

ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิกไฮบริดโดยใช้
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA2560

HYBRID PARABOLIC DISH SOLAR TRACKING SYSTEM USING
MICROCONTROLLER ATMEGA2560



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

KMITL-2016-SC-M-030-033

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจาน
พาราโบลิกไฮบริดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA2560

HYBRID PARABOLIC DISH SOLAR TRACKING SYSTEM USING
MICROCONTROLLER ATMEGA2560



T143992

กิตติยศ เจียรวัฒนานุกูล
KITTIYPHOT JIANWATTANANUKUL

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี 10 มี.ค. 2559

b.00266981
j.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2016-SC-M-030-033

HYBRID PARABOLIC DISH SOLAR TRACKING SYSTEM USING
MICROCONTROLLER ATMEGA2560



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

KMITL-2016-SC-M-030-033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่นำไปใช้ในเชิงการบรรยายเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ “ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิกไฮบริดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA2560”
“HYBRID PARABOLIC DISH SOLAR TRACKING SYSTEM USING MICROCONTROLLER ATMEGA2560”

ชื่อนักศึกษา นายกิตติพงศ์ เจียรพัฒนานุกูล
รหัสประจำตัว 57605077
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กฤษกร ไฉ้เจริญรัตน์ ประธานกรรมการ ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง) ดร.ปดินทร์ ดำรงค์ศักดิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 307 อาคารจุฬารามณ์วลัยลักษณ์ ชั้น 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.คุณณี ธนะบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจาน
พาราโบลิกไฮบริดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
ATMEGA2560

ชื่อนักศึกษา

นายกิตติพิศ เจียรวัฒนานุกุล

รหัสประจำตัว

57605077

ปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

พ.ศ.

2559

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยไมโครลเซ็นเซอร์ ประกอบด้วย LDR ขนาด 5 มิลลิเมตร 8 ตัว มีมุมจัดวางตำแหน่ง LDR รับรังสีโดยอาศัยหลักการบังเงาของแท่งอลูมิเนียม และเราควบคุมการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ในการติดตามตำแหน่ง มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด การทดสอบระบบที่ออกแบบและสร้าง ณ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ที่ตำแหน่งละติจูด 13.72812° และลองจิจูด 100.780125° แล้วทำการปรับเทียบที่ระบบติดตามด้วยเข็มทิศโดยให้หันไมโครลเซ็นเซอร์ไปทางทิศเหนือทุกครั้ง และหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยสมการ NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) ผลการทดสอบพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดจากระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ควบคุมด้วยไมโครลเซ็นเซอร์เมื่อเทียบกับสมการ NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) มีค่าไม่เกิน $\pm 2^\circ$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสมการ NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) ดังนั้นจึงถือว่าระบบมีความแม่นยำในการติดตามดวงอาทิตย์สูงและ การนำระบบนี้ไปใช้งานในการรวมความร้อนเราจะต้องกำหนด ตำแหน่งละติจูดและ ลองจิจูด ณ. ตำแหน่งนั้นๆ เพื่อให้ได้ความแม่นยำของระบบติดตามสูงสุด

คำสำคัญ : ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ มุมอะซิมุท มุมอัลติจูด สมการNOAA

Thesis Title	Hybrid Parabolic Dish Solar Tracking System Using Microcontroller ATMEGA2560
Student Name	Kittiphot Jianwattananukul
Student ID	57605077
Degree	Master of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Sarai Lekchaum

Abstract

In this article, we design and construct the solar tracking system with sensor module consisted of 8 LDR sensors of 5 millimeter length and angle of LDR position of the sun ray by using a principle of shadow from the aluminum bar, and we control this system with microcontroller to track the azimuth and altitude angle. We test our solar tracking system at latitude 13.72812° and longitude 100.780125° of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. We use the compass for checking the default setting for solar tracking system by setting at the North and we use the NOAA equation to calculate of the azimuth and altitude angle of the sun movement. Our experimental result shows that tolerance of the azimuth and altitude angle from our solar tracking to control with a sensor module as compare with NOAA equation will be less than $\pm 2^\circ$ that is acceptable for NOAA equation. Therefore, this system has high accuracy for tracking the sun motion and we can apply this system to collect heat so that we will use latitude and longitude to identify for a high accuracy of solar tracking.

Keywords : Solar tracking system, altitude angle, azimuth angle, NOAA equation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถเสร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนจากรองศาสตราจารย์สาทราย เล็กชะอุ่ม ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ ที่ดีตลอดมาและยังสอนคุณธรรม การใช้ชีวิตด้วยความไม่ประมาท และพอเพียง ทำให้ผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจและแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำงานวิจัยนี้ด้วย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภฤชกร โส้เจริญรัตน์ ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในเรื่องของภาษาอังกฤษจนโครงการงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ อาจารย์สาโรจน์ ชูอำไพ และอาจารย์ประจำตึกซ่อมสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในส่วนของการปฏิบัติงานและเครื่องมือที่สำคัญในการทำโครงการงานวิจัยและเป็นทีปรึกษาพร้อมทั้งให้กำลังใจที่ดีตลอดมา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการทำให้โครงการงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นายคณิงชาติ แสนยศ และ น้องๆสาขาฟิสิกส์ทุกคน ที่ให้คำปรึกษาคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เมตตา ตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน ตลอดจน กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้คำปรึกษา เป็นทุนทรัพย์และคอยเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำวิจัยซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการศึกษาและการทำงานวิจัยนี้

กิตติพิศ เจียรวัฒนานุกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลังงานรังสีอาทิตย์ (Solar energy)	5
2.2 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	9
2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์	9
2.2.2 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	10
2.2.3 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	12
2.2.3.1 มุมเดคลิเนชัน (Declination angle)	14
2.2.3.2 มุมชั่วโมง (Hour angle , ω)	17
2.2.3.3 เวลา (Time)	18
2.2.3.4 การวิเคราะห์สมการของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด	20
2.3 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้าง	25
2.3.1 มอเตอร์กระแสตรง (DC motor)	25
2.3.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	25
2.3.1.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง	26

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.2 หลักการควบคุม ความเร็ว และ ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง	27
2.3.2.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขั้นพื้นฐาน	28
2.3.2.2 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์	31
2.4 ทฤษฎีทางการควบคุมระบบ	36
2.4.1 Hardware	36
2.4.1.1 Arduino MEGA 2560 board	36
2.4.1.2 แอลดีอาร์ (LDR)	41
2.4.1.3 Drive Motor	43
2.4.1.4 ลิ้มิตสวิตช์	44
2.4.1.5 Proximity	44
2.4.1.6 Arduino Nano 3.0 (Complatable)	47
2.4.2 Software	48
2.4.2.1 การติดตั้ง Driver ของ USB Bridge ของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK	48
2.4.2.2 การพัฒนาโปรแกรมของ ET-MEGA2560-ADK ด้วย Arduino	55
2.4.2.3 การติดตั้งโปรแกรม Arduino	56
2.4.2.4 ทดสอบเขียนโปรแกรมใช้งานด้วย Arduino	57
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 การศึกษาหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	63
3.1.1 คำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ AZIMUTH และ ALTITUDE จากสมการ NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA)	63
3.1.2 การสร้างและออกแบบเครื่องมือวัด ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	65
3.1.3 การสร้างกราฟ ANALEMMA ด้วย โปรแกรม SOLAR BEAM	66
3.2 การศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	67
3.2.1 การศึกษาออกแบบและสร้างโครงสร้าง ระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์	67

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การศึกษาและเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบติดตาม การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	76
3.2.3 การศึกษาออกแบบและสร้างโมดูลเซ็นต์เซอร์	78
3.3 การศึกษาออกแบบและสร้างกล่องควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ ของดวงอาทิตย์	79
3.3.1 ออกแบบและสร้างกล่องควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ ของดวงอาทิตย์	79
3.4 การทดสอบสมรรถนะระบบงานติดตามดวงอาทิตย์แบบผสม 2 แกน	83
3.4.1 ออกแบบและสร้างระบบทดสอบโมดูลเซ็นต์เซอร์	83
3.4.2 ออกแบบและสร้างระบบทดสอบชุดเอ็นโค้ดเดอร์	86
3.4.3 ออกแบบและสร้างระบบทดสอบความแม่นยำในการติดตามแสงของ ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์	87
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การหาค่าตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยสมการ National Oceanic Atmospheric Administrator (NOAA)	89
4.2 การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์ด้วยอุปกรณ์ เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (Proximity Sensor)	93
4.2.1 การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมท	94
4.2.2 การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติจูด	94
4.2.3 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์	95
4.3 การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบงานติดตามดวงอาทิตย์ แบบไฮบริดจ์	98
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย	
5.1 สรุปผลงานวิจัย	123
5.2 ข้อเสนอแนะ	124

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินงาน	4
2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k	20
2.2 แสดงการ XOR ด้วยค่าต่างๆ	34
2.3 แสดงค่าแฟกเตอร์ของวัตถุ (Correction factors)	47
3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k	64
4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ $k A_k$ และ B_k	90
4.45 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ ด้วยแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์	116
4.46 แสดงผลการทดสอบระบบงานติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ ในวันที่ 10/01/58 สภาพอากาศปลอดโปร่ง	117
4.47 แสดงผลการทดสอบระบบงานติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ ในวันที่ 11/01/58 สภาพอากาศไม่ปลอดโปร่ง	119



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความยาวคลื่นแสงในช่วงต่างๆ จากดวงอาทิตย์	7
2.2 สเปกตรัมของวัตถุดำที่อุณหภูมิ 6000 K และสเปกตรัมของแสงอาทิตย์	8
2.3 เส้นทางเดินของแสงผ่านชั้นบรรยากาศ	9
2.4 แสดงวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี	9
2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ในรอบปี	10
2.6 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด 0°	11
2.7 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด 35°	11
2.8 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด 60°	12
2.9 แสดงความสัมพันธ์ของทรงกลมท้องฟ้ากับโลก	13
2.10 แสดงความสัมพันธ์ของมุมอะซิมุท มุมอัลติจูด และมุมเซนิท	13
2.11 แสดงความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชัน	15
2.12 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	15
2.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันในรอบปี	17
2.14 แสดงความสัมพันธ์ของมุมชั่วโมง	17
2.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมชั่วโมงใน 24 ชั่วโมง	18
2.16 แสดงความสัมพันธ์ของ Equation of time ในรอบปี	19
2.17 แสดงความสัมพันธ์ของพิกัด ทิศเซนิท (z), ทิศตะวันออก (e) และทิศเหนือ (n)	21
2.18 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์รังสีดวงอาทิตย์กับมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง	22
2.19 แสดงความสัมพันธ์ของการหมุนพิกัดจากตำแหน่งผู้สังเกตถึงจุดศูนย์กลางของโลก	23
2.20 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ขนาน S และ S' ในพิกัดผิวโลกและจุดศูนย์กลางของโลก	24
2.21 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง	26
2.22 ระบบควบคุมความเร็ว ที่ประกอบด้วยลูปลการควบคุมป้อนกลับเพียงลูปลเดียวเหมาะสำหรับอุปกรณ์ส่วนไฟฟ้าเคลื่อนที่	27
2.23 ระบบควบคุมตำแหน่ง ประกอบด้วยลูปลการควบคุมตำแหน่งป้อนกลับและลูปลควบคุมความเร็วป้อนกลับ	28
2.24 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรมและกราฟแสดงคุณสมบัติ	29
2.25 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน	30
2.26 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า duty cycles ที่ต่างกัน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.27	แสดง Rotary Encoder	31
2.28	แสดงการสร้าง pulse ของ Rotary Encoder	31
2.29	แสดง Pulse ของ Rotary แบบสองเฟส	32
2.30	แสดงการตรวจเช็คสัญญาณ pulse ของ Rotary Encoder	33
2.31	ลักษณะ pulse ของ Rotary Encoder ทั้ง สองเฟส	33
2.32	แสดงความละเอียดของ pluse	34
2.33	แสดง Block Diagram ของ Rotary Encoder	35
2.34	รูปแสดงวิธีการตรวจจับทิศทางการหมุนของ Rotary Encoder โดยอ่านค่าเข้ามาทาง Port 1	35
2.35	แสดงการเช็คความกว้างของ Pulse	36
2.36	Arduino MEGA 2560-ADK board	36
2.37	แสดงโครงสร้างของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK	38
2.38	แสดงรูปของแอลดีอาร์ทั่วไป	41
2.39	แสดงโครงสร้างของแอลดีอาร์	41
2.40	กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆของLDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน	42
2.41	ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	43
2.42	แสดงโครงสร้างโดยรวมของลิมิตสวิตช์	44
2.43	แสดงการทำงานของ Proximity Sensors	45
2.44	แสดงส่วนประกอบหลักของ Proximity Sensors	45
2.45	แสดงโครงสร้างของ Arduino Nano 3.0 (Complatible)	48
2.46	แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	49
2.47	แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	50
2.48	แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	51
2.49	แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	52
2.50	แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	53

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.51 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	53
2.52 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	55
2.53 การพัฒนาโปรแกรมของ ET-MEGA2560-ADK ด้วย Arduino	56
2.54 แสดงไอคอนของโปรแกรม Arduino	57
2.55 แสดงโปรแกรม Arduino	57
2.56 แสดงการใช้งานโปรแกรม Arduino	58
2.57 แสดงการเชื่อมต่อ Serial Port โปรแกรม Arduino	59
2.58 แสดงการทดสอบโปรแกรมลงบอร์ด Arduino	60
2.59 แสดงการตรวจสอบโปรแกรมก่อนการอัปเดตโปรแกรมลงบอร์ด Arduino	61
2.60 แสดงการอัปเดตโปรแกรมลงบอร์ด Arduino	62
3.1 แสดงชุดเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	65
3.2 1.แสดงแนวแกนการเคลื่อนที่ ALTITUDE 2. แสดงแนวแกนการเคลื่อนที่ AZIMUTH	65
3.3 แสดงเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งใช้หลักการบังเงาของนาฬิกาแดดที่ เวลา 12.00 น	66
3.4 แสดงขนาดโครงสร้างของเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	66
3.5 แสดงหน้าต่าง PROGRAM SOLARBEAM (THAILAND) ที่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น.ใน 1 ปี	67
3.6 (ก) ภาพโครงสร้างอลูมิเนียมโปรไฟล์ (ข) โครงสร้างฐานระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (ค) โครงสร้างแผ่นรองมอเตอร์ตัวที่ 1 มุมหรือการเคลื่อนที่แนวราบ	69
3.7 แสดงโครงสร้างฐานระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่จัดทำขึ้น	69
3.8 แสดงขนาดโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อะซิมุทหรือการเคลื่อนที่แนวราบ	70
3.9 แสดงแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์(แผ่นที่1)	70
3.10 แสดงแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์(แผ่นที่2)	71
3.11 แสดงโครงสร้างตัวจับแกนมอเตอร์ตัวที่ 1 หรือการเคลื่อนที่แนวราบ	71
3.12 แสดงโครงสร้างตลับลูกปืนช่วยค้ำยันแกนมอเตอร์ตัวที่ 1	72
3.13 แสดงโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อะซิมุทหรือการเคลื่อนที่แนวราบ	72
3.14 แสดงโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อะซิมุทหรือการเคลื่อนที่แนวราบที่จัดทำขึ้น	72
3.15 แสดงโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมรองมอเตอร์ตัวที่ 2 หรือแนวการเคลื่อนที่แนวตั้ง	73
3.16 แสดงโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดติดเอ็นโค้ดเดอร์	74
3.17 แสดงโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดติดมอเตอร์ตัวที่ 2 หรือการเคลื่อนที่แนวตั้ง	74
3.18 แสดงโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดจานพาราโบลติดกับมอเตอร์ตัวที่ 2	75
3.19 แสดงโครงสร้างฐานรองจานพาราโบล	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.20	แสดงโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อัลติจูดหรือการเคลื่อนที่แนวตั้ง	76
3.21	แสดงโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อัลติจูดหรือการเคลื่อนที่แนวตั้งที่จัดทำขึ้น	76
3.22	แสดงโครงสร้างมอเตอร์ตัวที่ 1 เคลื่อนที่แนวแกนอะซิมุทหรือเคลื่อนที่ในแนวราบ	77
3.23	(ก) แสดงโครงสร้างมอเตอร์ตัวที่ 2 เคลื่อนที่แนวแกนอะซิมุทหรือเคลื่อนที่ในแนวราบ	78
	(ข) แสดง โครงสร้าง ENCODER	78
3.24	(ก) โครงสร้างโมดูลเซ็นต์เซอร์	79
	(ข) โครงสร้างโมดูลเซ็นต์เซอร์ที่จัดทำขึ้น	79
3.25	โครงสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่จัดทำขึ้น	79
3.26	แสดงโครงสร้างของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK	81
3.27	แสดง DRIVE MOTOR ET-SMCC V2	83
3.28	แสดงการทดสอบโมดูลเซ็นต์เซอร์	84
3.29	แสดง Arduino Nano V3.0	84
3.30	แสดง USB Lamp ขนาด 6W ให้ความสว่าง 300lm	85
3.31	แสดงรูปแบบเตอรื์สำรอง	85
3.32	แสดง Arduino MEGA 2560 Board	86
3.33	แสดงอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก(Proximity Sensor) PR08-2DN	87
3.34	แสดงระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์	88
3.35	แสดงแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15	88
4.1	กราฟแสดงมุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) ใน 1 ปี	89
4.2	กราฟแสดงสมการเวลา (Equation of Time) ใน 1 ปี	91
4.3	กราฟมุมการเคลื่อนที่อัลติจูด (Altitude Angle) มุมการเคลื่อนที่อะซิมุท (Azimuth Angle) และ มุมชั่วโมง (Hour Angle) ในวันที่ 13/03/58	92
4.4	กราฟแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แต่ละเดือนใน 1 ปีด้วย Azimuth Angle และ Altitude Angle	92
4.5	กราฟแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่เวลาเดียวกัน (Analemma Curve)	93
4.6	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็กที่แกนมอเตอร์อะซิมุท	94
4.7	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็กที่แกนมอเตอร์อัลติจูด	95
4.8	แสดงโครงสร้างภายในของเอ็นโค้ดเดอร์	96
4.9	แสดงสัญญาณพัลส์ของ channel A(CH1) และ channel B(CH2) ของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมุท	96

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การคัดลอกหรือการนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 แสดงสัญญาณพัลส์ของ channel A(CH1) และ channel B(CH2) ของเอ็นโค้ดเดอร์ แนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมุท	97
4.12 แสดงการติดตั้งทดสอบความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของโมดูล เซ็นเซอร์ด้วยไฟฉาย	98
4.13 แสดงการติดตั้งทดสอบความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของโมดูล เซ็นเซอร์ด้วยแสงอาทิตย์	99
4.14 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงทุกตัว	100
4.15 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงทุกตัว	100
4.16 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสง	100
4.17 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสง	101
4.18 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสง	101
4.19 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสง	101
4.20 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสง	102
4.21 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสง	102
4.22 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสง	102
4.23 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสง	103
4.24 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสง	103
4.25 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสง	103
4.26 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสง	104
4.27 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสง	104
4.28 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสง	104
4.29 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสง	105
4.30 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสง	105
4.31 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสง	105
4.32 แสดงวงจรแบ่งแรงดันที่ใช้ในการสร้างโมดูลเซ็นเซอร์	106
4.33 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงอาทิตย์ทุกตัว	107
4.34 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงอาทิตย์ทุกตัว	107
4.35 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	107
4.36 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	108
4.37 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	108
4.38 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	108
4.39 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	109
4.40 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	109
4.41 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ 109 การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.42 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	110
4.43 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	110
4.44 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	110
4.45 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	111
4.46 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	111
4.47 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	111
4.48 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	112
4.49 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	112
4.50 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์	112
4.51 แสดงการสร้างเครื่องวงกลมเพื่อใช้ทดสอบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์	114
4.52 แสดงตำแหน่งการวางระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ และแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์	115
4.53 แสดงการทดสอบความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ ด้วยแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์	115
4.54 แสดงการเชื่อมต่อระบบเริ่มต้นในการติดตั้งระบบและเครื่องมือวัดมุม	117
4.55 แสดงอุปกรณ์รับความร้อนและอุปกรณ์รวมรังสีอาทิตย์	120
4.56 ผลการคำนวณมุมอะซิมูทและมุมอัลติจูดจากสมการ NOAA ของวันที่ 10/01/58	120
4.57 ผลการคำนวณมุมอะซิมูทและมุมอัลติจูดจากสมการ NOAA ของวันที่ 11/01/58	121
4.58 ผลการทดสอบความคลาดมุมอะซิมูท(เส้นสีแดง)และ มุมอัลติจูด(เส้นสีส้ม) จากสมการ NOAA เทียบกับ มุมอะซิมูท(เส้นประสีม่วง)และ มุมอัลติจูด(เส้นประสีดำ) ของ ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ในวันที่ 10/01/58 (สภาพอากาศปลอดโปร่ง)	121
4.59 ผลการทดสอบความคลาดมุมอะซิมูท(เส้นสีน้ำเงิน)และ มุมอัลติจูด(เส้นสีดำ) จากสมการ NOAA เทียบกับ มุมอะซิมูท(เส้นประยาวสีเขียว)และ มุมอัลติจูด(เส้นประยาวสีฟ้า) ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ในวันที่ 11/01/58 (สภาพอากาศไม่ปลอดโปร่ง)	121

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบันแต่ละประเทศมีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นทุกปี และทรัพยากรธรรมชาติที่ถูกนำมาผลิตเป็นไฟฟ้านั้น คือ น้ำมันดิบ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งทรัพยากรธรรมชาติชนิดนี้ใช้แล้วค่อนข้างหมดเร็วขึ้นเรื่อยๆ จึงเป็นผลทำให้ปริมาณของน้ำมันดิบบนโลกลดลงอย่างต่อเนื่อง และอีกในไม่ช้าอาจจะหมดลง จึงทำให้มนุษย์บนโลกพยายามหาแหล่งน้ำมันดิบใหม่ๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานที่สูงขึ้น ซึ่งแน่นอนว่าการนำน้ำมันดิบขึ้นมาจากใต้พิภพนั้นต้องใช้เครื่องมือหนักและเทคโนโลยีขั้นสูงที่ได้มาตรฐานเพื่อความปลอดภัยสูงสุด นั่นจึงตกเป็นภาระหนักต่อฐานะการเงิน การลงทุนของแต่ละประเทศ เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันดิบที่เพียงพอต่อความต้องการของประเทศ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมที่เกิดจากการใช้พลังงานจำนวนมากศาสตร์ดังกล่าวด้วย จึงก่อให้เกิดงานวิจัยเพื่อหาพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศนั้นๆ พลังงานทดแทนที่น่าสนใจและมีงานวิจัยมากอีกประเภทหนึ่งคือพลังงานรังสีอาทิตย์ พลังงานรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด แต่ในการนำมาใช้ประโยชน์อาจยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากแสงอาทิตย์มีเฉพาะในตอนกลางวันตลอดจนมีความเข้มของแสงที่ไม่แน่นอนเพราะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและฤดูกาลที่เปลี่ยนไป สำหรับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น และมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 17.5 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และปริมาณอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์^[1] ดังนั้น การนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยลดการใช้พลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะสำคัญคือ การใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ในรูปความร้อนนั้นคือนำความร้อนมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น ต้มน้ำ และประกอบอาหาร เป็นต้น และการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานรังสีอาทิตย์ เช่น การผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ และผลิตไฟฟ้าจากตัวรับรังสีอาทิตย์ เป็นต้น เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นในการรวมรังสีอาทิตย์ให้ได้ความเข้มสูงสุดเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพ

Y.C. Park, Y.H. Kang.^[2] ได้ออกแบบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจานโดยใช้โฟโต้ไดโอด 5 ตัวเป็นเซ็นเซอร์ในการรับค่าความเข้มแสงส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51 เพื่อควบคุม AC servo motor

P. Roth, A. Georgiev, H. Boudinov^[3] ได้สร้างและออกแบบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัวเป็นเซ็นเซอร์ในการตรวจจับลำแสงอาทิตย์ที่ลอดผ่านเข้ามาয়งระบอกเซ็นเซอร์ และนำค่าความเข้มแสงส่งต่อเข้าไปประมวลผลในซีพียู Z-80 เพื่อควบคุม AC servo motor

Md. Tanvir Arafat Khan, S.M. Shahrear Tanzil, Rifat Rahman, S M Shafiul Alam

^[4] ได้สร้างและออกแบบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยใช้ โฟโต้รีซิสเตอร์ 2 ตัว ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับความเข้มแสง และส่งค่าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega32 เพื่อควบคุม stepper motor 1 ตัว

okpeki U.K., otuagoma.S.O ^[5] ได้สร้างและออกแบบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยใช้ โฟโตรีซิสเตอร์ 4 ตัว ในการตรวจจับความเข้มแสง และส่งสัญญาณเข้า ออปแอมป์ LM348N เพื่อควบคุม DC motor และคนอื่นๆ[6-13]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA2560 โดยระบบนี้จะเป็นการผสมระหว่างโมดูลตรวจจับรังสีอาทิตย์ 8 ตัว และ ตำแหน่งการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันภายในหนึ่งปี พร้อมทำการทดสอบและวิเคราะห์ระบบที่สร้างขึ้นเพื่อหาความแม่นยำของตำแหน่งการติดตามดวงอาทิตย์และทำการปรับเทียบกับสมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ (NOAA) ในอนาคตระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการรวมความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างโครงสร้างของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจาน
3. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจานอัตโนมัติ
4. เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์เพื่อใช้หาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
2. ศึกษาหลักการรับและรวมแสงของรังสีอาทิตย์
3. ออกแบบและสร้างชุดโมดูลตรวจจับรังสีอาทิตย์
4. ออกแบบและสร้างโครงสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจาน
5. ออกแบบและสร้างโปรแกรมควบคุม ATMEGA2560 ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
6. ออกแบบและสร้างกล่องควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
7. ออกแบบและสร้างชุดทดสอบความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์
8. ออกแบบและสร้างชุดทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์ในแนวการเคลื่อนที่อะซิมูทและในแนวการเคลื่อนที่อัลติจูด
9. ทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบ

10. สรุปผลและเก็บรวบรวมจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลวิจัยเกี่ยวกับระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงาน
- ขั้นตอนที่ 2 หาดำเนินการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ของแต่ละวันใน 1 ปี
- ขั้นตอนที่ 3 สั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิค
- ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบและสร้างโครงสร้างของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิค
- ขั้นตอนที่ 5 ออกแบบและสร้างโมดูลตรวจจับรังสีอาทิตย์ 8 ช่อง
- ขั้นตอนที่ 6 ออกแบบและสร้างกล่องควบคุม ATMEGA2560 ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงานพาราโบลิค
- ขั้นตอนที่ 7 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์
- ขั้นตอนที่ 8 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์ในแนวการเคลื่อนที่อะซิมูทและ ในแนวการเคลื่อนที่อัลติจูด
- ขั้นตอนที่ 9 ทดสอบการทำงานเพื่อความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นกับแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์
- ขั้นตอนที่ 10 วิเคราะห์หาความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นกับแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์
- ขั้นตอนที่ 11 ทดสอบการทำงานของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นกับสภาพบรรยากาศจริง
- ขั้นตอนที่ 12 วิเคราะห์หาความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นกับสภาพบรรยากาศจริง
- ขั้นตอนที่ 13 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ปีการศึกษา 2557											
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ขั้นตอนที่ 1												
ขั้นตอนที่ 2												
ขั้นตอนที่ 3												
ขั้นตอนที่ 4												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินงาน	ปีการศึกษา 2558												
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
ขั้นตอนที่ 4													
ขั้นตอนที่ 5													
ขั้นตอนที่ 6													
ขั้นตอนที่ 7													
ขั้นตอนที่ 8													
ขั้นตอนที่ 9													
ขั้นตอนที่ 10													
ขั้นตอนที่ 11													
ขั้นตอนที่ 12													
ขั้นตอนที่ 13													

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางในการพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบงาน
2. ได้พัฒนาการใช้โปรแกรมในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
3. ได้รับความรู้เรื่องพลังงานทดแทนและนำไปสู่การพัฒนาตนเองและสังคม
4. ได้แนวทางในการสร้างองค์ความรู้ใหม่สำหรับการใช้ประโยชน์จากพลังงานรังสีอาทิตย์
5. ได้รับความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือวัดและเครื่องมือทางกลศาสตร์เพื่อนำไปสู่การใช้ประกอบสัมมาอาชีพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานรังสีอาทิตย์ (Solar energy)

ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของสุริยจักรวาลโลก ดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อโลกและความเป็นอยู่ของมนุษย์มากที่สุดคือ ดวงอาทิตย์ทำให้สภาพภูมิศาสตร์ของโลกมีความแตกต่างกันออกไป เช่น เขตร้อน เขตอบอุ่น เขตหนาว และดวงอาทิตย์ทำให้เกิดการหมุนเวียนของกระแสอากาศที่สำคัญคือ ลม การหมุนเวียนของกระแสน้ำในมหาสมุทรคือ กระแสน้ำอุ่น กระแสน้ำเย็น นอกจากนี้ดวงอาทิตย์ทำให้เกิดวัฏจักรของน้ำซึ่งมีผลต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดวงอาทิตย์นอกจากจะให้แสงสว่างแก่โลกเราแล้วยังกระจายรังสีออกมาด้วย รังสีจากแสงสว่างจะช่วยให้สิ่งมีชีวิตดำรงอยู่ได้ ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือโฟโตซินเทซิส คือ การปรุงอาหารในพืช เพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของต้นพืช แต่รังสีแสงอาทิตย์ก็มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเช่นกันถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป พลังงานแสงอาทิตย์นับเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและมีอยู่มากมาย เป็นพลังงานที่ได้เปล่า เราเพียงเสียค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าอุปกรณ์ในการรวบรวมแสงอาทิตย์มาใช้งานเท่านั้น พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบโลกนี้มีปริมาณมากกว่าแหล่งพลังงานอื่นๆ ที่มีบนโลก เช่น พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานใต้พิภพ พลังงานแรงโน้มถ่วง รวมกันถึง 5000 เท่า พลังงานส่วนนี้ 30% จะถูกสะท้อนกลับไปสู่ห้วงบรรยากาศ 47% ถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ 22.5% ถูกใช้ไปในการระเหยและอีกประมาณ 0.5% ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกลในรูปของลม คลื่น และถูกสะสมไว้ในพืชโดยการสังเคราะห์แสง

พลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. พลังงานที่เกิดจากรังสี รูปแบบการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้งาน แบ่งอย่างกว้างๆ เป็น 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับวิธีการในการจับพลังงานแสง การแปรรูปให้เป็นพลังงานอีกรูปหนึ่ง และการแจกจ่ายพลังงานที่ได้ใหม่

1.1 แอคทีฟโซลาร์ เป็นการใช่วิธีการของ โฟโตโวลตาอิกหรือ Solar thermal เพื่อจับและเปลี่ยนพลังงานของแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานความร้อนโดยตรง

1.2 พาสซีฟโซลาร์ เป็นวิธีการใช้ประโยชน์ทางอ้อม ได้แก่ การออกแบบอาคารในประเทศเมืองหนาวให้รับแสงแดดได้เต็มที่ หรือการติดตั้งวัสดุที่ไวต่ออุณหภูมิเพื่อปรับสมดุลของอากาศในอาคาร หรือติดตั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติกระจายแสง หรือการออกแบบพื้นที่ว่างให้อากาศหมุนเวียนโดยธรรมชาติ

2. พลังงานที่เกิดจากความร้อน เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานคลื่น เป็นต้น ซึ่งพลังงานต่างๆ ก็ได้มีการนำมาใช้และพัฒนาให้สามารถใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,353 \text{ W/m}^2$ โดยจะมีค่าการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $1,350 - 1,440 \text{ W/m}^2$ ค่าการแผ่รังสีดังกล่าวเราเรียกว่า ค่าคงที่สุริย (Solar Constant) ซึ่งก็คือ ค่าอัตราการตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่ในทิศทางตั้งฉากกับดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกและจะมีค่าแตกต่างกันออกไปในแต่ละเดือน โดยมีค่าแปรผันไปตามช่วงความยาวคลื่นของรังสีซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบไปด้วย ช่วงอุลตราไว

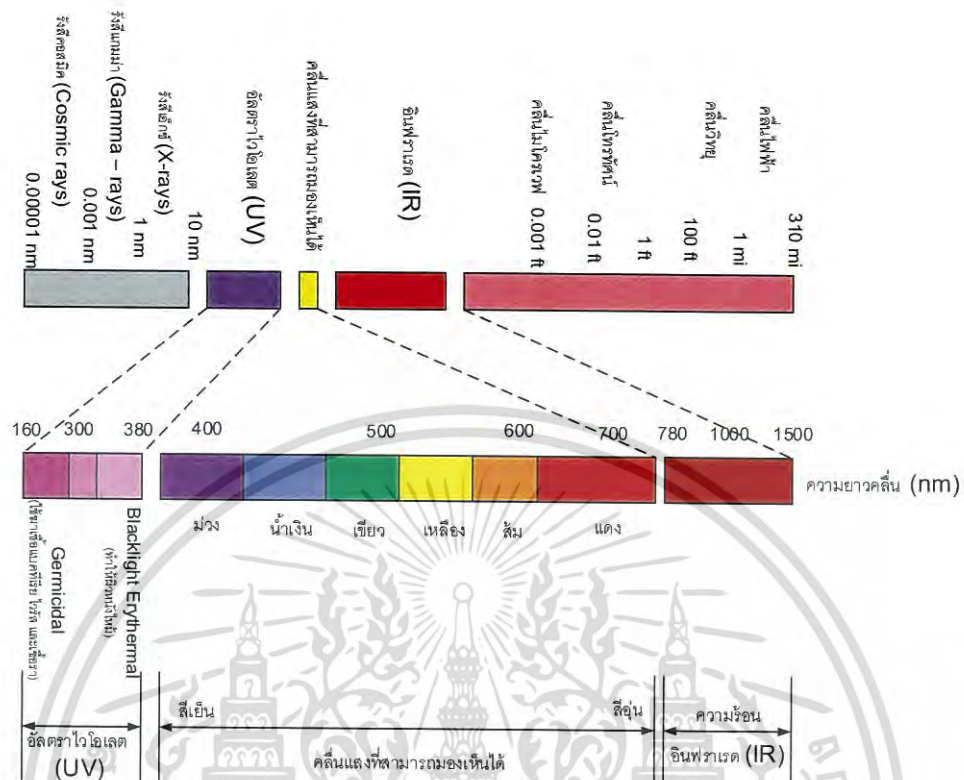
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอเลต ความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 nm พลังงานของแสงจะถูกดูดกลืนโดย O_2 N_2 และ O_3 ในชั้นโอโซนเพื่อ โดยเฉพาะ O_3 สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตได้มาก ทำให้แสงที่ตกกระทบบนผิวโลกเกือบจะไม่มีพลังงานแสงช่วงรังสีอัลตราไวโอเลตเหลืออยู่เลย ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ มีค่าความยาวคลื่น 400 – 750 nm แสงถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของ O_2 O_3 และน้ำบางส่วน ช่วงรังสีอินฟราเรด มีค่าความยาวคลื่นมากกว่า 800 nm แสงถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ การดูดกลืนนี้อยู่ในชั้นบรรยากาศใกล้กับผิวโลกและทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชั้นบรรยากาศ ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 8,000 – 12,000 nm บรรยากาศจะโปร่งใส รังสีในช่วงคลื่นนี้เรียกว่า Atmosphere Window ที่ความยาวคลื่นสูงกว่านี้ รังสีดวงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนเกือบหมดด้วยน้ำในรูปของไอน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้แสงยังถูกสะท้อนและกระเจิงโดยฝุ่นละอองในอากาศ ควัน ก้อนเมฆ และพวกที่มีขนาดโมเลกุล ใกล้เคียงหรือโตกว่าความยาวคลื่น การกระเจิงโดยโมเลกุล อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นรังสีเป็นไปตามทฤษฎีของเรย์เลห์ (Rayleigh)

ผลกระทบของบรรยากาศที่มีต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์มายังโลก ทำให้รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกประกอบด้วยรังสี 2 ส่วน คือ

1. รังสีตรง รังสีส่วนนี้เป็นรังสีที่พื้นโลกได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ มีทิศทางแน่นอน ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนมุมตกกระทบพื้นที่ต่างๆ บนโลกไปตามเวลาก็ตามบางครั้งเรียกรังสีตรงนี้ว่า รังสีช่วงคลื่นสั้น รังสีตรงเหมาะกับการใช้งานรวมแสง
2. รังสีกระจาย ส่วนนี้ได้จากการสะท้อนและการกระเจิงของรังสีแสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ บางครั้งเรียก รังสีส่วนนี้ว่ารังสีช่วงคลื่นยาว

ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายเรียกว่า รังสีรวม เวลาอากาศโปร่งจะมีส่วนของรังสีกระจายเพียงร้อยละ 5 – 10 % และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีเมฆมาบังแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1 ความยาวคลื่นแสงในช่วงต่างๆจากดวงอาทิตย์

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ถูกพิจารณาว่าเสมือนกับการแผ่รังสีของวัตถุดำ และมีลักษณะของสเปกตรัมการแผ่รังสี ดังรูปที่ 2.2 จากรูปจะสังเกตเห็นแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาถึงโลกของเราจะมีสเปกตรัมของพลังงานที่ต่อเนื่อง และมีการแผ่รังสีครอบคลุมย่านความยาวคลื่น ~ 0.2 - 2.6 ไมโครเมตร

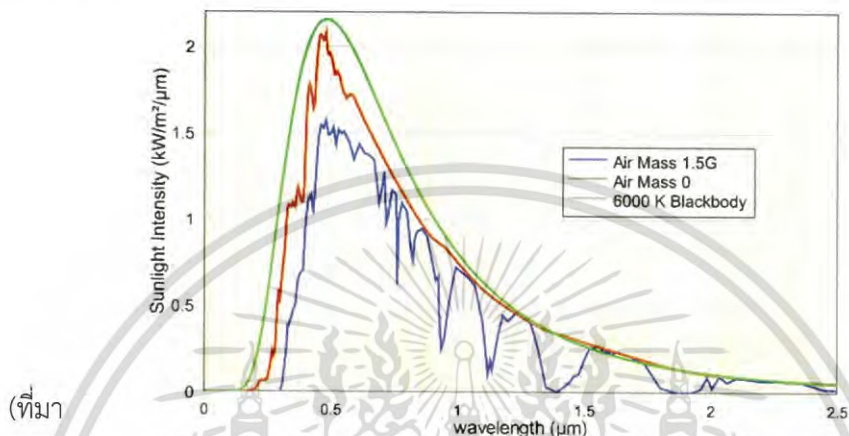
สเปกตรัมของแสงจะประกอบไปด้วยย่านความยาวคลื่นที่สำคัญ 3 ย่าน

1. ย่านอัลตราไวโอเล็ต (ความยาวคลื่น 200 – 400 นาโนเมตร)
2. ย่านวิสิเบิล (ความยาวคลื่น 390 – 700 นาโนเมตร)
3. ย่านอินฟราเรด (ความยาวคลื่น 700 – 1 มิลลิเมตร)

แสงที่ตกกระทบที่ผิวนอกบรรยากาศโลก (Air Mass 0) จะมีลักษณะของเส้นกราฟคล้ายกับสเปกตรัมการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประมาณ 6000 K (เส้นสีเขียว) เมื่อแสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะมีสเปกตรัมของการแผ่รังสีเปลี่ยนแปลงไป (Air Mass 1.5G) เนื่องจากถูกดูดกลืนเกิดการสะท้อนและเกิดการกระเจิงของแสงเมื่อตกกระทบโมเลกุลของก๊าซ อนุภาคต่างๆที่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของบรรยากาศโลก (Air Mass 0) จะมีลักษณะของเส้นกราฟคล้ายกับสเปกตรัมการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประมาณ 6000 K (เส้นสีเขียว) เมื่อแสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะมีสเปกตรัมของการแผ่รังสีเปลี่ยนแปลงไป (Air Mass 1.5G) เนื่องจากถูกดูดกลืนเกิดการสะท้อนและเกิดการกระเจิงของแสงเมื่อตกกระทบบนโมเลกุลของก๊าซ อนุภาคต่างๆที่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศ



<http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter02/chapter02.html>

รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 6000 K และสเปกตรัมของแสงอาทิตย์

การพิจารณาเส้นทางที่แสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศจะแสดงด้วยค่ามวลอากาศ (Air Mass)[9] ซึ่งนิยามว่า คือสัดส่วนระหว่างระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศจริง (AC) และระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศในแนวตั้งหรือตอนดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลางศีรษะ (AB) ดังรูปที่ 2.3

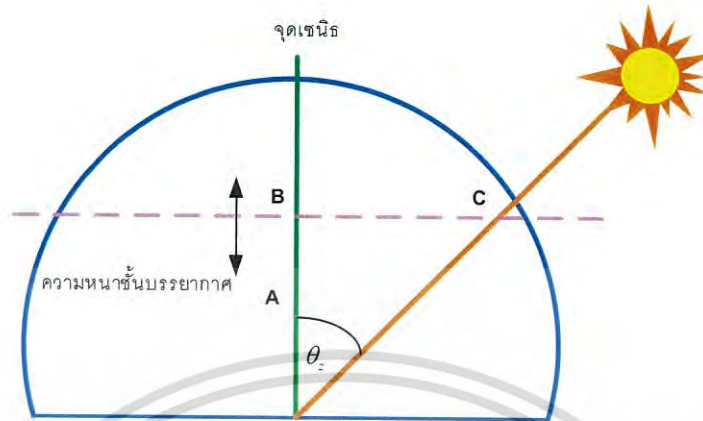
$$AM = \frac{AC}{AB} = \frac{1}{\cos \theta_z} = \sec \theta_z \quad \dots (2.1)$$

เมื่อ θ_z คือมุมระหว่างจุดเซนิตและดวงอาทิตย์ (มุมเซนิต)

จุดเซนิต คือจุดสูงสุดบนส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere) ที่ตั้งฉากกับระนาบขอบฟ้า (Horizontal Plane)

ค่าพลังงานของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลกจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณของรังสีที่ได้รับ ซึ่งค่าพลังงานที่โลกได้รับจะมีค่าแตกต่างกันในละสถานที่ วันและเวลาที่พิจารณา อีกทั้งยังมีผลของปัจจัยของสภาพบรรยากาศอื่นๆ เช่น ความชื้นมัวของท้องฟ้าเนื่องจากฝุ่นละออง หมอกและควัน เป็นต้น ดังนั้นการหาค่าพลังงานโดยการวัดสเปกตรัมของแสงจะทำให้ทราบถึงปริมาณแสงที่ส่งมาถึงพื้นที่ๆ พิจารณาในแต่ละความยาวคลื่นและสามารถใช้วิเคราะห์หาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อสเปกตรัมแสง ณ ตำแหน่งที่พิจารณาได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

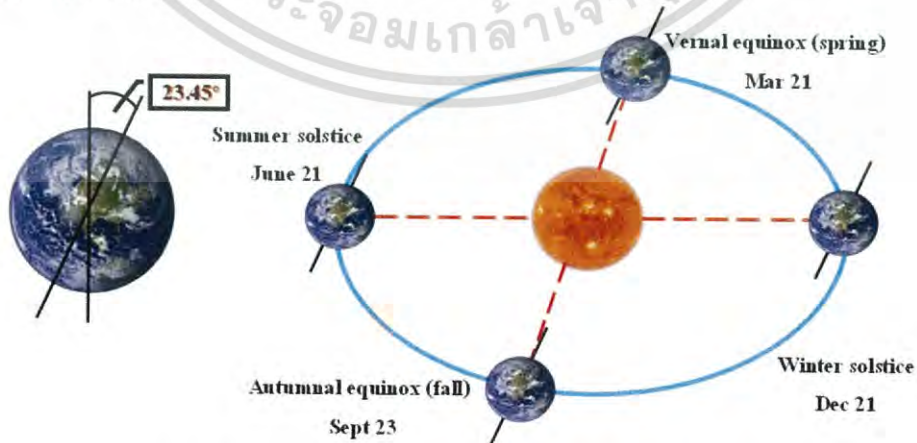


รูปที่ 2.3 เส้นทางเดินของแสงผ่านชั้นบรรยากาศ

2.2 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

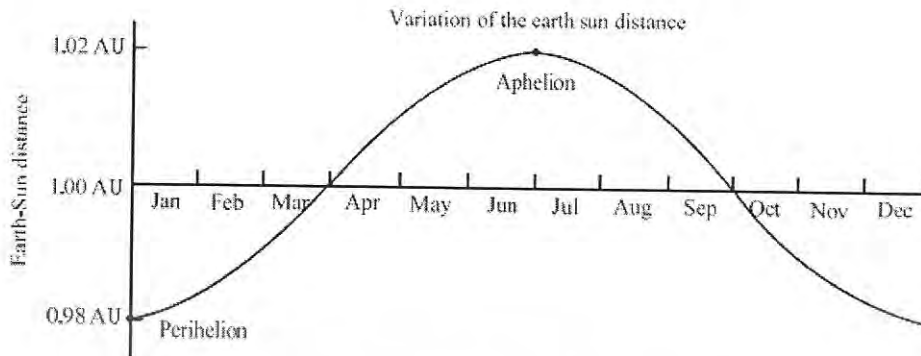
2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี (Ellipse) ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนไปตลอดปี โดยมีระยะห่างเฉลี่ยเท่ากับ 1.51×10^{11} เมตร ความแตกต่างระหว่างระยะห่างไกลสุดและใกล้สุดมีค่าร้อยละ 1.7 จากค่าเฉลี่ย เมื่อมองจากขั้วเหนือของระนาบทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ หรือ ระนาบสุริยวิถี (Ecliptic Plane) โลกจะปรากฏโคจรไปรอบๆ ในทิศทวนเข็มนาฬิกาและในขณะเดียวกันก็หมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ในวันที่ 2 มกราคมของปี โลกจะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะน้อยที่สุดที่เรียกว่าตำแหน่งนี้ว่า เพอร์ฮีเลียน (Perihelion) มีค่าประมาณ 1.47×10^{11} เมตร และในวันที่ 3 กรกฎาคมของปีโลกจะเคลื่อนที่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางมากที่สุด เรียกตำแหน่งนี้ว่า แอพีเลียน (Aphelion) มีค่าประมาณ 1.52×10^{11} เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 2.1



รูปที่ 2.4 แสดงวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา Stine and Harrigan, 1985)

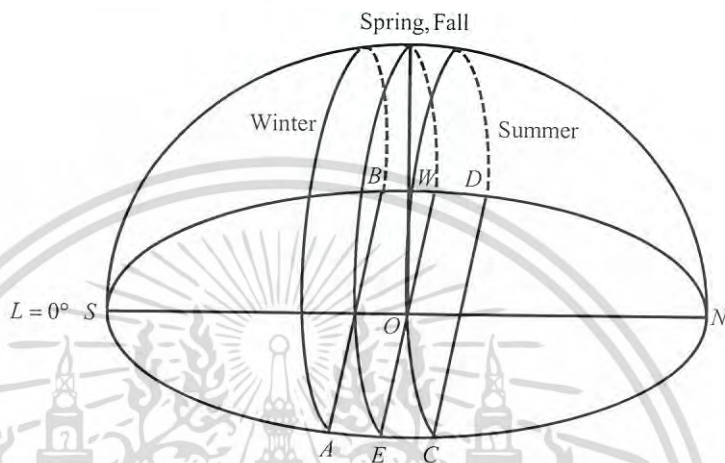
รูปที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ในรอบปี

ผลจากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี และแกนหมุนของโลกเอียงทำมุม 23.45 องศา กับแกนที่ตั้งฉากกับระนาบสุริยวิถี ส่งผลให้ในรอบปี จะเกิดฤดูกาลต่างๆ ขึ้น 4 ฤดูดังภาพประกอบ 2.2 กล่าวคือ ในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 23 กันยายน แกนเอียงของโลกอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ การเอียงของแกนหมุนของโลกจะไม่มีผลต่อแสงอาทิตย์ ชีวโลกด้านเหนือจะได้รับแสงอาทิตย์กับเท่ากับซีกโลกใต้ ดวงอาทิตย์จะปรากฏขึ้นอยู่เหนือขอบฟ้า 12 ชั่วโมง และใต้ขอบฟ้า 12 ชั่วโมง นั่นคือ กลางวันกับกลางคืนยาวเท่ากัน เรียกตำแหน่งทั้งสองว่า อีควินอกซ์ (Equinoxes) ซึ่งวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่า สปริง (Spring) หรือ เวอร์นอลอีควินอกซ์ (Vernal Equinox) และวันที่ 23 กันยายน เรียกว่า ฟอล (Fall) หรือ ออรัทมนอลอีควินอกซ์ (Autumnal Equinox) หลังจากวันที่ 21 มีนาคม โลกจะโคจรไปสู่ตำแหน่งที่หันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 21 มิถุนายน โลกหันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดซีกโลกเหนือ ได้รับแสงเป็นเวลานาน กลางวันยาวกว่า กลางคืนเฉพาะบริเวณตั้งแต่ลองจิจูด (Latitude) ที่ 66.45 องศาเหนือถึงขั้วโลกเหนือเป็นเวลากลางวัน 24 ชั่วโมง ขณะเดียวกันบริเวณตั้งแต่ลองจิจูด 66.45 องศาใต้ถึงขั้วโลกใต้จะเป็นกลางคืน 24 ชั่วโมง จุดนี้เรียกว่า โซลสติซส์ฤดูร้อน (Summer Solstice) ตรงกันข้ามคือที่ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 ธันวาคม โลกหันขั้วเหนือออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ดังนั้นซีกโลกเหนือจึงมีกลางวันสั้นกว่ากลางคืน จุดนี้เรียกว่า โซลสติซส์ฤดูหนาว (Winter Solstice) ที่กล่าวมาเป็นการกำหนดฤดูกาลของตำบลในซีกโลกเหนือ สำหรับซีกโลกใต้กำหนดตรงกันข้ามกับซีกโลกเหนือ ตำบลที่อยู่ระหว่างลองจิจูด 23.45 องศาเหนือและใต้ จะมีดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่เหนือศีรษะ 2 ครั้ง ใน 1 ปี ส่วนตำบลที่อยู่ระหว่างลองจิจูด 66.45 องศาเหนือถึงขั้วโลกเหนือ และ 66.45 องศาใต้ถึงขั้วโลกใต้ จะไม่มีดวงอาทิตย์เที่ยงวันเหนือศีรษะ

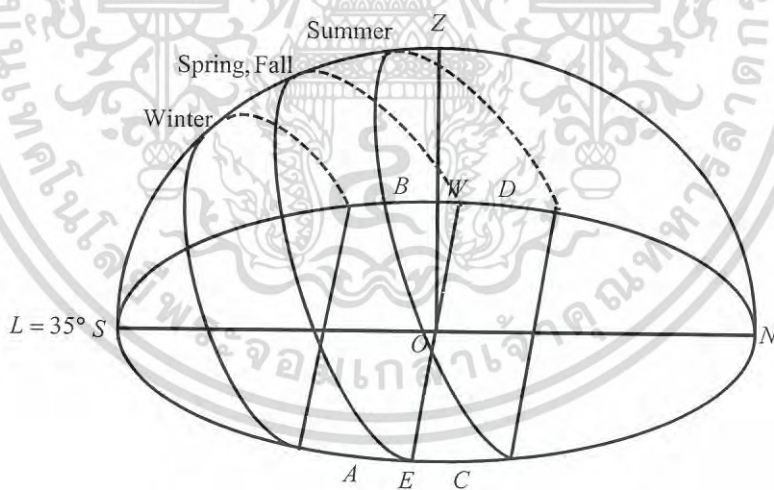
2.2.2 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

จากภาพประกอบ 2.3 ซึ่งแสดงลักษณะทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ตำแหน่งละติจูดและฤดูกาลต่างๆ จะเห็นว่าที่จุดอีควินอกซ์ทั้งสอง (Spring, Fall) บนละติจูดต่างกันดวงอาทิตย์จะขึ้นทางทิศตะวันออกและตกทางทิศตะวันตก ดวงอาทิตย์เที่ยงวัน ณ จุดสังเกตอยู่สูงทำมุมเท่ากับ 90° - มุมละติจูด ที่โซลสติซส์ฤดูหนาว (Winter) ระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์จะกวาดเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวางไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนโค้งของวงกลม ดวงอาทิตย์ขึ้นทางใต้ของทิศตะวันออกและตกทางใต้ของทิศตะวันตก กลางวันสั้นกว่า 12 ชั่วโมง ในบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่สูงทำมุมกับแนวระดับเป็นมุม $90^\circ - \text{มุมละติจูด} - 23.45^\circ$ ที่โซลสติซส์ฤดูร้อน(Summer) (ครึ่งวงกลมด้านใต้เป็นฤดูหนาว) ดวงอาทิตย์จะขึ้นและตกก่อนไปทางเหนือของแนวทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เหนือเส้นศูนย์สูตรกลางวันจะยาวกว่า 12 ชั่วโมง ดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่สูงทำมุมกับแนวระดับเป็นมุม $90^\circ - \text{มุมละติจูด} + 23.45^\circ$

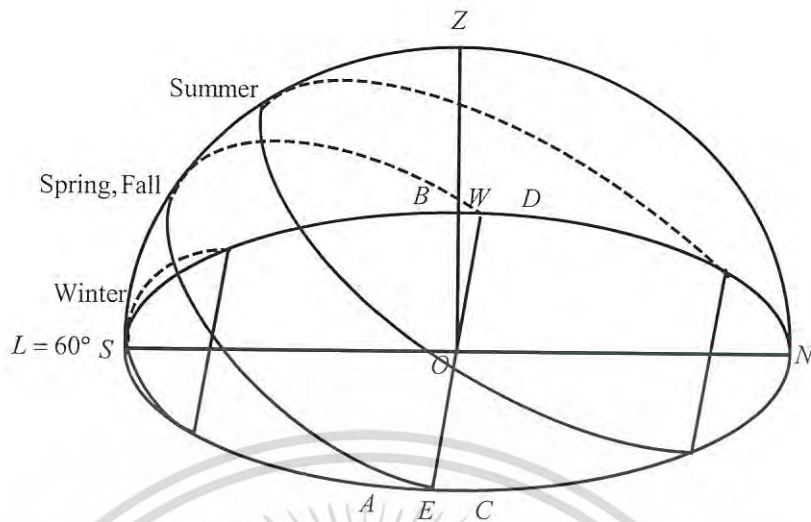


รูปที่ 2.6 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด 0°



รูปที่ 2.7 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด 35°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

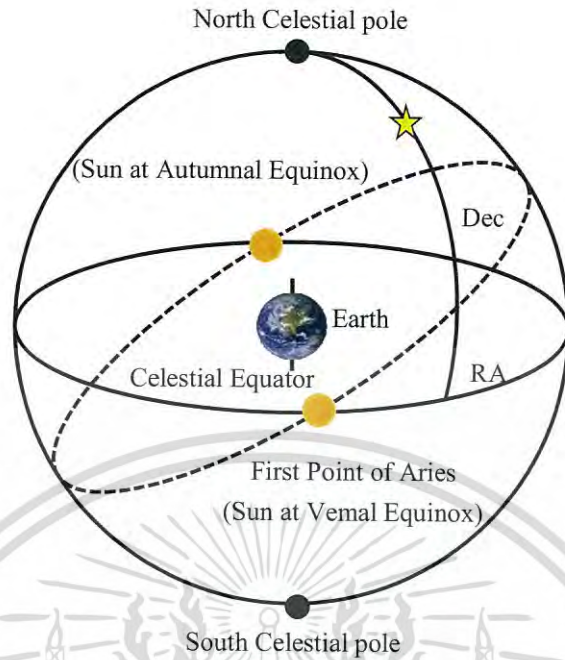


รูปที่ 2.8 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด 60°

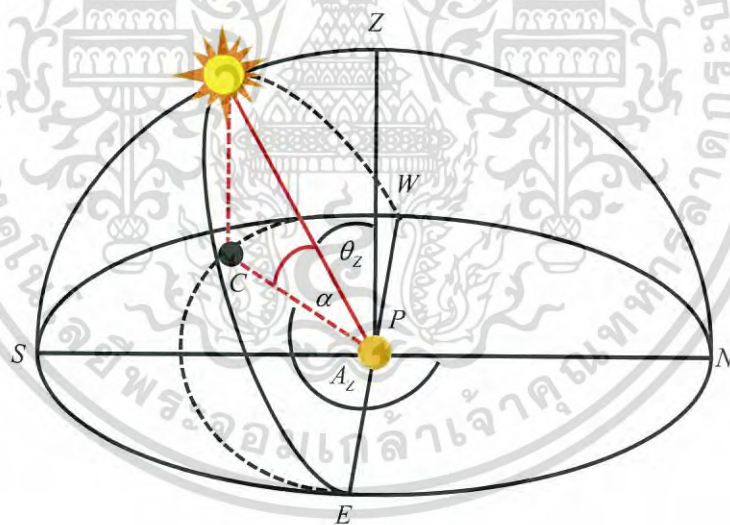
2.2.3 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

ในวิชาดาราศาสตร์ เมื่อต้องการบอกตำแหน่ง ของวัตถุบนท้องฟ้า โดยมากใช้แนวความคิด เรื่องทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere) ซึ่งหมายถึงทรงกลมรัศมีหนึ่งหน่วยมีจุดศูนย์กลางเป็นจุด ออริจิ้น และวัตถุท้องฟ้าต่างติดอยู่บนผิวทรงกลมนี้ ถ้าขยายเส้นศูนย์สูตรของโลกออกไปพบทรงกลม ท้องฟ้า วงกลมใหญ่ที่ปรากฏบนทรงกลมท้องฟ้า เรียกว่า เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (Celestial Equator) ถ้าให้ผู้สังเกตเป็นจุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้า วงกลมใหญ่ที่อยู่รอบๆ ผู้สังเกต เรียกว่า เส้นขอบ ฟ้า (Horizon) ดังภาพประกอบ 2.4 ส่วนการระบุตำแหน่งของวัตถุต่างๆ บนท้องฟ้าสามารถจำแนก ได้หลายระบบเช่น ระบบเส้นขอบฟ้า (Horizon System) ระบบเส้นศูนย์สูตร (Equator System) ระบบเส้นเอคลิปติก (Ecliptic System) และระบบแกแลคติก (Galactic System)

ในที่นี้การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะใช้ระบบเส้นขอบฟ้า ซึ่งเป็นระบบที่ใช้บอกตำแหน่ง ของวัตถุบนท้องฟ้าว่าอยู่เหนือขอบฟ้าเป็นระยะตามมุมเท่าใด และอยู่ห่างจากตำแหน่งเทียบบนขอบ ฟ้ามากน้อยเพียงใด โดยที่ระบบนี้จะมีเส้นขอบฟ้า (Horizon) เป็นวงกลมใหญ่หลัก โค-ออดิเนทของ ระบบนี้เรียกว่า อัลติจูด (Altitude, α) และอะซิมุท (Azimuth, A) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของทรงกลมท้องฟ้ากับโลก



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ของมุมอะซิมุท มุมอัลติจูด และมุมเซนิท

นิยามของค่าที่สำคัญในการบอกตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้าในระบบเส้นขอบฟ้า

เมอริเดียนท้องฟ้า (Celestial Meridian) เป็นวงกลมแนวตั้งที่ผ่านเส้นขอบฟ้า ณ จุดทิศเหนือ (N) และจุดทิศใต้ (S) ซึ่งเป็นเส้นสมมุติเส้นหนึ่งบนท้องฟ้า เริ่มจากขอบฟ้าทิศเหนือลาก ขึ้นไปจนถึงจุดเหนือศีรษะ ลากต่อไปจนจรดขอบฟ้าทิศใต้แบ่งครึ่งท้องฟ้าออกเป็น 2 ส่วน คือ ซีกตะวันออกและตะวันตก

มุมอะซิมุท (Azimuth, A) เป็นควาระยะทางเชิงมุมที่วัดจากจุดทิศเหนือ (N) ในทิศทางตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข็มนาฬิกา ไปยังทิศตะวันออก (E) จนถึงวงกลมแนวตั้งของดวงอาทิตย์ หรือเงาของดวงอาทิตย์ในแนวราบ มุมอะซิมูทมีค่าระหว่าง 0 – 360 องศา

มุมอัลติจูด (Altitude, α) เป็นค่ามุมเงย วัดจากเส้นขอบฟ้าขึ้นไปตามวงกลมแนวตั้ง จนถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้า มุมอัลติจูดจะมีค่าระหว่าง 0 – 90 องศา ถ้าวางดวงอาทิตย์อยู่ที่เส้นขอบฟ้า ค่าอัลติจูด เท่ากับ 0 องศา ถ้าวางดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะพอดีค่าอัลติจูด เท่ากับ 90 องศา

มุมเซนิต (Zenith, θ_z) เป็นมุมระหว่างแนวตั้งเหนือศีรษะจากจุดเซนิตกระทำกับแนวรังสีจากดวงอาทิตย์ มุมเซนิตจะมีค่าระหว่าง 0 – 90 องศา หรือมีค่าเท่ากับ

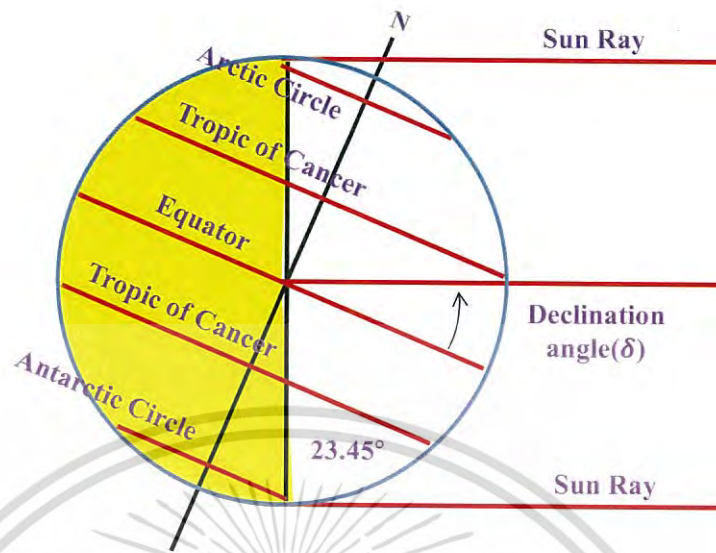
$$\theta_z = 90^\circ - \alpha \quad \dots (2.2)$$

ค่าอัลติจูดและอะซิมูทของดวงอาทิตย์ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ถ้าผู้สังเกตอยู่ที่ตำแหน่งละติจูดต่างกัน จะสังเกตเห็นดวงอาทิตย์ในขณะเวลาเดียวกันมีค่าอัลติจูดและอะซิมูทแตกต่างกัน ดังนั้นค่าอัลติจูดและอะซิมูทจะขึ้นกับตัวแปรหลายค่า เช่น การเอียงของแกนหมุนของโลก เวลา ตำแหน่งละติจูด ตำแหน่งละติจูด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

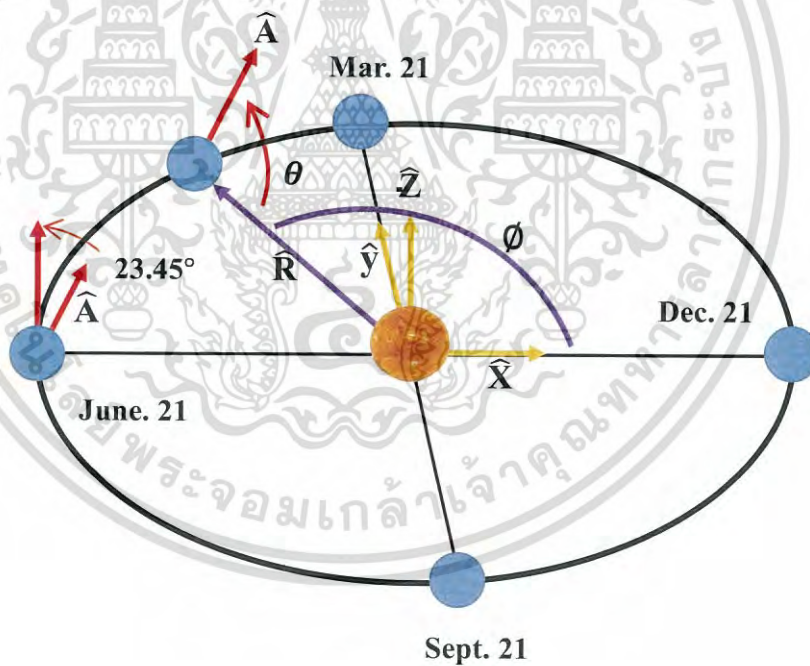
2.2.3.1 มุมเดคลิเนชัน (Declination angle)

มุมเดคลิเนชันเป็นผลกระทบจากการเอียงของแกนหมุน ของโลกหาได้จากระยะทางเชิงมุมทางเหนือหรือใต้จากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า ขึ้นหรือลงไปตามเส้นแนวรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6 มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง + 23.45 ถึง - 23.45 องศา ในช่วง 1 ปี โดยประมาณวันที่ 21 มิถุนายน ซึ่งเป็นวันที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด จะมีค่ามุมเดคลิเนชันเท่ากับ + 23.45 องศา ในวันที่ 21 มีนาคม และ 21 กันยายน จะมีค่ามุมเดคลิเนชันเท่ากับ 0 และประมาณวันที่ 21 ธันวาคม ซึ่งเป็นวันที่ขั้วโลกหัน

ในการพิจารณาสมการของมุมเดคลิเนชัน จะวิเคราะห์จากเวกเตอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System) โดยให้ระนาบ x-y เป็นระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ และ z เป็นระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบ x-y ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชัน



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

เมื่อ \hat{A} คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแนวแกนหมุนโลก มีทิศจากขั้วโลกใต้ไปยังขั้วโลกเหนือ

\hat{R} คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

θ คือ มุมระหว่าง \hat{A} และ \hat{R} และ

ϕ คือ ระยะทางเชิงมุมของวงโคจรของโลก โดยกำหนดให้เป็นจำนวนวันใน 1 รอบปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ D_s เป็นจำนวนวัน $D_s = 1$ ในวันที่ 21 ธันวาคม และ $D_s = 365$ ในวันที่ 20 ธันวาคม ดังนั้น ค่ามุม ϕ จะเท่ากับ 360 องศา ต้องใช้เวลา 365.242 วัน จึงได้ว่า

$$\phi = (D_s - 1) \frac{180^\circ}{182.6} \quad \dots (2.3)$$

เมื่อเขียน \hat{R} ในเทอมของ \hat{x} และ \hat{y} ได้ว่า

$$\hat{R} = -(\cos\phi)\hat{x} + (\sin\phi)\hat{y} \quad \dots (2.4)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อเขียน \hat{A} อยู่ในเทอมของ \hat{z} และ \hat{x} โดยพิจารณาตำแหน่งของโลก ในวันที่ 21 มิถุนายน ได้ว่า

$$\hat{A} = \cos(23.45^\circ)\hat{z} + \sin(23.45^\circ)\hat{x} \quad \dots (2.5)$$

จากนิยามของมุมเดคลิเนชัน ซึ่งเป็นมุมระหว่างรังสีแสงอาทิตย์กับระนาบเส้นศูนย์สูตร จะได้ว่า \hat{A} ตั้งฉากกับระนาบเส้นศูนย์สูตร และมีมุมเดคลิเนชันเท่ากับ

$$\delta = 90^\circ - \theta \quad \dots (2.6)$$

มุม θ หาได้จากความสัมพันธ์ของ

$$\cos\theta = -\hat{R} \cdot \hat{A} = \cos\phi \sin(23.45^\circ) \quad \dots (2.7)$$

รวมสมการ 2.2, 2.5 และ 2.6 จะได้

$$\sin\delta = -\cos\left[(D_s - 1) \frac{180}{182.6}\right] \sin(23.45^\circ) \quad \dots (2.8)$$

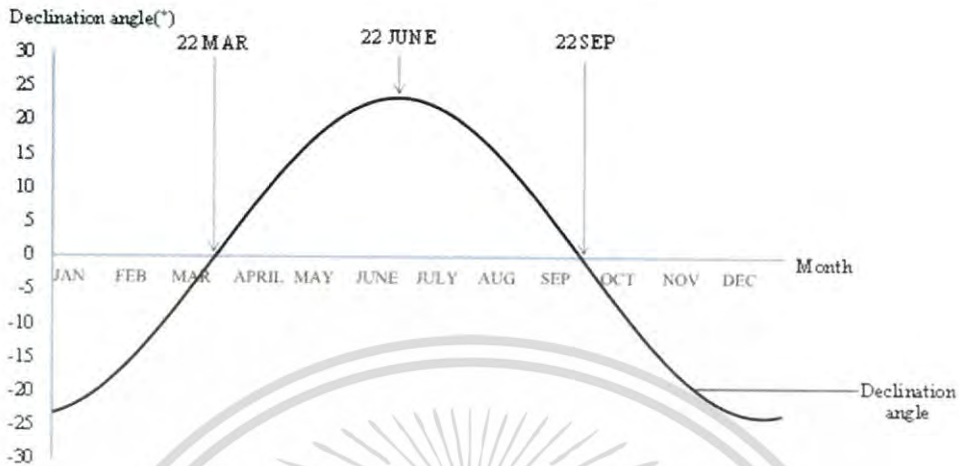
หรือ ถ้าให้ n เป็นจำนวนวันในรอบปี โดย $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม จะได้ว่า

$$\sin\delta = \cos\left[(n - 173) \frac{180}{182.6}\right] \sin(23.45^\circ) \quad \dots (2.9)$$

นำสมการ 2.7 หรือ 2.8 ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันและจำนวนวันใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

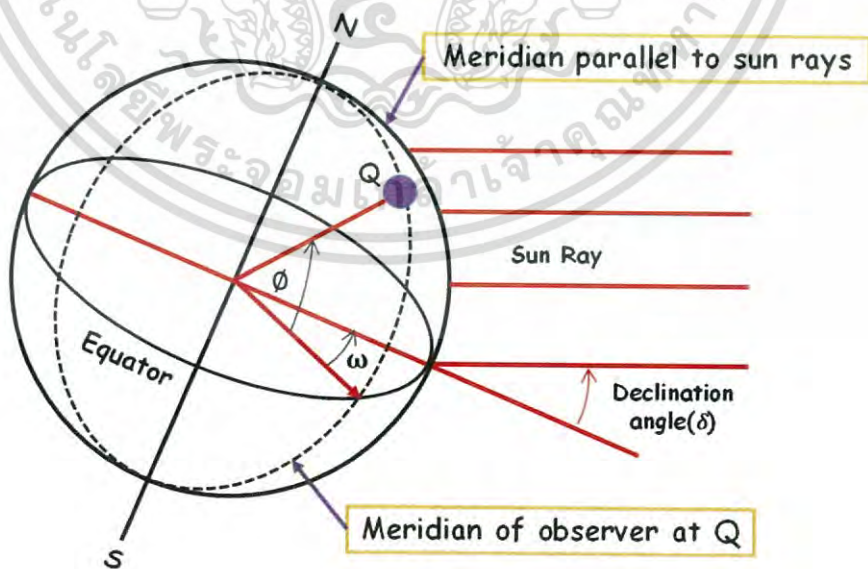
รอบปี จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันในรอบปี

2.2.3.2 มุมชั่วโมง (Hour angle, ω)

มุมชั่วโมงใช้บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ โดยวัดจากเส้นเมริเดียนท้องฟ้าในทิศตามเข็มนาฬิกา (ทิศเดียวกับการหมุนของท้องฟ้า) ไปตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า จนถึงวงกลมชั่วโมงที่ผ่านตำแหน่งของดวงอาทิตย์ หรือวัดจากเส้นเมริเดียนของตำแหน่งสถานที่ตั้งไปยังเส้นเมริเดียนที่ขนานกับรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เมื่อ Q เป็นตำแหน่งของผู้สังเกต และ ϕ เป็นตำแหน่งละติจูด

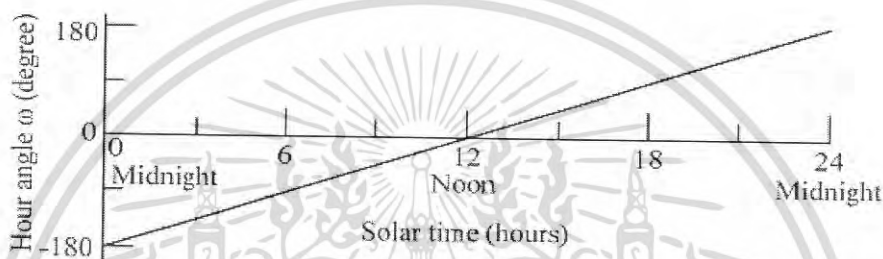


รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ของมุมชั่วโมง

เนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลก 1 รอบ (360 องศา) ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง หรือ เคลื่อนที่ 1 องศา ใช้เวลา 4 นาที ค่า ω ในหน่วยองศา จึงหาได้จากสมการ 2.10 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -180 องศา ถึง +180 องศา ซึ่งเป็นลบในช่วงเช้ามืดก่อนเที่ยงวัน และบ่งบอกในช่วงบ่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.14

$$\omega = 15(t_s - 12) \quad \text{องศา} \quad \dots (2.10)$$

เมื่อ t_s คือ เวลาสุริยคติปรากฏ



(ที่มา : Stine and Harrigan, 1985)

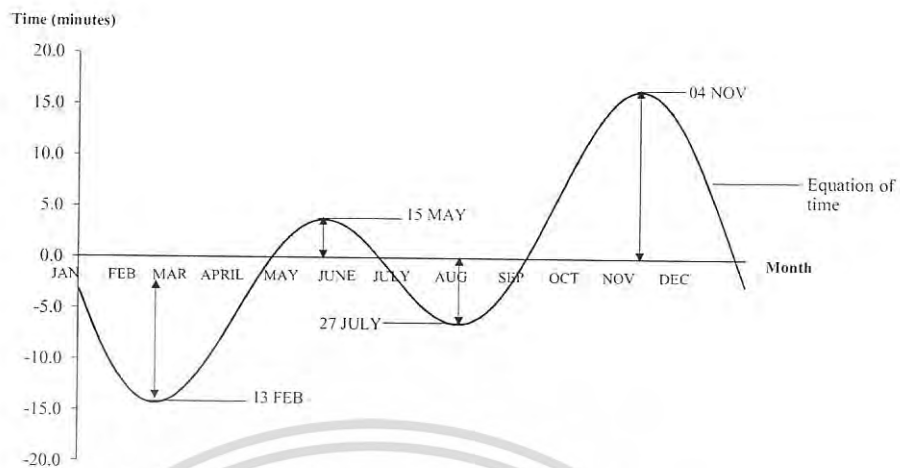
รูปที่ 2.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมชั่วโมงใน 24 ชั่วโมง

2.2.3.3 เวลา (Time)

การกำหนดเวลาในชีวิตประจำวัน และเหตุการณ์ต่าง ๆ นั้น สามารถกำหนดได้จากเวลาดาราคติ (Sidereal Time) หรือเวลาสุริยคติ (Solar Time) แต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้เวลาสุริยคติหรือดวงอาทิตย์เป็นจุดกำหนดเวลา ซึ่งเวลาสุริยคติ จะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. เวลาสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Time, AST) เป็นเวลาที่สังเกตจากดวงอาทิตย์จริง หรือคิดจากมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์จริง เช่น นาฬิกาแดด
2. เวลาสุริยคติเฉลี่ย (Mean Solar Time, MST) เป็นเวลาที่กำหนดจากดวงอาทิตย์สมมติ หรือดวงอาทิตย์เฉลี่ย (Mean Sun) หรือคิดจากมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย เช่น เวลาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ คือ โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ ใช้เวลา 365.2422 วัน และโลกโคจรรอบ 1 รอบคิดเป็น 360° หรือ 24 ชั่วโมง ดังนั้นใน 1 วัน โลกจะเคลื่อนที่ไปได้ $59' 8'' .33$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของ Equation of time ในรอบปี

ถ้าหากทำการวัดระยะเวลา 1 วัน ในวันใดวันหนึ่งของปี โดยการจับเวลาที่ดวงอาทิตย์หรือดาวฤกษ์เคลื่อนที่ผ่านเมอริเดียนท้องฟ้า 2 ครั้งติดต่อกัน จะพบว่าในบางวันเวลาที่วัดได้มีค่ามากกว่า 24 ชั่วโมง ของ 1 วันสุริยคติเฉลี่ย แต่บางวันกลับมีค่าน้อยกว่า 24 ชั่วโมงของ 1 วันสุริยคติเฉลี่ย เวลา 1 วันที่เราวัดของวันใดวันหนึ่งดังกล่าวนี้เรียกว่า 1 วันสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Day) ตามข้อเท็จจริงแล้ว เวลา 1 วันสุริยคติปรากฏ อาจน้อยกว่า 1 วันสุริยคติเฉลี่ยถึง 22 วินาที และอาจยาวนานกว่าถึง 28 วินาที และมีเพียง 4 วันเท่านั้นในรอบปีที่เวลา 1 วันสุริยคติปรากฏจะมีค่าเท่ากับเวลา 1 วันสุริยคติเฉลี่ย เมื่อเวลาที่ยาวกว่าหรือสั้นกว่าในแต่ละกรณีสะสมนับเดือนๆ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างเวลาเที่ยงมาตรฐานกับเวลาเที่ยงปรากฏ กล่าวคือดวงอาทิตย์ผ่านเมอริเดียนไปก่อนเวลาที่แท้จริง หรือดวงอาทิตย์ยังไม่ถึงเมอริเดียนในเวลาที่กำหนดว่าดวงอาทิตย์อยู่ที่เมอริเดียนแล้ว หรือกล่าวอย่างง่าย ๆ ก็หมายความว่า ตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ปรากฏจริงๆ ในท้องฟ้าในแต่ละวันนั้นจะปรากฏว่า ช้าหรือ เร็ว กว่าเวลาจริงๆ เสมอ ดวงอาทิตย์จะปรากฏว่าเดินช้าอยู่ 2 ช่วงในรอบปีหนึ่งๆ คือ ในเดือนกุมภาพันธ์จะปรากฏสูงสุดถึง 14 นาที และในเดือนกรกฎาคมจะเดินช้าอีกครั้งหนึ่ง และลดลงเหลือช้าสูงสุด 7 นาที และดวงอาทิตย์จะปรากฏว่าเดินเร็วอยู่ 2 ช่วงเช่นเดียวกัน คือ เดินเร็วสูงสุดถึง 16 นาที ในเดือนตุลาคม และพฤศจิกายน กับเดินเร็วสูงสุดประมาณ 4 นาทีในเดือนพฤษภาคม เราเรียกเวลาที่มากกว่าหรือน้อยกว่าเวลาเฉลี่ยนี้ว่า สมการเวลา (Equation of Time, EQT) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.10 ซึ่งความสัมพันธ์ของสมการเวลาสามารถหาได้จากสมการ 2.10 (Lamm, 1981)

$$EQT = 60 \sum_{k=0}^5 \left[A_k \cos\left(\frac{360kn}{365.25}\right) + B_k \sin\left(\frac{360kn}{365.25}\right) \right] \quad \text{min} \quad \dots (2.11)$$

เมื่อ n คือจำนวนวันในรอบปี โดยที่ $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม ค่าสัมประสิทธิ์ A_k และ B_k สามารถหาได้จากตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k

k	$A_k(\text{hr})$	$B_k(\text{hr})$
0	2.0870×10^{-4}	0
1	9.2869×10^{-3}	-1.2229×10^{-1}
2	-5.2258×10^{-2}	1.5698×10^{-1}
3	-1.3077×10^{-3}	-5.1602×10^{-3}
4	-2.1867×10^{-3}	-2.9823×10^{-3}
5	-1.5100×10^{-4}	-2.3463×10^{-4}

(ที่มา : Stine and Harrigan, 1985)

ในส่วนของการคำนวณตำแหน่ง ของดวงอาทิตย์จะใช้เวลาสุริยคติปรากฏตั้งนั้นก่อนนำไปคำนวณ จะต้องเปลี่ยนเวลาท้องถิ่น (Local Cock Time, LCT) เป็นเวลาสุริยคติปรากฏ และบวกด้วยค่าสมการเวลาเสียก่อน ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการ 2.11

$$AST = LCT \pm T_{zW}^E \pm \lambda_W^E + \frac{EQT}{60} \quad \dots (2.12)$$

เมื่อ LCT คือ เวลาท้องถิ่น

T_z คือ เขตเวลา (Time Zone) หรือตัวเลขกำหนดเขต มีค่าเป็นบวกสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันตก และเป็นลบสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันออก โดยกำหนดจากเส้นลองจิจูดซึ่งอยู่ห่างกันช่วงละ 15° เป็น 1 เขตเวลา คือ เส้นลองจิจูดที่ $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, \dots, 180^\circ$, ที่อยู่ในทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของเส้นไพร์มเมอร์เดียน (Prime Meridian) เป็นเส้นลองจิจูดมาตรฐานที่นำมาใช้ในการแบ่งเขตเวลามาตรฐานทั่วโลก ประเทศที่ตั้งอยู่บนเส้นลองจิจูดมาตรฐานที่อยู่ทางทิศตะวันตกของเมืองกรีนิชหรือเส้นไพร์มเมอร์เดียนจะมีเวลาช้ากว่าเวลามาตรฐานสากลและประเทศที่ตั้งอยู่บนเส้นลองจิจูดมาตรฐานที่อยู่ทางตะวันออกของเมืองกรีนิชจะมีเวลาเร็วกว่าเวลามาตรฐานสากล โดยเวลามาตรฐานสากลหรือ Greenwich Mean Time (GMT) อยู่ที่ตำบลกรีนิชประเทศอังกฤษ ที่ลองจิจูด 0°

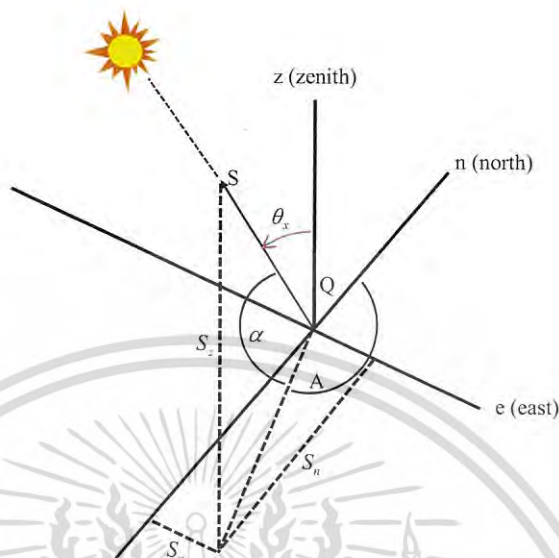
λ คือ เวลาที่ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต หาได้จากการเอาเส้นลองจิจูด(หน่วยองศา) ณ จุดที่ตั้งหารด้วย 15 ค่า λ เป็นบวกสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันออกและ λ เป็นลบสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันตก

2.2.3.4 การวิเคราะห์สมการของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด

การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบพิกัดเส้นขอบฟ้า ซึ่งอยู่ในทอมนของมุมอะซิมุท และ มุมอัลติจูด จำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ของ มุมเดคลิเนชัน (δ) มุมชั่วโมง (ω) เวลา และตำแหน่งละติจูด (ϕ) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในส่วนของการวิเคราะห์เวกเตอร์ตำแหน่งจะแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอมของมุมในระบบเส้นขอบฟ้าให้อยู่ในเทอมของระบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่มีจุดออริจินอยู่บนผิวโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.16



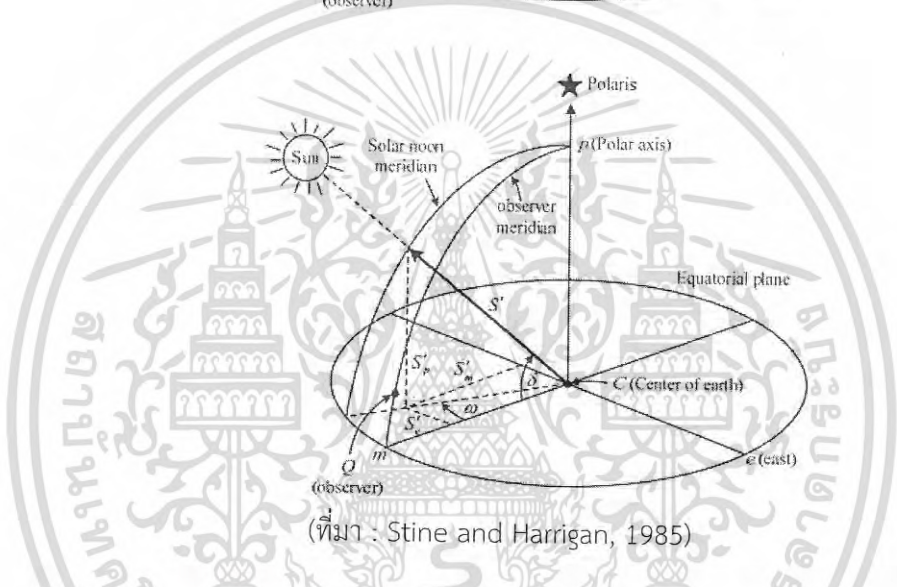
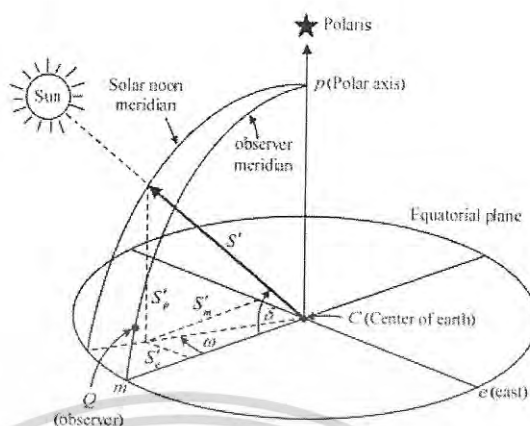
รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ของพิกัด ทิศเซนทิท (z), ทิศตะวันออก (e) และทิศเหนือ (n) เมื่อให้ \hat{i}, \hat{j} และ \hat{k} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย ตามแนวทิศทางของ ทิศเซนทิท (z), ทิศตะวันออก (e) และทิศเหนือ (n) ตามลำดับ \hat{S} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ชี้ไปยังตำแหน่งของดวงอาทิตย์ แยกเป็นองค์ประกอบในแนวแกน S_z, S_e และ S_n ซึ่งมีทิศทางตาม ทิศเซนทิท ทิศตะวันออก และทิศเหนือเช่นเดียวกัน ส่วน Q เป็นตำแหน่ง ของผู้สังเกตบนผิวโลกสามารถเขียนความสัมพันธ์ของ \hat{S} ได้

$$\hat{S} = S_z \hat{i} + S_e \hat{j} + S_n \hat{k} \quad \dots (2.13)$$

หรือเขียนอยู่ในเทอมของมุมอะซิมุท และมุมอัลติจูด จะได้

$$\begin{aligned} S_z &= \sin \alpha \\ S_e &= \cos \alpha \sin A \\ S_n &= \cos \alpha \cos A \end{aligned} \quad \dots (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

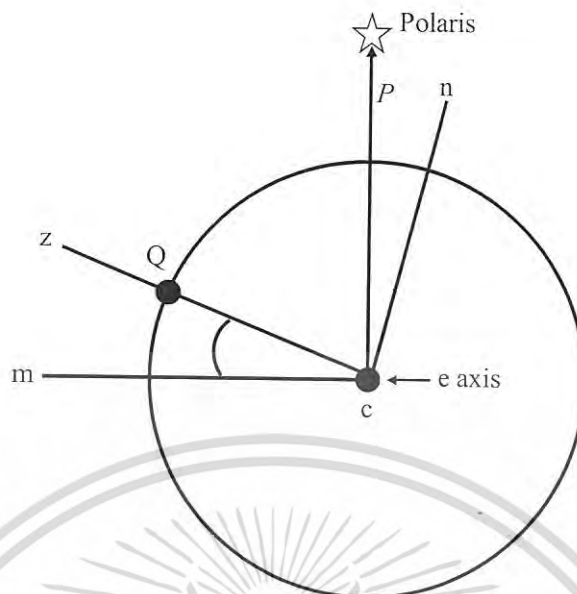


(ที่มา : Stine and Harrigan, 1985)

รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์รังสีดวงอาทิตย์กับมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง ในทำนองเดียวกัน สามารถเขียนเวกเตอร์ที่ชี้ตำแหน่งไปยังดวงอาทิตย์โดยอ้างอิงทิศใหม่ ให้จุดออริจินอยู่ที่จุดศูนย์กลางของโลก เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.12 เมื่อให้แกน m เป็นเส้นเมริเดียนที่ผ่านตำแหน่งของผู้สังเกต Q และตัดกับเส้นตรงที่ลากจากจุดออริจินตรงตำแหน่งเส้นศูนย์สูตร, e เป็นแกนที่ตั้งฉากกับแกน m และอยู่ในระนาบเส้นศูนย์สูตร, p เป็นแกนหมุนของโลก และ S' เป็นเวกเตอร์ ที่ชี้ไปยังดวงอาทิตย์ เขียนอยู่ในเทอมของ S'_m, S'_e และ S'_p โดยสัมพันธ์กับแกน m, e และ p ตามลำดับ เมื่อเขียน S' ในเทอมของมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง จะได้

$$\begin{aligned}
 S'_m &= \cos \alpha \cos \omega \\
 S'_e &= \cos \alpha \sin \omega \\
 S'_p &= \sin \delta
 \end{aligned}
 \quad \dots (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงความสัมพันธ์ของการหมุนพิกัดจากตำแหน่งผู้สังเกตถึงจุดศูนย์กลางโลก

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการแปลงพิกัดตามแนวรัศมีโลกและการหมุนพิกัดรอบแนวแกน e ตามมุมละติจูด โดยอาศัยภาพประกอบ 2.18 ที่แสดงความสัมพันธ์ของการหมุนจากระบบพิกัด m, e, S_e ไปยังพิกัด z, e, n ตามแนวแกน e และภาพประกอบ 2.19 ที่แสดงภาพรวมของความสัมพันธ์ทั้งสองพิกัด รูปแบบการหมุนพิกัดรอบแนวแกน e จะใช้กฎมือขวา และสามารถเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ว่า

$$\begin{bmatrix} S_z \\ S_e \\ S_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S'_m \\ S'_e \\ S'_p \end{bmatrix} \quad \dots (2.16)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} S_z &= S'_m \cos \phi + S'_p \sin \phi \\ S_e &= S'_e \\ S_n &= S'_p \cos \phi + S'_m \sin \phi \end{aligned} \quad \dots (2.17)$$

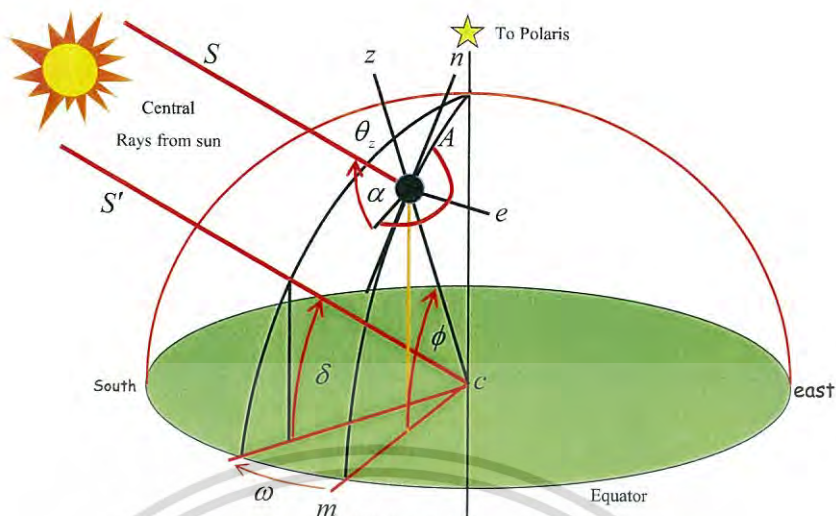
นำสมการที่ 2.14 และ 2.15 แทนลงในสมการที่ 2.17 ได้ว่า

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi \quad \dots (2.18)$$

$$\cos \alpha \sin A = -\cos \delta \sin \omega \quad \dots (2.19)$$

$$\cos \alpha \cos A = \sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \sin \phi \quad \dots (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ขนาน S และ S' ในพิกัดผิวโลก และจุดศูนย์กลางของโลก

สมการ 2.18 คือ สมการของมุมอัสติจูดในเทอมของ มุมละติจูด (ตำแหน่ง) มุมชั่วโมง (เวลา) และมุมเดคลิเนชัน (วัน) จัดรูปแบบสมการใหม่ได้

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) \quad (\text{องศา}) \quad \dots (2.21)$$

สมการ 2.19 และ 2.20 เป็นสมการของมุมอะซิมุททั้งสองสมการ โดยมุมอะซิมุทจะขึ้นกับ ตำแหน่งละติจูด เวลา ฤดูกาล และมุมละติจูด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 - 360$ องศา จากสมการ 2.19 และ 2.20 ค่ามุมไซน์และโคไซน์จะขึ้นอยู่กับจุดภาค (Quadrants) ต่างๆ จึงต้องพิจารณาสมการ 2.19 ใหม่ เพื่อหามุมอะซิมุทจริง โดยกำหนดให้

$$A' = \sin^{-1}\left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha}\right) \quad (\text{องศา}) \quad \dots (2.22)$$

$$\text{เมื่อ } \cos \omega \geq \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi}\right) \text{ จะได้ } A = 180^\circ - A'$$

$$\text{เมื่อ } \cos \omega < \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi}\right) \text{ จะได้ } A = 360^\circ + A'$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณา 2.20 ใหม่ โดยกำหนดให้

$$A'' = \cos^{-1}\left(\frac{\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \sin \phi}{\cos \alpha}\right) \quad (\text{องศา}) \quad \dots (2.23)$$

$$\text{เมื่อ } \sin \omega > 0 \text{ จะได้ } A = 360^\circ + A''$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\sin \omega \leq 0$ จะได้ $A = A''$

สำหรับการพิจารณามุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ขึ้นและตก (Hour Angle for Sunset and Sunrise, ω_s) สามารถหาได้จากสมการ 2.21 ซึ่งเป็นสมการของมุมอัสติจูด เนื่องจากมุมอัสติจูดตอนดวงอาทิตย์ขึ้นและตกจะเท่ากับ 0 องศา ($\alpha = 0$) จึงได้ว่า

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \phi) \quad \dots (2.24)$$

ω_s เป็นลบสำหรับดวงอาทิตย์ขึ้นและเป็นบวกเมื่อดวงอาทิตย์ตก สำหรับ ω_s หน่วยเป็นชั่วโมง

สามารถหาได้จากสมการ

$$\omega_s = \pm \frac{24}{360} \times \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \phi) \quad \dots (2.25)$$

ความยาวของกลางวัน จะหาได้จาก

$$\text{Hours of daylight} = 2\omega_s \times \frac{24}{360} \quad \dots (2.26)$$

และเวลาสุริยคติของดวงอาทิตย์ขึ้นและตกจะหาได้จาก

$$AST = (12.00 + \omega_s) \text{ (ชั่วโมง)} \quad \dots (2.27)$$

2.3 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้าง

2.3.1 มอเตอร์กระแสตรง

2.3.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

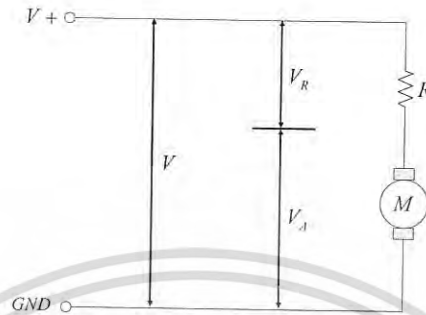
เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส และ สนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้ออเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางหมุนได้

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือ เหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่ และ ขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง

ในการอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงให้ละเอียดนั้นต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อนและความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.21 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

โดยสมมติให้หุ่นโรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้ก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ V_A และ แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด V_R

แรงดัน V_A ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (BACK EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำ แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และ แปรผันตรงกับความเร็วในการหมุน ผลบวกของแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ V_A และแรงดันตกคร่อมขดลวด V_R ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ V

$$V = V_A + V_R \quad (V) \quad \dots (2.28)$$

เมื่อพิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่ง ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น $V_A = 0$, $V_R = V$ กระแสที่ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

$$I = V_R / R \quad (A) \quad \dots (2.29)$$

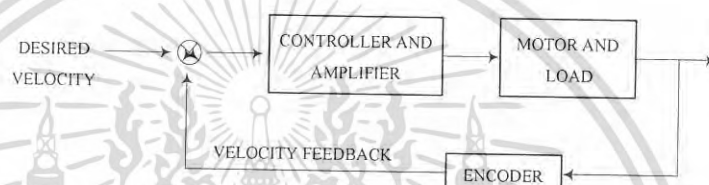
เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็ว และ V_A เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว V_R ซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง V_A และ V จะเริ่มลดลงกระแส I ก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ยังมีความเร่งอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์รับภาระโหลดได้สมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด และ หมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความฝืดของแบร์ริง และ แรงต้านอากาศทำให้ V_A เกือบเท่ากับค่า V

2.3.2 หลักการควบคุม ความเร็ว และ ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง

หลักการควบคุมความเร็ว และ ตำแหน่ง

รูปที่ 2.22 คือ บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมความเร็วในระบบกลไกแบบเซอร์โว มอเตอร์ถูกเรียกว่า มอเตอร์แบบเซอร์โว (servo motor) เครื่องวัดรอบในรูปแบบป้อนกลับจะวัดความเร็วของมอเตอร์แบบเซอร์โว และ ส่งป้อนกลับมาในรูปของสัญญาณไฟฟ้า (แรงดัน หรือ กระแส) ซึ่ง แปรตามความเร็วเพลลาของมอเตอร์ ในที่นี้ลูปป้อนกลับจะทำให้ความเร็วเอาท์พุทของมอเตอร์ มีค่าคงที่มากขึ้น

ระบบแบบ closed loop ถูกใช้รวมอยู่ในระบบเครื่องมือ เครื่องจักร หรือ ส่วนกำลังเพื่อชดเชยความแตกต่างของโหลดหรือวัสดุที่ถูกตัดหรือถูกเจาะ วัสดุเนื้อแข็งจะหน่วงความเร็วของส่วน หรือ เครื่องมือที่ใช้ในการตัด และ ส่วนจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นในวัสดุเนื้ออ่อน



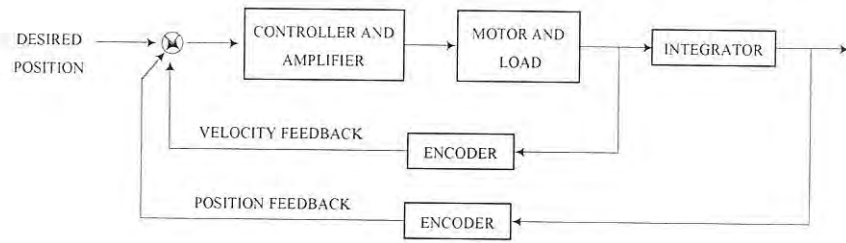
รูปที่ 2.22 ระบบควบคุมความเร็ว ที่ประกอบด้วยลูปการควบคุมป้อนกลับเพียงลูปเดียว เหมาะสำหรับอุปกรณ์ส่วนไฟฟ้าเคลื่อนที่

ในลูปป้อนกลับความเร็วของมอเตอร์ ที่ประกอบด้วยเครื่องวัดความเร็ว ความเร็วของเครื่องมือจะยังคงมีค่าคงที่ เนื่องจากเมื่อเครื่องมือที่ใช้ในการตัดมีความเร็วลดลง สัญญาณป้อนกลับจะควบคุมมอเตอร์ให้เพิ่มความเร็วขึ้น ในขณะเดียวกัน เมื่อเครื่องมือตัดชิ้นงานที่เป็นวัสดุอ่อน ลูปป้อนกลับจะป้องกันไม่ให้มอเตอร์เร่งความเร็วเกินขนาด

อย่างไรก็ตาม ถ้าการประยุกต์ใช้งานมีความต้องการ วงจรควบคุมเพิ่มเติมสามารถถูกเพิ่มขึ้นมาเพื่อทำให้มอเตอร์มีความเร็วค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และ ค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหยุด กราฟของความเร็วเขียนได้เป็นรูปของสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยส่วนที่ลาดขึ้น และ ส่วนที่ลาดลง หรือ อาจเป็นรูปแทรปซอยด์ (Trapezoid) ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนเพิ่มความเร็วขึ้น (Ramp up) ส่วนความเร็วคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง และ ส่วนความเร็วลดลง

รูปที่ 2.23 คือ บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งนอกจากเครื่องวัดความเร็วในลูปป้อนกลับความเร็วแล้ว ระบบกลไกแบบเซอร์โวนี้จะมีลูปป้อนกลับการกำหนดตำแหน่ง

ตัวเซนเซอร์ในการตรวจจับตำแหน่ง และ ความเร็ว จะรู้ว่าเมื่อใดที่เพลลาของมอเตอร์เซอร์โวอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการโดยการนับสัญญาณพัลส์ และ เปรียบเทียบพัลส์กับสัญญาณอินพุท ก่อนที่จะหยุดเพลลาเมื่อนับได้เท่ากัน ซึ่งก็คือ บล็อกที่ชื่อตัวอินทิเกรท (Integrator) ในรูปที่ 5 โดยทั่วไป จะเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมตำแหน่งของเพลลา ตัวเซนเซอร์ความเร็วในลูปป้อนกลับของระบบควบคุมตำแหน่ง ช่วยทำให้ระบบเกิดเสถียรภาพขึ้น



รูปที่ 2.23 ระบบควบคุมตำแหน่ง ประกอบด้วยลูปรูการควบคุมตำแหน่งป้อนกลับ และ ลูปรูควบคุมความเร็วป้อนกลับ

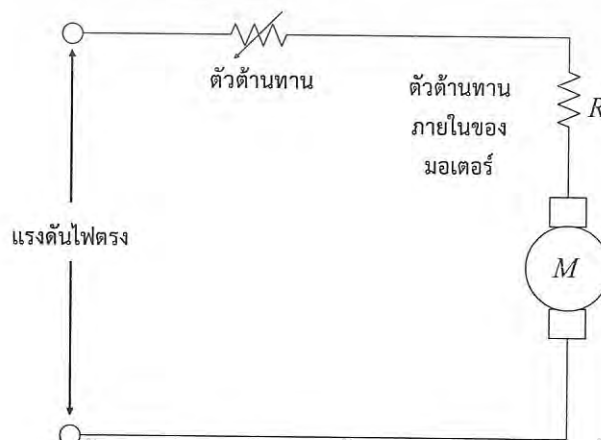
ในระบบควบคุมกำลังบิด (Torque control system) กำลังบิดของมอเตอร์เซอร์โว จะถูกรักษาให้มีค่าคงที่ เนื่องจากแรงบิดของมอเตอร์แปรตามกระแสของมอเตอร์ ดังนั้น กระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ เพื่อรักษาค่าแรงบิดให้คงที่เอาไว้ วิธีนี้สามารถทำได้ด้วยวงจรที่ทำการเปรียบเทียบกระแสเอาท์พุทของมอเตอร์กับกระแสอินพุทของมอเตอร์ และ ขยายผลต่างเพื่อใช้เป็นวงจรควบคุมแรงบิดป้อนกลับ (Torque control feedback circuit)

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบเพิ่ม (Incremental motion control system) ทำหน้าที่สับเปลี่ยนโหมดควบคุมจากโหมดหนึ่งไปเป็นอีกโหมดหนึ่ง เพื่อให้เกิดสมรรถนะการใช้งานที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น การควบคุมความเร็วและตำแหน่ง ทำหน้าที่ควบคุมให้ได้ความเร็วที่ต้องการ แต่ก็สามารถปรับเปลี่ยนเป็นการควบคุมตำแหน่ง เพื่อหยุดเพลาให้ได้ถูกต้องแม่นยำขึ้น

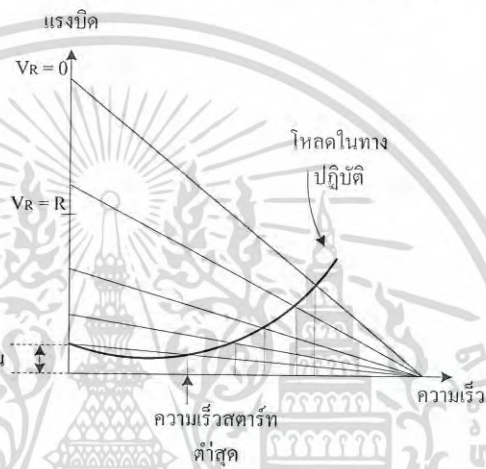
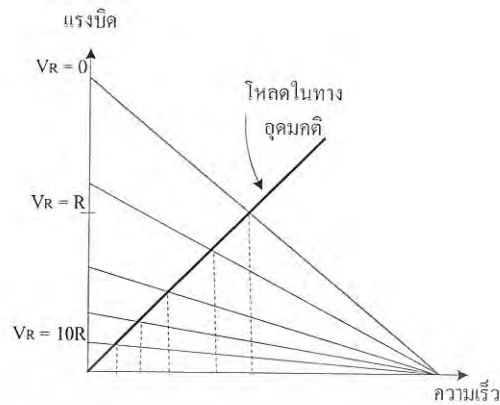
2.3.2.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขั้นพื้นฐาน

1. การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์คือ ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ออนุกรมกับมอเตอร์ โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน มักนิยมใช้กับมอเตอร์ตัวเล็กๆ การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในสถานะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะสถานะที่แรงดันคงที่ เช่น การบังคับความเร็วของเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น



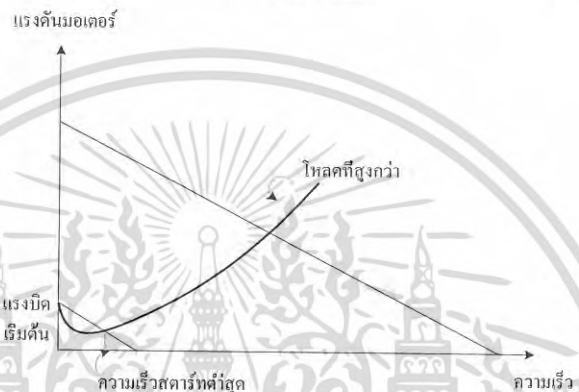
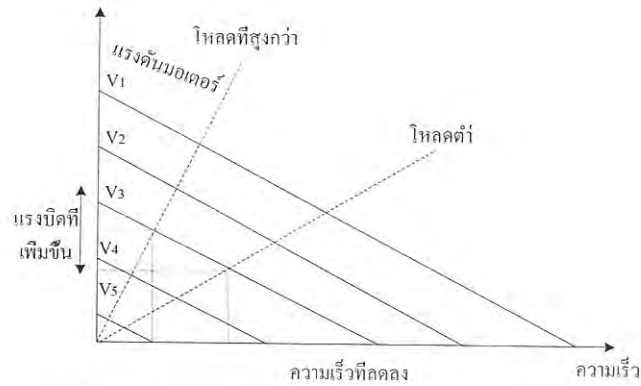
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม และกราฟแสดงคุณสมบัติ

2. การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จะซับซ้อนกว่าต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อัตราขยายกำลังสูง และ มอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน



รูปที่ 2.25 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

3. การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

การควบคุมแบบนี้สามารถขับดีซีมอเตอร์ได้ความเร็ว 10 : 1 และให้การเรีคูเลทที่ดีกว่ากระแสถูกปล่อยให้ฟิลด์คั้งที่ ผลของคุณสมบัติ ความเร็วและแรงบิดได้รับการปรับปรุงดีขึ้นกว่าการบังคับด้วยความต้านทานที่ปรับค่าได้ และให้การเรีคูเลทความเร็วคงที่ได้ดีขึ้นตลอดช่วงความเร็วที่กว้างกว่า

4. การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse width modulation (PWM) คือ เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์โดยใช้สัญญาณเอาท์พุทแบบดิจิทัลของไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม

การทำงานของสัญญาณ PWM

รูปที่ 2.29 แสดงสัญญาณ PWM ที่แตกต่างกัน 3 สัญญาณ

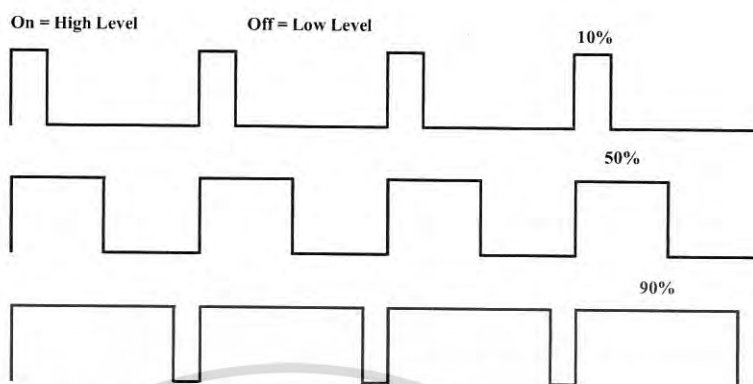
4.1 โดย 10a แสดงสัญญาณ PWM ที่ 10% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 90% ของคาบสัญญาณ

4.2 โดย 10b แสดงสัญญาณ PWM ที่ 50% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 50% ของคาบสัญญาณ

4.3 โดย 10c แสดงสัญญาณ PWM ที่ 90% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 10% ของคาบสัญญาณ

เช่น ถ้า Power Supply มี 9V และ duty cycle เป็น 10% จะได้เอาท์พุท 0.9V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



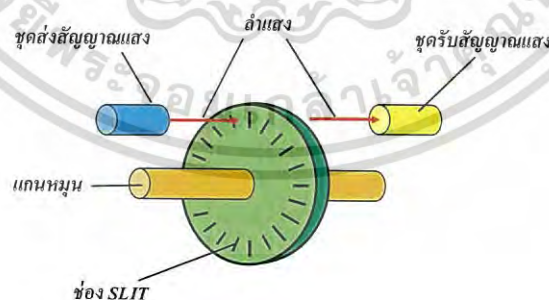
รูปที่ 2.26 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า duty cycles ที่ต่าง ๆ กัน

2.3.2.2 การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์

ในโครงการนี้ได้นำเอา Rotary Encoder เข้ามาใช้ และ อ่านค่าออกมาเพื่อตรวจสอบทิศทาง และ ตำแหน่งของการเคลื่อนที่ เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบตำแหน่งการเคลื่อนที่กับค่า input โดยหลักการทำงานของ Encoder มีดังนี้

เอ็นโค้ดเดอร์

Rotary Encoder มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีแกนอยู่ตรงกลาง และ ที่แผ่นกลม จะมีช่องเล็กที่แสงสามารถส่องผ่านได้ เป็นจำนวนมากเราเรียกช่องนี้ว่า ช่อง slit ซึ่งที่ด้านหนึ่งของ แผ่นกลม นี้จะมีตัวส่งแสง infrared ไปยังตัวรับสัญญาณแสง infrared ซึ่งจะอยู่ในด้านตรงกันข้าม ดังรูปที่ 2.27

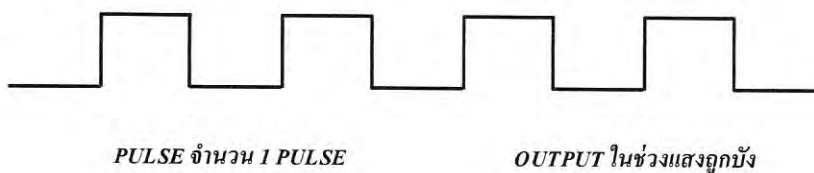


รูปที่ 2.27 แสดง Rotary Encoder

เมื่อหมุนแกนหมุนทำให้แผ่นกลมหมุนไปตัดลำแสง Infrared ดังนั้นชุดรับแสง infrared จึงมีแสงมากระทบเป็นช่วงๆ (เป็น pulse) ตามจังหวะที่แสงผ่านช่อง slit จึงทำให้ สัญญาณ out put ของ ชุดรับแสง infrared มีลักษณะเป็น plus ดังรูปที่ 2.28

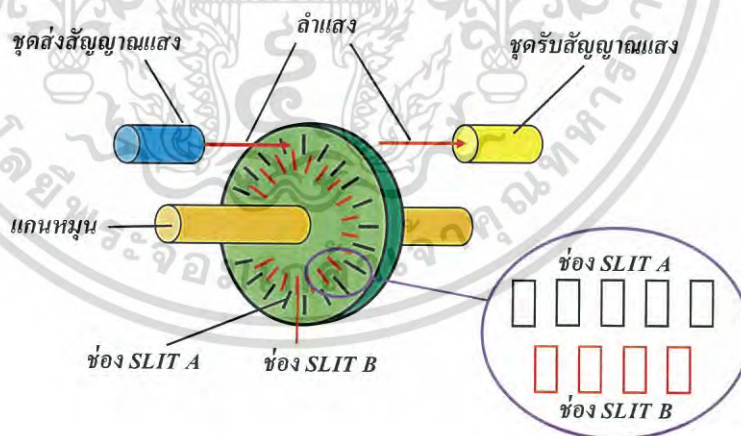
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTPUT ในช่วงแสงผ่านช่อง SLIT



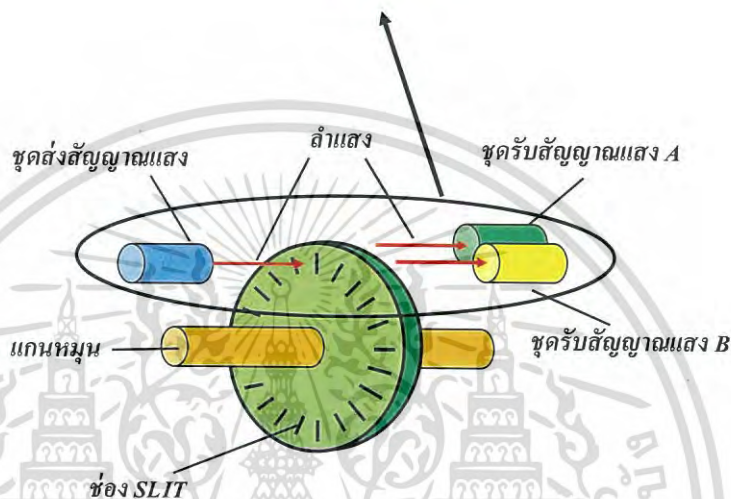
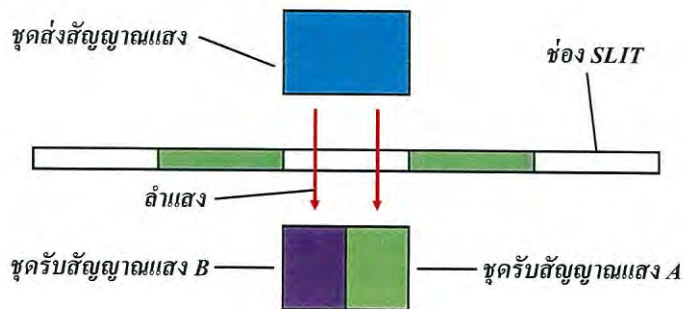
รูปที่ 2.28 แสดงการสร้าง pulse ของ Rotary Encoder

จำนวน pulse ที่ได้ออกมานี้ จะเป็นตัวที่ชี้บ่งว่า motor หมุนไปกี่องศา หรือกี่รอบ ซึ่งเราสามารถคำนวณได้จาก สูตร จำนวนรอบที่ motor หมุนไป = จำนวน plus ค่าความละเอียดของ rotary encoder โดยที่ ค่าความละเอียดของ rotary encoder นั้นนิยมใช้หน่วยเป็น plus/ round หรือ ppr เช่น 1000 ppr ก็หมายถึงว่าเมื่อ motor หมุนไป 1 รอบจะมี plus ออกมา 1000 plus เป็นต้น ส่วนในเรื่องที่ว่าเราจะทราบได้อย่างไรว่า motor หมุนไปทิศทางใดนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีสร้าง ช่อง slit เป็น 2 ชุดเหลื่อมกัน 90 องศา ดังรูปที่ 2.29



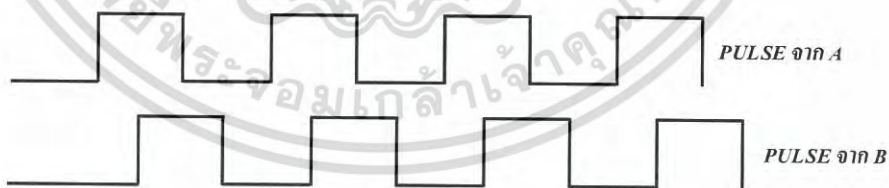
รูปที่ 2.29 แสดง Pulse ของ Rotary แบบสองเฟส

หรืออาจจะใช้ช่อง Slit เพียง 1 ชุดแต่มีการจัดวางชุดรับสัญญาณแสงดังรูปข้างล่างแต่ข้อสำคัญคือจะต้องมี phase ต่างกัน 90 องศา



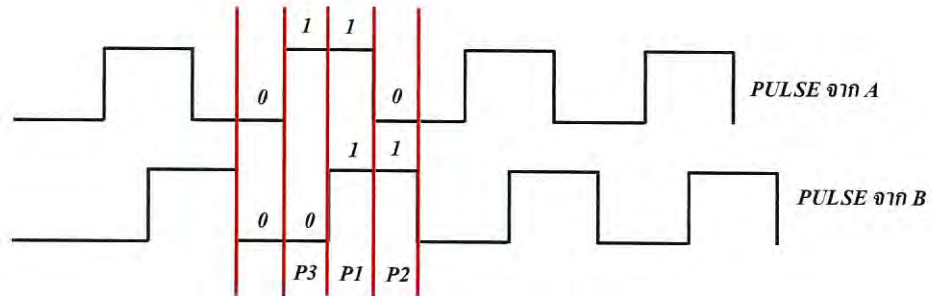
รูปที่ 2.30 แสดงการตรวจเช็คสัญญาณ pulse ของ Rotary Encoder

ดังนั้นสัญญาณ output จาก motor จึงมี 2 ชุด คือ A และ B โดยที่สัญญาณ pulse จาก A และ B ก็จะไม่เลื่อนกัน 90 องศาด้วย อาจกล่าวได้ว่าสัญญาณ output จาก motor มีค่าเท่ากับ 2 bit คือหนึ่ง bit มาจาก A และอีกหนึ่ง bit มาจาก B ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ลักษณะ pulse ของ Rotary Encoder ทั้งสองเฟส

ถ้าเราให้ Pulse ในช่วง high มีค่าเป็น “1” และ pulse ในช่วง low มีค่าเป็น “0” เราสามารถใช้ค่าดังกล่าวมาคำนวณหาทิศทางที่ motor หมุนได้ด้วยใช้วิธีการทาง digital คือการนำค่าที่อ่านได้มาทำการ exclusive OR (XOR) กันโดยการนำ bit ทางขวาของค่าเก่ามา XOR กับ bit ทางซ้ายของค่าใหม่ที่อ่านได้ตามตัวอย่างข้างล่าง



รูปที่ 2.32 แสดงความละเอียดของ pluse

สมมุติในตอนแรก motor อยู่ที่ตำแหน่ง P1 เพราะฉะนั้นค่าของตัวเลข binary ที่อ่านได้จาก encoder จะมีค่าเป็น 11 ถ้า servo motor หมุนไปที่ตำแหน่ง P3 จะทำให้ค่าของตัวเลข binary ที่อ่านได้จาก encoder จะมีค่าเป็น 10 ดังนั้นถ้าเรานำเอาค่าทางขวา จากค่าที่อ่านได้ในครั้งแรก (11) ซึ่งก็คือ 1 มา XOR กับค่าทางซ้ายที่อ่านได้ในครั้งต่อมา (10) ซึ่งก็คือ 1 จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0 เพราะฉะนั้นค่า 0 จึงเป็นค่าที่บอกว่า motor หมุนไปทางขวา ในทางกลับกันถ้าในตอนแรก motor อยู่ที่ตำแหน่ง P1 และต่อมา motor หมุนไปที่ตำแหน่ง P2 ถ้าเรานำเอา ค่าทางขวา จากค่าที่อ่านได้ในครั้งแรก (11) ซึ่งก็คือ 1 มา XOR กับค่าทางซ้ายที่อ่านได้ในครั้งต่อมา (01) ซึ่งก็คือ 0 จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 1 เพราะฉะนั้นค่า 1 จึงเป็นค่าที่บอกว่า motor หมุนไปทางซ้าย และการ XOR ค่าต่างๆได้แสดงไว้ดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2.2 แสดงการ XOR ด้วยค่าต่างๆ

A	B	A X OR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Pulse ที่ได้จาก rotary encoder จะถูกนำไปเชื่อมต่อเข้ากับวงจรรนับ pulse หรือวงจรรคำนวณเพื่อที่จะตรวจสอบว่า motor หมุนไปทิศทางใดและอยู่ที่ ตำแหน่งใด ตามวิธีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยส่วนมากแล้ว motor ที่ใช้ rotary encoder แบบนี้ จะมีจำนวนรอบ ของการหมุน ที่ไม่จำกัด โดยจะหมุนไปกี่รอบ ก็ได้ ขึ้นอยู่ กับ ความสามารถของวงจรรนับ plus และ วงจรรคำนวณ

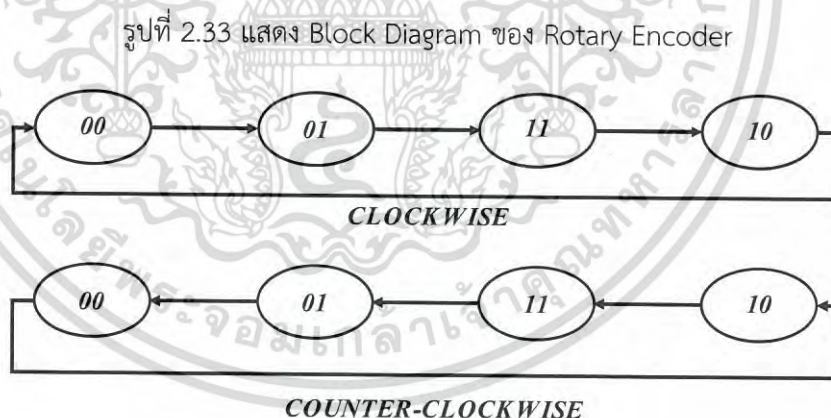
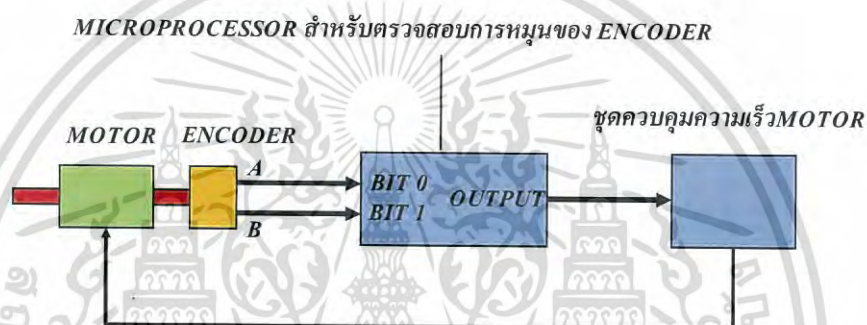
ดังนั้นเราอาจจะกล่าวได้ว่า encoder ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้นมีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆคือเป็นแบบมีค่า output ที่ไม่จำกัด(incremental encoder) และแบบที่มีค่า output ที่จำกัด(absolute encoder)

Incremental encoder มักจะเป็น encoder แบบ rotary encoder ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่าขนาดของ output ของ encoder แบบนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรรนับและวงจรรคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute encoder ที่พบเห็นส่วนใหญ่จะเป็นแบบ potentiometer แต่ในบางครั้งก็อาจเป็นแบบ rotary encoder ก็ได้แต่จะมีการออกแบบลักษณะของช่อง slit ที่ต่างไปจาก rotary encoder ที่ได้ไว้ในตอนต้นโดยอาจจะมีค่าของ output ตั้งแต่ 4 bit ถึง 16 bit

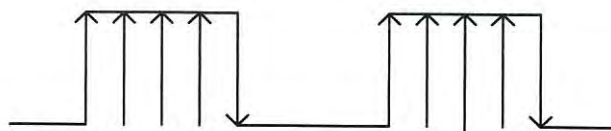
ในแง่ของการใช้งานแล้ว motor ที่มี encoder แบบ incremental encoder นั้นจะใช้งานยุ่งยากกว่า motor ที่มี encoder แบบ absolute encoder เพราะ output ของ increment encoder นั้นไม่สามารถเชื่อมต่อกับชุดควบคุม motor (controller) ได้ทันทีโดยต้องต่อผ่านวงจรนับ plus และวงจรคำนวณที่ยุ่ยากซับซ้อนก่อน ถึงจะต่อเข้ากับกับ controller ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเรามี microprocessor เช่น microcontroller ตระกูล PIC , ARDUINO , ARM-7 เป็นต้น ดังนั้นเราจึงสามารถนำมาใช้แทนวงจรนับ pulse และวงจรคำนวณได้จึงทำให้การใช้งานมีความง่ายขึ้น ดังรูป



รูปที่ 2.34 รูปแสดงวิธีการตรวจจับทิศทางการหมุนของ Rotary Encoder โดยอ่านค่าเข้ามาทาง Port 1

1. ในการนับจำนวน Pulse จะทำการนับขอบขาขึ้นของ Pulse A ว่าเท่าไร
2. ในการหาความกว้างของ Pulse จะทำการเช็คขอบขาขึ้นของ A กับขอบขาลงของ A ว่ามีระยะห่างระหว่างกันเท่าไร โดยใช้ Timer เป็นตัวจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 แสดงการเช็คความกว้างของ Pulse

2.4 ทฤษฎีทางการควบคุมและทดสอบระบบ

2.4.1 Hardware

2.4.1.1 Arduino MEGA 2560 board



(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.36 Arduino MEGA 2560-ADK board

จากการที่ Arduino ที่เป็นโครงการพัฒนาระบบ MCU ของ AVR แบบ Open Source ได้ รับการ แนะนำเผยแพร่ออกมาสู่สาธารณะ ซึ่งได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายจากผู้คนทั่วโลก ภายในระยะเวลา อันรวดเร็ว ทางด้านของ Software ก็มีการพัฒนากันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในขณะนี้ (กันยายน 2554) โปรแกรม ของ Arduino ได้รับการปรับปรุงเป็น Version “arduino-0022” แล้ว โดยทางด้าน Hardware เองก็ได้มีการ พัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่องควบคู่กันไปด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่ง จากเดิมที่มีการพัฒนาโปรแกรมให้รองรับกับ การใช้งานได้กับชิพ MCU รุ่นเล็ก 28 ขา อย่าง

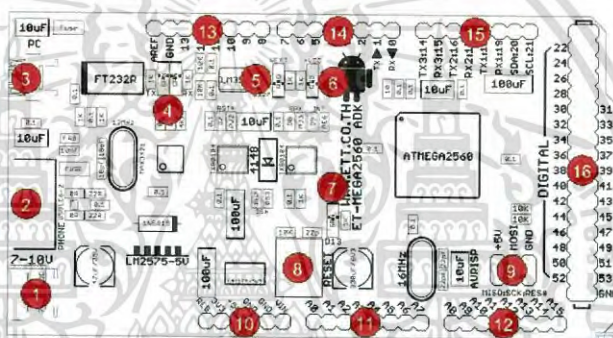
ATMEGA8, ATMEGA88/ATMEGA168/ATMEGA328 และ พัฒนาต่อมาจนเป็นรุ่นใหญ่ แบบ 100Pin อย่าง ATMEGA1280/ATMEGA2560 ตามลำดับ และล่าสุดได้มีการพัฒนาขีด ความสามารถของ Arduino บน AVR ให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB Host ได้ ทำให้สามารถ นำ Arduino ไปดัดแปลงประยุกต์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB Device แบบต่างๆ เช่น USB HID Keyboard หรือ USB HID Mouse เป็นต้น และที่น่าตื่นเต้นและน่ายินดีเป็นอย่างยิ่งก็คือการ นำเอา Arduino ไปประยุกต์เชื่อมต่อกับสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ซึ่งเป็น ระบบปฏิบัติการแบบ โอเพ่นซอร์ส จากค่าย Google ยักษ์ใหญ่ด้านเว็บเบราว์เซอร์ของโลก ซึ่งเป็นที่รู้ จักกัน ในแวดวงผู้ใช้ ในนามของ แอนดรอยด์โฟน ซึ่งทำให้เราสามารถเชื่อมต่อสื่อสารสั่งงานบอร์ด Arduino ผ่าน อุปกรณ์ แอนดรอยด์โฟน ได้ ซึ่งนับเป็นพัฒนาการอีกขั้นของ Arduino บน AVR ที่ได้ รับการพัฒนาขึ้นมา ทำให้ Arduino มีความโดดเด่นและน่าสนใจมากยิ่งขึ้นไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คุณสมบัติของบอร์ด
 - 1.1 ใช้ ATMEGA2560 เป็น MCU ประจำบอร์ด Run ความถี่ 16MHz จาก Crystal Oscillator
 - 1.2 256KByte Flash(สงวนไว้ 4KByte สำหรับ Bootloader) / 8KByte SRAM / 4KByte EEPROM
 - 1.3 รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C++ ของ Arduino ตามแบบ Arduino Mega ได้ 100%
 - 1.4 ใช้ USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232RL พร้อม Over Current Protection สำหรับติดต่อสื่อสาร และ Download Code จากคอมพิวเตอร์ให้บอร์ด โดยไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรมจากภายนอก
 - 1.5 On Board USB Host(MAX3421) สำหรับเชื่อมต่อ USB Device หรืออุปกรณ์ Android ADK
 - 1.5.1 รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วย ADK (Android Open Accessories development Kit) โดยใช้ Google Open Accessories API เมื่อใช้กับ อุปกรณ์แอนดรอยด์ที่ได้รับการติดตั้ง ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ V2.3.4 หรือสูงกว่า
 - 1.5.2 รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วย Android Debug Bridge (ADB) โดยใช้ Library ของ Microbridge เมื่อใช้กับอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่ได้รับการติดตั้ง ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ V1.5 หรือสูงกว่า
 - 1.6 54 Pin Digital I/O โดยมี
 - 1.6.1 16 Pin Analog Input (ADC ขนาด 10 บิต 16 ช่อง)
 - 1.6.2 14 PWM outputs
 - 1.6.3 4 UART(Hardware Serial Port) แบบ TTL Logic
 - 1.6.4 1 Hardware TWI (I2C)
 - 1.6.5 1 Hardware SPI (up to 8Mbps)
- 1.7 ขนาดของ PCB บอร์ด และ ตำแหน่ง Pin Connector ต่างๆ ตรงกันกับ Arduino Mega ทั้งหมด ทำให้สามารถนำไปติดตั้งใช้งานร่วมกับบอร์ด Shield แบบต่างๆที่มีการผลิตขึ้นมาใช้งานร่วมกับ บอร์ด Arduino Mega ได้ทั้งหมด โดยบอร์ดมีขนาด PCB Size 5.3cm x 10.2cm
- 1.8 รองรับการใช้งานกับ External Supply ทั้งแบบ AC และ DC ขนาด 7-12V โดยเลือกใช้ Regulate แบบ Switching ขนาด 1A (LM2575-5V) ลดปัญหาเรื่องความร้อนเมื่อมีการใช้กระแสสูงๆ สามารถ ใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB ได้ในกรณีใช้กระแสไม่เกิน 500mA โดยมีวงจรเลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติ โดยจะตัดการใช้ไฟเลี้ยงจาก USB โดยอัตโนมัติ เมื่อมีการต่อแหล่งจ่ายจากภายนอกให้บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โครงสร้างบอร์ด ET-MEGA2560-AD



(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.37 แสดงโครงสร้างของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK

- 1.1 หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากภายนอก สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายทั้งแบบ AC และ DC พร้อมวงจร Bridge Rectifier และ Regulate แบบ Switching ช่วยลดความร้อนของ IC Regulate เมื่อมีการดึงกระแสมากๆได้เป็นอย่างดี สามารถใช้กับแรงดัน Input 7-12V
- 1.2 หมายเลข 2 เป็นขั้วต่อ USB Host สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB Device ต่างๆ
- 1.3 หมายเลข 3 เป็นขั้วต่อ USB Device สำหรับติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC โดยใช้ FT232RL เป็น USB Bridge ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ PC และ MCU ในบอร์ด และยังสามารถใช้ ไฟจาก พอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ดได้ด้วย โดยจะมี Poly Fuse ขนาด 500mA สำหรับ ป้องกันการดึงกระแสเกินจากพอร์ต USB ด้วย และที่พิเศษคือมีวงจรสำหรับตรวจสอบแหล่งจ่าย เพื่อสลับการใช้งานแหล่งจ่ายจาก USB ไปเป็น External Supply ได้เอง โดยอัตโนมัติ โดยเมื่อไม่ได้ต่อ External Supply บอร์ดจะใช้ไฟจากพอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายในการทำงาน แต่เมื่อมีการ ต่อ External Supply วงจรจะสลับไปใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply เองโดยอัตโนมัติ

1.3.1 LED +VCC ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับบอร์ด

1.3.2 LED VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟจาก External Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นกรณีอื่น มิฉะนั้นผู้ใดที่เห็นใบนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4 หมายเลข 4 เป็น LED VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยงจาก External Supply
- 1.5 หมายเลข 5 เป็น LED +VCC ใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง (+VCC) ของบอร์ด โดยเมื่อ บอร์ดใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply จะแสดงสถานะโดยการให้ LED VEXT และ LED +VCC ติดสว่างพร้อมกันทั้งคู่ แต่ถ้าบอร์ดใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB จะแสดงสถานะโดยการให้ LED +VCC ติดสว่างเพียงดวงเดียว
- 1.6 หมายเลข 6 เป็น LED แสดงสถานะของ RX และ TX ใช้สำหรับแสดงการรับส่งข้อมูลระหว่าง บอร์ด ET-MEGA2560-ADK กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB
- 1.7 หมายเลข 7 เป็น LED D13 ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของ Bootloader และใช้ทดสอบการทำงานของบอร์ดจากการควบคุมของ Pin Digital-13 ทำงานด้วย Logic “1” และ หยุดทำงานด้วย Logic “0”
- 1.8 หมายเลข 8 เป็นสวิตช์ Reset ใช้สำหรับสั่ง Reset การทำงานของบอร์ด
- 1.9 หมายเลข 9 เป็นขั้วต่อ AVRISP ใช้สำหรับโปรแกรม Bootloader ให้กับ
- 1.10 หมายเลข 10 เป็นขั้วต่อ Power
- 1.11 หมายเลข 11,12 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Analog A[0..7] และ Analog A[8..15] ตามลำดับ
- 1.12 หมายเลข 13,14,15 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Digital D[0..7],D[8..13] และ D[14..21]
- 2.13 หมายเลข 16 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Digital D[22..53]
3. คุณสมบัติของสัญญาณต่างๆของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK
 - 3.1 RESET# เป็นสัญญาณ Input Reset ของ MCU ทำงานเมื่อเป็น Logic Low โดยสัญญาณ RESET# นี้จะถูกควบคุมจาก 2 แหล่ง คือ จาก สวิตช์ RESET ภายในบอร์ด และ จากสัญญาณ DTR ของ FT232RL
 - 3.2 +3V3 เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาด +3.3V ที่ได้จากวงจร Regulate ของ LM1117-3V3 สามารถจ่าย กระแสได้สูงสุด 500mA
 - 3.3 +5V เป็นจุดต่อแหล่งจ่ายไฟของบอร์ดออกไปใช้งาน ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ จากพอร์ต USB และจาก External Supply ซึ่งถ้าต่อแหล่งจ่ายให้บอร์ดจาก External Supply ผ่านทาง Jack VIN แหล่งจ่าย +5V นี้จะมาจาก Switching Regulate (LM2575-5V) สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด ถึง 1A แต่ถ้าใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB แหล่งจ่าย +5V นี้จะมาจากพอร์ต USB โดยตรงโดยจะมี ฟิวส์ แบบ Poly ขนาด 500mA ต่อบั๊งกันการดึงกระแสเกินเพื่อป้องกันความเสียหายของพอร์ต USB โดยจะจ่ายกระแสได้สูงสุดไม่เกิน 500mA ขึ้นอยู่กับการ Configure ค่าให้กับ FT232RL ด้วย
 - 3.4 +VIN เป็นไฟ DC ที่รับมาจาก Jack VIN(External Supply) แต่ผ่านการ Rectifier และ Filter เป็น DC แล้ว มีขนาดแรงดันเฉลี่ยตามขนาดแรงดันที่ป้อนให้กับบอร์ดทาง Jack VIN
 - 3.5 A0-A15 เป็นขาสัญญาณ Analog Input แบบ ADC มีขนาดความละเอียด 10บิต มี 16 Pin สามารถรับแรงดัน Analog Input ได้ 0-5VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.6 D0-D53 เป็นขาสัญญาณ Digital Input/Output แบบ TTL มีทั้งหมด 54 Pin สามารถใช้ทำหน้าที่ เป็น Input หรือ Output ตามการกำหนดจากโปรแกรม โดยมี บาง Pin สามารถกำหนดหน้าที่ใช้งาน เป็นฟังก์ชันพิเศษต่างๆเพิ่มเติมได้อีก
- 3.6.1 D0-D1 ถูกสงวนไว้ใช้ทำหน้าที่เป็นพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 (UART) โดยได้ทำการ เชื่อมต่อกับ USB Bridge ของ FT232RL เพื่อใช้ Upload Code ให้กับบอร์ด และยัง สามารถใช้ทดลองติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดกับ คอมพิวเตอร์ PC ได้ด้วย o D2-D13 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น PWM ขนาด 8 บิต มี 14 Pin ได้
- 3.6.2 D14 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น TX3 สำหรับ ส่งข้อมูลของ UART3 ได้ด้วย
- 3.6.3 D15 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น RX3 สำหรับ รับข้อมูลให้กับ UART3 ได้ด้วย
- 3.6.4 D16 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น TX2 สำหรับ ส่งข้อมูลของ UART2 ได้ด้วย
- 3.6.5 D17 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น RX2 สำหรับ รับข้อมูลให้กับ UART2 ได้ด้วย
- 3.6.6 D18 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น TX1 สำหรับ ส่งข้อมูลของ UART1 ได้ด้วย
- 3.6.7 D19 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น RX1 สำหรับ รับข้อมูลให้กับ UART1 ได้ด้วย
- 3.6.8 D20,D21 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น SDA,SCL ของ I2C Bus ของ I2C ได้ด้วย
- 3.7 AREF เป็นสัญญาณ Analog Reference จากภายนอกที่ต้องการป้อนให้กับ MCU ซึ่งตามปกติ แล้ว ATMEGA2560 สามารถโปรแกรมให้เลือกใช้แรงดันอ้างอิงจาก ภายในได้อยู่แล้วโดยสามารถ เลือกเป็น 1.1V หรือ 2.56V หรือ AVCC(+5V) โดยไม่ จำเป็นต้องป้อนแรงดันอ้างอิงจากภายนอก ให้กับบอร์ดอีก แต่ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความแตกต่างจากที่กล่าวมาแล้วก็สามารถป้อนเป็น แรงดันอ้างอิงจาก ภายนอกผ่านทางขา AREF นี้เข้าไปเองได้ระหว่าง 0-5V
- 3.8 USB Host ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB Device หรือ แอนดรอยด์โฟน โดยใช้ชิพ USB Host เบอร์ MAX3421 เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ USB กับ MCU ATMEGA2560 ซึ่งใน ปัจจุบันมีการ สร้าง Library ขึ้นมาสนับสนุนการ เชื่อมต่อให้นำไปประยุกต์ดัดแปลงใช้งานกันได้ ฟรีๆ ทั้งแบบ USB Host และแบบ เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ แอนดรอยด์โฟน ซึ่งถ้าใช้แอนดรอยด์โฟนที่ ติดตั้ง ระบบปฏิบัติการรุ่น V2.3.4 หรือสูงกว่าสามารถใช้การพัฒนาด้วย Google ADK ได้ แต่ถ้า แอนดรอยด์โฟนไม่รองรับ ADK ก็สามารถใช้ ADB ของ Microbridge แทน ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 แอลดีอาร์ (LDR)

แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสง กล่าวคือตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบบางครั้ง เรียกว่าโฟโตรีซิสเตอร์หรือโฟโตคอนดักเตอร์เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำประเภทแคดเมียมซัลไฟด์หรือแคดเมียมซิลิไซด์ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำเอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา



(ที่มา : http://www.raspberrypi-spy.co.uk/wp-content/uploads/2012/08/light_dependent_resistor_ldr.jpg)

รูปที่ 2.38 แสดงรูปของแอลดีอาร์ทั่วไป

(ที่มา : http://madinaa.ucoz.com/_fr/1/1900753.png)

รูปที่ 2.39 แสดงโครงสร้างของแอลดีอาร์

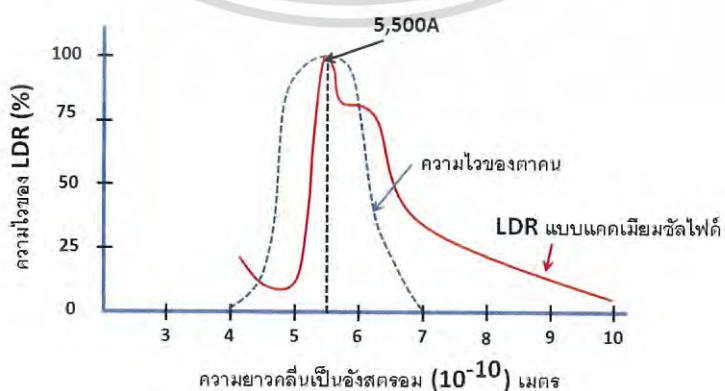
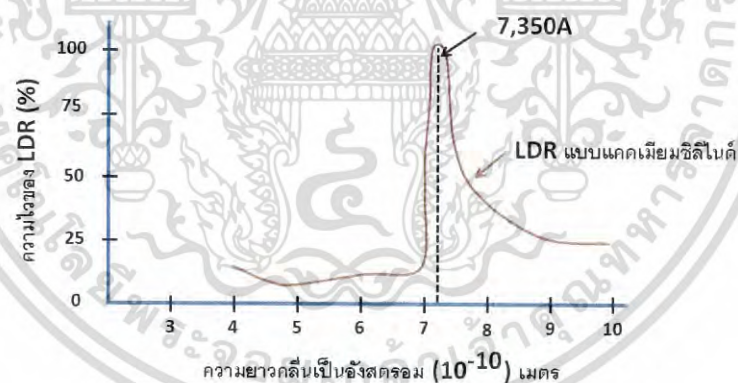
รูปร่างของ LDR ในรูปที่ 2.39 ส่วนที่ขีดเป็นแนวเล็กลงสีดำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีดำ นั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง สีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอกหรือเรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิกและอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้ม ซึ่งมีได้หลายแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR เพราะว่าเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันผ่านการที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้ มากก็เท่ากับความต้านทานลดลงนั่นเองยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไรความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

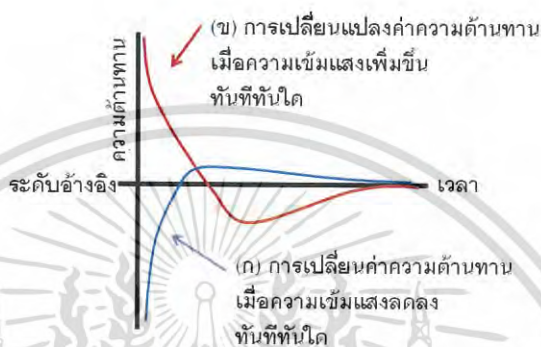
ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั้น มิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่น ประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 10⁻¹⁰ เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอม เท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็ในช่วงคลื่นนี้ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่น ที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มิใช่หลาย ความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม. ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลือง สำหรับบางตัวแล้วความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคนไวต่อความยาวคลื่น ประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสง ในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจาก แคดเมียมซีลีไนด์ก็จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว



รูปที่ 2.40 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆของLDR ทั้ง 2 แบบเมื่อเทียบกับความไวของตาคน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่มีแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 MW ขึ้นไป ในขณะที่มีแสงจะขึ้นไปได้มากกว่า 2 MW และ ในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20kW ลง ไป อาจจะเป็นเพียงไม่กี่โอห์ม หรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW



รูปที่ 2.41 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.41 ถ้า LDR ได้รับความเข้มแสงสูงตั้งเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำและในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับเพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับอ้างอิง เหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดี และในทำนองเดียวกันถ้าเก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันที ดังในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลด เลยต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซัลไฟด์ จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบแคดเมียมซัลไฟด์ แต่ก็จะมีวงเวียนไปไกลกว่าด้วย และอีกอย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บางทีก็เป็นวินาทีเลยจึงทำให้ LDR ใช้ได้กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

2.4.1.3 Drive Motor

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลทางด้านควบคุมความเร็ว และ ทิศทาง เพียงอย่างเดียว ซึ่งมีการทำงานหลัก ๆ ดังนี้

1. รับคำสั่งสัญญาณควบคุมจาก Main CPU และ ทำการแปลงค่าที่รับมาเพื่อประมวลผล
2. เปรียบเทียบคำสั่งสัญญาณควบคุมที่รับมาเพื่อแยก case ของความเร็ว และ ทิศทางในการควบคุม
3. การควบคุมทิศทาง และ ความเร็ว ซึ่ง ความเร็ว นั้นใช้หลักการ Pulse Width Modulate ซึ่ง จะได้กล่าวต่อไปในส่วนของ Algorithm ของ code program :

Algorithm code – Power CPU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.4 ลิ้มิตสวิตช์

ลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระยะทางหรือจำกัดระยะ จะใช้ร่วมกับคอนแทคเตอร์ โดยลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch) จะติดตั้งในวงจรควบคุมเพื่อทำหน้าที่ตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดของคอนแทคเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ทำงานหรือหยุดทำงาน

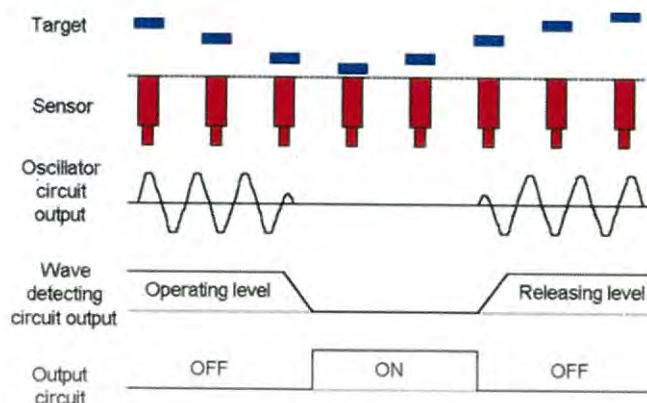


รูปที่ 2.42 แสดงโครงสร้างโดยรวมของลิ้มิตสวิตช์

ดังนั้น จึงมีการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่น ลิฟต์โดยสาร, ลิฟท์ขนของ, ประตูที่ทำงานด้วยไฟฟ้า, ระบบสายพานลำเลียง เป็นต้น

2.4.1.5 Proximity

หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Proximity Sensors) บริเวณส่วนหัวของเซนเซอร์จะมีสนามแม่เหล็กซึ่งมีความถี่สูง โดยได้รับสัญญาณมาจากวงจรกำเนิดความถี่ ในกรณีที่วัตถุหรือชิ้นงานที่เป็นโลหะเข้ามาอยู่ในบริเวณที่สนามแม่เหล็กสามารถส่งไปถึง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการหน่วงออสซิลเลท (Oscillate) ลดลงไป หรือบางที่อาจถึงจุดที่หยุดการออสซิลเลท และเมื่อนำเอาวัตถุนั้นออกจากบริเวณตรวจจับ วงจรกำเนิดคลื่นความถี่ก็เริ่มต้นการออสซิลเลทใหม่อีกครั้งหนึ่ง สภาวะดังกล่าวในข้างต้นจะถูกแยกแยะได้ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายใน หลังจากนั้นก็จะส่งผลไปยังเอาต์พุตว่าให้ทำงานหรือไม่ทำงาน โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเอาต์พุตว่าเป็นแบบใด เพื่อเป็นการลดจินตนาการในการทำความเข้าใจการทำงานของเซนเซอร์ชนิดนี้จึงขอแสดงดังรูปที่ 2.43

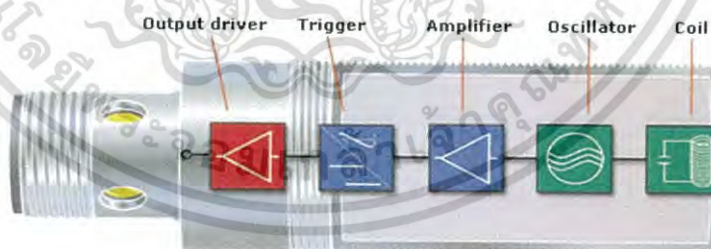


(ที่มา : <http://www.compomax.co.th/product/working-principle-inductive-sensors/>)

รูปที่ 2.43 แสดงการทำงานของ Proximity Sensors

ส่วนประกอบหลักของเซ็นเซอร์แบบเหนี่ยวนำ คือ

1. Coil-Wire (ชุดขดลวด) ซึ่งจะถูกพันไว้รอบแกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งมีหน้าที่สร้างคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาจากผิวหน้าของเซ็นเซอร์
2. Oscillator วงจรกำเนิดคลื่นความถี่สูง มีหน้าที่แปลงคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นคลื่นความถี่
3. Amplifier (ตัวขยายสัญญาณ) มีหน้าที่ขยายความแรงของสัญญาณคลื่นความถี่ สำหรับวงจรแยกสถานะ และการสั่งงาน (Trigger)
4. Trigger วงจรแยกสถานะและสั่งงาน
5. Output Driver (ตัวส่งสัญญาณออก) มีหน้าที่เพิ่มกำลังของสัญญาณไปที่ระดับของการใช้งานของสัญญาณออก สำหรับเครื่องจักร CNC หรืออุปกรณ์ PLC และอื่นๆ



(ที่มา : <http://www.compomax.co.th/product/working-principle-inductive-sensors/>)

รูปที่ 2.44 แสดงส่วนประกอบหลักของ Proximity Sensors

เกณฑ์ในการเลือกใช้เซ็นเซอร์

อุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่แนะนำจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดดังนี้

1. ระยะตรวจจับที่ต้องการ (โดยปกติ ระยะตรวจจับสูงสุดอยู่ที่ 40mm หรือน้อยกว่า)
2. เป้าหมายในการตรวจจับ (วัสดุ, ขนาด, รูปร่าง และวิธีการตรวจจับ)
3. รูปร่างของเซ็นเซอร์ / รูปแบบการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รูปแบบหน้าสัมผัสของเซ็นเซอร์ แบบหัวเรียบ หรือแบบหัวยื่น
5. เซ็นเซอร์เหนี่ยวนำแบบอื่นๆ
6. โลหะโดยรอบ
7. โลหะพื้นหลัง
8. สภาพแวดล้อมที่ติดตั้งเซ็นเซอร์
9. สภาพพื้นที่แห้ง หรือเปียก
10. การป้องกันทางกลศาสตร์ (การใช้งานผิวดิน หรืองานเชื่อมโลหะ)
11. ข้อกำหนด และความต้องการทางด้านไฟฟ้า (AC/DC, 3 สาย/2 สาย, NPN/PNP)

ระยะห่างในการตรวจจับ (Sensing distance)

โดยระยะห่างในการตรวจจับจะขึ้นอยู่กับตัวแปรดังนี้

1. ขนาดของขดลวดเซ็นเซอร์
2. ขนาดของตัวเซ็นเซอร์
3. ยิ่งขนาดของเซ็นเซอร์มีขนาดใหญ่ ระยะการตรวจจับก็จะยิ่งไกลขึ้น
4. รูปแบบของหน้าสัมผัสของเซ็นเซอร์
5. แบบหัวเรียบ จะมีระยะตรวจจับที่สั้นกว่า
6. แบบหัวยื่น จะมีระยะตรวจจับที่ไกลกว่า

คำนิยามของ ระยะห่างในการตรวจจับ (Sensing distance definitions)

1. ระยะตรวจจับ (Switching Distance) คือ ระยะห่างที่วัตถุเป้าหมายได้เข้ามาใกล้หน้าสัมผัสของเซ็นเซอร์ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าของสัญญาณที่ส่งออกไป
2. ระยะตรวจจับอ้างอิง (Nominal Sensing Distance, S_n)
 - 2.1 อัตราระยะห่างของการปฏิบัติการ
 - 2.2 ไม่คำนึงถึงการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการผลิต, อุณหภูมิของปฏิบัติการ, แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
 - 2.3 สามารถถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการทำข้อมูลอ้างอิง
3. ระยะตรวจจับที่รับประกัน (Assured Sensing Distance, S_a)
 - 3.1 ระยะตรวจจับที่ถูกรับประกัน หากใช้งานภายใต้เงื่อนไขที่ถูกอนุญาต
 - 3.2 ขึ้นกับอุณหภูมิ
 - 3.3 แรงดันไฟฟ้า
4. ค่าผลต่างสูงสุดของค่าที่แท้จริง (Hysteresis, H_y)
 - 4.1 ค่าระยะห่างระหว่างจุดเปิด และจุดปิด

วัตถุเป้าหมาย (Target material)

ระยะตรวจจับอ้างอิงจะถูกกำหนดโดยใช้วัตถุเป้าหมายเป็นเหล็กอ่อน 360 (Fe360) (โดยมาตรฐาน IEC 60947-5-2) פר็อกซิมีตี้เซ็นเซอร์จะสามารถใช้งานได้ดีที่สุดกับโลหะประเภทเหล็ก หากปริมาณเหล็กในวัตถุเป้าหมายลดลง ระยะตรวจจับก็จะลดลงเช่นกัน โดยระยะค่าตรวจจับที่ใช้งานของเซ็นเซอร์สามารถถูกคำนวณได้โดยใช้ค่าแพกเตอร์ของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าแฟกเตอร์ของวัสดุ (Correction factors)

 Copper	วัสดุ	ระยะการตรวจจับ
	เหล็กอ่อน (Fe360)	1.00 x อัตราระยะตรวจจับ
	สแตนเลส สตีล	0.80 x อัตราระยะตรวจจับ
	อะลูมิเนียม	0.40 x อัตราระยะตรวจจับ
	ทองเหลือง	0.40 x อัตราระยะตรวจจับ
ทองแดง	0.35 x อัตราระยะตรวจจับ	

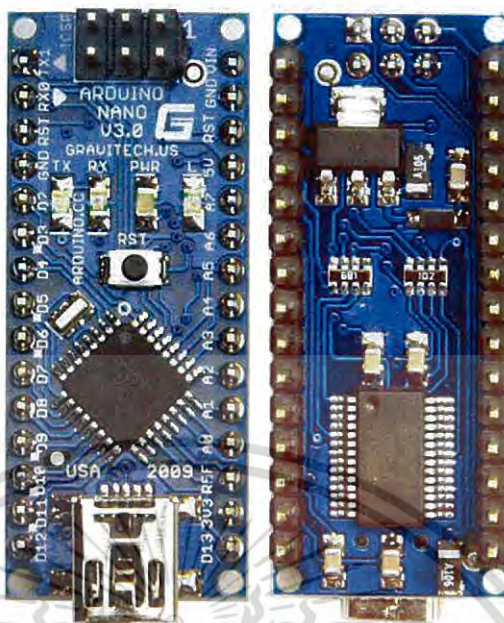
2.4.1.6 Arduino Nano 3.0 (Compatible)

Arduino Nano 3.0 เป็น Arduino ที่ใช้หน่วยประมวลผล ATmega328 เช่นเดียวกับ Arduino Uno ความสามารถจึงเท่ากัน แตกต่างที่ Arduino Nano 3.0 ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก โดยตัดส่วนของ Socket ที่ไม่จำเป็นออก และยังคงความสามารถในการติดต่อผ่าน USB port เหมือนบอร์ด Arduino ตัวใหญ่ไว้ อาจจะเรียกได้ว่า Arduino Nano 3.0 ตัวนี้ คือ Arduino Uno ขนาดย่อส่วนลงมา

คุณสมบัติของบอร์ด

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ | ATmega328 |
| 2. แหล่งจ่ายไฟ | 5V |
| 3. ไฟเข้า(แนะนำ) | 7-12V |
| 4. ไฟเข้า (จำกัดไว้ที่) | 6-20V |
| 5. ขาดิจิตอล I/O | 14 ขา (6 รองรับเอาต์พุตแบบ PWM) |
| 6. ขาอะนาล็อกอินพุต | 8 ขา |
| 7. กระแสไฟฟ้า DC ต่อขา I/O | 40 mA |
| 8. กระแสไฟฟ้าออก DC สำหรับขา 3.3V | 50 mA |
| 9. Flash Memory | 32 KB (ATmega328) |
| 10. SRAM | 2 KB (ATmega328) |
| 11. EEPROM | 1 KB (ATmega328) |
| 12. Clock Speed | 16 MHz |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา : <http://www.arduinoall.com>)

รูปที่ 2.45 แสดงโครงสร้างของ Arduino Nano 3.0 (Compatible)

2.4.2 Software

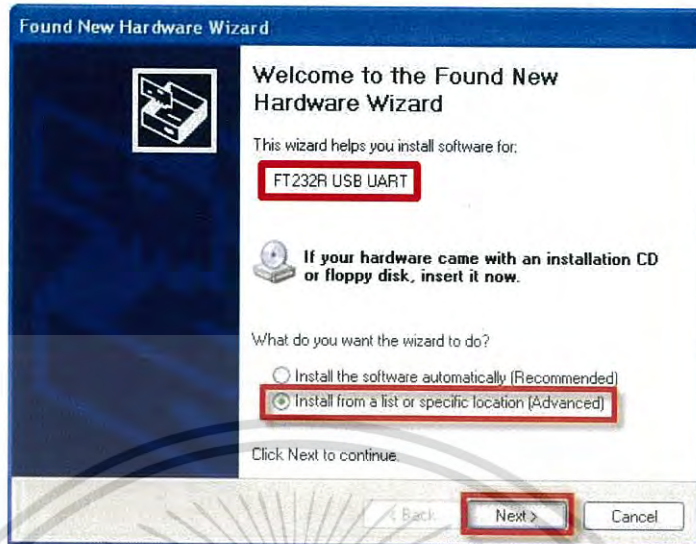
2.4.2.1 การติดตั้ง Driver ของ USB Bridge ของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK

บอร์ด ET-MEGA2560-ADK จะใช้ชิพ USB Bridge ของ FTDI เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกับ คอมพิวเตอร์ PC โดย USB Bridge ของ FTDI จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อและติดต่อสื่อสาร ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ PC กับ MCU ATmega2560 ของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK ในรูปแบบของ พอร์ตอนุกรม (Visual Com Port) โดยโปรแกรม Application ต่างๆที่ทำงานอยู่บนคอมพิวเตอร์ PC รวมทั้ง โปรแกรม Arduino จะมองเห็น พอร์ต USB ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด ET-MEGA2560-ADK เป็นพอร์ตสื่อสาร อนุกรม (Com Port) ช่องหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้เคยทำการติดตั้ง Driver สำหรับ USB Bridge ของ FTDI ไว้ก่อนแล้ว เมื่อทำการเชื่อมต่อสาย USB ของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK เข้ากับ USB HUB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC แล้ว Windows จะทำการติดตั้ง Driver ให้เองโดยอัตโนมัติ แต่ถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ยังไม่เคยติดตั้ง Driver ของ FTDI ไว้ก่อนก็จะต้องทำการติดตั้ง Driver ให้กับบอร์ดให้ เรียบร้อยเสียก่อนซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมแผ่น CD ROM ที่บรรจุ Driver ของ FTDI ไว้ให้พร้อม หรือ ในกรณีที่ใช้ได้ทำการติดตั้ง โปรแกรมของ Arduino ไว้เรียบร้อยแล้ว ภายในโฟลเดอร์ของโปรแกรม Arduino ก็จะมี Driver ของ FTDI จัดเตรียมไว้ให้เรียบร้อยแล้ว โดยจะอยู่ที่ “C:\arduino-0012\drivers\FTDI USB Drivers\”

2. ทำการเสียบสาย USB ของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK เข้ากับพอร์ต USB HUB ของเครื่อง คอมพิวเตอร์ PC ซึ่ง Windows จะตรวจพบอุปกรณ์ใหม่ โดยเป็น “FT232R USB UART” และ แจ้งให้ผู้ใช้ทำการติดตั้ง Driver ให้กับอุปกรณ์ ดังรูปที่ 2.46

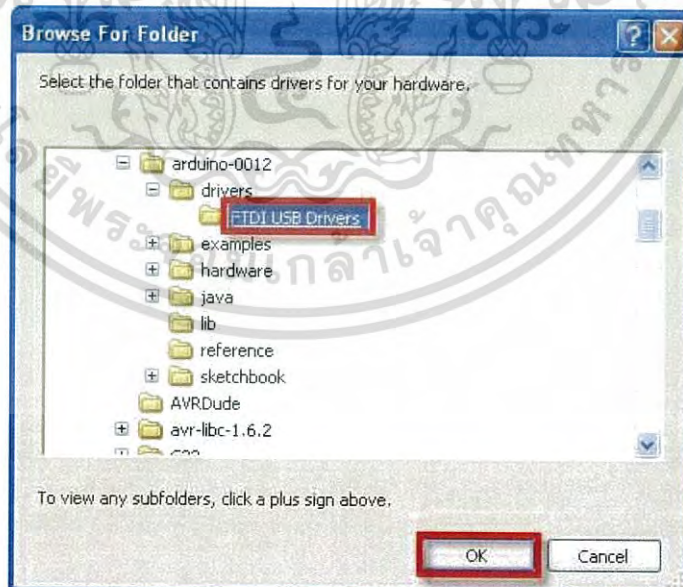
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



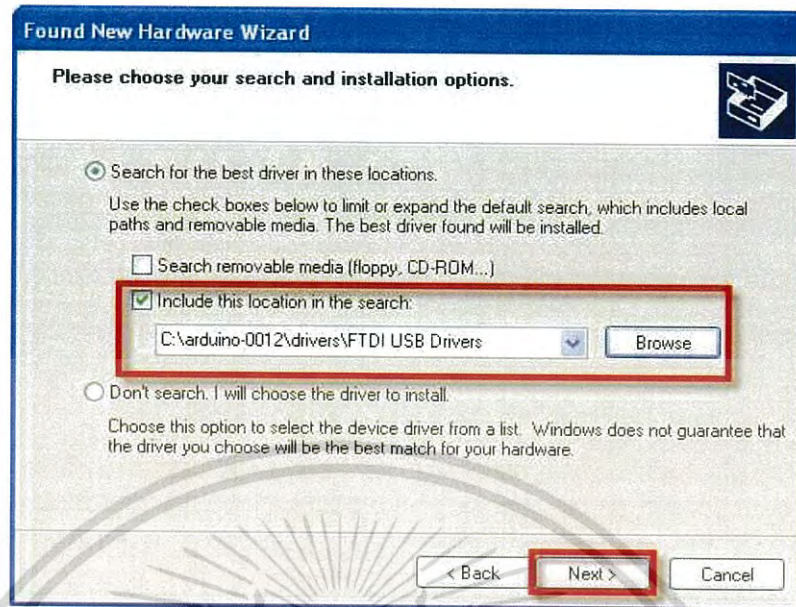
(ที่มาจาก www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.46 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

3. ให้เลือก Install from list or specific location(Advanced) แล้วเลือก Next ซึ่ง Windows ก็จะแจ้ง ให้ผู้ใช้ระบุตำแหน่งโฟลเดอร์ที่บรรจุไฟล์ Driver ของ FTDI ไว้ ก็ให้เลือกที่ Browse และเลือกไปยัง Drive และ โฟลเดอร์ที่เก็บไฟล์ Driver ไว้ ซึ่งถ้าผู้ใช้ได้ทำการติดตั้ง โปรแกรมของ Arduino ไว้แล้ว ก็ ให้เลือกไปที่ “C:\arduino-0012\drivers\FTDI USB Drivers” แล้วเลือก Next ดังรูปที่ 2.47



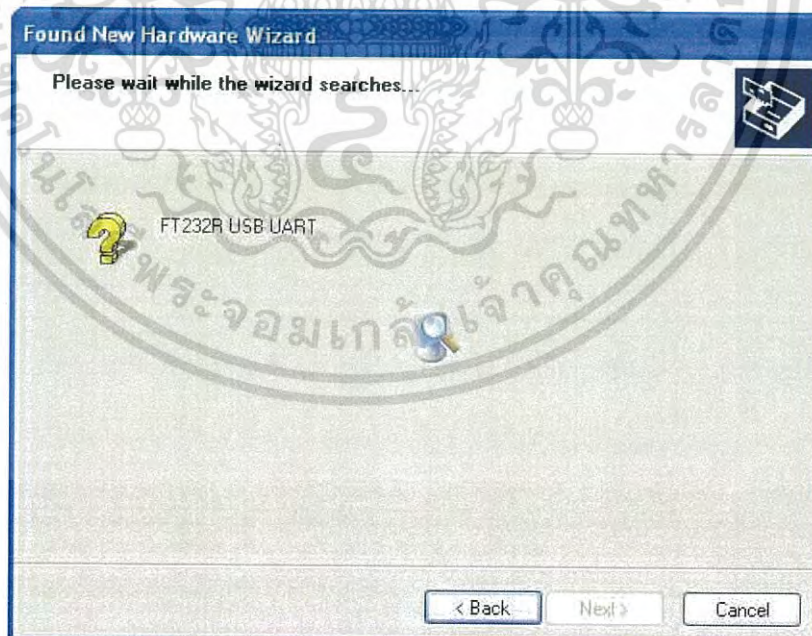
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.47 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

4. ในขั้นตอนนี้โปรแกรม Windows จะทำการค้นหาและติดตั้ง Driver ให้กับอุปกรณ์ ให้รอสักครู่จน การทำงานเสร็จเรียบร้อย แล้วเลือก Finish ดังรูปที่ 2.48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



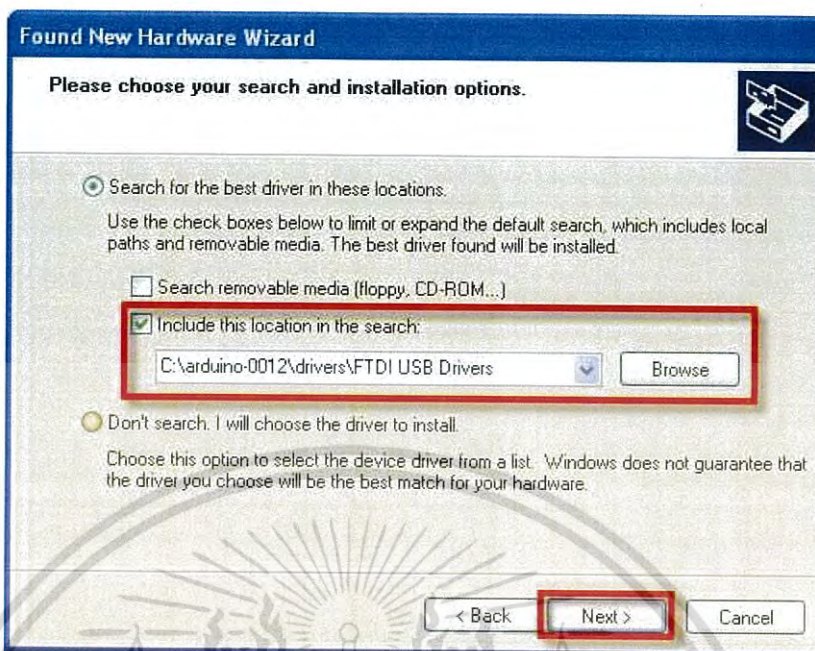
(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.48 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

5. หลังจากทำการติดตั้ง Driver ของฮาร์ดแวร์เรียบร้อยแล้ว Windows ก็จะตรวจพบว่ามีอุปกรณ์ใหม่ ถูกเชื่อมต่ออยู่ โดยเป็นอุปกรณ์ประเภท “USB Serial Port” และแจ้งให้ผู้ใช้ทำการติดตั้ง Driver ให้กับอุปกรณ์ใหม่ที่ระบุเป็น “USB Serial Port” อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งก็ให้เลือกระบุตำแหน่งโฟลเดอร์ที่เก็บไฟล์ Driver ไว้ ซึ่งให้เลือกเหมือนขั้นตอนในหัวข้อที่ 3 ดังรูปที่ 2.49



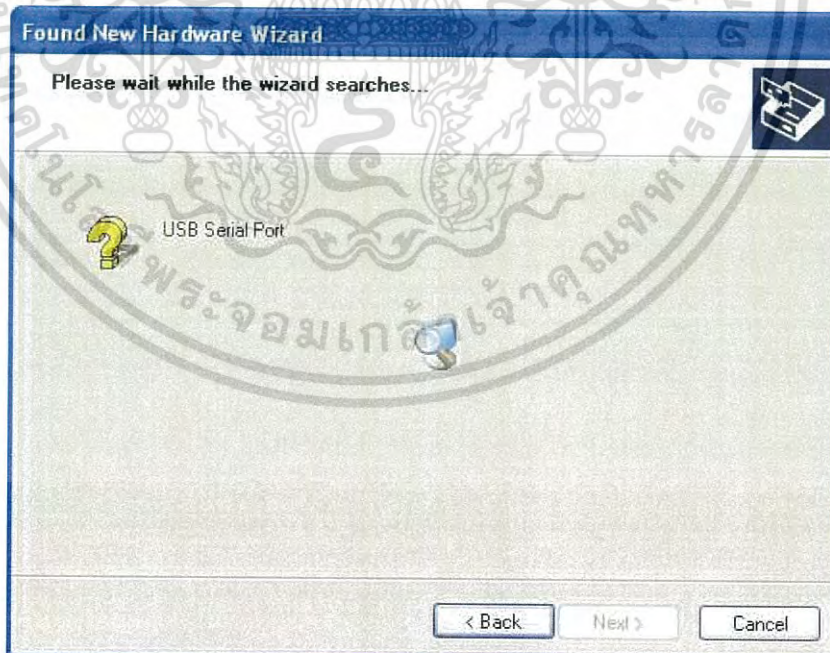
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.49 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

6. ในขั้นตอนนี้โปรแกรม Windows จะทำการค้นหาและติดตั้ง Driver ให้กับอุปกรณ์ ให้ออสักครู่จน การทำงานเสร็จเรียบร้อย แล้วเลือก Finish ดังรูปที่ 2.50



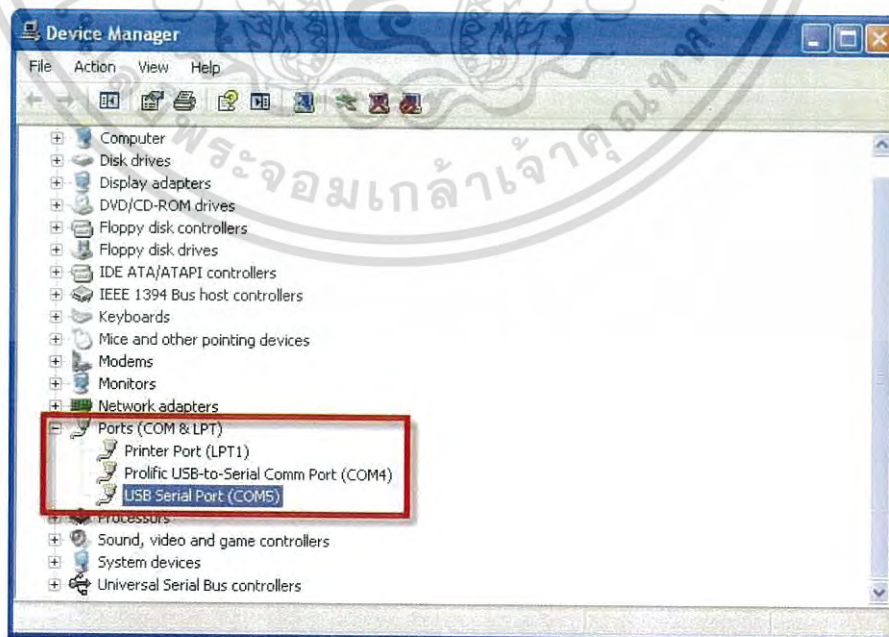
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.50 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

7. หลังจากทำการติดตั้ง Driver เรียบร้อยแล้ว ก็สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้แล้ว แต่เพื่อความถูกต้องใน ครั้งแรกนี้ควรต้องเข้าไปทำการตรวจสอบและปรับแต่งค่าให้กับอุปกรณ์ก่อน โดยในขั้นตอนนี้ให้ไป ที่ “My Computer --- Control Panel --- System --- Hardware --- Device Manager” แล้ว ทำการตรวจสอบที่ Ports (COM&LPT) แล้วดูที่ชื่อของ “USB Serial Port” ซึ่งให้ผู้ใช้งานจดจำ หมายเลขของ Com Port ของอุปกรณ์ดังกล่าวไว้ เพื่อใช้อ้างอิงถึงในการเรียกใช้งาน ดังรูปที่ 2.55



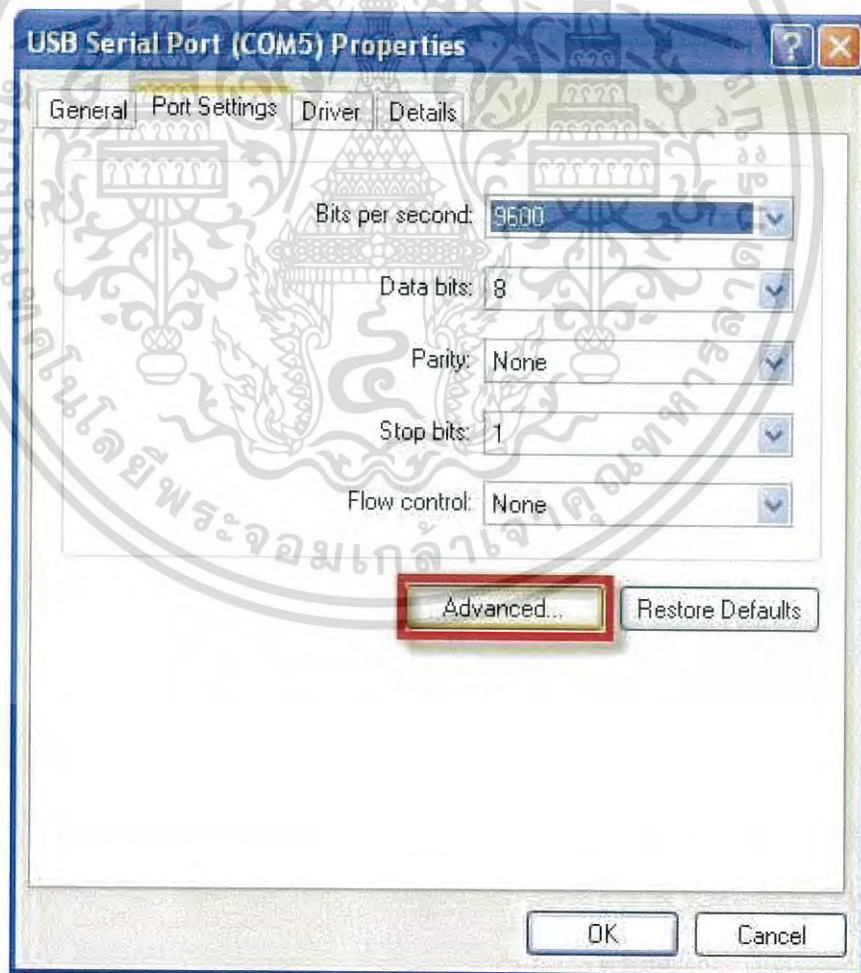
(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.51 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

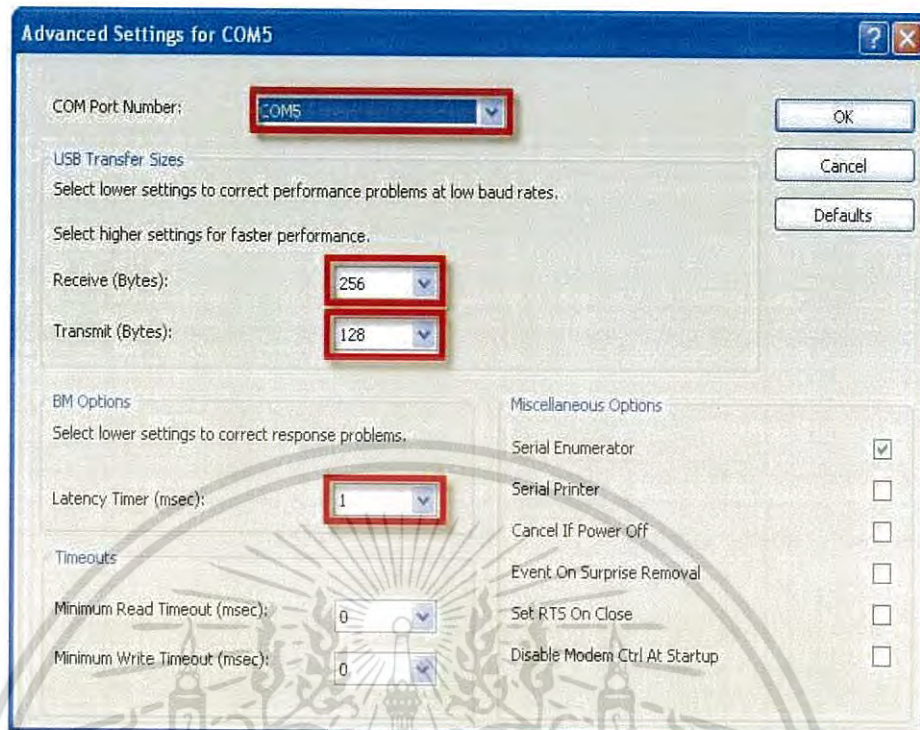
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ในขั้นตอนนี้ให้คลิกเมาส์ที่เครื่องหมาย (+) หน้าหัวข้อ Ports(COM&LPT) แล้วมองหาอุปกรณ์ที่ชื่อ “USB Serial Port” ตามที่เราได้ทำการติดตั้ง Driver ไว้เรียบร้อยแล้ว หรือ ถ้าไม่แน่ใจว่าอุปกรณ์ดังกล่าวใช่อุปกรณ์ที่เป็นของบอร์ด “ET-MEGA2560-ADK” หรือไม่ ให้ทดสอบด้วยการถอดสาย USB ออก รายชื่ออุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องหายไป แต่เมื่อเสียบสาย USB กลับเข้ามาใหม่ รายชื่อของอุปกรณ์ดังกล่าวก็จะต้องปรากฏให้เห็นอีกครั้ง ถ้าทุกอย่างถูกต้อง ก็ให้ทำการคลิกเมาส์ที่ Tab รายชื่อของอุปกรณ์ดังกล่าว เมื่อปรากฏหน้าต่าง USB Serial Port Properties ขึ้นมาแล้วให้เลือกที่ Port Setting แล้วเลือก Advance เพื่อเข้าไปกำหนดค่าให้กับอุปกรณ์ให้เรียบร้อย ดังนี้

- a. USB Transfer Size --- Receive (Bytes) ให้กำหนดเป็น 256
- b. USB Transfer Size --- Transmit (Bytes) ให้กำหนดเป็น 128
- c. BM Option --- Latency Timer (mSec) ให้กำหนดเป็น 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



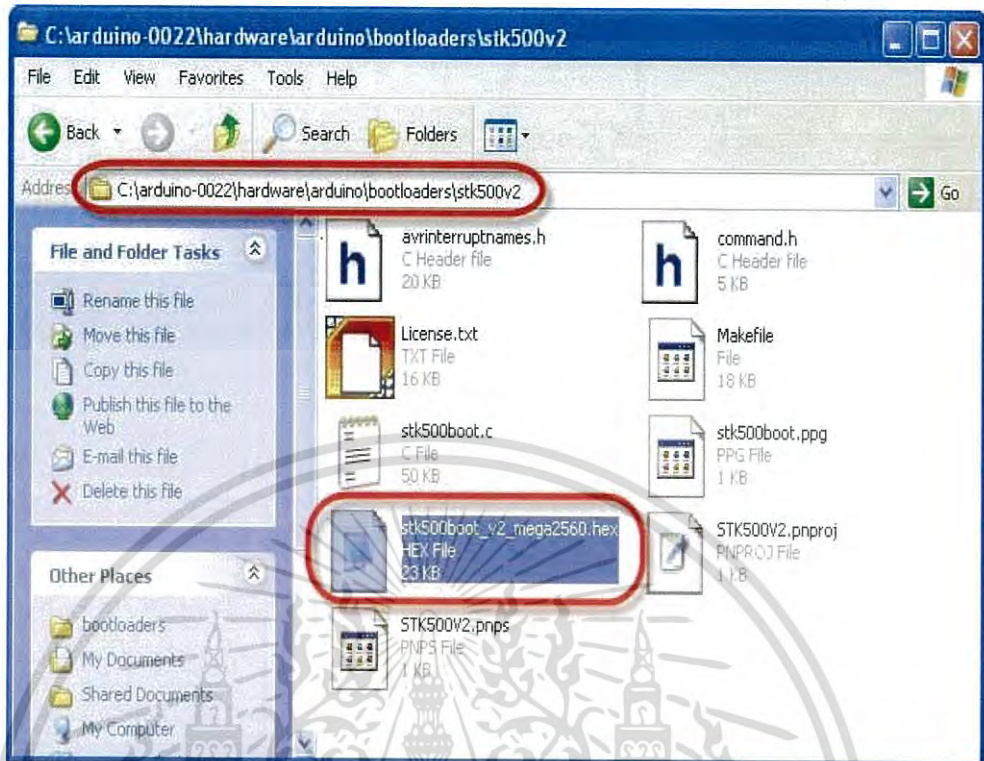
(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.52 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

2.4.2.2 การพัฒนาโปรแกรมของ ET-MEGA2560-ADK ด้วย Arduino

ตามปรกติแล้วบอร์ด ET-MEGA2560-ADK จะทำการ ติดตั้งโปรแกรม Bootloader ไว้ให้กับ MCU เป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยใช้ Bootloader ชื่อ “stk500boot_v2_mega2560.hex” ซึ่งเป็น Bootloader มาตรฐานจาก Arduino โดยโปรแกรม Bootloader นี้จะใช้สำหรับติดต่อสื่อสารเพื่อสั่ง Upload Code จาก คอมพิวเตอร์ PC ให้กับ MCU ในบอร์ดทำงาน โดยไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรมภายนอกให้ยุ่งยาก ซึ่ง คุณสมบัติของ Bootloader รุ่น Arduino-0022 มีคุณสมบัติการทำงานเป็นดังนี้ - สื่อสารกับโปรแกรมภายนอกด้วย Protocol แบบ stk500v2 - ใช้ความเร็ว Baudrate 115200 โดยใช้ความถี่ XTAL 16 MHz - โปรแกรม Bootloader มีขนาด 8KByte ทำงานที่ตำแหน่ง 0x3E000-0x3FFFF - ใช้ LED ที่ต่อกับขา Digital-13 เป็นตัวแสดงสถานะในขณะที่ Bootloader ทำงาน - โปรแกรมใน Bootloader จะทำงานโดยอัตโนมัติทุกครั้งหลังการรีเซ็ต โดย MCU จะเริ่มต้นทำงาน ใน Bootloader นี้ก่อนเสมอ เพื่อรอกการติดต่อสื่อสารจากโปรแกรมสำหรับสั่งให้ทำการ Upload Code ให้กับ MCU แต่ถ้าไม่มีการติดต่อสื่อสารเข้ามาภายในเวลาที่กำหนดไว้ ก็จะกระโดดไป ทำงานตามโปรแกรมที่ผู้ใช้โหลดไว้ให้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา : www.ETT.co.th)

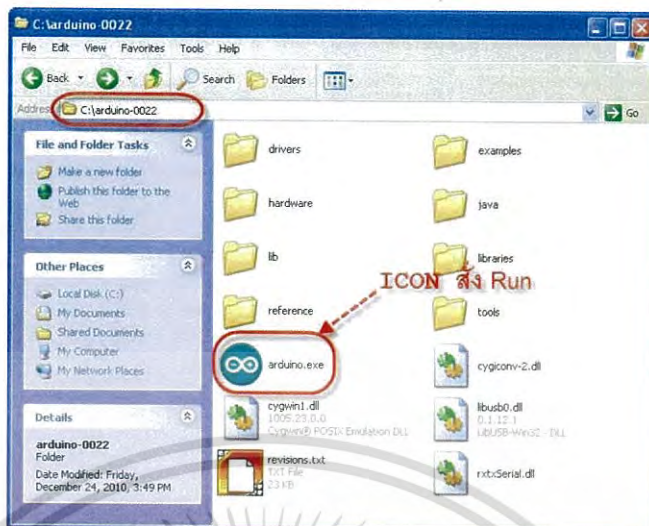
รูปที่ 2.53 การพัฒนาโปรแกรมของ ET-MEGA2560-ADK ด้วย Arduino

สำหรับบอร์ด ET-MEGA2560-ADK นั้น จะรองรับการ Reset MCU แบบอัตโนมัติจาก USB Bridge (FT232RL) โดยใช้ขา DTR จาก FT232RL เป็นขาควบคุมการรีเซ็ต MCU

2.4.2.3 การติดตั้งโปรแกรม Arduino

สำหรับโปรแกรม Arduino นั้น ได้รับการพัฒนาขึ้นมาให้สามารถใช้งานกับระบบปฏิบัติการแบบต่างๆ ได้หลาย Platform ซึ่งปัจจุบัน (เดือน กันยายน พศ.2554) โปรแกรมของ Arduino ได้รับการปรับปรุง เป็นรุ่น เวอร์ชัน “Arduino-0022” แล้ว โดยมีโปรแกรมให้เลือกใช้งาน 4 Platform ทั้ง Windows, Mac OSx และ Linux โดยผู้อ่านสามารถเข้าไป ตรวจสอบ หรือ Download โปรแกรมรุ่นใหม่ๆ ของ Arduino มาใช้งาน ได้ฟรีโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ จาก “<http://arduino.cc/>” หรือ “<http://arduino.cc/en/Main/Software>” ซึ่ง เป็นเว็บไซต์ที่ได้รวบรวมรายละเอียดและข่าวคราวความเคลื่อนไหวต่างๆ เกี่ยวกับ Arduino มากมาย ซึ่ง ข้อมูลต่างๆ จะได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ โดยในการติดตั้งโปรแกรมของ Arduino นั้นให้ทำการ Unzip แล้ว Copy ไปติดตั้งไว้ในตำแหน่ง โฟลเดอร์ “c:\arduino-0022” ดังตัวอย่างรูปที่ 2.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



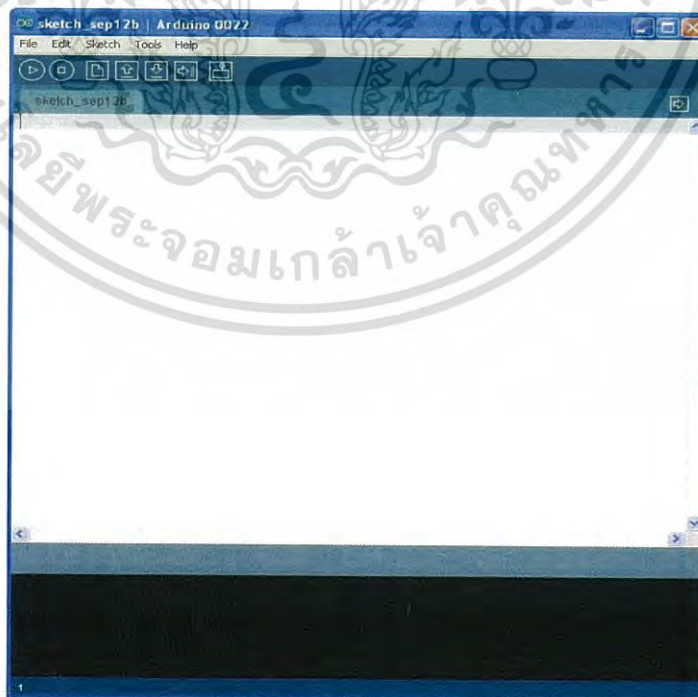
(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.54 แสดงไอคอนของโปรแกรม Arduino

2.4.2.4 ทดสอบเขียนโปรแกรมใช้งานด้วย Arduino

หลังจากที่เราได้ทำการติดตั้งโปรแกรม Arduino เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนของการเตรียมการแล้ว ลำดับขั้นตอนต่อจากนี้เป็นต้นไป ก็เป็นเรื่องของการใช้งาน การเขียนโปรแกรม และการศึกษาเรียนรู้ต่างๆตามความต้องการแล้ว แต่ก่อนอื่นเราจะต้องทำการติดตั้งโปรแกรมของ Arduino เพื่อใช้เป็นโปรแกรมสำหรับศึกษาเรียนรู้ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการสั่ง Run โปรแกรม “arduino.exe” จะได้ผลดังรูปที่ 2.55

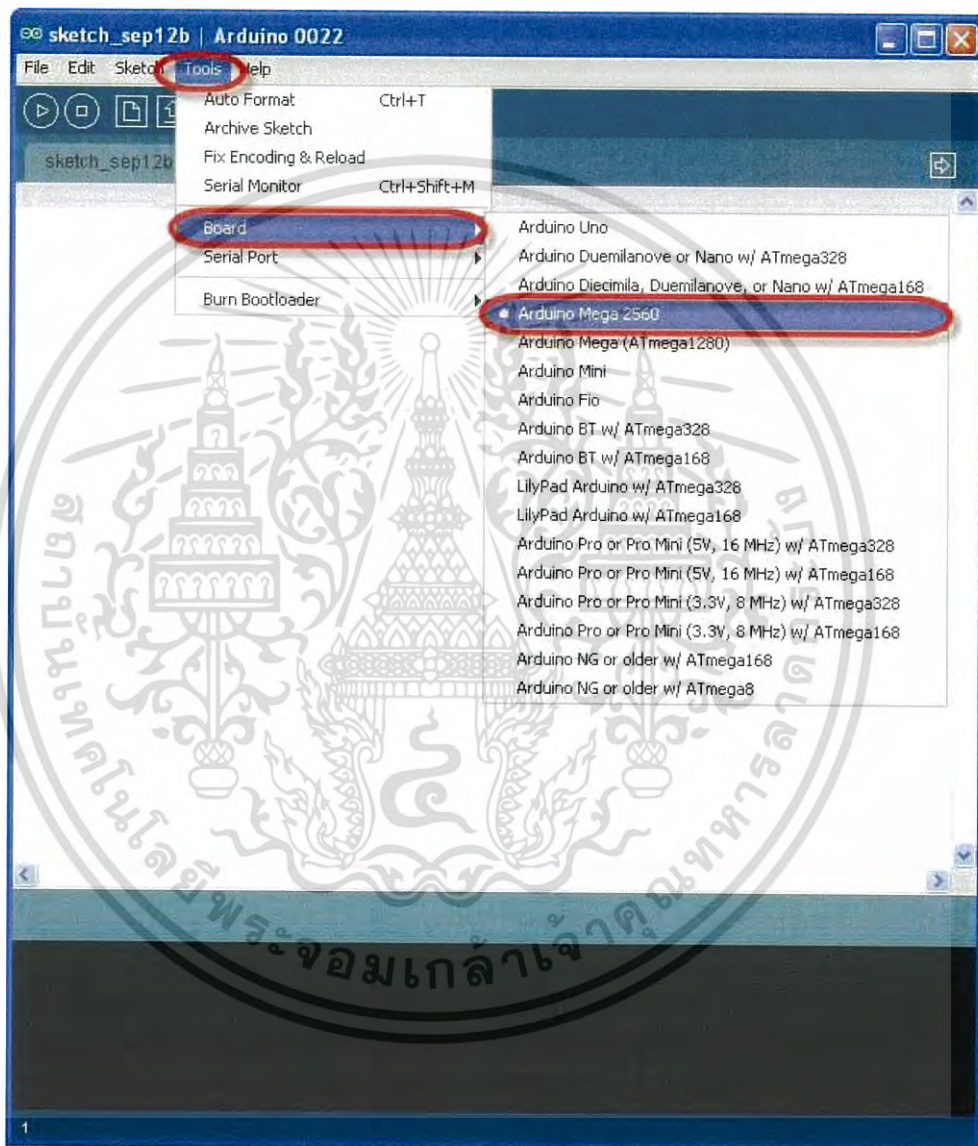


(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.55 แสดงโปรแกรม Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในครั้งแรกของการเรียกใช้งานโปรแกรม ให้ทำการกำหนดระบบฮาร์ดแวร์ที่จะใช้งานกับโปรแกรม ของ Arduino ให้เรียบร้อยเสียก่อน เนื่องจากในปัจจุบันนี้ มีการออกแบบวงจรและสร้างฮาร์ดแวร์ บอร์ดแบบต่างๆสำหรับนำมาใช้งานร่วมกับโปรแกรมพัฒนาของ Arduino ไว้มากมายหลายรุ่น โดย ในกรณีของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK ให้ทำการเลือกกำหนดชื่อบอร์ดเป็น “Arduino Mega” โดยคลิกเมาส์ที่ “Tools --- Board --- “Arduino Mega” ดังรูปที่ 2.56

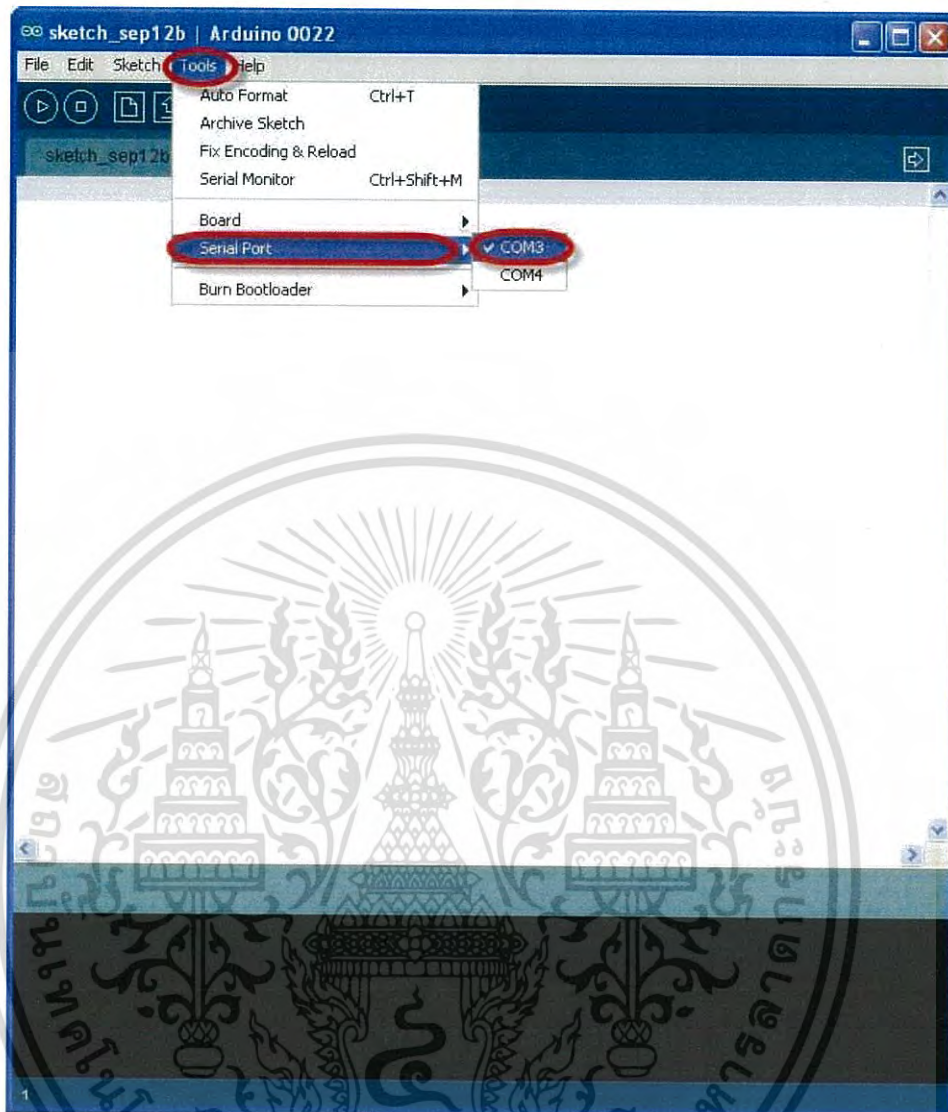


(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.56 แสดงการใช้งานโปรแกรม Arduino

3. เลือกกำหนดหมายเลขพอร์ต สำหรับติดต่อสื่อสารกับบอร์ด ให้ตรงกับหมายเลข Comport ที่ต่อใช้งานไว้จริงในเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เช่น ถ้าหมายเลข Comport ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เป็น COM3 ให้คลิกเมาส์ที่ Tools --- Serial Port --- COM3 ดังรูปที่ 2.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

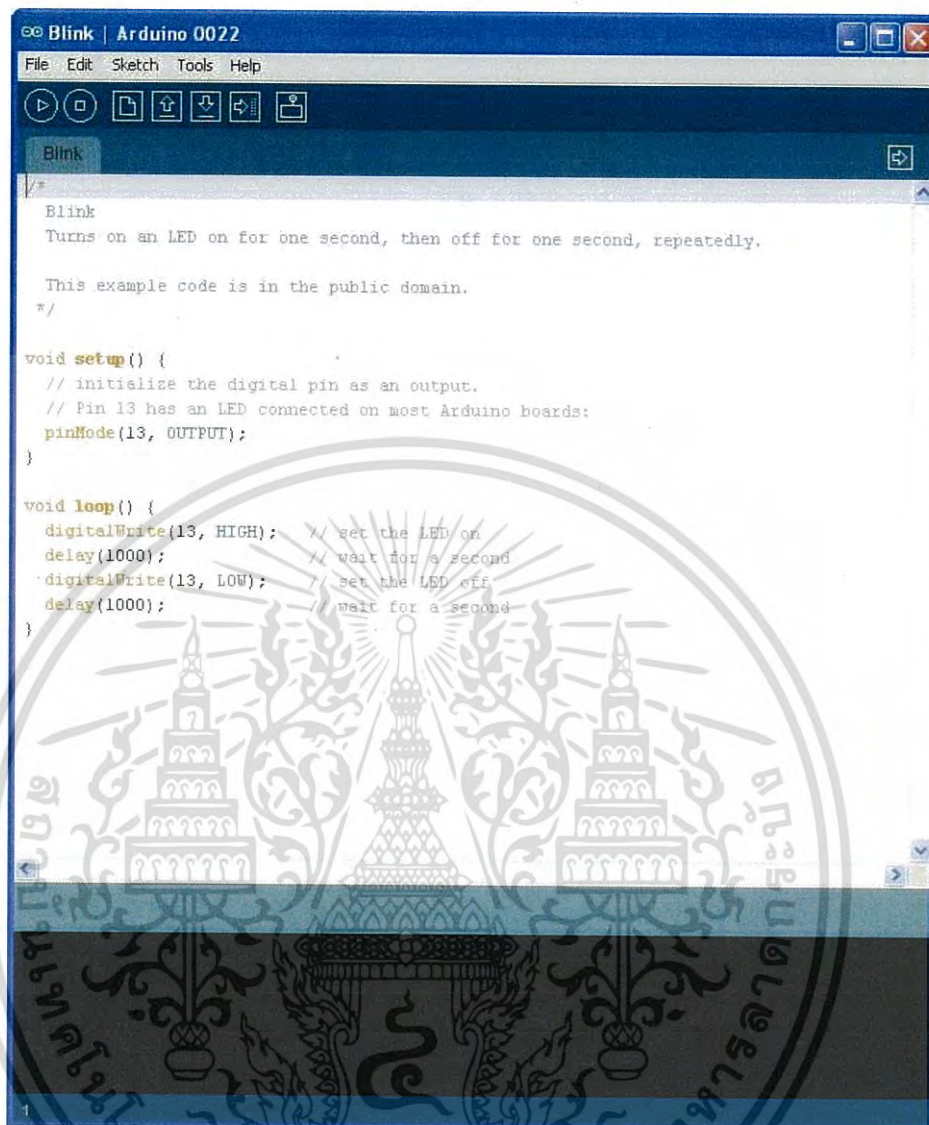


(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.57 แสดงการเซ็ท Serial Port โปรแกรม Arduino

4. ทดสอบเขียนโปรแกรม โดยคลิกเมาส์ที่ File --- New แล้วพิมพ์โปรแกรมทดสอบ หรือ อาจใช้การ สั่งเปิดไฟล์ตัวอย่างที่สร้างไว้แล้วขึ้นมาแทนก็ได้ โดยในที่นี้ขอแนะนำให้ทดสอบด้วย โปรแกรมไฟ กระพริบ โดยให้เลือก "File --- sketchbook --- Examples --- Digital --- Blink" ซึ่ง จะได้ดังรูปที่ 2.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

Blink
Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

This example code is in the public domain.
*/

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  // Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards:
  pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);           // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  delay(1000);          // wait for a second
}

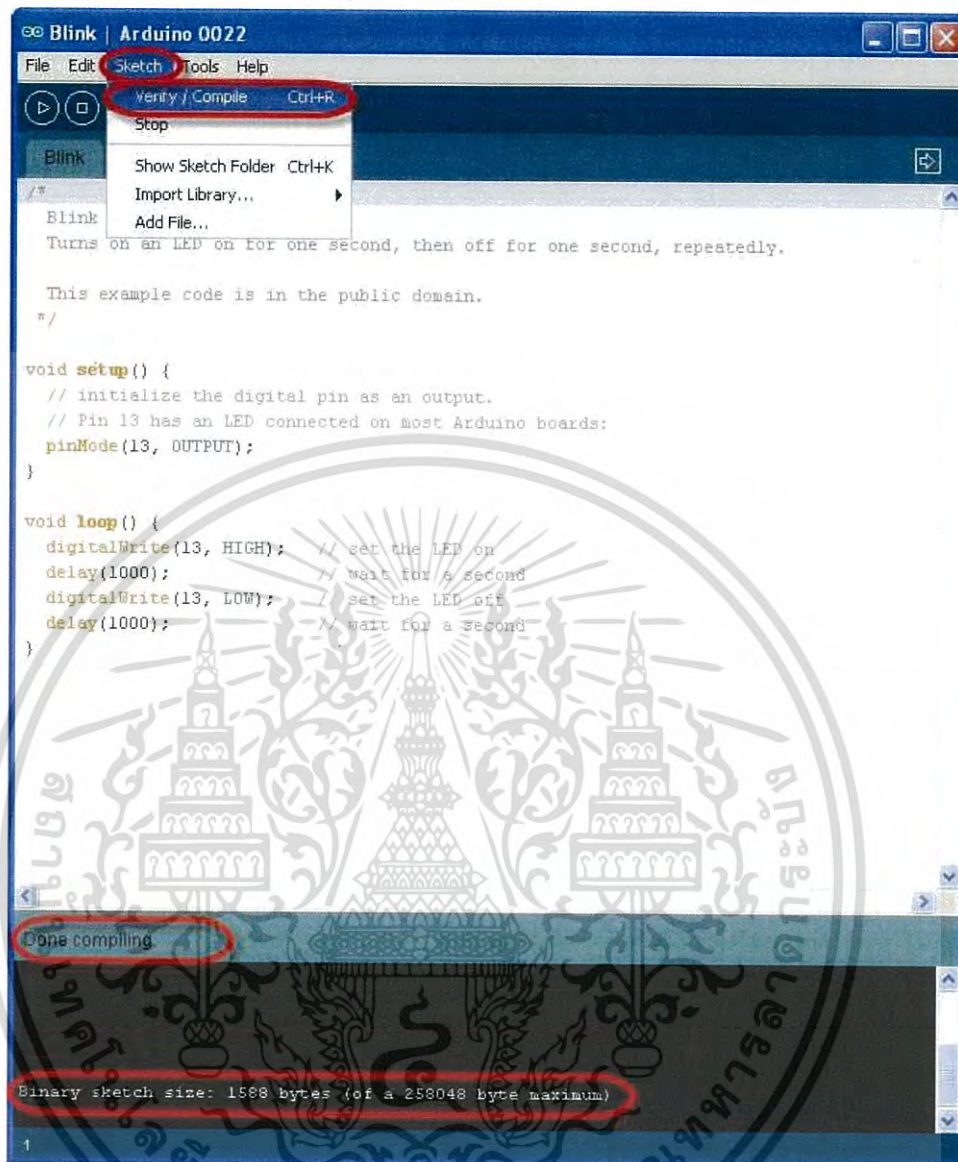
```

(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.58 แสดงการทดสอบโปรแกรมลงบอร์ด Arduino

5. สั่งแปลโปรแกรมโดยคลิกเมาส์ที่ “Sketch --- Verify/Compile” เพื่อตรวจสอบคำสั่งต่างๆใน โปรแกรมว่าถูกต้องหรือไม่ ตั้งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

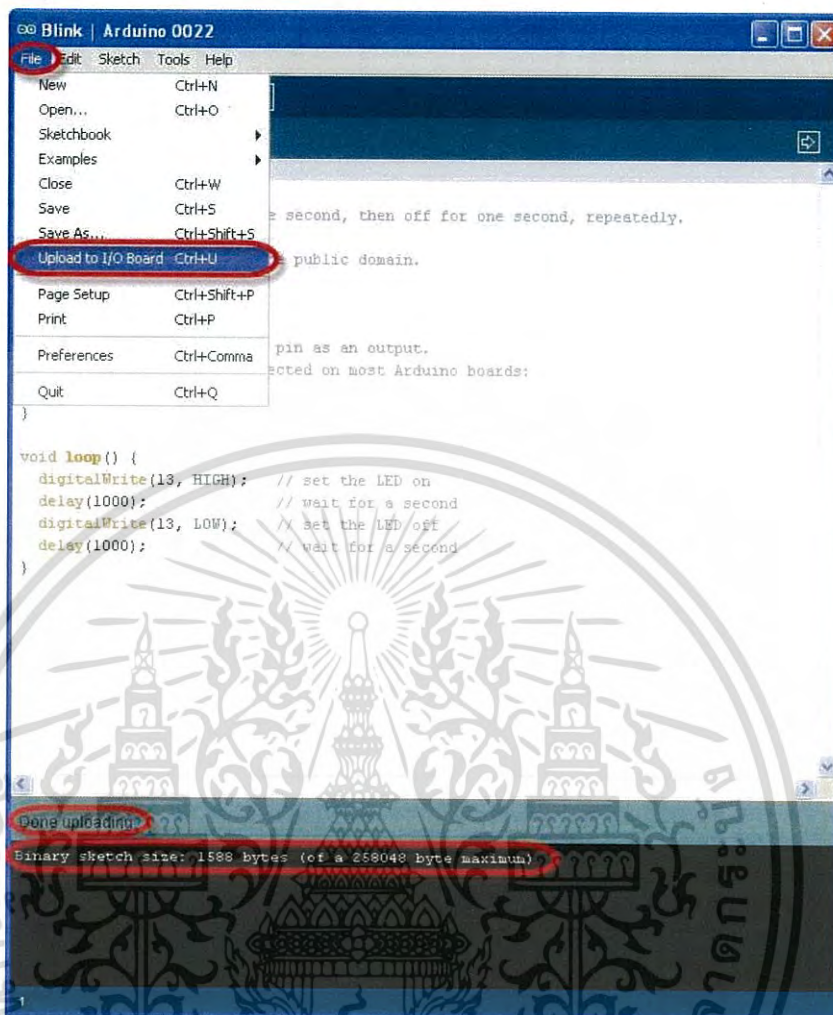


(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.59 แสดงการตรวจสอบโปรแกรมก่อนการอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino

6. สั่ง Download Code ให้กับบอร์ด โดยคลิกเมาส์เลือกที่ “File --- Upload to I/O Board” แล้วรอ สักครู่จนโปรแกรมทำงานเสร็จ หลังจากที่ทำกร Upload Code ให้กับบอร์ดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว บอร์ดก็จะเริ่มต้นทำงานตามคำสั่งที่เขียนไว้ในโปรแกรมทันที โดยจะสังเกตเห็น LED กระพริบ ติด และดับ สลับกันไปมา ด้วยความเร็วประมาณ 1 วินาที ตลอดเวลา ซึ่งควรได้ผลดังรูปที่ 2.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ที่มา : www.ETT.co.th)

รูปที่ 2.60 แสดงการอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การออกแบบ การสร้าง และวิเคราะห์ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์และการนำไปประยุกต์ใช้งาน มีขั้นตอนดำเนินงานดังนี้

- 3.1 การศึกษาหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 3.2 การศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
- 3.3 การศึกษาออกแบบและสร้างกล่องควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 3.4 การทดสอบสมรรถนะระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
- 3.5 การประยุกต์ใช้ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

3.1 การศึกษาหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

3.1.1 คำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ Azimuth และ Altitude จากสมการ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

จากทฤษฎีในบทที่ 2 การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จำเป็นต้องรู้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ใน แต่ละวัน สามารถคำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\omega = 15(AST-12) \quad \dots (2.1)$$

ω คือ มุมซังโมง (Hour angle) ในหน่วยชั่วโมง

AST คือ เวลาสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Time) ในหน่วยชั่วโมง

Solar Time คือ เวลาที่บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งบนพื้นโลก หาได้จากสมการที่ (2)

$$AST = LCT \pm \frac{T_{ZW}^E \pm \lambda_W^E}{15} + \frac{EQT}{60} \quad \dots (2.2)$$

LCT คือ Local Clock Time เวลาท้องถิ่นคำนวณ Time Zone (ชั่วโมง)

T_{ZW}^E คือ เขตเวลา (Time Zone) ค่าเป็นบวกสำหรับเส้นลองจิจูด

ตะวันตก และเป็นลบสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันออก ในหน่วยองศา

λ_W^E คือ เวลาที่ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต หาได้จากการเอาเส้นลองจิจูด

ในหน่วยองศา ณ จุดที่ตั้งหารด้วย 15 ค่า λ เป็นบวกสำหรับเส้นลองจิจูด

ตะวันออกและ λ เป็นลบสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันตก

EQT คือ Equation of Time สมการเวลา คำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

$$EQT = 60 \sum_{k=0}^5 \left[A_k \cos \left(\frac{360kn}{365.25} \right) + B_k \sin \left(\frac{360kn}{365.25} \right) \right] \quad \dots (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n คือ จำนวนวันใน 4 ปี (ปีอธิกสุรทิน) มีค่าตั้งแต่ 1-1461
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ k A_k และ B_k

k	A_k (hr)	B_k (hr)
0	2.0870×10^{-4}	0
1	9.2869×10^3	-1.224×10^{-1}
2	-5.2258×10^{-2}	-1.5698×10^{-1}
3	-1.3077×10^{-3}	-5.1602×10^{-3}
4	-2.1867×10^{-3}	-2.9823×10^{-3}
5	-1.5100×10^{-4}	-2.3463×10^{-4}

$$\sin \delta = \cos \left[(n-173) \frac{180}{182.6} \right] \sin 23.45 \quad \dots (2.4)$$

n คือ จำนวนวันใน 1 ปี ($N = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม, $N = 365$ ในวันที่ 31 ธันวาคม)

Latitude Angle (ℓ_{ϕ}^E) คือ ค่ามุมที่วัดเป็นองศาไปทางเหนือและทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร ข้างละ 90 องศา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$A_\alpha = \sin^{-1} \left(\sin \delta \sin \ell_{\phi}^E + \cos \delta \cos \omega \cos \ell_{\phi}^E \right) \quad \dots (2.5)$$

A_α คือ มุมการเคลื่อนที่อัลติจูด (Altitude Angle) ในหน่วยองศา

$\sin \delta$ คือ มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) ในหน่วยองศา

ℓ_{ϕ}^E คือ ตำแหน่งละติจูดของผู้ทดลอง (Latitude) ในหน่วยองศา

ω คือ มุมชั่วโมง (Hour angle) ในหน่วยชั่วโมง

Altitude Angle (A'_z) คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวรังสีของดวงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.6)

$$A'_z = \sin^{-1} \left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \right) \quad \dots (2.6)$$

$$\text{โดยมีเงื่อนไขว่าถ้า } \cos \omega \geq \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right), A = 180^\circ - A$$

$$\cos \omega \leq \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right), A = 360^\circ - A$$

ลำดับสุดท้ายเราสามารถบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้จากค่า Altitude Angle และ Azimuth Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การสร้างและออกแบบเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

จากการคำนวณ Altitude Angle และ Azimuth Angle ด้วยสูตรของ NOAA จึงมีการสร้างเครื่องมือวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์ซึ่งใช้หลักการบังเงาของนาฬิกาแดดที่เวลา 12.00 เพื่อใช้ตรวจสอบและเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน โดยชุดเครื่องมือวัดมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.1 – 3.3



รูปที่ 3.1 แสดงชุดเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์



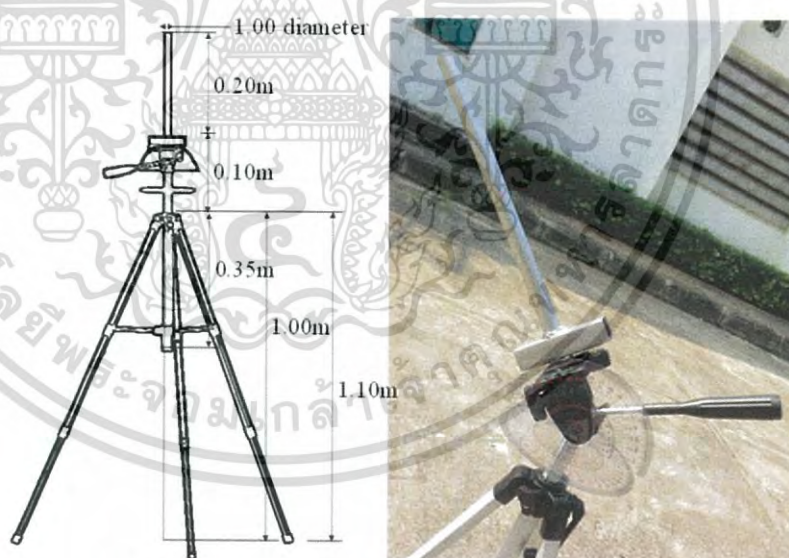
รูปที่ 3.2 1. แสดงแนวแกนการเคลื่อนที่อัลติจูด
2. แสดงแนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมูท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ซึ่งใช้หลักการบังเงาของนาฬิกาแดด ที่ เวลา 12.00 น

วิธีตั้งค่าเครื่อง ให้ 0° ของเครื่องมือวัดในแนวแกนราบหรือ Azimuth Angle ชี้ไปที่ตำแหน่งของทิศเหนือ



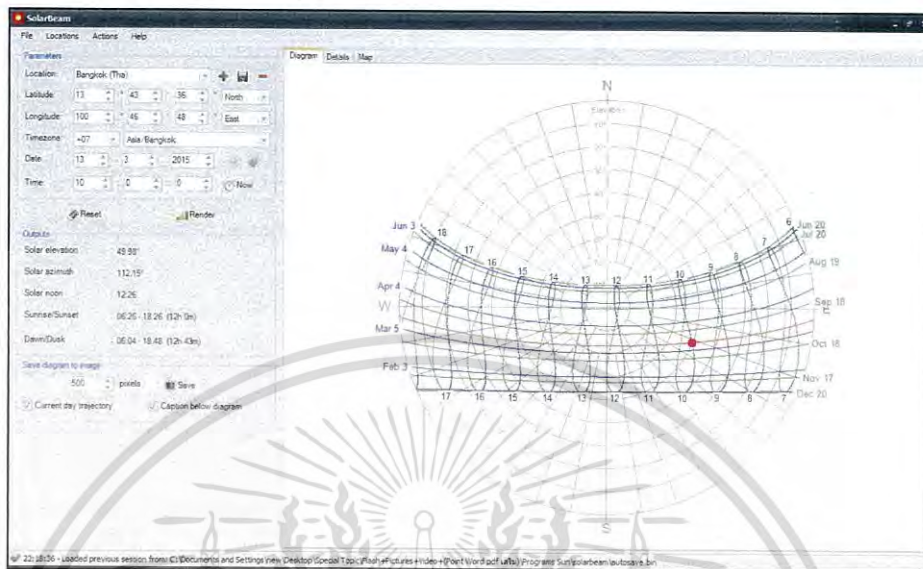
รูปที่ 3.4 แสดงขนาดโครงสร้างของเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

3.1.3 การสร้างกราฟ Analemma ด้วย โปรแกรม Solar Beam

เนื่องจากแกนโลกที่เอียง 23.45° และวงโคจรที่เป็นรูปวงรีรอบดวงอาทิตย์ ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในเวลาเดียวกันของแต่ละวันต่างกัน และความเอียงของวงวนของแอนาเล็มมาจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งละติจูดบนโลกที่ต่างกัน (แต่เป็นรูปเลขแปดเหมือนกัน) ซึ่งสามารถบอกถึงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้ ดังนั้นจึงนำ Altitude Angle and Azimuth Angle จากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณด้วยสมการ NOAA และ เครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เพื่อ Calibrate เทียบกับโปรแกรม Solar Beam ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงหน้าต่าง Program Solar Beam (Thailand) ที่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. ใน 1 ปี

3.2 การศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 การศึกษาออกแบบและสร้างโครงสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ทำการสร้างโครงสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ สิ่งที่น่าสนใจในการออกแบบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้แก่ ความแข็งแรงของโครงสร้าง วัสดุ และรูปร่าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) โครงสร้างที่ใช้ทำเป็นโครงเพื่อรองรับระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.6 ควรรับน้ำหนักของตัวรวมรังสีอาทิตย์ และ มอเตอร์ได้
- 2) วัสดุที่จะนำมาใช้ต้องทนต่อการกัดกร่อน
- 3) ขนาดที่ออกแบบไม่ใหญ่โตอะทะและมีน้ำหนักไม่มากเกินไป อันเป็นผลทำให้การติดตั้งและเคลื่อนย้ายลำบาก

จากข้อพิจารณาดังกล่าวจะเลือกใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์ในการขึ้นโครงสร้างของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 3.5-3.20

ส่วนที่ 1 ขนาดของอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่นำมาใช้ทำโครงสร้างฐานมีหน้าตัด ดังรูปที่ 3.6ก

ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความกว้างของอลูมิเนียมโปรไฟล์} &= 1.0 \text{ in} \\ \text{ความยาวของอลูมิเนียมโปรไฟล์} &= 1.0 \text{ in} \end{aligned}$$

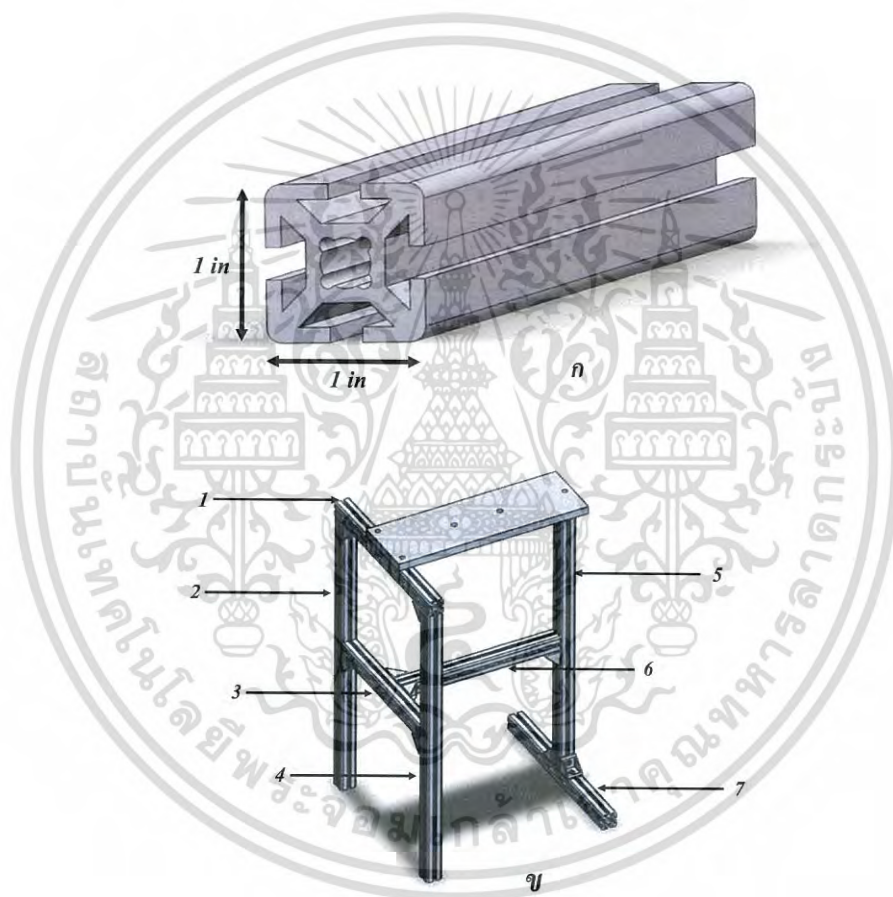
หมายเลข 1 ดังรูปที่ 3.6	ความสูงของอลูมิเนียมโปรไฟล์	= 12.5 in
หมายเลข 2 ดังรูปที่ 3.6	ความสูงของอลูมิเนียมโปรไฟล์	= 18.5 in
หมายเลข 3 ดังรูปที่ 3.6	ความสูงของอลูมิเนียมโปรไฟล์	= 10.5 in
หมายเลข 4 ดังรูปที่ 3.6	ความสูงของอลูมิเนียมโปรไฟล์	= 18.5 in
หมายเลข 5 ดังรูปที่ 3.6	ความสูงของอลูมิเนียมโปรไฟล์	= 17.5 in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

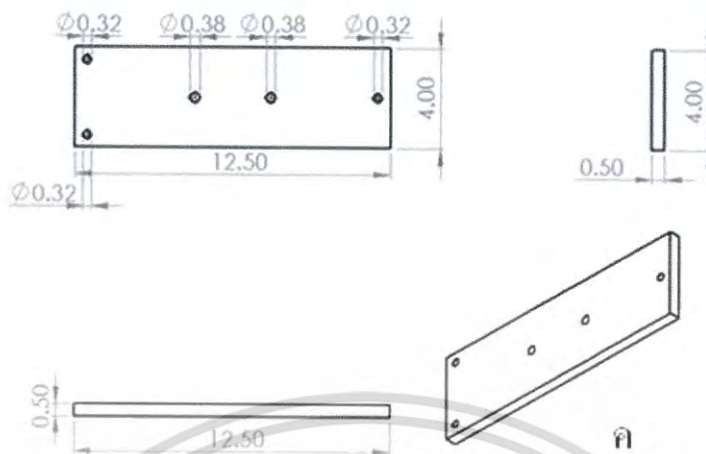
หมายเลข 6 ดังรูปที่ 3.6ข	ความสูงของอลูมิเนียมโปรไฟล์	= 10.5 in
หมายเลข 7 ดังรูปที่ 3.6ข	ความสูงของอลูมิเนียมโปรไฟล์	= 16.5 in

ส่วนที่ 2 ขนาดโครงสร้างแผ่นรองมอเตอร์ตัวที่ 1 ดังรูปที่ 3.6ค
(แนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมุต)

ความกว้างแผ่นรองมอเตอร์ตัวที่ 1	= 4.0 in
ความยาวแผ่นรองมอเตอร์ตัวที่ 1	= 12.5 in
ความหนาแผ่นรองมอเตอร์ตัวที่ 1	= 0.5 in



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 (ก) ภาพโครงสร้างอลูมิเนียมโปรไฟล์

(ข) โครงสร้างฐานระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

(ค) โครงสร้างแผ่นรองมอเตอร์ตัวที่ 1 มุมหรือการเคลื่อนที่แนวราบ



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างฐานระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่จัดทำขึ้น

ขนาดโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อะซิมุทหรือการเคลื่อนที่แนวราบ ดังรูปที่ 3.8

อลูมิเนียมโปรไฟล์

ความกว้างของอลูมิเนียมโปรไฟล์ = 1.0 in

ความยาวของอลูมิเนียมโปรไฟล์ = 1.0 in

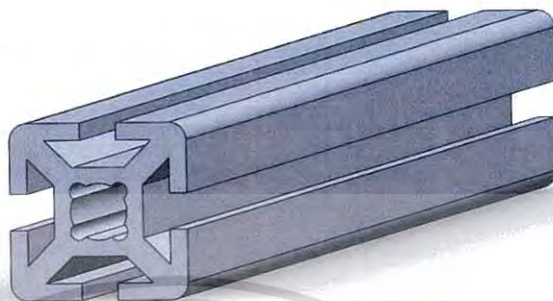
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 1 ดังรูปที่ 3.8

ความสูงของอลูมิเนียมโปรไฟล์ = 7.0 in

หมายเลข 2 ดังรูปที่ 3.8

ความสูงของอลูมิเนียมโปรไฟล์ = 7.0 in



รูปที่ 3.8 แสดงขนาดโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อะซิมุทหรือการเคลื่อนที่แนวราบ

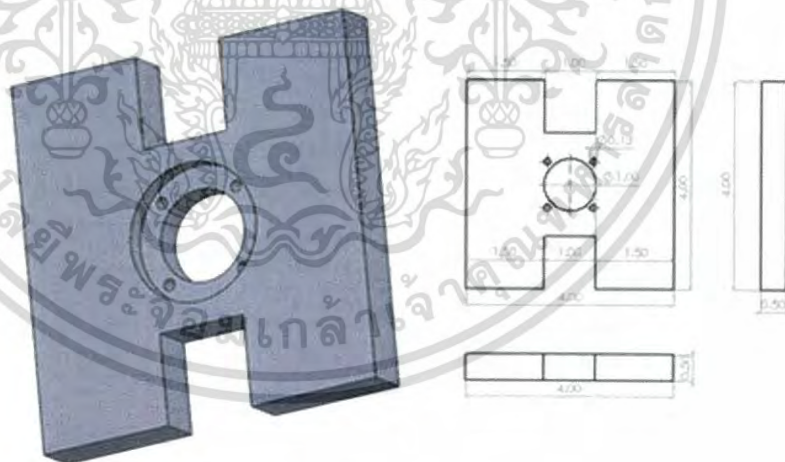
ขนาดแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.9-3.10

แผ่นที่ 1

ความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์ = 4.0 in

ความยาวของแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์ = 4.0 in

ความหนาของแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์ = 0.50 in



รูปที่ 3.9 แสดงแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์(แผ่นที่1)

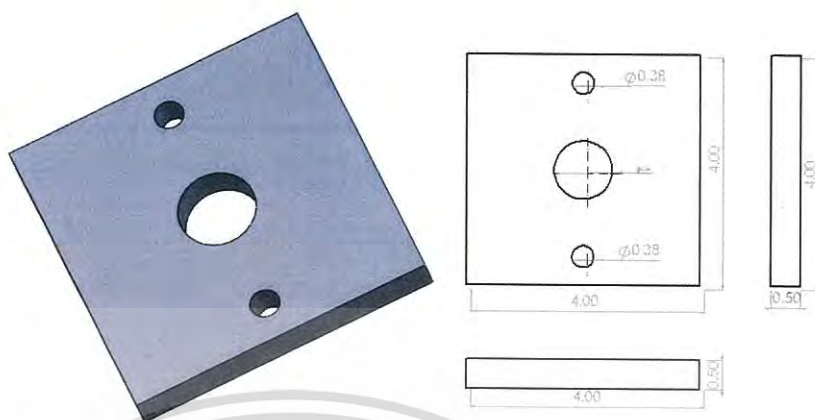
แผ่นที่ 2

ความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์ = 4.0 in

ความยาวของแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์ = 4.0 in

ความหนาของแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์ = 0.50 in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

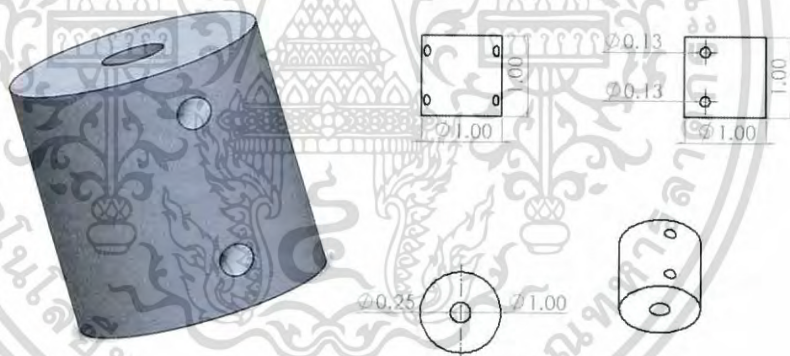


รูปที่ 3.10 แสดงแผ่นอลูมิเนียมส่วนยึดจับแกนมอเตอร์(แผ่นที่2)

ขนาดโครงสร้างตัวจับแกนมอเตอร์ตัวที่ 1 หรือการเคลื่อนที่แนวราบ ดังรูปที่ 3.11

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวจับแกนมอเตอร์ตัวที่ 1 = 1.0 in

ขนาดความสูงของตัวจับแกนมอเตอร์ตัวที่ 1 = 1.0 in

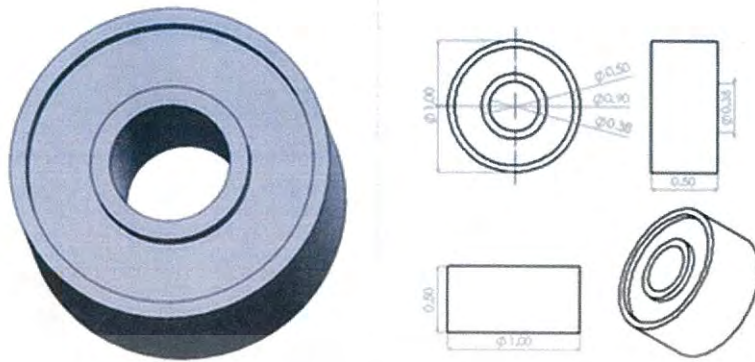


รูปที่ 3.11 แสดงโครงสร้างตัวจับแกนมอเตอร์ตัวที่ 1 หรือการเคลื่อนที่แนวราบ

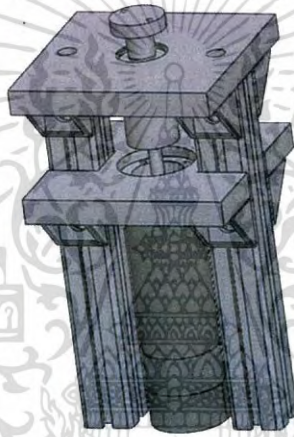
ขนาดโครงสร้างตั้บลูกปืนช่วยค้ำยันแกนมอเตอร์ตัวที่ 1 ดังรูปที่ 3.12

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตั้บลูกปืนช่วยค้ำยันแกนมอเตอร์ตัวที่ 1 = 1.0 in

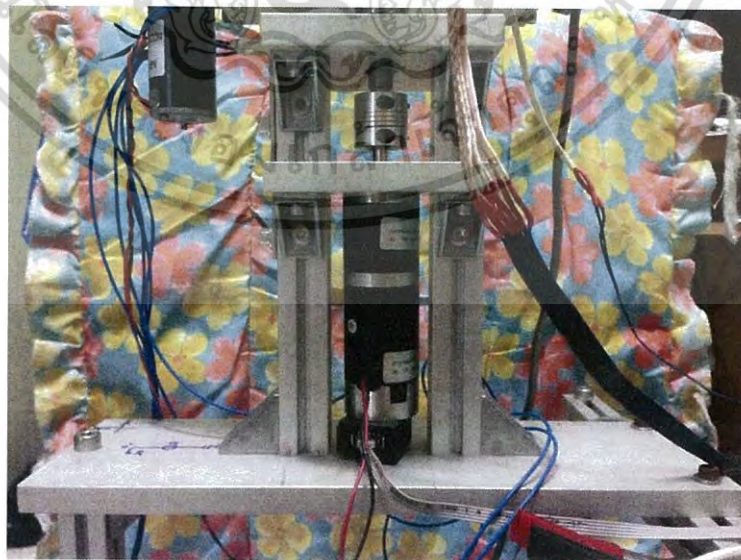
ขนาดความสูงของตั้บลูกปืนช่วยค้ำยันแกนมอเตอร์ตัวที่ 1 = 0.50 in



รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างตลับลูกปืนช่วยค้ำยันแกนมอเตอร์ตัวที่ 1



รูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อะซิมุทหรือการเคลื่อนที่แนวราบ



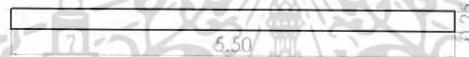
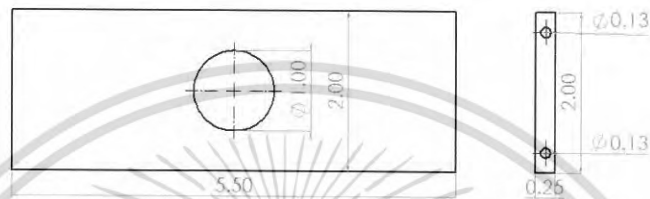
รูปที่ 3.14 แสดงโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อะซิมุทหรือการเคลื่อนที่แนวราบที่จัดทำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 ขนาดโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อัลติจูดหรือการเคลื่อนที่แนวตั้ง ดังรูปที่ 3.15 - 3.19

ขนาดโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมรองมอเตอร์ตัวที่ 2 หรือแนวการเคลื่อนที่แนวตั้ง ดังรูปที่ 3.15

ขนาดความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมรองมอเตอร์ตัวที่ 2 = 5.50 in
ขนาดความยาวของแผ่นอลูมิเนียมรองมอเตอร์ตัวที่ 2 = 0.25 in



รูปที่ 3.15 แสดงโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมรองมอเตอร์ตัวที่ 2 หรือแนวการเคลื่อนที่แนวตั้ง

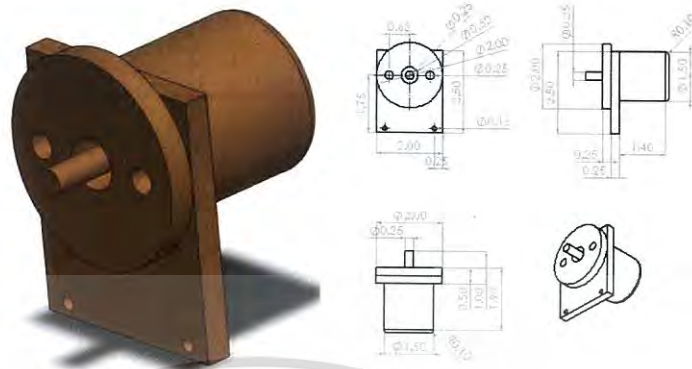
ขนาดโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดติดเอ็นโค้ดเดอร์ ดังรูปที่ 3.16

ขนาดความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมยึดติดเอ็นโค้ดเดอร์ = 2.00 in

ขนาดความยาวของแผ่นอลูมิเนียมยึดติดเอ็นโค้ดเดอร์ = 2.50 in

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นอลูมิเนียมวงกลม = 2.00 in

ขนาดความหนาของแผ่นอลูมิเนียมวงกลม = 0.25 in

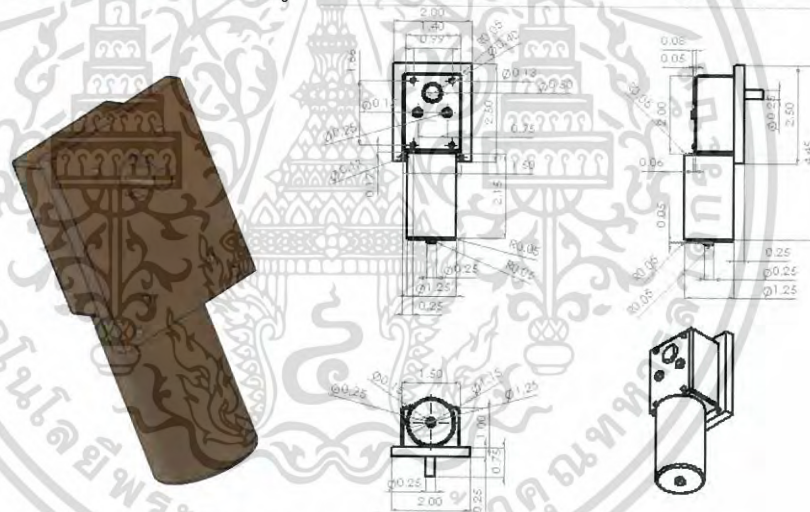


รูปที่ 3.16 แสดงโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดติดเอ็นโค้ดเดอร์

ขนาดโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดติดมอเตอร์ตัวที่ 2 หรือการเคลื่อนที่แนวตั้ง ดังรูปที่ 3.17

ขนาดความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมยึดติดเอ็นโค้ดเดอร์ = 2.00 in

ขนาดความยาวของแผ่นอลูมิเนียมยึดติดเอ็นโค้ดเดอร์ = 2.50 in



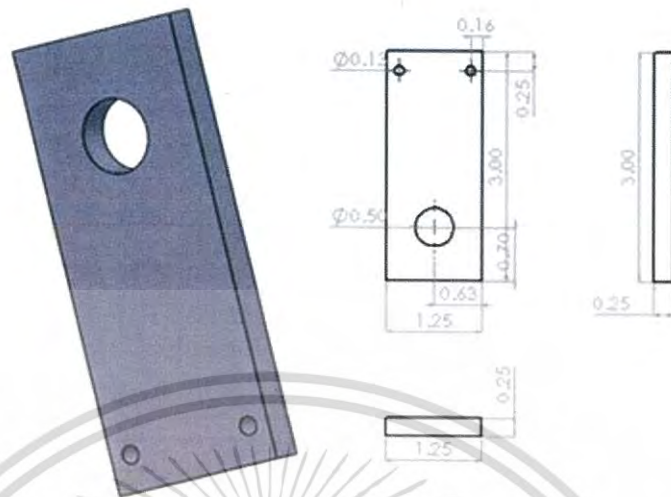
รูปที่ 3.17 แสดงโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดติดมอเตอร์ตัวที่ 2 หรือการเคลื่อนที่แนวตั้ง

ขนาดโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดจานพาราโบลาติดกับมอเตอร์ตัวที่ 2 ดังรูปที่ 3.18

ขนาดความกว้างของแผ่นยึดจานพาราโบลาติดกับมอเตอร์ตัวที่ 2 = 1.25 in

ขนาดความยาวจานพาราโบลาติดกับมอเตอร์ตัวที่ 2 = 3.00 in

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจานพาราโบลาติดกับมอเตอร์ตัวที่ 2 = 0.50 in



รูปที่ 3.18 แสดงโครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดจานพาราโบลาติดกับมอเตอร์ตัวที่ 2

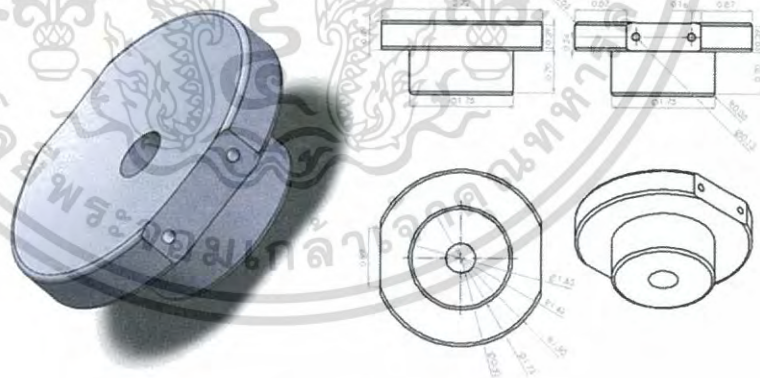
ขนาดโครงสร้างฐานรองจานพาราโบลา ดังรูปที่ 3.19

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฐานรองจานพาราโบลาส่วนบน = 2.72 in

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฐานรองจานพาราโบลาส่วนล่าง = 1.75 in

ขนาดความหนาของฐานรองจานพาราโบลาส่วนบน = 0.49 in

ขนาดความหนาของฐานรองจานพาราโบลาส่วนล่าง = 0.70 in

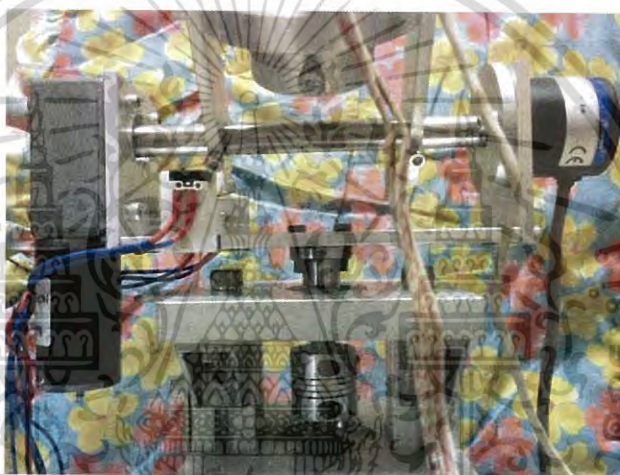


รูปที่ 3.19 แสดงโครงสร้างฐานรองจานพาราโบลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อัลติจูดหรือการเคลื่อนที่แนวตั้ง



รูปที่ 3.21 แสดงโครงสร้างส่วนแนวการเคลื่อนที่อัลติจูดหรือการเคลื่อนที่แนวตั้งที่จัดทำขึ้น

3.2.2 การศึกษาและเลือกใช้มอเตอร์ในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

มอเตอร์ในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ มอเตอร์กระแสตรง และ มอเตอร์กระแสสลับ ในที่นี้นักวิจัยได้เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC Servo Motor) มอเตอร์จะทำหน้าที่ขับเคลื่อนระบบตามรังสีอาทิตย์โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและสั่งการ

สิ่งที่นำมาพิจารณาในการเลือกใช้มอเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) มอเตอร์กระแสตรงง่ายต่อการป้อนแหล่งจ่ายไฟ เมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสสลับ
- 2) มอเตอร์กระแสตรงมีความแม่นยำในการเข้าตำแหน่งมากกว่ามอเตอร์กระแสสลับ
- 3) มอเตอร์ที่เลือกใช้ควรมีรอบต่ำเพราะเนื่องจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ช้า
- 3) ขนาดมอเตอร์ไม่ควรใหญ่มากจนเกินไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักของโหลด

มอเตอร์ตัวที่ 1 เคลื่อนที่แนวแกนอะซิมุท หรือเคลื่อนที่ในแนวราบ ดังรูปที่ 3.22
สเปคของมอเตอร์ตัวที่ 1 (Planetary Gear motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input	12	VDC
เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึดแผ่นเหล็กแผ่นบน	38.0	mm
ความยาวไม่รวมแกน	120	mm
ขนาดของแกนมอเตอร์	8.0	mm
ขนาดความยาวของแกนมอเตอร์	30	mm
แรงบิดมอเตอร์ไม่เกิน	25	kg/cm
ความเร็วรอบของมอเตอร์	100	rpm
Rotary Encoder	100	CPR



(ที่มา : <http://www.sangtawan.org>)

รูปที่ 3.22 แสดงโครงสร้างมอเตอร์ตัวที่ 1 เคลื่อนที่แนวแกนอะซิมิทหรือเคลื่อนที่ในแนวราบ

มอเตอร์ตัวที่ 2 เคลื่อนที่แนวแกนอัลติจูด หรือเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.23

สเปคของมอเตอร์ตัวที่ 2 (Motor wrome gear) ดังรูปที่ 3.23ก

INPUT	12	VDC
ขนาดหัวเกียร์	30x40x60	mm
ขนาดของแกนมอเตอร์	8.0	mm
ขนาดมอเตอร์	30x55	mm
แรงบิดมอเตอร์ไม่เกิน	46	kg/cm
ความเร็วรอบของมอเตอร์	5	rpm

Rotary Encoder ดังรูปที่ 3.23ข

Rotary Encoder	600	CPR
INPUT	5-24	VDC
ความเร็วสูงสุด	5,000	RPM
ขนาดของเพลลา	6	mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	40	mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูง
วงจรพัลส์ OUTPUT ชนิด

35-40 mm
NPN



(ก)

(ข)

(ที่มา : <http://www.sangtawan.org>)

รูปที่ 3.23 (ก) แสดงโครงสร้างมอเตอร์ตัวที่ 2 เคลื่อนที่แนวแกนอะซิมมัท
หรือเคลื่อนที่ในแนวราบ

(ข) แสดงโครงสร้าง ENCODER

3.2.3 การศึกษาออกแบบและสร้างโมดูลเซ็นต์เซอร์

โมดูลเซ็นต์เซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์และป้อนค่าตำแหน่งกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลสั่งการให้มอเตอร์หมุนเข้าตำแหน่ง

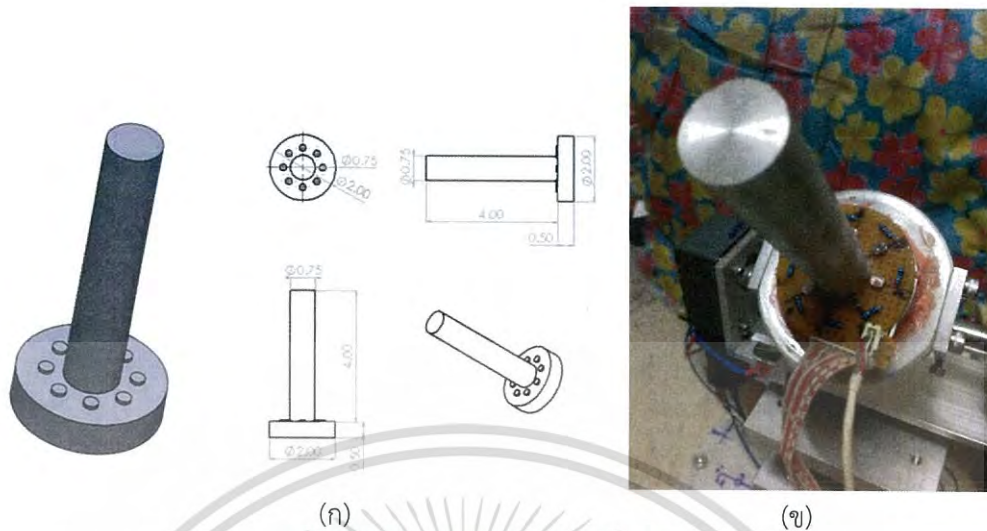
สิ่งที่นำมาพิจารณาในการออกแบบโมดูลเซ็นต์เซอร์ได้แก่ ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุ รูปร่าง และขนาด ความแข็งแรง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) มีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อนสูง

2) ขนาดที่ออกแบบไม่ใหญ่เทอะทะและมีน้ำหนักไม่มากเกินไป อันเป็นผลทำให้การติดตั้งลำบาก

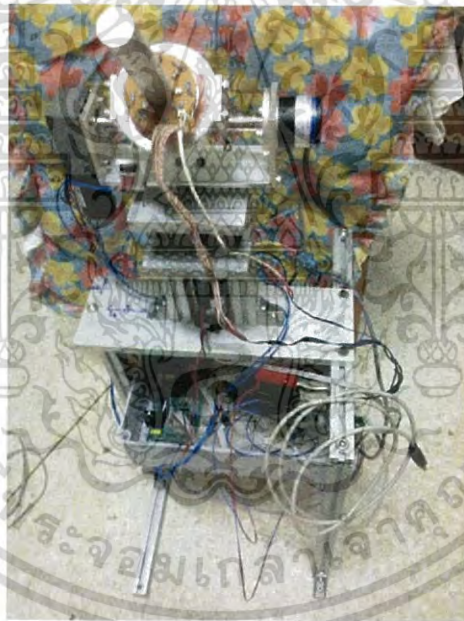
จากข้อพิจารณาดังกล่าวจะเลือกใช้อลูมิเนียม มาสร้างโมดูลเซ็นต์เซอร์ โดยใช้เทคนิคการกลึง

ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.24 (ก) โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์

(ข) โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่จัดทำขึ้น



รูปที่ 3.25 โครงสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ที่จัดทำขึ้น

3.3 การศึกษาออกแบบและสร้างกล่องควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

3.3.1 ออกแบบและสร้างกล่องควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

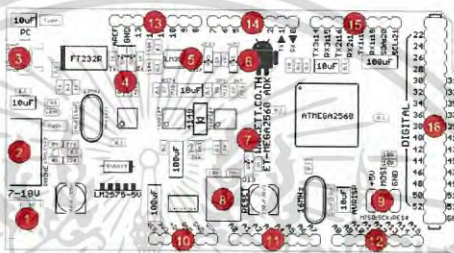
กล่องควบคุมมีหน้าที่ควบคุมสั่งการและรับค่าข้อมูลต่างๆที่ใช้ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ซึ่งภายในกล่องควบคุมจะมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. บอร์ด Arduino MEGA 2560 ดังรูปที่ 3.26

บอร์ด Arduino MEGA 2560 เปรียบเป็นสมองกลในกล่องควบคุมทำหน้าที่ควบคุมระบบย่อยทุกระบบ อาทิเช่น ระบบเซ็นเซอร์ ระบบฐานเวลา ระบบมอเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โครงสร้างบอร์ด ET-MEGA2560-AD ดังรูปที่ 3.26



(ที่มา : WWW.ETT.co.th)

รูปที่ 3.26 แสดงโครงสร้างของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK

1.1 หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากภายนอก สามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายทั้งแบบ AC และ DC พร้อมวงจร Bridge Rectifier และ Regulate แบบ Switching ช่วยลดความร้อนของ IC Regulate เมื่อมีการดึงกระแสหลายๆได้เป็นอย่างดี สามารถใช้กับแรงดัน Input 7-12V

1.2 หมายเลข 2 เป็นขั้วต่อ USB Host สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ USB Device ต่างๆ

1.3 หมายเลข 3 เป็นขั้วต่อ USB Device สำหรับติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC โดยใช้ FT232RL เป็น USB Bridge ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ PC และ MCU ในบอร์ด และยังสามารถใช้ ไฟจาก พอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ดได้ด้วย โดยจะมี Poly Fuse ขนาด 500mA สำหรับ ป้องกันการดึงกระแสเกินจากพอร์ต USB ด้วย และที่พิเศษคือมีวงจรสำหรับตรวจสอบแหล่งจ่าย เพื่อสลับการใช้งานแหล่งจ่ายจาก USB ไปเป็น External Supply ได้เองโดยอัตโนมัติ โดยเมื่อ ไม่ได้ต่อ External Supply บอร์ดจะใช้ไฟจากพอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายในการทำงาน แต่เมื่อมีการ ต่อ External Supply วงจรจะสลับไปใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply เองโดยอัตโนมัติ

1.3.1 LED +VCC ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับบอร์ด

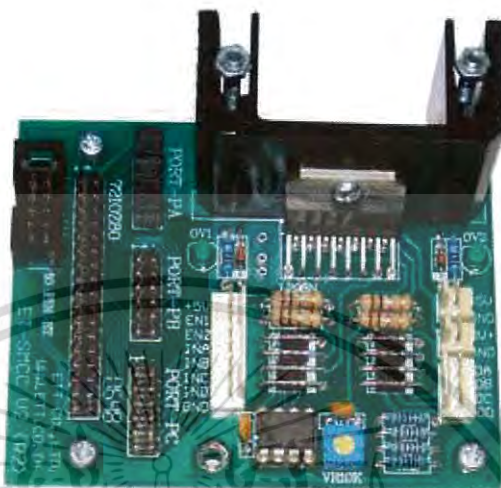
1.3.2 LED VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟจาก External Supply

1.4 หมายเลข 4 เป็น LED VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยงจาก External Supply

1.5 หมายเลข 5 เป็น LED +VCC ใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง (+VCC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก ETT
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. พร้อมตัวอย่างโปรแกรมการใช้งานในแผ่น Disk
8. ขนาด PCB 6.5 x 7.5 cm



(ที่มา : <http://www.ett.co.th/product/12A07.html>)

รูปที่ 3.27 แสดง Drive Motor ET-SMCC V2

3.4 การทดสอบสมรรถนะระบบจาดติดตามดวงอาทิตย์แบบผสม 2 แกน

3.4.1 ออกแบบและสร้างระบบทดสอบโมดูลเซ็นต์เซอร์

ระบบทดสอบโมดูลเซ็นต์เซอร์จะทดสอบแรงดัน V_{out} ที่ต่อแบบแบ่งแรงดันของเซ็นต์เซอร์แต่ละตัวและนำไปแปลงเป็นค่าความสว่างที่ตัวเซ็นต์เซอร์ตรวจจับได้เพื่อตรวจสอบเช็คสเถียรภาพในการทำงานก่อนนำไปใช้งานจริงในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.28 ซึ่งในการทดสอบใช้สมการในการคำนวณและอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.4.1.1 สมการที่ใช้ในระบบทดสอบโมดูลเซ็นต์เซอร์

$$\text{PotValue} = \text{AnalogRead}(\text{PotPin}) \quad \dots (3.1)$$

Analog Read (Pot Pin) คือ แรงดันไฟฟ้าที่ถูกแปลงเป็นดิจิทัลที่ขาสัญญาณที่วิเคราะห์

$$V_{out} = (5.0 / 1023.0) \cdot \text{PotValue} \quad \dots (3.2)$$

V_{out} คือ แรงดันดิจิทัลขาออกของเซ็นต์เซอร์ (V)

$$\text{Buffer} = (V_{in} / V_{out}) - 1 \quad \dots (3.3)$$

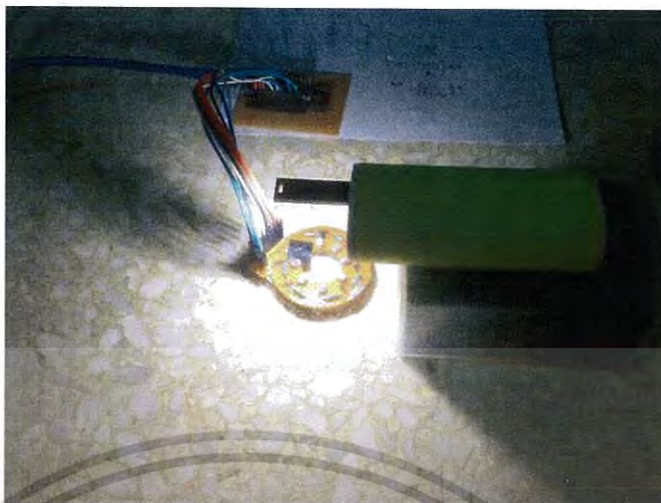
Buffer คือ อัตราส่วนค่าความต้านตัวที่ 1 กับ ค่าความต้านทานตัวที่ 2 ($k\Omega$)

$$R_2 = R_1 / \text{Buffer} \quad \dots (3.4)$$

R_2 คือ ค่าความต้านทานตัวที่ 2 ($k\Omega$)

R_1 คือ ค่าความต้านทานตัวที่ 1 ($k\Omega$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แสดงการทดสอบโมดูลเซ็นต์เซอร์

3.4.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทดสอบโมดูลเซ็นต์เซอร์

1. Arduino Nano



(ที่มา : [http:// www.robotshop.com](http://www.robotshop.com))

รูปที่ 3.29 แสดง Arduino Nano V3.0

รายละเอียด

ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
แหล่งจ่ายไฟ	5V
ไฟเข้า(แนะนำ)	7-12V
ไฟเข้า (จำกัดไว้ที่)	6-20V
ขาดิจิตอล I/O	14 ขา (6 รองรับเอาต์พุตแบบ PWM)
ขาอนุาล็อกอินพุต	8 ขา
กระแสไฟฟ้า DC ต่อขา I/O	40 mA
กระแสไฟฟ้าออก DC สำหรับขา 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. USB Lamp



รูปที่ 3.30 แสดง USB Lamp ขนาด 6W ให้ความสว่าง 300lm

รายละเอียด

กระแสไฟฟ้า	200 mA
กำลังไฟฟ้า	1W/LED
แรงดันไฟฟ้า	5V
จำนวน LED	6 LED
ค่าความสว่าง	50lm/LED

3. แบตเตอรี่สำรอง



รูปที่ 3.31 แสดงรูปแบตเตอรี่สำรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด

ความจุแบตเตอรี่	5200mA
USB Port	2 Port
Input Voltage	5 V
Output Voltage	5V
Input Current	1A
Output Current (Port 1)	2.1A
Output Current (Port 2)	1A

3.4.2 ออกแบบและสร้างระบบทดสอบชุดเอ็นโค้ดเดอร์

ระบบทดสอบชุดเอ็นโค้ดเดอร์เป็นระบบที่มีหน้าที่ตรวจสอบความแม่นยำของช่องสลิตที่อยู่ภายในเอ็นโค้ดเดอร์ซึ่งใช้เซ็นเซอร์ที่เรียกว่า proximity คอยตรวจจับหัวนิ้วที่หมุนไปหนึ่งรอบ ดังรูปที่ 3.33 แล้วนำค่าตัวเลขดิจิทัลที่ประมวลผลจากการเขียนโปรแกรมของเอ็นโค้ดเดอร์ไปวิเคราะห์ผลเทียบกับสเปคที่ติดอยู่กับตัวเอ็นโค้ดเดอร์ ก่อนนำไปใช้งานกับระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ในการทดสอบชุดเอ็นโค้ดเดอร์ใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทดสอบชุดเอ็นโค้ดเดอร์

1. Arduino MEGA 2560 Board



รูปที่ 3.32 แสดง Arduino MEGA 2560 Board

รายละเอียด

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output, 4 UART TTL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

2. Proximity Sensor



รูปที่ 3.33 แสดงอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก(Proximity Sensor) PR08-2DN

3.4.3 ออกแบบและสร้างระบบทดสอบความแม่นยำในการติดตามแสงของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์

ระบบทดสอบความแม่นยำในการติดตามแสงของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ สร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ในแนวแกนอะซิมุต และมอเตอร์ในแนวแกนอัลติจูด โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

3.4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำในการติดตามแสงของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์

1. อุปกรณ์วัดมุมองศา
2. ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 แสดงระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์

3. แหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15



รูปที่ 3.35 แสดงแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ รุ่น Micron ABS 1500 R7s-15

รายละเอียด

รูปทรง	Linear
เอฟเฟกต์แสง	โตนแสงสี่เหลี่ยม
ขนาดวัตต์	1500 วัตต์
ข้อ/การติดตั้ง	R7s
แรงดันไฟฟ้า	230 V
อายุการใช้งาน	2000 ชั่วโมง
อายุการใช้งาน	2 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดลองและวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 ตอน คือ การหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยสมการ National Oceanic Atmospheric Administrator (NOAA) การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์ด้วยอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (Proximity) การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของโมดูลเซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำไปควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบงานติดตามดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

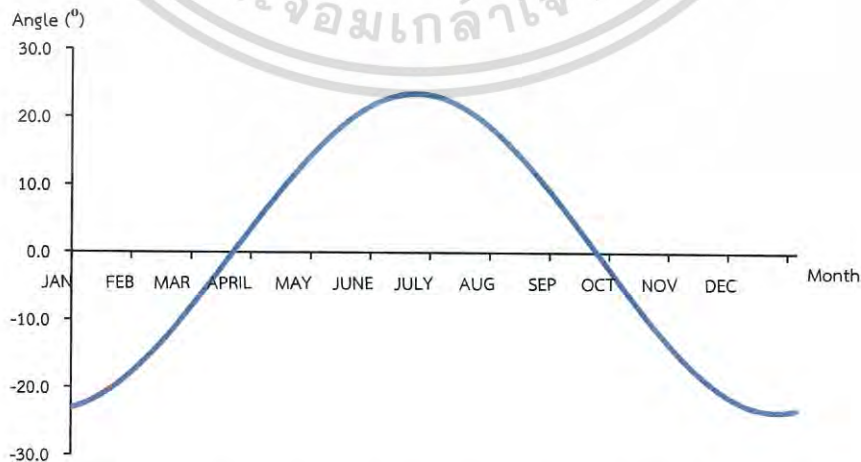
4.1 การหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยสมการ National Oceanic Atmospheric Administrator (NOAA)

การหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยสมการ National Oceanic Atmospheric Administrator (NOAA) จะต้องอาศัยสมการ ดังต่อไปนี้

$$\sin \delta = \cos \left[(n-173) \frac{180}{182.6} \right] \sin(23.45^\circ) \quad (4.1)$$

$\sin \delta$ คือ มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) ในหน่วยองศา
 n คือ จำนวนวันในรอบปี โดยที่ $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม

สมการที่ (4.1) คือ สมการมุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) ซึ่งเกิดจากผลกระทบจากการเอียงของแกนหมุน ของโลกหาได้จากระยะทางเชิงมุมทางเหนือหรือใต้จากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า ขึ้นหรือลงไปตามเส้นแวงรังสีจากดวงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง + 23.45 ถึง - 23.45 องศา ในช่วง 1 ปี โดยมีผลการคำนวณดังตารางที่ 4.1 ในภาคผนวก และรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงมุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) ใน 1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$AST = LCT \pm \frac{T_{zW}^E \pm \lambda_W^E}{15} + \frac{EQT}{60} \quad (4.2)$$

AST คือ เวลาสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Time, AST) ในหน่วยชั่วโมง

LCT คือ เวลาท้องถิ่น (Local Clock Time) ในหน่วยชั่วโมง

T_{zW}^E คือ เขตเวลา (Time Zone) ค่าเป็นบวกสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันตก และเป็นลบสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันออก ในหน่วยองศา

λ_W^E คือ เวลาที่ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต หาได้จากการเอาเส้นลองจิจูด ในหน่วยองศา ณ จุดที่ตั้งหารด้วย 15 ค่า λ เป็นบวกสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันออกและ λ เป็นลบสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันตก

EQT คือ สมการเวลา (Equation of Time) ในหน่วยนาที

สมการที่ (4.2) คือ สมการเวลาสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Time, AST) ซึ่งเป็นเวลาที่สังเกตจากดวงอาทิตย์จริง ประกอบด้วยเวลาท้องถิ่น (Local Clock Time : LCT) เขตเวลา (Time Zone : T_{zW}^E) เวลาที่ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต (λ_W^E) สมการเวลา (Equation of Time : EQT) โดยที่ EQT สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.3)

$$EQT = 60 \sum_{k=0}^5 \left[A_k \cos\left(\frac{360kn}{365.25}\right) + B_k \sin\left(\frac{360kn}{365.25}\right) \right] \quad (4.3)$$

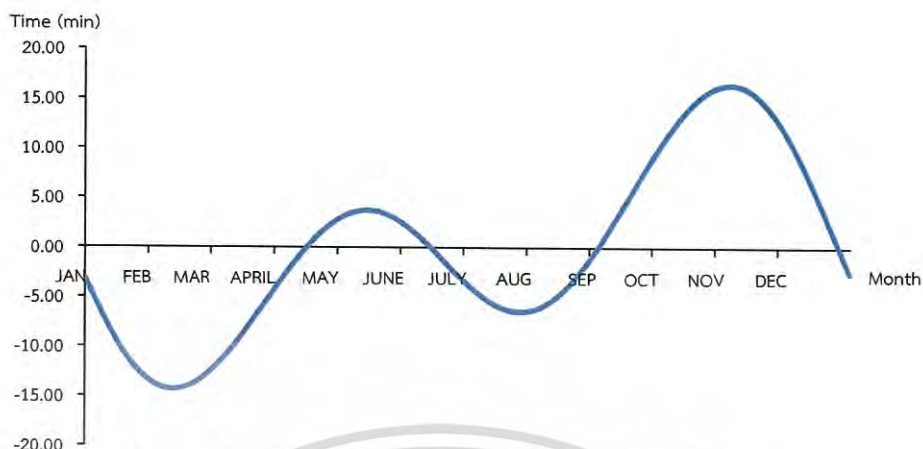
n คือ จำนวนวันในรอบปี โดยที่ $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม ค่าสัมประสิทธิ์ k A_k และ B_k สามารถหาได้จากตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ k A_k และ B_k ...

k	A_k (hr)	B_k (hr)
0	2.0870×10^{-4}	0
1	9.2869×10^3	-1.224×10^{-1}
2	-5.2258×10^{-2}	-1.5698×10^{-1}
3	-1.3077×10^{-3}	-5.1602×10^{-3}
4	-2.1867×10^{-3}	-2.9823×10^{-3}
5	-1.5100×10^{-4}	-2.3463×10^{-4}

สมการที่ (4.3) คือ สมการเวลา (Equation of Time) เป็นสมการที่ใช้ในการปรับชดเชยเวลา ให้ตรงกับเวลาใน 1 ปี โดยมีผลการคำนวณดังตารางที่ 4.3 ในภาคผนวก และรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสมการเวลา (Equation of Time) ใน 1 ปี

ในการหาเวลาสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Time, AST) นั้นจะสามารถทำให้ผู้วิจัยสามารถหา มุมในแต่ละชั่วโมงภายในหนึ่งวันได้จากสมการที่ (4.4)

$$\omega = 15(AST-12) \quad (4.4)$$

ω คือ มุมชั่วโมง (Hour angle) ในหน่วยชั่วโมง
AST คือ เวลาสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Time) ในหน่วยชั่วโมง

สมการที่ (4.4) คือ มุมชั่วโมงใช้บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ โดยวัดจาก เส้นเมริเดียนท้องฟ้าในทิศตามเข็มนาฬิกา (ทิศเดียวกับการหมุนของท้องฟ้า) ดังนั้นการนำผลการ ทดลองจากสมการที่ (4.1) และ (4.4) แทนลงในสมการที่ (4.5) จะได้มุมการเคลื่อนที่อัลติจูด

$$A_{\alpha} = \sin^{-1}(\sin \delta \sin l_{\phi W}^E + \cos \delta \cos \omega \cos l_{\phi W}^E) \quad (4.5)$$

A_{α} คือ มุมการเคลื่อนที่อัลติจูด (Altitude Angle) ในหน่วยองศา
 $\sin \delta$ คือ มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) ในหน่วยองศา
 $l_{\phi W}^E$ คือ ตำแหน่งละติจูดของผู้ทดลอง (Latitude) ในหน่วยองศา
 ω คือ มุมชั่วโมง (Hour angle) ในหน่วยชั่วโมง

สมการที่ (4.5) คือ มุมการเคลื่อนที่อัลติจูด (Altitude Angle) เป็นตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวง อาทิตย์ในแนวตั้ง

ดังนั้นการนำผลการคำนวณของสมการที่ (4.1) (4.4) และ (4.5) แทนลงในสมการที่ (4.6) จะได้มุม การเคลื่อนที่อะซิมุม มุมการเคลื่อนที่อัลติจูดและ มุมการเคลื่อนที่อะซิมุม แสดงผลการคำนวณดัง ตารางที่ 4.4 ในภาคผนวก(ตารางที่ 4.4 เป็นผลการคำนวณของวันที่ 13/03/2558 และรูปที่ 4.3

$$A_z = \sin^{-1}\left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha}\right) \quad (4.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

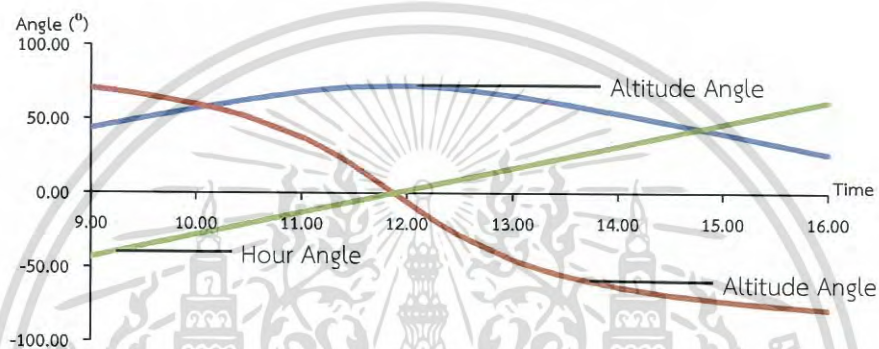
A'_z คือ มุมการเคลื่อนที่อะซิมุท (Azimuth Angle) องศา

$\sin \delta$ คือ มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) องศา

ω คือ มุมชั่วโมง (Hour angle) ชั่วโมง

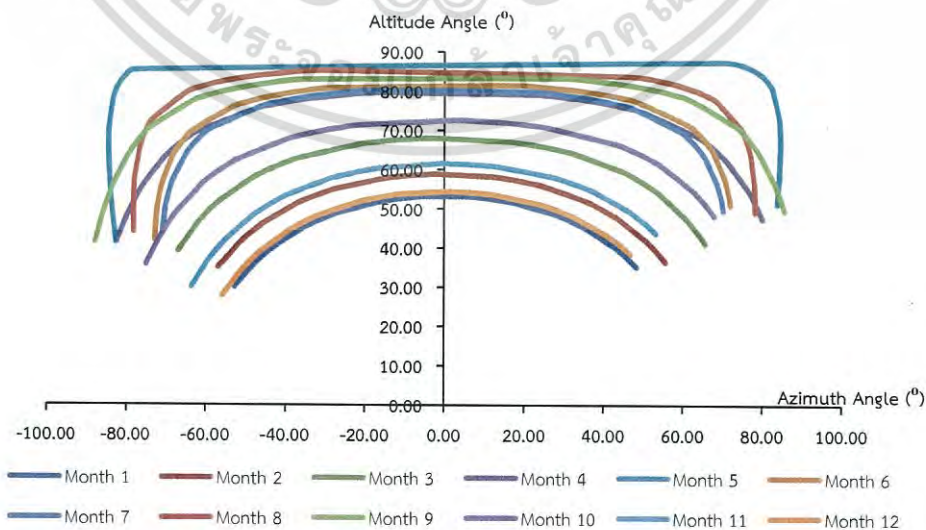
โดยที่ $\cos \omega \geq \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right)$, $A_z = 180^\circ - A'_z$

$\cos \omega < \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right)$, $A_z = 360^\circ + A'_z$



รูปที่ 4.3 กราฟมุมการเคลื่อนที่อัลติจูด (Altitude Angle) มุมการเคลื่อนที่อะซิมุท (Azimuth Angle) และ มุมชั่วโมง (Hour Angle) ในวันที่ 13/03/59

ในการนำผลการคำนวณมุมการเคลื่อนที่อัลติจูด (Altitude Angle) และ มุมการเคลื่อนที่อะซิมุท (Azimuth Angle) ของทุกวันที่ 1 ใน 1 ปี มาพล็อตกราฟโดยให้มุมการเคลื่อนที่อัลติจูด (Altitude Angle) พล็อตในแกน Y และ มุมการเคลื่อนที่อะซิมุท (Azimuth Angle) พล็อตในแกน X จะได้เส้นการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ใน 1 ปี ดังผลการคำนวณตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4

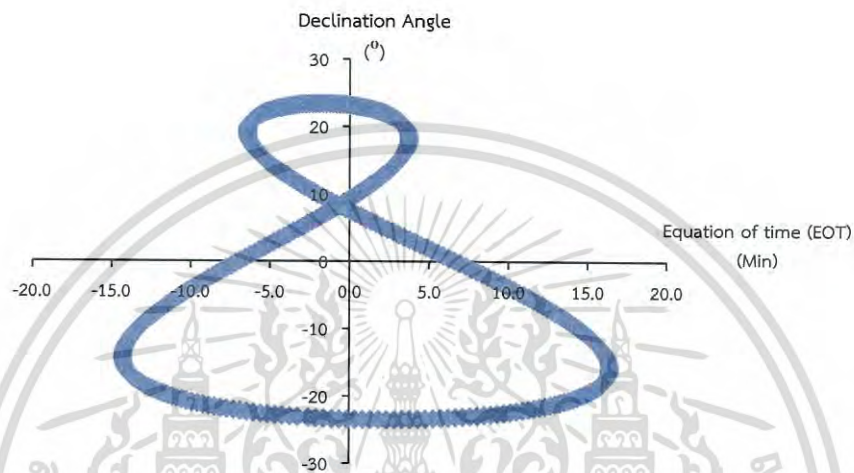


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเส้นการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แต่ละเดือนใน 1 ปีด้วย Azimuth Angle และ Altitude Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการคำนวณมุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) และ สมการเวลา (Equation of Time) เมื่อนำมาพล็อตกราฟโดยให้ มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) พล็อตในแกน Y และ สมการเวลา (Equation of Time) พล็อตในแกน X จะทำให้เกิด Analemma Curve (ในการทดลองผู้ทดลองได้ใช้ข้อมูลที่เวลา 12.00 น. ของวันที่ 1 ใน 1 ปี) ดังผลการคำนวณในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.5

Analemma Curve คือ ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่เวลาเดียวกัน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า (Analemma Curve) ที่เวลา 12.00 น. ของวันที่ 1 ใน 1 ปี

4.2 การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของเซ็นโค้ดเดอร์ด้วยอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (Proximity Sensor)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. มอเตอร์แกนอะซิมุท 12V
2. มอเตอร์แกนอัลติจูด 12V
3. Drive Motor ET-SMCCV2 12V แนวแกนอะซิมุท
4. Driver Motor ET-SMCCV2 12V แนวแกนอัลติจูด
5. เซ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุท
6. เซ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติจูด
7. Proximity Sensor PR08-2DN จำนวน 1 ชุด
8. Arduino Mega 2560 R3 จำนวน 1 บอร์ด
9. แบตเตอรี่ 12V 30Ah จำนวน 1 ลูก
10. สวิตช์กดติดปล่อยดับ จำนวน 1 ตัว

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

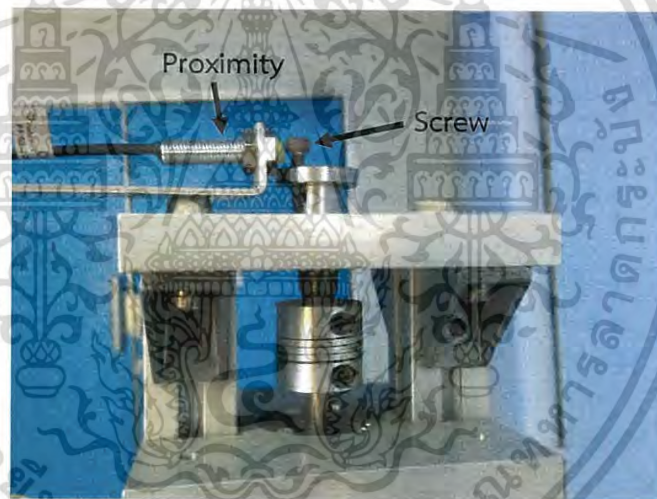
1. การทดสอบความแม่นยำของเซ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุท
2. การทดสอบความแม่นยำของเซ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1. การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุท

วิธีการทดสอบ

1. ติดตั้งอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (Proximity) ที่แกนมอเตอร์อะซิมุท โดยให้ตรงกับทิศทางของหัวสกรูที่ติดอยู่กับแกนมอเตอร์ดังรูปที่ 4.6
2. เชื่อมต่อ Port USB ของกล่องควบคุมการทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อรอการรับส่งข้อมูลของพัลส์ที่ส่งมาแสดงผลในรูปแบบของตัวเลขดิจิทัล
3. นำออสซิลโลสโคปรุ่น Textronix TDS 1002B เตรียมจับวัดสัญญาณพัลส์เฟส 1 และเฟส 2 ของเอ็นโค้ดเดอร์ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560 R3 ที่ Port D3 D4 และ D5 ตามลำดับ ซึ่งมีหน่วยเป็น Count Per Round (CPR)
4. เชื่อมต่อแหล่งจ่ายแบตเตอรี่ 12 V การทำงานของระบบก็จะเริ่มขึ้น จากนั้นรอบันทึกผลความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์และรูปสัญญาณพัลส์ เฟส 1 และ เฟส 2 จนกว่าหัวน็อตที่ติดอยู่กับแกนมอเตอร์จะตรงกับอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (Proximity) นั่นคือมอเตอร์จะหยุดหมุน และทำการทดสอบเช่นนี้อีก 2 ครั้ง
5. บันทึกผลที่ได้ดังตารางที่ 4.7 ในภาคผนวก



รูปที่ 4.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็กที่แกนมอเตอร์อะซิมุท

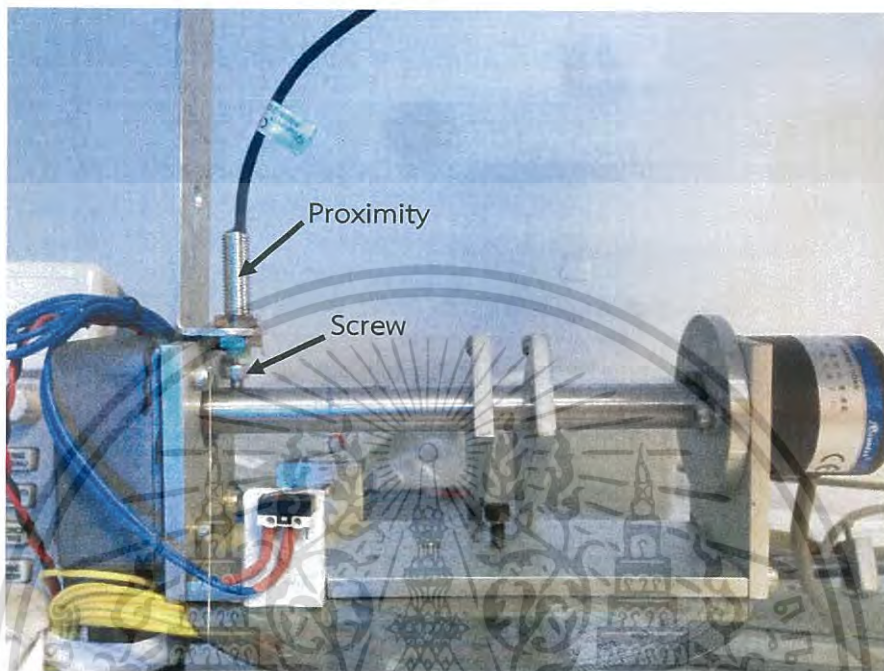
4.2.2. การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติจูด

วิธีการทดสอบ

1. ติดตั้งอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (Proximity) ที่แกนมอเตอร์อัลติจูด โดยให้ตรงกับทิศทางของหัวสกรูที่ติดอยู่กับแกนมอเตอร์ดังรูปที่ 4.7
2. เชื่อมต่อ Port USB ของกล่องควบคุมการทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อรอการรับส่งข้อมูลของพัลส์ที่ส่งมาแสดงผลในรูปแบบของตัวเลขดิจิทัล
3. นำออสซิลโลสโคปรุ่น Textronix TDS 1002B เตรียมจับวัดสัญญาณพัลส์เฟส 1 และเฟส 2 ของเอ็นโค้ดเดอร์ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560 R3 ที่ Port D6 D7 และ D8 ตามลำดับ ซึ่งมีหน่วยเป็น Count Per Round (CPR)
4. ดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ 4 ของการทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. บันทึกผลที่ได้ดังตารางที่ 4.8 ในภาคผนวก



รูปที่ 4.7 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็กที่แกนมอเตอร์อัลติจูด

4.2.3 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์

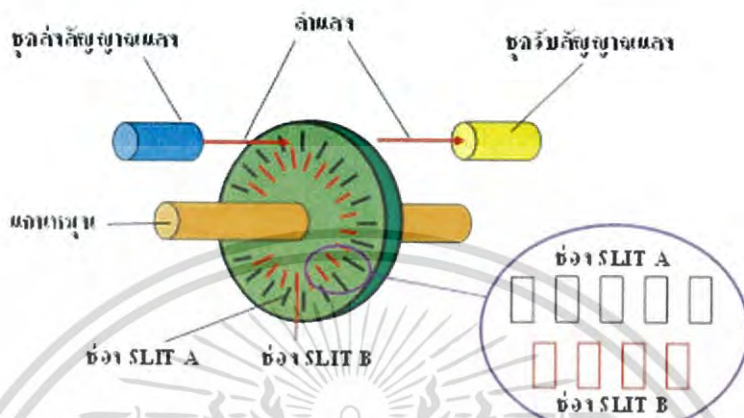
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แนวแกนอะซิมุตและแนวแกนอัลติจูด ดังนี้

1. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุต

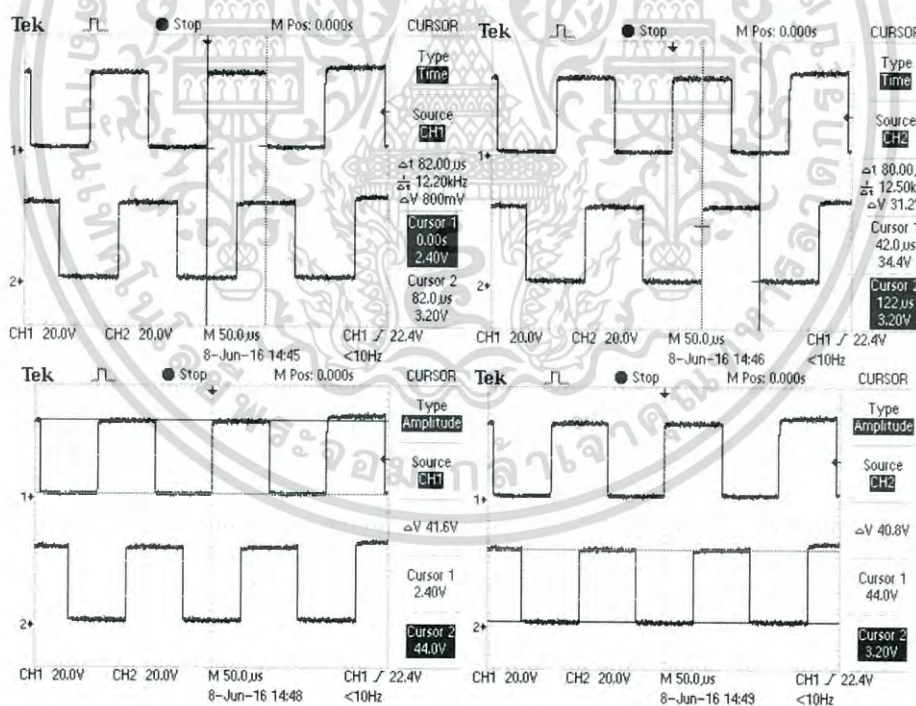
การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์เป็นการทดสอบอุปกรณ์ก่อนนำมาใช้กับระบบ ติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งในการทดสอบจะติดตั้งอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็กใกล้กับ แกนมอเตอร์อะซิมุตและติดตั้งสกรูที่แกนมอเตอร์อะซิมุต ดังรูปที่ 4.6 เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุน เอ็นโค้ด เดอร์ที่ติดอยู่กับแกนมอเตอร์จะหมุนตามพร้อมกับส่งข้อมูลเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อประมวลผลจาก สัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลและแสดงค่าที่จอแสดงผล ในขณะเดียวกัน เมื่อมอเตอร์หมุน จนกระทั่งสกรูที่ติดอยู่กับแกนของมอเตอร์ตรงกับอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็กมอเตอร์ก็จะหยุด หมุนนั่นหมายความว่า มอเตอร์หมุนครบ 1 รอบ ในงานวิจัยนี้นักวิจัยได้ใช้เอ็นโค้ดเดอร์ที่เคลื่อนที่ใน แนวแกนอะซิมุตที่มีความละเอียดของช่องสลิตเท่ากับ 100 CPR ที่ขอบขาขึ้น ซึ่งในการทดสอบผู้วิจัย ได้เขียนโปรแกรมให้จับสัญญาณขอบขาขึ้นและ ขอบขาลง ของ channel A และ channel B ดังรูป ที่ 4.8 และใช้ฮอสซิลอสโคปจับสัญญาณ ดังรูปที่ 4.9 ดังนั้น จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7 ใน ภาคผนวก พบว่า เอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมุตมีความแม่นยำใกล้เคียงกับสเปคที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวไว้กับตัวอุปกรณ์จริง จึงสามารถนำค่าความละเอียด 100 CPR มาใช้งานในการควบคุมระบบ ติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้



รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างภายในของเอ็นโค้ดเดอร์

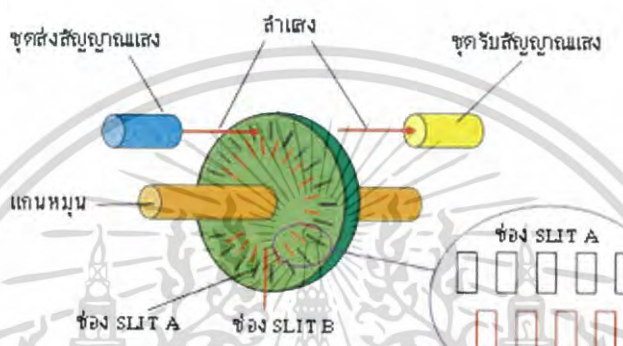


รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณพัลส์ของ channel A(CH1) และ channel B(CH2) ของเอ็นโค้ดเดอร์ แนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมุท

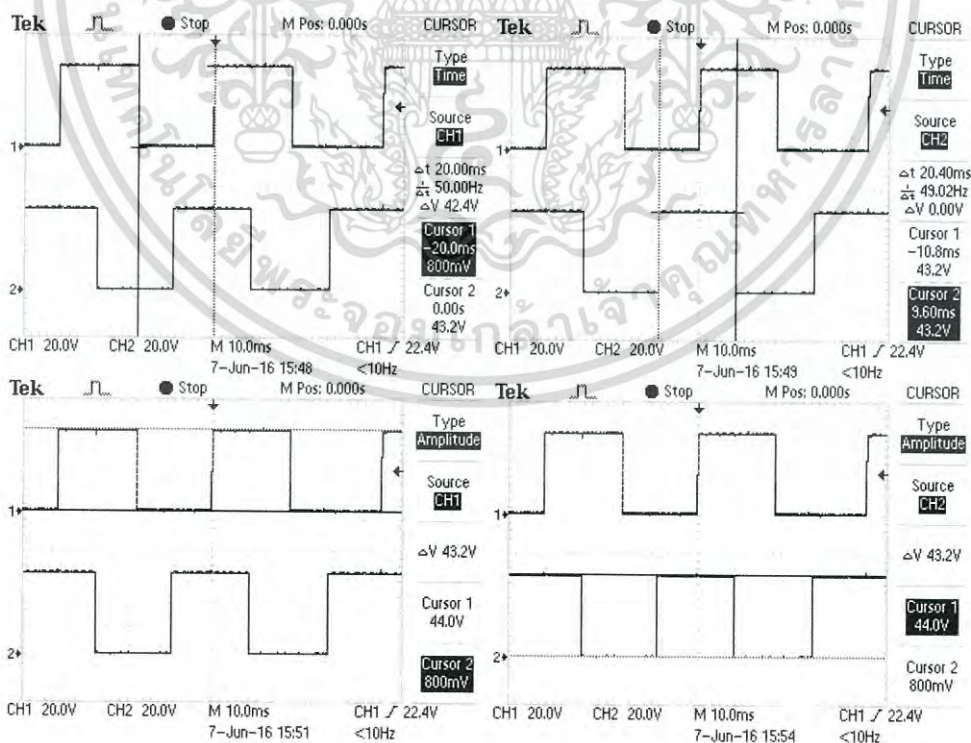
2. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติจูด

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์เป็นการทดสอบอุปกรณ์ก่อนนำมาใช้กับระบบ ติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เช่นเดียวกับแนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมุท งานวิจัยนี้นักวิจัยได้ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานวิชาสำหรับทำการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางใดๆ ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ็นโค้ดเดอร์ที่เคลื่อนที่ในแนวแกนอัลติจูดที่มีความละเอียดของช่องสลิตเท่ากับ 350 CPR ที่ขอขาขึ้น ซึ่งในการทดสอบผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมให้จับสัญญาณขอขาขึ้นและ ขอขาลง ของ channel A และ channel B ดังรูปที่ 4.10 และใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณ ดังรูปที่ 4.11 ดังนั้น จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.8 ในภาคผนวก พบว่า เอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนการเคลื่อนที่อัลติจูดมีความแม่นยำใกล้เคียงกับสเปคที่ได้กล่าวไว้กับตัวอุปกรณ์จริง จึงสามารถนำค่าความละเอียด 350 CPR มาใช้งานในการควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้



รูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้างภายในของเอ็นโค้ดเดอร์



รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณพัลส์ของ channel A(CH1) และ channel B(CH2) ของเอ็นโค้ดเดอร์

แนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมูท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสงที่นำมาสร้างโมดูลเซ็นเซอร์เพื่อนำไปควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

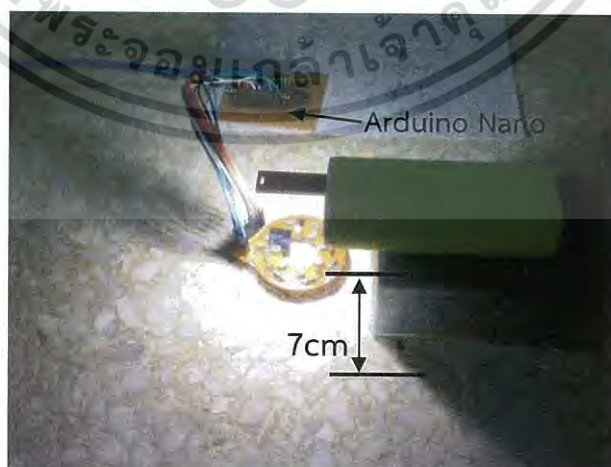
1. เซ็นเซอร์โมดูล จำนวน 1 โมดูล
2. Arduino Nano V3.0 Board จำนวน 1 บอร์ด
3. SD Card 8G จำนวน 1 อัน
4. ไฟฉาย 6 ดวง ขนาด 6W จำนวน 1 อัน
5. เทปกาวสีดำ จำนวน 1 ม้วน

การทดสอบแบ่งออกเป็นสองส่วนดังนี้ คือ 1. การทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นไฟฉาย 2. การทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์

1. การทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นไฟฉาย

วิธีการทดสอบ

1. ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงไฟฉายให้สูงจากโมดูลเซ็นเซอร์ ประมาณ 7 เซนติเมตรและให้แหล่งกำเนิดแสงไฟฉายอยู่ตรงกลางโมดูลเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 4.11
2. เชื่อมต่อบอร์ด Arduino Nano เข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อค่าเริ่มต้นของบอร์ดและพร้อมรอการรับส่งข้อมูล
3. เปิดสวิตซ์แหล่งกำเนิดแสง
4. บันทึกผล ค่าแรงดัน ค่าความต้านทาน และค่าความสว่างของโมดูลเซ็นเซอร์ทุกนาทีจนครบ 20 นาที ในขณะที่โมดูลเซ็นเซอร์โดนแสงทุกตัว ดังในตารางที่ 4.9 - 4.10
5. ทำการทดลองซ้ำเหมือนข้อที่ 4 แต่นำเทปกาวปิดเซ็นเซอร์แสงทีละตัว และทำซ้ำจนครบทุกตัว ทั้งหมด 8 ตัว ดังในตารางที่ 4.11 - 4.26



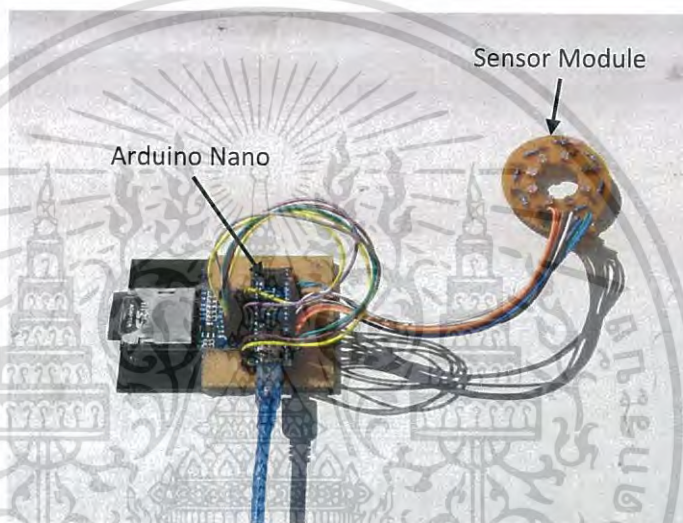
รูปที่ 4.12 แสดงการติดตั้งทดสอบความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของโมดูลเซ็นเซอร์ด้วยไฟฉาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์

วิธีการทดสอบ

1. ติดตั้งโมดูลเซ็นเซอร์กลางแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4.12
2. เชื่อมต่อบอร์ด Arduino Nano เข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อเซตค่าเริ่มต้นของบอร์ดและพร้อมรอการรับส่งข้อมูล
3. บันทึกผล ค่าแรงดัน ค่าความต้านทาน และค่าความสว่างของโมดูลเซ็นเซอร์ทุกนาทิจนครบ 20 นาที ในขณะที่โมดูลเซ็นเซอร์โดนแสงทุกตัว ดังในตารางที่ 4.27 – 4.28
4. ทำการทดลองซ้ำเหมือนข้อที่ 4 แต่นำเทปกาวปิดเซ็นเซอร์แสงที่ละตัว และทำซ้ำจนครบทุกตัว ทั้งหมด 8 ตัว ดังในตารางที่ 4.29 – 4.44



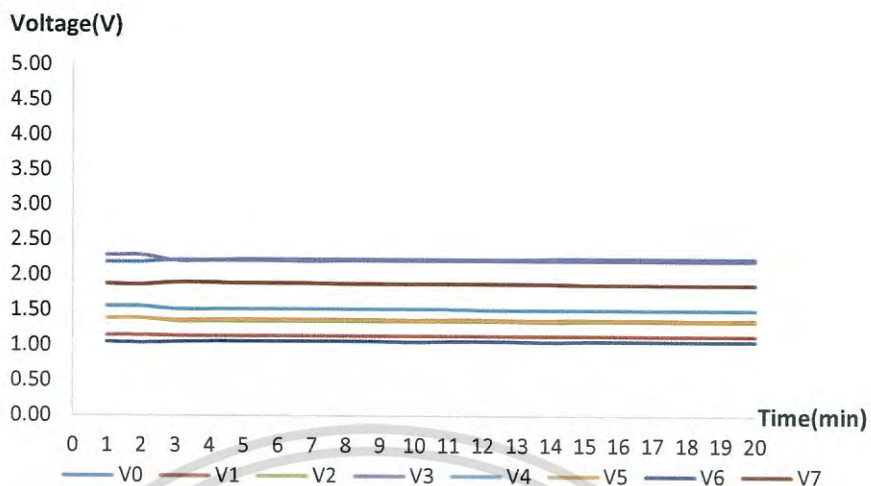
รูปที่ 4.13 แสดงการติดตั้งทดสอบความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของโมดูลเซ็นเซอร์ด้วยแสงอาทิตย์

3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

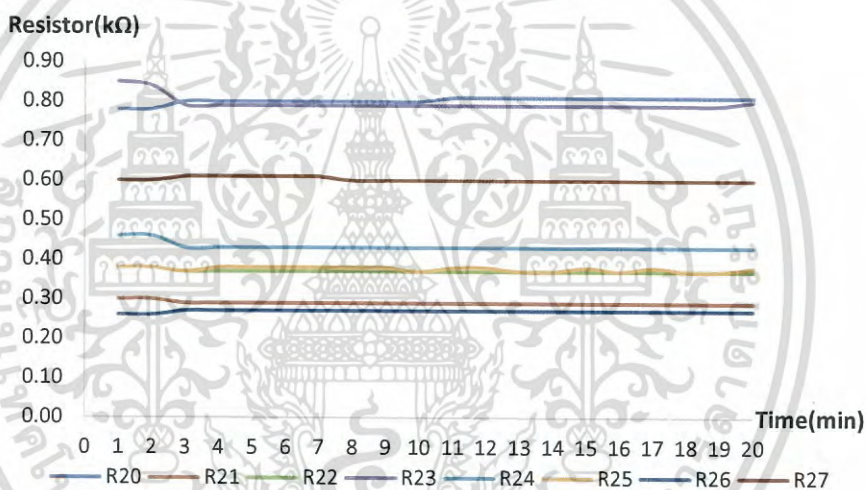
ผลการทดสอบและวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ตอนดังนี้ 3.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์โมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นไฟฉาย 3.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์โมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์ ดังนี้

3.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์โมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นไฟฉาย

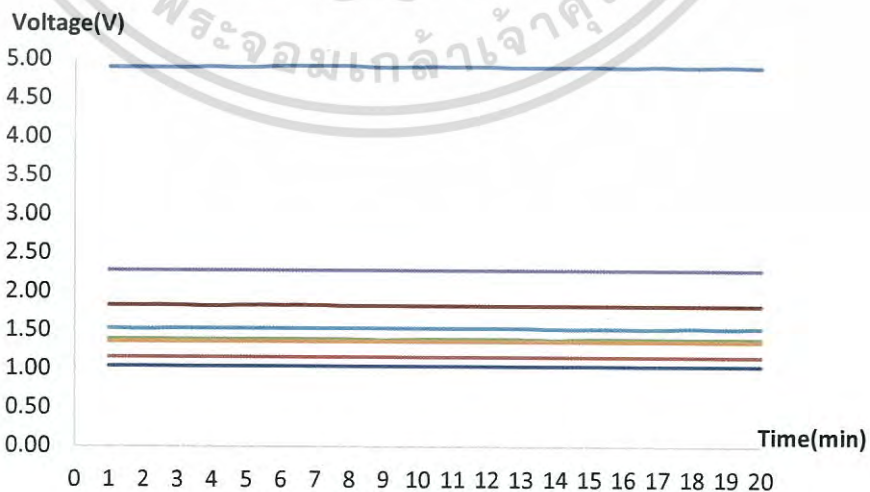
ผลการทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นไฟฉาย ดังรูปที่ 4.11 แสดงดังตารางที่ 4.9 – 4.26



รูปที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงทุกตัว

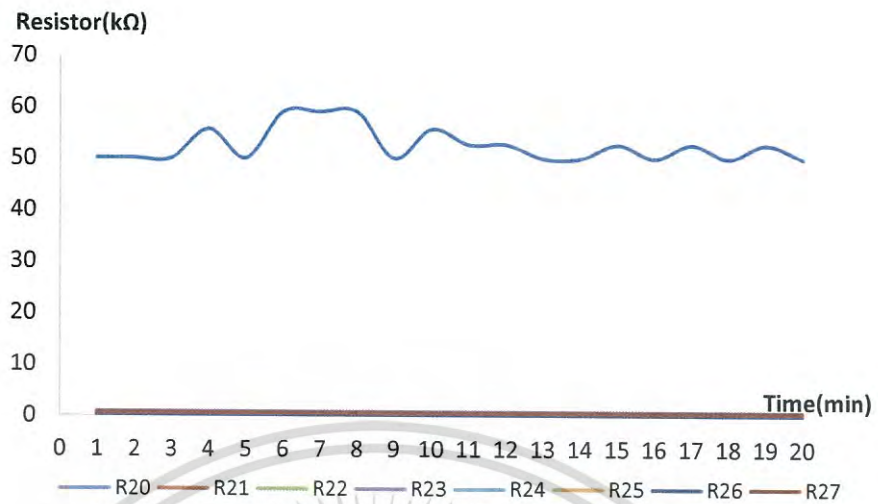


รูปที่ 4.15 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงทุกตัว

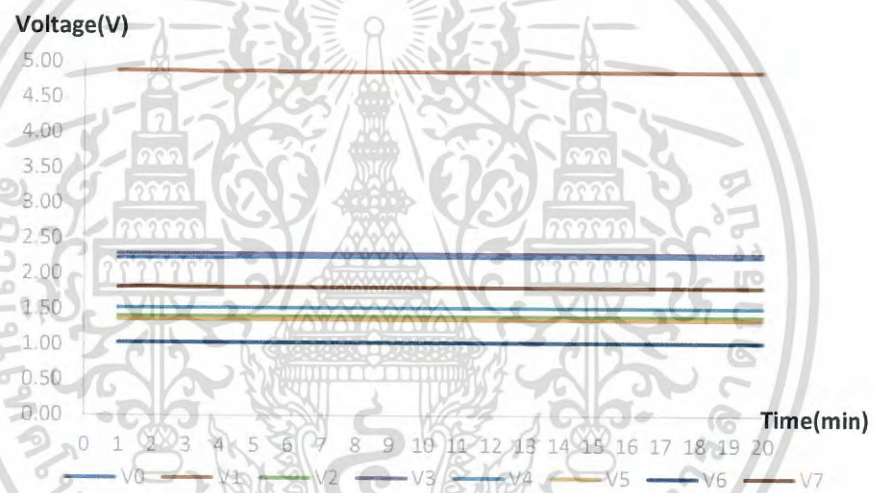


รูปที่ 4.16 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสง

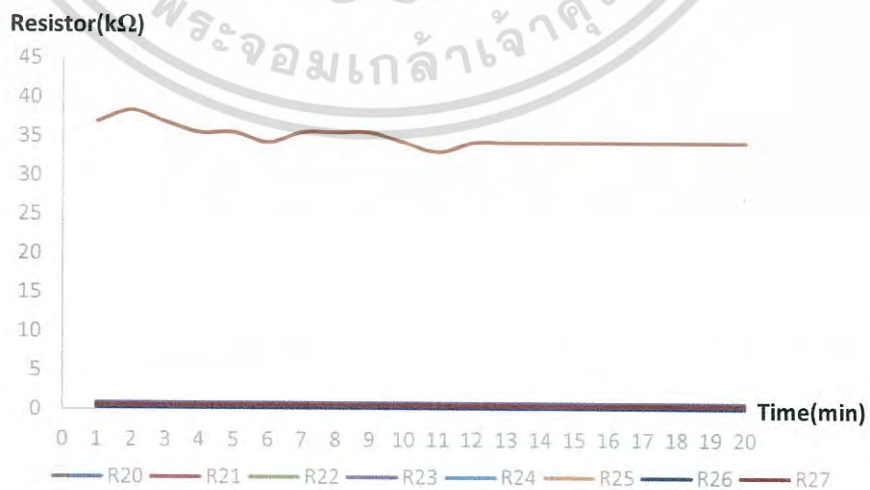
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสง

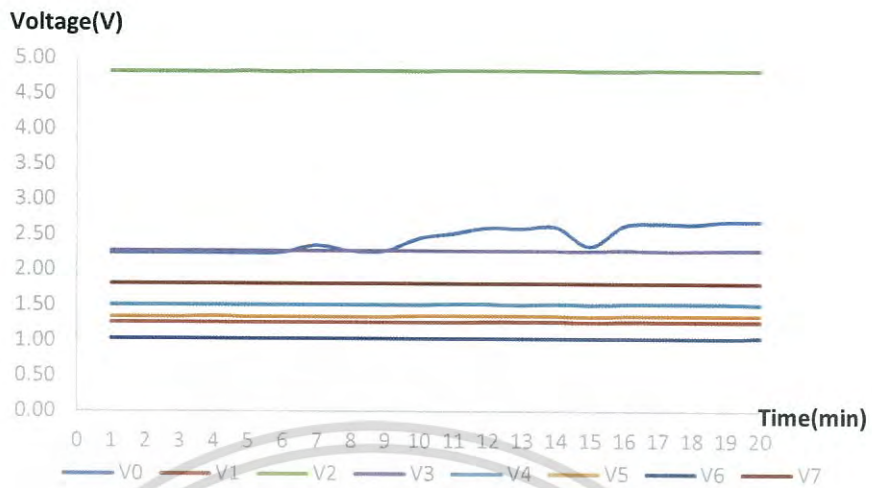


รูปที่ 4.18 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสง

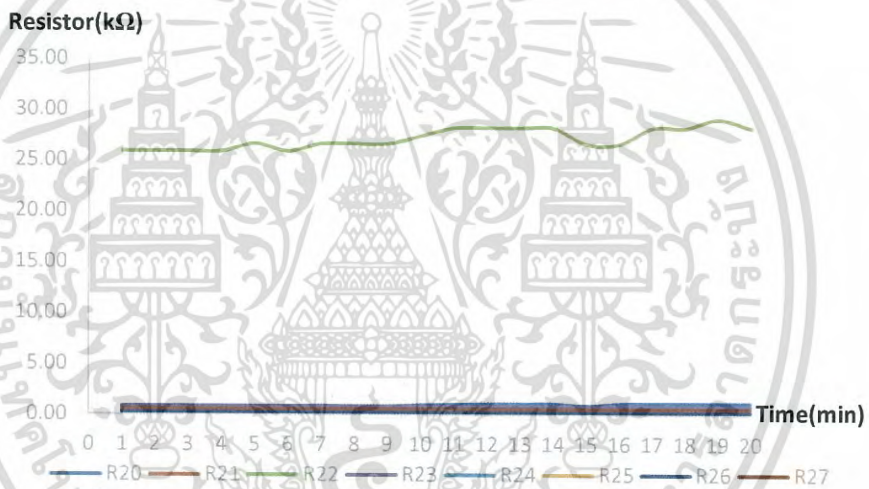


รูปที่ 4.19 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสง

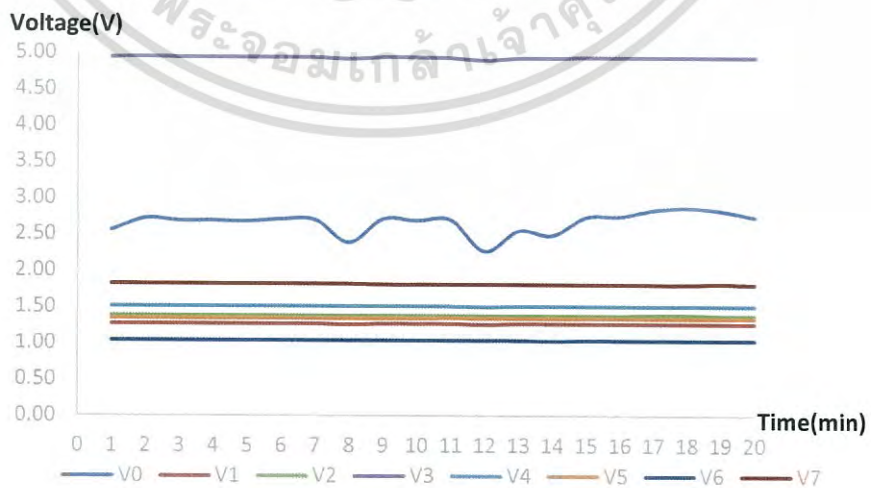
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสง

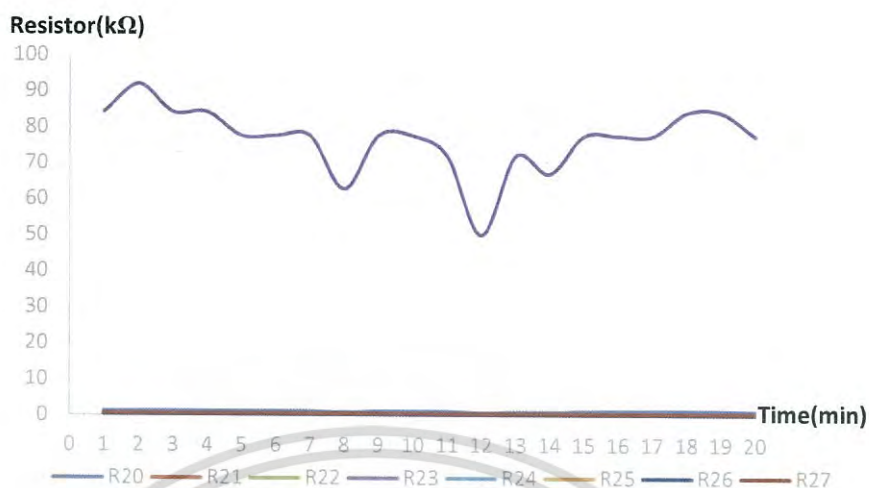


รูปที่ 4.21 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสง

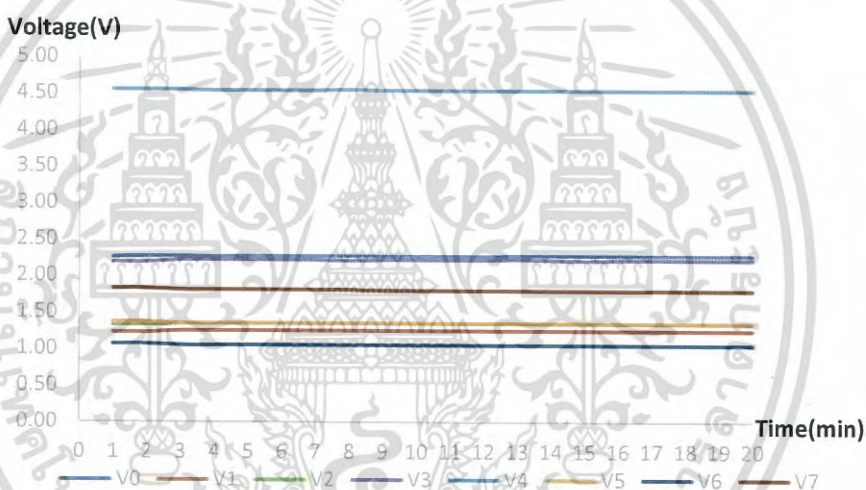


รูปที่ 4.22 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสง

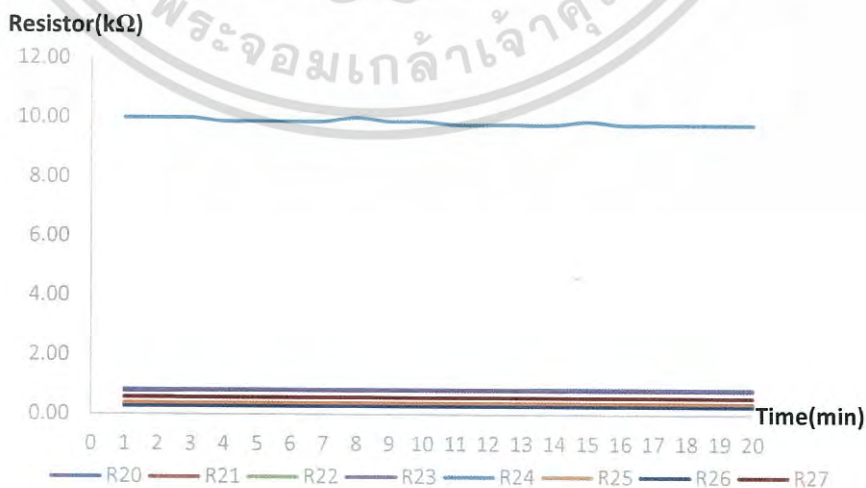
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสง

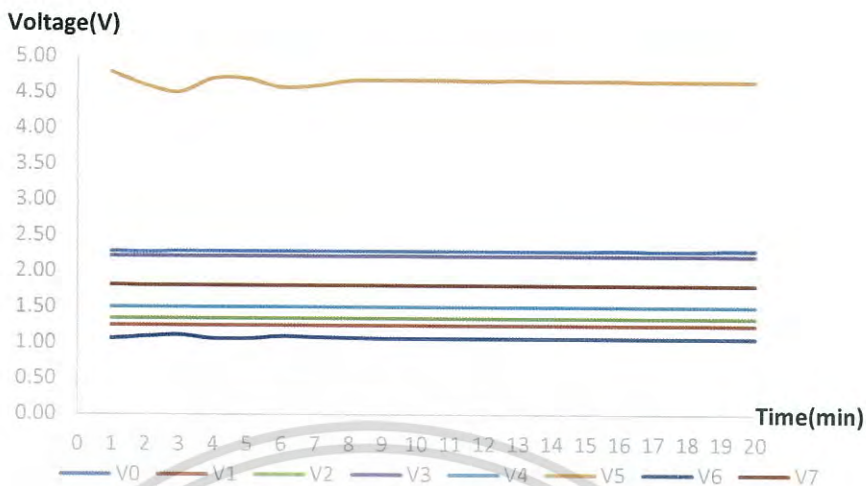


รูปที่ 4.24 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสง

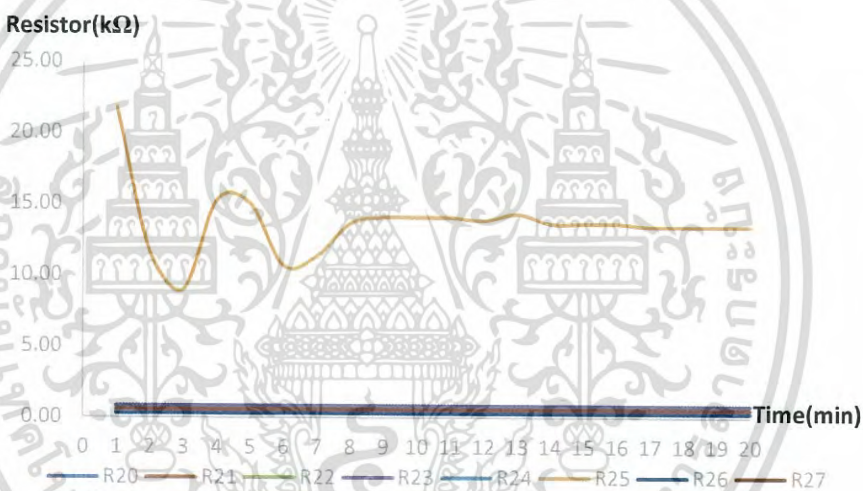


รูปที่ 4.25 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสง

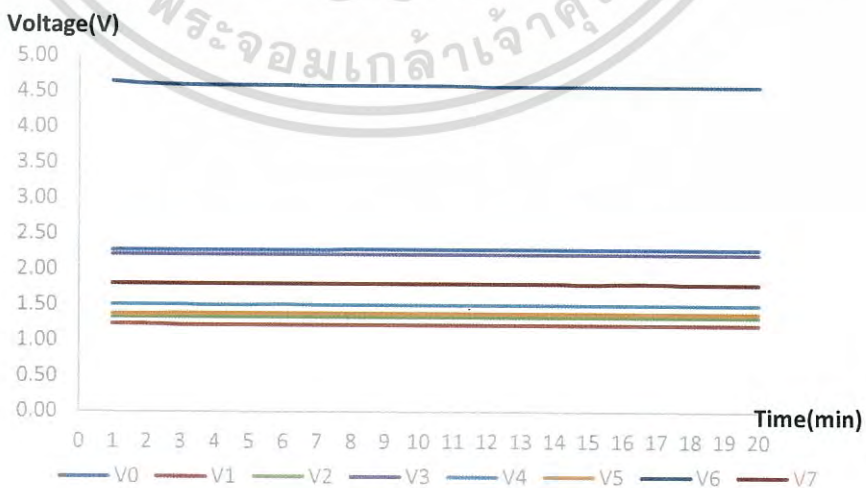
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสง

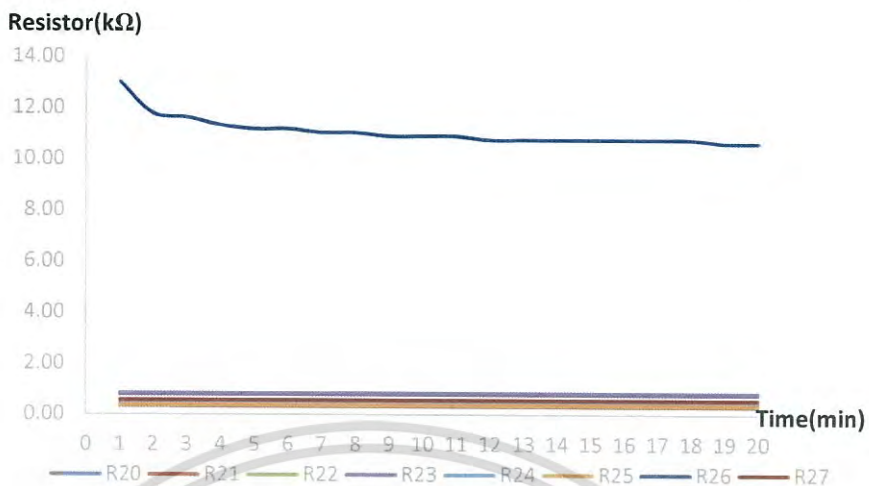


รูปที่ 4.27 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสง

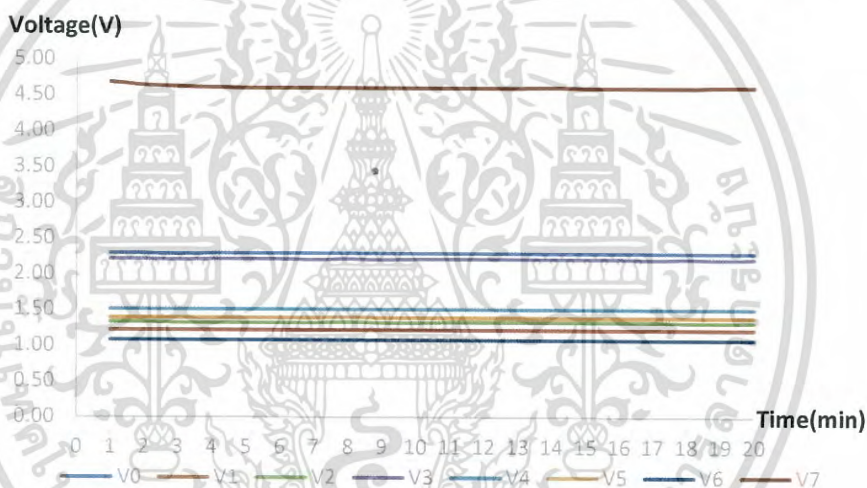


รูปที่ 4.28 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสง

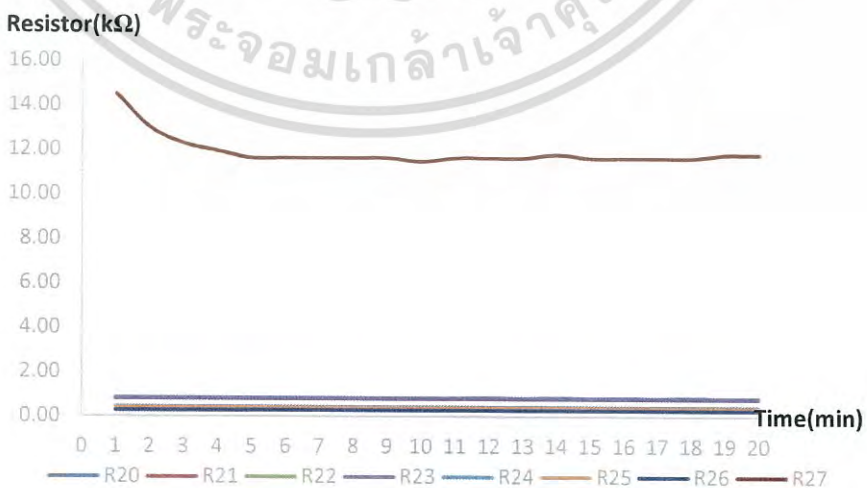
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสง

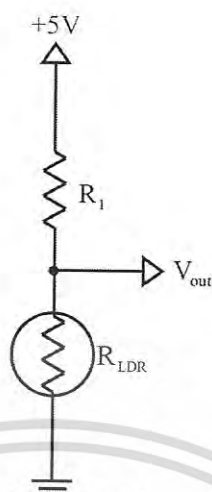


รูปที่ 4.30 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสง



รูปที่ 4.31 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 แสดงวงจรแบ่งแรงดันที่ใช้ในการสร้างโมดูลเซ็นเซอร์

ผลการทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้นกับแสงไฟฉายเป็นการทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์แสงแต่ละตัวภายในโมดูล โดยในการสร้างโมดูลเซ็นเซอร์ผู้ทดลองใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดัน ดังรูปที่ 4.32 ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสงแต่ละตัวภายในโมดูล และเขียนโปรแกรมควบคุมการทดสอบระบบโดยอาศัยสมการที่ 4.7

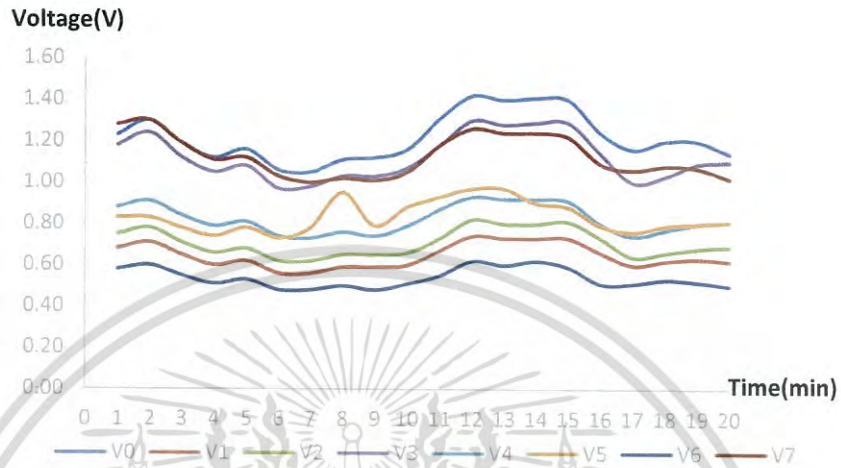
$$V_{out} = \left(\frac{R_{LDR}}{R_1 + R_{LDR}} \right) \times V_{in} \quad (4.7)$$

โดยที่ R_{LDR} เท่ากับ $1k\Omega$ และ V_{in} เท่ากับ 5 volt

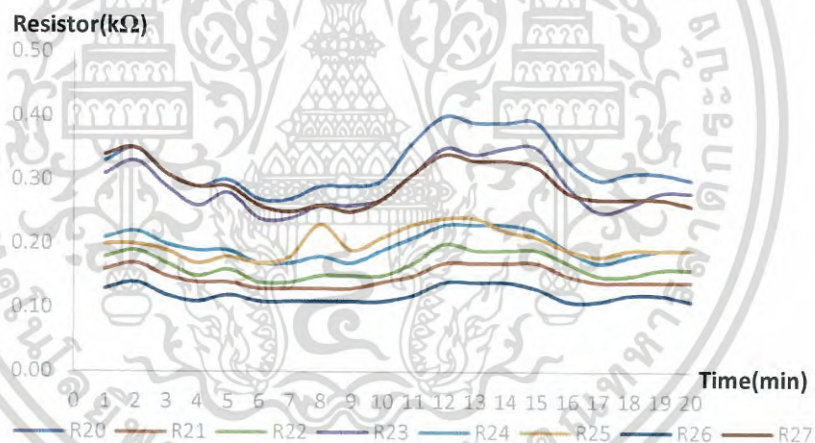
ดังนั้นในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสงแต่ละตัวในโมดูล พบว่า หากเซ็นเซอร์แสงได้รับแสงจากไฟฉายที่มีกำลังไฟฟ้า 6W ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสงจะน้อยกว่า $1k\Omega$ และแรงดันจะน้อยกว่า 2.5V ดังรูปที่ 4.15 – 4.31 แต่กราฟผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.22 และ 4.23 ไม่เป็นไปตามที่กล่าวไว้ข้างต้น อันเนื่องมาจากเกิดความผิดพลาดจากผู้ทดลองที่นำมือเข้าไปจับเทปสีดำที่ปิดไว้กับเซ็นเซอร์แสง จึงทำให้เงาของมือนั้นไปบังแสงจากไฟฉาย และในทางตรงกันข้ามหากเซ็นเซอร์แสงไม่ได้ได้รับแสงจากไฟฉายที่มีกำลัง 6W ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสงจะมากกว่า $10k\Omega$ และแรงดันจะมากกว่า 4.5V ดังรูปที่ 4.15 – 4.31 แต่กราฟผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.26 และ 4.27 ไม่เป็นไปตามที่กล่าวไว้ข้างต้น อันเนื่องมาจากเกิดความผิดพลาดจากผู้ทดลองที่ปิดเทปสีดำไม่แนบสนิทกับตัวเซ็นเซอร์จึงทำให้แสงสามารถผ่านเข้าไปได้

3.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์โมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์

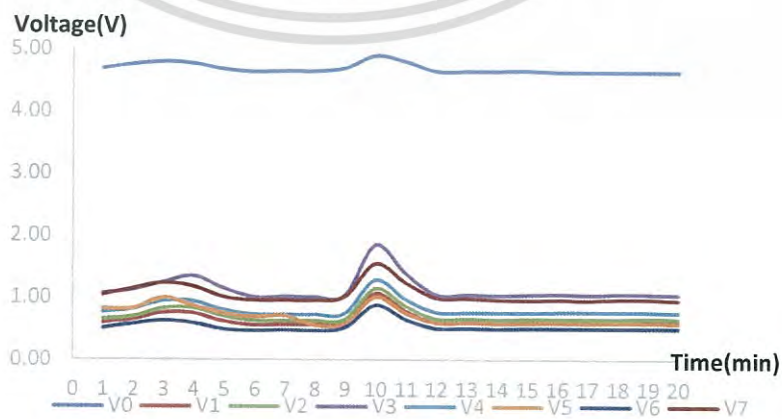
ผลการทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์กับแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4.12 แสดงดังตารางที่ 4.27 – 4.44



รูปที่ 4.33 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงอาทิตย์ทุกตัว

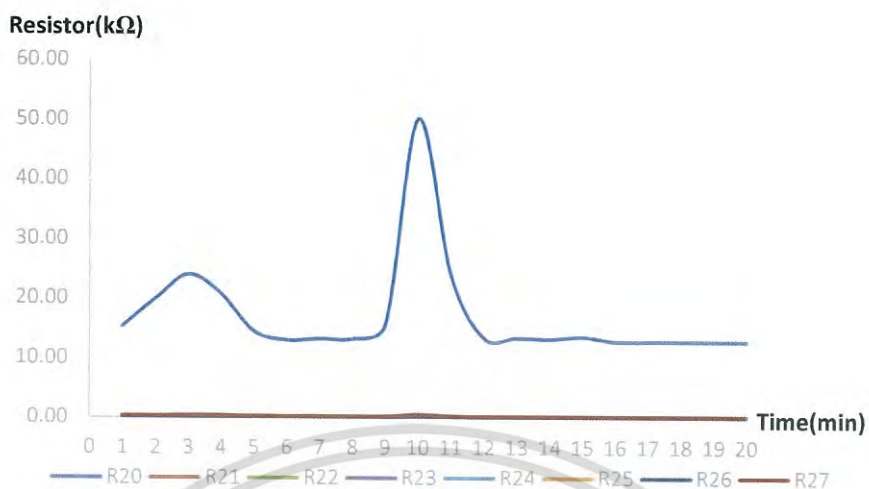


รูปที่ 4.34 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงอาทิตย์ทุกตัว

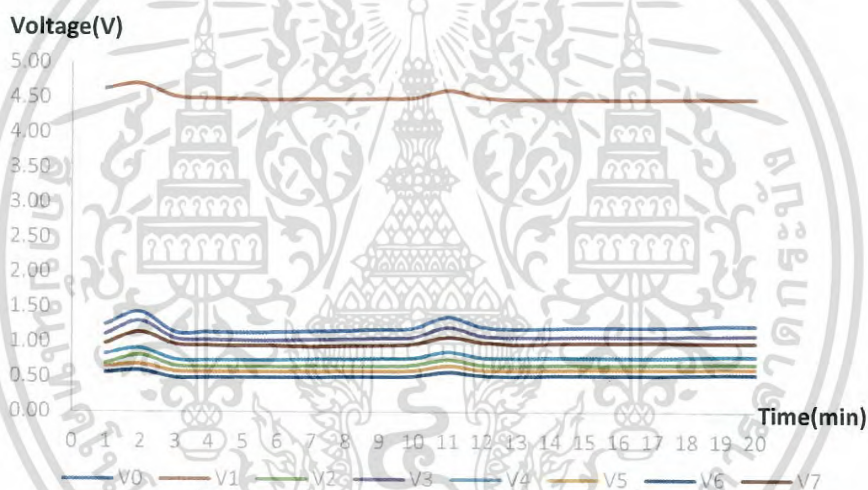


รูปที่ 4.35 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

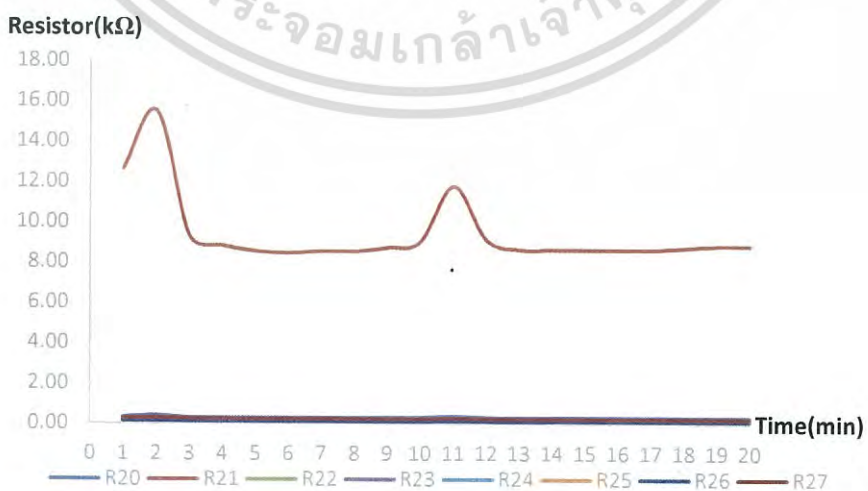
เอกสารนี้เป็นเอกสารร่างงานวิจัยสำหรับทำรายงานเพื่อใช้ในการขอทุนวิจัย ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

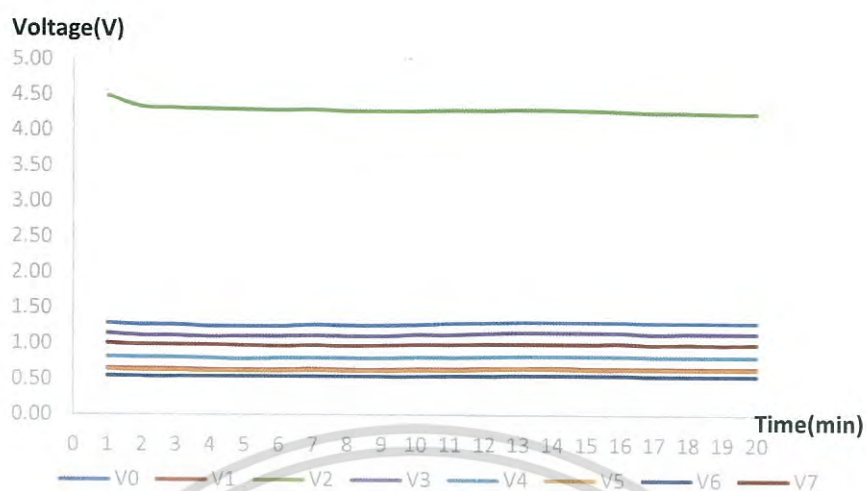


รูปที่ 4.37 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.38 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

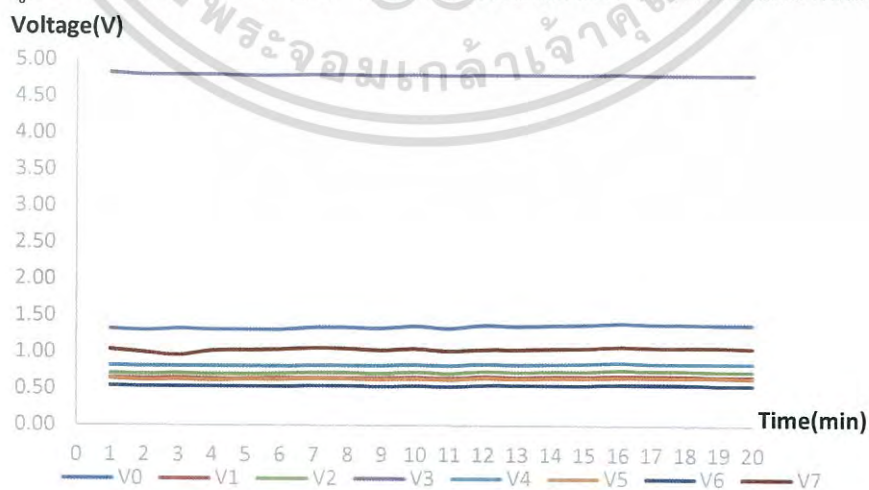
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

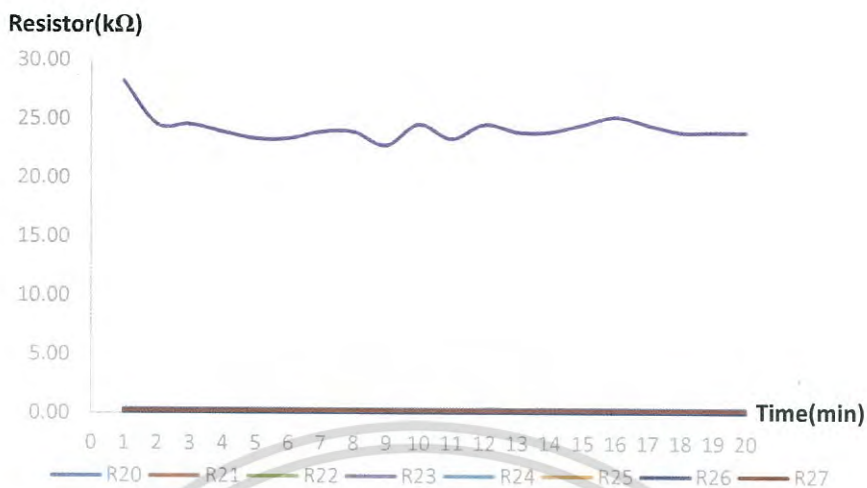


รูปที่ 4.40 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

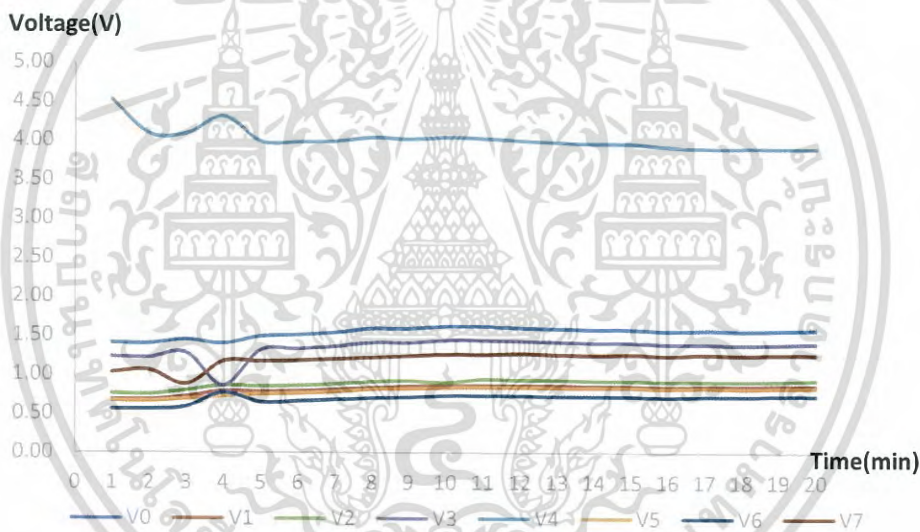


รูปที่ 4.41 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

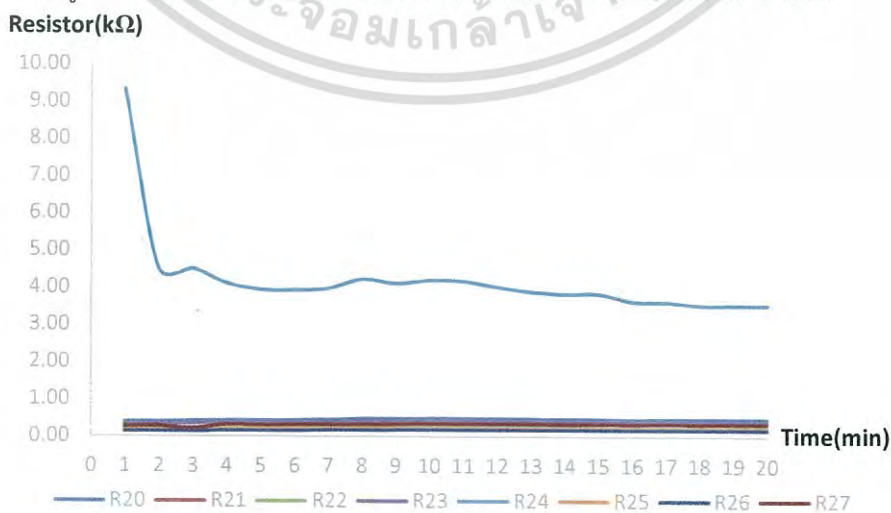
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์



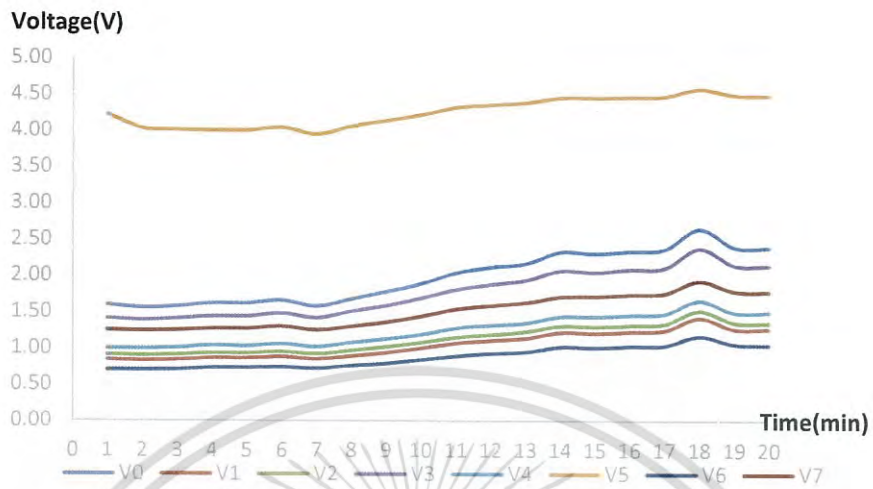
รูปที่ 4.43 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์



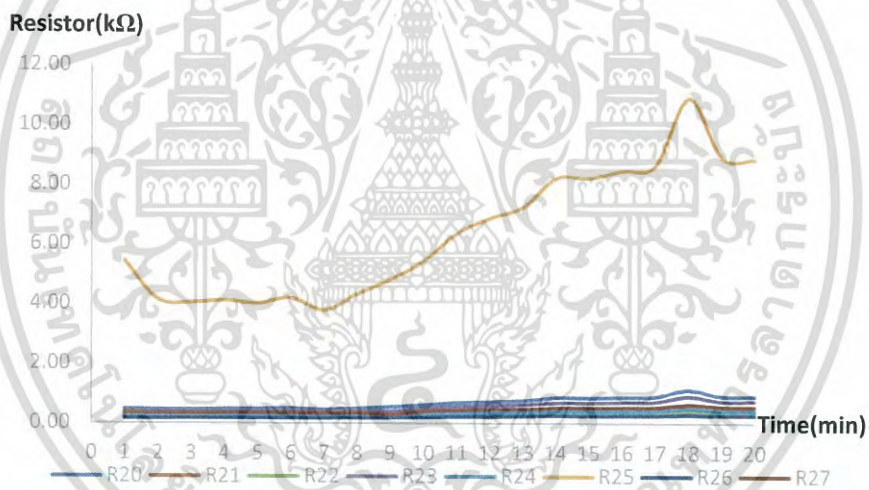
รูปที่ 4.44 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

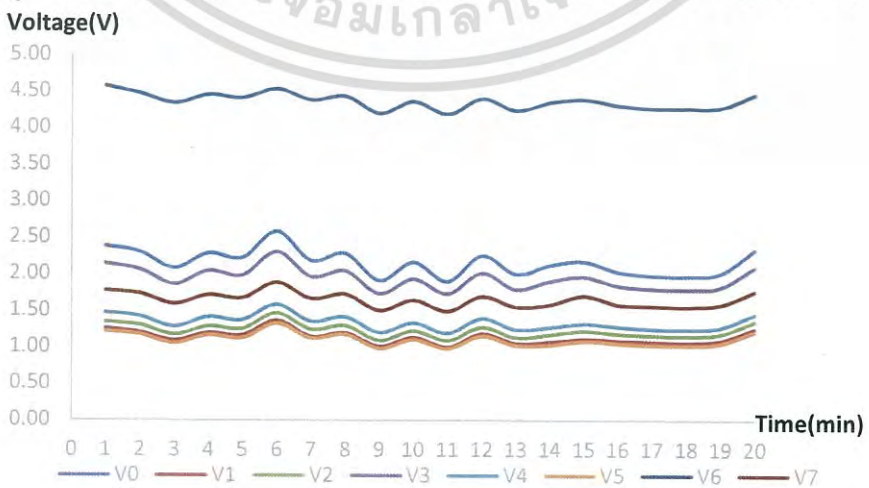
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

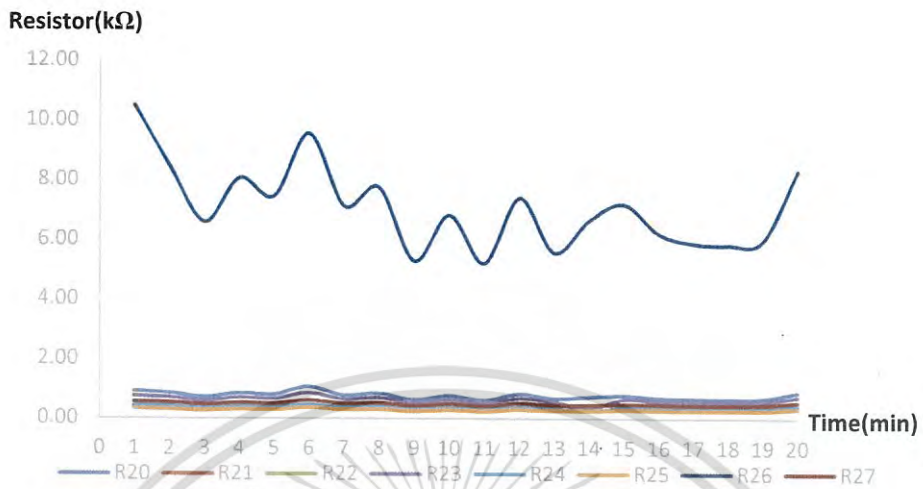


รูปที่ 4.46 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.47 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

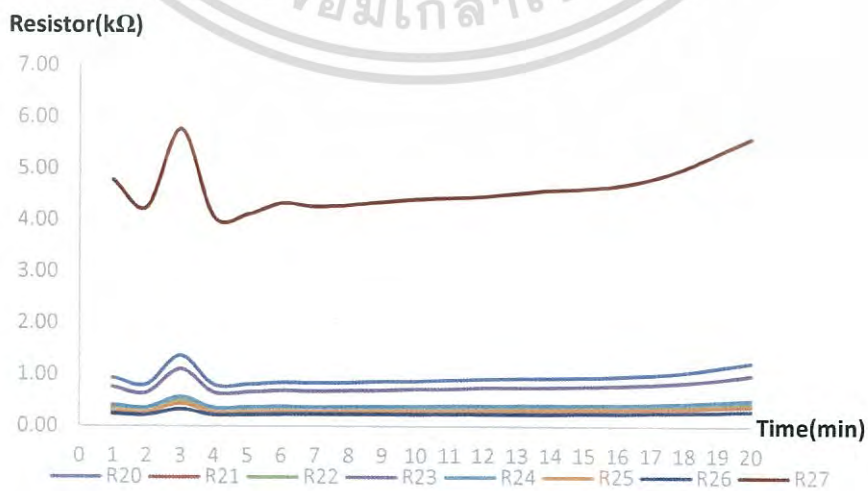
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.49 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.50 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้นกับแสงอาทิตย์เป็นการทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์แสงแต่ละตัวภายในโมดูล โดยในการสร้างโมดูลเซ็นเซอร์ผู้ทดลองใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดัน ดังรูปที่ 4.32 ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสงแต่ละตัวภายในโมดูล และเขียนโปรแกรมควบคุมการทดสอบระบบโดยอาศัยสมการที่ 4.7

$$V_{out} = \left(\frac{R_{LDR}}{R_1 + R_{LDR}} \right) \times V_{in} \quad (4.7)$$

โดยที่ R_{LDR} เท่ากับ $1k\Omega$ และ V_{in} เท่ากับ 5 volt

ดังนั้นในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสงแต่ละตัวในโมดูล พบว่า หากเซ็นเซอร์แสงได้รับแสงอาทิตย์ที่มีกำลังประมาณ $1,000W/m^2$ ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสงจะน้อยกว่า $0.5k\Omega$ และแรงดันจะน้อยกว่า 2.0V ดังรูปที่ 4.34 – 4.49 แต่กราฟผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.42 4.49 ไม่เป็นไปตามที่กล่าวไว้ข้างต้น อันเนื่องมาจากสภาพอากาศแปรปรวนเพราะในวันที่ทดลองค่อนข้างมีเมฆมากและ บางช่วงเวลามีคนเดินตัดหน้าโมดูลเซ็นเซอร์ทำให้เกิดเงาบังโมดูลเซ็นเซอร์ และในทางตรงกันข้ามหากเซ็นเซอร์แสงไม่ได้ได้รับแสงอาทิตย์ที่ ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์แสงจะมากกว่า $8k\Omega$ และแรงดันจะมากกว่า 4.5V ดังรูปที่ 4.34 – 4.49 แต่กราฟผลการทดลองบางรูป ไม่เป็นไปตามที่กล่าวไว้ข้างต้น อันเนื่องมาจากเกิดความผิดพลาดจากผู้ทดลองที่ปิดเทปสีดำไม่แนบสนิทกับตัวเซ็นเซอร์จึงทำให้แสงสามารถผ่านเข้าไปได้ ซึ่งการทดสอบทั้งสองแบบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดันที่เหมาะสมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ATMEGA 328PU เพื่อที่จะแปลงเป็นตัวเลขดิจิตอลและ นำไปควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์ต่อไป

4.4 การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบงานติดตามดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์กับแหล่งกำเนิดสปอร์ตไลท์

การทดสอบความแม่นยำของระบบงานติดตามดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์กับแหล่งกำเนิดสปอร์ตไลท์เป็นการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ในแนวแกนอะซิมูท และมอเตอร์ในแนวแกนอัลติจูด โดยการทดสอบความแม่นยำของระบบงานติดตามดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์กับแหล่งกำเนิดสปอร์ตไลท์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ระบบงานพาราโบลิกติดตามดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์
2. แหล่งกำเนิดสปอร์ตไลท์ 1500 Watt 1 ตัว
3. อุปกรณ์วัดมุมองศา 1 อัน
4. อลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาดความยาว 2 m. 1 ท่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

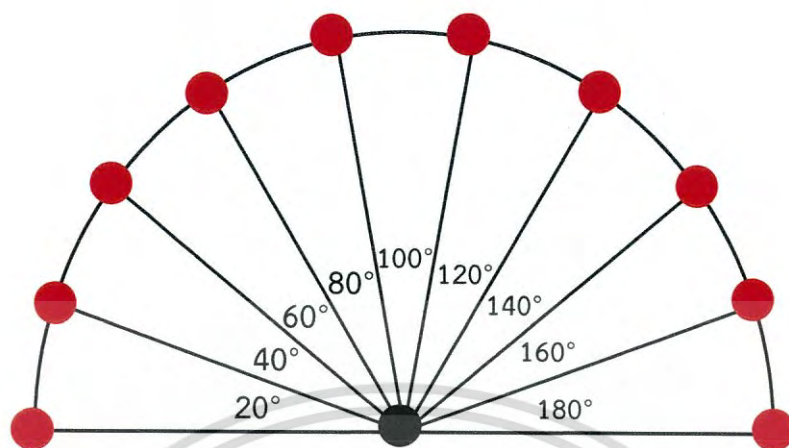
วิธีการทดสอบ

1. สร้างเครื่องวงกลมขนาดรัศมี 1.5 m โดยใช้เครื่องมือวัดมุมองศาเป็นจุดศูนย์กลางในการสร้างเครื่องวงกลม ซึ่งภายในเครื่องวงกลมให้สร้างเส้นโดยเริ่มจาก 0 องศาห่างกันเส้นละ 20 องศาจนครบ 180 องศา ดังรูปที่ 4.50
2. นำเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์มาติดตั้งตรงจุดศูนย์กลางของเครื่องวงกลมที่สร้างขึ้นโดย ติดตั้งระบบติดตามให้เข็มทิศที่ติดอยู่กับตัวเครื่องหันไปทางทิศเหนือ เพื่อเป็นการเช็คระบบเริ่มต้นและ นำแหล่งกำเนิดสปอร์ตไลท์มาตั้งที่จุด 0 องศาของเส้นโค้งเครื่องวงกลม
3. จ่ายไฟให้กับระบบติดตามดวงอาทิตย์ และจ่ายไฟให้แหล่งกำเนิดสปอร์ตไลท์
4. บันทึกผลการอ่านค่ามุมจากตัวเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ลงในตารางที่ 4.45 และทำซ้ำโดย ย้ายตำแหน่งแหล่งกำเนิดสปอร์ตไลท์ ทีละ 20 องศาตามลำดับจนครบ 180 องศา ดังรูปที่ 4.51 และ 4.52



รูปที่ 4.51 แสดงการสร้างเครื่องวงกลมเพื่อใช้ทดสอบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



● คือ ตำแหน่งวางระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

● คือ ตำแหน่งวางแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์

รูปที่ 4.52 แสดงตำแหน่งการวางระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ และ แหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์



รูปที่ 4.53 แสดงการทดสอบความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.45 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ ด้วยแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์

มุมอ้างอิงที่สร้างจากเครื่องมือวัดองศา (องศา)	มุมจากเครื่องระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ (องศา)
0	$90 - 90 = 0$
20	$90 - 70 = 20$
40	$90 - 50 = 40$
60	$90 - 30 = 60$
80	$90 - 10 = 80$
100	$90 - 190 = 100$
120	$90 - 210 = 120$
140	$90 - 230 = 140$
160	$90 - 250 = 160$
180	$90 - 270 = 180$

การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ในแนวแกนอะซิมุตและในแนวแกนอัลติจูด เป็นการทดสอบการติดตามแสงด้วยแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ที่มีความเข้มแสงใกล้เคียงกับความเข้มแสงของแสงอาทิตย์มากที่สุด ก่อนนำระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ไปทดสอบกับสภาพอากาศจริง ดังหัวข้อที่ 4.5 โดยการทดสอบจะสร้างรูปครึ่งวงกลม ซึ่งภายในรูปครึ่งวงกลมนี้จะแบ่งมุมภายในทีละ 20 องศา เริ่มจาก 0 องศา จนถึง 180 องศา ดังรูปที่ 4.50 และ 4.51 เพื่อใช้เป็นมุมอ้างอิงให้กับแหล่งกำเนิดแสงสปอร์ตไลท์ ดังนั้นในขณะที่ทำการทดสอบจะได้ค่ามุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ในแนวแกนอะซิมุตและในแนวแกนอัลติจูดจากเครื่องมือวัดองศาที่ติดอยู่กับแกนมอเตอร์ทั้งสองแนวการเคลื่อนที่ ผลจากการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ในแนวแกนอะซิมุตและในแนวแกนอัลติจูด แสดงให้เห็นว่าระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์สามารถติดตามแสงที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นสปอร์ตไลท์ได้จริงและมีความคลาดเคลื่อนของมุมการเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับมุมอ้างอิงที่ได้สร้างขึ้นน้อยกว่า ± 2 องศา ดังผลในตารางที่ 4.45

4.5 การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบจันติดตามดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์กับสภาพบรรยากาศจริง

การทดสอบความแม่นยำของระบบจันติดตามดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์เป็นการเปรียบเทียบค่ามุมอะซิมุตและมุมอัลติจูดจากการคำนวณด้วยสมการ NOAA ที่ใช้เป็นค่ามุมอ้างอิง กับ ค่ามุมอะซิมุตและมุมอัลติจูดที่ได้จากเครื่องมือวัดมุมที่ติดอยู่กับระบบติดตามดวงอาทิตย์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระบบจันพาราโบลิกติดตามดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์
2. แบตเตอรี่ 12 Volt 30Ah 1 ลูก

วิธีการทดสอบ

1. ติดตั้งระบบติดตามให้เข็มทิศที่ติดอยู่กับตัวเครื่องหันไปทางทิศเหนือ เพื่อเป็นการเซ็ระบบเริ่มต้นทุกครั้งในการติดตั้ง ดังรูปที่ 4.53
2. จ่ายไฟให้กับระบบติดตามดวงอาทิตย์
3. รอบันทึกผลค่ามุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ บันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.46 โดยที่ LCT คือ เวลาท้องถิ่น



รูปที่ 4.54 แสดงการเซ็ระบบเริ่มต้นในการติดตั้งระบบและเครื่องมือวัดมุม

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

การทดสอบระบบจันติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ผู้วิจัยได้ทดสอบ 2 วัน โดยในวันที่ 09/03/59 สภาพอากาศปลอดโปร่ง และ ในวันที่ 13/03/59 สภาพอากาศไม่ปลอดโปร่ง (มีเมฆครึ้ม) ดังตารางที่ 4.46 และ ตารางที่ 4.47 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.46 แสดงผลการทดสอบระบบจันติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ ในวันที่ 09/03/59 สภาพอากาศปลอดโปร่ง

LCT	09/03/2559				ค่าแรงดันของอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศ (Volts)
	มุมจากการคำนวณ(องศา)		มุมจากการวัดของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์(องศา)		
	Altitude Angle	Azimuth Angle	Altitude Angle	Azimuth Angle	
9.00	10.56	39.64	12.00	41.00	0.45
9.10	13.39	38.35	11.50	40.00	0.46
9.20	13.81	37.06	15.00	39.00	0.46
9.30	14.22	35.76	12.50	37.00	0.45
9.40	14.62	34.45	13.00	36.00	0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.50	15.01	33.13	16.00	35.00	0.57
10.00	16.73	26.37	16.00	25.00	0.58
10.10	17.03	24.99	19.00	23.00	0.57
10.20	17.32	23.60	19.00	23.00	0.57
10.30	17.59	22.20	19.50	20.50	0.45
10.40	17.84	20.80	16.00	19.00	0.46
10.50	18.08	19.38	20.00	19.00	0.46
11.00	19.03	12.23	20.00	13.00	0.45
11.10	19.17	10.79	21.00	9.00	0.46
11.20	19.29	9.34	21.00	9.00	0.57
11.30	19.39	7.88	20.00	8.00	0.45
11.40	19.48	6.43	20.00	7.00	0.49
11.50	19.55	4.97	19.00	3.00	0.45
12.00	19.63	-2.34	18.00	-3.00	0.45
12.10	19.59	-3.80	18.00	-5.00	0.46
12.20	19.53	-5.26	18.00	-5.00	0.45
12.30	19.46	-6.71	20.00	-5.00	0.45
12.40	19.37	-8.17	20.00	-7.00	0.46
12.50	19.26	-9.62	21.00	-10.00	0.47
13.00	18.47	-16.82	20.00	-17.00	0.45
13.10	18.26	-18.24	20.00	-17.00	0.45
13.20	18.04	-19.66	20.00	-20.00	0.45
13.30	17.79	-21.07	18.00	-20.00	0.45
13.40	17.54	-22.48	19.00	-23.00	0.45
13.50	17.26	-23.87	15.50	-25.50	0.45
14.00	15.67	-30.72	15.00	-31.00	0.45
14.10	15.31	-32.06	14.00	-31.00	0.49
14.20	14.93	-33.39	16.00	-34.00	0.45
14.30	14.55	-34.71	16.00	-35.00	0.45
14.40	14.14	-36.02	15.00	-34.50	0.46
14.50	13.73	-37.31	14.00	-35.50	0.45
15.00	11.48	-43.60	13.00	-42.00	0.45
15.10	10.99	-44.81	9.00	-44.00	0.46
15.20	10.50	-46.01	8.50	-45.00	0.47
15.30	9.99	-47.19	8.50	-45.50	0.45
15.40	9.48	-48.36	7.50	-46.50	0.45
15.50	8.96	-49.50	7.00	-47.50	0.45
16.00	6.21	-54.94	7.00	-53.00	0.45

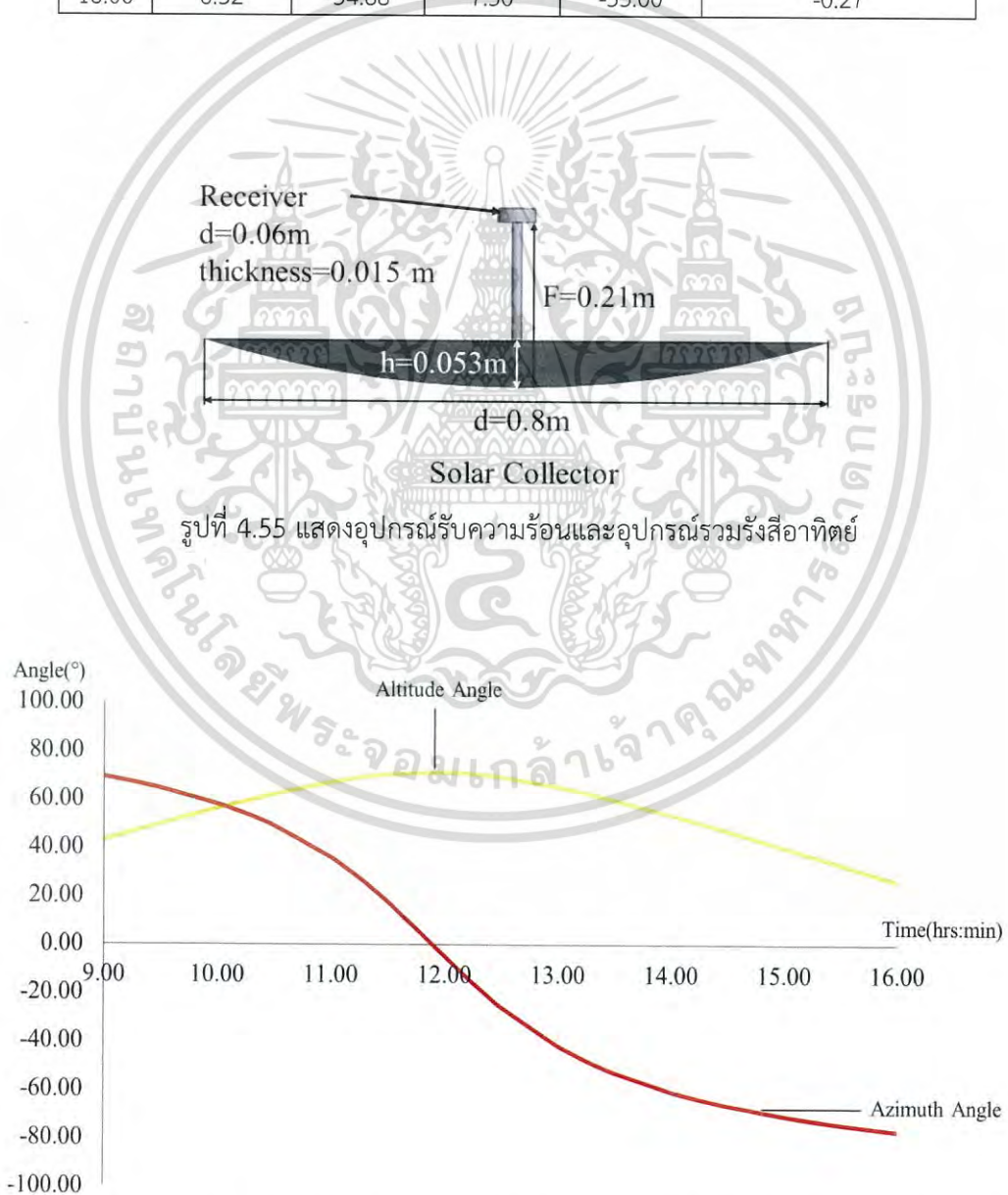
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.47 แสดงผลการทดสอบระบบงานติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์
ในวันที่ 13/03/59 สภาพอากาศปลอดโปร่ง

LCT	13/03/2559				ค่าแรงดันของอุปกรณ์ ตรวจสอบสภาพอากาศ (Volts)
	มุมจากการคำนวณ(องศา)		มุมจากการวัดของเครื่อง ติดตามดวงอาทิตย์(องศา)		
	Altitude Angle	Azimuth Angle	Altitude Angle	Azimuth Angle	
9.00	10.64	39.85	11.00	38.50	0.18
9.10	13.42	38.45	12.00	38.00	0.18
9.20	13.85	37.16	12.00	37.50	0.18
9.30	14.26	35.86	13.00	36.00	0.17
9.40	14.66	34.55	13.00	35.50	0.17
9.50	15.05	33.23	16.00	34.00	0.16
10.00	16.78	26.47	17.00	25.00	0.12
10.10	17.08	25.09	18.00	25.50	0.12
10.20	17.37	23.70	18.50	23.50	0.11
10.30	17.64	22.31	18.50	23.00	0.11
10.40	17.89	20.90	18.50	21.00	0.10
10.50	18.13	19.49	19.00	20.50	0.10
11.00	19.09	12.33	19.50	11.50	0.05
11.10	19.22	10.89	20.00	10.00	0.04
11.20	19.35	9.44	20.00	10.00	0.04
11.30	19.45	7.99	21.00	9.00	0.04
11.40	19.54	6.53	21.50	8.00	0.03
11.50	19.61	5.07	21.50	7.00	0.03
12.00	19.70	-2.24	21.50	-1.00	0.00
12.10	19.66	-3.70	21.50	-2.00	-0.01
12.20	19.61	-5.16	21.50	-3.00	-0.01
12.30	19.54	-6.62	21.50	-4.50	-0.02
12.40	19.45	-8.07	21.50	-6.00	-0.03
12.50	19.34	-9.53	20.50	-7.50	-0.03
13.00	18.55	-16.73	20.50	-15.00	-0.07
13.10	18.34	-18.16	20.00	-17.00	-0.08
13.20	18.12	-19.57	20.00	-18.00	-0.09
13.30	17.88	-20.99	19.50	-19.50	-0.09
13.40	17.62	-22.39	18.00	-20.50	-0.10
13.50	17.35	-23.79	18.00	-22.00	-0.11
14.00	15.76	-30.64	18.00	-28.50	-0.14
14.10	15.40	-31.98	18.50	-30.00	-0.15

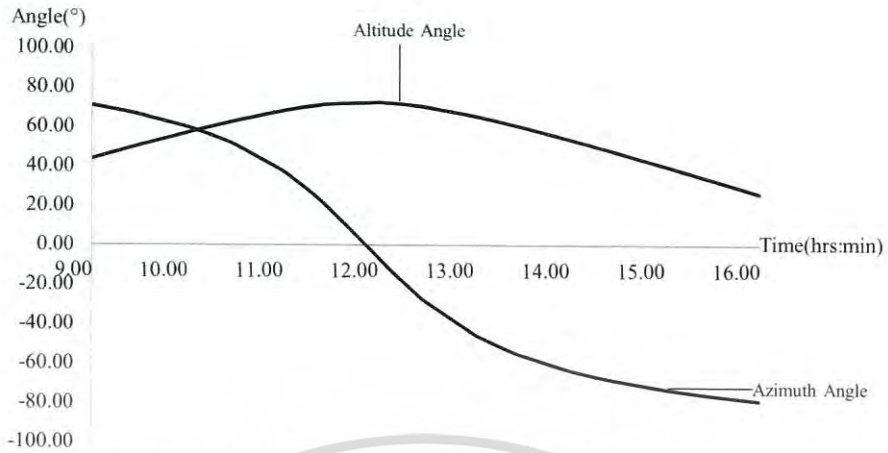
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14.20	15.03	-33.31	17.00	-31.50	-0.16
14.30	14.64	-34.63	16.50	-36.50	-0.18
14.40	14.24	-35.94	13.50	-37.00	-0.19
14.50	13.82	-37.24	13.50	-37.50	-0.19
15.00	11.58	-43.53	12.50	-41.50	-0.21
15.10	11.09	-44.74	12.00	-42.50	-0.22
15.20	10.60	-45.94	11.50	-44.00	-0.23
15.30	10.09	-47.12	11.00	-45.50	-0.23
15.40	9.58	-48.29	10.50	-47.00	-0.24
15.50	9.06	-49.44	10.00	-48.00	-0.25
16.00	6.32	-54.88	7.50	-53.00	-0.27

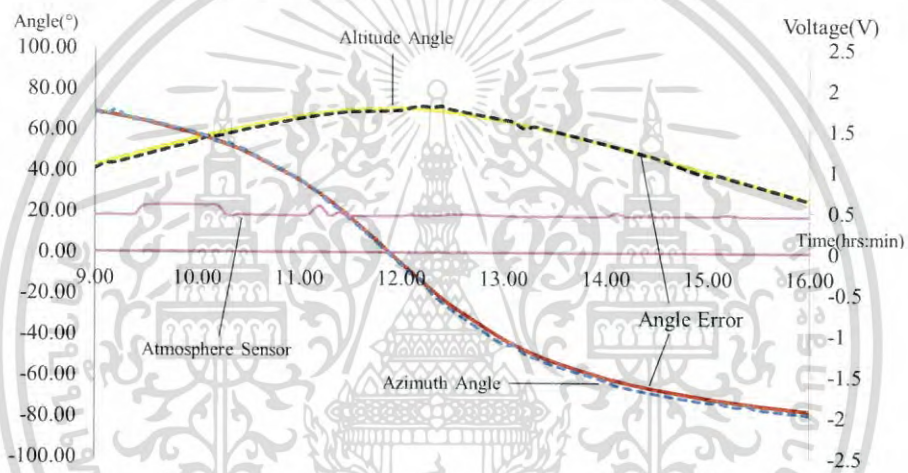


รูปที่ 4.56 ผลการคำนวณมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดจากสมการ NOAA ของวันที่ 09/03/59

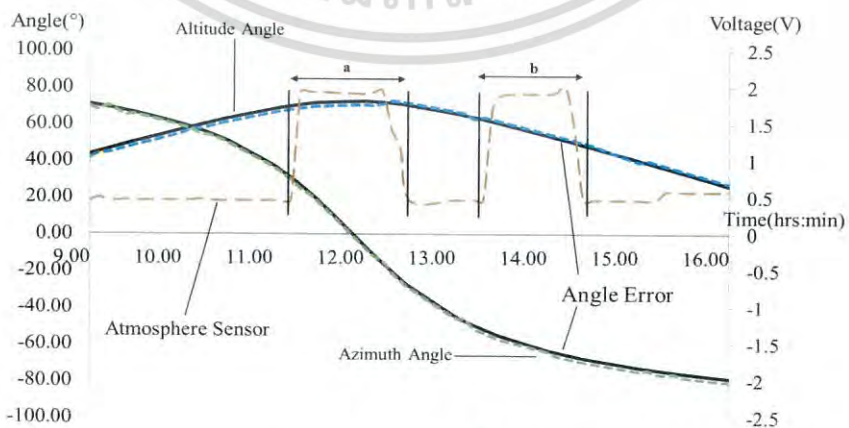
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.57 ผลการคำนวณมุมอะซิมุตและมุมอัลติจูดจากสมการ NOAA ของวันที่ 13/03/59



รูปที่ 4.58 ผลการทดสอบความคลาดมุมอะซิมุต(เส้นสีแดง)และ มุมอัลติจูด(เส้นสีส้ม) จากสมการ NOAA เทียบกับ มุมอะซิมุต(เส้นประสั้นสีม่วง)และ มุมอัลติจูด(เส้นประสั้นสีดำ) ของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ในวันที่ 09/03/59 (สภาพอากาศปลอดโปร่ง)



รูปที่ 4.59 ผลการทดสอบความคลาดมุมอะซิมุต(เส้นสีน้ำเงิน)และ มุมอัลติจูด(เส้นสีดำ) จากสมการ NOAA เทียบกับ มุมอะซิมุต(เส้นประยาวสีเขียว)และ มุมอัลติจูด(เส้นประยาวสีฟ้า) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนเวสสารหรงการใชงานเพอการศกษาเท่านั้น ไมอนูญใหเินาเปไซบรเษชนดานการค้
ไมวากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อักทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ในวันที่ 13/03/59 (สภาพอากาศไม่ปลอดโปร่ง)

ผลการทดลองของพวกเราที่ทดสอบ ณ.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตำแหน่งของละติจูดที่ $13^{\circ}43'N$ และลองจิจูดที่ $100^{\circ}47'E$ การทดสอบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำในการทำงานในสภาพการใช้งานจริงและผลการรวมความเข้มแสงอาทิตย์ นักวิจัยได้ติดตั้งจานพาราโบลากรวมแสง เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.8 เมตร ตัวรับความร้อนที่สร้างจากทองเหลืองขนาด 0.00848 ตารางเมตร ดังรูปที่ 4.54 และเทอร์โมคัปเปิลพร้อมเครื่องบันทึกอุณหภูมิเข้ากับระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ระบบถูกตั้งให้ทำงานระหว่างเวลา 9.00น.-16.00น. สภาพอากาศในช่วงวันที่ทดสอบเป็นช่วงต้นปีซึ่งเป็นฤดูหนาวท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆบางเป็นส่วนใหญ่ แต่บางวันที่ทดสอบอาจมีสภาพอากาศแย่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยกลางแจ้ง อยู่ระหว่าง $33-40^{\circ}C$

$$\begin{aligned} \text{Azimuth Angle Error} &= \text{NOAA}_{AZ} - \text{LCT}_{AZ} - \text{SM}_{AZ} \\ \text{Altitude Angle Error} &= \text{NOAA}_{AL} - \text{LCT}_{AL} - \text{SM}_{AL} \end{aligned} \quad (1)$$

(If $V_{out} < 0.5V$; LCT_{AZ} and $\text{LCT}_{AL} = 0$ and If $0.5V < V_{out} < 2V$; SM_{AZ} and $\text{SM}_{AL} = 0$)

NOAA_{AZ} และ NOAA_{AL} คือ ค่าตำแหน่งมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่คำนวณได้จากสมการ NOAA ดังรูปที่ 4.56 และ 4.57

LCT_{AZ} และ LCT_{AL} คือ ตำแหน่งมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดของระบบสมการเวลาท้องถิ่น. SM_{AZ} และ SM_{AL} คือ ตำแหน่งมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดของระบบโมดูลเซ็นเซอร์

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.59 วิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดได้จากสมการที่ (1) ถ้า V_{out} ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศน้อยกว่า 0.5V (เส้นประสีแดงในกราฟรูปที่ 4.59) แสดงถึง ณ เวลานั้นมีสภาพอากาศที่ปลอดโปร่ง LCT_{AZ} และ LCT_{AL} จะเท่ากับศูนย์ (ระบบสมการฐานเวลาท้องถิ่นหยุดทำงาน) ระบบโมดูลเซ็นเซอร์จะทำงานในการติดตามดวงอาทิตย์เพียงระบบเดียว และในทางกลับกันหาก V_{out} ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศมากกว่า 0.5 V แต่น้อยกว่า 2 V (เส้นประยาวช่วง a และ b ดังในกราฟรูปที่ 4.59) แสดงถึง ณ เวลานั้นมีสภาพอากาศไม่ปลอดโปร่ง SM_{AZ} และ SM_{AL} จะเท่ากับศูนย์ (ระบบโมดูลเซ็นเซอร์จะหยุดทำงาน) ระบบสมการฐานเวลาท้องถิ่นจะทำงานในการติดตามดวงอาทิตย์แทน ดังนั้น การทำงานร่วมกันของระบบโมดูลเซ็นเซอร์และระบบสมการฐานเวลาท้องถิ่นสามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องของสภาพอากาศที่ไม่ปลอดโปร่งได้เป็นอย่างดีและ มีความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดเมื่อเทียบกับสมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ NOAA ไม่เกิน $\pm 2^{\circ}$ ดังรูปที่ 4.59 นอกจากนี้ถ้าระบบนี้ไปติดตั้งในสถานที่อื่น ๆ ควรต้องตั้งระบบตามหัวข้อวิธีการทดสอบระบบก่อน จึงจะทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและอัลติจูดอยู่ในช่วง $\pm 2^{\circ}$ ดังนั้นระบบนี้จึงถือว่าเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีความแม่นยำในการติดตามสูง ซึ่งทดสอบได้จากการวัดอุณหภูมิตัวรับความร้อนที่สร้างจากทองเหลืองและวัดความเข้มแสงจากไพรานอมิเตอร์ พบว่ามีอุณหภูมิและความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ $235.25^{\circ}C$ และ 901.96 W-m^2 ที่เวลา 13.00น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาออกแบบและสร้างระบบงานพาราโบลิกติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจ์ ซึ่งการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ตอนด้วยกันคือ การหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ ด้วยสมการ National Oceanic Atmospheric Administrator (NOAA) การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์ด้วยอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (Proximity) การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของโมดูลเซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้น การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบงานติดตามดวงอาทิตย์ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

การหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยสมการ National Oceanic Atmospheric Administrator (NOAA) เป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ซึ่งในผลการทดลองพบว่าสามารถรู้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันรอบปีได้ และพบความสัมพันธ์ของ Analemma Curve ที่สามารถแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่เวลาเดียวกันได้

การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์ด้วยอุปกรณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก (Proximity) เป็นการทดสอบอุปกรณ์ก่อนนำมาใช้กับระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งพบว่าเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมมิตริคมีความแม่นยำใกล้เคียงกับสเปคที่ได้กล่าวไว้กับตัวอุปกรณ์จริง จึงสามารถนำค่าความละเอียด 100 CPR มาใช้งานในการควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้ และเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนการเคลื่อนที่อัลติจูดมีความแม่นยำใกล้เคียงกับสเปคที่ได้กล่าวไว้กับตัวอุปกรณ์จริง จึงสามารถนำค่าความละเอียด 350 CPR มาใช้งานในการควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้

การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันและค่าความต้านทานของโมดูลเซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้นเป็นการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานและแรงดันของเซ็นเซอร์แสงแต่ละตัวในโมดูลเซ็นเซอร์ ซึ่งการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์กับไฟฉาย ทดสอบโมดูลเซ็นเซอร์กับแสงอาทิตย์ พบว่าการทดสอบทั้ง 2 แบบนี้เมื่อเซ็นเซอร์แสงแต่ละตัวไม่โดนแสงค่าความต้านทานจะเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลทำให้แรงดันเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยที่กระแสคงที่ตามหลักการของการแบ่งแรงดัน จากการทดสอบวัดอุณหภูมิที่ตัวรับความร้อนที่สร้างขึ้นจากทองเหลือง ณ ตำแหน่งจุดโฟกัส เท่ากับ 0.21m มีค่าเท่ากับ 508.25 องศาเซลเซียส

การทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบงานติดตามดวงอาทิตย์ ถูกทดสอบที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ละติจูด $13^{\circ}43'N$ และลองจิจูดที่ $100^{\circ}47'E$ ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างระบบโมดูลเซ็นเซอร์และระบบสมการฐานเวลาท้องถิ่น พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของมุมในการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตามแนวอะซิมุตและอัลติจูดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}$ จึงถือวาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัตินี้เป็นระบบที่มีความแม่นยำในการติดตามสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำไปใช้งานได้จริงทุกสถานที่จากการเปลี่ยนค่าตำแหน่งละติจูดและลองจิจูด ดังนั้นระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบไฮบริดจอตโนมัตินี้จึงเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับตัวรวมแสงอาทิตย์ เพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถใช้โค้ด PID Control มาปรับใช้กับระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เพื่อแก้การกระชากของมอเตอร์ในการเคลื่อนที่
2. ควรเพิ่มขนาดความกว้างของงานเพื่อให้ได้ความร้อนที่มากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นตามไปด้วย
3. ควรเขียนโปรแกรมฐานข้อมูลของเวลาแต่ละวัน ใน 1 ปี เพื่อที่จะสามารถนำระบบไปติดตั้งที่เวลาใดก็ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณ Declination Angle ใน 1 ปี

Month		N	Declination Angle(°)
JAN	1	1	-23.0300
JAN	2	2	-22.9484
JAN	3	3	-22.8596
JAN	4	4	-22.7638
JAN	5	5	-22.6610
JAN	6	6	-22.5511
JAN	7	7	-22.4344
JAN	8	8	-22.3107
JAN	9	9	-22.1802
JAN	10	10	-22.0429
JAN	11	11	-21.8989
JAN	12	12	-21.7482
JAN	13	13	-21.5910
JAN	14	14	-21.4272
JAN	15	15	-21.2570
JAN	16	16	-21.0804
JAN	17	17	-20.8974
JAN	18	18	-20.7083
JAN	19	19	-20.5130
JAN	20	20	-20.3115
JAN	21	21	-20.1041
JAN	22	22	-19.8908
JAN	23	23	-19.6717
JAN	24	24	-19.4468
JAN	25	25	-19.2162
JAN	26	26	-18.9801
JAN	27	27	-18.7385
JAN	28	28	-18.4915
JAN	29	29	-18.2392
JAN	30	30	-17.9816
JAN	31	31	-17.7190
FEB	1	32	-17.4514
FEB	2	33	-17.1788
FEB	3	34	-16.9014
FEB	4	35	-16.6192
FEB	5	36	-16.3325
FEB	6	37	-16.0412
FEB	7	38	-15.7454
FEB	8	39	-15.4453

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ผ่านการคำ
 อนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Declination Angle(°)
FEB	9	40	-15.1410
FEB	10	41	-14.8326
FEB	11	42	-14.5201
FEB	12	43	-14.2036
FEB	13	44	-13.8833
FEB	14	45	-13.5593
FEB	15	46	-13.2317
FEB	16	47	-12.9005
FEB	17	48	-12.5658
FEB	18	49	-12.2279
FEB	19	50	-11.8867
FEB	20	51	-11.5423
FEB	21	52	-11.1950
FEB	22	53	-10.8447
FEB	23	54	-10.4916
FEB	24	55	-10.1357
FEB	25	56	-9.7772
FEB	26	57	-9.4162
FEB	27	58	-9.0527
FEB	28	59	-8.6870
MAR	1	60	-8.3190
MAR	2	61	-7.9488
MAR	3	62	-7.5766
MAR	4	63	-7.2026
MAR	5	64	-6.8266
MAR	6	65	-6.4490
MAR	7	66	-6.0697
MAR	8	67	-5.6889
MAR	9	68	-5.3066
MAR	10	69	-4.9230
MAR	11	70	-4.5382
MAR	12	71	-4.1522
MAR	13	72	-3.7652
MAR	14	73	-3.3773
MAR	15	74	-2.9885
MAR	16	75	-2.5989
MAR	17	76	-2.2087
MAR	18	77	-1.8180
MAR	19	78	-1.4268
MAR	20	79	-1.0353
MAR	21	80	-0.6435

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเฉพาะทาง โดยไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคำ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Declination Angle(°)
MAR	22	81	-0.2515
MAR	23	82	0.1405
MAR	24	83	0.5325
MAR	25	84	0.9244
MAR	26	85	1.3160
MAR	27	86	1.7073
MAR	28	87	2.0982
MAR	29	88	2.4885
MAR	30	89	2.8783
MAR	31	90	3.2673
APRIL	1	91	3.6555
APRIL	2	92	4.0428
APRIL	3	93	4.4290
APRIL	4	94	4.8142
APRIL	5	95	5.1982
APRIL	6	96	5.5808
APRIL	7	97	5.9620
APRIL	8	98	6.3418
APRIL	9	99	6.7199
APRIL	10	100	7.0963
APRIL	11	101	7.4710
APRIL	12	102	7.8437
APRIL	13	103	8.2144
APRIL	14	104	8.5830
APRIL	15	105	8.9494
APRIL	16	106	9.3135
APRIL	17	107	9.6753
APRIL	18	108	10.0345
APRIL	19	109	10.3911
APRIL	20	110	10.7450
APRIL	21	111	11.0961
APRIL	22	112	11.4443
APRIL	23	113	11.7895
APRIL	24	114	12.1316
APRIL	25	115	12.4705
APRIL	26	116	12.8061
APRIL	27	117	13.1383
APRIL	28	118	13.4669
APRIL	29	119	13.7920
APRIL	30	120	14.1134
MAY	1	121	14.4309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Declination Angle(°)
MAY	2	122	14.7445
MAY	3	123	15.0541
MAY	4	124	15.3596
MAY	5	125	15.6609
MAY	6	126	15.9579
MAY	7	127	16.2505
MAY	8	128	16.5385
MAY	9	129	16.8220
MAY	10	130	17.1007
MAY	11	131	17.3747
MAY	12	132	17.6437
MAY	13	133	17.9078
MAY	14	134	18.1668
MAY	15	135	18.4206
MAY	16	136	18.6691
MAY	17	137	18.9122
MAY	18	138	19.1499
MAY	19	139	19.3821
MAY	20	140	19.6086
MAY	21	141	19.8294
MAY	22	142	20.0444
MAY	23	143	20.2534
MAY	24	144	20.4566
MAY	25	145	20.6536
MAY	26	146	20.8445
MAY	27	147	21.0292
MAY	28	148	21.2076
MAY	29	149	21.3797
MAY	30	150	21.5453
MAY	31	151	21.7044
JUNE	1	152	21.8569
JUNE	2	153	22.0028
JUNE	3	154	22.1420
JUNE	4	155	22.2744
JUNE	5	156	22.4000
JUNE	6	157	22.5188
JUNE	7	158	22.6306
JUNE	8	159	22.7354
JUNE	9	160	22.8332
JUNE	10	161	22.9240
JUNE	11	162	23.0076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Declination Angle(°)
JUNE	12	163	23.0841
JUNE	13	164	23.1534
JUNE	14	165	23.2155
JUNE	15	166	23.2704
JUNE	16	167	23.3180
JUNE	17	168	23.3583
JUNE	18	169	23.3913
JUNE	19	170	23.4170
JUNE	20	171	23.4354
JUNE	21	172	23.4464
JUNE	22	173	23.4501
JUNE	23	174	23.4464
JUNE	24	175	23.4354
JUNE	25	176	23.4170
JUNE	26	177	23.3913
JUNE	27	178	23.3583
JUNE	28	179	23.3180
JUNE	29	180	23.2704
JUNE	30	181	23.2155
JULY	1	182	23.1534
JULY	2	183	23.0841
JULY	3	184	23.0076
JULY	4	185	22.9240
JULY	5	186	22.8332
JULY	6	187	22.7354
JULY	7	188	22.6306
JULY	8	189	22.5188
JULY	9	190	22.4000
JULY	10	191	22.2744
JULY	11	192	22.1420
JULY	12	193	22.0028
JULY	13	194	21.8569
JULY	14	195	21.7044
JULY	15	196	21.5453
JULY	16	197	21.3797
JULY	17	198	21.2076
JULY	18	199	21.0292
JULY	19	200	20.8445
JULY	20	201	20.6536
JULY	21	202	20.4566
JULY	22	203	20.2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Declination Angle(°)
JULY	23	204	20.0444
JULY	24	205	19.8294
JULY	25	206	19.6086
JULY	26	207	19.3821
JULY	27	208	19.1499
JULY	28	209	18.9122
JULY	29	210	18.6691
JULY	30	211	18.4206
JULY	31	212	18.1668
AUG	1	213	17.9078
AUG	2	214	17.6437
AUG	3	215	17.3747
AUG	4	216	17.1007
AUG	5	217	16.8220
AUG	6	218	16.5385
AUG	7	219	16.2505
AUG	8	220	15.9579
AUG	9	221	15.6609
AUG	10	222	15.3596
AUG	11	223	15.0541
AUG	12	224	14.7445
AUG	13	225	14.4309
AUG	14	226	14.1134
AUG	15	227	13.7920
AUG	16	228	13.4669
AUG	17	229	13.1383
AUG	18	230	12.8061
AUG	19	231	12.4705
AUG	20	232	12.1316
AUG	21	233	11.7895
AUG	22	234	11.4443
AUG	23	235	11.0961
AUG	24	236	10.7450
AUG	25	237	10.3911
AUG	26	238	10.0345
AUG	27	239	9.6753
AUG	28	240	9.3135
AUG	29	241	8.9494
AUG	30	242	8.5830
AUG	31	243	8.2144
SEP	1	244	7.8437

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Declination Angle(°)
SEP	2	245	7.4710
SEP	3	246	7.0963
SEP	4	247	6.7199
SEP	5	248	6.3418
SEP	6	249	5.9620
SEP	7	250	5.5808
SEP	8	251	5.1982
SEP	9	252	4.8142
SEP	10	253	4.4290
SEP	11	254	4.0428
SEP	12	255	3.6555
SEP	13	256	3.2673
SEP	14	257	2.8783
SEP	15	258	2.4885
SEP	16	259	2.0982
SEP	17	260	1.7073
SEP	18	261	1.3160
SEP	19	262	0.9244
SEP	20	263	0.5325
SEP	21	264	0.1405
SEP	22	265	-0.2515
SEP	23	266	-0.6435
SEP	24	267	-1.0353
SEP	25	268	-1.4268
SEP	26	269	-1.8180
SEP	27	270	-2.2087
SEP	28	271	-2.5989
SEP	29	272	-2.9885
SEP	30	273	-3.3773
OCT	1	274	-3.7652
OCT	2	275	-4.1522
OCT	3	276	-4.5382
OCT	4	277	-4.9230
OCT	5	278	-5.3066
OCT	6	279	-5.6889
OCT	7	280	-6.0697
OCT	8	281	-6.4490
OCT	9	282	-6.8266
OCT	10	283	-7.2026
OCT	11	284	-7.5766
OCT	12	285	-7.9488

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Declination Angle(°)
OCT	13	286	-8.3190
OCT	14	287	-8.6870
OCT	15	288	-9.0527
OCT	16	289	-9.4162
OCT	17	290	-9.7772
OCT	18	291	-10.1357
OCT	19	292	-10.4916
OCT	20	293	-10.8447
OCT	21	294	-11.1950
OCT	22	295	-11.5423
OCT	23	296	-11.8867
OCT	24	297	-12.2279
OCT	25	298	-12.5658
OCT	26	299	-12.9005
OCT	27	300	-13.2317
OCT	28	301	-13.5593
OCT	29	302	-13.8833
OCT	30	303	-14.2036
OCT	31	304	-14.5201
NOV	1	305	-14.8326
NOV	2	306	-15.1410
NOV	3	307	-15.4453
NOV	4	308	-15.7454
NOV	5	309	-16.0412
NOV	6	310	-16.3325
NOV	7	311	-16.6192
NOV	8	312	-16.9014
NOV	9	313	-17.1788
NOV	10	314	-17.4514
NOV	11	315	-17.7190
NOV	12	316	-17.9816
NOV	13	317	-18.2392
NOV	14	318	-18.4915
NOV	15	319	-18.7385
NOV	16	320	-18.9801
NOV	17	321	-19.2162
NOV	18	322	-19.4468
NOV	19	323	-19.6717
NOV	20	324	-19.8908
NOV	21	325	-20.1041
NOV	22	326	-20.3115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Declination Angle(°)
NOV	23	327	-20.5130
NOV	24	328	-20.7083
NOV	25	329	-20.8974
NOV	26	330	-21.0804
NOV	27	331	-21.2570
NOV	28	332	-21.4272
NOV	29	333	-21.5910
NOV	30	334	-21.7482
DEC	1	335	-21.8989
DEC	2	336	-22.0429
DEC	3	337	-22.1802
DEC	4	338	-22.3107
DEC	5	339	-22.4344
DEC	6	340	-22.5511
DEC	7	341	-22.6610
DEC	8	342	-22.7638
DEC	9	343	-22.8596
DEC	10	344	-22.9484
DEC	11	345	-23.0300
DEC	12	346	-23.1045
DEC	13	347	-23.1718
DEC	14	348	-23.2318
DEC	15	349	-23.2846
DEC	16	350	-23.3302
DEC	17	351	-23.3684
DEC	18	352	-23.3994
DEC	19	353	-23.4230
DEC	20	354	-23.4393
DEC	21	355	-23.4482
DEC	22	356	-23.4498
DEC	23	357	-23.4440
DEC	24	358	-23.4309
DEC	25	359	-23.4105
DEC	26	360	-23.3827
DEC	27	361	-23.3477
DEC	28	362	-23.3053
DEC	29	363	-23.2556
DEC	30	364	-23.1987
DEC	31	365	-23.1346

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณ Equation of Time ใน 1 ปี

Month		N	Equation of Time (°)
JAN	1	1	-3.2616
JAN	2	2	-3.7339
JAN	3	3	-4.2007
JAN	4	4	-4.6615
JAN	5	5	-5.1158
JAN	6	6	-5.5631
JAN	7	7	-6.0030
JAN	8	8	-6.4350
JAN	9	9	-6.8587
JAN	10	10	-7.2736
JAN	11	11	-7.6794
JAN	12	12	-8.0755
JAN	13	13	-8.4617
JAN	14	14	-8.8376
JAN	15	15	-9.2028
JAN	16	16	-9.5570
JAN	17	17	-9.8999
JAN	18	18	-10.2312
JAN	19	19	-10.5506
JAN	20	20	-10.8579
JAN	21	21	-11.1528
JAN	22	22	-11.4351
JAN	23	23	-11.7046
JAN	24	24	-11.9612
JAN	25	25	-12.2047
JAN	26	26	-12.4349
JAN	27	27	-12.6518
JAN	28	28	-12.8551
JAN	29	29	-13.0449
JAN	30	30	-13.2211
JAN	31	31	-13.3836
FEB	1	32	-13.5325
FEB	2	33	-13.6676
FEB	3	34	-13.7890
FEB	4	35	-13.8968
FEB	5	36	-13.9909
FEB	6	37	-14.0715
FEB	7	38	-14.1386
FEB	8	39	-14.1923

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Equation of Time (°)
FEB	9	40	-14.2327
FEB	10	41	-14.2599
FEB	11	42	-14.2741
FEB	12	43	-14.2753
FEB	13	44	-14.2639
FEB	14	45	-14.2399
FEB	15	46	-14.2035
FEB	16	47	-14.1549
FEB	17	48	-14.0943
FEB	18	49	-14.0220
FEB	19	50	-13.9382
FEB	20	51	-13.8430
FEB	21	52	-13.7368
FEB	22	53	-13.6198
FEB	23	54	-13.4922
FEB	24	55	-13.3544
FEB	25	56	-13.2065
FEB	26	57	-13.0490
FEB	27	58	-12.8819
FEB	28	59	-12.7058
MAR	1	60	-12.5208
MAR	2	61	-12.3272
MAR	3	62	-12.1254
MAR	4	63	-11.9156
MAR	5	64	-11.6982
MAR	6	65	-11.4735
MAR	7	66	-11.2418
MAR	8	67	-11.0034
MAR	9	68	-10.7587
MAR	10	69	-10.5079
MAR	11	70	-10.2514
MAR	12	71	-9.9895
MAR	13	72	-9.7226
MAR	14	73	-9.4510
MAR	15	74	-9.1750
MAR	16	75	-8.8949
MAR	17	76	-8.6111
MAR	18	77	-8.3239
MAR	19	78	-8.0337
MAR	20	79	-7.7407
MAR	21	80	-7.4453

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Equation of Time (°)
MAR	22	81	-7.1479
MAR	23	82	-6.8487
MAR	24	83	-6.5481
MAR	25	84	-6.2465
MAR	26	85	-5.9441
MAR	27	86	-5.6413
MAR	28	87	-5.3384
MAR	29	88	-5.0357
MAR	30	89	-4.7336
MAR	31	90	-4.4324
APRIL	1	91	-4.1324
APRIL	2	92	-3.8339
APRIL	3	93	-3.5373
APRIL	4	94	-3.2428
APRIL	5	95	-2.9508
APRIL	6	96	-2.6615
APRIL	7	97	-2.3754
APRIL	8	98	-2.0926
APRIL	9	99	-1.8135
APRIL	10	100	-1.5383
APRIL	11	101	-1.2675
APRIL	12	102	-1.0012
APRIL	13	103	-0.7397
APRIL	14	104	-0.4834
APRIL	15	105	-0.2325
APRIL	16	106	0.0128
APRIL	17	107	0.2522
APRIL	18	108	0.4854
APRIL	19	109	0.7122
APRIL	20	110	0.9323
APRIL	21	111	1.1454
APRIL	22	112	1.3515
APRIL	23	113	1.5502
APRIL	24	114	1.7414
APRIL	25	115	1.9248
APRIL	26	116	2.1002
APRIL	27	117	2.2674
APRIL	28	118	2.4264
APRIL	29	119	2.5768
APRIL	30	120	2.7186
MAY	1	121	2.8517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Equation of Time (°)
MAY	2	122	2.9757
MAY	3	123	3.0908
MAY	4	124	3.1966
MAY	5	125	3.2932
MAY	6	126	3.3805
MAY	7	127	3.4583
MAY	8	128	3.5266
MAY	9	129	3.5854
MAY	10	130	3.6346
MAY	11	131	3.6742
MAY	12	132	3.7042
MAY	13	133	3.7245
MAY	14	134	3.7352
MAY	15	135	3.7364
MAY	16	136	3.7280
MAY	17	137	3.7102
MAY	18	138	3.6829
MAY	19	139	3.6464
MAY	20	140	3.6006
MAY	21	141	3.5457
MAY	22	142	3.4818
MAY	23	143	3.4090
MAY	24	144	3.3276
MAY	25	145	3.2376
MAY	26	146	3.1393
MAY	27	147	3.0329
MAY	28	148	2.9184
MAY	29	149	2.7963
MAY	30	150	2.6666
MAY	31	151	2.5297
JUNE	1	152	2.3858
JUNE	2	153	2.2351
JUNE	3	154	2.0780
JUNE	4	155	1.9146
JUNE	5	156	1.7454
JUNE	6	157	1.5706
JUNE	7	158	1.3905
JUNE	8	159	1.2055
JUNE	9	160	1.0159
JUNE	10	161	0.8220
JUNE	11	162	0.6242

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Equation of Time (°)
JUNE	12	163	0.4228
JUNE	13	164	0.2182
JUNE	14	165	0.0107
JUNE	15	166	-0.1992
JUNE	16	167	-0.4113
JUNE	17	168	-0.6250
JUNE	18	169	-0.8401
JUNE	19	170	-1.0562
JUNE	20	171	-1.2729
JUNE	21	172	-1.4897
JUNE	22	173	-1.7064
JUNE	23	174	-1.9225
JUNE	24	175	-2.1376
JUNE	25	176	-2.3514
JUNE	26	177	-2.5634
JUNE	27	178	-2.7733
JUNE	28	179	-2.9807
JUNE	29	180	-3.1853
JUNE	30	181	-3.3866
JULY	1	182	-3.5843
JULY	2	183	-3.7781
JULY	3	184	-3.9675
JULY	4	185	-4.1523
JULY	5	186	-4.3321
JULY	6	187	-4.5065
JULY	7	188	-4.6753
JULY	8	189	-4.8381
JULY	9	190	-4.9946
JULY	10	191	-5.1445
JULY	11	192	-5.2875
JULY	12	193	-5.4235
JULY	13	194	-5.5519
JULY	14	195	-5.6728
JULY	15	196	-5.7857
JULY	16	197	-5.8904
JULY	17	198	-5.9868
JULY	18	199	-6.0746
JULY	19	200	-6.1536
JULY	20	201	-6.2236
JULY	21	202	-6.2845
JULY	22	203	-6.3361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Equation of Time (°)
JULY	23	204	-6.3783
JULY	24	205	-6.4109
JULY	25	206	-6.4338
JULY	26	207	-6.4469
JULY	27	208	-6.4501
JULY	28	209	-6.4434
JULY	29	210	-6.4266
JULY	30	211	-6.3997
JULY	31	212	-6.3627
AUG	1	213	-6.3156
AUG	2	214	-6.2583
AUG	3	215	-6.1908
AUG	4	216	-6.1132
AUG	5	217	-6.0255
AUG	6	218	-5.9277
AUG	7	219	-5.8198
AUG	8	220	-5.7021
AUG	9	221	-5.5744
AUG	10	222	-5.4369
AUG	11	223	-5.2898
AUG	12	224	-5.1331
AUG	13	225	-4.9669
AUG	14	226	-4.7914
AUG	15	227	-4.6067
AUG	16	228	-4.4130
AUG	17	229	-4.2105
AUG	18	230	-3.9993
AUG	19	231	-3.7796
AUG	20	232	-3.5515
AUG	21	233	-3.3154
AUG	22	234	-3.0714
AUG	23	235	-2.8198
AUG	24	236	-2.5606
AUG	25	237	-2.2943
AUG	26	238	-2.0210
AUG	27	239	-1.7410
AUG	28	240	-1.4545
AUG	29	241	-1.1619
AUG	30	242	-0.8632
AUG	31	243	-0.5590
SEP	1	244	-0.2493

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Equation of Time (°)
SEP	2	245	0.0655
SEP	3	246	0.3851
SEP	4	247	0.7093
SEP	5	248	1.0377
SEP	6	249	1.3700
SEP	7	250	1.7060
SEP	8	251	2.0453
SEP	9	252	2.3876
SEP	10	253	2.7327
SEP	11	254	3.0801
SEP	12	255	3.4297
SEP	13	256	3.7810
SEP	14	257	4.1337
SEP	15	258	4.4876
SEP	16	259	4.8422
SEP	17	260	5.1974
SEP	18	261	5.5527
SEP	19	262	5.9077
SEP	20	263	6.2623
SEP	21	264	6.6161
SEP	22	265	6.9686
SEP	23	266	7.3197
SEP	24	267	7.6689
SEP	25	268	8.0159
SEP	26	269	8.3605
SEP	27	270	8.7022
SEP	28	271	9.0407
SEP	29	272	9.3757
SEP	30	273	9.7068
OCT	1	274	10.0338
OCT	2	275	10.3563
OCT	3	276	10.6739
OCT	4	277	10.9863
OCT	5	278	11.2933
OCT	6	279	11.5944
OCT	7	280	11.8893
OCT	8	281	12.1778
OCT	9	282	12.4594
OCT	10	283	12.7339
OCT	11	284	13.0010
OCT	12	285	13.2603

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Equation of Time (°)
OCT	13	286	13.5115
OCT	14	287	13.7542
OCT	15	288	13.9883
OCT	16	289	14.2134
OCT	17	290	14.4292
OCT	18	291	14.6353
OCT	19	292	14.8316
OCT	20	293	15.0177
OCT	21	294	15.1933
OCT	22	295	15.3581
OCT	23	296	15.5120
OCT	24	297	15.6546
OCT	25	298	15.7857
OCT	26	299	15.9051
OCT	27	300	16.0124
OCT	28	301	16.1076
OCT	29	302	16.1902
OCT	30	303	16.2603
OCT	31	304	16.3175
NOV	1	305	16.3617
NOV	2	306	16.3926
NOV	3	307	16.4102
NOV	4	308	16.4143
NOV	5	309	16.4048
NOV	6	310	16.3815
NOV	7	311	16.3442
NOV	8	312	16.2930
NOV	9	313	16.2278
NOV	10	314	16.1484
NOV	11	315	16.0549
NOV	12	316	15.9472
NOV	13	317	15.8252
NOV	14	318	15.6891
NOV	15	319	15.5387
NOV	16	320	15.3743
NOV	17	321	15.1957
NOV	18	322	15.0031
NOV	19	323	14.7965
NOV	20	324	14.5762
NOV	21	325	14.3421
NOV	22	326	14.0946

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month		N	Equation of Time (°)
NOV	23	327	13.8336
NOV	24	328	13.5595
NOV	25	329	13.2724
NOV	26	330	12.9726
NOV	27	331	12.6603
NOV	28	332	12.3357
NOV	29	333	11.9992
NOV	30	334	11.6511
DEC	1	335	11.2916
DEC	2	336	10.9211
DEC	3	337	10.5400
DEC	4	338	10.1487
DEC	5	339	9.7475
DEC	6	340	9.3368
DEC	7	341	8.9170
DEC	8	342	8.4887
DEC	9	343	8.0522
DEC	10	344	7.6080
DEC	11	345	7.1566
DEC	12	346	6.6984
DEC	13	347	6.2340
DEC	14	348	5.7639
DEC	15	349	5.2886
DEC	16	350	4.8087
DEC	17	351	4.3246
DEC	18	352	3.8369
DEC	19	353	3.3462
DEC	20	354	2.8530
DEC	21	355	2.3578
DEC	22	356	1.8614
DEC	23	357	1.3641
DEC	24	358	0.8666
DEC	25	359	0.3694
DEC	26	360	-0.1269
DEC	27	361	-0.6217
DEC	28	362	-1.1145
DEC	29	363	-1.6047
DEC	30	364	-2.0918
DEC	31	365	-2.5753

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการคำนวณ Altitude Angle, Azimuth Angle และ Hour Angle ในวันที่ 13/03/2559

LCT (min)	α = Altitude Angle ($^{\circ}$)	A= Azimuth Angle ($^{\circ}$)	Hour Angle ($^{\circ}$)
9.00	43.72	70.85	-43.215
9.10	45.09	70.01	-41.715
9.20	46.46	69.13	-40.215
9.30	47.81	68.21	-38.715
9.40	49.16	67.23	-37.215
9.50	50.50	66.19	-35.715
10.00	57.00	59.90	-28.215
10.10	58.25	58.37	-26.715
10.20	59.48	56.72	-25.215
10.30	60.69	54.95	-23.715
10.40	61.87	53.03	-22.215
10.50	63.02	50.96	-20.715
11.00	68.14	37.70	-13.215
11.10	69.00	34.35	-11.715
11.20	69.79	30.73	-10.215
11.30	70.49	26.85	-8.715
11.40	71.10	22.71	-7.215
11.50	71.61	18.32	-5.715
12.00	72.42	-5.89	1.785
12.10	72.21	-10.76	3.285
12.20	71.88	-15.48	4.785
12.30	71.43	-20.01	6.285
12.40	70.88	-24.31	7.785
12.50	70.23	-28.36	9.285
13.00	65.85	-44.68	16.785
13.10	64.81	-47.24	18.285
13.20	63.71	-49.59	19.785
13.30	62.59	-51.77	21.285
13.40	61.43	-53.78	22.785
13.50	60.24	-55.64	24.285
14.00	53.95	-63.15	31.785
14.10	52.65	-64.37	33.285
14.20	51.33	-65.51	34.785
14.30	49.99	-66.59	36.285
14.40	48.65	-67.61	37.785
14.50	47.30	-68.57	39.285
15.00	40.43	-72.68	46.785
15.10	39.03	-73.39	48.285

LCT (min)	α = Altitude Angle ($^{\circ}$)	A= Azimuth Angle ($^{\circ}$)	Hour Angle ($^{\circ}$)
15.20	37.63	-74.07	49.785
15.30	36.23	-74.72	51.285
15.40	34.82	-75.34	52.785
15.50	33.41	-75.94	54.285
16.00	26.31	-78.66	61.785

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณ Azimuth Angle, Altitude Angle ทุกวันที่ 1 แต่ละเดือนใน 1 ปี

LCT (min)	A_z = Azimuth Angle ($^{\circ}$)	$360+A$ ($^{\circ}$)	A_{α} = Altitude Angle ($^{\circ}$)
9.00	48.34	408.34	35.18
9.10	47.28	407.28	36.26
9.20	46.18	406.18	37.32
9.30	45.03	405.03	38.36
9.40	43.84	403.84	39.38
9.50	42.60	402.60	40.38
10.00	35.60	395.60	44.98
10.10	34.03	394.03	45.81
10.20	32.40	392.40	46.61
10.30	30.72	390.72	47.37
10.40	28.97	388.97	48.10
10.50	27.17	387.17	48.78
11.00	17.29	377.29	51.55
11.10	15.17	375.17	51.96
11.20	12.99	372.99	52.31
11.30	10.79	370.79	52.61
11.40	8.54	368.54	52.86
11.50	6.28	366.28	53.04
12.00	-5.21	354.79	53.11
12.10	-7.49	352.51	52.95
12.20	-9.74	350.26	52.73
12.30	-11.97	348.03	52.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
12.50	-16.31	343.69	51.74
13.00	-26.31	333.69	49.09
13.10	-28.14	331.86	48.42
13.20	-29.91	330.09	47.71
13.30	-31.62	328.38	46.97
13.40	-33.28	326.72	46.19
13.50	-34.87	325.13	45.37
14.00	-42.00	318.00	40.83
14.10	-43.26	316.74	39.85
14.20	-44.48	315.52	38.84
14.30	-45.65	314.35	37.81
14.40	-46.77	313.23	36.75
14.50	-47.85	312.15	35.68
15.00	-52.65	307.35	30.08
15.10	-53.50	306.50	28.91
15.20	-54.32	305.68	27.74
15.30	-55.11	304.89	26.55
15.40	-55.86	304.14	25.35
15.50	-56.59	303.41	24.14
16.00	-59.85	300.15	17.94
JAN			
9.00	55.66	415.66	36.44
9.10	54.68	414.68	37.63
9.20	53.65	413.65	38.82
9.30	52.58	412.58	39.98
9.40	51.45	411.45	41.13
9.50	50.28	410.28	42.26
10.00	43.53	403.53	47.59
10.10	41.98	401.98	48.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
10.30	38.67	398.67	50.46
10.40	36.90	396.90	51.36
10.50	35.05	395.05	52.21
11.00	24.55	384.55	55.85
11.10	22.20	382.20	56.43
11.20	19.78	379.78	56.95
11.30	17.28	377.28	57.41
11.40	14.72	374.72	57.81
11.50	12.10	372.10	58.15
12.00	-1.53	358.47	58.83
12.10	-4.29	355.71	58.75
12.20	-7.02	352.98	58.61
12.30	-9.73	350.27	58.40
12.40	-12.39	347.61	58.12
12.50	-15.01	344.99	57.77
13.00	-27.06	332.94	55.14
13.10	-29.23	330.77	54.46
13.20	-31.32	328.68	53.72
13.30	-33.33	326.67	52.94
13.40	-35.25	324.75	52.12
13.50	-37.10	322.90	51.26
14.00	-45.16	314.84	46.46
14.10	-46.57	313.43	45.41
14.20	-47.91	312.09	44.34
14.30	-49.19	310.81	43.25
14.40	-50.41	309.59	42.14
14.50	-51.58	308.42	41.00
15.00	-56.71	303.29	35.09
15.10	-57.60	302.40	33.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
15.30	-59.29	300.71	31.39
15.40	-60.09	299.91	30.13
15.50	-60.85	299.15	28.86
16.00	-64.25	295.75	22.40
FEB			
9.00	65.67	425.67	41.18
9.10	64.77	424.77	42.50
9.20	63.82	423.82	43.82
9.30	62.82	422.82	45.12
9.40	61.77	421.77	46.41
9.50	60.66	420.66	47.68
10.00	54.07	414.07	53.83
10.10	52.49	412.49	55.00
10.20	50.82	410.82	56.14
10.30	49.04	409.04	57.26
10.40	47.14	407.14	58.34
10.50	45.12	405.12	59.39
11.00	32.81	392.81	64.00
11.10	29.86	389.86	64.76
11.20	26.75	386.75	65.45
11.30	23.47	383.47	66.07
11.40	20.03	380.03	66.61
11.50	16.45	376.45	67.06
12.00	-2.85	357.15	67.94
12.10	-6.78	353.22	67.82
12.20	-10.64	349.36	67.60
12.30	-14.41	345.59	67.28
12.40	-18.07	341.93	66.87
12.50	-21.59	338.41	66.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
13.10	-39.32	320.68	61.89
13.20	-41.70	318.30	60.95
13.30	-43.94	316.06	59.96
13.40	-46.04	313.96	58.93
13.50	-48.01	311.99	57.86
14.00	-56.18	303.82	52.10
14.10	-57.53	302.47	50.88
14.20	-58.81	301.19	49.64
14.30	-60.02	299.98	48.38
14.40	-61.16	298.84	47.12
14.50	-62.25	297.75	45.83
15.00	-66.90	293.10	39.25
15.10	-67.71	292.29	37.91
15.20	-68.48	291.52	36.55
15.30	-69.21	290.79	35.20
15.40	-69.92	290.08	33.83
15.50	-70.60	289.40	32.46
16.00	-73.63	286.37	25.53
MAR			
9.00	80.08	440.08	47.55
9.10	79.43	439.43	48.99
9.20	78.75	438.75	50.42
9.30	78.04	438.04	51.84
9.40	77.28	437.28	53.27
9.50	76.47	436.47	54.69
10.00	71.47	431.47	61.70
10.10	70.20	430.20	63.07
10.20	68.82	428.82	64.44
10.30	67.30	427.30	65.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
10.50	63.75	423.75	68.45
11.00	50.11	410.11	74.60
11.10	46.10	406.10	75.68
11.20	41.49	401.49	76.70
11.30	36.18	396.18	77.61
11.40	30.11	390.11	78.41
11.50	23.24	383.24	79.07
12.00	-17.55	342.45	79.46
12.10	-24.98	335.02	78.92
12.20	-31.66	328.34	78.23
12.30	-37.54	322.46	77.40
12.40	-42.67	317.33	76.46
12.50	-47.13	312.87	75.43
13.00	-62.18	297.82	69.43
13.10	-64.22	295.78	68.13
13.20	-66.04	293.96	66.80
13.30	-67.68	292.32	65.46
13.40	-69.17	290.83	64.11
13.50	-70.52	289.48	62.74
14.00	-75.82	284.18	55.76
14.10	-76.67	283.33	54.34
14.20	-77.47	282.53	52.92
14.30	-78.22	281.78	51.50
14.40	-78.92	281.08	50.07
14.50	-79.59	280.41	48.64
15.00	-82.50	277.50	41.44
15.10	-83.01	276.99	40.00
15.20	-83.51	276.49	38.55
15.30	-83.99	276.01	37.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
15.50	-84.90	275.10	34.20
16.00	-86.97	273.03	26.94
APRIL			
9.00	83.64	443.64	51.19
9.10	83.77	443.77	52.64
9.20	83.89	443.89	54.09
9.30	84.01	444.01	55.54
9.40	84.11	444.11	56.99
9.50	84.20	444.20	58.44
10.00	84.46	444.46	65.69
10.10	84.45	444.45	67.15
10.20	84.43	444.43	68.60
10.30	84.37	444.37	70.05
10.40	84.29	444.29	71.50
10.50	84.17	444.17	72.95
11.00	82.56	442.56	80.21
11.10	81.84	441.84	81.66
11.20	80.80	440.80	83.11
11.30	79.21	439.21	84.55
11.40	76.50	436.50	85.99
11.50	70.87	430.87	87.41
12.00	-78.25	281.75	85.17
12.10	-80.21	279.79	83.73
12.20	-81.44	278.56	82.28
12.30	-82.28	277.72	80.83
12.40	-82.88	277.12	79.38
12.50	-83.33	276.67	77.93
13.00	-84.34	275.66	70.67
13.10	-84.41	275.59	69.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
13.30	-84.46	275.54	66.32
13.40	-84.45	275.55	64.87
13.50	-84.42	275.58	63.41
14.00	-84.05	275.95	56.16
14.10	-83.94	276.06	54.71
14.20	-83.83	276.17	53.26
14.30	-83.70	276.30	51.81
14.40	-83.57	276.43	50.37
14.50	-83.42	276.58	48.92
15.00	-82.62	277.38	41.69
15.10	-82.44	277.56	40.24
15.20	-82.26	277.74	38.80
15.30	-82.07	277.93	37.36
15.40	-81.87	278.13	35.91
15.50	-81.67	278.33	34.47
16.00	-80.60	279.40	27.27
MAY			
9.00	72.01	432.01	51.01
9.10	71.79	431.79	52.40
9.20	71.53	431.53	53.78
9.30	71.23	431.23	55.16
9.40	70.89	430.89	56.54
9.50	70.49	430.49	57.92
10.00	67.49	427.49	64.73
10.10	66.61	426.61	66.07
10.20	65.59	425.59	67.41
10.30	64.43	424.43	68.73
10.40	63.08	423.08	70.04
10.50	61.51	421.51	71.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
11.10	44.06	404.06	78.41
11.20	38.88	398.88	79.38
11.30	32.69	392.69	80.24
11.40	25.39	385.39	80.95
11.50	17.00	377.00	81.48
12.00	-28.57	331.43	80.67
12.10	-35.40	324.60	79.90
12.20	-41.15	318.85	78.99
12.30	-45.95	314.05	77.98
12.40	-49.95	310.05	76.90
12.50	-53.29	306.71	75.75
13.00	-63.66	296.34	69.49
13.10	-64.93	295.07	68.18
13.20	-66.03	293.97	66.85
13.30	-66.99	293.01	65.52
13.40	-67.82	292.18	64.17
13.50	-68.55	291.45	62.82
14.00	-71.04	288.96	55.97
14.10	-71.36	288.64	54.59
14.20	-71.64	288.36	53.21
14.30	-71.89	288.11	51.82
14.40	-72.09	287.91	50.44
14.50	-72.27	287.73	49.05
15.00	-72.74	287.26	42.10
15.10	-72.77	287.23	40.71
15.20	-72.78	287.22	39.32
15.30	-72.77	287.23	37.93
15.40	-72.75	287.25	36.53
15.50	-72.71	287.29	35.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
JUNE			
9.00	70.22	430.22	49.52
9.10	69.97	429.97	50.89
9.20	69.69	429.69	52.26
9.30	69.37	429.37	53.62
9.40	69.01	429.01	54.98
9.50	68.59	428.59	56.34
10.00	65.50	425.50	63.06
10.10	64.61	424.61	64.38
10.20	63.60	423.60	65.70
10.30	62.45	422.45	67.00
10.40	61.14	421.14	68.28
10.50	59.63	419.63	69.55
11.00	47.72	407.72	75.47
11.10	44.03	404.03	76.52
11.20	39.70	399.70	77.50
11.30	34.65	394.65	78.38
11.40	28.79	388.79	79.15
11.50	22.10	382.10	79.78
12.00	-17.90	342.10	80.07
12.10	-25.05	334.95	79.53
12.20	-31.39	328.61	78.84
12.30	-36.89	323.11	78.02
12.40	-41.63	318.37	77.09
12.50	-45.67	314.33	76.08
13.00	-58.67	301.33	70.27
13.10	-60.30	299.70	69.01
13.20	-61.72	298.28	67.73
13.30	-62.96	297.04	66.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
13.50	-65.00	295.00	63.82
14.00	-68.32	291.68	57.12
14.10	-68.77	291.23	55.76
14.20	-69.17	290.83	54.40
14.30	-69.52	290.48	53.04
14.40	-69.82	290.18	51.67
14.50	-70.08	289.92	50.30
15.00	-70.92	289.08	43.43
15.10	-71.00	289.00	42.06
15.20	-71.07	288.93	40.68
15.30	-71.11	288.89	39.30
15.40	-71.13	288.87	37.92
15.50	-71.14	288.86	36.54
16.00	-70.92	289.08	29.65
JULY			
9.00	78.25	438.25	49.13
9.10	78.24	438.24	50.56
9.20	78.22	438.22	51.98
9.30	78.18	438.18	53.41
9.40	78.11	438.11	54.84
9.50	78.02	438.02	56.26
10.00	77.07	437.07	63.38
10.10	76.74	436.74	64.80
10.20	76.36	436.36	66.22
10.30	75.89	435.89	67.64
10.40	75.34	435.34	69.05
10.50	74.68	434.68	70.46
11.00	68.57	428.57	77.40
11.10	66.32	426.32	78.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
11.30	59.58	419.58	81.36
11.40	54.38	414.38	82.59
11.50	47.16	407.16	83.73
12.00	-30.60	329.40	85.11
12.10	-42.65	317.35	84.23
12.20	-51.19	308.81	83.16
12.30	-57.27	302.73	81.97
12.40	-61.69	298.31	80.70
12.50	-65.01	294.99	79.40
13.00	-73.45	286.55	72.54
13.10	-74.31	285.69	71.14
13.20	-75.03	284.97	69.73
13.30	-75.64	284.36	68.32
13.40	-76.14	283.86	66.91
13.50	-76.56	283.44	65.49
14.00	-77.84	282.16	58.38
14.10	-77.97	282.03	56.95
14.20	-78.07	281.93	55.53
14.30	-78.15	281.85	54.10
14.40	-78.20	281.80	52.67
14.50	-78.23	281.77	51.25
15.00	-78.13	281.87	44.11
15.10	-78.06	281.94	42.69
15.20	-77.99	282.01	41.26
15.30	-77.90	282.10	39.84
15.40	-77.80	282.20	38.42
15.50	-77.69	282.31	36.99
16.00	-76.98	283.02	29.88
AUG			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
9.00	85.60	445.60	49.52
9.10	85.13	445.13	50.97
9.20	84.63	444.63	52.42
9.30	84.10	444.10	53.87
9.40	83.54	443.54	55.32
9.50	82.95	442.95	56.77
10.00	79.28	439.28	63.97
10.10	78.34	438.34	65.40
10.20	77.31	437.31	66.83
10.30	76.17	436.17	68.25
10.40	74.89	434.89	69.66
10.50	73.45	433.45	71.06
11.00	61.85	421.85	77.84
11.10	57.96	417.96	79.10
11.20	53.12	413.12	80.31
11.30	47.00	407.00	81.43
11.40	39.21	399.21	82.44
11.50	29.33	389.33	83.26
12.00	-34.92	325.08	82.85
12.10	-43.64	316.36	81.92
12.20	-50.47	309.53	80.84
12.30	-55.86	304.14	79.67
12.40	-60.16	299.84	78.43
12.50	-63.64	296.36	77.14
13.00	-74.25	285.75	70.31
13.10	-75.60	284.40	68.90
13.20	-76.80	283.20	67.48
13.30	-77.88	282.12	66.06
13.40	-78.86	281.14	64.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
14.00	-83.27	276.73	55.99
14.10	-83.85	276.15	54.54
14.20	-84.39	275.61	53.09
14.30	-84.90	275.10	51.64
14.40	-85.38	274.62	50.19
14.50	-85.85	274.15	48.73
15.00	-87.82	272.18	41.46
15.10	-88.13	271.87	40.00
15.20	-88.41	271.59	38.55
15.30	-88.63	271.37	37.09
15.40	-88.78	271.22	35.64
15.50	-88.82	271.18	34.18
16.00	-87.88	272.12	26.90
SEP			
9.00	67.93	427.93	48.21
9.10	66.94	426.94	49.56
9.20	65.88	425.88	50.89
9.30	64.76	424.76	52.22
9.40	63.57	423.57	53.53
9.50	62.30	422.30	54.83
10.00	54.42	414.42	61.04
10.10	52.46	412.46	62.21
10.20	50.34	410.34	63.35
10.30	48.04	408.04	64.46
10.40	45.55	405.55	65.52
10.50	42.86	402.86	66.54
11.00	25.68	385.68	70.69
11.10	21.46	381.46	71.27
11.20	17.00	377.00	71.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
11.40	7.50	367.50	72.37
11.50	2.57	362.57	72.50
12.00	-21.31	338.69	71.29
12.10	-25.53	334.47	70.71
12.20	-29.50	330.50	70.03
12.30	-33.21	326.79	69.27
12.40	-36.64	323.36	68.44
12.50	-39.82	320.18	67.54
13.00	-52.39	307.61	62.25
13.10	-54.35	305.65	61.08
13.20	-56.17	303.83	59.89
13.30	-57.86	302.14	58.66
13.40	-59.43	300.57	57.42
13.50	-60.89	299.11	56.15
14.00	-66.90	293.10	49.61
14.10	-67.90	292.10	48.26
14.20	-68.84	291.16	46.91
14.30	-69.74	290.26	45.54
14.40	-70.59	289.41	44.17
14.50	-71.39	288.61	42.79
15.00	-74.91	285.09	35.82
15.10	-75.53	284.47	34.41
15.20	-76.12	283.88	33.00
15.30	-76.70	283.30	31.58
15.40	-77.25	282.75	30.17
15.50	-77.78	282.22	28.74
16.00	-80.23	279.77	21.59
OCT			
9.00	53.14	413.14	43.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
9.20	50.63	410.63	46.12
9.30	49.28	409.28	47.24
9.40	47.86	407.86	48.33
9.50	46.37	406.37	49.40
10.00	37.70	397.70	54.29
10.10	35.70	395.70	55.16
10.20	33.59	393.59	55.99
10.30	31.39	391.39	56.77
10.40	29.09	389.09	57.51
10.50	26.69	386.69	58.19
11.00	13.29	373.29	60.70
11.10	10.38	370.38	61.00
11.20	7.42	367.42	61.22
11.30	4.42	364.42	61.37
11.40	1.40	361.40	61.45
11.50	-1.63	358.37	61.44
12.00	-16.35	343.65	60.30
12.10	-19.11	340.89	59.85
12.20	-21.79	338.21	59.34
12.30	-24.38	335.62	58.77
12.40	-26.87	333.13	58.14
12.50	-29.26	330.74	57.46
13.00	-39.75	320.25	53.31
13.10	-41.56	318.44	52.36
13.20	-43.29	316.71	51.38
13.30	-44.93	315.07	50.36
13.40	-46.49	313.51	49.32
13.50	-47.97	312.03	48.25
14.00	-54.39	305.61	42.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
14.20	-56.56	303.44	40.17
14.30	-57.57	302.43	38.94
14.40	-58.53	301.47	37.71
14.50	-59.46	300.54	36.46
15.00	-63.52	296.48	30.06
15.10	-64.24	295.76	28.75
15.20	-64.93	295.07	27.43
15.30	-65.59	294.41	26.11
15.40	-66.23	293.77	24.78
15.50	-66.85	293.15	23.44
16.00	-69.62	290.38	16.68
NOV			
9.00	46.79	406.79	38.50
9.10	45.61	405.61	39.55
9.20	44.39	404.39	40.58
9.30	43.12	403.12	41.59
9.40	41.79	401.79	42.57
9.50	40.41	400.41	43.53
10.00	32.63	392.63	47.87
10.10	30.88	390.88	48.64
10.20	29.08	389.08	49.37
10.30	27.21	387.21	50.06
10.40	25.27	385.27	50.70
10.50	23.28	383.28	51.30
11.00	12.48	372.48	53.55
11.10	10.18	370.18	53.83
11.20	7.85	367.85	54.06
11.30	5.49	365.49	54.23
11.40	3.12	363.12	54.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCT (min)	A= Azimuth Angle (°)	360+A (°)	α = Altitude Angle (°)
12.00	-11.07	348.93	53.73
12.10	-13.35	346.65	53.42
12.20	-15.59	344.41	53.06
12.30	-17.79	342.21	52.64
12.40	-19.93	340.07	52.17
12.50	-22.02	337.98	51.65
13.00	-31.56	328.44	48.35
13.10	-33.28	326.72	47.57
13.20	-34.94	325.06	46.75
13.30	-36.53	323.47	45.90
13.40	-38.06	321.94	45.02
13.50	-39.54	320.46	44.10
14.00	-46.07	313.93	39.15
14.10	-47.23	312.77	38.09
14.20	-48.33	311.67	37.01
14.30	-49.40	310.60	35.91
14.40	-50.42	309.58	34.80
14.50	-51.40	308.60	33.67
15.00	-55.76	304.24	27.80
15.10	-56.53	303.47	26.59
15.20	-57.27	302.73	25.37
15.30	-57.99	302.01	24.14
15.40	-58.68	301.32	22.90
15.50	-59.34	300.66	21.65
16.00	-62.31	297.69	15.29
DEC			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดง Analemma Curve ที่เวลา 12.00 น. ของวันที่ 1 ใน 1 ปี

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
-23.0300	-3.2616
-22.9484	-3.7339
-22.8596	-4.2007
-22.7638	-4.6615
-22.6610	-5.1158
-22.5511	-5.5631
-22.4344	-6.0030
-22.3107	-6.4350
-22.1802	-6.8587
-22.0429	-7.2736
-21.8989	-7.6794
-21.7482	-8.0755
-21.5910	-8.4617
-21.4272	-8.8376
-21.2570	-9.2028
-21.0804	-9.5570
-20.8974	-9.8999
-20.7083	-10.2312
-20.5130	-10.5506
-20.3115	-10.8579
-20.1041	-11.1528
-19.8908	-11.4351
-19.6717	-11.7046
-19.4468	-11.9612
-19.2162	-12.2047
-18.9801	-12.4349
-18.7385	-12.6518
-18.4915	-12.8551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
-18.2392	-13.0449
-17.9816	-13.2211
-17.7190	-13.3836
-17.4514	-13.5325
-17.1788	-13.6676
-16.9014	-13.7890
-16.6192	-13.8968
-16.3325	-13.9909
-16.0412	-14.0715
-15.7454	-14.1386
-15.4453	-14.1923
-15.1410	-14.2327
-14.8326	-14.2599
-14.5201	-14.2741
-14.2036	-14.2753
-13.8833	-14.2639
-13.5593	-14.2399
-13.2317	-14.2035
-12.9005	-14.1549
-12.5658	-14.0943
-12.2279	-14.0220
-11.8867	-13.9382
-11.5423	-13.8430
-11.1950	-13.7368
-10.8447	-13.6198
-10.4916	-13.4922
-10.1357	-13.3544
-9.7772	-13.2065
-9.4162	-13.0490

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
-9.0527	-12.8819
-8.6870	-12.7058
-8.3190	-12.5208
-7.9488	-12.3272
-7.5766	-12.1254
-7.2026	-11.9156
-6.8266	-11.6982
-6.4490	-11.4735
-6.0697	-11.2418
-5.6889	-11.0034
-5.3066	-10.7587
-4.9230	-10.5079
-4.5382	-10.2514
-4.1522	-9.9895
-3.7652	-9.7226
-3.3773	-9.4510
-2.9885	-9.1750
-2.5989	-8.8949
-2.2087	-8.6111
-1.8180	-8.3239
-1.4268	-8.0337
-1.0353	-7.7407
-0.6435	-7.4453
-0.2515	-7.1479
0.1405	-6.8487
0.5325	-6.5481
0.9244	-6.2465
1.3160	-5.9441
1.7073	-5.6413

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
2.0982	-5.3384
2.4885	-5.0357
2.8783	-4.7336
3.2673	-4.4324
3.6555	-4.1324
4.0428	-3.8339
4.4290	-3.5373
4.8142	-3.2428
5.1982	-2.9508
5.5808	-2.6615
5.9620	-2.3754
6.3418	-2.0926
6.7199	-1.8135
7.0963	-1.5383
7.4710	-1.2675
7.8437	-1.0012
8.2144	-0.7397
8.5830	-0.4834
8.9494	-0.2325
9.3135	0.0128
9.6753	0.2522
10.0345	0.4854
10.3911	0.7122
10.7450	0.9323
11.0961	1.1454
11.4443	1.3515
11.7895	1.5502
12.1316	1.7414
12.4705	1.9248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
12.8061	2.1002
13.1383	2.2674
13.4669	2.4264
13.7920	2.5768
14.1134	2.7186
14.4309	2.8517
14.7445	2.9757
15.0541	3.0908
15.3596	3.1966
15.6609	3.2932
15.9579	3.3805
16.2505	3.4583
16.5385	3.5266
16.8220	3.5854
17.1007	3.6346
17.3747	3.6742
17.6437	3.7042
17.9078	3.7245
18.1668	3.7352
18.4206	3.7364
18.6691	3.7280
18.9122	3.7102
19.1499	3.6829
19.3821	3.6464
19.6086	3.6006
19.8294	3.5457
20.0444	3.4818
20.2534	3.4090
20.4566	3.3276

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
20.6536	3.2376
20.8445	3.1393
21.0292	3.0329
21.2076	2.9184
21.3797	2.7963
21.5453	2.6666
21.7044	2.5297
21.8569	2.3858
22.0028	2.2351
22.1420	2.0780
22.2744	1.9146
22.4000	1.7454
22.5188	1.5706
22.6306	1.3905
22.7354	1.2055
22.8332	1.0159
22.9240	0.8220
23.0076	0.6242
23.0841	0.4228
23.1534	0.2182
23.2155	0.0107
23.2704	-0.1992
23.3180	-0.4113
23.3583	-0.6250
23.3913	-0.8401
23.4170	-1.0562
23.4354	-1.2729
23.4464	-1.4897
23.4501	-1.7064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
23.4464	-1.9225
23.4354	-2.1376
23.4170	-2.3514
23.3913	-2.5634
23.3583	-2.7733
23.3180	-2.9807
23.2704	-3.1853
23.2155	-3.3866
23.1534	-3.5843
23.0841	-3.7781
23.0076	-3.9675
22.9240	-4.1523
22.8332	-4.3321
22.7354	-4.5065
22.6306	-4.6753
22.5188	-4.8381
22.4000	-4.9946
22.2744	-5.1445
22.1420	-5.2875
22.0028	-5.4235
21.8569	-5.5519
21.7044	-5.6728
21.5453	-5.7857
21.3797	-5.8904
21.2076	-5.9868
21.0292	-6.0746
20.8445	-6.1536
20.6536	-6.2236
20.4566	-6.2845

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
20.2534	-6.3361
20.0444	-6.3783
19.8294	-6.4109
19.6086	-6.4338
19.3821	-6.4469
19.1499	-6.4501
18.9122	-6.4434
18.6691	-6.4266
18.4206	-6.3997
18.1668	-6.3627
17.9078	-6.3156
17.6437	-6.2583
17.3747	-6.1908
17.1007	-6.1132
16.8220	-6.0255
16.5385	-5.9277
16.2505	-5.8198
15.9579	-5.7021
15.6609	-5.5744
15.3596	-5.4369
15.0541	-5.2898
14.7445	-5.1331
14.4309	-4.9669
14.1134	-4.7914
13.7920	-4.6067
13.4669	-4.4130
13.1383	-4.2105
12.8061	-3.9993
12.4705	-3.7796

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
12.1316	-3.5515
11.7895	-3.3154
11.4443	-3.0714
11.0961	-2.8198
10.7450	-2.5606
10.3911	-2.2943
10.0345	-2.0210
9.6753	-1.7410
9.3135	-1.4545
8.9494	-1.1619
8.5830	-0.8632
8.2144	-0.5590
7.8437	-0.2493
7.4710	0.0655
7.0963	0.3851
6.7199	0.7093
6.3418	1.0377
5.9620	1.3700
5.5808	1.7060
5.1982	2.0453
4.8142	2.3876
4.4290	2.7327
4.0428	3.0801
3.6555	3.4297
3.2673	3.7810
2.8783	4.1337
2.4885	4.4876
2.0982	4.8422
1.7073	5.1974

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
1.3160	5.5527
0.9244	5.9077
0.5325	6.2623
0.1405	6.6161
-0.2515	6.9686
-0.6435	7.3197
-1.0353	7.6689
-1.4268	8.0159
-1.8180	8.3605
-2.2087	8.7022
-2.5989	9.0407
-2.9885	9.3757
-3.3773	9.7068
-3.7652	10.0338
-4.1522	10.3563
-4.5382	10.6739
-4.9230	10.9863
-5.3066	11.2933
-5.6889	11.5944
-6.0697	11.8893
-6.4490	12.1778
-6.8266	12.4594
-7.2026	12.7339
-7.5766	13.0010
-7.9488	13.2603
-8.3190	13.5115
-8.6870	13.7542
-9.0527	13.9883
-9.4162	14.2134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
-9.7772	14.4292
-10.1357	14.6353
-10.4916	14.8316
-10.8447	15.0177
-11.1950	15.1933
-11.5423	15.3581
-11.8867	15.5120
-12.2279	15.6546
-12.5658	15.7857
-12.9005	15.9051
-13.2317	16.0124
-13.5593	16.1076
-13.8833	16.1902
-14.2036	16.2603
-14.5201	16.3175
-14.8326	16.3617
-15.1410	16.3926
-15.4453	16.4102
-15.7454	16.4143
-16.0412	16.4048
-16.3325	16.3815
-16.6192	16.3442
-16.9014	16.2930
-17.1788	16.2278
-17.4514	16.1484
-17.7190	16.0549
-17.9816	15.9472
-18.2392	15.8252
-18.4915	15.6891

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
-18.7385	15.5387
-18.9801	15.3743
-19.2162	15.1957
-19.4468	15.0031
-19.6717	14.7965
-19.8908	14.5762
-20.1041	14.3421
-20.3115	14.0946
-20.5130	13.8336
-20.7083	13.5595
-20.8974	13.2724
-21.0804	12.9726
-21.2570	12.6603
-21.4272	12.3357
-21.5910	11.9992
-21.7482	11.6511
-21.8989	11.2916
-22.0429	10.9211
-22.1802	10.5400
-22.3107	10.1487
-22.4344	9.7475
-22.5511	9.3368
-22.6610	8.9170
-22.7638	8.4887
-22.8596	8.0522
-22.9484	7.6080
-23.0300	7.1566
-23.1045	6.6984
-23.1718	6.2340

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination Angle (°)	Equation of Time (min)
-23.2318	5.7639
-23.2846	5.2886
-23.3302	4.8087
-23.3684	4.3246
-23.3994	3.8369
-23.4230	3.3462
-23.4393	2.8530
-23.4482	2.3578
-23.4498	1.8614
-23.4440	1.3641
-23.4309	0.8666
-23.4105	0.3694
-23.3827	-0.1269
-23.3477	-0.6217
-23.3053	-1.1145
-23.2556	-1.6047
-23.1987	-2.0918
-23.1346	-2.5753

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุท

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุท(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมิท(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20
21	21	21
22	22	22
23	23	23
24	24	24
25	25	25
26	26	26
27	27	27
28	28	28
29	29	29
30	30	30
31	31	31
32	32	32
33	33	33
34	34	34
35	35	35
36	36	36
37	37	37
38	38	38
39	39	39
40	40	40
41	41	41
42	42	42
43	43	43
44	44	44
45	45	45
46	46	46
47	47	47
48	48	48
49	49	49
50	50	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุต(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
51	51	51
52	52	52
53	53	53
54	54	54
55	55	55
56	56	56
57	57	57
58	58	58
59	59	59
60	60	60
61	61	61
62	62	62
63	63	63
64	64	64
65	65	65
66	66	66
67	67	67
68	68	68
69	69	69
70	70	70
71	71	71
72	72	72
73	73	73
74	74	74
75	75	75
76	76	76
77	77	77
78	78	78
79	79	79
80	80	80
81	81	81
82	82	82
83	83	83
84	84	84
85	85	85
86	86	86
87	87	87
88	88	88
89	89	89
90	90	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุท(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
91	91	91
92	92	92
93	93	93
94	94	94
95	95	95
96	96	96
97	97	97
98	98	98
99	99	99
100	100	100
101	101	101
102	102	102
103	103	103
104	104	104
105	105	105
106	106	106
107	107	107
108	108	108
109	109	109
110	110	110
111	111	111
112	112	112
113	113	113
114	114	114
115	115	115
116	116	116
117	117	117
118	118	118
119	119	119
120	120	120
121	121	121
122	122	122
123	123	123
124	124	124
125	125	125
126	126	126
127	127	127
128	128	128
129	129	129
130	130	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุต(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
131	131	131
132	132	132
133	133	133
134	134	134
135	135	135
136	136	136
137	137	137
138	138	138
139	139	139
140	140	140
141	141	141
142	142	142
143	143	143
144	144	144
145	145	145
146	146	146
147	147	147
148	148	148
149	149	149
150	150	150
151	151	151
152	152	152
153	153	153
154	154	154
155	155	155
156	156	156
157	157	157
158	158	158
159	159	159
160	160	160
161	161	161
162	162	162
163	163	163
164	164	164
165	165	165
166	166	166
167	167	167
168	168	168
169	169	169
170	170	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมูท(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
171	171	171
172	172	172
173	173	173
174	174	174
175	175	175
176	176	176
177	177	177
178	178	178
179	179	179
180	180	180
181	181	181
182	182	182
183	183	183
184	184	184
185	185	185
186	186	186
187	187	187
188	188	188
189	189	189
190	190	190
191	191	191
192	192	192
193	193	193
194	194	194
195	195	195
196	196	196
197	197	197
198	198	198
199	199	199
200	200	200
201	201	201
202	202	202
203	203	203
204	204	204
205	205	205
206	206	206
207	207	207
208	208	208
209	209	209
210	210	210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุต(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
211	211	211
212	212	212
213	213	213
214	214	214
215	215	215
216	216	216
217	217	217
218	218	218
219	219	219
220	220	220
221	221	221
222	222	222
223	223	223
224	224	224
225	225	225
226	226	226
227	227	227
228	228	228
229	229	229
230	230	230
231	231	231
232	232	232
233	233	233
234	234	234
235	235	235
236	236	236
237	237	237
238	238	238
239	239	239
240	240	240
241	241	241
242	242	242
243	243	243
244	244	244
245	245	245
246	246	246
247	247	247
248	248	248
249	249	249
250	250	250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโดเตอร์แนวแกนอะซิมุต(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
251	251	251
252	252	252
253	253	253
254	254	254
255	255	255
256	256	256
257	257	257
258	258	258
259	259	259
260	260	260
261	261	261
262	262	262
263	263	263
264	264	264
265	265	265
266	266	266
267	267	267
268	268	268
269	269	269
270	270	270
271	271	271
272	272	272
273	273	273
274	274	274
275	275	275
276	276	276
277	277	277
278	278	278
279	279	279
280	280	280
281	281	281
282	282	282
283	283	283
284	284	284
285	285	285
286	286	286
287	287	287
288	288	288
289	289	289
290	290	290

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุท(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
291	291	291
292	292	292
293	293	293
294	294	294
295	295	295
296	296	296
297	297	297
298	298	298
299	299	299
300	300	300
301	301	301
302	302	302
303	303	303
304	304	304
305	305	305
306	306	306
307	307	307
308	308	308
309	309	309
310	310	310
311	311	311
312	312	312
313	313	313
314	314	314
315	315	315
316	316	316
317	317	317
318	318	318
319	319	319
320	320	320
321	321	321
322	322	322
323	323	323
324	324	324
325	325	325
326	326	326
327	327	327
328	328	328
329	329	329
330	330	330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตไ้หนำไปใ้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโคดีเดอร์แนวแกนอะซิมุต(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
331	331	331
332	332	332
333	333	333
334	334	334
335	335	335
336	336	336
337	337	337
338	338	338
339	339	339
340	340	340
341	341	341
342	342	342
343	343	343
344	344	344
345	345	345
346	346	346
347	347	347
348	348	348
349	349	349
350	350	350
351	351	351
352	352	352
353	353	353
354	354	354
355	355	355
356	356	356
357	357	357
358	358	358
359	359	359
360	360	360
361	361	361
362	362	362
363	363	363
364	364	364
365	365	365
366	366	366
367	367	367
368	368	368
369	369	369
370	370	370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอะซิมุต(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
371	371	371
372	372	372
373	373	373
374	374	374
375	375	375
376	376	376
377	377	377
378	378	378
379	379	379
380	380	380
381	381	381
382	382	382
383	383	383
384	384	384
385	385	385
386	386	386
387	387	387
388	388	388
389	389	389
390	390	390
391	391	391
392	392	392
393	393	393
394	394	394
395	395	395
396	396	396
397	397	397
398		398
		399

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติจูด

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติจูด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติจูด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	0	0	701	704	703
1	1	1	702	705	704
2	2	2	703	706	705
3	3	3	704	707	706

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ		
จุด(CPR)			จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
4	4	4	705	708	707
5	5	5	706	709	708
6	6	3	707	710	709
7	7	4	708	711	710
8	8	5	709	712	711
6	9	6	710	713	712
7	10	7	711	714	713
8	11	8	712	715	714
9	12	9	713	716	715
10	13	10	714	717	716
11	14	11	715	718	717
12	15	12	716	719	718
13	16	13	717	720	719
14	17	14	718	721	720
15	18	15	719	722	721
16	19	16	720	723	722
17	20	17	721	724	723
18	21	18	722	725	724
19	22	19	723	726	725
20	23	20	724	727	726
21	24	21	725	728	727
22	25	22	726	729	728
23	26	23	727	730	729
24	25	24	728	731	730
25	26	25	729	732	731
26	27	26	730	733	732
27	28	27	731	734	733
28	29	28	732	735	734
29	30	29	733	736	735
30	31	30	734	737	736
31	32	31	735	738	737
32	33	32	736	739	738
33	34	33	737	740	739
34	35	34	738	741	740
35	36	35	739	742	741
36	37	36	740	743	742
37	38	37	741	744	743
38	39	38	742	745	744
39	40	39	743	746	745

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ		
จุด(CPR)			จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
40	41	40	744	747	746
41	42	41	745	748	747
42	43	42	746	749	748
43	44	43	747	750	749
44	45	44	748	751	750
45	46	45	749	752	751
46	47	46	750	753	752
47	48	47	751	754	753
48	49	48	752	755	754
49	50	49	753	756	755
50	51	50	754	757	756
51	52	51	755	758	757
52	53	52	756	759	758
53	54	53	757	760	759
54	55	54	758	761	760
55	56	55	759	762	761
56	57	56	760	763	762
57	58	57	761	764	763
58	59	58	762	765	764
59	60	59	763	766	765
60	61	60	764	767	766
61	62	61	765	768	767
62	63	62	766	769	768
63	64	63	767	770	769
64	65	64	768	771	770
65	66	65	769	772	771
66	67	66	770	773	772
67	68	67	771	774	773
68	69	68	772	775	774
69	70	69	773	776	775
70	71	70	774	777	776
71	72	71	775	778	777
72	73	72	776	779	778
73	74	73	777	780	779
74	75	74	778	781	780
75	76	75	779	782	781
76	77	76	780	783	782
77	78	77	781	784	783
78	79	78	782	785	784

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 3
79	80	79	783	786	785
80	81	80	784	787	786
81	82	81	785	788	787
82	83	82	786	789	788
83	84	83	787	790	789
84	85	84	788	791	790
85	86	85	789	792	791
86	87	86	790	793	792
87	88	87	791	794	793
88	89	88	792	795	794
89	90	89	793	796	795
90	91	90	794	797	796
91	92	91	795	798	797
92	93	92	796	799	798
93	94	93	797	800	799
94	95	94	798	801	800
95	96	95	799	802	801
96	97	96	800	803	802
97	98	97	801	804	803
98	99	98	802	805	804
99	100	99	803	806	805
100	101	100	804	807	806
101	102	101	805	808	807
102	103	102	806	809	808
103	104	103	807	810	809
104	105	104	808	811	810
105	106	105	809	812	811
106	107	106	810	813	812
107	108	107	811	814	813
108	109	108	812	815	814
109	110	109	813	816	815
110	111	110	814	817	816
111	112	111	815	818	817
112	113	112	816	819	818
113	114	113	817	820	819
114	115	114	818	821	820
115	116	115	819	822	821
116	117	116	820	823	822
117	118	117	821	824	823

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 3
118	119	118	822	825	824
119	120	119	823	826	825
120	121	120	824	827	826
121	122	121	825	828	827
122	123	122	826	829	828
123	124	123	827	830	829
124	125	124	828	831	830
125	126	125	829	832	831
126	127	126	830	833	832
127	128	127	831	834	833
128	129	128	832	835	834
129	130	129	833	836	835
130	131	130	834	837	836
131	132	131	835	838	837
132	133	132	836	839	838
133	134	133	837	840	839
134	135	134	838	841	840
135	136	135	839	842	841
136	137	136	840	843	842
137	138	137	841	844	843
138	139	138	842	845	844
139	140	139	843	846	845
140	141	140	844	847	846
141	142	141	845	848	847
142	143	142	846	849	848
143	144	143	847	850	849
144	145	144	848	851	850
145	146	145	849	852	851
146	147	146	850	853	852
147	148	147	851	854	853
148	149	148	852	855	854
149	150	149	853	856	855
150	151	150	854	857	856
151	152	151	855	858	857
152	153	152	856	859	858
153	154	153	857	860	859
154	155	154	858	861	860
155	156	155	859	862	861
156	157	156	860	863	862

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
157	158	157	861	864	863
158	159	158	862	865	864
159	160	159	863	866	865
160	161	160	864	867	866
161	162	161	865	868	867
162	163	162	866	869	868
163	164	163	867	870	869
164	165	164	868	871	870
165	166	165	869	872	871
166	167	166	870	873	872
167	168	167	871	874	873
168	169	168	872	875	874
169	170	169	873	876	875
170	171	170	874	877	876
171	172	171	875	878	877
172	173	172	876	879	878
173	174	173	877	880	879
174	175	174	878	881	880
175	176	175	879	882	881
176	177	176	880	883	882
177	178	177	881	884	883
178	179	178	882	885	884
179	180	179	883	886	885
180	181	180	884	887	886
181	182	181	885	888	887
182	183	182	886	889	888
183	184	183	887	890	889
184	185	184	888	891	890
185	186	185	889	892	891
186	187	186	890	893	892
187	188	187	891	894	893
188	189	188	892	895	894
189	190	189	893	896	895
190	191	190	894	897	896
191	192	191	895	898	897
192	193	192	896	899	898
193	194	193	897	900	899
194	195	194	898	901	900
195	196	195	899	902	901

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ		
จุด(CPR)			จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
196	197	196	900	903	902
197	198	197	901	904	903
198	199	198	902	905	904
199	200	199	903	906	905
200	201	200	904	907	906
201	202	201	905	908	907
202	203	202	906	909	908
203	204	203	907	910	909
204	205	204	908	911	910
205	206	205	909	912	911
206	207	206	910	913	912
207	208	207	911	914	913
208	209	208	912	915	914
209	210	209	913	916	915
210	211	210	914	917	916
211	212	211	915	918	917
212	213	212	916	919	918
213	214	213	917	920	919
214	215	214	918	921	920
215	216	215	919	922	921
216	217	216	920	923	922
217	218	217	921	924	923
218	219	218	922	925	924
219	220	219	923	926	925
220	221	220	924	927	926
221	222	221	925	928	927
222	223	222	926	929	928
223	224	223	927	930	929
224	225	224	928	931	930
225	226	225	929	932	931
226	227	226	930	933	932
227	228	227	931	934	933
228	229	228	932	935	934
229	230	229	933	936	935
230	231	230	934	937	936
231	232	231	935	938	937
232	233	232	936	939	938
233	234	233	937	940	939
234	235	234	938	941	940

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
235	236	235	939	942	941
236	237	236	940	943	942
237	238	237	941	944	943
238	239	238	942	945	944
239	240	239	943	946	945
240	241	240	944	947	946
241	242	241	945	948	947
242	243	242	946	949	948
243	244	243	947	950	949
244	245	244	948	951	950
245	246	245	949	952	951
246	247	246	950	953	952
247	248	247	951	954	953
248	249	248	952	955	954
249	250	249	953	956	955
250	251	250	954	957	956
251	252	251	955	958	957
252	253	252	956	959	958
253	254	253	957	960	959
254	255	254	958	961	960
255	256	255	959	962	961
256	257	256	960	963	962
257	258	257	961	964	963
258	259	258	962	965	964
259	260	259	963	966	965
260	261	260	964	967	966
261	262	261	965	968	967
262	263	262	966	969	968
263	264	263	967	970	969
264	265	264	968	971	970
265	266	265	969	972	971
266	267	266	970	973	972
267	268	267	971	974	973
268	269	268	972	975	974
269	270	269	973	976	975
270	271	270	974	977	976
271	272	271	975	978	977
272	273	272	976	979	978
273	274	273	977	980	979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
274	275	274	978	981	980
275	276	275	979	982	981
276	277	276	980	983	982
277	278	277	981	984	983
278	279	278	982	985	984
279	280	279	983	986	985
280	281	280	984	987	986
281	282	281	985	988	987
282	283	282	986	989	988
283	284	283	987	990	989
284	285	284	988	991	990
285	286	285	989	992	991
286	287	286	990	993	992
287	288	287	991	994	993
288	289	288	992	995	994
289	290	289	993	996	995
290	291	290	994	997	996
291	292	291	995	998	997
292	293	292	996	999	998
293	294	293	997	1000	999
294	295	294	998	1001	1000
295	296	295	999	1002	1001
296	297	296	1000	1003	1002
297	298	297	1001	1004	1003
298	299	298	1002	1005	1004
299	300	299	1003	1006	1005
300	301	300	1004	1007	1006
301	302	301	1005	1008	1007
302	303	302	1006	1009	1008
303	304	303	1007	1010	1009
304	305	304	1008	1011	1010
305	306	305	1009	1012	1011
306	307	306	1010	1013	1012
307	308	307	1011	1014	1013
308	309	308	1012	1015	1014
309	310	309	1013	1016	1015
310	311	310	1014	1017	1016
311	312	311	1015	1018	1017
312	313	312	1016	1019	1018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
313	314	313	1017	1020	1019
314	315	314	1018	1021	1020
315	316	315	1019	1022	1021
316	317	316	1020	1023	1022
317	318	317	1021	1024	1023
318	319	318	1022	1025	1024
319	320	319	1023	1026	1025
320	321	320	1024	1027	1026
321	322	321	1025	1028	1027
322	323	322	1026	1029	1028
323	324	323	1027	1030	1029
324	325	324	1028	1031	1030
325	326	325	1029	1032	1031
326	327	326	1030	1033	1032
327	328	327	1031	1034	1033
328	329	328	1032	1035	1034
329	330	329	1033	1036	1035
330	331	330	1034	1037	1036
331	332	331	1035	1038	1037
332	333	332	1036	1039	1038
333	334	333	1037	1040	1039
334	335	334	1038	1041	1040
335	336	335	1039	1042	1041
336	337	336	1040	1043	1042
337	338	337	1041	1044	1043
338	339	338	1042	1045	1044
339	340	339	1043	1046	1045
340	341	340	1044	1047	1046
341	342	341	1045	1048	1047
342	343	342	1046	1049	1048
343	344	343	1047	1050	1049
344	345	344	1048	1051	1050
345	346	345	1049	1052	1051
346	347	346	1050	1053	1052
347	348	347	1051	1054	1053
348	349	348	1052	1055	1054
349	350	349	1053	1056	1055
350	351	350	1054	1057	1056
351	352	351	1055	1058	1057

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
352	353	352	1056	1059	1058
353	354	353	1057	1060	1059
354	355	354	1058	1061	1060
355	356	355	1059	1062	1061
356	357	356	1060	1063	1062
357	358	357	1061	1064	1063
358	359	358	1062	1065	1064
359	360	359	1063	1066	1065
360	361	360	1064	1067	1066
361	362	361	1065	1068	1067
362	363	362	1066	1069	1068
363	364	363	1067	1070	1069
364	365	364	1068	1071	1070
365	366	365	1069	1072	1071
366	367	366	1070	1073	1072
367	368	367	1071	1074	1073
368	369	368	1072	1075	1074
369	370	369	1073	1076	1075
370	371	370	1074	1077	1076
371	372	371	1075	1078	1077
372	373	372	1076	1079	1078
373	374	373	1077	1080	1079
374	375	374	1078	1081	1080
375	376	375	1079	1082	1081
376	377	376	1080	1083	1082
377	378	377	1081	1084	1083
378	379	378	1082	1085	1084
379	380	379	1083	1086	1085
380	381	380	1084	1087	1086
381	382	381	1085	1088	1087
382	383	382	1086	1089	1088
383	384	383	1087	1090	1089
384	385	384	1088	1091	1090
385	386	385	1089	1092	1091
386	387	386	1090	1093	1092
387	388	387	1091	1094	1093
388	389	388	1092	1095	1094
389	390	389	1093	1096	1095
390	391	390	1094	1097	1096

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
391	392	391	1095	1098	1097
392	393	392	1096	1099	1098
393	394	393	1097	1100	1099
394	395	394	1098	1101	1100
395	396	395	1099	1102	1101
396	397	396	1100	1103	1102
397	398	397	1101	1104	1103
398	399	398	1102	1105	1104
399	400	399	1103	1106	1105
400	401	400	1104	1107	1106
401	402	401	1105	1108	1107
402	403	402	1106	1109	1108
403	404	403	1107	1110	1109
404	405	404	1108	1111	1110
405	406	405	1109	1112	1111
406	407	406	1110	1113	1112
407	408	407	1111	1114	1113
408	409	408	1112	1115	1114
409	410	409	1113	1116	1115
410	411	410	1114	1117	1116
411	412	411	1115	1118	1117
412	413	412	1116	1119	1118
413	414	413	1117	1120	1119
414	415	414	1118	1121	1120
415	416	415	1119	1122	1121
416	417	416	1120	1123	1122
417	418	417	1121	1124	1123
418	419	418	1122	1125	1124
419	420	419	1123	1126	1125
420	421	420	1124	1127	1126
421	422	421	1125	1128	1127
422	423	422	1126	1129	1128
423	424	423	1127	1130	1129
424	425	424	1128	1131	1130
425	426	425	1129	1132	1131
426	427	426	1130	1133	1132
427	428	427	1131	1134	1133
428	429	428	1132	1135	1134
429	430	429	1133	1136	1135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
430	431	430	1134	1137	1136
431	432	431	1135	1138	1137
432	433	432	1136	1139	1138
433	434	433	1137	1140	1139
434	435	434	1138	1141	1140
435	436	435	1139	1142	1141
436	437	436	1140	1143	1142
437	438	437	1141	1144	1143
438	439	438	1142	1145	1144
439	440	439	1143	1146	1145
440	441	440	1144	1147	1146
441	442	441	1145	1148	1147
442	443	442	1146	1149	1148
443	444	443	1147	1150	1149
444	445	444	1148	1151	1150
445	446	445	1149	1152	1151
446	447	446	1150	1153	1152
447	448	447	1151	1154	1153
448	449	448	1152	1155	1154
449	450	449	1153	1156	1155
450	451	450	1154	1157	1156
451	452	451	1155	1158	1157
452	453	452	1156	1159	1158
453	454	453	1157	1160	1159
454	455	454	1158	1161	1160
455	456	455	1159	1162	1161
456	457	456	1160	1163	1162
457	458	457	1161	1164	1163
458	459	458	1162	1165	1164
459	460	459	1163	1166	1165
460	461	460	1164	1167	1166
461	462	461	1165	1168	1167
462	463	462	1166	1169	1168
463	464	463	1167	1170	1169
464	465	464	1168	1171	1170
465	466	465	1169	1172	1171
466	467	466	1170	1173	1172
467	468	467	1171	1174	1173
468	469	468	1172	1175	1174

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
469	470	469	1173	1176	1175
470	471	470	1174	1177	1176
471	472	471	1175	1178	1177
472	473	472	1176	1179	1178
473	474	473	1177	1180	1179
474	475	474	1178	1181	1180
475	476	475	1179	1182	1181
476	477	476	1180	1183	1182
477	478	477	1181	1184	1183
478	479	478	1182	1185	1184
479	480	479	1183	1186	1185
480	481	480	1184	1187	1186
481	482	481	1185	1188	1187
482	483	482	1186	1189	1188
483	484	483	1187	1190	1189
484	485	484	1188	1191	1190
485	486	485	1189	1192	1191
486	487	486	1190	1193	1192
487	488	487	1191	1194	1193
488	489	488	1192	1195	1194
489	490	489	1193	1196	1195
490	491	490	1194	1197	1196
491	492	491	1195	1198	1197
492	493	492	1196	1199	1198
493	494	493	1197	1200	1199
494	495	494	1198	1201	1200
495	496	495	1199	1202	1201
496	497	496	1200	1203	1202
497	498	497	1201	1204	1203
498	499	498	1202	1205	1204
499	500	499	1203	1206	1205
500	501	500	1204	1207	1206
501	502	501	1205	1208	1207
502	503	502	1206	1209	1208
503	504	503	1207	1210	1209
504	505	504	1208	1211	1210
505	506	505	1209	1212	1211
506	507	506	1210	1213	1212
507	508	507	1211	1214	1213

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ		
จุด(CPR)			จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
508	509	508	1212	1215	1214
509	510	509	1213	1216	1215
510	511	510	1214	1217	1216
511	512	511	1215	1218	1217
512	513	512	1216	1219	1218
513	514	513	1217	1220	1219
514	515	514	1218	1221	1220
515	516	515	1219	1222	1221
516	517	516	1220	1223	1222
517	518	517	1221	1224	1223
518	519	518	1222	1225	1224
519	520	519	1223	1226	1225
520	521	520	1224	1227	1226
521	522	521	1225	1228	1227
522	523	522	1226	1229	1228
523	524	523	1227	1230	1229
524	525	524	1228	1231	1230
525	526	525	1229	1232	1231
526	527	526	1230	1233	1232
527	528	527	1231	1234	1233
528	529	528	1232	1235	1234
529	530	529	1233	1236	1235
530	531	530	1234	1237	1236
531	532	531	1235	1238	1237
532	533	532	1236	1239	1238
533	534	533	1237	1240	1239
534	535	534	1238	1241	1240
535	536	535	1239	1242	1241
536	537	536	1240	1243	1242
537	538	537	1241	1244	1243
538	539	538	1242	1245	1244
539	540	539	1243	1246	1245
540	541	540	1244	1247	1246
541	542	541	1245	1248	1247
542	543	542	1246	1249	1248
543	544	543	1247	1250	1249
544	545	544	1248	1251	1250
545	546	545	1249	1252	1251
546	547	546	1250	1253	1252

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
547	548	547	1251	1254	1253
548	549	548	1252	1255	1254
549	550	549	1253	1256	1255
550	551	550	1254	1257	1256
551	552	551	1255	1258	1257
552	553	552	1256	1259	1258
553	554	553	1257	1260	1259
554	555	554	1258	1261	1260
555	556	555	1259	1262	1261
556	557	556	1260	1263	1262
557	558	557	1261	1264	1263
558	559	558	1262	1265	1264
559	560	559	1263	1266	1265
560	561	560	1264	1267	1266
561	562	561	1265	1268	1267
562	563	562	1266	1269	1268
563	564	563	1267	1270	1269
564	565	564	1268	1271	1270
565	566	565	1269	1272	1271
566	567	566	1270	1273	1272
567	568	567	1271	1274	1273
568	569	568	1272	1275	1274
569	570	569	1273	1276	1275
570	571	570	1274	1277	1276
571	572	571	1275	1278	1277
572	573	572	1276	1279	1278
573	574	573	1277	1280	1279
574	575	574	1278	1281	1280
575	576	575	1279	1282	1281
576	577	576	1280	1283	1282
577	578	577	1281	1284	1283
578	579	578	1282	1285	1284
577	580	579	1283	1286	1285
578	581	580	1284	1287	1286
579	582	581	1285	1288	1287
580	583	582	1286	1289	1288
581	584	583	1287	1290	1289
582	585	584	1288	1291	1290
583	586	585	1289	1292	1291

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
584	587	586	1290	1293	1292
585	588	587	1291	1294	1293
586	589	588	1292	1295	1294
587	590	589	1293	1296	1295
588	591	590	1294	1297	1296
589	592	591	1295	1298	1297
590	593	592	1296	1299	1298
591	594	593	1297	1300	1299
592	595	594	1298	1301	1300
593	596	595	1299	1302	1301
594	597	596	1300	1303	1302
595	598	597	1301	1304	1303
596	599	598	1302	1305	1304
597	600	599	1303	1306	1305
598	601	600	1304	1307	1306
599	602	601	1305	1308	1307
600	603	602	1306	1309	1308
601	604	603	1307	1310	1309
602	605	604	1308	1311	1310
603	606	605	1309	1312	1311
604	607	606	1310	1313	1312
605	608	607	1311	1314	1313
606	609	608	1312	1315	1314
607	610	609	1313	1316	1315
608	611	610	1314	1317	1316
609	612	611	1315	1318	1317
610	613	612	1316	1319	1318
611	614	613	1317	1320	1319
612	615	614	1318	1321	1320
613	616	615	1319	1322	1321
614	617	616	1320	1323	1322
615	618	617	1321	1324	1323
616	619	618	1322	1325	1324
617	620	619	1323	1326	1325
618	621	620	1324	1327	1326
619	622	621	1325	1328	1327
620	623	622	1326	1329	1328
621	624	623	1327	1330	1329
622	625	624	1328	1331	1330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
623	626	625	1329	1332	1331
624	627	626	1330	1333	1332
625	628	627	1331	1334	1333
626	629	628	1332	1335	1334
627	630	629	1333	1336	1335
628	631	630	1334	1337	1336
629	632	631	1335	1338	1337
630	633	632	1336	1339	1338
631	634	633	1337	1340	1339
632	635	634	1338	1341	1340
633	636	635	1339	1342	1341
634	637	636	1340	1343	1342
635	638	637	1341	1344	1343
636	639	638	1342	1345	1344
637	640	639	1343	1346	1345
638	641	640	1344	1347	1346
639	642	641	1345	1348	1347
640	643	642	1346	1349	1348
641	644	643	1347	1350	1349
642	645	644	1348	1351	1350
643	646	645	1349	1352	1351
644	647	646	1350	1353	1352
645	648	647	1351	1354	1353
646	649	648	1352	1355	1354
647	650	649	1353	1356	1355
648	651	650	1354	1357	1356
649	652	651	1355	1358	1357
650	653	652	1356	1359	1358
651	654	653	1357	1360	1359
652	655	654	1358	1361	1360
653	656	655	1359	1362	1361
654	657	656	1360	1363	1362
655	658	657	1361	1364	1363
656	659	658	1362	1365	1364
657	660	659	1363	1366	1365
658	661	660	1364	1367	1366
659	662	661	1365	1368	1367
660	663	662	1366	1369	1368
661	664	663	1367	1370	1369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)			การทดสอบความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์แนวแกนอัลติ จุด(CPR)		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
662	665	664	1368	1371	1370
663	666	665	1369	1372	1371
664	667	666	1370	1373	1372
665	668	667	1371	1374	1373
666	669	668	1372	1375	1374
667	670	669	1373	1376	1375
668	671	670	1374	1377	1376
669	672	671	1375	1378	1377
670	673	672	1376	1379	1378
671	674	673	1377	1380	1379
672	675	674	1378	1381	1380
673	676	675	1379	1382	1381
674	677	676	1380	1383	1382
675	678	677	1381	1384	1383
676	679	678	1382	1385	1384
677	680	679	1383	1386	1385
678	681	680	1384	1387	1386
679	682	681	1385	1388	1387
680	683	682	1386	1389	1388
681	684	683	1387	1390	1389
682	685	684	1388	1391	1390
683	686	685	1389	1392	1391
684	687	686	1390	1393	1392
685	688	687	1391	1394	1393
686	689	688	1392	1395	1394
687	690	689	1393	1396	1395
688	691	690	1394		1396
689	692	691	1395		1397
690	693	692	1396		
691	694	693			
692	695	694			
693	696	695			
694	697	696			
695	698	697			
696	699	698			
697	700	699			
698	701	700			
699	702	701			
700	703	702			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าแรงดันขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงทุกตัว

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.19	1.15	1.39	2.29	1.56	1.39	1.05	1.88
2	2.19	1.15	1.39	2.29	1.56	1.39	1.04	1.87
3	2.22	1.14	1.35	2.21	1.52	1.36	1.05	1.90
4	2.22	1.14	1.35	2.21	1.52	1.37	1.06	1.90
5	2.23	1.14	1.35	2.21	1.52	1.37	1.06	1.89
6	2.23	1.14	1.35	2.21	1.52	1.37	1.06	1.89
7	2.23	1.14	1.35	2.20	1.52	1.37	1.06	1.89
8	2.23	1.14	1.35	2.21	1.52	1.37	1.06	1.88
9	2.23	1.14	1.35	2.21	1.52	1.37	1.06	1.88
10	2.23	1.14	1.35	2.21	1.52	1.36	1.05	1.88
11	2.23	1.14	1.35	2.21	1.52	1.37	1.06	1.88
12	2.23	1.14	1.35	2.21	1.51	1.37	1.06	1.88
13	2.23	1.14	1.35	2.21	1.51	1.36	1.06	1.88
14	2.24	1.14	1.34	2.21	1.51	1.36	1.05	1.88
15	2.24	1.14	1.35	2.21	1.51	1.37	1.06	1.87
16	2.24	1.14	1.35	2.21	1.51	1.36	1.06	1.87
17	2.24	1.14	1.35	2.21	1.51	1.37	1.06	1.87
18	2.24	1.14	1.35	2.21	1.51	1.36	1.06	1.87
19	2.24	1.14	1.35	2.21	1.51	1.36	1.06	1.87
20	2.24	1.14	1.35	2.22	1.51	1.37	1.06	1.87

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความต้านขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงทุกตัว

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.78	0.30	0.38	0.85	0.46	0.38	0.26	0.60
2	0.78	0.30	0.38	0.84	0.46	0.38	0.26	0.60
3	0.80	0.29	0.37	0.79	0.43	0.37	0.27	0.61
4	0.80	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.61
5	0.80	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.61
6	0.80	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.61
7	0.80	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.61
8	0.80	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.60
9	0.80	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.60
10	0.80	0.29	0.37	0.79	0.43	0.37	0.27	0.60
11	0.81	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.60
12	0.81	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13	0.81	0.29	0.37	0.79	0.43	0.37	0.27	0.60
14	0.81	0.29	0.37	0.79	0.43	0.37	0.27	0.60
15	0.81	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.60
16	0.81	0.29	0.37	0.79	0.43	0.37	0.27	0.60
17	0.81	0.29	0.37	0.79	0.43	0.38	0.27	0.60
18	0.81	0.29	0.37	0.79	0.43	0.37	0.27	0.60
19	0.81	0.29	0.37	0.79	0.43	0.37	0.27	0.60
20	0.81	0.29	0.37	0.80	0.43	0.38	0.27	0.60

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	4.90	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.83
2	4.90	1.16	1.39	2.28	1.52	1.36	1.04	1.83
3	4.90	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.83
4	4.91	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.82
5	4.90	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.83
6	4.92	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.83
7	4.92	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.83
8	4.92	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.82
9	4.90	1.16	1.38	2.28	1.53	1.36	1.04	1.82
10	4.91	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.82
11	4.91	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.82
12	4.91	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.82
13	4.90	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.82
14	4.90	1.16	1.38	2.28	1.52	1.36	1.04	1.82
15	4.91	1.16	1.39	2.28	1.52	1.36	1.04	1.82
16	4.90	1.16	1.39	2.28	1.52	1.36	1.04	1.82
17	4.91	1.16	1.39	2.28	1.52	1.36	1.04	1.82
18	4.90	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.82
19	4.91	1.16	1.39	2.28	1.52	1.36	1.04	1.82
20	4.90	1.16	1.39	2.28	1.53	1.36	1.04	1.82

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความต้านทานขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
2	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
3	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
4	55.83	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57

5	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
6	59.18	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
7	59.18	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
8	59.18	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
9	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
10	55.83	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
11	52.84	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
12	52.84	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
13	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
14	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
15	52.84	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
16	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
17	52.84	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
18	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
19	52.84	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
20	50.15	0.3	0.38	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.23	4.87	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
2	2.23	4.87	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.82
3	2.23	4.87	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
4	2.23	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
5	2.24	4.87	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
6	2.24	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
7	2.24	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
8	2.24	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
9	2.24	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
10	2.24	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
11	2.24	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
12	2.24	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
13	2.24	4.85	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
14	2.25	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
15	2.25	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
16	2.25	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
17	2.25	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
18	2.25	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
19	2.25	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81
20	2.25	4.86	1.4	2.29	1.52	1.35	1.03	1.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.81	36.89	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
2	0.81	38.35	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
3	0.81	36.89	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
4	0.81	35.54	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
5	0.81	35.54	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
6	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
7	0.81	35.54	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
8	0.81	35.54	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
9	0.81	35.54	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
10	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
11	0.81	33.10	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
12	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
13	0.81	34.28	0.39	0.85	0.44	0.37	0.26	0.57
14	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
15	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
16	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
17	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
18	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
19	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57
20	0.81	34.28	0.39	0.84	0.44	0.37	0.26	0.57

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.24	1.26	4.81	2.27	1.51	1.34	1.03	1.81
2	2.24	1.26	4.81	2.27	1.51	1.34	1.03	1.81
3	2.24	1.26	4.81	2.27	1.51	1.34	1.03	1.81
4	2.24	1.26	4.81	2.27	1.51	1.35	1.03	1.81
5	2.24	1.26	4.82	2.27	1.51	1.34	1.03	1.81
6	2.25	1.26	4.81	2.27	1.51	1.34	1.03	1.81
7	2.35	1.26	4.82	2.27	1.51	1.34	1.03	1.81
8	2.27	1.26	4.82	2.27	1.51	1.34	1.03	1.81
9	2.27	1.26	4.82	2.27	1.51	1.34	1.03	1.81
10	2.45	1.26	4.82	2.27	1.51	1.35	1.03	1.81
11	2.52	1.26	4.83	2.27	1.52	1.35	1.03	1.81
12	2.60	1.27	4.83	2.27	1.52	1.35	1.03	1.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13	2.59	1.27	4.83	2.27	1.51	1.35	1.03	1.81
14	2.61	1.27	4.83	2.27	1.52	1.35	1.03	1.81
15	2.34	1.26	4.82	2.27	1.51	1.34	1.03	1.81
16	2.63	1.27	4.82	2.28	1.52	1.35	1.03	1.81
17	2.66	1.27	4.83	2.27	1.52	1.35	1.03	1.81
18	2.65	1.27	4.83	2.27	1.52	1.35	1.03	1.81
19	2.69	1.27	4.83	2.28	1.52	1.35	1.03	1.81
20	2.69	1.27	4.83	2.28	1.51	1.35	1.04	1.81

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าความต้านทานขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.81	0.34	25.92	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
2	0.81	0.34	25.92	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
3	0.81	0.34	25.92	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
4	0.81	0.34	25.92	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
5	0.81	0.34	26.65	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
6	0.82	0.34	25.92	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
7	0.88	0.34	26.65	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
8	0.83	0.34	26.65	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
9	0.83	0.34	26.65	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
10	0.96	0.34	27.42	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
11	1.01	0.34	28.23	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
12	1.08	0.34	28.23	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
13	1.07	0.34	28.23	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
14	1.09	0.34	28.23	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
15	0.88	0.34	26.65	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
16	1.11	0.34	26.65	0.84	0.43	0.37	0.26	0.57
17	1.14	0.34	28.23	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
18	1.13	0.34	28.23	0.83	0.43	0.37	0.26	0.57
19	1.17	0.34	29.09	0.84	0.43	0.37	0.26	0.57
20	1.16	0.34	28.23	0.84	0.43	0.37	0.26	0.57

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าแรงดันขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.56	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.82
2	2.72	1.27	1.38	4.95	1.51	1.34	1.04	1.82
3	2.69	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.82
4	2.69	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	2.68	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.82
6	2.71	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.82
7	2.70	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.82
8	2.39	1.26	1.38	4.92	1.51	1.34	1.04	1.82
9	2.71	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.81
10	2.69	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.81
11	2.70	1.27	1.38	4.93	1.51	1.35	1.04	1.81
12	2.27	1.26	1.38	4.9	1.50	1.34	1.04	1.81
13	2.55	1.27	1.38	4.93	1.51	1.34	1.04	1.81
14	2.49	1.27	1.38	4.93	1.51	1.34	1.03	1.81
15	2.74	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.81
16	2.75	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.81
17	2.84	1.27	1.39	4.94	1.51	1.34	1.04	1.81
18	2.87	1.27	1.39	4.94	1.51	1.34	1.04	1.81
19	2.83	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.82
20	2.74	1.27	1.38	4.94	1.51	1.34	1.04	1.81

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	1.05	0.34	0.38	84.25	0.43	0.37	0.26	0.57
2	1.19	0.34	0.38	92	0.43	0.37	0.26	0.57
3	1.16	0.34	0.38	84.25	0.43	0.37	0.26	0.57
4	1.16	0.34	0.38	84.25	0.43	0.37	0.26	0.57
5	1.16	0.34	0.38	77.69	0.43	0.37	0.26	0.57
6	1.18	0.34	0.38	77.69	0.43	0.37	0.26	0.57
7	1.18	0.34	0.38	77.69	0.43	0.37	0.26	0.57
8	0.92	0.34	0.38	62.94	0.43	0.37	0.26	0.57
9	1.18	0.34	0.38	77.69	0.43	0.37	0.26	0.57
10	1.16	0.34	0.38	77.69	0.43	0.37	0.26	0.57
11	1.17	0.34	0.38	72.07	0.43	0.37	0.26	0.57
12	0.83	0.34	0.38	50.15	0.43	0.37	0.26	0.57
13	1.04	0.34	0.38	72.07	0.43	0.37	0.26	0.57
14	0.99	0.34	0.38	67.2	0.43	0.37	0.26	0.57
15	1.21	0.34	0.38	77.69	0.43	0.37	0.26	0.57
16	1.22	0.34	0.38	77.69	0.43	0.37	0.26	0.57
17	1.31	0.34	0.38	77.69	0.43	0.37	0.26	0.57
18	1.35	0.34	0.38	84.25	0.43	0.37	0.26	0.57
19	1.31	0.34	0.38	84.25	0.43	0.37	0.26	0.57
20	1.2	0.34	0.38	77.69	0.43	0.37	0.26	0.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าแรงดันขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.26	1.23	1.33	2.19	4.55	1.37	1.07	1.83
2	2.27	1.23	1.33	2.19	4.55	1.37	1.07	1.83
3	2.27	1.25	1.35	2.22	4.55	1.35	1.05	1.81
4	2.26	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.81
5	2.27	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.81
6	2.27	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.81
7	2.27	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.81
8	2.27	1.25	1.35	2.21	4.55	1.35	1.05	1.81
9	2.27	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80
10	2.27	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80
11	2.27	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80
12	2.27	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80
13	2.28	1.25	1.35	2.23	4.54	1.35	1.05	1.80
14	2.28	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80
15	2.28	1.25	1.35	2.21	4.54	1.35	1.05	1.80
16	2.28	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80
17	2.28	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80
18	2.28	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80
19	2.28	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80
20	2.28	1.25	1.35	2.22	4.54	1.35	1.05	1.80

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.83	0.33	0.36	0.78	10.00	0.38	0.27	0.58
2	0.83	0.33	0.36	0.78	10.00	0.38	0.27	0.58
3	0.83	0.33	0.37	0.80	10.00	0.37	0.27	0.57
4	0.83	0.33	0.37	0.80	9.88	0.37	0.27	0.57
5	0.83	0.33	0.37	0.80	9.88	0.37	0.27	0.57
6	0.83	0.33	0.37	0.80	9.88	0.37	0.27	0.57
7	0.83	0.33	0.37	0.80	9.88	0.37	0.27	0.57
8	0.83	0.33	0.37	0.79	10.00	0.37	0.27	0.57
9	0.83	0.33	0.37	0.80	9.88	0.37	0.27	0.56
10	0.83	0.33	0.37	0.80	9.88	0.37	0.27	0.56
11	0.83	0.33	0.37	0.80	9.77	0.37	0.27	0.56
12	0.83	0.33	0.37	0.80	9.77	0.37	0.27	0.56
13	0.83	0.33	0.37	0.80	9.77	0.37	0.27	0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	0.84	0.33	0.37	0.79	9.77	0.37	0.27	0.56
15	0.84	0.33	0.37	0.80	9.88	0.37	0.27	0.56
16	0.84	0.33	0.37	0.80	9.77	0.37	0.27	0.56
17	0.84	0.33	0.37	0.80	9.77	0.37	0.27	0.56
18	0.84	0.33	0.37	0.80	9.77	0.37	0.27	0.56
19	0.84	0.33	0.37	0.80	9.77	0.37	0.27	0.56
20	0.84	0.33	0.37	0.80	9.77	0.37	0.27	0.56

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าแรงดันขณะเซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.78	1.06	1.81
2	2.27	1.24	1.34	2.21	1.50	4.60	1.09	1.80
3	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.50	1.11	1.80
4	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.69	1.06	1.80
5	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.69	1.06	1.80
6	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.57	1.09	1.80
7	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.59	1.08	1.80
8	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.66	1.07	1.80
9	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.67	1.06	1.80
10	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.67	1.06	1.80
11	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.67	1.06	1.80
12	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.66	1.06	1.80
13	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.67	1.06	1.80
14	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.66	1.06	1.80
15	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.66	1.06	1.80
16	2.29	1.24	1.34	2.21	1.50	4.66	1.06	1.80
17	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.65	1.06	1.80
18	2.28	1.24	1.34	2.21	1.50	4.65	1.06	1.80
19	2.29	1.24	1.34	2.21	1.50	4.65	1.06	1.80
20	2.29	1.24	1.34	2.21	1.50	4.65	1.06	1.80

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าความต้านทานขณะเซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	21.73	0.27	0.57
2	0.83	0.33	0.37	0.79	0.43	11.63	0.28	0.56
3	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	8.93	0.29	0.56
4	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	15.24	0.27	0.56
5	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	14.98	0.27	0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	10.63	0.28	0.56
7	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	11.33	0.28	0.56
8	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	13.61	0.27	0.56
9	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	14.04	0.27	0.56
10	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	14.04	0.27	0.56
11	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	14.04	0.27	0.56
12	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	13.83	0.27	0.56
13	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	14.27	0.27	0.56
14	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	13.61	0.27	0.56
15	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	13.61	0.27	0.56
16	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	13.61	0.27	0.56
17	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	13.41	0.27	0.56
18	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	13.41	0.27	0.56
19	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	13.41	0.27	0.56
20	0.84	0.33	0.37	0.79	0.43	13.41	0.27	0.56

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าแรงดันขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.27	1.23	1.33	2.21	1.51	1.37	4.64	1.80
2	2.27	1.23	1.33	2.21	1.51	1.37	4.61	1.80
3	2.27	1.22	1.33	2.21	1.51	1.38	4.60	1.80
4	2.27	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.59	1.80
5	2.27	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.59	1.80
6	2.27	1.22	1.33	2.21	1.51	1.38	4.59	1.80
7	2.27	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.58	1.80
8	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.58	1.80
9	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.58	1.80
10	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.58	1.80
11	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.58	1.80
12	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.57	1.80
13	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.57	1.80
14	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.57	1.80
15	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.57	1.79
16	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.57	1.80
17	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.57	1.80
18	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.57	1.79
19	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.57	1.79
20	2.28	1.22	1.33	2.21	1.50	1.38	4.57	1.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.83	0.33	0.36	0.79	0.43	0.38	13.01	0.56
2	0.83	0.33	0.36	0.79	0.43	0.38	11.79	0.56
3	0.83	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	11.63	0.56
4	0.83	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	11.33	0.56
5	0.83	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	11.18	0.56
6	0.83	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	11.18	0.56
7	0.83	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	11.04	0.56
8	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	11.04	0.56
9	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.90	0.56
10	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.90	0.56
11	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.90	0.56
12	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.76	0.56
13	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.76	0.56
14	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.76	0.56
15	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.76	0.56
16	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.76	0.56
17	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.76	0.56
18	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.76	0.56
19	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.63	0.56
20	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.38	10.63	0.56

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.29	1.22	1.33	2.21	1.51	1.39	1.08	4.68
2	2.29	1.22	1.33	2.21	1.51	1.39	1.08	4.64
3	2.28	1.22	1.32	2.20	1.51	1.39	1.08	4.62
4	2.29	1.22	1.32	2.21	1.51	1.39	1.08	4.61
5	2.29	1.22	1.32	2.21	1.51	1.39	1.08	4.60
6	2.29	1.22	1.32	2.21	1.51	1.39	1.08	4.60
7	2.29	1.22	1.32	2.20	1.51	1.39	1.08	4.60
8	2.29	1.22	1.33	2.21	1.51	1.40	1.08	4.60
9	2.29	1.22	1.32	2.20	1.51	1.39	1.08	4.60
10	2.29	1.22	1.32	2.21	1.51	1.39	1.08	4.60
11	2.29	1.22	1.33	2.21	1.51	1.39	1.08	4.60
12	2.29	1.22	1.33	2.21	1.51	1.39	1.08	4.60
13	2.29	1.22	1.33	2.21	1.51	1.39	1.08	4.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	2.29	1.22	1.33	2.21	1.51	1.39	1.08	4.61
15	2.29	1.22	1.33	2.21	1.51	1.39	1.08	4.60
16	2.29	1.22	1.33	2.21	1.51	1.39	1.08	4.60
17	2.29	1.22	1.33	2.20	1.51	1.39	1.08	4.60
18	2.29	1.22	1.32	2.21	1.51	1.39	1.08	4.60
19	2.29	1.22	1.32	2.20	1.51	1.39	1.08	4.61
20	2.29	1.22	1.32	2.21	1.51	1.39	1.08	4.61

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสง

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.27	14.50
2	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.27	13.01
3	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.27	12.29
4	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.27	11.95
5	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
6	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
7	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
8	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
9	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
10	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.48
11	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
12	0.85	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
13	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
14	0.85	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.79
15	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
16	0.85	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
17	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
18	0.85	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.63
19	0.84	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.79
20	0.85	0.32	0.36	0.79	0.43	0.39	0.28	11.79

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงอาทิตย์ทุกตัว

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	1.23	0.68	0.75	1.18	0.88	0.83	0.58	1.28
2	1.30	0.71	0.78	1.24	0.91	0.83	0.60	1.30
3	1.19	0.65	0.71	1.12	0.84	0.78	0.55	1.19
4	1.12	0.60	0.66	1.05	0.79	0.74	0.51	1.11
5	1.16	0.62	0.68	1.08	0.81	0.78	0.53	1.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	1.06	0.56	0.62	0.97	0.74	0.73	0.48	1.03
7	1.05	0.56	0.62	0.98	0.73	0.78	0.48	1.00
8	1.11	0.59	0.65	1.03	0.76	0.95	0.50	1.02
9	1.12	0.59	0.65	1.03	0.74	0.79	0.48	1.01
10	1.16	0.60	0.66	1.07	0.79	0.88	0.51	1.05
11	1.31	0.67	0.73	1.18	0.87	0.93	0.55	1.18
12	1.42	0.74	0.82	1.30	0.93	0.97	0.62	1.26
13	1.40	0.73	0.80	1.28	0.92	0.97	0.60	1.24
14	1.41	0.73	0.80	1.29	0.92	0.90	0.62	1.24
15	1.40	0.73	0.81	1.29	0.91	0.88	0.59	1.22
16	1.24	0.66	0.73	1.14	0.80	0.79	0.51	1.09
17	1.16	0.60	0.64	1.00	0.74	0.76	0.51	1.06
18	1.20	0.62	0.66	1.03	0.77	0.79	0.53	1.08
19	1.20	0.63	0.68	1.09	0.80	0.80	0.52	1.07
20	1.14	0.62	0.69	1.10	0.81	0.81	0.50	1.02

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงได้รับแสงอาทิตย์ทุกตัว

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.33	0.16	0.18	0.31	0.21	0.20	0.13	0.34
2	0.35	0.17	0.19	0.33	0.22	0.20	0.14	0.35
3	0.31	0.15	0.17	0.29	0.20	0.19	0.12	0.31
4	0.29	0.14	0.15	0.26	0.19	0.17	0.11	0.29
5	0.30	0.14	0.16	0.28	0.19	0.18	0.12	0.29
6	0.27	0.13	0.14	0.24	0.17	0.17	0.11	0.26
7	0.27	0.13	0.14	0.24	0.17	0.18	0.11	0.25
8	0.29	0.13	0.15	0.26	0.18	0.23	0.11	0.26
9	0.29	0.13	0.15	0.26	0.17	0.19	0.11	0.25
10	0.30	0.14	0.15	0.27	0.19	0.21	0.11	0.27
11	0.36	0.15	0.17	0.31	0.21	0.23	0.12	0.31
12	0.40	0.17	0.20	0.35	0.23	0.24	0.14	0.34
13	0.39	0.17	0.19	0.34	0.23	0.24	0.14	0.33
14	0.39	0.17	0.19	0.35	0.23	0.22	0.14	0.33
15	0.39	0.17	0.19	0.35	0.22	0.21	0.13	0.32
16	0.33	0.15	0.17	0.29	0.19	0.19	0.11	0.28
17	0.30	0.14	0.15	0.25	0.17	0.18	0.11	0.27
18	0.31	0.14	0.15	0.26	0.18	0.19	0.12	0.27
19	0.31	0.14	0.16	0.28	0.19	0.19	0.12	0.27
20	0.30	0.14	0.16	0.28	0.19	0.19	0.11	0.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	4.69	0.60	0.66	1.07	0.77	0.82	0.51	1.05
2	4.76	0.65	0.70	1.13	0.82	0.83	0.58	1.15
3	4.80	0.76	0.83	1.25	0.95	1.00	0.63	1.24
4	4.77	0.75	0.83	1.35	0.94	0.87	0.59	1.18
5	4.68	0.62	0.70	1.15	0.80	0.75	0.49	1.01
6	4.64	0.56	0.63	1.01	0.73	0.69	0.47	0.96
7	4.65	0.57	0.63	1.02	0.73	0.71	0.48	0.96
8	4.65	0.57	0.63	1.01	0.73	0.56	0.47	0.96
9	4.70	0.60	0.65	1.04	0.75	0.58	0.52	1.02
10	4.90	1.07	1.15	1.85	1.29	1.01	0.88	1.55
11	4.80	0.78	0.86	1.39	0.97	0.75	0.65	1.24
12	4.65	0.60	0.66	1.05	0.77	0.60	0.51	1.00
13	4.65	0.60	0.66	1.05	0.76	0.60	0.51	0.99
14	4.65	0.60	0.65	1.04	0.76	0.59	0.50	0.97
15	4.66	0.61	0.66	1.05	0.76	0.59	0.51	0.96
16	4.64	0.61	0.66	1.06	0.77	0.60	0.51	0.97
17	4.64	0.61	0.66	1.05	0.77	0.59	0.51	0.96
18	4.64	0.61	0.66	1.06	0.77	0.60	0.51	0.98
19	4.64	0.61	0.67	1.06	0.77	0.60	0.51	0.98
20	4.64	0.61	0.66	1.05	0.76	0.59	0.51	0.96

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 1 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	15.24	0.14	0.15	0.27	0.18	0.20	0.11	0.27
2	19.88	0.15	0.16	0.29	0.20	0.20	0.13	0.30
3	23.95	0.18	0.20	0.37	0.23	0.25	0.14	0.33
4	20.77	0.18	0.20	0.37	0.23	0.21	0.13	0.31
5	14.50	0.14	0.16	0.30	0.19	0.18	0.11	0.25
6	13.01	0.13	0.14	0.25	0.17	0.16	0.10	0.24
7	13.21	0.13	0.14	0.26	0.17	0.17	0.11	0.24
8	13.21	0.13	0.14	0.25	0.17	0.13	0.10	0.24
9	15.50	0.14	0.15	0.26	0.18	0.13	0.12	0.26
10	50.15	0.27	0.30	0.59	0.35	0.25	0.21	0.45
11	23.95	0.18	0.21	0.30	0.24	0.18	0.15	0.33
12	13.41	0.14	0.15	0.27	0.18	0.14	0.11	0.25
13	13.41	0.14	0.15	0.26	0.18	0.14	0.11	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	13.21	0.14	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.24
15	13.61	0.14	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.24
16	12.82	0.14	0.15	0.27	0.18	0.14	0.11	0.24
17	12.82	0.14	0.15	0.27	0.18	0.13	0.11	0.24
18	12.82	0.14	0.15	0.27	0.18	0.14	0.11	0.24
19	12.82	0.14	0.15	0.27	0.18	0.14	0.11	0.24
20	12.82	0.14	0.15	0.27	0.18	0.13	0.11	0.24

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าแรงดันขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	1.25	4.63	0.69	1.11	0.83	0.65	0.56	0.98
2	1.43	4.70	0.81	1.30	0.91	0.68	0.59	1.14
3	1.14	4.52	0.66	1.05	0.75	0.58	0.49	0.97
4	1.14	4.49	0.64	1.03	0.74	0.57	0.49	0.95
5	1.13	4.48	0.64	1.02	0.74	0.57	0.49	0.94
6	1.14	4.47	0.64	1.02	0.74	0.57	0.49	0.94
7	1.15	4.48	0.65	1.03	0.75	0.57	0.49	0.93
8	1.16	4.48	0.65	1.04	0.75	0.58	0.50	0.94
9	1.18	4.49	0.65	1.05	0.76	0.58	0.50	0.95
10	1.20	4.50	0.67	1.07	0.77	0.59	0.51	0.97
11	1.36	4.61	0.75	1.21	0.86	0.66	0.57	1.07
12	1.22	4.51	0.67	1.09	0.78	0.60	0.52	1.00
13	1.19	4.48	0.66	1.07	0.77	0.59	0.51	0.97
14	1.20	4.48	0.67	1.07	0.78	0.60	0.52	0.98
15	1.21	4.48	0.67	1.08	0.78	0.61	0.52	0.99
16	1.21	4.48	0.67	1.08	0.78	0.61	0.52	0.99
17	1.21	4.48	0.68	1.08	0.78	0.61	0.52	1.00
18	1.22	4.49	0.68	1.09	0.79	0.61	0.53	0.99
19	1.24	4.49	0.69	1.09	0.80	0.62	0.54	0.99
20	1.24	4.49	0.69	1.10	0.80	0.62	0.54	0.99

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าความต้านทานขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 2 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.33	12.64	0.16	0.29	0.20	0.15	0.13	0.24
2	0.40	15.50	0.19	0.35	0.22	0.16	0.13	0.29
3	0.30	9.33	0.15	0.27	0.18	0.13	0.11	0.24
4	0.29	8.84	0.15	0.26	0.17	0.13	0.11	0.23
5	0.29	8.56	0.15	0.26	0.17	0.13	0.11	0.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	0.29	8.47	0.15	0.26	0.17	0.13	0.11	0.23
7	0.30	8.56	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.23
8	0.30	8.56	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.23
9	0.31	8.74	0.15	0.27	0.18	0.13	0.11	0.23
10	0.32	9.03	0.15	0.27	0.18	0.13	0.11	0.24
11	0.37	11.79	0.18	0.32	0.21	0.15	0.13	0.27
12	0.32	9.13	0.16	0.28	0.19	0.14	0.12	0.25
13	0.31	8.65	0.15	0.27	0.18	0.13	0.11	0.24
14	0.32	8.65	0.15	0.27	0.18	0.14	0.12	0.24
15	0.32	8.65	0.16	0.27	0.19	0.14	0.12	0.25
16	0.32	8.65	0.16	0.28	0.19	0.14	0.12	0.25
17	0.32	8.65	0.16	0.28	0.19	0.14	0.12	0.25
18	0.32	8.74	0.16	0.28	0.19	0.14	0.12	0.25
19	0.33	8.84	0.16	0.28	0.19	0.14	0.12	0.25
20	0.33	8.84	0.16	0.28	0.19	0.14	0.12	0.25

ตารางที่ 4.33 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	1.29	0.66	4.49	1.15	0.82	0.64	0.55	1.01
2	1.27	0.65	4.34	1.12	0.81	0.63	0.54	0.99
3	1.27	0.65	4.32	1.12	0.81	0.63	0.54	0.99
4	1.25	0.64	4.31	1.10	0.80	0.62	0.54	0.99
5	1.25	0.64	4.30	1.11	0.79	0.62	0.54	0.98
6	1.25	0.64	4.29	1.11	0.80	0.62	0.54	0.97
7	1.27	0.65	4.30	1.12	0.80	0.63	0.54	0.98
8	1.26	0.64	4.28	1.11	0.80	0.62	0.54	0.97
9	1.26	0.64	4.28	1.11	0.80	0.62	0.54	0.98
10	1.27	0.65	4.28	1.13	0.81	0.63	0.54	0.99
11	1.29	0.65	4.29	1.13	0.81	0.63	0.55	0.99
12	1.30	0.66	4.29	1.15	0.82	0.64	0.55	1.00
13	1.31	0.66	4.30	1.16	0.83	0.65	0.56	1.00
14	1.31	0.67	4.30	1.16	0.83	0.65	0.56	1.00
15	1.31	0.66	4.29	1.16	0.83	0.64	0.56	1.00
16	1.31	0.66	4.28	1.16	0.83	0.64	0.56	1.01
17	1.30	0.66	4.26	1.14	0.82	0.64	0.55	0.99
18	1.30	0.66	4.26	1.15	0.82	0.64	0.55	1.00
19	1.30	0.66	4.25	1.15	0.82	0.64	0.55	0.99
20	1.30	0.66	4.25	1.15	0.82	0.64	0.55	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.34 แสดงค่าความต้านทานขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 3 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.35	0.15	8.84	0.30	0.20	0.15	0.12	0.25
2	0.34	0.15	6.52	0.29	0.19	0.14	0.12	0.25
3	0.34	0.15	6.36	0.29	0.19	0.14	0.12	0.25
4	0.33	0.15	6.20	0.29	0.19	0.14	0.12	0.25
5	0.33	0.15	6.10	0.29	0.19	0.14	0.12	0.24
6	0.33	0.15	6.06	0.29	0.19	0.14	0.12	0.24
7	0.34	0.15	6.10	0.29	0.19	0.14	0.12	0.24
8	0.34	0.15	5.96	0.29	0.19	0.14	0.12	0.24
9	0.34	0.15	5.91	0.29	0.19	0.14	0.12	0.24
10	0.34	0.15	5.96	0.29	0.19	0.14	0.12	0.25
11	0.35	0.15	6.01	0.29	0.19	0.14	0.12	0.25
12	0.35	0.15	6.06	0.30	0.20	0.15	0.12	0.25
13	0.36	0.15	6.15	0.30	0.20	0.15	0.13	0.25
14	0.36	0.15	6.10	0.30	0.20	0.15	0.13	0.25
15	0.36	0.15	6.01	0.30	0.20	0.15	0.13	0.25
16	0.35	0.15	5.96	0.30	0.20	0.15	0.13	0.25
17	0.35	0.15	5.77	0.30	0.20	0.15	0.12	0.25
18	0.35	0.15	5.77	0.30	0.20	0.15	0.12	0.25
19	0.35	0.15	5.69	0.30	0.20	0.15	0.12	0.25
20	0.35	0.15	5.64	0.30	0.20	0.15	0.12	0.25

ตารางที่ 4.35 แสดงค่าแรงดันขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	1.32	0.65	0.71	4.83	0.82	0.64	0.54	1.04
2	1.30	0.64	0.70	4.80	0.81	0.62	0.53	1.00
3	1.32	0.65	0.71	4.80	0.81	0.63	0.53	0.96
4	1.31	0.64	0.70	4.80	0.81	0.62	0.53	1.02
5	1.31	0.64	0.70	4.79	0.81	0.63	0.53	1.03
6	1.31	0.65	0.71	4.79	0.81	0.63	0.53	1.04
7	1.34	0.65	0.72	4.80	0.82	0.64	0.54	1.06
8	1.34	0.65	0.72	4.80	0.82	0.64	0.54	1.05
9	1.33	0.65	0.71	4.79	0.82	0.63	0.53	1.03
10	1.36	0.66	0.73	4.80	0.83	0.64	0.54	1.05
11	1.33	0.65	0.71	4.79	0.82	0.63	0.53	1.02
12	1.37	0.67	0.74	4.80	0.84	0.65	0.55	1.04
13	1.36	0.66	0.73	4.80	0.83	0.64	0.55	1.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	1.37	0.67	0.74	4.80	0.84	0.65	0.55	1.05
15	1.38	0.67	0.74	4.80	0.85	0.65	0.55	1.06
16	1.40	0.68	0.76	4.81	0.86	0.66	0.56	1.08
17	1.39	0.68	0.75	4.80	0.85	0.66	0.56	1.07
18	1.39	0.68	0.75	4.80	0.85	0.66	0.56	1.07
19	1.38	0.67	0.74	4.80	0.85	0.66	0.55	1.07
20	1.38	0.67	0.74	4.80	0.85	0.65	0.55	1.06

ตารางที่ 4.36 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 4 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.36	0.15	0.17	28.23	0.20	0.15	0.12	0.26
2	0.35	0.15	0.16	24.58	0.19	0.14	0.12	0.25
3	0.36	0.15	0.17	24.58	0.19	0.14	0.12	0.24
4	0.35	0.15	0.16	23.95	0.19	0.14	0.12	0.26
5	0.35	0.15	0.16	23.36	0.19	0.14	0.12	0.26
6	0.36	0.15	0.17	23.36	0.19	0.14	0.12	0.26
7	0.37	0.15	0.17	23.95	0.20	0.15	0.12	0.27
8	0.37	0.15	0.17	23.95	0.20	0.15	0.12	0.26
9	0.36	0.15	0.17	22.79	0.20	0.14	0.12	0.26
10	0.37	0.15	0.17	24.58	0.20	0.15	0.12	0.26
11	0.36	0.15	0.17	23.36	0.20	0.14	0.12	0.26
12	0.38	0.15	0.17	24.58	0.20	0.15	0.12	0.26
13	0.37	0.15	0.17	23.95	0.20	0.15	0.12	0.26
14	0.38	0.15	0.17	23.95	0.20	0.15	0.12	0.27
15	0.38	0.16	0.17	24.58	0.20	0.15	0.12	0.27
16	0.39	0.16	0.18	25.23	0.21	0.15	0.13	0.27
17	0.39	0.16	0.18	24.58	0.20	0.15	0.13	0.27
18	0.38	0.16	0.18	23.95	0.20	0.15	0.13	0.27
19	0.38	0.16	0.17	23.95	0.20	0.15	0.12	0.27
20	0.38	0.16	0.17	23.95	0.20	0.15	0.12	0.27

ตารางที่ 4.37 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	1.41	0.68	0.76	1.23	4.52	0.67	0.56	1.03
2	1.40	0.68	0.75	1.22	4.09	0.66	0.56	1.06
3	1.45	0.72	0.80	1.28	4.09	0.69	0.59	0.88
4	1.40	0.79	0.86	0.86	1.31	4.02	0.77	1.17
5	1.49	0.78	0.85	1.31	3.99	0.75	0.65	1.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	1.51	0.79	0.86	1.33	3.98	0.76	0.66	1.18
7	1.54	0.81	0.88	1.36	3.99	0.78	0.68	1.20
8	1.59	0.83	0.91	1.41	4.04	0.81	0.70	1.22
9	1.59	0.85	0.92	1.41	4.02	0.82	0.71	1.24
10	1.62	0.86	0.90	1.44	4.04	0.83	0.73	1.26
11	1.62	0.86	0.94	1.44	4.03	0.84	0.73	1.26
12	1.60	0.86	0.93	1.43	4.00	0.84	0.73	1.27
13	1.59	0.86	0.93	1.42	3.98	0.83	0.72	1.26
14	1.58	0.85	0.92	1.41	3.96	0.83	0.72	1.25
15	1.58	0.85	0.92	1.41	3.96	0.83	0.72	1.26
16	1.56	0.84	0.91	1.39	3.92	0.82	0.71	1.24
17	1.57	0.85	0.91	1.39	3.90	0.83	0.72	1.26
18	1.56	0.85	0.91	1.38	3.90	0.82	0.72	1.25
19	1.57	0.86	0.92	1.39	3.90	0.83	0.73	1.26
20	1.58	0.86	0.93	1.40	3.90	0.84	0.73	1.26

ตารางที่ 4.38 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 5 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.39	0.16	0.18	0.33	9.33	0.15	0.13	0.26
2	0.39	0.16	0.18	0.32	4.50	0.15	0.13	0.27
3	0.41	0.17	0.19	0.34	4.50	0.16	0.13	0.21
4	0.42	0.19	0.21	0.36	4.11	0.18	0.15	0.31
5	0.42	0.18	0.20	0.36	3.94	0.18	0.15	0.30
6	0.43	0.19	0.21	0.36	3.92	0.18	0.15	0.31
7	0.44	0.19	0.21	0.37	3.97	0.19	0.16	0.31
8	0.47	0.20	0.22	0.39	4.22	0.19	0.16	0.32
9	0.47	0.20	0.23	0.39	4.11	0.20	0.17	0.33
10	0.48	0.21	0.23	0.40	4.19	0.20	0.17	0.34
11	0.48	0.21	0.23	0.41	4.17	0.20	0.17	0.34
12	0.47	0.21	0.23	0.40	4.01	0.20	0.17	0.34
13	0.47	0.21	0.23	0.40	3.89	0.20	0.17	0.34
14	0.46	0.20	0.23	0.39	3.83	0.20	0.17	0.33
15	0.46	0.20	0.23	0.39	3.83	0.20	0.17	0.34
16	0.45	0.20	0.22	0.38	3.63	0.20	0.17	0.33
17	0.46	0.20	0.22	0.38	3.61	0.20	0.17	0.34
18	0.46	0.20	0.22	0.38	3.53	0.20	0.17	0.33
19	0.46	0.21	0.23	0.38	3.53	0.20	0.17	0.34
20	0.46	0.21	0.23	0.39	3.53	0.20	0.17	0.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.39 แสดงค่าแรงดันขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	1.60	0.84	0.91	1.41	1.00	4.22	0.70	1.25
2	1.56	0.83	0.90	1.39	1.00	4.03	0.70	1.24
3	1.58	0.84	0.91	1.41	1.01	4.01	0.71	1.25
4	1.62	0.86	0.93	1.44	1.04	4.00	0.73	1.27
5	1.62	0.86	0.93	1.44	1.03	4.00	0.73	1.27
6	1.66	0.88	0.95	1.48	1.06	4.04	0.74	1.30
7	1.58	0.85	0.92	1.42	1.02	3.95	0.72	1.25
8	1.68	0.89	0.97	1.51	1.08	4.06	0.76	1.30
9	1.78	0.94	1.02	1.59	1.13	4.14	0.79	1.36
10	1.89	1.00	1.08	1.69	1.19	4.22	0.84	1.44
11	2.04	1.07	1.15	1.81	1.28	4.32	0.89	1.54
12	2.12	1.11	1.19	1.88	1.32	4.36	0.93	1.59
13	2.17	1.14	1.23	1.94	1.35	4.39	0.95	1.63
14	2.33	1.22	1.31	2.07	1.44	4.46	1.02	1.71
15	2.31	1.21	1.30	2.05	1.44	4.46	1.01	1.72
16	2.34	1.23	1.32	2.09	1.46	4.47	1.03	1.74
17	2.37	1.25	1.34	2.11	1.48	4.48	1.04	1.76
18	2.65	1.42	1.52	2.38	1.66	4.58	1.17	1.93
19	2.40	1.27	1.36	2.15	1.50	4.50	1.06	1.79
20	2.39	1.27	1.35	2.14	1.50	4.49	1.05	1.78

ตารางที่ 4.40 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 6 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.47	0.20	0.22	0.39	0.25	5.43	0.16	0.33
2	0.46	0.20	0.22	0.38	0.25	4.14	0.16	0.33
3	0.46	0.20	0.22	0.39	0.25	4.04	0.17	0.33
4	0.48	0.21	0.23	0.41	0.26	4.11	0.17	0.34
5	0.48	0.21	0.23	0.40	0.26	4.01	0.17	0.34
6	0.50	0.21	0.24	0.42	0.27	4.19	0.17	0.35
7	0.46	0.20	0.23	0.40	0.26	3.78	0.17	0.33
8	0.50	0.22	0.24	0.43	0.28	4.33	0.18	0.35
9	0.55	0.23	0.26	0.40	0.29	4.81	0.19	0.30
10	0.61	0.25	0.28	0.51	0.31	5.43	0.20	0.40
11	0.69	0.27	0.30	0.57	0.34	6.36	0.22	0.44
12	0.73	0.20	0.31	0.60	0.36	6.87	0.23	0.47
13	0.77	0.30	0.33	0.63	0.37	7.25	0.24	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	0.87	0.32	0.36	0.70	0.41	8.22	0.26	0.52
15	0.86	0.32	0.35	0.70	0.40	8.22	0.25	0.52
16	0.88	0.33	0.36	0.72	0.41	8.47	0.26	0.53
17	0.90	0.33	0.37	0.73	0.42	8.65	0.26	0.54
18	1.13	0.40	0.44	0.91	0.50	10.90	0.30	0.63
19	0.92	0.34	0.37	0.75	0.43	8.93	0.27	0.56
20	0.91	0.34	0.37	0.75	0.43	8.84	0.27	0.55

ตารางที่ 4.41 แสดงค่าแรงดันขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.38	1.25	1.34	2.14	1.47	1.21	4.57	1.77
2	2.30	1.20	1.30	2.06	1.42	1.17	4.47	1.73
3	2.08	1.09	1.17	1.86	1.28	1.05	4.34	1.59
4	2.28	1.19	1.28	2.04	1.41	1.16	4.45	1.71
5	2.22	1.16	1.25	1.98	1.37	1.12	4.41	1.67
6	2.58	1.36	1.46	2.30	1.58	1.32	4.53	1.88
7	2.18	1.14	1.24	1.96	1.35	1.12	4.38	1.66
8	2.28	1.19	1.29	2.04	1.41	1.17	4.43	1.72
9	1.91	1.01	1.09	1.73	1.20	0.98	4.20	1.50
10	2.16	1.13	1.22	1.93	1.33	1.10	4.36	1.64
11	1.90	1.00	1.09	1.73	1.19	0.98	4.19	1.49
12	2.25	1.18	1.27	2.01	1.39	1.15	4.40	1.69
13	2.00	1.05	1.13	1.79	1.24	1.02	4.24	1.55
14	2.12	1.07	1.17	1.90	1.27	1.03	4.35	1.58
15	2.17	1.11	1.22	1.96	1.32	1.08	4.39	1.70
16	2.03	1.09	1.18	1.84	1.28	1.05	4.31	1.58
17	1.98	1.07	1.16	1.80	1.25	1.03	4.27	1.56
18	1.97	1.06	1.15	1.79	1.24	1.02	4.27	1.55
19	2.01	1.09	1.18	1.82	1.27	1.05	4.28	1.58
20	2.33	1.25	1.35	2.09	1.45	1.21	4.46	1.76

ตารางที่ 4.42 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 7 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.91	0.33	0.37	0.75	0.42	0.32	10.49	0.55
2	0.85	0.32	0.35	0.70	0.40	0.30	8.47	0.53
3	0.71	0.28	0.31	0.59	0.34	0.26	6.58	0.47
4	0.84	0.31	0.34	0.69	0.39	0.30	8.05	0.52
5	0.80	0.30	0.33	0.66	0.38	0.29	7.45	0.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	1.06	0.37	0.41	0.85	0.46	0.36	9.55	0.60
7	0.77	0.30	0.33	0.64	0.37	0.29	7.12	0.50
8	0.84	0.31	0.35	0.69	0.39	0.30	7.74	0.52
9	0.62	0.25	0.28	0.53	0.31	0.24	5.28	0.43
10	0.76	0.29	0.32	0.63	0.36	0.28	6.81	0.49
11	0.61	0.25	0.28	0.53	0.31	0.24	5.20	0.42
12	0.82	0.31	0.34	0.67	0.38	0.30	7.39	0.51
13	0.67	0.26	0.29	0.56	0.33	0.26	5.56	0.45
14	0.73	0.27	0.30	0.34	0.26	0.26	6.63	0.46
15	0.77	0.29	0.32	0.64	0.36	0.28	7.18	0.48
16	0.69	0.28	0.31	0.58	0.34	0.27	6.20	0.47
17	0.66	0.27	0.30	0.56	0.33	0.26	5.87	0.45
18	0.65	0.27	0.30	0.56	0.33	0.26	5.82	0.45
19	0.67	0.28	0.31	0.57	0.34	0.26	5.96	0.46
20	0.87	0.33	0.37	0.72	0.41	0.32	8.30	0.54

ตารางที่ 4.43 แสดงค่าแรงดันขณะที่ใช้เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(V)							
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	2.42	1.23	1.33	2.17	1.45	1.19	0.98	4.13
2	2.24	1.12	1.21	1.97	1.33	1.09	0.90	4.05
3	2.89	1.55	1.66	2.63	1.82	1.53	1.25	4.26
4	2.23	1.12	1.21	1.98	1.33	1.09	0.90	4.01
5	2.24	1.12	1.22	1.99	1.34	1.09	0.90	4.02
6	2.30	1.16	1.25	2.04	1.37	1.12	0.93	4.06
7	2.28	1.15	1.24	2.03	1.36	1.11	0.92	4.05
8	2.29	1.15	1.25	2.04	1.37	1.12	0.92	4.06
9	2.32	1.17	1.20	2.07	1.39	1.13	0.94	4.07
10	2.30	1.18	1.28	2.09	1.40	1.15	0.95	4.08
11	2.37	1.20	1.30	2.11	1.42	1.16	0.96	4.08
12	2.39	1.21	1.31	2.14	1.44	1.18	0.97	4.09
13	2.41	1.22	1.32	2.15	1.44	1.18	0.98	4.10
14	2.42	1.23	1.33	2.17	1.45	1.19	0.98	4.11
15	2.43	1.24	1.33	2.17	1.46	1.20	0.99	4.11
16	2.46	1.25	1.35	2.20	1.48	1.22	1.00	4.12
17	2.50	1.28	1.38	2.23	1.50	1.24	1.02	4.14
18	2.57	1.31	1.42	2.30	1.54	1.28	1.06	4.17
19	2.66	1.38	1.48	2.39	1.61	1.34	1.10	4.21
20	2.77	1.45	1.55	2.49	1.69	1.41	1.16	4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.44 แสดงค่าความต้านทานขณะที่เซ็นเซอร์แสงตัวที่ 8 ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

Time(min)	(k Ω)							
	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27
1	0.94	0.33	0.36	0.76	0.41	0.31	0.24	4.78
2	0.81	0.29	0.32	0.65	0.36	0.28	0.22	4.25
3	1.37	0.45	0.50	1.11	0.57	0.44	0.33	5.77
4	0.81	0.29	0.32	0.66	0.36	0.28	0.22	4.06
5	0.81	0.29	0.32	0.66	0.37	0.28	0.22	4.11
6	0.85	0.30	0.33	0.69	0.38	0.29	0.23	4.33
7	0.84	0.30	0.33	0.68	0.37	0.29	0.23	4.27
8	0.85	0.30	0.33	0.69	0.38	0.29	0.23	4.30
9	0.87	0.30	0.34	0.70	0.38	0.29	0.23	4.36
10	0.88	0.31	0.34	0.72	0.39	0.30	0.23	4.41
11	0.90	0.31	0.35	0.73	0.40	0.30	0.24	4.44
12	0.92	0.32	0.35	0.75	0.40	0.31	0.24	4.47
13	0.93	0.32	0.36	0.75	0.41	0.31	0.24	4.53
14	0.94	0.33	0.36	0.76	0.41	0.31	0.24	4.59
15	0.95	0.33	0.36	0.77	0.41	0.32	0.25	4.62
16	0.97	0.33	0.37	0.79	0.42	0.32	0.25	4.68
17	1.00	0.34	0.38	0.81	0.43	0.33	0.26	4.81
18	1.05	0.36	0.40	0.85	0.45	0.34	0.27	5.02
19	1.14	0.38	0.42	0.91	0.48	0.37	0.28	5.31
20	1.24	0.41	0.45	0.99	0.51	0.39	0.30	5.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of Science Technology and Environment co-operating with Faculty of Science. (1998). "The Map of Solar Radiation Potential the Data from Satellite of Area in Thailand". Silapakorn University
- [2] Y.C. Park and Y.H. Kang, "Design and Implementation of Two Axes Sun Tracking System for the Parabolic Dish Concentrator" Solar World Congress (2001), pp. 749-760.
- [3] P. Roth A. Georgiev and H. Boudinov, "Design and Construction of a System for Sun-Tracking" Renewable Energy 29 (2004), pp. 393-402.
- [4] Md. Tanvir Arafat Khan S.M. Shahrear Tanzil, Rifat Rahman and S M Shafiu Alam. "Design and Construction of an Automatic Solar Tracking System" International Conference on Electrical and Computer Engineering 6 (2010), pp. 326-329.
- [5] Okpeki U.K. and Otuagoma.S.O, "Design and Construction of a Bi-Directional Solar Tracking System" International Journal of Engineering and Science 2 (2013), pp. 32-38.
- [6] P. Saha and S. Goswami, "Light Sensor Based Automatic Solar Tracking System Using Parabolic Reflector and Lens Focusing Action for Maximum Power Point Tracking" International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 4 (2014), pp. 286-293.
- [7] A. Sarhan Amged El-Wakeel and A. B. Kotb, "Analysis and Control of Hybrid Stepper Motor for Automatic Sun-Tracking System" International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology 13 (2009), pp. 1-12.
- [8] A. Jabar Alzubaidil, "Heat Collection Tracker System for Solar Thermal Applications" International Journal on Computer Technology & Applications 6 (2015), pp. 295-302.
- [9] T.-Chieh Cheng,W.-Cheng Hung, and T.-Hua Fang, "Two-Axis Solar Heat Collection Tracker System for Solar Thermal Applications" International Journal of Photoenergy (2013), pp. 1-7.
- [10] S. Ray, "Calculation of Sun Position and Tracking the Path of Sun for a Particular Geographical Location" International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 2 (2012), pp. 81-84.
- [11] M. Mirdanies, "Astronomy Algorithm Simulation for Two Degrees of Freedom of Solar Tracking Mechanism Using Clanguage" International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application 2 (2014), pp. 60-67.
- [12] X. Jin1 G. Xu R. Zhou X. Luo and Y. Quan, "A Sun Tracking System Design for a Large Dish Solar Concentrator" International Journal of Clean Coal and Energy 2 (2013), pp. 16-20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] Y. Rizala S. Hasta Wibowo and Feriyadia, "Application of Solar Position Algorithm for Sun-Tracking System" International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application 32 (2013), pp. 160-165.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ ๖

“สหวิทยาการสร้างสรรค์เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

The 6th National and International Graduate Study Conference 2016

“Creative Multi-disciplinary Studies for Sustainable Development”

NGSC 2016 and IGSC 2016

การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

สหวิทยาการสร้างสรรค์เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ครั้งที่ ๑

The 1st National and International Conference on Creative Multi-disciplinary Studies for Sustainable Development

NCMSD 2016 and ICMSD 2016



The Graduate School, Silpakorn University

July 11-12, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





กลุ่มวิทยาศาสตร์/วิทยาศาสตร์สุขภาพ/วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม/
เกษตรศาสตร์

ชื่อ - นามสกุล	ชื่อบทความ	เลขหน้า
กชพร ลำพองพวง	ความชุกของผู้ดื่มแอลกอฮอล์ใน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2558	S1 – S12
กมลวรรณ เกตุเจริญ	การปรับปรุงกระบวนการจ่ายกาวเพื่อประกอบสไลเดอร์เข้ากับที่จีเอ โดยใช้เครื่องแอดฮีซีฟ และเครื่องสไลเดอร์ แอทแทช เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต	S13 – S61
กิตติพิศ เจียรพัฒนานุกุล	การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบควบคุมโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่	S62 – S74
เกตุวรี ยศยิ่งยง	การเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในชั้นตอนเดียว ในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์	S75 – S84
โกวิทย์ พุ่มกิ่ง	การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้บำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กรณีศึกษาสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	S85 – S99
โกสินธุ์ อัครรุ่งเรือง	กระบวนการปรับตัวทางจิตของผู้ดูแลเด็กสมองพิการ	S100 – S114
ไกรวัฒน์ พิมพ์พัทธี	การพัฒนาโปรแกรมการวางแผนและควบคุมกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนเซฟ กรณีศึกษา : โรงงานผลิตตู้เซฟนิรภัย	S115 – S129
งามพิศ ศิริเวชธำรง	การปรับตัวของแรงงานข้ามชาติชาวลาวในบริบทด้านเศรษฐกิจ สังคมและการแสวงหาบริการสุขภาพ ในจังหวัดอุดรธานี	S130 – S140
จตุรพร พูลูก	การกระตุ้นการหลั่ง HMGB1 จากเซลล์ไลน์ชนิด RAW264.7 ด้วยเชื้อ Streptococcus suis	S141 – S153
จิรายุ ทศนิยม	ความเชื่อมั่นของทนายความและผู้เข้าอบรมวิชาว่าความที่มีต่อผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจพิสูจน์การปลอมแปลงเอกสาร	S154 – S160
จิรารัตน์ แสงศร	ผลการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการสืบเสาะที่ขับเคลื่อนด้วยกลวิธีการโต้แย้ง เพื่อพัฒนาสมรรถนะการแปลความหมายข้อมูลและประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง	S161 – S175
จีรพรรณ เบ้าบัวเงิน	การบริโภคน้ำมันประกอบการทำอาหารของครอบครัวตำบลกุดน้ำใส อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น	S176 – S188

การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบควบคุม โมดูลเซ็นต์เซอร์แบบใหม่

Solar Tracking to Control with New Sensor Module System

ผู้วิจัย นาย กิตติพิศ เกียรติวัฒนากุล, รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พวกเราได้ออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยโมดูลเซ็นต์เซอร์แบบใหม่ที่สร้างด้วย LDR ขนาด 5 มิลลิเมตร 8 ตัว เพื่อติดตามตำแหน่งมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดโดยทำการปรับเทียบตำแหน่งด้วยเข็มทิศให้ระบบติดตามเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือทุกครั้ง และใช้สมการ NOAA คำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ มุมอะซิมุท และมุมอัลติจูดที่ตำแหน่งละติจูด 13.72812° และลองจิจูด 100.780125° ณ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

ผลการทดสอบพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดจากระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ควบคุมด้วย โมดูลเซ็นต์เซอร์แบบใหม่เมื่อเทียบกับสมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ (NOAA) มีค่าไม่เกิน $\pm 2^\circ$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสมการ NOAA ดังนั้นจึงถือว่า ระบบมีความแม่นยำในการติดตามดวงอาทิตย์สูง และการนำระบบนี้ไปใช้งานในการรวมความร้อน จะต้องกำหนดตำแหน่งละติจูดและ ลองจิจูด ณ. ตำแหน่งนั้นๆ เพื่อให้ได้ความแม่นยำของระบบติดตามสูงสุด

คำสำคัญ : ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์, มุมอะซิมุท, มุมอัลติจูด, สมการ NOAA

Abstract

In this article, we design and construct the solar tracking system with new sensor module. We made it from 8 LDR sensor has a scale of 5 millimeter for tracking the azimuth and altitude angle. We use the compass for checking the default setting for solar tracking system by setting at the North and we use the NOAA eq. to calculate of the azimuth and altitude angle of the sun movement at latitude 13.72812° and longitude 100.780125° of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. We compare the tolerance of the azimuth and altitude from the solar motion. Our experimental result is tolerance of the azimuth and altitude angle from our solar tracking to control with a new sensor module and compare with NOAA eq. will be less than $\pm 2^\circ$ that is acceptable for NOAA eq. Therefore, this system is high accuracy for tracking the sun and we can apply this system to collect heat so that will use latitude and longitude to these identify for a high accuracy of solar tracking.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Key Word (s): Solar tracking system, azimuth angle, altitude angle, NOAA equation.

บทนำ

เนื่องจากการรวมความร้อนจากรังสีอาทิตย์ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิคในปัจจุบันนิยมใช้ระบบโมดูลเซ็นเซอร์ในการควบคุมการหาตำแหน่งดวงอาทิตย์[1-3] ซึ่งใช้เซ็นเซอร์แสง 1 ตัว ต่อ 1 ทิศทาง รวมทั้งหมด 4 ทิศทาง ดังนั้น หากเซ็นเซอร์เกิดชำรุดเสียหายจะทำให้ระบบไม่สามารถติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต่อไปได้หรือขีดจำกัดของมุมการรับแสงของเซ็นเซอร์ 1 ตัว มีช่วงมุมการรับแสงไม่เกิน 60 องศา ที่กระแส 100 mA ขนาด 5 มิลลิเมตร จึงเกิดความไม่ต่อเนื่องในการติดตามดวงอาทิตย์และส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและอัลติจูดของระบบสูงขึ้น นอกจากนี้หากนำเซ็นเซอร์แสง LDR ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร จะทำให้ใช้พลังงานสูงขึ้น

หลักการการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของแต่ละวันด้วยวิธีการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบเส้นขอบฟ้า(Horizon System)จากค่ามุมอัลติจูด และมุมอะซิมุทที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อผิวโลก[4-6] ในขณะเวลาเดียวกันการหาค่ามุมอัลติจูด และมุมอะซิมุทจะแตกต่างกันตามตำแหน่งเส้นละติจูดของผู้สังเกตเห็นดวงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้มีความสนใจหาค่ามุมอัลติจูด และมุมอะซิมุท ณ.ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ. กรุงเทพฯ โดยจะมีการออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบควบคุมโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่ซึ่งใช้เซ็นเซอร์แสง 3 ตัวขนาด 5 มิลลิเมตร ต่อ 1 ทิศทาง รวมทั้งหมด 4 ทิศทาง จะทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าการนำเซ็นเซอร์ LDR ขนาดใหญ่มากกว่า 5 มิลลิเมตรมาใช้งาน หากเซ็นเซอร์แสงตัวใดชำรุดระบบก็ยังสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต่อไปได้ และการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยอาศัยสมการ NOAA[7] ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญคือ เวลา มุมชั่วโมง การเอียงของแกนหมุนของโลก ตำแหน่งเส้นลองจิจูด และตำแหน่งเส้นละติจูด ซึ่งการทดสอบหาค่าความคลาดของมุมอะซิมุทและ มุมอัลติจูดจากระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่กับสมการ NOAA จะต้องมิตามมุมอะซิมุทและ มุมอัลติจูดไม่ควรเกิน ± 2 องศา จึงจะเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในการรวมความร้อน[8]หรือ ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการหาตำแหน่งและเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์บนผิวโลกแต่ละวันใน 1 ปี
2. เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบเซ็นเซอร์แนวใหม่
3. เพื่อทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำของระบบการติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบเซ็นเซอร์แนวใหม่โดยเปรียบเทียบค่ามุมอะซิมุทและ มุมอัลติจูดของระบบด้วย สมการ NOAA

วิธีการวิจัย

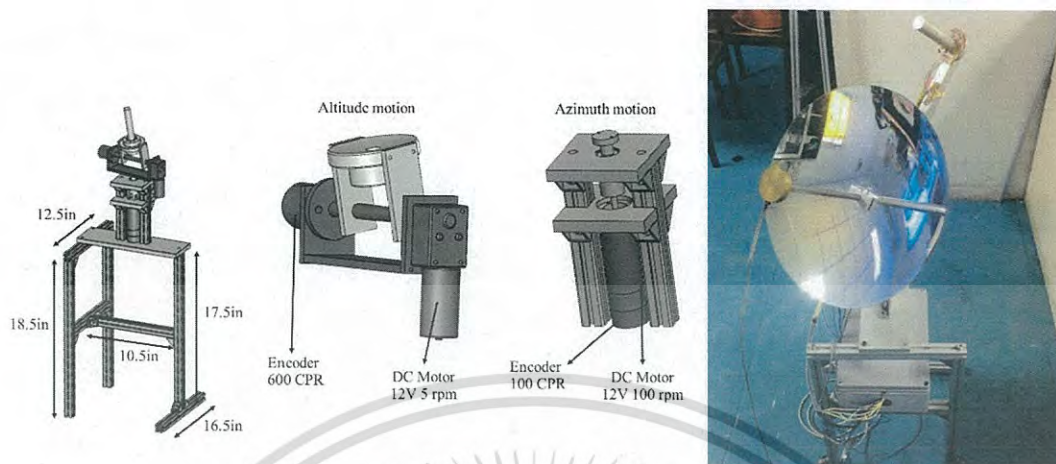
การออกแบบและสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบโมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่นี้ ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้ 1. ส่วนโครงสร้างทางกลของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ 2. ส่วนระบบโมดูลเซ็นเซอร์ ซึ่งในส่วนที่สองนี้จะกล่าวรวมถึงการควบคุมการทำงานของระบบ โดยในการทดสอบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบ โมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่นี้ จะใช้สมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ของ NOAA เป็นทฤษฎีในการอ้างอิงค่ามุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด เพื่อนำค่ามุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่วัดจากระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับความแม่นยำของระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์ด้วย โมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่

1. โครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

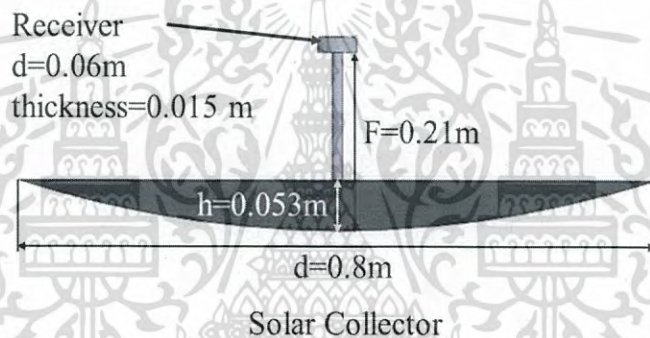
โครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์หมายถึงอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ 1. ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมุท 2. ส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 1 และตารางที่ 1 ในการออกแบบและสร้างชุดตัวรับและตัวรวมความร้อนของระบบติดตามดวงอาทิตย์มีรายละเอียดดังรูปที่ 2 ซึ่งตัวรับความร้อนนี้ทำจากวัสดุทองเหลืองและตัวรวมความร้อนทำจากพลาสติกที่เคลือบผิวหน้าการสะท้อนด้วยปรอท

ตารางที่ 1 แสดงโครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

ส่วนเคลื่อนที่แนวมุม	รายละเอียดของมอเตอร์	รายละเอียดของเอ็นโค้ดเดอร์
อัลติจูด	12 Volt 5 rpm	12 Volt 600 CPR
อะซิมุท	12 Volt 100 rpm	12 Volt 100 CPR



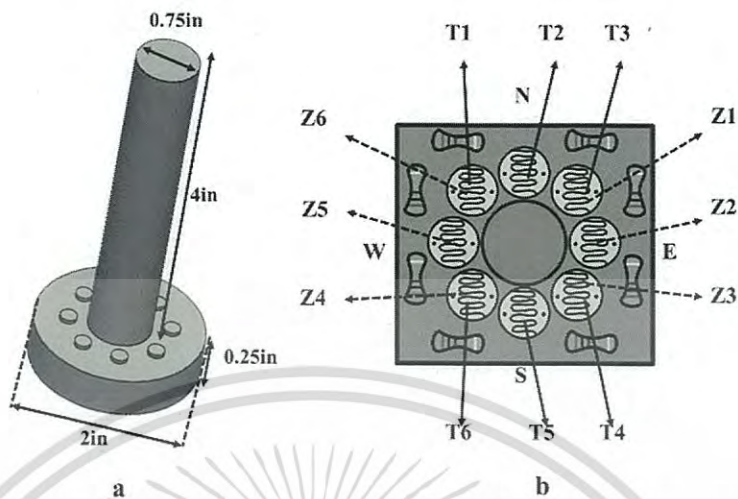
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์



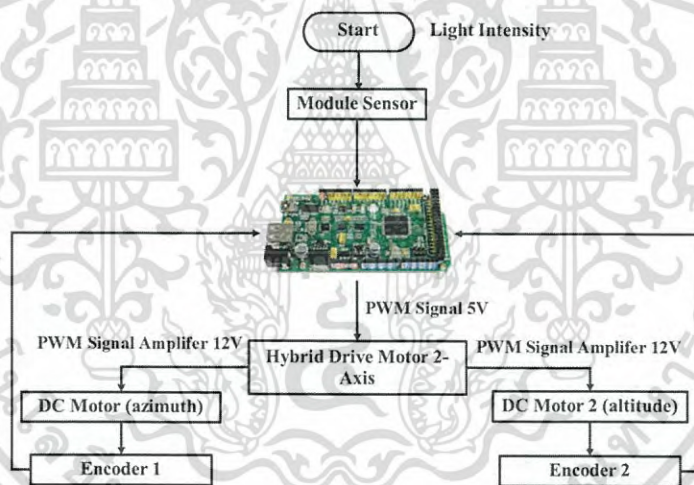
รูปที่ 2 แสดงชุดตัวรับและตัวรวมความร้อน

2. ระบบ ไมครูลเซ็นเซอร์ (SM)

งานวิจัยนี้เลือกใช้ LDR (Light Dependent Resistor) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงสูงสุดมีมุมรับแสงประมาณ 60 องศา ซึ่งการจัดวางตำแหน่งในลักษณะนี้จะช่วยเพิ่มมุมในการรับแสงของทุกตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ไปตามมุมอัลติจูด และมุมอะซิมูทได้อย่างแม่นยำ LDR จะออกแบบอาศัยหลักการบังเงาแห่ง ดังรูปที่ 3a กล่าวคือ เมื่อรังสีดวงขนานกับแท่งอลูมิเนียม LDR ทั้ง 6 ในแนวอัลติจูด $T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6$ จะได้รับความเข้มแสงสูงสุดทั้งหมดจะกำหนดเป็นสถานะ ON และให้มีลอจิกเป็น 1 ส่วน LDR ตัว $Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6$ ไม่ได้รับแสงจะกำหนดเป็นสถานะ OFF และเป็นลอจิก 0 ในทำนองเดียวกันในแนวอะซิมูท LDR ตัว $Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6$ จะเป็นสถานะ ON แต่ $T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6$ จะเป็นสถานะ OFF ดังรูปที่ 3b แล้วป้อนเข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อใช้ในการประมวลผลและควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวอะซิมูทและการเคลื่อนที่แนวอัลติจูดด้วยดีซีเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว โดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์เป็นตัวตรวจสอบตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ของทั้งสองแนวการเคลื่อนที่ ทั้งนี้เพื่อเป็นระบบป้อนกลับของตำแหน่งของมอเตอร์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3a. แสดงอุปกรณ์ตรวจจับรังสีอาทิตย์, 3b. แสดงอุปกรณ์ตรวจจับรังสีอาทิตย์แนวอัลติจูด และอะซิมุม

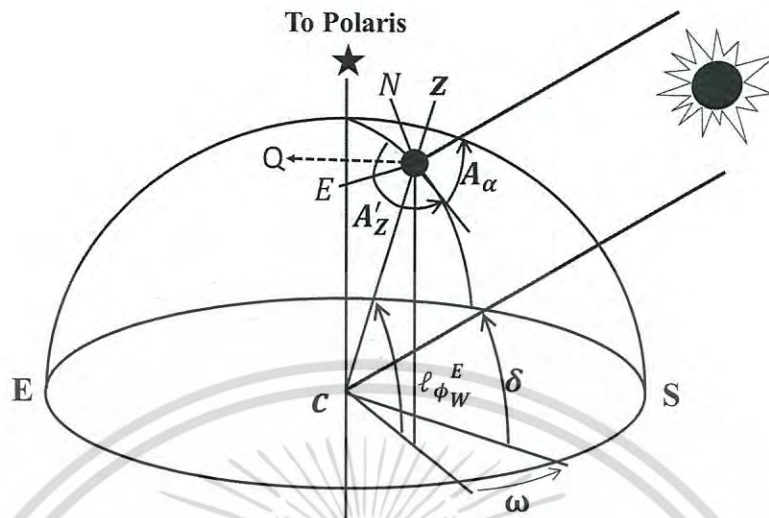


รูปที่ 4 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์

3. สมการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ [7]

3.1 สมการตำแหน่งอัลติจูด และตำแหน่งอะซิมุม

การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบพิกัดเส้นขอบฟ้า ซึ่งอยู่ในเทอมของมุมอะซิมุม และมุมอัลติจูด จำเป็นต้องอาศัย ความสัมพันธ์ของเวลา มุมชั่วโมง (ω) มุมเดคลิเนชัน (δ) และ ตำแหน่งละติจูด ($\ell_{\phi W}^E$) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งอัลติจูด และตำแหน่งอะซิมุท

Latitude Angle ($l_{\phi W}^E$) คือ ค่าของมุมที่วัดเป็นองศาไปทางเหนือและทางใต้ของเส้นศูนย์สูตรข้างละ 90 องศา ดังรูปที่ 5

Altitude Angle (A_α) คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวลำแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$A_\alpha = \sin^{-1} \left(\sin \delta \sin l_{\phi W}^E + \cos \delta \cos \omega \cos l_{\phi W}^E \right) \quad (1)$$

A_α คือ Altitude Angle (องศา)

δ คือ Declination Angle (องศา)

$l_{\phi W}^E$ คือ Latitude Angle (องศา)

ω คือ Hour Angle (องศา)

Azimuth Angle (A_Z) คือ มุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์และระนาบของเมอริเดียนท้องถิ่น มีค่าอยู่ในช่วง 0 องศา ถึง 180 องศา โดยกำหนดให้วัดจากทิศใต้ของระนาบแนวตั้งดวงอาทิตย์ไปทางตะวันตกมีค่าเป็นบวกวัดไปทางตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ ดังรูปที่ 5 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$A_Z' = \sin^{-1} \left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos A_\alpha} \right) \quad (2)$$

โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้า

$$\cos \omega \geq \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right), \quad A_z = 180^\circ + A_z'$$

$$\cos \omega < \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right), \quad A_z = 360^\circ + A_z'$$

3.2 สมการเวลา

การคำนวณเวลาในชีวิตประจำวัน และเหตุการณ์ต่าง ๆ นั้นสามารถกำหนดได้จากเวลาสุริยคติ หรือดวงอาทิตย์เป็นจุดกำหนดเวลา เรียกสมการ (3) ว่าสมการเวลา

$$t_{EQT} = 60 \sum_{k=0}^5 \left[A_k \cos \left(\frac{360kn}{365.25} \right) + B_k \sin \left(\frac{360kn}{365.25} \right) \right] \quad (3)$$

t_{EQT} คือ Equation of time (minutes) สมการเวลาคำนวณได้จากสมการที่ (3)

เมื่อ n คือ จำนวนวันในรอบปี โดยที่ $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม ค่าสัมประสิทธิ์

A_k , B_k และ k แสดงดังตารางที่ 2 [9]

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k

k	0	1	2	3	4	5
$A_k (hr) \times 10^{-3}$	0.20870	9.2869	-52.258	-1.3077	-2.1867	-0.15100
$B_k (hr) \times 10^{-3}$	0	-122.4	-156.98	-5.1602	-2.9823	-0.23463

3.3 มุมเดคลิเนชัน

มุมเดคลิเนชันเป็นผลกระทบจากการเอียงของแกนหมุนของโลก หาได้จากระยะทางเชิงมุมทางเหนือหรือใต้เส้นศูนย์สูตรที่พุ่งขึ้นหรือลงไปตามเส้นแนวรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 5 ขวา และหาค่ามุมเดคลิเนชันได้จากสมการที่ (4)

$$\sin \delta = \cos \left[(n-173) \frac{180^\circ}{182.6} \right] \sin (23.45^\circ) \quad (4)$$

ถ้าให้ n เป็นจำนวนวันในรอบปี โดย $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม

3.4 เวลาสุริยคติปรากฏ

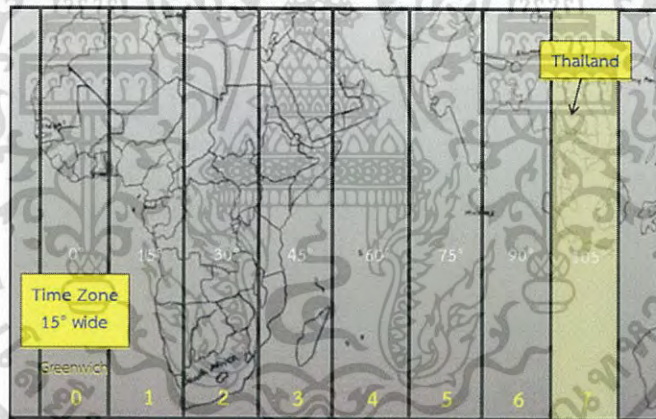
ในส่วนของการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะใช้เวลาสุริยคติปรากฏซึ่งก่อนนำไปคำนวณ จะต้องเปลี่ยนเวลาท้องถิ่น (Local Clock Time, t_{LCT}) เป็นเวลาสุริยคติปรากฏและบวกด้วยค่าสมการเวลาก่อน ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (5)

$$T_{AST} = \frac{t_{EQT}}{60} + t_{LCT} - D_s \pm \frac{t_{Zw}^E \pm l_{\lambda w}^E}{15} \quad (5)$$

T_{AST} คือ เวลาสุริยคติปรากฏ (ชั่วโมง)

t_{LCT} คือ เวลาท้องถิ่น (ชั่วโมง)

t_{Zw}^E คือ เขตเวลา (Time Zone) มีค่าเป็นบวกและลบที่เส้นลองจิจูดตะวันตก และเส้นลองจิจูดตะวันออกตามลำดับ โดยกำหนดจากเส้นลองจิจูดซึ่งอยู่ห่างกันช่องละ 15° เป็น 1 สำหรับงานวิจัยนี้เขตเวลาของประเทศไทยเป็น 7 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงเขตเวลาของประเทศไทย

$l_{\lambda w}^E$ คือ ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต (องศา)

D_s คือ ค่าคงที่ ถ้าในท้องถิ่นที่มีผลจาก Daylight saving time ให้มีค่าเป็น 1 แต่ถ้าไม่มีผลให้มีค่าเป็น 0

3.5 มุมชั่วโมง

มุมชั่วโมงใช้บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ โดยวัดจากเส้นเมริเดียนท้องฟ้าในทิศตามเข็มนาฬิกาไปตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าจนถึงวงกลมชั่วโมงที่ผ่านตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อ Q เป็นตำแหน่งของผู้สังเกต และ $l_{\phi w}^E$ เป็นตำแหน่งละติจูด

$$\omega = 15(T_{AST} - 12) \quad (6)$$

T_{AST} คือ เวลาสุริยคติปรากฏ (ชั่วโมง)

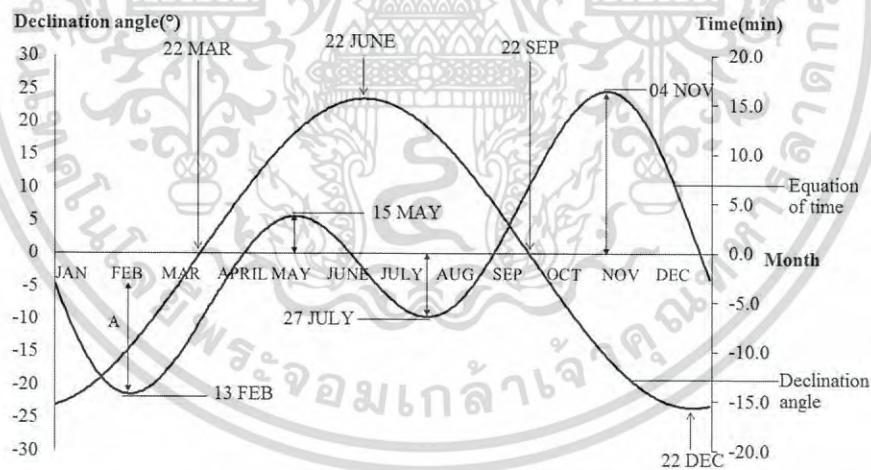
ω คือ มุมชั่วโมง (ชั่วโมง)

l_{ϕ} คือ ตำแหน่งละติจูด (องศา)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ของโลกกับดวงอาทิตย์ และการวิเคราะห์หาตำแหน่งมุมอะซิมุม และมุมอัลติจูด มีผลการทดลองในงานวิจัยดังนี้

ความสัมพันธ์ของโลกกับดวงอาทิตย์ ณ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ ที่ละติจูด ($l_{\phi W}^E$) 13.72812° และลองจิจูด ($l_{\lambda W}^E$) 100.780125° ผลจากความสัมพันธ์ของ Declination Angle และ Equation of Time แต่ละเดือนในหนึ่งปี ดังรูปที่ 7 สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (3) และสมการที่ (4) ตามลำดับ เส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แต่ละเดือนใน 1 ปีที่ทำให้เกิดตำแหน่งมุมอะซิมุม และมุมอัลติจูด สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (1-6) ดังรูปที่ 8



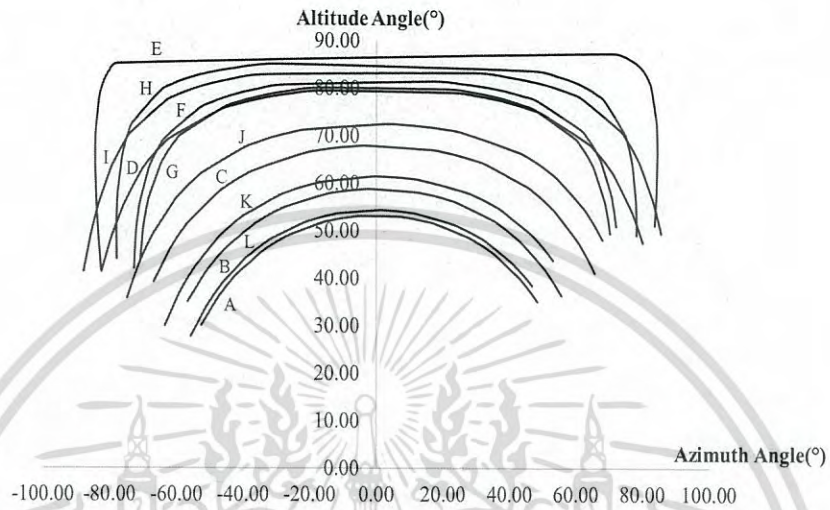
รูปที่ 7 กราฟแสดงค่า Equation of Time and Declination Angle ใน 1 ปี

รูปที่ 7 เป็นการปรับขนาดเขยเวลาการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนท้องฟ้าให้เทียบเท่ากับเวลาที่จริงในรอบปี สังเกตได้จากกราฟนำเอมปลิจูดในกราฟมาบวกกัน

ดังนั้น $-14.2639 + 3.7364 + (-6.4501) + 16.4143 = -0.5633$ (minutes) และแสดงถึงผลกระทบที่เกิดจากแกนโลกเอียงซึ่งเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ จึงทำให้เกิด Declination Angle ขึ้นในรอบปี ซึ่งวันที่ 22 Mar, 22 Sep มีค่า Declination Angle เท่ากับ -0.2515° , -0.2515° ตามลำดับ แสดงถึงแกนโลกตั้ง

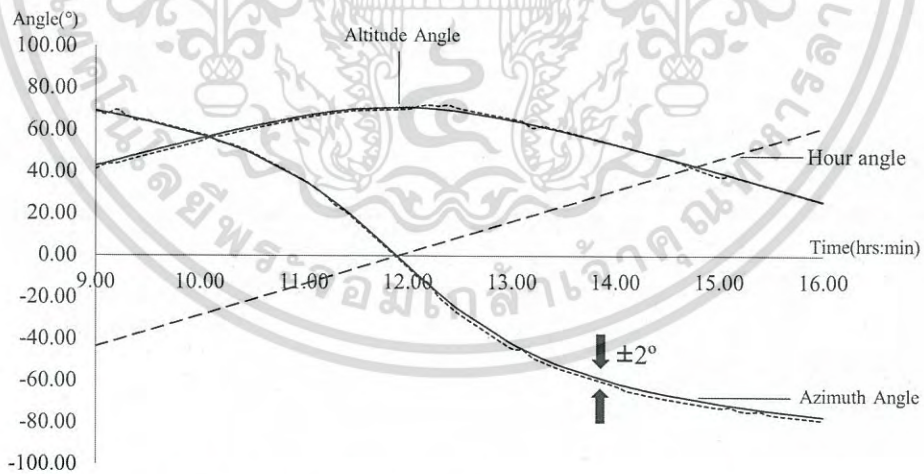
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉากกับรังสีดวงอาทิตย์ และ 22 June, 22 Dec มีค่า Declination Angle เท่ากับ 23.4464° , -23.4498° ตามลำดับ แสดงถึงแกนโลกเข้าหาดวงอาทิตย์ และ แกนโลกออกห่างจากดวงอาทิตย์

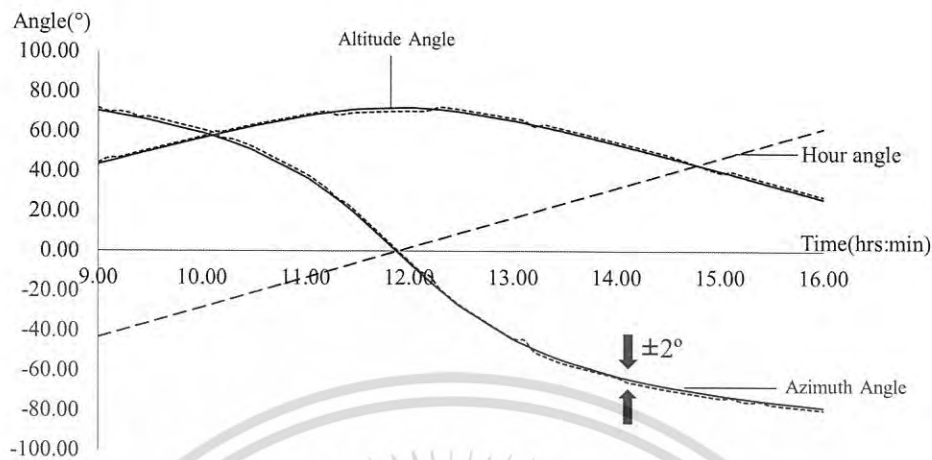


รูปที่ 8 กราฟแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แต่ละเดือนใน 1 ปี ด้วยมุมอะซิมูทและ มุมอัลติจูด

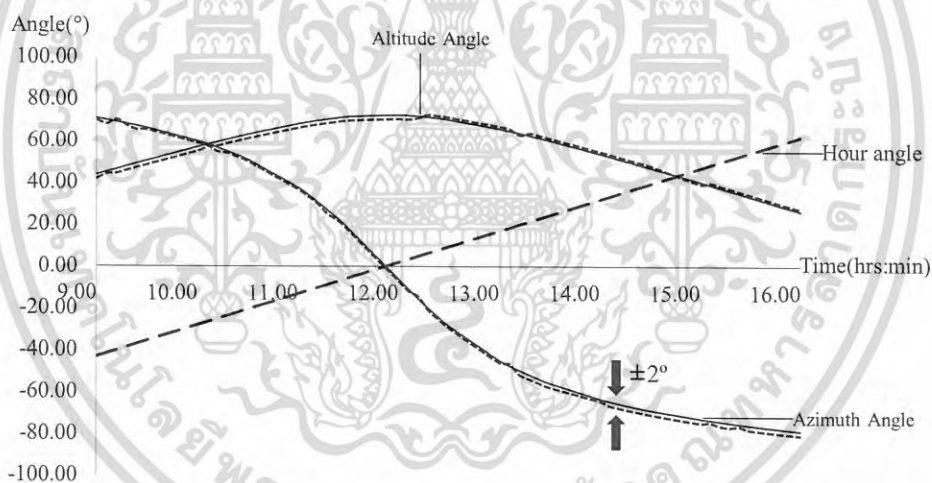
รูปที่ 8 เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แต่ละเดือนใน 1 ปี โดยที่ A-L แทน เดือนมกราคม-เดือน ธันวาคม ตามลำดับ



รูปที่ 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบตำแหน่ง Altitude Angle, Azimuth Angle จากสมการ NOAA กับ ระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์และ Hour Angle เวลา 9.00-16.00 น. ในวันที่ 09/03/58



รูปที่ 10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบตำแหน่ง Altitude Angle, Azimuth Angle จากสมการ NOAA กับ ระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์และ Hour Angle เวลา 9.00-16.00 น. ในวันที่ 12/03/58



รูปที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบตำแหน่ง Altitude Angle, Azimuth Angle จากสมการ NOAA กับ ระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์และ Hour Angle เวลา 9.00-16.00 น. ในวันที่ 13/03/58

จากผลการทดลองดังรูปที่ 9 10 และ 11 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จากจุดศูนย์กลางของโลก หรือมุมชั่วโมง (Hour angle) แสดงด้วยเส้นประยาวและ การทดสอบความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแนวการเคลื่อนที่อะซิมุทและอัลติจูดในวันที่ 9/03/58 12/03/58 และ 13/03/58 ตามลำดับ โดยใช้ค่ามุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ NOAA เป็นค่ามุมอ้างอิง แสดงด้วยเส้นทึบสีดำนั่งรูปที่ 9 10 และ 11 มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่ได้จากเครื่องติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แสดงด้วยเส้นประสั้นสีดำนั่งรูปที่ 9 10 และ 11

ดังนั้น การหาค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและ มุมอัลติจูดที่รูปที่ 9 10 และ 11 สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (8)

$$\begin{aligned} \text{Azimuth Angle Error} &= \text{NOAA}_{AZ} - \text{SM}_{AZ} \\ \text{Altitude Angle Error} &= \text{NOAA}_{AL} - \text{SM}_{AL} \end{aligned} \quad (8)$$

โดยที่ NOAA_{AZ} และ NOAA_{AL} คือ มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่คำนวณจากสมการ NOAA
 SM_{AZ} และ SM_{AL} คือ มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดที่วัดได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการคำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ใช้สมการของ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) มาวิเคราะห์ที่ตำแหน่งละติจูดที่ 13.72812° และ ลองจิจูดที่ 100.780125° ของประเทศไทย ซึ่งนำไปสู่ปรากฏการณ์ต่างๆซึ่งสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์

ผลการคำนวณ Declination Angle จากสมการของ NOAA มีค่าใกล้เคียงกับ (Duffie JA, Beckman WA.) ที่ได้กล่าวไว้ ดังนี้ ตามลำดับ (-0.2515° at 22 Mar , -0.2515° at 22 Sep , 23.4464° at 22 June , -23.4498° at 22 Dec) , (0° at 21 Mar and 21 Sep , 23.45° at 21 June , -23.45° at 21 Dec) และจากการทดลองวัดตำแหน่งอัลติจูด และอะซิมุทที่ได้จากการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอัลติจูด และอะซิมุทที่ได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ควบคุมด้วยระบบเซ็นเซอร์แบบใหม่นี้ พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด ไม่เกิน ± 2 องศาซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของฐานข้อมูลสมการ NOAA

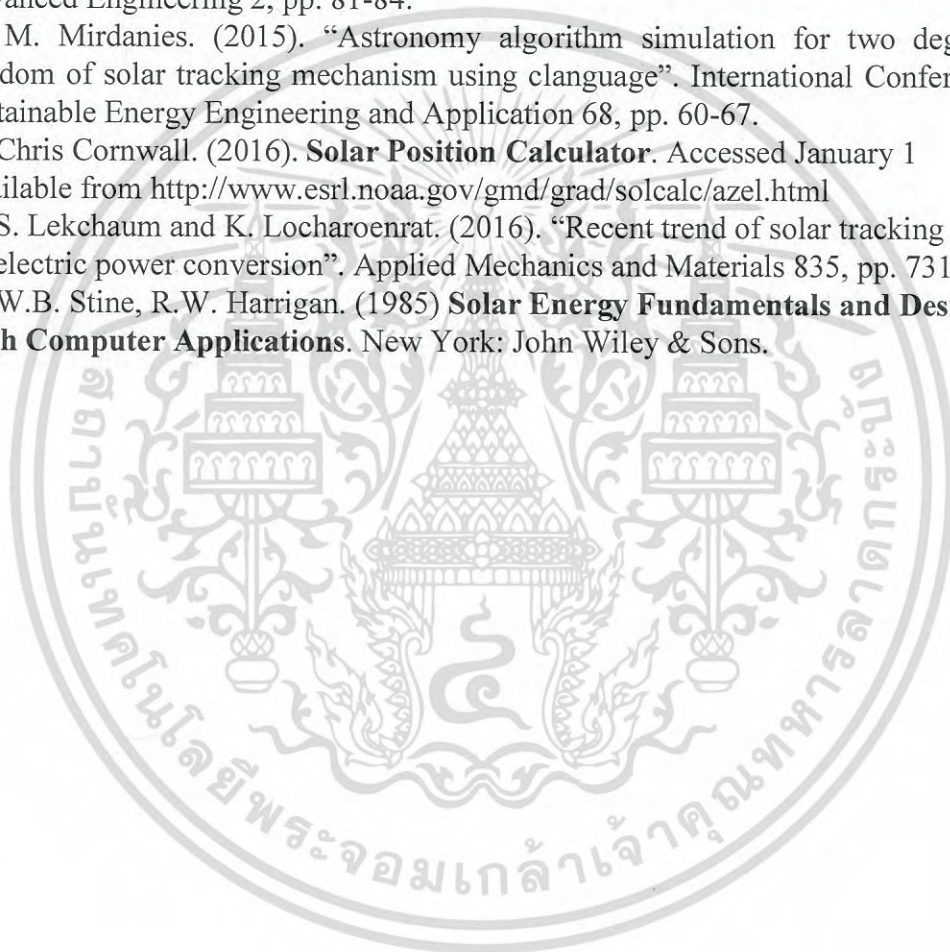
ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ควรจะต้องมีการปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบออกเป็นส่วนๆ เช่น ส่วนของโมดูลเซ็นเซอร์ ส่วนของเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้ระบุตำแหน่งให้กับมอเตอร์ เพื่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละส่วนน้อยที่สุด และส่งผลให้ความแม่นยำของระบบติดตามดวงอาทิตย์สูงขึ้น

บรรณานุกรม

[1] P. Saha, S. Goswami. (2014). "Light sensor based automatic solar tracking system using parabolic reflector and lens focusing action for maximum". International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 4, pp. 286-293.

- [2] A. Sarhan, A.E. Wakeel and A.B. Kotb. (2009). "Analysis and control of hybrid Stepper motor for automatic sun-tracking system". *Aerospace Science & Aviation Technology* 13, pp. 1-12.
- [3] A.J. Alzubaidi. (2015). "Heat collection tracker system for solar thermal applications". *International Journal Computer Technology & Applications* 6, pp. 295-302.
- [4] G. Prinsloo and R. Dobson. (2014) **Solar Tracking**. South Africa: Prinsloo.
- [5] S.Ray. (2012). "Calculation of sun position and tracking the path of sun for a particular geographical location". *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2, pp. 81-84.
- [6] M. Mirdanies. (2015). "Astronomy algorithm simulation for two degrees of freedom of solar tracking mechanism using clanguage". *International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application* 68, pp. 60-67.
- [7] Chris Cornwall. (2016). **Solar Position Calculator**. Accessed January 1 Available from <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azel.html>
- [8] S. Lekchaum and K. Locharoenrat. (2016). "Recent trend of solar tracking system for electric power conversion". *Applied Mechanics and Materials* 835, pp. 731-736.
- [9] W.B. Stine, R.W. Harrigan. (1985) **Solar Energy Fundamentals and Design: With Computer Applications**. New York: John Wiley & Sons.



The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sun is a crown-like structure. The entire emblem is surrounded by a decorative border. The text 'ภาคผนวก' is centered over the seal.

ภาคผนวก

ผู้วิจัย นายกิตติพิศ เจียรวัฒนานุกูล, รศ.สาทราย เล็กชะอุ่ม
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เบอร์โทรศัพท์ 086-546-2251 e-mail kittiphotgun@gmail.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายกิตติพิศ เจียรวัฒนานุกุล
วัน เดือน ปีเกิด	24 มกราคม พ.ศ. 2535
ที่อยู่	130/17 หมู่ 9 ถนนสุขุมวิท ตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษา โรงเรียนบางแก้วประชาสรรค์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาโพลิทสเทท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2557 วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2559
ผลงานทางวิชาการ	เรื่อง การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ด้วยระบบควบคุม โมดูลเซ็นเซอร์แบบใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้