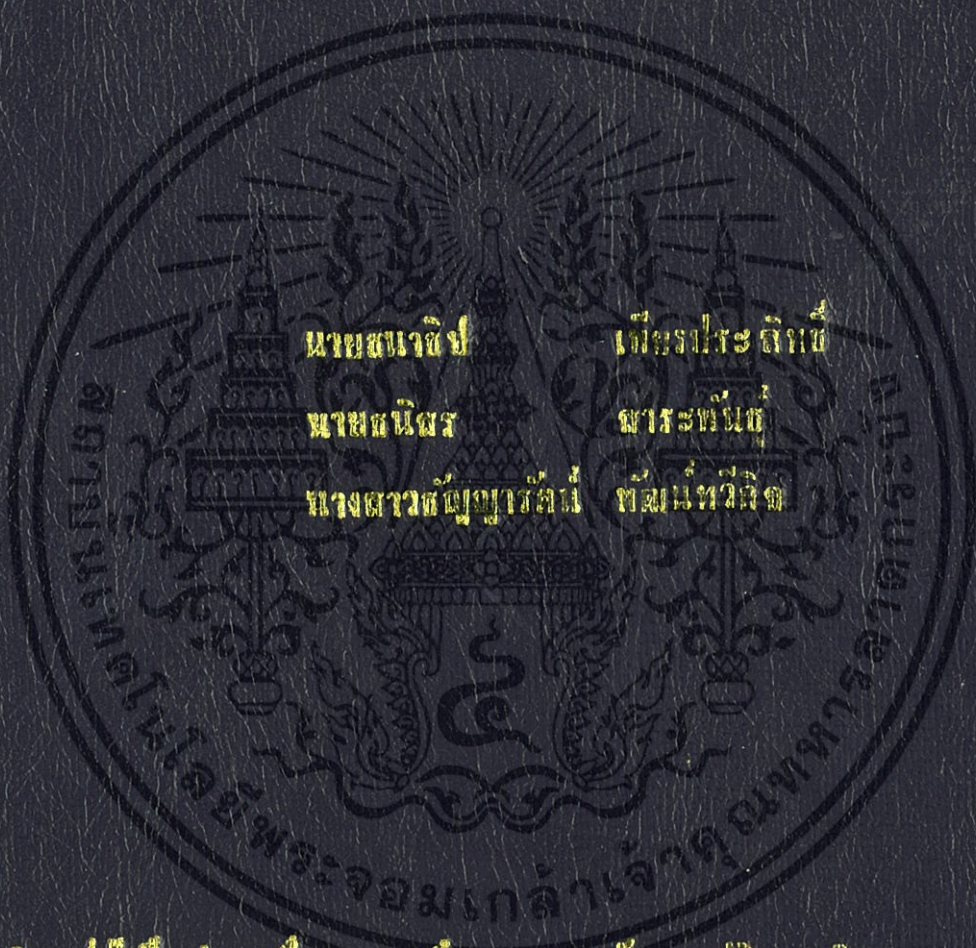


การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System  
Simulation of Solar-Tracking using Machine Vision System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System  
Simulation of Solar-Tracking using Machine Vision System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Simulation of Solar-Tracking using Machine Vision System



A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE OF BECHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System  
(Simulation of Solar-Tracking using Machine Vision System)



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล  
ผศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System

ผู้จัดทำ

1. นาย ธนาธิป เพียรประสิทธิ์
2. นาย ธนिसร สาระพันธ์
3. นางสาว ธัญญารัตน์ พัฒน์ทวีกิจ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล )

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System

นาย ธนาธิป เพียรประสิทธิ์  
นาย ธนีสร์ สาระพันธุ์  
นางสาว ธัญญารัตน์ พัฒน์ทวีกิจ  
ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร. เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2555

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบ และการจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System เพื่อนำไปใช้ในการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้กล้องเว็บแคมในการรับภาพดวงอาทิตย์ แล้วส่งสัญญาณภาพที่ได้ไปยังโปรแกรมประมวลผลภาพ เพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากนั้นโปรแกรมประมวลผลภาพจะส่งข้อมูลของตำแหน่งไปยังตัวควบคุมซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อขับเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยได้ ออกแบบให้มีการทำงานสองแนวแกน คือ แกนอัลติจูด และแกนอะซิมูท โดยการทดลองแบ่งเป็นสอง ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบการตอบสนองของระบบและความแม่นยำในการติดตาม โดยใช้ไฟฉาย แทนดวงอาทิตย์และมีการจำลองเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์ ส่วนที่สองเป็นการทดลองการติดตาม ดวงอาทิตย์ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าสามารถติดตามไฟฉายและดวงอาทิตย์ตามเส้นทางโคจรได้ตาม เวลาจริงได้อย่างแม่นยำ

## Simulation of Solar-Tracking using Machine Vision System

Tanatip Pianprasit

Thanison Saraphun

Thanyarat Phatthaweekit

Dr. Nirudh Jirasuwankul Supervisor

Asst.Prof.Dr. Chalermchat Manop Supervisor

Year 2012

### Abstract

This article presents the design and simulation of solar tracking system, based on machine vision technique, that the maximum efficiency of solar energy system can be obtained. By using a web-camera, image of the sun is captured and transmitted to image processing program and its position has been on-line analyzed. The position data is then fed to microcontroller-based double-axis positioning servo system, Azimuth and Altitude axis, and to follow-up the sun movement. There are 3 parts in the experiments, testing of response and accuracy of the system by using the flashlight instead the sun and simulating the sun's path and testing about tracking the sun. The experimental results show that the proposed technique and designed system can track the sun's trajectory in real-time.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล และผศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ในด้านการผลิตไฟฟ้าและความร้อน	5
2.1.1 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า	5
2.1.2 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน	7
2.2 เทคนิคในการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด	7
2.2.1 เรื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด	7
2.3 การติดตามดวงอาทิตย์จากงานวิจัยที่มีมาก่อน	8
2.4 Machine Vision	11
2.5 การประมวลผลภาพ	11
2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล	12
2.7 มาตรฐานของสี	15
2.7.1 ระบบสี RGB	15
2.7.2 ระบบสี HSL	15
2.8 AForge.NET	16
2.9 วิซวลซีชาร์ป (Visual C#)	16
2.10 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก	17
บทที่ 3 เทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision	23
3.1 ขั้นตอนวิธีการของโปรแกรมโดยรวม	23
3.2 การทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ	24
3.2.1 ไลบรารี(Library)ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม	25
3.2.1.1 ดอทเน็ตเฟรมเวิร์ค(.Net Framework)	25
3.2.1.2 GDI+(Graphics Device Interface Plus)	25
3.2.1.3 AForge.NET framework	26

3.2.2 การประมวลผลภาพสำหรับติดตามดวงอาทิตย์	27
3.2.2.1 กล้อง QC E2500, V-UCV39	27
3.2.2.2 การกรองสีภาพด้วย HSL Filter	28
3.2.2.3 การแปลงภาพเป็นภาพระดับเทา(Gray Scale)	28
3.2.2.4 blobcounter	29
3.2.3 การแปลงข้อมูลภาพให้เป็นตำแหน่ง	29
3.2.4 การวิเคราะห์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่อยู่บนภาพ	30
3.2.5 การส่งค่าออกจากโปรแกรมประมวลผลภาพ	31
3.2.5.1 โซน A	31
3.2.5.2 โซน 1	32
3.2.5.3 โซน B	33
3.2.5.4 โซน 2	34
3.2.5.5 โซน C	35
3.2.5.6 โซน 3	36
3.2.5.7 โซน D	37
3.2.5.8 โซน 4	38
3.2.5.9 โซน O	39
3.3 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์	40
3.4 โปรแกรมที่พัฒนา	44
3.4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรมที่พัฒนา	44
3.4.1.1 ส่วนเลือกกล้อง	44
3.4.1.2 ส่วนเริ่มการทำงาน	45
3.4.1.3 ส่วนหยุดการทำงาน	46
3.4.1.4 ส่วนแสดงค่าพิกัดแกนX และแกนY	46
3.4.1.5 ส่วนแสดงขนาดกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบวัตถุ	47
3.4.1.6 ส่วนแสดงภาพที่รับจากกล้อง	47
3.4.1.7 ส่วนภาพระดับเทา(Gray Scale)	48
3.4.1.8 ส่วนปรับค่า HSL filter	48
3.4.1.9 ส่วนแสดงค่าของสีที่เราต้องการ	49
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	50
4.1 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้วัตถุแทนดวงอาทิตย์	50
4.1.1 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้วัตถุแทนดวงอาทิตย์	50
4.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	58
4.2 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยการติดตามดวงอาทิตย์จริง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา	63
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	63
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	66
ประวัติผู้เขียน	



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system)	5
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)	6
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)	6
2.4 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด	8
2.5 โครงสร้างระบบหาตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือวัดพลังงานจากดวงอาทิตย์	9
2.6 ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี	10
2.7 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล	12
2.8 ภาพแบบ Binary หรือภาพขาว-ดำ	13
2.9 ภาพแบบ Grayscale หรือ ภาพระดับเทา	13
2.10 ภาพแบบ RGB	14
2.11 ภาพแบบ Indexed	14
2.12 ระบบสี HSL (Hue-Saturation-Lightness)	15
2.13 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	17
2.14 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 ธันวาคม	18
2.15 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 มิถุนายน	18
2.16 มุมต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นผิวโลก	19
2.17 มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด	19
3.1 ผังการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบจำลอง	23
3.2 ผังการทำงานของโปรแกรมการประมวลผลภาพโดยรวม	24
3.3 กล้อง QC E2500, V-UCV39	27
3.4 ภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคม(Webcam) โดยใช้ไฟฉายแทนดวงอาทิตย์	27
3.5 ภาพระดับเทา(Gray Scale) โดยใช้ไฟฉายแทนดวงอาทิตย์	28
3.6 ประมวลผลภาพโดยใช้ระบบ HSL Filter(Hue, Saturation, Light) และผ่านการทำเป็นภาพระดับเทา(Gray Scale)	28
3.7 การแบ่งพื้นที่ภาพตามตำแหน่งการพิจารณาออกเป็น 9 โซน	30
3.8 โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน A	31
3.9 โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว A	31
3.10 โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 1	32
3.11 โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว 1	32
3.12 โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน B	33
3.13 โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว B	33
3.14 โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 2	34
3.15 โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว 2	34

3.16	โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน C	35
3.17	โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว C	35
3.18	โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 3	36
3.19	โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว 3	36
3.20	โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน D	37
3.21	โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว D	37
3.22	โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 4	38
3.23	โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว 4	38
3.24	โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน O	39
3.25	โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว O	39
3.26	ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์	41
3.27	ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์	42
3.28	ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์	43
3.29	หน้าต่างโปรแกรมติดตามวัตถุ	44
3.30	ส่วนเลือกกล้อง	45
3.31	การเริ่มการทำงานเมื่อกดปุ่ม Start	45
3.32	การหยุดการทำงานเมื่อกดปุ่ม Stop	46
3.33	ส่วนแสดงค่าพิกัดแกน X และแกน Y	46
3.34	ส่วนแสดงค่าขนาดกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบวัตถุ	47
3.35	ส่วนแสดงภาพที่รับจากกล้อง	47
3.36	ส่วนภาพระดับเทา	48
3.37	ส่วนปรับค่า HSL filter	48
3.38	ส่วนแสดงค่าของสีที่เราต้องการ	49
4.1	วางวัตถุไว้ในโซน A แกนอะซิมุทเริ่มทำงาน	50
4.2	แกนอัลติจูดเริ่มหมุนเมื่อวัตถุอยู่ในโซน 1	51
4.3	วางวัตถุไว้ในโซน B	51
4.4	แกนอัลติจูดเริ่มหมุนเมื่อวัตถุอยู่ในโซน 1	52
4.5	วางวัตถุไว้ในโซน C	52
4.6	แกนอัลติจูดเริ่มหมุนเมื่อวัตถุอยู่ในโซน 3	53
4.7	วางวัตถุไว้ในโซน D	53
4.8	แกนอัลติจูดเริ่มหมุนเมื่อวัตถุอยู่ในโซน 4	54
4.9	วางวัตถุไว้ในโซน 1	54
4.10	วางวัตถุไว้ในโซน 2	55
4.11	วางวัตถุไว้ในโซน 3	56
4.12	วางวัตถุไว้ในโซน 4	57
4.13	แบบจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	58
4.14	กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองของระบบในเส้นทางที่ 1	58
4.15	กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองของระบบในเส้นทางที่ 2	59

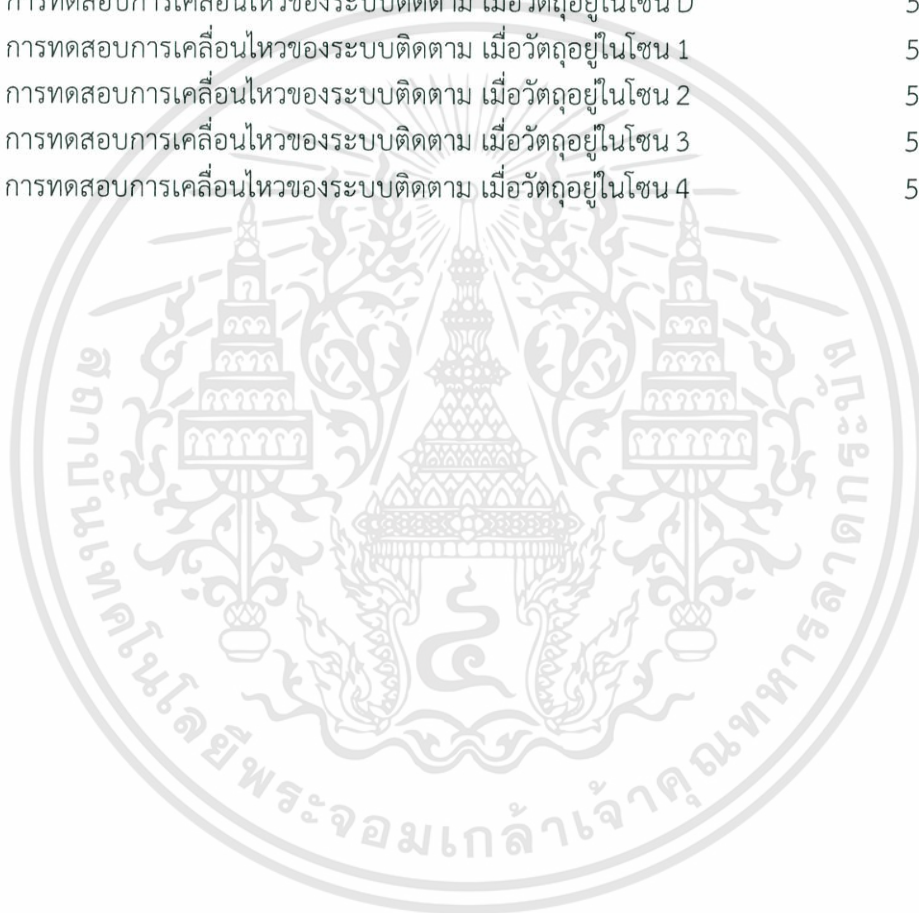
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VIII ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.16 กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองของระบบโดยในเส้นทางที่ 3	59
4.17 การรับภาพดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออก	60
4.18 ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่บนโซน C ของภาพ	60
4.19 ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่บนโซน O ของภาพ	61
4.20 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยการติดตามดวงอาทิตย์จริง	61



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการประจำปี ม.ย.55 ถึง พ.ย.55	3
1.2 แผนการดำเนินโครงการประจำปี ธ.ค.55 ถึง เม.ย.56	4
2.1 ตารางวันที่ของรอบปี	20
4.1 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน A	51
4.2 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน B	52
4.3 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน C	53
4.4 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน D	54
4.5 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 1	55
4.6 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 2	55
4.7 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 3	56
4.8 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 4	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันโลกมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีอย่างมาก เป็นผลให้มีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งยังมีแนวโน้มอัตราการเพิ่มของประชากรอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้แหล่งพลังงานมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้เกิดปัญหาวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานซึ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น จะเห็นได้จากราคาน้ำมัน ราคาแก๊สธรรมชาติและราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยซึ่งปรับเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นพลังงานที่ไม่อาจจะมองข้ามได้อีกต่อไป พลังงานทางเลือก นั้นมีมากมายหลายชนิด ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีลักษณะเด่น คือเป็นพลังงานหมุนเวียน ไม่มีต้นทุนวัตถุดิบ และเป็นพลังงานสะอาด ไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและไม่เกิดปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ มีอายุการใช้งานยืนยาว อีกทั้งเป็นพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับภูมิศาสตร์ของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตที่ได้รับแสงอาทิตย์ปริมาณมากต่อวัน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงนำเสนอโครงการที่เกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

ปัจจุบันเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ระบบ ระบบแรกคือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV - Stand alone system) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid - connected system) และ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) ระบบที่สอง คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์ เช่น แบบรางพาราโบลิก (Parabolic - troughs) แบบตัวรับรังสีรวมกลาง (Central receivers) และแบบจานพาราโบลิก (Parabolic dishes) ซึ่งทั้งสองระบบนั้นจะสามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้สูงสุดต่อเมื่อมีการใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งระบบติดตามดวงอาทิตย์เป็นระบบที่มีวิธีในการควบคุมหลายวิธี เช่น วิธีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี (CPLD) วิธีการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ เป็นต้น

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอการใช้เทคนิค Machine Vision ในการสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ตามเวลาจริง เพื่อให้แสงตกกระทบบนมุมตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro-controller) ในการควบคุมระบบ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาการและออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้เทคนิค Machine Vision

1.2.2 ศึกษาและออกแบบตัวควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

1.2.3 ใช้สัญญาณภาพจากกล้องในการติดตามดวงอาทิตย์ได้

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1.3.1 ใช้กล้องเว็บแคม เป็นตัวรับสัญญาณภาพตำแหน่งดวงอาทิตย์

1.3.2 ประดิษฐ์โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์และประมวลผลสัญญาณภาพที่รับจากกล้องเว็บแคม เพื่อควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft Visual C# 2010

1.3.3 ออกแบบระบบควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีการทำงานสองแกน

## 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

ใช้กล้องเว็บแคมเป็นตัวรับสัญญาณภาพตำแหน่งดวงอาทิตย์ และทำการส่งสัญญาณไปยังโปรแกรมประมวลผลภาพโดยใช้เทคนิค Machine Vision ในการวิเคราะห์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ จากนั้นโปรแกรมประมวลผลภาพจะส่งข้อมูลไปยังตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro-controller) เพื่อขับเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์

## 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตาราง 1.1 แผนการดำเนินโครงการประจำเดือน มิ.ย.55 ถึง พ.ย.55

หัวข้อ	มิ.ย.55				ก.ค.55				ส.ค.55				ก.ย.55				ต.ค.55				พ.ย.55			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล	←																							
2. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้กล้อง Webcam					←																			
3. สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนแผงโซลาร์เซลล์และกล้อง Webcam																	←							
4. เชื่อมต่อโปรแกรมที่เขียนขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้หมุนกล้อง Webcam และแผงโซลาร์เซลล์																								
5. ทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งาน																								
6. ตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน																								
7. ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์					←								←											

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1.2 แผนการดำเนินโครงการประจำปี ๒๕.๕๕ ถึง ๒๕.๕๖

หัวข้อ	๒๕.๕๕				๒๕.๕๖				๒๕.๕๖				๒๕.๕๖				๒๕.๕๖			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล																				
2. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้กล้อง Webcam																				
3. สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนกล้อง Webcam และแผงโซลาร์เซลล์																				
4. เชื่อมต่อโปรแกรมที่เขียนขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ขับเคลื่อนกล้อง Webcam และแผงโซลาร์เซลล์																				
5. ทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งาน																				
6. ตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน																				
7. ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์																				

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.6.1 เป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยเทคนิค Machine Vision

1.6.2 เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

1.6.3 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนชนิดอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ในด้านการผลิตไฟฟ้าและความร้อน(Solar PV and Solar Thermal)

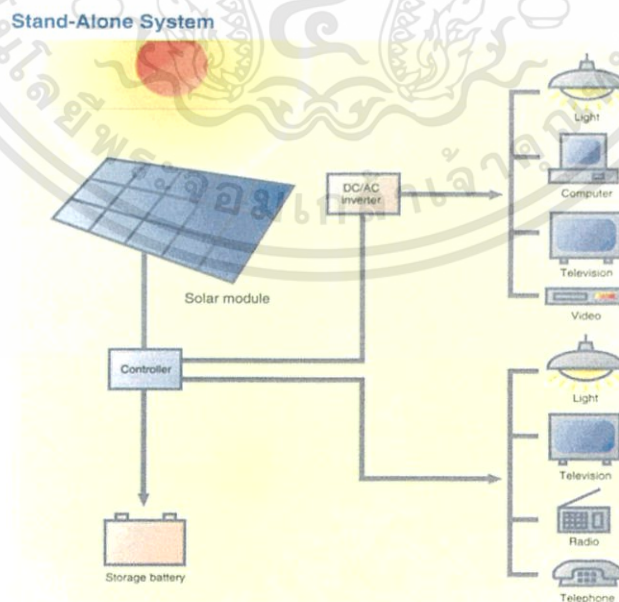
พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

#### 2.1.1 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

วิธีแรกคือใช้อุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ (photovoltaic device) หรือที่รู้จักกันในชื่อโซลาร์เซลล์ (solar cells) อุปกรณ์นี้จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง เซลล์แต่ละเซลล์จะถูกเชื่อมเข้าไว้ด้วยกันเป็นแผงโซลาร์ ซึ่งสามารถนำไปวางไว้บนหลังคาบ้าน ในเครื่องคิดเลข หรือบนพื้นที่โล่งใหญ่ๆ เพื่อให้พลังงานกับเมืองทั้งเมืองก็ได้ พลังงานแสงอาทิตย์ไม่ผลิตมลพิษทางอากาศและไม่สร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเนื่องจากสามารถนำไปวางไว้บนอาคารที่ก่อสร้างเสร็จแล้วได้เลย เราจึงไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่เพิ่มเติมเพื่อสร้างโรงไฟฟ้า ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

##### - เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุ แบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ

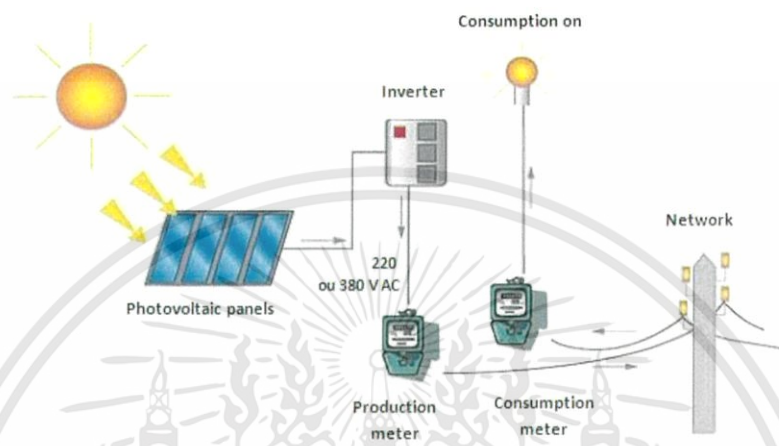


รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

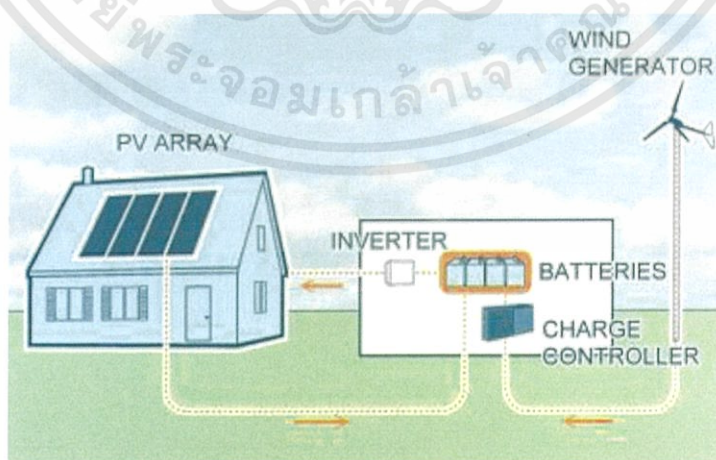
เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้า กระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

- เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

อีกหนึ่งวิธีที่เราสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ ก็คือใช้ประโยชน์จากความร้อนของแสงอาทิตย์ โรงงานไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ ( Solar Thermal Electric Power Plant) ผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยรวมพลังงานแสงอาทิตย์แล้วใช้ความร้อนทำให้น้ำเดือด ซึ่งทำให้เกิดไอน้ำ ไอน้ำนี้จะทำให้ใบพัดของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าหมุนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยกระจกหลายบานบนพื้นที่กว้างที่คอยสะท้อนแสงอาทิตย์ขึ้นไปยังเครื่องรับ ตัวเครื่องรับจะรับพลังงานแสงอาทิตย์นี้มาเพื่อเปลี่ยนเป็นความร้อน การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

- การผลิตน้ำร้อนชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ : เป็นการผลิตน้ำร้อนชนิดที่มีถังเก็บอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ ใช้หลักการหมุนเวียนตามธรรมชาติ
- การผลิตน้ำร้อนชนิดใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียน : เหมาะสำหรับการใช้ผลิตน้ำร้อนจำนวนมาก และมีการใช้อย่างต่อเนื่อง
- การผลิตน้ำร้อนชนิดผสมผสาน : เป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้งจากการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็น หรือเครื่องปรับอากาศ โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

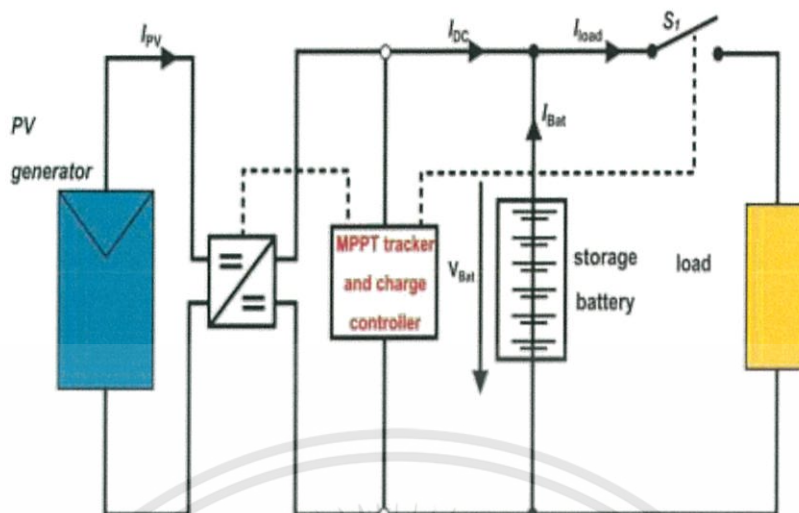
โดยพื้นฐานแล้ว การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำงานคล้ายกันกับโรงงานไฟฟ้าพลังงานเชื้อเพลิง แต่แทนที่จะสร้างไอน้ำโดยการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล พลังงานแสงอาทิตย์จะถูกใช้สร้างไอน้ำแทน

## 2.2 เทคนิคในการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

### 2.2.1 เรื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด (MPP Charge controllers)

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าได้ ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิ ซึ่งการต่อเครื่องควบคุมการประจุและแผงอาทิตย์ที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลัง 10-40% ทั้งนี้การหลีกเลี่ยงทำได้โดยการใช้ตัวติดตามจุดกำลังสูงสุด ( Maximum Power Point, MPP) หรือเรียกว่า Maximum Power Point Tracker (MPPT)

MPPT ประกอบด้วย ตัวควบคุมการแปลงกระแสไฟตรงเป็นไฟตรง และจะทำงานทุกๆ 5 นาที เพื่อวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์อาทิตย์ นำมาคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด จากนั้นจะมีวงจรที่ควบคุม เพื่อปรับให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ โดยทั่วไปเครื่องแปลงไฟฟ้าแบบนี้มีประสิทธิภาพ 90-96% ส่วนระบบที่เหมาะสมกับการใช้ MPPT ควรมีขนาดตั้งแต่ 200 วัตต์ขึ้นไป หากระบบมีขนาดเล็กกว่านี้จะเกิดการสูญเสียในระหว่างการแปลงมากกว่าจะได้รับมา เนื่องจากวงจรมีความซับซ้อน ปัจจุบันพบว่าเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบนี้จะใช้ในระบบขนาดตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไป นอกจากนี้เครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุดมีราคาค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด

หลักการสำคัญของระบบ MPPT คือ ดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด โดยการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือ MPPT ทำงานโดยการตรวจสอบที่เอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในระบบ จากนั้นกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายออกเพื่อทำการประจุในแบตเตอรี่ และทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าสูงสุดในการประจุแบตเตอรี่ นอกจากนี้ ยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC load) ที่ต่อโดยตรงกับแบตเตอรี่ได้อีกด้วย

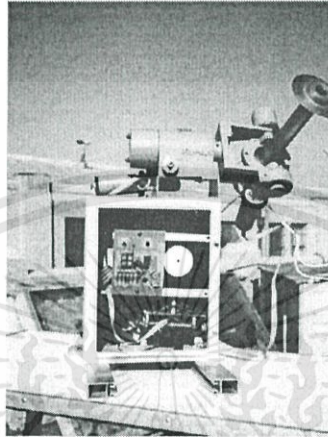
### 2.3 การติดตามดวงอาทิตย์จากงานวิจัยที่มีมาก่อน

ธนกร และคณะ [1] ได้ออกแบบอุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์ โดยวิธีการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผิวโลกกับพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์แทนการใช้ตัวตรวจจับแอลดีอาร์ (LDR) โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น P89V51RD2 เพื่อที่จะควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้หมุนตามพิกัดของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้หลักการควบคุมแบบป้อนกลับ

คงฤทธิ และคณะ[2] ได้นำเสนอโปรแกรมจำลองติดตามดวงอาทิตย์ (Sun tracking and simulation) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ โดยการแสดงผลจะออกมาเป็นทั้งค่าของมุมซีนิซ (Zenith angle) มุมอซิมูทซุริย (Solar azimuth) มุมอัลติจูดซุริย (Solar altitude) มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์ (Declination angle) และมุมชั่วโมง (Hour angle) อีกทั้งยังสามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Roth และคณะ [3] ได้สร้างระบบจักรกลไฟฟ้าในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยใช้ระบบวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติด้วยโฟโตไดโอดจำนวน 4 ตัว (Four-quadrant photodiode) ซึ่งติดตั้งเป็นวงกลม และวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ด้วยเครื่องมือวัดพลังงานจากดวงอาทิตย์ (Pyrheliometer) ส่วนระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบจักรกลไฟฟ้าแบบอัตโนมัติได้ใช้การควบคุมแบบวงปิดและมีตัวต้นกำลังเป็นดีซีมอเตอร์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของระบบหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยใช้เครื่องมือวัดพลังงานจากดวงอาทิตย์ [3]

Bakos [4] ได้ออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนที่มีโครงสร้างอย่างง่ายที่ใช้อีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน โดยที่โครงสร้างนี้จะต้องง่ายแก่การติดตั้ง การทำงานและยังต้องการซ่อมบำรุงต่ำ ส่วนตัวตรวจวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์นั้นได้ใช้โฟโตรีซิสเตอร์ (Photoresistor) จำนวน 2 ตัว ต่ออนุกรมกัน

อนุชา และคณะ [5] ได้ออกแบบเครื่องติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ส่วนตัวตรวจจับรังสีดวงอาทิตย์ได้ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ โดยใช้หลักการบังเงาจากกัน ในการขับเคลื่อนนั้นได้ใช้อีมอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวต้นกำลังจำนวน 2 ตัว เพื่อที่เครื่องติดตามดวงอาทิตย์นี้จะเคลื่อนที่ตามแนวแกนอัลติจูด และ อซิมูธ

ธนกัทร พรหมวัฒน์ภักดี และคณะ [6] เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ใช้หลักการบังเงาของฉากกัน มีโฟโต-ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ การวางตำแหน่งโฟโตทรานซิสเตอร์ ออกแบบให้สามารถตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ครอบคลุมตลอดทั้ง 2 แนว ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบซีพีแอลดี (Complex programmable logic device)



รูปที่ 2.6 ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี [6]

จากงานวิจัยระบบติดตามดวงอาทิตย์ [1] กับ [2] จะเห็นว่าตัวควบคุมส่วนใหญ่สามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบติดตามดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้วิธีติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริง (Real time) เพื่อให้เกิดความหลากหลายในระบบการควบคุม คณะผู้จัดทำจึงได้นำระบบภาพโดยใช้กล้อง webcam มาใช้ร่วมกับ Machine Vision ในการติดตามดวงอาทิตย์

งานวิจัย [3] ถึง [6] เป็นการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้วิธีติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริงและสามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามวิธีติดตาม คือ ประเภทแรก ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบไม่ได้ใช้วิธีแบบเวลาจริง เช่น การคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์จากสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งมีข้อจำกัดคือ เมื่อมุมแกนหมุนของโลกเปลี่ยนทำให้ระบบมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น ประเภทที่สอง ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้วิธีแบบเวลาจริง เช่น การใช้กล้องดิจิทัลเว็บแคม

## 2.4 Machine Vision

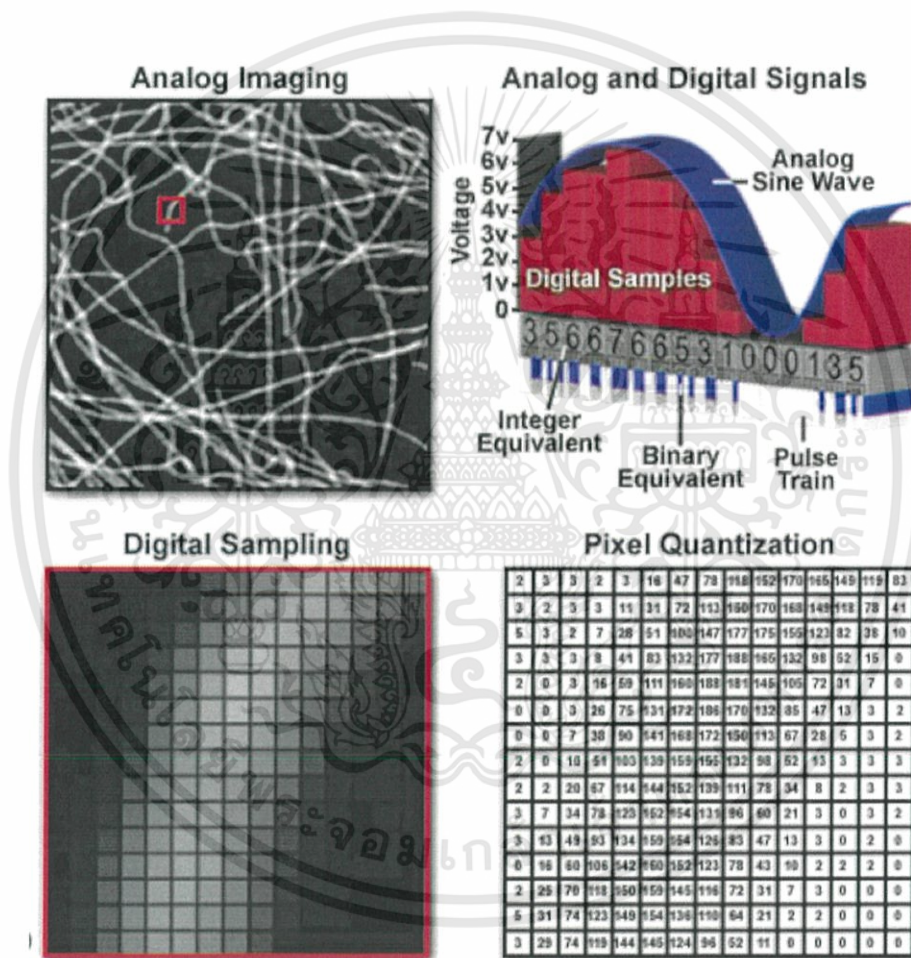
เครื่องรับภาพ (Machine Vision) คือ วิธีการที่ทำให้อุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processor, DSP) มีความสามารถในการรับรู้ภาพ ซึ่งรวมทั้งการทำให้อุปกรณ์ประมวลผลเหล่านั้นๆ สามารถตัดสินใจและสั่งงานกลไกส่วนต่างๆได้ จากข้อมูลที่ได้จากภาพหรือกลุ่มของภาพนั้นๆ จุดมุ่งหมายสูงสุดของ Machine Vision คือ ทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ มีความสามารถให้ได้เทียบเท่ากับระบบการมองเห็นของมนุษย์ ที่มีวิวัฒนาการต่อเนื่องกันมาหลายสิบล้านปี อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีในปัจจุบันยังคงไม่สามารถทำให้เครื่องจักรสามารถมองเห็นและรับรู้ได้เทียบเท่ากับความสามารถของมนุษย์ ยกตัวอย่างเช่น ผู้อ่านที่เป็นมนุษย์ที่มีสภาพร่างกายปกติ จะสามารถแยกแยะสิ่งของที่ต้องการจากกองสิ่งของหลายอย่างๆได้ หรือ สามารถแยกแยะหน้าคนที่คุ้นเคยได้จากกลุ่มคนที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีฝนตก หรือหมอกคลั่งจัด การทำกิจกรรมดังกล่าวนี้ ผู้อ่านจะสามารถทำได้โดยแทบจะไม่ต้องใช้ความพยายามมากเท่าไรนัก ซึ่งหากต้องการให้เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ประมวลผลมีความสามารถที่จะทำกิจกรรมดังกล่าวได้นั้น นอกจากจะต้องใช้ความพยายามเป็นอย่างมากแล้ว ยังต้องใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างกันระหว่างการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลและสมองมนุษย์ ที่แม้ว่าอุปกรณ์ประมวลผลจะมีความเร็วในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์สูงกว่าสมองของมนุษย์มาก ดังจะเห็นได้ง่ายๆ จากการบวกเลข 20 หลักเข้าด้วยกัน จะพบว่าคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือแม้กระทั่งเครื่องคิดเลขธรรมดาๆทั่วไป จะสามารถทำงานดังกล่าวได้โดยใช้เวลาเพียงเศษเสี้ยววินาทีเท่านั้น ซึ่งต่างกับสมองของมนุษย์ที่เป็นหน่วยประมวลผลอย่างง่าย ๆ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหน่วยย่อยๆของสมองมนุษย์เหล่านี้ มีจำนวนมากมายมหาศาล และทำงานไปพร้อมๆกัน(Parallel processing) แทนที่จะทำงานทีละขั้นตอน(Serial processing) ซึ่งเป็นวิธีการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสมองมนุษย์สูงกว่าอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก แม้ว่าด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน จะไม่สามารถพัฒนาความสามารถการมองเห็นและรับรู้ของเครื่องจักรให้ได้เทียบเท่ากับของสมองของมนุษย์ แต่ผลที่ได้จากการพัฒนาความรู้เรื่อง Machine Vision ก็สามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น การนำไปใช้กับระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย หรือแม้กระทั่งการประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เป็นต้น

## 2.5 การประมวลผลภาพ(Image Processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือ การให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพ เพื่อให้ทราบภาพนั้นคือภาพอะไร หรือมีสิ่งที่น่าสนใจอยู่ในภาพหรือไม่ โดยที่ไม่ต้องใช้สายตาของคนมาช่วยตัดสินใจ การคิด คำนวณนั้นมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีประโยชน์แตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นการนำเอาสีแต่ละจุด (Pixel) มาคิด, การคิดคำนวณเป็นบริเวณหลายๆ จุดรวมๆกัน (Area) เช่น การดูพื้นผิว(Texture), การดูรูปแบบ(Pattern), การวิเคราะห์หารูปร่าง (Shape) หรือการวิเคราะห์แบบอื่นๆ เพื่อหาค่าที่สามารถระบุได้ว่า ภาพนั้นมีลักษณะอย่างไร ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินใจได้ว่าสิ่งนั้นเป็นสิ่งที่กำลังค้นหาหรือสนใจอยู่หรือไม่

## 2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลรูปที่เป็นสัญญาณแอนะล็อก (Analogue signal) ให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล (Digital signal) เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ และยังสามารถนำมาใช้ในการลดปัญหาของภาพ เช่น ลดสัญญาณรบกวนภายในภาพ เป็นต้น ในการแปลงภาพให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital signal) นั้น ระบบจะนำรูปที่รับเข้ามาไปคำนวณโดยกระบวนการ Sampling และ Quantization และส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบดิจิทัล จากนั้นคอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำ โดยการจองหน่วยความจำภายในเครื่อง ในรูปแบบของอาร์เรย์ โดยค่าในแต่ละช่องของ อาร์เรย์แสดงถึงคุณสมบัติต่างๆของรูปที่จุดจุดภาพ นั้นๆ และตำแหน่งของช่อง อาร์เรย์ก็เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพภายในภาพด้วย

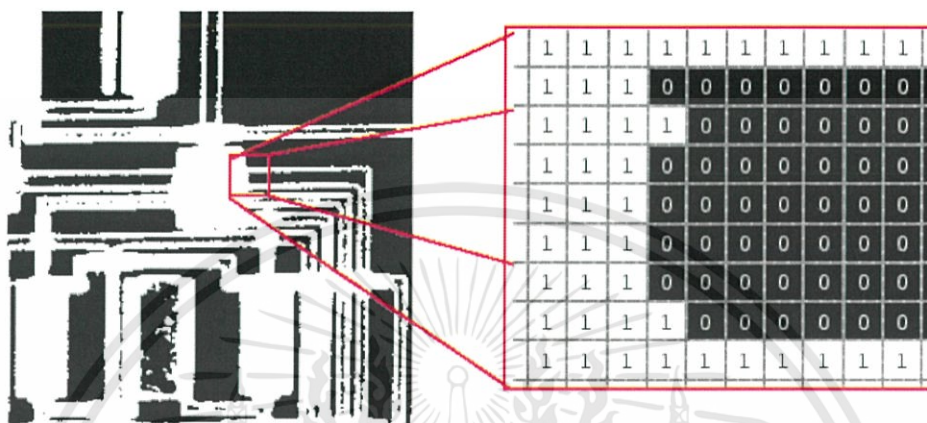


รูปที่ 2.7 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

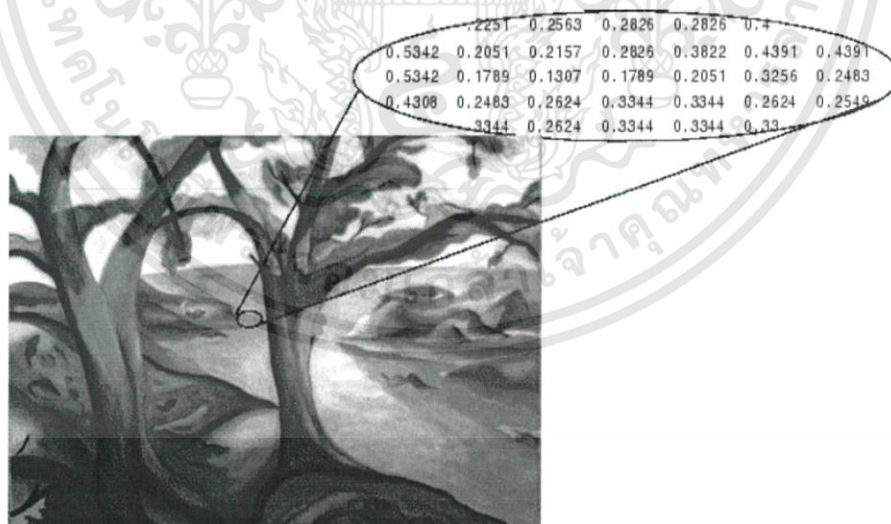
ภาพดิจิทัลที่ได้จะมีรูปแบบการเก็บเป็นเมทริกซ์ ซึ่งจะมีการจัดเก็บภาพแต่ละชนิดต่างกัน ขึ้นอยู่กับระบบสีของภาพดังกล่าว โดยแบ่งชนิดของภาพได้ดังนี้

- Binary image หรือ ภาพขาว-ดำ เป็นรูปที่ใช้เนื้อที่เพียง 1 บิต ต่อ จุดภาพ โดยค่าสีจะมีแค่สองค่าคือ 0 หรือสีดำ และ 1 หรือสีขาว



รูปที่ 2.8 ภาพแบบ Binary หรือภาพขาว-ดำ

- Grayscale Image เป็นรูปที่เก็บโดยใช้รูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าที่เก็บจะมีค่าอยู่ในช่วงๆหนึ่ง ซึ่งระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของบิตที่ใช้เก็บค่าสี



รูปที่ 2.9 ภาพแบบ Grayscale หรือ ภาพระดับเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RGB Image หรือ True color Image เป็นรูปที่เก็บโดยใช้อาร์เรย์ 3 มิติ ขนาด  $m \times n \times 3$  โดยที่  $m$  คือความยาว และ  $n$  คือความกว้างของภาพในหน่วยจุดภาพ ส่วนมิติสุดท้ายนั้น ในแต่ละมิติจะเก็บค่าสีแยกกัน คือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue)

0.2235	0.1294	<b>Blue</b>	0.4190	0.2902	0.2902	0.4824
0.5804	0.2902	<b>0.0627</b>	0.2902	0.2902	0.4824	0.2588
0.5804	0.0627	0.0627	0.0627	0.2235	0.2588	0.2588
0.5176	0.1922	0.0627	<b>Green</b>	0.1922	0.2588	0.2588
0.5176	0.1294	<b>0.1608</b>	0.1294	0.1294	0.2588	0.2588
0.5176	0.1608	0.0627	0.1608	0.1922	0.2588	0.2588
0.5490	0.2235	0.5490	<b>Red</b>	0.7412	0.7765	0.7765
0.5490	0.3882	<b>0.5176</b>	0.5804	0.5804	0.7765	0.7765
0.5490	0.2588	0.2902	0.2588	0.2235	0.4824	0.2235
0.2235	0.1608	0.2588	0.2588	0.1608	0.2588	0.2588
0.2588	0.1608	0.2588	0.2588	0.2588	0.2588	0.2588



รูปที่ 2.10 ภาพแบบ RGB

- Indexed Image เป็นรูปที่มีรูปแบบการเก็บแบบ indexed คือ ภาพประเภทนี้จะเก็บค่าสีเป็น indexed และในแต่ละช่องอาร์เรย์ จะเก็บตำแหน่งของสีใน indexed นั้นๆไว้

0	0	0
0.0627	0.0627	0.0314
0.2902	0.0314	0
0	0	1.0000
0.2902	0.0627	0.0627
0.3882	0.0314	0.0941
0.4510	0.0627	0
0.2588	0.1608	0.0627
...	...	...

รูปที่ 2.11 ภาพแบบ Indexed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

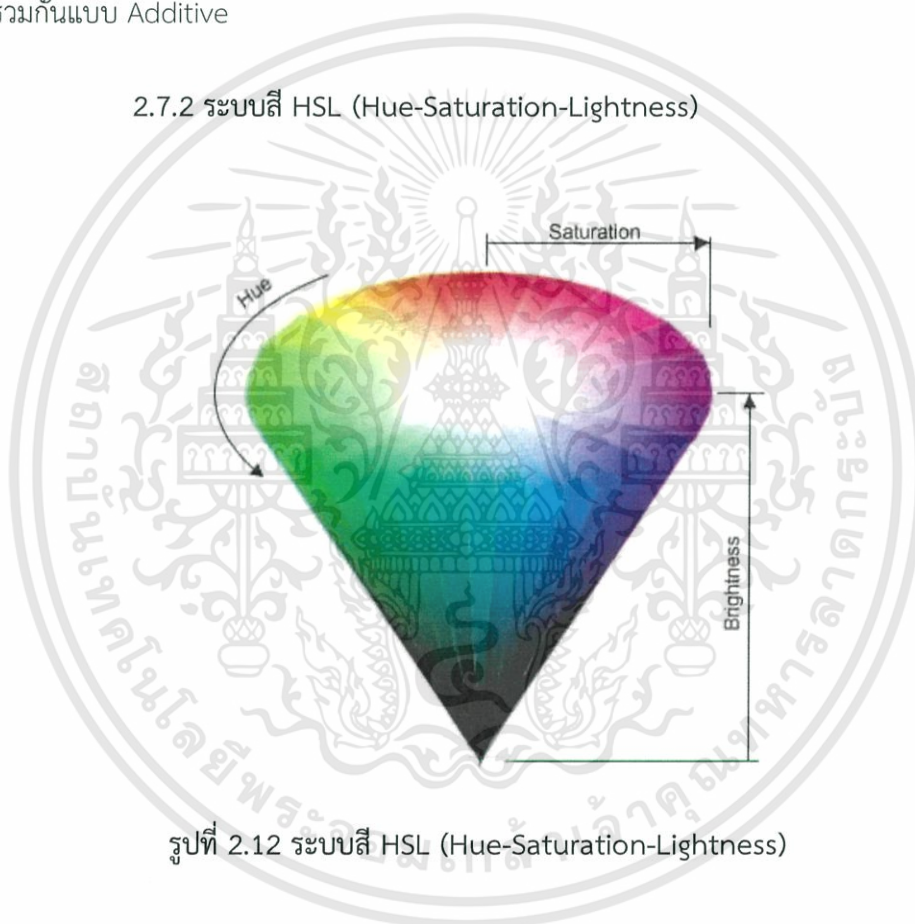
## 2.7 มาตรฐานของสี

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปส ซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น ในระบบ RGB จะมีแกนสีคือ แแกนสีแดง เขียว และน้ำเงิน ในระบบ HSL จะมีแกนเป็น ประเภทของสี (hue) ความอิ่มตัวของสี (saturation) และความสว่างของสี (lightness)

### 2.7.1 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียวและน้ำเงินโดยมีการรวมกันแบบ Additive

### 2.7.2 ระบบสี HSL (Hue-Saturation-Lightness)



รูปที่ 2.12 ระบบสี HSL (Hue-Saturation-Lightness)

- ประเภทของสี (Hue) : คือเฉดสี ซึ่งจากรูปนั้น ค่า Hue คือมุมของกรวยโดยที่ค่าของ Hue จะมีค่าระหว่าง 0 - 359 ซึ่งจะไล่ลำดับการเปลี่ยนแปลงจากสีแดง (Hue = 0) ไปยังสีเขียว (Hue=120) และ จากสีเขียวไปยังสีน้ำเงิน (Hue = 240) และจากสีน้ำเงินไปยังสีแดง
- ความอิ่มตัวของสี (Saturation) : คือค่าที่ระบุว่ามีสีนั้นอยู่ห่างจากแกนกลางของกรวยมากเท่าใด โดยที่ถ้าค่า Saturation มีค่ามากขึ้นก็จะทำให้สีที่ได้ใกล้เคียงกับเฉดสีที่แท้จริงมากขึ้น
- ความสว่างของสี (Lightness / Brightness) : คือค่าที่ใช้ระบุว่ามีสีนั้นมีความสว่างมากเท่าใด ถ้าค่า Lightness มีค่ามากขึ้นก็จะทำให้สีที่ได้มีส่วนประกอบของสีขาวมากขึ้น ในทางกลับกันถ้าค่าความสว่างมีค่าน้อยลงก็จะทำให้สีที่ได้มีส่วนประกอบของสีดำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 AForge.NET

AForge.NET ได้ถูกเริ่มและพัฒนา โดย Andrew Kirillov โดย license ของ AForge.NET เป็นแบบ LGPL v3 license ซึ่งเป็น Open Source AForge.NET เป็นขอบข่ายงานของภาษา C# ที่ใช้สำหรับนักพัฒนา และนักวิจัยในสาขาคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) และสาขาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เช่น image processing, neural networks, genetic algorithms, machine learning, robotics เป็นต้น

AForge.NET framework เป็นตัวกลางการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม และส่วนของรูปแบบการมองเห็นในมุมมองของคอมพิวเตอร์ (ข้อมูลทาง Digital) โดยเป็นตัวกลางเชื่อมระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ให้เกิดการสื่อสารกันได้อย่างง่ายมากยิ่งขึ้น โดย AForge.NET framework จะรวบรวม Library ทางด้าน Image Processing ในรูปแบบต่างๆ ไว้ เพื่อที่ใช้เกี่ยวกับการประมวลผลภาพ จึงทำให้การใช้ AForge.NET framework จะมีความง่ายในการทำงานแล้วช่วยให้มีความเร็ว และความถูกต้องสูง ในส่วนของ Library จะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

- AForge.Imaging เป็นชุดคำสั่งที่ใหญ่ที่สุดในขอบเขตงาน ประกอบด้วย ชุดคำสั่งการประมวลผล ภาพต่างๆ ซึ่งช่วยในการปรับแต่งภาพ และประมวลผลภาพต่างๆ
- AForge.Vision เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยเครื่องมือตรวจจับการเคลื่อนไหวหรือท่าทางต่างๆ และชุดคำสั่งการประมวลผลการเคลื่อนไหว
- AForge.Video เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยคลาสต่างๆ ที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลวิดีโอ
- AForge.Robotics เป็นชุดคำสั่งที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์เกี่ยวกับหุ่นยนต์
- AForge.Neuro เป็น ชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยวิธีการทำโครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม และขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ต่างๆ
- AForge.MachineLearning เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยคลาสที่เกี่ยวกับการเรียนรู้ของเครื่อง

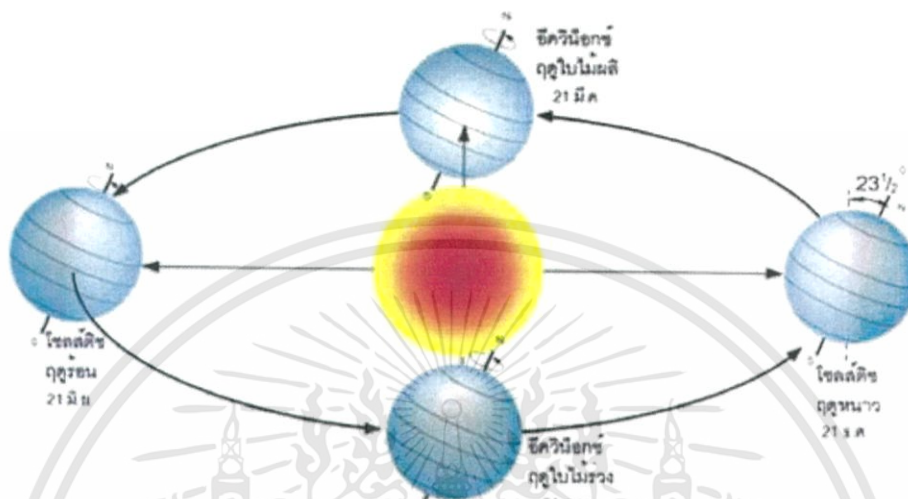
## 2.9 วิชาลซีชาร์ป (Visual C#)

ภาษาซีชาร์ป ( C# Programming Language) เป็นภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุ ที่พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ และมี Anders Hejlsberg เป็นหัวหน้าโครงการ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของดอตเน็ตเฟรมเวิร์ค (. NetFramework) โดยมีรากฐานมาจากภาษา ซีพลัสพลัส (C++) และภาษาจาวา (Java) ภาษาซีชาร์ป(C# Programming Language) เป็นภาษาใหม่ที่ทางไมโครซอฟท์ได้พัฒนาขึ้นมาพร้อมกับโปรแกรมชุด วิชาลสตูดิโอเดอทเน็ต(Visual Studio .NET) โดยวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาคือ เพื่อให้เป็นภาษาใหม่ที่มีประสิทธิภาพการทำงานเทียบเท่าหรือเหนือกว่าภาษา ซีพลัสพลัส (C++) แต่ในขณะที่เดียวกันจะต้องไม่ยุ่งยากและซับซ้อนเหมือนกับภาษา ซีพลัสพลัส โดยสามารถใช้งานได้ง่าย ๆ เหมือนกับภาษายอดนิยมอย่างวิชาลเบสิก ( VisualBasic) และสามารถขยายขีดความสามารถของวิชาลเบสิกได้ให้สามารถพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในระดับสูงได้ดียิ่งขึ้น ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทำให้ภาษาซีชาร์ป( C# Programming Language) เป็นภาษาที่มีความลงตัวมากที่สุดเมื่อเทียบกับภาษาอื่นๆ ซึ่งภาษาซีชาร์ป(C# Programming Language) ยังเป็นภาษาที่เกิดขึ้นพร้อมกับแนวคิดของการเขียนโปรแกรมในยุคดอตเน็ตอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก

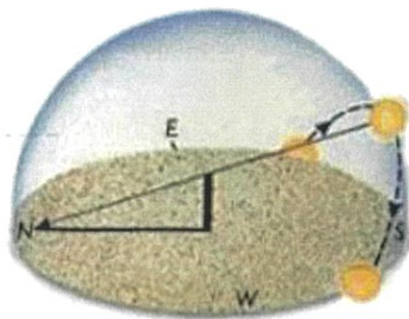
โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ในลักษณะที่เป็นวงรี แกนหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.5 องศากับระนาบการโคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยแกนของโลกจะชี้ไปตำแหน่งเดิมตลอดเวลา



รูปที่ 2.13 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 กันยายน โลกจะเอียงด้านข้างให้กับดวงอาทิตย์ และแกนของโลกจะอยู่ในระนาบตั้งฉากกับรัศมีจากดวงอาทิตย์พอดี ทำให้แนวของแสงอาทิตย์จะอยู่บนระนาบของเส้นศูนย์สูตร ณ วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงออกและตกทางทิศตะวันตกพอดี ซีกโลกด้านเหนือและซีกโลกด้านใต้จะได้รับแสงอาทิตย์เท่ากัน และช่วงเวลากลางวันและกลางคืนเท่ากันเท่ากับ 12 ชั่วโมง เรียกตำแหน่งนี้ว่า ศารทวิษุวัต (Autumnal equinox)

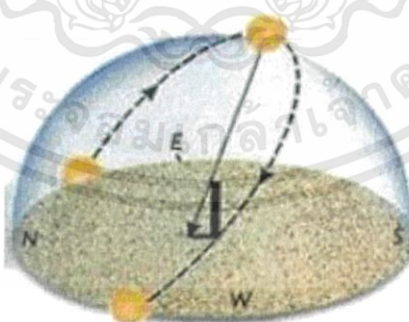
ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 ธันวาคม โลกจะเอียงซีกโลกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่ต่ำสุด เรียกตำแหน่งนี้ว่า วินเทอร์โซลสตีส (Winter solstice) ช่วงนี้ประเทศทางซีกโลกใต้จะเป็นฤดูร้อน มีเวลากลางวันนานกว่ากลางคืน ส่วนประเทศทางซีกโลกเหนือจะเป็นฤดูหนาว มีเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างต่ำเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 ธันวาคม

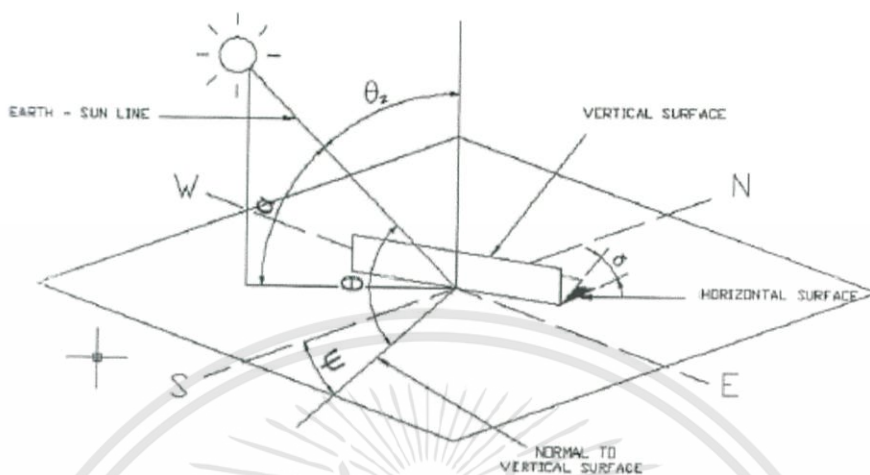
ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 มีนาคม โลกจะเอียงด้านข้างให้กับดวงอาทิตย์ และแกนของโลกจะอยู่ในระนาบตั้งฉากกับรัศมีจากดวงอาทิตย์พอดี ทำให้แนวของแสงอาทิตย์จะอยู่บนระนาบของเส้นศูนย์สูตร ณ วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงออกและตกทางทิศตะวันตกพอดี ซีกโลกด้านเหนือและซีกโลกด้านใต้จะได้รับแสงอาทิตย์เท่ากัน และช่วงเวลากลางวันและกลางคืนเท่ากันเท่ากับ 12 ชั่วโมง เรียกตำแหน่งนี้ว่า วสันตวิษุวัต (Vernal equinox)

ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 มิถุนายน โลกจะเอียงขั้วโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าอยู่สูงสุด คนที่อยู่บนเส้นละติจูดที่ 23.5 องศาเหนือจะเห็นดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะพอดีในตอนเที่ยงวัน เรียกตำแหน่งนี้ว่า ซัมเมอร์โซลสตีส์ (Summer solstice) ช่วงนี้ประเทศทางซีกโลกใต้จะเป็นฤดูหนาว มีเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน ส่วนประเทศที่อยู่ทางซีกโลกเหนือจะเป็นฤดูร้อน มีเวลากลางวันนานกว่ากลางคืน การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างเอียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 มิถุนายน

ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นราบซึ่งวางในลักษณะใดๆ บนผิวโลกกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ สามารถแบ่งออกได้เป็นมุมต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.16

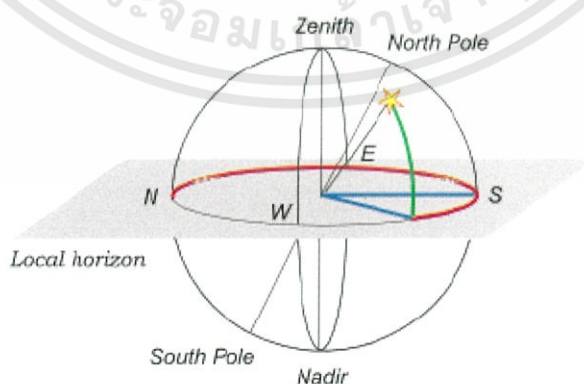


รูปที่ 2.16 มุมต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นผิวโลก

เมื่อ

$\psi$  มุมอะซิมุท (Azimuth angle) คือ ระยะทางเชิงมุมที่เบนไปจากเส้นแนว เหนือ – ใต้ เริ่มต้นทิศเหนือ มุมอะซิมุทมีค่าเป็น 0 องศา (ถ้าเบนไปทางทิศตะวันออกเป็นบวก เบนไปทางทิศตะวันตกเป็นลบ) ดังนั้นที่ทิศตะวันออกมุมอะซิมุทจะมีค่าเท่ากับ 90 องศา และที่ทิศตะวันตกมุมอะซิมุทจะมีค่าเท่ากับ -90 องศา (ดังรูปที่ 2.17 เส้นสีแดง)

$\alpha$  มุมอัลติจูด (Altitude angle) หรือมุมเงย คือ ระยะทางเชิงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นราบ โดยมุมอัลติจูดจะมีค่าเป็น 0 องศาที่เส้นขอบฟ้า เมื่อเงยขึ้นจากเส้นขอบฟ้าให้มุมอัลติจูดมีค่าเป็นบวก (ดังรูปที่ 2.17 เส้นสีเขียว) มีค่าเท่ากับ  $90 - \theta_z$



รูปที่ 2.17 มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\delta$  มุมเดคลิเนชัน (Declination) คือ มุมระหว่างแนวลาแสงอาทิตย์ จะมีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวัน ระหว่าง 23.45 องศา ถึง -23.45 องศา สามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(283 + n)}{365} \right] \quad (2.1)$$

เมื่อ  $n$  จำนวนวันในปีที่ต้องการโดยถือว่า 1 มกราคม เป็นวันที่ 1 ของปี หรือ  $n = 1$  ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 ตารางวันที่ของรอบปี

วันที่/เดือน	วันที่ของรอบปี(n)
1 มกราคม	1
31 มกราคม	31
1 กุมภาพันธ์	32
28 กุมภาพันธ์	59
1 มีนาคม	60
31 มีนาคม	90
1 เมษายน	91
30 เมษายน	120
1 พฤษภาคม	121
31 พฤษภาคม	151
1 มิถุนายน	152
30 มิถุนายน	181
1 กรกฎาคม	182
31 กรกฎาคม	212
1 สิงหาคม	213
31 สิงหาคม	243
1 กันยายน	244
30 กันยายน	273
1 ตุลาคม	274
31 ตุลาคม	304
1 พฤศจิกายน	305
31 พฤศจิกายน	334
1 ธันวาคม	335
31 ธันวาคม	365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\varphi$  ตำแหน่งเส้นรุ้งหรือละติจูด คือ มุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวก และเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง - 90 องศา ถึง 90 องศา

$\beta$  มุมเอียงของพื้นราบ

$\omega$  มุมชั่วโมง (Hour angle) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมอริเดียน ท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือตะวันตก ตอนเที่ยงถือว่า  $\omega$  เท่ากับศูนย์ และในแต่ละชั่วโมง  $\omega$  เท่ากับ 15 องศา ในตอนเช้า จะมีค่าเป็นบวก ในตอนบ่าย  $\omega$  จะมีค่าเป็นลบ

$\theta_z$  มุมซีก (Zenith angle) หรือมุมระหว่างลาแสงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากแนวราบ สามารถหาได้จากสมการ

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (2.2)$$

$\theta$  มุมตกกระทบ (Incident angle) คือมุมระหว่างแนวลาแสงอาทิตย์บนพื้นผิวกับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมอื่นๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \psi + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \quad (2.3)$$

ในกรณีที่ระนาบของแผงรับแสงอาทิตย์มีมุมเอียง และวางในแนวเหนือใต้ จะได้ว่า

$$\cos \theta_z = \cos(\varphi + \cos \delta \cos \omega) + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta \quad (2.4)$$

สำหรับเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้น หาได้จากสมการ

$$\cos \omega_2 = -\tan \varphi \tan \delta \quad (2.5)$$

และค่าจำนวนชั่วโมงของระยะเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้นและลงได้ดังนี้

$$\frac{T_d}{15} = 2 \cos^{-1}(\tan \varphi \tan \delta) \quad (2.6)$$

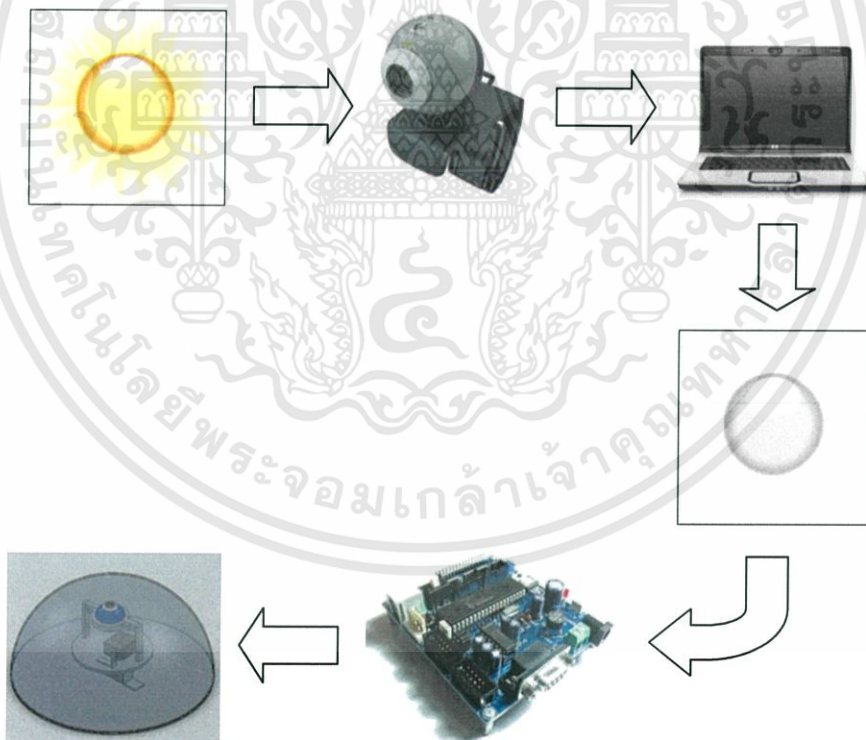
### บทที่ 3

## เทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการทดลองการติดตามดวงอาทิตย์ด้วยกล้องเว็บแคม (Webcam) โดยใช้เทคนิคแมชชีนวิชัน (Machine Vision) และการประมวลผลภาพ (Image processing) โดยการรับภาพดวงอาทิตย์ และทำการประมวลผลภาพดวงอาทิตย์ เพื่อหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และนำตำแหน่งของดวงอาทิตย์มาหามุมในการหมุนเซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) ทำการหมุนให้กล้องเว็บแคมติดตามดวงอาทิตย์

### 3.1 ขั้นตอนวิธีการของโปรแกรมโดยรวม

ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากการรับภาพจากดวงอาทิตย์เข้ามาในรูปแบบของวิดีโอ จากนั้นนำภาพที่ได้มาแปลงเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale) และนำเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image processing) มาใช้เพื่อการประมวลผลภาพ และระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบจำลอง

จากสมการที่ 2.3 ค่าของมุมระหว่างเส้นตั้งฉากของแผงรับแสงและรังสีจากดวงอาทิตย์ เมื่อต้องการให้ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงรับแสงมีค่ามากที่สุด ต้องทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉากกับแผงรับแสง หรือทำให้ค่ามุม  $\theta$  มีค่าเป็นศูนย์ มุม  $\theta$  เป็นฟังก์ชันของมุม  $\delta$  ,  $\varphi$  ,  $\psi$  และ  $\beta$  ดังนั้นถ้าต้องการหาค่ามุมที่เหมาะสมของแผงรับแสงที่ทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉาก สามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{d(\cos \theta)}{d\beta} = 0 \quad (2.7)$$

นั่นคือ

$$\begin{aligned} \frac{d(\cos \theta)}{d\beta} = & -\sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \omega - \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \sin \beta \\ & + \cos \delta \sin \psi \cos \omega \cos \beta + \cos \delta \sin \psi \sin \omega \cos \beta \end{aligned} \quad (2.8)$$

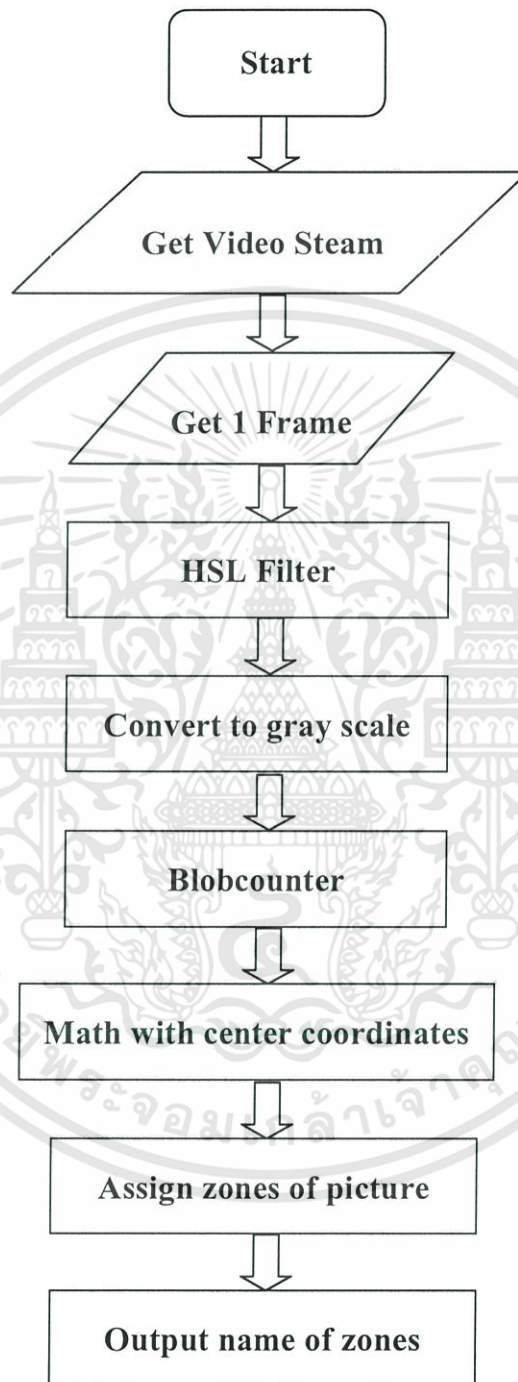
เมื่อจัดรูปใหม่จะได้

$$\tan \beta_{opt} = \frac{\cos \delta (\sin \varphi \cos \psi \cos \omega + \sin \psi \sin \omega) - \sin \delta \sin \varphi}{\sin \delta \cos \varphi \cos \omega + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $\tan \beta_{opt}$  คือมุมที่เหมาะสมของแผงรับแสง (Optimal tilt angle)

### 3.2 การทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ

การทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพสามารถอธิบายเป็นแผนภาพ ดังนี้



รูปที่ 3.2 ผังการทำงานของโปรแกรมการประมวลผลภาพโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Get Video Steam : การรับภาพจากกล้องเว็บแคม(Webcam) เข้ามายังโปรแกรม Visual C#
2. Get 1 Frame : ดึงเฟรม(Frame) ของวิดีโอมา เพื่อประมวลผล
3. HSL Filter : ใช้ HSL Filter ในการแปลงสีที่ไม่ต้องการให้เป็นสีดำ
4. Convert to gray scale : แปลงภาพที่ได้มาเป็นภาพระดับเทา(Gray Scale)
5. Blobcounter : นำภาพที่ได้จากการทำ HSL Filter มาใช้วิธีการ Blobcounter ซึ่งเป็นวิธีการนับจำนวนวัตถุที่สามารถแบ่งแยกออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน และทำการตั้งค่าเข้าไปให้มีการนับเพียงจุดที่มีพื้นที่มากที่สุดเพียงจุดเดียว
6. Math with center coordinates : คำนวณหาพิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์
7. Assign zone of picture : กำหนดโซนตรวจจับภาพเป็น 9 โซน
8. Output name of zones : ส่งตัวแปรชื่อของโซนที่เป็นตำแหน่งที่วัตถุอยู่

### 3.2.1 ไบรารี(Library)ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

#### 3.2.1.1 ดอทเน็ตเฟรมเวิร์ค(.Net Framework)

ดอทเน็ตเฟรมเวิร์ค(.Net Framework) คือแพลตฟอร์มสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ สร้างขึ้นโดยไมโครซอฟท์ โดยรองรับภาษามากกว่า 40 ภาษา เช่น C++ , Visual Basic , Jscript , Delphi และอื่นๆ รวมถึงภาษา C# ที่นำมาใช้ในโครงการนี้ด้วย ซึ่งมีไลบรารี (Library) เป็นจำนวนมากสำหรับการเขียนโปรแกรม รวมถึงการบริหารการดำเนินการของโปรแกรมบนดอทเน็ตเฟรม เวิร์ค โดย Library นั้นได้รวมถึงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ การเชื่อมต่อฐานข้อมูล วิทยาการเข้ารหัสลับ อัลกอริทึม การเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน โดยดอทเน็ตเฟรม เวิร์ค(.Net Framework) เป็นการจัดระเบียบครั้งใหญ่ของวงการพัฒนาซอฟต์แวร์ ทำให้รูปแบบของการพัฒนาโปรแกรมดูมีมาตรฐาน มีอนาคต สามารถต่อยอดเข้าใจได้เป็นอย่างดี มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับทุกคนที่ต้องการเป็นนักพัฒนา หรือโปรแกรมเมอร์

#### 3.2.1.2 GDI+(Graphics Device Interface Plus)

GDI+(Graphics Device Interface Plus) เป็นไลบรารี(Library)สำหรับการทำงานด้านกราฟิก ที่ถูกจัดเตรียมโดยดอทเน็ตเฟรมเวิร์ค(. Net Framework) ความสามารถของ GDI+(Graphics Device Interface Plus) จะมีอยู่ 3 ส่วนหลักๆ คือ

- Vector Graphics

เป็นการสร้างกราฟิก 2 มิติด้วยรูปทรงพื้นฐาน เช่น เส้นตรง(Line) เส้นโค้ง(Curve) ซึ่งจะกำหนดขนาดตามระบบพิกัด เช่น การวาดเส้นตรงจะต้องกำหนดด้วย 2 จุด หรือการวาดสี่เหลี่ยมจะต้องกำหนดจุดมุมบนซ้าย ความกว้าง และความสูง เป็นต้น

- Imaging

ด้วยความสามารถของ Vector Graphics อย่างเดียวคงไม่เพียงพอสำหรับกราฟิกที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น การแสดงรูปภาพจะใช้ข้อบกพร่อง Bitmap ในการเก็บข้อมูลสีของพิกเซลต่างๆ และยังสามารถจัดการข้อมูลใน Bitmap นี้ได้ นอกจากนั้นความสามารถในส่วนของ Imaging ยังใช้จัดการเกี่ยวกับการระบายสีแบบไล่โทนสี(Gradient)หรือการTransformation เป็นต้น

- Typography

เป็นการจัดการเกี่ยวกับฟอนต์ และสิ่งหนึ่งที่เพิ่มเติมมาจาก GDI ก็คือคุณสมบัติ Anti-aliasing ซึ่งช่วยให้แสดงข้อความได้เรียบ(Smooth) ขึ้น

### 3.2.1.3 AForge.NET framework

AForge.NET เป็น framework สำหรับภาษา C# ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นให้นำไปใช้งานทางด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์(Computer vision) และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence หรือ AI) โดยเฉพาะเรื่องการประมวลผลภาพ( Image Processing) โดยที่ตัวAForge.NET จะรวบรวมไลบรารี(Library) ทางด้านการประมวลผลภาพ(Image Processing) ในรูปแบบต่างๆไว้เข้าด้วยกัน เพื่อที่จะไปใช้กับการประมวลผลภาพมากมาย จึงทำให้การใช้ AForge.NET framework จะมีความง่ายในการทำงาน และช่วยให้ทำงานเร็วขึ้น และถูกต้องมากขึ้นอีกด้วย ซึ่งผู้พัฒนาได้นำ Library มาใช้ทางด้านประมวลผลวิดีโอ ( Video Processing) ได้แก่ การค้นหากล้องเว็บแคม( Webcam)ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถติดต่อได้ ,การทำภาพวิดีโอที่ได้ให้เป็นภาพระดับเทา( Gray Scale) , การค้นหาตำแหน่งของภาพที่ต้องการโดยใช้ระบบสี HSL (Hue, Saturation, Luminance ) ในส่วนของไลบรารี( Library) ของ AForge.NET framework ที่ได้ทำการเอามาใช้ในโครงงานนี้ ประกอบด้วยดังนี้

- AForge.Video

เป็นส่วนการประมวลผลทางด้านไฟล์วิดีโอ และวิดีโอสตรีมมิ่งเป็นหลัก นำมาใช้เพื่อการติดต่อผ่านกล้องเว็บแคม(Webcam) เพื่อดึงภาพวิดีโอมาใช้งาน

- AForge.Imaging

เป็นส่วนที่ทำงานกับการประมวลผลภาพเป็นหลัก จะประกอบไปด้วยไลบรารี (Library) ทางด้านชุดคำสั่งประมวลผลภาพ(Image Processing) ตัวอย่างเช่น การแปลงภาพ การประมวลผลภาพ และการกรองภาพ เป็นต้น

### 3.2.2 การประมวลผลภาพสำหรับติดตามดวงอาทิตย์

#### 3.2.2.1 กล้อง QC E2500, V-UCV39

ใช้ในการรับภาพดวงอาทิตย์แล้วส่งภาพไปยังส่วนรับภาพของโปรแกรมประมวลผล



รูปที่ 3.3 กล้อง QC E2500, V-UCV39

รูปที่ 3.4 ภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคม(Webcam) โดยใช้ไฟฉายแทนดวงอาทิตย์

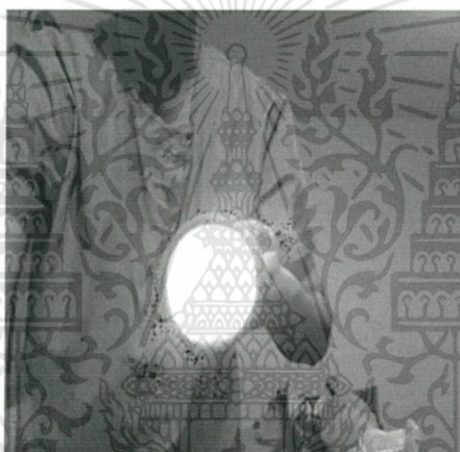
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.2 การกรองสีภาพด้วย HSL Filter

เริ่มต้นโดยการรับภาพดวงอาทิตย์จากกล้องเว็บแคม (Webcam) เข้าโปรแกรม Microsoft Visual C# ซึ่งภาพที่ได้นั้นจะเป็นภาพสี หลังจากนั้นก็ทำการประมวลผลภาพโดยใช้ระบบ HSL Filter (Hue, Saturation, Light) ซึ่งหลักการของระบบ HSL Filter นั้นก็คือ การกรองหาพื้นที่ที่มีสีที่เราต้องการตามค่า HSL แต่ละค่าที่เหมาะสม โดยเปลี่ยนพื้นที่ที่เป็นสีอื่นที่ให้กลายเป็นสีดำ จึงทำให้ภาพแสดงเพียงพื้นที่ที่เป็นสีที่เราต้องการบนพื้นหลังที่เป็นสีดำ

### 3.2.2.3 การแปลงภาพเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale)

นำภาพที่ได้จากการกรองสีโดย HSL Filter มาแปลงให้เป็นภาพระดับเทา (Gray scale) จะทำให้พื้นที่ของสีที่เราต้องการกลายเป็นพื้นที่สีขาว เพื่อนำไปใช้ทำ blobcounter ได้



รูปที่ 3.5 ภาพระดับเทา (Gray Scale) โดยใช้ไฟฉายแทนดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.6 ประมวลผลภาพโดยใช้ระบบ HSL Filter (Hue, Saturation, Light) และผ่านการทำเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.4 blobcounter

เป็นการนำภาพที่ได้จากการทำ HSL Filter มาใช้วิธีการ Blobcounter ซึ่งเป็นวิธีการนับจำนวนวัตถุที่สามารถแบ่งแยกออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน และทำการตั้งค่าเข้าไปให้มีการนับเพียงจุดที่มีพื้นที่มากที่สุดเพียงจุดเดียว เพื่อนำไปคำนวณหาจุดสนใจที่เกิดขึ้นในภาพ และทำการติกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบจุดที่สนใจนั้นๆ

### 3.2.3 การแปลงข้อมูลภาพให้เป็นตำแหน่ง เพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

ในการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์จะเริ่มจากการใช้วิธี blobcounter ในการหาจุดที่สนใจเพียงจุดเดียวในภาพ นั่นก็คือภาพดวงอาทิตย์ โดยวิธี blobcounter เป็นวิธีการนับจำนวนวัตถุที่สามารถแบ่งแยกออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน และตั้งค่าเข้าไปให้มีการนับเพียงจุดที่มีพื้นที่มากที่สุดเพียงจุดเดียว หลังจากนั้นจะทำการติกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบจุดที่สนใจนั้นๆ โดยเราสามารถหาพิกัดจุดศูนย์กลางของภาพได้จาก

$$x = \text{objectRect.x} + \frac{\text{objectRect.Width}}{2} + \frac{\text{video.Width}}{2} \quad (3.1)$$

$$y = \frac{\text{video.Height}}{2} - \left( \text{objectRect.y} + \frac{\text{objectRect.Height}}{2} \right) \quad (3.2)$$

โดยที่

x : พิกัดแกน x ของจุดศูนย์กลางของภาพที่สนใจ

objectRect.x : ค่าพิกัด x ของมุมบนซ้ายของสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบจุดที่สนใจ

objectRect.Width : ค่าความกว้างของสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบจุดที่สนใจ

video.Width : ค่าความกว้างของภาพที่รับเข้ามาผ่านกล้องเว็บแคม(Webcam)

y : พิกัดแกน y ของจุดศูนย์กลางของภาพที่สนใจ

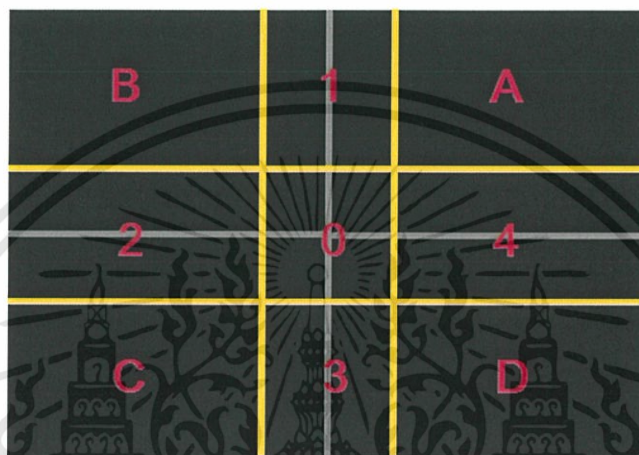
video.Height : ค่าความสูงของภาพที่รับเข้ามาผ่านกล้องเว็บแคม(Webcam)

objectRect.y : ค่าพิกัด Y ของมุมบนซ้ายของสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบจุดที่สนใจ

objectRect.Height : ค่าความสูงของสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบจุดที่สนใจ

### 3.2.4 การวิเคราะห์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่อยู่บนภาพ

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการของการตรวจจับและหาจุดกึ่งกลางดวงอาทิตย์ ก็จะมาภาพที่ได้มาวิเคราะห์หาตำแหน่งของวัตถุแล้วเข้าสู่กระบวนการควบคุมการทำงานจากระบบติดตามให้สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ โดยแบ่งพื้นที่ของภาพออกเป็น 9 โซนเพื่อใช้ในการพิจารณาดำเนินการของวัตถุ ดังนี้



รูปที่ 3.7 การแบ่งพื้นที่ภาพตามตำแหน่งการพิจารณาออกเป็น 9 โซน

โดย พื้นที่ของภาพมีขนาด 320x240 pixels ซึ่งที่จุดศูนย์กลางของภาพคือจุดที่  $x=0, y=0$

โซน 0 คือ พื้นที่ที่  $-10 < x < 10, -10 < y < 10$

โซน A คือ พื้นที่ที่  $x > 10, y > 10$

โซน B คือ พื้นที่ที่  $x < -10, y > 10$

โซน C คือ พื้นที่ที่  $x < -10, y < -10$

โซน D คือ พื้นที่ที่  $x > 10, y < -10$

โซน 1 คือ พื้นที่ที่  $-10 \leq x \leq 10, y \geq 10$

โซน 2 คือ พื้นที่ที่  $x \leq 10, -10 \leq y \leq 10$

โซน 3 คือ พื้นที่ที่  $-10 \leq x \leq 10, y \leq -10$

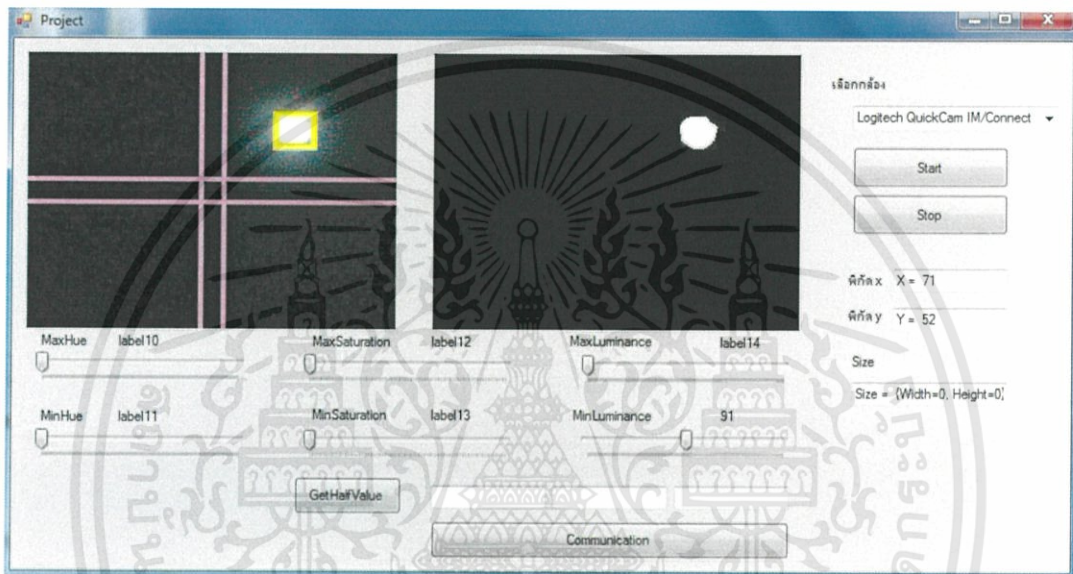
โซน 4 คือ พื้นที่ที่  $x \geq 10, -10 \leq y \leq 10$

### 3.2.5 การส่งค่าออกจากโปรแกรมประมวลผลภาพ

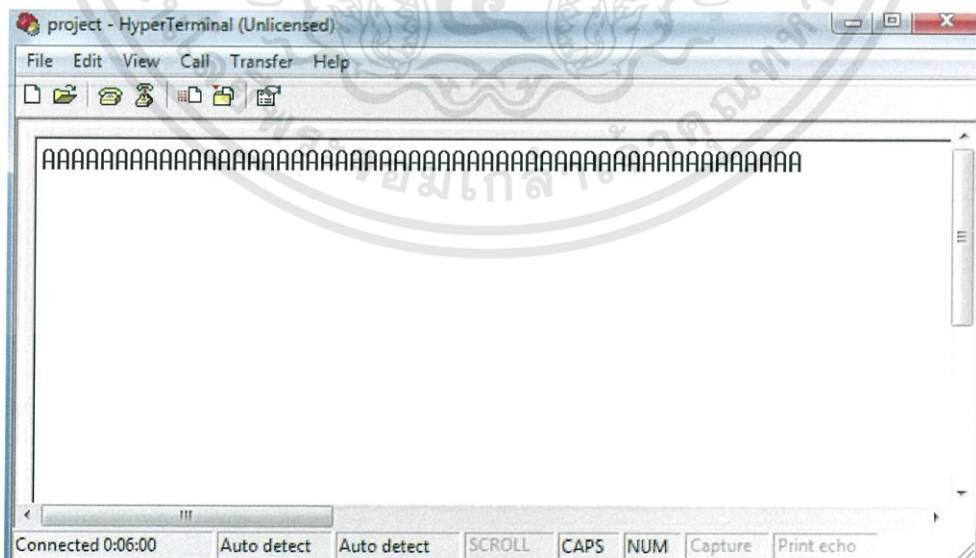
เมื่อวัตถุเข้ามาอยู่ในโซนใดๆ โปรแกรมจะทำการส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ของโซนที่วัตถุนั้นอยู่ เพื่อบอกบ่งว่าวัตถุนั้นอยู่บนตำแหน่งโซนไหน และทำการส่งสัญลักษณ์ของโซนไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) เพื่อนำสัญลักษณ์ของโซนนี้ไปขับเซอร์โวมอเตอร์ต่อไป

จากการทดลองจะทำการใช้ไฟฉายแทนดวงอาทิตย์ โดยจะทำการดูการส่งค่าจากโปรแกรมเมื่อวัตถุอยู่ในโซนใดๆ โดยจะใช้โปรแกรม Hyper Terminal เพื่อดูค่าที่ส่งออกมาจากโปรแกรม เมื่อวัตถุอยู่ที่โซนต่างๆ

#### 3.2.5.1 โซน A



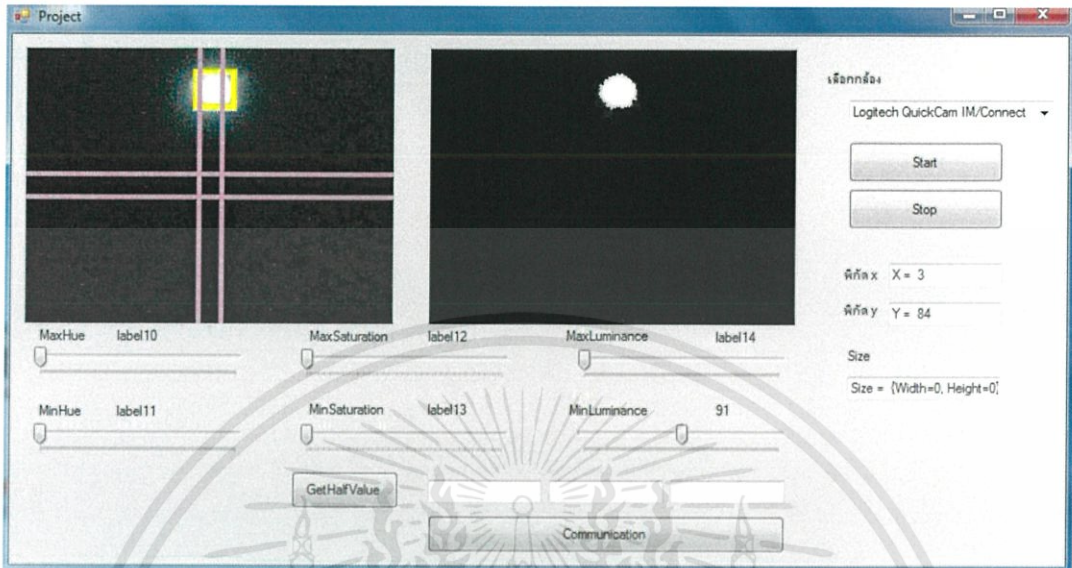
รูปที่ 3.8 โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน A



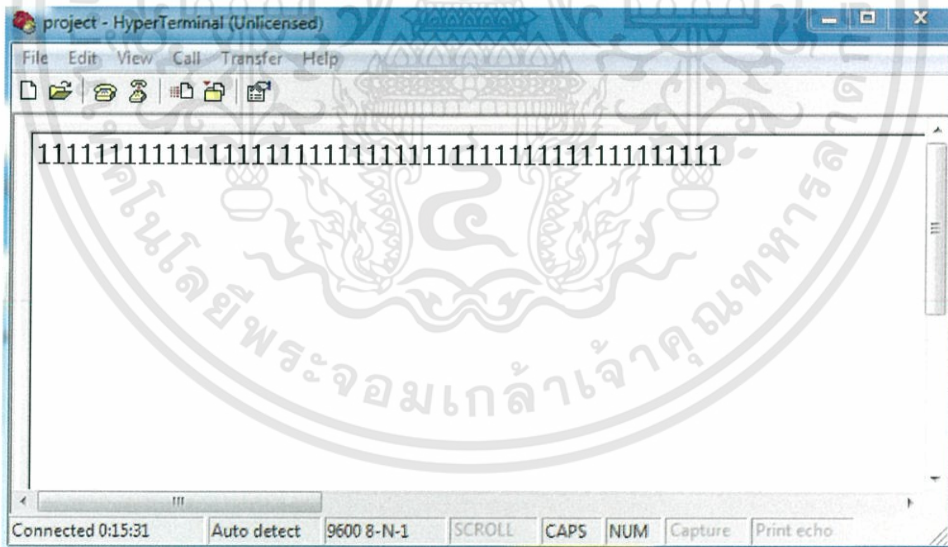
รูปที่ 3.9 โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2.5.2 โชน 1



รูปที่ 3.10 โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโชน 1

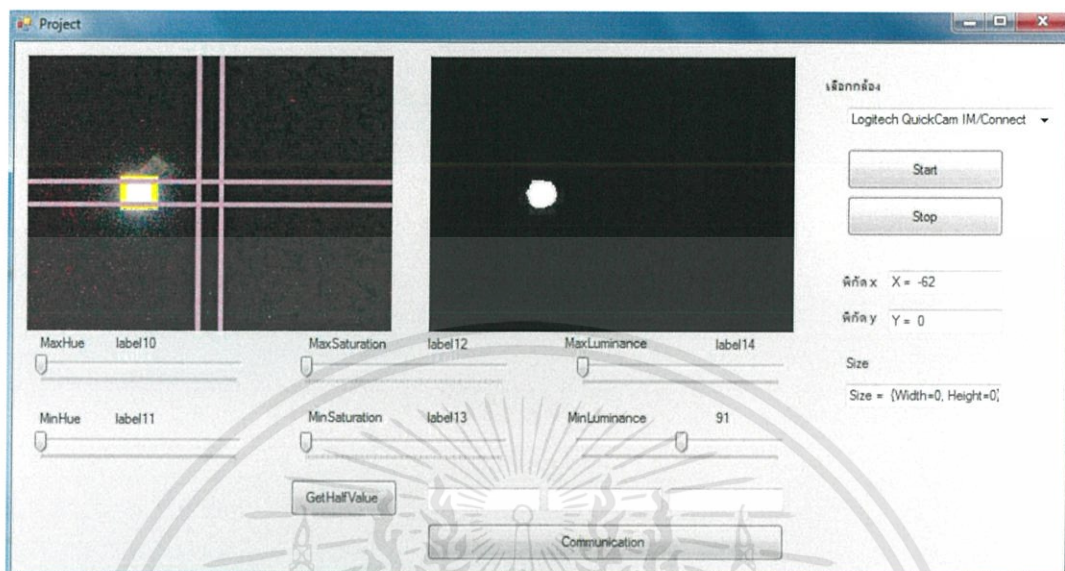


รูปที่ 3.11 โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว 1

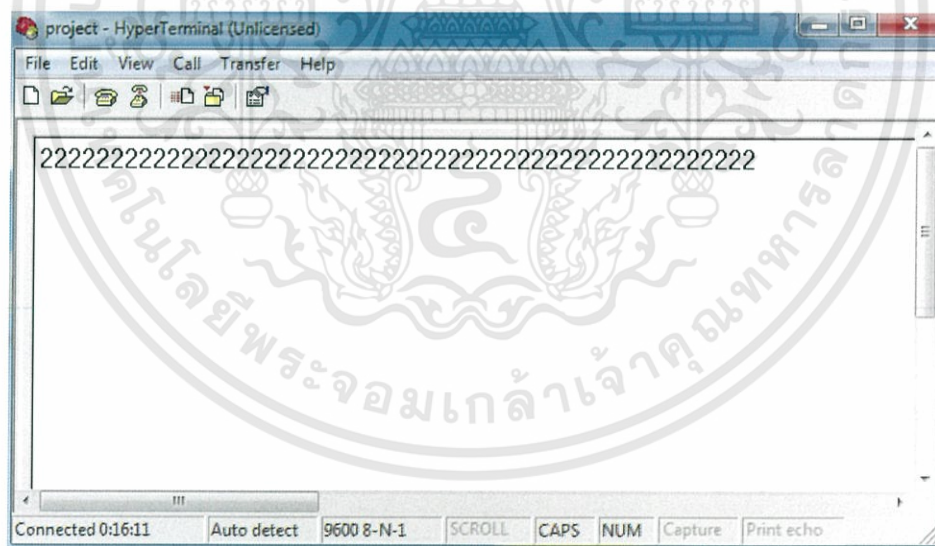
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 3.2.5.4 โชน 2



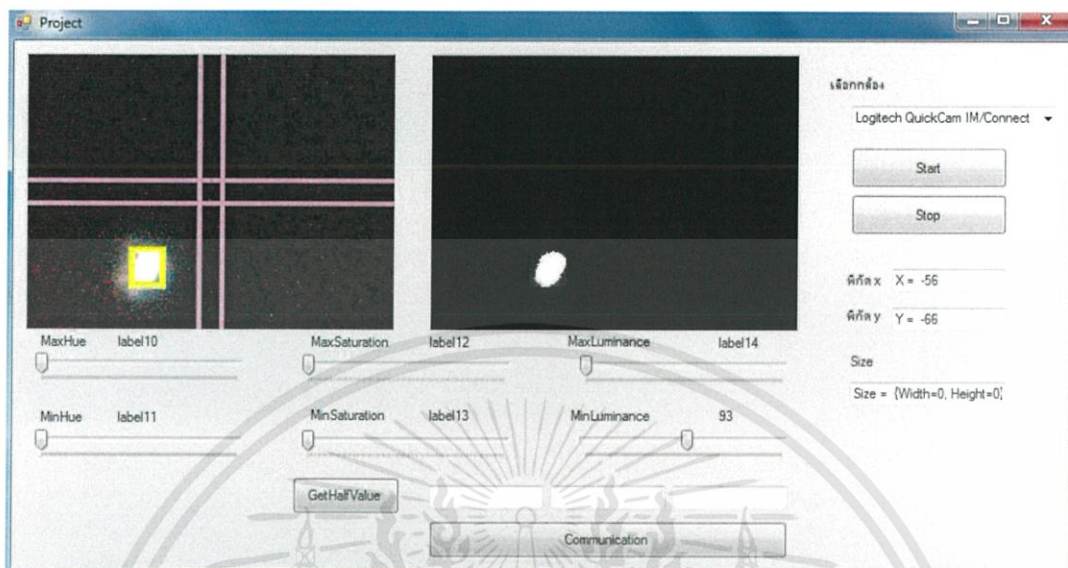
รูปที่ 3.14 โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโชน 2



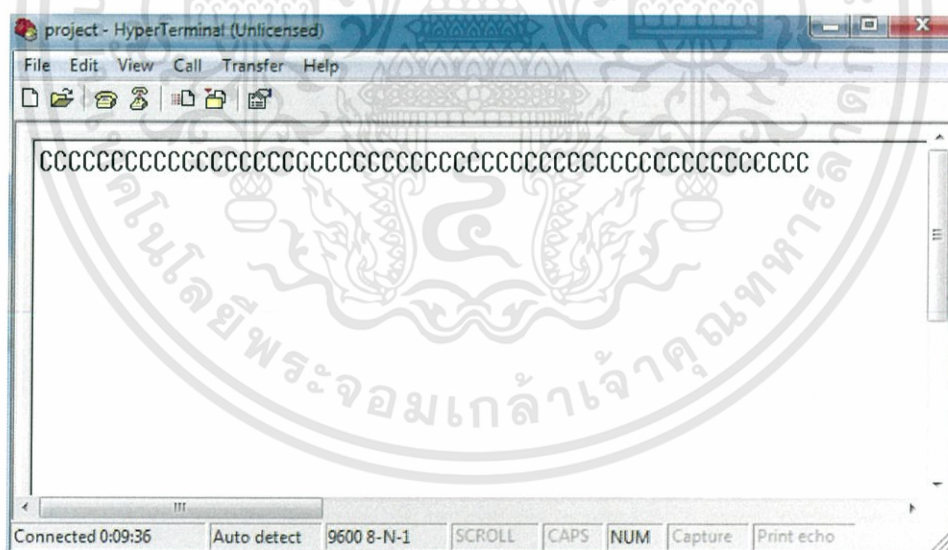
รูปที่ 3.15 โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2.5.5 โชน C



รูปที่ 3.16 โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโซน C



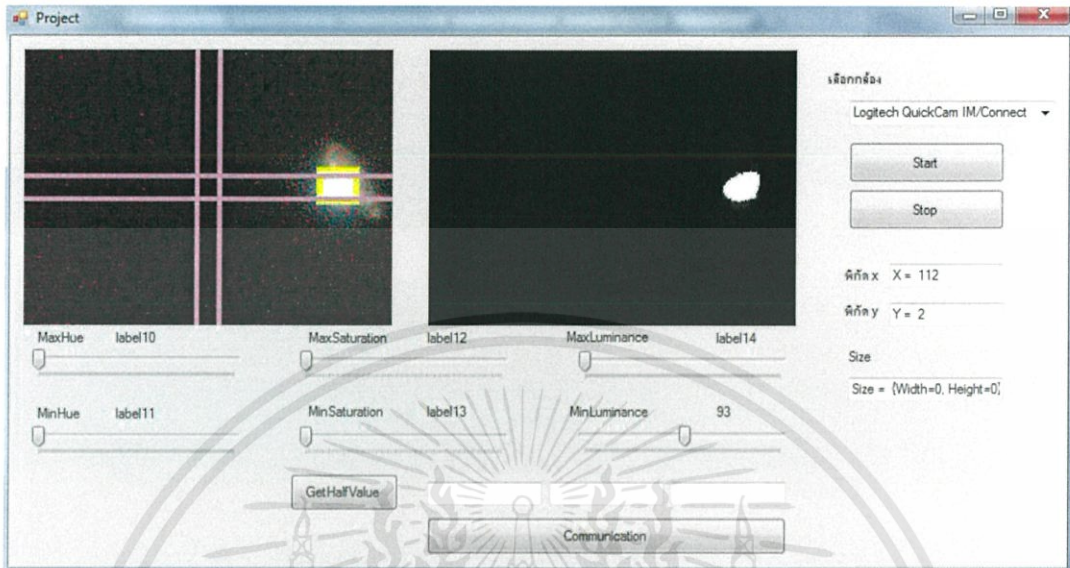
รูปที่ 3.17 โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

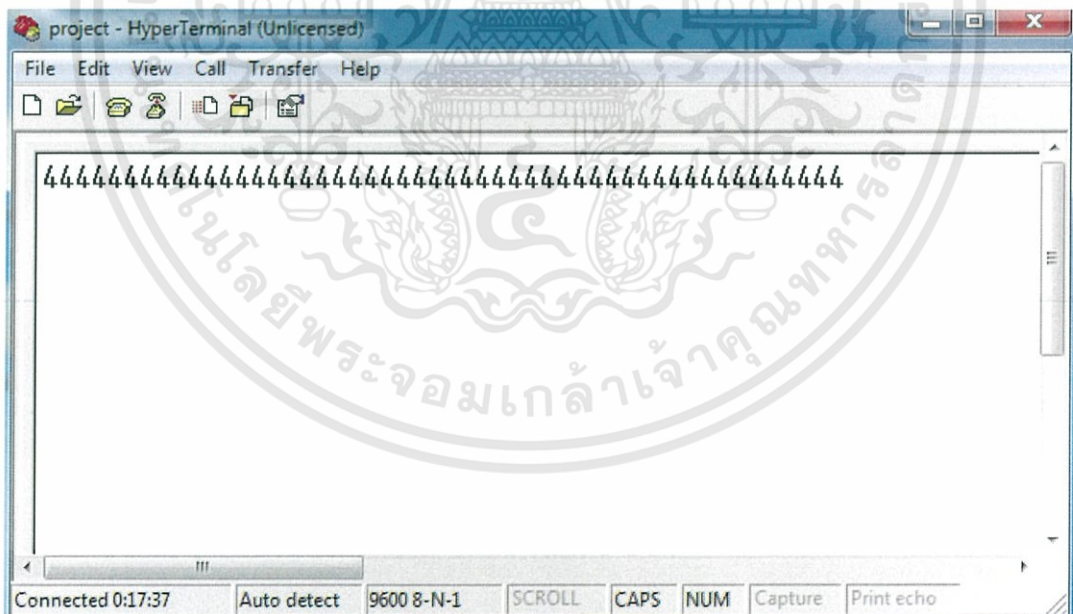




## 3.2.5.8 โชน 4



รูปที่ 3.22 โปรแกรมตรวจจับวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ในโชน 4



รูปที่ 3.23 โปรแกรมส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ตัว 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



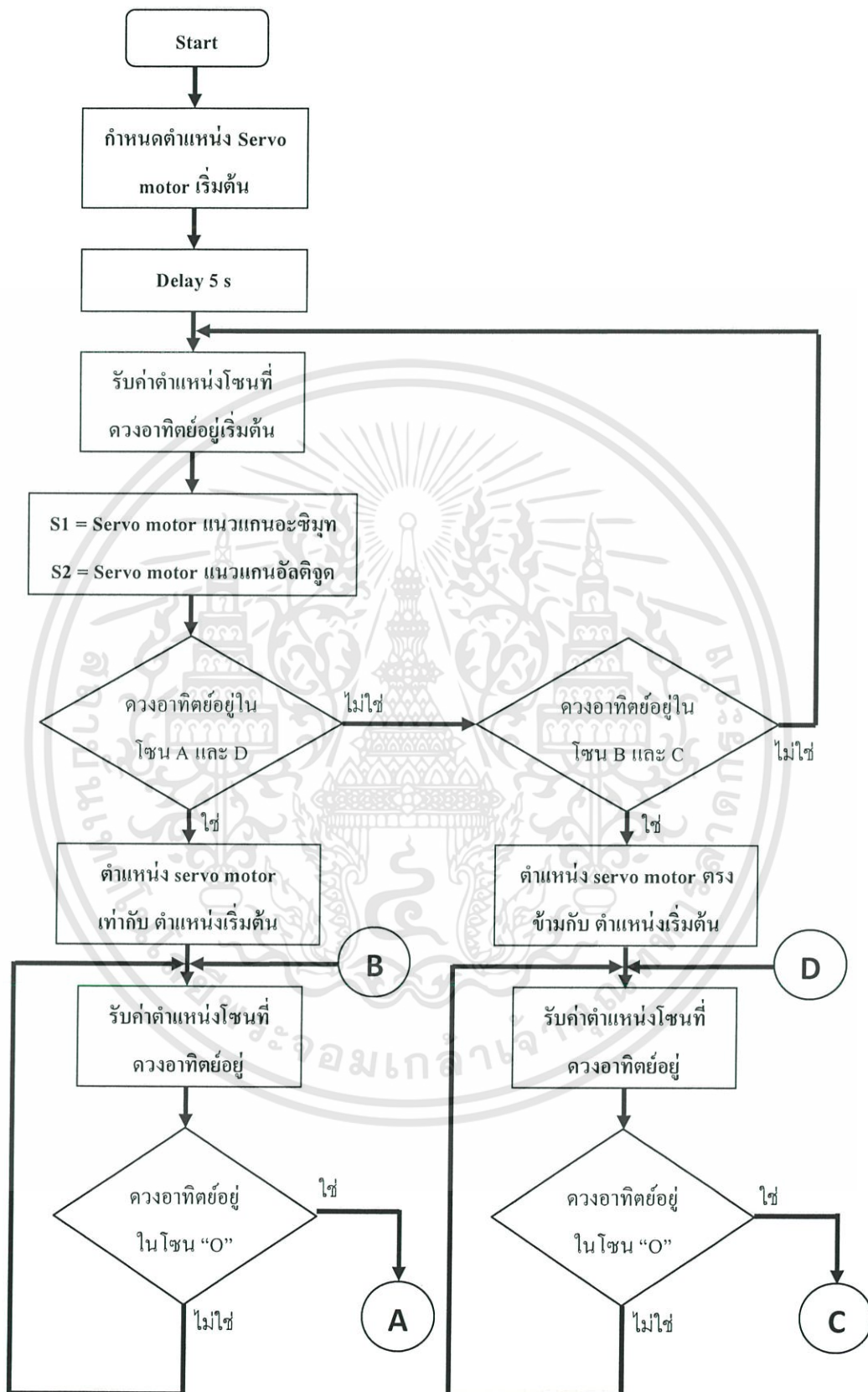
### 3.3 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์

หลังจากการทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลภาพคือการส่งค่าสัญลักษณ์ของโซนที่วัดได้อยู่ มายังไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อนำค่าสัญลักษณ์ของโซนที่ส่งออกมา นำมาเขียนโปรแกรมเพื่อนำไปควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์

โดยในปริญาณิพนธ์เล่มนี้ ได้เขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้ภาษา C โดยใช้ CCS C compiler ในการเขียน เพื่อนำไปควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อให้ดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลางของภาพเสมอ โดยมีผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ดังรูป

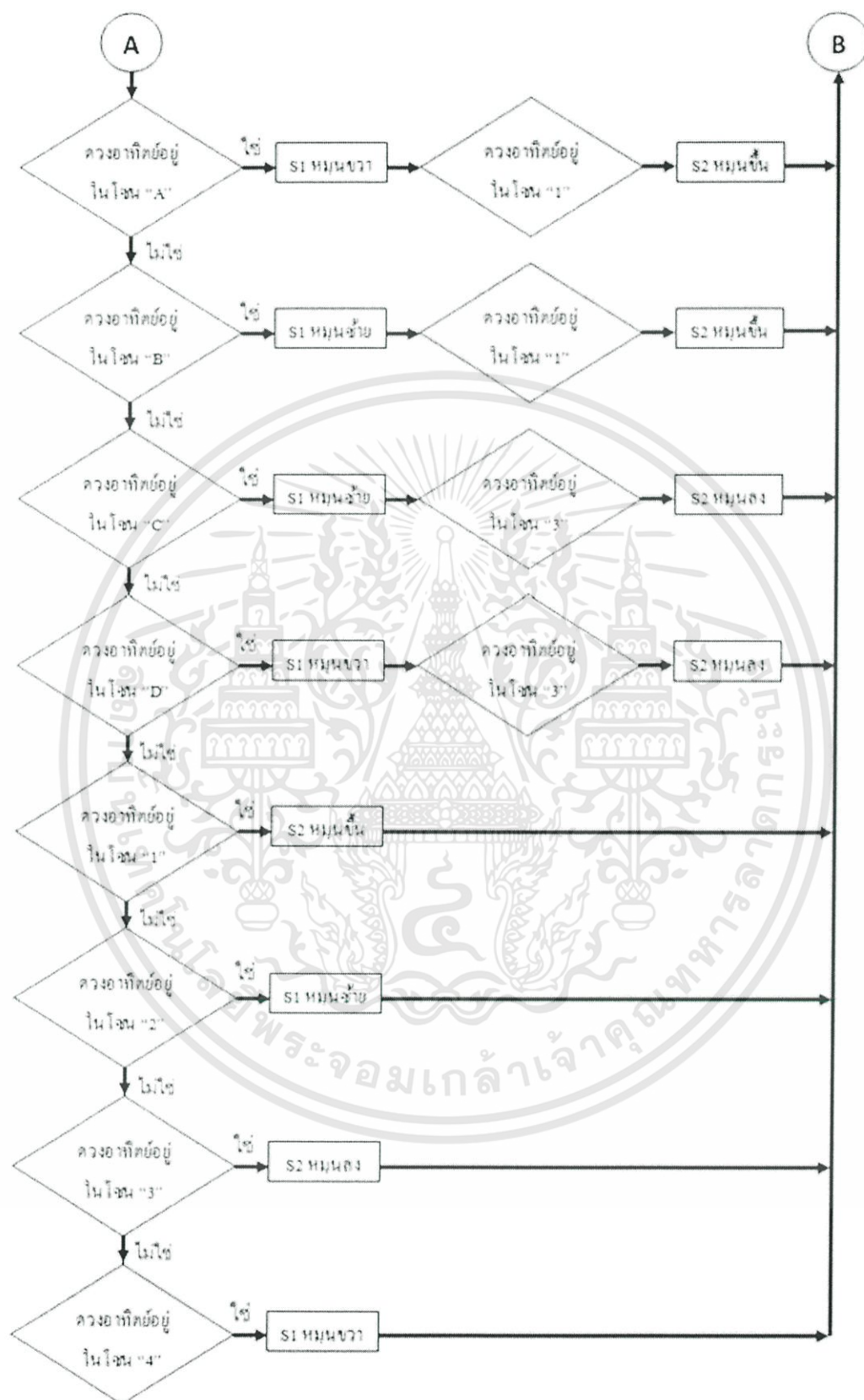


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



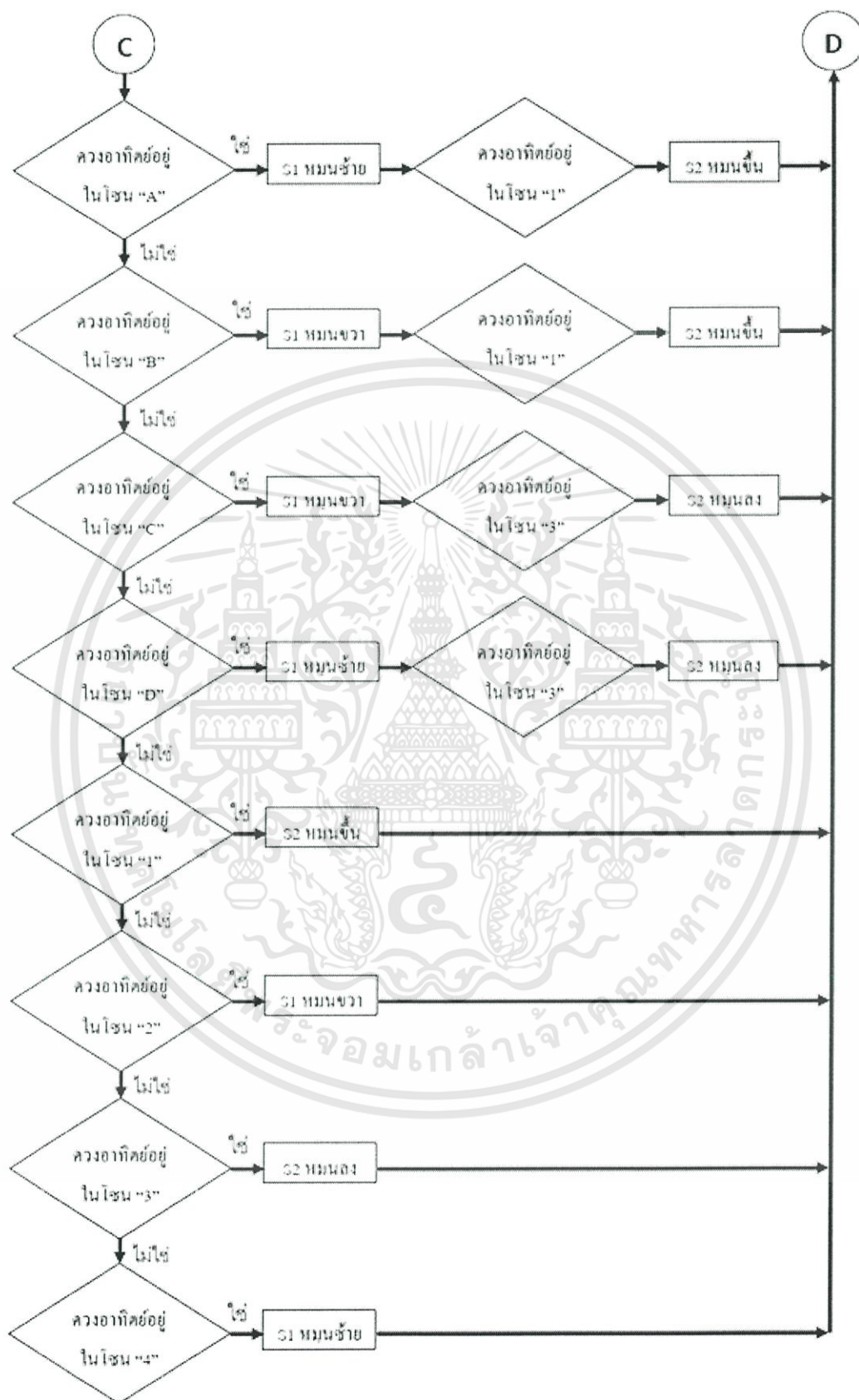
รูปที่ 3.26 ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์

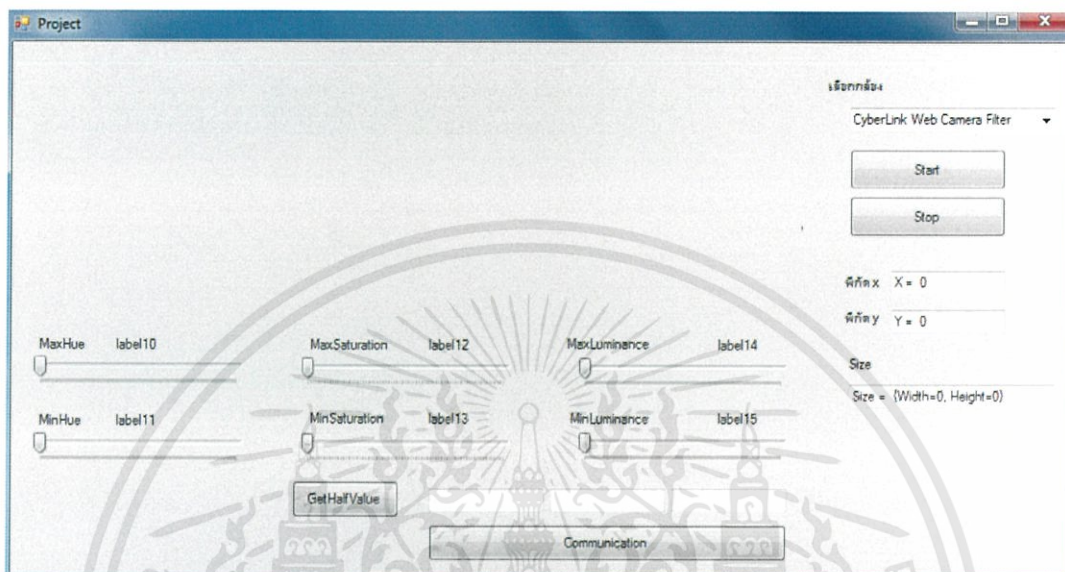
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 โปรแกรมที่พัฒนา

โปรแกรมติดตามดวงอาทิตย์ในปฏิทินพอร์นส์เล่มนี้ ได้ใช้

Microsoft Visual C# ใน

การสร้างโปรแกรมติดตามดวงอาทิตย์ขึ้นมา โดยมีหน้าต่างของโปรแกรมดังรูป



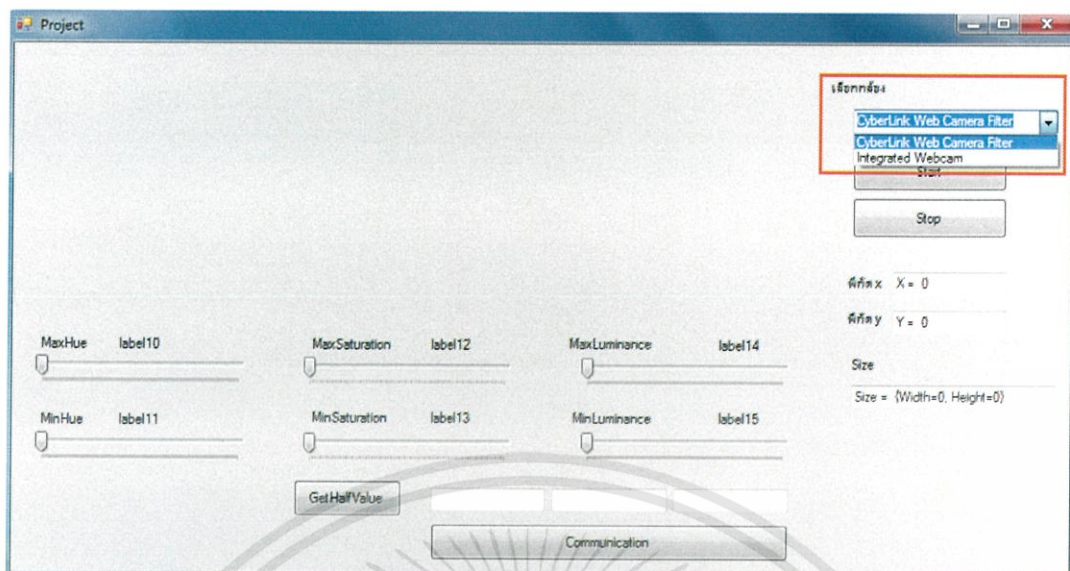
รูปที่ 3.29 หน้าต่างโปรแกรมติดตามวัตถุ

#### 3.4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรมที่พัฒนา

##### 3.4.1.1 ส่วนเลือกกล้อง

เนื่องจากกล้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์อาจจะมีได้หลายกล้อง เช่นกล้องที่ติดมากับเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่แล้ว และกล้องที่แยกออกมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจากส่วนเลือกกล้อง เราสามารถที่จะเลือกกล้องที่เราต้องการรับเข้ามายังโปรแกรมได้ เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน

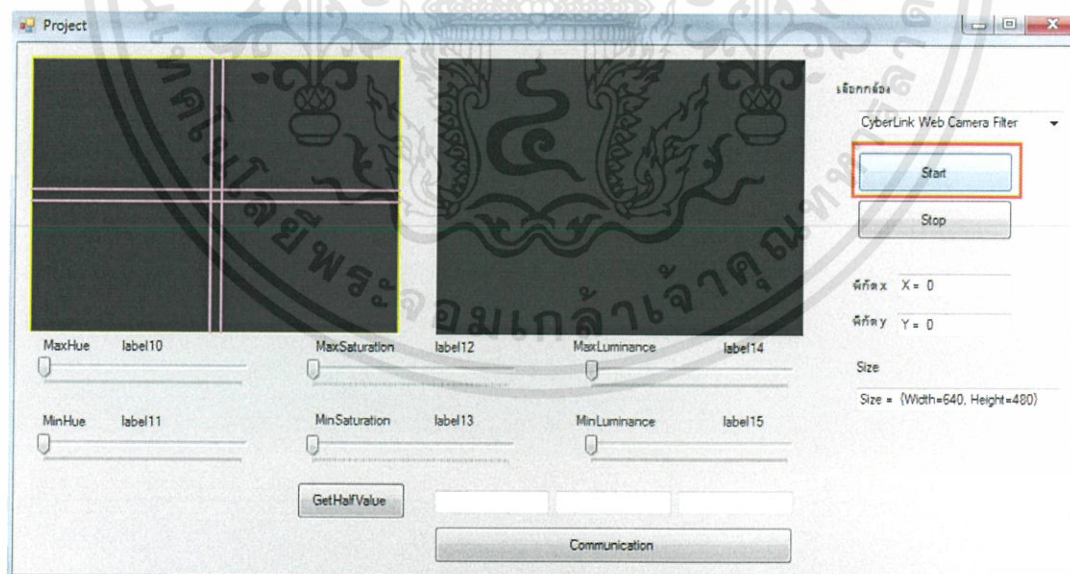
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 ส่วนเลือกกล้อง

#### 3.4.1.2 ส่วนเริ่มการทำงาน

เมื่อเราเลือกกล้องแล้ว เราสามารถเริ่มการทำงานของกล้องได้ โดยการคลิกที่ปุ่ม Start จะทำให้โปรแกรมติดตามดวงอาทิตย์รับภาพจากกล้องตัวที่เราเลือกเข้ามา

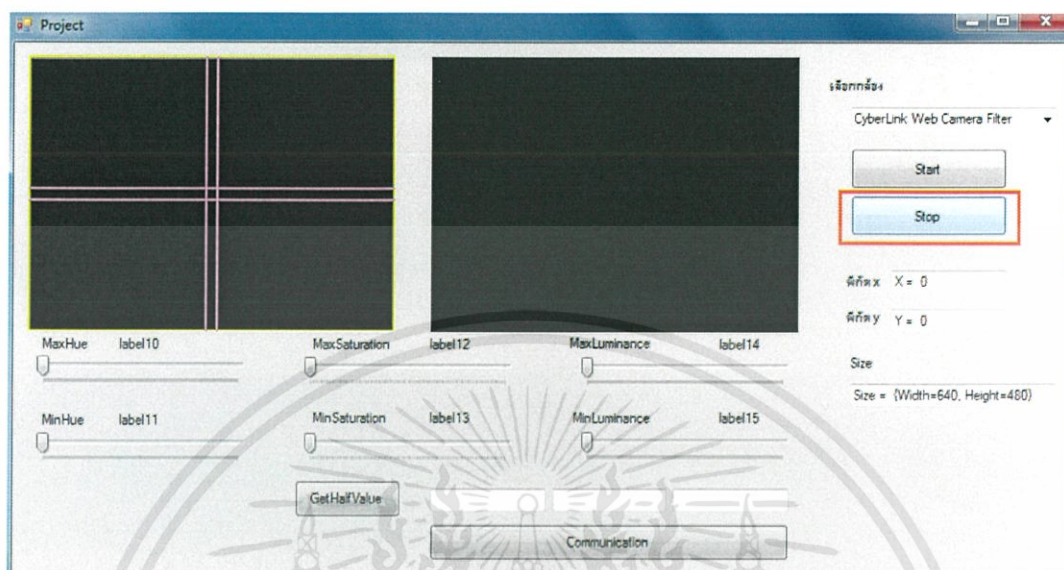


รูปที่ 3.31 การเริ่มการทำงานเมื่อกดปุ่ม Start

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1.3 ส่วนหยุดการทำงาน

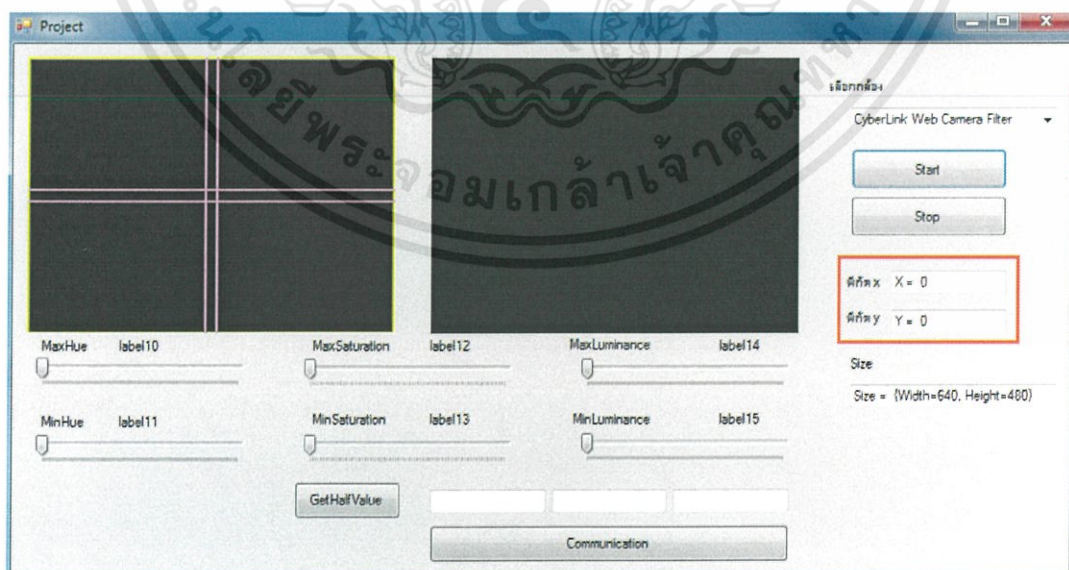
เราสามารถหยุดการทำงานของกล้องได้ โดยการกดปุ่ม Stop



รูปที่ 3.32 การหยุดการทำงานเมื่อกดปุ่ม Stop

### 3.4.1.4 ส่วนแสดงค่าพิกัดแกน X และแกน Y

เป็นส่วนที่แสดงค่าตำแหน่งของวัตถุที่ตรวจจับว่าอยู่ตำแหน่งใดของภาพ โดยตำแหน่งจุดกึ่งกลางของภาพ อยู่ที่ พิกัด  $x=0$  และ  $y=0$

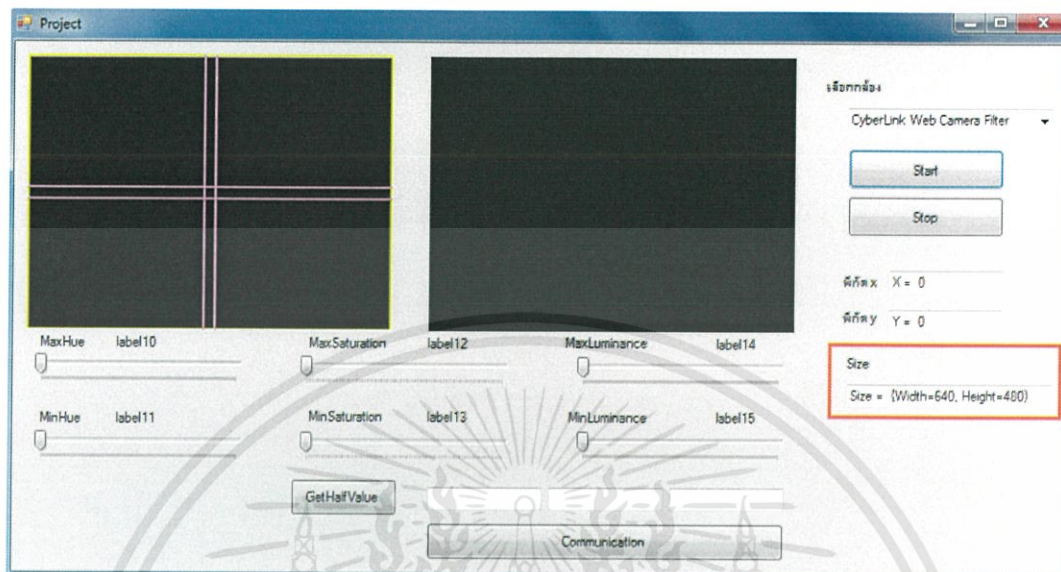


รูปที่ 3.33 ส่วนแสดงค่าพิกัดแกน X และแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1.5 ส่วนแสดงขนาดกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบวัตถุ

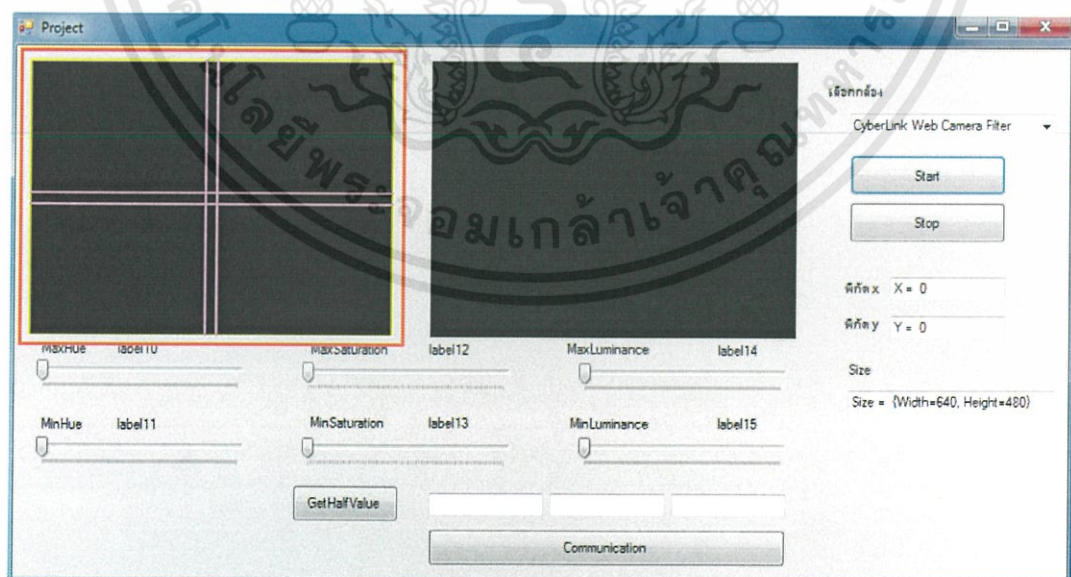
เป็นส่วนที่แสดงค่าขนาดความกว้างและความสูงของกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบวัตถุ



รูปที่ 3.34 ส่วนแสดงค่าขนาดกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบวัตถุ

### 3.4.1.6 ส่วนแสดงภาพที่รับจากกล้อง

เป็นส่วนที่แสดงภาพที่ได้รับจากกล้อง โดยได้ทำการตีกรอบแบ่งโซน เพื่อทำให้สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายว่าวัตถุที่ทำการตรวจจับอยู่ในโซนอะไร

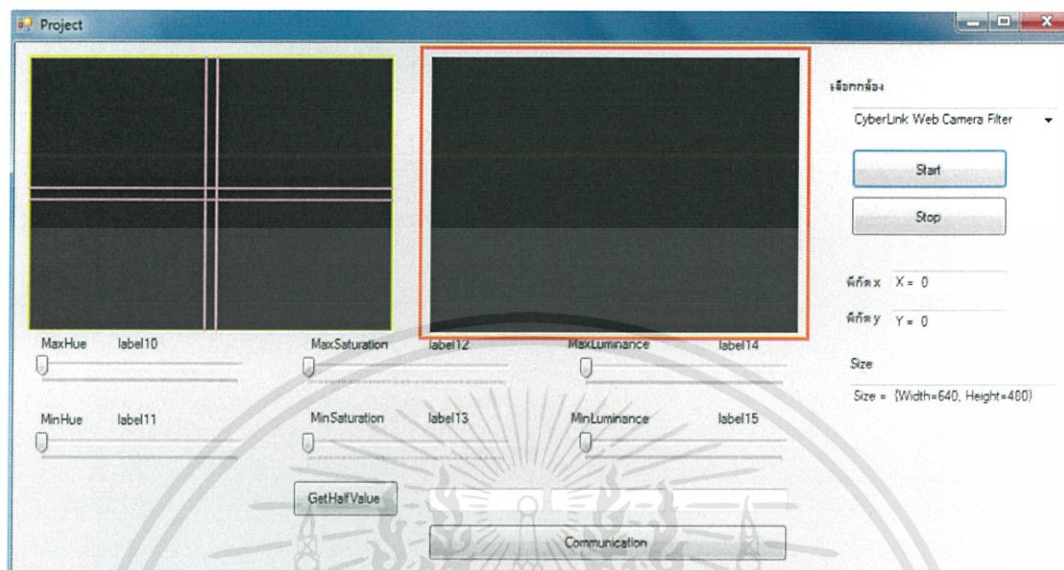


รูปที่ 3.35 ส่วนแสดงภาพที่รับจากกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1.7 ส่วนภาพระดับเทา(Gray Scale)

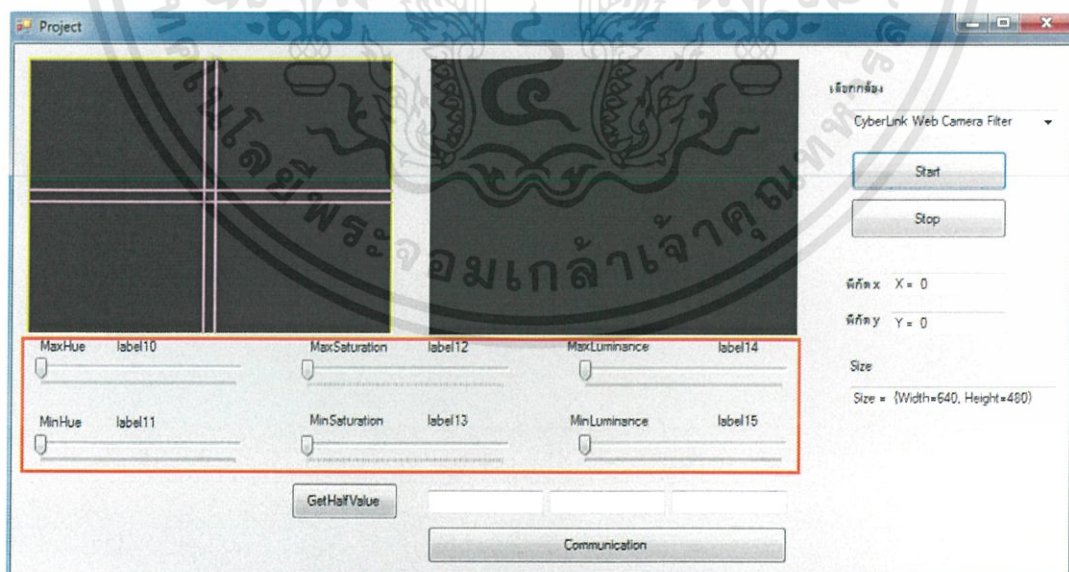
เป็นส่วนที่แปลงภาพที่รับจากกล้องมาเป็นภาพระดับเทา(Gray Scale)



รูปที่ 3.36 ส่วนภาพระดับเทา

### 3.4.1.8 ส่วนปรับค่า HSL filter

เป็นส่วนที่ปรับค่าสีที่เราต้องการที่จะตรวจจับ

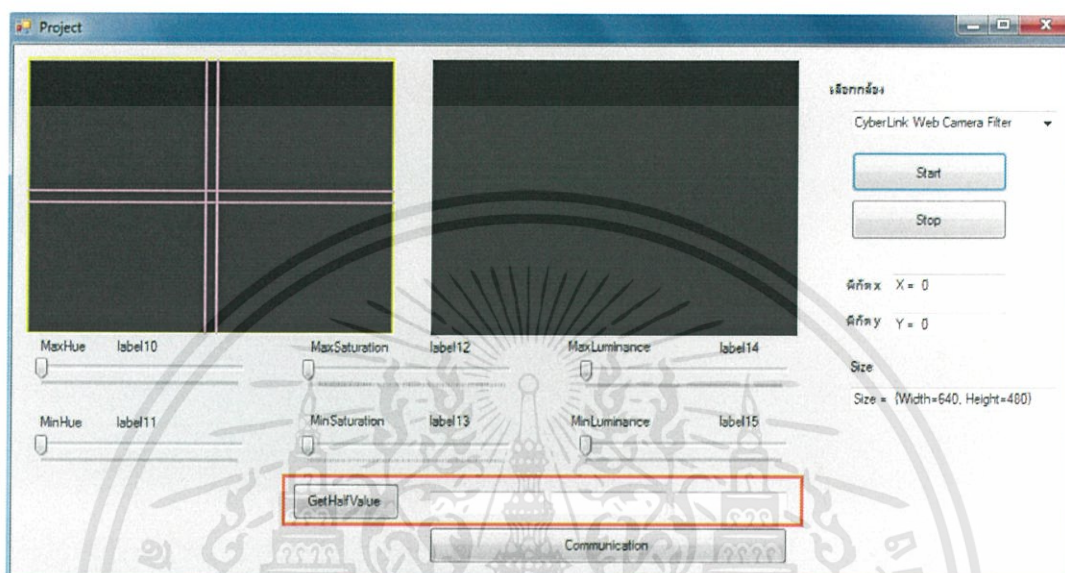


รูปที่ 3.37 ส่วนปรับค่า HSL filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1.9 ส่วนแสดงค่าของสีที่เราต้องการ

เป็นส่วนที่ช่วยในส่วนปรับค่า HSL filter สามารถที่จะเลือกสีที่เราต้องการตรวจจับ เมื่อเลือกสีที่ต้องการตรวจจับแล้ว ส่วนนี้จะแสดงค่าสีที่เราต้องการตรวจจับนั้น ว่าต้องปรับ HSL filter เท่าไร



รูปที่ 3.38 ส่วนแสดงค่าของสีที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

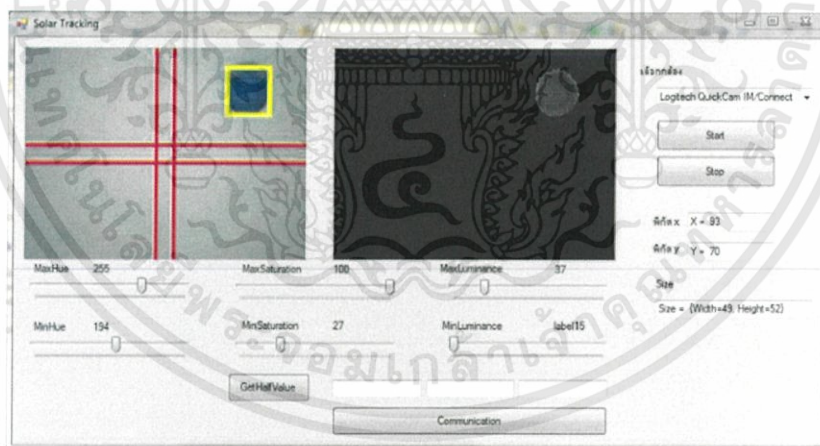
ในการทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของการทดสอบ เพื่อศึกษาผลตอบสนองของระบบ และความแม่นยำในการติดตาม และส่วนที่สองเป็นส่วนของการทดสอบการติดตามดวงอาทิตย์จริง

#### 4.1 การทดลองเพื่อทดสอบผลตอบสนองของระบบ และความแม่นยำในการติดตาม

##### 4.1.1 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้วัตถุแทนดวงอาทิตย์

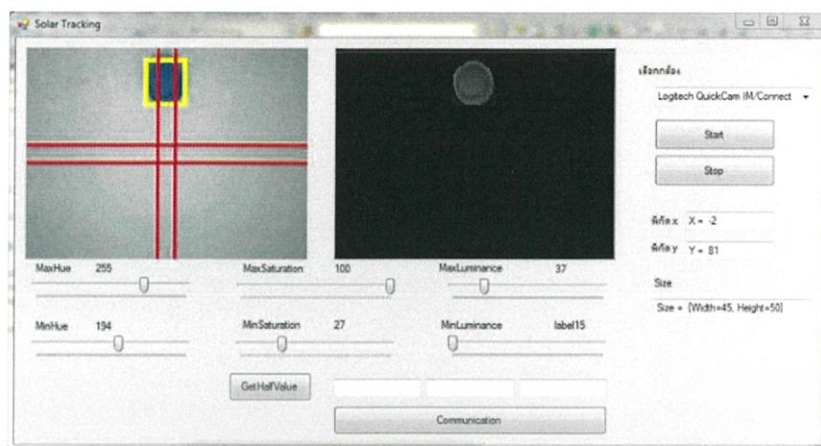
เป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมเพื่อขับเคลื่อนระบบให้สามารถเคลื่อนไหวติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ โดยใช้วัตถุรูปร่างกลมแทนดวงอาทิตย์ในการทดสอบ ซึ่งจากการทำงานของโปรแกรมที่มีการแบ่งพื้นที่พิจารณาของภาพออกเป็น 9 โซน (โซน A, B, C, D, 1, 2, 3, 4, 0) จึงได้ทำการทดสอบโดยการวางวัตถุไว้บนส่วนต่างๆของภาพที่ละโซน แล้วบันทึกผลที่เกิดขึ้น ได้ผลการทดสอบดังนี้

##### กรณีที่ 1 วางวัตถุไว้ในโซน A



รูปที่ 4.1 วางวัตถุไว้ในโซน A แกนอะซิมุทเริ่มทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แกนอัลติจูดเริ่มหมุนเมื่อวัตถุอยู่ในโซน 1

ตารางที่ 4.1 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน A

การทดลอง ครั้งที่	ตำแหน่งวัตถุตอนเริ่มต้น		ตำแหน่งวัตถุเมื่อแกนอัลติจูดเริ่มหมุน		ตำแหน่งสุดท้าย	
	x	y	x	y	x	y
1	93	70	-2	81	-6	5
2	94	69	2	81	-2	3
3	92	65	7	75	0	-6
4	89	58	3	74	8	8
5	89	60	2	76	3	7
เฉลี่ย	91.4	64.4	2.4	77.4	0.6	3.4

กรณีที่ 2 วางวัตถุไว้ในโซน B



รูปที่ 4.3 วางวัตถุไว้ในโซน B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

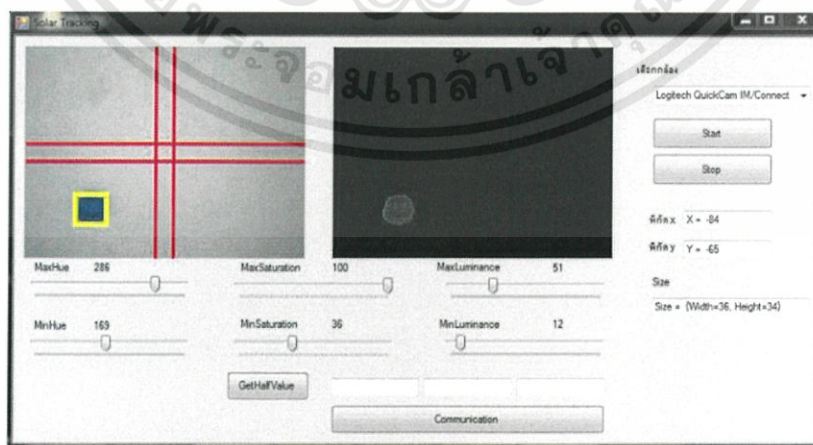


รูปที่ 4.4 แกนอัลติจูดเริ่มหมุนเมื่อวัตถุอยู่ในโซน 1

ตารางที่ 4.2 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน B

การทดลอง ครั้งที่	ตำแหน่งวัตถุตอนเริ่มต้น		ตำแหน่งวัตถุเมื่อแกนอัลติจูดเริ่มหมุน		ตำแหน่งสุดท้าย	
	x	y	x	y	x	y
1	-79	60	2	62	-2	1
2	-81	68	-3	67	-7	-5
3	-81	59	-5	59	-8	-6
4	-79	59	10	56	0	4
5	-81	58	-6	57	2	-7
เฉลี่ย	-80.2	60.8	-0.4	60.2	-3	-2.6

กรณีที่ 3 วางวัตถุไว้ในโซน C



รูปที่ 4.5 วางวัตถุไว้ในโซน C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

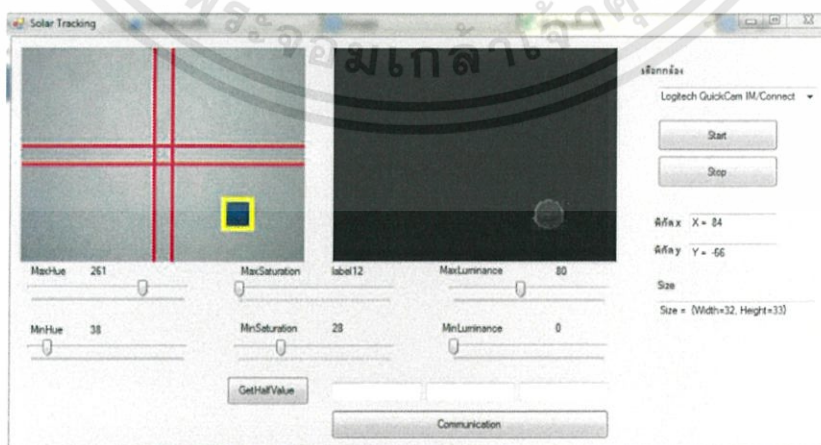


รูปที่ 4.6 แกนอัลติจูดเริ่มหมุนเมื่อวัตถุอยู่ในโซน 3

ตารางที่ 4.3 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน C

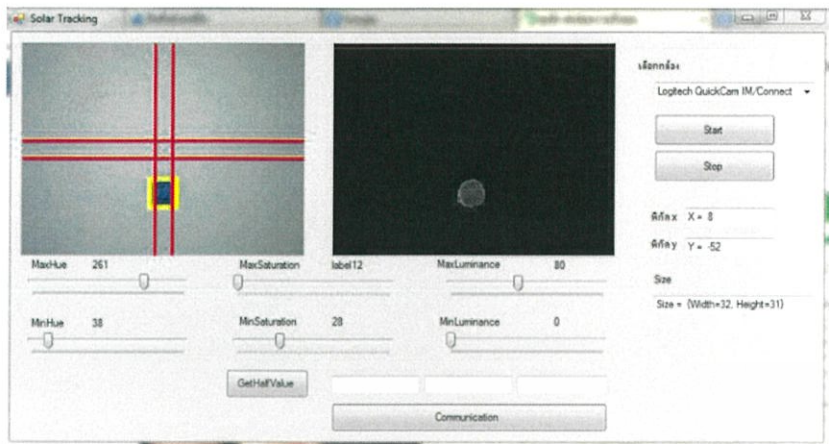
การทดลอง ครั้งที่	ตำแหน่งวัตถุตอนเริ่มต้น		ตำแหน่งวัตถุเมื่อแกนอัลติจูดเริ่มหมุน		ตำแหน่งสุดท้าย	
	x	y	x	y	x	y
1	-84	-65	-10	-66	-6	-2
2	-84	-55	-6	-56	-1	3
3	-85	-58	-2	-60	1	-1
4	-84	-65	-8	-66	-4	0
5	-85	-55	-6	-56	-3	0
เฉลี่ย	-84.4	-59.6	-6.4	-60.8	-2.6	0

กรณีที่ 4 วางวัตถุไว้ในโซน D



รูปที่ 4.7 วางวัตถุไว้ในโซน D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

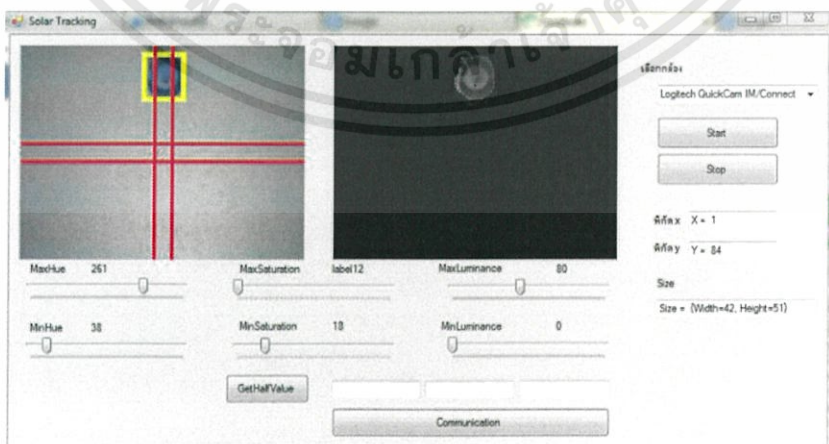


รูปที่ 4.8 แกนอัลติจูดเริ่มหมุนเมื่อวัตถุอยู่ในโซน 4

ตารางที่ 4.4 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน D

การทดลอง ครั้งที่	ตำแหน่งวัตถุตอนเริ่มต้น		ตำแหน่งวัตถุเมื่อแกนอัลติจูดเริ่มหมุน		ตำแหน่งสุดท้าย	
	x	y	x	y	x	Y
1	84	-66	8	-52	4	-6
2	83	-68	7	-55	5	0
3	81	-66	5	-52	4	-3
4	83	-68	5	-55	3	-6
5	80	-68	7	-54	5	0
เฉลี่ย	82.0	-67.2	6.4	-53.6	4.2	-3

กรณีที่ 5 วางวัตถุไว้ในโซน 1



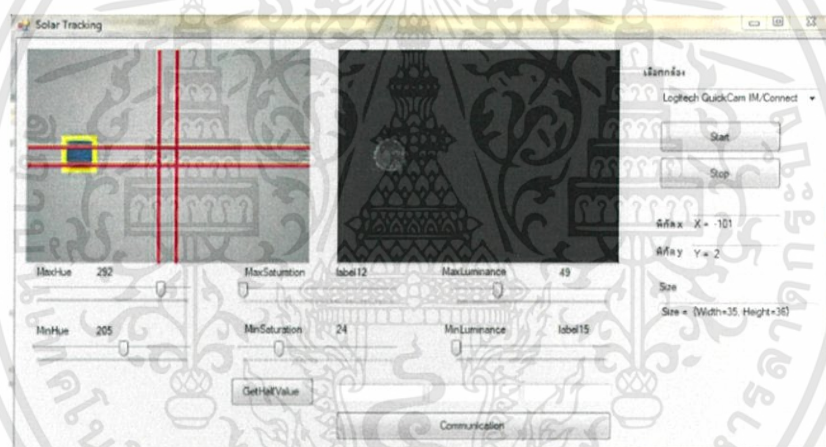
รูปที่ 4.9 วางวัตถุไว้ในโซน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 1

การทดลอง ครั้งที่	ตำแหน่งวัตถุตอนเริ่มต้น		ตำแหน่งวัตถุสุดท้าย	
	x	y	x	y
1	0	85	-8	3
2	-1	84	6	0
3	3	84	-2	-5
4	-1	84	1	2
5	-1	84	-5	1
เฉลี่ย	0	84.2	1.6	0.2

กรณีที่ 6 วางวัตถุไว้ในโซน 2



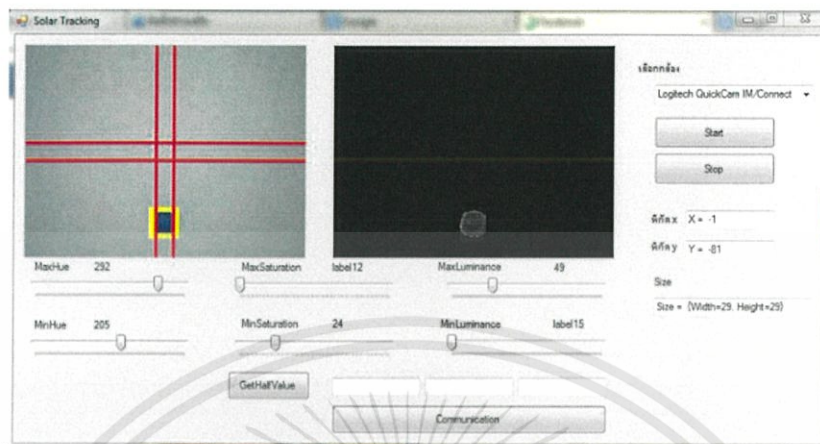
รูปที่ 4.10 วางวัตถุไว้ในโซน 2

ตารางที่ 4.6 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 2

การทดลอง ครั้งที่	ตำแหน่งวัตถุตอนเริ่มต้น		ตำแหน่งวัตถุสุดท้าย	
	x	y	x	y
1	-101	2	-2	-1
2	-101	2	0	1
3	-101	2	-3	0
4	-101	2	0	0
5	-102	2	-3	-1
เฉลี่ย	-101.2	2	-1.6	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กรณีศึกษาที่ 7 วางวัตถุไว้ในโซน 3



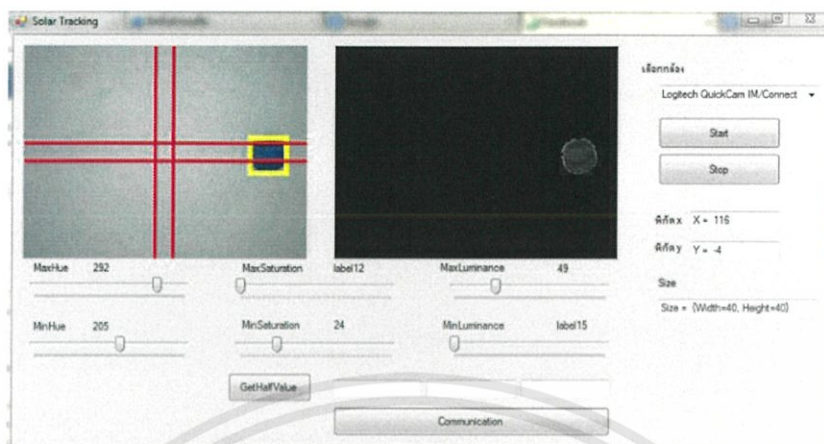
รูปที่ 4.11 วางวัตถุไว้ในโซน 3

### ตารางที่ 4.7 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 3

การทดลอง ครั้งที่	ตำแหน่งวัตถุตอนเริ่มต้น		ตำแหน่งวัตถุสุดท้าย	
	x	y	x	y
1	-1	-81	2	0
2	0	-81	2	0
3	-3	-81	-4	-8
4	-1	-81	5	-2
5	0	-80	-3	0
เฉลี่ย	-1	80.8	0.4	-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 8 วางวัตถุไว้ในโซน 4



รูปที่ 4.12 วางวัตถุไว้ในโซน 4

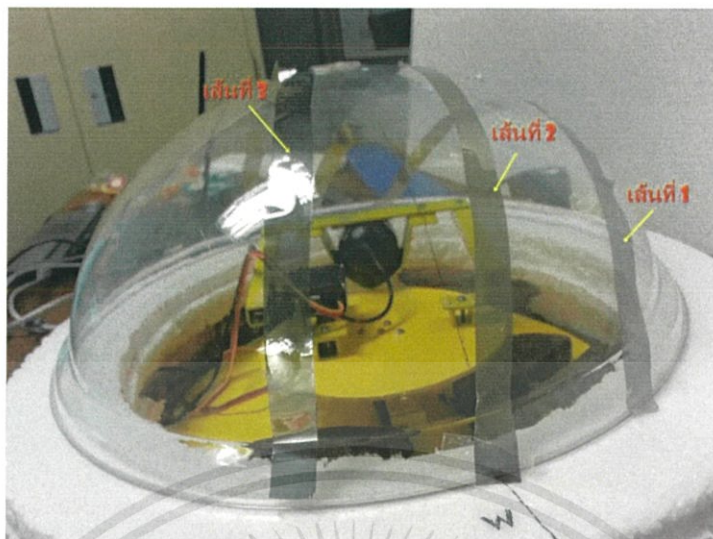
### ตารางที่ 4.8 การทดสอบการเคลื่อนไหวของระบบติดตาม เมื่อวัตถุอยู่ในโซน 4

การทดลอง ครั้งที่	ตำแหน่งวัตถุตอนเริ่มต้น		ตำแหน่งวัตถุสุดท้าย	
	x	y	x	y
1	116	-4	1	7
2	115	-3	5	-1
3	117	-6	2	1
4	114	-4	2	-1
5	116	-3	6	-2
เฉลี่ย	115.6	-4	3.2	0.8

#### 4.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

ในการทดสอบนี้ได้มีการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในประเทศไทยตามช่วงเวลาต่างๆขึ้นมา แล้วใช้แสงไฟจากไฟฉายแทนดวงอาทิตย์ โดยให้แสงไฟดังกล่าวเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ทำมุมกับพื้นโลกที่แตกต่างกัน จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก

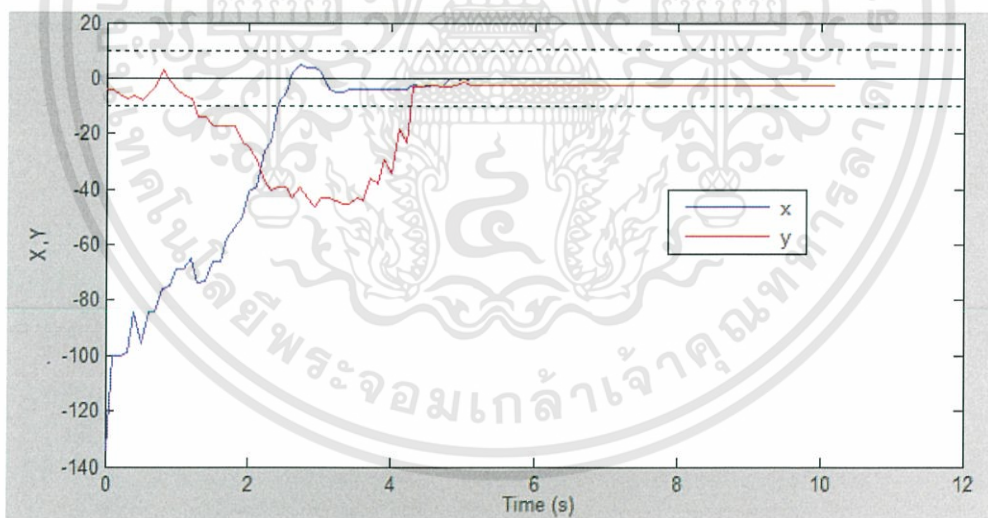
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แบบจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

ซึ่งจากการทดสอบสามารถลักษณะการตอบสนองของระบบได้ดังนี้

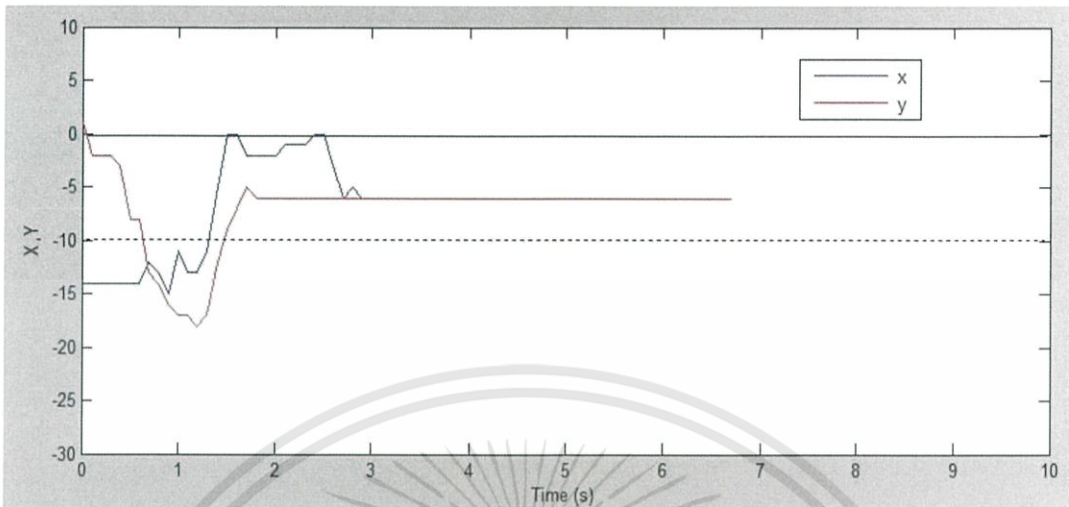
เส้นทางที่ 1



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองของระบบในเส้นทางที่ 1

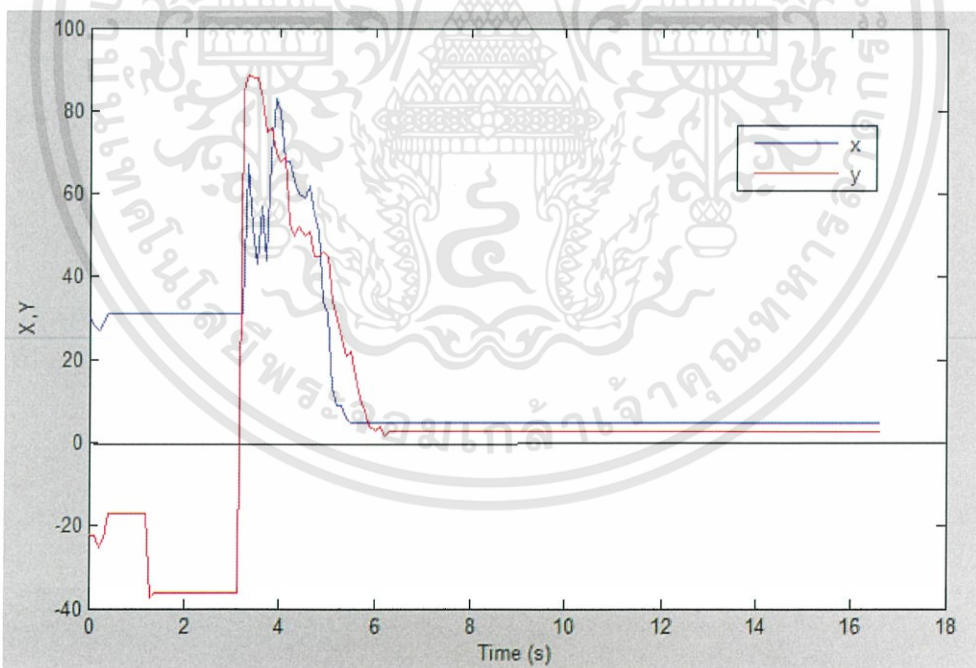
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เส้นทางที่ 2



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองของระบบในเส้นทางที่ 2

## เส้นทางที่ 3

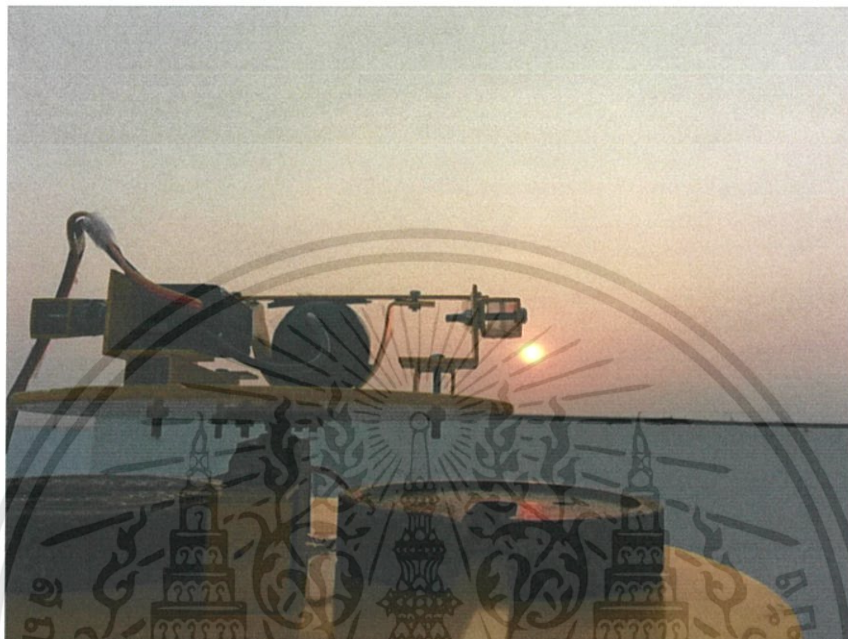


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองของระบบโดยในเส้นทางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

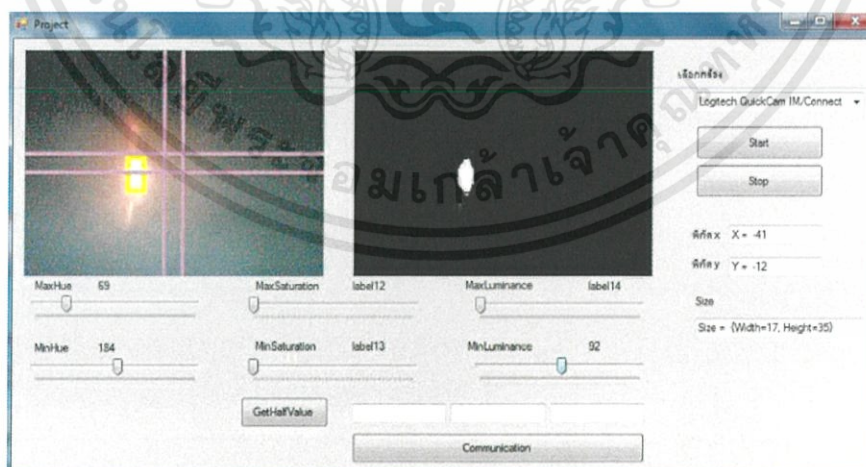
## 4.2 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยการติดตามดวงอาทิตย์จริง

จากการทดสอบการติดตามดวงอาทิตย์จริงของระบบ ซึ่งได้ทดสอบในเวลาเช้า โดยเริ่มต้นการรับภาพดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออก ดังรูป 4.17



รูปที่ 4.17 การรับภาพดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออก

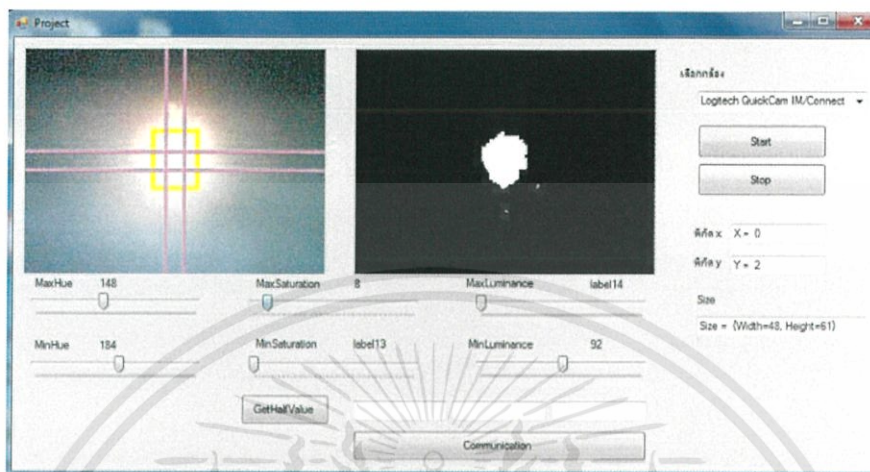
โดยภาพที่ได้นั้น พบว่าดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่ในพื้นที่ของโซน C ดังรูปที่ 4.18



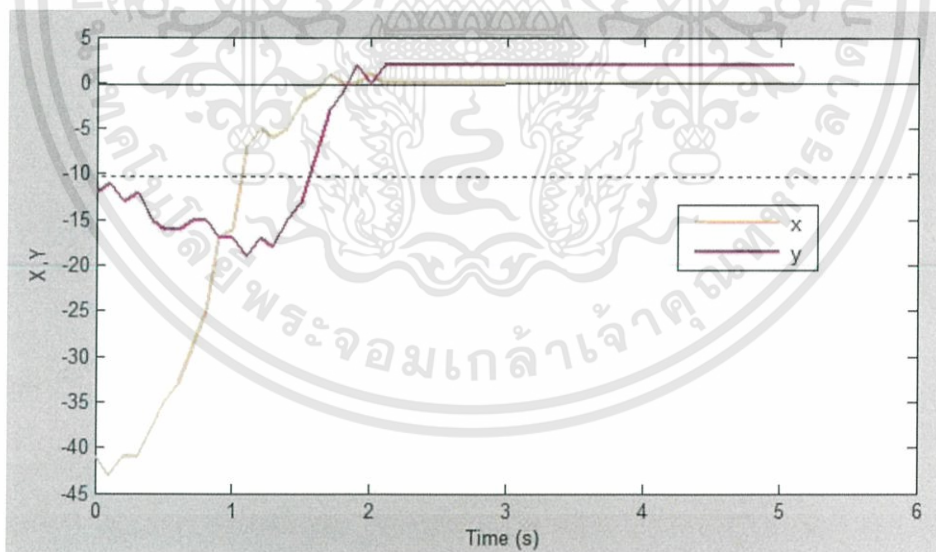
รูปที่ 4.18 ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่บนโซน C ของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อเริ่มต้นการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ก็สามารถเคลื่อนไหวให้ภาพดวงอาทิตย์มาอยู่ตรงกลางของภาพได้ ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่บนโซน O ของภาพ



รูปที่ 4.20 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยการติดตามดวงอาทิตย์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอการจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบ Machine Vision ซึ่งรับภาพจากกล้องเว็บแคม (webcam) แล้วเข้าสู่การประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งจุดกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (micro-controller) โดยมีจุดประสงค์คือ ต้องการควบคุมการหมุนของระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อให้จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการประมวลผลภาพอยู่ตรงกลางของภาพตลอดเวลา นั่นก็คือที่ตำแหน่ง  $x=0$  และ  $y=0$  ซึ่งจะทำให้แผงโซลาร์เซลล์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์และสามารถรับแสงได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน

การทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของการทดสอบการติดตามวัตถุ เพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรม การตอบสนองของระบบ ความแม่นยำในการติดตาม และเพื่อที่จะทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่ ส่วนที่สองเป็นการทดสอบโดยใช้การจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เพื่อทดสอบว่าระบบติดตามที่สร้างขึ้นนั้นสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ทุกฤดูกาล เพราะวงโคจรของดวงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลงจึงก่อให้เกิดฤดูกาลต่างๆ และส่วนที่สามเป็นส่วน ของการทดสอบการติดตามดวงอาทิตย์จริง เป็นการทดสอบเพื่อการนำไปใช้งานจริง

จากการทดลอง 4.1.1 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้วัตถุแทนดวงอาทิตย์ พบว่า เมื่อวางวัตถุไว้ในโซนต่างๆ ทั้ง 8 โซน ระบบสามารถติดตามวัตถุได้ตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม โดยในโซน A B C และ D นั้น แกนอัลติจูดจะเริ่มทำงานหลังจากที่แกนอะซิมูทหมดจนวัตถุอยู่ในโซน 1 (กรณีที่เริ่มต้นวัตถุอยู่ในโซน A และ B) หรือโซน 3 (กรณีที่เริ่มต้นวัตถุอยู่ในโซน C และ D) และจากการทดลองทั้ง 8 โซนนั้น จุดสุดท้ายที่เข้าสู่สมดุคือเมื่อจุดกึ่งกลางวัตถุอยู่ในพื้นที่ของโซน O

การทดลอง 4.1.2 การทดสอบโดยใช้การจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ นั้น จากการทดสอบเส้นทางที่ 1 พบว่า ณ จุดเริ่มต้นไฟฉายอยู่บนพื้นที่ของโซน 2 ( $x=-134, y=-4$ ) ซึ่งระบบสามารถทำงานตามคำสั่งของโปรแกรมจนภาพไฟฉายเคลื่อนมาอยู่ในพื้นที่โซน O ได้ภายในเวลา 5 วินาที และสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของไฟฉายได้ตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ในเส้นทางที่ 1 ส่วนเส้นทางที่ 2 นั้น จุดเริ่มต้นไฟฉายอยู่ในพื้นที่โซน 4 จึงสามารถเคลื่อนให้ภาพไฟฉายมาอยู่ในโซน O ได้อย่างรวดเร็ว และจากการทดสอบในเส้นทางที่ 3 พบว่าเริ่มต้นภาพไฟฉายปรากฏในพื้นที่โซน D เซอร์โวมอเตอร์จึงหมุนไปทิศตรงข้ามเพื่อรับค่าตำแหน่งภาพใหม่ และสามารถหมุนไปในมุมที่  $x$  มากกว่า 180 องศาได้

จากการทดลอง 4.2 การทดสอบเพื่อติดตามดวงอาทิตย์จริง พบว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์จริงได้

## 5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

1. มุมมองของกล้องเว็บแคมนั้นจะมีความแตกต่างจากมุมมองของมนุษย์ ทำให้เกิดความสับสนในการตั้งค่าการใช้งาน ซึ่งจะทำให้การทำงานของระบบเกิดความผิดพลาด ดังนั้นก่อนใช้งานจึงควรตรวจสอบการติดตั้งและทดสอบการใช้งานเบื้องต้นก่อน เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการทำงาน

2. เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้งานนั้น มีข้อจำกัดในเรื่องการหมุนที่ไม่สามารถใช้งานเกินมุม 180 องศาได้ ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ในกรณีที่ต้องการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ต่อเนื่องในบางกรณี ดังนั้นจึงต้องทำการเขียนโปรแกรมควบคุมที่ใช้เฉพาะการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เท่านั้น เพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้ทุกเส้นทาง

3. การใช้งานตรวจจับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จริงนั้น แสงอาทิตย์จะมีความเข้มสูงมาก ทำให้กล้องไม่สามารถตรวจจับภาพดวงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจึงต้องทำการติดฟิล์มกรองแสงเพื่อลดความเข้มของแสงอาทิตย์

4. ระบบนี้จะใช้ได้ดีและมีความแม่นยำสูง ในตอนที่ท้องฟ้าแจ่มใส (Fine) และดวงอาทิตย์ ปรากฏตลอดทั้งวัน ดังนั้นควรมีการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบโดยใช้วิธีคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์หรือใช้ค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากสภาวะอุตุนิยมวิทยา เพิ่มเข้าไปในกรณีที่ระบบไม่สามารถตรวจจับดวงอาทิตย์ได้

## 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์ที่เลือกใช้มีข้อจำกัดในการทำงานได้ทีละมุมไม่เกิน 180 องศา ทำให้การเขียนโปรแกรมจำเป็นต้องมีความซับซ้อนเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ทุกกรณี ดังนั้นจึงควรเลือกใช้มอเตอร์ที่หมุนได้ 360 องศา เพื่อลดความซับซ้อนของโปรแกรมควบคุม

2. เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนั้นจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ผลภาพจากกล้องเว็บแคม ทำให้ต้องเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้ตลอดเวลาที่ใช้งาน ดังนั้นในการพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานจริงในอนาคตจึงควรสร้างอุปกรณ์ที่มีเพียงฮาร์ดแวร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลภาพโดยเฉพาะ ซึ่งจะทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างอิสระ (Stand alone system) โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

3. เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์จะทำงานได้เมื่อเห็นดวงอาทิตย์ แต่เมื่อไม่เห็นดวงอาทิตย์ระบบจะหยุดนิ่ง ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของระบบจึงควรพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมเพิ่ม เพื่อให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานได้แม้ในเวลาที่ไม่เห็นดวงอาทิตย์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชนกร ลีมีสุวรรณและคณะ, “อุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์สำหรับวัดพลังงานแสงอาทิตย์”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : [www.ubu.ac.th/~sesame/sesamemean654.htm](http://www.ubu.ac.th/~sesame/sesamemean654.htm) (21 กรกฎาคม 2555)
- [2] คงฤทธิ์ แม้นศิริและคณะ, “โปรแกรม Sun Tracking and Simulation สำหรับการศึกษาและหาค่าพลังงานแสงอาทิตย์” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 1, 11 – 13 พฤษภาคม 2548, โรงแรมแอมบาสซาเตอร์ซิตี จอมเทียน จังหวัดชลบุรี (21 กรกฎาคม 2555)
- [3] Roth, P., Georgive, A. and Boudinob, H., “Design and construction of a system for Sun – tracking,” *Renewable Energy (Electronic)*, Vol.29, 2004. pp.393 – 402. Available : Applied ScienceDirect (21 กรกฎาคม 2555)
- [4] George, C. and Bakos, “Design and construction of a two – axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement,” *Renewable Energy (Electronic)*, Vol.31, 2006. pp.2411 – 2421. Available : Applied ScienceDirect (21 กรกฎาคม 2555)
- [5] อนุชา ดีผาง, สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์และเจริญพร เลิศสถิตธนกร, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัล” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย , ครั้งที่ 1, 11 – 13 พฤษภาคม 2548, โรงแรมแอมบาสซาเตอร์ซิตี จอมเทียน จังหวัดชลบุรี (23 กรกฎาคม 2555)
- [6] ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดีและเอกชัย ตีศิริ, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี,” *ศรีปทุมปริทัศน์*, ฉบับที่ 1, 2550 (23 กรกฎาคม 2555)
- [7] นายณกษา วรวัฒน์และคณะ, “การติดตามใบหน้าและลักษณะเด่นบนใบหน้า และการสร้างศิระะจากลำดับลำดับภาพสองมิติ”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://161.200.126.13/download/SeniorProject2553/Comp/Face%20and%20Facial%20Feature%20Tracking%20and%20Head%20Reconstruction%20from%20D%20Image%20Sequence.pdf> (23 กรกฎาคม 2555)
- [8] trueปลูกปัญญา, “พลังงานแสงอาทิตย์”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : [http://www.trueplookpanya.com/true/knowledge\\_youtube.php?youtube\\_id=561](http://www.trueplookpanya.com/true/knowledge_youtube.php?youtube_id=561) (23 กรกฎาคม 2555)
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : [http://www.ces.kmutt.ac.th/cssc2012/cssc\\_training/doc/Designer\\_CH1toCH5.pdf](http://www.ces.kmutt.ac.th/cssc2012/cssc_training/doc/Designer_CH1toCH5.pdf) (23 กรกฎาคม 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] ปรีชา มหาไม้และคณะ, “ การประยุกต์เทคโนโลยีการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนอัตโนมัติ”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://j.cit.kmutnb.ac.th/wp-content/uploads.pdf> (03 สิงหาคม 2555)
- [11] บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์, “การออกแบบหุ่นยนต์สองล้ออัจฉริยะ”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/74/BunditINSAll.pdf> (05 สิงหาคม 2555)
- [12] มนุศักดิ์ จานทองและคณะ, “ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/74/BunditINSAll.pdf> (05 สิงหาคม 2555)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



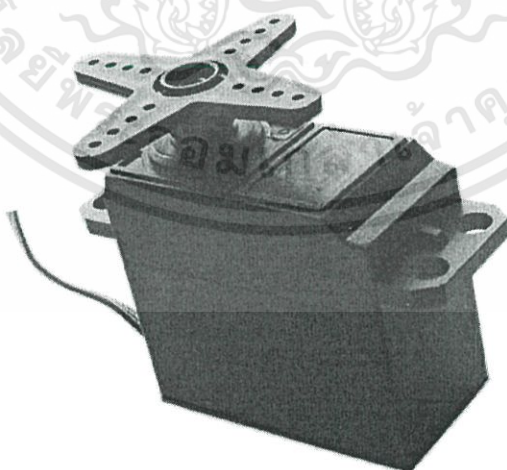
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

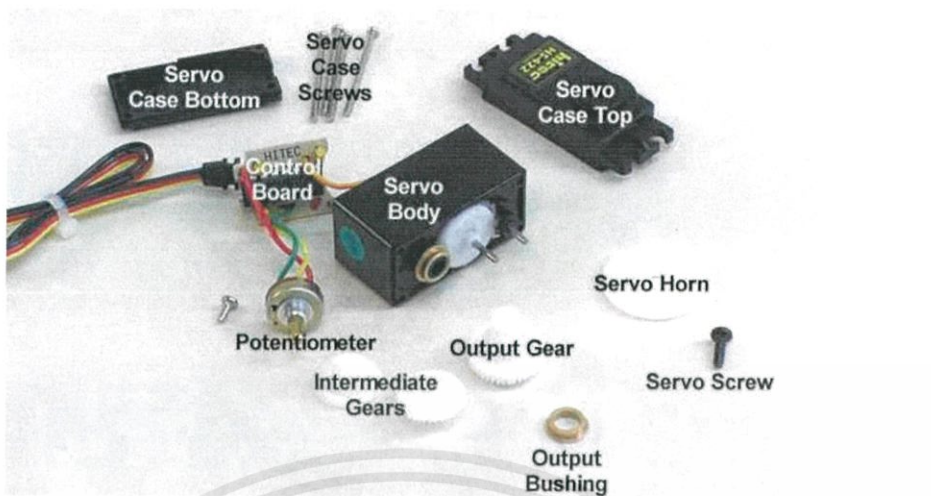
## ก.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับชุดเกียร์ และส่วนควบคุมต่างๆไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC, GND และ สายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวาได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณ พัลส์วิดมอด (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลท์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ จะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา , ให้แรงบิดสูง , กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุมด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ (Driver) อื่นๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมียังวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่ง หรือ ทิศทางองศาที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่เซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้แค่เพียงในช่วงประมาณ 180° หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น หรือ บางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210° แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และ ตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้น เซอร์โวมอเตอร์จึงถูกออกแบบให้หมุนได้เพียงแค่ประมาณ 180 องศา หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่ถ้าหากเราต้องการให้มอเตอร์หมุนเป็นวงรอบ (360°) นั้นก็สามารถทำได้ โดยจะต้องทำการปรับแต่ง (Modify) ดัดแปลงชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์



รูปภาคผนวก ก-1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)

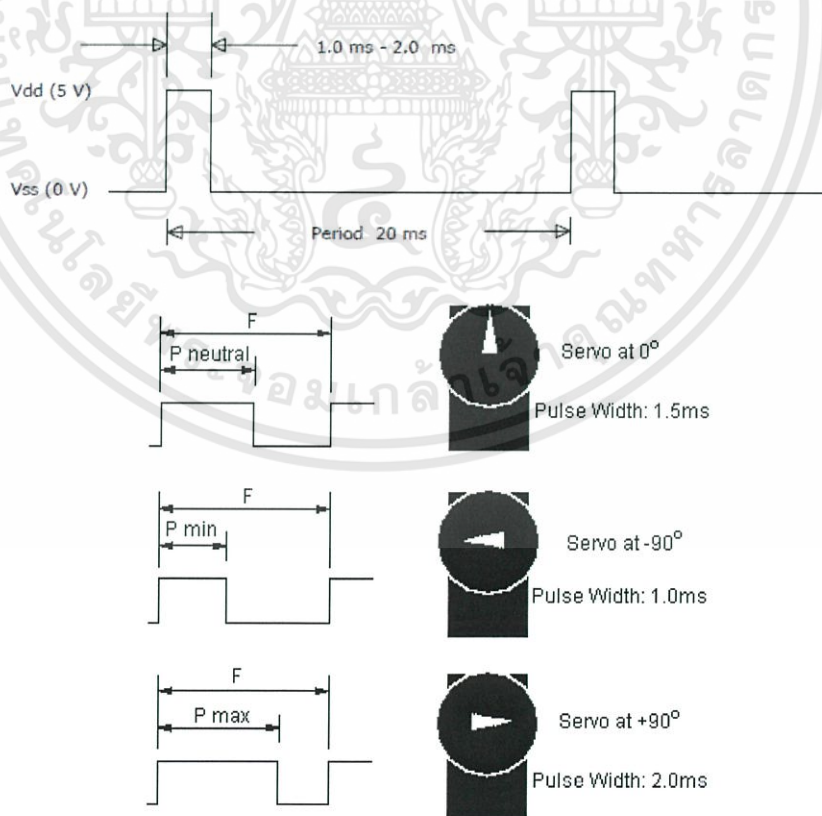
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพผนวก ก-2 ส่วนประกอบต่างๆของเซอร์โวมอเตอร์(Servo motor)

หลักการทํางานของเซอร์โวมอเตอร์(Servo motor)

การควบคุมการทํางานของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆโดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูป คือ



รูปภาพผนวก ก-3 การกำหนดสัญญาณพัลส์ของเซอร์โวมอเตอร์(Servo motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

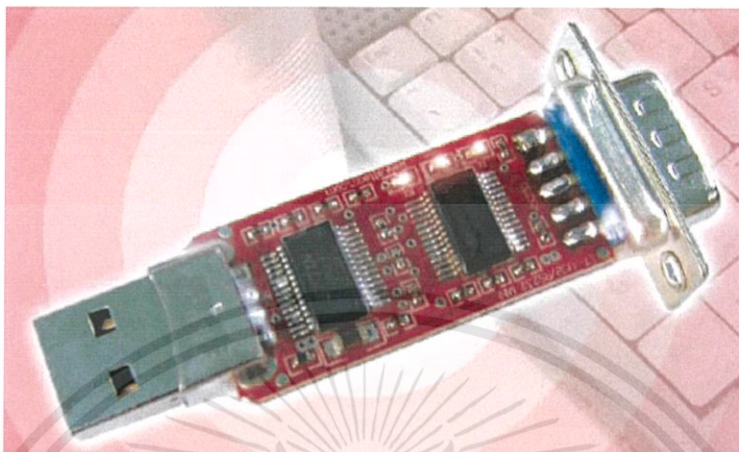
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือจุดกึ่งกลางของมอเตอร์
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม + 90 องศา หรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ค่าความกว้างพัลส์ และ ระยะเวลาการหมุนของมอเตอร์ที่อธิบายด้านบน นั้นเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ทั้งนี้ระยะเวลาการหมุน และ ขนาดของพัลส์ที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแต่ละยี่ห้ออาจจะไม่เท่ากัน ดังนั้นในการใช้งานจึงควรศึกษารายละเอียดของมอเตอร์ในแต่ละรุ่นที่นำมาใช้ ซึ่งโดยปกติแล้วรายละเอียดต่างๆ ของมอเตอร์มักจะมีติดมากับตัวมอเตอร์นั้นๆ อยู่แล้ว

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆ นั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เป็นระดับความกว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุด ทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม - 45 องศา เราก็จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และสัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้

โดยหลักการก็คือ จะอาศัยการเปรียบเทียบช่วงเวลาของความกว้างพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุมกับค่าเวลาของวงจร RC ภายในบอร์ดควบคุมในตัวของมอเตอร์ ซึ่งค่าเวลาของวงจร RC นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามการหมุนของมอเตอร์ เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าจะถูกยึดติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งการหมุนของมอเตอร์จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่า (VR) เปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยในขณะที่เราป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุม สัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเวลาของวงจร RC หากค่าทั้ง 2 ไม่เท่ากันมอเตอร์ก็จะหมุนทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งค่าเวลาความกว้างพัลส์ของ วงจร RC เปลี่ยนแปลงจนเท่ากับสัญญาณพัลส์ทางขาควบคุม (Control line) มอเตอร์จึงจะหยุดหมุน

## ก.2 ET-USB/RS232 MINI



รูปภาพผนวก ก-4 ET-USB/RS232 MINI

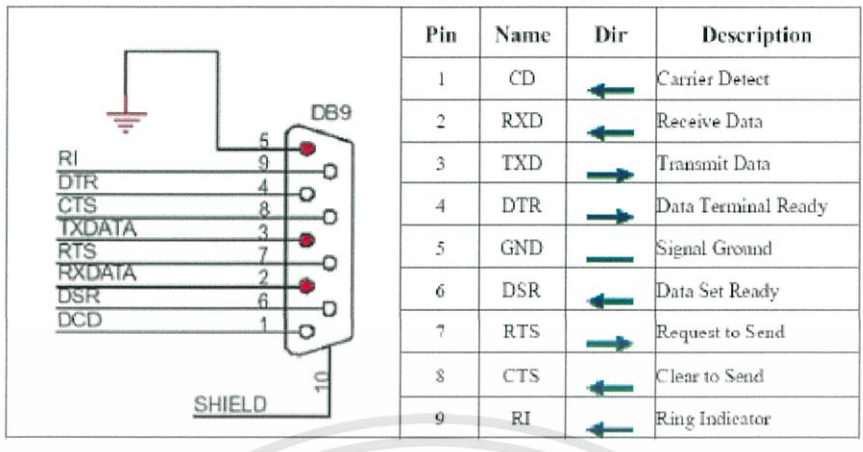
### คุณสมบัติของ ET-USB/RS232 MINI

1. รองรับมาตรฐาน USB 1.1 และ USB 2.0
2. อัตราการรับส่งข้อมูล 300 bps ถึง 128 kbps
3. ใช้ไฟเลี้ยงจาก USB Port โดยตรงไม่ต้องต่อเพิ่มภายนอก
4. USB Connector แบบ TYPE A ,RS232 Connector แบบ DP9 ตัวผู้
5. แสดงสถานะการทำงานด้วย LED 3 สี คือ การรับ (RX) สีเขียว,การส่ง (TX) สีเหลือง และ Power (PWR) สีแดง
6. Driver รองรับ Windows 98SE/ME/2000/XP
7. ขนาด กว้าง 3 cm x ยาว 6.8 cm

### การต่อใช้งาน ET-USB/RS232 MINI

1. เสียบ ET-USB/RS232 MINI เข้ากับ Port USB ของคอมพิวเตอร์ ขณะนี้จะสังเกตเห็นว่าไฟแสดงสถานะ PWR จะยังไม่ติดสว่าง
2. ติดตั้ง Driver สำหรับ ET-USB/RS232 MINI โดยจากคู่มือการติดตั้ง Driver เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ไฟแสดงสถานะ PWR จะติดสว่างแสดงว่าพร้อมที่จะใช้งานแล้ว
3. ต่อสายพอร์ตอนุกรม เพื่อใช้งานโดยตำแหน่งขาใช้งาน จะเป็นดังรูป

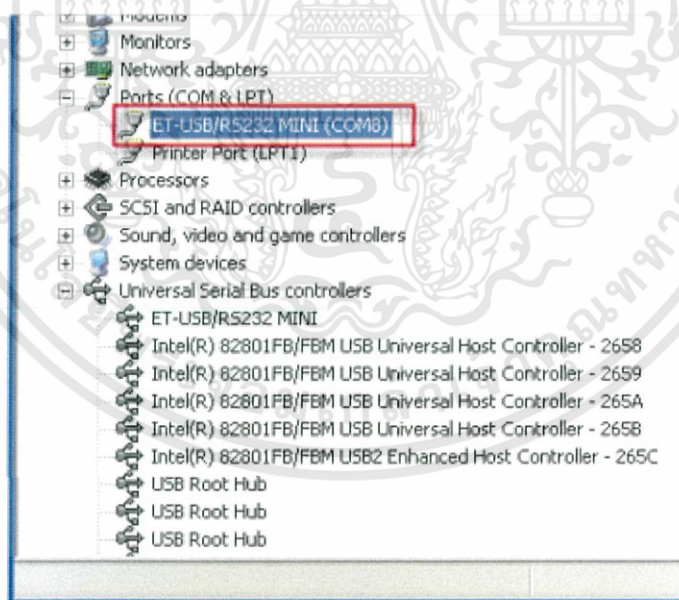
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปภาคผนวก ก-5 การต่อสายพอร์ตต่อนุกรม

ขั้นตอนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหมายเลขของ COM Port

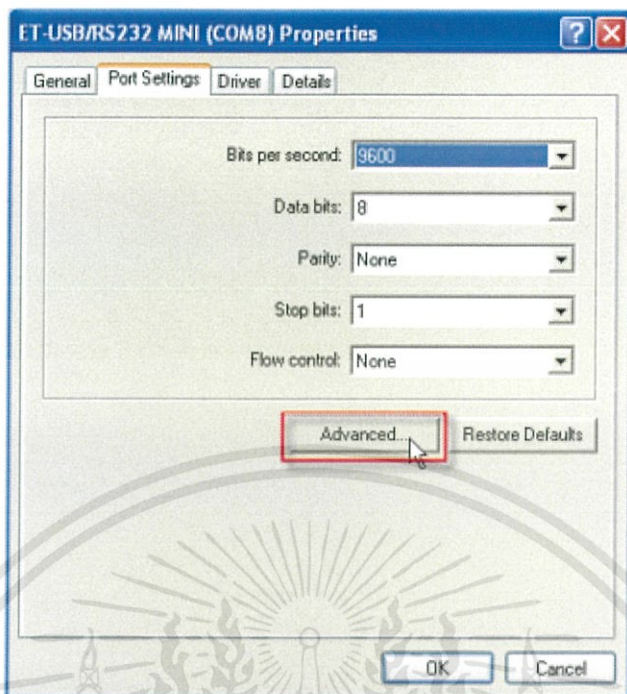
1. ไปที่ Control Panel → System เลือกแท็บ Hardware และเลือกที่ Device Manager ซึ่งจะเห็นรายการฮาร์ดแวร์ ET-USB/RS232 MINI ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าอยู่ที่ตำแหน่ง COM8 (หมายเลข COM Port อาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง)



### รูปภาคผนวก ก-6 ขั้นตอนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหมายเลขของ COM Port

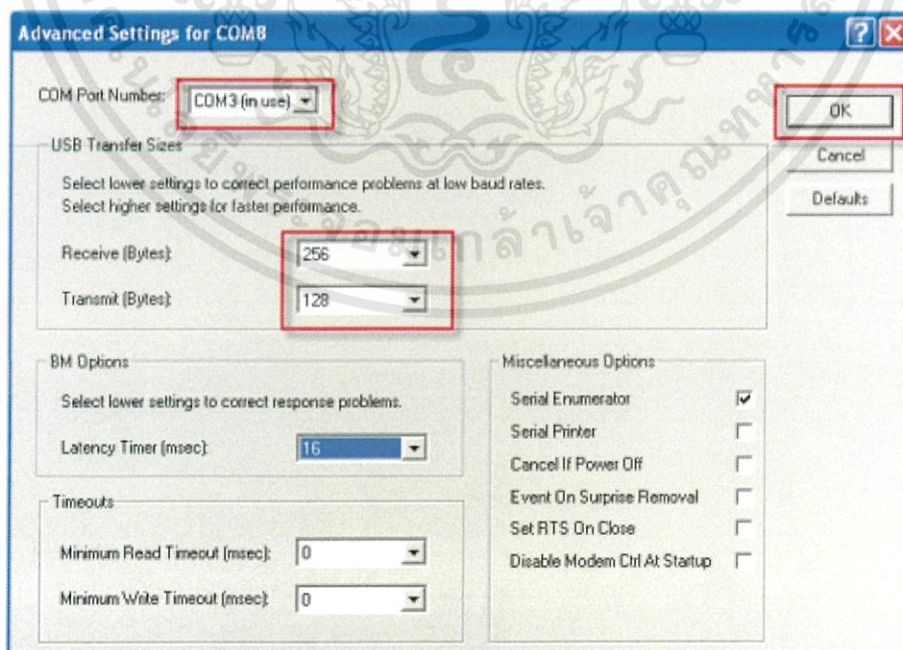
2. ซึ่งจากรูปสมมุติว่า ET- USB/RS232 MINI อยู่ที่ตำแหน่ง COM8 ซึ่งถ้าต้องการเปลี่ยนให้เป็น COM3 ก็สามารทำได้โดยการดับเบิลคลิกที่ ET- USB/RS232 MINI จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Properties ดังรูป ให้เลือกมาที่ Port Setting และทำการคลิกที่ปุ่ม Advanced...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพผนวก ก-7 ขั้นตอนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหมายเลขของ COM Port(ต่อ)

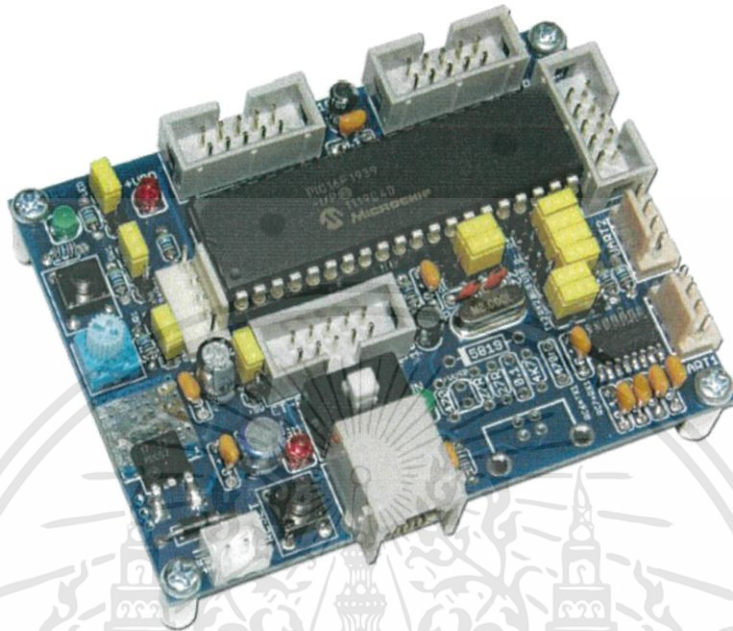
3. ทำการเปลี่ยน COM Port Number เป็น COM3 กำหนดค่า Receive(Bytes) และ Transmit(Bytes) ดังรูป และคลิกที่ OK เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลง จากนั้นให้ทำการรีสตาร์ทเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือสแกนหาฮาร์ดแวร์ใหม่



รูปภาพผนวก ก-8 ขั้นตอนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหมายเลขของ COM Port(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.3 ET-BASE PIC40/1939



รูปภาพผนวก ก-9 ET-BASE PIC40/1939

ET-BASE PIC40/1939(ICSP) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC ซึ่ง ออกแบบให้รองรับการติดตั้งใช้งานกับชิพไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 40 Pin(40PDIP) เบอร์ PIC16F1939 สามารถเลือกใช้กับระบบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เป็น 3.3V หรือ 5V ให้เหมาะสมกับ จุดประสงค์ในการใช้งานได้อีกด้วย

โดยโครงสร้างของบอร์ด ET-BASE PIC40/1939(ICSP) ได้รับการออกแบบให้บอร์ด มีขนาดเล็ก เหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานและยังสามารถใช้เป็นชุดทดลองเรียนรู้เบื้องต้นได้อีก ด้วย โดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอาวงจรที่จำเป็นต่อการใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม มีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ ให้ สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลายๆลักษณะตามต้องการ

นอกจากนี้แล้วยังได้ เพิ่มเติมอุปกรณ์ทดสอบ Input / Output แบบต่างๆใน เบื้องต้นไว้ภายในบอร์ด เพื่อให้ได้ใช้เป็นเครื่องมือในการทดลองระหว่างการพัฒนาโปรแกรม เช่น VR ปรับค่าได้สำหรับทดสอบการทำงานของ ADC หรือ Push Button Switch สำหรับทดสอบ Input Logic หรือ LED สำหรับใช้ทดสอบการทำงานของ Output Logic เป็นต้น

### คุณสมบัติของบอร์ด

1. ใช้ MCU เบอร์ PIC16F1939(40PDIP) เป็น MCU ประจำบอร์ด Run ความถี่สูงสุด 32MHz
  - 16KWord Flash / 256Byte EEPROM / 1024Byte SRAM
  - 36 GPIO
    - 14 Channel 10Bit ADC
    - 16 Channel Cap Sense
    - 2 Channel Comparator
    - 4 Channel 8 Bit Timer / 1 Channel 16 Bit Timer
    - 1 Channel EUART
    - 1 Channel I2C / 1 Channel SPI
    - 3 Channel ECCP
    - 2 Channel CCP
2. มี Crystal ความถี่ 8.00MHz (Run 32 MHz + PLL) พร้อม Jumper ตัดต่อเมื่อไม่ต้องการใช้งาน
3. มีวงจร Line Driver สำหรับพอร์ตสื่อสารอนุกรม UART แบบ RS232 จำนวน 2 ช่อง โดยใช้ขั้วต่อ UART แบบ CPA-4 Pin มาตรฐาน อีทีที
  - 1 ช่อง สำหรับ Hardware UART1 โดยใช้ Pin RC6(TX1) และ RC7(RX1) มาตรฐาน PIC
  - 1 ช่อง สำหรับ Software UART โดยใช้ Pin RC0(TX2) และ RC1(RX2) พร้อม Jumper สำหรับเลือกใช้งาน UART2 หรือ GPIO(RC0/RC1) ได้ตามต้องการ
4. มีขั้ว ICSP มาตรฐาน ICD2 แบบ RJ11 สำหรับใช้ร่วมกับชุดพัฒนาโปรแกรมและ Debugger ที่รองรับการทำงานตามมาตรฐาน ICSP ของ Microchips เช่น ICD2/ICD3 หรือ Pickit2/Pickit3 ได้
5. มี Switch สำหรับสลับสัญญาณระหว่าง Program/Debug(PGM) และ ใช้งานปรกติ(RUN) พร้อม LED แสดงโหมดการทำงานของบอร์ด
6. มีขั้วต่อสัญญาณ I/O แบบ Header ขนาด 2x5 จำนวน 4 ชุด และ Header CPA-5 Pin อีก 1 ชุด
7. มี Switch Reset สำหรับสั่ง Reset การทำงานของ MCU ภายในบอร์ด
8. มี VR1 ปรับค่าสำหรับทดสอบการทำงาน ADC Input โดยใช้ RA0 พร้อม Jumper ตัดต่อสัญญาณ
9. มี SW1 สำหรับทดสอบการทำงาน Digital Input โดยใช้ RA1 พร้อม Jumper ตัดต่อสัญญาณ
10. มี LED สำหรับทดสอบการทำงาน Digital Output โดยใช้ RA2 พร้อม Jumper ตัดต่อสัญญาณ
11. Power +5VDC Input พร้อม Regulate แบบ 3.3V/1A และ LED แสดงสถานะแหล่งจ่าย Power พร้อม Jumper สำหรับ เลือกแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้ MCUว่าจะใช้เป็น +5VDC หรือ 3.3VDC
12. ขนาด PCB Size เล็กเพียง 8 x 6 cm.

## ภาคผนวก ข

### โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

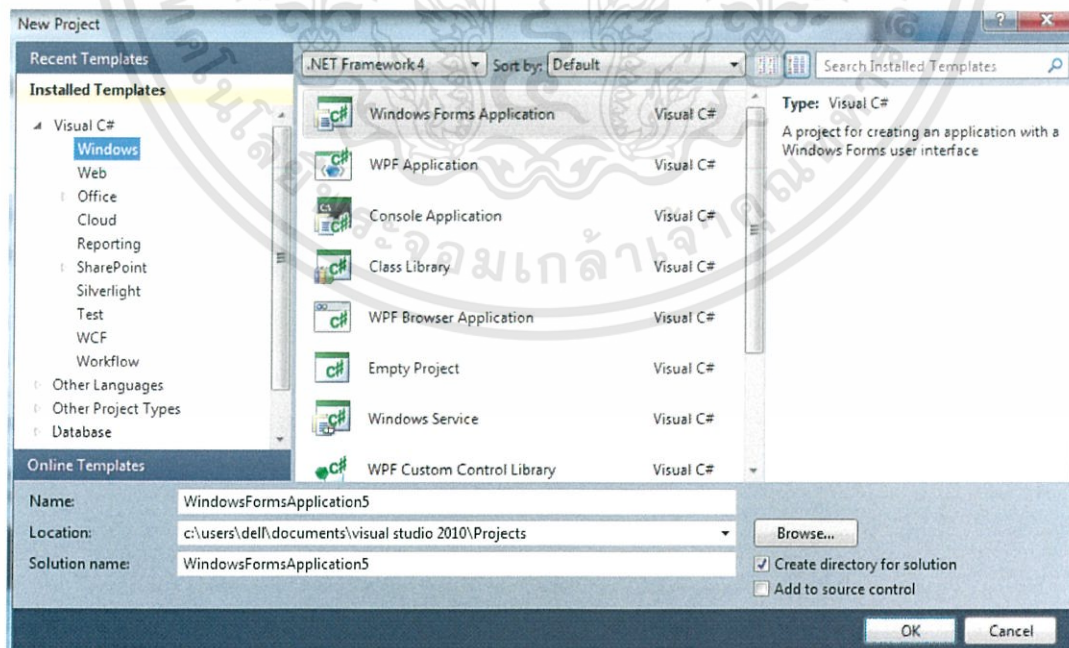
ในการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ จะแบ่งโปรแกรมที่ใช้ในการทดลองเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นโปรแกรมสำหรับประมวลผลภาพของดวงอาทิตย์ได้แก่ Microsoft visual C# ส่วนที่สองเป็นโปรแกรมสำหรับตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพของดวงอาทิตย์ว่าสามารถส่งค่าออกมาได้ถูกต้องหรือไม่ และส่วนที่สามเป็นโปรแกรมสำหรับควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์

#### ข.1 Microsoft visual C#

Microsoft visual C# ทางผู้ทดลองได้นำมาใช้เพื่อทำการสร้างโปรแกรมสำหรับประมวลผลภาพของดวงอาทิตย์

การใช้โปรแกรม Microsoft visual C# เบื้องต้น

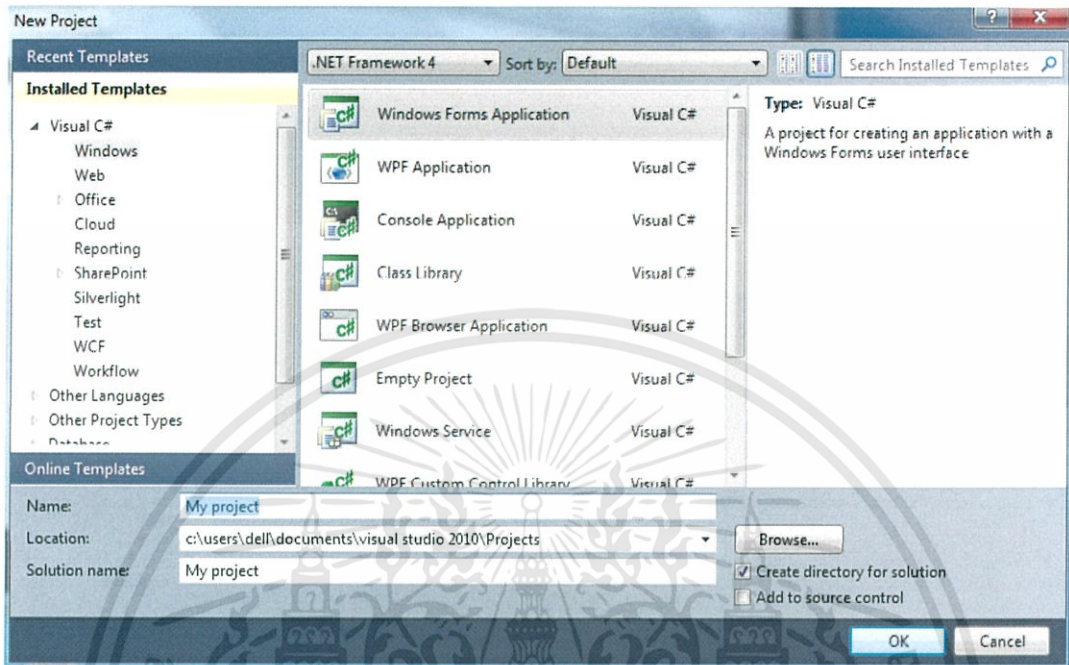
1. เปิดโปรแกรม คลิกที่ File > new project แล้วจะเห็นหน้าต่างนี้



รูปภาคผนวก ข-1 การใช้โปรแกรม Microsoft visual C# เบื้องต้น

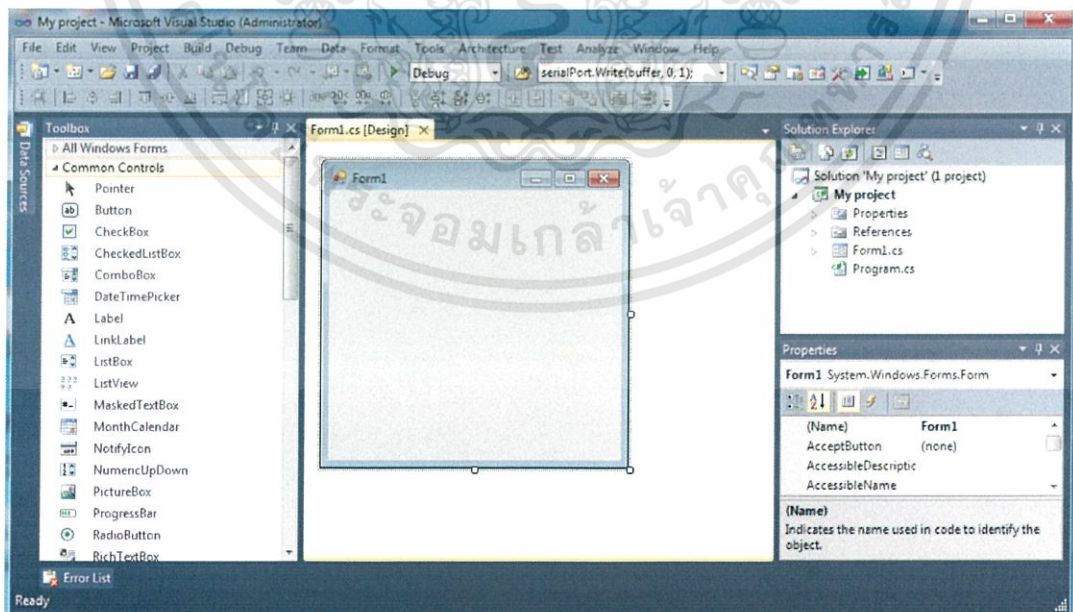
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือก Windows Forms Application แล้วด้านล่างของหน้าต่างนี้จะเห็นว่ามี Name: เปลี่ยนจาก WindowsApplication5 เป็น ชื่อโปรเจกต์ที่เราต้องการสร้าง เช่น My project



รูปภาพผนวก ข-2 การใช้โปรแกรม Microsoft visual C# เบื้องต้น(ต่อ)

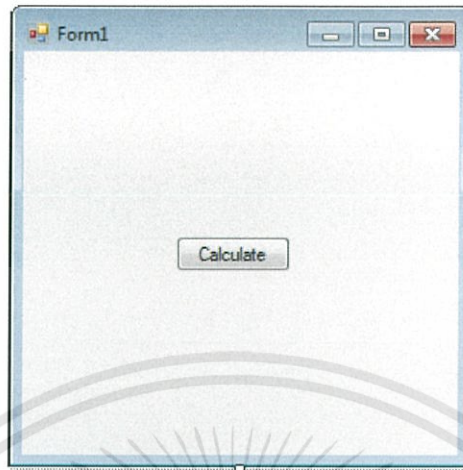
3. คลิก OK แล้วก็จะเห็นหน้าต่าง IDE ซึ่งหน้าหลักก็จะประกอบด้วย Form , Common controls Toolbox, Solution Explorer และ Properties



รูปภาพผนวก ข-3 การใช้โปรแกรม Microsoft visual C# เบื้องต้น(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลาก button จาก toolbox มาลง Form แล้วเปลี่ยนชื่อปุ่มนั้นเป็น Calculate



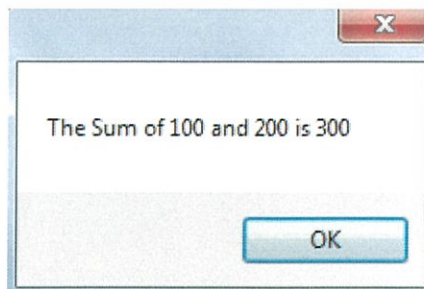
รูปภาพผนวก ข-4 การใช้โปรแกรม Microsoft visual C# เบื้องต้น(ต่อ)

5. คลิกที่ ปุ่ม calculate ที่สร้างขึ้น และเขียนโค้ดลงไปใน source code เขียนโค้ดดังนี้

```
private void Calculate_Click(object sender, EventArgs e)
{
    int num1, num2, sum;
    num1 = 100;
    num2 = 200;
    sum = num1 + num2;
    MessageBox.Show(" The Sum of " + num1 + " and " + num2 + " is " + sum);
}
```

รูปภาพผนวก ข-5 การใช้โปรแกรม Microsoft visual C# เบื้องต้น(ต่อ)

6. รันโปรแกรม(กดปุ่ม หรือ F5) และเมื่อทำการกดปุ่ม Calculate จะเห็นกล่องข้อความออกมาดังรูป



รูปภาพผนวก ข-6 การใช้โปรแกรม Microsoft visual C# เบื้องต้น(ต่อ)

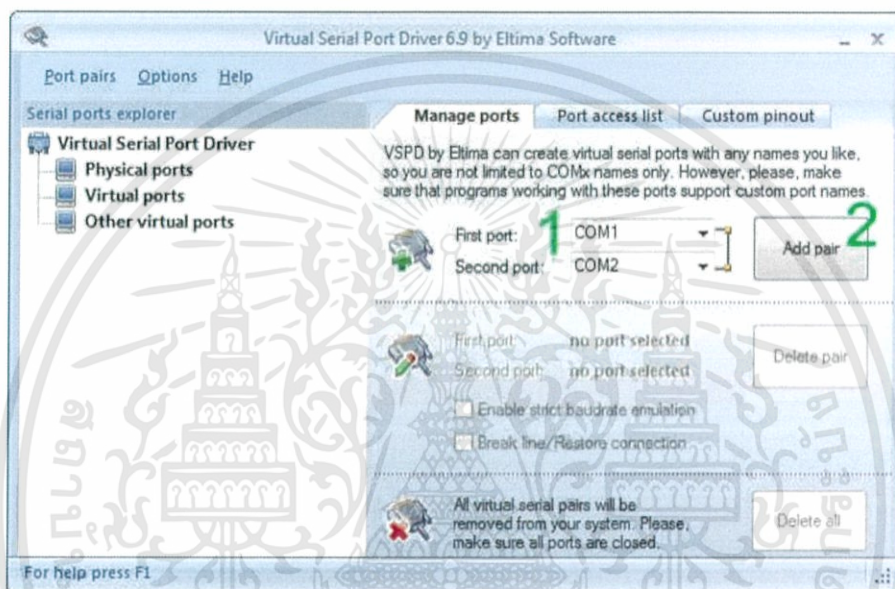
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข.2 Virtual Serial Port Driver

เป็นซอฟต์แวร์ (Software) ที่ช่วยสร้าง Serial Port เสมือน ขึ้นมาบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถทดลองรับส่งข้อมูล(Data) ผ่านทาง Serial Port ได้สะดวกมากขึ้น

การใช้โปรแกรม Virtual Serial Port Driver

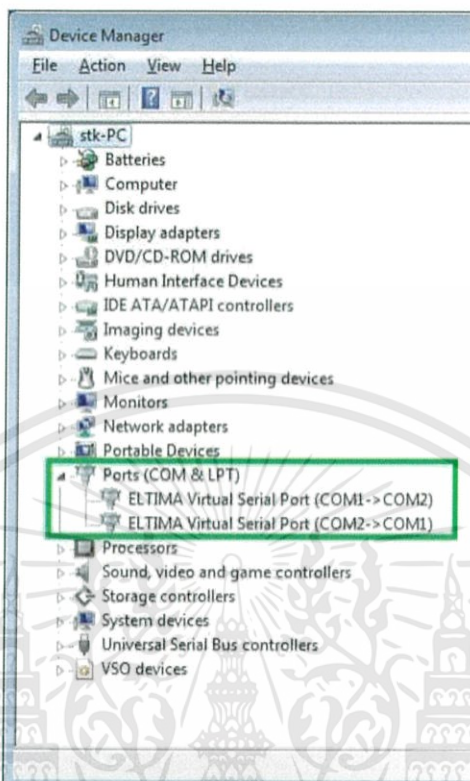
1. เปิดโปรแกรม Virtual Serial Port Driver



รูปภาพผนวก ข-7 การใช้โปรแกรม Virtual Serial Port Driver

ขั้นตอนที่ 1 ตั้ง Serial Port เสมือนขึ้นมา 2 ช่อง ดังรูป กำหนดให้สร้าง COM1 และ COM2  
 ขั้นตอนที่ 2 คลิกที่ Add pair เป็นการเชื่อมต่อ COM1 เข้ากับ COM2 เหมือนกับการที่เราเอาสาย Serial Port มาต่อ COM1 เข้ากับ COM2

2. ตรวจสอบว่า COM1 แล้ว COM2 เชื่อมต่อกันแล้ว



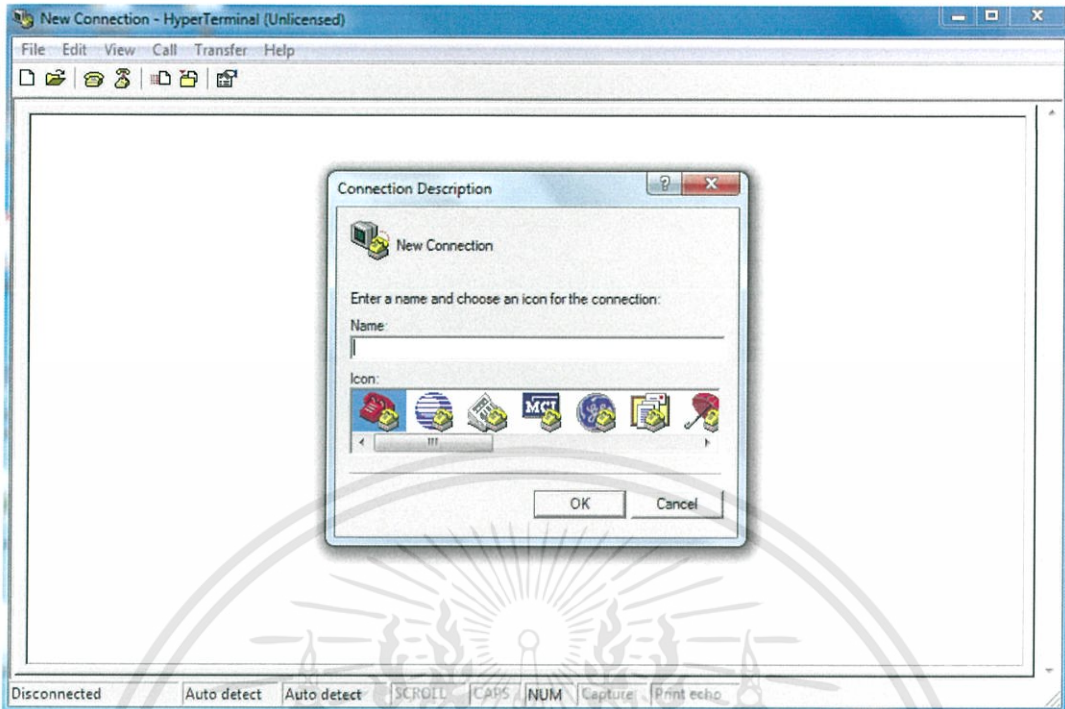
รูปภาพผนวก ข-8 การใช้โปรแกรม Virtual Serial Port Driver(ต่อ)

### ข.3 Hyperterminal

เป็นโปรแกรมเพื่อนำมาใช้ตรวจสอบโปรแกรมประมวลผลภาพของดวงอาทิตย์ว่าสามารถส่งค่าออกมาได้จริงหรือไม่ และส่งค่าออกมาถูกต้องหรือไม่ ก่อนที่จะทำการส่งค่าให้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller)

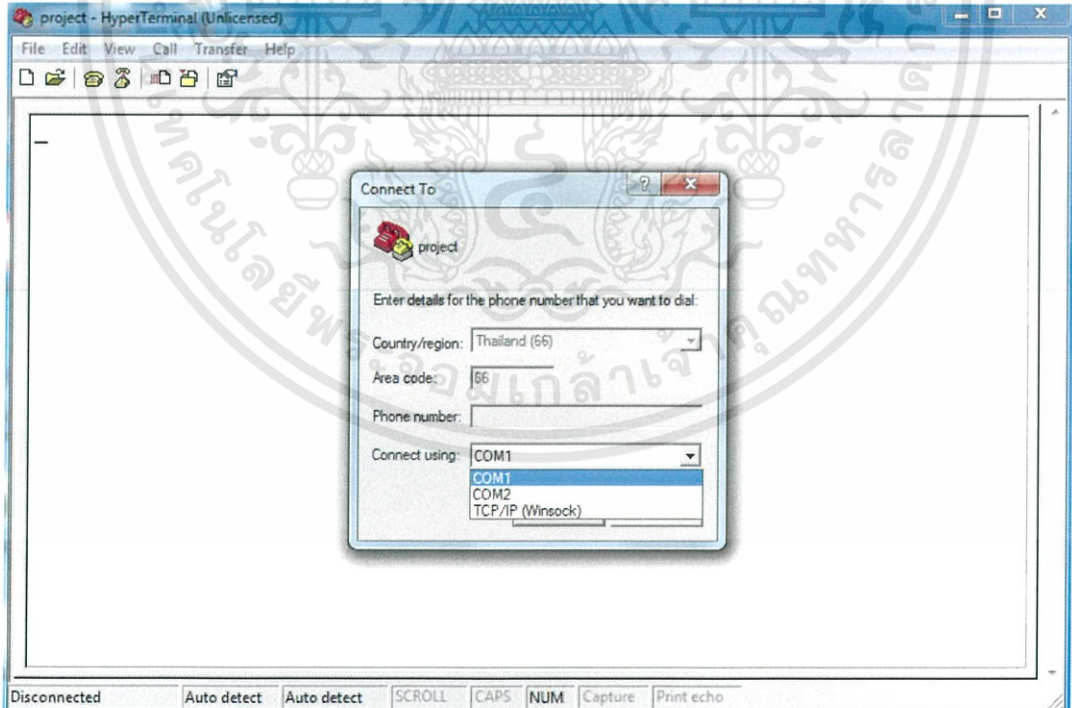
#### การใช้โปรแกรม Hyperterminal

1. เปิดโปรแกรม Hyperterminal และทำการตั้งชื่อ



รูปภาพผนวก ข-9 การใช้โปรแกรม Hyperterminal

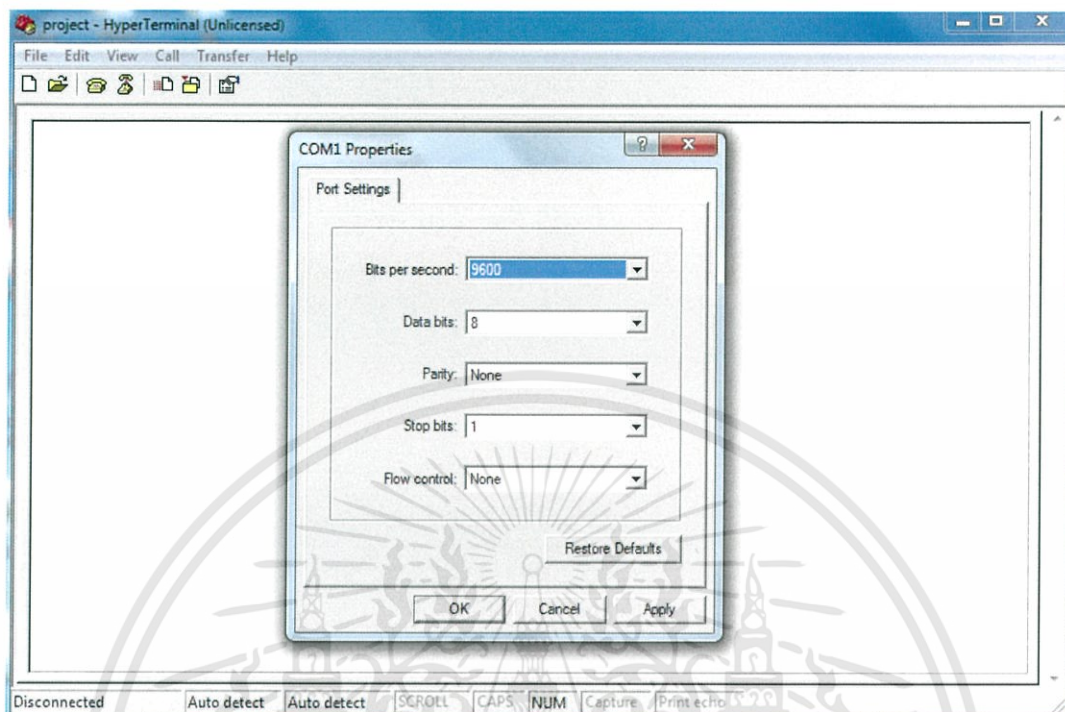
## 2. เลือก COM PORT ที่ต้องการ



รูปภาพผนวก ข-10 การใช้โปรแกรม Hyperterminal (ต่อ)

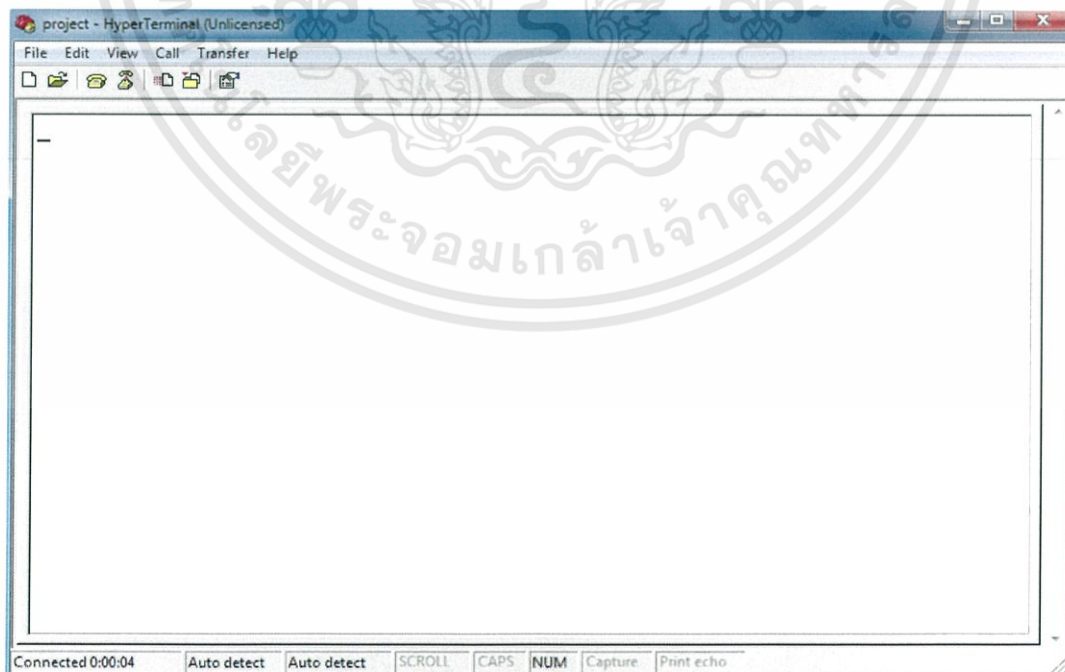
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตั้งค่าต่างๆตามต้องการ โดยความเร็วของการส่งข้อมูลปกติจะอยู่ที่ 9600 bits per second



รูปภาพผนวก ข-11 การใช้โปรแกรม Hyperterminal (ต่อ)

4. เมื่อทำการตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว จะเข้าสู่หน้าต่างโปรแกรม Hyperterminal ดังรูป ซึ่งเมื่อมีการส่งค่ามายังโปรแกรม Hyperterminal ค่าที่ส่งมาจะปรากฏบนหน้าต่างโปรแกรม



รูปภาพผนวก ข-12 การใช้โปรแกรม Hyperterminal (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ข.4 CCS C Compiler

โปรแกรม CCS C Compiler เป็นซอฟต์แวร์สำหรับแปลโปรแกรมภาษา C ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เป็นรหัสเครื่องหรือแมชชีนโค้ด (machine code) ผลิตโดย Custom Computer Services สหรัฐอเมริกา

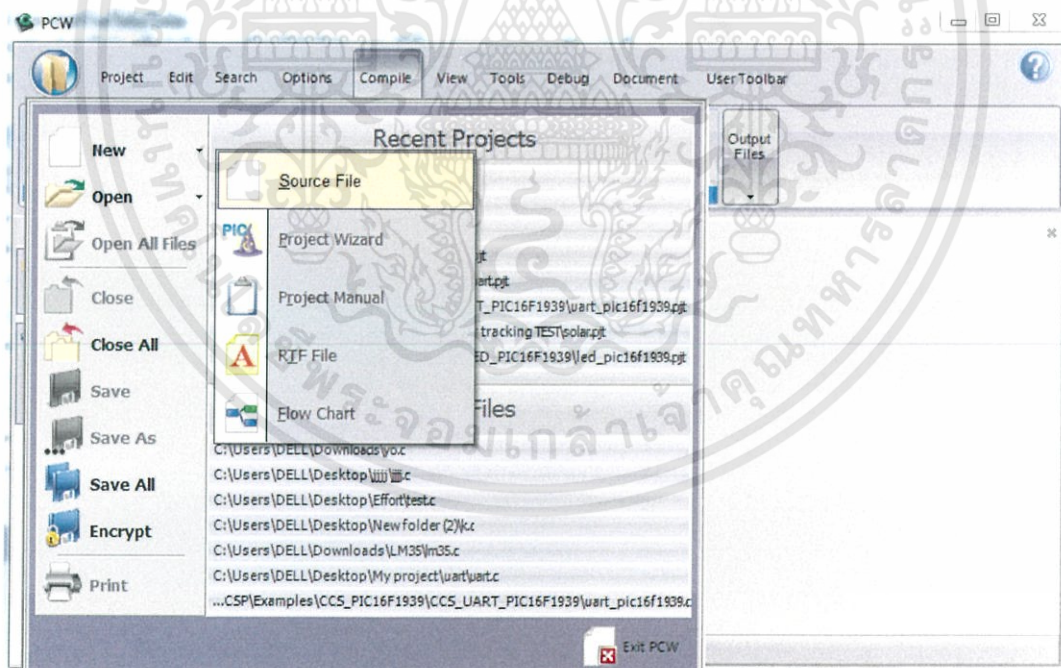
CCS C Compiler ทางผู้ทดลองได้นำมาใช้เพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยเขียนสั่งการให้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) หมุนให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่จุดกึ่งกลางของภาพเสมอ

#### การใช้โปรแกรม CCS C Compiler เบื้องต้น

##### ขั้นตอนที่ 1 การสร้างไฟล์โค้ด

เป็นการสร้างไฟล์โค้ด เพื่อใช้ในการเขียนโค้ดโปรแกรม มีขั้นตอน ดังนี้

1. คลิกเมนู File หลังจากนั้นเลือก New > Source File



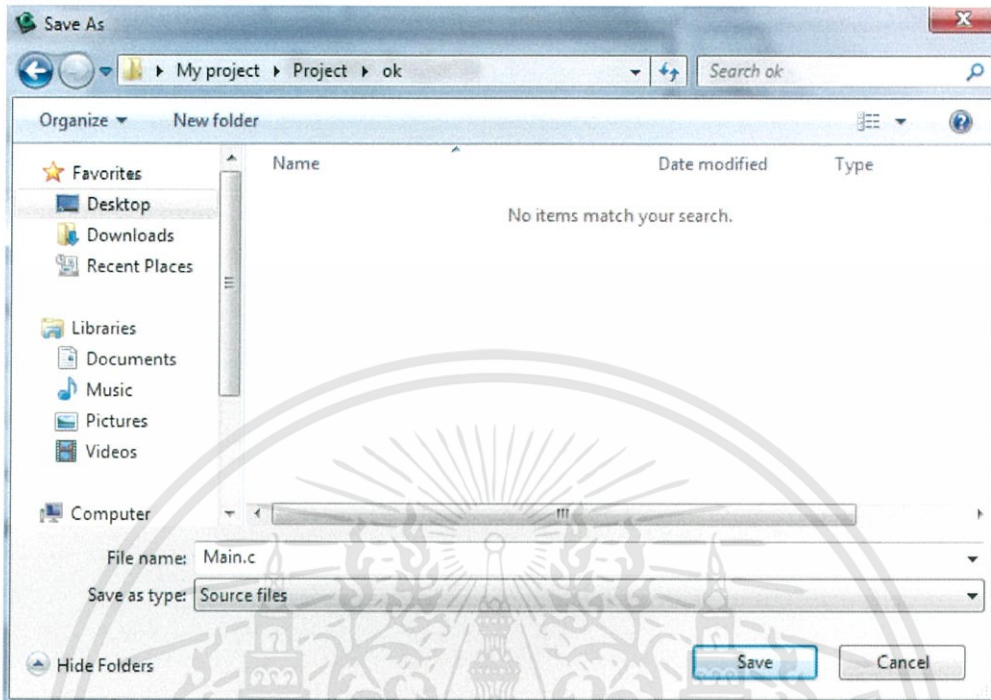
รูปภาพผนวก ข-13 การสร้างไฟล์โค้ด

เมื่อคลิก Source File แล้วจะปรากฏหน้าต่าง Save As เพื่อให้เราทำการบันทึกไฟล์โค้ดโปรแกรม โดยไฟล์ที่บันทึกจะเป็นไฟล์นามสกุล .C

2. กรอกชื่อไฟล์ในช่อง File name: โดยในตัวอย่างตั้งชื่อไฟล์เป็น Main.c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

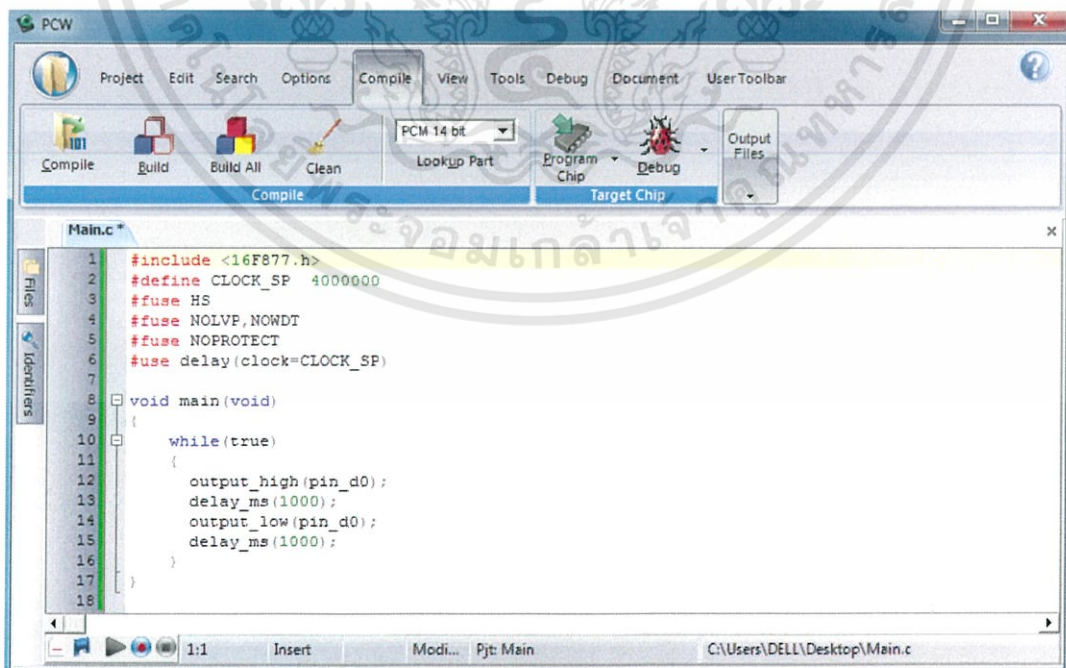
3. คลิกปุ่ม Save เพื่อบันทึกไฟล์ ดังรูปด้านล่าง



รูปภาพผนวก ข-14 การสร้างไฟล์โค้ด(ต่อ)

ขั้นตอนที่ 2 เขียนโค้ดโปรแกรม

ทำการเขียนโค้ดโปรแกรมตามต้องการ



รูปภาพผนวก ข-15 การเขียนโค้ดโปรแกรม

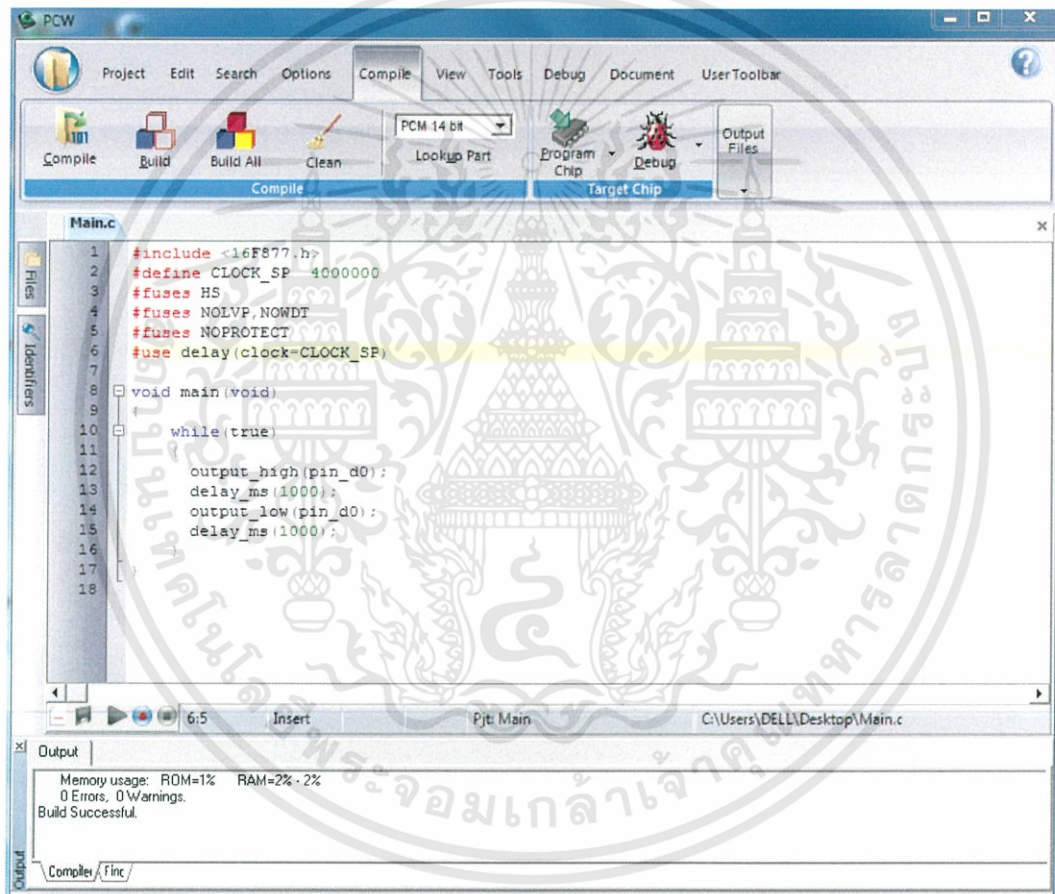
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนที่ 3 การคอมไพล์

เป็นการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดของโค้ดโปรแกรมที่เขียนไว้ ถ้าไม่พบข้อผิดพลาด ในระหว่างการคอมไพล์โปรแกรม CCS C คอมไพเลอร์ จะทำการสร้างไฟล์นามสกุล .hex เพื่อใช้ในการโปรแกรมลงชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC การคอมไพล์สามารถทำได้ดังนี้

#### 1. คลิกเมนู Compile หรือกดคีย์ F9

หลังจากทำการคอมไพล์ โปรแกรม CCS C คอมไพเลอร์จะแสดงข้อความบอก รายละเอียดการคอมไพล์ที่หน้าต่าง Output ดังรูป



รูปภาพผนวก ข-16 การคอมไพล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System

## Simulation of Solar-Tracking using Machine Vision System

ธนธิป เพียรประสิทธิ์<sup>1</sup> ธนิศร สาระพันธุ์<sup>1</sup> และธัญญารัตน์ พัฒน์ทวีกิจ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: luffy105@hotmail.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบ และการจำลอง ระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System เพื่อนำไปใช้ในการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้กล้องเว็บแคมในการรับภาพดวงอาทิตย์ แล้วส่งสัญญาณ ภาพที่ได้ไปยังโปรแกรมประมวลผลภาพ เพื่อวิเคราะห์ตำแหน่ง ของดวงอาทิตย์ จากนั้น โปรแกรมประมวลผลภาพจะส่งข้อมูล ของตำแหน่ง ไปยังตัวควบคุมซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อขับเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยได้ออกแบบให้มีการทำงานสองแนวแกน คือ แกนอัลติจูด และแกนอะซิมูท โดยการทดลองแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบการตอบสนองของระบบและความแม่นยำในการติดตาม โดยใช้ไฟฉายแทนดวงอาทิตย์และมีการจำลองเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์ ส่วนที่สองเป็นการทดลองการติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าสามารถติดตามไฟฉายและดวงอาทิตย์ตามเส้นทาง โครจรได้ตามเวลาจริงได้อย่างแม่นยำ

**คำสำคัญ :** ระบบติดตามดวงอาทิตย์, Machine vision, การประมวลผลภาพ, เวลาจริง

### Abstract

This article presents the design and simulation of solar tracking system, based on machine vision technique, that the maximum efficiency of solar energy system can be obtained. By using a web-camera, image of the sun is captured and transmitted to image processing program and its position has been on-line analyzed. The position data is then fed to microcontroller-based double-axis positioning servo system, Azimuth and Altitude axis, and to follow-up the sun movement. There are 3 parts in the experiments, testing of response and accuracy of the system by using the flashlight

instead the sun and simulating the sun's path and testing about tracking the sun. The experimental results show that the proposed technique and designed system can track the sun's trajectory in real-time.

**Keywords:** solar tracking system, Machine vision, image processing, real time

### 1. บทนำ

เนื่องจาก ปัญหาวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงาน ซึ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นพลังงานที่มีความสำคัญ โดย พลังงานทางเลือกนั้นมีมากมายหลาย ประเภท ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกหนึ่งที่กำลังมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีลักษณะเด่น คือเป็นพลังงานหมุนเวียน ไม่มีต้นทุนวัตถุดิบ และเป็นพลังงานสะอาด อีกทั้งเป็นพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับภูมิศาสตร์ของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตที่ได้รับแสงอาทิตย์ปริมาณมากต่อวัน บทความนี้จึงนำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

ปัจจุบันเทคโนโลยีเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า จากพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งเป็น 2 ระบบคือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อน ซึ่งทั้งสองระบบนั้นจะสามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้สูงสุดต่อเมื่อมีการใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งระบบติดตามดวงอาทิตย์เป็นระบบที่มีวิธีในการควบคุมหลายวิธี เช่น วิธีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี(CPLD) วิธีการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ เป็นต้น

บทความนี้ได้นำเสนอการใช้ Machine Vision System ในการสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้สามารถติดตามดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ตามเวลาจริง เพื่อให้แสดงผลกระทบในมุมมองจากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro-controller) ในการควบคุมระบบ

## 2. วิธีการสร้างโปรแกรมรับและประมวลผลภาพ

### 2.1 ภาพเข้าโปรแกรมผ่าน HSL Filter และแปลงภาพเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale)

ในการเริ่มต้นการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ เริ่มต้นโดยการรับภาพดวงอาทิตย์จากกล้องเว็บแคม (Webcam) เข้าโปรแกรม Microsoft visual C# ซึ่งภาพที่ได้นั้นจะเป็นภาพสี หลังจากนั้นนำภาพสีที่ได้มาเข้า HSL Filter กรองสีที่ต้องการตามค่าที่ได้กำหนดไว้ และจะทำการเปลี่ยนสีที่ไม่ต้องการให้เป็นสีดำลงบนจุดที่เป็นสีอื่นๆที่ไม่ต้องการ จากนั้นเปลี่ยนภาพให้เป็น ภาพระดับเทา (Gray Scale)



รูปที่ 1 ภาพระดับเทา (Gray Scale) โดยใช้ไฟฉายแทนดวงอาทิตย์



รูปที่ 2 ประมวลผลภาพโดยใช้ระบบ HSL Filter (Hue, Saturation, Light)

### 2.3 blobcounter

เป็นการนำภาพที่ได้จากการทำ HSL Filter มาใช้วิธีการ Blobcounter ซึ่งเป็นวิธีการนับจำนวนวัตถุที่สามารถแบ่งแยกออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน และทำการตั้งค่าเข้าไปให้มีการนับเพียงจุดที่มีพื้นที่มากที่สุดเพียงจุดเดียว เพื่อนำไปคำนวณหาจุดสนใจที่เกิดขึ้นในภาพ และทำการตีกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบจุดที่สนใจนั้นๆ

### 2.3. การแปลงข้อมูลภาพให้เป็นตำแหน่ง เพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

$$x = \text{objectRect.x} + \frac{\text{objectRect.Width}}{2} + \frac{\text{video.Width}}{2}$$

$$y = \frac{\text{video.Height}}{2} - (\text{objectRect.y} + \frac{\text{objectRect.Height}}{2})$$

x : พิกัดแกน x ของจุดศูนย์กลางของภาพที่สนใจ

objectRect.x : ค่าพิกัด x ของมุมบนซ้ายของสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบจุดที่สนใจ

objectRect.Width : ค่าความกว้างของสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบจุดที่สนใจ  
video.Width : ค่าความกว้างของภาพที่รับเข้ามาผ่านกล้องเว็บแคม (Webcam)

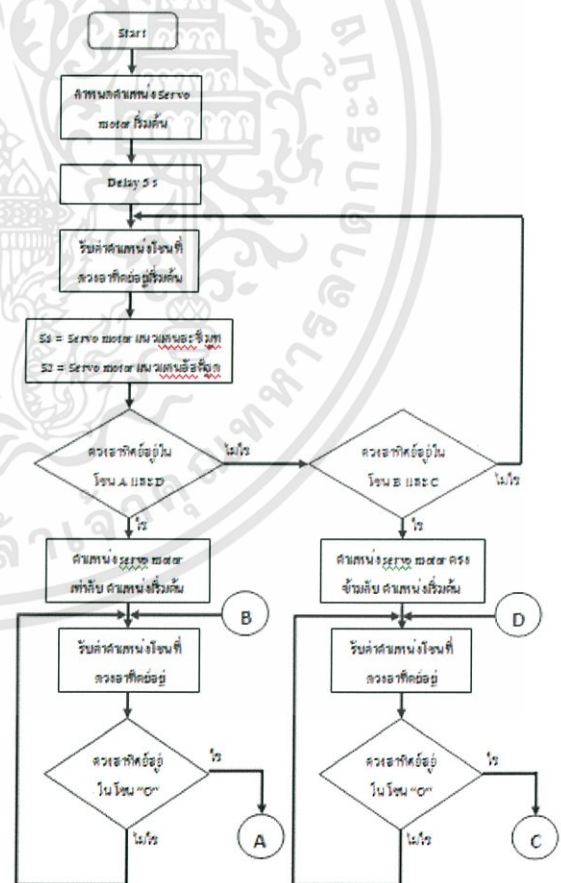
y : พิกัดแกน y ของจุดศูนย์กลางของภาพที่สนใจ

video.Height : ค่าความสูงของภาพที่รับเข้ามาผ่านกล้องเว็บแคม (Webcam)

objectRect.y : ค่าพิกัด Y ของมุมบนซ้ายของสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบจุดที่สนใจ

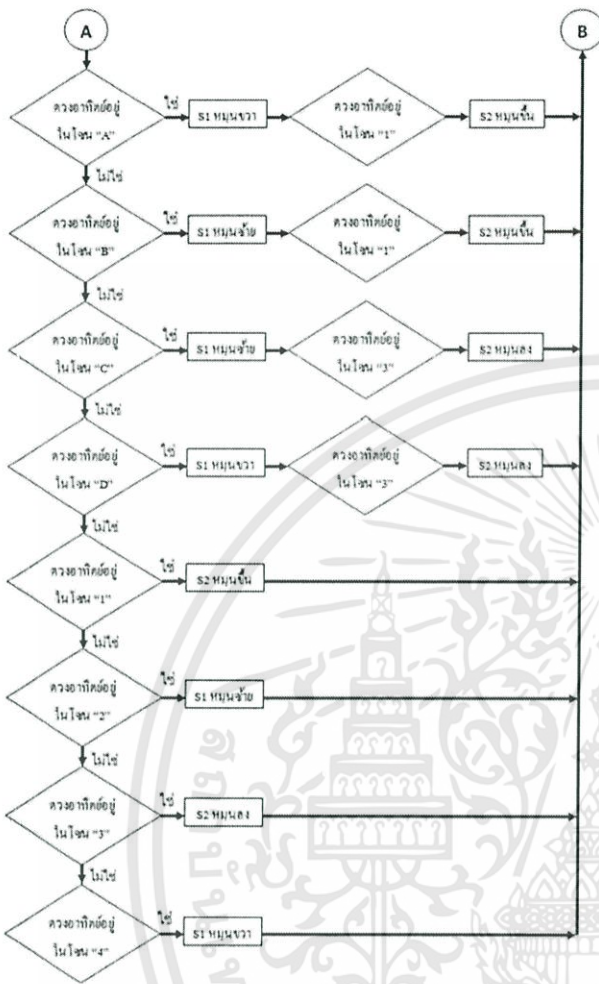
objectRect.Height : ค่าความสูงของสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบจุดที่สนใจ

## 3. การทำงานของส่วนควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

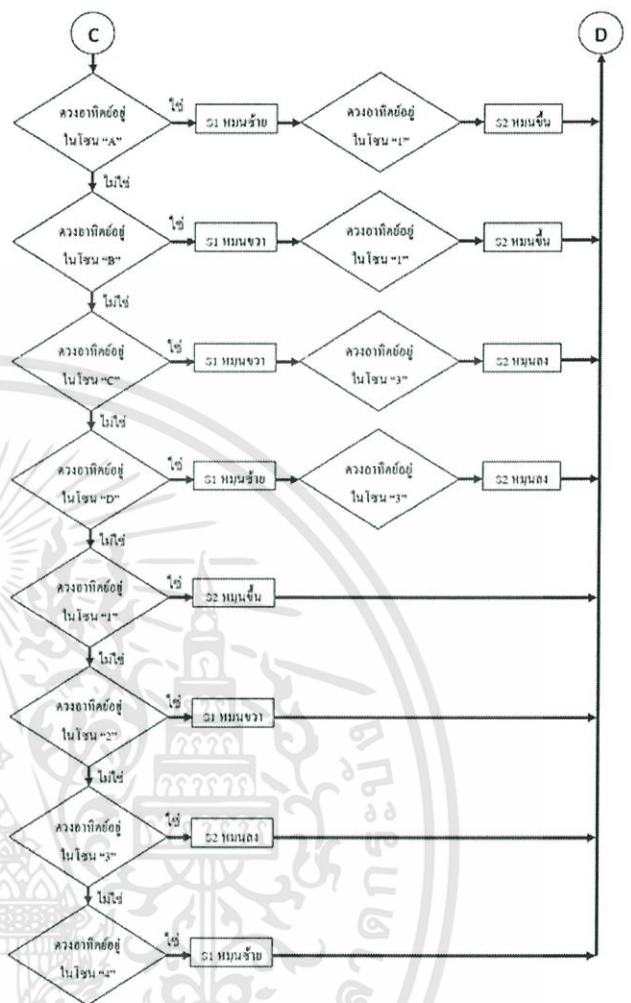


รูปที่ 3 การทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การทำงานของ โปรแกรมควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 5 การทำงานของ โปรแกรมควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

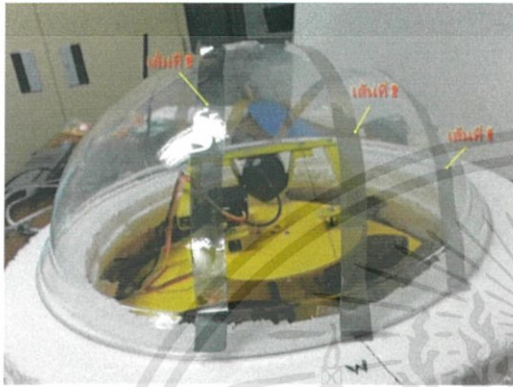
#### 4. การทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์

##### 4.1.1 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้วัตถุแทนดวงอาทิตย์

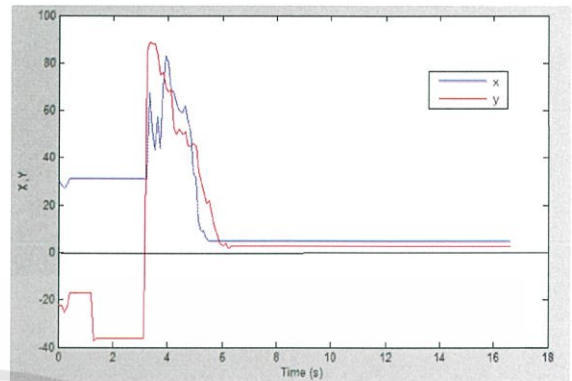
เป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมเพื่อขับเคลื่อนระบบให้สามารถเคลื่อนไหวติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ โดยใช้วัตถุรูปร่างกลมแทนดวงอาทิตย์ในการทดสอบ ซึ่งจากการทำงานของโปรแกรมที่มีการแบ่งพื้นที่พิจารณาของภาพออกเป็น 9 โซน (โซน A, B, C, D, 1, 2, 3, 4, 0) จึงได้ทำการทดสอบโดยการวางวัตถุไว้บนส่วนต่างๆของภาพทีละโซน

**4.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์**

มีการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตามช่วงเวลาต่างๆขึ้นมา แล้วใช้แสงไฟจากไฟฉายแทนดวงอาทิตย์ โดยให้แสงไฟดังกล่าวเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ทำมุมกับพื้นโลกที่ต่างกัน

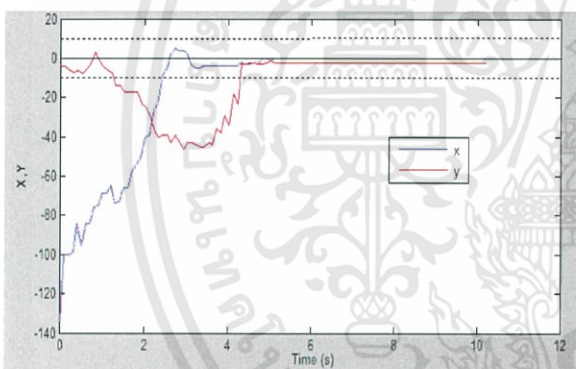


รูปที่ 6 แบบจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์



รูปที่ 9 กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองของระบบในเส้นทางที่ 3

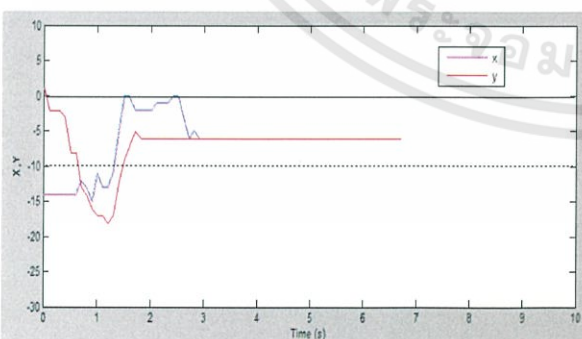
**4.2 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์จริง**



รูปที่ 7 กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองของระบบในเส้นทางที่ 1



รูปที่ 10 เริ่มต้นดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่บน โชน C ของภาพ

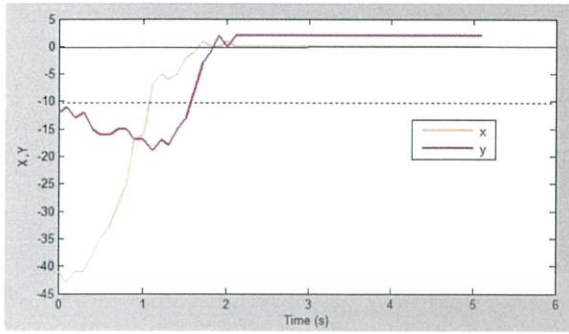


รูปที่ 8 กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองของระบบในเส้นทางที่ 2



รูปที่ 11 เมื่อทำงานสำเร็จดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่บน โชน C ของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์จริง

## 5. สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผล

จากการทดลอง 4.1.1 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้วัตถุแทนดวงอาทิตย์ พบว่า เมื่อวางวัตถุไว้ในโซนต่างๆ ทั้ง 8 โซน ระบบสามารถติดตามวัตถุได้ตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม โดยในโซน A B C และ D นั้น แกนอัลติจูดจะเริ่มทำงานหลังจากที่แกนอะซิมูทหุนจนวัตถุอยู่ในโซน 1 (กรณีเริ่มต้นวัตถุอยู่ในโซน A และ B) หรือโซน 3 (กรณีเริ่มต้นวัตถุอยู่ในโซน C และ D) และจากการทดลองทั้ง 8 โซนนั้น จุดสุดท้ายที่เข้าสู่สมคูลคือเมื่อจุดกึ่งกลางวัตถุอยู่ในพื้นที่ของโซน O

การทดลอง 4.1.2 การทดสอบโดยใช้การจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์นั้น จากการทดสอบเส้นทางที่ 1 พบว่า ณ จุดเริ่มต้นไฟฉายอยู่บนพื้นที่ของโซน 2 ( $x=-134, y=-4$ ) ซึ่งระบบสามารถทำงานตามคำสั่งของโปรแกรมจนภาพไฟฉายเคลื่อนมาอยู่ในพื้นที่โซน O ได้ภายในเวลา 5 วินาที และสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของไฟฉายได้ตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ในเส้นทางที่ 1 ส่วนเส้นทางที่ 2 นั้น จุดเริ่มต้นไฟฉายอยู่ในพื้นที่โซน 4 จึงสามารถเคลื่อนให้ภาพไฟฉายมาอยู่ในโซน O ได้อย่างรวดเร็ว และจากการทดสอบในเส้นทางที่ 3 พบว่าเริ่มต้นภาพไฟฉายปรากฏในพื้นที่โซน D เซอร์โวมอเตอร์จึงหมุนไปทิศตรงข้ามเพื่อรับตำแหน่งภาพใหม่ และสามารถหมุนไปในมุมที่  $x$  มากกว่า 180 องศาได้

จากการทดลอง 4.2 การทดสอบเพื่อติดตามดวงอาทิตย์จริงพบว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์จริงได้

### 5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

1. มุมมองของกล้องเว็บแคมนั้นจะมีความแตกต่างจากมุมมองของมนุษย์ ทำให้เกิดความสับสนในการตั้งค่าการใช้งาน ซึ่งจะทำให้การทำงานของระบบเกิดความผิดพลาด ดังนั้นก่อนใช้งานจึงควรตรวจสอบการติดตั้งและทดสอบการใช้งานเบื้องต้นก่อน เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการทำงาน

2. เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้งานนั้น มีข้อจำกัดในเรื่องการหมุนที่ไม่สามารถใช้งานเกินมุม 180 องศาได้ ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ในกรณีที่ทำการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ต่อเนื่องในบางกรณี ดังนั้นจึงต้องทำการเขียน โปรแกรมควบคุมที่ใช้เฉพาะการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เท่านั้น เพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้ทุกเส้นทาง

3. การใช้งานตรวจจับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จริงนั้น แสงอาทิตย์จะมีความเข้มสูงมาก ทำให้กล้องไม่สามารถตรวจจับภาพดวงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจึงต้องทำการติดฟิล์มกรองแสงเพื่อลดความเข้มของแสงอาทิตย์

4. ระบบนี้จะใช้ได้ดีและมีความแม่นยำสูง ในตอนที่ท้องฟ้าแจ่มใส (Fine) และดวงอาทิตย์ ปรากฏตลอดทั้งวัน ดังนั้นควรมีการเขียน โปรแกรมควบคุมระบบ โดยใช้วิธีคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ หรือใช้ค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากสภาวะอุตุนิยมวิทยาเพิ่มเข้าไป ในกรณีที่ระบบไม่สามารถตรวจจับดวงอาทิตย์ได้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] นายภษา วรวัฒน์และคณะ, “การติดตามใบหน้าและลักษณะเด่นบนใบหน้า และการสร้างสรีระจากลำดับภาพสองมิติ”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://161.200.126.13/download/SeniorProject2553/Comp/Face%20and%20Facial%20Feature%20Tracking%20and%20Head%20Reconstruction%20from%20D%20Image%20Sequence.pdf> (28 กรกฎาคม 2555)
- [2] ปรีชามหาไม้มและคณะ, “การประยุกต์ความรู้ด้วยการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนอัตโนมัติ”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://j.cit.kmutb.ac.th/wp-content/uploads.pdf> (03 สิงหาคม 2555)
- [3] บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์, “การออกแบบหุ่นยนต์สองล้ออัจฉริยะ”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/74/BunditINSAll.pdf> (05 สิงหาคม 2555)
- [4] มนุศักดิ์ งานทองและคณะ, “ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/74/BunditINSAll.pdf> (05 สิงหาคม 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



นาย ธนาธิป เพียรประสิทธิ์

วัน เดือน ปีเกิด 30 ตุลาคม พ.ศ. 2533

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน  
ชลราษฎรอำรุง

ปีการศึกษา 2556 จะสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตสาขา  
วิศวกรรมไฟฟ้าจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ

ทหารลาดกระบัง



นาย ธนिसร สาระพันธ์

วัน เดือน ปีเกิด 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน  
เตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ

ปีการศึกษา 2556 จะสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตสาขา  
วิศวกรรมไฟฟ้าจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ

ทหารลาดกระบัง



นางสาว ชัญญารัตน์ พัฒน์ทวีกิจ

วัน เดือน ปีเกิด 29 เมษายน พ.ศ. 2534

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน  
สามัคคีวิทยาคม

ปีการศึกษา 2556 จะสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตสาขา

วิศวกรรมไฟฟ้าจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ

ทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้