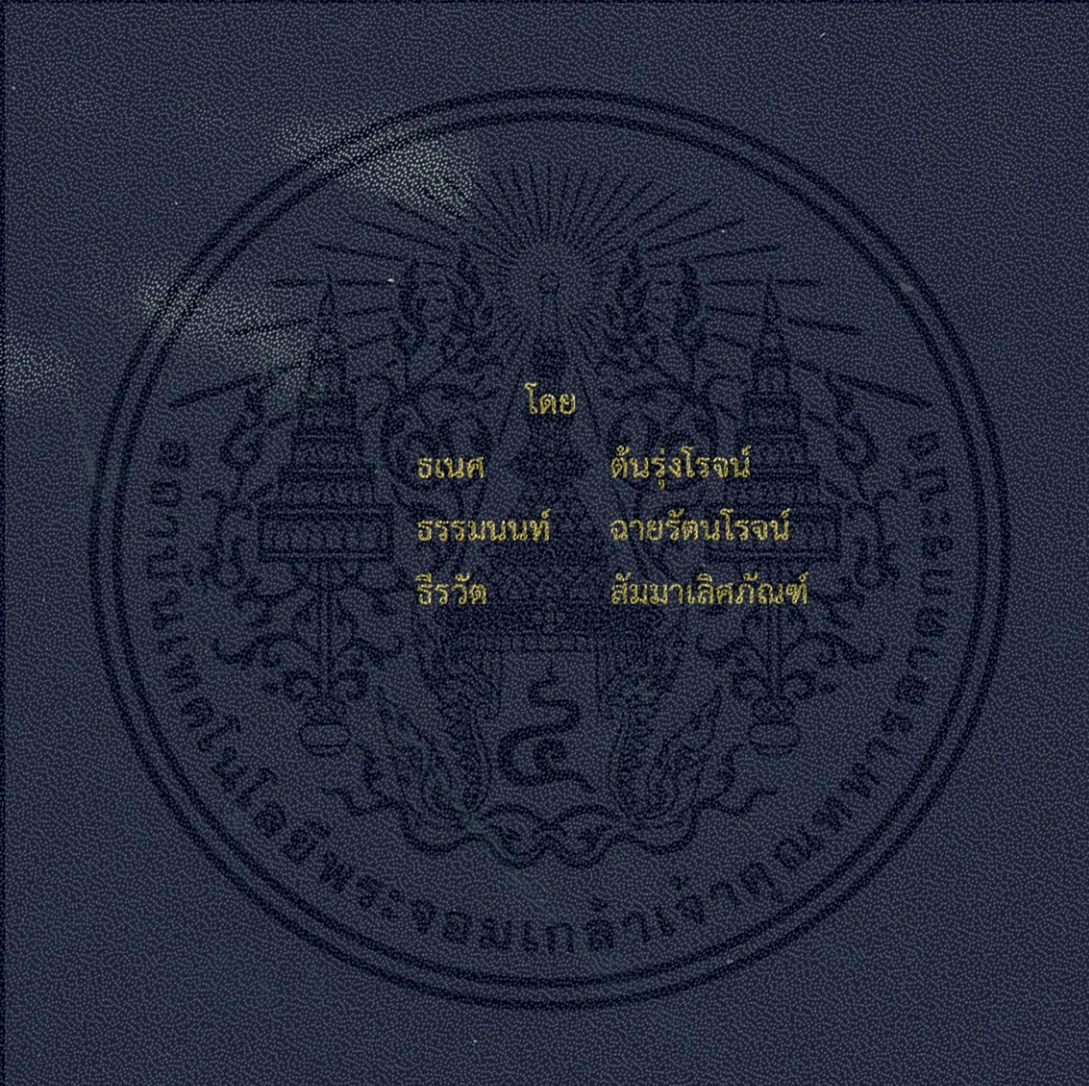


ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบผสมผสานการใช้ระบบวิทัศน์อัตโนมัติ  
และแบบไร้อุปกรณ์ตรวจจับ

HYBRID OF SENSOR-LESS AND MACHINE VISION SOLAR TRACKING SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบผสมผสานการใช้ระบบวิทัศน์อัตโนมัติ  
และแบบไร้อุปกรณ์ตรวจจับ

HYBRID OF SENSOR-LESS AND MACHINE VISION SOLAR TRACKING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HYBRID OF SENSOR-LESS AND MACHINE VISION SOLAR TRACKING SYSTEM



THIS PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบผสมผสานการใช้ระบบวิทัศน์อัตโนมัติ  
และแบบไร้อุปกรณ์ตรวจจับ

HYBRID OF SENSOR-LESS AND MACHINE VISION SOLAR TRACKING SYSTEM



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.นิรุช

จิรสวรรณกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบผสมผสานการใช้ระบบวิทซ์สันอัตโนมัติ และแบบไร้  
อุปกรณ์ตรวจจับ

ผู้จัดทำ



1. นาย ธเนศ ตันรุ่งโรจน์
2. นาย ธรรมนนท์ ฉายรัตน์โรจน์
3. นาย ชีรวัด สัมมาเลิศภัณฑ์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบผสมผสานการใช้ระบบวีทัศน์อัตโนมัติ  
และแบบไร้อุปกรณ์ตรวจจับ

นายธเนศ            ตันรุ่งโรจน์  
นายธรรมนท       ฉายรัตน์โรจน์  
นายธีรวัต           สัมพันธ์ภักดิ์  
ดร.นิรุช            จิรสวรรณกุล        อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบและการจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์จากภาพที่ได้รับจากกล้องเว็บแคม กล้องเว็บแคมจะรับภาพดวงอาทิตย์ แล้วส่งสัญญาณภาพที่ได้รับไปยังโปรแกรมประมวลผลภาพ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากนั้นโปรแกรมประมวลผลภาพจะส่งตำแหน่งของดวงอาทิตย์ไปยังตัวควบคุม เพื่อขับระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในส่วนที่สอง เป็นการแก้ไขข้อบกพร่องของในส่วนแรก คือในกรณีที่กล้องไม่สามารถจับภาพดวงอาทิตย์ได้จากสาเหตุทางสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย โปรแกรมประมวลผลจะทำการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากช่วงเวลาปัจจุบันโดยประมาณ เพื่อให้ระบบขับเคลื่อนสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้อย่างต่อเนื่อง สุดท้ายได้ทำการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ทั้ง 2 โหมดการทำงาน จากการทดสอบพบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ระบบติดตามดวงอาทิตย์, Machine Vision, การประมวลผลภาพ

# HYBRID OF SENSOR-LESS AND MACHINE VISION SOLAR TRACKING SYSTEM

Mr. THANET TONRUNGROJ  
Mr. TUMMANON CHAYRUTTANAROJ  
Mr. THEERAWAT SUMMALERTPHANT  
Dr. NIRUDH JIRASUWANKUL Supervisor  
2013

## ABSTRACT

This research present about design and simulation of solar-tracking system, based on machine vision technique to apply to achieve maximum efficiency in solar energy production. There are two parts in the experiment. First, the operating system, web camera captures image of the sun and transmits to image processing program. The LabVIEW program is used to calculate current position of the sun and send the data to servo system for sun locating purpose.

Second, in case of the web camera cannot capture image due to the sun's occlusion from bad weather, the labVIEW has been designed to estimate the sun's position correspond to real-time calendar in order to force a servo system can track the sun continuously.

Finally, testing the both system to tracking the sun. The experimental results show solar tracking system can work very well.

Keywords: Solar-Tracking system, Machine Vision, Image processing

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี เพราะความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอพระขอบคุณ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล เป็นอย่างยิ่ง ซึ่งท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการฉบับนี้เป็นอย่างมากมาด้วยดีตลอด และท่านได้กรุณาตรวจสอบ แก้ไขปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณชุมชนมูลนิธิเล็ททอนิกส์ ที่ให้ยืมอุปกรณ์และสถานที่ในการทำการทดลองโครงการนี้มาตลอดจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณสาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์

ท้ายที่สุดนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและกำลังใจในระหว่างการทำงาน รวมทั้ง พี่ๆ น้องๆ ที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์และให้ความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย  | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ   | II   |
| กิตติกรรมประกาศ  | III  |
| สารบัญ   | IV   |
| สารบัญรูปภาพ   | VII  |
| สารบัญตาราง  | X    |
| บทที่ 1 บทนำ   | 1    |
| 1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา                                 | 1    |
| 1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ                                    | 1    |
| 1.3. ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ                               | 2    |
| 1.4. วิธีการที่ใช้ในการทำโครงการ                               | 2    |
| 1.5. แผนการดำเนินโครงการ                                       | 3    |
| 1.6. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย                              | 5    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง                                     | 6    |
| 2.1. การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย            | 6    |
| 2.2. ประเภทของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์                       | 6    |
| 2.3. เทคนิคในการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด | 9    |
| 2.4. การติดตามดวงอาทิตย์จากงานวิจัยที่มีมาก่อน                 | 11   |
| 2.5. Machine Vision  | 14   |
| 2.6. การประมวลผลภาพ (Image Processing)                         | 15   |
| 2.7. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล            | 16   |
| 2.8. รูปร่างของภาพ (Image Shape)                               | 16   |
| 2.9. มาตรฐานของสี  | 18   |
| 2.9.1. ระบบสี RGB  | 18   |
| 2.9.2. ระบบสี HSV  | 19   |
| 2.10. LabVIEW  | 20   |
| 2.11. ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก                        | 20   |
| 2.12. การคำนวณการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์                       | 23   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| <b>บทที่ 3 การติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์</b>                           | 27   |
| 3.1. การประมวลผลภาพสำหรับติดตามดวงอาทิตย์                           | 28   |
| 3.1.1. ฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลภาพ                               | 28   |
| 3.1.1.1. Vision acquisition   | 28   |
| 3.1.1.2. Vision Assistant   | 28   |
| 3.1.1.3. IMAQ ExtractSingleColorPlane VI                            | 28   |
| 3.1.2. การรับภาพจากกล้องในการติดตามดวงอาทิตย์                       | 28   |
| 3.1.2.1. รับภาพจากกล้อง QC E2500, V-UCV39                           | 28   |
| 3.1.2.2. กรองสีภาพด้วยฟังก์ชัน IMAQ ExtractSingleColorPlane VI      | 29   |
| 3.1.2.3. ประมวลผลภาพด้วย Vision Assistant                           | 30   |
| 3.1.3. โซนในการวิเคราะห์ตำแหน่งดวงอาทิตย์                           | 30   |
| 3.1.4. การคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์                                    | 31   |
| 3.2. การส่งข้อมูลพิกัดดวงอาทิตย์                                    | 31   |
| 3.2.1. ฟังก์ชันที่ใช้ในการส่งข้อมูล                                 | 31   |
| 3.2.1.1. VISA Configure Serial Port VI                              | 32   |
| 3.2.1.2. VISA Write Function  | 32   |
| 3.2.2. การส่งข้อมูลในกรณีที่สามารถรับแสงได้                         | 32   |
| 3.2.3. การส่งข้อมูลในกรณีที่ไม่สามารถรับแสงได้                      | 42   |
| 3.3. การทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวนៃของระบบติดตามดวงอาทิตย์ | 44   |
| <b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>                                | 47   |
| 4.1. การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยการรับแสง                      | 47   |
| 4.2. การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์                                   | 52   |
| 4.3. นำระบบติดตามดวงอาทิตย์ไปทดสอบติดตามดวงอาทิตย์จริง              | 53   |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>                          | 64   |
| 5.1. สรุปผลการทดลอง   | 64   |
| 5.2. ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา                   | 65   |
| 5.3. ข้อเสนอแนะและแนวการพัฒนา                                       | 66   |

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| เอกสารอ้างอิง                                  | 67   |
| ภาคผนวก  | 68   |
| ภาคผนวก ก รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 69   |
| ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง              | 78   |
| ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ                     | 84   |
| ประวัติผู้เขียน                                | 89   |



## สารบัญรูปภาพ

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Standalone system)                             | 7    |
| 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)             | 7    |
| 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)                               | 8    |
| 2.4 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด                   | 10   |
| 2.5 ภาพขณะทดสอบเครื่องติดตามดวงอาทิตย์   | 11   |
| 2.6 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการติดตามแบบ full tracking และ stationary | 12   |
| 2.7 ลักษณะการจัดวางของเซลล์แสงอาทิตย์ในการทดลอง                                | 13   |
| 2.8 การแปลงภาพนาฬิกาให้เป็นภาพดิจิทัล  | 16   |
| 2.9 ระบบสี RGB   | 18   |
| 2.10 ระบบสี HSV  | 19   |
| 2.11 ตำแหน่งขึ้น-ตก และมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ในรอบปีที่กรุงเทพฯ             | 22   |
| 2.12 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์  | 22   |
| 2.13 ตำแหน่ง Elevation Angle   | 25   |
| 2.14 ตำแหน่ง Azimuth   | 26   |
| 3.1 แผนผังการทำงาน   | 27   |
| 3.2 กล้อง QC E2500, V-UCV39  | 28   |
| 3.3 ภาพที่ยังไม่ได้ประมวลผลใดๆ   | 29   |
| 3.4 ภาพที่ผ่านฟิงซ์  | 29   |
| 3.5 ภาพที่ผ่านการประมวลผลแล้ว  | 30   |
| 3.6 โซนในการส่งข้อมูล  | 31   |
| 3.7 ฟิงซ์ในการส่งออกข้อมูล   | 31   |
| 3.8 ขั้นตอนการทำงานในกรณีที่ได้รับแสงได้                                       | 32   |
| 3.9 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน A   | 33   |
| 3.10 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Aqwe                                      | 33   |
| 3.11 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน B  | 34   |
| 3.12 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Bqwe                                      | 34   |
| 3.13 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน C  | 35   |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| รูปที่                                       | หน้า |
|--|------|
| 3.14 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Cqwe    | 35   |
| 3.15 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน D        | 36   |
| 3.16 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Dqwe    | 36   |
| 3.17 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน E        | 37   |
| 3.18 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Eqwe    | 37   |
| 3.19 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน F        | 38   |
| 3.20 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Fqwe    | 38   |
| 3.21 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน G        | 39   |
| 3.22 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Gqwe    | 39   |
| 3.23 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน H        | 40   |
| 3.24 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Hqwe    | 40   |
| 3.25 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน I        | 41   |
| 3.26 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Iqwe    | 41   |
| 3.27 ขั้นตอนการทำงานในกรณีที่ได้รับแสงไม่ได้ | 42   |
| 3.28 โปรแกรมตรวจจับแสงของดวงอาทิตย์          | 43   |
| 3.29 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น 061236  | 43   |
| 3.30 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประมวลผล       | 45   |
| 3.31 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประมวลผล       | 46   |
| 4.1 โซนในการส่งข้อมูล                        | 47   |
| 4.2 ดวงอาทิตย์ในโซน A                        | 48   |
| 4.3 ดวงอาทิตย์ในโซน B                        | 48   |
| 4.4 ดวงอาทิตย์ในโซน C                        | 49   |
| 4.5 ดวงอาทิตย์ในโซน D                        | 49   |
| 4.6 ดวงอาทิตย์ในโซน E                        | 50   |
| 4.7 ดวงอาทิตย์ในโซน F                        | 50   |
| 4.8 ดวงอาทิตย์ในโซน G                        | 51   |
| 4.9 ดวงอาทิตย์ในโซน H                        | 51   |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.10 ดวงอาทิตย์ในโซน I   | 52   |
| 4.11 การจำลองการติดตามดวงอาทิตย์ด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์      | 53   |
| 4.12 สถานที่ทำการทดสอบ ( ตึก CCA )                                 | 54   |
| 4.13 เครื่องจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์                              | 54   |
| 4.14 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 11.00 น.                  | 55   |
| 4.15 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 11.00 น. | 55   |
| 4.16 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 11.30 น.                  | 56   |
| 4.17 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 11.30 น. | 56   |
| 4.18 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 13.00 น.                  | 57   |
| 4.19 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 13.00 น. | 57   |
| 4.20 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 13.30 น.                  | 58   |
| 4.21 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 13.30 น. | 58   |
| 4.22 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 14.00 น.                  | 59   |
| 4.23 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 14.00 น. | 59   |
| 4.24 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 14.30 น.                  | 60   |
| 4.25 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 14.30 น. | 60   |
| 4.26 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 15.00 น.                  | 61   |
| 4.27 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 15.00 น. | 61   |
| 4.28 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 15.30 น.                  | 62   |
| 4.29 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 15.30 น. | 62   |
| 4.30 กราฟเปรียบเทียบมุม Altitude จากค่า Experiment และ Calculate   | 63   |
| 4.31 กราฟเปรียบเทียบมุม Azimuth จากค่า Experiment และ Calculate    | 63   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แผนการดำเนินโครงการประจำปี เดือน มิ.ย. 2556 ถึง พ.ย. 2556                | 3    |
| 1.2 แผนการดำเนินโครงการประจำปี เดือน ธ.ค. 2556 ถึง เม.ย. 2557                | 4    |
| 2.1 การเปรียบเทียบพลังงานที่ได้และสูญเสียในขนาดเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิกัดต่างๆ  | 13   |
| 2.2 ค่ามุมอะซิมูทขณะขึ้น ตก และมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ วัดที่กรุงเทพมหานคร | 21   |
| 4.1 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 11.00 - 11.30 น.                   | 55   |
| 4.2 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 11.30 - 12.00 น.                   | 56   |
| 4.3 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 13.00 - 13.30 น.                   | 57   |
| 4.4 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 13.30 - 14.00 น.                   | 58   |
| 4.5 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 14.00 - 14.30 น.                   | 59   |
| 4.6 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 14.30 - 15.00 น.                   | 60   |
| 4.7 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 15.00 - 15.30 น.                   | 61   |
| 4.8 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 15.30 - 16.00 น.                   | 62   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันนี้เราจะสามารถสังเกตได้ว่า โลกของเรามีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก ทั้งทางด้านอุตสาหกรรม คมนาคม เป็นต้น และด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีต่างๆนี้เองที่ส่งผลทำให้โลกของเรามีความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นจากเดิมเป็นจำนวนมาก และจากแนวโน้มของความต้องการพลังงานในแต่ละปีนั้น เราจะสังเกตได้ว่าในแต่ละปีมีความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในอนาคตคาดว่าจะยังต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้นต่อไปอีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องผลิตหรือหาพลังงานให้ได้เพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของตลาด แต่เนื่องจากเทคโนโลยีของเราในปัจจุบันนี้ยังไม่เพียงพอเพื่อที่จะผลิตพลังงานออกมาให้เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้เกิดภาวะวิกฤติการขาดแคลนพลังงานและนับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จาก ราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้น ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเพิ่มขึ้น เป็นต้น และด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้แนวความคิดเกี่ยวกับพลังงานทางเลือกมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น แต่ด้วยพลังงานทดแทนนั้นมีหลากหลายมากมาย เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ แต่ในความหลากหลายของพลังงานทางเลือกที่ยกตัวอย่างขึ้นมา นั้น พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด เนื่องจากมีลักษณะเด่นมากกว่าพลังงานทางเลือกอื่น คือ เป็นพลังงานหมุนเวียน ไม่มีค่าวัสดุดิบในการผลิตพลังงาน เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อม และยังเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดไปจากโลกของเราอีกด้วย และที่สำคัญพลังงานแสงอาทิตย์นี้เป็นพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมกับภูมิประเทศไทยของเรามากที่สุด เนื่องจากประเทศไทยของเรานั้นตั้งอยู่ในเส้นศูนย์สูตรซึ่งเป็นจุดที่ได้รับปริมาณแสงอาทิตย์ต่อวันเป็นปริมาณมาก และด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ผู้วิจัยได้มีความสนใจที่จะนำเสนอโครงการที่มีความเกี่ยวข้องกับการการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาเส้นทางการเดินทางของดวงอาทิตย์ และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก

1.2.2 ศึกษาการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากสมการทางคณิตศาสตร์ และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ความต่อเนื่องในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

1.2.3 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1.3.1 ใช้กล้องเว็บแคมเป็นตัวรับสัญญาณภาพตำแหน่งของดวงอาทิตย์

1.3.2 สร้างระบบของซอฟต์แวร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW สำหรับวิเคราะห์ และประมวลผลสัญญาณภาพที่ได้รับจากกล้องเว็บแคม เพื่อควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

1.3.3 เพิ่มความสามารถของซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพในการประมาณค่าตำแหน่งปัจจุบันของดวงอาทิตย์ได้จากปฏิทินเวลาจริง

1.3.4 ออกแบบระบบควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีการทำงานสองแกน

1.3.5 ทำการทดสอบชิ้นงานในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพ

สูงสุด

### 1.4 วิธีการที่ใช้ในการทำโครงการ

เราจะใช้กล้องเว็บแคมเป็นตัวรับสัญญาณภาพตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และทำการส่งสัญญาณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ได้ไปยังโปรแกรมประมวลผลภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม Machine Vision จากนั้นโปรแกรมประมวลผลภาพจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะส่งข้อมูลไปยังตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อขับเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์ต่อ แต่ในกรณีที่กล้องเว็บแคมไม่สามารถจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ ระบบประมวลผลจะทำการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากปฏิทินเวลาจริง จากนั้นจะทำการส่งตำแหน่งของดวงอาทิตย์ไปยังตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อขับเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์ต่อไป

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานประจำเดือน มิ.ย. 2556 ถึง พ.ย. 2556

| หัวข้อ  | มิ.ย. 2556 |   |   |   | ก.ค. 2556 |   |   |   | ส.ค. 2556 |   |   |   | ก.ย. 2556 |   |   |   | ต.ค.2556 |   |   |   | พ.ย. 2556 |   |   |   |
|---|------------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
|   | 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. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ  |            |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |          |   |   |   |           |   |   |   |
| 2.เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้กล้องเว็บแคม        |            |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |          |   |   |   |           |   |   |   |
| 3.สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนแผงโซล่าเซลล์และกล้องเว็บแคม                   |            |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |          |   |   |   |           |   |   |   |
| 4.เชื่อมต่อโปรแกรมที่เขียนกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมกล้องเว็บแคมและแผงโซล่าเซลล์ |            |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |          |   |   |   |           |   |   |   |
| 5.ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์  |            |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |          |   |   |   |           |   |   |   |
| 6.ตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์                               |            |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |          |   |   |   |           |   |   |   |
| 7.ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์   |            |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |          |   |   |   |           |   |   |   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินโครงการประจำปี เดือน ธ.ค. 2556 ถึง เม.ย. 2557

| หัวข้อ   | ธ.ค. 2556 |   |   |   | ม.ค. 2556 |   |   |   | ก.พ. 2556 |   |   |   | มี.ค. 2556 |   |   |   | เม.ย. 2556 |   |   |   |
|--|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|------------|---|---|---|------------|---|---|---|
|  | 1         | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 | 1          | 2 | 3 | 4 | 1          | 2 | 3 | 4 |
| 1.ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ  |           |   |   |   |           |   |   |   | ←         | → |   |   |            |   |   |   |            |   |   |   |
| 2.เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้กล้องเว็บแคม         | ←         | → |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |            |   |   |   |            |   |   |   |
| 3.สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนแผงโซลาร์เซลล์และกล้องเว็บแคม                   | ←         | → |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |            |   |   |   |            |   |   |   |
| 4.เชื่อมต่อโปรแกรมที่เขียนกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมกล้องเว็บแคมและแผงโซลาร์เซลล์ | ←         | → |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |            |   |   |   |            |   |   |   |
| 5.ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์   |           |   |   |   |           |   |   |   | ←         | → |   |   |            |   |   |   |            |   |   |   |
| 6.ตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์                                |           |   |   |   |           |   |   |   | ←         | → |   |   |            |   |   |   |            |   |   |   |
| 7.ทำรูปเล่มปริญญาบัตร  |           |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   | ←          | → |   |   |            |   |   |   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.4.1 เป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยเทคนิค Machine Vision
- 1.4.3 เป็นการประยุกต์วิธีการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ระหว่าง การรับภาพจากดวงอาทิตย์ผ่านทางกล้องเว็บแคม กับการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากปฏิทินเวลาจริงเข้าด้วยกัน
- 1.4.2 เป็นการศึกษาเพื่อค้นหาวิธีผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
- 1.4.4 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทางเลือกชนิดอื่นต่อไป



## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

ประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรจึงทำให้ได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดทั้งปีซึ่ง ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ  $18.0 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$  หรือ  $5.0 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$  จัดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับหลายๆ ประเทศ ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับการพัฒนาและใช้ประโยชน์ ซึ่งประเทศไทยได้รู้จักการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นเวลานาน เริ่มจากการใช้ประโยชน์เพื่อการถนอมอาหาร ตลอดจนการใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อการปรุงอาหาร และกิจการอื่นๆ เช่น การทำนาเกลือ เป็นต้น

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีในการนำเอาความร้อนของแสงอาทิตย์มาใช้ให้เป็นประโยชน์ เช่น การทำเครื่องต้มน้ำจากแสงอาทิตย์ การทำเครื่องอบแห้งผลผลิตเกษตรกรรม และอื่นๆ อีกมากมาย และการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ทำได้ 2 วิธีคือ การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอาศัยวัสดุสำคัญประเภทสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน หรือสารประกอบกึ่งตัวนำ เช่น กอลเลียมอาร์เซไนด์

ส่วนอีกวิธีหนึ่งของการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์คือ ใช้ความร้อนของแสงอาทิตย์ไปต้มน้ำหรือทำให้ก๊าซร้อน แล้วใช้ไอน้ำร้อนหรือก๊าซร้อนไปทำให้เทอร์ไบน์หรือกังหันใบพัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนอีกต่อหนึ่ง ซึ่งในการทำนี้จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีค่อนข้างสูง และเงินลงทุนที่สูงมาก

### 2.2 ประเภทของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

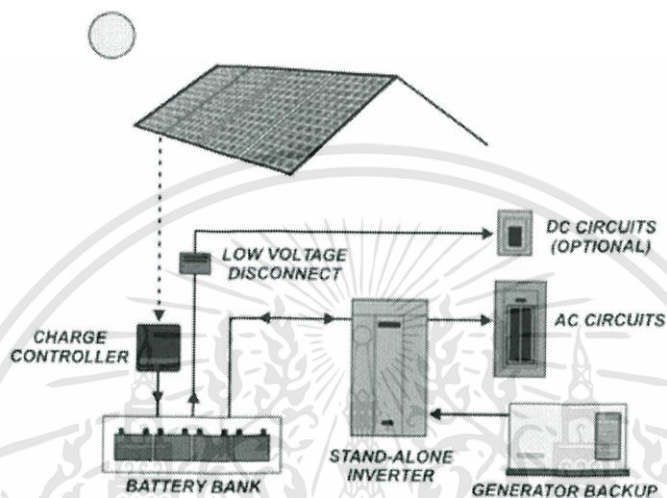
พลังงานงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพมหาศาลไม่มีวันหมด เป็นพลังงานสะอาดปราศจากอันตรายและมลพิษ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในทุกพื้นที่ โดยในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

#### 2.2.1 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ได้แก่ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

-เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Standalone system)

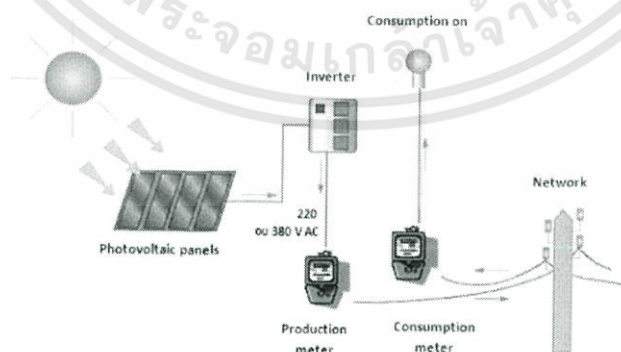
เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ



รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Standalone system)

-เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

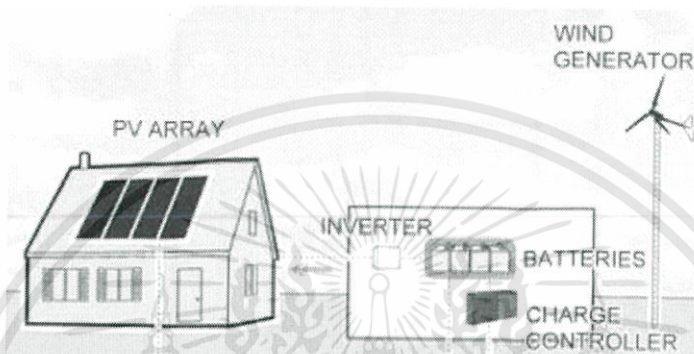


รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

### 2.2.2 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

โดยในการทำงานนั้นจะมีลักษณะคล้ายแว่นขยาย คือจะรวมแสงอาทิตย์ไปรวมอยู่ที่จุดเดียวกันเพื่อให้เกิดความร้อนสูง ( $\sim 200^{\circ}\text{C}$ ) ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ระบบความร้อนรวมศูนย์มี 3 ระบบ คือ

-ระบบรางพาราโบลา (Parabolic Trough)

เป็นตัวรับรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Collector) ซึ่งทำงานโดยใช้หลักการรวมรังสีจากดวงอาทิตย์ด้วยการสะท้อนจากผิวโค้งรูปพาราโบลาที่เป็นรางยาว โดยตัวรับรังสีประกอบด้วยตัวสะท้อนรังสีและท่อรับรังสี ซึ่งท่อรับรังสีจะเป็นท่อโลหะอยู่ในท่อแก้ว โดยช่องว่างระหว่างท่อเป็นสุญญากาศเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ภายในจะมีของเหลวประเภทน้ำมันจุดเดือดสูงไหลในท่อโลหะ เพื่อพาความร้อนไปถ่ายเทให้กับหม้อไอน้ำ สำหรับผลิตไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนเครื่องยนต์กังหันไอน้ำ ซึ่งทำงานด้วยวัฏจักร Rankine โดยงานที่เพลลาได้จากเครื่องยนต์ดังกล่าวจะนำไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ จะใช้พลังงานจากก๊าซช่วยในการกำเนิดไอน้ำ

### -ระบบหอคอย (Solar Thermal Tower)

เป็นวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้วิธีรวมแสงอาทิตย์ความร้อนที่ได้จากการสะท้อนแสง (Heliostat) หลายๆ แผ่นมารวมกันที่จุดรับแสงบนหอคอยสูง แผ่นสะท้อนแสงแต่ละแผ่นก็จะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ท่ามกับดวงอาทิตย์โดยให้มีการสะท้อนแสงมาตกกระทบกับจุดรับแสงบนหอคอยตลอดเวลา ซึ่งภายในหอคอยสูงจะมีท่อน้ำร้อนซึ่งเมื่อน้ำได้รับความร้อนก็จะเดือดกลายเป็นไอน้ำที่มีความดันสูงมาก ไอน้ำนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อไปหมุนสตริมเทอร์ไบน์ และเจนเนอเรเตอร์ทำการผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ วิธีนี้ต้องมีการสร้างเป็นโครงการขนาดใหญ่ และมีปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตรงมากๆ

### -ระบบความร้อนร่วม (Combined Cycle)

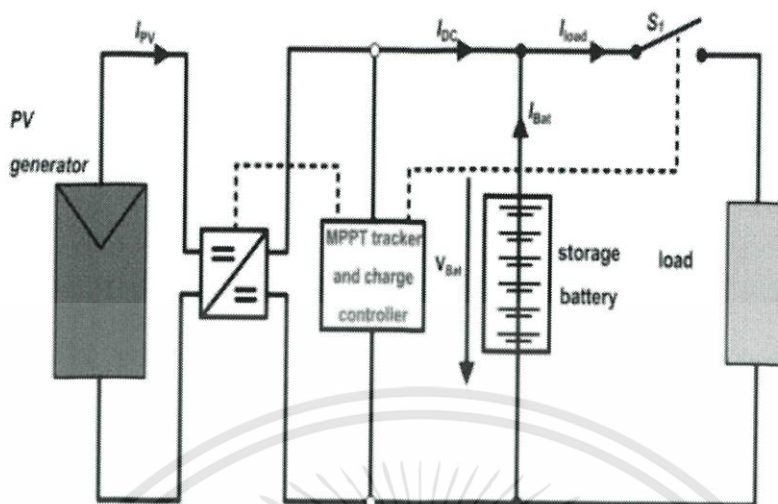
เป็นการใช้หลักการทำงานของการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนจากดวงอาทิตย์ หรือใช้ระบบการผลิตไฟฟ้า โดยใช้ความร้อนจากดวงอาทิตย์แบบใดแบบหนึ่งที่เน้นการสะท้อนแสงอาทิตย์ไปรวมยังจุดรวม เพื่อให้ความร้อนแก่ตัวกลางที่ประกอบอยู่ โดยมีการเพิ่มเติมการใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานอื่นๆ ในการให้ความร้อนกับตัวกลางควบคู่ไปพร้อมๆ ในเวลาเดียวกัน

## 2.3 เทคนิคในการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

### 2.3.1 เรื่องการควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด (MPPT Charge controller)

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

MPPT ประกอบด้วย ตัวควบคุมการแปลงกระแสไฟตรงเป็นไฟตรง และจะทำงานทุกๆ 5 นาที ทำการวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นำมาคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด จากนั้นจะมีวงจรที่ควบคุม เพื่อปรับให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ โดยทั่วไปเครื่องแปลงไฟฟ้าแบบนี้จะมีประสิทธิภาพ 90-96% ส่วนระบบที่เหมาะสมกับการใช้ MPPT ควรจะมีขนาดตั้งแต่ 200 W ขึ้นไป หากระบบมีขนาดเล็กกว่านี้จะเกิดการสูญเสียในระหว่างการแปลงมากกว่าที่ได้รับ นอกจากนี้เครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุดยังมีราคาค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุแบบควบคุมกำลังสูงสุด

โดยหลักการสำคัญของระบบ MPPT คือ ดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด โดยการทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด กล่าวคือ MPPT ทำงานโดยการตรวจสอบที่เอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในระบบ จากนั้นกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายออกเพื่อทำการประจุลงแบตเตอรี่ และทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าสูงสุดในการประจุแบตเตอรี่ นอกจากนี้ ยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อโดยตรงกับแบตเตอรี่ได้อีกด้วย

ระบบ MPPT จะมีประสิทธิภาพสูงหากทำงานภายใต้สภาวะเหล่านี้

1.สภาวะอากาศเย็นหรือฤดูหนาว โดยปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ถึงแม้ในช่วงฤดูหนาวที่มีอากาศเย็น จะมีช่วงเวลาตกกระทบของแสงอาทิตย์น้อย หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยระบบ MPPT จะทำให้เกิดการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากขึ้นไปอีก แต่จะมีความสูญเสียพลังงานน้อยมาก

2.สภาวะที่มีการประจุแบตเตอรี่ต่ำ เนื่องจากยังมีอัตราการประจุแบตเตอรี่ต่ำ จะทำให้กระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ MPPT มากขึ้น

## 2.4 การติดตามดวงอาทิตย์จากงานวิจัยที่มีมาก่อน

สิงห์ทอง และคณะ[1] ได้นำเสนอเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ แบบ 2 แนวแกน คือ แนวอัลติจูด และแนวอะซิมูธ โดยใช้หลักการบังเงาของฉากกัน มีโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์ โดยความสูงของฉากกันเป็นตัวกำหนดความไวหรือช่วงเวลาในการติดตาม มีข้อดีคือสามารถกำหนดช่วงเวลาในการติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะเป็นช่วงได้



รูปที่ 2.5 ภาพขณะทดสอบเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

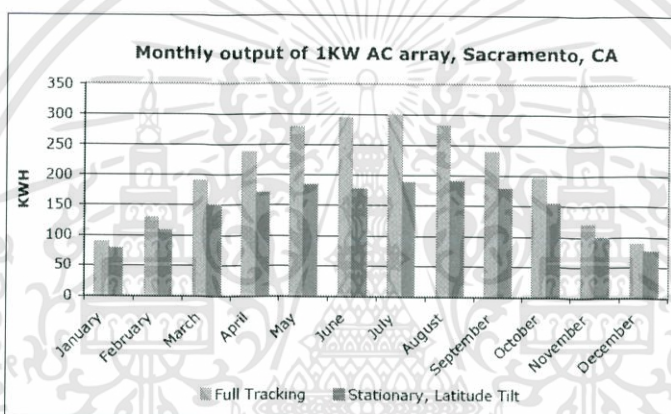
ศุภชัย [2] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเดียวกันแต่ลักษณะการใช้งานแตกต่างกันทั้งหมด 2 รูปแบบคือ รูปแบบที่แผงเซลล์เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ และรูปแบบที่แผงเซลล์ไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ โดยทั้ง 2 รูปแบบ จะมีการติดตั้งกระจกเงาไว้ด้วย ซึ่งผลที่ได้คือ แผงเซลล์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 15.33 % ส่วนแผงเซลล์ที่ไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเพียง 13.05 % ซึ่งน้อยกว่าแบบติดตามดวงอาทิตย์

มนูศักดิ์ และคณะ[3] ได้นำเสนอการควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบปรับรังสีรวมกลาง โดยระบบแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ โดยในการออกแบบตัวควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) และมีเป้าหมายต้องการควบคุมให้ตำแหน่งกึ่งกลางดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลภาพ จากนั้นจึงคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ให้สะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังเป้าหมายที่ต้องการ

ปรีชา และคณะ[4] ได้นำเสนอระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ครอบคลุมทั้งแนวอัลติจูด และแนวอะซิมูธ โดยวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มของแสงจากเซ็นเซอร์แบบตัวต้านทานแปรค่าตามแสง (LDR) วางจำนวน 4 จุดที่ขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 4 ด้านตรงจุดกึ่งกลาง โดยวางในลักษณะตรงข้ามกันเพื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงที่ติดตั้งในท่อยางสีดำ ซึ่งสามารถ

ติดตามดวงอาทิตย์ในลักษณะเป็นช่วงได้ โดยช่วงของการติดตามสามารถกำหนดได้จากความลึกของการติดตั้งตัวด้านทานแปรค่าตามแสงในท่อยางสีดำ โดยค่าความเข้มแสงที่ได้จะถูกป้อนให้ชุด

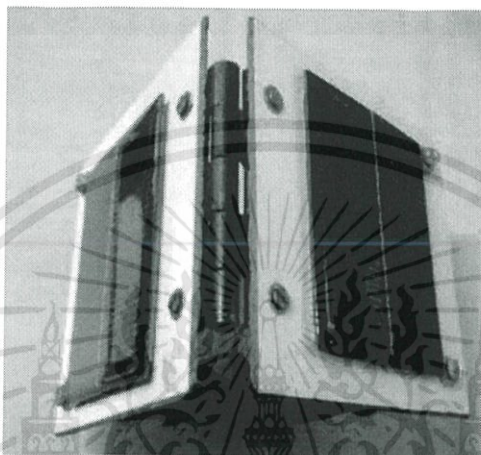
บริษัท tracstar[5] ได้ทำเก็บผลการทดลองเปรียบเทียบการติดตามดวงอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ คือ แบบที่แผงโซลาร์เซลล์หมุนตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน และแบบที่วางอยู่กับที่ เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่าพลังงานที่ได้จากการทดลองแบบติดตามดวงอาทิตย์นั้น สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าแบบวางอยู่กับที่ถึง 36.8% โดยแสดงในกราฟดังรูปที่ 2.6 รวมถึงยังบอกอีกว่าในการติดตามดวงอาทิตย์นั้น อาจไม่จำเป็นที่จะต้องทำการติดตามดวงอาทิตย์ให้ตรงกับจุดที่ดวงอาทิตย์อยู่พอดี ถึงแม้ว่ามุมจะมีความคลาดเคลื่อนไปประมาณ 10 องศา แต่ประสิทธิภาพของระบบนั้นก็ยังมีค่าเท่ากับ 98.5% ของประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2.6 กราฟแห่งแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการติดตามแบบ full tracking และ stationary

Jing-Min Wang และ Chia-Liang Lu[6] ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระบบติดตามดวงอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ พบว่า ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบคงที่นั้นสามารถผลิตพลังงานออกมาได้ 95.52 W-h ในขณะที่ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานออกมาได้ 123.06 W-h ซึ่งเพิ่มขึ้น 28.83% และหากคิดพลังงานที่ใช้ในการทำงานของมอเตอร์ โดยมอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 0.5 W-h ในการขับเคลื่อน เมื่อทำการหักค่าการสูญเสียจากการขับเคลื่อนมอเตอร์ออก จะได้เป็น  $(123.06 - 95.52 - 0.5) / 95.52 = 0.2831$  หรือ 28.31% ซึ่งผลที่ออกมานั้นสังเกตได้ว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบติดตามดวงอาทิตย์ยังสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้มากกว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบคงที่ที่อยู่ดี โดยหากคิดในทางเศรษฐศาสตร์แล้วระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ ยังมีความคุ้มค่าต่อการใช่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

Kamala J and Alex Joseph[7] การศึกษานี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ในการรับแสงทางทิศตะวันออกและตะวันตก ผลที่ได้จะถูกเปรียบเทียบและส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการติดตามตำแหน่งต่อไป ซึ่งกำลังงานที่ได้จากแผงรับนั้นจะถูกใช้ในการคำนวณความคุ้มค่าในการติดตามแสง โดยในช่วงที่แสงน้อยพลังงานที่ได้ก็จะลดต่ำลง การทำงานของอุปกรณ์ก็จะหยุดลงเพื่อประหยัดพลังงานในการขยับ



รูปที่ 2.7 ลักษณะการจัดวางของเซลล์แสงอาทิตย์ในการทดลอง

โดยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองชิ้นจะถูกจัดวางในลักษณะสามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.7 เพื่อใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยจะเปรียบเทียบความเข้มแสงที่ตกกระทบ และในการติดตามตำแหน่งนั้นจะมีช่วงหนึ่ง ซึ่งถ้าดวงอาทิตย์อยู่ในช่วงนี้จะไม่มีการขยับเพื่อติดตาม แต่กรณีที่หลุดออกจากช่วงก็จะเกิดการตอบสนองโดยการขยับไปในทิศทางที่ตัวตรวจจับบอกเพื่อให้เข้าไปสู่ตำแหน่งที่ถูกต้องต่อไป โดยในการทดสอบด้านประสิทธิภาพและทางเศรษฐศาสตร์นั้นได้ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดต่างๆเพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ได้รับและที่สูญเสียไปในการขยับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้ผลดังนี้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบพลังงานที่ได้และสูญเสียในขนาดเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิกัดต่างๆ

| ขนาดของ<br>เซลล์<br>แสงอาทิตย์ | กำลังงานที่สูญเสีย        |         | ความสูญเสีย<br>จากแรงเสียด<br>ทาน | กำลังงานที่เพิ่มขึ้น    |                      |
|--------------------------------|---------------------------|---------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------|
|                                | อุปกรณ์<br>อิเล็กทรอนิกส์ | มอเตอร์ |                                   | ไม่คิดผลความ<br>สูญเสีย | คิดผลความ<br>สูญเสีย |
| 50W                            | 1W                        | 5W      | 1.5W                              | 22.5W                   | 15W                  |
| 100W                           | 1W                        | 10W     | 2W                                | 45w                     | 32W                  |
| 500W                           | 1W                        | 50W     | 5W                                | 225W                    | 169W                 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการติดตามในระบบนี้จะทำให้ได้กำลังงานที่เพิ่มขึ้นโดยแม้ในขนาดที่ใหญ่ขึ้นจะมีกำลังสูญเสียในอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น แต่ก็จะได้รับกำลังที่สูงกว่าจึงมีความคุ้มค่ามากกว่า

ในปัจจุบันก็มีการนำวิธีการติดตามดวงอาทิตย์แบบต่างๆไปใช้บ้าง ซึ่งแต่ละที่ก็แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการใช้งาน บ้านเรือนบางบ้านอาจจะมีการนำ Solar Thermal ไปใช้ในการต้มน้ำเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ เพื่อทดแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อน ซึ่งสามารถช่วยลดค่าไฟฟ้าลงได้ แต่ในระบบแบบนี้ อาจจะไม่ได้มีการนำระบบติดตามดวงอาทิตย์ไปใช้ เนื่องจากเป็นระบบที่เล็ก และไม่ได้มีความจำเป็นมากในการลงทุน แต่สำหรับในระบบที่ใหญ่ขึ้น เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จำพวก Solar Thermal Tower หรือ แบบอื่น ๆ นั้น มีความจำเป็นเป็นอย่างมาก ในการนำระบบติดตามดวงอาทิตย์เข้าไปใช้ร่วมด้วย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ และถ้ามองในแง่ของผู้ลงทุน การใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์จะทำให้คืนทุนเร็วขึ้นเนื่องจากผลิตปริมาณไฟฟ้าได้มากขึ้น ซึ่งก็เป็นที่ต้องการของผู้ลงทุน

## 2.5 Machine Vision

ในการรับรู้ภาพ ซึ่งรวมทั้งการทำให้อุปกรณ์ประมวลผลนั้นๆ สามารถตัดสินใจและสั่งงานกลไกส่วนต่างๆ ได้ จากข้อมูลที่ได้จากภาพหรือกลุ่มของภาพนั้นๆ จุดมุ่งหมายสูงสุดของ Machine Vision คือ ทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ มีความสามารถให้ได้เทียบเท่ากับระบบการมองเห็นของมนุษย์ ที่มีวิวัฒนาการต่อเนื่องกันมาหลายสิบล้านปี อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีในปัจจุบันยังคงไม่สามารถทำให้เครื่องจักรสามารถมองเห็นและรับรู้ ได้เทียบเท่ากับความสามารถของมนุษย์ ยกตัวอย่างเช่น ผู้อ่านที่เป็นมนุษย์ที่มีสภาพร่างกายปกติ จะสามารถแยกแยะสิ่งของที่ต้องการออกจากสิ่งของหลายๆอย่างได้ หรือสามารถแยกแยะหน้าคนที่คุ้นเคยได้จากกลุ่มคนที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีฝนตก หรือหมอกลงจัดการทำกิจกรรมดังกล่าวนั้น ผู้อ่านจะสามารถทำได้โดยแทบจะไม่ต้องใช้ความพยายามมากเท่าไรนัก ซึ่งหากต้องการให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลมีความสามารถที่จะทำกิจกรรมดังกล่าวได้นั้น นอกจากจะต้องใช้ความพยายามเป็นอย่างมากแล้ว ยังต้องใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างกันระหว่างการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลและสมองมนุษย์ ที่แม้แต่อุปกรณ์ประมวลผลจะมีความเร็วในการประมวลผลสูงกว่าสมองของมนุษย์มาก ยกตัวอย่างง่ายๆอย่างเช่น การบวกเลข 20 หลักเข้าด้วยกัน พบว่าคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน หรือเครื่องคิดเลขธรรมดาๆทั่วไป สามารถคำนวณได้โดยใช้เวลาเพียงเศษเสี้ยววินาทีเท่านั้น ซึ่งต่างจากสมองของมนุษย์ที่เป็นหน่วยประมวลผลอย่างง่าย ๆ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหน่วยย่อยๆของสมองมนุษย์เหล่านี้ มีจำนวนมากมายมหาศาล และทำงานไปพร้อมกัน (Parallel processing) แทนที่จะทำงานทีละขั้นตอน (Serial processing) ซึ่งเป็นวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสมองมนุษย์สูงกว่า อุปกรณ์ประมวลผลที่อยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

แม้ว่าด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน จะไม่สามารถพัฒนาความสามารถการมองเห็น และรับรู้ของเครื่องจักรให้ได้เทียบเท่ากับสมองของมนุษย์ แต่ผลที่ได้จากการพัฒนาความรู้เรื่อง Machine Vision ก็สามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น การนำไปใช้กับระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย หรือแม้กระทั่งการประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เป็นต้น

## 2.6 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เรากำลังต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ

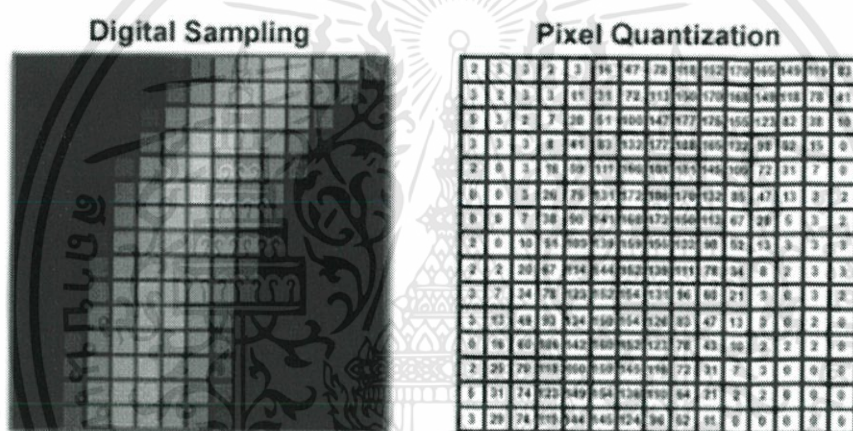


โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ เช่น ระบบรู้จำลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบว่าภาพลายนิ้วมือที่มีอยู่นั้นเป็นของผู้ใด ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบรู้จำใบหน้าเพื่อเฝ้าระวังผู้ก่อการร้ายในอาคารสถานที่สำคัญ ๆ หรือในเขตคนเข้าเมือง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมาก และเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานในลักษณะเหล่านี้หากให้มนุษย์วิเคราะห์เอง มักต้องใช้เวลามากและใช้แรงงานสูง อีกทั้งหากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นจำนวนมาก ผู้วิเคราะห์ภาพเองอาจเกิดการล้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์ อีกทั้ง เป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่า คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากในเวลาอันสั้น จึงมีประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพในระบบต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น

## 2.7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลรูปที่เป็นสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ และยังสามารถนำมาใช้ในการลดปัญหาของภาพ เช่น ลดสัญญาณรบกวนภายในภาพ เป็นต้น

ในการแปลงภาพให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้น ระบบจะนำรูปที่รับเข้ามาไปคำนวณโดยกระบวนการ Sampling และ Quantization และส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบดิจิทัล จากนั้นคอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำ โดยการจองหน่วยความจำภายในเครื่องในรูปแบบของอาร์เรย์ โดยค่าแต่ละช่องของ อาร์เรย์แสดงถึงคุณสมบัติต่างๆของรูปที่จุดของภาพนั้นๆ และตำแหน่งของช่อง อาร์เรย์ก็เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพภายในภาพด้วย



รูปที่ 2.8 การแปลงภาพอนาล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล

## 2.8 รูปร่างของภาพ (Image Shape)

วัตถุที่มีอยู่ตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างที่แตกต่างกันไป ทั้งที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตและไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ในศาสตร์ของการประมวลผลภาพนั้น การกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular image model) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากทำให้การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ และการแสดงภาพออกทางอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรอาร์เรย์ (array) โดยค่าในแต่ละช่องของอาร์เรย์แสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ (pixel) และตำแหน่งของช่องอาร์เรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ

สมมติให้ image เป็นตัวแปรแบบอาร์เรย์ขนาด  $M \times N$  (แถวคูณหลัก) ที่ใช้เก็บภาพขนาด  $M \times N$  ( $M$  จุดในแนวนอน และ  $N$  จุดในแนวตั้ง) ค่าสี(หรือความสว่าง ในกรณีที่เป็นภาพ grey level) ของจุดภาพในแถวที่ 5 หลักที่ 4 จะตรงกับค่าของ  $\text{Image}(5,4)$  จะเห็นว่าเราใช้ตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนเป็นตัวชี้ค่าข้อมูลในอาร์เรย์

จากการใช้หน่วยความจำเพื่อการเก็บภาพในลักษณะที่กล่าวมา เนื้อที่ในการเก็บภาพสามารถคำนวณได้จาก  $M \times N \times g$  เมื่อ  $g$  เป็นจำนวนเต็มที่แทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ ตัวอย่างถ้า  $g$  มีค่าเท่ากับ 8 บิต เราจะสามารถเก็บความแตกต่างของระดับสีที่เป็นไปได้สูงสุด 256 ระดับ ค่า  $M$  และ  $N$  จะเป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพ การกำหนดความละเอียดจะขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้

จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละจุดภาพขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุด มากขึ้นจะทำให้จำนวนของสีมากขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น

$$\begin{aligned} 1 \text{ บิต} &= 2^1 = 2 \text{ สี} \\ 2 \text{ บิต} &= 2^2 = 4 \text{ สี} \\ 4 \text{ บิต} &= 2^4 = 16 \text{ สี} \\ 8 \text{ บิต} &= 2^8 = 256 \text{ สี} \\ 16 \text{ บิต} &= 2^{16} = 65536 \text{ สี เป็นต้น} \end{aligned}$$

สำหรับการแสดงข้อมูลภาพที่มีขนาด 1 บิตและ 8 บิตนั้นจะมีการทำงานที่จะใกล้เคียงกันเนื่องจากหน่วยประมวลผลจะไม่สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นบิตเดี่ยวๆ ได้ดังนั้นการแสดงผลออกทางจอภาพตัวโปรเซสเซอร์จะทำการก๊อปปี้ข้อมูลทั้ง 8 บิต (1 byte) ส่งให้กับจอภาพซึ่งในกรณีที่มีขนาด 1 บิต เมื่อโปรเซสเซอร์จะทำงานกับบิตแรกที่ต้องการแล้วก็จะทำการก๊อปปี้ข้อมูลชุดใหม่ทันทีโดยที่ไม่เกี่ยวกับข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือ ส่วนในกรณี Pixel ที่มีขนาด 8 บิต โปรเซสเซอร์จะทำการก๊อปปี้ข้อมูลชุดใหม่ก็ต่อเมื่อโปรเซสเซอร์ทำงานกับทุกบิตแล้ว

ตัวอย่างสำหรับระบบที่มีความละเอียดเท่ากับ  $800 \times 600$  และมีขนาด 16 bit/pixel จะสามารถแสดงสีได้ทั้งหมด 65536 ระดับ และต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บเท่ากับ  $800 \times 600 \times 16$  บิต

## 2.9 มาตรฐานของสี

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับกา  
นำ  
ไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้ว ทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายใน สเปส 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปส ซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบ RGB จะมีแกนสีคือ แกนสีแดง เขียว และน้ำเงินในระบบ HLS จะมีแกนเป็น ค่าสี (hue) ความสว่าง (lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (saturation)

ตัวอย่างระบบสีที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ระบบ RGB HSV (Hue Saturation Value) และ HLS (Hue Lightness Saturation)

### 2.9.1 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียวและน้ำเงินโดยที่การรวมกันแบบ Additive ซึ่งโดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพแบบ CRT (Cathode ray tube) ในการใช้งานระบบสี RGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไป ที่นิยมใช้งานได้แก่ RGB<sub>CIE</sub> และ RGB<sub>NTSC</sub>

ระบบสีแบบ RGB ของ CIE

เป็นระบบสีที่พัฒนาโดย CIE (Commission International l'Eclairage) ซึ่งอ้างอิงสีด้วยสีแดงที่ 700 nm สีเขียวเท่ากับ 546.1 nm และสีน้ำเงิน 435.8 nm

ระบบสีแบบ RGB ของ NTSC

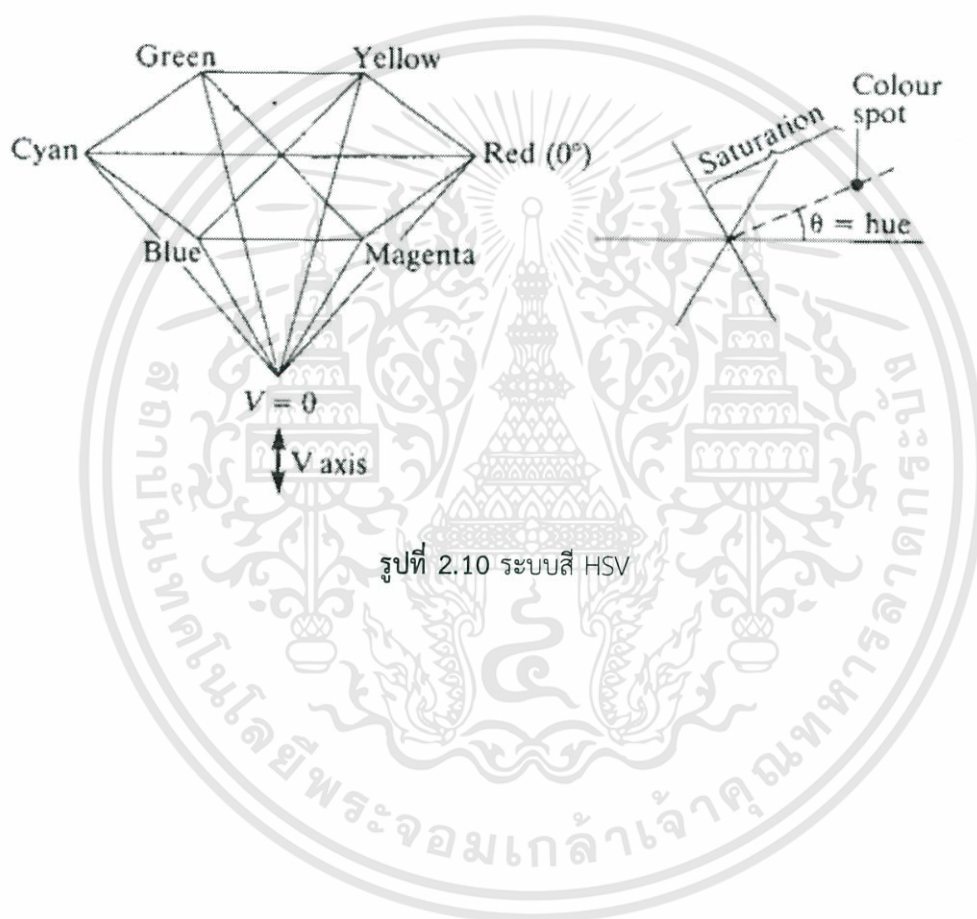
เป็นระบบสีที่พัฒนาโดย NTSC (National Television System Committee) เพื่อใช้สำหรับการแสดงภาพของจอภาพแบบ CRT เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตแบบ CRT ให้มีลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 2.9 ระบบสี RGB

## 2.9.2 ระบบสี HSV

ระบบสี HSV (Hue Saturation Value) เป็นการพิจารณาสีโดยใช้ Hue Saturation และ Value ซึ่ง Hue คือ ค่าสีของสีหลัก (แดง เขียวและน้ำเงิน) ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดง และเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้งซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ ดังนี้คือ สีแดงเท่ากับ 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 LabVIEW

Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench หรือ LabVIEW คือ โปรแกรมประยุกต์ เช่นเดียวกับ Visual Basic แต่จะแตกต่างกันตรงที่ LabVIEW จะใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based Programming) ซึ่งจะทำงานแบบ Dataflow โดย LabVIEW จะสามารถทำงานที่เป็นสมการได้โดยเน้นไปที่การทำงานกับเครื่องหรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งใช้ในการวัดสัญญาณทางกายภาพ และจะสามารถนำข้อมูลที่ได้เก็บลงในฐานข้อมูลได้

ในส่วนของการใช้งาน LabVIEW โปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นโดย LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือ VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน โดยใน LabVIEW จะมี Front Panel ที่มีไว้เพื่อแสดงและควบคุมการทำงาน ซึ่งจะมีส่วนประกอบต่างๆไว้สำหรับออกแบบหน้าจอ เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป, สวิตช์ เป็นต้น ทั้งหมดนี้จะทำงานผ่านจอกอมพิวเตอร์ และในส่วนสำหรับเขียนโปรแกรมเรียกว่า Block Diagram ซึ่งจะเป็นการเขียนโปรแกรมด้วยรูปภาพ หลักการในการทำงานจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. Acquisition เป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากภายนอกเข้าสู่ระบบ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถรับได้จาก DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2. เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะผ่านการวิเคราะห์ข้อมูล

3. Presentation คือ การแสดงผลโดยอาจแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น Digital Multimeter หรือ Oscilloscope

## 2.11 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก

ในการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยการวัดค่ามุมเมย และมุมอะซิมุทจากเงาของดวงอาทิตย์จะพบว่า ค่ามุมเมยของดวงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดแล้วจึงค่อยลดต่ำลงเรื่อยๆ จนดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าไป สำหรับมุมอะซิมุทก็จะมีการเปลี่ยนค่าไปด้วยทุกครั้งที่วัด แสดงว่าดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่งตลอดเวลา เส้นที่ลากเชื่อมจุดต่างๆ บนแบบจำลองทรงกลมท้องฟ้า คือ แนวเคลื่อนที่ๆปรากฏของดวงอาทิตย์ในรอบวัน เส้นทางที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ปรากฏไปบนท้องฟ้าตลอดปี เรียกว่าเส้นสุริยวิถีหรือ ที่เรียกว่าเส้นอีคริปติก(Ecliptic) จากการสังเกตตำแหน่งขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ และเส้นทางโคจรที่ปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าตลอดปี พบว่าความจริงนั้นตำแหน่งขึ้น-ตก และเส้นทางการโคจรของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปทุกฤดูกาล จากการวัดตำแหน่งของ

ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกพบว่าตำแหน่งเปลี่ยนไปทุกวัน วันละประมาณ 15 ลิปดา ซึ่งได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่ามุมอะซิมุทขณะขึ้น ตก และมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ วัดที่กรุงเทพมหานคร

| วัน เดือน     | มุมอะซิมุท |       | มุมเงยสูงสุด(องศา) |
|---------------|------------|-------|--------------------|
|               | ขณะขึ้น    | ขณะตก |                    |
| 21 มีนาคม     | 90         | 270   | 76                 |
| 27 เมษายน     | 76         | 284   | 90                 |
| 20 พฤษภาคม    | 70         | 290   | 84                 |
| 22 มิถุนายน   | 67         | 293   | 81                 |
| 20 กรกฎาคม    | 69         | 291   | 83                 |
| 16 สิงหาคม    | 76         | 284   | 90                 |
| 23 กันยายน    | 90         | 270   | 76                 |
| 20 ตุลาคม     | 100        | 260   | 66                 |
| 20 พฤศจิกายน  | 110        | 250   | 56                 |
| 22 ธันวาคม    | 113        | 247   | 52                 |
| 20 มกราคม     | 110        | 250   | 56                 |
| 20 กุมภาพันธ์ | 101        | 259   | 67                 |

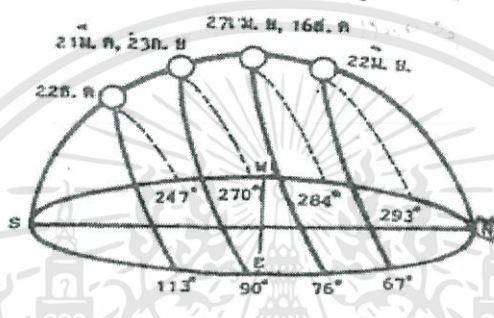
จากข้อมูลในตารางที่ 1 สามารถสรุปได้ว่า

1. ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงจุดทิศตะวันออก และตกตรงจุดทิศตะวันตกพอดีคือ มีมุมอะซิมุทขณะขึ้น 90 องศา และขณะตก 270 องศาในวันที่ 21 มีนาคม และ 23 กันยายน เรียกว่า วันอิควินอก (Equinoxe) เป็นวันที่มีกลางวันและกลางคืนยาวเท่ากัน วันที่ 21 มีนาคม เป็นวันเริ่มต้นฤดูใบไม้ผลิ เรียกว่า เฮอร์นอล อิควินอก (Vernal Equinox) ส่วนวันที่ 23 กันยายน เป็นวันเริ่มต้นฤดูใบไม้ร่วง เรียกว่า ออทัมนอลอิควินอก (Autumnal Equinox)

2. ดวงอาทิตย์ผ่านจุดเหนือศีรษะของคนกรุงเทพฯพอดี ในวันที่ 27 เมษายน และ 16 สิงหาคม มุมอะซิมุท ขณะขึ้น 76 องศา ขณะตก 284 องศา

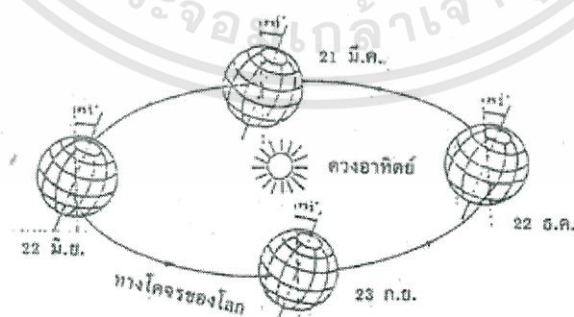
3. ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกก่อนไปทางเหนือสุดในวันที่ 22 มิถุนายน วันนี้เวลากลางวันจะยาวกว่าเวลากลางคืน เรียกว่า ซัมเมอร์โซลติส (Summer Solstice) มีมุมอะซิมุทขณะขึ้น 67 องศา ขณะตก 293 องศา

4. ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกก่อนไปทางใต้สุดในวันที่ 22 ธันวาคม เป็นช่วงฤดูหนาวเรียกว่า วินเทอร์โซลติส (Winter Solstice) มีมุมอะซิมุทขณะขึ้น 113 องศา และขณะตก 247 องศา เรียกว่า ตะวันอ้อมข้าว วันนี้จะมีเวลากลางคืนยาวกว่ากลางวัน



รูปที่ 2.11 ตำแหน่งขึ้น-ตก และมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ในรอบปีที่กรุงเทพฯ

ในวันที่ 21 มีนาคม ดวงอาทิตย์ขึ้นที่จุดทิศตะวันออกและตกที่จุดทิศตะวันตกพอดี หลังจากนั้นไปดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนตำแหน่งไปวันละ 15 ลิปดา ขึ้นไปทางเหนือจนถึงเหนือสุดประมาณ 23.5 องศา ในวันที่ 22 มิถุนายน ต่อจากนั้นดวงอาทิตย์จะมีการขึ้นและตก ลดต่ำลงมาจากทางเหนือ จนถึง วันที่ 23 กันยายน จะขึ้น และตกทางทิศตะวันออก และทิศตะวันตกพอดีหลังจากวันที่ 23 กันยายน ดวงอาทิตย์ จะขึ้นตกก่อนไปทางใต้มากที่สุดประมาณ 23 องศา หลังจากนั้นดวงอาทิตย์จะค่อย ๆ ขึ้นตกสูงขึ้นจากทางใต้จนกระทั่งมา ขึ้นตกตรง จุดทิศตะวันออกและทิศตะวันตกอีกครั้งหนึ่งในวันที่ 21 มีนาคม ต่อจากนั้นก็เปลี่ยนตำแหน่งขึ้นตกซ้ำรอยเดิมเรื่อยไป



รูปที่ 2.12 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.10 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. วันที่ 22 มิถุนายน ปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์จะตกลงบนซีกโลกเหนือมากที่สุด เพราะซีกโลกเหนือเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์
2. วันที่ 22 ธันวาคม ปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์จะตกลงบนซีกโลกใต้มากที่สุด เพราะซีกโลกใต้เอียงเข้าหาดวงอาทิตย์
3. วันที่ 21 มีนาคม และ 23 กันยายน ปริมาณแสงที่ตกลงบนซีกโลกเหนือ และซีกโลกใต้จะเท่ากัน
4. พื้นที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ในปริมาณเท่ากันตลอดทั้งปี แต่พื้นที่บริเวณเหนือ หรือใต้เส้นศูนย์สูตรจะได้รับแสงอาทิตย์ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโลกในวงโคจร

## 2.12 การคำนวณการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

Local Standard Time Meridian (LSTM) คือ เวลามาตรฐาน ณ จุดที่เราสนใจ มีหน่วยเป็น ชั่วโมง

$$LSTM = 15^{\circ} \Delta T_{GMT} \quad (1)$$

โดย  $\Delta T_{GMT}$  คือค่าเวลาที่แตกต่างระหว่างเวลา(Local Time : LT) ณ จุดที่เราสนใจ กับค่าเวลามาตรฐานกรีนิช (Greenwich Meridian Time : GMT)

Equation of Time (EoT) คือ สมการของเวลาที่ถูกแก้ไขแล้วเนื่องจากผลของวงโคจรของโลกและแกนของโลกที่เอียงไปจากเดิม มีหน่วยเป็น นาที

$$EoT = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (2)$$

ซึ่ง  $B = \frac{360}{365} (d - 81)$  มีหน่วยเป็น องศา (degrees)

d คือ จำนวนของวัน โดยจะนับตั้งแต่วันที่เริ่มนับของปีนั้นๆจนหมดปี

Time Correction Factor (TC) คือ ค่าตัวประกอบแก้ไขเวลา มีหน่วยเป็นวินาที

$$TC = 4(Longitude - LSTM) + EoT \quad (3)$$

Local Solar Time (LST)

$$LST = LT + \frac{TC}{60} \quad (4)$$

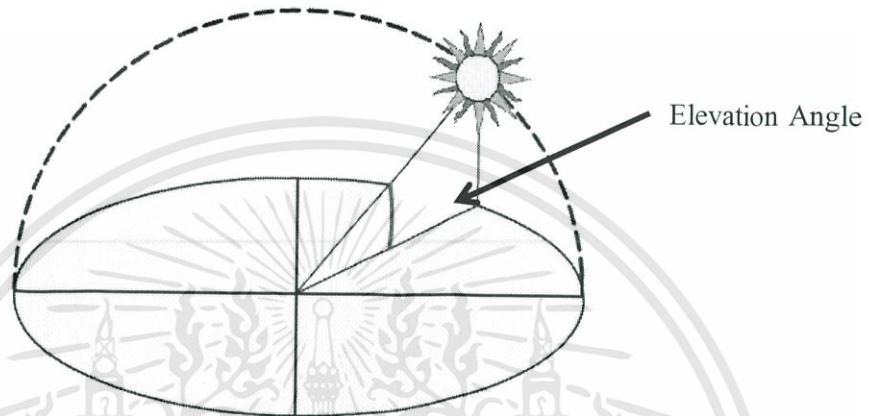
Hour Angle (HRA) คือมุมที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปเป็นมุมองศาต่อชั่วโมง โดยมุมของการเคลื่อนที่นั้นจะเปลี่ยนไปเป็นมุม 15 องศาต่อชั่วโมง โดยให้มุมในตอนเที่ยงเป็นมุม 0 องศา ดังนั้นเมื่อ ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ในตอนเช้า มุมจะเป็นค่าลบ แต่หากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ในตอนบ่าย มุมจะเป็นค่าบวก มีหน่วยเป็น องศา

$$HRA = 15^\circ(LST - 12) \quad (5)$$

Declination ( $\delta$ ) คือ มุมเอียงเบน

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (d - 81) \right] \quad (6)$$

Elevation Angle คือมุมที่วัดจากระนาบไปจนถึงดวงอาทิตย์ โดยมุมจะมีค่า 0 องศาเมื่อตอนดวงอาทิตย์ขึ้น และจะมีค่าสูงสุดเมื่อถึงเวลาเที่ยงวัน มุม Elevation จะเปลี่ยนไปเรื่อยๆตลอดวัน โดยมันจะขึ้นอยู่กับเส้นละติจูดและจำนวนวันของปี



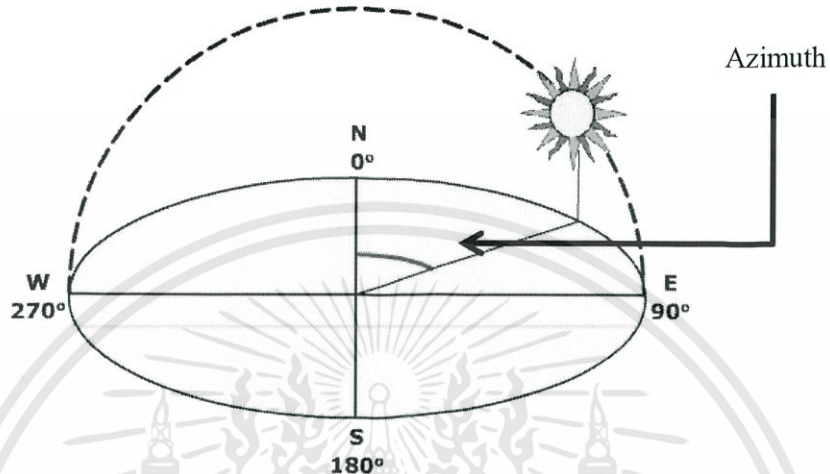
รูปที่ 2.13 ตำแหน่ง Elevation Angle

$$\text{Elevation Angle } (\alpha) = \sin^{-1}[\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos(HRA)] \quad (7)$$

โดย  $\delta$  คือ Declination

$\phi$  คือ Latitude

Azimuth คือมุมที่วัดบนระนาบ โดยจะวัดมุมเริ่มจากทิศเหนือเป็น 0 องศา วัดไปยังดวงอาทิตย์ โดยเมื่อตอนที่ดวงอาทิตย์ขึ้น มุม Azimuth จะมีค่าเป็น 90 องศา และมุม Azimuth นี้จะเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ ในระหว่างวันโดยมันจะขึ้นอยู่กับ ค่าละติจูด และเวลาในรอบปี



รูปที่ 2.14 ตำแหน่ง Azimuth

$$Azimuth = \cos^{-1} \left[ \frac{\sin \delta \cos \phi - \sin \phi \cos \delta \cos(HRA)}{\cos \alpha} \right] \quad (8)$$

โดย  $\delta$  คือ Declination  
 $\phi$  คือ Latitude  
 $\alpha$  คือ Elevation Angle

### บทที่ 3

#### การติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์

ในปริณญา นิพนธ์ฉบับนี้เป็นการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยการใช้เทคนิคสองรูปแบบผสมกัน โดยเทคนิคแรกคือการใช้กล้องเว็บแคมเพื่อประมวลผลภาพโดยใช้เทคนิคแมชชีนวิชัน (Machine Vision) โดยการรับภาพจากกล้องและทำการประมวลผลภาพดวงอาทิตย์ จากนั้นเมื่อได้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์แล้วจะนำค่าที่ได้ส่งให้เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) ทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนตำแหน่งกล้องเพื่อติดตามดวงอาทิตย์ต่อไป

อีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้คือการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากสมการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้พิกัดที่ทำการทดลอง และเวลามาคำนวณหาตำแหน่ง จากนั้นเมื่อได้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มาแล้ว จะนำค่าที่ได้ส่งให้เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) หมุนตำแหน่งกล้องเพื่อติดตามดวงอาทิตย์ต่อไป โดยจะใช้วิธีการประมวลผลภาพเมื่อกำลังสามารถรับแสงจากดวงอาทิตย์ได้ แต่บางครั้งที่ไม่มีแสงจากดวงอาทิตย์ หรือมีเมฆมาบังดวงอาทิตย์ ก็จะใช้วิธีการคำนวณเพื่อสั่งการเซอร์โวมอเตอร์แทน

เมื่อนำทั้งสองเทคนิคนี้มาใช้ร่วมกันแล้ว จะสามารถทำให้การติดตามดวงอาทิตย์มีความรวดเร็ว และแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยมีรูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงาน

การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์นั้น จะใช้คอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางในการประมวลผลข้อมูลโดยโปรแกรมที่ใช้ คือ โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการรับภาพจากกล้องเว็บแคมแล้วทำการประมวลผลว่าต้องใช้เทคนิคใดในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ จากนั้นจะส่งคำสั่งออกไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างพัลส์สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อติดตามดวงอาทิตย์ต่อไป

### 3.1 การประมวลผลภาพสำหรับติดตามดวงอาทิตย์

เมื่อรับภาพจากกล้องได้แล้วภาพจะถูกประมวลผลเพื่อระบุพิกัดของดวงอาทิตย์ โดยปกติแล้วภาพที่ได้รับเข้ามาในระบบ ระบบไม่อาจรู้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้หากปราศจากการประมวลผลภาพที่ได้รับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการประมวลผลภาพด้วยวิธีต่างๆเพื่อระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในภาพให้ได้ถูกต้อง

#### 3.1.1 ฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

##### 3.1.1.1 Vision acquisition

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการเลือกอุปกรณ์รับภาพจากภายนอกเข้าสู่โปรแกรม และฟังก์ชันนี้ยังใช้ในการเลือกรูปแบบเริ่มต้นของการประมวลผลภาพอีกด้วย

##### 3.1.1.2 Vision Assistant

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการปรับแต่งภาพที่ได้รับเข้ามา โดยตัวฟังก์ชันนี้ได้รวบรวมฟังก์ชันต่างๆเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อให้สามารถปรับแต่งภาพได้อย่างง่ายดายมากยิ่งขึ้น และยังสามารถทำการจับตำแหน่งของวัตถุที่เราต้องการ และส่งออกพิกัดของวัตถุเพื่อให้ฟังก์ชันอื่นได้ประมวลผลต่อไปได้อีกด้วย

##### 3.1.1.3 IMAQ Extract Single Color Plane VI

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการแตกสีในภาพจากภาพสีต่างๆให้อยู่ระนาบเดียว

#### 3.1.2 การรับภาพจากกล้องในการติดตามดวงอาทิตย์

##### 3.1.2.1 รับภาพจากกล้อง QC E2500, V-UCV39

ใช้ในการรับภาพของดวงอาทิตย์ แล้วจึงส่งภาพที่ได้ไปยังส่วนของโปรแกรม โดยกล้องนั้นจะรับภาพที่ความละเอียด 320x240 พิกเซล ชนิด RGB ดังรูปที่ 3.2 และจะมีการนำภาพที่ได้ส่งไปยังโปรแกรมประมวลผลต่อไป



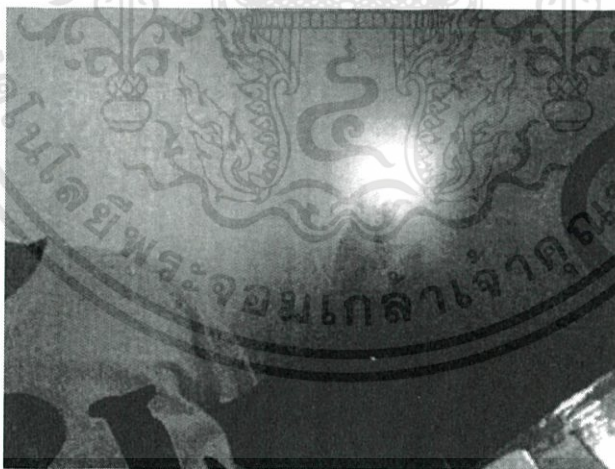
รูปที่ 3.2 กล้อง QC E2500, V-UCV39



รูปที่ 3.3 ภาพที่ยังไม่ได้ประมวลผลใดๆ

#### 3.1.2.2 กรองสีภาพด้วยฟังก์ชัน IMAQ Extract Single Color Plane VI

เมื่อรับภาพจากกล้องเว็บแคมได้แล้ว ภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมจะเป็นภาพสีชนิด RGB ซึ่งไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาพิกัดของดวงอาทิตย์ ดังนั้นจึงจึงทำการแยกแยะสีของภาพที่ได้รับ โดยเปลี่ยนสีของภาพให้อยู่ในรูปแบบของภาพขาวดำ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.4 ภาพที่ผ่านฟังก์ชัน

### 3.1.2.3 ประมวลผลภาพด้วย Vision Assistant

หลังจากทำการเปลี่ยนภาพให้เป็นภาพขาวดำแล้ว จะประมวลผลภาพด้วยการเพิ่มความแยกชัดเพื่อให้สามารถระบุพิกัดของดวงอาทิตย์ได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 ภาพที่ผ่านการประมวลผลแล้ว

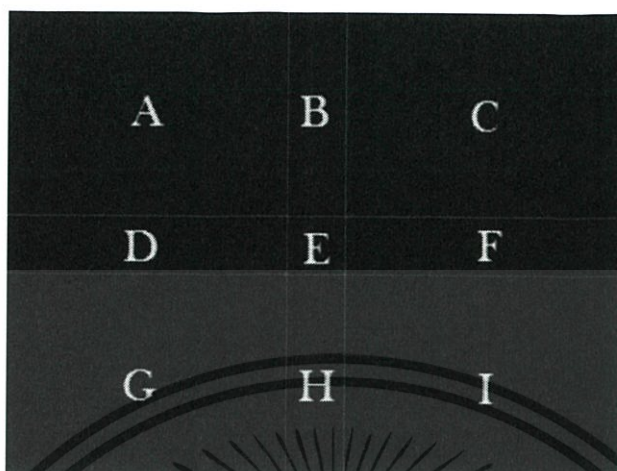
จากนั้นทำการติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Geometric matching โดยโปรแกรมนี้จะทำการติดตามจุดที่มีแสงเหมือนอย่างดวงอาทิตย์โดยอัตโนมัติพร้อมกับระบุพิกัดของแสงออกมาเป็นตัวเลขให้อีกด้วย

#### 3.1.3 โซนในการวิเคราะห์ตำแหน่งดวงอาทิตย์

หลังจากได้พิกัดของตำแหน่งดวงอาทิตย์แล้ว จะทำการเปลี่ยนจากพิกัดดังกล่าวให้อยู่ในโซนต่างๆดังนี้

|                   |                 |   |                 |
|-------------------|-----------------|---|-----------------|
| โซน A คือ พื้นที่ | $0 < x < 145$   | ; | $0 < y < 105$   |
| โซน B คือ พื้นที่ | $145 < x < 175$ | ; | $0 < y < 105$   |
| โซน C คือ พื้นที่ | $175 < x < 320$ | ; | $0 < y < 105$   |
| โซน D คือ พื้นที่ | $0 < x < 145$   | ; | $105 < y < 135$ |
| โซน E คือ พื้นที่ | $145 < x < 175$ | ; | $105 < y < 135$ |
| โซน F คือ พื้นที่ | $175 < x < 320$ | ; | $105 < y < 135$ |
| โซน G คือ พื้นที่ | $0 < x < 145$   | ; | $135 < y < 240$ |
| โซน H คือ พื้นที่ | $145 < x < 175$ | ; | $135 < y < 240$ |
| โซน I คือ พื้นที่ | $175 < x < 320$ | ; | $135 < y < 240$ |

ซึ่งเมื่อแบ่งดังที่กล่าวจะได้โซนต่างๆดังนี้



รูปที่ 3.6 โซนในการส่งข้อมูล

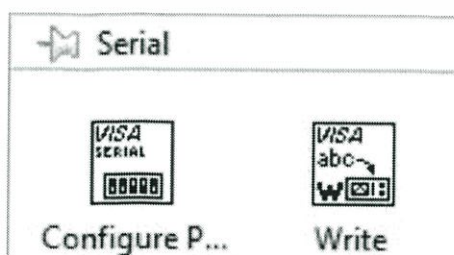
### 3.1.4 การคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์

ในกรณีที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากกล้องได้ โปรแกรมประมวลผล จะทำการเปลี่ยนวิธีการในการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์มาใช้วิธีการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากการคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อเป็นการชดเชยในกรณีที่ไม่สามารถ ระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากกล้องได้

## 3.2 การส่งข้อมูลพิกัดดวงอาทิตย์

ในการส่งข้อมูลให้ตัวขับเซอร์โวมอเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นแบ่งออกเป็น สองกรณี คือกรณีที่สามารรับแสงจากดวงอาทิตย์ได้และกรณีที่สามารรับแสงจากดวงอาทิตย์ได้ โดยการส่งข้อมูลจะส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรมซึ่งเป็นการส่งข้อมูลที่ละบิต โดยโปรแกรมนี้อาจจะส่งเป็น ข้อมูลตัวอักษร ตัวละ 8 บิต

### 3.2.1 ฟังก์ชันที่ใช้ในการส่งข้อมูล



รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันในการส่งออกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.1 VISA Configure Serial Port VI

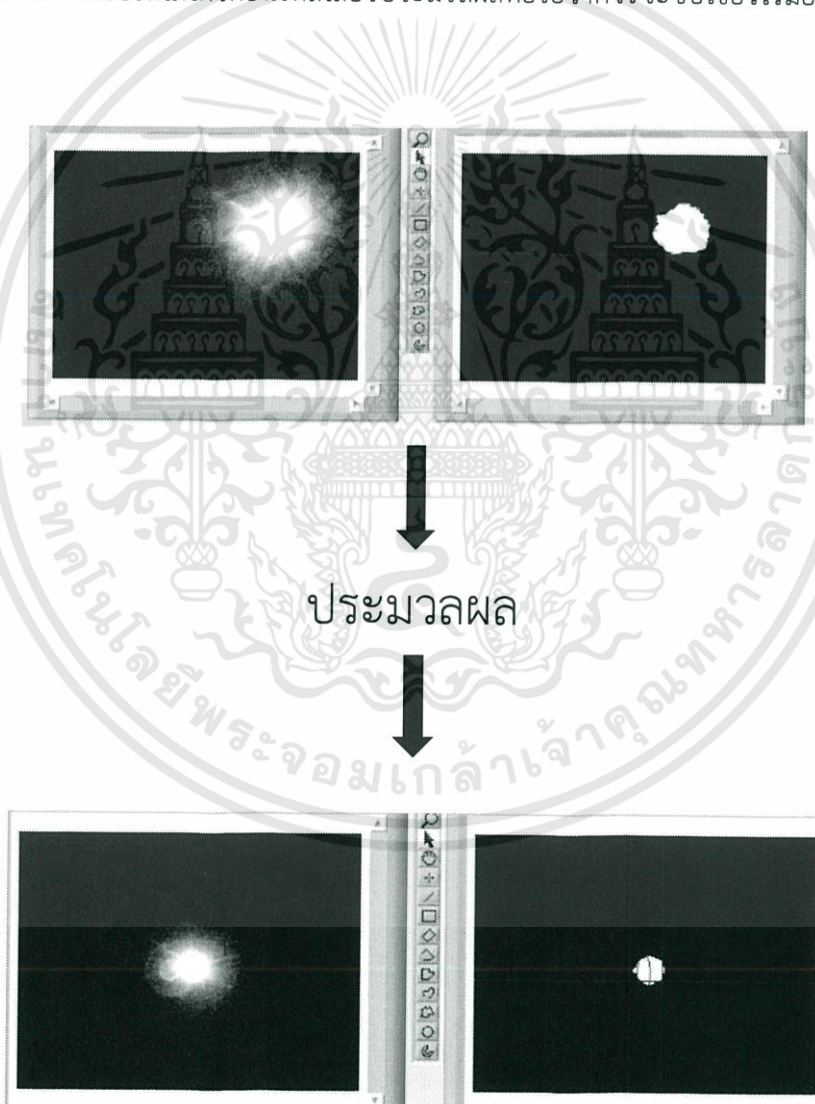
เป็นฟังก์ชันในการตั้งค่าเริ่มต้นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดยการใช้งานต้องตั้งค่าชื่อจำนวนบิตที่จะส่ง และบอร์ดเรตของข้อมูล

### 3.2.1.2 VISA Write Function

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการส่งข้อมูลออกจากโปรแกรมโดยจะส่งข้อมูลออกตามค่าที่ตั้งไว้ใน VISA Configure Serial Port VI

### 3.2.2 การส่งข้อมูลในกรณีที่สามารถรับแสงได้

ในกรณีที่รับแสงได้โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าขณะนี้ดวงอาทิตย์อยู่ในโซนใด โดยจะส่งเป็นตัวอักษรไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลต่อไปว่าควรจะขับเซอร์โวมอเตอร์ไปในทิศทางใด

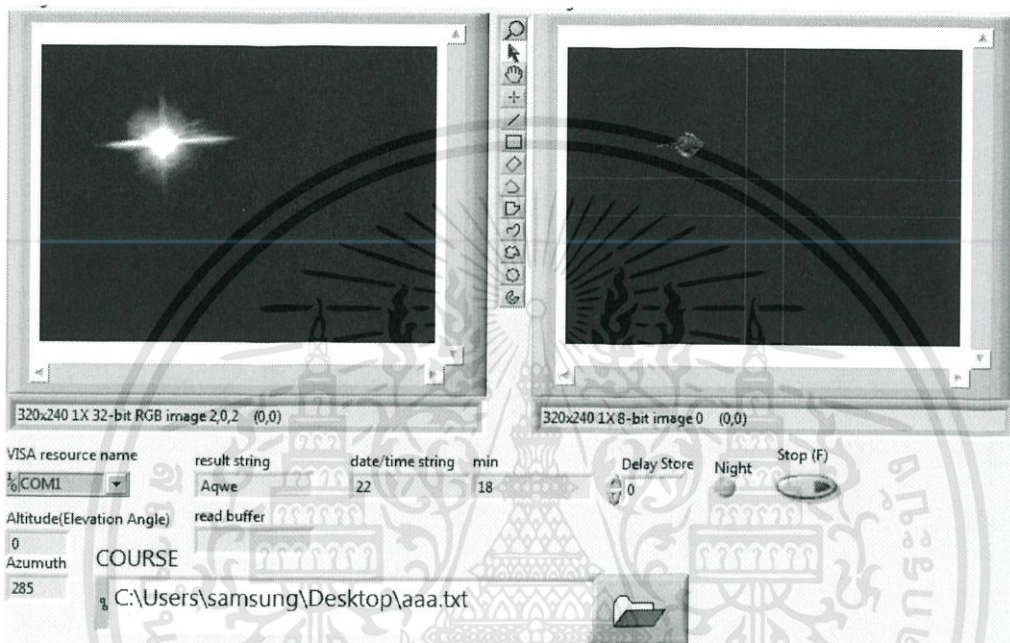


รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานในกรณีที่รับแสงได้

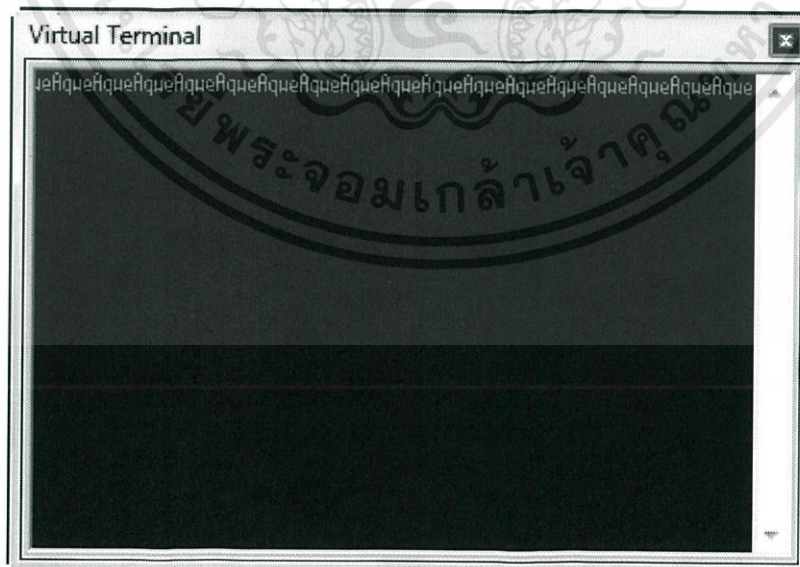
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการส่งข้อมูลออกจากโปรแกรมประมวลผล โดยใช้ไฟฉายแทนแสงของดวงอาทิตย์ และเมื่อแสงของไฟฉายปรากฏขึ้นมาอยู่ในโซนใดๆ โปรแกรมประมวลผลจะทำการส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ของโซนที่แสงของไฟฉายปรากฏขึ้น เพื่อป้องกันว่าวัตถุนั้นอยู่บนตำแหน่งโซนไหน และทำการส่งสัญลักษณ์ของโซนไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อนำสัญลักษณ์ของโซนที่แสงของไฟฉายปรากฏขึ้นนั้นไปขับเซอร์โวมอเตอร์ต่อไป โดยข้อมูลที่ส่งออกจากโปรแกรมประมวลผลในโซนต่างๆจะได้ดังรูปต่อไปนี้

โซน A



รูปที่ 3.9 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน A

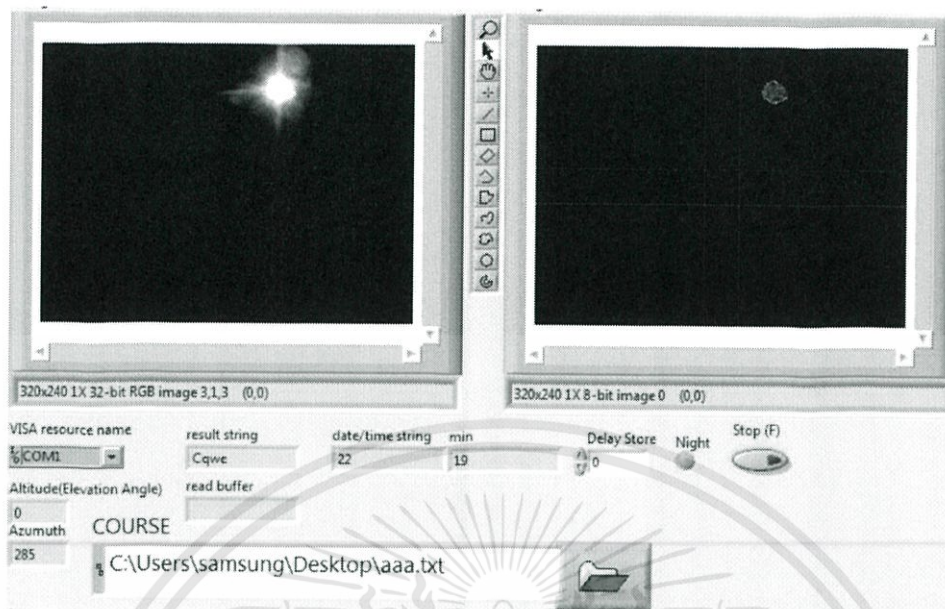


รูปที่ 3.10 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Aqwe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## โซน C



รูปที่ 3.13 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน C

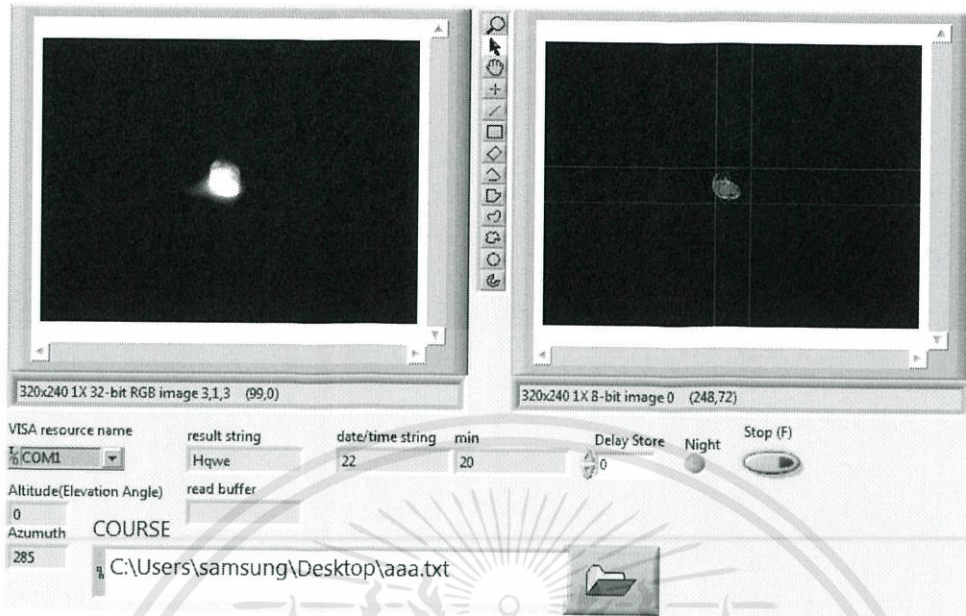


รูปที่ 3.14 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Cqwe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## โซน E



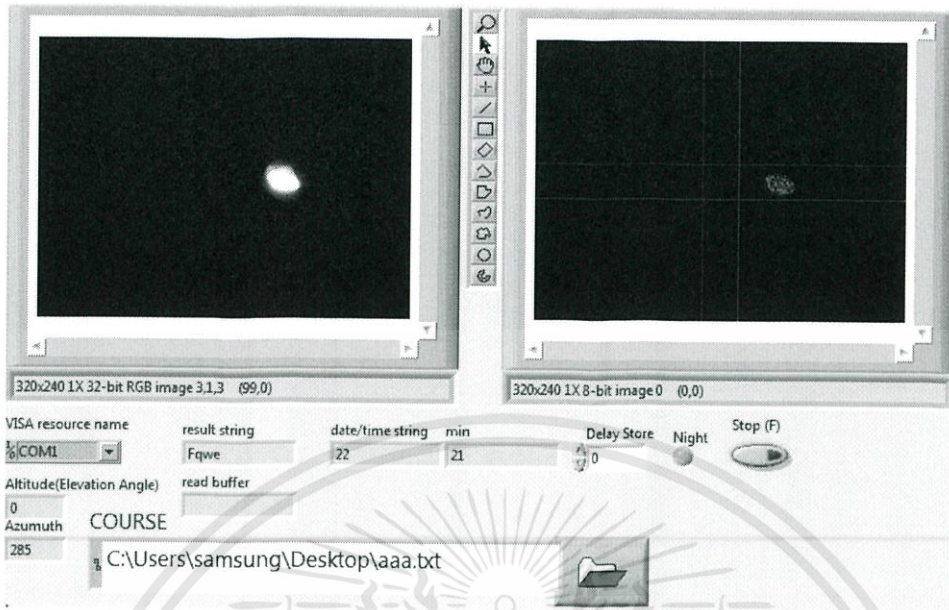
รูปที่ 17 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน E



รูปที่ 3.18 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Eqwe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โซน F



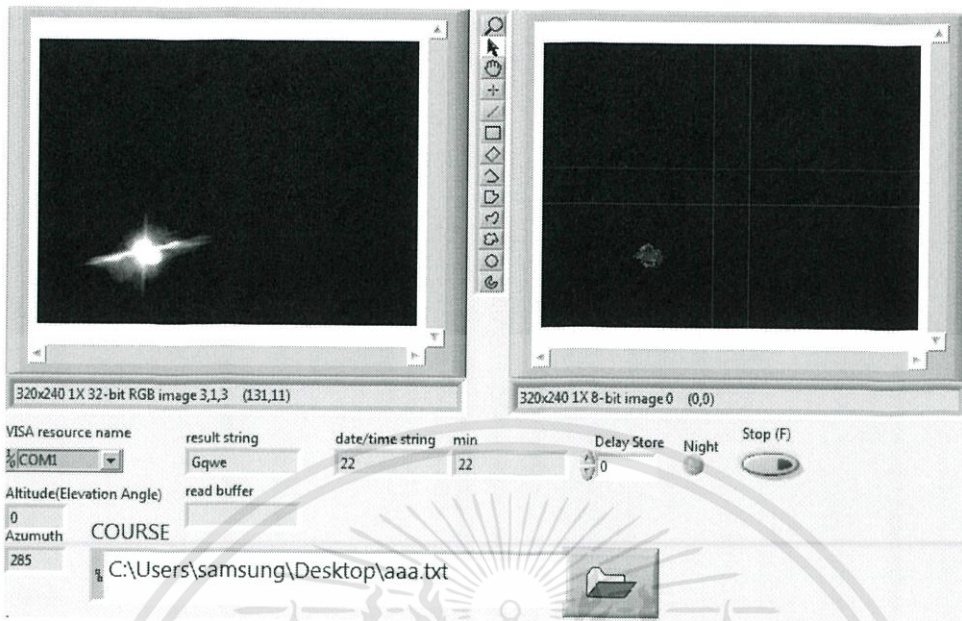
รูปที่ 3.19 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน F



รูปที่ 3.20 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Fqwe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โชน G



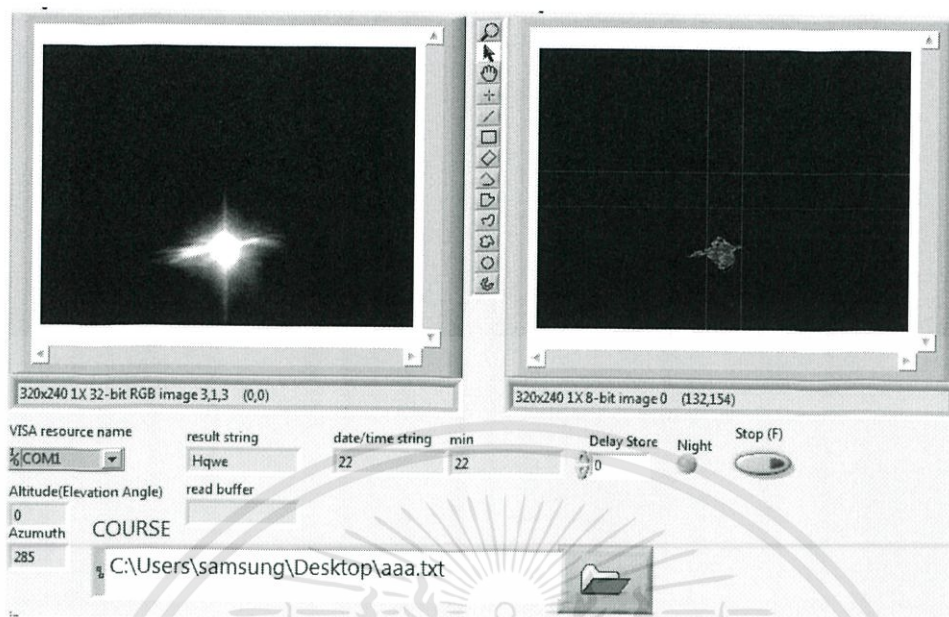
รูปที่ 3.21 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโชน G



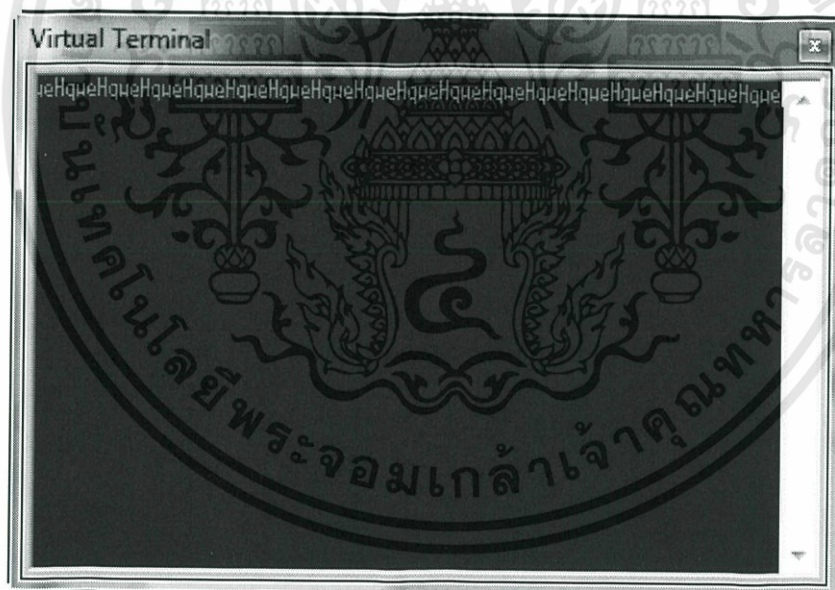
รูปที่ 3.22 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Gqwe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โซน H



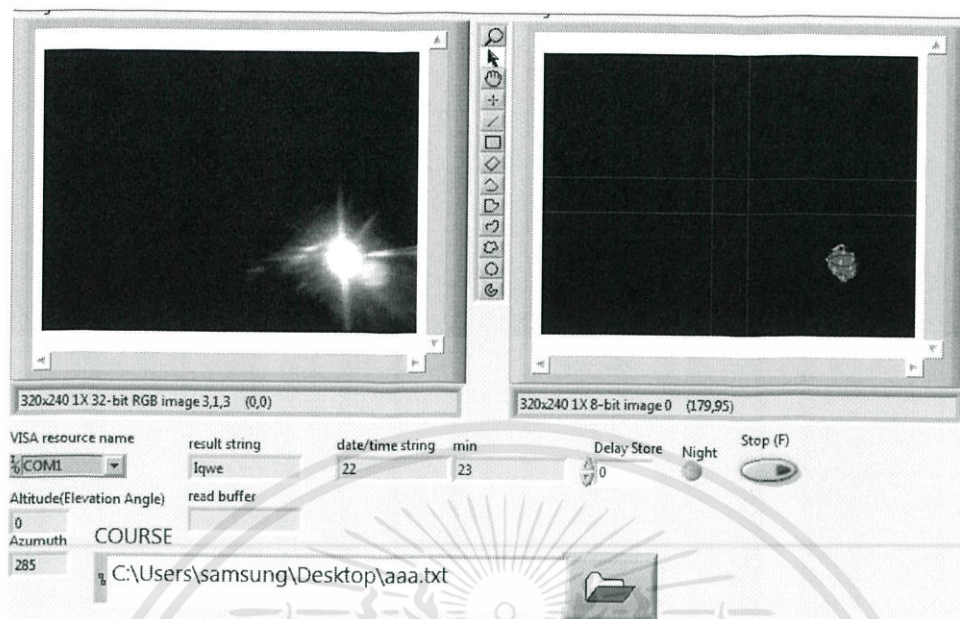
รูปที่ 3.23 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน H



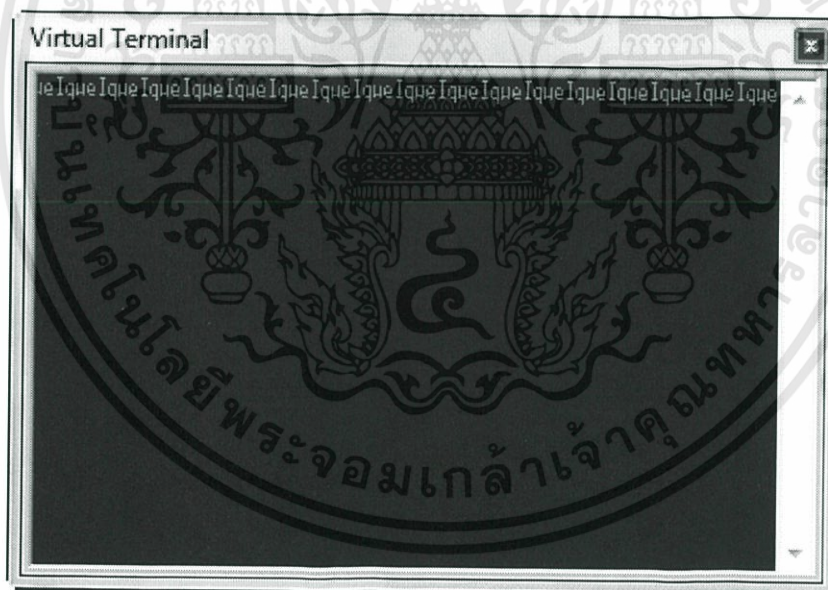
รูปที่ 3.24 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Hqwe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซน 1



รูปที่ 3.25 โปรแกรมตรวจจับแสงที่ปรากฏในโซน 1



รูปที่ 3.26 โปรแกรมประมวลผลส่งสัญลักษณ์เป็น Iqwe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การส่งข้อมูลในกรณีที่ไม่สามารถรับแสงได้

ในกรณีที่กล้องไม่สามารถรับแสงของดวงอาทิตย์ได้โปรแกรมประมวลผลจะทำการคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่า มุมอะซิมุม และมุมอีเลเวชัน ในการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามเวลาจริง แล้วจึงส่งข้อมูลดังกล่าวไปขับเซอร์โวมอเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3.27 ขั้นตอนการทำงานในกรณีที่รับแสงไม่ได้

จากการทดสอบการส่งข้อมูลออกจากโปรแกรมประมวลผล โดยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้ในการส่งข้อมูลตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากการคำนวณนั้นแตกต่างจากการส่งข้อมูลของส่วนติดตามด้วยแสงอาทิตย์ โดยข้อมูลที่ได้จากการคำนวณนั้นจะส่งไปยัง ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในรูปของค่ามุม Azimuth และมุม Altitude เพื่อนำไปขับเซอร์โวมอเตอร์ต่อไป โดยข้อมูลที่ส่งไปจะเป็นดังรูปต่อไปนี้

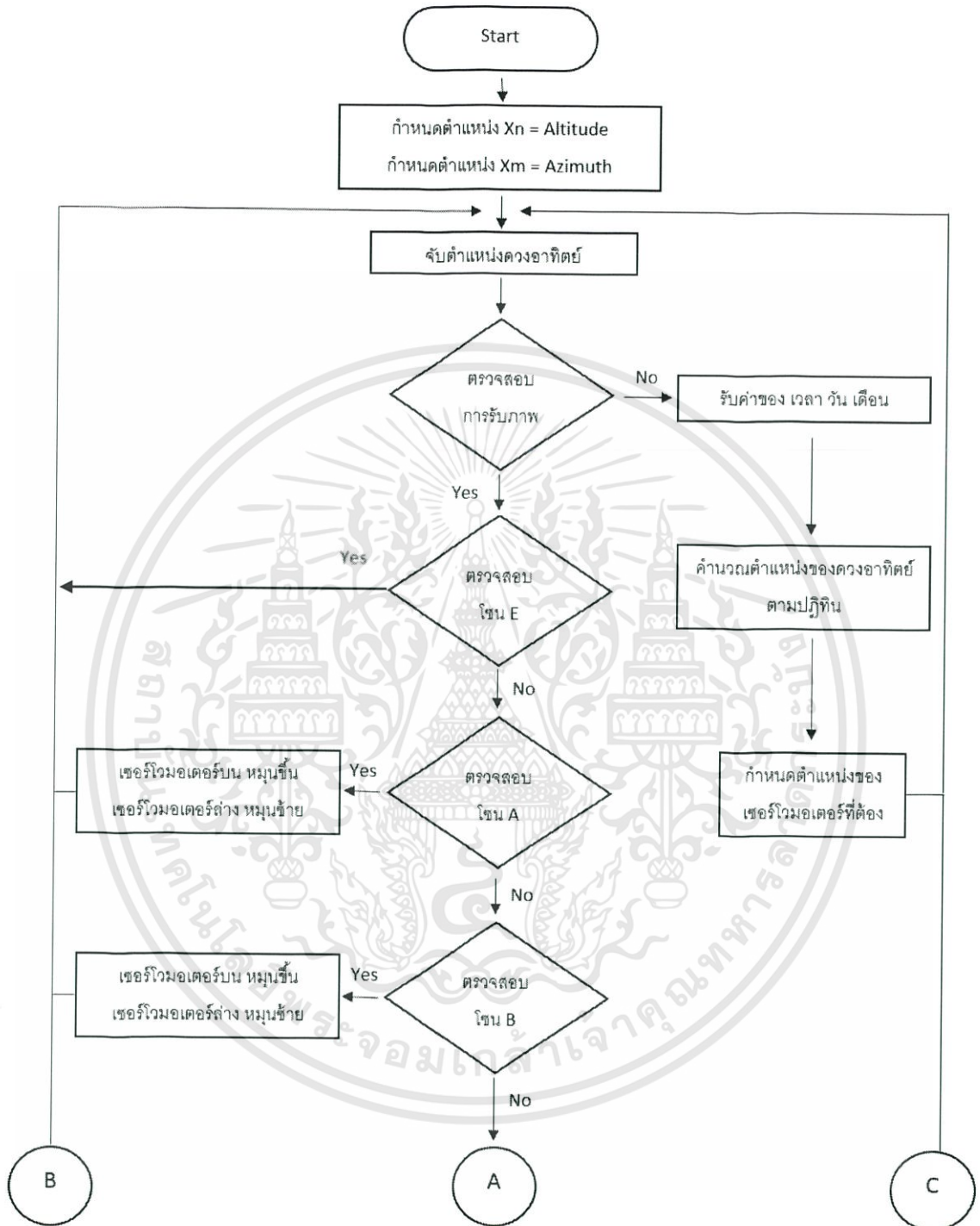


### 3.3 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์

หลังจากการทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลภาพจะถูกนำไปประมวลผลว่าการทำงานควรอยู่ในโหมดการทำงานไหน แล้วจึงส่งข้อมูลที่ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปเขียนโปรแกรมเพื่อนำไปควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์ต่อไป

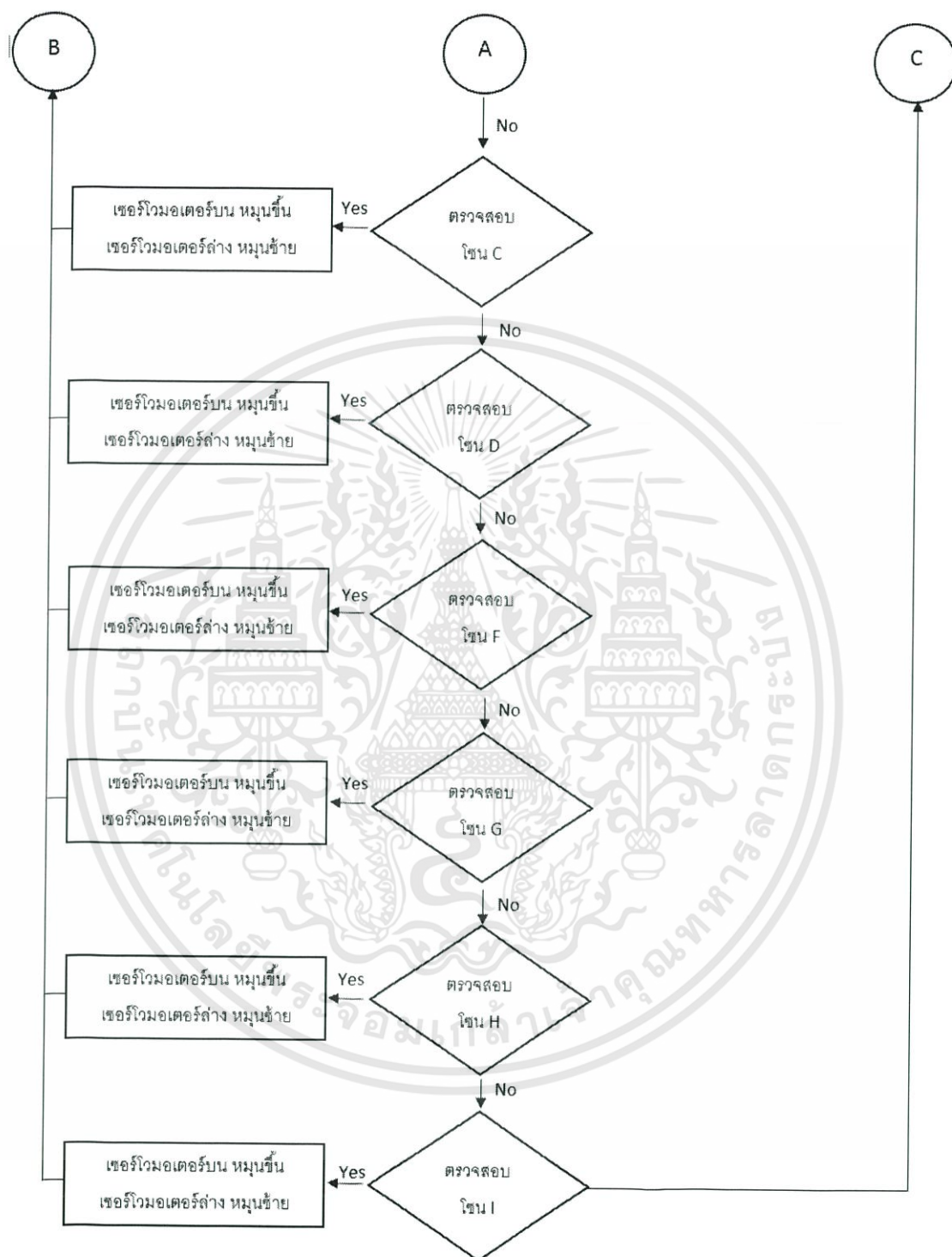
โดยในปริญาณิพนธ์เล่มนี้ ได้เขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม MikroC Pro for PIC ซึ่งต้องใช้ ภาษา C ในการเขียนโปรแกรมเพื่อนำไปควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประมวลผลดังรูป





รูปที่ 3.30 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

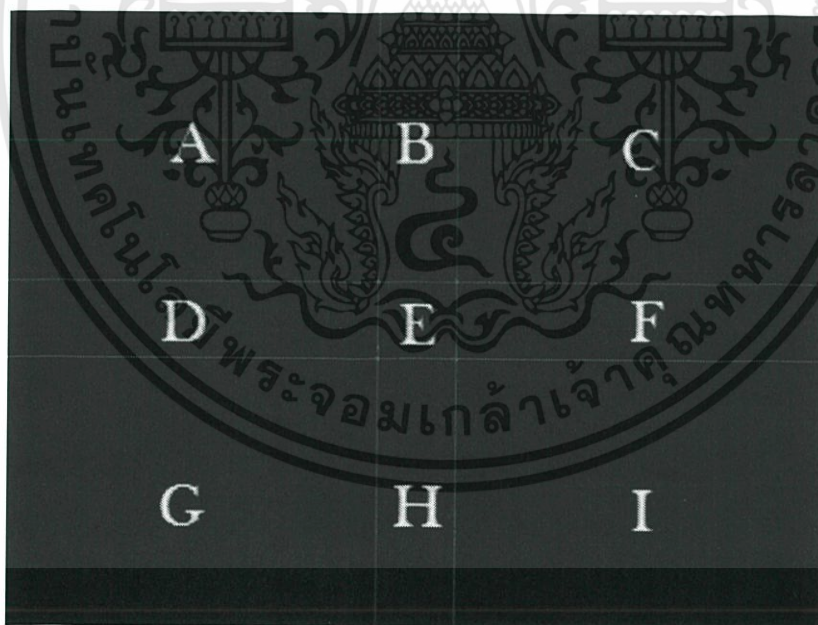
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้ เราได้มีการนำมาทดสอบประสิทธิภาพก่อนนำไปใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์จริง ซึ่งในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบติดตามดวงอาทิตย์ เราได้แบ่งระบบติดตามออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ 1.การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยการรับแสง 2.การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยกระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ 3.นำระบบติดตามดวงอาทิตย์ไปทดสอบติดตามดวงอาทิตย์จริง

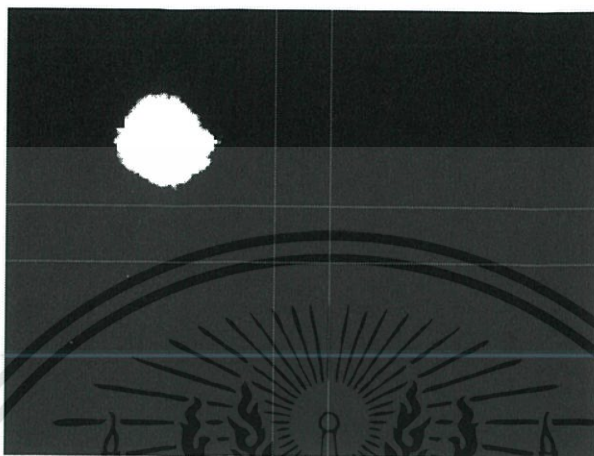
#### 4.1 การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยการรับแสง

ในการจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยการรับแสงนี้ เราได้จำลองแสงอาทิตย์ด้วยไฟฉายขนาดเล็ก เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเปรียบเสมือนกับเป็นแสงของดวงอาทิตย์ โดยจากหลักการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ เราได้แบ่งโซนการรับแสงออกเป็น 9 โซนด้วยกัน คือ โซน A โซน B โซน C โซน D โซน E โซน F โซน G โซน H โซน I ดังนั้นเราจึงมีการจำลองให้แสงปรากฏอยู่ทั้งหมด 9 โซนด้วยกัน



รูปที่ 4.1 โซนในการส่งข้อมูล

กรณี : แสงปรากฏอยู่ในโซน A



รูปที่ 4.2 ดวงอาทิตย์ในโซน A

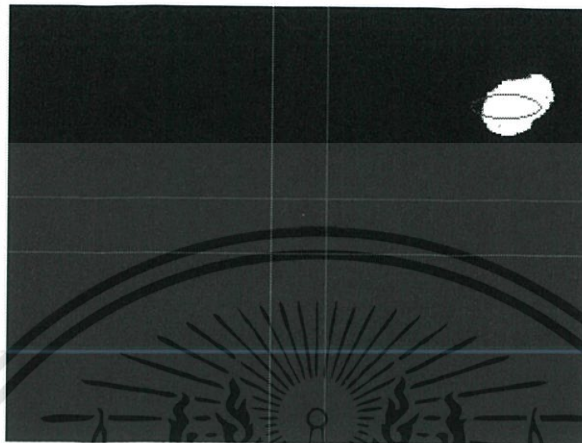
กรณี : แสงปรากฏอยู่ในโซน B



รูปที่ 4.3 ดวงอาทิตย์ในโซน B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี : แสงปรากฏอยู่ในโซน C



รูปที่ 4.4 ดวงอาทิตย์ในโซน C

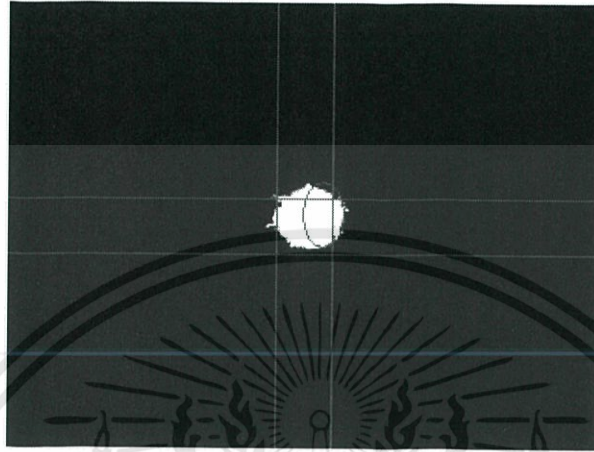
กรณี : แสงปรากฏอยู่ในโซน D



รูปที่ 4.5 ดวงอาทิตย์ในโซน D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี : แสงปรากฏอยู่ในโซน E



รูปที่ 4.6 ดวงอาทิตย์ในโซน E

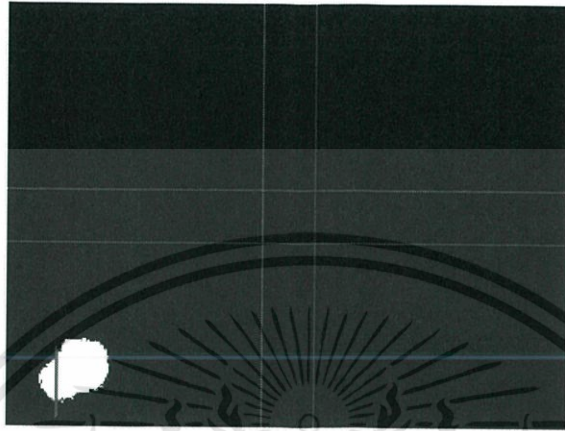
กรณี : แสงปรากฏอยู่ในโซน F



รูปที่ 4.7 ดวงอาทิตย์ในโซน F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี : แสงปรากฏอยู่ในโซน G



รูปที่ 4.8 ดวงอาทิตย์ในโซน G

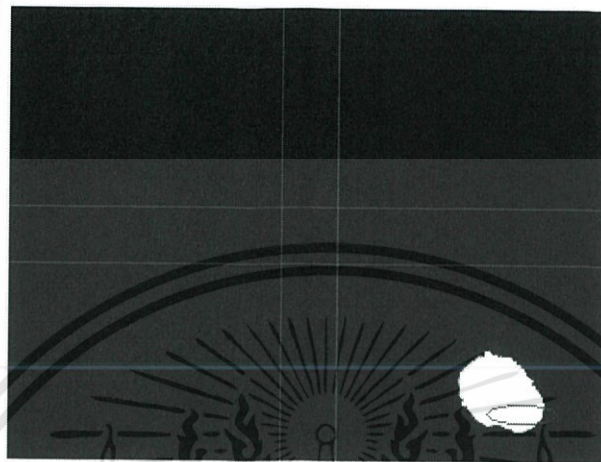
กรณี : แสงปรากฏอยู่ในโซน H



รูปที่ 4.9 ดวงอาทิตย์ในโซน H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

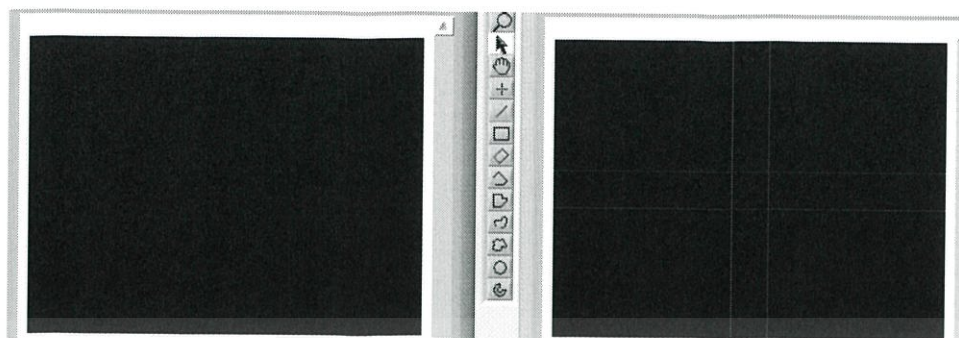
กรณี : แสงปรากฏอยู่ในโซน I



รูปที่ 4.10 ดวงอาทิตย์ในโซน I

#### 4.2 การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยกระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์

การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์นี้ เราได้จำลองให้แสงของไฟฉายที่เสมือนกับแสงของดวงอาทิตย์นั้นอยู่ในตำแหน่งของดวงอาทิตย์จริง และทำการตั้งตำแหน่งเริ่มต้นของการทำงานในระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้หันกล้องเว็บแคมไปในทิศทางอื่นที่ไม่สามารถจับภาพแสงของไฟฉายได้ เพื่อเป็นการทดสอบว่า ระบบประมวลผลทางคณิตศาสตร์มีความแม่นยำเพียงใด



ส่งตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากการ  
คำนวณไปยังเซอไวมอเตอร์



รูปที่ 4.11 การจำลองการติดตามดวงอาทิตย์ด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์

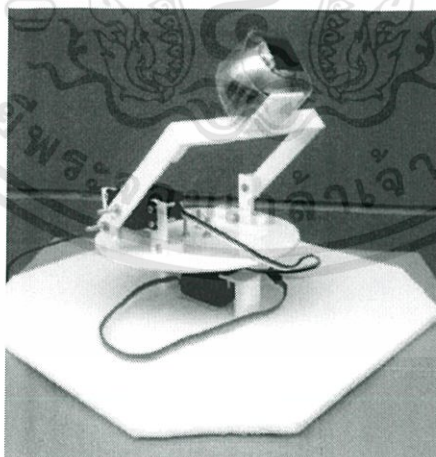
#### 4.3 นำระบบติดตามดวงอาทิตย์ไปทดสอบติดตามดวงอาทิตย์จริง

การทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ เราจะต้องเลือกสถานที่ทำการทดสอบที่โปร่ง ไม่มี  
ตึก บ้านเรือน หรือสิ่งก่อสร้างมาบดบังเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ดังนั้น การทดสอบระบบ  
ติดตามดวงอาทิตย์ในครั้งนี้ เราได้เลือกตึก CCA เป็นสถานที่ทำการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์



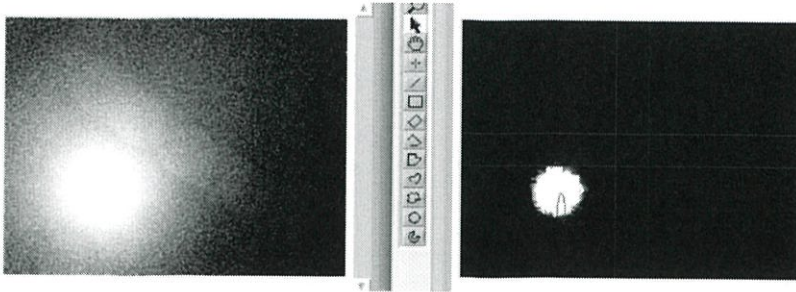
รูปที่ 4.12 สถานที่ทำการทดสอบ ( ตึก CCA )

การทดลองติดตามแสงของดวงอาทิตย์นี้เราได้มีการเก็บผลของการทดลอง โดยเก็บผลตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏขึ้นมาในภาพ และได้มีการเก็บผลการทดสอบทุกๆ 30 นาที โดยเริ่มทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. ซึ่งในทุกๆ 30 นาทีจะมีการเริ่มต้นด้วยโหมดของการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยทำการบังตัวเลนส์ของกล้องเพื่อให้กล้องไม่สามารถรับแสงของดวงอาทิตย์ได้ จากนั้นเมื่อโปรแกรมสามารถจับภาพของดวงอาทิตย์ได้แล้วจึงเปลี่ยนไปสู่โหมดของการติดตามแสงของดวงอาทิตย์ต่อไป

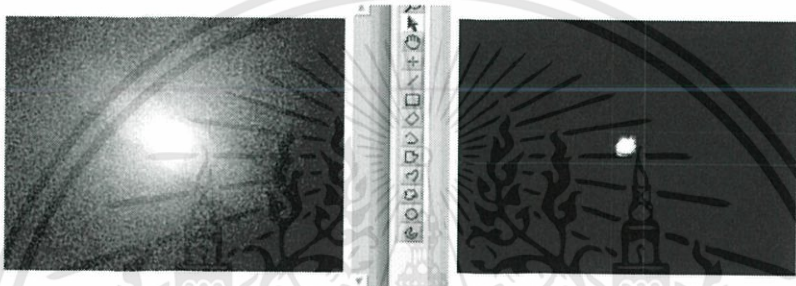


รูปที่ 4.13 เครื่องจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



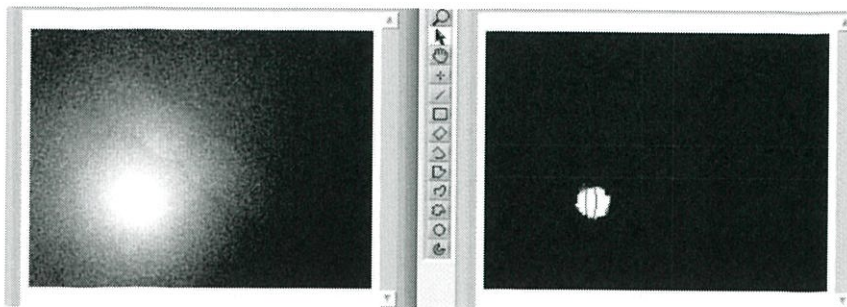
รูปที่ 4.14 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 11.00 น.



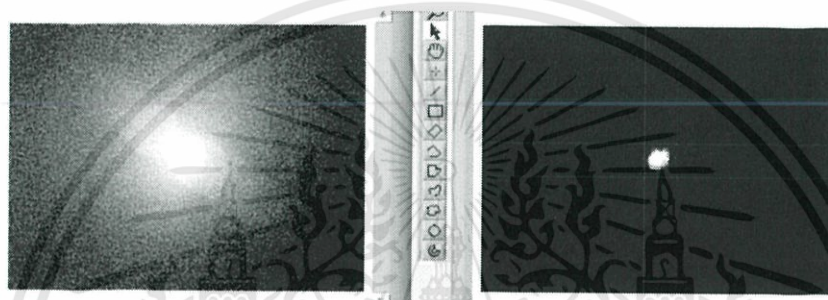
รูปที่ 4.15 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 11.00 น.

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 11.00 - 11.30 น.

| TIME  | Experiment |         | Calculate |         |
|-------|------------|---------|-----------|---------|
|       | Altitude   | Azimuth | Altitude  | Azimuth |
| 11:00 | 53.1       | 108.9   | 58.4      | 134.1   |
| 11:02 | 58.5       | 110.7   | 58.8      | 134.8   |
| 11:04 | 59.4       | 108.9   | 59.1      | 135.4   |
| 11:06 | 60.3       | 115.2   | 59.5      | 136.1   |
| 11:08 | 58.5       | 108.9   | 59.8      | 136.8   |
| 11:10 | 58.5       | 136.8   | 60.1      | 137.6   |
| 11:12 | 51.3       | 113.4   | 60.4      | 138.3   |
| 11:14 | 60.3       | 139.5   | 60.7      | 139.1   |
| 11:16 | 60.3       | 140.4   | 61.0      | 139.9   |
| 11:18 | 51.3       | 121.5   | 61.4      | 140.7   |
| 11:20 | 61.2       | 142.2   | 61.7      | 141.5   |
| 11:22 | 61.2       | 143.1   | 62.0      | 142.3   |
| 11:24 | 62.1       | 143.1   | 62.3      | 143.2   |
| 11:26 | 62.1       | 144.0   | 62.5      | 144.0   |
| 11:28 | 62.1       | 145.8   | 62.8      | 144.9   |
| 11:30 | 62.1       | 63.1    | 146.7     | 145.8   |



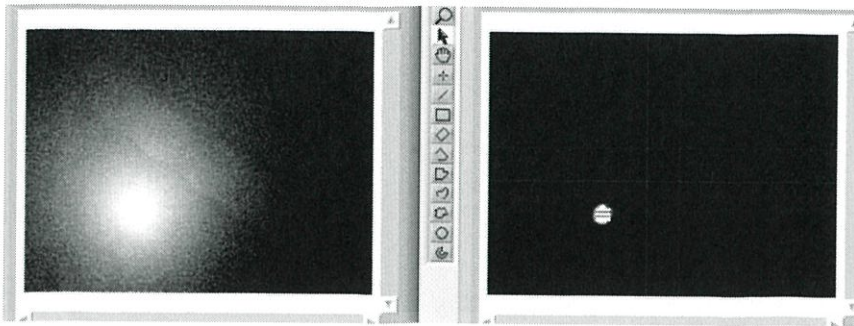
รูปที่ 4.16 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 11.30 น.



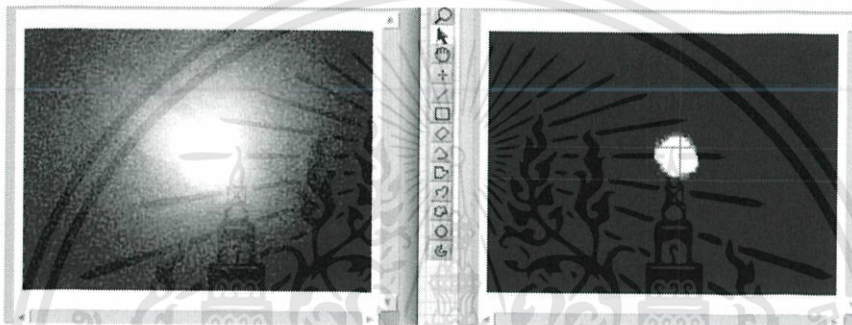
รูปที่ 4.17 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 11.30 น.

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 11.30 - 12.00 น.

| TIME  | Experiment |         | Calculate |         |
|-------|------------|---------|-----------|---------|
|       | Altitude   | Azimuth | Altitude  | Azimuth |
| 11:30 | 62.1       | 146.7   | 63.1      | 145.8   |
| 11:32 | 63.9       | 151.2   | 63.4      | 146.7   |
| 11:34 | 64.8       | 150.3   | 63.7      | 147.7   |
| 11:36 | 64.8       | 151.2   | 63.9      | 148.6   |
| 11:38 | 64.8       | 149.4   | 64.1      | 149.6   |
| 11:40 | 65.7       | 158.4   | 64.4      | 150.6   |
| 11:42 | 57.6       | 122.4   | 64.6      | 151.6   |
| 11:44 | 64.8       | 153.0   | 64.8      | 152.6   |
| 11:46 | 64.8       | 154.8   | 65.1      | 153.7   |
| 11:48 | 65.7       | 155.7   | 65.3      | 154.7   |
| 11:50 | 65.7       | 156.6   | 65.5      | 155.8   |
| 11:52 | 57.6       | 136.8   | 65.7      | 156.9   |
| 11:54 | 57.6       | 132.3   | 65.9      | 158.0   |
| 11:56 | 56.7       | 135.9   | 66.0      | 159.2   |
| 11:58 | 55.8       | 141.3   | 66.26     | 160.3   |
| 12:00 | 59.4       | 144.9   | 66.41     | 161.5   |



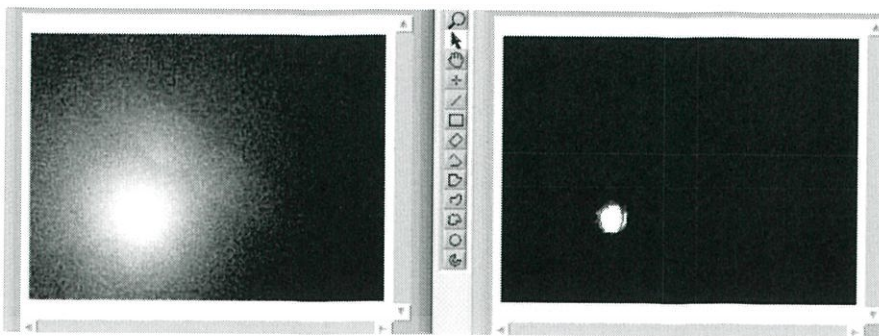
รูปที่ 4.18 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 13.00 น.



รูปที่ 4.19 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 13.00 น.

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 13.00 – 13.30 น.

| TIME  | Experiment |         | Calculate |         |
|-------|------------|---------|-----------|---------|
|       | Altitude   | Azimuth | Altitude  | Azimuth |
| 13:00 | 66.6       | 198.0   | 66.3      | 199.0   |
| 13:02 | 61.2       | 188.1   | 66.1      | 200.1   |
| 13:04 | 57.6       | 172.8   | 66.0      | 201.3   |
| 13:06 | 57.6       | 175.5   | 65.8      | 202.4   |
| 13:08 | 56.7       | 178.2   | 65.6      | 203.5   |
| 13:10 | 56.7       | 178.2   | 65.4      | 204.6   |
| 13:12 | 57.6       | 178.2   | 65.2      | 205.7   |
| 13:14 | 63.0       | 198.9   | 65.0      | 206.8   |
| 13:16 | 64.8       | 207.0   | 64.7      | 207.8   |
| 13:18 | 55.8       | 187.2   | 64.5      | 208.8   |
| 13:20 | 55.8       | 192.6   | 64.3      | 209.8   |
| 13:22 | 54.9       | 183.6   | 64.1      | 210.8   |
| 13:24 | 54.9       | 197.1   | 63.8      | 211.7   |
| 13:26 | 54.9       | 189.0   | 63.5      | 212.7   |
| 13:28 | 57.6       | 189.9   | 63.3      | 213.6   |
| 13:30 | 53.1       | 193.5   | 63.0      | 214.5   |



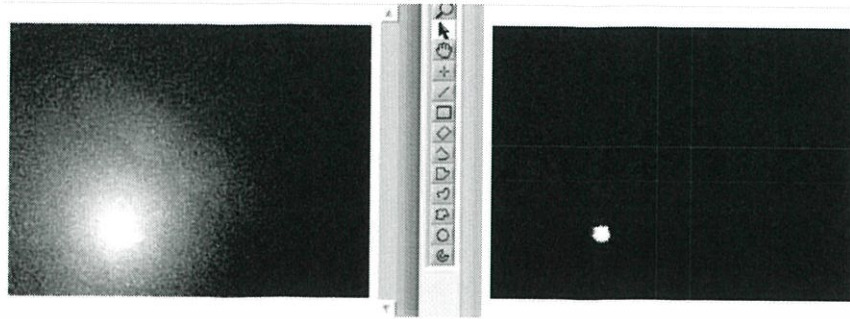
รูปที่ 4.20 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 13.30 น.



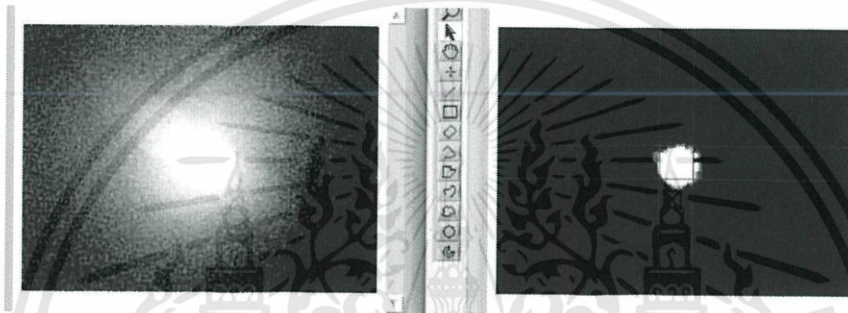
รูปที่ 4.21 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 13.30 น.

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 13.30 - 14.00 น.

| TIME  | Experiment |         | Calculate |         |
|-------|------------|---------|-----------|---------|
|       | Altitude   | Azimuth | Altitude  | Azimuth |
| 13:00 | 66.6       | 198.0   | 66.3      | 199.0   |
| 13:32 | 54.9       | 191.7   | 62.7      | 215.4   |
| 13:34 | 52.2       | 198.9   | 62.4      | 216.3   |
| 13:36 | 53.1       | 195.3   | 62.1      | 217.1   |
| 13:38 | 51.3       | 191.7   | 61.8      | 218     |
| 13:40 | 61.2       | 217.8   | 61.6      | 218.8   |
| 13:42 | 51.3       | 198.0   | 61.2      | 219.6   |
| 13:44 | 52.2       | 201.6   | 60.9      | 220.4   |
| 13:46 | 50.4       | 196.2   | 60.6      | 221.2   |
| 13:48 | 60.3       | 220.5   | 60.3      | 221.9   |
| 13:50 | 59.4       | 221.4   | 59.9      | 222.6   |
| 13:52 | 53.1       | 205.2   | 58.6      | 223.4   |
| 13:54 | 49.5       | 198.9   | 59.3      | 224.1   |
| 13:56 | 48.6       | 198.9   | 58.9      | 224.8   |
| 13:58 | 50.4       | 202.5   | 58.6      | 225.5   |
| 14:00 | 49.5       | 211.5   | 58.2      | 226.1   |



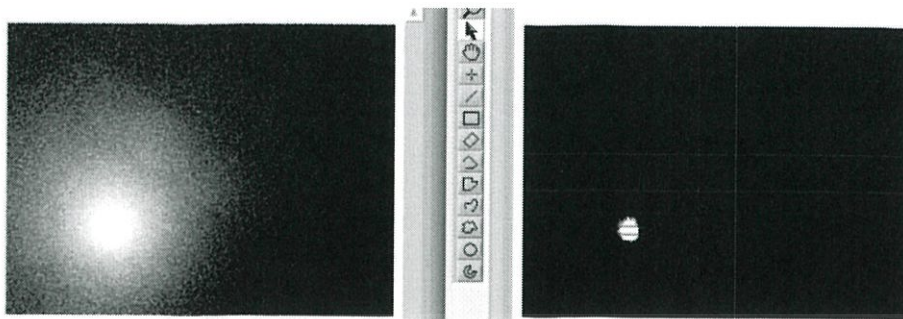
รูปที่ 4.22 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 14.00 น.



รูปที่ 4.23 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 14.00 น.

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 14.00 – 14.30 น.

| TIME  | Experiment |         | Calculate |         |
|-------|------------|---------|-----------|---------|
|       | Altitude   | Azimuth | Altitude  | Azimuth |
| 14:00 | 49.5       | 211.5   | 58.2      | 226.1   |
| 14:02 | 58.5       | 225.9   | 57.9      | 226.8   |
| 14:04 | 49.5       | 215.1   | 57.5      | 227.4   |
| 14:06 | 47.7       | 206.1   | 57.2      | 228.0   |
| 14:08 | 45.9       | 207.0   | 56.8      | 228.6   |
| 14:10 | 45.9       | 207.0   | 56.4      | 229.2   |
| 14:12 | 45.9       | 206.1   | 56.1      | 229.8   |
| 14:14 | 45.9       | 205.2   | 55.7      | 230.4   |
| 14:16 | 43.2       | 207.9   | 55.3      | 231.0   |
| 14:18 | 49.5       | 217.8   | 54.9      | 231.5   |
| 14:20 | 42.3       | 210.6   | 54.5      | 232.0   |
| 14:22 | 41.4       | 223.2   | 54.2      | 232.6   |
| 14:24 | 42.3       | 218.7   | 53.8      | 233.1   |
| 14:26 | 41.4       | 216.9   | 53.4      | 233.6   |
| 14:28 | 41.4       | 222.3   | 53.0      | 234.1   |
| 14:30 | 45.9       | 221.4   | 52.6      | 234.6   |



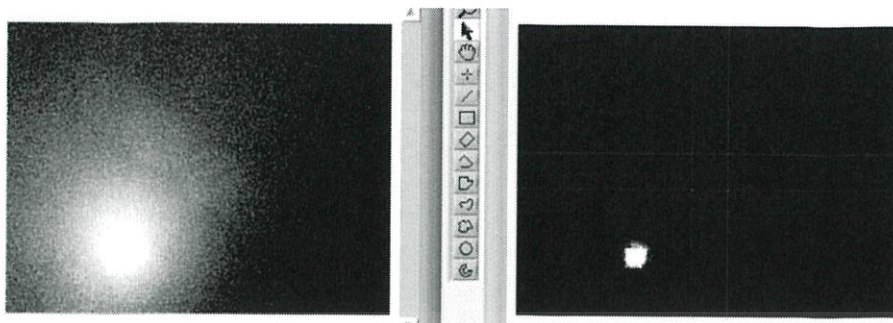
รูปที่ 4.24 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 14.30 น.



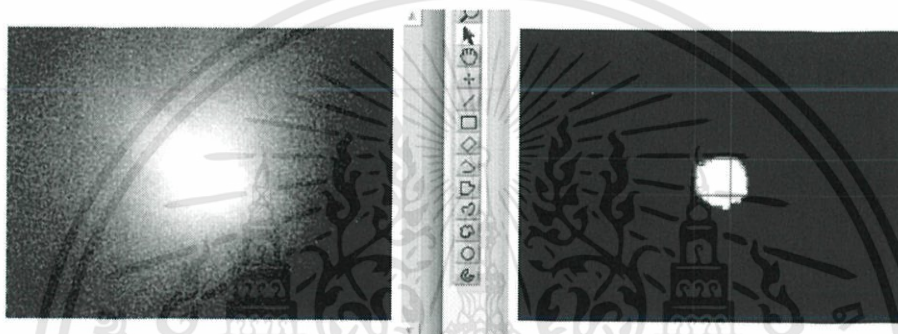
รูปที่ 4.25 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 14.30 น.

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 14.30 – 15.00 น.

| TIME  | Experiment |         | Calculate |         |
|-------|------------|---------|-----------|---------|
|       | Altitude   | Azimuth | Altitude  | Azimuth |
| 14:30 | 45.9       | 221.4   | 52.6      | 234.6   |
| 14:32 | 41.4       | 214.2   | 52.2      | 235.1   |
| 14:34 | 38.7       | 217.8   | 51.8      | 235.6   |
| 14:36 | 39.6       | 216.0   | 51.4      | 236.0   |
| 14:38 | 41.4       | 225.0   | 51.0      | 236.4   |
| 14:40 | 50.4       | 235.8   | 50.6      | 236.9   |
| 14:42 | 50.4       | 236.7   | 50.2      | 237.3   |
| 14:44 | 50.4       | 236.7   | 49.8      | 237.8   |
| 14:46 | 49.5       | 236.7   | 49.4      | 238.2   |
| 14:48 | 49.5       | 237.6   | 48.9      | 238.6   |
| 14:50 | 48.6       | 237.6   | 48.5      | 239.0   |
| 14:52 | 48.6       | 237.6   | 48.1      | 239.4   |
| 14:54 | 48.6       | 238.5   | 47.7      | 239.7   |
| 14:56 | 36.9       | 222.3   | 47.3      | 240.1   |
| 14:58 | 37.8       | 215.1   | 46.8      | 240.5   |
| 15:00 | 36.0       | 219.6   | 46.4      | 240.9   |



รูปที่ 4.26 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 15.00 น.

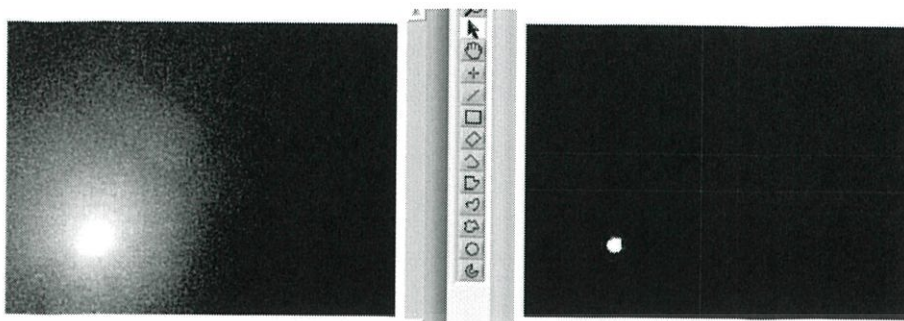


รูปที่ 4.27 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 15.00 น.

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 15.00 – 15.30 น.

| TIME  | Experiment |         | Calculate |         |
|-------|------------|---------|-----------|---------|
|       | Altitude   | Azimuth | Altitude  | Azimuth |
| 15:00 | 36.0       | 219.6   | 46.4      | 240.9   |
| 15:02 | 42.3       | 230.4   | 46.0      | 241.2   |
| 15:04 | 34.2       | 216.9   | 45.6      | 241.6   |
| 15:06 | 34.2       | 216.9   | 45.1      | 241.9   |
| 15:08 | 33.3       | 220.5   | 44.7      | 242.3   |
| 15:10 | 31.5       | 234.0   | 44.3      | 242.6   |
| 15:12 | 32.4       | 228.6   | 43.8      | 242.9   |
| 15:14 | 43.2       | 241.2   | 43.4      | 243.2   |
| 15:16 | 29.7       | 235.8   | 43.0      | 243.6   |
| 15:18 | 30.6       | 232.2   | 42.5      | 243.9   |
| 15:20 | 28.8       | 235.8   | 42.1      | 244.2   |
| 15:22 | 42.3       | 243.9   | 41.6      | 244.5   |
| 15:24 | 41.4       | 243.9   | 41.2      | 244.8   |
| 15:26 | 41.4       | 243.9   | 40.8      | 245.1   |
| 15:28 | 41.4       | 244.8   | 40.3      | 245.4   |
| 15:30 | 40.5       | 245.7   | 39.9      | 245.6   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



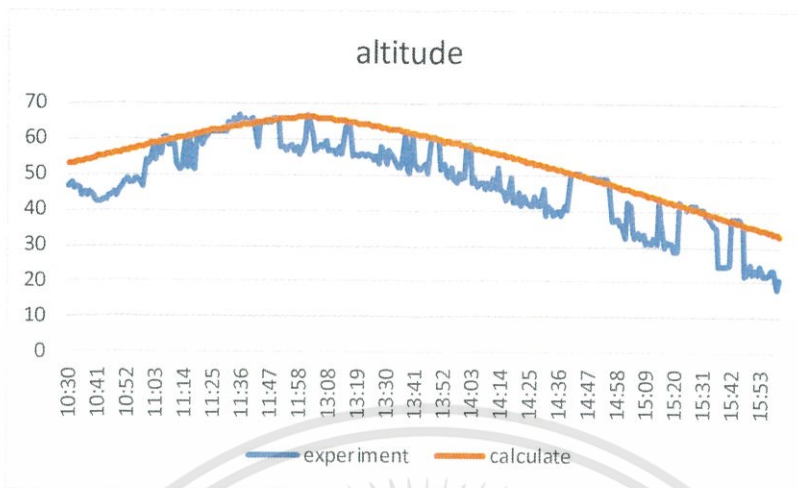
รูปที่ 4.28 ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏในจุด F ณ เวลา 15.30 น.



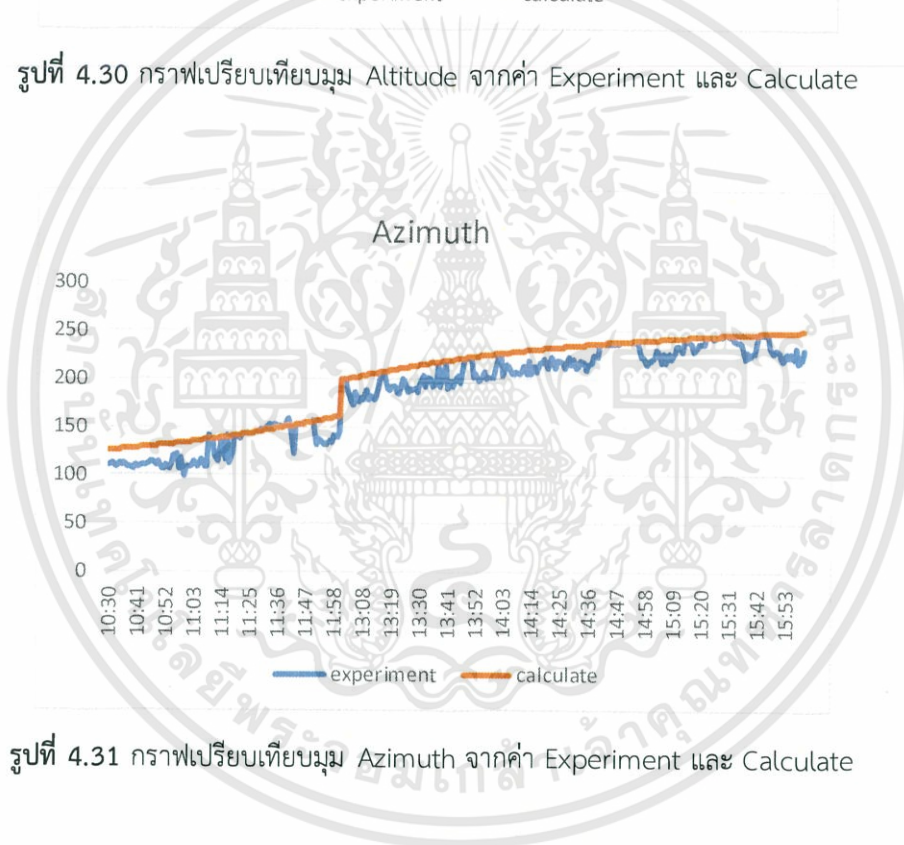
รูปที่ 4.29 ภาพของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลาง ณ เวลา 15.30 น.

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ณ เวลา 15.30 - 16.00 น.

| TIME  | Experiment |         | Calculate |         |
|-------|------------|---------|-----------|---------|
|       | Altitude   | Azimuth | Altitude  | Azimuth |
| 15:30 | 40.5       | 245.7   | 39.9      | 245.6   |
| 15:32 | 38.7       | 243.9   | 39.4      | 245.9   |
| 15:34 | 36.9       | 238.5   | 39.0      | 246.2   |
| 15:36 | 35.1       | 236.7   | 38.5      | 246.5   |
| 15:38 | 24.3       | 229.5   | 38.1      | 246.7   |
| 15:40 | 24.3       | 227.7   | 37.6      | 247.0   |
| 15:42 | 37.8       | 245.7   | 37.2      | 247.2   |
| 15:44 | 37.8       | 246.6   | 36.7      | 247.5   |
| 15:46 | 36.0       | 246.6   | 36.3      | 247.8   |
| 15:48 | 22.5       | 226.8   | 35.8      | 248.0   |
| 15:50 | 22.5       | 228.6   | 35.4      | 248.2   |
| 15:52 | 22.5       | 219.6   | 34.9      | 248.5   |
| 15:54 | 21.6       | 223.2   | 34.5      | 248.7   |
| 15:56 | 22.5       | 221.4   | 34.0      | 248.9   |
| 15:58 | 23.4       | 217.8   | 33.6      | 249.2   |
| 16:00 | 20.7       | 230.4   | 33.1      | 249.4   |



รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบมุม Altitude จากค่า Experiment และ Calculate



รูปที่ 4.31 กราฟเปรียบเทียบมุม Azimuth จากค่า Experiment และ Calculate

จากผลการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์เราสามารถนำผลการทดสอบมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.29 และ 4.30 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้ทำการวิจัยขึ้นมานั้นสามารถทำงานได้จริง และติดตามดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาตามที่ต้องการ ถึงแม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนทางด้านตำแหน่งของมุม Azimuth และ มุม Altitude ไปบ้างเล็กน้อยก็ตาม ซึ่งเป็นข้อผิดพลาดจากทางอุปกรณ์ในการทดลอง ทำให้ผลที่ได้ออกมามีความคลาดเคลื่อนไปจากเดิม

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอการจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยระบบติดตามดวงอาทิตย์มี 2 โหมดการทำงาน คือ โหมดที่หนึ่ง คือ โหมดระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้แสงของดวงอาทิตย์ โดยหมวดการทำงานนี้จะรับแสงของดวงอาทิตย์ผ่านทางกล้องเว็บแคม แล้วจากนั้นแสงที่ผ่านเข้ามาจะถูกแปลงเป็นภาพขาวดำด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อส่งตำแหน่งของแสงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่ในจอแสดงผลไปยังส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงส่งสัญญาณไปขับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อให้ภาพของดวงอาทิตย์ที่รับได้ไปอยู่ตรงกลางของจอแสดงผล โหมดที่สอง คือ โหมดระบบติดตามดวงอาทิตย์จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยในโหมดนี้จะทำงานต่อเมื่อ กล้องเว็บแคมไม่สามารถรับแสงของดวงอาทิตย์ได้ และกระบวนการทำงาน คือ เมื่อโปรแกรม LabVIEW ไม่สามารถรับภาพของดวงอาทิตย์จากเว็บแคมได้ก็จะทำการเปลี่ยนโหมดการทำงานไปสู่โหมดของการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และจะทำการส่งค่า Azimuth angle และ Elevation angle ที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยใช้เวลา ณ ขณะนั้น ไปยังส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงส่งสัญญาณเพื่อไปขับเซอร์โวมอเตอร์ให้เคลื่อนไปยังตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยทั้ง 2 โหมดการทำงาน มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้การนำไปประยุกต์ใช้กับแผงโซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่หนึ่ง เป็นการทดสอบการตรวจจับแสงในตำแหน่งต่างๆตั้งแต่ โซน A จนถึง โซน I เพื่อนำค่าตำแหน่งที่ตรวจจับได้ไปใช้ในการทำงานขั้นต่อไป การทดสอบที่สอง เป็นการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยในขั้นตอนการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการทราบว่า ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ ขณะนั้นเพียงใด และส่วนที่สาม เป็นส่วนของการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์จริง เพื่อนำไปใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์

จากการทดลองที่ 4.1 การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยการรับแสง โดยการทดลองนี้ใช้แสงของไฟฉายแทนแสงของดวงอาทิตย์ พบว่า เมื่อนำแสงของไฟฉายนี้ฉายไปยังตำแหน่งต่างๆตั้งแต่ โซน A จนถึง โซน I แล้ว ระบบตรวจจับแสงของระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้สามารถทำงานได้ปกติสามารถตรวจจับแสงของไฟฉายได้ทุกโซนของการทำงาน

จากการทดลองที่ 4.2 การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยกระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการทดลองนี้เราได้ทำการตั้งค่ามุมเริ่มต้นในการทำงานให้อยู่ในคละตำแหน่งกับตำแหน่ง

ของดวงอาทิตย์ แล้วจากนั้นเราได้ใช้แสงของไฟฉายจำลองเป็นแสงของดวงอาทิตย์ไปฉายอยู่ในตำแหน่งของดวงอาทิตย์จริง เมื่อกำลังไม่สามารถรับภาพตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ ระบบติดตามดวงอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนโหมดการทำงานไปสู่โหมดของการคำนวณทางคณิตศาสตร์แทน โดยผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในทางคณิตศาสตร์ไม่ได้แม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ เพียงแต่สามารถทำให้ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่ในพื้นที่การทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยแสงของดวงอาทิตย์เท่านั้น

จากการทดสอบที่ 4.3 นำระบบติดตามดวงอาทิตย์ไปทดสอบติดตามดวงอาทิตย์จริง การทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบในการติดตามดวงอาทิตย์จริง โดยใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 5 ชั่วโมงด้วยกัน คือตั้งแต่เวลา 11.00 น. จนถึงเวลา 16.00 น. โดยการทดสอบนี้เราได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ทั้ง 2 โหมดการทำงานด้วยกัน คือ ในทุกๆ 30 นาที เราจะทำการปิดเลนส์ของกล้องเว็บแคมเสมอ เพื่อให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์เปลี่ยนโหมดการทำงานไปสู่โหมดของการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และเมื่อกำลังเว็บแคมหันหน้าไปยังดวงอาทิตย์แล้ว ระบบก็จะเปลี่ยนโหมดการทำงานไปยังโหมดของการติดตามดวงอาทิตย์ด้วยแสงต่อไป ซึ่งจากผลการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ในครั้งนี้ ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าในช่วงเวลาสภาพอากาศจะไม่สะดวกต่อการติดตามดวงอาทิตย์ เช่น เมฆมาบดบังดวงอาทิตย์ เครื่องบินบดบังแสงอาทิตย์ เป็นต้น แต่ระบบติดตามดวงอาทิตย์ก็ยังสามารถทำงานได้ต่อไป ซึ่งสรุปได้ว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้สามารถนำไปใช้งานได้จริง

## 5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

1. เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้งาน มีข้อจำกัดในเรื่องขององศาในการทำงาน ซึ่งก็คือไม่สามารถหมุนเกิน 180 องศาได้ ส่งผลให้ลำบากต่อการติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีการเขียนโปรแกรมควบคุมเพิ่มเติมขึ้นมาเพื่อที่จะแก้ไขข้อจำกัดของเซอร์โวมอเตอร์นี้ให้สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ทุกเส้นทางเกินโคจรของดวงอาทิตย์
2. แสงของดวงอาทิตย์มีความเข้มแสงสูงมาก แต่ในบางครั้งแสงของดวงอาทิตย์ก็มีความเข้มแสงที่น้อยลง ทำให้ยากต่อการตรวจจับ ดังนั้นจึงได้มีการติดฟิล์มกรองแสงเพิ่มเข้าไปที่หน้ากล้องเว็บแคมเพื่อลดความเข้มแสงของดวงอาทิตย์โดยใส่ไปทั้งหมด 3 ชั้นด้วยกัน คือ กรองความเข้มแสงสูงมาก กรองความเข้มแสงปานกลาง กรองความเข้มแสงน้อย ตามลำดับ
3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ PIC16F1939 เมื่อโดนความร้อนของดวงอาทิตย์จะส่งผลให้การทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำหมวกนิรภัยมาครอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ PIC16F1939 ไว้ เพื่อป้องกันความร้อนของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระยะเวลาในการเปลี่ยนโหมดของการทำงานจากระบบติดตามดวงอาทิตย์จากความเข้มแสงไปเป็นโหมดของระบบติดตามดวงอาทิตย์จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์น้อยเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ดังนั้นจึงต้องทำการห้วงเวลาในการเปลี่ยนโหมดของการทำงาน เพื่อประหยัดการสูญเสียพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้น้อยลง

### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาในการวิจัยนี้ มีความยุ่งยากในการต่ออุปกรณ์ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงควรที่จะพัฒนาอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์เพื่อที่จะสามารถนำอุปกรณ์นี้ไปใช้งานได้เลยโดยไม่ต้องทำการต่ออุปกรณ์ทุกครั้งเมื่อต้องการใช้งาน
2. ควรที่จะมีการพัฒนาโดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กมาผลิตพลังงานไฟฟ้าขึ้นจริง เพื่อเป็นการทดสอบความคุ้มค่าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อการสูญเสียในการขับเคลื่อนมอเตอร์
3. ควรจะเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้มีช่วงเวลาในการเก็บผลการทดสอบมากยิ่งขึ้น เพื่อที่จะตรวจสอบความแม่นยำ และความเสถียรของระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้



## เอกสารอ้างอิง

- [1] สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์และคณะ, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัล,” *ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต*, สาขาวิชาไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยสารคาม
- [2] ศุภชัย กวินวุฒิกุล, “การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์,” *รายงานโครงการวิจัย สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*
- [3] มนุศักดิ์ งานทองและคณะ, “การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบปรับรังสีรวมกลาง,” *ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต*, สาขาวิชาเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [4] ปรีชา มหาไม้และคณะ, “การประยุกต์ใช้มอเตอร์ติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนแบบอัตโนมัติ,” *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 8 ฉบับที่ 2, ปี 2555*
- [5] Small Power System, “Small Power System has built trackers for over 25 years,” *[Online]. Available: <http://www.helmholz.us/smallpowersystems/Intro.pdf>*
- [6] Jing-Min Wang and Chia-Liang Lu, “Design and Implementation of a Sun Tracker with a Dual-Axis Single Motor for an Optical Sensor-Based Photovoltaic System,” *Sensors* 2013., Vol.13, pp. 3157-3168
- [7] Kamala J and Alex Joseph, “Solar Tracking for maximum and Economic Energy Harvesting,” *Department of Electronics and Communication Engineering, Anna University*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



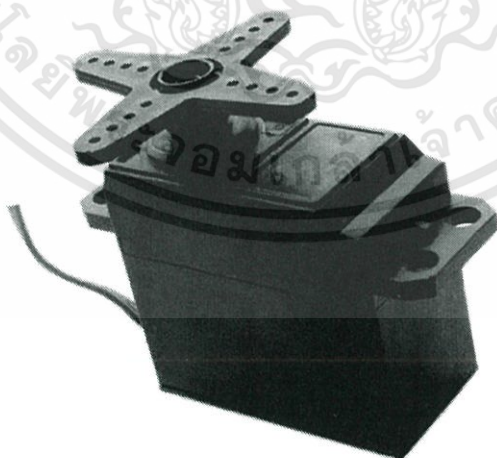
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

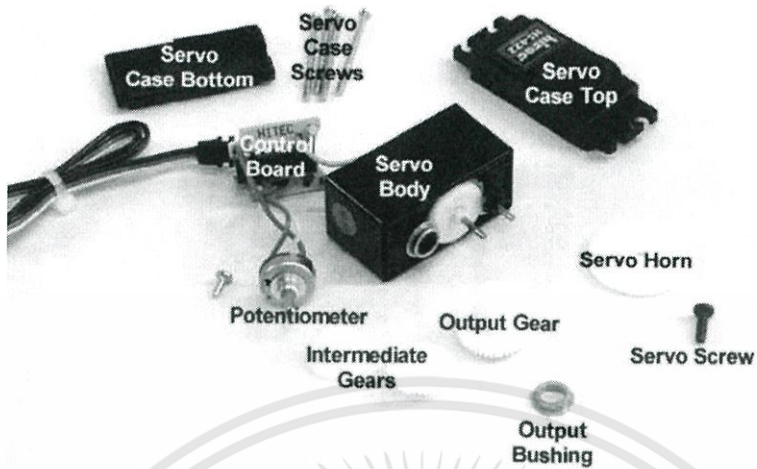
### รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 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 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ จะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา , ให้แรงบิดสูง , กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุม ด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น 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



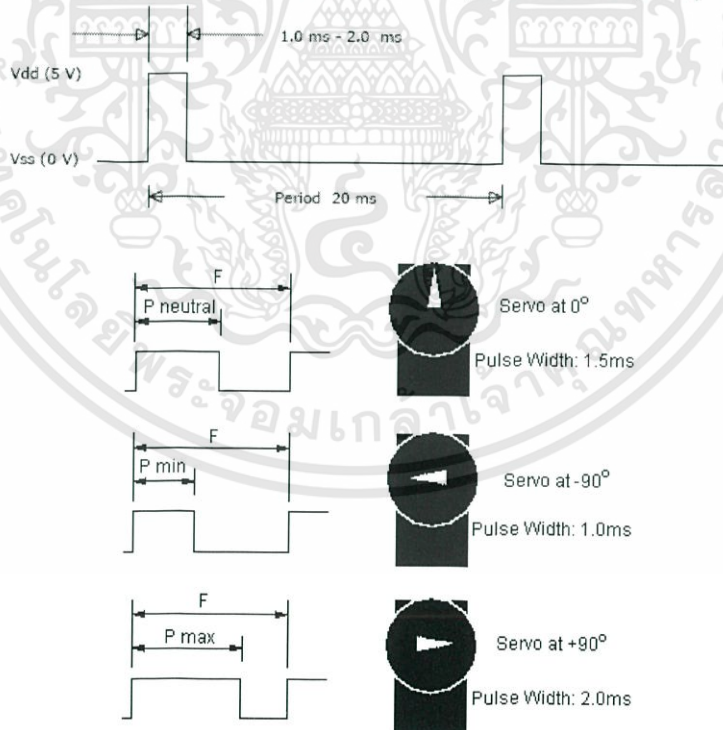
รูปที่ ก-1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)



รูปที่ ก-2 ส่วนประกอบต่างๆของเซอร์โวมอเตอร์(Servo motor)

### หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์(Servo motor)

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



รูปที่ ก-3 การกำหนดสัญญาณพัลส์ของเซอร์โวมอเตอร์(Servo motor)

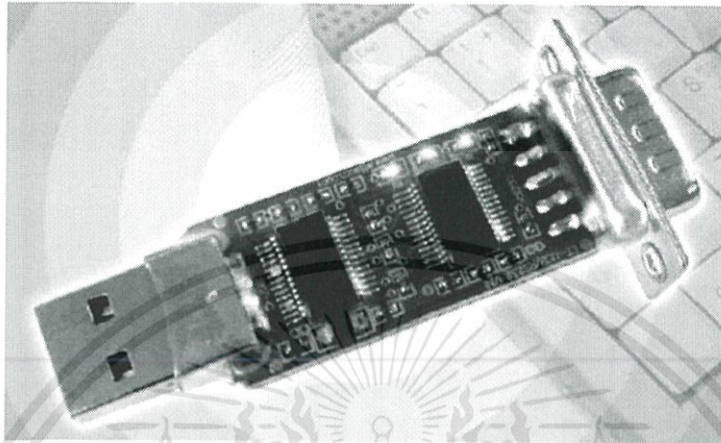
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์(Servo motor) หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือจุดกึ่งกลางของมอเตอร์
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์(Servo motor) หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์(Servo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

ค่าความกว้างพัลส์ และ ระยะของสการหมุนของมอเตอร์ที่อธิบายด้านบน นั้นเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ทั้งนี้ระยะการหมุน และ ขนาดของพัลส์ที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแต่ละยี่ห้อ อาจจะไม่เท่ากัน 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 ภายในบอร์ดควบคุมในตัวมอเตอร์ 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



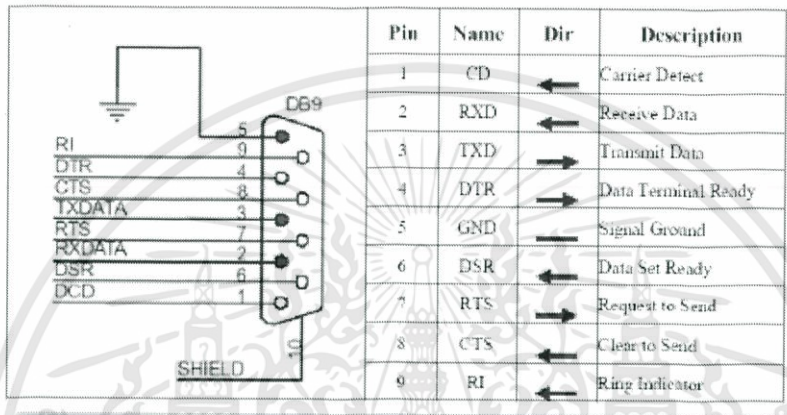
รูปที่ ก-4 ET-USB/RS232 MINI

### 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. แสดงสถานการณ์ทำงานด้วย 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

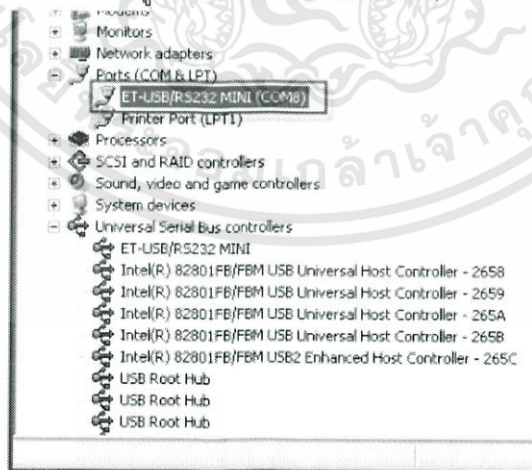
1. เสียบ ET-USB/RS232 MINI เข้ากับ Port USB ของคอมพิวเตอร์ ขณะนี้จะสังเกตเห็นว่าไฟแสดงสถานะ PWR จะยังไม่ติดสว่าง
2. ติดตั้ง Driver สำหรับ ET-USB/RS232 MINI โดยจากคู่มือการติดตั้ง Driver เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ไฟแสดงสถานะ PWR จะติดสว่างแสดงว่าพร้อมที่จะใช้งานแล้ว
3. ต่อสายพอร์ตอนุกรม เพื่อใช้งานโดยตำแหน่งขาใช้งาน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



รูปที่ ก-5 การต่อสายพอร์ตอนุกรม

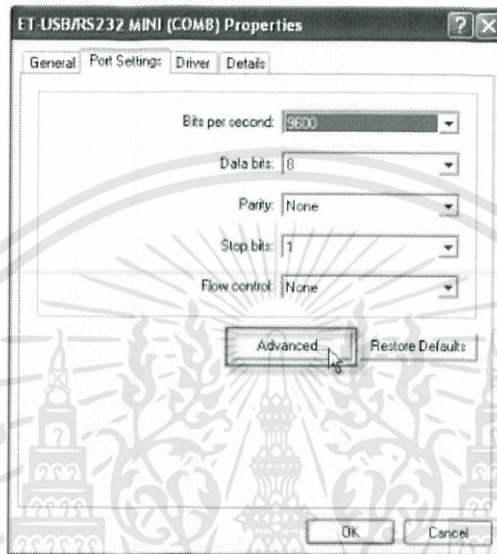
### ขั้นตอนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหมายเลขของ COM Port

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



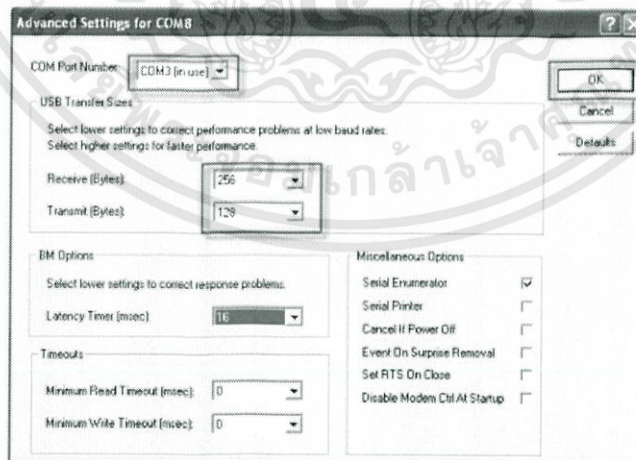
รูปที่ ก-6 ขั้นตอนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหมายเลขของ COM Port

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



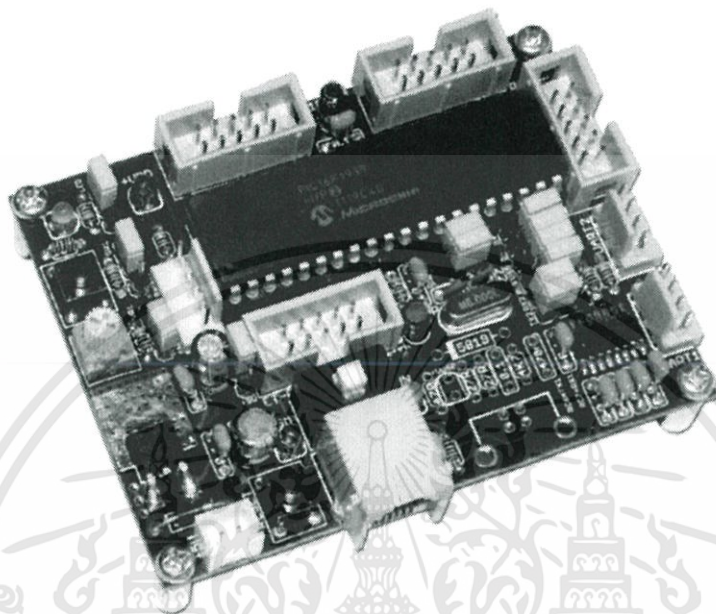
รูปที่ ก-7 ขั้นตอนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหมายเลขของ COM Port(ต่อ)

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



รูปที่ ก-8 ขั้นตอนเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหมายเลขของ COM Port(ต่อ)

### ก.3 ET-BASE PIC40/1939



รูปที่ ก-9 ET-BASE PIC40/1939

ET-BASE PIC40/1939(ICSP) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC ซึ่งออกแบบให้รองรับการติดตั้งใช้งานกับชิพไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 40 Pin(40PDIP) เบอร์ PIC16F1939 สามารถเลือกใช้กับระบบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เป็น 3.3V หรือ 5V ให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ในการใช้งานได้อีกด้วย

โดยโครงสร้างของบอร์ด ET-BASE PIC40/1939(ICSP) ได้รับการออกแบบให้บอร์ดมีขนาดเล็ก เหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานและยังสามารถใช้เป็นชุดทดลองเรียนรู้เบื้องต้นได้อีกด้วย โดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอาวงจรที่จำเป็นต่อการใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม มีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลายๆลักษณะตามต้องการ

นอกจากนี้แล้วยังได้เพิ่มเติมอุปกรณ์ทดสอบ Input / Output แบบต่างๆในเบื้องต้นไว้ภายในบอร์ด เพื่อให้ได้ใช้เป็นเครื่องมือในการทดลองระหว่างการพัฒนาโปรแกรม เช่น VR ปรับค่าได้สำหรับทดสอบการทำงานของ ADC หรือ Push Button Switch สำหรับทดสอบ Input Logic หรือ LED สำหรับใช้ทดสอบการทำงานของ Output Logic เป็นต้น

### คุณสมบัติของบอร์ด

1. ใช้ MCUเบอร์ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

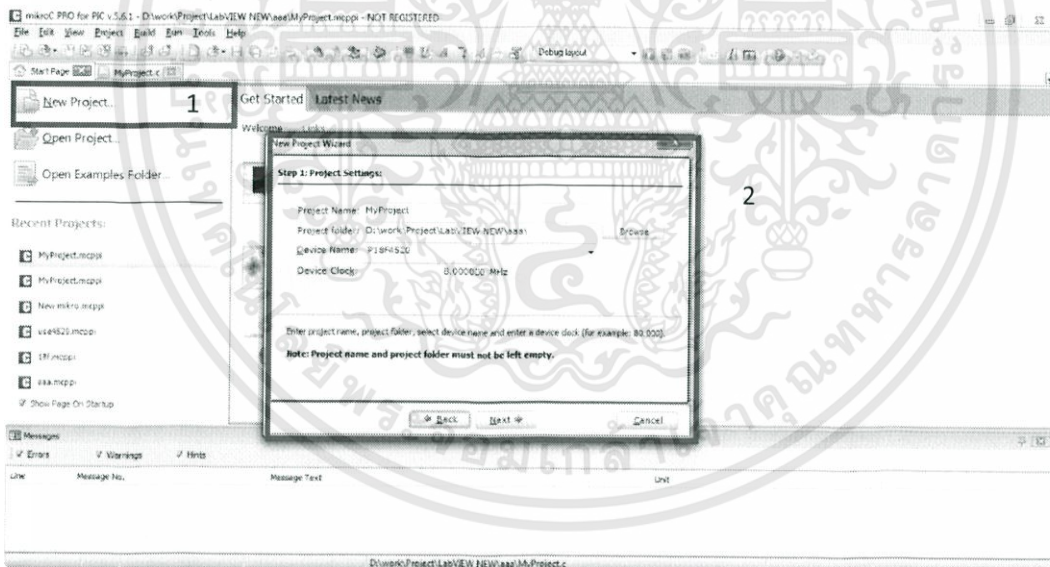
## ภาคผนวก ข

### โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ มีการแบ่งโปรแกรมที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 2 โปรแกรมด้วยกัน โดยโปรแกรมแรก คือ MikroC Pro for PIC ซึ่งใช้ในการประมวลผลเพื่อแยกระบบการทำงาน โปรแกรมที่สอง คือ LabVIEW โดยโปรแกรมนี้ใช้สำหรับรับ-ส่งค่าของตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อขับเซอร์โวมอเตอร์ และยังใช้เป็นโปรแกรมในการแสดงผลของการทดลองอีกด้วย

#### ข.1 MikroC Pro for PIC

โปรแกรม MikroC Pro for PIC ทางผู้ทำการทดลองได้ใช้โปรแกรมนี้ในการสร้างระบบประมวลผลของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งการประมวลผลนี้ คือการแยกระบบการทำงานว่าเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยแสง หรือระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยเวลา ณ ขณะนั้น โดยขั้นตอนการเขียนโปรแกรมประมวลผลดังนี้

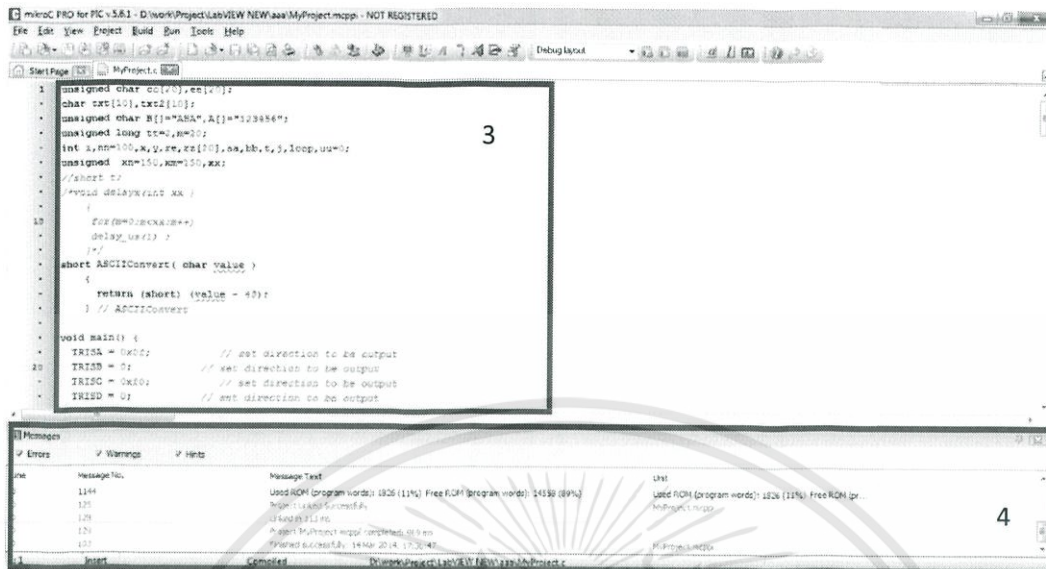


รูปที่ ข-1 หน้าต่างโปรแกรม MikroC Pro For PIC

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม MikroC Pro For PIC

1. กดปุ่ม New Project เพื่อเริ่มการทำงาน
2. ตั้งค่าในหน้าต่าง New Project Wizard ให้สอดคล้องกับส่วนของ Hardware ที่จะใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



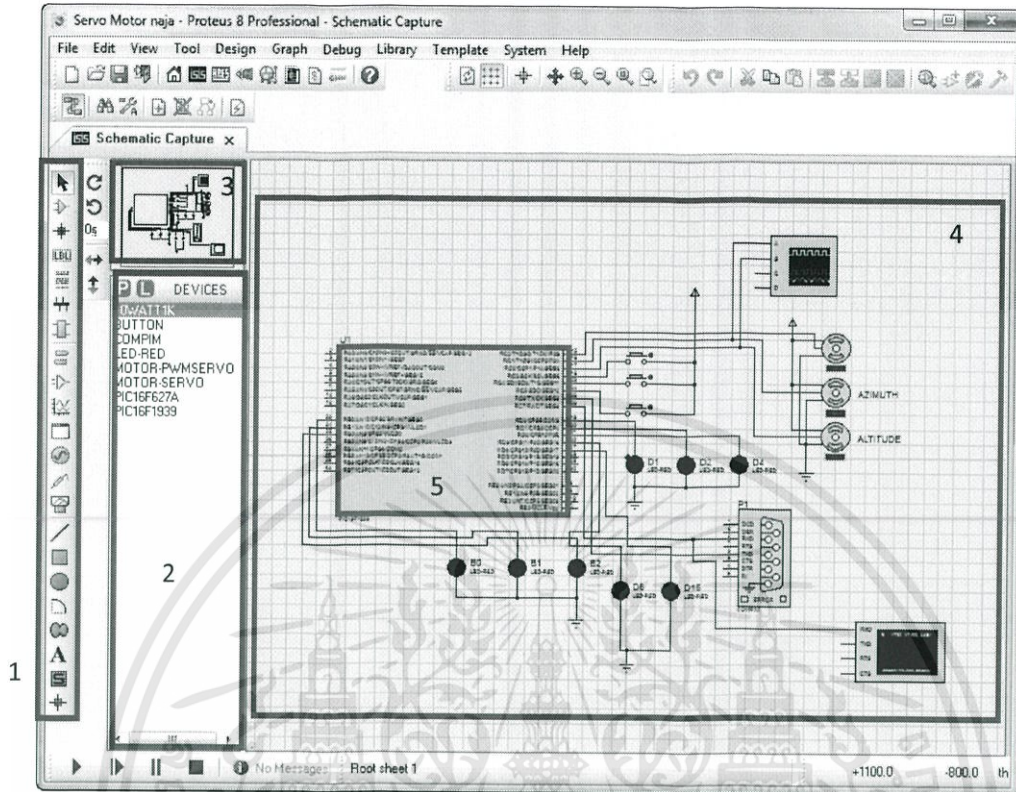
### รูปที่ ข-2 หน้าต่างโปรแกรม MikroC Pro For PIC

3. หน้าต่างสำหรับเขียนโปรแกรมที่เราต้องการ โดยจะต้องเขียนอยู่ในรูปของภาษา C จากนั้นเมื่อเขียนโปรแกรมที่ต้องการเสร็จสิ้นแล้ว ให้กด Ctrl+F9 เพื่อเป็นการคอมไพล์ (Compile) โปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นว่า มีข้อผิดพลาดอย่างไรบ้าง

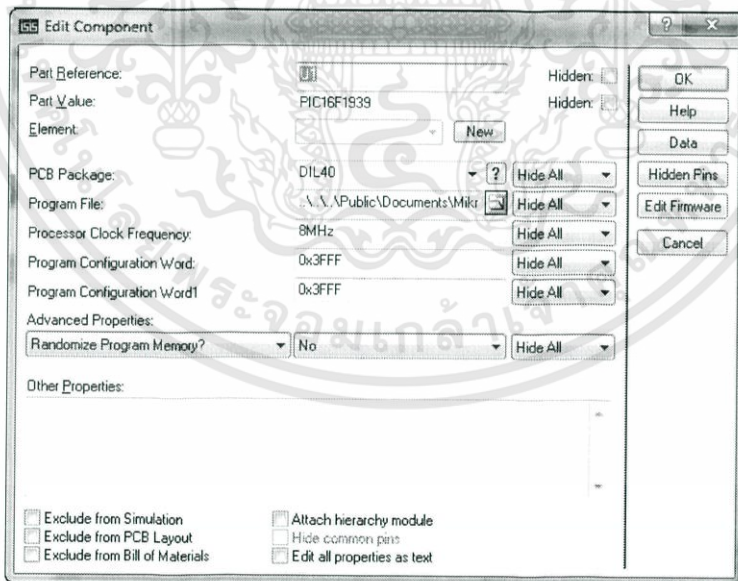
4. หน้าต่างที่แสดงผลของการคอมไพล์ (Compile) โปรแกรมที่เขียนขึ้นมา ถ้าหากมีข้อผิดพลาดใดเกิดขึ้น หน้าต่างนี้จะแสดงข้อผิดพลาดของโปรแกรมนั้นๆทันที

### ข.2 Proteus 8 Professional

โปรแกรม Proteus 8 Professional ทางผู้ทำการทดลองได้ใช้โปรแกรมนี้ในการจำลองการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller ) ว่าสามารถทำงานได้ตามเป้าหมายที่ตั้งใจไว้หรือไม่ โดยขั้นตอนการสร้างโปรแกรมจำลองจะเป็นดังต่อไปนี้



รูปที่ ข-3 หน้าต่างโปรแกรม Proteus 8 Professional



รูปที่ ข-4 หน้าต่างในการตั้งค่า PIC

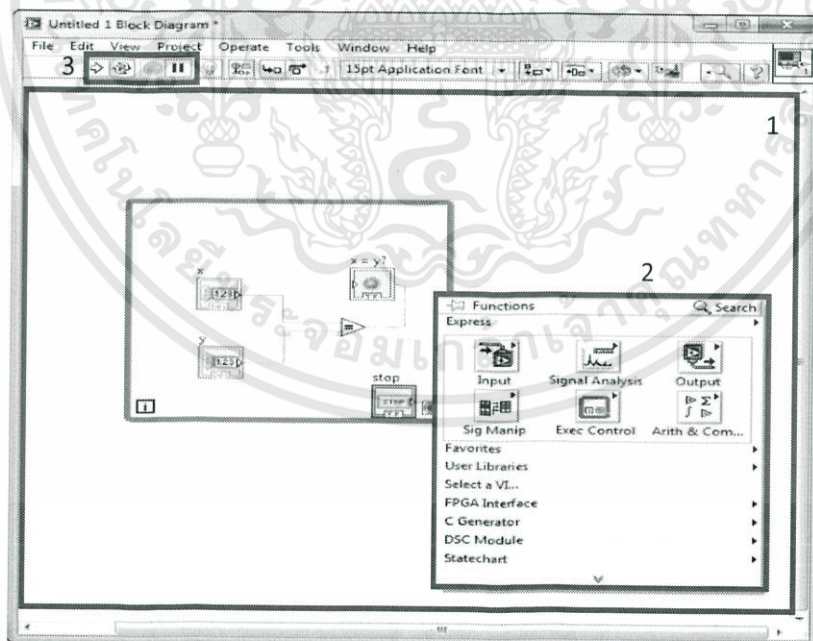
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Proteus 8 Professional

1. เป็นส่วนที่ใช้เลือกอุปกรณ์ตามที่ต้องการ
2. เป็นส่วนของอุปกรณ์ที่เลือกไว้แล้วจากขั้นตอนที่ 1
3. เป็นส่วนของภาพหน้าจอที่เราใช้ในการต่อวงจรทั้งหมด
4. เป็นพื้นที่ที่ใช้สำหรับวางอุปกรณ์ลงไปในวงจร
5. เป็นตัว PIC แล้วจะต้องตั้งค่าต่างๆดังต่อไปนี้
  - Part Reference                      คือ ชื่อ
  - Part Value                            คือ เบอร์ของตัว PIC
  - Program File                        คือ ไฟล์ .hex หรือไฟล์ของโปรแกรม MikroC Pro For PIC ที่เขียนขึ้นมา
  - Processor Clock Frequency    คือ ความถี่ในการทำงาน

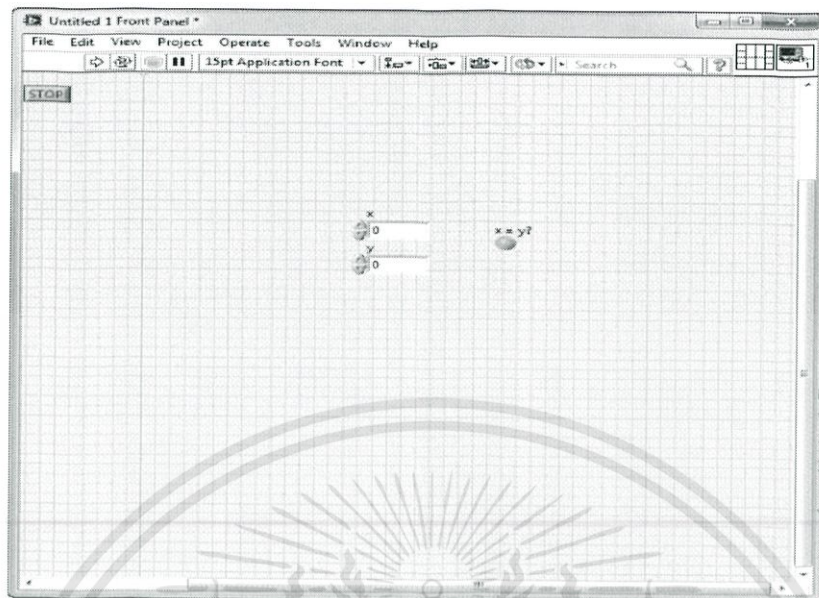
### ข.3 LabVIEW ( Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench )

โปรแกรม LabVIEW ( Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ) ทางผู้ทำการทดลองได้ใช้โปรแกรมนี้ในการประมวลผลภาพที่ได้รับจากกล้องเว็บแคม และแยกโหมดของการติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ ข-5 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-6 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW จะมีหน้าต่างของการทำงานทั้งหมด 2 หน้าต่างด้วยกันดังรูป  
ภาคผนวก ข-5 และ รูปภาคผนวก ข-6 โดยหลักการในการสร้างวงจรจำลองเป็นดังนี้

1. พื้นที่ในการวางอุปกรณ์ต่างๆที่วงจรต้องการใช้
2. คลิกขวาบนพื้นที่ในการวางอุปกรณ์ และจะมีหน้าต่างของอุปกรณ์ขึ้นมาดังรูปภาคผนวก ข-5
3. เป็นปุ่มไว้ใช้สำหรับเริ่มการทำงานและหยุดการทำงานของวงจรที่เราได้สร้างขึ้นมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบผสมผสานการใช้ระบบวิทัศน์อัตโนมัติและแบบไร้อุปกรณ์ตรวจจับ

## HYBRID OF SENSOR-LESS AND MACHINE VISION SOLAR TRACKING SYSTEM

ธนศ ดันรุ่งโรจน์<sup>1</sup>, ธรรมนนท์ ฉายรัตน์โรจน์<sup>1</sup> และธีรวัต สัมมาลสิภรณ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail : bas\_zoniq@hotmail.co.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบและการจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วย Machine Vision System สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์จากภาพที่ได้รับจากกล้องเว็บแคม กล้องเว็บแคมจะรับภาพดวงอาทิตย์ แล้วส่งสัญญาณภาพที่ได้รับไปยังโปรแกรมประมวลผลภาพ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากนั้นโปรแกรมประมวลผลภาพจะส่งตำแหน่งของดวงอาทิตย์ไปยังตัวควบคุมเพื่อขับระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในส่วนที่สอง เป็นการแก้ไขข้อบกพร่องของในส่วนแรก คือในกรณีที่กล้องไม่สามารถจับภาพดวงอาทิตย์ได้จากสาเหตุทางสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย โปรแกรมประมวลผลภาพทำการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากช่วงเวลาปัจจุบันโดยประมาณ เพื่อให้ระบบขับเคลื่อนสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้อย่างต่อเนื่อง สุดท้ายได้ทำการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ทั้ง 2 โหมดการทำงาน จากการทดสอบพบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ระบบติดตามดวงอาทิตย์, Machine Vision, การประมวลผลภาพ

### ABSTRACT

This research present about design and simulation of solar-tracking system, based on machine vision technique to apply to achieve maximum efficiency in solar energy production. There are two parts in the experiment. First, the operating system, web camera captures image of the sun and transmits

to image processing program. The LabVIEW program is used to calculate current position of the sun and send the data to

servo system for sun locating purpose.

Second, in case of the web camera cannot capture image due to the sun's occlusion from bad weather, the labVIEW has been designed to estimate the sun's position correspond to real-time calendar in order to force a servo system can track the sun continuously.

Finally, testing the both system to tracking the sun. The experimental results show solar tracking system can work very well.

Keywords: Solar-Tracking system, Machine Vision, Image processing

### 1. บทนำ

จากการที่ในปัจจุบันนี้โลกของเราได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีไปอย่างมาก และด้วยเหตุนี้เองทำให้มีความต้องการพลังงานที่มากขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากอัตราความต้องการพลังงานในแต่ละปี โดยในแต่ละปีความต้องการพลังงานนี้มีการเพิ่มขึ้นตลอด ทำให้เกิดวิกฤตทางด้านพลังงานขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องผลิตพลังงานเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ทำให้พลังงานทางเลือกเป็นสิ่งที่ผู้คนให้ความสนใจเป็นอย่างมาก โดยพลังงานทางเลือกที่สนใจก็คือ พลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อมลพิษแก่สภาพแวดล้อม และยังเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดอีกด้วย และที่สำคัญ ยังเป็นพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยของเราเป็นอย่างมาก เนื่องจาก ประเทศไทยตั้งอยู่ในเส้นศูนย์สูตร ซึ่งจะได้รับ

ปริมาณแสงอาทิตย์ต่อวันเป็นปริมาณมาก และด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการวิจัยเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2. วิธีคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่บนโลก

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญต่อการคำนวณมีดังนี้

2.1 Local Standard Time Meridian (LSTM) คือ เวลามาตรฐาน ณ จุดที่เราสนใจ มีหน่วยเป็น ชั่วโมง

$$LSTM = 15^\circ \Delta T_{GMT}$$

2.2 Equation of Time (EoT) คือ สมการของเวลาที่ถูกต้องแล้ว เนื่องจากผลของวงโคจรของโลกและแกนของโลกที่เอียงไปจากเดิม มีหน่วยเป็น นาที

$$EoT = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B$$

ซึ่ง  $B = \frac{360}{365}(d - 81)$  มีหน่วยเป็น องศา (degrees)

2.3 Time Correction Factor (TC) คือ ค่าตัวประกอบเวลา

$$TC = 4(Longitude - LSTM) + EoT$$

2.4 Local Solar Time (LST)

$$LST = LT + \frac{TC}{60}$$

2.5 Hour Angle (HRA) คือ มุมที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปเป็นมุมองศาต่อชั่วโมง หน่วยเป็น องศา

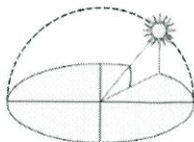
$$HRA = 15^\circ(LST - 12)$$

2.6 Declination ( $\delta$ ) คือ มุมเบี่ยงเบน

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365}(d - 81) \right]$$

2.7 Elevation Angle คือมุมเงย ที่มุมจากแนวระนาบไปจนถึงดวงอาทิตย์ หน่วยเป็น องศา

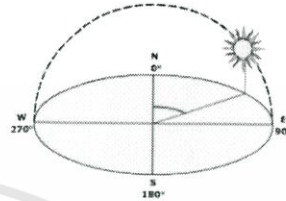
$$Elevation\ Angle\ (\alpha) = \sin^{-1}[\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos(HRA)]$$



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่ง Elevation Angle

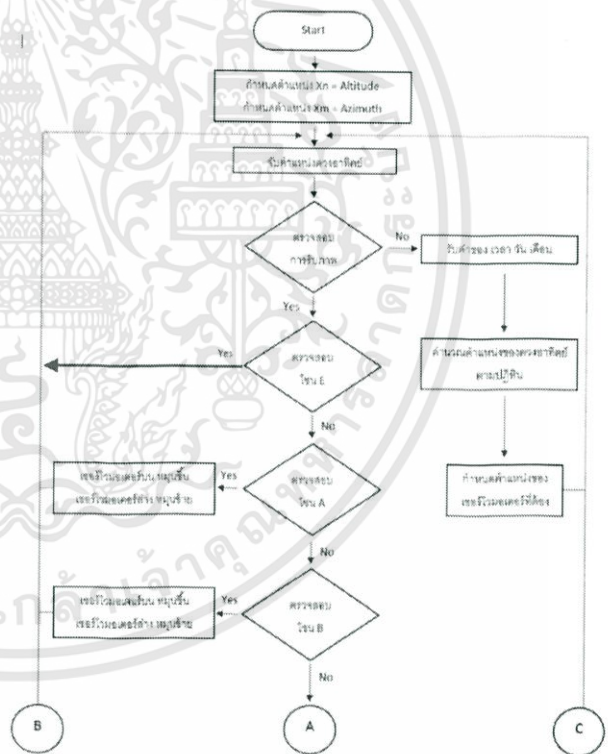
2.8 Azimuth Angle คือมุมที่วัดบนระนาบ โดยจะวัดมุมเริ่มจากทิศเหนือที่ 0 องศา กวาดตามเข็มนาฬิกาจนถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์

$$Azimuth = \cos^{-1} \left[ \frac{\sin \delta \cos \phi - \sin \phi \cos \delta \cos(HRA)}{\cos \alpha} \right]$$

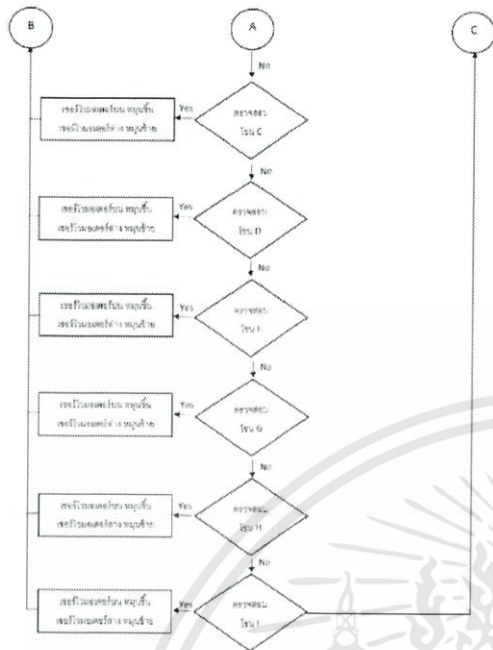


รูปที่ 2 แสดงตำแหน่ง Azimuth Angle

3. ขั้นตอนการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์



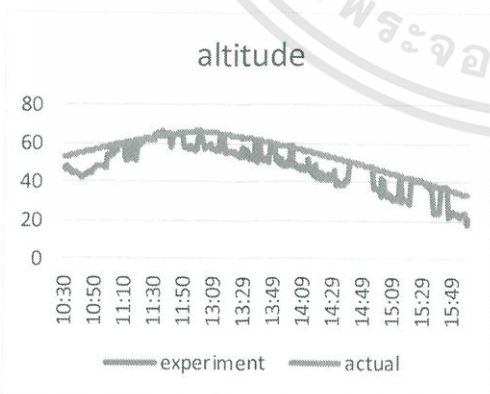
รูปที่ 3 ขั้นตอนการประมวลผลของระบบติดตามดวงอาทิตย์



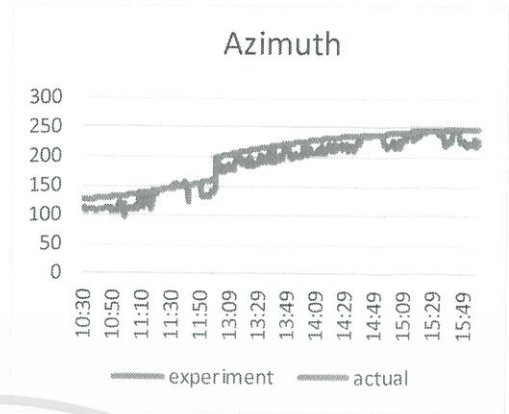
รูปที่ 4 ขั้นตอนการประมวลผลของระบบติดตามดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 4 จะสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อกล้องรับภาพมาได้แล้ว จะมีการประมวลผลว่าภาพอยู่ตรงส่วนในของภาพที่กล้องเว็บแคมรับได้ จากนั้นจึงส่งข้อมูลของแต่ละโซนไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ แต่เมื่อเกิดกรณีที่กล้องไม่สามารถจับแสงของดวงอาทิตย์ได้ ก็จะปรับไปยังโหมดของการคำนวณทันที แล้วจึงส่งข้อมูลที่ได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อขับเซอร์โวมอเตอร์ต่อไป

4. การทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 5 มุม Azimuth ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ



รูปที่ 6 มุม Altitude ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ

จากผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ทำให้ทราบว่า การประมวลผลแบบคำนวณเส้นทางจากสมการทางคณิตศาสตร์นั้นเป็นเพียงการประมาณตำแหน่งของดวงอาทิตย์เท่านั้น เนื่องจากตำแหน่งที่ได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์จากแสงของดวงอาทิตย์นั้นมีความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผล

จากการทดลองที่ 4.1 การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยการรับแสง โดยการทดลองนี้ใช้แสงของไฟฉายแทนแสงของดวงอาทิตย์ พบว่า เมื่อนำแสงของไฟฉายนี้ฉายไปยังตำแหน่งต่างๆตั้งแต่ โซน A จนถึง โซน I แล้ว ระบบตรวจจับแสงของระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้สามารถทำงานได้ตามปกติ

จากการทดลองที่ 4.2 การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเราได้ทำการตั้งค่ามุมเริ่มต้นในการทำงานให้อยู่ในคละตำแหน่งกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากนั้นจึงใช้แสงของไฟฉายจำลองเป็นแสงของดวงอาทิตย์ให้อยู่ในตำแหน่งของดวงอาทิตย์จริง และเมื่อกล้องไม่สามารถรับภาพตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ ระบบติดตามดวงอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนโหมดการทำงานไปสู่โหมดของการคำนวณทางคณิตศาสตร์แทน โดยผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในทางคณิตศาสตร์ไม่ได้แม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ เพียงแต่สามารถทำให้ภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่ในพื้นที่การทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยแสงของดวงอาทิตย์เท่านั้น

จากการทดสอบที่ 4.3 นำระบบติดตามดวงอาทิตย์ ไปทดสอบติดตามดวงอาทิตย์จริง โดยใช้เวลาในการทดสอบ ทั้งหมด 5 ชั่วโมง คือตั้งแต่เวลา 11.00 น. จนถึงเวลา 16.00 น. โดยการทดสอบนี้เราได้ทำการทดสอบการทำงานทั้ง 2 โหมด โดยในทุกๆ 30 นาที เราจะทำการปิดเลนส์ของกล้องเว็บแคม เสมอ เพื่อให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์เปลี่ยนโหมดการทำงาน ไปสู่โหมดของการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากนั้นเมื่อ กล้องเว็บแคมหันหน้าไปยังดวงอาทิตย์แล้ว ระบบก็จะเปลี่ยน โหมดการทำงานไปยังโหมดของการติดตามดวงอาทิตย์ด้วยแสง ต่อไป ซึ่งจากผลการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ในครั้งนี้ ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าในบางเวลา สภาพอากาศจะไม่สะดวกต่อการติดตามดวงอาทิตย์ เช่น เมฆบดบังแสงของดวงอาทิตย์ เครื่องบินบดบัง แสงอาทิตย์ เป็นต้น แต่ระบบติดตามดวงอาทิตย์ก็ยังสามารถ ทำงานได้ต่อไป ซึ่งสรุปได้ว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้สามารถ นำไปใช้งานจริงได้

## 5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางการแก้ไขปัญหา

1. เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้งาน มีข้อจำกัดในเรื่องขององศาในการทำงาน ซึ่งก็ไม่สามารถหมุนเกิน 180 องศาได้ ส่งผลให้ลำบากต่อการติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีการเขียนโปรแกรมควบคุมเพิ่มเติมขึ้นมาเพื่อที่จะแก้ไขข้อจำกัดของเซอร์โวมอเตอร์นี้ให้สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ทุกเส้นทางเกินโคจรของดวงอาทิตย์
2. แสงของดวงอาทิตย์มีความเข้มแสงสูงมาก แต่ในบางครั้งแสงของดวงอาทิตย์ก็มีความเข้มแสงที่น้อยลง ทำให้ยากต่อการตรวจจับ ดังนั้นจึงได้มีการติดฟิล์มกรองแสงเพิ่มเข้าไปที่หน้ากล้องเว็บแคมเพื่อลดความเข้มแสงของดวงอาทิตย์โดยใส่ไปทั้งหมด 3 ชั้นด้วยกัน คือ กรองความเข้มแสงสูงมาก กรองความเข้มแสงปานกลาง กรองความเข้มแสงน้อย ตามลำดับ
3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ PIC16F1939 เมื่อโดนความร้อนของดวงอาทิตย์จะส่งผลให้การทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำหมวกนิรภัยมาครอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ PIC16F1939 ไว้ เพื่อป้องกันความร้อนของดวงอาทิตย์
4. ระยะเวลาในการเปลี่ยนโหมดของการทำงานจากระบบติดตามดวงอาทิตย์จากความเข้มแสงไปเป็นโหมดของระบบติดตามดวงอาทิตย์จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ น้อยเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการขับเซอร์โวมอเตอร์ ดังนั้นจึงต้องทำการหวนเวลาในการเปลี่ยนโหมดของการทำงาน เพื่อประหยัดการสูญเสียพลังงานในการขับเซอร์โวมอเตอร์ให้น้อยลง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์และคณะ, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัล,” , **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยสารคาม
- [2] ศุภชัย กวินวุฒิกุล, “การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแรงแซลาเซลล์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์,” , รายงานโครงการวิจัย สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [3] มนุศักดิ์ จานทอง และ คณะ, “การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบปรับรังสีรวมกลาง,” , **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [4] ปรีชา หงษ์ไม้และคณะ, “การประยุกต์แบบเตอร์ด้วยการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนแบบอัตโนมัติ,” **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 8 ฉบับที่ 2,** ปี 2555

## ประวัติผู้เขียน



นาย ธเนศ ต้นรุ่งโรจน์

วัน เดือน ปีเกิด 4 มีนาคม พ.ศ. 2535

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน  
สันติราษฎร์วิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556 จะสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า  
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย ธรรมนนท์ ฉายรัตน์โรจน์

วัน เดือน ปีเกิด 9 มิถุนายน พ.ศ. 2535

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน  
เซนต์ดอมินิก

ปีการศึกษา 2556 จะสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า  
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย ชีรวัด สัมมาเลิศภักดิ์

วัน เดือน ปีเกิด 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2534

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน  
สารสาสน์วิเทศศึกษา

ปีการศึกษา 2556 จะสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า  
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง