

การหาตำแหน่งนาร่องในสวนยางพาราโดยใช้หลักการประมวลผลทางภาพ

ด้วยกล้องเพียงตัวเดียว

RUBBER TREE ORCHARD MAPPING USING IMAGE PROCESSING

WITH SINGLE CAMERA



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การหาตำแหน่งนาร่องในสวนยางพาราโดยใช้หลักการประมวลผลทางภาพ

ด้วยกล้องเพียงตัวเดียว

RUBBER TREE ORCHARD MAPPING USING IMAGE PROCESSING

WITH SINGLE CAMERA



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RUBBER TREE ORCHARD MAPPING USING IMAGE PROCESSING  
WITH SINGLE CAMERA



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาตำแหน่งนำร่องในสวนยางพาราโดยใช้หลักการประมวลผลทางภาพ  
ด้วยกล้องเพียงตัวเดียว

RUBBER TREE ORCHARD MAPPING USING IMAGE PROCESSING  
WITH SINGLE CAMERA

ผู้จัดทำ

1. นาย ณัฐวัฒน์ เชียงฉิน รหัสประจำตัว 58010429
2. นาย บุรินทร์ อุวิเชียร รหัสประจำตัว 58010698
3. นาย วรสิทธิ์ เทียนขวลิต รหัสประจำตัว 58011123



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.เอกพจน์ ต้นตราภิวัดน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาตำแหน่งนำร่องในสวนยางพาราโดยใช้การประมวลผลทางภาพด้วยกล้องเพียงตัวเดียว

นายณัฐวัฒน์ เชียงฉิน 58010429

นายบุรินทร์ อุวิเชียร 58010698

นายวริทธิ์ธร เทียนขวลิต 58011123

ผศ.ดร. เอกพจน์ ตันตราภิววัฒน์ อาจารย์ปรึกษา

ปีการศึกษา 2561

## บทคัดย่อ

การศึกษาวิธีการหาตำแหน่งเพื่อนำไปใช้กับระบบการนำร่องของรถอัตโนมัติ โดยใช้วิธีการประมวลผลทางภาพด้วยกล้องเพียงตัวเดียว งานวิจัยนี้ใช้หลักการรู้ซึมและใช้เป้าที่ทราบขนาดที่แน่นอนเป็นจุดอ้างอิงเพื่อหาตำแหน่ง ซึ่งระบบดังกล่าวได้ถูกออกแบบให้เหมาะสมกับลักษณะของสวนยางพาราในประเทศไทย โดยจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เพื่อลดต้นทุนทางด้านแรงงานของเกษตรกร โดยการใช้ระบบอัตโนมัติมาทดแทนแรงงานได้ งานวิจัยนี้มีหลักการคือการนำเป้าที่ทราบขนาดที่แน่นอนและมีสีที่แตกต่างจากสภาพแวดล้อมภายในสวนยางพาราไปติดบนต้นยางพาราและใช้กล้อง Webcam บันทึกภาพและนำมาวิเคราะห์คำนวณหาตำแหน่งผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมาในรูปของระยะทางระหว่างกล้อง Webcam กับเป้าหมายในแนวแกนและหลักของต้นยางพารา หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปสร้างเป็นแผนภูมิว่าเกิดการนำร่องในลักษณะใดและมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ยังได้นำระบบการหาตำแหน่งไปทดสอบบนบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวในการนำร่องและทำการทดสอบกล้อง Webcam กับ กล้องเสริม (Pi Camera) เพื่อเลือกกล้องที่เหมาะสมในการใช้ร่วมกับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งจากการทดสอบพบว่ากล้องที่เหมาะสมในการใช้งานร่วมกับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก คือ กล้อง Webcam โดยมีความเร็วในการประมวลผลของการหาตำแหน่งเท่ากับ 0.108 วินาที และ ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่มากที่สุดในแนวแกนของต้นยางพารา คือ 28 มม. และในแนวหลักคือ 30 มม. ซึ่งความเร็วในการประมวลผลและความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่สามารถนำไปสร้างระบบการนำร่องอัตโนมัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## RUBBER TREE ORCHARD MAPPING USING IMAGE PROCESSING WITH SINGLE CAMERA

NATTHAWAT SEINGCHIN 58010429

BURIN AUVICHEN 58010698

VARITTORN TIENCHAVALIT 58011123

Asst.Prof. Dr.Akapot Tantrapiwat Advisor

Year 2018

### ABSTRACT

Rubber tree orchard mapping for an autonomous navigating system by using image processing with a single camera. This thesis is applied from the pinhole technique and calibrated targets as a reference point for mapping. This system is designed to suit the nature of the rubber tree orchard in Thailand and the point of this system is to decrease labor costs for farmers. Thesis's principal is to attach targets on rubber tree with 2 conditions i:) target's size is known ii:) target's colors must be different from the environment then analyze the position through the computer program by using data obtained by camera, then calculate the output in the form of distance between the camera and targets in the row and column of the rubber tree orchard respectively. After that, use the results to create a chart to see its behavior and accuracy. Once the navigating system has been tested on computer then the program is transferred and installed into a small computer named Raspberry Pi. To study the possibility of using a processor, testing was done with 2 conditions i:) Webcam camera ii:) an extra camera (Pi Camera) to select the appropriate camera which is suitable to use with a small computer board. Experimental results confirmed that camera which is suitable to use with small computer board is webcam with processing time equal to 0.108 seconds and the maximum errors in row and column of rubber trees are 28 and 30 millimeters respectively which mean processing speed and error are at the level that can be used to create an autonomous navigating system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัดน์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิดในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยเหลือข้อบกพร่องต่างๆ ซึ่งเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานวิจัยจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์สอบปริญญาโท ดร.จิตรราภรณ์ วงศาางาม ผศ.ดร.อนุรัตน์ พิณโสภณ รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข ในการสอบปริญญาโทครั้งนี้ รวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และช่วยเหลือข้อบกพร่องเพื่อให้ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อย และมีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และผู้ปกครอง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆคอยสนับสนุนปัจจัยที่ส่งเสริมการเรียน รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการ ที่ช่วยสละเวลาให้ยืมอุปกรณ์ ช่วยประสานงานและช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับงานวิจัยชิ้นนี้

ขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเลือกใช้คำใส่ในงานวิจัยชิ้นนี้ คอยอยู่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือเกื้อกูลกันมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านทั้งในสาขา และนอกสาขาที่ช่วยสอนและมอบความรู้ต่างๆมากมายที่เป็นประโยชน์ต่อคณะผู้วิจัย

นายณัฐวัฒน์ เชียงฉิน

นายบุรินทร์ อุวิเชียร

นายวริทธิ์ธร เทียนชวลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ระเบียบวิธีที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 การปลูกต้นยางพารา.....	5
2.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิต.....	5
2.2.2 หลักเกณฑ์สำหรับการปลูกยางพารา.....	5
2.2.3 การวางแผนการปลูกยางพารา.....	6
2.2.4 ขนาดของต้นยางที่สามารถเริ่มกรีดยางได้.....	6
2.3 ทฤษฎีรูเข็ม (Pinhole Theory).....	6
2.3.1 ความหมายของทฤษฎีรูเข็ม.....	6
2.3.2 ส่วนประกอบของกล้องรูเข็ม.....	6
2.3.3 หลักการทำงานและทฤษฎีรูเข็ม.....	6
2.4 หลักการทำงานกล้องและภาพถ่าย.....	7
2.4.1 หลักการทำงานของกล้อง.....	7
2.4.2 ส่วนประกอบของกล้อง.....	8
2.4.3 ความหมายและความสำคัญของความยาวโฟกัส (Focal length).....	8

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 ข้อมูลและคุณสมบัติของกล้องที่เลือกนำมาทำการทดลอง.....	8
2.4.5 ความหมายของจุดภาพหรือพิกเซล (Pixels).....	8
2.5 ทฤษฎีการนำร่องอัตโนมัติในสวนยางพารา.....	9
2.6 โปรแกรม Python.....	12
2.6.1 Python คืออะไร.....	12
2.6.2 ข้อได้เปรียบของ Python.....	12
2.6.3 ไบบรารี (library).....	12
2.6.4 โครงสร้างพื้นฐานของโปรแกรม.....	13
2.7 บอร์ดคอมพิวเตอร์ Raspberry pi.....	17
2.7.1 ความหมายของ Raspberry Pi.....	17
2.7.2 ความเป็นมาของ Raspberry Pi.....	17
2.7.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด.....	18
2.7.4 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi (Model B).....	18
2.7.5 Raspberry Pi 3 Model B+.....	22
2.7.6 Raspberry Pi camera.....	22
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง.....	24
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	24
3.2 การออกแบบเส้นทางเสมือนจริงในสวนยาง.....	26
3.3 การออกแบบต้นยางพาราจำลอง.....	26
3.4 การออกแบบฐานตั้งกล้อง.....	28
3.5 การดึงภาพจากกล้องและการตั้งค่าการแสดงผลบนหน้าจอ.....	28
3.6 การจับเป้าหมายโดยใช้ความเข้มของสี.....	30
3.7 การสร้างกรอบล้อมรอบเป้าหมาย.....	30
3.8 การสร้างจุดกึ่งกลางบนเป้าหมาย.....	30
3.9 แสดงผลตำแหน่ง pixel ของจุดกึ่งกลางของเป้าหมาย.....	31
3.10 การหาค่าตำแหน่งของกล้อง.....	31
3.11 การทดลองหาค่าตำแหน่งโดยใช้กล้อง Webcam(Logitech C920).....	32
3.11.1 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองในห้องทดลอง.....	32

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.11.2 การกำหนดจำนวนค่าผลการทดลองที่ต้องการบันทึกผล.....	33
3.12 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อน.....	34
3.13 การทดลองบน Raspberry Pi โดยใช้กล้อง Raspberry Pi camera M2 และ กล้อง webcam.....	34
3.14 การทดสอบระยะเวลาการประมวลผล.....	34
3.15 การทดสอบบนสวนยางจริง.....	34
3.15.1 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองภายในสวนยางจริง.....	34
3.15.2 ขั้นตอนการทำการทดลองและการบันทึกผลการทดลองในสวนยางจริง.....	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	39
4.1 ผลการทดลองในห้องทดลอง.....	39
4.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อน.....	41
4.2.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ส่งผลต่อตัวแปร X.....	41
4.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ส่งผลต่อค่า Z.....	44
4.3 พัฒนาโปรแกรม.....	44
4.4 การทดลองบน Raspberry Pi ในห้องทดลอง.....	47
4.4.1 การทดลองโปรแกรมบน Raspberry Pi กับกล้อง Webcam.....	47
4.4.2 การทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Pi Camera Model V2.....	48
4.5 การเปรียบเทียบระยะเวลาการประมวลผลของโปรแกรม.....	51
4.6 ผลการทดลองในสวนยางพารา.....	52
4.6.1 การทดลองโปรแกรมบน Raspberry Pi กับกล้อง Webcam ในสวน ยางพารา.....	52
4.6.2 การทดลองโปรแกรมบน Raspberry Pi กับกล้อง Pi Camera Model V2 ในสวนยางพารา.....	52
4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	55
4.7.1 ระยะเวลาการประมวลผลของอุปกรณ์.....	55
4.7.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของกล้อง.....	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	56

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	56
5.1.1 แสงสว่าง.....	56
5.1.2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นทางที่ทำการทดสอบ.....	57
5.1.3 ขนาดของเป้าหมาย.....	58
5.1.4 การปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อนำมาคำนวณหาระยะ.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
5.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง.....	58
5.2.2 สภาพแวดล้อมจริงที่ใช้ในการทำการทดลอง.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	60



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของ Raspberry pi.....	18
2.2 คุณสมบัติของ Raspberry Pi Camera Module V2.....	23
4.1 ผลการทดลองโปรแกรมโดยใช้ Computer กับกล้อง Webcam.....	39
4.2 ผลการทดลองการทดสอบความผิดพลาดขององศาบิดของกล้อง ( $\theta$ ) .....	42
4.3 ผลการทดลองโปรแกรมโดยใช้ Computer กับกล้อง Webcam หลังจากพัฒนาโปรแกรมแล้ว.....	45
4.4 แสดงค่าผลการทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Webcam.....	48
4.5 แสดงค่าผลการทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Pi Camera.....	49
4.6 แสดงค่าผลการทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Webcam ในสวนยางพารา.....	52
4.7 แสดงค่าผลการทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Pi Camera ในสวนยางพารา.....	53



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพจำลองแสดงทฤษฎีรูเข็ม.....	7
2.2 รูปแสดงหลักการของกล้องรูเข็ม.....	7
2.3 Logitech HD Pro Webcam C920.....	8
2.4 รูปแสดงตำแหน่งของเป้าจำลอง.....	9
2.5 ภาพแสดงการสร้างสมการหาตำแหน่ง O และ S.....	11
2.6 บอร์ด Raspberry Pi.....	17
2.7 Raspberry pi model A และ Raspberry pi model B.....	19
2.8 แสดงตำแหน่งส่วนประกอบของ Raspberry pi.....	19
2.9 Raspberry Pi Model A & B (Revision 1).....	20
2.10 Raspberry Pi Model B (Revision 2).....	20
2.11 LED แสดงสถานะของบอร์ด.....	21
2.12 Raspberry Pi 3 Model B+.....	22
2.13 Raspberry pi camera module V2.....	23
3.1 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1.....	24
3.2 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2.....	25
3.3 ขนาดของเส้นทางเสมือนจริงที่ออกแบบ.....	26
3.4 พื้นที่เสมือนจริงในห้องทดลอง.....	26
3.5 แสดงลักษณะและขนาดของเป้าหมาย.....	27
3.6 ลักษณะของต้นยางจำลอง.....	27
3.7 ภาพแสดงลักษณะของฐานวางกล้องเป็นรถเคลื่อนที่.....	28
3.8 แสดงขนาดของจอแสดงผล.....	29
3.9 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของขนาดจอจาก 640x480 เป็น 1280x720.....	29
3.10 ภาพแสดงจอแสดงผลที่มีกรอบสี่เหลี่ยมบนเป้าหมายที่กำหนดไว้.....	30
3.11 ภาพแสดงจอแสดงผลที่มีจุดกึ่งกลางพื้นที่ของเป้าหมายที่กำหนดไว้.....	30
3.12 ภาพแสดงจอแสดงผลที่แสดงตำแหน่งจุดกึ่งกลางของเป้าหมาย.....	31
3.13 ภาพแสดงการติดตั้งพื้นที่สำหรับการทดลอง.....	32
3.14 ภาพแสดงการติดตั้งกล้องสำหรับการทดลอง.....	32
3.15 ตัวอย่างลักษณะของจอแสดงผลการทดลองในห้องทดลอง.....	33

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 สภาพแวดล้อมสวนยางพาราจริงและต้นยางที่ใช้ในการทดลอง โดยสามารถวัดเส้นรอบวงได้เท่ากับ 452 มม.....	35
3.17 โครงสร้างของรถเคลื่อนที่และตัวจับภาพ.....	35
3.18 ติดตั้งแท่งเหล็กเพื่ออ้างอิงเส้นทางการเดินของรถ.....	35
3.19 ติดตั้งต้นยางพาราเสมือนข้างต้นยางพาราจริงเพื่อใช้เทียบระยะ.....	36
3.20 ติดตั้งแผ่นเป้าหมายเพื่อให้โปรแกรมตรวจจับระยะห่างเท่ากับ 700 มม.....	36
3.21 ติดตั้งเครื่องวัดระยะเลเซอร์.....	37
3.22 พื้นที่ทำการทดลองหลังจากการติดตั้งแบบสมบูรณ์.....	37
3.23 ตัวอย่างการเปรียบเทียบระยะที่เครื่องวัดระยะเลเซอร์วัดได้กับระยะที่ได้จากโปรแกรม.....	38
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะ $O$ กับค่าจริงของระยะ $S$ (มม.).....	40
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะ $S$ กับค่าจริงของระยะ $S$ (มม.).....	41
4.3 ภาพแสดงถึงการจับสีที่ไม่เต็มเป้า.....	42
4.4 รูปแสดงลักษณะการเกิดความคลาดเคลื่อนของค่า $X$ .....	43
4.5 รูปแสดงลักษณะของเสาเอียง.....	43
4.6 รูปแสดงลักษณะการเกิดความคลาดเคลื่อนของค่า $Y$ .....	44
4.7 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า $O$ ก่อนและหลังการพัฒนาโปรแกรมโดยเส้นสีน้ำเงินคือก่อนพัฒนาโปรแกรมและเส้นสีแดงคือหลังพัฒนาโปรแกรม.....	47
4.8 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า $S$ ก่อนและหลังการพัฒนาโปรแกรมโดยเส้นสีน้ำเงินคือก่อนพัฒนาโปรแกรมและเส้นสีแดงคือหลังพัฒนาโปรแกรม.....	47
4.9 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า $O$ ของกล้อง Webcam (สีน้ำเงิน) และ กล้อง Pi Camera (สีส้ม) ในห้องทดลอง.....	50
4.10 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า $S$ ของกล้อง Webcam (สีน้ำเงิน) และ กล้อง Pi Camera (สีส้ม) ในห้องทดลอง.....	50
4.11 ระยะเวลาการประมวลผลของคอมพิวเตอร์และบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กตามลำดับ.....	51
4.12 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า $O$ ของกล้อง Webcam (สีน้ำเงิน) และ กล้อง Pi Camera (สีส้ม) บนสวนยางจริง.....	54

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า S ของกล้อง Webcam (สีน้ำเงิน) และ กล้อง Pi Camera (สีส้ม) บนสวนยางจริง.....	54
4.14 จอแสดงผลของบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กโดยเปรียบเทียบกล้อง Webcam และ กล้องPi camera ตามลำดับ.....	55
5.1 แสดงถึงผลลัพธ์ของเป้าที่ได้รับแสงสว่างมากเกินไป.....	57



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยชนิดหนึ่ง ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก นับตั้งแต่ พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา ซึ่งสามารถทำรายได้เข้าประเทศได้ประมาณปีละกว่า 400,000 ล้านบาท โดยผลผลิตน้ำยาง (Latex sap) เป็นผลผลิตที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของยางชนิดต่าง ๆ และสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ตั้งแต่อุตสาหกรรมหนัก เช่น การผลิตยางรถยนต์ ไปจนถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในครัวเรือน [1]

จากการที่ได้ศึกษาปัญหาของเกษตรกรพบว่าปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากปัญหาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิต เช่น ต้นทุนการผลิต ราคาปุ๋ย รวมถึงการดูแลและจัดการของภาครัฐในด้านของราคาของยางพารา นอกจากนี้ยังมีปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานในสวนยาง เช่น ความปลอดภัยในระหว่างการเดินทางเข้าพื้นที่ปฏิบัติงาน และการเดินทางไปทำงานในสวนยางช่วงฝนตกก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของเกษตรกร อีกทั้งในเรื่องของปัญหาสภาพร่างกายของเกษตรกร การปวดเมื่อยเนื่องจากการเก็บยางที่ผิดหลัก การยศาสตร์ (Ergonomics) [2] ความเหนื่อยล้าจากการทำสวนยาง ความสามารถในการมองเห็นในเวลาากลางคืน รวมถึงการเกิดภัยอันตรายจากสัตว์มีพิษในพื้นที่ปฏิบัติงาน [3]

จากปัญหาดังกล่าวพบว่าปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากแรงงานคน และต้นทุนการผลิตทางผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบการหาตำแหน่งซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการสร้างรถอัตโนมัติที่นำไปใช้เก็บเกี่ยวผลผลิตหรือทำกิจกรรมต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับเกษตรกรผู้ที่เพาะปลูกต้นยางพารา โดยระบบสามารถนำไปปรับใช้กับสวนเพาะปลูกได้หลากหลาย โดยมีข้อจำกัดคือ ระยะเวลาเพาะปลูกและแนวการเพาะปลูกต้องเป็นรูปแบบเดียวกันทั้งสวน เพื่อง่ายต่อการติดตั้งและการคำนวณ สิ่งหนึ่งที่คำนึงถึงคือการศึกษาเกี่ยวกับระบบการหาตำแหน่งว่าควรหาตำแหน่งอย่างไร โดยคณะผู้วิจัยเลือกระบบการหาตำแหน่งโดยใช้กระบวนการประมวลผลทางภาพ (Image Processing) โดยใช้กล้องเพียงตัวเดียวในการบันทึกภาพแล้วนำภาพมาคำนวณ เพื่อหาตำแหน่งระหว่างกล้องกับเป้าหมาย โดยมีข้อดีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดนี้สามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ได้ง่าย ต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับเซนเซอร์ หรืออุปกรณ์วัดระยะประเภทอื่น ๆ ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งและค้นหาเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินสมรรถนะความสามารถการระบุตำแหน่งด้วยวิธีประมวลผลภาพโดยใช้กล้องเพียงตัวเดียวจากการอ้างอิงลักษณะทางกายภาพของสวนยางในประเทศไทย

1.2.2 ศึกษาพฤติกรรมหรือตัวแปรที่ส่งผลต่อวิธีการระบุตำแหน่ง

1.2.3 ออกแบบและเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานบนบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อสร้างระบบการระบุตำแหน่งของรถอัตโนมัติโดยใช้ประมวลผลทางภาพจากการใช้การประมวลผลทางภาพด้วยกล้องเพียงตัวเดียวในสวนยางพาราและทดสอบความสามารถในการใช้งานของบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) เพื่อใช้ในการนำร่องของรถอัตโนมัติ

## 1.4 กระบวนการที่ใช้ในงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาระยะที่เหมาะสมในการปลูกต้นยางพารา

1.4.2 ออกแบบหลักการการหาตำแหน่งของกล้องโดยใช้หลักการประมวลผลทางภาพ

1.4.3 ศึกษาทฤษฎีรูเข็ม (Pinhole Technique)

1.4.4 ศึกษาสมการการคำนวณหาตำแหน่งเพื่อนำมาใช้ในโปรแกรม

1.4.5 ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษา Python

1.4.6 เขียนโปรแกรมควบคุมกล้องเพื่อบันทึกวิดีโอ

1.4.7 เขียนโปรแกรมการดึงภาพจากวิดีโอที่บันทึกได้มาแยกสีเพื่อหาเป้าหมาย

1.4.8 เขียนโปรแกรมการนำขนาดของเป้าหมายที่ได้มาคำนวณหาตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.9 เพิ่มความแม่นยำและลดค่าความคลาดเคลื่อนจากผลลัพธ์ที่ได้
- 1.4.10 ศึกษาบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi)
- 1.4.11 ศึกษาวิธีการลงโปรแกรมเพื่อใช้งานในบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก
- 1.4.12 ออกแบบการทดลองในห้องที่สามารถควบคุมได้และในสวนยางพารา
- 1.4.13 ศึกษาระยะเวลาการประมวลผลของอุปกรณ์

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1.5.1 สามารถพัฒนาระบบการหาตำแหน่งโดยใช้กระบวนการประมวลผลทางภาพให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถนำไปใช้งานได้จริง
- 1.5.2 สามารถเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปต่อยอดหรือประยุกต์ใช้เพื่อก่อประโยชน์เกิดเป็นเทคโนโลยีใหม่เพื่อนำมาใช้ในภาคเกษตรกรรมหรือภาคอื่น ๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Peyman Alizadeh (2558) [4] ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องการวัดระยะทางของเป้าหมายโดยใช้กล้องจับภาพ โดยมีรายละเอียดที่สรุปได้ดังนี้

1. อธิบายถึงปัญหาของวิธีจับเป้าหมาย และตัวแปรที่เป็นอุปสรรคกับการจับเป้าหมาย ซึ่งเป็นอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการติดตั้งอุปกรณ์และเกิดขึ้นระหว่างการทำการทดลอง เช่น การเคลื่อนที่ของกล้อง, การหมุนบิดของตัวกล้อง เป็นต้น

2. อธิบายถึงอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำการทดลอง เช่น ภาพเป้าหมายจริงเป็นภาพ 3 มิติ มีความลึก ซึ่งภาพที่ได้ออกมานั้นเป็นภาพ 2 มิติ ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ และภาพ 2 มิติที่ได้มีสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพ (Noise) ส่งผลทำให้การคำนวณพิกเซลในภาพขาดหายไป

3. การจำแนกประเภทของการจับภาพมีหลายรูปแบบ เช่น การใช้จุด การใช้รูปทรงเรขาคณิต การใช้เงาและความเข้มสีของวัตถุ โดยการใช้จุดของเป้าหมายสามารถใช้จุดกึ่งกลางหรือใช้หลายจุดเพื่อระบุเป้าหมาย ส่วนแบบเรขาคณิตใช้กับเป้าหมายที่มีรูปร่างทั่วไปตามแบบเรขาคณิต เช่น สี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือวงรี และวัตถุที่ไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ ส่วนการใช้เงาและความเข้มของสีของวัตถุ เหมาะสมกับการใช้งานกับวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อน ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการจำแนกภาพที่ดีที่สุด

4. ลักษณะโดยทั่วไปของเป้าหมาย เช่น สีของวัตถุมีผลอย่างมากต่อการจับภาพซึ่งมีผลมาจากความเข้มของแสงและการสะท้อนของผิววัตถุ

นายวรวิทย์ กังหัน (2560) [5] ได้ทำการออกแบบระบบการนำทางอัตโนมัติในสวนยางเพื่อลดต้นทุนการผลิตยางโดยใช้กล้องเพียงตัวเดียวในการหาตำแหน่ง โดยเริ่มจากการออกแบบสมการโดยใช้ทฤษฎีรูเข็มเพื่อหาตำแหน่งของกล้องเมื่อเทียบกับเป้าหมายที่ติดอยู่บนต้นยาง พบว่าขนาดของเป้าหมายต่อความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่ง เป้าขนาดใหญ่ส่งผลให้มีความแม่นยำมากกว่าขนาดเล็ก แต่การใช้เป้าหมายใหญ่เป็นอุปสรรคต่อการติดตั้งบนต้นยางจึงเลือกใช้เป้าหมายเล็กเป็น 2 เป้า แล้วใช้ระยะห่างระหว่างเป้าทั้ง 2 เปรียบเสมือนขนาดของเป้าหมายใหญ่ จึงจำเป็นต้องสร้างสมการ 2 เป้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นมา โดยผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม MathLab ในการประมวลผลทางภาพในการหาระยะทางระหว่าง 2 เป้าหมายที่เหมาะสมโดยมีระยะห่างที่ใช้ทดสอบ 300 500 และ 700 มม. โดยผลลัพธ์ที่ได้มาพบว่ามี ความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่ผู้วิจัยรับได้

Adrian Rosebrock (2558) [6] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพิจารณาหาระยะทางระหว่าง กล้องและเป้าหมายในหนึ่งมิติ ซึ่งใช้สามเหลี่ยมคล้ายในการหาระยะโฟกัส โดยตัวแปรที่ต้องทราบคือ ขนาดของเป้าหมายที่ใช้ในการทดลอง ขนาดของพิกเซลที่แสดงผลบนจอภาพและระยะทางระหว่าง กล้องกับเป้าหมาย โดยที่ในขั้นตอนการทดลองทำการหาระยะโฟกัสของกล้องที่นำมาใช้ในการ ทดลองว่ามีระยะโฟกัสที่เท่าใดเป็นอันดับแรก หลังจากนั้นนำค่าระยะโฟกัสที่เป็นค่าคุณสมบัติของ กล้องที่เป็นค่าคงที่นำไปหาระยะทางที่ต้องการต่อไป

Taha Emara (2560) [7] การหาระยะทางจากการประมวลผลทางภาพโดยใช้กล้องเพียงตัว เดียวในการประมวลผลโดยลักษณะเป้าเป็นวงกลมและใช้ขนาดของรัศมีเป้าหมายคำนวณในสมการกล้อง รูเข็มเพื่อหาระยะห่าง โดยเริ่มจากการหาระยะโฟกัสจากกล้อง โดยใช้ระยะจริงในการประมาณ 10 ถึง 20 ค่ามาเฉลี่ยกัน และทำการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างการหาตำแหน่งที่สนใจโดยกำหนดขอบเขต ของสีของพิกเซลที่เป็นสีน้ำเงินในการคำนวณและประมวลผล

## 2.2 การปลูกต้นยางพารา [8]

### 2.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิต

จากข้อมูลของสถาบันวิจัยสถาบันวิจัยยางกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ของไทยได้ ทำการศึกษาผลผลิตของยางพาราพบว่า ผลผลิตยางพาราในแต่ละภาคมีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับ ปัจจัยหลัก คือ พันธุ์ยาง ความเหมาะสมของพื้นที่ และการจัดการ รวมถึงปัจจัยทางดินและภูมิอากาศ

### 2.2.2 หลักเกณฑ์สำหรับการปลูกยางพารา

การปลูกยางพาราที่เหมาะสมจำเป็นต้องคำนึงถึง การเลือกพื้นที่การเพาะปลูกพันธุ์ยางที่ เหมาะสม เพื่อลดปัญหาการเจริญเติบโตช้า ผลผลิตต่ำ และช่วยเพิ่มความสามารถทนต่อภาวะที่ เกิดขึ้นจากความแห้งแล้งและภัยธรรมชาติอื่น ๆ นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะของสวน ยางพารา เช่น ระยะห่างระหว่างต้นยางที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการจัดการสวนยาง โดย ต้องวางแผนการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อความสะดวกในการดูแลบำรุงรักษาต้นยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 การวางแผนการปลูกยางพารา

การวางแผนที่เหมาะสมสำหรับการปลูกต้นยางพารา จากการศึกษาโดยใช้พันธุ์พีเอ็ม 24, พีบี 255 , พีบี 260 เป็นตัวอ้างอิงโดยเป็นพันธุ์ยางพาราที่มีความสูง 1500 - 2000 มม. และมีระยะการปลูกห่างกัน 3000 มม. ระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 7000 มม. และระยะห่างระหว่างเขตสวน ประมาณ 1500 มม.

### 2.2.4 ขนาดของต้นยางที่สามารถเริ่มกรีดยางได้

ต้นยางที่สามารถเริ่มทำการกรีดยางได้ครั้งแรกต้องมีอายุประมาณ 5 - 6 ปี โดยดูจากขนาดเส้นรอบวงของต้นยางพาราที่มีขนาดมากกว่า 500 มม. โดยวัดตำแหน่งที่สูงกว่าพื้นดิน 750 มม. จึงเริ่มทำการวัด ลักษณะของต้นยางพาราส่วนโคนมีขนาดและความหนาของเปลือกมากกว่าลำต้น เมื่อตำแหน่งของความสูงของต้นยางมากขึ้นความหนาของเปลือกยางพาราลดลงซึ่งส่งผลต่อน้ำยางที่ลดลงตามลำดับ

## 2.3 ทฤษฎีรูเข็ม (Pinhole Theory) [9]

### 2.3.1 ความหมายของทฤษฎีรูเข็ม

ทฤษฎีรูเข็มเป็นทฤษฎีที่ใช้ในการบันทึกภาพโดยใช้หลักการจากการส่งผ่านแสงจากวัตถุผ่านรูขนาดเล็กแล้วตกกระทบบนฉากรับภาพอิเล็กทรอนิกส์หรือแผ่นฟิล์มไวแสงเพียงอย่างเดียวไม่มีการใช้เลนส์เป็นส่วนประกอบ

### 2.3.2 ส่วนประกอบของกล้องรูเข็ม

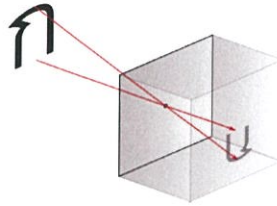
#### 2.3.2.1 กล้องที่บแสงที่มีรูรับแสงขนาดเล็ก

#### 2.3.2.2 ฉากรับภาพอิเล็กทรอนิกส์ หรือ แผ่นฟิล์มไวแสง

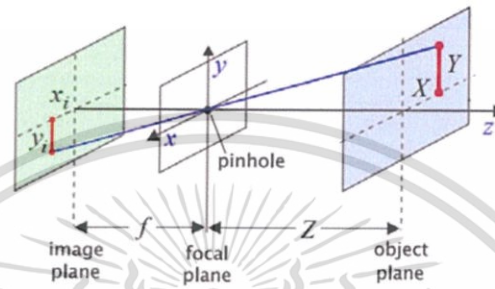
### 2.3.3 หลักการทำงานและทฤษฎีรูเข็ม

กล้องที่บแสงที่สามารถทำให้แสงเข้าได้เพียงด้านเดียวคือด้านรูรับแสง เมื่อต้องการบันทึกภาพจึงทำการเปิดรูรับแสงกำหนดระยะให้พอเหมาะ เพื่อให้แสงจากวัตถุฉายผ่านรูและตกลงบนฉากรับภาพอิเล็กทรอนิกส์ โดยภาพที่ได้เป็นภาพกลับหัวของวัตถุจริงดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ภาพจำลองแสดงทฤษฎีรูเข็ม



รูปที่ 2.2 รูปแสดงหลักการของกล้องรูเข็ม

ความคมชัดของภาพขึ้นอยู่กับขนาดของรูรับแสง พบว่าขนาดของรูรับแสงน้อยส่งผลให้ความคมชัดมากขึ้นเนื่องจากจำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลาของการเปิดรูรับแสงเพื่อให้แผ่นฟิล์มไวแสงทำการบันทึกภาพที่สมบูรณ์

## 2.4 หลักการทำงานของกล้องและภาพถ่าย [10]

### 2.4.1 หลักการทำงานของกล้อง

หลักการทำงานของกล้องใช้หลักการรูเข็มโดยรับแสงจากวัตถุผ่านรูขนาดเล็กตกกระทบบนฉากรับภาพ โดยที่ภาพที่ตกกระทบบนฉากรับภาพเป็นภาพหัวกลับ โดยที่กล้องแต่ละประเภทมีความสามารถในการพัฒนาภาพที่แตกต่างกัน ส่วนมากมีการใช้เลนส์ การปรับขนาดรูรับแสง หรือเพิ่มขนาดของแสงให้เข้าตัวกล้องมากขึ้น ทำให้ได้ภาพที่ชัดและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นกว่าการใช้รูรับแสงแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 ส่วนประกอบของกล้อง

2.4.2.1 ส่วนที่ทำให้เกิดภาพประกอบด้วยเลนส์ที่สามารถเปิด-ปิด เพื่อให้แสงผ่านเข้าไปตกกระทบบนฉากรับภาพโดยสามารถควบคุมเวลาการเปิดปิดได้ผ่านทางชัตเตอร์ (Shutter) ในส่วนของการปรับช่องรับแสงสามารถควบคุมไดอะแฟรม (Diaphragm) ที่อยู่ในเลนส์

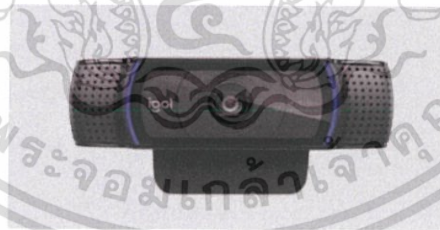
2.4.2.2 ส่วนไวแสงประกอบด้วยวัตถุไวแสงหรือฟิล์มซึ่งเกิดจากการที่แสงผ่านส่วนที่ทำให้เกิดภาพและตกลงบนวัตถุไวแสงหรือฟิล์ม

## 2.4.3 ความหมายและความสำคัญของความยาวโฟกัส (Focal length)

ความยาวโฟกัส (Focal length) คือระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางโฟกัสของเลนส์ (Optical center of lens) กับระนาบโฟกัสของภาพหรือฟิล์ม โดยที่ความยาวโฟกัสของแต่ละเลนส์สามารถปรับค่าได้ส่งผลให้มุมในการรับภาพและช่วงความยาวโฟกัสที่แตกต่างกันโดยที่เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้นสามารถรับภาพได้มุมที่กว้างกว่าและมีความคมชัดของภาพมากกว่า

## 2.4.4 ข้อมูลและคุณสมบัติของกล้องที่เลือกนำมาทำการทดลอง

กล้องที่ใช้คือ Logitech HD Pro Webcam C920 ซึ่งข้อมูลสำคัญที่ต้องใช้เพื่อนำมาคำนวณคือระยะโฟกัส (Focal length) โดยหาระยะโฟกัสมาจากการคำนวณจากการใช้หลักการรู้เขารู้เราในการหาระยะโฟกัสโดยผ่านโปรแกรม



รูปที่ 2.3 Logitech HD Pro Webcam C920

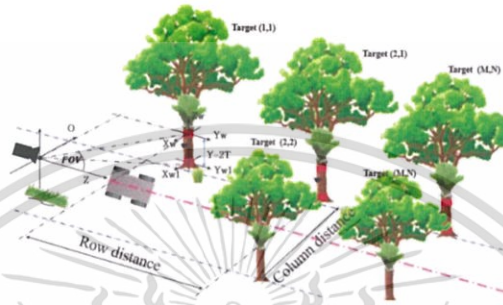
## 2.4.5 ความหมายของจุดภาพหรือพิกเซล (Pixels)

พิกเซล (Pixel) คือจุดภาพขนาดเล็กบนจอที่รวมกันเป็นภาพ ในหนึ่งภาพมีพิกเซลจำนวนมากเรียงกันอยู่บนหน้าจอแสดงผล จำนวนพิกเซลส่งผลต่อคุณภาพและความคมชัดของภาพ จอภาพที่มีจำนวนพิกเซลมากส่งผลให้มีความละเอียดของภาพมากและอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญคือขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกเซล จากการศึกษาพบว่า พิกเซลที่มีขนาดใหญ่สามารถแสดงผลภาพได้คมชัดและมีสิ่งรบกวนภายในภาพน้อยกว่าพิกเซลที่มีขนาดเล็ก

## 2.5 ทฤษฎีการนำร่องอัตโนมัติในสวนยางพารา [4]



รูปที่ 2.4 รูปแสดงตำแหน่งของเป้าจำลอง

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาของนายวรวิทย์ กิ่งหิน (2018) ที่ได้ออกแบบระบบนำทางอัตโนมัติในสวนยางพาราขณะผู้วิจัยจึงได้นำสมการและการออกแบบพื้นที่สวนยางจำลองมาทำการวิจัยและศึกษาต่อพบว่ารถอัตโนมัติเริ่มทำงานตอนช่วงที่ห่างจากต้นแรกประมาณ 1000 มิลลิเมตร และต้นถัดไปประมาณ 4000 มิลลิเมตร โดยที่ระหว่างรถกำลังเคลื่อนที่ใกล้ต้นยางพาราต้นแรก ขณะเป้าสีแดงหลุดนอกรอบของกล้อง ต้องทำการจับเป้าสีแดงของต้นยางพาราต้นถัดไปทันที โดยที่ต้องมั่นใจว่ากล้องทำการจับเป้าถัดไปก่อนเป้าเดิมหลุดกรอบ

รูปแบบการจับภาพของต้นยางพารา ใช้หลักการรู้เขม้ตั้งรูปข้างต้น โดยที่ทราบขนาดที่แท้จริงของวัตถุ และจำนวนพิกเซลในภาพสามารถนำไปหาตำแหน่งของภาพได้ จากภาพภายในจอแสดงผล แกนนอนแนวขนานกับจอภาพถูกกำหนดให้เป็นแกน X แกนตั้งที่ตั้งฉากกับจอภาพถูกกำหนดให้เป็นแกน Y ส่วนค่า Z คือระยะห่างระหว่างหน้ากล้องถึงภาพ สามารถพิจารณาดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$Z = f \frac{Y}{y_i} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่า  $f$  เป็นค่าความยาวโฟกัสที่เป็นคุณสมบัติของกล้องและค่า  $Y$  สามารถหาได้จากขนาดของความยาวระหว่างจุดศูนย์กลางของเป้าทั้งสอง ส่วนค่าของ  $y_i$  คือค่าของตำแหน่งพิกเซลที่อยู่ตรงจุดกึ่งกลางของเป้าทั้งสองภายในจอภาพมาลบกัน ส่วนแกน  $X$  ใช้หลักการที่เหมือนกันกับแกน  $Y$  โดยที่ค่าของ  $x_i$  คือค่าของตำแหน่งพิกเซลที่อยู่ตรงจุดกึ่งกลางของเป้าทั้งสองภายในจอภาพมาลบกัน สามารถพิจารณาได้ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$X = x_i \frac{Y}{y_i} \quad (2.2)$$

จากสมการความสัมพันธ์  $X$  คือระยะห่างระหว่างเป้าหมายกับแกนศูนย์กลางของกล้องรับภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอยู่ในช่วงที่ประมาณ ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของขนาดรูปภาพจากฉากรับภาพกับขนาดของภาพจริง ดังนั้น ความใหญ่ของวัตถุส่งผลให้ผลลัพธ์ในการประมาณค่าดีขึ้น ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ว่าควรออกแบบเป้าหมายให้มีลักษณะอย่างไร

เงื่อนไขแรกก็คือ ขนาดเป้าหมายต้องใหญ่มากแค่ไหน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ถ้าเป้าหมายมีขนาดใหญ่มากเกินไปเวลากล้องเคลื่อนที่ใกล้เป้าหมายส่งผลให้เป้าหมายหลุดออกจากเฟรมของกล้อง และ ถ้าเป้าหมายมีขนาดเล็กมากเกินไปกล้องก็ไม่สามารถจับเป้าหมายได้

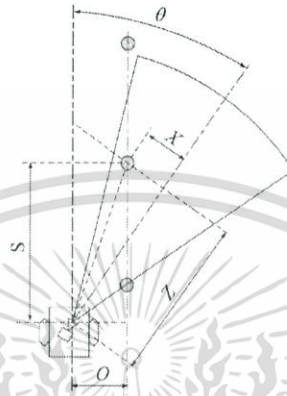
เงื่อนไขที่สองคือ เป้าหมายควรมีสีอะไร จากการสำรวจพื้นที่ในสวนยางพาราพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นสีน้ำตาลและสีเขียว ดังนั้นจึงเลือกสีของเป้าหมายให้มีความแตกต่างจากสภาพแวดล้อมคือสีแดง

สรุปได้ว่า เป้าหมายควรมีลักษณะขนาดใหญ่และสีของเป้าหมายควรแตกต่างจากสภาพแวดล้อมเพื่อให้ตัวโปรแกรมสามารถแยกแยะสีได้ง่าย อย่างไรก็ตามการวางเป้าสีแดงขนาดใหญ่เพียงเป้าเดียวบนต้นยางพารา เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการการกรีดยาง ดังนั้นจึงแยกเป้าหมายเป็น 2 เป้าหมายและใช้จุดศูนย์กลางของเป้าหมายทั้งสองมาใช้เป็นขนาดของเป้าหมายขนาดใหญ่ซึ่งสามารถแก้ปัญหาตรงจุดนี้ได้และยังได้เป้าหมายที่ขนาดใหญ่เหมือนเดิม

หลักการรูเข็มสามารถบอกได้แค่ระยะทางระหว่างต้นยางพารากับกล้องซึ่งเป็นระยะแค่ 1 เมตร เพื่อที่สร้างเส้นทางการเดินอัตโนมัติ จำเป็นต้องรู้ระยะทางในรูป 2 เมตร ดังนั้นจึงต้องศึกษาข้อมูลลักษณะพื้นที่ของสวนยางพารา ขนาดของเป้าหมาย ระยะโฟกัสและปัจจัยอื่น ๆ มาเป็นนำข้อมูลเพื่อนำไปสร้างเป็นสมการของการหาตำแหน่งของกล้องบนสวนยางพารา โดยมีความสัมพันธ์ของตัวแปรหลัก อยู่ 3 ตัว คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระยะห่างระหว่างกล้องกับเป้าหมายในแนวที่ขนานกับหลักของต้นยางพารา (S)
2. ระยะห่างระหว่างกล้องกับเป้าหมายในแนวตั้งฉากกับแนวของต้นยางพารา (O)
3. องศาของกล้องที่มีความสัมพันธ์กับแนวหลักของต้นยางพารา ( $\theta$ )



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงการสร้างสมการหาตำแหน่ง O และ S

ระยะห่างระหว่างกล้องกับเป้าหมายในแนวที่ขนานกับหลักของต้นยางพารา (S) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างการวางตำแหน่งของตัวรับภาพกับองศาของตัวรับภาพ

$$S = \frac{X^2 + 2Z^2 - (Z \tan(\theta) - X)^2 + (Z \tan(\theta))^2}{2\sqrt{(Z \tan(\theta))^2 + Z^2}} \quad (2.3)$$

จากสมการข้างต้น เราสามารถหาระยะห่างระหว่างกล้องกับเป้าหมายในแนวที่ขนานกับแนวของต้นยางพารา (S) ได้โดยที่ค่าที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์หรือค่าที่ได้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างกล้องกับเป้าหมายในแนวตั้งฉากกับแนวของต้นยางพารา (O) ซึ่งสามารถบอกได้ว่า สามารถหาค่า S ได้ก่อนเป็นอันดับแรก ส่วนค่า O สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$O = \sqrt{X^2 + Z^2 - S^2} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสรุปได้ว่าค่า  $X$  และ  $Z$  สามารถนำมาหาความสัมพันธ์และสร้างสมการได้ 2 สมการโดยมีตัวแปรเสริม คือ ค่า  $S, O$  และ  $\theta$  ดังนั้นเพื่อที่หาค่าตัวแปรที่เหลือ ( $O$  และ  $S$ ) จำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรเสริมเพิ่มเติม ซึ่งเมื่อนำทฤษฎีนี้ไปใช้จริงกับการนำร่องอัตโนมัติในสวนยางพาราจำเป็นต้องมีเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (Gyroscope) เพื่อเป็นตัวบ่อนค่า  $\theta$  องศาที่เปลี่ยนแปลงของตัวกล้อง แต่ใน ณ ที่นี้ด้วยเวลาที่จำกัดทางผู้วิจัยได้กำหนดค่าองศา  $\theta$  เป็นค่าคงที่และใช้ค่าองศานี้ตลอดการทดลอง เมื่อทราบค่าของตัวแปรที่ทั้งหมดจึงนำไปคำนวณระยะห่างของตัวรถเทียบกับต้นยางพาราที่เป็นเป้าหมายได้

## 2.6 โปรแกรม Python

### 2.6.1 Python คืออะไร [11]

Python คือ ภาษาชั้นสูงที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมที่ถูกพัฒนามาจากภาษา C โดยที่สามารถทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม Python มีการประมวลผลที่ละบรรทัดแบบอินเทอร์พรีเตอร์ โดยที่ Python เวอร์ชันแรกได้ถูกสร้างขึ้นในปี 2533 จนถึงเวอร์ชันปัจจุบันคือ Python 3.7

### 2.6.2 ข้อได้เปรียบของ Python

2.6.3.1 Python สามารถทำงานบนแพลตฟอร์มได้หลากหลายเช่น Unix, Linux, Window และการประมวลผลของโปรแกรมมีความเร็วมากกว่า MathLab

2.6.3.2 Python เป็นโปรแกรมประเภท Open Source ที่สามารถนำมาพัฒนาได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานโปรแกรม

2.6.3.3 ผู้พัฒนาภาษา Python ได้พัฒนาภาษาเพื่อลดความซับซ้อน มีเครื่องมือช่วยชี้แนะและตรวจคำสั่ง ซึ่งทำให้แก้ปัญหาตัวโปรแกรมได้ง่าย

### 2.6.3 ไบรารี (library) [11]

ในการเขียนโปรแกรมในภาษา Python ไบรารี (Library) คือไฟล์ของโปรแกรมที่กำหนดตัวแปร ฟังก์ชัน หรือคลาสโดยแบ่งย่อยออกไปจากโปรแกรมหลัก ในไลบรารียังสามารถประกอบไปด้วยคำสั่งประมวลผลการทำงานได้ และสามารถนำมาใช้งานได้โดยการนำเข้ามาในโปรแกรม (Import) กล่าวอีกนัยหนึ่ง ไลบรารีก็คือศูนย์เก็บข้อมูลที่ถูกสร้างไว้และเตรียมไว้สำหรับนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโปรแกรมหรือทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้ในการเขียนโปรแกรม โดยไลบรารีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีอยู่ 3 ไลบรารีที่มีดังนี้

1. OpenCV (cv2) ไลบรารีนี้มีฟังก์ชันเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานทั่วไปสำหรับการประยุกต์เรื่องการจับภาพจากกล้อง รับภาพและแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้คำสั่งในไลบรารีนี้เพื่อดึงภาพจากกล้องมาแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์และแยกแยะสีที่ต้องการจับจากเป้าหมาย

2. Math ไลบรารีนี้มีฟังก์ชันการคำนวณที่ซับซ้อนมากกว่าการ บวก ลบ คูณ หาร คือการคำนวณค่าต่าง ๆ เชิงวิทยาศาสตร์ เช่น การคำนวณค่าขององศาต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญในการคำนวณองศาการหมุนของตัวกล้องที่ทำให้มีผลต่อค่า  $O$  และ  $S$  (กล่าวในบทที่ 2)

3. NumPy ไลบรารีนี้มีฟังก์ชันที่มีความจำเป็นอยู่หลายอย่าง เช่น การเก็บค่าของข้อมูลและการเรียงลำดับข้อมูลเพื่อดึงข้อมูลมาใช้คำนวณ การเฉลี่ยค่าของข้อมูล เมื่อต้องการค่าที่มีความแม่นยำมากขึ้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนหนึ่งแล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อให้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

#### 2.6.4 โครงสร้างพื้นฐานของโปรแกรม [12,13]

##### 2.6.4.1 การจับวิดีโอจากกล้อง ด้วย OpenCV

การใช้งานกล้องจำเป็นต้องใช้คำสั่ง `cv2.VideoCapture`(ลำดับของกล้อง) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการบันทึกวิดีโอ การใช้งานคำสั่งจำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวนกล้องที่เชื่อมต่ออยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยลำดับของกล้องอยู่ในช่วงนับตั้งแต่ 0 เป็นต้นไป

##### 2.6.4.2 คำสั่งวนซ้ำ

1. คำสั่ง `while loop` คือคำสั่งวนซ้ำที่ทำงานจนกระทั่งเงื่อนไขเป็นเท็จจึงหยุดการทำงาน โดยรูปแบบคำสั่งขึ้นด้วยคำสั่ง `while` และตามด้วยการกำหนดเงื่อนไข

2. คำสั่ง `for loop` คือคำสั่งวนซ้ำที่มีการกำหนดจำนวนครั้งที่ชัดเจน โดยมีรูปแบบ `for variable in list` โดยที่ Variable คือตัวแปรที่นับในแต่ละรอบ และ List คือตัวแปรที่ทำการนับ

##### 2.6.4.3 การอ่านภาพวิดีโอจากกล้อง

การอ่านภาพวิดีโอเกิดจากการบันทึกวิดีโอแล้วแยกแต่ละมาคำนวณ อ่านเป็นเฟรมเป็นลำดับและทำการแสดงผลออกมาแบบต่อเนื่องโดยใช้คำสั่ง `read()` เป็นคำสั่งเฉพาะที่ใช้ในการอ่านเฟรมวิดีโอโดยเก็บตัวแปรประเภทรูปภาพและใช้ `while loop` ในการวนซ้ำให้แสดงผลภาพเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาอย่างต่อเนื่อง

#### 2.6.4.4 การแปลงภาพจากภาพสีแบบ RGB เป็นภาพประเภท HSV [14]

1. คำสั่ง `cv2.cvtColor(Input_img, type of conversion)` โดยที่ `input_img` คือภาพแต่ละเฟรมที่บันทึกมาได้นำมาเปลี่ยนประเภทของสี ส่วน `type of image` คือประเภทของสีที่ต้องการเปลี่ยนแปลงในที่นี้ทางคณะผู้วิจัยเปลี่ยนจาก RGB เป็น HSV

2. RGB ย่อมาจาก red, green และ blue คือระบบสีของแสง ซึ่งระบบสี RGB การแสดงผลออกมา เป็นรูปแบบการรับแสงแสดงผลด้วยแสงที่เป็นแม่สีได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น จอภาพ, สแกนเนอร์, กล้องดิจิทัลหรือดวงตารับภาพเป็นสีต่าง ๆ ซึ่งมีความลึกของสีหรือความกว้างของเฉดสีน้อยกว่า HSV

3. ระบบสี HSV (Hue Saturation Value) เป็นการพิจารณาสีโดยใช้ Hue Saturation และ Value ซึ่ง Hue คือค่าสีของสีหลัก (แดง เขียวและน้ำเงิน) ในทางปฏิบัติอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 คือสีแดงและเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้สีเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง ซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ ดังนี้คือ สีแดง = 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศา ซึ่งสี HSV มีความกว้างของเฉดสีมากกว่า RGB เพราะมีความเข้มของสีและความสว่างเข้ามาด้วย ซึ่งหมายความว่าถ้าต้องการสร้างขอบเขตของสีที่ใช้จับเป้าหมายต้องใช้ชนิดของสีที่กว้างเพื่อให้จับเป้าหมายได้ทั่วทั้งเป้า

4. `cv2.inRange(frame,ค่าสี HSV ช่วงเริ่มต้น , ค่าสี HSV ช่วงสิ้นสุด)` คำสั่งการติดตามสีหรืออีกนัยหนึ่งคือการแยกแยะพิกเซลของสภาพแวดล้อมกับสีของเป้าหมาย จากการกำหนดช่วงของสี HSV ในช่วงขอบเขตของสีแดง

#### 2.6.4.5 การตั้งการแสดงผลบนหน้าจอ [15,16]

คำสั่ง `set(PropID,resolution)` PropID คือการนิยามคุณสมบัติของการตั้งค่าบนหน้าจอ โดยใช้ตัวเลขจำนวนเต็มเป็นตัวระบุคุณสมบัติ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ `set(3, resolution)` และ `set(4, resolution)` ซึ่งบ่งบอกถึงความกว้างและความสูงของขนาดจอแสดงผลตามลำดับ(ความละเอียดในหน่วยพิกเซล) และค่า `resolution` เป็นตัวกำหนดขอบเขตความกว้างและความยาวของการแสดงผลบนหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.6.4.6 การกำหนดขอบเขตของสีที่สนใจ

1. คำสั่ง `numpy.array(object)` โดยที่ `object` ของงานวิจัยคือรหัสสี HSV ที่กำหนดขอบเขตล่างและขอบเขตบนของสีที่เราสนใจ

2. คำสั่ง `cv2.inRange(object,start,stop)` โดยที่นิยาม `object` คือภาพที่เราสนใจ และ `start` คือการไล่สีตั้งแต่ขอบล่างที่ได้กำหนดไว้จนถึง `stop` คือขอบบนที่ได้กำหนดไว้

#### 2.6.4.7 การสร้าง ข้อความ เส้น กรอบสี่เหลี่ยมและวงกลม ให้แสดงผลบนหน้าจอ [17]

ใช้คำสั่งจากไลบรารี `cv2` ดังนี้

1. การสร้างเส้น ใช้คำสั่ง `cv2.line(img,point1,point2, HSV color,thickness)`

โดยที่

`img` คือ ภาพหรือจอแสดงผลที่ต้องการเขียนเส้น

`point1` คือ จุดเริ่มต้นของเส้น

`point 2` คือ จุดสุดท้ายของเส้น

`HSV color` คือ การกำหนดสีของเส้นในรูปแบบ HSV

`thickness` คือ ขนาดความหนาของเส้นที่ใช้

2. การสร้างกรอบสี่เหลี่ยมใช้คำสั่ง `cv2.rectangle(img,top-left`

`corner,bottom-right corner, HSV color,thickness)` โดยที่

`img` คือ ภาพหรือจอแสดงผลที่ต้องการเขียนสี่เหลี่ยม

`top-left corner` คือ ตำแหน่งมุมบนซ้ายของสี่เหลี่ยม

`bottom-right corner` คือ ตำแหน่งมุมล่างขวาของสี่เหลี่ยม

`HSV color` คือ การกำหนดสีของเส้นในรูปแบบ HSV

`thickness` คือ ขนาดของเส้นที่ใช้

3. การสร้างวงกลมใช้คำสั่ง `cv2.circle(img,center point,radius, HSV`

`color,thickness)` โดยที่

`img` คือ ภาพหรือจอแสดงผลที่ต้องการเขียนวงกลม

center point คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลมบนจอภาพที่แสดงผล

radius คือ การกำหนดขนาดของรัศมีวงกลม

HSV color คือ การกำหนดสีของเส้นในรูปแบบ HSV

thickness คือ ขนาดของเส้นที่ใช้

4. การสร้างข้อความบนจอแสดงผลโดยใช้คำสั่ง cv2.putText(img, text, point, font, size, HSV, thickness) โดยที่

img คือ ภาพหรือจอแสดงผลที่ทำการเขียนอักษร

text คือ คำ อักษร หรือ ประโยคที่ต้องการแสดงผลบนหน้าจอ

point คือ ภาพหรือจอแสดงผลที่ต้องการเขียนสีเหลี่ยม

font คือ ลักษณะของ font ที่ใช้โดยมีประมาณ

FONT\_HERSHEY\_SIMPLEX = 0,

FONT\_HERSHEY\_PLAIN = 1,

FONT\_HERSHEY\_DUPLEX = 2,

FONT\_HERSHEY\_COMPLEX = 3,

FONT\_HERSHEY\_TRIPLEX = 4,

FONT\_HERSHEY\_COMPLEX\_SMALL = 5,

FONT\_HERSHEY\_SCRIPT\_SIMPLEX = 6,

FONT\_HERSHEY\_SCRIPT\_COMPLEX = 7,

size คือขนาดของ font ที่ใช้

HSV color คือการกำหนดสีของเส้นในรูปแบบ HSV

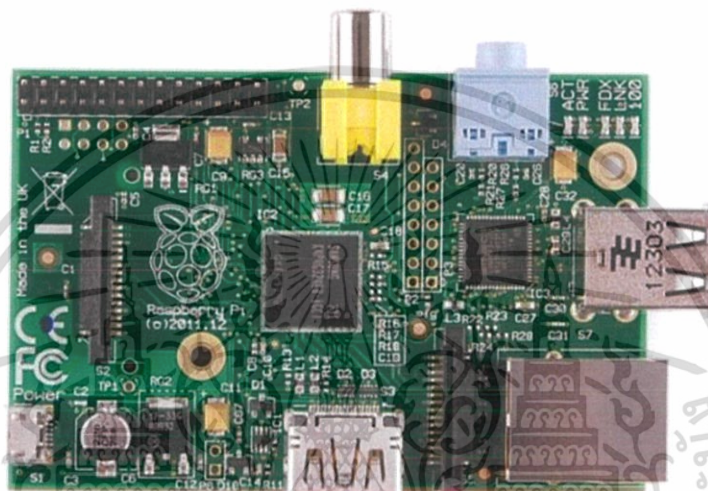
thickness คือ ขนาดของเส้นที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 บอร์ดคอมพิวเตอร์ Raspberry pi [18]

### 2.7.1 ความหมายของ Raspberry Pi

บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก และสามารถเล่นไฟล์วิดีโอความละเอียดสูง (High-Definition) ได้



รูปที่ 2.6 บอร์ด Raspberry Pi

บอร์ด Raspberry Pi รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ เช่น Raspbian (Debian) Pidora (Fedora) และ Arch Linux เป็นต้น โดยติดตั้งบน SD Card บอร์ด Raspberry Pi นี้ถูกออกแบบมาให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

### 2.7.2 ความเป็นมาของ Raspberry Pi

Raspberry Pi ถูกสร้างขึ้นในปี 2549 ที่มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ โดยมีจุดมุ่งหมายคือให้ Raspberry Pi เป็นคอมพิวเตอร์ที่ถูกสร้างมาเพื่อการศึกษา และสามารถเขียนโปรแกรมได้ทันที การที่ Raspberry Pi เป็นบอร์ดวงจรรวมที่เป็ลือยเปล่า ทำให้สามารถเห็นชิ้นส่วนทั้งหมดที่เป็นส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ได้อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด [17]

บอร์ด Raspberry Pi ปัจจุบันมีด้วยกัน 2 โมเดล คือ โมเดล A และ โมเดล B ซึ่งทั้ง 2 โมเดลมีคุณสมบัติทางเทคนิคที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเพียงบางส่วน รายละเอียดดังตารางที่ 2.1

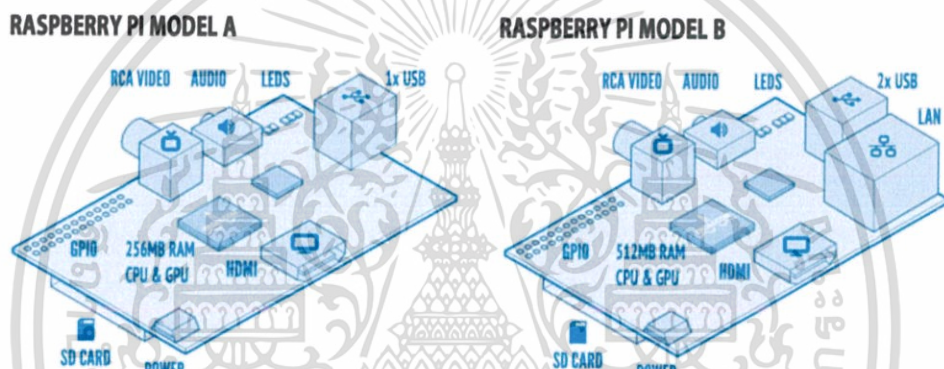
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ Raspberry pi

	โมเดล A	โมเดล B (Revision 2)
System on a chip (SoC)	Broadcom BCM2835 (CPU, GPU, DSP, SDRAM and Single USB Port)	
CPU	700MHz ARM1176JZF-S core (ARM11 family, ARMv6 instruction set)	
GPU	Broadcom VideoCore IV @ 250 MHz OpenGL ES 2.0 (24 GFLOPS) MPEG-2 and VC-1, 1080p 30 h.264/MPEG-4 AVC high-profile decoder and encoder	
Memory (SDRAM)	256 MB (Shared with GPU)	512 MB (Shared with GPU)
USB 2.0 Ports	1 (direct form BCM2835)	2 (via the built in integrated 3-port USB hub)
Video Input	A CSI input connector allows for the connection of RPF designed camera module (เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi Camera โดยเฉพาะ)	
Video Outputs	Composite RCA (PAL and NTSC), HDMI (rev 1.3 & 1.4), raw LCD Panels via DSI 14 HDMI resolutions from 640x350 to 1920x1200 plus various PAL and NTSC standards. (มีทั้งสองแบบ คือ แบบ RCA และแบบ HDMI)	
Audio Outputs	3.5 mm jack, HDMI, and as of revision 2 boards, I <sup>2</sup> S audio (also potentially for audio input)	
Onboard storage	SD/ MMC/ SDIO card slot (3.3V card power support only)	
Onboard network	None	10/100 Ethernet (8P8C) USB adapter on the third port of the USB hub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

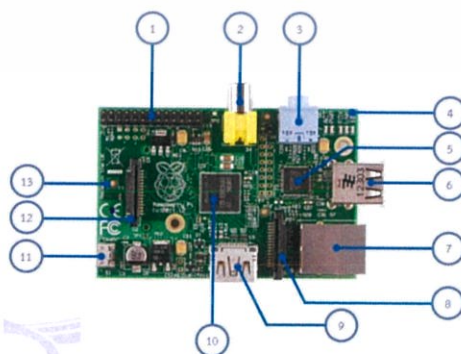
## ตารางที่ 2.1 (ต่อ) คุณสมบัติของ Raspberry pi

Low-level peripherals	8 x GPIO, UART, I <sup>2</sup> C Bus, SPI Bus with two chip selects, I <sup>2</sup> S audio	
Low-level peripherals	+3.3V, +5V, Ground	
Power ratings	300 mA (1.5 W)	700 mA (3.5 W)
Power source	5 Volt via Micro USB or GPIO header	
Size	85.60 mm x 53. Mm (3.370-inch x 2.125 inch)	
Weight	45 g. (1.6 oz.)	



รูปที่ 2.7 Raspberry pi model A และ Raspberry pi model B

### 2.7.4 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi (Model B)



รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งส่วนประกอบของ Raspberry pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พอร์ต GPIO ซึ่งในโมเดล A และ B (Revision 1) ทุก Pin เหมือนกัน แต่โมเดล (Revision2) มีความแตกต่างกัน รายละเอียดดังรูป

3.3V	1	2	5V
I2C0 SDA	3	4	DNC
I2C0 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
DNC	9	10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 21	13	14	DNC
GPIO 22	15	16	GPIO 23
DNC	17	18	GPIO 24
SP10 MOSI	19	20	DNC
SP10 MISO	21	22	GPIO 25
SP10 SCLK	23	24	SP10 CE0 N
DNC	25	26	SP10 CE1 N

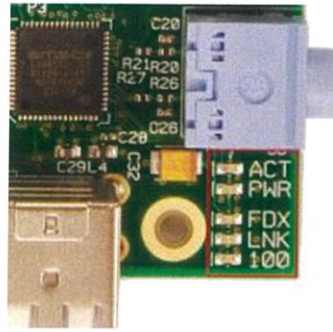
รูปที่ 2.9 Raspberry Pi Model A & B (Revision 1)

3.3V	1	2	5V
I2C1 SDA	3	4	DNC
I2C1 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
GROUND	9	10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 27	13	14	GROUND
GPIO 22	15	16	GPIO 23
3.3V	17	18	GPIO 24
SP10 MOSI	19	20	GROUND
SP10 MISO	21	22	GPIO 25
SP10 SCLK	23	24	SP10 CE0 N
GROUND	25	26	SP10 CE1 N

รูปที่ 2.10 Raspberry Pi Model B (Revision 2)

2. พอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณภาพออกแบบ RCA
3. จุดเชื่อมต่อสัญญาณเสียงขนาด 3.5 มิลลิเมตร
4. LED แสดงสถานะของบอร์ด อยู่ในบริเวณกรอบสีแดง ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 LED แสดงสถานะของบอร์ด

ACT คือ ไฟสถานะ SD Card Access (สีเขียว)

PWR คือ ไฟสถานะ 3.3V-Power (สีแดง)

FDX คือ ไฟสถานะ Full Duplex LAN Model B (สีเขียว)

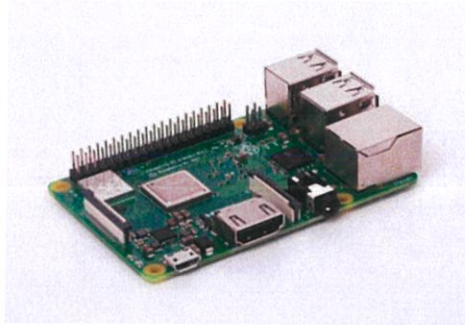
LNK คือ ไฟสถานะ Link/Activity LAN Model B (สีเขียว)

100 คือ ไฟสถานะ 10/100Mbps LAN Model B (สีเหลือง)

5. ชิพควบคุม LAN (LAN Controller)
6. พอร์ต USB 2.0 จำนวน 2 พอร์ต
7. พอร์ต RJ-45 Ethernet LAN 10/100Mbps
8. พอร์ต CSI (Camera Serial Interface) สำหรับเชื่อมต่อโมดูลกล้อง
9. พอร์ต HDMI สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณภาพและเสียง ตัวอย่างสาย HDMI และตัวแปลง HDMI to VGA
10. ชิพ Broadcom BCM2835 ARM11 700MHz
11. พอร์ต Micro USB Power สำหรับเป็นไฟเลี้ยงวงจบบอร์ด Raspberry Pi
12. พอร์ต DSI (Display Serial Interface) ใช้สำหรับต่อจอแสดงผล เช่น จอแสดงผลแบบ TFT Touch Screen เป็นต้น
13. ช่องเสียบ SD Card อยู่บริเวณด้านล่างของบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7.5 Raspberry Pi 3 Model B+



รูปที่ 2.12 Raspberry Pi 3 Model B+

บอร์ด Raspberry Pi 3 Model B+ เป็นบอร์ดรุ่นอัปเดตจาก EFDV506 Raspberry Pi 3 Model B เดิม มีโครงสร้างหลักคล้ายกับบอร์ดเดิม เพิ่มเติมคุณสมบัติในส่วนต่างๆ ดังนี้

2.7.5.1 เพิ่มความเร็ว CPU จาก 1.2 GHz เป็น 1.4 GHz ทั้ง 4 คอร์ เปลี่ยนมาใช้ชิพรหัส BCM2837B0 มาพร้อมแผงกระจายความร้อน

2.7.5.2 ชิพ Wi-Fi แบบ Dual-Band รองรับทั้ง 2.4 GHz 802.11n และ 5 GHz 802.11ac และ Bluetooth อัปเดตเป็น BLE 4.2

2.7.5.3 ชิพ USB-to-Ethernet with USB Hub รองรับ Gigabit Ethernet வீங்ທີ່ 300 Mbps

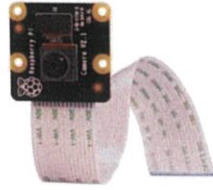
2.7.5.4 คอนเนคเตอร์ RJ-45 ลากขา PoE ออกมาเป็น Header สำหรับรองรับอุปกรณ์เสริม PoE HAT

2.7.5.5 ปรับปรุงวงจรภาคจ่ายไฟให้ดีขึ้นจากเดิมใช้ Step-Down converter มาเป็น Power Management IC

## 2.7.6 Raspberry Pi camera [19]

กล่องของ Raspberry pi โดยทำการเชื่อมต่อกับพอร์ต CSI (Camera Serial Interface) สำหรับเชื่อมต่อโมดูลกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Raspberry pi camera module V2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของ Raspberry Pi Camera Module V2

Camera Module v2	
Net price	\$25
Size	
Weight	3g
Still resolution	8 Megapixels
Video modes	1080p30, 720p60 and 640 x 480p60/90
Linux integration	V4L2 driver available
C programming API	OpenMAX IL and others available
Sensor	Sony IMX219
Sensor resolution	3280 x 2464 pixels
Sensor image area	3.68 x 2.76 mm (4.6 mm diagonal)
Pixel size	1.12 $\mu\text{m}$ x 1.12 $\mu\text{m}$
Optical size	1/4"
Focal length	3.04 mm
Horizontal field of view	62.2 degrees
Vertical field of view	48.8 degrees
Focal ratio (F-Stop)	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

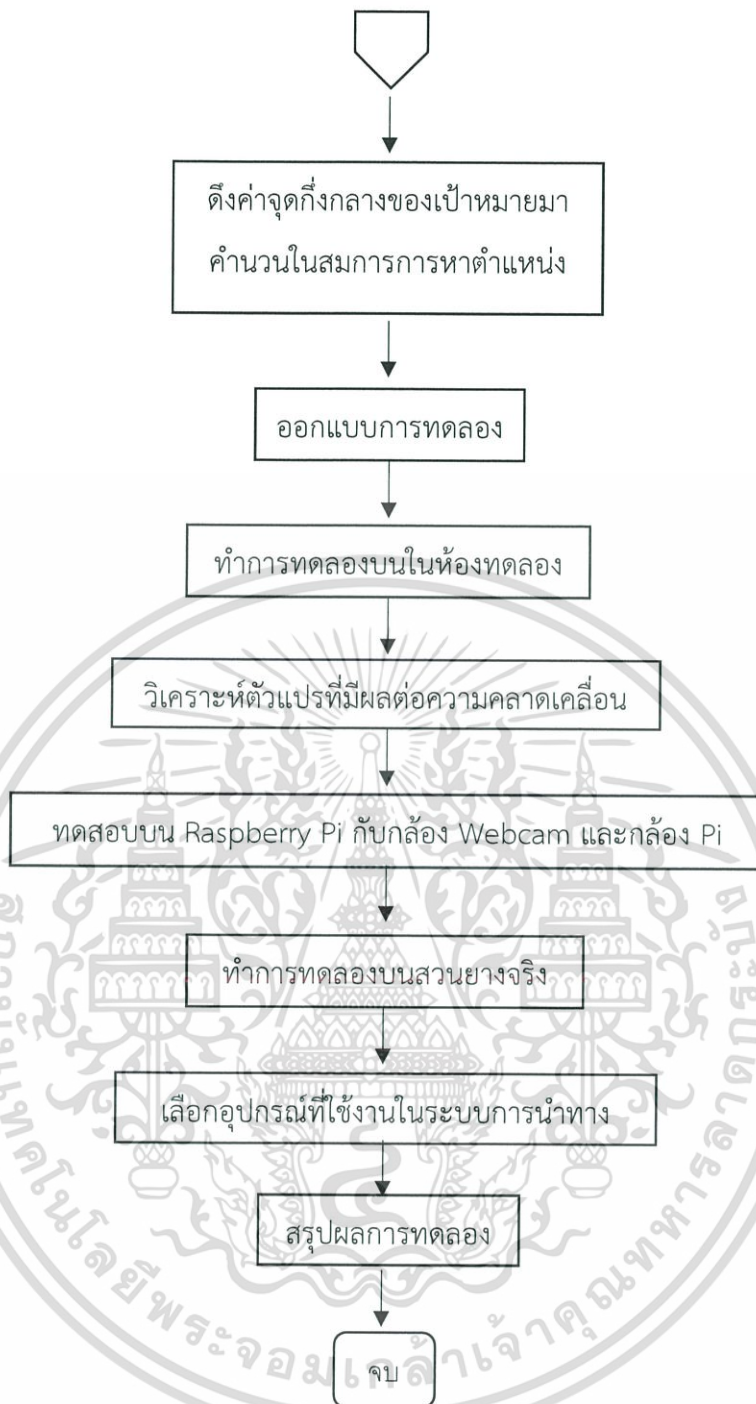
### การออกแบบการทดลอง

#### 3.1 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

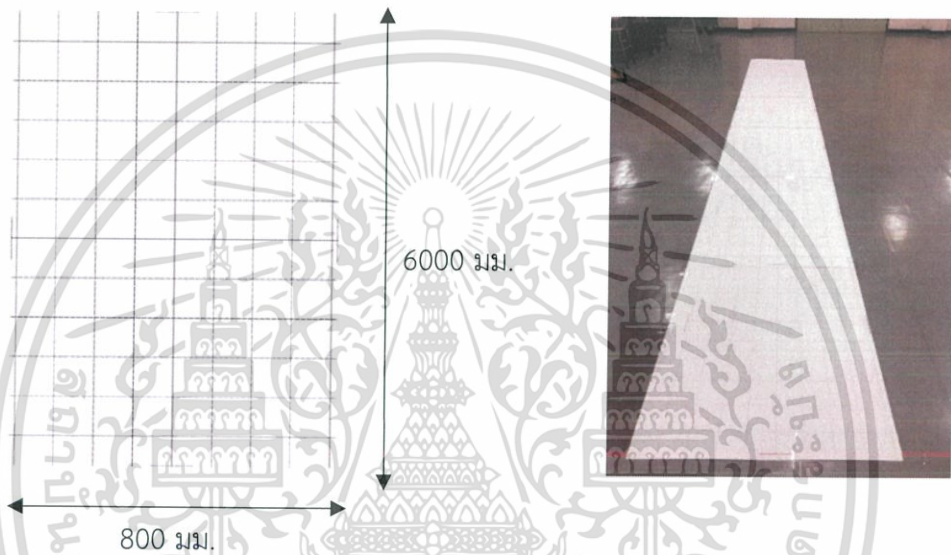


รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงวิธีการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบเส้นทางเสมือนจริงในสวนยาง

การออกแบบพื้นที่ระบุตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวกล้องในสวนยางโดยการใช้โปรแกรม AutoCAD 2018 Student Version ในการออกแบบตาราง 100 มม. x 100 มม. โดยที่ด้านกว้างยาว 800 มม. และด้านยาวมีความยาว 1000 มม. โดยใช้ทั้งหมด 6 แผ่น รวมได้ระยะกว้าง 800 มม. ส่วนด้านยาวมีความยาว 6000 มม. โดยระยะที่ได้เทียบเท่าความห่างของต้นยางพารา 2 ต้น ซึ่งเป็นขนาดที่เพียงพอต่อการทำการทดลอง

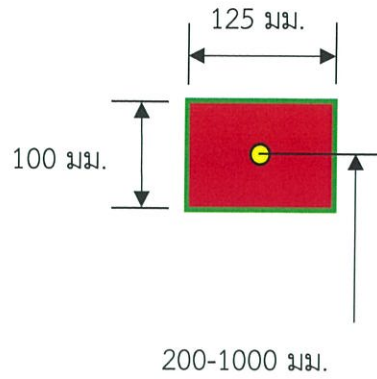


รูปที่ 3.3 ขนาดของเส้นทางเสมือนจริงที่ออกแบบ

รูปที่ 3.4 พื้นที่เสมือนจริงในห้องทดลอง

### 3.3 การออกแบบต้นยางพาราจำลอง

การออกแบบต้นยางพาราจำลอง มีส่วนประกอบหลักคือ ฐาน ลำต้น และเป้าหมายที่สามารถปรับได้ตลอดเวลา โดยเอกใช้ท่อ PVC ในการจำลองต้นยางพารา เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้ในการติดเป้าคือ 125 มม. ความสูงของลำต้นสูง 2000 มม. เป็นความสูงของต้นยางที่เหมาะสมสำหรับการเปิดกรีดยางได้ ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเป้าหมายสีแดงสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 200-1000 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะและขนาดของเป้าหมาย



รูปที่ 3.6 ลักษณะของต้นยางจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบฐานตั้งกล้อง

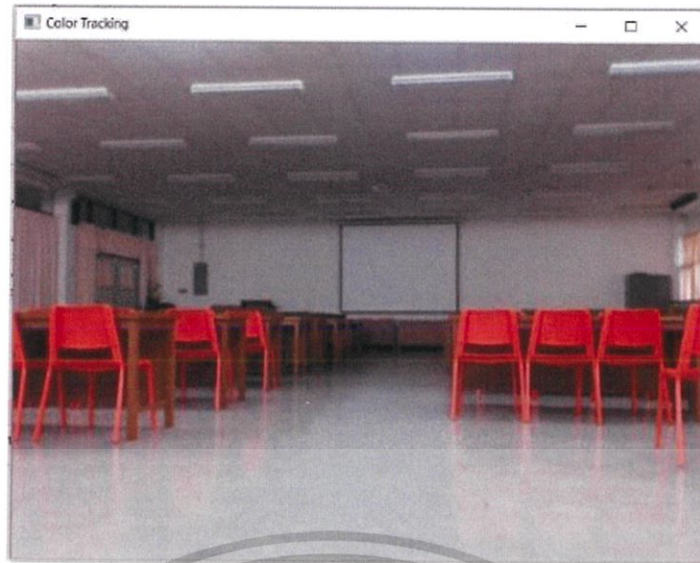
ลักษณะการออกแบบฐานตั้งกล้องเป็นแบบรถที่สามารถเคลื่อนที่มีเหตุผลอยู่ 2 ประการ ประการแรกคือฐานตั้งกล้องออกแบบให้มีล้อเพื่อความสะดวกในการทำการทดลอง เพราะระหว่างทำการทดลองมีการเลื่อนกล้องเข้าใกล้เป้าหมายและเลื่อนออกห่างจากเป้าหมายตลอดเวลาเพื่อสังเกตค่าผลลัพธ์ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ส่วนประการที่สอง เพื่อที่ยึดฐานตัวกล้องไว้กับที่เพื่อประหยัดเวลาในการติดตั้งและสะดวกในการตั้งค่ากล้อง เพราะมีการทดลองหลายระยะทางซึ่งต้องมีการเปลี่ยนตำแหน่งกล้องอยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 3.7 ภาพแสดงลักษณะของฐานวางกล้องเป็นรถเคลื่อนที่

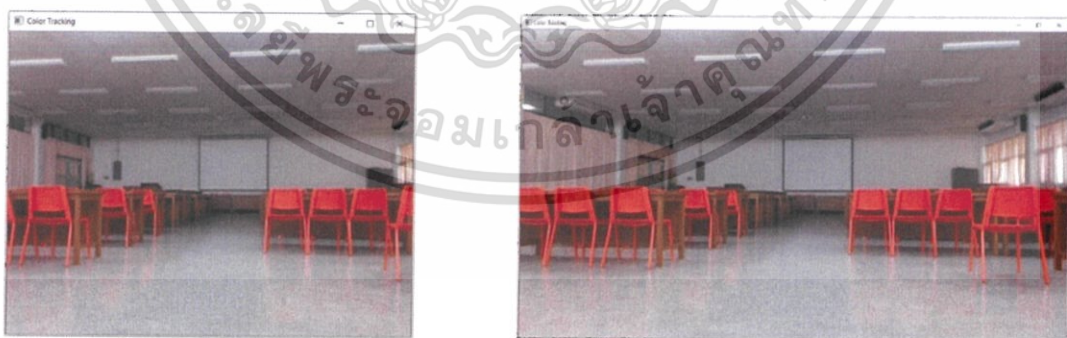
### 3.5 การดึงภาพจากกล้องและการตั้งค่าการแสดงผลบนหน้าจอ

การแสดงผลภาพบนหน้าจอเริ่มจากการ ใช้คำสั่ง `cv2.VideoCapture()` เป็นคำสั่งให้กล้องเริ่มทำการบันทึกวิดีโออย่างต่อเนื่อง ซึ่งต่อไปต้องทำการอ่านไฟล์วิดีโอที่ได้จากกล้องโดยใช้คำสั่ง `read()` ในการอ่านภาพแต่ละเฟรมเพื่อตรวจสอบสีของพิกเซลที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดและแสดงผลบนหน้าจอโดยใช้คำสั่ง `cv2.imshow()` ในการแสดงผลบนหน้าจอแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงขนาดของจอแสดงผล

เมื่อได้ภาพที่แสดงผลบนหน้าจอ ขั้นตอนต่อไปคือการตั้งค่าหน้าจอแสดงผล ซึ่งขั้นตอนนี้ต้องการกำหนดความละเอียดของหน้าจอให้เป็น  $1280 \times 720$  โดยใช้คำสั่ง `set(propid,resolution)` โดยที่ `propid` (Properties Identifier) คือ คุณสมบัติของชุดคำสั่ง ในที่นี้ทางคณะผู้วิจัยใช้ `propid = 3` และ `4` ซึ่งเป็นส่วนของการแสดงวิดีโอบนหน้าจอขนาดความละเอียดที่กำหนด โดยที่ `propid = 3` คือความกว้างของการแสดงผลและ `propid = 4` คือความยาวของการแสดงผลซึ่งความแตกต่างระหว่างการแสดงผลบนหน้าจอแสดงดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของขนาดจอจาก  $640 \times 480$  เป็น  $1280 \times 720$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การจับเป้าหมายโดยใช้ความเข้มของสี

การจับเป้าหมายโดยการใชความเข้มสีนั้น ในตอนเริ่มต้นใช้คำสั่ง `np.array()` เพื่อกำหนดข้อมูลขอบเขตบนและขอบเขตล่างต่อมาใช้คำสั่ง `cv2.inrange()` เพื่อกำหนดขอบเขตของการไล่สีและใช้คำสั่ง `cv2.findContours()` เพื่อสั่งให้โปรแกรมเริ่มค้นหาสีของเป้าหมายที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

### 3.7 การสร้างกรอบล้อมรอบเป้าหมาย

การสร้างกรอบเป้าหมายโดยการใช้คำสั่ง `cv2.rectangle()` โดยกำหนดจุดมุมบนซ้ายที่ต้องการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความกว้างและความยาว ซึ่งในงานวิจัยนี้้นำคำสั่งไปใช้เพื่อสร้างกรอบล้อมรอบเป้าหมายที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อต้องการหาจุดกึ่งกลางของเป้าหมาย เพื่อนำไปคำนวณต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ภาพแสดงจอแสดงผลที่มีกรอบสี่เหลี่ยมบนเป้าหมายที่กำหนดไว้

### 3.8 การสร้างจุดกึ่งกลางบนเป้าหมาย

การสร้างจุดกึ่งกลางของเป้าหมายที่สนใจใช้คำสั่ง `cv2.circle()` โดยทางผู้วิจัยกำหนดจุดศูนย์กลางของวงกลมเป็นจุดเดียวกับจุดกึ่งกลางของเป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 3.11

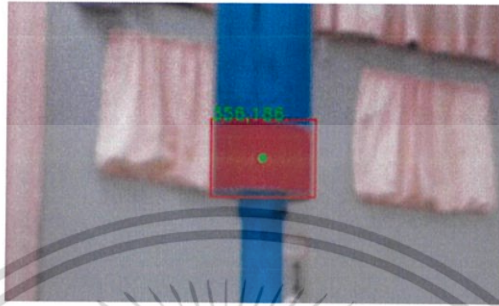


รูปที่ 3.11 ภาพแสดงจอแสดงผลที่มีจุดกึ่งกลางพื้นที่ของเป้าหมายที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9 แสดงผลตำแหน่ง pixel ของจุดกึ่งกลางของเป้าหมาย

โดยการแสดงผลค่าตำแหน่งของจุดกึ่งกลางของเป้าหมายในรูปแบบของ คู่อันดับ  $(x, y)$  และแสดงผลบนหน้าจอโดยใช้ คำสั่ง `cv2.putText()` ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ภาพแสดงจอแสดงผลที่แสดงตำแหน่งจุดกึ่งกลางของเป้าหมาย

### 3.10 การหาค่าตำแหน่งของกล้อง [5]

การหาตำแหน่งของกล้องต้องเริ่มจากการใช้ค่าจุดกึ่งกลางของเป้าทั้งสองมาคำนวณหาค่า  $X$  และ  $Z$  ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$Z = f \frac{Y}{(y_{(p,1)} - y_{(p,2)})} \quad (3.1)$$

$$X = Z \frac{\left(\frac{x_{(p,2)} + x_{(p,1)}}{2}\right) - \left(\frac{\text{SizeHorizontalImagePlane}}{2}\right)}{f} \quad (3.2)$$

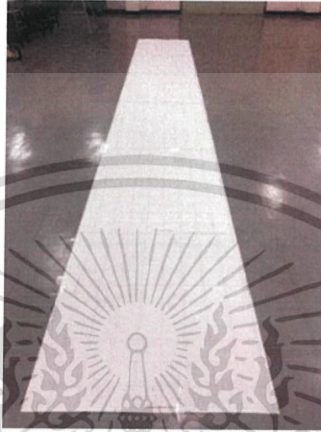
โดยที่ค่า  $(x_{(p,1)}, y_{(p,2)})$  คือ ตำแหน่งของจุดกึ่งกลางของเป้าด้านบน ค่า  $(x_{(p,1)}, y_{(p,2)})$  คือ ตำแหน่งของจุดกึ่งกลางของเป้าด้านล่าง ค่า  $f$  คือ ระยะโฟกัสของกล้องเป็นในหน่วย Pixels และค่า Size Horizontal Image Plane คือ ขนาดความกว้างของจอแสดงผลในหน่วย Pixels หลังจากคำนวณหาค่า  $X$  และ  $Z$  ได้แล้วนำมาเข้าสมการหาค่า  $O$  และ  $S$  ซึ่งเป็นค่าการบอกตำแหน่งของกล้องดังแสดงในสมการที่ 2.3 และ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.11 การทดลองหาค่าตำแหน่งโดยใช้กล้อง Webcam(Logitech C920)

#### 3.11.1 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองในห้องทดลอง

3.11.1.1 นำกระดาษที่ได้ทำการออกแบบมาพิมพ์แล้วนำมาต่อกันเพื่อทำเป็นตำแหน่งอ้างอิงของกล้องที่ทำการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ภาพแสดงการติดตั้งพื้นสำหรับการทดลอง

3.11.1.2 เริ่มติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง โดยทำการติดตั้งต้นยางพาราเทียม (เสาทำ PVC), camera C920 เข้ากับตัวรถและใช้โปรแกรม Python ในการหาตำแหน่งของกล้อง โดยกำหนดขนาดของเป้าหรือระยะห่างของจุดกึ่งกลางระหว่างเป้าทั้งสองเท่ากับ 700 มม. ระยะห่างในแนวตั้งฉากกับสวนยาง (O) เท่ากับ 500 มม. และค่าองศาและการบิดของกล้อง ( $\theta$ ) เท่ากับ 30 องศาตลอดการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.14

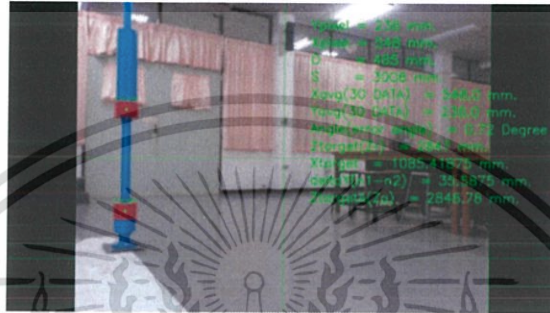


รูปที่ 3.14 ภาพแสดงการติดตั้งกล้องสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.11.2 การกำหนดจำนวนค่าผลการทดลองที่ต้องการบันทึกผล

ทำการบันทึกผลทดลองโดยใช้แนวขนานกับแนวต้นยาง (S) ตั้งแต่ระยะไกลสุดที่กำหนดคือ 5,000 มม. ถึงตำแหน่งที่ใกล้ต้นยางพาราที่สุดคือ 1,000 มม. ซึ่งทำการบันทึกผลทุก 200 มม. ที่รถเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เข้าใกล้ต้นยางพารา ซึ่งมีทั้งหมด 21 ค่า ทำการทดสอบทั้งหมด 3 รอบ เฉลี่ยผลการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง และบันทึกผล



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างลักษณะของจอแสดงผลการทดลองในห้องทดลอง

จากรูปที่ 4.3 ค่าระยะห่างในแนวขนานกับแนวต้นยาง (S) ที่วัดได้จริงเท่ากับ 3000 มม. ค่าที่อ่านได้จากโปรแกรมคือ 3008 มม. ส่วนค่าระยะในแนวตั้งฉากกับแนวต้นยาง (O) เท่ากับ 500 มม. ค่าที่ได้จากโปรแกรมคือ 485 มม.

### 3.12 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อน

หลังจากได้ผลการทดลอง นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อน และพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำไปทดสอบบน Raspberry Pi ในห้องทดลอง

### 3.13 การทดลองบน Raspberry Pi โดยใช้กล้อง Raspberry Pi camera M2 และกล้อง webcam

ทำการทดสอบเช่นเดียวกันบนคอมพิวเตอร์โดยใช้กล้อง Webcam แต่เปลี่ยนมาใช้บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) โดยเปรียบเทียบกับกล้อง Webcam และ Pi Camera โดยต้องลงระบบปฏิบัติการ Raspbian และต้องลง Library ของโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมใช้งานได้

### 3.14 การทดสอบระยะเวลาการประมวลผล

การทดสอบระยะเวลาการประมวลผลของอุปกรณ์ 2 ชนิดคือ คอมพิวเตอร์และบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) โดยใช้ร่วมกับกล้อง Webcam ทำการทดสอบโดยเขียนโปรแกรมให้แสดงผลระยะเวลาการประมวลผลหาตำแหน่งในหน่วยวินาที เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของการใช้งาน บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) ในการนำร่องของรถอัตโนมัติ

### 3.15 การทดสอบบนสวนยางจริง

การทำการทดลองบนพื้นที่จริงโดยทำการทดลองเช่นเดียวกับห้องทดลอง ทดสอบโดยใช้ บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) กับกล้อง 2 ชนิด คือกล้อง Webcam(Logitech C920) และกล้อง Raspberry Pi Camera โดยเลือกพื้นที่ในสวนยางที่มีความใกล้เคียงกับห้องทดลองมากที่สุด เช่นเลือกพื้นที่ที่มีความเรียบมากที่สุดและต้นยางที่มีลำต้นที่ตรงเพื่อลดค่าความผิดพลาดจากการทดลอง

#### 3.15.1 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองภายในสวนยางจริง

##### 3.15.1.1 เลือกใช้พื้นที่ในสวนยางพาราที่มีพื้นที่แบนราบใกล้เคียงกับพื้นที่ทำการทดลอง

ทำการเลือกพื้นที่ให้ตรงกับสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมในห้องทำการทดลองมากที่สุดโดยเลือกพื้นที่ทำการทดลองที่เรียบลำต้นค่อนข้างตรงและขนาดลำต้นใกล้เคียงกับต้นยางจำลองในห้องทดลอง โดยขนาดของลำต้นที่ใช้ในการทดลองในสวนยางมีเส้นรอบวงเท่ากับ 452 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 สภาพแวดล้อมสวนยางพาราจริงและต้นยางที่ใช้ในการทดลอง โดยสามารถวัดเส้นรอบวงได้เท่ากับ 452 มม.

3.15.1.2 นำรถเคลื่อนที่และตัวจับภาพออกมาเตรียมพร้อมสำหรับการทดลองดังแสดง  
ในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 โครงสร้างของรถเคลื่อนที่และตัวจับภาพ

3.15.1.3 ติดตั้งแท่งเหล็กอ้างอิงระยะที่ห่างจากต้นยางพารา 500 มม. ตามที่ทดลองในห้องทดลอง



รูปที่ 3.18 ติดตั้งแท่งเหล็กเพื่ออ้างอิงเส้นทางการเดินของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเริ่มทำการติดตั้งแท่งเหล็กลงดินเพื่อเป็นเสาหลักอ้างอิงถึงระยะค่า  $\phi$  ของการทดลองที่มีขนาด 500 มม. ตลอดของระยะการทดลอง เพราะรถเคลื่อนที่ต้องเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดอยู่ในเส้นทางของเสาเหล็กนี้โดยมีเส้นเอ็นผูกไว้กับเสาเหล็ก เพื่อให้รถเคลื่อนที่ตามเส้นทางของเอ็น ซึ่งทางคณะผู้ทดลองได้ติดตั้งเสาเหล็กลงดินห่างจากต้นยางพาราจริงเป็นระยะ 500 มม.

3.14.1.4 ติดตั้งต้นยางพาราเทียมเพื่อใช้เทียบระยะระหว่างตัวต้นยางพาราจริงและตัวรถ โดยเครื่องวัดเลเซอร์ เพื่อเทียบว่ารถเคลื่อนที่มาเป็นระยะทางเท่าใดเทียบกับต้นยางพาราจริงดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ติดตั้งต้นยางพาราเสมือนข้างต้นยางพาราจริงเพื่อใช้เทียบระยะ

3.14.1.5 ติดตั้งแผ่นเป้าหมายบนต้นยางพาราจริง โดยกำหนดระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของเป้าทั้ง 2 เท่ากับ 700 มม.



รูปที่ 3.20 ติดตั้งแผ่นเป้าหมายเพื่อให้โปรแกรมตรวจจับระยะห่างเท่ากับ 700 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.1.6 ติดตั้งเครื่องวัดระยะเลเซอร์



รูปที่ 3.21 ติดตั้งเครื่องวัดระยะเลเซอร์



รูปที่ 3.22 พื้นที่ทำการทดลองหลังจากการติดตั้งแบบสมบูรณ์

เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองทั้งหมดเสร็จแล้วขั้นตอนต่อไปคือขั้นตอนการเปิดโปรแกรมเพื่อเริ่มดำเนินการตรวจจับเป้าหมายและบันทึกผลค่า เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมบนพื้นที่จริง

#### 3.15.2 ขั้นตอนการทำการทดลองและการบันทึกผลการทดลองในสวนยางจริง

ทำการทดลองบนสวนยางพาราโดยทดสอบโปรแกรมบน Raspberry Pi ทำการทดลองทั้ง 2 กรณี คือใช้กล้อง Webcam และกล้อง Pi Camera หลังจากทำการติดตั้งอุปกรณ์และ Calibrate ตัวโปรแกรมให้เข้ากับพื้นที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือเริ่มทำการทดลองและบันทึกผลที่ได้วิธีที่ทำการทดลองมีดังนี้

3.14.2.1 กำหนดจำนวนค่าผลการทดลองที่ต้องการบันทึกผลว่ามีจำนวนเท่าไร โดยบันทึกตั้งแต่ระยะไกลสุดที่กำหนดคือ 5,000 มม. ถึงตำแหน่งที่ใกล้ต้นยางพาราที่สุดคือ 1,000 มม. ซึ่งทำการบันทึกผลทุก 500 มม. ที่รถเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เข้าใกล้ต้นยางพารา ซึ่งมีทั้งหมด 21 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.14.2.2 เริ่มทำการเคลื่อนที่ตัวรถโดยขั้นแรก เริ่มจากการวัดระยะทาง (S) ระหว่างตัวรถ และต้นยางพาราโดยใช้เครื่องวัดระยะทางเลเซอร์เพื่อเก็บค่าระยะและนำไปเทียบกับตัวโปรแกรม



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างการเปรียบเทียบระยะที่เครื่องวัดระยะเลเซอร์วัดได้กับระยะที่ได้จากโปรแกรม

จากรูป เมื่อทดสอบวัดจากเครื่องวัดระยะเลเซอร์ พบว่าระยะจากรถเคลื่อนที่ถึงต้นยางพารา (S) เท่ากับ 4,997 มม. และค่าที่ได้จากโปรแกรมมีค่าเท่ากับ 5,094 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองในห้องทดลอง

ผลการทดลองการหาตำแหน่งโดยใช้คอมพิวเตอร์กับกล้อง Webcam ในห้องทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองโปรแกรมโดยใช้ Computer กับกล้อง Webcam

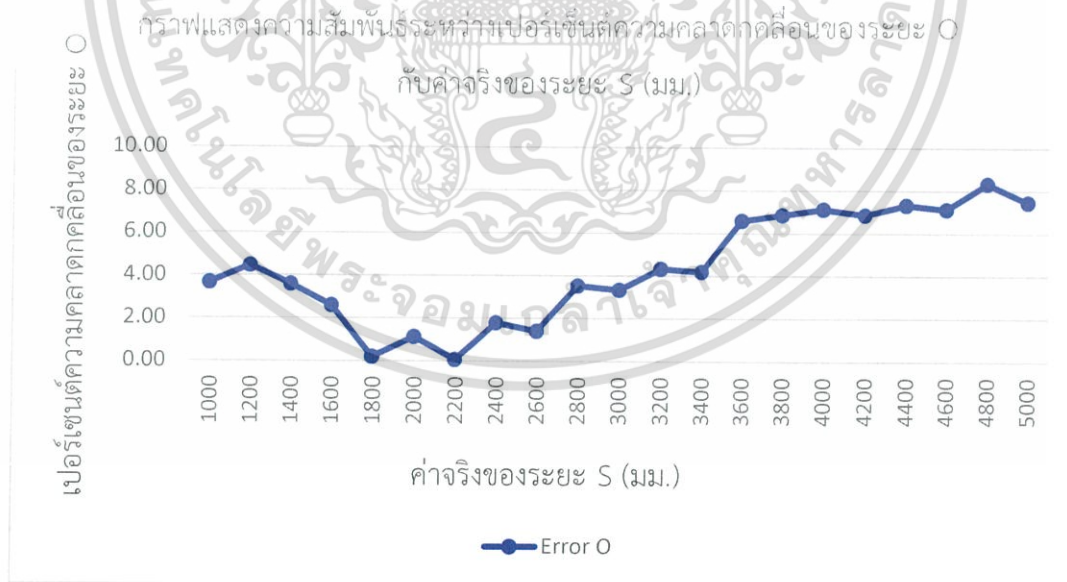
ระยะจริง		ระยะที่ได้จากโปรแกรม		ค่าความคลาดเคลื่อน			
<u>O</u> actual (มม.)	<u>S</u> actual (มม.)	<u>O</u> (มม.)	<u>S</u> (มม.)	<u>Error O</u> (มม.)	<u>Error S</u> (มม.)	<u>%Error</u> <u>O</u>	<u>%Error</u> <u>S</u>
500	1000	481.67	961.33	18.33	38.67	3.67	3.87
500	1200	477.67	1154.33	22.33	45.67	4.47	3.81
500	1400	482.00	1355.67	18.00	44.33	3.60	3.17
500	1600	487.00	1550.00	13.00	50.00	2.60	3.13
500	1800	499.00	1755.00	1.00	45.00	0.20	2.50
500	2000	494.33	1954.67	5.67	45.33	1.13	2.27
500	2200	500.33	2148.33	-0.33	51.67	0.07	2.35
500	2400	509.00	2362.00	-9.00	38.00	1.80	1.58
500	2600	507.00	2556.67	-7.00	43.33	1.40	1.67
500	2800	517.67	2751.00	-17.67	49.00	3.53	1.75
500	3000	516.67	2952.00	-16.67	48.00	3.33	1.60
500	3200	521.67	3162.67	-21.67	37.33	4.33	1.17
500	3400	521.00	3345.67	-21.00	54.33	4.20	1.60
500	3600	533.00	3551.00	-33.00	49.00	6.60	1.36
500	3800	534.33	3734.67	-34.33	65.33	6.87	1.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองโปรแกรมโดยใช้ Computer กับกล้อง Webcam

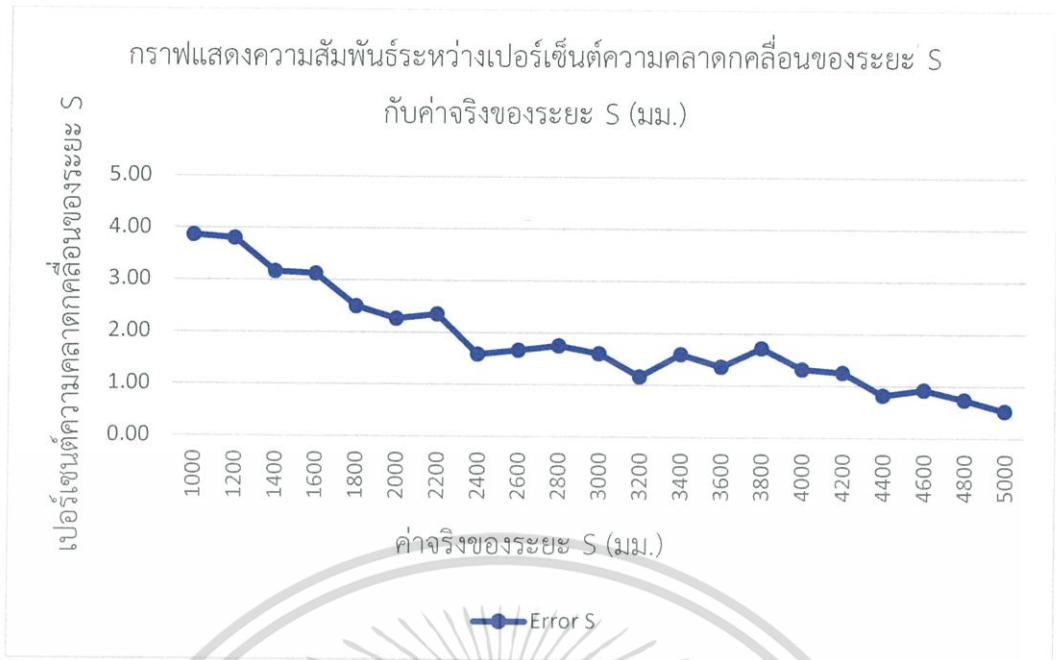
ระยะจริง		ระยะที่ได้จากโปรแกรม		ค่าความคลาดเคลื่อน			
<u>O actual</u> (มม.)	<u>S actual</u> (มม.)	<u>O</u> (มม.)	<u>S</u> (มม.)	<u>Error O</u> (มม.)	<u>Error S</u> (มม.)	<u>%Error</u> <u>O</u>	<u>%Error</u> <u>S</u>
500	4000	535.67	3947.33	-35.67	52.67	7.13	1.32
500	4200	534.33	4147.33	-34.33	52.67	6.87	1.25
500	4400	536.67	4363.67	-36.67	36.33	7.33	0.83
500	4600	535.67	4557.33	-35.67	42.67	7.13	0.93
500	4800	541.67	4764.33	-41.67	35.67	8.33	0.74
500	5000	537.33	4973.67	-37.33	26.33	7.47	0.53

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นรูปแบบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนกับระยะจริงที่วัดได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะ O กับค่าจริงของระยะ S (มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะ S  
กับค่าจริงของระยะ S (มม.)

จากผลการทดลองพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดของค่า  $O$  เท่ากับ 8.33 เปอร์เซ็นต์ ที่ตำแหน่งห่างจากเป้า (S) ในระยะ 4800 มม. และความคลาดเคลื่อนมากที่สุดของค่า S คือ 3.87 เปอร์เซ็นต์ ที่ตำแหน่งห่างจากเป้า (S) ในระยะ 1000 มม.

## 4.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อน

จากสมการที่ (2.3) พบว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อตำแหน่งของกล้อง หรือค่า  $O$  และ  $S$  คือตัวแปร  $X$  และ  $Z$  ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของความคลาดเคลื่อนจากตัวแปรข้างต้น

### 4.2.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ส่งผลต่อตัวแปร $X$

#### 4.2.1.1 องศาบิดของกล้อง ( $\theta$ )

จากรูปที่ 2.5 พบว่าถ้าองศาการบิดของกล้อง ( $\theta$ ) เพิ่มขึ้นส่งผลกับค่า  $X$  โดยตรง ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบค่าความผิดพลาดจากมุมบิดของกล้อง ( $\theta$ ) โดยการกำหนดมุมบิดเท่ากับ 30 องศา ตำแหน่งของกล้อง ณ ตำแหน่ง S เท่ากับ 2000 และ  $O$  เท่ากับ 500 ทำการทดสอบ

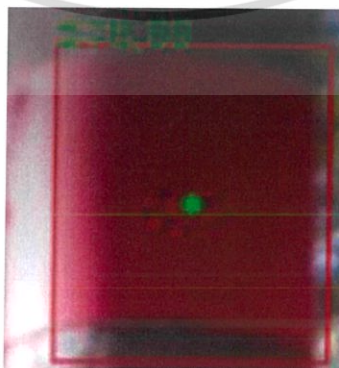
โดยการเปลี่ยนองศามุมบิตของกล้องในโปรแกรม จาก 29 ถึง 31 องศา เพื่อทดสอบความผิดพลาด  
ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการทดสอบความผิดพลาดขององศาบิตของกล้อง ( $\theta$ )

องศาบิตของ กล้อง (30)	O = 500 มม.	S = 2000 มม.	องศาบิตของ กล้อง (30)	O = 500 มม.	S = 2000 มม.
29.1	468	1962	30.1	504	1953
29.2	472	1961	30.2	508	1952
29.3	476	1960	30.3	512	1951
29.4	481	1959	30.4	512	1951
29.5	485	1958	30.5	516	1950
29.6	485	1958	30.6	520	1949
29.7	489	1957	30.7	523	1948
29.8	493	1956	30.8	527	1947
29.9	497	1955	30.9	531	1946
30.0	500	1954	31.0	534	1945

จากผลการทดลองพบว่า ความคลาดเคลื่อนขององศา ประมาณ 1 ถึง 2 องศาส่งผล  
ให้ค่าตำแหน่ง O และ S ผิดพลาดไปมากที่สุดประมาณ 50 เซนติเมตร

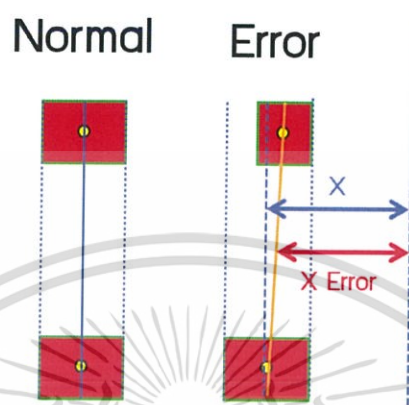
#### 4.2.1.2 แสงและเงา



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงถึงการจับสปีทที่ไม่เต็มเป้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพพบว่าโปรแกรมไม่สามารถจับเป้าทางด้านซ้ายได้เนื่องจากสีที่เกิดจากแสงตกกระทบบนอยู่นอกเหนือขอบเขตสีที่กำหนด ส่งผลให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของเป้าเลื่อนทำให้ค่าเฉลี่ยของจุดกึ่งกลางบนแกน  $x$  ของทั้ง 2 เป้าเปลี่ยนไป ส่งผลให้ค่า  $X$  ผิดพลาดดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 รูปแสดงลักษณะการเกิดความคลาดเคลื่อนของค่า  $X$

#### 4.2.1.3 อุปกรณ์

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากอุปกรณ์หลักๆเกิดจากเสาเอียง ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเสาเอียงเป็นกรณีเดียวกับการจับไม่เต็มเป้า

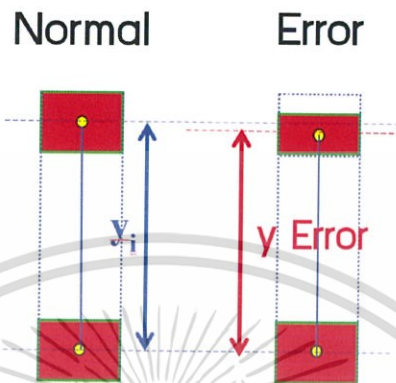


รูปที่ 4.5 รูปแสดงลักษณะของเสาเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ส่งผลต่อค่า Z

จากสมการที่ (3.1) ค่าระยะห่างระหว่างเป้าหรือค่า Y มีผลต่อค่า Z โดยตรง ซึ่งความคลาดเคลื่อนของ Y มันเกิดจากแสงและเงาที่ไม่สามารถจับบางส่วนของเป้าได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.6 รูปแสดงลักษณะการเกิดความคลาดเคลื่อนของค่า Y

ขนาดของระยะ Y มีผลต่อความคลาดเคลื่อน จากงานวิจัย [5] พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงเมื่อขนาดของเป้าใหญ่ขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงขณะกล้องเข้าใกล้เป้า ขนาดของเป้าที่ใหญ่ที่สุดต้องไม่หลุดออกจากจอแสดงผล เนื่องจากถ้าเป้าหลุดออกจากจอแสดงผล ส่งผลให้ไม่สามารถหาตำแหน่งของกล้องได้ หรือถ้าเป้าหลุดออกจากจอแสดงผลบางส่วน ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองในระยะใกล้เป้าหมายมากที่สุดคือระยะ 1000 มม. ส่งผลให้เราทราบระยะ Y ที่มากที่สุดโดยไม่หลุดออกจากจอแสดงผลคือ 700 มม.

#### 4.3 พัฒนาโปรแกรม

หลังจากการได้วิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อน ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงโปรแกรมโดยเริ่มจากการปรับด้านอุปกรณ์โดยปรับเสาให้ตรง ใช้ตัววัดองศาที่แม่นยำให้การปิดกล้องให้ได้ตามองศาที่กำหนด และทำการปรับปรุงขอบเขตของสีซึ่งขอบเขตของสีขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ แสงและอุปกรณ์ ขอบเขตของสีแดงหลังจากได้ปรับปรุงแล้วในห้องทดลอง ในส่วนของกล้อง Webcam(Logitech C920) ขอบเขตบน คือ HSV [255,255,255] และขอบเขตล่าง คือ HSV [170,130,100] นอนเหนือจากขอบเขต คณะผู้วิจัยพบค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการคำนวณองศาที่ผิดพลาดจากโปรแกรม และทำการปรับความผิดพลาดในส่วนนั้นก่อนนำมาคำนวณหาตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของระยะโฟกัสที่แม่นยำสามารถหาได้จากการทดลองโดยกำหนดตำแหน่งที่แท้จริงและทำการเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงค่าระยะโฟกัสออกมา ซึ่งกล้องแต่ละชนิดมีระยะโฟกัสที่แตกต่างกัน ระยะโฟกัสที่ใช้หลังจากปรับปรุงโปรแกรมแล้วของกล้อง Webcam(Logitech C920) คือ 630 หลังจากพัฒนาโปรแกรม ทำการทดลองเพื่อทดสอบเปรียบเทียบผลของการพัฒนาโปรแกรม ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองโปรแกรมโดยใช้ Computer กับกล้อง Webcam หลังจากพัฒนา

โปรแกรมแล้ว

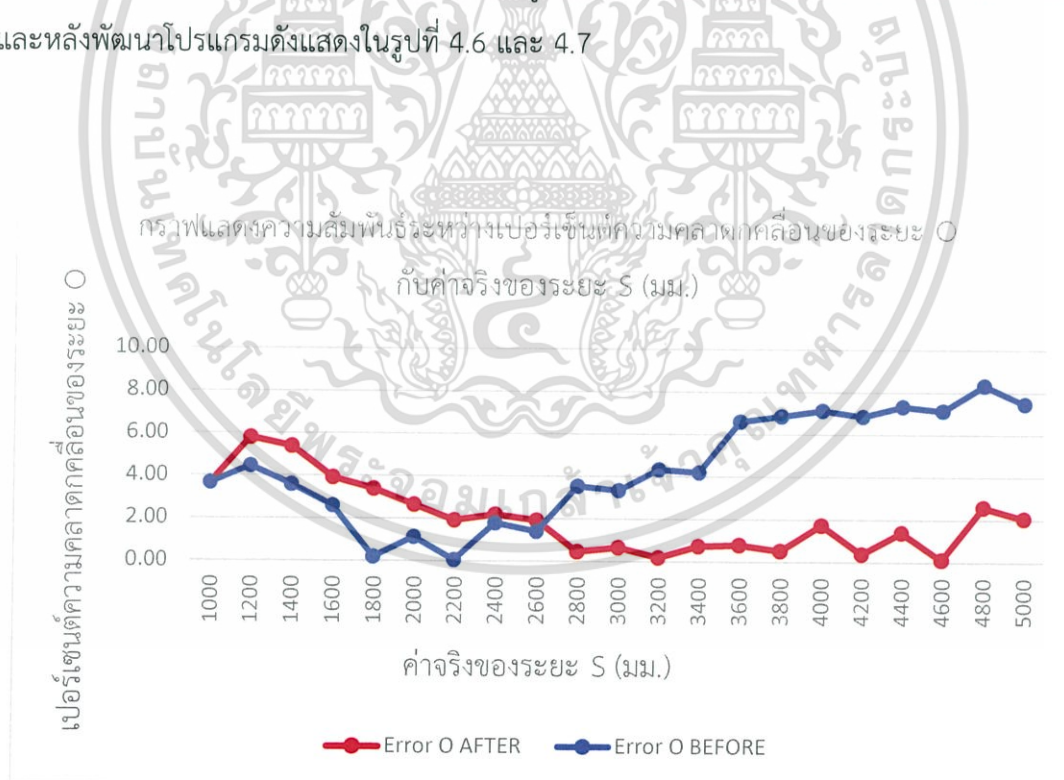
ระยะจริง		ระยะที่ได้จากโปรแกรม		ค่าความคลาดเคลื่อน			
O actual (มม.)	S actual (มม.)	O (มม.)	S (มม.)	Error O (มม.)	Error S (มม.)	%Error O	%Error S
500	1000	481.67	1002.00	18.33	-2.00	3.67	0.20
500	1200	471.00	1169.33	29.00	30.67	5.80	2.56
500	1400	473.00	1373.67	27.00	26.33	5.40	1.88
500	1600	480.33	1578.00	19.67	22.00	3.93	1.38
500	1800	483.00	1787.00	17.00	13.00	3.40	0.72
500	2000	486.67	1979.33	13.33	20.67	2.67	1.03
500	2200	490.33	2194.00	9.67	6.00	1.93	0.27
500	2400	489.00	2382.67	11.00	17.33	2.20	0.72
500	2600	490.33	2599.33	9.67	0.67	1.93	0.03
500	2800	497.67	2790.67	2.33	9.33	0.47	0.33
500	3000	496.67	3001.33	3.33	-1.33	0.67	0.04
500	3200	501.00	3207.33	-1.00	-7.33	0.20	0.23
500	3400	503.67	3408.00	-3.67	-8.00	0.73	0.24
500	3600	504.00	3607.00	-4.00	-7.00	0.80	0.19
500	3800	502.67	3788.33	-2.67	11.67	0.53	0.31
500	4000	508.67	4012.00	-8.67	-12.00	1.73	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ผลการทดลองโปรแกรมโดยใช้ Computer กับกล้อง Webcam หลังจากพัฒนาโปรแกรมแล้ว

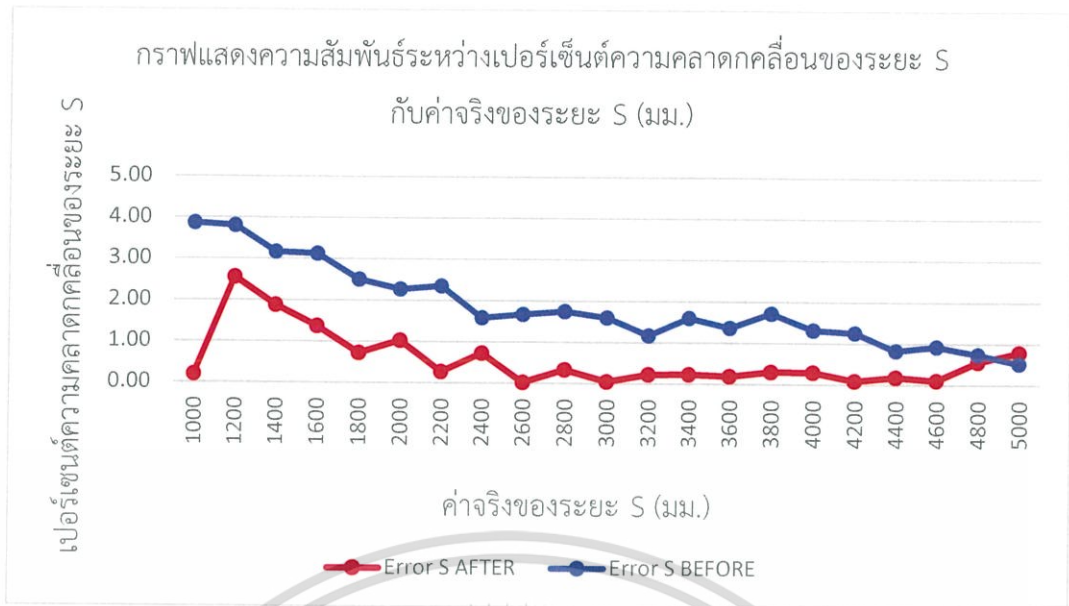
ระยะจริง		ระยะที่ได้จากโปรแกรม		ค่าความคลาดเคลื่อน			
<u>O actual</u> (มม.)	<u>S actual</u> (มม.)	<u>O</u> (มม.)	<u>S</u> (มม.)	<u>Error O</u> (มม.)	<u>Error S</u> (มม.)	<u>%Error O</u>	<u>%Error S</u>
500	4200	502.00	4204.00	-2.00	-4.00	0.40	0.10
500	4400	507.00	4408.33	-7.00	-8.33	1.40	0.19
500	4600	499.33	4605.00	0.67	-5.00	0.13	0.11
500	4800	513.00	4827.00	-13.00	-27.00	2.60	0.56
500	5000	510.33	5039.33	-10.33	-39.33	2.07	0.79

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นรูปแบบกราฟเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังพัฒนาโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า O ก่อนและหลังการพัฒนาโปรแกรมโดยเส้นสีน้ำเงินคือก่อนพัฒนาโปรแกรมและเส้นสีแดงคือหลังพัฒนาโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า S ก่อนและหลังการพัฒนาโปรแกรม โดยเส้นสีน้ำเงินคือก่อนพัฒนาโปรแกรมและเส้นสีแดงคือหลังพัฒนาโปรแกรม

หลังจากการพัฒนาโปรแกรมพบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า O และ S มากที่สุดเท่ากับ 5.80 เปอร์เซ็นต์ และ 2.56 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าก่อนการพัฒนาโปรแกรม

#### 4.4 การทดลองบน Raspberry Pi ในห้องทดลอง

##### 4.4.1 การทดลองโปรแกรมบน Raspberry Pi กับกล้อง Webcam

การทดลองเหมือนกับทดลองบนคอมพิวเตอร์แต่เปลี่ยนเป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก โดยใช้ร่วมกับกล้อง Webcam ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าผลการทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Webcam

ระยะจริง		ระยะที่ได้จากโปรแกรม		ค่าความคลาดเคลื่อน			
O actual (มม.)	S actual (มม.)	O (มม.)	S (มม.)	Error O (มม.)	Error S (มม.)	%Error O	%Error S
500	1000	481.00	1005.33	19.00	-5.33	3.80	0.53
500	1200	470.67	1172.00	29.33	28.00	5.87	2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงค่าผลการทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Webcam

ระยะจริง		ระยะที่ได้จากโปรแกรม		ค่าความคลาดเคลื่อน			
<u>O actual</u> (มม.)	<u>S actual</u> (มม.)	<u>O</u> (มม.)	<u>S</u> (มม.)	<u>Error O</u> (มม.)	<u>Error S</u> (มม.)	<u>%Error</u> <u>O</u>	<u>%Error</u> <u>S</u>
500	1400	470.00	1372.00	30.00	28.00	6.00	2.00
500	1600	475.67	1573.67	24.33	26.33	4.87	1.65
500	1800	475.67	1782.00	24.33	18.00	4.87	1.00
500	2000	478.67	1983.33	21.33	16.67	4.27	0.83
500	2200	482.00	2187.00	18.00	13.00	3.60	0.59
500	2400	483.67	2386.00	16.33	14.00	3.27	0.58
500	2600	485.67	2597.00	14.33	3.00	2.87	0.12
500	2800	488.67	2789.67	11.33	10.33	2.27	0.37
500	3000	493.67	2996.33	6.33	3.67	1.27	0.12
500	3200	492.00	3189.33	8.00	10.67	1.60	0.33
500	3400	494.33	3386.33	5.67	13.67	1.13	0.40
500	3600	491.67	3598.00	8.33	2.00	1.67	0.06
500	3800	498.67	3801.33	1.33	-1.33	0.27	0.04
500	4000	501.00	4005.00	-1.00	-5.00	0.20	0.13
500	4200	500.33	4205.33	-0.33	-5.33	0.07	0.13
500	4400	508.00	4394.00	-8.00	6.00	1.60	0.14
500	4600	496.00	4606.67	4.00	-6.67	0.80	0.14
500	4800	503.00	4831.67	-3.00	-31.67	0.60	0.66
500	5000	507.67	5042.00	-7.67	-42.00	1.53	0.84

#### 4.4.2 การทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Pi Camera Model V2

การทดลองเหมือนกับทดลองบนคอมพิวเตอร์แต่เปลี่ยนเป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก

โดยใช้ร่วมกับกล้อง Pi Camera ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5

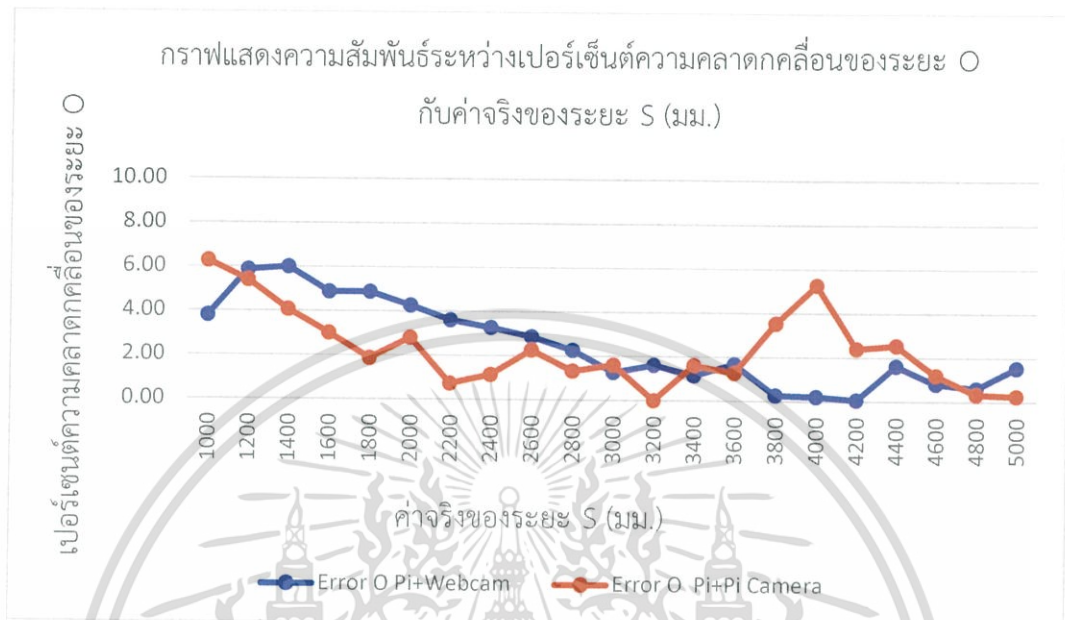
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าผลการทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Pi Camera

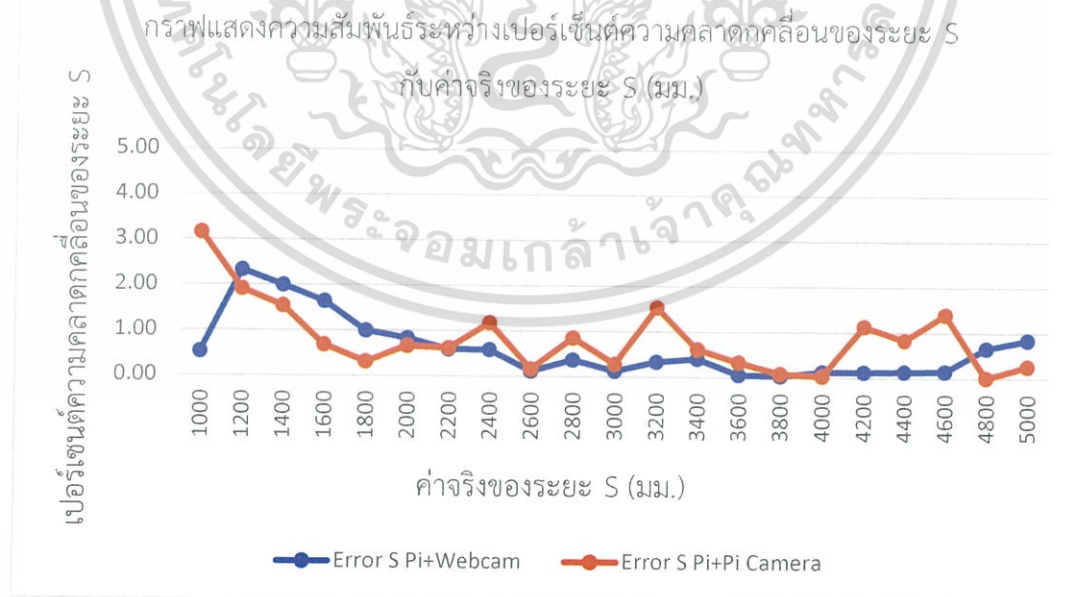
ระยะจริง		ระยะที่ได้จากโปรแกรม		ค่าความคลาดเคลื่อน			
<u>O actual</u> (มม.)	<u>S actual</u> (มม.)	<u>O</u> (มม.)	<u>S</u> (มม.)	<u>Error O</u> (มม.)	<u>Error S</u> (มม.)	<u>%Error O</u>	<u>%Error S</u>
500	1000	468.67	968.33	31.33	31.67	6.27	3.17
500	1200	473.00	1177.00	27.00	23.00	5.40	1.92
500	1400	479.67	1378.33	20.33	21.67	4.07	1.55
500	1600	485.00	1589.00	15.00	11.00	3.00	0.69
500	1800	490.67	1794.33	9.33	5.67	1.87	0.31
500	2000	486.00	1986.67	14.00	13.33	2.80	0.67
500	2200	496.33	2186.33	3.67	13.67	0.73	0.62
500	2400	494.33	2371.67	5.67	28.33	1.13	1.18
500	2600	488.67	2595.67	11.33	4.33	2.27	0.17
500	2800	493.33	2824.00	6.67	-24.00	1.33	0.86
500	3000	492.00	3008.33	8.00	-8.33	1.60	0.28
500	3200	500.00	3249.00	0.00	-49.00	0.00	1.53
500	3400	492.00	3421.00	8.00	-21.00	1.60	0.62
500	3600	493.67	3612.00	6.33	-12.00	1.27	0.33
500	3800	482.33	3803.00	17.67	-3.00	3.53	0.08
500	4000	473.67	3998.67	26.33	1.33	5.27	0.03
500	4200	488.00	4247.67	12.00	-47.67	2.40	1.13
500	4400	487.33	4363.33	12.67	36.67	2.53	0.83
500	4600	494.00	4664.67	6.00	-64.67	1.20	1.41
500	4800	498.33	4799.33	1.67	0.67	0.33	0.01
500	5000	498.67	5013.33	1.33	-13.33	0.27	0.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นรูปแบบกราฟเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของ  
กล้องที่ใช้ร่วมกับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า O ของกล้อง Webcam (สีน้ำเงิน)  
และ กล้อง Pi Camera (สีส้ม) ในห้องทดลอง



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า S ของกล้อง Webcam (สีน้ำเงิน)  
และ กล้อง Pi Camera (สีส้ม) ในห้องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน ในส่วนของกล้อง Webcam เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดของค่า O และ S เท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ และ 2.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กล้อง Pi camera คลาดเคลื่อนที่มากที่สุดของค่า O และ S เท่ากับ 6.27 เปอร์เซ็นต์ และ 3.17 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดของกล้อง Webcam มีค่าน้อยกว่า กล้อง Pi Camera

#### 4.5 การเปรียบเทียบระยะเวลาการประมวลผลของโปรแกรม

การเปรียบเทียบระยะเวลาการประมวลผลของโปรแกรมระหว่างคอมพิวเตอร์ปกติกับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) โดยเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงระยะเวลาการประมวลผลหาค่าตำแหน่งใน 1 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.11 ระยะเวลาการประมวลผลของคอมพิวเตอร์และบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการประมวลผลของคอมพิวเตอร์เฉลี่ยเท่ากับ 0.005 วินาที และระยะเวลาการประมวลผลของบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) เฉลี่ยเท่ากับ 0.108 วินาที ซึ่งคอมพิวเตอร์ระยะเวลาการประมวลผลเร็วกว่าบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กประมาณ 20 เท่า

## 4.6 ผลการทดลองในส่วนขยายพารา

### 4.6.1 การทดลองโปรแกรมบน Raspberry Pi กับกล้อง Webcam ในส่วนขยายพารา

การทดลองเหมือนกับในห้องทดลองโดยใช้บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กร่วมกับกล้อง Webcam แต่ทำการทดลองเพียง 9 ครั้ง โดยยังเข้าใกล้เป้า (S) ครั้งละ 500 มม. ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าผลการทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Webcam ในส่วนขยายพารา

ระยะจริง		ระยะที่ได้จากโปรแกรม		ค่าความคลาดเคลื่อน			
<u>O actual</u> (มม.)	<u>S actual</u> (มม.)	<u>O</u> (มม.)	<u>S</u> (มม.)	<u>Error O</u> (มม.)	<u>Error S</u> (มม.)	<u>%Error O</u>	<u>%Error S</u>
500	1000	495	1027	56	58	11.20	5.80
500	1500	479	1495	21	5	4.20	0.33
500	2000	535	2041	-35	-41	7.00	2.05
500	2500	498	2564	2	-64	0.40	2.56
500	3000	515	3087	-15	-87	3.00	2.90
500	3500	517	3603	-17	-103	3.40	2.94
500	4000	521	4034	-21	-34	4.20	0.85
500	4500	512	4584	-12	-84	2.40	1.87
500	5000	503	5127	-3	-127	0.60	2.54

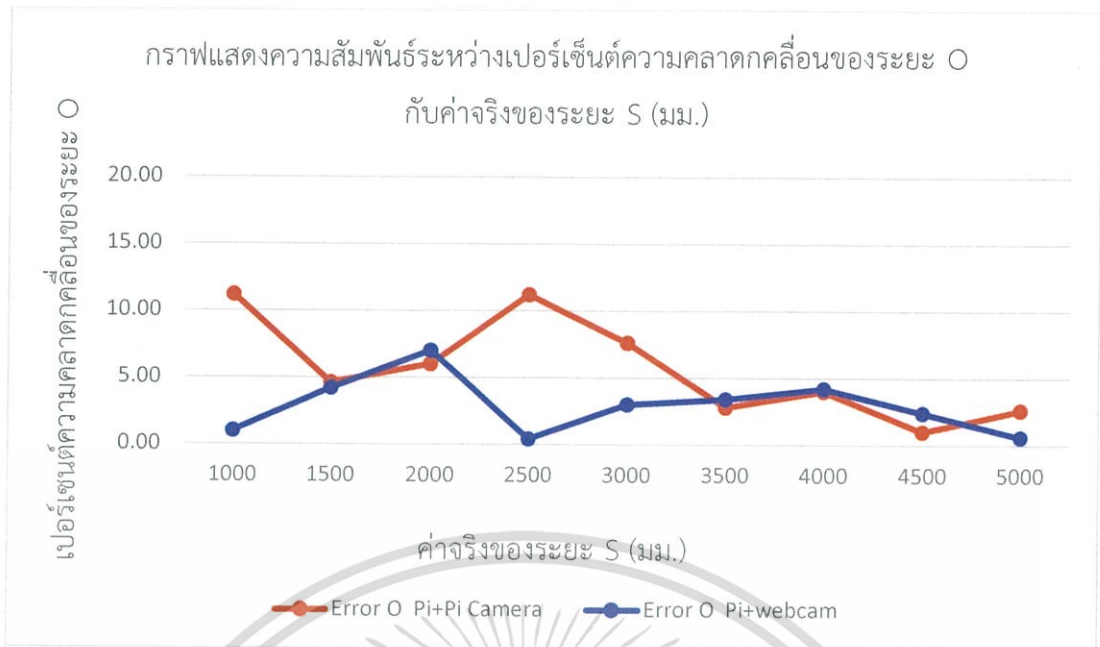
### 4.6.2 การทดลองโปรแกรมบน Raspberry Pi กับกล้อง Pi Camera Model V2 ในส่วนขยายพารา

การทดลองเหมือนกับในห้องทดลองโดยใช้บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กร่วมกับกล้อง Pi Camera แต่ทำการทดลองเพียง 9 ครั้ง โดยขยับเข้าใกล้เป้า (S) ครั้งละ 500 มม. ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

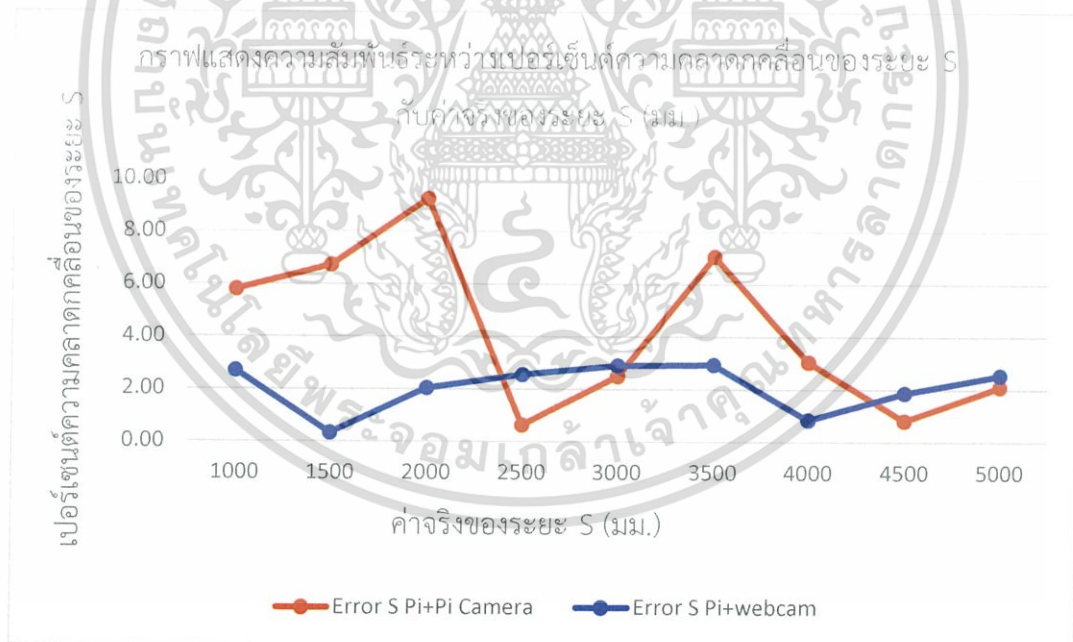
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าผลการทดลองบน Raspberry Pi กับกล้อง Pi Camera ในสวนยางพารา

ระยะจริง		ระยะที่ได้จากโปรแกรม		ค่าความคลาดเคลื่อน			
$O_{actual}$ (มม.)	$S_{actual}$ (มม.)	$O$ (มม.)	$S$ (มม.)	$Error\ O$ (มม.)	$Error\ S$ (มม.)	$\%Error\ O$	$\%Error\ S$
500	1000	444	942	56	58	11.20	5.80
500	1500	477	1399	23	101	4.60	6.73
500	2000	470	2185	30	-185	6.00	9.25
500	2500	444	2516	56	-16	11.20	0.64
500	3000	462	2925	38	75	7.60	2.50
500	3500	514	3747	-14	-247	2.80	7.06
500	4000	520	4122	-20	-122	4.00	3.05
500	4500	495	4537	5	-37	1.00	0.82
500	5000	487	4894	13	106	2.60	2.12

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นรูปแบบกราฟเพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของกล้องที่ใช้ร่วมกับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า O ของกล้อง Webcam (สีน้ำเงิน) และ กล้อง Pi Camera (สีส้ม) บนสวนยางจริง



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า S ของกล้อง Webcam (สีน้ำเงิน) และ กล้อง Pi Camera (สีส้ม) บนสวนยางจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน ในส่วนของกล้อง Webcam เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดของค่า O และ S เท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ และ 2.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กล้อง Pi camera เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดของค่า O และ S เท่ากับ 11.2 เปอร์เซ็นต์ และ 9.25 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดของกล้อง Webcam มีค่าน้อยกว่า กล้อง Pi Camera

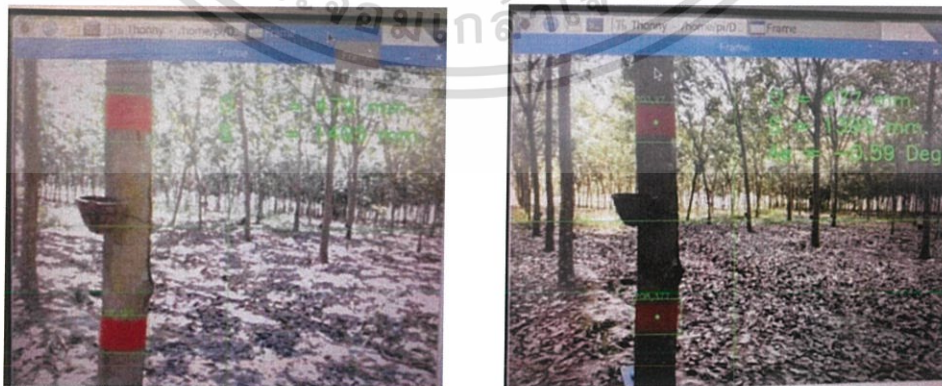
## 4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

### 4.7.1 ระยะเวลาการประมวลผลของอุปกรณ์

จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการประมวลผลของคอมพิวเตอร์กับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) มีความแตกต่างกันมาก แต่ทั้งนี้ความเร็วการประมวลผลของทั้ง 2 อุปกรณ์เพียงพอต่อการสร้างระบบการนำร่องของรถอัตโนมัติในสวนยางบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) จึงเหมาะสมกว่าในการนำไปใช้งาน เนื่องจากบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กใช้พลังงานต่ำ ส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ประมวลผลได้

### 4.7.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของกล้อง

จากผลการทดลองในห้องทดลองและในสวนยางจริงพบว่า กล้อง Webcam มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่ากล้อง Pi camera และ กล้อง Webcam มีการแยกแยะสีและความสว่างของภาพที่ดีกว่ากล้อง Pi camera ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.14 จอแสดงผลของบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กโดยเปรียบเทียบกล้อง Webcam และ กล้อง Pi camera ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

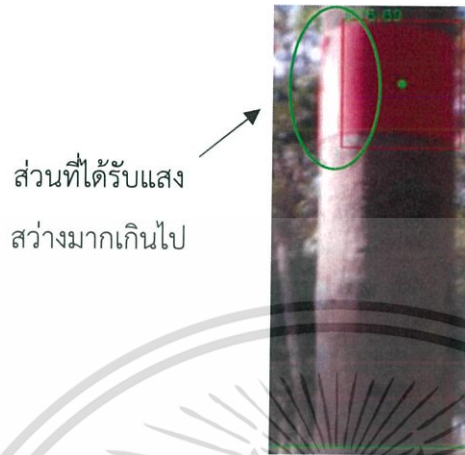
### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จุดประสงค์หลักของการทำโปรเจกต์นี้ คือ เพื่อสร้างต้นแบบระบบการหาตำแหน่งอัตโนมัติโดยใช้กล้องและเป้าที่ทราบขนาดและพิสูจน์ว่าทฤษฎีและข้อสันนิษฐานสามารถนำไปใช้ได้จริง เพื่อนำไปต่อยอดพัฒนาเป็นระบบการนำทางอัตโนมัติของรถยนต์หรือนำไปใช้ร่วมกับระบบอื่นที่มีความจำเป็นต้องใช้ระบบการหาตำแหน่งอัตโนมัติได้ในอนาคต จากการทดลองทั้งในพื้นที่ที่สามารถควบคุมได้และพื้นที่ในสวนยางจริงทางคณะผู้วิจัยได้สรุปได้ว่าความเร็วในการประมวลผลของบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) สามารถนำไปสร้างระบบการนำร่องของรถอัตโนมัติแทนคอมพิวเตอร์ได้ โดยความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งขึ้นอยู่กับกล้องที่ใช้ร่วมกับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry Pi) จากการทดลองพบว่า กล้อง Webcam สามารถนำไปหาตำแหน่งได้แม่นยำกว่ากล้อง Pi camera โดยความคลาดเคลื่อนมีความแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมในการทดลอง ซึ่งระยะทางระหว่างกล้องและหลักของต้นยางพารา (O) จากในห้องทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 5.87% หรือคิดเป็น 29.33 มม. ส่วนในสวนยางพาราค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 11.2% หรือคิดเป็น 56 มม. ซึ่งต่างกันประมาณ 2 เท่า และระยะทางของกล้องตามแนวแกนของต้นยางพารา (S) จากในห้องทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 2.33% หรือคิดเป็น 28 มม. ส่วนในสวนยางพาราค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 5.8% หรือคิดเป็น 58 มม. ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่กล่าวมาอยู่ในระดับที่สามารถนำไปสร้างระบบการนำร่องอัตโนมัติในสวนยางพาราได้ โดยตัวแปรสำคัญที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคลาดเคลื่อนมีหลายประการดังนี้

#### 5.1.1 แสงสว่าง

แสงสว่างในที่ทำการทดลองและสถานที่จริงมีความแตกต่างกันเนื่องจากสถานที่จำลองแสงในห้องทดลองจะเป็นแสงนีออนซึ่งมีความสม่ำเสมอของแสงที่ตกกระทบลงบนเป้าที่คณะผู้วิจัยได้ทำติดไว้กับต้นยางพาราเสมือนซึ่งโปรแกรมสามารถจับสีของเป้าได้ทั้งหมดนั้นหมายถึงเม็ดสีทุกเม็ดของพิกเซลถูกนำมาคำนวณในการหาระยะจึงได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและเที่ยงตรงอย่างมาก แต่ในสถานที่จริงแสงของดวงอาทิตย์ตกกระทบบนเป้านั้นไม่มีความสม่ำเสมอ บางส่วนโดนใบไม้บังแสงแดดตกกระทบลงบนเป้าหมายขณะทำการทดลองทำให้บางส่วนที่ถูกแสงอาทิตย์ตกกระทบเกิดสี

ผิดเพี้ยนทำให้เกิดค่าสีที่อยู่นอกช่วงที่คณะผู้วิจัยกำหนดไว้ทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณหา  
ระยะ O และ S



รูปที่ 5.1 แสดงถึงผลลัพธ์ของเป้าที่ได้รับแสงสว่างมากเกินไป

### 5.1.2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นทางที่ทำการทดสอบ

ลักษณะพื้นผิวภายในห้องทดลองและสถานที่จริงมีความแตกต่างของพื้นที่อย่าง  
สิ้นเชิงพื้นผิวภายในห้องทดลองเป็นพื้นแบบอุดมคติคือ พื้นผิวมีความราบเรียบตลอดเส้นทางการเดิน  
รถ แต่ในสภาพความเป็นจริงในสถานที่จริงเป็นพื้นที่ขรุขระ มีหลุม เนินขึ้นและลง ซึ่งส่งผลทำให้เวลา  
รถเคลื่อนที่ลงหลุมหรือขึ้นเนินนั้นส่งผลให้องศาของกล่องเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นผลทำให้ผลลัพธ์  
ที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรมเกิดความคลาดเคลื่อนจากระยะจริงมากกว่าปกติ

สรุปได้ว่าแสงสว่างของแหล่งกำเนิดแสงมีผลต่อการคำนวณระยะของตัวโปรแกรม  
เนื่องจากโปรแกรมของคณะผู้วิจัยดึงภาพจากเป้าหมายไปคำนวณ เมื่อแสงตกกระทบเป้าหมายด้วย  
แสงสว่างที่มากเกินไปทำให้เม็ดสีของเป้าหมายที่แสดงบนจอภาพผิดเพี้ยน ส่งผลทำให้โปรแกรม  
ตรวจจับได้น้อยลงส่งผลให้การคำนวณระยะเกิดความผิดพลาดเช่นเดียวกับลักษณะพื้นผิวที่มีความ  
ขรุขระ เป็นหลุม เนินหรือบ่อ ซึ่งส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากตัวกล่องที่ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งเดิม  
ตลอดระยะเวลาการทดลอง

### 5.1.3 ขนาดของเป้าหมาย

จากการทดลองภายในห้องทดลองและสถานที่จริงพบว่าขนาดของเป้าหมายมีผลต่อผลลัพธ์การคำนวณที่ได้จากโปรแกรมโดยสรุปได้ว่าเมื่อเป้าหมายมีขนาดเล็กพบว่าการคำนวณเม็ดสีเพื่อแปลงเป็นขนาดความยาวของเป้าหมายนำไปคำนวณหาระยะนั้นมีจำนวนน้อยซึ่งส่งผลให้ความแม่นยำในการหาระยะน้อยตามไปด้วยในทางตรงกันข้ามเป้าหมายขนาดใหญ่ทำให้มีพื้นที่เยอะในการนำเม็ดสีไปคำนวณเพื่อแปลงหาระยะ ซึ่งทำให้การหาระยะมีความแม่นยำสูง

### 5.1.4 การปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อนำมาคำนวณหาระยะ

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ชนิดของภาพมีผลต่อการคำนวณด้วยเช่นกัน เนื่องจากเวลาคำนวณโปรแกรมจะดึงภาพมาเพื่อตรวจจับสีที่ต้องการแล้วคำนวณหาระยะ โปรแกรมคำนวณหลายค่าต่อวินาที ซึ่งเมื่อภาพที่โปรแกรมดึงมาคำนวณมีความคมชัดมาก เมื่อนำมาคำนวณอย่างต่อเนื่อง ค่าผลลัพธ์ระยะที่ออกมาจะมีความเสถียรต่ำ หมายความว่าค่าที่ได้มีการแกว่งอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากภาพที่คมชัดทำให้เม็ดสีถูกแยกกันอย่างชัดเจนทางคณะผู้วิจัยได้ทำการหาวิธีที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมาจะมีความเสถียรมากที่สุดและจากการค้นคว้าทางคณะผู้วิจัยค้นพบว่าทำให้ภาพเบลอนำให้เกิดการความเสถียรของผลลัพธ์มากขึ้น เนื่องจากเมื่อปรับปรุงภาพที่ป้อนเข้าตัวโปรแกรมให้มีความเบลอพื้นที่ที่เป็นเม็ดสีสีแดงจะกระจายเป็นพื้นที่อย่างสม่ำเสมอเมื่อโปรแกรมนำไปคำนวณพื้นที่ที่ได้เกิดความเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งส่งผลทำให้ระยะที่คำนวณออกมาได้นั้นมีความเสถียรมากขึ้น เป็นการปรับปรุงผลลัพธ์ให้ได้ค่าที่เสถียรมากขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง

5.2.1.1 ฐานตั้งกล้องเคลื่อนที่ ด้วยงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดของทางคณะผู้วิจัย การเลือกใช้วัสดุในการทำฐานตั้งกล้องเคลื่อนที่ ต้องคำนึงถึงเรื่องราคา ทำให้วัสดุที่นำมาใช้มีคุณภาพต่ำ ซึ่งส่งผลทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควร วัสดุที่ควรใช้ทำฐานตั้งกล้องควรเป็นวัสดุที่แข็งแรงทนทานและมีตำแหน่งที่แน่นอนในการติดตั้ง ตัวโครงฐานต้องแข็งแรง ที่ป้องกันหรือการหมุนของกล้องที่จะสามารถหมุนด้วยความละเอียดมากกว่านี้เพื่อได้องศาการหมุนของกล้องที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.2 ล้อของฐานควรทำมาจากวัสดุที่มีคุณภาพ สามารถติดตั้งโดยง่ายและตำแหน่งของล้อควรอยู่ในแนวเดียวกัน เพื่อการเคลื่อนที่ที่ที่แม่นยำ

## 5.2.2 สภาพแวดล้อมจริงที่ใช้ในการทำการทดลอง

5.2.2.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการทดลองคือ สภาพแวดล้อมของสวนที่เหมาะสมต่อการทดลองควรเป็นพื้นที่ราบแบนเรียบ ไม่มีเนินหรือหลุม โดยประโยชน์อย่างแรกคือเพื่อง่ายต่อการทำการทดลอง เมื่อสภาพสวนมีความพร้อมที่จะใช้ทำการทดลองจึงจะได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำเพิ่มมากขึ้น อย่างที่สองคือเพื่อง่ายต่อการพัฒนาและปรับปรุงตัวโปรแกรมให้มีความแม่นยำต่อพื้นที่สวนนั้น โดยเฉพาะ เพราะสภาพพื้นที่ของแต่ละสวนมีความแตกต่างกัน มีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข ทั้งในเรื่อง ระยะห่างในการปลูก แสงสว่างหรือสภาพพื้นที่สวน เมื่อพื้นที่มีความแบนราบจึงง่ายต่อการปรับปรุงโปรแกรมและทดลองได้โดยง่าย ซึ่งทำให้มีความรวดเร็วในการดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงโปรแกรม

5.2.2.2 ลักษณะของต้นยางพารา ควรจะเลือกขนาดต้นยางพาราที่มีความใกล้เคียงกับต้นยางพาราเทียมของคนไข้ผู้วิจัยมากที่สุด โดยลักษณะที่ควรเลือก อย่างแรกคือให้เลือกลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นใกล้เคียงกับต้นยางพาราเทียมมากที่สุด อย่างที่สองคือเลือกต้นยางพาราที่มีลำต้นให้ตรงที่สุด เพื่อให้ตัวกล้องสามารถตรวจจับพื้นที่ที่ต้องการได้มากที่สุดซึ่งส่งผลให้การคำนวณระยะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานพัฒนาการการวิจัยการเกษตร(องค์การมหาชน). ความสำคัญของยางพาราต่อเศรษฐกิจและสังคม. 2553.  
[ออนไลน์]: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/history/01-10.php>
- [2] รัตน์ภรณ์ อมรัตน์ไพจิตร และสุดธิดา กรุงไกรวงศ์. การยศาสตร์ในสถานที่ทำงาน. กรุงเทพฯ : บริษัท เรียงสาม กราฟฟิค ดีไซน์ จำกัด. 2544.  
[ออนไลน์]: [http://ergo.engr.tu.ac.th/frameknow/know1\\_3.htm](http://ergo.engr.tu.ac.th/frameknow/know1_3.htm)
- [3] วิไลวัลย์ แก้วตาทิพย์. ปัญหาของเกษตรกรชาวสวนยางพาราในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้. ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 2557.
- [4] Peyman Alizadeh. Object Distance Measurement Using a Single Camera for Robotic Applications. Ontario: Laurentian University, Inc.2015
- [5] Worawut Kunghun. Development of a vision-based mapping in rubber tree orchard. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Inc.2017
- [6] Adrian Rosebrock. Find distance from camera to object/marker using Python and OpenCV, Inc.2015  
[ออนไลน์]: <https://www.pyimagesearch.com/2015/01/19/find-distance-camera-objectmarker-using-python-opencv/>
- [7] Taha Emara. Real-time Distance Measurement Using Single Image, Inc.2018  
[ออนไลน์]: <http://www.emaraic.com/blog/distance-measurement>
- [8] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. การปลูกสร้างสวนยาง. พิมพ์ครั้งที่4. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง. 2532.
- [9] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. กล้องรูเข็ม. 2561.  
[ออนไลน์]: <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B9%87%E0%B8%A1>

- [10] ผศ. พิพิษณ์ สิริศักดิ์. การถ่ายภาพเพื่อการออกแบบนิเทศศิลป์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. 2555.
- [11] ดร.ทวีรัตน์ นวลช่วย. Python Programming. 2545.  
[ออนไลน์]: <https://sites.google.com/site/dotpython/installation>
- [12] Watsan Homsin. Marcus Code, Inc.2015.  
[ออนไลน์]: <http://marcuscode.com/>
- [13] วรณพงษ์ ภัททียไพบูลย์. Python 3. 2558.  
[ออนไลน์]: [https://python3.wannaphong.com/2015/06/opencv-python\\_7.html](https://python3.wannaphong.com/2015/06/opencv-python_7.html)
- [14] คณศ ฤทัยเจริญลาภ. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล. 2557  
[ออนไลน์]: <https://nextsoftwares.wordpress.com/2014/05/22/%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%A7/>
- [15] Alexander Mordvintsev, Abid K. Changing Color spaces, Inc.2013  
[ออนไลน์]: [https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py\\_tutorials/py\\_imgproc/py\\_colorspaces/py\\_colorspaces.html?fbclid=IwAR0J3FAwuqZrijwF9BBi\\_U7lv7lTKJO1lnkgneXTyqnDtLLrYXpVFxu-RjdU](https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_imgproc/py_colorspaces/py_colorspaces.html?fbclid=IwAR0J3FAwuqZrijwF9BBi_U7lv7lTKJO1lnkgneXTyqnDtLLrYXpVFxu-RjdU)
- [16] User: linusg. Setting Camera Parameters in OpenCV/Python, Inc.2018  
[ออนไลน์]: <https://stackoverflow.com/questions/11420748/setting-camera-parameters-in-opencv-python>
- [17] Dimitri van Heesch. Drawing Functions in OpenCV, Inc.2016.  
[ออนไลน์]: [https://docs.opencv.org/3.1.0/dc/da5/tutorial\\_py\\_drawing\\_functions.html?fbclid=IwAR1yv3IMNgHifauwZnBMKw9c6XVDcAK9n2Oocykk7h0yVzKZmSO4uSF1b6l](https://docs.opencv.org/3.1.0/dc/da5/tutorial_py_drawing_functions.html?fbclid=IwAR1yv3IMNgHifauwZnBMKw9c6XVDcAK9n2Oocykk7h0yVzKZmSO4uSF1b6l)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] Thai Easy Elec. **Raspberry Pi**. กรุงเทพฯ : บริษัท วีนิส ซัพพลาย จำกัด. 2561.

[ออนไลน์]: <https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/embedded-electronics-application/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%92%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B9%82%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%9A%E0%B8%99-raspberry-pi-%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2-qt.html>

[19] The Raspberry Pi Foundation. **Hardware specification**. Inc. 2017

[ออนไลน์]: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้