณของ Bresenham เพื่อสร้างเส้นตรง ถ้าจุด (P) คือจุดที่เส้นตรงพาดผ่านบริเวณจุดภาพ A และ B โดยแนวคิดของ Bresenham นั้นจะทำการหาค่า  $\Delta_2$  และ  $\Delta_1$  แล้วทำการเปรียบเทียบค่ากัน โดยความแตกต่างของระยะทั้งสองจะหาได้จากสมการที่ 3.27

$$\Delta_2 - \Delta_1 = 2m(x+1) - 2A + 2c - 1 \quad (3.27)$$

กำหนดให้  $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$  และ สามารถนิยามในการเลือกตำแหน่ง y ได้ดังนี้

$$P = \Delta x(d_1 - d_2) \quad (3.28)$$

$$P = 2\Delta y \cdot x - 2\Delta x \cdot A + c \quad (3.29)$$

ถ้า  $P$  เป็นลบแสดงว่า  $\Delta_1 < \Delta_2$  หรือจุด A ใกล้เคียงกับเส้นตรงดังนั้นจะเลือก จุด A

ถ้า  $P$  เป็นบวกแสดงว่า  $\Delta_2 < \Delta_1$  หรือจุด B ใกล้เคียงกับเส้นตรงดังนั้นจะเลือก จุด B

### 3.5 ตัวกรองสวิตซกี-โกเลย์(Savitzky-Goley filter)

การประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัล (Digital Signal Processing) หรือ อาจเรียกง่าย ๆ ว่า DSP นั้น คือกระบวนการปรับแต่งข้อมูลของสัญญาณด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ โดยจะกระทำกับสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Signal) ซึ่งในปัจจุบันการประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัลมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งในทางด้านการแพทย์ การสื่อสาร คอมพิวเตอร์ ฯลฯ

จุดประสงค์หลักๆของการประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัล คือ การวัด การกรอง การบีบอัด ข้อมูลสัญญาณแบบต่อเนื่อง (Analog Signal) ซึ่งไม่สามารถกระทำได้โดยตรง การได้มาของข้อมูลสัญญาณแบบดิจิทัลนั้น จะต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital-to-Analog Converter)

หนึ่งในเทคนิคสำคัญของการประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัลคือ ตัวกรองสัญญาณ (filter) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำการกำจัดสัญญาณรบกวน (noise) ที่ไม่ต้องการออกจากสัญญาณหลัก ตัวกรองที่พิจารณานำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ คือ ตัวกรองแบบแบบสวิตซกี-โกเลย์ (Savitzky-Goley filter) โดยในปี 1964 Abraham Savitzky และ Marcel J. E. Golay ได้ตีพิมพ์งานวิจัย “Smoothing and differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures.” ลงในวารสาร Analytical Chemistry [24] โดยงานวิจัยฉบับนี้ถูกอ้างอิงเป็นอย่างมาก เช่น งานวิจัยของ Nakajima, Juzoji, Zhao, และ Hamamoto (2003) [25] ได้เสนอวิธีการใช้ตัวกรองชนิดสวิตซกี-โกเลย์ ในการกรอง

สัญญาณรบกวนที่เกิดจากเครื่องตรวจวัดและบันทึกคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ (ECG) ซึ่งสามารถกรองสัญญาณรบกวนได้ทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ (Gaussian noise) และอุปกรณ์ต่างๆ (Impulse noise) และได้มีงานวิจัยของ Paul O’Leary, Matthew Harker และ Richard Neumayr (2010) [26] ได้นำวิธีการตัวกรองสวิตซกี-โกเลย์ไปประยุกต์ใช้ในการกรองข้อมูลรูปทรงของวัตถุ

### 3.5.1 หลักการทำงานของตัวกรองสวิตซกี-โกเลย์

ตัวกรองแบบสวิตซกี-โกเลย์ (Savitzky-Goley filter) ใช้หลักการของการประมาณพหุนามเป็นช่วงๆ และการหาค่าเฉลี่ย โดยการเลื่อนหน้าต่าง (Window) แบบกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอันดับของพหุนามที่มีค่าสูงจะให้ผลการกรองที่ดี โดยไม่เกิดการลดขนาดของสัญญาณเดิม โดยค่าเอาต์พุตของตัวกรองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.30 [27]

$$g_i = \sum_{n=-n_L}^{n_R} c_n f_{i+n} \quad ; i = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots \quad (3.30)$$

เมื่อ	$f_{i+n}$	คือ สัญญาณอินพุต
	$g_i$	คือ สัญญาณเอาต์พุต
	$n_L$	คือ จำนวนของจุดข้อมูลฝั่งซ้ายของข้อมูลตำแหน่งที่ $i$
	$n_R$	คือ จำนวนของจุดข้อมูลฝั่งขวาของข้อมูลตำแหน่งที่ $i$
	$c_n$	คือ สัมประสิทธิ์ของตัวกรอง (filter coefficient)

แนวคิดของตัวกรองสวิตซกี-โกเลย์ คือการหาสัมประสิทธิ์ตัวกรอง  $c_n$  ที่โดยปกติจะเป็นค่าคงที่ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล  $i$  แต่แนวคิดของตัวกรองสวิตซกี-โกเลย์คือ สัมประสิทธิ์ตัวกรอง  $c_n$  จะต้องไม่ใช่ค่าคงที่ แต่สามารถปรับค่าได้ตามค่าของข้อมูลที่ได้มาจากการเลื่อนของหน้าต่าง ถ้าสัมประสิทธิ์  $c_n$  ถูกแทนที่ด้วยพหุนามอันดับ  $M$  ที่อยู่ในรูป  $a_0 + a_1i + \dots + a_Mi^M$  จะแสดงเวกเตอร์สัมประสิทธิ์  $a$  ได้ดังสมการที่ 3.31 และ 3.32

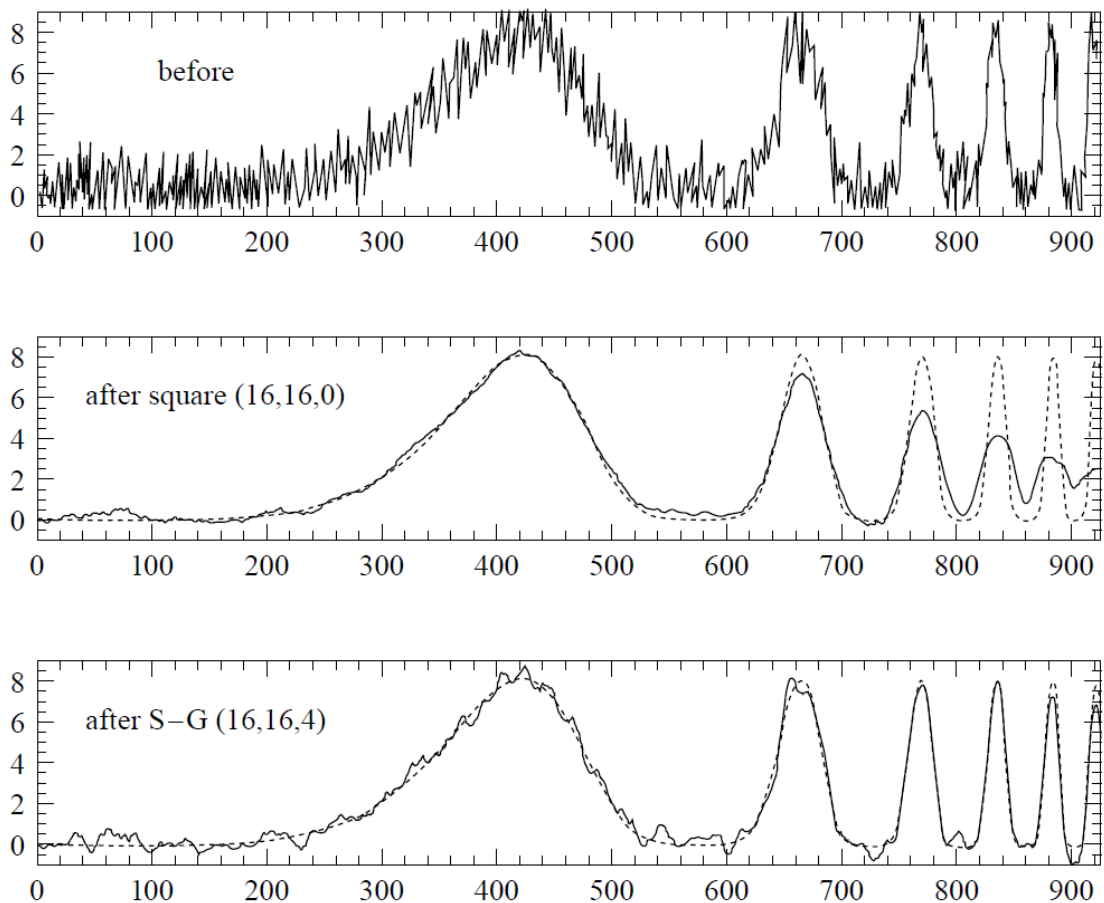
$$A \cdot a = f \quad ; a = (a_0 a_1 \dots a_M)^T \quad (3.31)$$

$$(A^T \cdot A) \cdot a = A^T \cdot f \quad \text{และ} \quad a = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot f \quad (3.32)$$

เนื่องจากการประมาณแบบกำลังสองน้อยที่สุด จะทำให้ข้อมูลเป็นเชิงเส้น ดังนั้น  $f$  ในสมการที่ 3.32 สามารถแทนด้วยเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (unit vector)  $e_n$  ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองสวิตซกี-โกเลย์จะหาได้จากสมการที่ 3.33

$$c_n = \left\{ (A^T \cdot A)^{-1} \cdot (A^T \cdot e_n) \right\}_0 = \sum_{m=0}^M \left\{ (A^T \cdot A)^{-1} \right\}_{0m} n^m \quad (3.33)$$

โดยที่  $n = 2n_L + 1$  หรือ  $n = 2n_R + 1$  (จำนวนคี่)

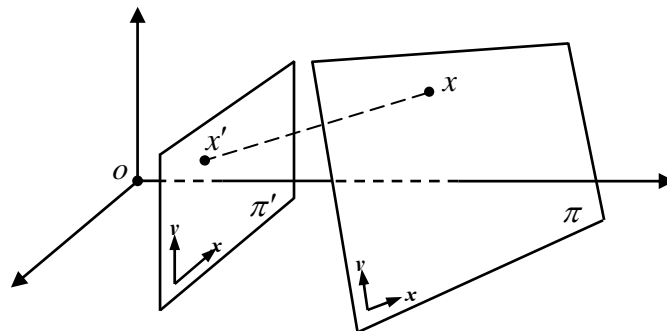


**รูปที่ 3.26** แสดงผลการทดสอบการใช้ตัวกรอง ภาพบน: สัญญาณอินพุตที่ถูกเพิ่มสัญญาณรบกวน (เส้นประคือสัญญาณหลัก) ภาพกลาง: ตัวกรองเฉลี่ยเลื่อนหน้าต่างแบบธรรมดา (Simple moving window average) ภาพล่าง: ตัวกรองสวิตซกี-โกเลย์ โดยใช้ค่าพหุนาม  $M = 4$

จากสมการที่ 3.33 จะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองสวิตชิ่ง-โกลีย์ คือ  $M$  และ  $n$  รูปที่ 3.26 แสดงผลการทดสอบตัวกรองสวิตชิ่ง-โกลีย์ โดยใช้ความกว้างของหน้าต่างมีค่าเท่ากับ 33 จุด นั่นคือ  $n_L = n_R = 16$  โดยภาพบนคือฟังก์ชันคลื่นสัญญาณที่ใช้ทดสอบที่เพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป (สัญญาณหลักคือเส้นประ) ภาพตรงกลางแสดงถึงผลลัพธ์จากการปรับสัญญาณให้เรียบโดยใช้วิธีการเฉลี่ยแบบเลื่อนหน้าต่าง (moving average) จะเห็นว่าขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณถูกลดทอนไปด้วยเป็นอย่างมาก กลับกันที่ภาพล่างเป็นการใช้ตัวกรองแบบสวิตชิ่ง-โกลีย์ โดยใช้พหุนามอันดับที่  $M = 4$  ซึ่งผลลัพธ์ที่เห็นได้ว่าขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณมีความใกล้เคียงกับสัญญาณจริงมาก

### 3.6 โฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์ม

โฮโมกราฟฟีเป็นการแปลงในลักษณะการโปรเจกชันของจุดหรือเส้นที่อยู่บนระนาบ ( $\pi$ ) โดยสามารถเรียกได้หลายชื่อเช่น Collineation, Projectivity และ Projective Transformation ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการแปลงระหว่างพิกัดจริงกับระนาบของภาพที่เป็นผลมาจากการรับภาพของกล้องที่เป็นลักษณะการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ ( $2D \rightarrow 2D$ )



รูปที่ 3.27 ความสัมพันธ์และการโปรเจกชันของจุดที่อยู่บนระนาบ

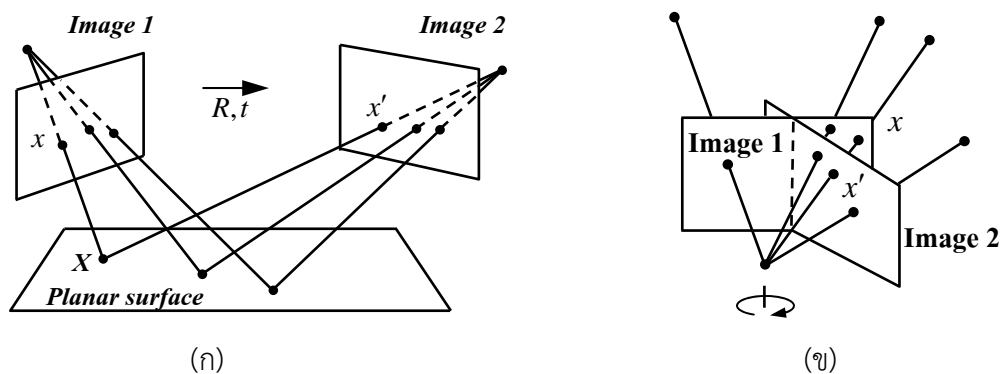
โดย Hartley และ Zisserman [20] ได้ให้คำนิยามของโฮโมกราฟฟีว่าเป็นการแปลงระนาบ  $\pi$  ที่เกิดในลักษณะของการโปรเจกชันนั่นเอง ดังนั้นถ้ามีเส้นตรงจากจุด  $x$  ที่อยู่บนระนาบ  $\pi$  ไปยังจุดศูนย์กลางของการฉาย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระนาบ  $\pi$  ไปยังระนาบ  $\pi'$  ดังนั้นจุด  $x$  บนระนาบ  $\pi$  จะถูกย้ายไปยัง  $x'$  บนระนาบ  $\pi'$  ซึ่งจุด  $x'$  จะมีตำแหน่งอยู่บนเส้นตรงที่ลากจาก  $x$  ไปยังจุดศูนย์กลางโปรเจกชัน จากความสัมพันธ์นี้สามารถอธิบายได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของระนาบ  $\pi \rightarrow \pi'$  ที่เป็นลักษณะการโปรเจกชันสามารถแทนได้ด้วยเมทริกซ์  $3 \times 3$  ที่เป็น non-singular matrix และจุดใดๆบนระนาบ  $\pi$  แทนด้วยเวกเตอร์  $x$  หากมีการเปลี่ยนแปลงระนาบ  $\pi \rightarrow \pi'$  ดังนั้นตำแหน่งของจุด  $x$  นั้นจะถูกแปลงไปโดยมีค่าเท่ากับ  $Hx$

$$x' = Hx \quad (3.34)$$

เมื่อ  $x$  คือ จุดใดๆ บนระนาบ 2 มิติ,  $x'$  คือ จุด  $x$  ที่ถูกแปลงไปตามลักษณะการโปรเจกชัน,  $H$  คือ เมทริกซ์การแปลงแบบโปรเจกชันของระนาบ (Homography Matrix) โดยสามารถแทนจุด  $x$  และ  $x'$  ให้อยู่ในลักษณะของโฮโมจีเนียสเวกเตอร์ และแทน  $H$  ด้วยเมทริกซ์ non-singular ขนาด  $3 \times 3$  ดังนี้

$$\begin{bmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

เมทริกซ์  $H$  (Homography Matrix) สามารถเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต่างๆ ทั้ง 9 ตัว โดยการคูณกับเฟกเตอร์การสเกล (Scale Factor) ใดๆที่ไม่เท่ากับ 0 โดยจะไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการแปลงเชิงการโปรเจกชันของเมทริกซ์  $H$  หรือสรุปได้ว่าเมทริกซ์  $H$  เป็นเมทริกซ์โฮโมจีเนียสนั้นเองและจะมีเพียง 8 degree of freedom (8 dof) จากจำนวนองค์ประกอบทั้งหมด 9 ตัวในเมทริกซ์  $H$



รูปที่ 3.28 ตัวอย่างลักษณะของการแปลงในเชิงการโปรเจกชันแบบต่างๆ

### 3.6.1 ความสัมพันธ์ของโฮโมกราฟฟีกับการแปลงเชิงเรขาคณิตแบบอื่นๆ

การเปรียบเทียบโฮโมกราฟฟีกับการแปลงเชิงเรขาคณิตของภาพแบบอื่นๆช่วยให้เข้าใจถึงโฮโมกราฟฟีมากยิ่งขึ้น ซึ่งในการแปลงของภาพส่วนใหญ่จะเป็นการแปลงที่รวมการแปลงเชิงเรขาคณิตพื้นฐานเข้าด้วยกัน เช่น การหมุน การสเกล การย้ายตำแหน่ง รวมทั้งการแปลงเชิงการฉายภาพเข้าด้วยกัน โดยสามารถที่แบ่งการแปลงเชิงเรขาคณิตของภาพต่างๆออกเป็นกลุ่มๆได้ดังนี้

### 3.6.1.1 Euclidian Transformation

การแปลงแบบ Euclidian เป็นการแปลงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดภาพ ซึ่งหมายความว่าระยะห่างระหว่าง 2 จุดบนภาพจะคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่จะมีการหมุนและการย้ายตำแหน่งของภาพไปจากเดิม โดยการแปลงแบบ Euclidian จะมีเพียง 3 degree of freedom (3 dof) ซึ่งการแปลงแบบ Euclidian สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปแบบของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & tx \\ \sin\theta & \cos\theta & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

หรือเขียนสมการในรูปแบบง่ายได้เป็น

$$x' = H_E x = \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} x \quad (3.37)$$

เมื่อ  $H_E$  คือ เมทริกซ์ของการแปลง Euclidian  
 $x$  คือ เมทริกซ์การหมุนที่มีขนาด  $2 \times 2$   
 $t$  คือ เวกเตอร์การย้ายตำแหน่ง  
 $0^T$  คือ ค่า 0 ในแต่ละหลักของ  $H_E$

### 3.6.1.2 Similarity Transformation

การแปลงแบบ Similarity จะมีความคล้ายคลึงกับการแปลงแบบ Euclidian แต่จะเพิ่มในส่วนของการย่อขยายเข้ามา ทำให้การแปลงแบบ Similarity จะมีผลในการหมุน การย้ายตำแหน่ง และการย่อขยายเข้าด้วยกัน ในส่วนของการสเกลที่เพิ่มขึ้นมาทำให้มี 4 degree of freedom (4 dof) การเพิ่มการสเกลเข้ามาทำให้ระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดบนภาพมีการย่อขยายขึ้นและการสเกลในแกนต่างๆ จะมีอัตราส่วนเท่ากันทั้งภาพ โดยเขียนให้อยู่ในรูปแบบของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s\cos\theta & -s\sin\theta & tx \\ s\sin\theta & s\cos\theta & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

และสามารถเขียนสมการในรูปแบบง่ายได้เป็น

$$x' = H_s x = \begin{bmatrix} sR & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} x \quad (3.39)$$

เมื่อ  $s$  คือ ค่าของการสเกลที่เพิ่มขึ้นในพจน์ที่เหลือจะเหมือนกับการแปลงแบบ Euclidian

### 3.6.1.3 Affine Transformation

การแปลงแบบ Affine มีความคล้ายคลึงกับการแปลงแบบ Similarity แต่ Similarity จะมีการหมุนเพียงมุมเดียวและการย่อขยายจะเท่ากันทุกแกน ส่วนการแปลงแบบ Affine จะมีมุมการหมุน 2 มุมและย่อขยายในแต่ละแกนจะไม่เท่ากัน ดังนั้นการแปลงแบบ Affine จะมี 6 dof โดยจะเพิ่มมุมที่ใช้ระบุหรือกำหนดทิศทางของสเกลและอัตราส่วนของการสเกลในแต่ละแกน ซึ่งการแปลงแบบ Affine มีผลทำให้มุมระหว่างเส้นตรงแต่ละแกนของภาพเปลี่ยนแปลงไป แต่เส้นเหล่านี้ยังคงขนานกันอยู่และเส้นตรงนี้ขนานกันจะมีความยาวของเส้นเท่ากัน นอกจากนั้นพื้นที่ของภาพก่อนถูกแปลงไปและหลังจากการถูกแปลงไปแล้วยังคงมีพื้นที่เท่ากัน การแปลง Affine สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & tx \\ a_{21} & a_{22} & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.40)$$

และสามารถเขียนสมการในรูปแบบง่ายได้เป็น

$$x' = H_A x = \begin{bmatrix} A & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} x \quad (3.41)$$

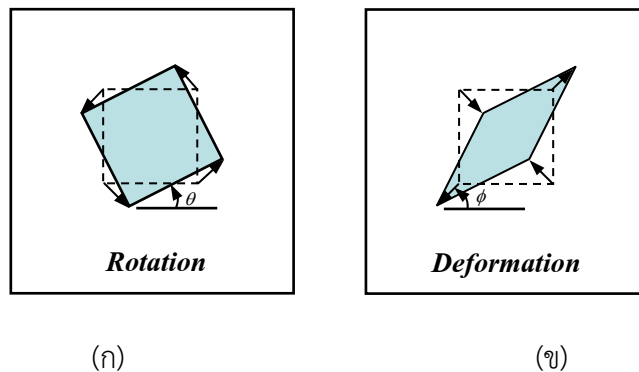
เมื่อ  $A$  คือ เมทริกซ์ Non-Singular ขนาด  $2 \times 2$  ซึ่งสามารถแยกองค์ประกอบออกได้เป็น

$$A = R_\theta R_{(-\phi)} D R_{(\phi)} \quad (3.42)$$

โดยที่  $R_{(\theta)}$  และ  $R_{(\phi)}$  เป็นเมทริกซ์การหมุนโดยมุม  $\theta$  และ  $\phi$  ตามลำดับ และ  $D$  เป็นเมทริกซ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์การสเกล 2 ตัว

$$D = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix} \quad (3.43)$$

โดย  $\lambda_1$  เป็นการสเกลในทิศทางแกน  $x$  และ  $\lambda_2$  เป็นการสเกลในทิศทางแกน  $y$



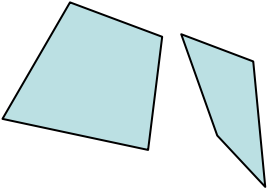
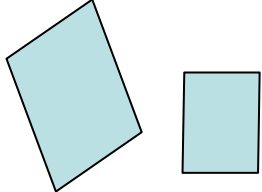
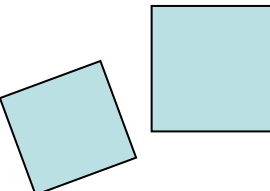
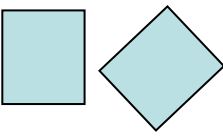
รูปที่ 3.29 การบิดเบือนของระนาบซึ่งเป็นผลของการแปลงแบบ Affine (ก) การหมุนของระนาบ โดย  $R(\theta)$  (ข) การผิดรูปไปของระนาบซึ่งเป็นผลจาก  $R_{(-\phi)}DR(\phi)$

#### 3.6.1.4 Homography หรือ Projective Transformation

การแปลงแบบ Projective หรือ Homography เป็นการแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้นของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส การแปลงแบบ Projective จะมี 8 dof ซึ่งมากกว่าการแปลงแบบ Affine ที่จะมีเพียง 6 dof โดยการแปลงแบบ Projective จะมีส่วนประกอบอยู่ 9 ตัวที่เป็นอัตราส่วนกัน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการใช้งานและสามารถเขียนในรูปแบบโฮโมจีเนียสเมทริกซ์ได้ดังในสมการที่ 3.44 หรือเขียนใหม่ในรูปแบบง่ายได้เป็น

$$x' = Hx = \begin{pmatrix} A & t \\ V^T & v \end{pmatrix} x \quad (3.44)$$

เมื่อ  $V = (V_1 \ V_2)^T$  และ  $v$  เป็นค่าสเกลเพกเตอร์ใดๆที่ไม่กับ 0 ซึ่งจะตัวที่เป็นอัตราส่วนกับองค์ประกอบอื่นๆที่เหลืออีก 8 ตัว ภายในเมทริกซ์ของการแปลงแบบ Projective

<i>Group</i>	<i>Matrix</i>	<i>Distortion</i>
<i>Projective</i> <i>8 dof</i>	$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}$	
<i>Affine</i> <i>6 dof</i>	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
<i>Similarity</i> <i>4 dof</i>	$\begin{bmatrix} sr_{11} & sr_{12} & t_x \\ sr_{21} & sr_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
<i>Euclidean</i> <i>3 dof</i>	$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	

รูปที่ 3.30 คุณสมบัติและลักษณะของการแปลงภาพแบบต่างๆ

ส่วนที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการแปลงแบบ Projective และการแปลงแบบ Affine คือ เวกเตอร์  $V$  ซึ่งจะ เป็น 0 ในการแปลง Affine โดยเวกเตอร์  $V$  นี้จะเป็นส่วนที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากผลของการโปรเจกชัน ในการแปลงแบบอื่นที่ได้กล่าวมา อัตราส่วนของการสเกลจะเท่ากันในทุกๆจุดของภาพ แต่ในการแปลงแบบ Projective ในแต่ละตำแหน่งของภาพอัตราส่วนของการสเกลจะไม่เท่ากัน การแปลงแบบ Projective หรือ Homography สามารถแยกองค์ประกอบออกเป็นกลุ่มของการแปลงแบบต่างๆได้เป็น

$$H = H_A H_P = \begin{pmatrix} A & t \\ 0^T & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I & 0 \\ v^T & v \end{pmatrix} \quad (3.45)$$

เมื่อ  $A = R_{(\theta)} R_{(-\phi)} D R_{(\phi)}$  จากสมการที่ 3.61 ดังนั้นจะได้

$$\eta H = T R_{\theta} R_{-\phi} D R_{\phi} P \quad (3.46)$$

- โดย  $\eta$  คือ  $Sign(h_{33}) / \sqrt{h_{31}^2 + h_{32}^2 + h_{33}^2}$  (Normalized for  $h_{33} = 1$ )
- $T$  คือ เมทริกซ์การย้ายตำแหน่ง (Translation)
- $P$  คือ เมทริกซ์การโปรเจคทีฟ (Projective)
- $R_\theta$  คือ เมทริกซ์ของการหมุน (Rotation)
- $S$  คือ เมทริกซ์ของการสเกล (Scaling)
- $R_{\pm\phi}$  คือ เมทริกซ์ของการสเกลในแต่ละแกน (Axis alignment)

ซึ่งรายละเอียดและขั้นตอนการแยกส่วนประกอบต่างๆของ Homography สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก [20][21] ซึ่งได้อธิบายและแสดงการแยกส่วนประกอบของ Homography โดยการใช้วิธีการแยกค่าเดียว (SVD)

### 3.6.2 การคำนวณและประมาณค่าของโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์

วิธีการหาค่าของโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ (Homography Matrix) ที่เป็นการแปลงระหว่างพิกัดจริง (Real World Coordinate) กับพิกัดรูปภาพ (Image Coordinate System) ส่วนมากนิยมใช้ความสัมพันธ์ของจุดที่อยู่บนพิกัดจริงกับพิกัดรูปภาพที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน และเป็นจุดพิกัดที่ทราบค่าเป็นตัวช่วยในการประมาณหาค่าของโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ ( $H$ ) ซึ่งจะเรียกหลักการของการนำความสัมพันธ์ระหว่าง 2 จุดคือ  $P \leftrightarrow P'$  ที่อยู่บนระนาบพิกัดจริงกับระนาบพิกัดของภาพมาใช้เพื่อประมาณค่าของโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ ( $H$ ) ว่า Direct Linear Transformation (DLT)[19][20] ดังนั้นจากสมการที่ 3.47 สามารถนำมาเขียนได้ใหม่เป็น

$$p' = Hp \quad (3.47)$$

เมื่อ  $p$  เป็นจุดที่อยู่บนระบบพิกัดของภาพ (Image Coordinate) และ  $p'$  เป็นจุดที่อยู่บนระบบพิกัดจริง (Real World Coordinate) ซึ่งสามารถจะเขียนให้อยู่ในรูปแบบของพิกัดโฮโมจีเนียสได้เป็น

$$p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

และ

$$p' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

และ  $H$  เป็นโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ (Homography Matrix) ซึ่งเป็นเมทริกซ์โฮโมจีเนียสขนาด  $3 \times 3$  โดยเมทริกซ์  $H$  จะประกอบด้วยพารามิเตอร์อยู่ทั้งหมด 9 ตัวคือ

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.47) จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

นำ  $H$  คูณกับ  $p$  จะได้สมการใหม่ 3 สมการ คือ

$$x' = h_{11}x + h_{12}y + h_{13}w \quad (3.52)$$

$$y' = h_{21}x + h_{22}y + h_{23}w \quad (3.53)$$

$$w' = h_{31}x + h_{32}y + h_{33}w \quad (3.54)$$

เมื่อต้องการให้อยู่ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน  $(x, y)$  นำสมการที่ (3.54) หารสมการที่ (3.52) และสมการที่ (3.53) จะได้

$$\frac{x'}{w'} = \frac{h_{11}x + h_{12}y + h_{13}w}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}w} \quad (3.55)$$

$$\frac{y'}{w'} = \frac{h_{21}x + h_{22}y + h_{23}w}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}w} \quad (3.56)$$

เมื่อ  $w$  และ  $w'$  เป็นจุดที่สมมติขึ้นมาในพิกัดโฮโมจีเนียส โดยที่ค่า  $w = w' = 1$  จัดรูปแบบสมการใหม่ได้เป็น

$$x' = \left[ \frac{h_{11}x + h_{12}y + h_{13}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}} \right] \quad (3.57)$$

$$y' = \left[ \frac{h_{21}x + h_{22}y + h_{23}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}} \right] \quad (3.58)$$

จัดสมการใหม่ให้เป็นสมการโฮโมจีเนียส (Homogeneous Equations)

$$h_{11}x + h_{12}y + h_{13} - h_{31}x x' + h_{32}y x' - h_{33}x' = 0 \quad (3.59)$$

$$h_{21}x + h_{22}y + h_{23} - h_{31}x y' + h_{32}y y' - h_{33}y' = 0 \quad (3.60)$$

จากสมการที่ (3.59) และสมการที่ (3.60) จัดรูปแบบใหม่เป็น

$$Ah = 0 \quad (3.61)$$

โดยกำหนดให้  $A = [ ]_{2 \times 9}$

$$A = \begin{bmatrix} x & y & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'x & -x'y & -x' \\ 0 & 0 & 0 & x & y & 1 & -y'x & -y'y & -y' \end{bmatrix} \quad (3.62)$$

และกำหนดให้  $h = [ ]_{9 \times 1}$

$$h = (h_{11} \quad h_{12} \quad h_{13} \quad h_{21} \quad h_{22} \quad h_{23} \quad h_{31} \quad h_{32} \quad h_{33})^T \quad (3.63)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 3.61 จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'x & -x'y & -x' \\ 0 & 0 & 0 & x & y & 1 & -y'x & -y'y & -y' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \\ h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.64)$$

จากสมการที่ (3.64) จะเห็นว่าแต่ละจุด  $p$  และ  $p'$  ที่สัมพันธ์กันบนระนาบทั้งสองจะให้สมการ 2 สมการ เนื่องจากโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์  $H$  จะมี 8 dof (8 degrees of freedom) และมีเฟกเตอร์การสเกล ( $h_{33} = \text{non-zero scale factor}$ ) ซึ่งสามารถที่จะกำหนดให้เป็นค่าใดๆโดยส่วนมากเท่ากับ 1 (Homogeneous Matrix) จากตัวแปร  $h_{ij}$  ที่ไม่ทราบค่าทั้งหมด 9 ตัว ดังนั้นจะเหลือตัวแปร  $h$  ที่ไม่ทราบค่าอยู่ 8 ตัว ซึ่งในการแก้สมการต้องใช้จุดที่ทราบค่าเท่ากับ 4 จุดเพื่อให้ได้สมการทั้งหมด 8 สมการจึงจะสามารถแก้ปัญหาค่า  $H$  ถ้าในกรณีที่ใช้จุดที่ทราบค่ามากกว่า 4 จุดซึ่งจะเรียกว่าเป็น over-determined solution ที่สามารถแก้ปัญหาค่า  $H$  ได้เช่นกัน ดังนั้นในการแก้ปัญหาค่าของเมทริกซ์  $H$  ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์  $h_{ij}$  จำเป็นต้องใช้จุดบนทั้งสองระนาบที่สัมพันธ์กันอย่างน้อย 4 จุดหรือ  $n \geq 4$  เพื่อคำนวณหาโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_1x_1 & -x'_1y_1 & -x'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_nx_n & -x'_ny_n & -x'_n \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -y'_1x_1 & -y'_1y_1 & -y'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -y'_nx_n & -y'_ny_n & -y'_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \\ h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.65)$$

ในการคำนวณหาของโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ (Homography Matrix) สามารถที่จะหาคำตอบออกมาได้ โดยใช้การแก้ปัญหของระบบสมการเชิงเส้นด้วยการประมาณค่าแบบ Least-Squares (LS) หรือใช้การแยกส่วนประกอบของเมทริกซ์  $A = UDV^T$  ซึ่งเป็นการหา Singular value decomposition (SVD) ของเมทริกซ์  $A$  โดยค่าของโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ที่เป็นคำตอบของสมการจะได้จากหลักสุดท้ายของเมทริกซ์  $V$  ที่ได้จากค่า SVD ของเมทริกซ์  $A$  [19][20][22]

การแปลงโฮโมกราฟฟีซึ่งเป็นการแปลงของระนาบ 2 มิติจะถูกนำมาใช้ในการแปลงพิกัดของภาพที่ได้จากกล้อง ซึ่งเป็นภาพวัตถุที่มีลักษณะคล้ายกับถูกแบ่งส่วนออกเป็น 2 มิติจากการใช้หลักการแสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ เมื่อทำการแปลงพิกัดของวัตถุในภาพเป็นพิกัดจริงได้โดยการใช้การแปลงแบบโฮโมกราฟฟีก็จะสามารถนำพิกัดเหล่านี้ไปคำนวณหาเป็นขนาดและพื้นที่แต่ละส่วนของวัตถุ รวมทั้งพื้นที่โดยรวมเชิงปริมาตรของวัตถุนั้นๆได้

## บทที่ 4

# การออกแบบระบบตรวจวัดปริมาตรของปลา โดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ

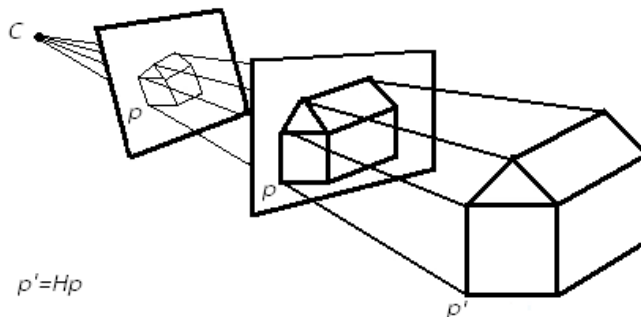
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาวิจัยและขั้นตอนการออกแบบตรวจวัดปริมาตรของปลาโดยใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัล ร่วมกับการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ โดยใช้วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG) และการวาดเส้นด้วยอัลกอริทึมแบบ Bresenham ร่วมกับตัวกรองแบบซาวิตซกี-โกเลย์ (Savitzky-Golay Filter) แล้วทำการคำนวณพื้นที่หน้าตัดโดยอาศัยการแปลงจำนวนพิกเซลของภาพให้เป็นหน่วยของพื้นที่ (ตารางมิลลิเมตร) ซึ่งได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วน คือ หลักการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง และปลาชนิดต่างๆที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการคัดแยกปริมาตรของปลา และขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบตรวจวัดปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง และปลาชนิดต่างๆที่ได้นำเสนอในงานวิจัย

### 4.1 หลักการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงหลักการในการหลักการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง และปลาชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถหาปริมาตรโดยรวมของวัตถุได้อีกด้วย

#### 4.1.1 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีโฮโมกราฟฟีและแสงเลเซอร์แบ่งส่วนในการตรวจวัดขนาดวัตถุ

แนวคิดที่ได้นำมาใช้ในการตรวจวัดวัตถุในงานวิจัยนี้คือการนำหลักการของการฉายแสงเลเซอร์บนวัตถุ เพื่อเป็นการแบ่งวัตถุที่เป็น 3 มิติออกเป็นแผ่นบางๆตามระนาบของลำแสงเลเซอร์ที่ฉายไปบนวัตถุซึ่งเป็นลักษณะระนาบ 2 มิติ



รูปที่ 4.1 แนวคิดที่นำมาใช้ในการตรวจวัดวัตถุ

การฉายแสงเลเซอร์แบบเส้นบนวัตถุนอกจากแบ่งวัตถุเป็นส่วนๆแล้วยังทำให้ได้คุณลักษณะของวัตถุตามพื้นผิวของวัตถุด้วย ซึ่งสิ่งที่ได้จากแสงที่ฉายบนพื้นผิววัตถุจะบอกถึงความกว้างและความหนาของวัตถุ เมื่อจับภาพด้วยกล้องวิดีโอรูปภาพของเส้นแสงเลเซอร์ที่ได้จะบอกถึงขนาดของวัตถุในหน่วยของพิกเซลที่เกิดขึ้นบนตัวเซนเซอร์ (CCD) ดังนั้นในการแปลงพิกัดขนาดของวัตถุที่อยู่ในหน่วยพิกเซลของภาพ ให้เป็นขนาดที่เป็นพิกัดจริงในหน่วยของหน่วยของหน่วยวัดมาตรฐาน (Metric system) เช่น มิลลิเมตร เซนติเมตร จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับการแปลงเชิงเรขาคณิตของภาพมาช่วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอและใช้ทฤษฎีของโฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์ม จะเป็นการแปลงพิกัดของจุดระหว่างระนาบ 2 มิติใดๆ ในงานวิจัยนี้จะทำการแปลงพิกัดของจุดบนระนาบของภาพ (Image Plane) ให้เป็นพิกัดจริง (Real World Coordinate) เพื่อทำการคำนวณหาปริมาตรของวัตถุจากจำนวนของพิกเซลที่อยู่บนภาพที่ได้จากการแปลงพิกัดของวัตถุในหน่วยวัดมาตรฐาน ส่วนความยาวของวัตถุนั้นได้จากการทำการเลื่อนวัตถุแล้วใช้กล้องวิดีโอจับภาพในเฟรมตัดไปจนครบทั้งวัตถุ เมื่อนำภาพแต่ละเฟรมมารวมกันได้เป็นความยาวของวัตถุนั้นๆ ซึ่งความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุจะต้องสัมพันธ์กับความเร็วในการจับภาพของกล้องวิดีโอ เช่น กล้องสามารถจับภาพด้วยความเร็ว 30 fps ดังนั้นความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุจะต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 mm/Sec เพื่อที่จะให้ได้ความละเอียดในด้านของความยาวของวัตถุ 1 mm/Frame หรือถ้าหากมีความต้องการความละเอียดในการวัดความยาวของวัตถุที่ 0.5 mm/Frame ดังนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุต้องมีค่าเท่ากับ 15 mm/Sec

$$L = \frac{Os}{Cs} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $L$  คือ ค่าความละเอียดในการตรวจวัดความยาววัตถุ (mm/Frame)  
 $Os$  คือ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ (mm/S)  
 $Cs$  คือ ค่าความสามารถจับภาพด้วยความเร็วของกล้อง (Frame/S)

จากสมการที่ 4.1 แสดงถึงวิธีการหาค่าของความละเอียดในการตรวจวัดความยาววัตถุต่อ 1 เฟรมภาพ เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาผลรวมของพื้นที่รวมในเชิงปริมาตร โดยจากการทดลองภาพลำแสงเลเซอร์ตัดขวางที่ได้มีแสงรบกวนจากภายนอกเข้ามา ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการแก้ปัญหา โดยการติดตั้งตัวกรองแสงความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร เพื่อตัดแสงรบกวนจากภายนอก

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาตรของวัตถุจากเส้นแสงเลเซอร์

เมื่อทำการฉายแสงเลเซอร์ลงบนพื้นผิวของวัตถุจะทำให้เส้นแสงเลเซอร์เปลี่ยนแปลงไปตามพื้นผิวของวัตถุนั้นๆ ซึ่งสามารถนำแสงเลเซอร์ที่ได้จากการมองด้วยกล้องซีซีดี มาวิเคราะห์ถึงรูปทรงของวัตถุได้ โดยงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบการวัดปริมาตรจากวัตถุตัวอย่างรูปทรง สามเหลี่ยม,

สี่เหลี่ยม, หกเหลี่ยม และทรงกลม โดยลักษณะของเส้นแสงเลเซอร์ที่ได้เมื่อฉายลงบนพื้นผิวของวัตถุได้แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงระบบแสงเลเซอร์ตัดขวางที่ตกกระทบกับพื้นผิวของวัตถุตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ในการหาปริมาตรของวัตถุจำเป็นต้องแปลงพิกัดภาพให้อยู่บนพิกัดจริงเสียก่อน โดยใช้โฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์มในการแปลงจุดพิกัดเหล่านี้ จากนั้นก็จะทำการนับจำนวนพิกเซล เพื่อที่จะทำการแปลงพิกเซลที่ได้มาทำการแปลงเป็นพื้นที่ในหน่วยของหน่วยวัดมาตรฐานของภาพที่ได้ต่อเวลา

ดังนั้น เมื่อนำพื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนมารวมกัน ก็จะได้เป็นพื้นที่โดยรวมหรือปริมาตรของวัตถุ ซึ่งสามารถหาได้โดย

$$V = \sum_{n=1}^L A_n \quad (4.2)$$

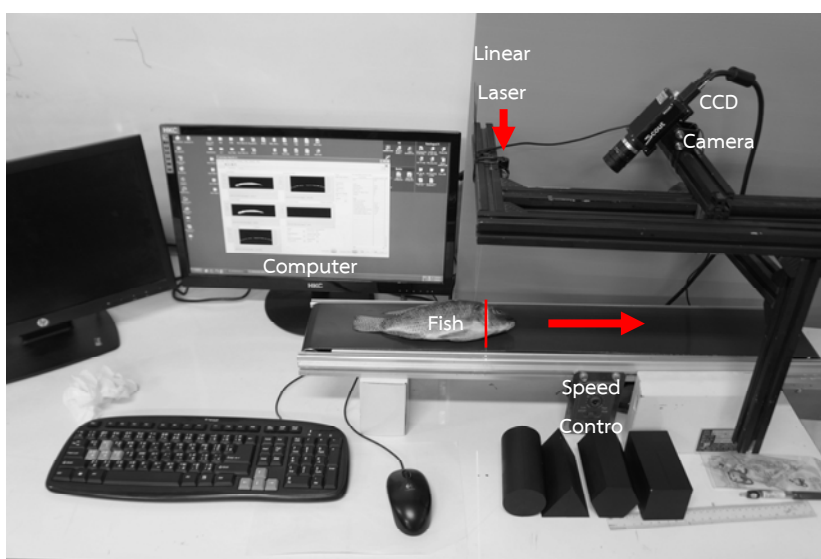
เมื่อ  $V$  คือ ปริมาตรหรือพื้นที่รวมของวัตถุ

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนของวัตถุ

$L$  คือ จำนวนเฟรมที่มีวัตถุตัดผ่านเส้นแสงเลเซอร์หรือความยาวของวัตถุ

## 4.2 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการตรวจวัดขนาดวัตถุ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการออกแบบระบบการตรวจวัดขนาดของวัตถุ การวัดขนาดวัตถุที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้ลักษณะการสแกนวัตถุโดยใช้หลักการของแสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ ดังนั้นอุปกรณ์ที่สำคัญสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ แหล่งกำเนิดแสงซึ่งจะให้แสงเลเซอร์แบบเส้น อุปกรณ์การตรวจจับภาพโดยใช้กล้องซีซีดี อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุ และคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการประมวลผล โดยระบบที่ออกแบบรวมทั้งตำแหน่งการติดตั้งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุ

### 4.2.1 อุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้เลเซอร์ไดโอดแบบเส้นของบริษัท LASIC ELECTRO-OPTICS CO.,LTD. ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ เส้นของลำแสงมีความหนาของเส้น 0.5 มิลลิเมตร มีความยาวคลื่นระหว่าง 630 ถึง 650 นาโนเมตร (สีแดง) และมีกำลังสูงสุดที่ 5 มิลลิวัตต์



รูปที่ 4.4 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอดแบบเส้นที่ใช้ในงานวิจัย

#### 4.2.2 อุปกรณ์จับภาพกล้องซีซีดี (CCD Camera)

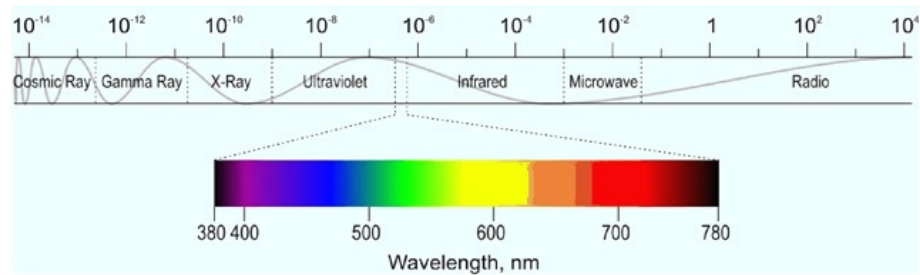
ในการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับลำแสงเลเซอร์ที่ถูกฉายลงบนพื้นผิวของวัตถุตัวอย่าง และปลาชนิดต่างๆ จะใช้อุปกรณ์จับภาพซึ่งถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของระบบ เนื่องจากต้องคำนึงถึงความละเอียดของกล้อง (Resolution) และความเร็วในการจับภาพซึ่งความเร็วในการเก็บภาพของกล้องจะมีต่อความเร็วในการประมวลผล ซึ่งปัจจุบันความเร็วในการเก็บภาพของกล้องมีตั้งแต่ 1-1000 เฟรมต่อวินาทีหรือมากกว่า แต่กล้องยิ่งมีความเร็วสูงมากก็จะมีราคาแพงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งกล้องที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้กล้องซีซีดี ของบริษัท Basler รุ่น SCA1000-30fc ที่มีความละเอียด 1032x778 พิกเซล มีความเร็วในการจับภาพที่ 30 เฟรมต่อวินาที สามารถควบคุมการจับภาพได้จากสัญญาณภายนอก และใช้การเชื่อมต่อแบบ IEEE1394b ในการติดตั้งกล้องจะต้องคำนึงถึงทิศทางในการตรวจจับด้วย ดังนั้นจึงควรติดตั้งโดยที่กล้องทำมุมกับระนาบของเลเซอร์ที่ระหว่าง 30 ถึง 60 องศา โดยกล้องได้ทำการติดตั้งตัวกรองคลื่นแสงย่านสีแดง (620-650 Narrow band pass filter) ไว้ด้วย เพื่อช่วยในการป้องกันแสงรบกวนจากคลื่นแสงย่านความถี่อื่นๆ ที่ไม่ใช่ความถี่ในของคลื่นแสงย่านสีแดงที่ต้องการตรวจจับ ที่ได้กำเนิดจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ไดโอดแบบเส้นที่ใช้ในงานวิจัย ที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 630 ถึง 650 นาโนเมตร (สีแดง) จากรูปที่ 4.7 แสดงถึงทุกย่านความถี่ของคลื่นแสง



รูปที่ 4.5 กล้อง Basler รุ่น SCA1000-30fc



รูปที่ 4.6 เลนส์และตัวกรองคลื่นแสงย่านสีแดง

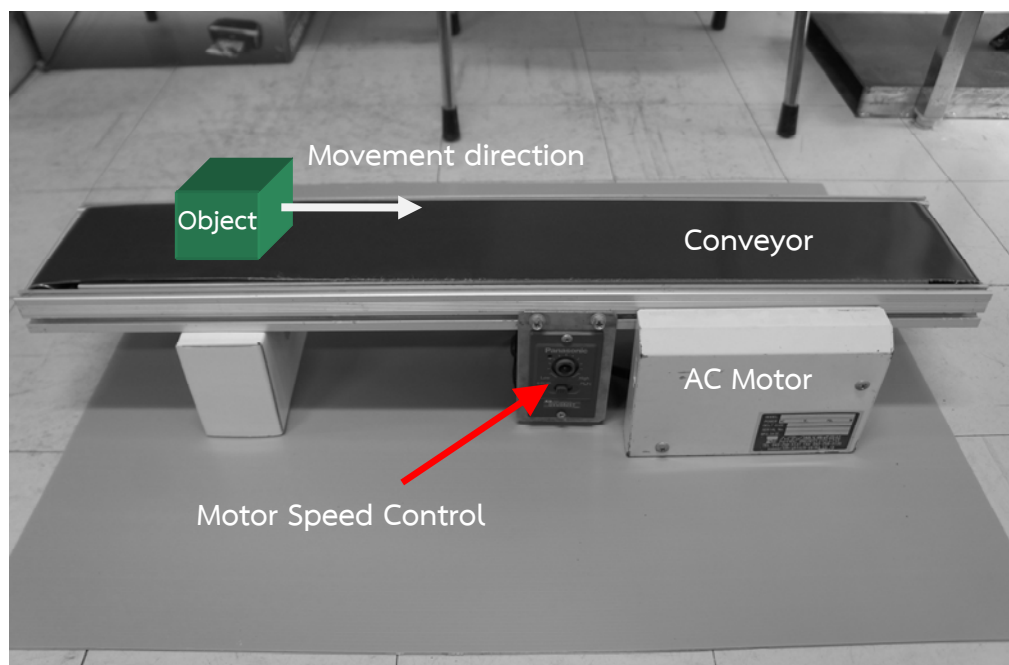


รูปที่ 4.7 แสดงทุกย่านความถี่ของคลื่นแสง

ที่มา: [www.thelia.org.uk](http://www.thelia.org.uk)

#### 4.2.3 อุปกรณ์การควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Speed Controller)

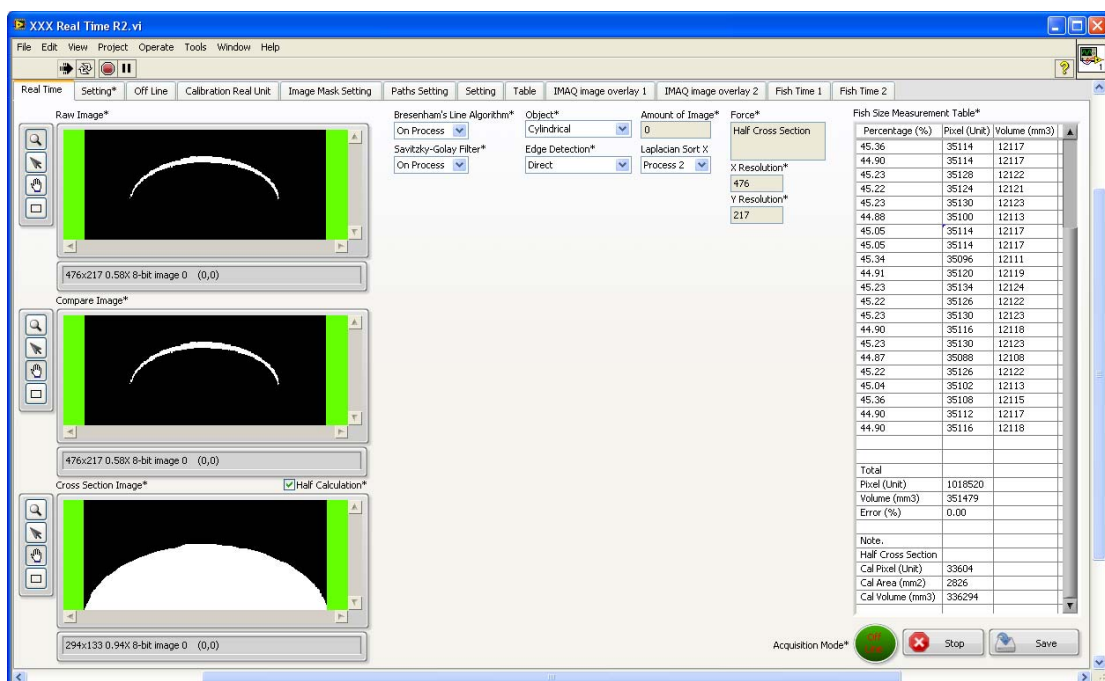
การเคลื่อนที่ของวัตถุจำเป็นต้องสอดคล้องกับความเร็วในการถ่ายภาพของกล้อง ในการออกแบบใช้อินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับหนึ่งเฟสที่ขับเคลื่อนของสายพานลำเลียง โดยควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียงไว้ที่ 30 mm/Sec เพื่อให้ได้ความละเอียดในการตรวจวัดความยาววัตถุที่ 1 mm/frame โดยหากจากสมการที่ 4.1 งานวิจัยนี้จะใช้ตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์ซึ่งใช้ขับเคลื่อนสายพาน ยี่ห้อพานาโซนิค รุ่น DVUS825Y ซึ่งสามารถที่จะปรับความเร็วของมอเตอร์ ทำให้สามารถที่จะควบคุมความเร็วของสายพานตามที่ต้องการทดลองได้ การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุได้แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุ

#### 4.2.4 อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

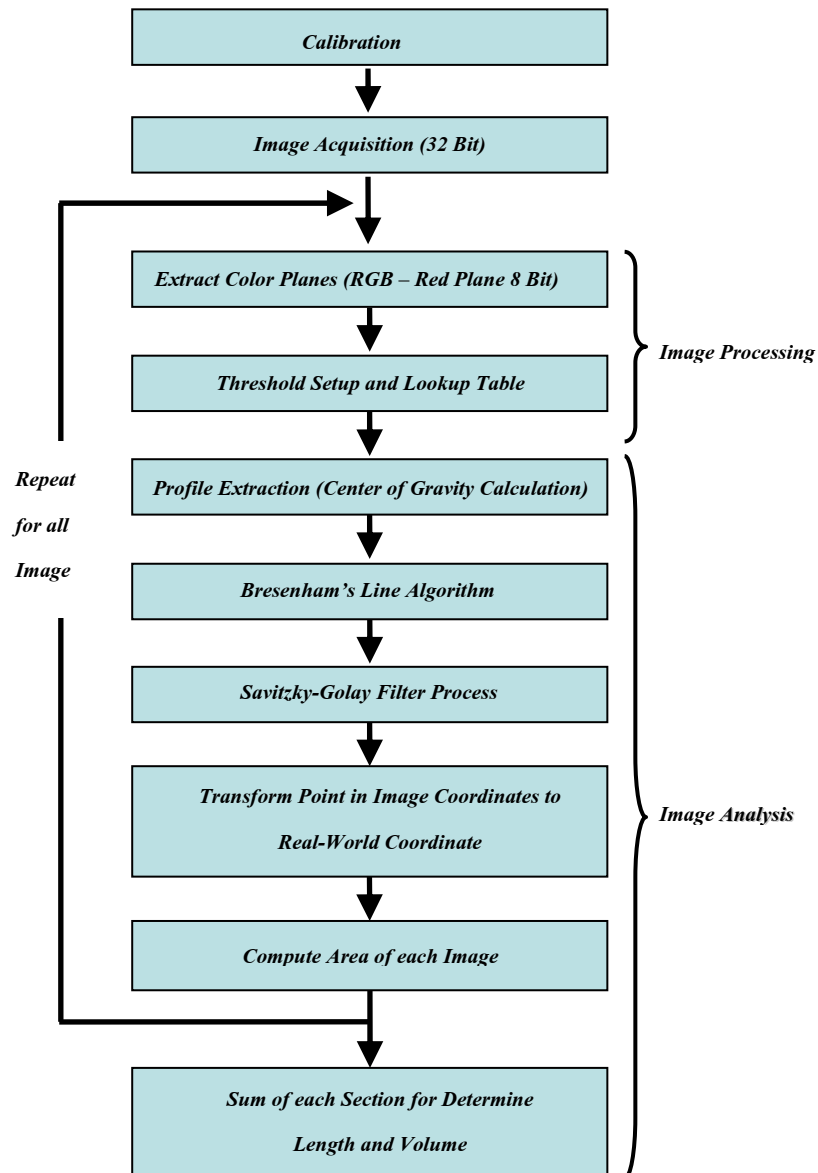
การประมวลผลภาพที่ได้จากกล้องเพื่อทำการหาขนาดของวัตถุนั้นจะใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลโดยผ่านทางโปรแกรมที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) เวอร์ชัน 2013 ของ National Instrument ในการเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบและใช้ในการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุ เนื่องจากโปรแกรม Labview มีฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์และประมวลผลภาพให้เลือกมากมายจึงช่วยลดเวลาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมลงมากนอกจากนั้นยังสามารถทำการวิเคราะห์ผลการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมที่เขียนขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม จากรูปที่ 4.9 แสดงโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการประมวลผลภาพแบบต่อเนื่อง รับภาพสีจากกล้องซีซีดี



รูปที่ 4.9 แสดงโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการประมวลผลภาพแบบต่อเนื่อง

#### 4.3 ขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบตรวจวัดปริมาตรของวัตถุ

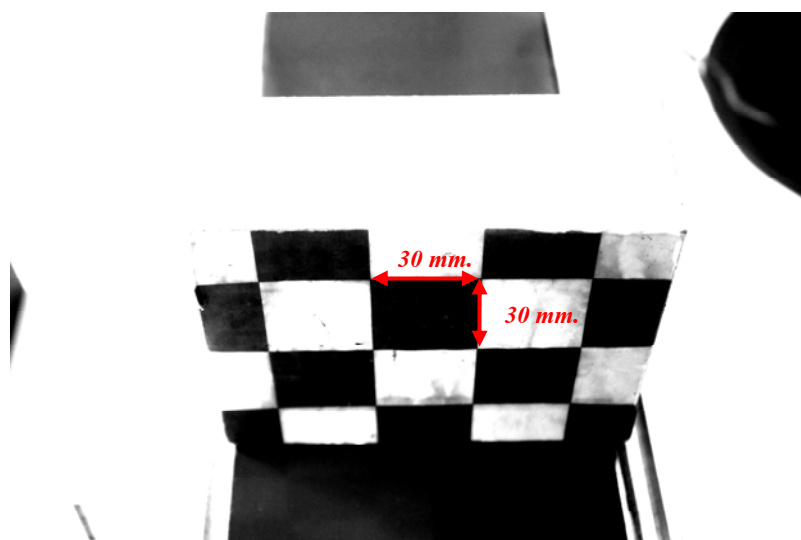
ในหัวข้อนี้อธิบายถึงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจวัดขนาดของวัตถุ ซึ่งการทำงานจะแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนได้ดังนี้คือ การสอบเทียบ การเก็บข้อมูลภาพของวัตถุที่ตรวจวัด การประมวลผลภาพ การวิเคราะห์ภาพเพื่อคำนวณหาพื้นที่และปริมาตรโดยรวมของวัตถุ โดยขั้นตอนและลำดับการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจวัดของวัตถุจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบตรวจวัดปริมาตรของวัตถุ

#### 4.3.1 การสอบเทียบ

การสอบเทียบเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการตรวจวัดขนาดของวัตถุเพราะจะมีผลกับความผิดพลาดในการตรวจวัด การสอบเทียบนี้เป็นการหาค่าของโฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์มซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการแปลงจุดพิกัดภาพเป็นพิกัดจริงจากที่ได้กล่าวถึงการหาค่าของโฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์มไว้ในบทที่ 3 การหาค่าของโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์สามารถหาได้โดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของจุดบนพิกัดภาพกับตำแหน่งของจุดที่อยู่บนพิกัดจริงที่ทราบค่าตำแหน่งของจุดอย่างน้อย 4 จุดเพื่อใช้ในการคำนวณหาโฮโมกราฟฟีเมทริกซ์ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงใช้ตารางหมากรุกในการสอบเทียบ ซึ่งในแต่ละช่องของตารางหมากรุกจะมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 30 มิลลิเมตร



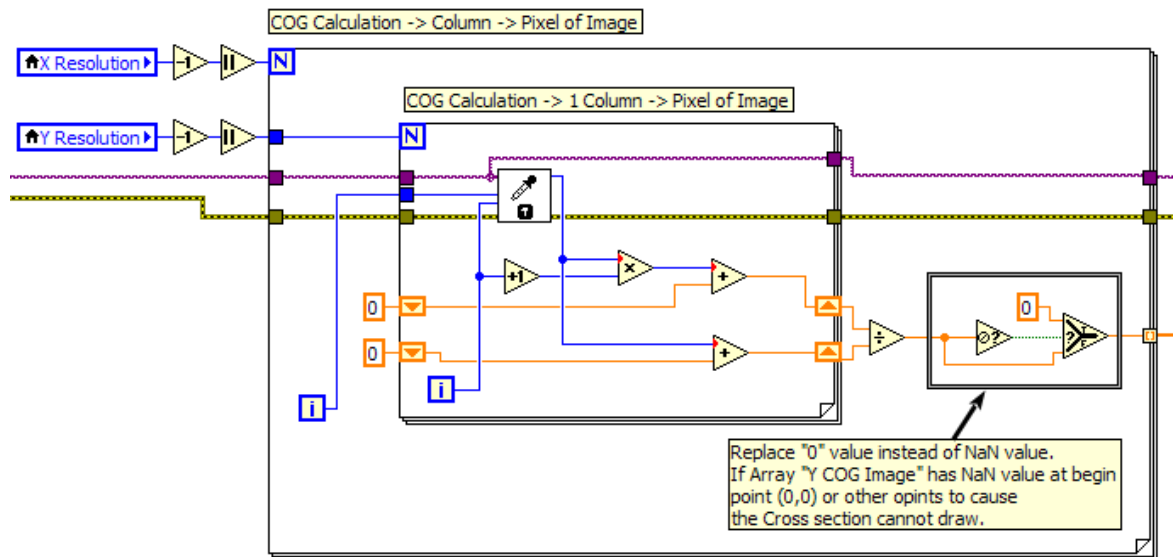
รูปที่ 4.11 ตารางหมากรุกขนาด  $30 \times 30 \text{ mm}$ . ที่ใช้ในการสอบเทียบบนมุมกล้องจริง

ในการสอบเทียบจะต้องวางตำแหน่งของแผ่นตารางหมากรุกที่ใช้ในการสอบเทียบที่ระนาบเดียวกับระนาบของเส้นแสงเลเซอร์ที่จะฉายลงบนวัตถุ จากนั้นก็จะทำการบันทึกภาพโดยกล้องที่ใช้ในการตรวจวัดวัตถุซึ่งจะทำมุมเดียวกับระนาบของแสงเลเซอร์ เมื่อได้ภาพของแผ่นตารางที่ใช้ในการสอบเทียบแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดตำแหน่งทั้ง 4 จุดบนจุดภาพที่ได้จากภาพของแผ่นตารางที่ใช้ให้สอดคล้องกับตำแหน่งพิกัดจริงของตารางที่ใช้ ในการกำหนดจุดซึ่งเป็นบริเวณมุมในแต่ละช่องของตารางหากทำการกำหนดเองด้วยสายตาอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้หากจุดที่กำหนดไม่ใช่บริเวณที่เป็นมุมจริงๆของตาราง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีการหามุมของแฮร์ริส (Harris Corner Detector) [18] ซึ่งเป็นวิธีการหาจุดพิกัดที่เป็นส่วนของมุมจากบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงจากจุดที่เรากำหนดลงไปบนภาพตารางที่เราใช้สอบเทียบ การใช้ทฤษฎีการหามุมของแฮร์ริสมาช่วยในการกำหนดจุดพิกัดที่เป็นมุมของตารางช่วยให้การสอบเทียบมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

#### 4.3.2 การประมวลผลภาพ

หลังจากที่ทำการสอบเทียบเสร็จสิ้นแล้วก็จะเข้าสู่ขั้นตอนในการประมวลผลภาพจากการรับภาพมาจากกล้องซีซีดี และทำการปรับปรุงภาพก่อนการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด โดยใช้กระบวนการดังที่แสดงตามรูปที่ 4.10 ในขณะที่รับค่าจากกล้องเฟรมแรก โปรแกรมประมวลผลลำดับแรกคือกระบวนการดึงโครงร่างของแสงเลเซอร์สีแดงที่ต้องการออกจากภาพ ภาพที่ได้จะเป็นภาพ 8-bit ระดับสีเทา โดยค่าเทรชโฮลด์ในตัวโปรแกรมจะทำการปรับค่าด้วยมือ (Manual Threshold) เพื่อหาค่าเทรชโฮลด์ของภาพที่เหมาะสม หลังจากทำการปรับค่าเทรชโฮลด์ให้เส้นแสงเลเซอร์ที่มีค่าความเข้มของแสงอยู่ในช่วงการวัด ตามที่ต้องการจากภาพและเปลี่ยนภาพให้เป็นเฉพาะสีดำกับสีขาวเท่านั้น จากนั้นนำเส้นแสงที่ได้มาผ่านกระบวนการหาจุดศูนย์กลาง (Central of Gravity: COG) คือการหา

ค่าเฉลี่ยของพิกัดของภาพจากแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุ เนื่องจากแสงเลเซอร์มีความกว้างและความเข้มแสงที่ไม่เท่ากันทุกจุด การหา COG คือการหาค่าถ่วงน้ำหนัก ในแต่ละคอลัมน์ของภาพ เพื่อทำการแยกพิกัดที่สอดคล้อง (Profile Extraction) กับวัตถุมากที่สุด จากตัวอย่างการหา COG คือการหาจุดในแต่ละคอลัมน์ที่สัมพันธ์กับแสงเลเซอร์



รูปที่ 4.12 แสดง COG Calculation บนโปรแกรม LabVIEW

จากรูปที่ 4.12 แสดง COG Calculation ของโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการคำนวณหาเส้น COG เป็นวิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG) คือการหาค่าเฉลี่ยของพิกัดของภาพ จากแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุ เนื่องจากแสงเลเซอร์มีความกว้างและความเข้มแสงที่ไม่เท่ากันทุกจุด การหา COG คือการหาค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละคอลัมน์ของภาพ เพื่อทำการแยกพิกัดที่สอดคล้อง (Profile Extraction) กับวัตถุมากที่สุด

จากการทดสอบหลังจากที่ได้เส้นแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุแล้วจะเห็นได้ว่าภาพของแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบ ที่รับเข้ามาประมวลผล มีบางภาพเส้นขาดหายไปเป็นผลอันเนื่องมาจากปลาที่นำมาทดสอบนั้นมีลักษณะของเกร็ดที่สะท้อนแสง จึงทำให้กล้องจับภาพเส้นของแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบขาดไปในบางขณะจึงได้นำเอาหลักการของอัลกอริทึมเส้นตรง Bresenham เข้ามาช่วยเติมจุดที่ขาดหายของเส้นแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบหลังจากที่ผ่านกระบวนการ COG ทำให้เส้นของแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบสมบูรณ์ใกล้เคียงกับโครงร่างจริงของวัตถุที่ใช้ในการทดลอง

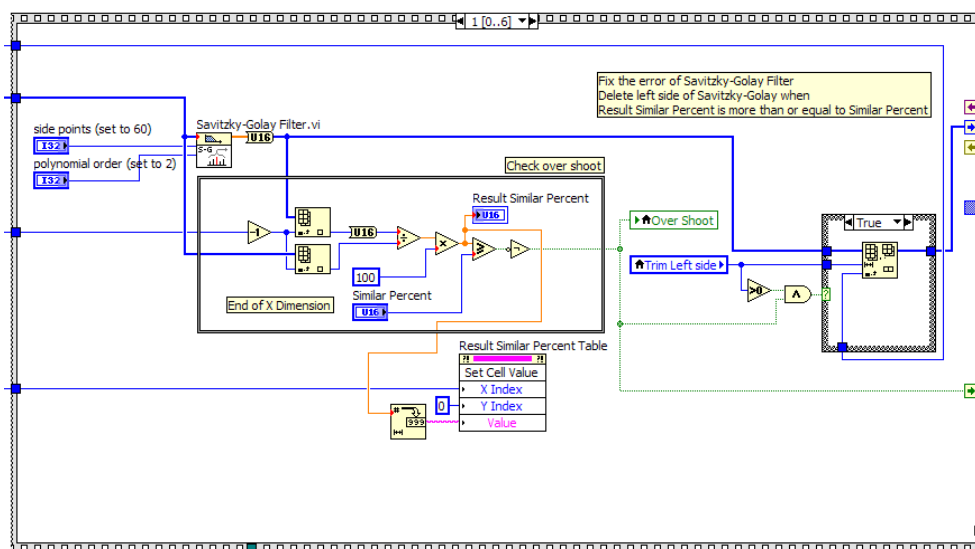
```

1 point = [x0 y0 x1 y1];
2
3 %if (abs(point(4)-point(2)) > abs(point(3)-point(1))) % If the line is steep
4   x0 = point(1);y0 = point(2); x1 = point(3);y1=point(4);
5 %else
6 %  x0 = point(2);y0 = point(1); x1 = point(4);y1=point(3); % then it would be converted to
7 %end
8 if(x0 >x1)
9   temp1 = x0; x0 = x1; x1 = temp1;
10  temp2 = y0; y0 = y1; y1 = temp2;
11 end
12 dx = abs(x1 - x0); % Distance to travel in x-direction
13 dy = abs(y1 - y0); % Distance to travel in y-direction
14 sx = sign(x1 - x0); % sx indicates direction of travel in X-dir
15 sy = sign(y1 - y0); % Ensures positive slope line
16 x = x0; y = y0; % Initialization of line
17 param = 2*dy - dx; % Initialization of error parameter
18 for i = 0:dx-1 % FOR loop to travel along X
19   x_coord(i+1) = x; % Saving in matrix form for plot
20   y_coord(i+1) = y;
21   param = param + 2*dy; % parameter value is modified
22   if (param >0) % if parameter value is exceeded
23     y = y + 1*sy; % then y coordinate is increased
24     param = param - 2*(dx); % and parameter value is decreased
25   end
26   x = x + 1*sx; % X-coordinate is increased for next point
27 end

```

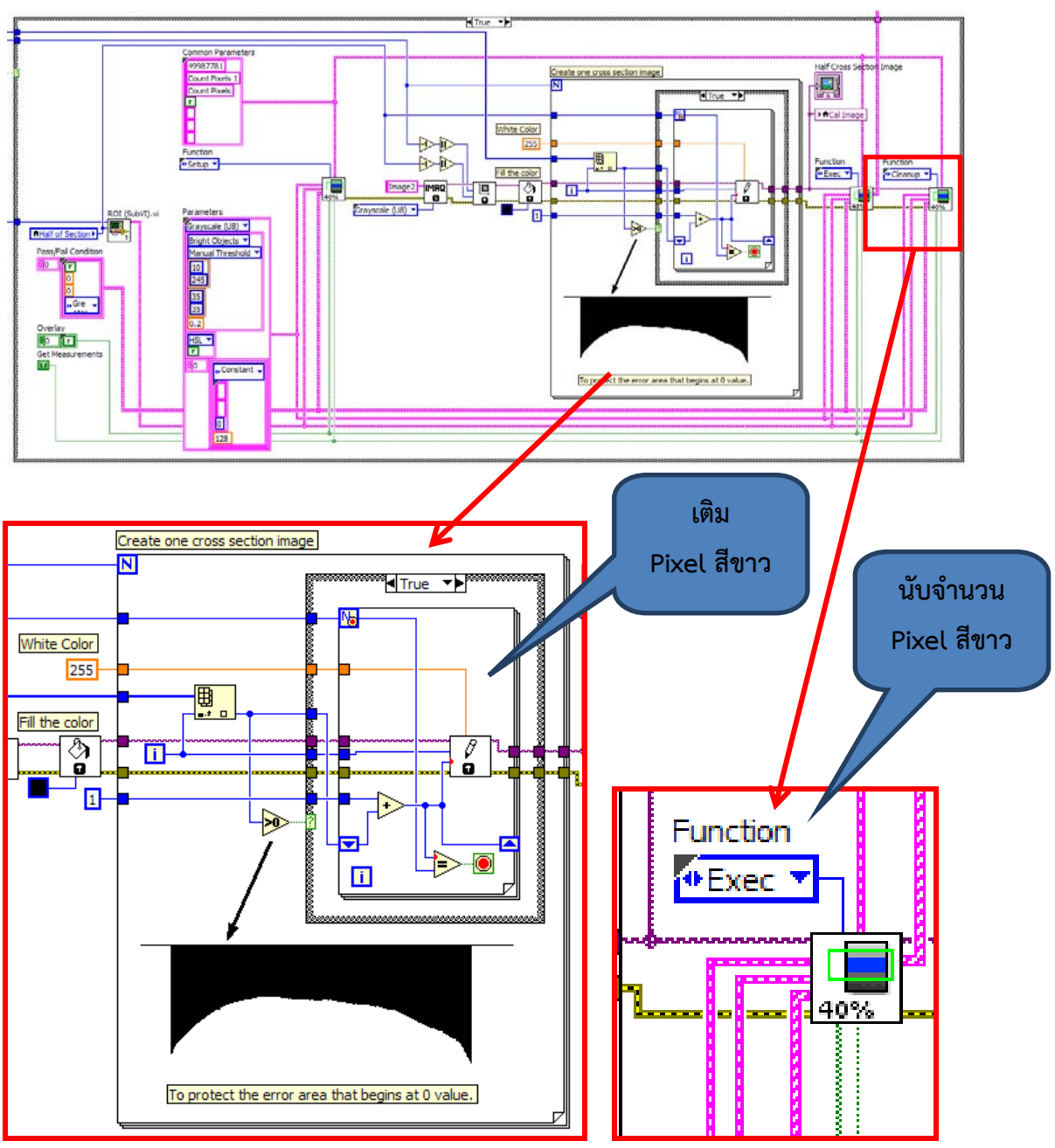
รูปที่ 4.13 แสดง MathScript Node ของ Bresenham's Line Algorithm บน LabVIEW

จากรูปที่ 4.13 แสดง MathScript Node ของ Bresenham's Line Algorithm โปรแกรมจะคำนวณหาตำแหน่ง (x, y) ของเส้น COG ที่ขาดหายไป และทำการส่งค่าตำแหน่งที่อยู่ในตัวแปร x\_coord และ y\_coord ไปให้โปรแกรมเพื่อทำการเติมส่วนที่ขาดหายไป ทำให้ได้เส้น COG ที่สมบูรณ์ใกล้เคียงกับโครงร่างจริงของวัตถุ แต่อย่างไรก็ดีในบางช่วงการตรวจจับก็ยังมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกอยู่ การออกแบบจึงได้นำตัวกรอง Savitzky-Golay Filter Process เข้ามาเพื่อทำให้เส้นของแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบในแต่ละเฟรมราบเรียบและเข้าใกล้ความเป็นจริงกับโครงร่างจริงมากที่สุดจากรูปที่ 4.14 แสดงไดอะแกรมของ Savitzky-Golay Filter Process



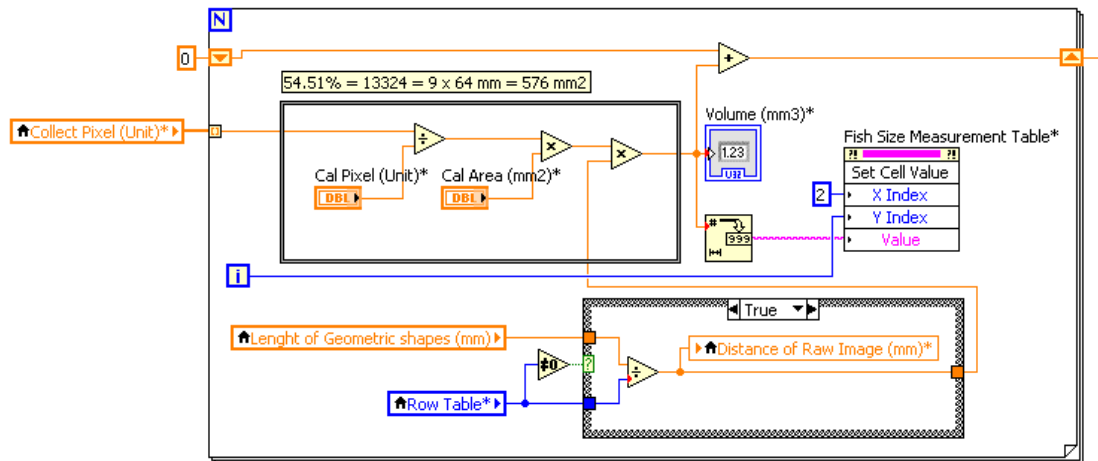
รูปที่ 4.14 แสดง Savitzky-Golay Filter Process บนโปรแกรม LabVIEW

หลังจากที่ได้เส้นลำแสงเลเซอร์ที่สมบูรณ์แล้ว ในขั้นตอนถัดไปจะต้องทำการแปลงพิกัดของเส้นของแสงเลเซอร์ที่ได้มาเป็นพิกัดภาพ ให้อยู่ในพิกัดจริง โดยใช้หลักการของโฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์ม แล้วจึงทำการเติมสีขาวเข้าไปในพื้นที่ที่ได้กราฟเพื่อที่จะนำพื้นที่สีขาวไปคำนวณพื้นที่ของวัตถุในแต่ละเฟรม จากค่าที่ได้ทำการสอบเทียบไว้ก่อนที่จะทำการทดลอง



รูปที่ 4.15 แสดง Cross Section Image Process บนโปรแกรม LabVIEW

จากรูปที่ 4.15 แสดง Cross Section Image Process เป็นกระบวนการเติมพื้นที่ของ Cross Section ด้วย Pixel สีขาวให้เต็มในแนวแกน Y หลังจากได้ภาพ Cross Section ที่สมบูรณ์แล้ว โปรแกรมจะทำการหาจำนวน Pixel สีขาว ในภาพและทำการแปลงจำนวน Pixel ของภาพให้เป็นพื้นที่ (ตารางมิลลิเมตร) ในกระบวนการต่อไป



รูปที่ 4.16 แสดง Volume Calculation บนโปรแกรม LabVIEW

จากรูปที่ 4.16 แสดง Volume Calculation เป็นการรวมพื้นที่ของแต่ละ Cross Section ให้เป็นปริมาตร (ลูกบาศก์มิลลิเมตร) โดยการนำพื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนมารวมกันดังสมการที่ 4.2 ซึ่งเป็นการนำข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่ได้ในแต่ละเฟรมภาพมารวมกัน ดังนั้นก็จะทำให้ได้พื้นที่รวมในเชิงของปริมาณ หรือปริมาตรของวัตถุนั้นเอง

## บทที่ 5

### การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองจากการนำระบบตรวจวัดปริมาตรและความยาวของวัตถุตัวอย่าง และปลาชนิดต่างๆ โดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุที่ได้นำเสนอมาทำการทดสอบ เพื่อดูประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบตรวจวัดปริมาตรและความยาว ของปลาแบบต่อเนื่องโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ โดยการทดลองวัดปริมาตร และความยาวของวัตถุพื้นที่รวมเชิงปริมาตรจากวัตถุตัวอย่าง และตรวจวัดขนาดของปลาชนิดต่างๆ

#### 5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการการทดลองจะใช้โปรแกรมที่ออกแบบออกแบบโปรแกรมบน Labview เวอร์ชัน 2013 ของ National Instrument ให้ระบบที่ออกแบบสามารถที่จะวัดค่าของวัตถุตัวอย่างในพื้นที่โดยรวมเชิงปริมาตรอย่างต่อเนื่องในหน่วยของการวัดมาตรฐานสากล โดยการประมวลบนคอมพิวเตอร์ และใช้อุปกรณ์จับภาพกล้องซีซีดี (CCD Camera) เป็นตัวเก็บข้อมูลภาพ ของบริษัท Basler รุ่น SCA1000-30fc ซึ่งมีความละเอียด 1032x778 พิกเซล มีความเร็วในการจับภาพที่ 30 เฟรมต่อวินาที สามารถควบคุมการจับภาพได้จากสัญญาณภายนอก และใช้การเชื่อมต่อแบบ IEEE1394b ในการติดตั้งกล้องจะต้องคำนึงถึงการบดบังด้วย ดังนั้นจึงควรติดตั้งโดยที่กล้องทำมุมกับระนาบของเลเซอร์ที่ระหว่าง 30 ถึง 60 องศา โดยกล้องได้ทำการติดตั้งตัวกรองคลื่นแสงย่านสีแดง (620-650 Narrow band pass filter) เพื่อช่วยในการป้องกันแสงรบกวนจากคลื่นแสงย่านความถี่อื่นๆ ที่ไม่ใช่ความถี่ในของคลื่นแสงย่านของสีแดงที่ต้องการตรวจจับจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ใช้แสงเลเซอร์แบบเส้นความยาวคลื่น 650 nm ส่วนอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นสายพานลำเลียงใช้มอเตอร์กระแสสลับเป็นตัวขับเคลื่อน การสอบเทียบระบบโดยใช้แผ่นตารางหมากรุกสีขาวดำซึ่งแต่ละช่องของตารางมีขนาด 30x30 mm.



รูปที่ 5.1 กล้อง Basler รุ่น SCA1000-30fc



รูปที่ 5.2 เลนส์และตัวกรองคลื่นแสงย่านสีแดง (620-650 Narrow band pass filter)



รูปที่ 5.3 ระบบตรวจวัดปริมาตรและคัดแยกขนาดของปลาแบบต่อเนื่อง

## 5.2 การทดสอบวัดขนาด พื้นที่รวมเชิงปริมาตรจากวัตถุตัวอย่างและปลาชนิดต่างๆ

ในการทดลองนี้เป็นการทดสอบเพื่อทำการวัดขนาด พื้นที่หน้าตัดและพื้นที่รวมเชิงปริมาตร ซึ่งจะเป็นการทดสอบวัดขนาดโดยใช้วัตถุตัวอย่างจากรูปที่ 5.4 คือ วัตถุรูปทรงแท่งสี่เหลี่ยม, วัตถุรูปทรงแท่งกลม, วัตถุรูปทรงแท่งสามเหลี่ยม, วัตถุรูปทรงแท่งหกเหลี่ยม ตามลำดับ โดยใช้ไม้บรรทัดมาตรฐานเป็นตัววัดขนาดความยาวของวัตถุตัวอย่างเอาไว้อ้างอิงและเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีการวัดขนาดวัตถุที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ และใช้หลักการคำนวณเพื่อหาปริมาตรของวัตถุตัวอย่างแล้วทำการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าที่วัดได้เพื่อคำนวณหาค่าความผิดพลาดเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดขนาดวัตถุโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งในการทดลองจะทำการวัดขนาดของวัตถุด้วยโปรแกรมที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยประมวลผลแบบต่อเนื่องจากภาพที่ได้จากกล้อง ซึ่งทำการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุขณะตัดผ่านเส้นแสงเลเซอร์ และในการทดลองจะใช้การสอบเทียบโดยใช้จำนวนจุดในการสอบเทียบ 4 จุด

จากตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 การทดลองแสดงการตรวจสอบความยาวของวัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ในการทดลองได้ทดสอบการวัดความยาวของวัตถุโดยการวางวัตถุที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 5 มม คือ มม -30, -15, 0, 15, 30 องศา ตามลำดับ โดยควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ 30 mm/sec



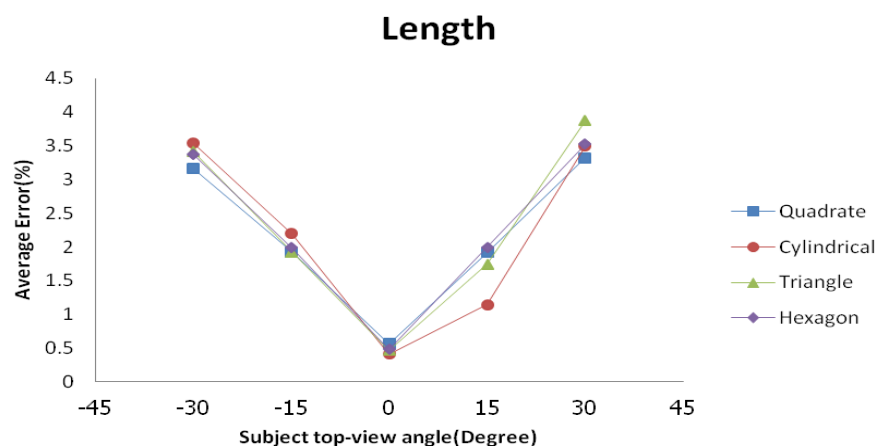
รูปที่ 5.4 วัตถุทรงต่างๆที่ใช้เป็นวัตถุตัวอย่างในการทดลอง

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองการวัดความยาวของวัตถุ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง

Object	Standard length (mm)					Result (mm)		
	0	-15,15	-30,30	-30	-15	0	15	30
Quadrangle	119.000	126.000	133.000	137.201	128.423	119.670	128.417	137.417
Cylindrical	119.000	126.000	133.000	137.703	128.765	119.489	127.444	137.644
Triangle	119.000	128.500	138.000	142.709	130.975	119.555	130.745	143.345
Hexagon	119.000	128.500	138.000	142.652	131.055	119.577	131.062	142.862

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด จากผลการทดลองวัดความยาวของวัตถุตัวอย่าง

Object	Length Error (%)				
	-30	-15	0	15	30
Quadrangle	3.159	1.923	0.563	1.919	3.321
Cylindrical	3.536	2.194	0.411	1.146	3.492
Triangle	3.412	1.926	0.467	1.747	3.873
Hexagon	3.371	1.988	0.485	1.993	3.523



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความยาวที่วัดได้จากการทดลอง

จากตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 ผลการทดลองการตรวจวัดความยาวของวัตถุ โดยการเปลี่ยนแปลงมุมของวัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองทำให้ทราบว่ามุมของวัตถุที่เข้ามาทำการตรวจจับ มีผลทำให้การวัดค่าความยาวของวัตถุคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบมานี้ สามารถบ่อนวัตถุเข้ามาในมุมใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องอยู่ในมุม 0 องศา เพียงอย่างเดียวแต่วัตถุที่ทำการตรวจวัดจะต้องอยู่ในเฟรมของกล้องที่ใช้ในการตรวจวัดทั้งหมด ตลอดช่วงเวลาในการตรวจวัด

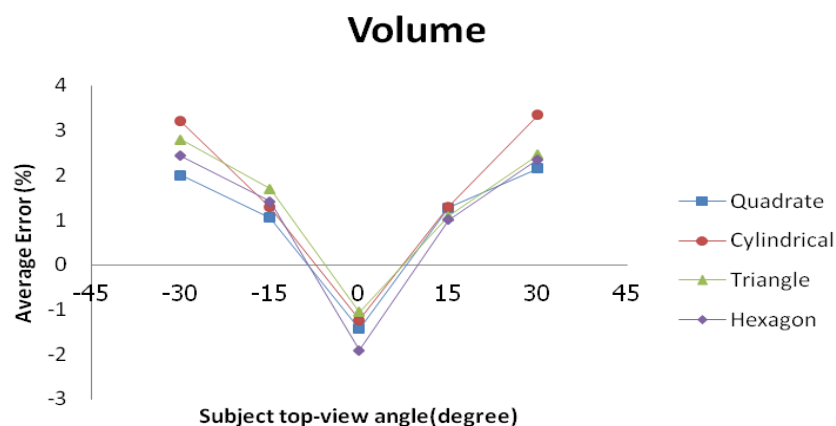
จากตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 การทดลองแสดงการตรวจสอบหาปริมาตรของวัตถุ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ในการทดลองได้ทดสอบการวัดความยาวของวัตถุโดยการวางวัตถุที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 5 มุม คือ มุม -30, -15, 0, 15, 30 องศา ตามลำดับ ที่ความเร็วสายพานคงที่

**ตารางที่ 5.3** แสดงผลการทดลองการวัดปริมาตรของวัตถุ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง

Object	Standard Volume (mm <sup>3</sup> )	Result (mm <sup>3</sup> )				
		-30	-15	0	15	30
Quadrate	428400	436979.4	432889.4	422277	433859.4	437609.4
Cylindrical	336294	347074	340602.6	332169	340653.8	347522.6
Triangle	238261	244914.8	242284.6	235749.2	240848.6	244106.4
Hexagon	378723	387925.2	384065.6	371489	382513.8	387605.6

**ตารางที่ 5.4** แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด จากผลการทดลองหาปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง

Object	Volume Error (%)				
	-30	-15	0	15	30
Quadrate	2.003	1.048	-1.429	1.274	2.150
Cylindrical	3.206	1.281	-1.227	1.296	3.339
Triangle	2.793	1.689	-1.054	1.086	2.453
Hexagon	2.430	1.411	-1.910	1.001	2.345



**รูปที่ 5.6** กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของปริมาตรที่วัดได้จากการทดลอง

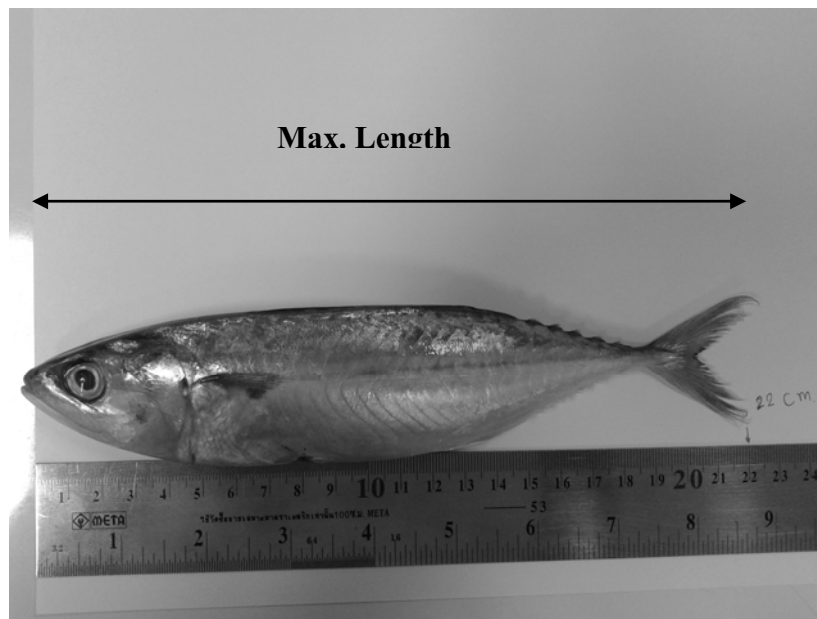
จากตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 ผลการทดลองการตรวจวัดปริมาตรของวัตถุ โดยการเปลี่ยนแปลงมุมของวัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองทำให้ทราบว่ามุมของวัตถุที่เข้ามาทำการตรวจจับ มีผลทำให้การวัดค่าความยาวของวัตถุคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบมานี้ สามารถบ่อนวัตถุเข้ามาในมุมใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องอยู่ในมุม 0 องศา เพียงอย่างเดียวแต่วัตถุที่ทำการตรวจวัดจะต้องอยู่ในเฟรมของกล้องที่ใช้ในการตรวจวัดทั้งหมด ตลอดช่วงเวลาในการตรวจวัด

### 5.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาตรของปลาชนิดต่างๆ

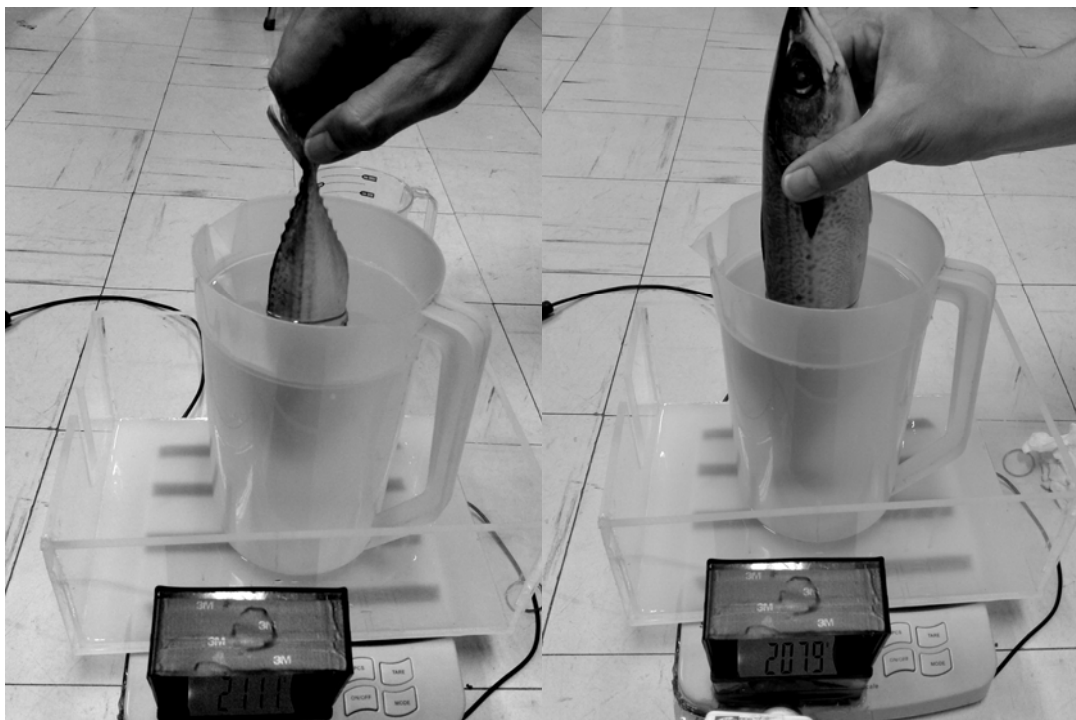
ในการทดลองนี้เป็นการทดสอบเพื่อทำการวัดพื้นที่รวมเชิงปริมาตร และความยาวของตัวปลา ซึ่งจากรูปที่ 5.7 การทดลองจะใช้ปลาทั้งหมดสามชนิดคือ ปลาทุ, ปลานิล และปลาชวาบะ การทดลองจะเป็นการทดสอบวัดขนาดความยาวของตัวปลาจากเครื่องคัดขนาดของปลาจากลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง เปรียบเทียบกับความยาวที่วัดได้ โดยใช้ไม้บรรทัดมาตรฐานเป็นตัววัดขนาดความยาวของปลา ตัวอย่างทั้งสามชนิดเอาไว้อ้างอิง และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีการวัดขนาดปลาที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ และใช้หลักการซึ่งน้ำหนักในของเหลวเพื่อหาปริมาตรของปลา แล้วทำการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าที่วัดได้เพื่อคำนวณหาค่าความผิดพลาด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดปริมาตร และคัดแยกขนาดของปลาแบบต่อเนื่อง ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งในการทดลองจะทำการวัดปริมาตรด้วยโปรแกรมที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยประมวลผลแบบต่อเนื่องจากภาพที่ได้จากกล้อง ซึ่งทำการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุขณะตัดผ่านเส้นแสงเลเซอร์ และในการทดลองจะใช้การสอบเทียบโดยใช้จำนวนจุดในการสอบเทียบ 4 จุด โดยจะใช้การควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งหมด 3 ช่วง



รูปที่ 5.7 แสดงปลาทั้ง 3 ชนิดที่นำมาใช้ในการทดสอบ

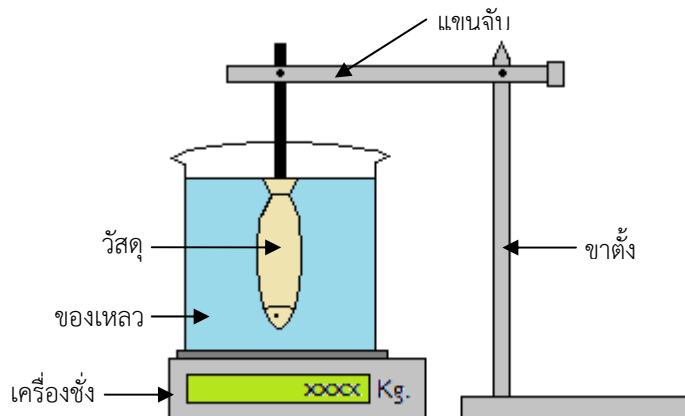


รูปที่ 5.8 แสดงการวัดขนาดความยาวของปลาโดยใช้ไม้บรรทัดมาตรฐาน



รูปที่ 5.9 แสดงการหาปริมาณของปลาที่นำมาทดลองโดยวิธีการชั่งน้ำหนักในของเหลว (น้ำ)

จากรูปที่ 5.9 แสดงการหาค่าปริมาตรของปลาที่ได้นำมาทดลองโดยวิธีการชั่งน้ำหนักในของเหลว (น้ำ) ซึ่งการคำนวณหาค่าของปริมาตรของปลาทำได้โดยใช้วิธีชั่งน้ำหนักวัตถุในของเหลว ดังแสดงในรูปที่ 5.10 น้ำหนักวัตถุที่ชั่งในของเหลวแสดงถึงน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ นั่นคือแรงพยุงวัตถุของของเหลวนั่นเอง ฉะนั้นปริมาตรของวัตถุคำนวณได้จากสมการที่ 5.1



รูปที่ 5.10 การหาปริมาตรโดยการชั่งน้ำหนักในของเหลว

$$V = \frac{M}{D} \quad (5.1)$$

- โดยที่  $V$  คือ ค่าปริมาตรของปลา (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)  
 $M$  คือ ค่ามวลของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำ (มิลลิกรัม)  
 $D$  คือ ค่าความหนาแน่นของของเหลว (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

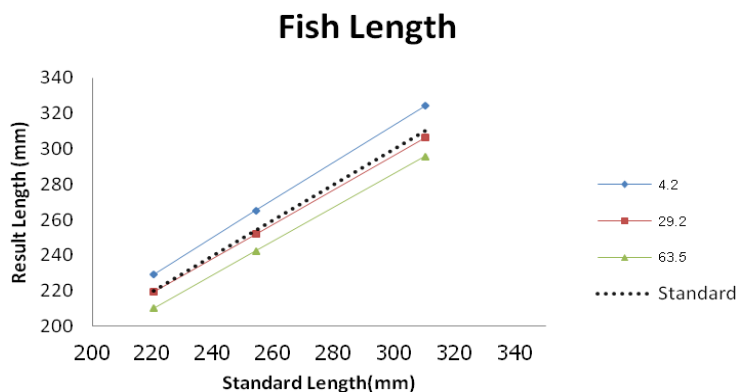
จากสมการที่ 5.1 จึงทำการทดลองหาปริมาตรของปลาตัวอย่างที่นำมาทดลองดังแสดงตามตารางที่ 5.5 แสดงผลของการหาปริมาตรของปลาโดยวิธีการชั่งน้ำหนักในของเหลว (น้ำ) จากค่าความหนาแน่นของน้ำ คือ 1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์มิลลิเมตร

ตารางที่ 5.5 แสดงผลของการหาปริมาตรของปลาโดยวิธีการชั่งน้ำหนักในของเหลว (น้ำ)

Fish	Mass (mg)				Calculation Volume (mm <sup>3</sup> )
	Mass 1	Mass 2	Mass 3	Average	
Tuna	111000	104000	113000	109333	109333
Nail	289000	288000	296000	291000	291000
Saba	391000	387800	393000	390600	390600

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองการวัดความยาวของปลา เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง

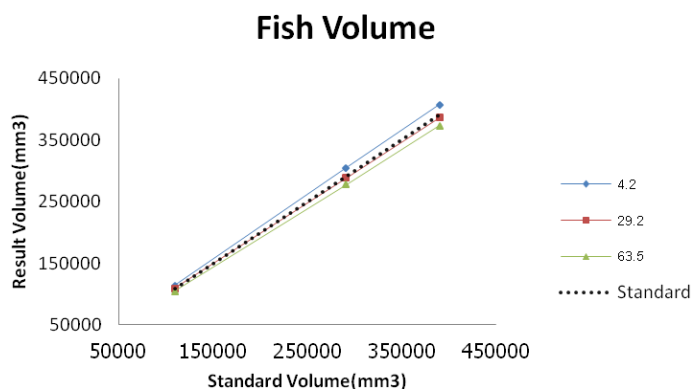
Fish	Standard length (mm)	Result (mm)			Length Error (%)		
		4.2 mm/s	29.2 mm/s	63.5 mm/s	4.2 mm/s	29.2 mm/s	63.5 mm/s
Tuna	220	229.025	219.270	210.193	4.102	-0.332	-4.458
Nail	254	265.251	251.855	242.583	4.429	-0.845	-4.495
Saba	310	324.240	306.300	295.619	4.594	-1.193	-4.639



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงค่าของความยาวของปลาที่วัดได้จากการทดลอง กับค่าความยาวจริง จากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสายพาน

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการทดลองการวัดปริมาตรของปลา เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง

Fish	Standard Volume (mm <sup>3</sup> )	Result (mm <sup>3</sup> )			Volume Error (%)		
		4.2 mm/s	29.2 mm/s	63.5 mm/s	4.2 mm/s	29.2 mm/s	63.5 mm/s
Tuna	109333	113870.6	109270.6	104270.6	4.150	-0.057	-4.630
Nail	291000	304884.8	288884.8	277364.8	4.771	-0.727	-4.686
Saba	390600	407527.0	386290.6	373167.0	4.334	-1.103	-4.463



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงค่าของปริมาตรของปลาที่วัดได้จากการทดลอง กับปริมาตรจริง จากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสายพาน

#### 5.4 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองในหัวข้อต่างๆทั้งสอง การทดลองคือ การทดสอบวัดความยาวและปริมาตรของวัตถุตัวอย่างโดยการเปลี่ยนแปลงมุมของวัตถุทดสอบ ตัวอย่างการทดสอบวัดความยาวและปริมาตรของปลาทั้งสามชนิดโดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสายพานลำเลียง 3ระดับ โดยจากการทดสอบสามารถสรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

จากการทดสอบวัดความยาวและปริมาตรของวัตถุตัวอย่างโดยการเปลี่ยนแปลงมุมของวัตถุทดสอบ โดยจากการทดสอบเปลี่ยนแปลงมุมของวัตถุทดสอบมีผลทำให้การวัดความยาวและปริมาตรของวัตถุ มีค่าคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ซึ่งการคลาดเคลื่อนเป็นผลมาจากความเร็วของสายพานทดลองที่ 29.2 มิลลิเมตร/วินาที ไม่เชื่อมโยงกับความเร็วของกล้องที่ใช้ในการจับภาพ (30ภาพ/วินาที) มีผลทำให้ค่าที่ได้จากการปรับมุมของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลกระทบกับการตรวจจับความยาวของวัตถุที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความผิดพลาดที่ได้จากการวัดตามผลการทดลอง แต่ค่าความคลาดเคลื่อนนั้นมีผลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบมานี้ สามารถที่จะป้อนวัตถุเข้ามาในมุมใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องอยู่ในมุมตรงเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ดีวัตถุที่นำมาทำการตรวจวัดจะต้องอยู่ในเฟรมของกล้องที่ใช้ในการตรวจวัดทั้งหมดตลอดช่วงเวลาในการตรวจวัด

จากการทดสอบวัดความยาวและปริมาตรของปลาทั้งสามชนิด โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสายพานลำเลียง 3ระดับ โดยจากการทดสอบการวัดปริมาตรและความยาวของปลา แสดงให้เห็นว่าความเร็วของสายพานมีผลทำให้การวัดความยาวและปริมาตรของปลาที่นำมาทดลอง มีคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากความเร็วของสายพานในบางขณะที่ทำการทดลองมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบมานี้ สามารถที่จะตรวจจับปริมาตรและความยาวของปลาได้แบบต่อเนื่องโดยที่ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบมีผลเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ดีถ้าต้องการค่าที่ถูกต้องก็ควรปรับความเร็วของสายพานให้ถูกเหมาะสมกับความเร็วของกล้องที่ใช้ตรวจจับ และการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดความเร็วของสายพาน ก็จะช่วยให้ได้ค่าที่วัตถุถูกต้องและชัดเจนยิ่งขึ้น

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการวัดปริมาตรของวัตถุโดยสร้างภาพเป็นรูปทรง 3 มิติ สำหรับวัตถุที่มีรูปทรงสมมาตร โดยนำการวัดปริมาตรของปลาด้วยระบบวิทัศน์จักรกลเป็นกรณีศึกษา ระบบต้นแบบประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพจากกล้องที่รับภาพของลำแสงเลเซอร์ตัดขวางวัตถุโดยใช้โปรแกรม Labview ของ National Instrument ตัวอย่างจะเคลื่อนที่ไปบนสายพานอย่างต่อเนื่อง ภาพของเลเซอร์ที่ได้ผ่านตัวกรองความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร เพื่อตัดแสงรบกวนจากภายนอก จากนั้นทำการปรับปรุงภาพด้วยวิธีการกรองแบบ Savitzky-Golay Filter เพื่อลดสัญญาณรบกวนและเติมเส้นที่ขาดหายไปให้สมบูรณ์ก่อนการนำมาคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง การคำนวณพื้นที่หน้าตัดอาศัยการแปลงจำนวนพิกเซลของภาพให้เป็นหน่วยของพื้นที่ (ตารางมิลลิเมตร) ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านไปบนสายพานลำแสงพื้นที่หน้าตัดจะถูกคำนวณและนำมารวมกันเป็นปริมาตรของวัตถุ ในการทดลองได้ทำการทดสอบความถูกต้องของระบบการวัดกับการวัดปริมาตรของวัตถุรูปทรงเรขาคณิต จากนั้นนำตัวอย่างของปลาต่างขนาดและชนิด คือ ปลานิล ปลาทุ ปลาสวาย มาทำการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการหาปริมาตรด้วยวิธีการแทนที่ด้วยน้ำ เมื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการวัดปริมาตรด้วยการแทนที่ด้วยน้ำ แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่ได้นำเสนอมีประสิทธิภาพและความแม่นยำพอใช้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ วิธีที่นำเสนอนี้จัดเป็นวิธีการวัดที่ไม่ทำลายวัตถุสามารถประยุกต์ใช้สำหรับการคัดขนาดของ ปลา ในงานอุตสาหกรรมแบบต่อเนื่องได้ทันที และยังสามารถประยุกต์ใช้กับพืชผลทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีลักษณะรูปทรงสมมาตรได้เป็นอย่างดี โดยให้ผลลัพธ์ของการวัดในหน่วยของหน่วยวัดสากลและสามารถปรับเปลี่ยนสเกลของการวัดได้ง่ายด้วยการสอบเทียบ

### 6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อ

จากการวิจัยพบปัญหาในการควบคุมความเร็วของสายพานส่งผลให้การวัดปริมาตรของวัตถุและปลา ในบางขณะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งอาจสามารถแก้ไขโดยการติดตั้งวัดความเร็วสายพานเพื่อนำความเร็วที่เปลี่ยนแปลงมาใช้ในการคำนวณหาค่าได้อย่างถูกต้อง โดยตัววัดความเร็วสายพานนั้นจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณความเร็วของสายพานไปที่โปรแกรมที่ใช้คำนวณหาปริมาตรเพื่อให้ภาพที่จับได้แล้วนำค่าที่ได้จากการวัดจริง นำมาทำการคำนวณรวมกันตามระยะเวลาที่ได้จากการตรวจวัด จึงสามารถที่จะช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากความเร็วของสายพานในบางช่วงที่ไม่สม่ำเสมอได้ จึงทำให้ระบบมีความถูกต้อง และแม่นยำในการวัดยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A C Booman, M A Parin, and A Zugarramurdi, “**Efficiency of size sorting of fish**”, Int. J. production Economics, vol. 48, pp. 259-265,1997.
- [2] N J C Strachan, “**Recognition of fish species by colour and shape**” image and vision computing, vol. 11, 1993, Colour and shape Recognition.
- [3] J. Heldbo, H. Arnarson, and G. L. Smith, “**Proceedings of the 34<sup>th</sup> annual atlantic fisheries technological conference**”, 1990.
- [4] EC 1986 Commission Regulation 3703/85, “**Common fisheries policy, community grading rules. A guidance note for the fishing industry**” UK Fisheries Departments, 1986
- [5] B.Zion, A. Shklyar, and I.Karplus, “**In-vivo fish sorting by computer vision**”, Journal of Aquaculture Engineering, vol. 22, pp. 165-179, 2000.
- [6] T Kawka and J Plociak, “**The use of morphometric interdependencies in the construction of machines for grading fish**”, Przemyśl Spożywczy, vol. 28, pp. 205-207, 1974.
- [7] J. Taylor, “**The use of digital electronics in length measurement of fish**”, Torry Document 480, 1974.
- [8] N. J. C. Strachan, “**New steps towards species and size grading by image analysis**”, Western European Fish Technologists Meeting, 1990.
- [9] F. Storbeck and B. Daan, “**Estimation of the weight of flatfish by means of structural light and image analysis**”, Netherlands Institute for Fishery Investigations, Technical Department, Ijmuiden, 1991.
- [10] M. Yousef Ibrahim, S. Sultana, “**Study on Fresh Fish Sorting Techniques**”, ICM2006, IEEE 3<sup>rd</sup> International Conference on Mechatronics, pp.462-467, 2006.
- [11] Karplus, I., Shklyar, A., and Zion, B. 1999, “**Sorting fish by computer vision.**”, Vol. 23, Elsevier, 175-187.
- [12] Inthuset, S., Nunak, N., and Suesut, T. 2009., “**Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning.**”, School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

- [13] ศรายุทธ อินทุเศรษฐ์, “การวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ”, <วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม>, กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2553.
- [14] William C. Stone, Maris Juberts, Nick Dagalakis , “**Performance Analysis of Next-Generation LADAR for Manufacturing, Construction, and Mobility**”, United States Department of Commerce Technology Administration National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7117, May 2004
- [15] Posdamer, J.L. and Altscholer, M.D. , “**Surface measurement by Space-encoded Projected beam system**”, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 18, 1982
- [16] Bitner, J.R., Erlich, G. and Reingold, E.M. , “**Efficient generation of the binary reflected gray code and its applications**”, CACM, Vol. 19, No. 9, 1976
- [17] K. Sato and S. Inokuchi , “**Three-dimensional surface measurement by space encoding range imaging**”, Journal of Robotic Systems, vol. 2, pp. 27–39, 1985.
- [18] Peter Schalk, Paul O’Leary, Ronald Ofner and Anton Gfrerrer , “**Measuring and Analyzing Cross-Sectional Profiles of Rotating Objects Using Light Sectioning**”, IEEE Transaction on instrumentation and Measurement, Volume 57 No. 10 (2008 ) page 2329–2338
- [19] Beverly D. Bradley, Adrian D.C. Chan, M. John D. Hayes, “**Calibration of a Simple, Low Cost, 3D Laser Light-Sectioning Scanner System for Biomedical Purposes**”, Systems and Computer Engineering, Carleton University
- [20] R. Hartley and A. Zisserman. “**Multiple View Geomerty in Computer Vision**”. Cambridge University Press, second edition, 2003.
- [21] TzuYen Wong, Peter Kovesi, Amitava Datta, “**Projective Transformations for Image Transition Animations**”, The University of Western Australia, School of Computer Science & Software Engineering, 35 Stirling Highway, Crawley, W.A. 6009, Australia
- [22] Elan Dubrofsky, “**Homography Estimation**”, The Faculty of Graduate Studies (Computer Science), University of British Columbia, March 2009
- [23] Gary Bradski and Adrian Keabler. **Learning OpenCV : Computer Vision with the OpenCV Library. 1<sup>st</sup> ED.** O’Reilly Media, Ins 2008

- [24] Abraham Savitzky and Marcel J.E. Golay., “**Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures**” Journal of Analytical Chemistry, Vol.36, Issue.8, 1964, pp.1627-1638
- [25] Nakajima I., Juzoji H., Zhao Y and Hamamoto N., “**DSP Technology in Wearable Satellite Terminals for ETS-VII <Savitzky-Golay smoothing filter>**”, Seventh International Workshop on Digital Signal Processing Techniques for Space Communications., 2001. pp. 131-136
- [26] O’Leary P., Harker M and Neumayr R., “**Savitzky-Golay smoothing for multivariate cyclic measurement data.**”, I2MTC., May. 2010. pp. 1585-1590
- [27] Wiliam H. Press, Bian P.Flannery, Saul A.Teukolsky and William T.Verrerling. **Numerical Recipes in C : The Art of Scientific Computing 2<sup>nd</sup> ED.** Press Syndicate of the University of Cambridge, Inc 1997

ภาคผนวก

# นวัตกรรม สสะอาด และยั่งยืน

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12

31 มีนาคม - 1 เมษายน 2554

ณ ชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จ. ชลบุรี

>> Full Text

>> Back



สภาฯ  
NSTDA



โดย

สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย (TSAE)

และ

หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMUTL)



## เครื่องคัดขนาดปลาด้วยเทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง Fish Size Sorting Machine using Laser Light Sectioning

นวกัทธา หนูนาค<sup>1</sup> พงศเทพ ศรีสกุลเดียว<sup>2</sup> ทวีพล ชือสัตย์<sup>2</sup>  
Navaphattra Nunak<sup>1</sup>, Pongthep Srisakultiew<sup>2</sup>, Taweepol Suesut<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการคัดแยกขนาดของปลาแบบไม่ทำลาย โดยวัดขนาดของวัตถุด้วยเทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง ตรวจสอบขนาดวัตถุจากกล้องด้วยการประมวลผลภาพบนโปรแกรม MATLAB GUI ซึ่งเป็นการฉายลำแสงไปบนวัตถุเพื่อเป็นตัวกำหนดลักษณะของวัตถุตัวอย่างที่จะการตรวจวัดและทำการประมวลผลภาพเพื่อหาขนาดความกว้างความยาวและความสูงของวัตถุ เพื่อนำมาคำนวณหาพื้นที่ของวัตถุจากสูตรพื้นฐานของรูปทรงเรขาคณิตทั่วไป เมื่อทำการประมวลผลขนาดของปลาแล้วคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลผ่านพอร์ทอนุกรมไปยังระบบคัดแยกวัตถุแบบอัตโนมัติที่มีเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ทำหน้าที่สั่งการควบคุมให้กับชุดคัดแยก ซึ่งประกอบด้วยกระบอกสูบจำนวน 3 ชุด สามารถคัดขนาดปลาได้ 3 ขนาด ตัวตรวจรู้แบบแสง และอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วสายพานลำเลียง จากการทดสอบระบบคัดแยกสามารถทำงานได้ถูกต้องและแม่นยำแต่ความเร็วในการคัดแยกยังต้องมีการพัฒนาต่อไป

**คำสำคัญ:** การคัดขนาดปลา ลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง แมชชีนวิชัน

### ABSTRACT

This paper presents the non-destructive fish sorting machine using laser light sectioning technique. The line-laser profile on the object is acquired by a digital camera in order to perform image processing based on Matlab GUI. The result of light sectioning method is the size of fish (Width and Thickness) used to classify level of fish size. In this work, the prototype machine can sort for three sizes of fish. The control signal is sent from computer to programmable logic controller for grading size of fish. The sorting machine consists of 3 sets of pneumatic cylinder, conveyor, photo sensor and programmable logic controller. The testing of this system can be done accurately but the sorting speed has to be improved.

**Keywords:** Fish sorting, Laser light sectioning, Machine vision

### บทนำ

ในงานวิจัยทางด้านประมงได้มีการนำเสนอมือถือลำแสงตัดขวางมาใช้ในการประมาณค่าน้ำหนักของปลาที่เคลื่อนที่บนสายพานลำเลียง แต่ยังไม่ได้ทำการวัดขนาดและปริมาตรของปลาในหน่วยของการวัดสากล ต่อมาในปี 2000 Farag และ คณะ ได้ทำการวิจัยเพื่อหาปริมาตรของปลาแบบวิธีซึ่งน้ำหนักผ่านคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับหลักการ

แทนที่ด้วยน้ำ อย่างไรก็ตามในงานหลายประเภทยังคงจำเป็นต้องตรวจสอบและวัดขนาดในลักษณะสามมิติ (กว้าง ยาว สูง) นวกัทธา และ ทวีพล (2550) ได้นำเสนอมือถือการวัดขนาดของผลไม้และผักที่มีรูปทรงสมมาตร และในปี 2552 นวกัทธาและคณะ (2552) ได้พัฒนาระบบดังกล่าวให้สามารถวัดขนาดของปลานิลเป็นหน่วยวัดสากลโดยใช้เทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง ซึ่งประโยชน์ที่ได้ยังสามารถ

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520  
Email: kbnavaph@kmitl.ac.th

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520  
Email: kstaweep@kmitl.ac.th

นำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดวัตถุแบบสามมิติจะทำการตรวจสอบและวัดขนาดที่มีความแม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยนำเสนอการใช้เทคนิคการวัดด้วยภาพ (Paul O'Leary et al., 2005) ที่ใช้เพื่อการวัดขนาดและปริมาตรของวัตถุร่วมกับหลักการใช้แสงเลเซอร์ตัดขวาง ซึ่งเป็นการฉายลำแสงไปบนวัตถุเพื่อเป็นตัวกำหนดลักษณะของวัตถุตัวอย่างที่จะทำการตรวจวัด และทำการแปลงข้อมูลรูปภาพที่ได้เป็นข้อมูลพิกัดในระบบสามมิติ โดยใช้ทฤษฎีการวัดบนแนวราบ และ ทฤษฎีการหาระยะทางระหว่างสองระนาบมาประยุกต์เพื่อหาขนาดความกว้างความยาวและความสูงของวัตถุตัวอย่าง เมื่อทราบข้อมูลความกว้างความยาวและความสูงก็สามารถคำนวณหาพื้นที่และปริมาตรของวัตถุได้จากสูตรพื้นฐานของรูปทรงเรขาคณิตทั่วไป โดยเทคนิคดังกล่าวนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการคัดแยกหรือการตรวจสอบวัตถุแบบเวลาจริงได้ เช่น การคัดแยกวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตรกรรม เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอระบบคัดแยกขนาดปลาด้วยเทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง

### อุปกรณ์และวิธีการ

ชุดตรวจสอบขนาดปลาประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ชุดสายพานลำเลียง โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ขนาดปลาและคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลชุดอุปกรณ์รับภาพและLinear Laser Diode ในส่วนของการประมวลผลภาพ อุปกรณ์รับภาพจะจับภาพและประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อหาขอบภาพของลำแสงและวิเคราะห์หาขนาดของปลา

การนำระบบตรวจสอบขนาดมาพัฒนาให้เป็นเครื่องคัดแยกอัตโนมัติจำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อสั่งการควบคุมให้กับชุดคัดแยก เช่น กระบอกสูบ ให้ทำงานสอดคล้องกับชุดตรวจวัด Brosnan และ Sun (2002) ได้ทำการออกแบบระบบมาขึ้นวิชั่นหรือวิสัยจักรกลในการตรวจสอบ และส่งสัญญาณให้ระบบควบคุมทำการคัดแยก ระบบตรวจสอบนี้ ทำงาน ด้วยเทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง และควบคุมระบบคัดแยกด้วยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ (Programmable Logic Controller : PLC)

### การหาปริมาตรด้วยวิธีแบบแห้ง

วิธีการหาปริมาตรของวัตถุแบบแห้ง คือ การหาปริมาตรโดยที่วัตถุไม่สัมผัสกับของเหลว ได้แก่ การวัดขนาดและคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต การใช้เทคนิคทางไฟฟ้า และการใช้เทคนิคแมชชีนวิชั่น เป็นต้น

### การวัดขนาด

การหาปริมาตรของวัตถุทำได้โดยวัดความยาว (ที่ยาวที่สุด) ที่ตั้งฉากกัน 3 แกน (แกน a b และ c) คำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric Mean Diameter, GMD) แล้วคำนวณหาปริมาตร

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (GMD)} = (abc)^{1/3}$$

$$\text{ปริมาตรสมมูลย์เชิงเรขาคณิต (V)} = 4\pi r^3/3$$

### การใช้เทคนิคแมชชีนวิชั่น

แมชชีนวิชั่นหรือคอมพิวเตอร์วิชั่นประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เซนเซอร์ (Sensor) หรือกล้องถ่ายภาพ ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ที่บรรจุโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ผลสามารถเปรียบเทียบได้กับสมองของมนุษย์และกล้องถ่ายภาพเปรียบเทียบได้กับดวงตาของมนุษย์ ปัจจุบันเทคนิคคอมพิวเตอร์วิชั่นได้นำมาใช้วัดปริมาตรของวัตถุโดยการหมุนวัตถุให้กล้องถ่ายภาพสามารถรับภาพได้ทุกมุมและวิเคราะห์หาปริมาตรออกมา

### การวิเคราะห์ภาพด้วยวิธีการวัดบนระนาบ

ระบบการวัดบนระนาบเป็นวิธีการวัดในลักษณะเรขาคณิตบนระนาบ นำมาใช้เพื่อแปลงระยะทางในพิกัดบนรูปภาพเป็นค่าระยะทางจริงโดยเทียบกับพิกัดอ้างอิง ในระบบสองมิติ Homography Matrix จะเป็นตัวแปลงระหว่าง Homogeneous Point และ Homogeneous Coordinate

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

$$p' = Hp \quad (1)$$

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

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (2)$$

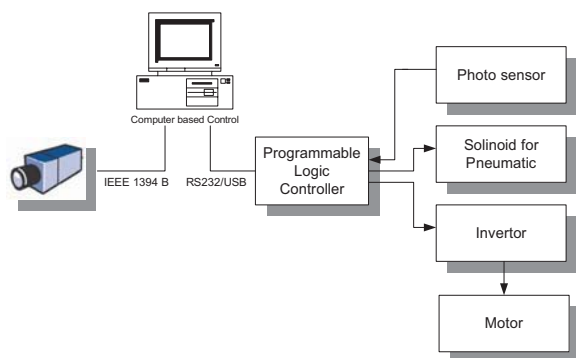
Homography Matrix สามารถหาได้โดยการใช้ระบบสมการเชิงเส้น Singular value decomposition (SVD) เป็นวิธีการประมาณค่าแบบ Least Squares (LS) ซึ่งเมื่อทราบค่า

ของ  $H$  ก็จะสามารถที่จะนำไปคำนวณหาค่าจริงของตำแหน่งบนรูปภาพโดยการคูณกันระหว่าง  $H$  และ  $p$  ดังสมการที่ (1)

### การออกแบบเครื่องคัดขนาดและระบบควบคุมการทำงานของสายพานและกระบอกลมนิวแมติก

ระบบที่ออกแบบประกอบด้วยชุดสายพานลำเลียงที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์ และสั่งการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ การทำงานจะต้องสัมพันธ์กับการวัดขนาดของปลา และการควบคุมการทำงานของชุดคัดแยก ในส่วนของชุดคัดแยกประกอบไปด้วยกระบอกลมนิวแมติกที่จะทำหน้าที่ผลักรูปปลาที่ได้ขนาดตามต้องการไปยังรางย่อย ในโครงการวิจัยเครื่องคัดขนาดต้นแบบนี้ได้ออกแบบให้สามารถคัดขนาดได้ 3 ขนาด ขนาดของตัวปลาสามารถกำหนดได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการวัดขนาดของปลาเมื่อปลาเคลื่อนที่ผ่านลำแสงเลเซอร์ ก็จะทำให้การจับภาพและประมวลผลเพื่อหาขนาดของปลา และแยกกลุ่ม จากนั้นเมื่อปลาเคลื่อนที่บนสายพานผ่านไปยังอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับกระบอกลม เมื่อขนาดของปลาตามกลุ่มที่ต้องการคัดเคลื่อนมาตรงกับกระบอกลมที่ต้องการคัดแยก คอมพิวเตอร์จะสั่งการให้กระบอกลมเคลื่อนที่เพื่อผลักรูปปลาให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของรางย่อยนั้นๆ ต่อไป

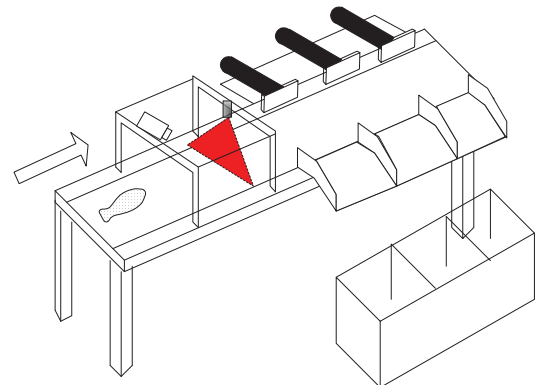
การพัฒนาปรับปรุงฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของเครื่องคัดแยกขนาดของปลาให้สามารถทำงานร่วมกันได้ในแบบเวลาจริงได้อย่างอัตโนมัติ คอมพิวเตอร์จะรับสัญญาณภาพจากกล้องผ่านการเชื่อมต่อแบบ IEEE 1394 B เมื่อทำการประมวลผลภาพและการคัดแยกแล้ว คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณควบคุมไปที่ชุดควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้เพื่อสั่งการควบคุมการทำงานของมอเตอร์และกระบอกลม



ภาพที่ 1 ระบบควบคุมและตรวจสอบขนาดของปลา

เมื่อทำการปรับชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความเร็วของมอเตอร์ในการหมุนสายพานแล้ว นำชุดกระบอกลมมาต่อเข้ากับชุดควบคุม โดยใช้กระบอกลมใน

การทำงานจำนวน 3 ตัว ติดตั้งระยะห่างกัน 30 เซนติเมตร เพื่อความเหมาะสมในการควบคุมการคัดแยกปลา สำหรับการต่อชุดลมเข้ามายังชุดกระบอกลมนั้นจะมีตัวควบคุมความดันของลม เพื่อให้ลมที่เข้ามาในชุดควบคุมมีแรงที่เหมาะสมในการทำงานของกระบอกลม ซึ่งจะมีกำหนดระยะการชักของกระบอกลมให้สัมพันธ์กับแรงที่ต้องการ โดยที่ระบบได้มีการติดตั้งชุดควบคุมแรงลมเช่นกัน



ภาพที่ 2 ชุดสายพานลำเลียงและชุดคัดแยก

### ผลการทดลองและวิจารณ์

นาระบบตรวจวัดขนาดวัตถุโดยใช้แสงเลเซอร์ตัดขวางวัตถุไปประยุกต์ใช้กับการคัดแยกขนาดของปลา โดยวัดความกว้างและความหนาสูงสุดของปลา จากนั้นคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดสูงสุดของปลา เพื่อใช้ในการคัดแยกขนาด ตัวอย่างที่นำมาทดสอบเป็นปลานิลซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน 13 ขนาด ทำการวัดขนาดความกว้างและความหนาของปลาด้วยเวอร์เนียร์เพื่อใช้เปรียบเทียบกับระบบตรวจวัด ในการทดลองข้อมูลภาพของปลาขณะเคลื่อนที่ตัดผ่านแสงเลเซอร์จะถูกเก็บบันทึกในรูปแบบไฟล์วีดีโอ (AVI) ที่มีความละเอียด 640x480 พิกเซล จากนั้นนำภาพดังกล่าวมาประมวลผล สำหรับการสอบเทียบทำได้โดยใช้จำนวนจุดในการสอบเทียบจำนวน 4 จุด

ผลที่ได้จากการวัดขนาดความกว้าง ความยาวของปลาและค่าความผิดพลาดที่ได้จากการวัดด้วยเวอร์เนียร์เปรียบเทียบกับค่าที่ประมวลผลได้จากวิธีลำแสงเลเซอร์ตัดขวางวัตถุแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ความกว้างและความหนาสูงสุดที่ใช้คำนวณพื้นที่หน้าตัดของการวัดขนาดของปลา



ภาพที่ 4 โปรแกรม MATLAB GUI กับการทดสอบกับการวัดขนาดปลา

เมื่อพิจารณาค่าความกว้างและความหนาจะมีความผิดพลาดสัมพัทธ์สูงสุดประมาณ 17.861% และ 8.474% ตามลำดับ ความผิดพลาดสัมพัทธ์ต่ำสุดประมาณ 0.021% และ 0.761% ตามลำดับ ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์เฉลี่ยของความกว้างและความหนาประมาณ 10.309% และ 5.672% ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลความผิดพลาดสัมพัทธ์จากการวัดความกว้างของปลา

No.	Width from Vernier (mm)	Width from CVS (mm)	Absolute Error (mm)	Relative Error (%)
1	94.17	110.99	16.82	17.861
2	95.05	105.02	9.97	10.489
3	95.22	108.40	13.18	13.842
4	105.50	116.04	10.54	9.991
5	131.84	113.88	17.96	13.623
6	47.81	47.80	0.01	0.021
7	45.65	45.70	0.05	0.110
8	51.44	44.69	6.75	13.122
9	39.56	45.68	6.12	15.470
10	54.76	47.90	6.86	12.527
11	48.01	49.33	1.32	2.749
12	42.82	48.45	5.63	13.148
13	42.85	47.59	4.74	11.062

ตารางที่ 2 ความผิดพลาดสัมพัทธ์จากการวัดความหนาของปลา

No.	Thickness from Vernier (mm)	Thickness from CVS (mm)	Absolute Error (mm)	Relative Error (%)
1	41.72	44.52	2.80	6.711
2	44.58	47.82	3.24	7.268
3	40.88	43.89	3.01	7.363
4	45.98	48.81	2.83	6.155
5	50.89	48.27	2.62	5.148
6	28.94	30.96	2.02	6.980
7	26.93	28.88	1.95	7.241
8	32.72	32.98	0.26	0.795
9	22.39	21.49	0.90	4.020
10	32.69	35.46	2.77	8.474
11	28.17	30.46	2.29	8.129
12	27.61	27.40	0.21	0.761
13	23.67	24.78	1.11	4.689

สำหรับการทดสอบระบบคัดแยก เริ่มด้วยการสอบเทียบเพื่อหาพิกัดการวัดให้แม่นยำ จากนั้นทำการทดสอบกับปลาที่เตรียมไว้ ปลาจะถูกคัดแยกลงในรางคัดแยกแต่ละชุดในรางที่ 1 รางที่ 2 และรางที่ 3 ตามลำดับ อธิบายการ

ทำงานได้ดังนี้ ปลาเคลื่อนที่ผ่านลำแสงเลเซอร์ตัดขวางตัวปลาตลอดความยาว ในระหว่างนั้นกล้องจะจับภาพและทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB GUI ที่พัฒนาขึ้น หลังจากได้ทำการวัดค่ามิติจากคอมพิวเตอร์แล้ว โปรแกรมจะประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณควบคุมให้กับเครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้ผ่านพอร์ทอนุกรม RS 232 C ด้วยโปรโตคอลในการติดต่อสื่อสารแบบ Host link จากนั้นวัตถุจะเคลื่อนที่ไปบนสายพานลำเลียงจนกระทั่งถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ วัตถุถูกคัดแยกไปแต่ละรางที่กำหนดไว้ เช่น ปลาขนาดที่ 1 จะถูกผลักด้วยกระบอบกลมตัวที่ 1 โดยตัวเซนเซอร์ลำแสงที่ติดตั้งอยู่ข้างกระบอบกลมจะเป็นตัวสั่งการทำงานให้กับกระบอบกลม และเมื่อเปลี่ยนขนาดปลาเป็น ขนาดที่ 2 วัตถุจะถูกผลักออกไปในรางที่ 2 ตามลำดับ

### สรุป

จากการตัดขนาดปลาด้วยระบบแมชชีนวิชันอาศัยเทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวางพบว่า ค่าความถูกต้องในการตัดขนาดทำได้ดีแต่ยังใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างสูง จึงทำให้ความเร็วในการคัดแยกไม่เร็วมากนัก โดยทำได้สูงสุดเท่ากับความเร็วของสายพานคือ 30 มม.ต่อวินาที อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบพบว่า เมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงของระยะการจับภาพเพื่อนำมาคำนวณหาขนาดมีผลต่อค่าความแม่นยำ ดังนั้นเมื่อทำการสอบเทียบตำแหน่งกล้องแล้ว จะต้องยึดตำแหน่งของกล้องให้อยู่กับที่ รวมถึงปัจจัยด้านอื่น ๆ ที่ควรพิจารณาเพิ่มอีก เช่น ปัญหาที่เกิดจากแสงรบกวนจากสภาพแวดล้อมทำให้การเก็บภาพจากลำแสงเลเซอร์ไม่ดีเท่าที่ควร การปรับปรุงเพิ่มเติมควรหาอุปกรณ์เลนส์กรองแบบ Narrow pass band สำหรับความยาวคลื่น 650 nm เพื่อตัดแสงรบกวนจากภายนอกออกไป ซึ่งจะทำให้การทำงานของชุดตัดขนาดนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

Brosnan, T. and Sun, Da-Wen. 2002. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision system. Computers and Electronics in Agriculture.

Storbeck, F. and Daan, B. 2001. Fish species recognition using computer vision and a neural network. Fisheries Research. Vol. 51: 11-15.

Omar F.K. and Clarence W. 2000. Optimal portion control of natural objects with application in

automated cannery processing of fish. Journal of Food Engineering. Vol. 46: 31-41

Nunak, N. and Suesut, T. 2007. Measuring geometric mean diameter of fruit and vegetable using computer vision. PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment-ICEE-2007. Phuket.

Nunak, N., Suesut, T. and Inthuset, S. 2009. Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning. The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering "International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind", Surasammanakhan, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand; 1-3 April.

P.O'Leary, M.Harker, and P.Zsombor-Murray. 2005. Direct least-squares fitting of coupled geometric object", IEEE Proceeding Vision, Image and Signal Processing.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	พงศ์เทพ ศรีสกุลเดียว
วัน เดือน ปี เกิด	28 ธันวาคม 2525
ที่อยู่	33/32 ถ.หน้าเมือง ต.ในเมือง อ.เมืองขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40000
ประวัติการศึกษา	ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง แผนกวิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น ในปีการศึกษา 2540-2543 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง แผนกวิชา ไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา ในปีการศึกษา 2543-2545 ระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2545-2548
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2548 - 2550	ตำแหน่งวิศวกรซ่อมบำรุง บริษัท พาวเวอร์แพลนท์เมนเทนแนนซ์เซอร์วิสจำกัด
พ.ศ. 2550 - 2551	ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท โยโกกาวา (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2551 - 2553	ตำแหน่งวิศวกรซ่อมบำรุง บริษัท ฮันนี่เวลล์ ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2553 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรซ่อมบำรุงอาวุโส บริษัท อีเมอร์สัน (ประเทศไทย) จำกัด