

# การวิเคราะห์ขนาดรุ่มานตามพื้นฐานของ Python

## PUPIL SIZE ANALYSIS BASED ON PYTHON



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M- 060-085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PUPIL SIZE ANALYSIS BASED ON PYTHON



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2023-EN-M- 060-085



**COPYRIGHT 2023**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ขนาดรูمانةตามพื้นฐานของ Python
นักศึกษา	นายณโม นาคน้ำ
รหัสประจำตัว	61601191
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ดร.วิศรุต ศรีรัตน์นะ

### บทคัดย่อ

การตรวจสอบวัดขนาดของรูمانةตา เป็นการตรวจสอบเพื่อศึกษาการขยายและหดตัวของรูمانةตาในสภาพแสงต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของรูمانةตา เนื่องจากรูمانةตาที่ผิดปกติเป็นตัวบ่งชี้โรคต่าง ๆ เช่น รูمانةตาที่เล็กกว่าปกติ เป็นอาการบ่งชี้โรคต่าง ๆ เช่น เนื้องอกในกะโหลกศีรษะ เส้นเลือดในสมองอุดตัน ทั้งยังบ่งชี้อาการรังวงนอน รวมทั้งการนำไปประยุกต์เพื่อลดอุบัติเหตุบนท้องถนนเนื่องจากผู้ขับขี่พักผ่อนไม่เพียงพอทำให้เกิดอาการหลับใหล ในขณะที่ขับขี่ยานพาหนะ เป็นต้น ส่วนรูمانةตาใหญ่กว่าปกติ เป็นอาการบ่งชี้โรคต่าง ๆ เช่น ต้อหินมุมปิดเฉียบพลัน อาการไขสันหลังอักเสบ เป็นต้น โดยการนำทฤษฎีและกระบวนการมาวิเคราะห์แล้วนำไปพัฒนาระบบประมวลผลภาพให้มีประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการตรวจสอบวัดขนาดของรูمانةตาโดยใช้หลักการประมวลผลภาพ รวมถึงการนำทฤษฎีภาพมาเข้าร่วมในการประมวลผลภาพจากกล้องเว็บแคมทั่วไปที่มีราคาต่ำ และการเขียนคำสั่งประมวลผลสำหรับวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PyCharm Community Edition 2020.2.3 เขียนด้วยภาษา Python ในที่นี้การทดลองมีทั้งหมด 40 ขั้นตอน วัดขนาดรูمانةตาทั้งซ้ายและขวา โดยแบ่งความเข้มแสงออกเป็น 4 ระดับ คือ 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 รอบทุกความเข้มแสง มีผู้ร่วมการทดลองมีทั้งหมด 3 คน มีอายุ 14, 28 และ 34 ปี ตามลำดับ จากการทดลองนี้พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการซ้ำค่าเดิมที่ได้จากกระบวนการในการตรวจวัดขนาดรูمانةตา เท่ากับ 0.81 % ในอายุ 34 ปี, 0.69 % ในอายุ 28 ปี และ 0.76 % ในอายุ 14 ปี จากการทดลองนี้และการศึกษาเพิ่มเติมทำให้รู้ได้ว่า รูمانةตาจะมีขนาดที่เล็กลงตามค่าความเข้มแสงที่เพิ่มมากขึ้น ทั้ง 2 ข้างมีขนาดไม่เกิน 1 มิลลิเมตร และเล็กลงอีกตามอายุที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายแบบ เช่น การตรวจขนาดของรูمانةตาที่ผิดปกติ ทำให้สามารถเห็นความผิดปกติที่รูمانةตา นำไปสู่การพบแพทย์เพื่อรักษาที่ทันทั่วทั้ง หรือการตรวจวัดขนาดรูمانةตาที่เล็กลงขณะที่ยังง่วงนอน ทำให้ช่วยป้องกันการหลับในขณะที่ขับรถได้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Pupil Size Analysis Based on Python
Student	Mr.Namo Narknam
Student ID.	61601191
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Witsarut Sriratana

## ABSTRACT

Pupillary measurement is an examination to observe the dilation and contraction of the pupil under different lighting conditions and to detect abnormalities of the pupil. Abnormal pupils can be determined for various diseases, for example, small pupils are a symptom of diseases such as intracranial tumors, blood clots in the brain, and drowsiness. Consequently, the inspection of drowsiness can help reduce road accidents caused by insufficient resting drivers. On the other hand, large pupils are also a symptom of various diseases such as acute angle-closure glaucoma and Meningitis, etc. This thesis presents an inspection of pupil size using image processing and related methods for processing images from a conventional low-cost webcam by using the PyCharm Community Edition 2020.2.3 program written in Python to make the image processing system more efficient. In this study, there were 40 steps of experiment. Both left and right pupils were measured by dividing the light intensity into 4 levels: 100, 200, 300 and 400 lux, and repeating 5 cycles for every light intensity. There were 3 participants in the experiment, aged 14, 28 and 34 years, respectively. From experiment, it can be observed that the repeatability error obtained from the procedure for measuring pupil size was 0.81 % in a 34-years-old participant, 0.69 % in a 28-years-old participant, and 0.76 % in a 14-years-old participant. From experimental analysis, the size of pupils was also observed to decrease by less than 1 mm with increasing light intensity and smaller with increasing age. Therefore, this application can be used for a variety of purposes, such as detecting abnormal pupil size for early treatment or detecting drowsiness from contracting pupils to help prevent falling asleep while driving.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้นมาจาก ความเมตตากรุณาที่ได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือต่าง ๆ จาก รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลการทำปริญญาบัตรที่ได้ให้คำปรึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์และดูแลควบคุมการทำงานอย่างใกล้ชิด ผู้จัดทำมีความรู้สึกซาบซึ้งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและคำสั่งสอนเพื่อนำมาจัดทำปริญญาบัตรนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่ในการศึกษาวิจัย และสนับสนุนอุปกรณ์ในการจัดทำปริญญาบัตร

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ พร้อมกำลังใจที่มีให้กันตลอดการเรียนและการจัดทำปริญญาบัตรที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบคุณ บิดาและมารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการศึกษาค้นคว้ามาซึ่งการจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายณโม นาคน้ำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VIII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ .....	2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์ .....	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ทบทวนวรรณกรรม .....	4
2.2 ขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูمانةตา .....	8
2.3 แสงอินฟราเรด .....	8
2.4 ภาพเกรย์สเกล (Gray Scale) .....	9
2.5 การกรองข้อมูลภาพ .....	10
2.6 เทรชโฮลด์ (Threshold) .....	11
2.7 เส้นเค้าโครง (Contours) .....	12
2.8 สี่เหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ (Bounding Box) .....	13
2.9 การวัดขนาดของรูمانةตา .....	13
บทที่ 3 การออกแบบระบบ และประมวลผล .....	14
3.1 ขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์และโปรแกรม .....	14
3.2 ชุดเครื่องวัดขนาดของรูمانةตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน .....	15
3.3 Block diagram ของเครื่องวัดขนาดของรูمانةตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน .....	16
3.4 อัลกอริทึมและกระบวนการ .....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ฟังก์ชันต่าง ๆ ของโปรแกรม .....	20
3.6 ผู้ที่เข้าร่วมทดลอง .....	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง .....	22
4.1 การแปลงหน่วยฟิสิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตร .....	22
4.2 ผลการทดลองการตรวจวัดขนาดของรูผ่านตาในสภาพแสงที่ต่างกัน .....	24
4.2.1 การทดลองวัดขนาดของรูผ่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100, 200, 300 .....	24
และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี เพศชาย	
4.2.2 การทดลองวัดขนาดของรูผ่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100, 200, 300 .....	32
และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี เพศชาย	
4.2.3 การทดลองวัดขนาดของรูผ่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100, 200, 300 .....	40
และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี เพศหญิง	
4.2.4 การทดลองวัดขนาดของรูผ่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100, 200, 300 .....	48
และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี เพศหญิง	
4.2.5 การทดลองวัดขนาดของรูผ่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100, 200, 300 .....	56
และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี เพศหญิง	
4.2.6 การทดลองวัดขนาดของรูผ่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100, 200, 300 .....	64
และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี เพศหญิง	
4.3 การอภิปรายผลการทดลอง .....	73
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	74
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	74
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย .....	75
5.3 การประยุกต์ใช้งาน .....	75
เอกสารอ้างอิง .....	76
ภาคผนวก .....	77
ภาคผนวก ก. ข้อมูลอุปกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองและ ภาษา Python .....	78
ในการเขียนโปรแกรม PyCharm Community 2020.2.3	
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์ .....	83
ประวัติผู้เขียน .....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูمانةตา .....	8
4.1 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 34 ปี .....	24
4.2 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 34 ปี .....	26
4.3 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 34 ปี .....	28
4.4 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 34 ปี .....	30
4.5 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 34 ปี .....	32
4.6 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 34 ปี .....	34
4.7 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 34 ปี .....	36
4.8 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 34 ปี .....	38
4.9 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 28 ปี .....	40
4.10 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 28 ปี .....	42
4.11 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 28 ปี .....	44
4.12 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 28 ปี .....	46
4.13 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 28 ปี .....	48
4.14 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 28 ปี .....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 28 ปี	52
4.16 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 28 ปี	54
4.17 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 14 ปี	56
4.18 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 14 ปี	58
4.19 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 14 ปี	60
4.20 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 14 ปี	62
4.21 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 14 ปี	64
4.22 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 14 ปี	66
4.23 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 14 ปี	68
4.24 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ ทดลองอายุ 14 ปี	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างระดับสีเทา .....	9
2.2 แสดงตัวอย่างระดับความเข้มสี ขาว-เทา-ดำ ของภาพ Gray scale .....	10
2.3 ตัวอย่างภาพ Gray scale จากการวัดขนาดของรูمانةตาของผู้วิจัย .....	10
2.4 ตัวอย่างภาพ Gaussian Filter จากการวัดขนาดของรูمانةตาของผู้วิจัย .....	11
2.5 ตัวอย่างภาพ Threshold จากการวัดขนาดของรูمانةตาของผู้วิจัย .....	12
2.6 แสดงการทำงานของ Contours .....	12
2.7 แสดงการทำงานของ Bounding Box ของรูمانةตาผู้วิจัย .....	13
2.8 แสดงตัวอย่างในการวัดขนาดรูمانةตาของผู้วิจัย .....	13
3.1 แสดงการเปรียบเทียบการถ่ายรูمانةตาของผู้วิจัยแบบไม่มีอินฟราเรดกับมีอินฟราเรด .....	14
3.2 ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดขนาดของรูمانةตา .....	15
3.3 เครื่องวัดความเข้มแสง (Digital Light Meter) .....	16
3.4 Block diagram ของเครื่องวัดขนาดของรูمانةตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน .....	17
3.5 แผนภูมิของกระบวนการตรวจสอบวัดขนาดของรูمانةตา .....	18
3.6 การแสดงผลพีชจากการประมวลผลขนาดของรูمانةตาของผู้วิจัย .....	19
3.7 แผนภูมิอัลกอริทึมของการประมวลผลภาพ .....	19
3.8 ฟังก์ชันและการทำงาน .....	20
3.9 ฟังก์ชันและการทำงานในส่วน Threshold (1) และ Area (2) .....	20
3.10 ฟังก์ชันและการทำงานในส่วน แสดงผล (3) และ ขนาดรูمانةตา (4) .....	21
4.1 แสดงหน่วยพิกเซลที่วัดได้จากเหรียญ .....	22
4.2 แสดงการเปลี่ยนหน่วยพิกเซลที่วัดได้จากเหรียญเป็นหน่วยมิลลิเมตร .....	23
4.3 แสดงหน่วยพิกเซลที่วัดได้จากรูمانةตาของผู้วิจัย .....	23
4.4 แสดงการเปลี่ยนหน่วยพิกเซลที่วัดได้จากรูمانةตาของผู้วิจัยเป็นหน่วยมิลลิเมตร .....	23
4.5 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....	24
ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.6 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....	25
ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.7 การทดลองวัดขนาดของรูمانةตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....	25
ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....25 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	25
4.9 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....26 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	26
4.10 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....26 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	26
4.11 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....27 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	27
4.12 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....27 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	27
4.13 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....27 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	27
4.14 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....28 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	28
4.15 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....28 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	28
4.16 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....29 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	29
4.17 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....29 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	29
4.18 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....29 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	29
4.19 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....30 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	30
4.20 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....30 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	30
4.21 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....31 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	31
4.23 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	31
4.24 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	32
4.25 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	33
4.26 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	33
4.27 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	33
4.28 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	34
4.29 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	34
4.30 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	35
4.31 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	35
4.32 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	35
4.33 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	36
4.34 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	36
4.35 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ..... ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้แจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....37 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.37 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....37 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.38 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....38 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.39 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....38 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.40 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....39 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.41 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....39 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.42 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....39 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.43 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....40 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.44 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....40 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี	
4.45 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....41 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	
4.46 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....41 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	
4.47 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....41 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	
4.48 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....42 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	
4.49 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....42 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ **xi** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.50 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	43
4.51 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	43
4.52 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	43
4.53 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	44
4.54 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	44
4.55 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	45
4.56 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	45
4.57 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	45
4.58 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	46
4.59 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	46
4.60 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	47
4.61 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	47
4.62 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	47
4.63 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.64 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	48
4.65 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	49
4.66 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	49
4.67 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	49
4.68 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	50
4.69 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	50
4.70 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	51
4.71 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	51
4.72 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	51
4.73 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	52
4.74 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	52
4.75 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	53
4.76 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	53
4.77 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ..... ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.78 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....54 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	54
4.79 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....54 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	54
4.80 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....55 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	55
4.81 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....55 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	55
4.82 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....55 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	55
4.83 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....56 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	56
4.84 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....56 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี	56
4.85 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....57 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	57
4.86 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....57 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	57
4.87 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....57 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	57
4.88 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....58 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	58
4.89 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....58 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	58
4.90 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....59 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	59
4.91 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....59 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ **xiv** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.92 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....59 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.93 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....60 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.94 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....60 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.95 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....61 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.96 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....61 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.97 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....61 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.98 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....62 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.99 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....62 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.100 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....63 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.101 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....63 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.102 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....63 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.103 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....64 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.104 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....64 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.105 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....65 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้vอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.106 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....65 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.107 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....65 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.108 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....66 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.109 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....66 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.110 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....67 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.111 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....67 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.112 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....67 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.113 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....68 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.114 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....68 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.115 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....69 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.116 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....69 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.117 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....69 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.118 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....70 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	
4.119 การทดลองวัดขนาดของรูปร่างตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....70 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.120 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 .....71 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	71
4.121 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 .....71 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	71
4.122 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 .....71 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	71
4.123 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 .....72 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	72
4.124 การทดลองวัดขนาดของรูมันตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 .....72 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี	72
4.125 กราฟแสดงขนาดของรูมันตาของตาขวา .....73	73
4.126 กราฟแสดงขนาดของรูมันตาของตาซ้าย .....73	73
4.127 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการซ้ำค่าเดิม (%) .....82 ของตาข้างขวา	82
4.128 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการซ้ำค่าเดิม (%) .....82 ของตาข้างซ้าย	82

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รูม่านตา (Pupil) มีหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านเข้าสู่ดวงตา เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงมารูม่านตาจะหดเล็กลงทำให้แสงเข้าสู่ดวงตาได้น้อยลง ในขณะที่เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงน้อยรูม่านตาจะขยายใหญ่ขึ้นเพื่อรับแสงเข้าสู่ดวงตา โดยสภาพแวดล้อมปกติรูม่านตาจะเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดตั้งแต่ 2 ถึง 4 มิลลิเมตร และจะมีขนาดเท่า ๆ กันทั้ง 2 ข้าง ขนาดของรูม่านตาที่มีการขยายและหดตัวอย่างผิดปกติเป็นตัวบ่งบอกโรคต่าง ๆ มากมาย มีทั้งที่ส่งผลต่อการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น การเห็นภาพซ้อน หรือจนกระทั่งเป็นอาการบอกร้ายแรง เช่น มีเนื้องอกในบริเวณสมอง โรคที่เกี่ยวข้องกับรูม่านตา เช่น 1) Horner's syndrome [1] มีสาเหตุมาจากความผิดปกติของเส้นประสาทที่บริเวณดวงตาและใบหน้า มีผลให้เห็นภาพซ้อน เสียการทรงตัว หรือ กล้ามเนื้ออ่อนแรง เป็นต้น มีอาการสำคัญคือใบหน้าบริเวณใดบริเวณหนึ่งไม่มีเหงื่อออกหรือออกน้อย รูม่านตาทั้งสองข้างขยายไม่เท่ากันตลอดเวลา 2) Anisocoria ภาวะรูม่านตาต่างขนาด [2] มีสาเหตุมาจาก ดวงตาได้รับกระทบกระเทือน การอักเสบของเส้นประสาทตา หรือเป็นอาการบอกร้ายแรงต่าง ๆ เช่น อาการไขสันหลังอักเสบ เนื้องอกหรือฝีในสมอง เป็นต้น อาการของภาวะรูม่านตาต่างขนาด คือ จะมีขนาดรูม่านตาหดหรือขยายตัวที่ไม่สมส่วนกัน ขยับดวงตาได้ไม่ปกติ เห็นภาพเบลอ หรือภาพซ้อน ปวดศีรษะ เป็นต้น จะเห็นว่าโรคที่ยกตัวอย่างมานั้น จะมีอาการที่เกี่ยวข้องกับการขยายหรือหดรูม่านตาที่ผิดปกติเป็นอาการเบื้องต้น และยังเป็นอาการเพื่อบ่งบอกโรคแทรกซ้อนอื่น ๆ ได้อีกด้วย ดังนั้นถ้าได้รับการตรวจสอบเบื้องต้นได้ก่อน จะทำการรักษาหรือปรึกษาแพทย์ที่เชี่ยวชาญได้ไวยิ่งขึ้น

ในปัจจุบันนั้นการประมวลผลภาพมีความนิยมแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับอย่างมาก เพราะให้ผลลัพธ์ที่แน่นอน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความรวดเร็วและความแม่นยำในการทำงานสูง ซึ่งมีทฤษฎีและหลักการที่นำมาประยุกต์ใช้ในการประมวลผลภาพที่หลากหลาย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน โดยใช้ซอฟต์แวร์ PyCharm community edition 2020.2.3 ที่ใช้เขียนในการประมวลผลด้วยภาษาดิจิตอลด้วยภาษา Python [3]

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวัดขนาดของรูม่านตาโดยใช้หลักการประมวลผลภาพ รวมถึงการนำทฤษฎีภาพมาใช้ในการประมวลผลภาพจากกล้องเว็บแคมทั่วไปที่มีราคาต่ำ และการเขียนคำสั่งประมวลผลสำหรับวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PyCharm community edition 2020.2.3 ในที่นี้การทดลองมีทั้งหมด 40 ขั้นตอน มีการวัดขนาดของรูม่านตาในที่มีแสงสว่าง 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ และผู้เข้าทดลองมีอายุ 14, 28 และ 34 ปี แล้วนำผลไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณออกมาเป็นค่าความแม่นยำเฉลี่ยที่ได้ของกระบวนการตามที่ระบุไว้ในผลการทดลอง

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระบบการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูمانةตา และวิเคราะห์จากการประมวลผลภาพได้
2. เพื่อศึกษาการขยายและหดตัวของรูمانةตาในสภาพแสงต่าง ๆ โดยการนำทฤษฎีและกระบวนการมาวิเคราะห์แล้วนำไปพัฒนาระบบประมวลผลภาพให้มีประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้น
3. เพื่อใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของการขยายและหดตัวของรูمانةตา
4. เป็นการเก็บข้อมูลเชิงสถิติเพื่อนำไปตรวจสอบและพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการวัดขนาดของรูمانةตาให้มีคุณภาพมากขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาระบบการตรวจวัดขนาดของรูمانةตาเพื่อศึกษาการขยายตัวและหดตัวของรูمانةตา โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีแล้วนำมาพัฒนาสร้างเป็นอัลกอริทึมเพื่อตรวจวัดการขยายตัวของรูمانةตา พร้อมทั้งการวิเคราะห์ผลการทดลองบนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ

## 1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานกล้องและตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสม
2. ศึกษาหลักการเขียนอัลกอริทึมและการเลือกใช้ทฤษฎีหรือกระบวนการต่าง ๆ ที่เหมาะสมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ศึกษาการออกแบบและสร้างระบบการตรวจวัดการขยายตัวและหดตัวของรูمانةตาโดยใช้หลักการพื้นฐานทางการประมวลผลภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน
4. ศึกษาและวิเคราะห์ผลจากทดลองพร้อมทั้งแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของระบบในการตรวจวัดการขยายตัวและหดตัวของรูمانةตาในสภาพแสงต่าง ๆ

## 1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้งานกล้องเว็บแคมในการตรวจวัดวัตถุที่มีขนาด หรือ สี ที่แตกต่างกันได้
2. สามารถประยุกต์ใช้งานกล้องเว็บแคมในการตรวจวัดการขยายตัวและหดตัวของรูمانةตาที่ผิดปกติ ทำให้สามารถไปพบแพทย์เพื่อตรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับขนาดของรูمانةตาที่ผิดปกติได้ไวขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยในแต่ละบทมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของการวัดคุณภาพเชิงกายภาพจุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อวัดการขนาดของรูปร่างตาในสภาพแสงต่าง ๆ
- บทที่ 2 กล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎีการประมวลผลภาพ
- บทที่ 3 กล่าวถึงกระบวนการทำงานของระบบการประมวลผลภาพและอัลกอริทึมที่ใช้
- บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการทดลองและการวิเคราะห์ผลในการวัดการขนาดของรูปร่างตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน
- บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์วัดการขนาดของรูปร่างตาในสภาพแสงต่างที่แตกต่างกันต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ มาใช้ร่วมกับกล้องเว็บแคม ในการเขียนอัลกอริทึมเพื่อทำการวัดการขยายและหดตัวของรูمانةตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน

### 2.1 ทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาค้นคว้าได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกันในหลายแขนง มีจุดประสงค์คือการศึกษาการประยุกต์ใช้ งานกล้องเว็บแคมในการวัดการขยายและหดตัวของรูمانةตาโดยนำทฤษฎีและหลักการมาพัฒนาต่อยอดเป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสม ซึ่งปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการในการประมวลผลภาพ ที่หลากหลาย เช่น การศึกษาของ Fa'Iq Raihan กับ Win Ce [4] ได้เสนอระบบตรวจสอบ PCB ด้วย ระบบ Image subtraction method โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ PCB แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) Image Preprocessing คือใช้ Gaussian filter ทำให้ความละเอียดภาพลดลง เพื่อให้ช่วยลด สัญญาณรบกวน ต่อมาแปลงภาพสี (RGB) ไปเป็นภาพสีขาวเทา (Gray scale) เป็นการเตรียมภาพ ก่อนที่จะไปนำภาพไปแยกพื้นที่ที่สนใจ โดยใช้ Threshold ในการแปลงภาพ Gray scale ไปเป็นภาพ ขาวดำ โดยค่า Threshold เป็นค่าที่กำหนดพื้นที่ที่สนใจ และใช้ฟังก์ชัน Dilation และ Erosion ในการปรับแต่งรูปที่ได้จนกว่าจะเป็นที่พอใจของระบบ 2) Defect detection process เริ่มแรกใช้ ฟังก์ชัน absdiff() เพื่อสร้างภาพชั่วคราวขึ้นมา ต่อมาใช้ Blob detection ในการตรวจสอบพื้นที่ที่เร าสสนใจ และใช้ฟังก์ชัน drawKeypoints() เพื่อทำเครื่องหมายรอบ ๆ จุดบกพร่องที่ตรวจเจอ ระบบการ ตรวจสอบ PCB ใช้เวลาในการตรวจสอบตั้งแต่ 0.856 ถึง 2.68 วินาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของ รูปภาพและคุณภาพของภาพ Input มีผลเป็นอย่างมากในการให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีและรวดเร็วขึ้น จากนั้น ได้ทำการศึกษางานวิจัยของ Moritz Kassner, William Patera และ Andreas Bulling [5] ได้นำเสนอวิธีการ Eye tracking แบบเรียลไทม์ โดยได้ออกแบบแว่นตาที่มีกล้องเว็บแคมยึดอยู่ ทำให้ สามารถตรวจจับได้แบบเรียลไทม์ และมีขั้นตอนการจับรูمانةตามีดังนี้ ขั้นแรกจะใช้กล้องเว็บแคมที่มี ระบบอินฟราเรดในการถ่ายภาพ จากนั้นแปลงภาพ RGB ที่ได้จากกล้องเว็บแคมให้เป็นภาพ Gray scale จากนั้นใช้ฟังก์ชัน Canny ในการหาขอบของรูمانةตาต่อมาหาค่า histogram ที่มีสีเข้มสุดและ ใช้ฟังก์ชัน Contour เพื่อแยกพื้นที่ต่าง ๆ ของภาพออกจากกัน ต่อมาใช้ฟังก์ชัน Ellipse fitting กับ Least square sense หาส่วนที่เป็นรูمانةตาที่ใช้ในการ Eye tracking จากนั้นได้ทำการศึกษา งานวิจัยของ Paul viola และ Michael J. Jones [6] ได้นำเสนอเทคนิคการตรวจจับใบหน้าที่มี ความเร็วและถูกต้องในการตรวจจับสูง เทคนิคการตรวจจับใบหน้าของ Viola-Jones เป็นเทคนิคที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับการยอมรับและรู้จักในงานวิจัยเรื่องการตรวจจับใบหน้าเป็นอย่างมาก โดยเทคนิคการตรวจจับใบหน้าของ Paul Viola และ Michael J. Jones มีขั้นตอนดังนี้ 1) ขั้นตอน Haar-like features คือ การเลือกลักษณะเด่นด้วยการตรวจจับ โดยการสร้างรูปเหลี่ยม (Feature) ขนาดเล็กเข้าไปในภาพ เพื่อตรวจหาใบหน้าจากรูปภาพที่นำเข้าไป โดยที่ภาพนี้แสดงถึงผลต่างระหว่างพื้นที่ส่วนสีขาว และส่วนที่เป็นสีดำ ซึ่งรูปเหลี่ยมที่สร้างขึ้นสามารถเปลี่ยนแปลงขนาด และตำแหน่งได้ ใช้สำหรับการตรวจจับลักษณะบนภาพแบบต่าง ๆ 2) Haar-like integral image เป็นเทคนิคการเลือกลักษณะเด่น ด้วยการรวมภาพจุดเล็ก ๆ เข้าด้วยกัน จะประกอบด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยม 2 ประเภทคือ ส่วนที่แรเงา และส่วนที่ไม่ได้แรเงา การหาค่าจำลองรูปแบบของ Haar คือ การหาผลต่างระหว่างความเข้มข้นในส่วนที่แรเงากับส่วนที่ไม่ได้แรเงา จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า Threshold กับขั้ว (Polarity) ที่ใช้ในการตัดสินใจว่าภาพที่รับเข้ามาควรถูกจัดให้เป็นบวก (ภาพใบหน้า) หรือเป็นลบ (ไม่ใช่ภาพใบหน้า) 3) Adaptive Boost หรือ Adaboost เป็นกระบวนการนี้สร้างขึ้นเพื่อใช้เร่งหาตัวจำแนกแบบอ่อนแอ (Weak classifier) และทำการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักที่ทำให้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุดในแต่ละรอบของกระบวนการ เพื่อสร้างตัวจำแนกแบบแข็งแกร่ง (Strong classifier) 4) การสร้างการรวมตัวจำแนกกลุ่ม (Cascade classifier) โดยที่เทคนิคนี้จะนำตัวจำแนกหรือการกรอง (Classifier) หลาย ๆ ตัวต่อกันเป็นลำดับ โดยการจำแนกเลือกเอาเฉพาะลักษณะเด่นที่สำคัญ เช่น ถ้าภาพนั้นถูกจำแนกว่ามีโอกาสเป็นภาพใบหน้า จะถูกส่งต่อไปยังตัวจำแนกตัวถัดไปซึ่งมีความซับซ้อนสูงขึ้นไปตามลำดับ และกล่าวได้ว่ายังมีจำนวนชั้นของตัวจำแนกมากเท่าใด โอกาสที่ภาพจะเป็นใบหน้าจะยิ่งมีมากขึ้น

ในงานวิจัยของ Takehiko Ohno, Naoki Mukawa และ Atsushi Yoshikawa [7] ได้ออกแบบระบบติดตามการจ้องมองของดวงตาในชีวิตประจำวัน โดยมีการตรวจจับรูม่านตามีขั้นตอนดังนี้ ชั้นแรกจะใช้กล้องที่มีระบบอินฟราเรดในการจับถ่ายภาพ ต่อมาจะแยก Segmentation ต่าง ๆ ของรูปออกจากกันเพื่อคำนวณรูปร่างและขอบเขตของรูม่านตา แยกสิ่งรบกวนต่าง ๆ ออกจากรูม่านตา เช่น ขนตา กรอบแว่น เป็นต้น ถัดไปใช้ฟังก์ชัน Threshold เพื่อเปลี่ยนให้ภาพ Gray scale เป็นภาพขาวดำเพื่อที่จะกำหนดให้พื้นที่ที่เราสนใจหรือรูม่านตาเป็นสีขาว และให้พื้นหลัง ,ดวงตา หรือสิ่งที่รบกวนเป็นสีดำตามค่า Threshold ที่กำหนด จากนั้นจะใช้ฟังก์ชัน Ellipse fitting ในการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของรูม่านตาแบบชั่วคราว ต่อมาส่วนขอบของรูม่านตาที่ตรวจเจอที่อยู่นอกรัศมีของจุดศูนย์กลางจะถูกตัดออกเป็นวิธีที่ใช้แยกส่วนของรูม่านตากับสิ่งรบกวนและแยก Purkinje image ออกมาอย่างชัดเจน ต่อมาทำการศึกษางานวิจัยของ Radu Gabriel Bozomitu, Alexandru Păsărică, Vlad Cehan, Cristian Rotariu, Constantin Barabaşa [8] ได้เสนอการตรวจจับดวงตาด้วยฟังก์ชัน Hough transform for circle ชั้นแรกจะใช้การจับภาพด้วยเว็บแคมที่มีระบบอินฟราเรด โดยใช้กรอบแว่นเป็นตัวยึดกล้องเว็บแคมไว้ โดยมีที่วางคางให้กับผู้ถูกทดลอง จะได้ลดการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไม่จำเป็นของผู้ถูกทดลอง ให้สายตาของผู้ถูกทดลองมองจอที่อยู่ห่างออกไป 60 เซนติเมตร ต่อมาใช้ฟังก์ชัน Hough transform for circle ซึ่งเป็นเทคนิคที่เอาไว้เพื่อหารูปทรงวงกลมในรูปภาพที่สามารถกำหนดค่าของรัศมีในการตรวจจับได้ ในการทดลองกำหนดค่าของรัศมีที่ตรวจจับอยู่ในระหว่าง 25 - 35 พิกเซล เพื่อให้มีการตรวจจับที่ง่ายขึ้น แต่ในบางครั้งที่รูม่านตามีการเคลื่อนไหว กระพริบตา หรือมีสิ่งรบกวนที่มากเกินไป จะทำให้ฟังก์ชัน Hough transform for circle ตรวจจับรูม่านตาไม่เจอในบางครั้ง จากนั้นได้ทำการศึกษางานวิจัยของ M. Gabriella Masi, Lorenzo Peretto, Roberto Tinarelli และ Luigi Rovati [9] บทความนี้ศึกษาการวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตา ภายใต้แสงที่มีความถี่หรือสีในรูปแบบต่าง ๆ กัน เพื่อวัดว่าแสงในรูปแบบต่าง ๆ มีผลต่อการขยายหรือหดตัวของขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตา โดยใช้ LED RGB เป็นตัวในการปล่อยแสงในความถี่ต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC 60825 ในการทดลอง และใช้ LED IR ที่ 850 นาโนเมตร ในการช่วยแยกดวงตากับรูม่านตาออกจากกัน และใช้โปรแกรม Labview ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีขั้นตอนในการตรวจจับรูม่านตาดังนี้ ขั้นแรกทำให้ภาพสี RGB เป็นขาวดำโดยใช้วิธี Automatically Threshold เพื่อแยกพื้นที่ของรูม่านตาออกจากรูม่านตา (Iris) ให้ชัดเจน ต่อมาทำการลบพื้นที่ที่น้อยกว่า 20% วิธีนี้จะเป็วิธีที่ทำให้ลบแสงสะท้อนของดวงตาได้ ถัดมาใช้ Sobel filter เพื่อหาขอบของภาพรูม่านตา สุดท้ายใช้ least square circular fitting เพื่อหาค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตาให้แม่นยำที่สุด ต่อมาศึกษางานวิจัยของ Laxmipriya Moharana และ Niva Das [10] ในบทความนี้ได้เสนอการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตา เพื่อวิเคราะห์ผลต่ออารมณ์ต่าง ๆ เช่น ความเครียด วิดกกังวลหรือภาวะซึมเศร้า โดยในบทความนี้จะมีการวิเคราะห์อารมณ์ทั้งหมด 3 อารมณ์ ได้แก่ สุข เศร้า และประหลาดใจ การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตามีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ เริ่มแรกการตรวจจับใบหน้าได้ใช้เทคนิค Haar-like Feature Detection ของ Paul Viola และ Michael J. Jones ในการตรวจจับใบหน้าเป็นเทคนิคที่ทำให้ตรวจจับที่แพร่หลายเป็นอย่างมาก ต่อมาการตรวจจับดวงตาเพื่อกำหนดขอบเขตของการประมวลผลภาพได้ใช้เทคนิค Haar-like feature detection อันเดียวกับการตรวจจับใบหน้า แต่ใช้เพื่อในการตรวจจับดวงตา ถัดไปการตรวจจับรูม่านตาจะใช้วิธีการกำหนดพื้นที่ที่สนใจในรูปภาพ โดยค่า Threshold มีค่า 0 หรือ 255 ทำให้ภาพมีสีขาวหรือดำ จะได้ทำแยกภาพส่วนรูม่านตาที่ต้องการกับพื้นหลังได้ และการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางจะใช้วิธี Least square method เพื่อหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตา จากการศึกษาวิจัยของ Yoshinori Adachia \*, Kei Konishia , Masahiro Ozakia , and Yuji Iwahoria [11] ได้เสนอวิธีวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูม่านตา เพื่อวัดระดับความเข้าใจของผู้เรียนในการเรียนออนไลน์ในวิชาคณิตศาสตร์ โดยมีการจัดกล้องให้อยู่ได้จอคอมพิวเตอร์ตรงกึ่งกลาง และให้มีระยะห่างจากใบหน้าประมาณ 50 เซนติเมตร ในส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมมีขั้นตอนดังนี้ 1) ทำให้ภาพ RGB กลายเป็นภาพ Gray scale 2) ทำให้ฮิสโทแกรมของความสว่างกระจายไปทั่วทั้งภาพ 3) ใช้ฟังก์ชัน Face detection แบบ Haar-like feature detection เพื่อตรวจจับใบหน้า 4) กำหนดพื้นที่ที่สนใจ (Region of interest) เพื่อกำหนดบริเวณที่สนใจของโปรแกรมให้มีขนาดใหญ่กว่าดวงตาเล็กน้อย เพื่อที่เวลาขยับหน้า บริเวณดวงตาจะได้ไม่เคลื่อนออกจากพื้นที่ที่โปรแกรมจะตรวจจับดวงตา 5) ใช้ฟังก์ชัน Eye detection แบบ Haar-like feature detection เพื่อตรวจจับบริเวณดวงตาโดยเฉพาะ 6) แยกองค์ประกอบสีของภาพให้เป็นแบบ Lab color model และรวมองค์ประกอบใหม่ให้เป็นแบบต่าง ๆ เช่น (R, a, b), (G, a, b) และ (B, a, b) เป็นต้น และเปลี่ยนภาพที่ได้เป็นภาพ Gray scale อีกครั้งนี้ สุดท้ายจะทำการตรวจหาวงกลมในการระบุตำแหน่งของรูม่านตาและม่านตา ผู้เรียนที่แสดงอารมณ์อย่างชัดเจน (ดีใจที่ได้ หรือเสียใจที่ไม่ได้) จะทำให้รูม่านตามีการเปลี่ยนแปลง และผู้เรียนที่ไม่แสดงอารมณ์ออกมาจะทำให้ตรวจวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ ต่อมาศึกษาบทความของ รศ.พญ.สุภรัตน์ จริยโกศล , รศ.พญ.ลินดา ธรรมชาติ และ นศพ.ณัฐพรศ โจรณวิไลกุล [12] ในบทความได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับรูม่านตาและโรคที่เกี่ยวกับรูม่านตา โดยรูม่านตาจะมีหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงเข้าสู่ดวงตาของเรา โดยปกติจะมีขนาด 3 – 5 มิลลิเมตร ทั้งสองข้างขนาดเท่ากันหรือต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ลักษณะที่ผิดปกติของรูม่านตามีด้วยกัน 2 แบบ 1) ขนาดของรูม่านตาเล็กผิดปกติ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม 1.1) การได้รับยาหรือสาร เช่น ยาพิโลคาปิน ที่ใช้รักษาต้อหิน สารเสพติดอย่าง ฟีน กัญชา เฮโรอีน ยาแก้ปวดเกินขนาด ยาฆ่าแมลงในกลุ่ม organophosphate เป็นต้น 1.2) Homer Syndrome เกิดจากระบบประสาทซิมพาเทติกผิดปกติ ทำให้รูม่านตาข้างนั้นมีขนาดเล็กลง และเหนือในข้างนั้นออกน้อยลง ทำให้พบว่าม่านตาข้างหนึ่งมีเหงื่อออกได้ แต่ม่านตาอีกข้างหนึ่งไม่มีเหงื่อ นอกจากนี้ตาข้างที่ผิดปกติมีหนังตาบนตก หนังตาล่างยกขึ้น ทำให้ตาดูเล็กลงอีกด้วย 2) ขนาดของรูม่านตาใหญ่ผิดปกติ โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม 2.1) การได้รับยาหรือสารต่าง ๆ เช่น ยาหยอดขยายม่านตา สารกระตุ้น เป็นต้น 2.2) ต้อหินมุมปิดเฉียบพลัน ทำให้ความดันตาสูงเฉียบพลัน ส่งผลให้กล้ามเนื้อม่านตาขาดเลือด รูม่านตาจึงมีขนาดใหญ่ค้าง ไม่ตอบสนองต่อแสง มีอาการปวดตา ปวดศีรษะซีกเดียวกัน ตาแดง ตามัว เป็นภาวะเร่งด่วน ให้รีบไปพบจักษุแพทย์ 2.3) โรคเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 ผิดปกติ เกิดความผิดปกติได้หลายสาเหตุขึ้นกับอายุและโรคประจำตัว เช่น เนื้องอกในสมอง เส้นเลือดโป่งพองกดทับ เป็นต้น

จากการศึกษาข้อมูลวิทยานิพนธ์ต่าง ๆ เราได้เห็นว่าโรคร้ายแรงต่าง ๆ ที่ยกตัวอย่างมานั้น จะมีอาการที่เกี่ยวข้องกับการขยายหรือหดตัวของรูม่านตาที่ผิดปกติเป็นอาการเบื้องต้น และยังเป็นอาการเพื่อบ่งบอกโรคแทรกซ้อนอื่น ๆ ได้อีกด้วย ถ้าสามารถตรวจสอบความผิดปกติขั้นต้นได้ก่อน จะได้ทำการรักษาหรือพบแพทย์ผู้เชี่ยวชาญได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และเราได้ทำการใช้ภาษา Python ในการเขียนโปรแกรมและออกแบบอัลกอริทึม และใช้โปรแกรม PyCharm Community Edition 2020.2.3 ที่ใช้

เขียนในการประมวลผลด้วยภาพ จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการในการประมวลผลภาพต่าง ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้พบว่า หลักการที่จำเป็นและเหมาะสมต่อการนำมาพัฒนาเพื่อเขียนเป็นอัลกอริทึมได้อย่างตรงตามจุดประสงค์ที่เราได้ตั้งเอาไว้ ได้แก่ แสงอินฟราเรด, Gray scale Method, ตัวจำแนก (Classifier), Gaussian Blur, Threshold, เส้นเค้าโครง (Contours) และ bounding box Method เมื่อนำทฤษฎีและหลักการเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกันเราจึงสามารถกำหนดทิศทางในการออกแบบระบบได้อย่างเหมาะสม

## 2.2 ขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตา [13]

จากการศึกษาของ JAMES E. BIRREN, ROLAND C. CASPERSON, และ JACK BOTWINICK ได้ศึกษาขนาดของรูม่านตา จะพบว่าขนาดรูของม่านตาจะมีขนาดลดลงไปตามช่วงอายุ ทั้งในที่สว่างและในที่มืด สามารถแบ่งได้เป็นดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดของรูม่านตาในแต่ละช่วงอายุ

ช่วงอายุ	จำนวนคน	ขนาดเฉลี่ยรูม่านตาในที่สว่าง (มิลลิเมตร)	ขนาดเฉลี่ยรูม่านตาในที่มืด (มิลลิเมตร)
20-29	32	5.11	7.42
30-39	20	4.64	6.72
40-49	25	4.09	5.91
50-59	32	3.77	5.89
60-69	42	3.48	4.78
70-79	36	3.52	5.10
80-89	34	3.42	4.87

## 2.3 แสงอินฟราเรด [14]

รังสีอินฟราเรด (Infrared : IR) หรือรังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.76-1000 um ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่สายตามองไม่เห็นแต่สามารถรับรู้ถึงความร้อนที่เกิดขึ้นได้ โดยรังสีอินฟราเรดมีคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ทุกประการ เช่น การหักเห การสะท้อน การดูดซับ หรือการส่องผ่านตัวกลาง

รังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นได้เป็น 3 ช่วงคือ

1. รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (Short-wavelength infrared: SWIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 1.2-2 mm สามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 4,000-2175 °F (2,204-1,190 °C) ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้สูง ความร้อนผ่านทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกและรวดเร็ว

2. รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นปานกลาง (Mid-wavelength infrared : MWIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 2-4 mm สามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 2,175-857 °F (1,190-458 °C) ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้ต่ำกว่าแบบช่วงคลื่นสั้น

3. รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (Long-wavelength infrared : LWIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 4-6 mm สามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 875-400 °F (458-204 °C) ให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้ต่ำกว่าแบบช่วงคลื่นสั้นและแบบช่วงคลื่นปานกลาง

## 2.4 ภาพเกรย์สเกล (Gray Scale)

ภาพเกรย์สเกลหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ภาพระดับสีเทา คือ ภาพที่มีสีขาว-เทา-ดำ โดยจะมีระดับความเข้มของสีตั้งแต่ 0-255 (8 Bit) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างระดับสีเทา

ภาพ Gray scale จะมีการไล่ระดับความอ่อนแก่ของสีซึ่งอยู่ระหว่างสีขาวและสีดำอย่างต่อเนื่อง โดยที่ค่าแต่ละพิกเซลของภาพจะหมายถึงความเข้มแสงแต่ละตำแหน่งของพิกเซลที่อยู่ในรูประดับสีเทา

ภาพ Gray scale เกิดจากการแปลงภาพสี (RGB) มาเป็นภาพ Gray scale โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (2.1)

$$P = 0.299z + 0.587x + 0.114c \quad (2.1)$$

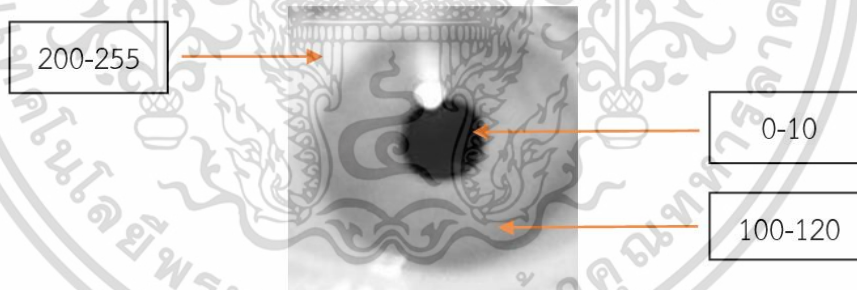
- เมื่อ
- $P$  คือค่าระดับสีเทา ณ จุดพิกเซล ที่เราต้องการหา
  - $z$  คือค่าสีแดง ณ จุด ที่ต้องการหา
  - $x$  คือค่าสีเขียว ณ จุด ที่ต้องการหา
  - $c$  คือค่าสีน้ำเงิน ณ จุด ที่ต้องการหา

โดยขั้นตอนการคำนวณจะหาทีละพิกเซลไปเรื่อย ๆ จนครบทุกพิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 2.2

0	2	15	0	0	11	10	0	0	0	0	9	9	0	0	0
0	0	0	4	60	157	236	255	255	177	95	61	32	0	0	29
0	10	16	115	238	255	244	245	243	250	249	255	222	103	10	0
0	14	170	255	255	244	254	255	253	245	255	249	253	251	124	1
2	95	255	228	255	251	254	211	111	116	122	215	251	238	255	49
13	217	243	255	159	33	226	52	2	0	10	13	232	255	255	36
16	229	252	254	49	12	0	0	7	7	0	70	237	252	235	62
6	141	245	255	212	25	11	9	9	0	115	236	243	255	137	0
0	87	252	250	248	215	60	0	1	121	252	255	248	124	6	0
0	13	115	255	255	245	255	182	181	248	252	242	208	36	0	19
1	0	6	117	251	255	241	255	247	255	241	162	17	0	7	0
0	0	0	4	58	251	255	246	254	253	255	120	11	0	1	0
0	0	0	4	97	255	255	255	248	252	255	244	255	189	10	0
0	22	206	252	246	251	241	100	24	118	255	245	255	194	9	0
0	111	255	242	255	150	24	0	0	6	39	255	232	230	56	0
0	218	251	250	137	7	11	0	0	0	2	62	255	250	128	3
0	173	255	255	101	9	20	0	13	3	13	182	251	245	61	0
0	107	251	241	255	230	88	55	19	115	217	248	253	255	52	4
0	181	148	250	255	247	255	255	255	249	255	240	255	125	0	5
0	0	23	113	215	255	250	248	255	255	248	248	118	14	12	0
0	0	6	1	0	52	153	233	255	252	147	37	0	0	4	1
0	0	5	5	0	0	0	0	0	14	1	0	6	6	0	0

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างระดับความเข้มสี ขาว-เทา-ดำ ของภาพ Gray scale

วิธีการแปลงภาพ RGB เป็นภาพ Gray scale ในขั้นตอนแรกภาพจะอยู่ในระบบปริภูมิสีแบบ RGB ดังนั้นแต่ละพิกเซล ของภาพจะประกอบด้วยค่าของเซตที่แสดงถึง ค่าของ R ค่าของ G และค่าของ B ระบบจะทำการ เปลี่ยนให้เป็นภาพระดับสีขาวเทา เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ง่ายขึ้น เพราะเมื่อแปลงภาพเป็นระดับภาพ Gray scale แล้วจะทำให้แต่ละจุดภาพของภาพจะเหลือเพียงค่าความเข้มของสี มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ภาพ Gray scale ตัวอย่างที่ได้จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างภาพ Gray scale จากการวัดขนาดของรูม่านตาของผู้วิจัย

## 2.5 การกรองข้อมูลภาพ [15]

เป็นกระบวนการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณภาพเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ซึ่งจะมีคุณลักษณะต่างจากภาพเริ่มต้น ตัวกรองที่ใช้จะเป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียน (Gaussian filter) โดยตัวกรองสัญญาณจะทำการลดสัญญาณรบกวนและรายละเอียดภาพลง

ตัวกรองสัญญาณรบกวน Gaussian filter เป็นตัวกรองสำหรับลดสัญญาณรบกวนและลบความคมชัดของรูปภาพ ตัวกรองสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนมีทั้งแบบ 1 มิติ กับ 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกรองสัญญาณรบกวน Gaussian แบบ 1 มิติ ดังสมการ (2.2)

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times \sigma}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $x$  = ค่าตัวแปรในแกน  $x$

$\sigma$  = ค่าส่วนเบี่ยงเบน

ตัวกรองสัญญาณรบกวน Gaussian แบบ 2 มิติ ดังสมการ (2.3)

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $x$  = ค่าตัวแปรในแกน  $x$

$y$  = ค่าตัวแปรในแกน  $y$

$\sigma$  = ค่าส่วนเบี่ยงเบน

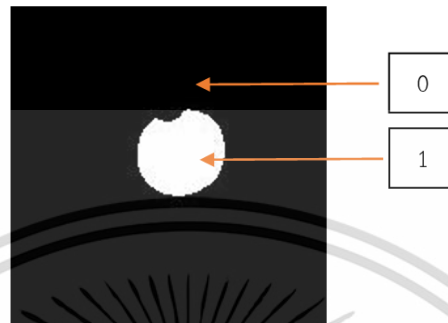
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาพ Gaussian filter จากการวัดขนาดของรูหน้าต่างของผู้วิจัย

## 2.6 เทรชโฮลด์ (Threshold)

Threshold เป็นวิธีการแยกภาพในสิ่งที่สนใจ (Object) ออกจากพื้นหลัง (Background) ด้วยการเปลี่ยนคุณสมบัติของภาพจากภาพสีเทา (Gray scale) ไปเป็นภาพขาวดำ (Binary Image) โดยพื้นที่เป็นวัตถุที่เราสนใจเป็นสีขาวที่มีค่าเท่ากับ 1 และส่วนที่เป็นพื้นหลังเป็นสีดำมีค่าเท่ากับ 0 ดังสมการที่ 2.4 เพื่อที่เราต้องแยกบริเวณในภาพที่เราสนใจออกจากบริเวณที่เราไม่สนใจนั้น เพื่อให้การประมวลผลภาพนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น ประมวลผลได้เร็วขึ้น มีความถูกต้องมากขึ้น ลดความซับซ้อนของโปรแกรมลง เป็นต้น

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if}(x,y) > T \\ 0 & \text{if}(x,y) \leq T \end{cases} \quad (2.4)$$

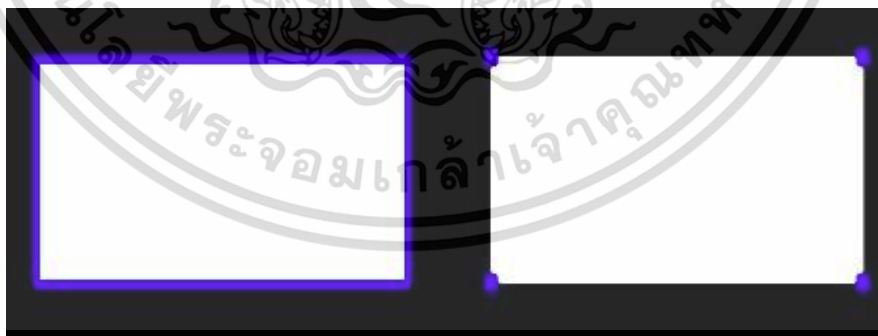
เมื่อ  $g(x,y)$  เป็นข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่งที่  $x,y$   
 $T$  คือค่า Threshold



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างภาพ Threshold จากการวัดขนาดของรูม่านตาของผู้วิจัย

## 2.7 เส้นเค้าโครง (Contours)

Contours คือ เส้นโค้งที่มีจุดเชื่อมต่อกันทั้งหมดที่มีสีหรือความเข้มเท่ากัน มีการหาเส้นเค้าโครงในหลายรูปแบบ เช่น หาเส้นเค้าโครงโดยรอบพื้นที่ หาเฉพาะจุดมุมของพื้นที่ หรือหาเป็นพื้นที่ของบริเวณนั้น ๆ เป็นต้น โดยที่วัตถุ (Object) ที่ต้องการค้นหาต้องเป็นสีขาว และพื้นหลัง (Background) เป็นสีดำ ซึ่งเส้นเค้าโครงนี้จะมีข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์รูปร่างหรือการตรวจจับแบ่งพื้นที่ต่าง ๆ ของภาพ

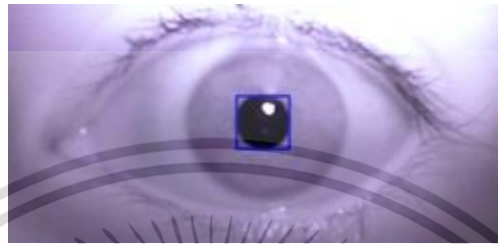


รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของ Contours

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

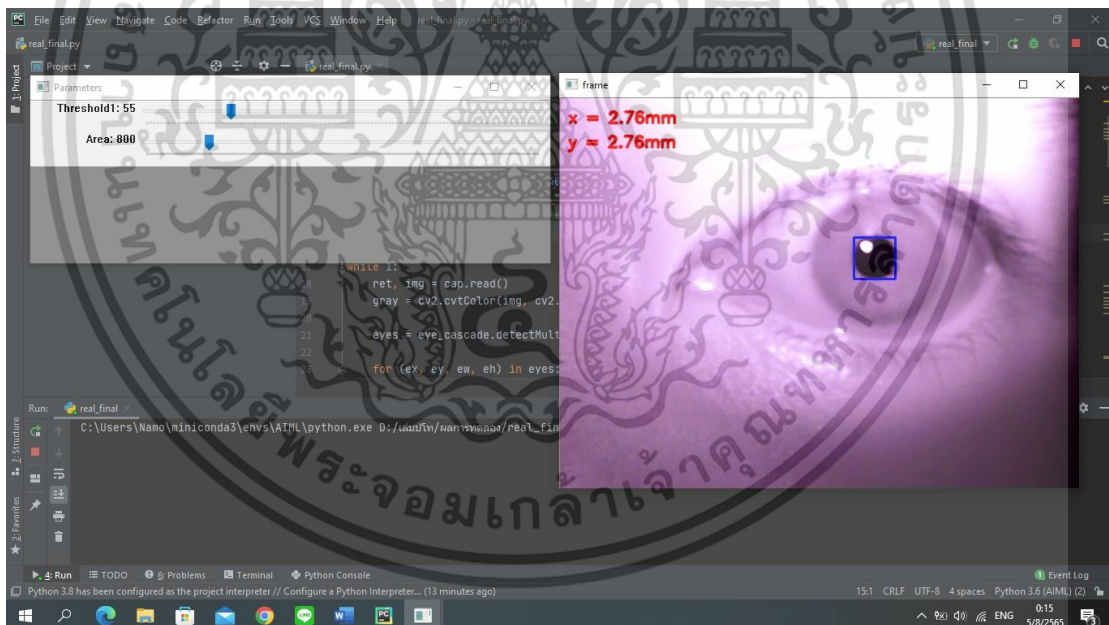
## 2.8 สี่เหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ (Bounding Box) [16]

กล่องสี่เหลี่ยมสำหรับปิดล้อมรอบบริเวณนั้น ๆ หรือบริเวณที่ถูกกำหนด แต่ต้องมีพื้นที่เชื่อมต่อกัน กล่องสี่เหลี่ยมที่ปิดล้อมวัตถุจะบอกพิกัดของมุม 4 มุมของรูปสี่เหลี่ยมปิดล้อมวัตถุ ซึ่งพิกัดนี้จะช่วยในการคำนวณได้หลายอย่าง เช่น จุดศูนย์กลาง พื้นที่ ความยาวแกน x แกน y จุดพิกัดของบริเวณหรือวัตถุในภาพที่สนใจ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของ Bounding Box ของรูม่านตาผู้วิจัย

## 2.9 การวัดขนาดของรูม่านตา



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างในการวัดขนาดรูม่านตาของผู้วิจัย

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่ารูม่านตาถูก Bounding Box ตรวจจับแล้วล้อมกรอบไว้ จากนั้นโปรแกรมจะทำวัดขนาดของรูม่านตา แล้วแสดงผลออกมาในรูปแบบแกน x และแกน y เราสามารถปรับขนาดของ Bounding Box ได้ตามค่า Threshold เพื่อเป็นการตรวจเช็คขนาดของรูม่านตาที่ถูกต้องได้ เอกสารนี้ถูกเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

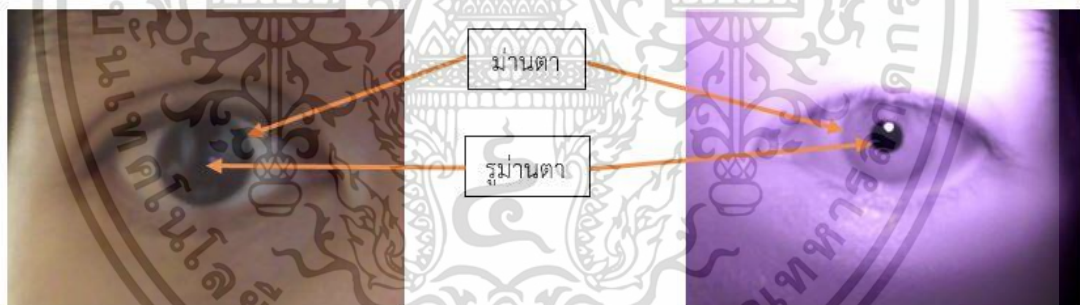
### การออกแบบระบบ และประมวลผล

การดำเนินงานวิจัยในหัวข้อการวัดขนาดของรูม่านตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน ได้ทำตามมาตรฐานโดยอ้างอิงตามบทที่ 2 ที่ได้กล่าวไปแล้วมาใช้ในการทดลอง ในการประมวลผลภาพด้วยอัลกอริทึมได้ทำการออกแบบระบบด้วยประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคม OKER 088 และโปรแกรม PyCharm Community Edition 2020.2.3 ด้วยภาษา Python จากนั้นทำการทดลองการตรวจวัดขนาดของรูม่านตา

#### 3.1 ขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์และโปรแกรม

##### 3.1.1 การเลือกเว็บแคม

กล้องเว็บแคม OKER 088 ที่มีระบบอินฟราเรดที่สามารถเปิดปิดได้ แสงอินฟราเรดทำให้สามารถแยกส่วนของม่านตากับรูม่านตาออกได้อย่างชัดเจน ทำให้ตรวจจذبรูม่านตาทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังแสดงในรูป 3.1 จะเห็นว่าถ้าปิดระบบอินฟราเรดแล้ว จะทำให้กล้องเว็บแคมไม่สามารถถ่ายภาพของรูม่านตาได้ชัดเจน



ก) ไม่มีอินฟราเรด

ข) มีอินฟราเรด

รูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบการถ่ายภาพรูม่านตาของผู้วิจัยแบบไม่มีอินฟราเรดกับมีอินฟราเรด

ก) ไม่มีอินฟราเรด

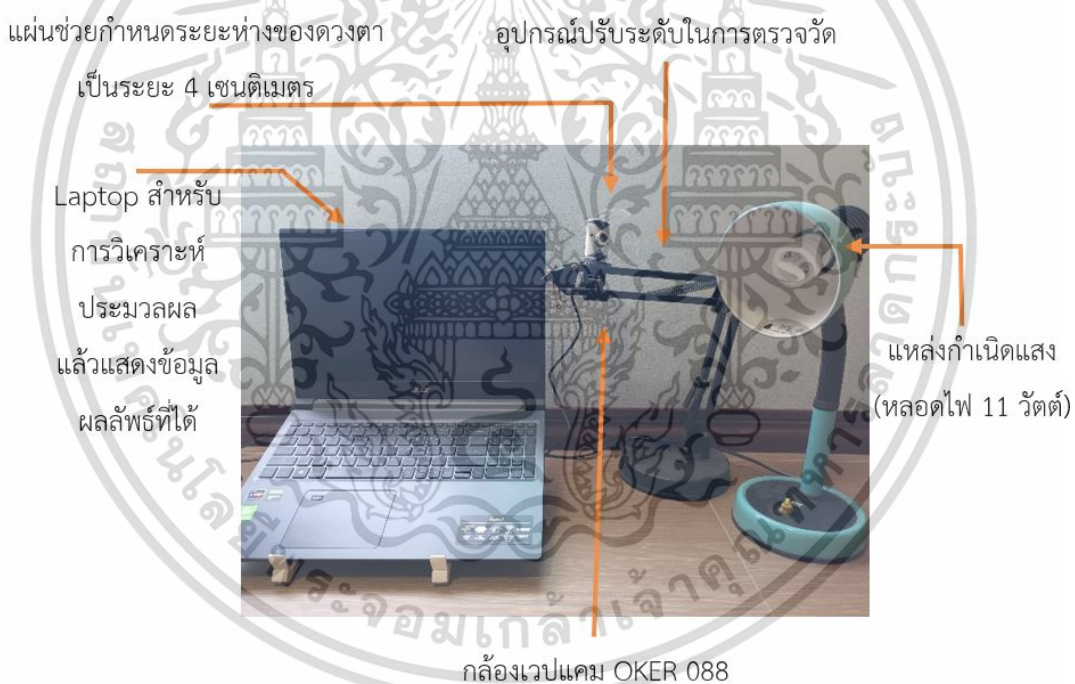
ข) มีอินฟราเรด

### 3.1.2 การเลือกใช้โปรแกรม PyCharm และ Python language

ภาษา Python เป็นภาษาที่มีการพัฒนาระบบ OpenCV เพื่อไว้ใช้ในการทำ image processing เช่น การตรวจจับขอบภาพ การตรวจจับสี การแปลงสีของภาพ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับแบบต่าง ๆ เช่น ระบบจดจำใบหน้า ระบบตรวจจับวัตถุ ระบบตรวจจับสี เป็นต้น อีกทั้งยังไปประยุกต์ใช้กับวีดิโอภาพเคลื่อนไหว หรือการตรวจจับแบบเรียลไทม์ได้ด้วย

โปรแกรม PyCharm เป็น IDE (Integrated Development Environment) ที่ใช้ในการหัดเขียนภาษา Python เป็นโปรแกรมที่ใช้ได้ง่าย สามารถใช้งานได้หลายภาษานอกจาก Python ได้อีกด้วย เช่น C#, Java และ C++ เป็นต้น และยังเปิดให้ใช้ได้ฟรี ทำให้เหมาะกับผู้ที่เริ่มต้นการฝึกเขียนโปรแกรม

### 3.2 ชุดเครื่องวัดขนาดของรูม่านตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดขนาดของรูม่านตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

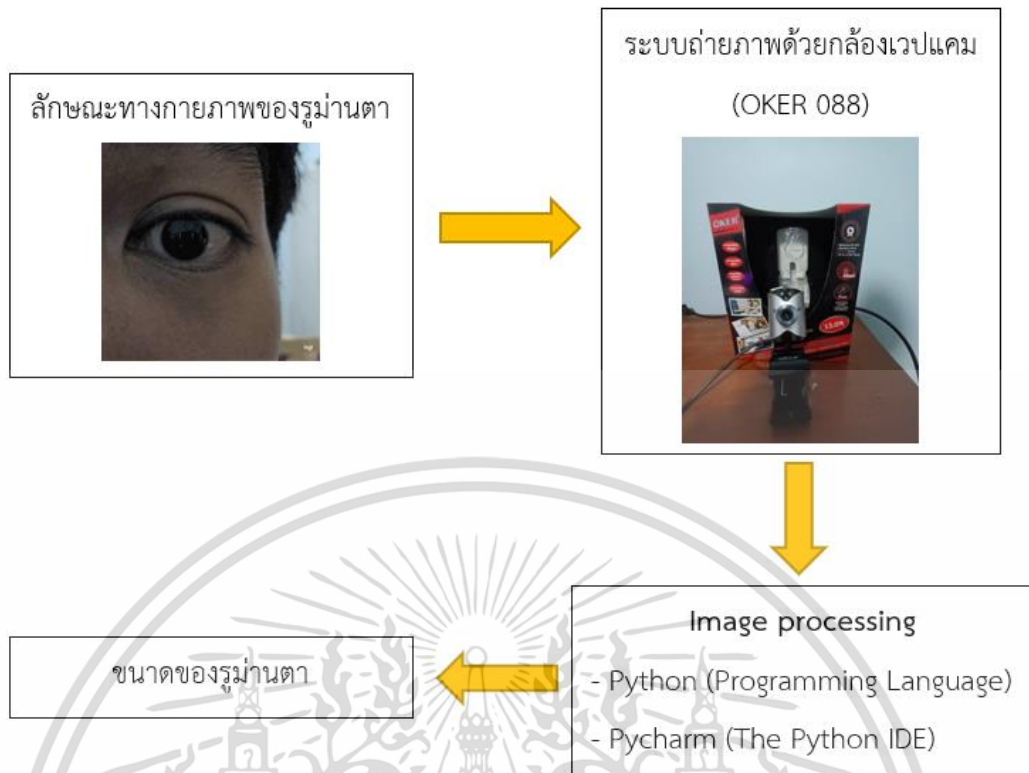


รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความเข้มแสง (Digital Light Meter)

ชุดเครื่องวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยกล้องเว็บแคม OKER 088 โดยกล้องเว็บแคมรุ่นนี้สามารถเปิดปิดระบบแสงอินฟราเรดได้ แสงอินฟราเรดจะช่วยให้รูม่านตา แยกออกจากม่านตา ได้ชัดเจนขึ้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง เครื่องวัดความเข้มแสง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เพื่อวัดค่าความเข้มแสงที่มีผลต่อการขนาดตัวและหดตัวของรูม่านตา อุปกรณ์ปรับตำแหน่งของกล้องเว็บแคม แหล่งกำเนิดแสง และ Laptop เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประมวลผลแล้วแสดงข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้

### 3.3 Block diagram ของเครื่องวัดขนาดของรูม่านตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน

ในการทำงานจะเริ่มจากการจัดลักษณะของตัวผู้ทดลอง ให้นำหน้าผากชนกับแผ่นช่วยกำหนดระยะและให้ตามองตรงเข้าไปที่กล้องเว็บแคม จากนั้นส่งไฟไปให้กระทบกับดวงตาตามความเข้มแสงที่กำหนด เมื่อกล้องเว็บแคมทำการจับภาพเรียบร้อยแล้วจะส่งข้อมูลภาพไปประมวลผลผ่านโปรแกรม PyCharm บน laptop แล้วแสดงข้อมูลขึ้นทางจอ LCD เมื่อประมวลผลเสร็จสิ้นระบบก็จะแสดงผลลัพธ์ของขนาดของรูม่านตาออกมา ดังแสดงในรูปที่ 3.4



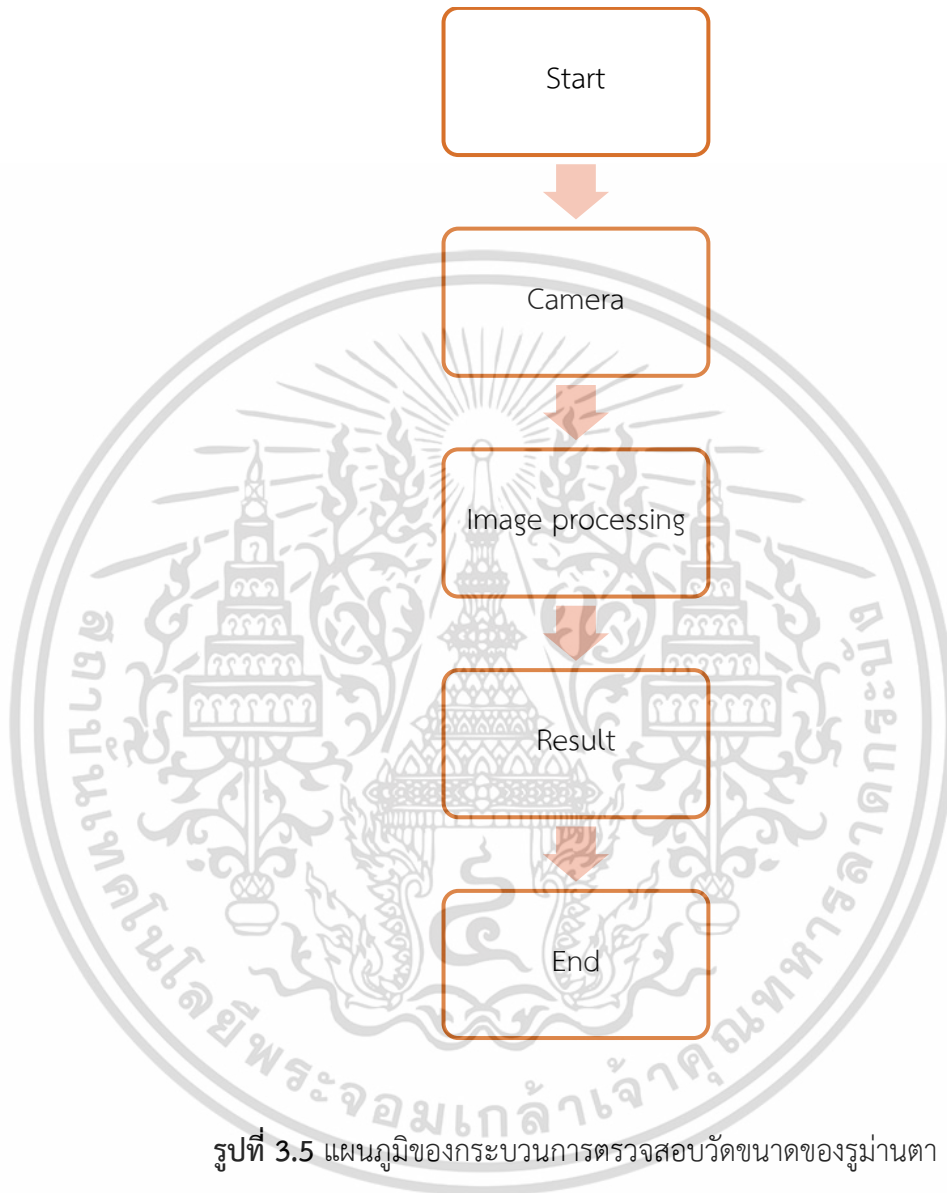
รูปที่ 3.4 Block diagram ของเครื่องวัดขนาดของรูม่านตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน

### 3.4 อัลกอริทึมและกระบวนการ

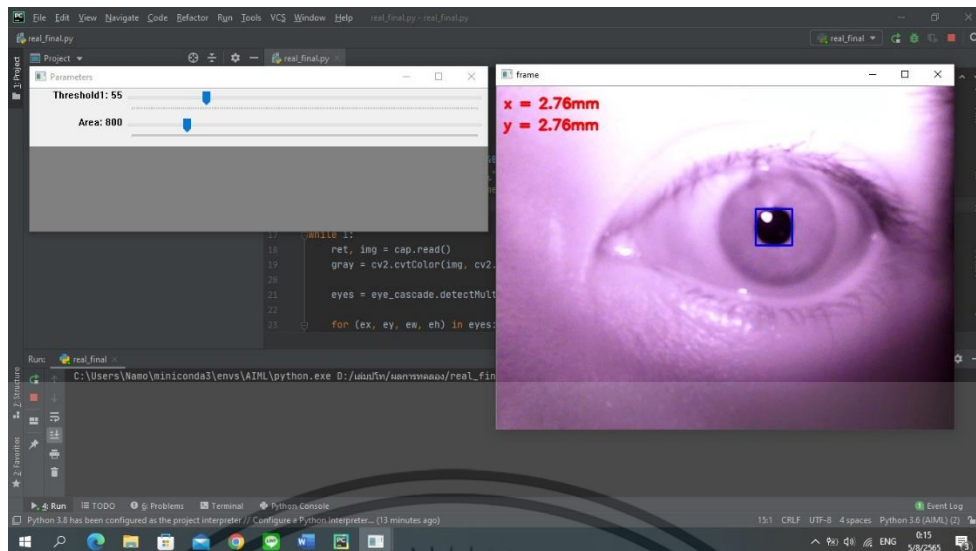
กระบวนการจะมีขั้นตอนการทำงานโดยเมื่อเริ่มการทำงานกล้องเว็บแคมจะทำการจับภาพดวงตาจากนั้นก็ส่งข้อมูลภาพไปให้กระบวนการ Image processing ถ้าระบบตรวจเจอรูม่านตาจะทำเครื่องหมายกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบ เพื่อทำการวัดขนาดของรูม่านตา เมื่อกระบวนการ Image processing ทำการตรวจสอบเรียบร้อยแล้วก็จะเข้าสู่กระบวนการแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และแสดงผลลัพธ์ออกมาในมุมมองของหน้าต่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ในส่วนของกระบวนการ Image processing คือการเขียนคำสั่งอัลกอริทึม ในการประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม PyCharm Community Edition 2020.2.3 โดยการทำงานจะเริ่มเมื่อกำลังเว็บแคมได้ทำการจับภาพแล้วส่งข้อมูลมายังส่วนของกระบวนการ Image processing เมื่อกระบวนการ Image processing ได้รับข้อมูลภาพจะเริ่มทำการกำหนดพื้นที่ที่สนใจด้วย Eye detection ให้โปรแกรมสนใจแต่บริเวณรอบ ๆ ดวงตา จากนั้นแปลงภาพ RGB เป็นภาพ Gray scale ด้วย Grayscale Method ต่อมาจะทำการเบลอภาพด้วยวิธี Gaussian blur ขั้นตอนต่อมาภาพจะถูกเปลี่ยนเป็นภาพขาวดำด้วยกระบวนการ Binary Method เพื่อทำการแยกแยะหว่างม่านตาและรูม่านตาออกจากกันให้ชัดเจน จากนั้นทำการคำนวณหาพื้นที่ด้วยฟังก์ชัน Contours area เพื่อกำหนดพื้นที่ที่จะนำไปวิเคราะห์ข้อมูลภาพ ต่อมา จะทำการตรวจจับรูม่านตาในภาพด้วย Blob detection method เพื่อทำการติกรอบสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

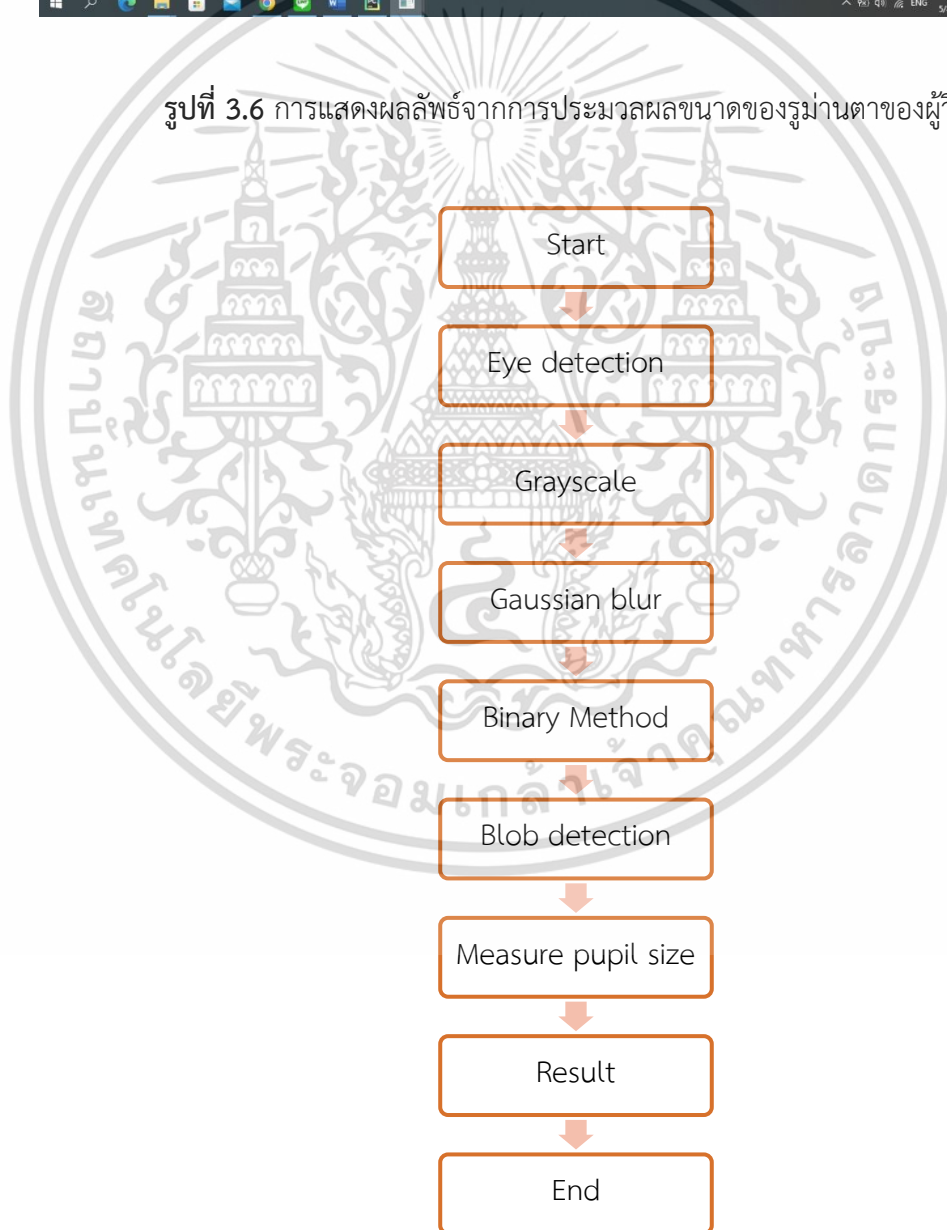
บริเวณรอบของรุ่ม่านตา ต่อมาทำการคำนวณหาขนาดของรุ่ม่านตาด้วยความยาวด้านของกรอบสี่เหลี่ยม เสร็จแล้วทำการแสดงผลออกมาที่มุมซ้ายบนของหน้าต่าง และระบบจะบันทึกค่าอัตโนมัติ เมื่อด้านของกรอบสี่เหลี่ยมมีขนาดเท่ากัน ดังแผนภูมิที่แสดงในรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การแสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลขนาดของรูม่านตาของผู้วิจัย

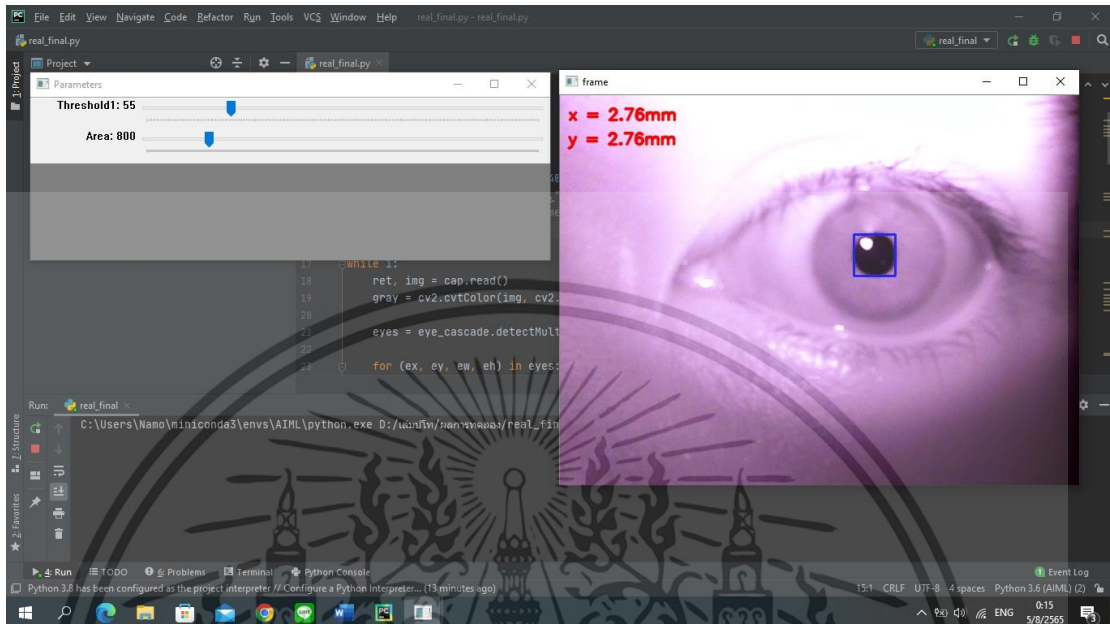


รูปที่ 3.7 แผนภูมิอัลกอริทึมของการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้การเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 ฟังก์ชันต่าง ๆ ของโปรแกรม

ในหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม PyCharm จะสามารถแบ่งการทำงานและฟังก์ชันเป็นทั้งหมด 4 ส่วน ดังรูปที่ 3.8 – 3.10 ตามลำดับ

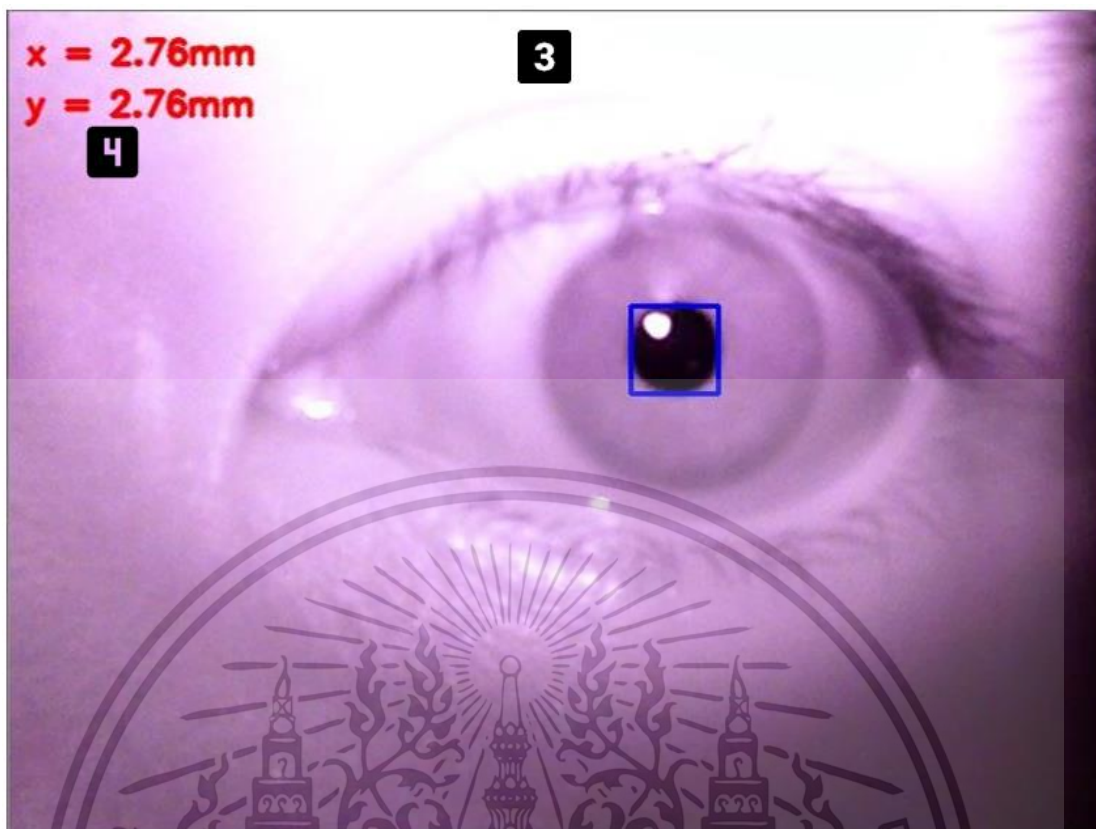


รูปที่ 3.8 ฟังก์ชันและการทำงาน



รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันและการทำงานในส่วน Threshold (1) และ Area (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ฟังก์ชันและการทำงานในส่วน แสดงผล (3) และ ขนาดรูม่านตา (4)

ในส่วนของ Threshold (1) และ Area (2) คือ แถบฟังก์ชันสำหรับอินพุตข้อมูลที่เราต้องการในการวัดขนาดของรูม่านตา สามารถอธิบายได้ดังนี้

ส่วน Threshold (1) คือส่วนที่เราแสดงตั้งค่าการทดลองของค่า Threshold โดยมีค่า Threshold อยู่ที่ 0 - 255

ส่วน Area (2) คือส่วนที่เราแสดงตั้งค่าการทดลองของ Area ได้ Max area คือขอบเขตของพื้นที่สูงสุดในการทำการทดลอง Min area คือขอบเขตของพื้นที่ต่ำสุดในการทำการทดลอง

ส่วน แสดงผล (3) คือส่วนการแสดงผลภาพขณะทำการทดลอง

ส่วน ขนาดรูม่านตา (4) คือส่วนการแสดงผลวิธีในการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตา

### 3.6 ผู้ที่เข้าร่วมทดลอง

ผู้ที่เข้าร่วมวิจัยได้รับการอธิบายวัตถุประสงค์ในงานวิจัย วิธีการทดลอง และได้ให้การยินยอมให้ทำการวิจัย เก็บตัวอย่างเพื่อใช้ในงานวิจัย โดยมีผู้ร่วมวิจัย 3 คน

1. เพศชาย อายุ 34 ปี
2. เพศหญิง อายุ 28 ปี
3. เพศหญิง อายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการวัดขนาดของรูปร่างตาในสภาพแสงที่แตกต่างกัน ที่ประยุกต์ใช้งานกล้องเว็บแคม OKER 088 ร่วมกับโปรแกรม PyCharm Community Edition 2020.2.3 โดยมีเงื่อนไขคือสภาพของแสงที่ 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ ซึ่งในการทดลองจะมีผู้ร่วมการทดลองทั้งหมดรวม 3 คน และมีขั้นตอนในการทดลองทั้งหมด 40 ขั้นตอน โดยมีอายุ 14, 28 และ 34 ปี

#### 4.1 การแปลงหน่วยพิกเซลเป็นหน่วยมิลลิเมตร

เนื่องจากค่าขนาดของรูปร่างตาที่ตรวจวัดได้ในตอนแรกจะมีหน่วยเป็นพิกเซล ผู้วิจัยจึงต้องเปลี่ยนหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยทำการเทียบจากการจับภาพเหรียญ 1 บาท จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าหน่วยพิกเซลที่วัดได้มีค่า 330 พิกเซล โดยที่เหรียญ 1 บาทมีขนาดมาตรฐาน 20 มิลลิเมตร จะทำให้มีค่าเท่ากับ 330 พิกเซล หรือ 1 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ 16.5 พิกเซล จากนั้นเปลี่ยนค่าขนาดหน่วยพิกเซลที่จับเหรียญ 1 บาทได้เป็นหน่วยมิลลิเมตรดังรูปที่ 4.2 จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงหน่วยพิกเซลที่จับดวงตาเป็นหน่วยมิลลิเมตรดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



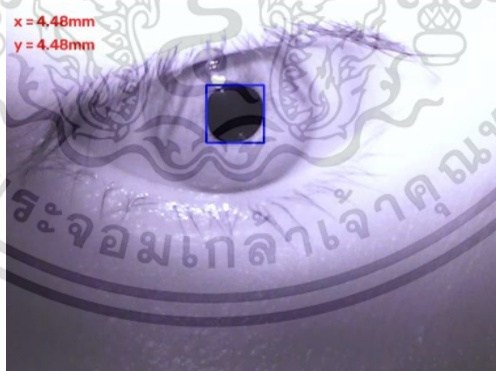
รูปที่ 4.1 แสดงหน่วยพิกเซลที่วัดได้จากเหรียญ



รูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนหน่วยพิกเซลที่วัดได้จากเหรียญเป็นหน่วยมิลลิเมตร



รูปที่ 4.3 แสดงหน่วยพิกเซลที่วัดได้จากรูม่านตาของผู้วิจัย



รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนหน่วยพิกเซลที่วัดได้จากรูม่านตาของผู้วิจัยเป็นหน่วยมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

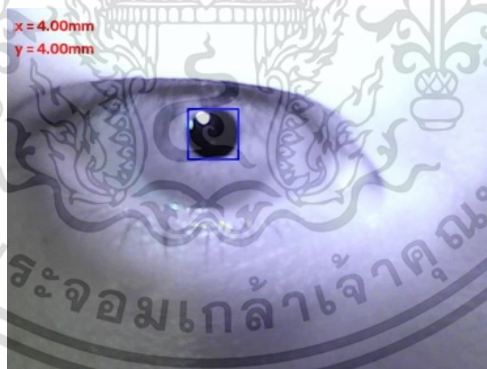
## 4.2 ผลการทดลองการตรวจวัดขนาดของรูม่านตาในสภาพแสงที่ต่างกัน

4.2.1 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์  
วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี เพศชาย

ตารางที่ 4.1 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี

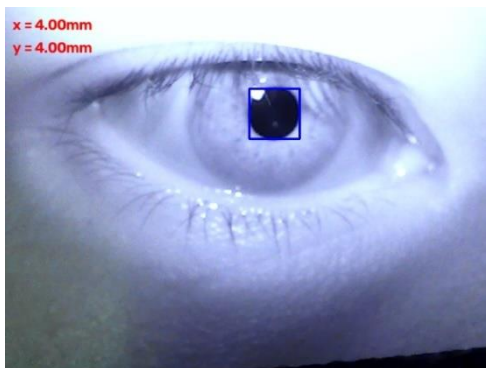
จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถ ในการซ้ำค่าเดิม (%)
1	4.00	0.30
2	4.00	0.30
3	4.06	1.20
4	4.00	0.30
5	4.00	0.30
เฉลี่ย	4.012	0.48%

4.2.1.1 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5-4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

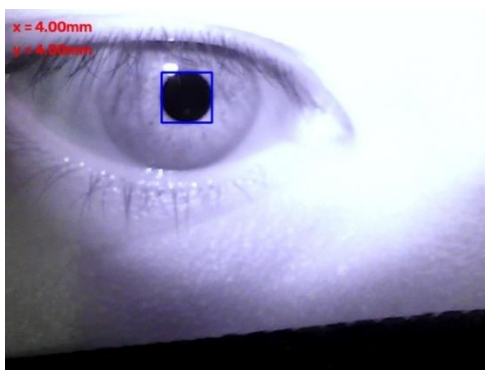


รูปที่ 4.7 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี



รูปที่ 4.8 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

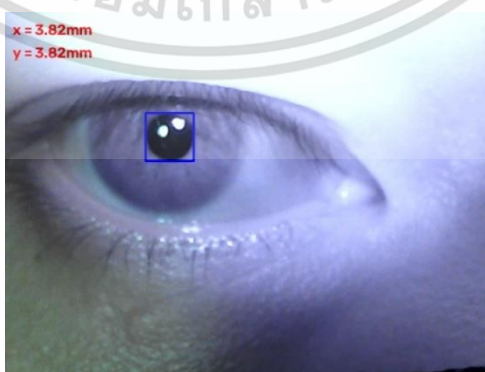


รูปที่ 4.9 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

ตารางที่ 4.2 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี

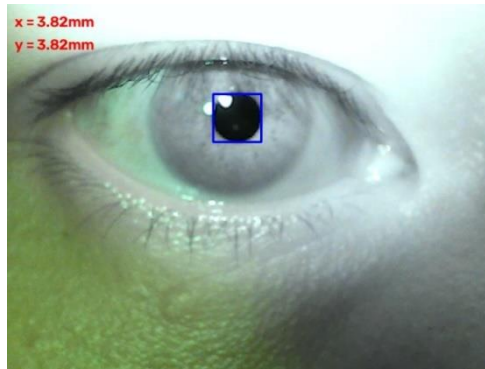
จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	3.82	1.59
2	3.82	1.59
3	3.76	0
4	3.70	1.59
5	3.70	1.59
	เฉลี่ย 3.76	1.272%

4.2.1.2 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10-4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

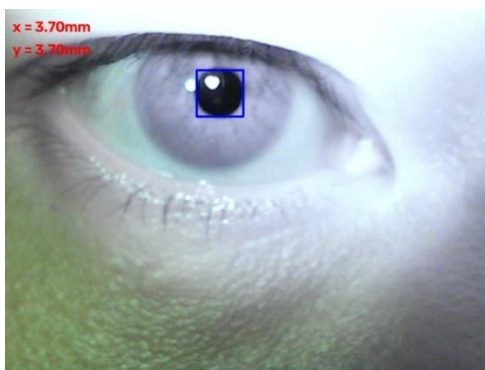


รูปที่ 4.12 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี



รูปที่ 4.13 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

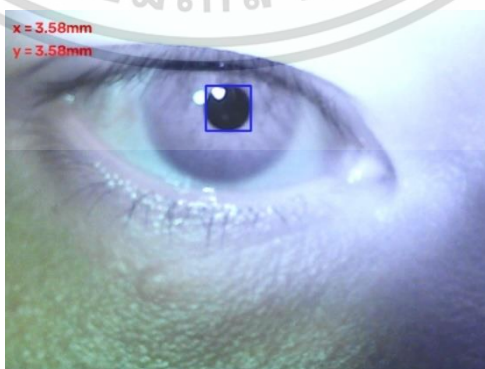


รูปที่ 4.14 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

ตารางที่ 4.3 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี

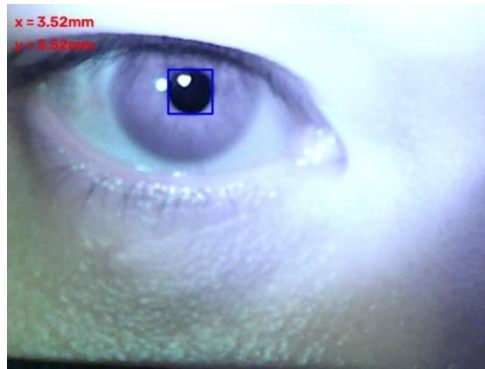
จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการซ้ำค่าเดิม (%)
1	3.58	0.34
2	3.52	1.35
3	3.58	0.34
4	3.58	0.34
5	3.58	0.34
เฉลี่ย	3.568	0.542%

4.2.1.3 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.15-4.19 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

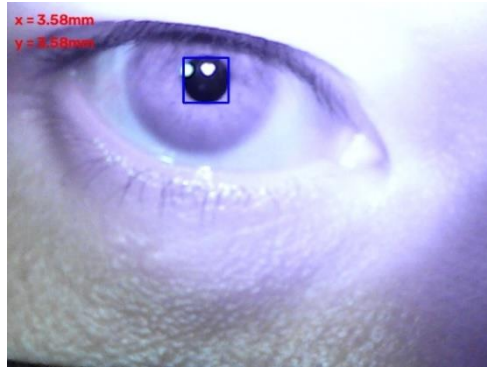


รูปที่ 4.17 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี



รูปที่ 4.18 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

ตารางที่ 4.4 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี

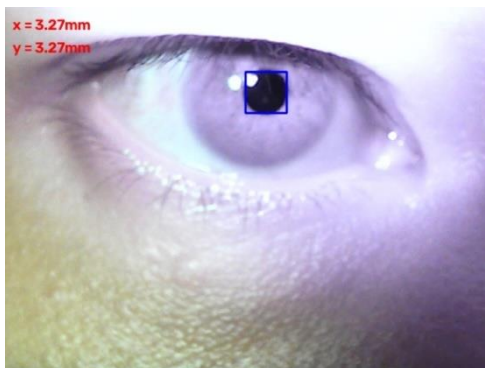
จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสมารถในการซ้ำค่าเดิม (%)
1	3.27	0.37
2	3.27	0.37
3	3.27	0.37
4	3.27	0.37
5	3.21	1.47
เฉลี่ย	3.258	0.59%

4.2.1.4 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.20-4.24 ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

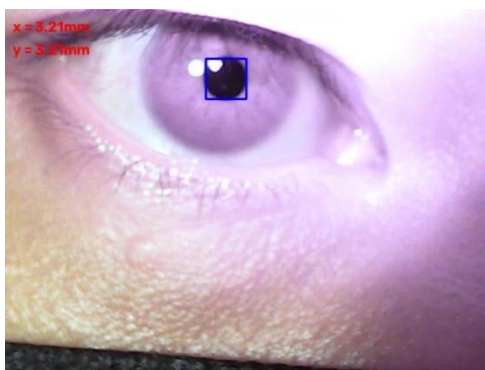


รูปที่ 4.22 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี



รูปที่ 4.23 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

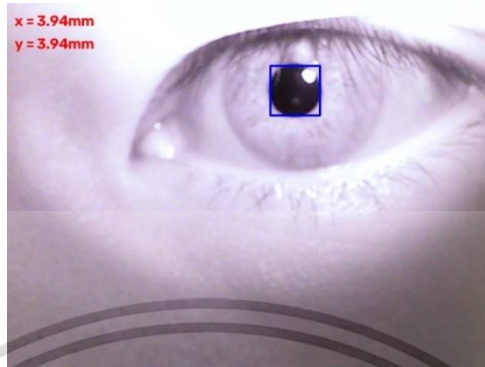
4.2.2 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี เพศชาย

ตารางที่ 4.5 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสมารถในการซ้ำค่าเดิม (%)
1	3.94	0.91
2	3.94	0.91
3	4	0.60
4	4	0.60
5	4	0.60
	เฉลี่ย 3.976	0.724%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

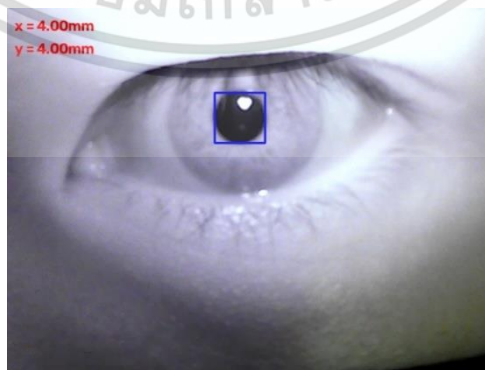
4.2.2.1 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.25-4.29 ตามลำดับ



รูปที่ 4.25 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

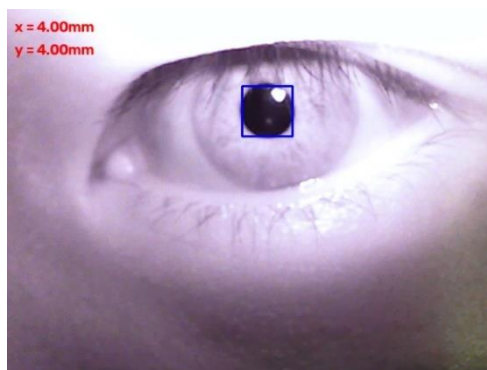


รูปที่ 4.26 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2  
ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

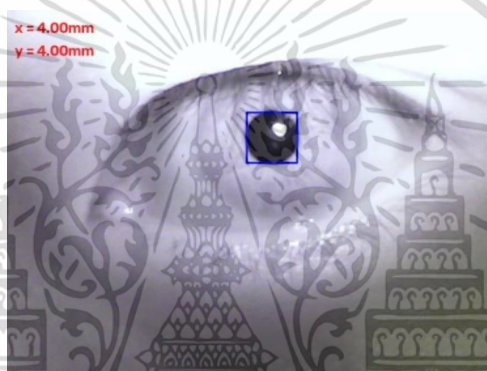


รูปที่ 4.27 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3  
ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี



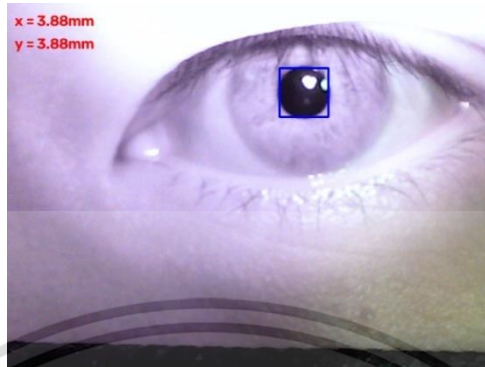
รูปที่ 4.29 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

ตารางที่ 4.6 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	3.88	0.31
2	3.88	0.31
3	3.88	0.31
4	3.88	0.31
5	3.82	1.24
เฉลี่ย	3.868	0.496%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

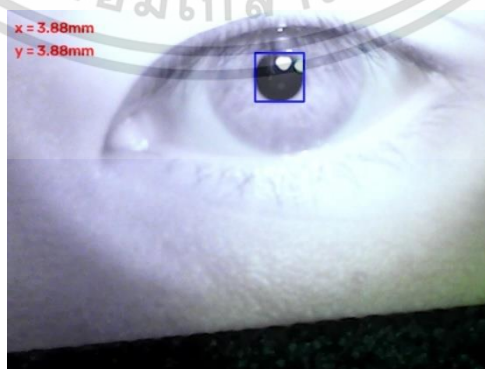
4.2.2.2 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.30-4.34 ตามลำดับ



รูปที่ 4.30 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

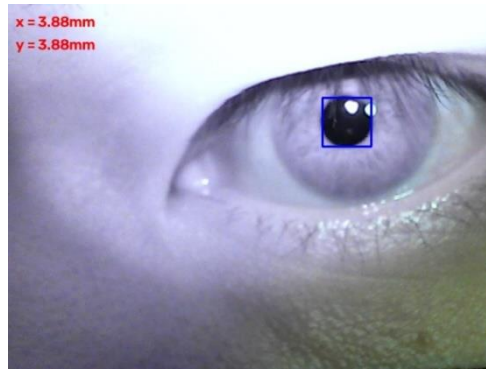


รูปที่ 4.31 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

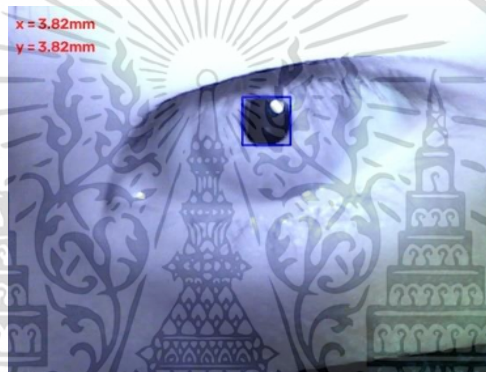


รูปที่ 4.32 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี



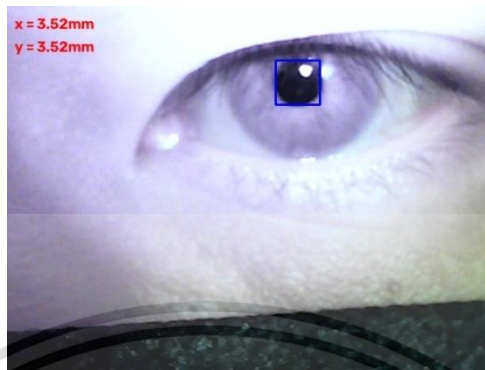
รูปที่ 4.34 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

ตารางที่ 4.7 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	3.52	0.68
2	3.58	1.02
3	3.58	1.02
4	3.52	0.68
5	3.52	0.68
เฉลี่ย	3.544	0.816%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

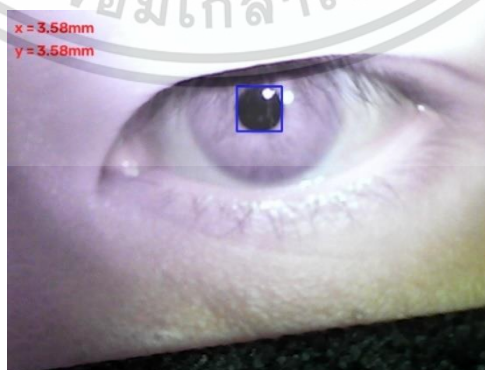
4.2.2.3 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.35-4.39 ตามลำดับ



รูปที่ 4.35 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

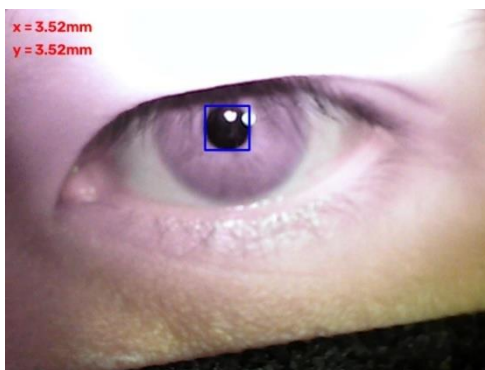


รูปที่ 4.36 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

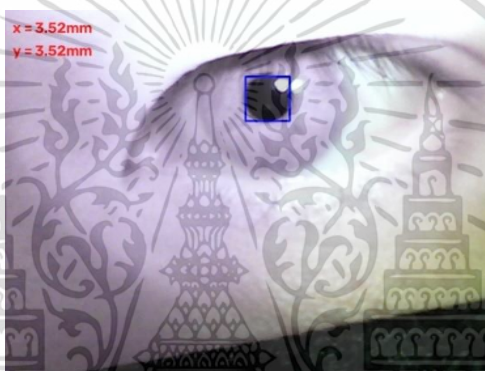


รูปที่ 4.37 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี



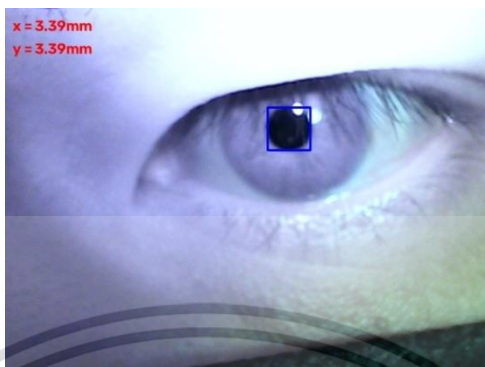
รูปที่ 4.39 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

ตารางที่ 4.8 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี

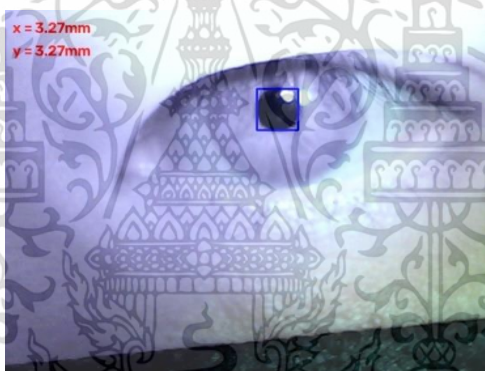
จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	3.39	0.71
2	3.27	2.85
3	3.39	0.71
4	3.39	0.71
5	3.39	0.71
เฉลี่ย	3.366	1.138%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

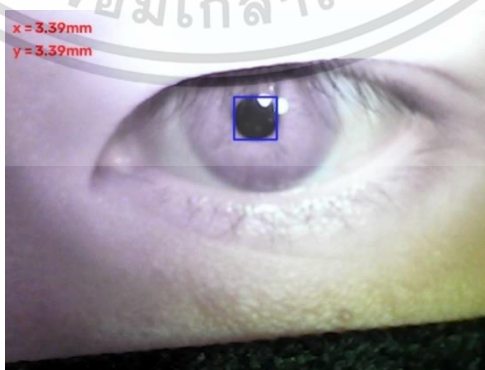
4.2.2.3 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 34 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.40-4.44 ตามลำดับ



รูปที่ 4.40 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

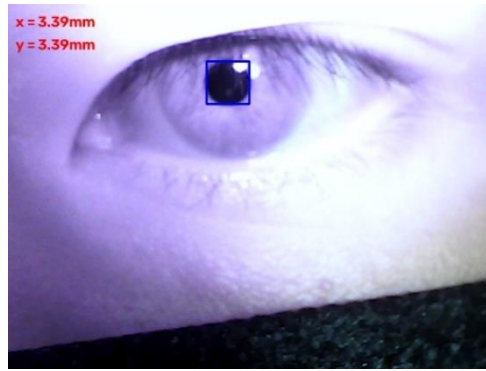


รูปที่ 4.41 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี



รูปที่ 4.42 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี



รูปที่ 4.44 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 34 ปี

4.2.3 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี เพศหญิง

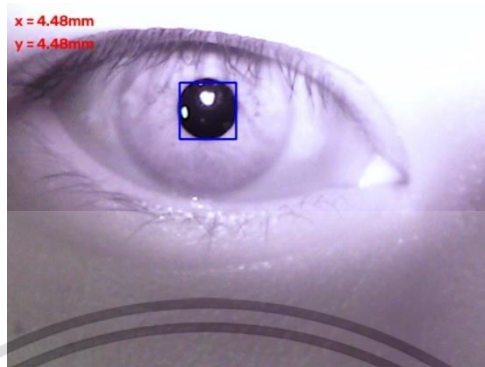
ตารางที่ 4.9 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารรถในการซ้ำค่าเดิม (%)
1	4.48	0.27
2	4.48	0.27
3	4.48	0.27
4	4.42	1.07
5	4.48	0.27
	เฉลี่ย 4.468	0.43%

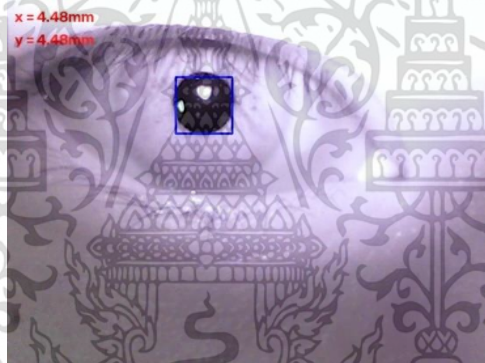
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการวิจัยในเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

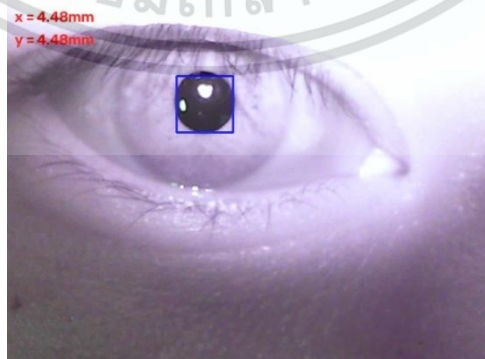
4.2.3.1 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.45-4.49 ตามลำดับ



รูปที่ 4.45 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

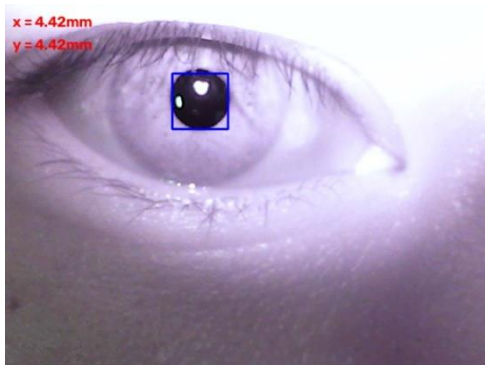


รูปที่ 4.46 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2  
ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.47 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3  
ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



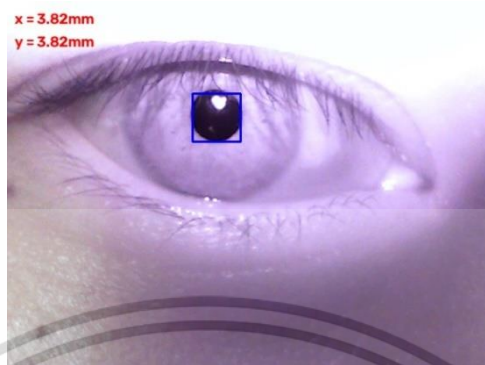
รูปที่ 4.49 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

ตารางที่ 4.10 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ วันซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการซ้ำค่าเดิม (%)
1	3.82	0.31
2	3.82	0.31
3	3.88	1.25
4	3.82	0.31
5	3.82	0.31
เฉลี่ย	3.832	0.498%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

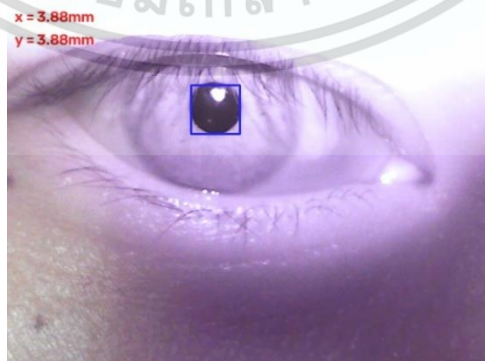
4.2.3.2 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.50-4.54 ตามลำดับ



รูปที่ 4.50 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

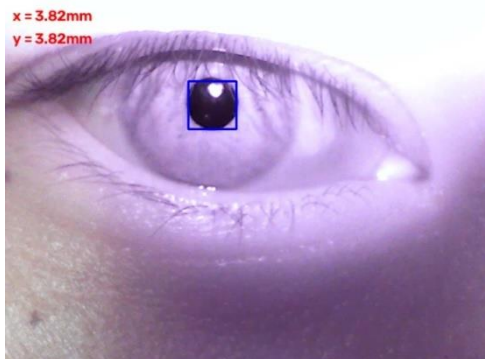


รูปที่ 4.51 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.52 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.53 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



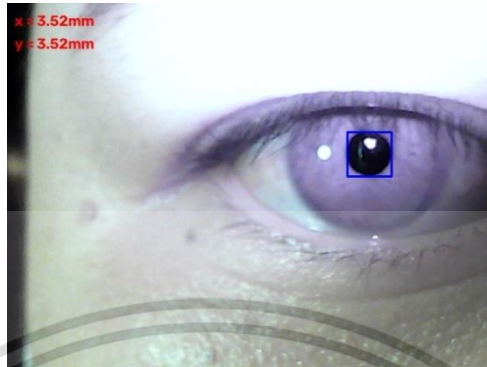
รูปที่ 4.54 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

ตารางที่ 4.11 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ วันซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี

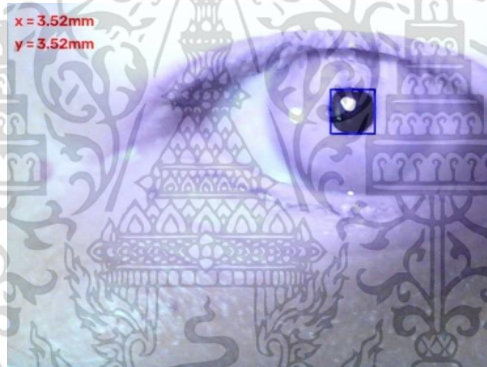
จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	3.52	1.01
2	3.52	1.01
3	3.58	0.67
4	3.52	1.01
5	3.64	2.36
เฉลี่ย	3.556	1.212%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

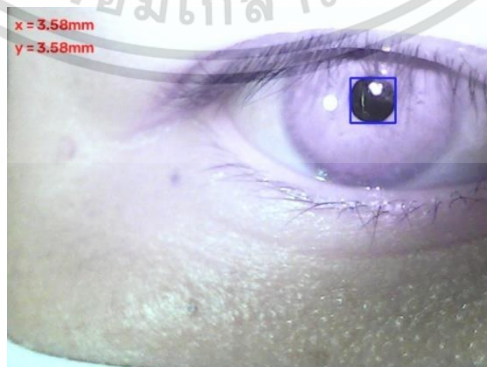
4.2.3.3 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.55-4.59 ตามลำดับ



รูปที่ 4.55 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

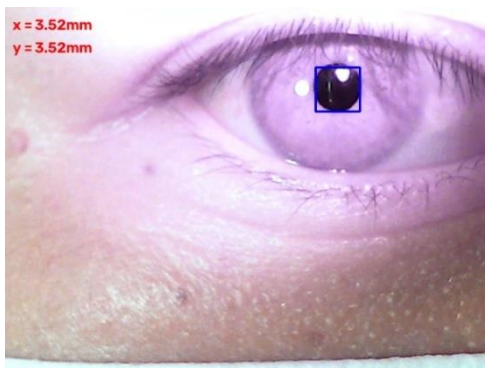


รูปที่ 4.56 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.57 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



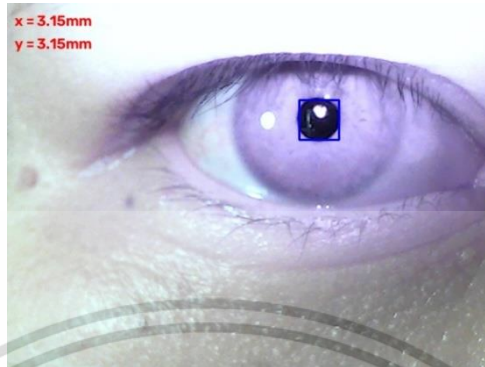
รูปที่ 4.59 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

ตารางที่ 4.12 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ วันซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	3.15	0.38
2	3.09	1.53
3	3.15	0.38
4	3.15	0.38
5	3.15	0.38
เฉลี่ย	3.138	0.61%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

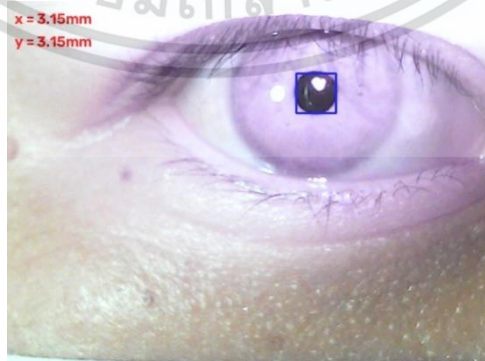
4.2.3.4 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.60-4.64 ตามลำดับ



รูปที่ 4.60 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

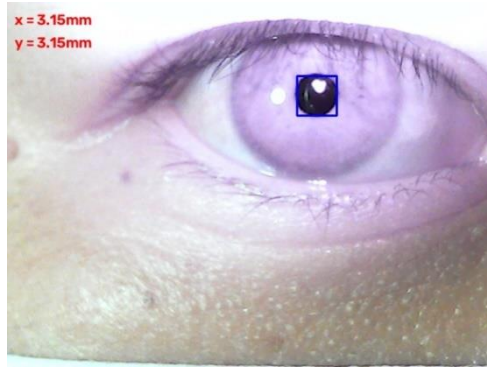


รูปที่ 4.61 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.62 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการแข่งขันทักษะวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.63 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.64 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

4.2.4 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี เพศหญิง

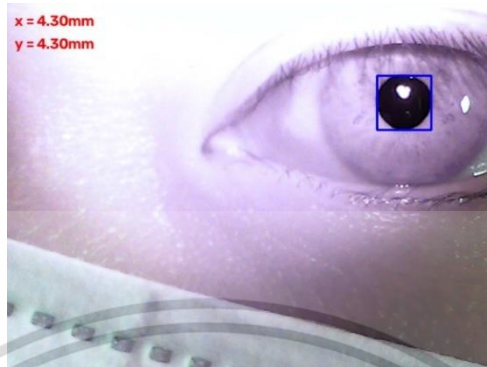
ตารางที่ 4.13 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	4.3	0.56
2	4.36	0.83
3	4.3	0.56
4	4.3	0.56
5	4.36	0.83
	เฉลี่ย 4.324	0.668%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

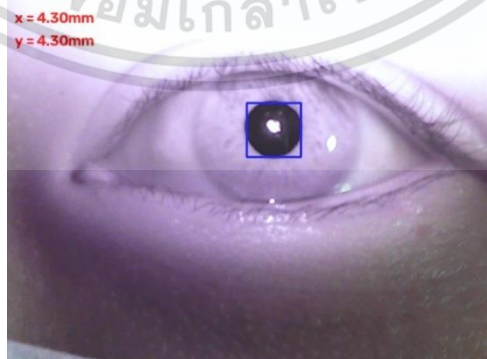
4.2.4.1 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.65-4.69 ตามลำดับ



รูปที่ 4.65 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

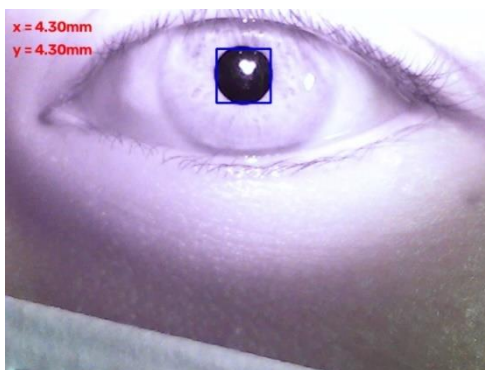


รูปที่ 4.66 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.67 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.68 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



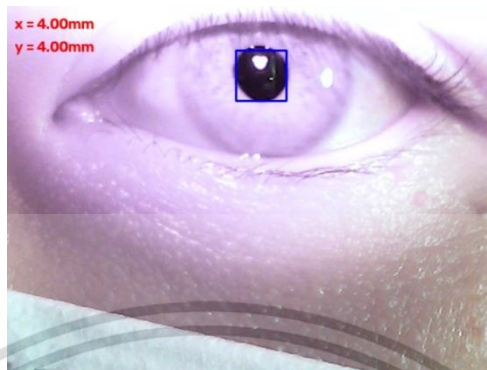
รูปที่ 4.69 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

ตารางที่ 4.14 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	4	0.29
2	4	0.29
3	4.06	1.20
4	3.94	1.79
5	4.06	1.20
เฉลี่ย	4.012	0.954%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

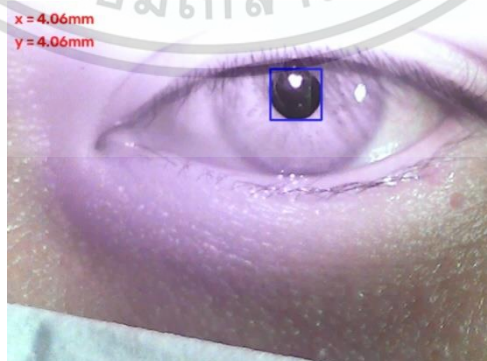
4.2.4.2 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.70-4.74 ตามลำดับ



รูปที่ 4.70 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

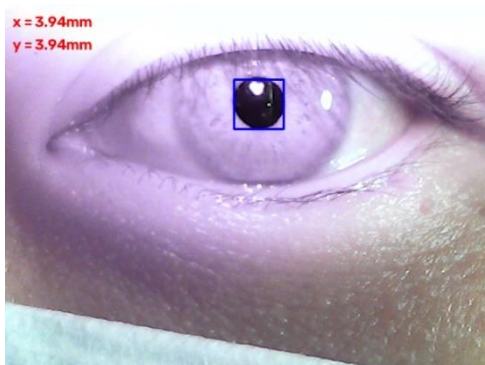


รูปที่ 4.71 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.72 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.73 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



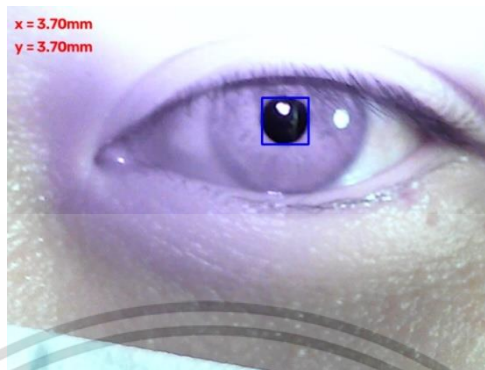
รูปที่ 4.74 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

ตารางที่ 4.15 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	3.70	0.32
2	3.76	1.29
3	3.70	0.32
4	3.70	0.32
5	3.70	0.32
เฉลี่ย	3.712	0.514%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

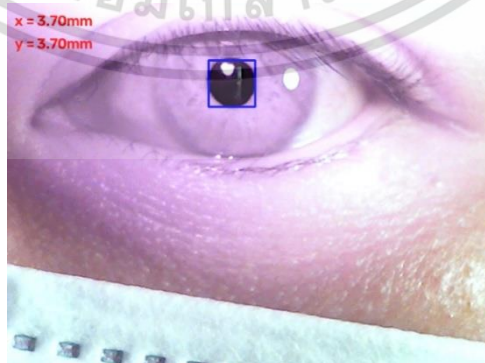
4.2.4.5 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.75-4.79 ตามลำดับ



รูปที่ 4.75 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

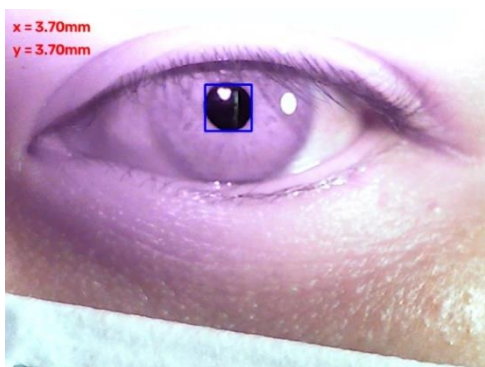


รูปที่ 4.76 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.77 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.78 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



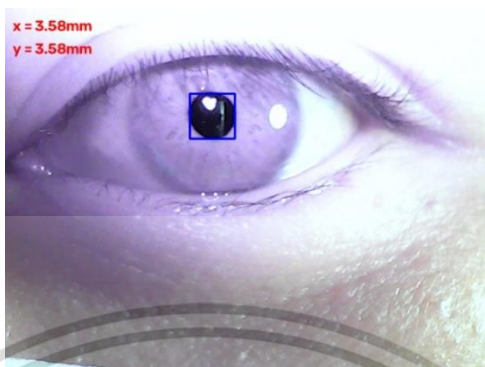
รูปที่ 4.79 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

ตารางที่ 4.16 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	3.58	0
2	3.58	0
3	3.64	1.68
4	3.52	1.68
5	3.58	0
เฉลี่ย	3.58	0.67%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

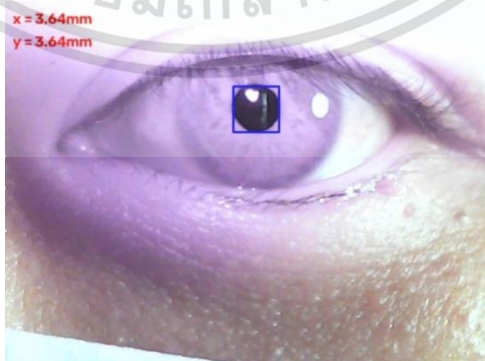
4.2.4.6 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 28 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.80-4.84 ตามลำดับ



รูปที่ 4.80 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

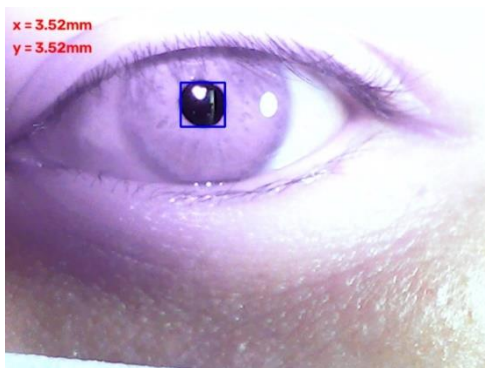


รูปที่ 4.81 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.82 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.83 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี



รูปที่ 4.84 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 28 ปี

4.2.5 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี เพศหญิง

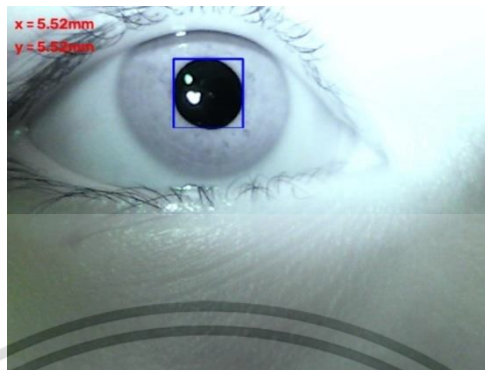
ตารางที่ 4.17 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการซ้ำค่าเดิม (%)
1	5.52	0.04
2	5.52	0.04
3	5.58	1.12
4	5.52	0.04
5	5.45	0.04

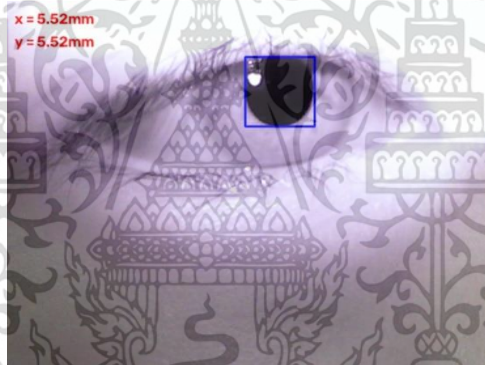
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

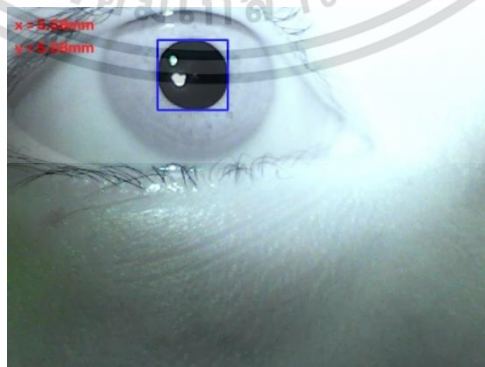
4.2.5.1 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.85-4.89 ตามลำดับ



รูปที่ 4.85 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

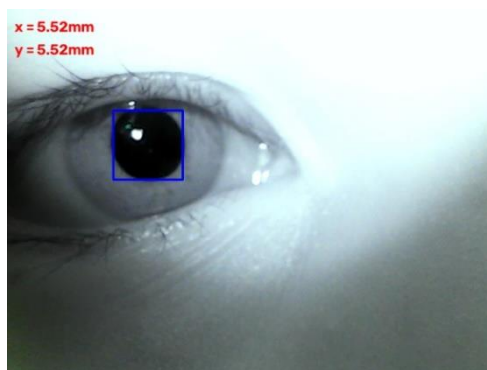


รูปที่ 4.86 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



รูปที่ 4.87 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.88 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



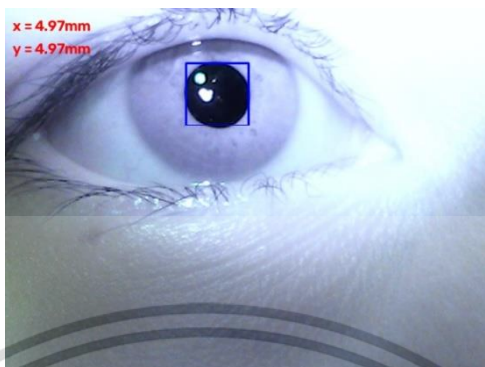
รูปที่ 4.89 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

ตารางที่ 4.18 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ วันซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	4.97	1.19
2	5.09	1.19
3	5.03	0
4	5.09	1.19
5	4.97	1.19
	เฉลี่ย	0.952%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

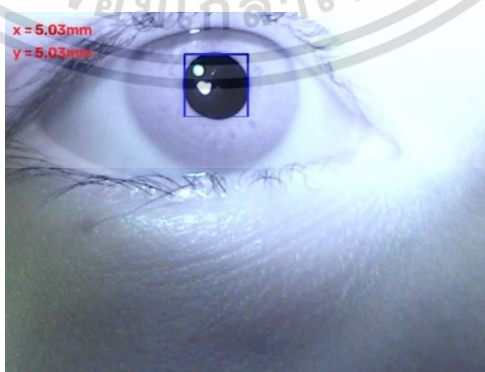
4.2.5.2 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.90-4.94 ตามลำดับ



รูปที่ 4.90 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

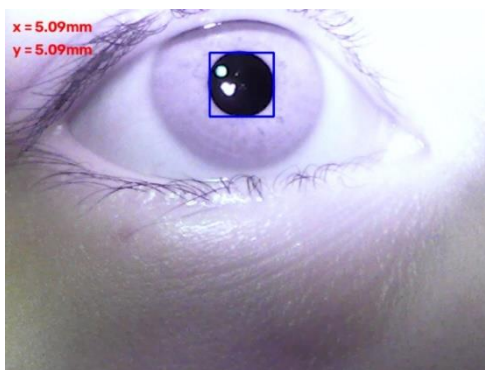


รูปที่ 4.91 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



รูปที่ 4.92 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.93 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



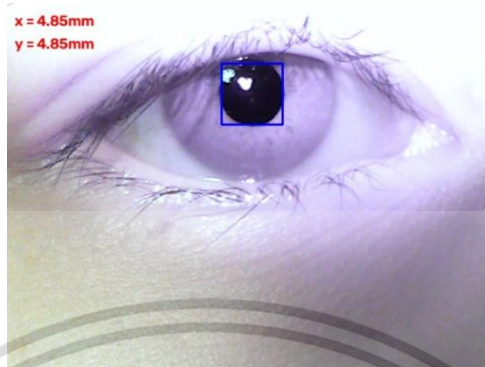
รูปที่ 4.94 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

ตารางที่ 4.19 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ วันซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี

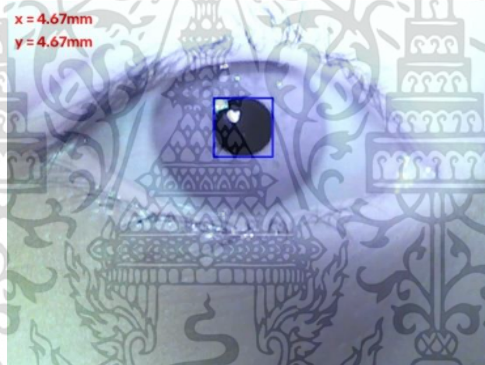
จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	4.85	3.32
2	4.67	0.51
3	4.67	0.51
4	4.73	0.77
5	4.55	3.07
เฉลี่ย	4.694	1.636%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

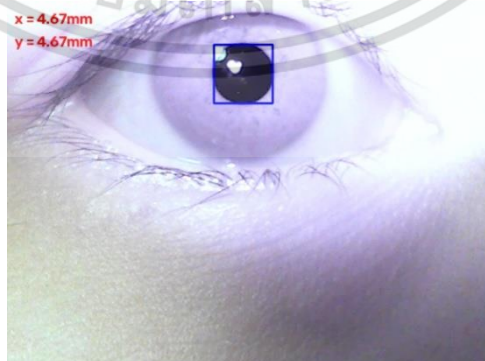
4.2.5.3 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.95-4.99 ตามลำดับ



รูปที่ 4.95 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

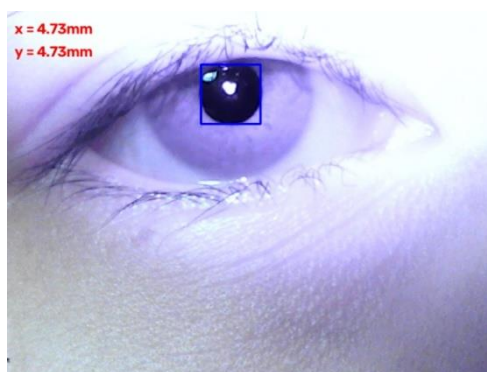


รูปที่ 4.96 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



รูปที่ 4.97 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.98 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



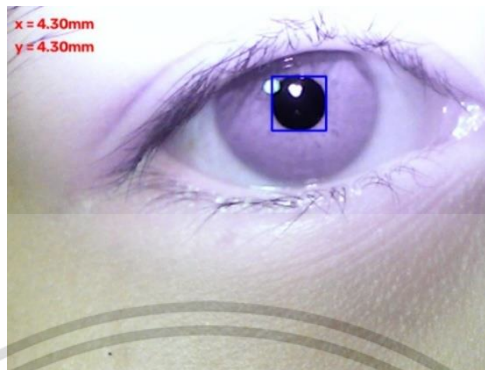
รูปที่ 4.99 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

ตารางที่ 4.20 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ วันซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	4.3	0.56
2	4.36	0.83
3	4.36	0.83
4	4.24	1.94
5	4.36	0.83
เฉลี่ย	4.012	0.998%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

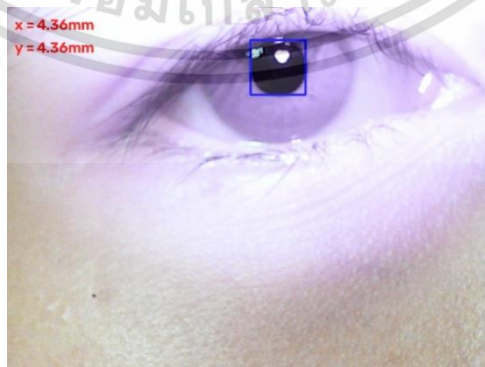
4.2.5.4 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.100-4.104 ตามลำดับ



รูปที่ 4.100 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

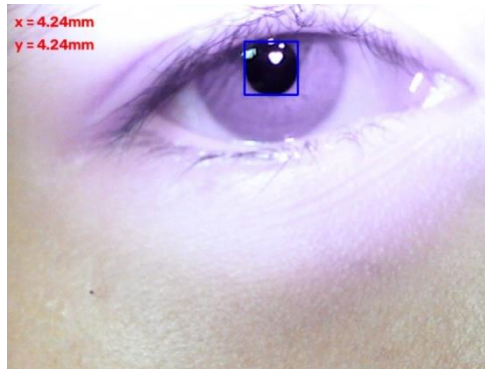


รูปที่ 4.101 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



รูปที่ 4.102 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.103 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



รูปที่ 4.104 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างขวาในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5 ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

4.2.6 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ วนซ้ำอย่างละ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี เพศหญิง

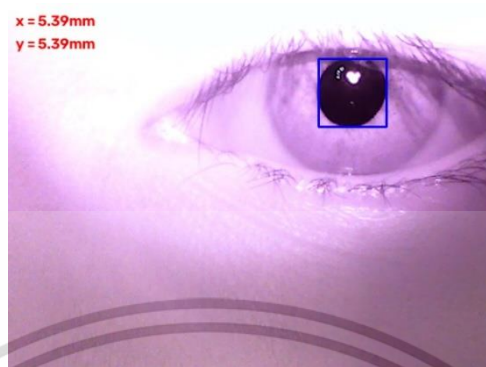
ตารางที่ 4.21 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ำค่าเดิม (%)
1	5.39	2.04
2	5.21	1.36
3	5.27	0.23
4	5.27	0.23
5	5.27	0.23

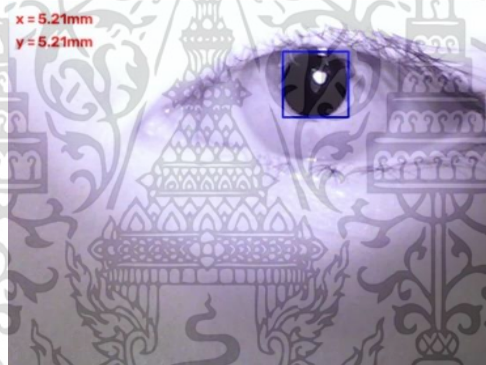
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเฉลี่ย 5.282 0.818%

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

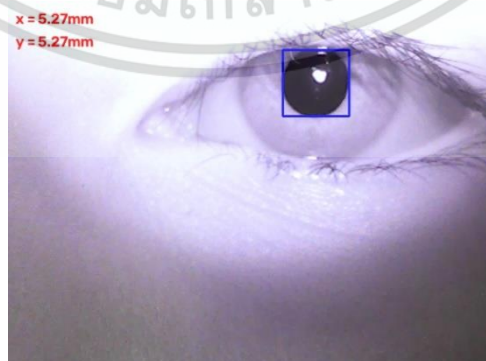
4.2.6.1 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.105-4.109 ตามลำดับ



รูปที่ 4.105 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

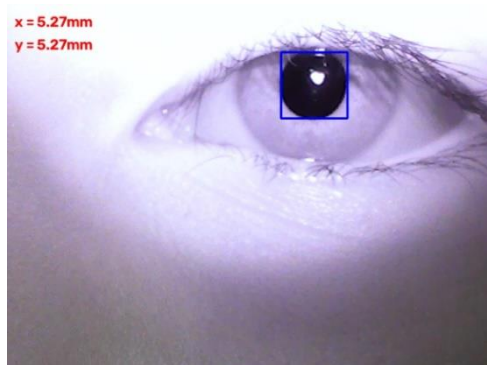


รูปที่ 4.106 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 2  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



รูปที่ 4.107 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 3  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเข้มนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.108 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 4  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



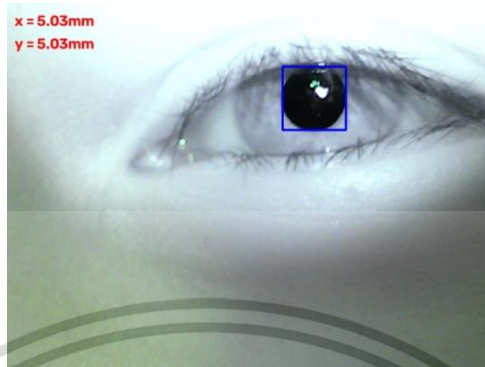
รูปที่ 4.109 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 100 ลักซ์ ในครั้งที่ 5  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

ตารางที่ 4.22 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถ ในการช้ค่าเดิม (%)
1	5.03	0
2	4.97	1.19
3	5.03	0
4	5.03	0
5	5.09	1.19
เฉลี่ย	5.03	0.476%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

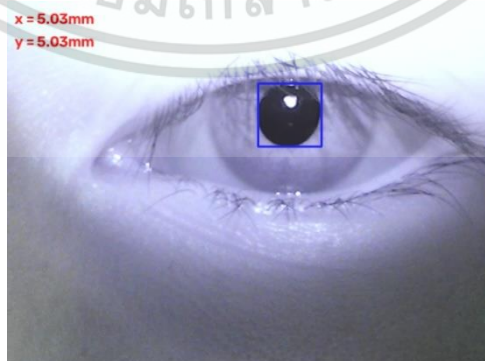
4.2.6.2 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.110-4.114 ตามลำดับ



รูปที่ 4.110 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

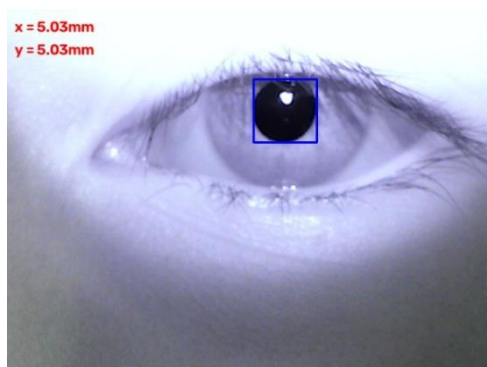


รูปที่ 4.111 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 2  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

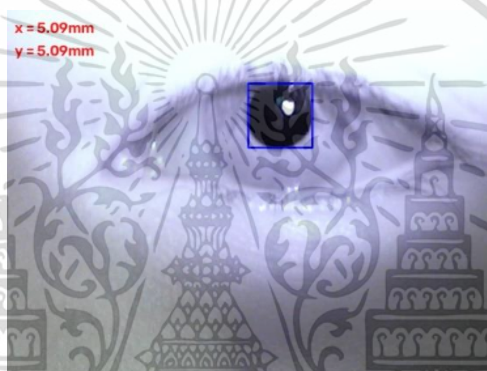


รูปที่ 4.112 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 3  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเชิงนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.113 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 4  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



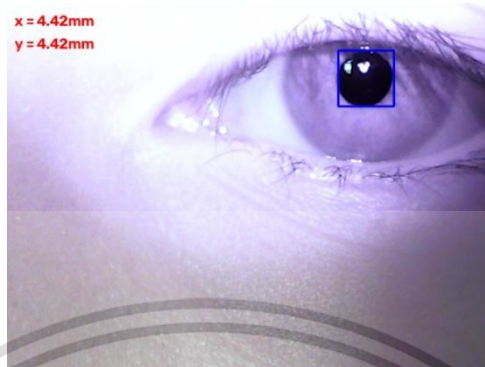
รูปที่ 4.114 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 200 ลักซ์ ในครั้งที่ 5  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

ตารางที่ 4.23 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถ ในการช้ำค่าเดิม (%)
1	4.42	1.12
2	4.48	0.22
3	4.48	0.22
4	4.55	1.79
5	4.42	1.12
เฉลี่ย	4.47	0.894%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

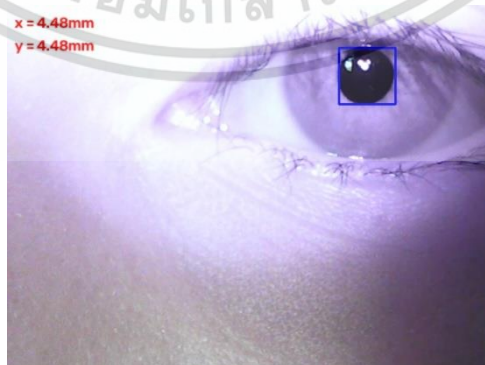
4.2.6.3 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.115-4.119 ตามลำดับ



รูปที่ 4.115 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

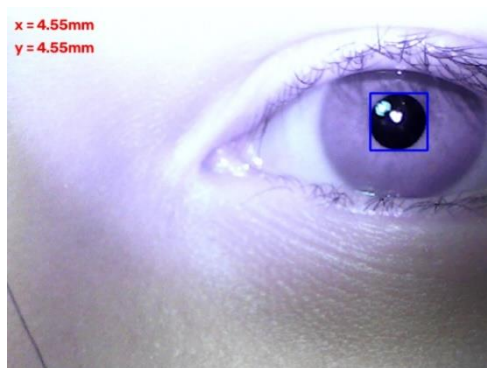


รูปที่ 4.116 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 2  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



รูปที่ 4.117 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 3  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเข้มนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.118 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 4  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



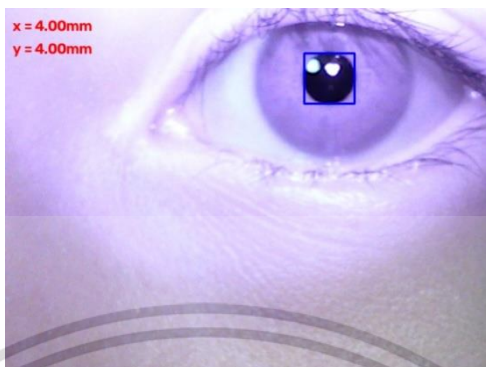
รูปที่ 4.119 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 300 ลักซ์ ในครั้งที่ 5  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

ตารางที่ 4.24 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	ขนาดของรูม่านตา (มม.)	ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถ ในการช้ำค่าเดิม (%)
1	4.00	0.30
2	4.00	0.30
3	3.94	1.20
4	4.00	0.30
5	4.00	0.30
เฉลี่ย	3.988	0.48%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

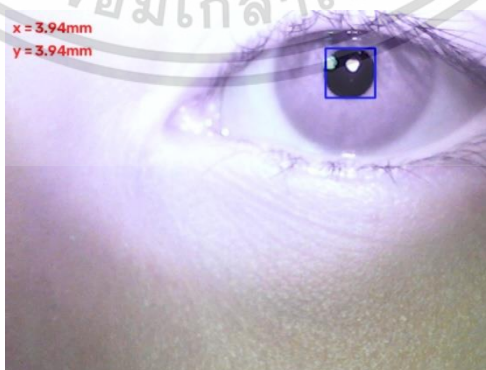
4.2.6.4 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ วนซ้ำ 5 ครั้ง  
โดยผู้ทดลองอายุ 14 ปี ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.120-4.124 ตามลำดับ



รูปที่ 4.120 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 1  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

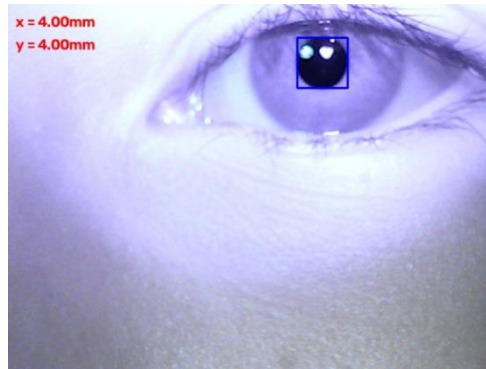


รูปที่ 4.121 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 2  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี



รูปที่ 4.122 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 3  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.123 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 4  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

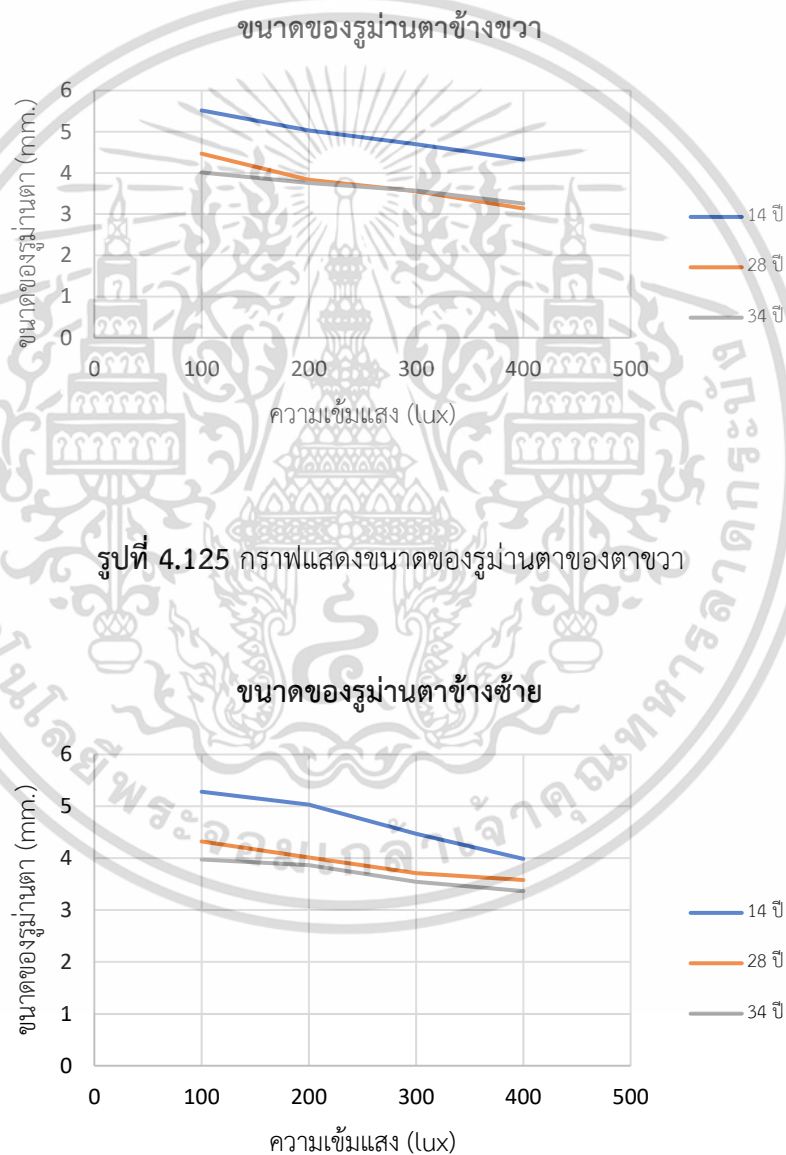


รูปที่ 4.124 การทดลองวัดขนาดของรูม่านตาข้างซ้ายในสภาพแสง 400 ลักซ์ ในครั้งที่ 5  
ของผู้ทดลองอายุ 14 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

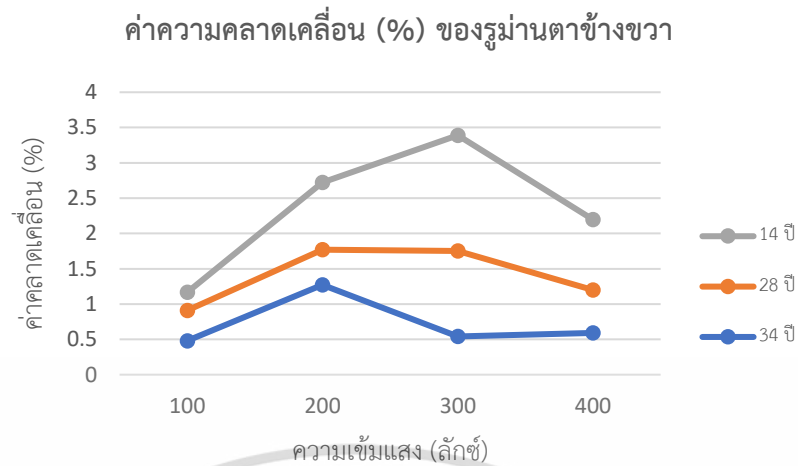
### 4.3 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองวัดขนาดของรูม่านตาในสภาพแสงที่ต่างกัน โดยทำการทดลองทั้งตาซ้ายและตาขวา แต่ผลการทดลองจะแบ่งความเข้มแสงออกเป็น 4 รูปแบบ คือ 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ ตามลำดับ จากการทดลองจะพบว่าขนาดของรูม่านตาจะมีขนาดเล็กลงตามอายุที่มากขึ้น และตอบสนองต่อแสงน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.125 ในตาข้างขวา และดังแสดงในรูป 4.126 ในตาข้างซ้าย และมีค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิม ในการวัดขนาดของรูม่านตาดังแสดงในรูปที่ 4.127 ของตาข้างขวา และดังแสดงในรูป 4.128 ของตาข้างซ้าย

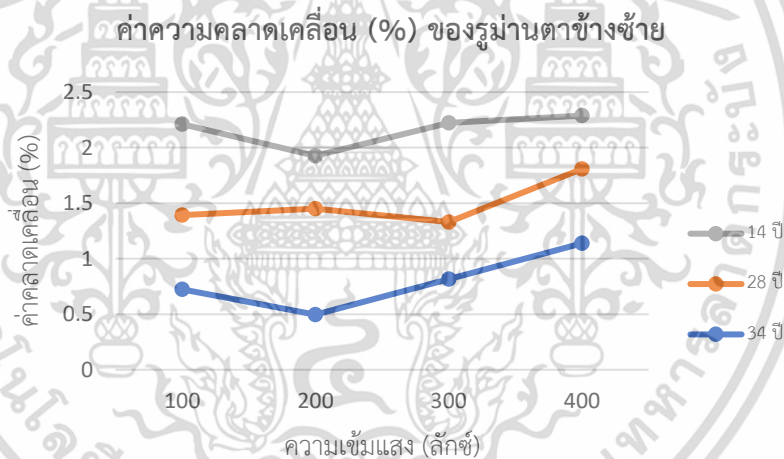


**รูปที่ 4.126** กราฟแสดงขนาดของรูม่านตาของตาซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.127 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ค่าเดิม (%) ของตาข้างขวา



รูปที่ 4.128 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการช้ค่าเดิม (%) ของตาข้างซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอหลักการประยุกต์ใช้งานกล้องเว็บแคมเพื่อตรวจวัดขนาดของรูมันตาในสภาพแสงที่ต่างกันตามที่ได้กล่าวไว้ โดยทำการศึกษาหาข้อมูลและความเป็นไปได้จากการทำการทดลองซึ่งจะนำผลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความแม่นยำและความเร็วในการทำงานของกระบวนการโดยอุปกรณ์ในการทดลองนั้นสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาที่ไม่แพง การทดลองจะมีทั้งหมด 40 ขั้นตอนโดยจะแบ่งความเข้มแสงเป็น 4 ความเข้มแสง คือ 100, 200, 300 และ 400 ลักซ์ โดยทำการทดลองวัดดวงตาทั้งข้างซ้ายและขวา วันซ้ำทุกความเข้มแสงอย่างละ 5 ครั้ง เราได้ผลลัพธ์ดังนี้

ผลการทดลองวัดขนาดของรูมันตาของผู้ร่วมทดลองอายุ 34 ปี ที่ตาข้างขวามีขนาดใหญ่ที่สุดที่ความเข้มแสง 100 ลักซ์ ขนาดของรูมันตามีขนาดเฉลี่ย 4.012 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 0.48% และรูมันตามีขนาดเล็กที่สุดที่ความเข้มแสง 400 ลักซ์ ขนาดของรูมันตามีขนาดเฉลี่ย 3.258 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 0.59% และที่ตาข้างซ้ายมีขนาดใหญ่ที่สุดที่ความเข้มแสง 100 ลักซ์ ขนาดของรูมันตามีขนาดเฉลี่ย 3.976 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 0.724% และรูมันตามีขนาดเล็กที่สุดที่ความเข้มแสง 400 ลักซ์ ขนาดของรูมันตามีขนาดเฉลี่ย 3.366 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 1.138%

การทดลองวัดขนาดของรูมันตาของผู้ร่วมทดลองอายุ 28 ปี ที่ตาข้างขวามีขนาดใหญ่ที่สุดที่ความเข้มแสง 100 ลักซ์ ขนาดของรูมันตามีขนาดเฉลี่ย 4.468 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 0.43% และรูมันตามีขนาดเล็กที่สุดที่ความเข้มแสง 400 ลักซ์ ขนาดของรูมันตามีขนาดเฉลี่ย 3.138 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 0.61% และที่ตาข้างซ้ายมีขนาดใหญ่ที่สุดที่ความเข้มแสง 100 ลักซ์ ขนาดของรูมันตามีขนาดเฉลี่ย 4.324 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 0.668% และรูมันตามีขนาดเล็กที่สุดที่ความเข้มแสง 400 ลักซ์ ขนาดของรูมันตาจะมีขนาดเฉลี่ย 3.58 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 0.67%

การทดลองวัดขนาดของรูมันตาของผู้ร่วมทดลองอายุ 14 ปี ที่ตาข้างขวามีขนาดใหญ่ที่สุดที่ความเข้มแสง 100 ลักซ์ ขนาดของรูมันตามีขนาดเฉลี่ย 5.518 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 0.256% และรูมันตามีขนาดเล็กที่สุดที่ความเข้มแสง 400 ลักซ์ ขนาดของรูมันตามีขนาดเฉลี่ย 3.258 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการหาค่าเดิมเฉลี่ย 0.59%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสง 400 ลักซ์ ขนาดของรูม่านตามีขนาดเฉลี่ย 4.012 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการซ้ค่าเดิมเฉลี่ย 2.492% และที่ตาข้างซ้ายมีขนาดใหญ่สุดที่ความเข้มแสง 100 ลักซ์ ขนาดของรูม่านตามีขนาดเฉลี่ย 5.282 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการซ้ค่าเดิมเฉลี่ย 0.818% และรูม่านตามีขนาดเล็กสุดที่ความเข้มแสง 400 ลักซ์ ขนาดของรูม่านตามีขนาดเฉลี่ย 3.988 มิลลิเมตร โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากความสามารถในการซ้ค่าเดิมเฉลี่ย 0.48%

จากผลการทดลองจะทำให้เห็นว่าขนาดของรูม่านตามีขนาดเล็กลง และตอบสนองต่อความเข้มแสงได้น้อยลงตามอายุที่มากขึ้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองนั้นคือ ระดับความเข้มของแสงอินฟราเรด แสงและเงาที่สะท้อนแสงในดวงตา

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบและความแม่นยำในการตรวจสอบ เราได้มีการคิดค้นเพื่อทำการพัฒนาอุปกรณ์เพิ่มเติมในอนาคต โดยจะมีการพัฒนาและปรับปรุงเพิ่มเติมในทั้ง 2 ด้าน คือ Hardware และ Software

ด้าน Hardware ผู้วิจัยจะทำการเพิ่มประสิทธิภาพของกล้องเว็บแคม ให้มีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพ และเพิ่มแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถปรับหรือค่าความเข้มแสงได้ครอบคลุมตามการทดลองที่กำหนด เพื่อเพิ่มการทดลองการวัดขนาดของรูม่านตาที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามค่าความเข้มแสง เพื่อวิเคราะห์การตอบสนองของรูม่านตาต่อแสงที่ผิดปกติ

ด้าน Software เราจะทำการเพิ่มอัลกอริทึมที่สามารถเก็บค่าขนาดของรูม่านตาได้อัตโนมัติ

## 5.3 การประยุกต์ใช้งาน

จากการศึกษาทำให้ผู้วิจัยเสนอการต่อยอดงานวิจัยเพื่อการใช้งานในอนาคต

1) ใช้งานการแจ้งเตือนการหลับในของผู้ขับขี่ยานพาหนะ ในขณะที่วงนอรูม่านตาจะมีขนาดเล็กลงพอเล็กน้อยจนถึงค่าที่กำหนด จะทำให้เครื่องส่งเสียงเตือนออกมา เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากการหลับใน

2) ใช้งานในการตรวจวัดขนาดรูม่านตาที่มีขนาดผิดปกติ จะทำให้สามารถคัดกรองหรือตรวจความผิดปกติของรูม่านตาขั้นต้นได้ก่อน และทำการปรึกษาหรือรักษาโดยแพทย์ได้เร็วยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] พบแพทย์(PobPad). “ความหมายของกลุ่มอาการฮอร์เนอร์.” [Online]. Available : <https://www.pobpad.com/กลุ่มอาการฮอร์เนอร์>. สืบค้น สิงหาคม 2022.
- [2] Hello คุณหมอ. “ภาวะรูม่านตาต่างขนาด (Anisocoria).” [Online]. Available : <https://heloikhunmor.com/สุขภาพ/ความรู้เกี่ยวกับสุขภาพทั่วไป/ภาวะรูม่านตาต่างขนาด anisocoria/>. สืบค้น สิงหาคม 2022.
- [3] Abhishek Sharma, Daniel Raju, Sutapa Ranjan. “Detection of Pneumonia clouds in Chest X-ray using Image processing approach” 2017 Nirma University International Conference on Engineering (NUICONE), March 2018.
- [4] Fa’Iq Raihan, Win Ce “PCB Defect Detection USING OPENCV with Image Subtraction Method” 2017 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech), February 2018, pp. 204-209
- [5] Moritz Kassner, William Patera, Andreas Bulling. “Pupil: An Open Source Platform for Pervasive Eye Tracking and Mobile Gaze-based Interaction.” UBICOMP '14 ADJUNCT., SEPTEMBER 2014. pp. 1151-1160
- [6] Paul Viola, Michael Jones. “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features.” Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2001., April 2003. pp. I-511-I-518
- [7] Takehiko Ohno, Naoki Mukawa, Atsushi Yoshikawa. “FreeGaze: A Gaze Tracking System for Everyday Gaze Interaction.” Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium, ETRA 2002., March 2002. pp. 125-132
- [8] Radu Gabriel Bozomitu, Alexandru Păsărică, Vlad Cehan, Cristian Rotariu, Constantin Barabaşa. “Pupil Centre Coordinates Detection Using the Circular Hough Transform Technique.” 2015 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)., September 2015. pp. 462-465
- [9] M. Gabriella Masi, Lorenzo Peretto, Roberto Tinarelli, Luigi Rovati. “Measurement of the Pupil Diameter Under Different Light Stimula.” 2009 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference., July 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [10] Laxmipriya Moharana, Niva Das. “Analysis of Pupil Dilation on Different Emotional States by Using Computer Vision Algorithms.” 2021 1st Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology (ODICON)., May 2021.
- [11] Yoshinori Adachi, Kei Konishi, Masahiro Ozaki, Yuji Iwahori. “Development of an Automatic Measurement System of Diameter of Pupil.” 17th International Conference in Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems., 2013. pp. 772-779.
- [12] รศ.พญ.สุภรัตน์ จรรย์โกศล, รศ.พญ.ลลิตา ทรรษาภิญาญ, นศพ.ณัฐพริศ โรจนวิไลกุล. “รูม่านตาสาคัญไฉน ?.” [Online]. Available : [https://tmc.or.th/pdf/tmc\\_knowledge-180](https://tmc.or.th/pdf/tmc_knowledge-180). สืบค้น กันยายน 2023.
- [13] JAMES E. BIRREN, ROLAND C. CASPERSON, JACK BOTWINICK. “Age Changes in Pupil Size.” July 1950. pp. 216-221
- [14] นายวิรัตน์ ทรงงาม. “เทคโนโลยีการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด (Electric Infrared Heating).” [Online]. Available : <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/3825>. สืบค้น สิงหาคม 2022.
- [15] ธนีสร์ อุดมพวก, รณพร พัชรักษา, วีรภัทร สมบูรณ์วงศ์, ณัฐชามณูช ศรีจำเริญรัตน์. “การศึกษาการตรวจจับลายเส้นจากภาพร่าง.” งานประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม., กรกฎาคม 2563. หน้า 484 - 492
- [16] Adrian Rosebrock. “Object detection: Bounding box regression with Keras, TensorFlow, and Deep Learning.” [Online]. Available: <https://pyimagesearch.com/2020/10/05/object-detection-bounding-box-regression-with-keras-tensorflow-and-deep-learning/>. สืบค้น กันยายน 2022.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1) ข้อมูลอุปกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

## 1.1) กล้องเว็บแคม



รูปที่ ก.1 กล้องเว็บแคม OKER 088

ข้อมูลอุปกรณ์ กล้องเว็บแคม OKER 088		
ความต้องการของระบบ	คุณสมบัติทางเทคนิค	เนื้อหาแพ็คเกจ
<p>ใช้งานได้กับ: Window 2000/XP/Vista/7 หรือรุ่นใหม่กว่า</p> <p>ใช้งานได้โน้ตคอมชนิดอุปกรณ์</p> <p>วิดีโอ USB (UVC) ด้วยโคลเอ็นต์ที่สนับสนุนการสนทนาผ่านวิดีโอ:</p> <p>mac OS 10.4.8 หรือรุ่นใหม่กว่า</p> <p>พอร์ต USB: 1.1/2.0</p> <p>ทำงานร่วมกับ: MSN, Camfrog, Skype</p>	<p>ความละเอียดสูงสุด: 2M-12Mp/30fps</p> <p>ชนิดโฟกัส: 30mm-infinite</p> <p>เทคโนโลยีเลนส์: glass lens</p> <p>ไมโครโฟน: Built-in</p> <p>Microphone</p> <p>คลิปเนกประสงค์สำหรับติดตั้งบนแล็ปท็อป จอภาพ LCD หรือจอมอนิเตอร์</p> <p>ความยาวของสายเชื่อมต่อ: 1.5 ม</p>	<p>เว็บแคมพร้อมสายเชื่อมต่อ 1.5 ม</p> <p>เอกสารคู่มือสำหรับผู้ใช้</p> <p>หมายเลขสินค้า: 8852017091128</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ข้อมูลภาษา PYTHON ในการเขียนโปรแกรม PyCharm Community Edition 2020.2.3

```

import cv2
import numpy as np

img_counter = 0
font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
cap = cv2.VideoCapture(0)
eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_eye.xml')

def empty(a):
    pass
cv2.namedWindow("Parameters")
cv2.resizeWindow("Parameters",640,200)
cv2.createTrackbar("Threshold1","Parameters",60,255,empty)
cv2.createTrackbar("Area","Parameters",460,5000,empty)

while(True):
    ret, frame = cap.read()
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    eyes = eye_cascade.detectMultiScale(gray, 1.1, 7)

    for (ex, ey, ew, eh) in eyes:
        roi_gray = gray[ey:ey + eh, ex:ex + ew]
        roi_color = frame[ey:ey + eh, ex:ex + ew]
        threshold1 = cv2.getTrackbarPos("Threshold1", "Parameters")
        blur = cv2.GaussianBlur(roi_gray, (7, 7), 10)
        ret1, threshold = cv2.threshold(blur, threshold1, 255,
                                       cv2.THRESH_BINARY_INV)
        contours, hierarchy = cv2.findContours(threshold, cv2.RETR_TREE,
                                              cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cv2.imshow('th',threshold)
```

try:

```
for cnt in contours:
```

```
    area = cv2.contourArea(cnt)
```

```
    areaMin = cv2.getTrackbarPos("Area", "Parameters")
```

```
    if area > areaMin:
```

```
        (x, y, w, h) = cv2.boundingRect(cnt)
```

```
        cv2.rectangle(roi_color, (x, y), (x + w, y + h), (255, 0, 0), 2)
```

```
        # Pixel to MM.
```

```
        x = x
```

```
        y = y
```

```
        x2 = x + w
```

```
        y2 = y + h
```

```
        distance_x = ((x - x2) ** 2 + (y - y) ** 2) ** 0.5
```

```
        distance_y = ((x2 - x2) ** 2 + (y - y2) ** 2) ** 0.5
```

```
        Pixel_to_MM = 16.5
```

```
        result_x = distance_x / Pixel_to_MM
```

```
        result_y = distance_y / Pixel_to_MM
```

```
        cv2.putText(frame, "x = {0:.2f}".format(result_x) + "mm",
```

```
                    (10, 30), font, 0.65, (0, 0, 255), 2, cv2.LINE_AA)
```

```
        cv2.putText(frame, "y = {0:.2f}".format(result_y) + "mm",
```

```
                    (10, 60), font, 0.65, (0, 0, 255), 2, cv2.LINE_AA)
```

```
    key = cv2.waitKey(30)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if result_x == result_y:
    img_name = \
        "opencv_frame_{}.png".format(img_counter)
    cv2.imwrite(img_name, frame)
    print("{} written!".format(img_counter))
    img_counter += 1

elif key == ord('q'):
    cv2.destroyAllWindows()

except Exception as e:
    pass

cv2.imshow('frame_bgr', frame)

if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
    break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Witsarut Sriratana, **Namo Narknam**, Ruangsit Apichitanon and Narin Tammarugwattana. “Application of Webcam for Inspection of Rice Grain Quality by Using Image Processing Technique” International Conference on Control, Automation and Systems Year: 2020 Pages: 1134 – 1139



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ICCAS 2020

2020 20th International Conference on Control, Automation and Systems

► PROCEEDINGS

**October 13(TUE)~16(FRI), 2020**  
BEXCO, Busan, Korea

IEEE Catalog Number: CFP2010D-USB  
ISBN: 978-89-93215-19-9  
ISSN: 2093-7121

<http://2020.iccas.org>

- Conference Organization
- Table of Contents
- Author Index
- E-proceeding Search
- Exit

Copyright © 2020 Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS)  
Tel: +82-2-6949-5801 / Fax: +82-2-6949-5807 / E-mail: conference@icros.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2020 20th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2020)  
Oct. 13–16, 2020; BEXCO, Busan, Korea

### Application of Webcam for Inspection of Rice Grain Quality by Using Image Processing Technique

Witsarut Sriratana<sup>1\*</sup>, Namon Narknam<sup>2</sup>, Ruangsit Apichitanon<sup>3</sup> and Narin Tammarugwattana<sup>4</sup>

Department of Instrumentation and Control Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, 10520, Thailand  
(E-mail: <sup>1</sup>witsarut.sr@kmitl.ac.th, <sup>2</sup>61601191@kmitl.ac.th, <sup>3</sup>sukrit8220@hotmail.com and <sup>4</sup>narin.ta@kmitl.ac.th)  
\* Corresponding author

**Abstract:** This paper presents the image processing system for quality inspection of rice grains after sorting process by using an ordinary webcam to ensure that rice grains should meet the quality standards and impurity such as grits, dirt and stones should not be found [1]. Moreover, statistical information of rice grains from image processing could be taken into analysis to enhance the efficiency of the sorting process. Image data analysis of rice grains can be divided into 2 main arrangement conditions, non-overlapping and overlapping. In this study, the experiments to inspect rice grains were applied for 24 samples and 18 experimental designs including the complete and incomplete structures, the overlapping and non-overlapping arrangements, and the combination of rice grains from complete and incomplete structures in equal and unequal ratios. From experiments, it was found that the inspection of rice grain quality by using image processing technique and image data recorded by an ordinary webcam was reliable and efficient. The inspection errors under non-overlapping arrangement condition of complete and incomplete structures of rice grains were not observed. The inspection errors of rice grains combined from complete and incomplete structures in equal and unequal ratios were about 0.8% and 1.11%, respectively. However, under overlapping arrangement condition, it was observed that the inspection errors of image processing would be high by up to 53.82% on average.

**Keywords:** Image processing, Inspection, Rice grains, Surin jasmine rice, Webcam

## 1. INTRODUCTION

Inspection of rice grain structures is one of the methods for determining the physical quality of rice grains which can indicate the standardized rice grains after sorting process. In this study, the standards applied were referred to the standards of Thai rice according to agricultural standards from the National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, Ministry of Agriculture and Cooperatives. The main objective of this study is to apply an ordinary webcam to examine the rice grain quality and then further develop to an appropriate algorithm. At present, there are many proposed methods of image processing such as Finite Impulse Response System (FIR), Identification and Recognition of Object in Color Stereo Image using a Hierarchical SOM [2] which presented the background subtraction method to take the depth and the edge data after watershed processing and segment the interested objects for background subtraction, Stereo Vision-based approaches for Pedestrian Detection [3], Grain quality detection by using image processing for public [4], and Non-destructive Quality Analysis of Indian Basmati Oryza Sativa SSP Indica (Rice) using Image Processing [5]. From literature review, Geometric Matching Method, Geometric Shape Features, and Python were then properly adopted in programming and design of the algorithm developed. Also, Microsoft Visual C# 2017 was applied in digital image processing.

## 2. IMAGE PROCESSING METHODS

From review of image processing theories and principles, it was found that the necessary and suitable

approaches for developing the algorithm regarding to the main objectives of this study would be OTSU method, Grayscale method, Bounding Box method, Blob Detection method and algebra principles. The methodology of system design could be performed suitably when applying these methods and principles together.

### 2.1 Grayscale and OTSU Method

Grayscale is an image that is white, gray, and black with the color intensity ranging from 0 to 255 (8 Bit). The contrast of grayscale image can range from black (the weakest intensity) to white (the strongest intensity). Grayscale images can be generated by converting RGB color to grayscale. From Eq. (1),  $P$  is the gray value at the pixel,  $z$  is the red value at the point,  $x$  is the green value at the point, and  $c$  is the blue value at the point for more convenience of analysis. It is because the color intensity of each pixel in the image would be reduced ranging from 0 to 255 when converting the image to grayscale [6]. OTSU is an image conversion method for assessing the variance between the groups where  $k$  is the group number, starting from  $k = 1$  to  $k = 255$  [7]. To convert an image from grayscale to monochrome (black and white) as shown in the Fig. 1, it can be calculated by using Eq. (2).

$$P = 0.299z + 0.587x + 0.114c \quad (1)$$

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{1 \leq k < L} \sigma_B^2(k) \quad (2)$$

where  $\sigma_B^2(k^*)$  is the maximum group variance.

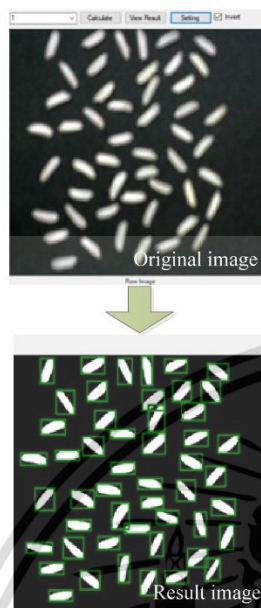


Fig. 1 Sample of an image converting from grayscale to monochrome obtained from rice grain inspection.

**2.2 Bounding Box and Blob Detection Method**

Bounding Box is a method to create a rectangular boundary enclosing the image area or the defined areas in order to estimate the center of area, the lengths of major and minor axes, or the coordinates of image [8] as shown in Fig. 2. For analysis of color pixel in grayscale mode, Blob Detection method can be applied [9]. The obtained data consist of the object dimension, width, length, and the object coordinates, etc. The process of Blob analysis process [10] is to find the blob, the position of pixel group, by using Flood Fill method in order to improve the missing image data as the images from binary image processing could not be clearly distinguished between the objects and the background.

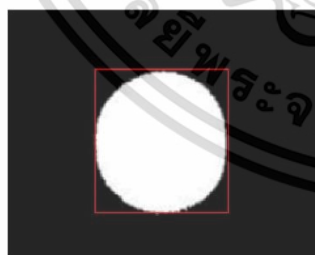


Fig. 2 Image processed by Bounding Box.

**3. PROCESSING OPERATION**

This study proposes the system design for inspecting the quality of rice grains after sorting process based on image processing methods. An ordinary webcam was applied and the algorithm was developed using Microsoft Visual C#. There were about 24 samples and 18 designs of experiments by using Surin jasmine rice as a case study.

**3.1 Inspection System**

The testing process started by placing the sample of rice grains on the rice plate. The plate color should be opposite to the rice grain color such as using the black plate for white rice grains. After webcam capturing images, the image data were sent for processing via Microsoft Visual C#. The system could display the number of complete and incomplete structure grains on the computer screen after processing as shown in Fig. 3. The inspection module designed for quality assessing and sorting rice grains consists of a webcam, a stand and a rice grain plate (size 10 x 10 cm and thickness 1 cm) as shown in Fig. 4. The webcam was mounted firmly at a distance of 10 cm from the rice grain plate.

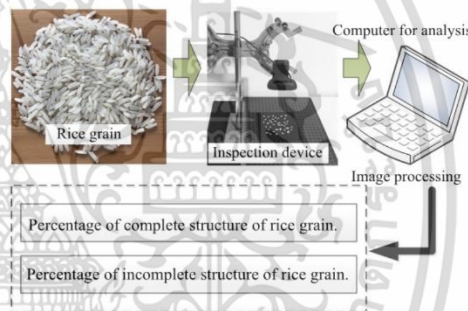


Fig. 3 Inspection module for quality assessing and sorting rice grains.

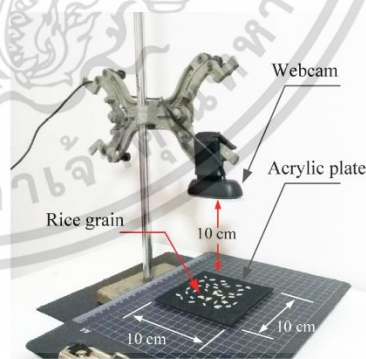


Fig. 4 Webcam position and rice grain plate.

**3.2 Classification Algorithms**

Initially, the webcam was used to capture images of a sample of rice grains on the plate. The image data were then delivered for matching or image processing to check the similarity of rice grain images and the data set, as demonstrated by the flowchart in Fig. 5, and the image data were then converted to gray images by Grayscale method. Objects in the image were detected by Blob Detection method and then each interested object was enclosed by a rectangle to estimate the center position, and the lengths of horizontal and vertical axes as well as to calculate the object area by using Bounding Box method. The results of image data analysis were determined by color marking. A green rectangle was marked around a complete structure grain while a red rectangle was marked around an incomplete structure grain. The images were then converted from grayscale to monochrome by using the binary method to distinguish between rice grains and the background. Moreover, the number of rice grains categorized by complete and incomplete structures was counted in percentage by comparing to the total number of grains, as illustrated by the flowchart in Fig. 6.

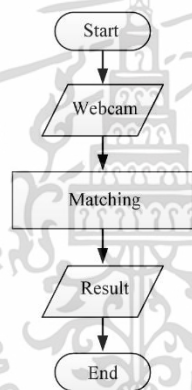


Fig. 5 Flowchart of rice grain inspection process.

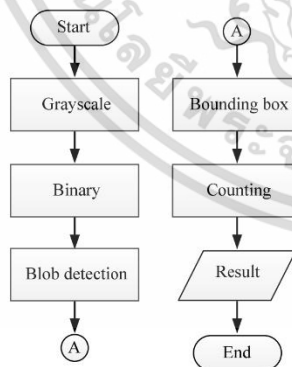


Fig. 6 Flowchart of image processing algorithm.

**3.3 Function for Analysis System**

Figure 7 presents the functions of program designed and developed in this study. The program consists of A: Function for selecting a webcam in case of more than one webcam available, B: Function for starting to capture images, C: Function for selecting display, D: Function for general settings, E: Function for selecting color of rice grains, F: Numerical display part, G: Setting boundary, size, and color level of the sample rice grains, and H: Result display part. The image on the left is Grayscale (original image) and the image on the right is the converted monochrome image (result image).

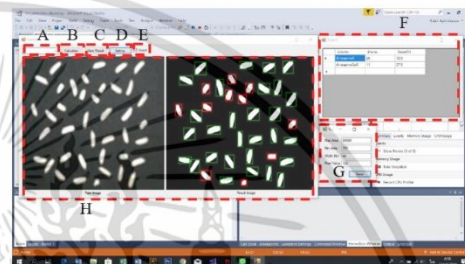


Fig. 7 Program functions.

**4. IMAGE PROCESSING FOR INSPECTION OF RICE GRAINS**

Inspection of the rice grain quality was referred to the standard of Thai rice by divided the arrangement of rice grains into 2 conditions, non-overlapping and overlapping. Each inspection of grain arrangement patterns was also divided into the inspection of the complete structure grains, the inspection of the incomplete structure grains, and the inspection of the rice grains combined from complete and incomplete structures in the equivalent ratio. The total number of rice grains for each testing case was 50.

**4.1 Image Processing of Non-overlapping Arrangement of Complete Structure Rice Grains**

About 50 rice grains with complete structure were taken into image processing by testing 5 times in different forms of non-overlapping arrangement to assess the accuracy and reliability of the system.

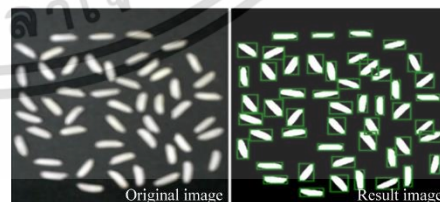


Fig. 8 Sample of image processing of non-overlapping arrangement of complete structure rice grains.

Comparison of the original image (Grayscale) and the result image (monochrome) is as illustrated in Fig. 8. The average error of the image processing tests in this case was about 0% as shown in Table 1.

Table 1 Results of image processing of non-overlapping arrangement of complete structure rice grains.

Test Number	Complete structure (grains)	Incomplete structure (grains)	Error (%)
1	50	0	0
2	50	0	0
3	50	0	0
4	50	0	0
5	50	0	0

#### 4.2 Image Processing of Overlapping Arrangement of Complete Structure Rice Grains

Image processing tests of overlapping arrangement were performed 5 times by using 50 rice grains with complete structure and different forms of overlapping arrangement as shown in Fig. 9. The average error of this case was up to 43.2% as shown in Table 2.



Fig. 9 Sample of image processing of overlapping arrangement of complete structure rice grains.

Table 2 Results of image processing of overlapping arrangement of complete structure rice grains.

Test Number	Complete structure (grains)	Incomplete structure (grains)	Error (%)
1	25	0	50
2	23	0	46
3	22	0	44
4	17	0	34
5	21	0	42

#### 4.3 Image Processing of Non-overlapping Arrangement of Incomplete Structure Rice Grains

Image processing tests of non-overlapping arrangement were performed 5 times by using 50 rice grains with incomplete structure and different forms of non-overlapping arrangement as shown in Fig. 10. The average error of this case was about 0% as shown in Table 3.

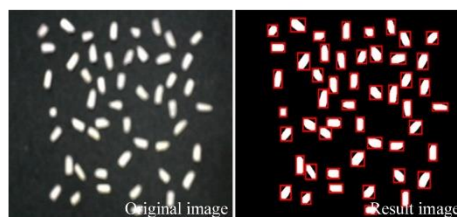


Fig. 10 Sample of image processing of non-overlapping arrangement of incomplete structure rice grains.

Table 3 Results of image processing of non-overlapping arrangement of incomplete structure rice grains.

Test Number	Complete structure (grains)	Incomplete structure (grains)	Error (%)
1	50	0	0
2	50	0	0
3	50	0	0
4	50	0	0
5	50	0	0

#### 4.4 Image Processing of Overlapping Arrangement of Incomplete Structure Rice Grains

Image processing tests of overlapping arrangement were performed 5 times by using 50 rice grains with incomplete structure and different forms of overlapping arrangement as shown in Fig. 11. The average error of this case was up to 61.6% as shown in Table 4.

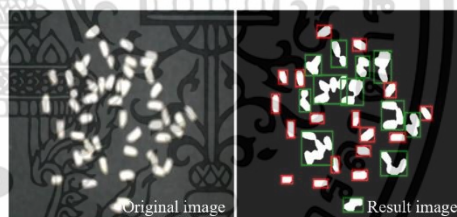


Fig. 11 Sample of image processing of overlapping arrangement of incomplete structure rice grains.

Table 4 Results of image processing of overlapping arrangement of incomplete structure rice grains.

Test Number	Complete structure (grains)	Incomplete structure (grains)	Error (%)
1	10	22	56
2	12	17	66
3	12	18	64
4	12	20	60
5	8	19	62

**4.5 Image Processing of Non-overlapping Arrangement of Rice Grains Combined from Complete and Incomplete Structures**

Image processing tests of non-overlapping arrangement were performed 5 times by using 50 rice grains combined from complete and incomplete structures in the ratio of 1:1 and different forms of non-overlapping arrangement as shown in Fig. 12. The average error of this case was only 0.8% as shown in Table 5.

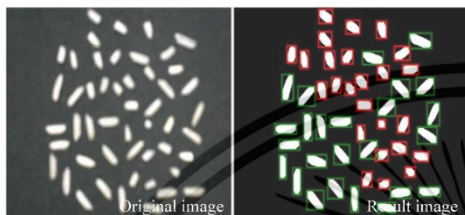


Fig. 12 Sample of image processing of non-overlapping arrangement of rice grains combined from complete and incomplete structures in the ratio of 1:1.

Table 5 Results of image processing of non-overlapping arrangement of rice grains combined from complete and incomplete structures in the ratio of 1:1.

Test Number	Complete structure (grains)	Incomplete structure (grains)	Error (%)
1	25	25	0
2	24	26	2
3	25	25	0
4	25	25	0
5	24	26	2

**4.6 Image Processing of Overlapping Arrangement of Rice Grains Combined from Complete and Incomplete Structures**

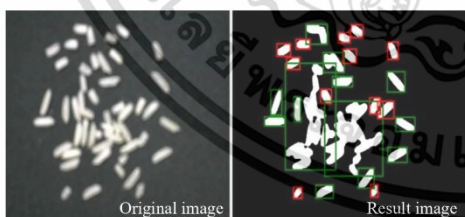


Fig. 13 Sample of Image processing of overlapping arrangement of rice grains combined from complete and incomplete structures in the ratio of 1:1.

Image processing tests of overlapping arrangement were performed 5 times by using 50 rice grains combined from complete and incomplete structures in the ratio of 1:1 and different forms of overlapping arrangement as shown in Fig. 13. The average error of this case was up to 47.6% as shown in Table 6.

Table 6 Results of Image processing of overlapping arrangement of rice grains combined from complete and incomplete structures in the ratio of 1:1.

Test Number	Complete structure (grains)	Incomplete structure (grains)	Error (%)
1	13	10	54
2	13	12	50
3	12	12	52
4	14	13	46
5	16	16	36

**5. RESULT OF ANALYSIS**

From experimental results of image processing, it can be concluded that the inspection of rice grains under non-overlapping arrangement condition would indicate low errors by approximately 0.47% on average while the inspection of rice grains under overlapping arrangement condition would exhibit very high errors by up to 53.82% on average from 18 experimental designs as presented in Table 7 and Fig. 14.

Table 7 Average Errors of 18 experimental designs.

Conditions	Complete structure (%)	Incomplete structure (%)	Tests in ratio 1:1 (%)	Tests in different ratios (%)
Non-overlapping	0	0	0.8	1.11
Overlapping	49.6	62.8	47.6	55.29

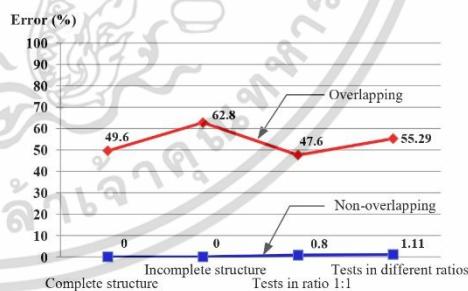


Fig. 14 Graph of the average errors of 18 experimental designs.

## 6. CONCLUSION

In this study, the application of an ordinary webcam for inspecting the standard-based quality of rice grains was carried out under 2 main arrangement conditions: non-overlapping and overlapping. From experiments, it can be observed that the system can perform precisely and reliably under non-overlapping arrangement condition with the average error of approximately 0.47%. From the tests under all conditions of 18 experimental designs, it can be observed that the errors from the overlapping arrangement tests were very high by up to 53.82% on average. The experimental errors would be caused by many factors such as the limited number of testing samples, inappropriate brightness of the light in the experimental room, the position of equipment that may cause light and shadow, and the distance between webcam and rice grains. However, this system can be technically improved to enhance the system performance and to overcome these obstacles by increasing the number of webcams mounted along the length of rice grain belt conveyor, installing the vibration system at the conveyor to avoid overlapping arrangement and to change the image feature of rice grains during inspection, and also adding inspection algorithms specifically for overlapping arrangement by adopting the relevant image processing theories for further development.

## REFERENCES

- [1] W. Sriratana, R. Apichitanon, N. Tamarugwattana and S. Weerathaveemas, "Application of Image Processing for Inspection of Pill Production Process", *The 4th International conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2018)*, Phuket, July 4-7, 2018.
- [2] G. Bertolini and S. Ramat, "Identification and Recognition of Objects in Color Stereo Images Using a Hierachial SOM", *Fourth Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'07)*, Montreal, Que., May 28-30, 2007. doi: 10.1109/CRV.2007.39
- [3] M. Bertozzi, E. Binelli, A. Broggi and M. D. Rose, "Stereo Vision-based Approaches for Pedestrian Detection", *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*, San Diego, September 21-23, pp. 1063-6919/05, 2005. doi: 10.1109/CVPR.2005.534
- [4] D. Sharma and S. D. Sawant, "Grain Quality Detection by Using Image Processing for Public Distribution", *International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Madurai, June 15-16, pp. 1118-1122, 2017. doi: 10.1109/ICCONS.2017.8250640
- [5] C. V. Maheshwari, K. R. Jain and C. K. Modi, "Non-destructive Quality Analysis of Indian Basmati Oryza Sativa SSP Indica (Rice) Using Image Processing", *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, Rajkot, May 11-13, pp. 189-193, 2012. doi: 10.1109/CSNT.2012.47
- [6] C. A. Poynton, "A Technical Introduction to Digital Video", John Wiley & Sons, New York, January 31, 1996.
- [7] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms", *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, Volume: 9, Issue: 1, January, pp. 62-66, 1979.
- [8] C. Coniglio, C. Meurie, O. Lézoray and M. Berbineau, "People Silhouette Extraction from People Detection Bounding Boxes in Images", *Pattern Recognition Letters*, Volume 93, July 1, pp. 182-191, 2017. doi: 10.1016/j.patrec.2016.12.014
- [9] T. Lindeberg, "Detecting Salient Blob-Like Image Structures and Their Scales with a Scale-Space Primal Sketch: A Method for Focus-of-Attention", *International Journal of Computer, Vision* 11, May, pp. 283-318, 1993.
- [10] T. H. Chen, Y. Feng. Lin and T. Y. Chen, "Intelligent Vehicle Counting Method Based on Blob Analysis in Traffic Surveillance". *Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC)*, Kumamoto, September 5-7, 2007. doi: 10.1109/ICICIC.2007.362

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายนิม นาคน้ำ
วัน เดือน ปีเกิด	4 สิงหาคม 2536
ที่อยู่	566/ข หมู่2 ตำบลป่าโมก อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง 14130
ประวัติการศึกษา	2559 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความสนใจและความ ชำนาญเฉพาะด้าน	1) เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ 2) การประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎีการประมวลผลภาพ เพื่อพัฒนาให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้ใน อุตสาหกรรม 3) การเขียนโปรแกรม PyCharm Community edition 2020.2.3 ด้วยภาษา Python

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

- [1] Witsarut Sriratana, Namo Narknam, Ruangsit Apichitanon and Narin Tammarugwattana. "Application of Webcam for Inspection of Rice Grain Quality by Using Image Processing Technique" International Conference on Control, Automation and Systems Year: 2020 Pages: 1134 – 1139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้