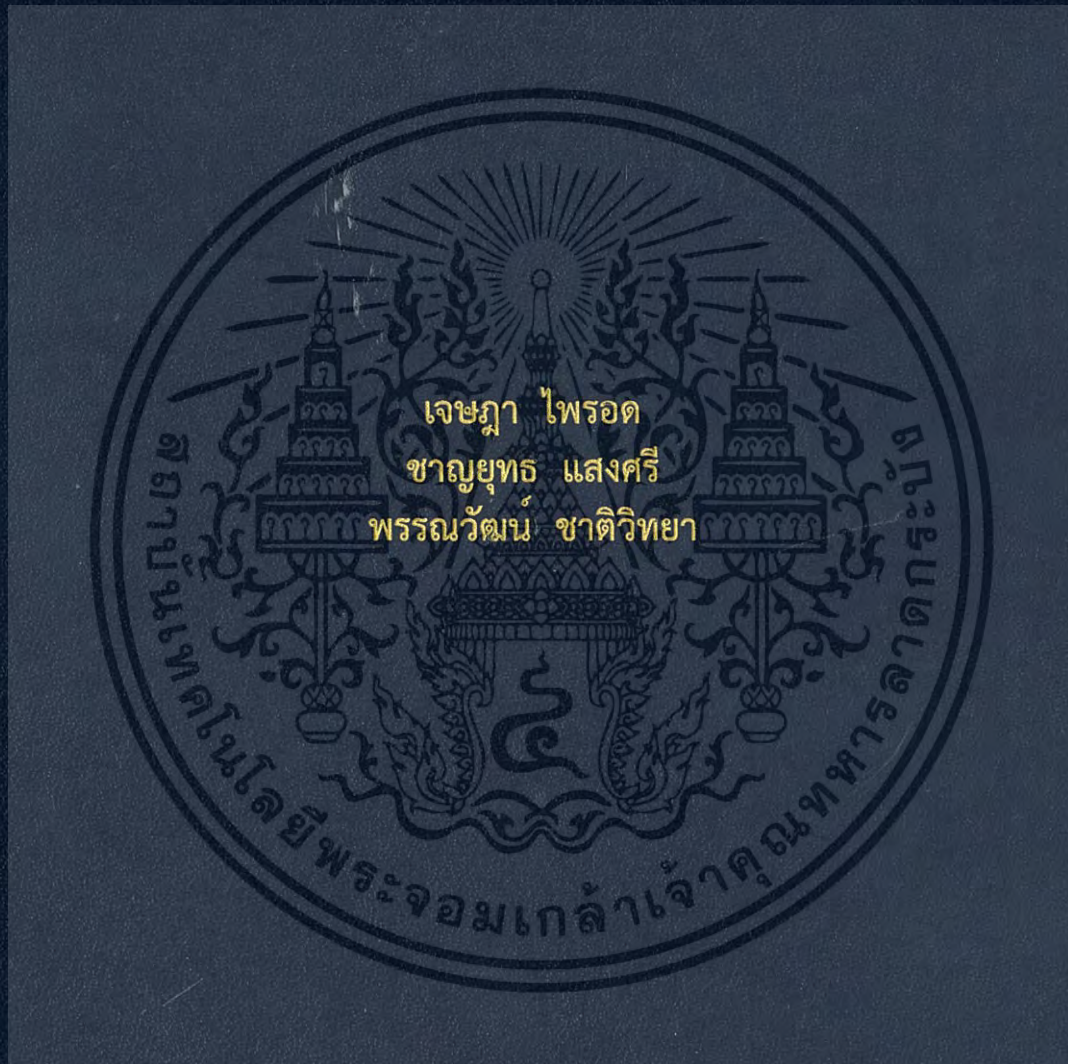


การออกแบบลักซ์มิเตอร์สำหรับระบบการติดตามดวงอาทิตย์
DESIGN OF LUX METERS FOR SOLAR TRACKING
SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การออกแบบลักซ์มิเตอร์สำหรับระบบการติดตามดวงอาทิตย์
DESIGN OF LUX METERS FOR SOLAR TRACKING
SYSTEM



b.00265442
i.....

7B00125

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2558 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF LUX METERS FOR SOLAR TRACKING SYSTEM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG



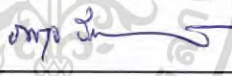

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2015** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบลักซ์มิเตอร์สำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์
Design of Lux Meters for Solar Tracking System

ชื่อนักศึกษา นายเจษฎา ไพรอด รหัสนักศึกษา 55051478
นายชาญยุทธ แสงศรี รหัสนักศึกษา 55051484
นายพรรณวัฒน์ ชาติวิทยา รหัสนักศึกษา 55051561

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สาหร่าย เล็กช่อ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ กรรมการ	
อ.ภาณุจ บันฑิตาวิทย กรรมการ	
รศ.สาหร่าย เล็กช่อ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบลิกซ์มิเตอร์สำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์	
ชื่อนักศึกษา	นายเจษฎา ไพรอด	รหัสนักศึกษา 55051478
	นายชาญยุทธ แสงศรี	รหัสนักศึกษา 55051484
	นายพรรณวัฒน์ ชาตวิทยา	รหัสนักศึกษา 55051561
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาและออกแบบลิกซ์มิเตอร์สำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยการใช้ตัวต้านทานชนิดไวต่อแสง ที่สามารถเปลี่ยนสภาพการนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ (Light Department Resistor; LDR) มาใช้ในการวัดค่าลิกซ์จำนวน 1 ตัวขนาด 5 มม. และการติดตามดวงอาทิตย์จำนวน 4 ตัว ขนาด 5 มม. โดยในการวัดค่าลิกซ์ใช้ LDR ทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าเป็นความต้านทานซึ่งตัวโปรแกรมจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนค่าแรงดันเป็นค่าความสว่างโดยการคำนวณภายในโปรแกรมและส่วนของการติดตามดวงอาทิตย์ใช้ LDR ในการรับความสว่างและควบคุม Servo motor ซึ่ง LDR แต่ละตัวจะเคลื่อนที่ได้ 1 ทิศทาง Motor 1 ตัว ใช้ LDR สำหรับควบคุม 2 ตัวเคลื่อนที่ได้ 2 ทิศทาง และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 เป็นโปรแกรมคำสั่งที่ช่วยในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบลิกซ์มิเตอร์ จากการทดสอบในส่วนนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วนคือ การทดสอบหาค่าตัวต้านทานที่เหมาะสม การทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ การทดสอบระบบวัดค่าลิกซ์ ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าค่าความต้านทานที่วัดได้จากการวัดความสว่างสูงสุดคือ 127375 Lux และค่าความต้านทานสูงสุดคือ 6.9 K Ω และการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้นโดยอาศัยหลักการลำแสงขนานกับดวงอาทิตย์นั้น ประสิทธิภาพของเครื่องมีระบบการติดตามที่ดีโดยหมุนตามดวงอาทิตย์มีความเที่ยงตรงและเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ตลอด ซึ่งค่อนข้างแม่นยำ ส่วนสุดท้ายเป็นการทดสอบระบบวัดค่าลิกซ์ ซึ่งเทียบกับค่าลิกซ์จากการคำนวณ ค่าลิกซ์จากลิกซ์มิเตอร์ และความเข้มแสงจากไพรานอมิเตอร์ พบว่าสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมและเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นที่มีประโยชน์ได้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : ไพรานอมิเตอร์ ลิกซ์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Design of Lux Meters for Solar Tracking System	
Students	Mr.Jessada Prirod	Student ID 55051478
	Mr.Chanyut Sangsri	Student ID 55051484
	Mr.Putnawat Chatvittaya	Student ID 55051561
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King mongkut's Institute of Techonology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Assoc.Prof.Sarai Lekchaum	

Abstract

This special project is to study and design lux meter for solar tracking system. By using light-sensitive resistive type. That can change the electrical conductivity when the hits (Light department resistor : LDR) Was used to measure of Lux with 1 LDR size 5 mm and tracking the sun 4 LDR size 5 mm. By to measure the Lux using LDR receives light and converts the resistance which the application is made to change voltage of the light by internal calculations. And Tracking part using LDR to get light and control servo motor which LDR each one direction using 1 LDR for 2 Direction using 2 LDR. And micro Controller use arduino uno r3. is a program that help to control the solar tracking system and Lux meter. From test in this Part of the test will be divided into 3 section. Test to determine the appropriate resistor. Test system tracking and Test Measure LUX. The result of the test showed that the resistance is measured by measuring the maximum brightness is 127375 Lux At resistance 6.9 K Ω . And the sun tracking system is based on the principle of parallel beam to the sun. The efficiency of system by solar tracking has good track rotation accuracy and movement according to the sun Which is quite accurate.The last part is test measure lux. compare which the calculate value from the lux meter . and the light intensity of pyranometer it can work properly and suitable for application to other applications useful in the future

Keywords : Pyranometer, Lux meter

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สามารถเสร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนจาก รองศาสตราจารย์ สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการที่ตีมาตลอดและยังเสนอแนะข้อสงสัยต่างๆทำให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจและแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ภทริยา กิตติเตชาชาญ ที่กรุณาให้ยืมอุปกรณ์ ลักษมิเตอร์ โดยให้ความช่วยเหลือและแนะนำวิธีการใช้อุปกรณ์การทดลอง รวมถึงการสอนเทคนิคต่างๆที่ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณนาย กิตติพิศ เจียรวัฒนานุกุล ที่ปรึกษาส่วนบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในการเขียนโปรแกรมของระบบการวัดความสว่างและการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

ขอขอบคุณนาย คณิงชาติ แสนยศ ที่ปรึกษาส่วนบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในด้านต่างๆเกี่ยวกับโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณเพื่อน นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคน ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทความรู้ตลอดระยะเวลาการศึกษา ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินงานจนสำเร็จ และขออน้อมรำลึกถึงคุณของบิดา มารดา ที่คอยให้คำปรึกษาและเป็นทุนทรัพย์คอยเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำโครงการพิเศษ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการศึกษาจึงทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เจษฎา ไพรอด

ชาญยุทธ แสงศรี

พรรณวัฒน์ ชาตวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลังงานรังสีอาทิตย์	4
2.2 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนฟ้า	7
2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์	7
2.2.2 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	9
2.2.3 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	10
2.2.3.1 มุมเดคลิเนชัน (Declination angle)	12
2.2.3.2 มุมชั่วโมง (Hour angle ; ω)	15
2.2.3.3 เวลา (Time)	16
2.2.3.4 การวิเคราะห์สมการของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด	18
2.3 ทฤษฎีโครงสร้างระบบติดตามรังสีอาทิตย์	22
2.3.1 มอเตอร์กระแสตรง	22
2.3.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	22
2.4 ทฤษฎีทางการควบคุมระบบ	23
2.4.1 Hardware	23
2.4.1.1 Arduino	23
2.4.1.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino	24
2.4.1.3 Arduino Uno R3	27
2.4.1.4 แอลดีอาร์ (LDR)	28

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.2 Software	30
2.4.2.1 การติดตั้ง Driver ของ USB Bridge ของบอร์ด ARDUINO UNO R3	30
2.4.2.2 การพัฒนาโปรแกรมของ Arduino Uno R3 ด้วย Arduino	38
2.4.2.3 การติดตั้งโปรแกรม Arduino	39
2.4.2.4 ทดสอบเขียนโปรแกรมด้วย Arduino	40
2.5 Pyranometer	46
2.6 เครื่องลักซ์มิเตอร์	47
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	51
3.1 การศึกษาหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	51
3.1.1 คำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ AZIMUTH และ ALTITUDE จากสมการ NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA)	51
3.2 การศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	53
3.2.1 การศึกษาการออกแบบและสร้างโครงสร้างระบบติดตาม การเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์	53
3.2.2 การศึกษาออกแบบและสร้างโมดูลเซ็นเซอร์	56
3.2.3 การศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความสว่าง	58
3.3 การศึกษาออกแบบและสร้างกล่องควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ ของดวงอาทิตย์	60
3.3.1 ขั้นตอนการทำ Tracking System	60
3.3.1.1 ออกแบบและสร้างกล่องควบคุมระบบ	60
3.3.1.2 ออกแบบและสร้างโมดูลติดตามดวงอาทิตย์	63
3.3.2 การหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการใช้กับการ	67
3.3.3 การศึกษาและเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบติดตามดวงอาทิตย์	67
3.3.4 การศึกษา Pyranometer	70
3.3.5 ศึกษาเครื่องลักซ์มิเตอร์ รุ่น HS1010A	71
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	73
4.1 การทดสอบและวิเคราะห์ในการหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมกับการนำไปใช้	73
4.2 ผลการทดลองการวัดค่า LUX จากเครื่องมือที่สร้างขึ้น	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินงาน	3
2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k	17
2.2 ค่า LUX ในสถานที่ต่างๆ	49
3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k	52
4.1 ผลการทดลองเพื่อหาค่าตัวต้านทานที่เหมาะสม	74
4.2 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 10 พฤษภาคม 2559	76
4.3 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 11 พฤษภาคม 2559	80
4.4 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 12 พฤษภาคม 2559	84
4.5 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 13 พฤษภาคม 2559	88
4.6 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 14 พฤษภาคม 2559	92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความยาวคลื่นแสงในช่วงต่างๆจากดวงอาทิตย์	5
2.2 สเปกตรัมของวัตถุดำที่อุณหภูมิ 6000 K และสเปกตรัมของแสงอาทิตย์	6
2.3 เส้นทางเดินของแสงผ่านชั้นบรรยากาศ	7
2.4 แสดงวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี	8
2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ในรอบปี	8
2.6 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด	9
2.7 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด	10
2.8 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด	10
2.9 แสดงความสัมพันธ์ของมุมอะซิมูท มุมอัลติจูด และมุมเซนิทนิยามของค่าที่สำคัญในการบอกตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้าในระบบเส้นขอบฟ้า	11
2.10 แสดงความสัมพันธ์ของทรงกลมท้องฟ้ากับโลก	11
2.11 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	13
2.12 แสดงความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชัน	13
2.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันในรอบปี	15
2.14 แสดงความสัมพันธ์ของมุมชั่วโมง	15
2.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมชั่วโมงใน 24 ชั่วโมง	16
2.16 แสดงความสัมพันธ์ของ Equation of time ในรอบปี	16
2.17 แสดงความสัมพันธ์ของพิกัด ทิศเซนิท (z), ทิศตะวันออก (e) และทิศเหนือ (n)	18
2.18 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์รังสีดวงอาทิตย์กับมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง	19
2.19 แสดงความสัมพันธ์ของการหมุนพิกัดจากตำแหน่งผู้สังเกตถึงจุดศูนย์กลางของโลก	20
2.20 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ขนาน และ ในพิกัดผิวโลกและจุดศูนย์กลางของโลก	21
2.21 แสดงถึงการต่อบอร์ด Arduino กับ LED และ XBee Shield	23
2.22 แสดงถึงการเขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์	24
2.23 แสดงถึงการเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload	25
2.24 แสดงถึงการ Comport ของบอร์ด	25
2.25 แสดงถึงการ up load โค้ดโปรแกรมไปยังบอร์ด	26
2.26 แสดงถึงการ up load โค้ดโปรแกรมไปยังบอร์ด	26
2.27 แสดงถึงโครงสร้าง Arduino Uno R3	27
2.28 แสดงรูปของแอลดีอาร์ทั่วไป	28
2.29 แสดงโครงสร้างของแอลดีอาร์	28
2.30 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆของLDR ทั้ง 2 แบบเมื่อเทียบกับความไวของตาคน	29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.31 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	30
2.32 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	31
2.33 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	32
2.34 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	33
2.35 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	34
2.36 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	35
2.37 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	36
2.38 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver	37
2.39 การพัฒนาโปรแกรมของ ARDUINO UNO R3 ด้วย Arduino	38
2.40 แสดงไอคอนของโปรแกรม Arduino	39
2.41 แสดงโปรแกรม Arduino	40
2.42 แสดงการใช้งานโปรแกรม Arduino	41
2.43 แสดงการเชื่อมต่อ Serial Port โปรแกรม Arduino	42
2.44 แสดงการทดสอบโปรแกรมลงบอร์ด Arduino	43
2.45 แสดงการตรวจสอบโปรแกรมก่อนการอัปเดตโปรแกรมลงบอร์ด Arduino	44
2.46 แสดงการอัปเดตโปรแกรมลงบอร์ด Arduino	45
2.47 แสดงจุดที่รังสีอาทิตย์ตกกระทบ	46
2.48 แสดงส่วนป้องกันรังสีที่สะท้อน	47
2.49 เครื่องลิกซ์มิเตอร์	47
2.50 โครงสร้างและวงจรภายในของเครื่องวัดแสง	48
3.1 แสดงขนาดของขาตั้งกล้อง	53
3.2 แสดงขนาดฐานวางมอเตอร์ตัวที่ 1	54
3.3 แสดงขนาดฐานวางมอเตอร์ตัวที่ 2	54
3.4 โครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดฐานโมดูลเซ็นเซอร์ติดกับมอเตอร์ตัวที่ 2	55
3.5 โครงสร้างเครื่องวัดความสว่างของแสงอาทิตย์ ที่สร้างขึ้น	55
3.6 (ก) โครงสร้างโมดูลเซ็นต์เซอร์	57
(ข) การวาง LDR บนโมดูล	
(ค) โครงสร้างโมดูลเซ็นต์เซอร์ ที่จัดทำขึ้น	
3.7 (ก) โครงสร้างเครื่องมือวัดความสว่าง	59
(ข) โครงสร้างเครื่องมือวัดความสว่างที่จัดทำขึ้น	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8	59
3.9	60
3.10	62
3.11	63
3.12	64
3.13	64
3.14	65
3.15	66
3.16	67
3.17	68
3.18	69
3.19	69
3.20	70
3.21	71
4.1	73
4.2	75
4.3	78
4.4	79
4.5	79
4.6	80
4.7	82
4.8	83
4.9	83
4.10	84
4.11	86
4.12	87
4.13	87
4.14	88
4.15	90
4.16	91
4.17	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) และความเข้มแสง ($w\lambda m^2$)	92
4.19 แสดงถึงวงจร LDR Divider	94
4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา	95
4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา	95
4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) และความเข้มแสง ($w\lambda m^2$)	96



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
AM	ทางเดินของรังสีอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศ
Z	มุมซีไนทซ์; ($^{\circ}$)
θ	มุม; ($^{\circ}$)
α	มุมระหว่างพื้นราบกับแนวลำแสงอาทิตย์; ($^{\circ}$)
A	มุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์และระนาบของเมอร์ริเดียนท้องถิ่น
θ_z	เป็นมุมระหว่างแนวตั้งเหนือศีรษะจากจุดเซนทริกกระทำกับแนวรังสีจากดวงอาทิตย์
\hat{A}	เวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแนวแกนหมุนโลก มีทิศจากขั้วโลกใต้ไปยังขั้วโลกเหนือ
\hat{R}	เวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
φ	ระยะทางเชิงมุมของวงโคจรของโลก โดยกำหนดให้เป็นจำนวนวันใน 1 รอบปี
ϕ	ค่าของมุม; ($^{\circ}$)
δ	มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์; ($^{\circ}$)
ω	มุมชั่วโมง; ($^{\circ}$)
A_k	ค่าสัมประสิทธิ์
B_k	ค่าสัมประสิทธิ์
λ	เวลาที่ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต
VDC	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง; (Volt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

LDR	Light Dependent Resistor
lux	หน่วยวัดความสว่าง
LCT	LOCAL CLOCK TIME เวลาท้องถิ่นคำนวณ TIME ZONE (ชั่วโมง)
EQT	EQUATION OF TIME สมการเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบันแต่ละประเทศมีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นทุกๆปี และทรัพยากรธรรมชาติที่ถูกนำมาผลิตเป็นไฟฟ้านั้น คือ น้ำมันดิบ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งทรัพยากรธรรมชาติชนิดนี้ใช้แล้วค่อนข้างหมดเวียนเข้ามา จึงเป็นผลทำให้ปริมาณของน้ำมันดิบบนโลกลดลงอย่างต่อเนื่อง และอีกในไม่ช้าอาจจะหมดลง จึงทำให้มนุษย์บนโลกพยายามหาแหล่งน้ำมันดิบใหม่ๆเพื่อตอบสนองการใช้งานที่สูงขึ้น ซึ่งแน่นอนว่าการนำน้ำมันดิบขึ้นมาจากใต้พิภพนั้นต้องใช้เครื่องมือหนักและเทคโนโลยีขั้นสูงที่ได้มาตรฐานเพื่อความปลอดภัยสูงสุด นั่นจึงตกเป็นภาระหนักต่อฐานะการเงิน การลงทุนของแต่ละประเทศ เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันดิบที่เพียงพอต่อความต้องการของประเทศ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมที่เกิดจากการใช้พลังงานจำนวนมากศาสตร์ดังกล่าวด้วย จึงก่อให้เกิดงานวิจัยเพื่อหาพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศนั้นๆ พลังงานทดแทนที่น่าสนใจและมีงานวิจัยมากอีกประเภทหนึ่งคือพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด แต่ในการนำมาใช้ประโยชน์อาจยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากแสงอาทิตย์มีเฉพาะในตอนกลางวันตลอดจนมีความเข้มของแสงที่ไม่แน่นอนเพราะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและฤดูกาลที่เปลี่ยนไป สำหรับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น และมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 17.5 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และปริมาณอนุกรมหมิมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงอนุกรมหมิม 30-35 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น การนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยลดการใช้้ำมันดิบและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

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

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะพัฒนาโปรแกรมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นไว้แล้ว โดยการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อออกแบบลักษณะที่ใช้ในการวัดความสว่างของแสงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาระบบการติดตามระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบในการวัดความสว่างของรังสีอาทิตย์
3. เพื่อทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น
4. ศึกษาการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์เพื่อใช้หาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
2. ศึกษาการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์
3. ศึกษาการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3
4. ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความสว่างของรังสีอาทิตย์
5. พัฒนาและออกแบบสร้างโปรแกรมควบคุมการวัดความสว่างรังสีอาทิตย์และการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยใช้ Arduino Uno R3
6. ทดสอบระบบวัดความสว่างของรังสีอาทิตย์
7. วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการวัดความสว่างรังสีอาทิตย์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- | | |
|--------------|---|
| ขั้นตอนที่ 1 | ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลวิจัยเกี่ยวกับระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ |
| ขั้นตอนที่ 2 | เตรียมอุปกรณ์สำหรับการสร้างเครื่องมือ |
| ขั้นตอนที่ 3 | ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างของอาทิตย์และระบบติดตามดวงอาทิตย์ |
| ขั้นตอนที่ 4 | ทดสอบหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการใช้กับเครื่องลักซ์มิเตอร์ |
| ขั้นตอนที่ 5 | ศึกษาการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 |
| ขั้นตอนที่ 6 | ออกแบบและสร้างโปรแกรมควบคุมการวัดความสว่าง |
| ขั้นตอนที่ 7 | ทดสอบการทำงานของระบบที่สร้างขึ้น |
| ขั้นตอนที่ 8 | วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการวัดความสว่างรังสีอาทิตย์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ปีการศึกษา 2558							
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
ขั้นตอนที่ 1								
ขั้นตอนที่ 2								
ขั้นตอนที่ 3								
ขั้นตอนที่ 4								
ขั้นตอนที่ 5								
ขั้นตอนที่ 6								
ขั้นตอนที่ 7								
ขั้นตอนที่ 8								

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางในการพัฒนาระบบติดตามดวงอาทิตย์
2. ได้พัฒนาการใช้โปรแกรมในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
3. ได้แนวทางในการสร้างองค์ความรู้ใหม่สำหรับการใช้ประโยชน์จากพลังงานรังสีอาทิตย์
4. ได้ความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือวัดและเครื่องมือทางกลศาสตร์เพื่อนำไปสู่การใช้ประกอบ สัมมาอาชีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานรังสีอาทิตย์ (Solar energy)

ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของสุริยจักรวาลโลก ดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อโลกและความเป็นอยู่ของมนุษย์มาก ที่สำคัญคือดวงอาทิตย์ทำให้สภาพภูมิศาสตร์ของโลกมีความแตกต่างกันออกไป เช่น เขตร้อน เขตอบอุ่น เขตหนาว และดวงอาทิตย์ทำให้เกิดการหมุนเวียนของกระแสอากาศที่สำคัญคือ ลม การหมุนเวียนของกระแสน้ำในมหาสมุทรคือ กระแสน้ำอุ่น กระแสน้ำเย็น นอกจากนี้ดวงอาทิตย์ทำให้เกิดวัฏจักรของน้ำซึ่งมีผลต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดวงอาทิตย์นอกจากจะให้แสงสว่างแก่โลกเราแล้วยังกระจายรังสีออกมาด้วย รังสีจากแสงสว่างจะช่วยให้สิ่งมีชีวิตดำรงอยู่ได้ ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือโฟโตซินเทซิส คือ การปรุงอาหารในพืช เพื่อการดำรงชีพ และการเจริญเติบโตของต้นพืช แต่รังสีแสงอาทิตย์ก็มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเช่นกันถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป พลังงานแสงอาทิตย์นับเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและมีอยู่มากมาย เป็นพลังงานที่ได้เปล่าเราเพียงเสียค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าอุปกรณ์ในการรวบรวมแสงอาทิตย์มาใช้งานเท่านั้น 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

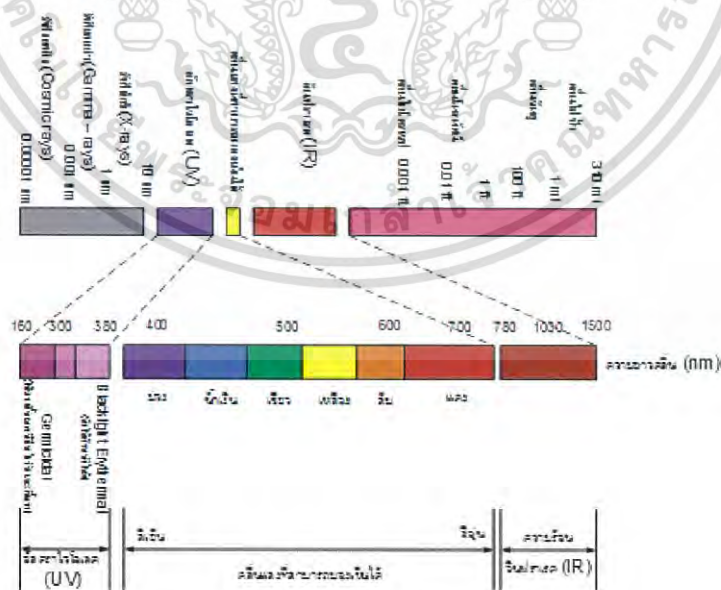
1. พลังงานที่เกิดจากรังสี รูปแบบการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้งาน แบ่งอย่างกว้างๆ เป็น 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับวิธีการในการจับพลังงานแสง การแปรรูปให้เป็นพลังงานอีกรูปหนึ่ง และการแจกจ่ายพลังงานที่ได้ใหม่
 - 1.1 แอคทีฟโซลาร์ เป็นการใช่วิธีการของ โฟโตโวลตาอิกหรือ Solar thermal เพื่อจับและเปลี่ยนพลังงานของแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า 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 ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant) ซึ่งก็คือ ค่าอัตราการตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่ในทิศทางตั้งฉากกับดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกและจะมีค่าแตกต่างกันออกไปในแต่ละเดือน โดยมีค่าแปรผันไปตามช่วงความยาวคลื่นของรังสีซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบไปด้วย ช่วงอุลตราไว

โอเลต ความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 nm พลังงานของแสงจะถูกดูดกลืนโดย O_2 N_2 และ O_3 ในชั้นโอโซนสเฟียร์ 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 คิวบิก ก้อนเมฆ และพวกที่มีขนาดโมเลกุล ใกล้เคียงหรือโตกว่าความยาวคลื่น การกระเจิงโดยโมเลกุล อากาศที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นรังสีเป็นไปตามทฤษฎีของเรย์เลห์ (Rayleigh)

ผลกระทบของบรรยากาศที่มีต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์มายังโลก ทำให้รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกประกอบด้วยรังสี 2 ส่วน คือ

1. รังสีตรง รังสีส่วนนี้เป็นรังสีที่พื้นโลกได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ มีทิศทางแน่นอน ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนมุมตกกระทบพื้นที่ต่างๆ บนโลกไปตามเวลาก็ตามบางครั้งเรียกรังสีตรงนี้ว่า รังสีช่วงคลื่นสั้น รังสีตรงเหมาะกับการใช้งานรวมแสง
 2. รังสีกระจาย ส่วนนี้ได้จากการสะท้อนและการกระเจิงของรังสีแสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ บางครั้งเรียกรังสีส่วนนี้ว่ารังสีช่วงคลื่นยาว
- ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายเรียกว่า รังสีรวม เวลาอากาศโปร่งจะมีส่วนของรังสีกระจายเพียงร้อยละ 5 – 10 % และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีเมฆมาบังแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1 ความยาวคลื่นแสงในช่วงต่างๆ จากดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

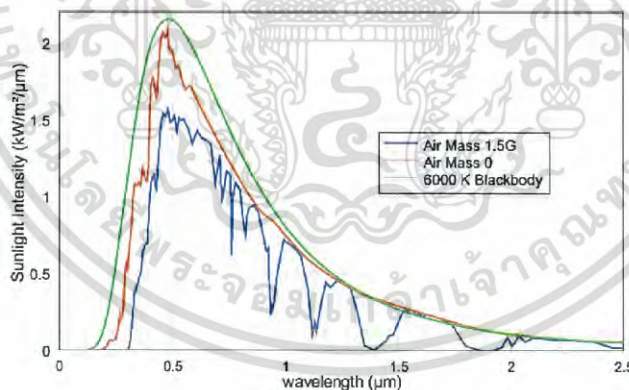
การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ถูกพิจารณาว่าเสมือนกับการแผ่รังสีของวัตถุดำ และมีลักษณะของสเปกตรัมการแผ่รังสี ดังรูปที่ 2.2 จากรูปจะสังเกตเห็นแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาถึงโลกของเราจะมีสเปกตรัมของพลังงานที่ต่อเนื่อง และมีการแผ่รังสีครอบคลุมย่านความยาวคลื่น $\sim 0.2 - 2.6$ ไมโครเมตร

สเปกตรัมของแสงจะประกอบไปด้วยย่านความยาวคลื่นที่สำคัญ 3 ย่าน

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

แสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวนอกบรรยากาศโลก (Air Mass 0) จะมีลักษณะของเส้นกราฟคล้ายกับสเปกตรัมการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประมาณ 6000 K (เส้นสีเขียว) เมื่อแสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะมีสเปกตรัมของการแผ่รังสีเปลี่ยนแปลงไป (Air Mass 1.5G) เนื่องจากถูกดูดกลืนเกิดการสะท้อนและเกิดการกระเจิงของแสงเมื่อตกกระทบบนโมเลกุลของก๊าซ อุณหภูมิต่างๆที่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศ

แสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวนอกบรรยากาศโลก (Air Mass 0) จะมีลักษณะของเส้นกราฟคล้ายกับสเปกตรัมการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประมาณ 6000 K (เส้นสีเขียว) เมื่อแสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะมีสเปกตรัมของการแผ่รังสีเปลี่ยนแปลงไป (Air Mass 1.5G) เนื่องจากถูกดูดกลืนเกิดการสะท้อนและเกิดการกระเจิงของแสงเมื่อตกกระทบบนโมเลกุลของก๊าซ อุณหภูมิต่างๆที่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของวัตถุดำที่อุณหภูมิ 6000 K และสเปกตรัมของแสงอาทิตย์

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

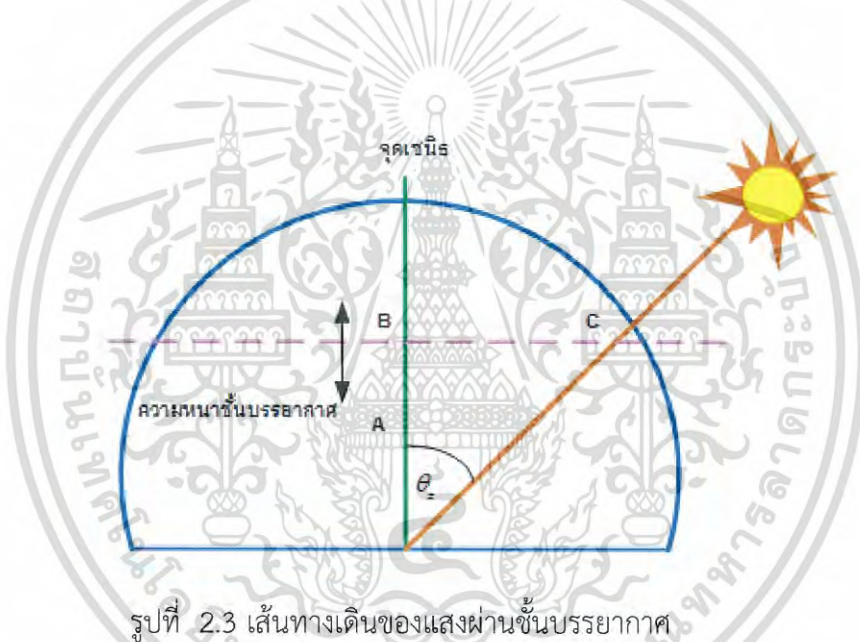
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ θ_z คือมุมระหว่างจุดเซนิตและดวงอาทิตย์ (มุมเซนิต)

จุดเซนิต คือจุดสูงสุดบนส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere) ที่ตั้งฉากกับระนาบขอบฟ้า (Horizontal Plane)

ค่าพลังงานของแสงที่ตกกระทบบนผิวโลกจะเกี่ยวข้องโดยตรงโดยตรงปริมาณของรังสีที่ได้รับ ซึ่งค่าพลังงานที่โลกได้รับจะมีค่าแตกต่างกันในละสถานที่ วันและเวลาที่พิจารณา อีกทั้งยังมีผลของปัจจัยของสภาพบรรยากาศอื่นๆ เช่น ความขุ่นมัวของท้องฟ้าเนื่องจากฝุ่นละออง หมอกและควัน เป็นต้น ดังนั้นการหาค่าพลังงานโดยการวัดสเปกตรัมของแสงจะทำให้ทราบถึงปริมาณแสงที่ส่งมาถึงพื้นที่ๆ พิจารณาในแต่ละความยาวคลื่นและสามารถใช้วิเคราะห์หาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อสเปกตรัมแสง ณ ตำแหน่งที่พิจารณาได้อีกด้วย



รูปที่ 2.3 เส้นทางเดินของแสงผ่านชั้นบรรยากาศ

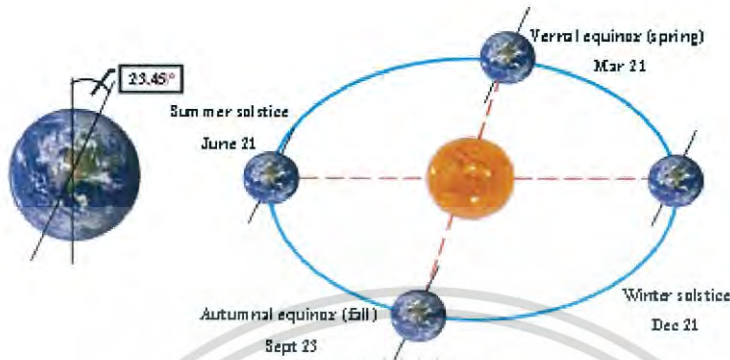
2.2 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

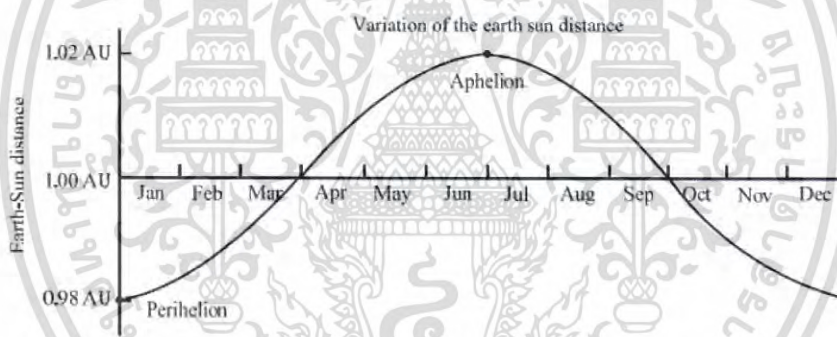
เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี (Ellipse) ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนแปลงไปตลอดปี โดยมีระยะห่างเฉลี่ยเท่ากับ 1.51×10^{11} เมตร ความแตกต่างระหว่างระยะห่างไกลสุดและใกล้สุดมีค่าร้อยละ 1.7 จากค่าเฉลี่ย เมื่อมองจากขั้วเหนือของระนาบทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ หรือ ระนาบสุริยวิถี (Ecliptic Plane) โลกจะปรากฏโคจรไปรอบๆ ในทิศทวนเข็มนาฬิกาและในขณะเดียวกันก็หมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ในวันที่ 2 มกราคมของปี โลกจะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะน้อยที่สุดที่เรียกว่าตำแหน่งนี้ว่า เพอริฮีเลียน (Perihelion) มีค่าประมาณ 1.47×10^{11} เมตร และในวันที่ 3 กรกฎาคมของปีโลกจะเคลื่อนที่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางมากที่สุด เรียกตำแหน่งนี้ว่า แอฟีเลียน (Aphelion) มีค่าประมาณ 1.52×10^{11} เมตร ดังรูปที่ 2.4



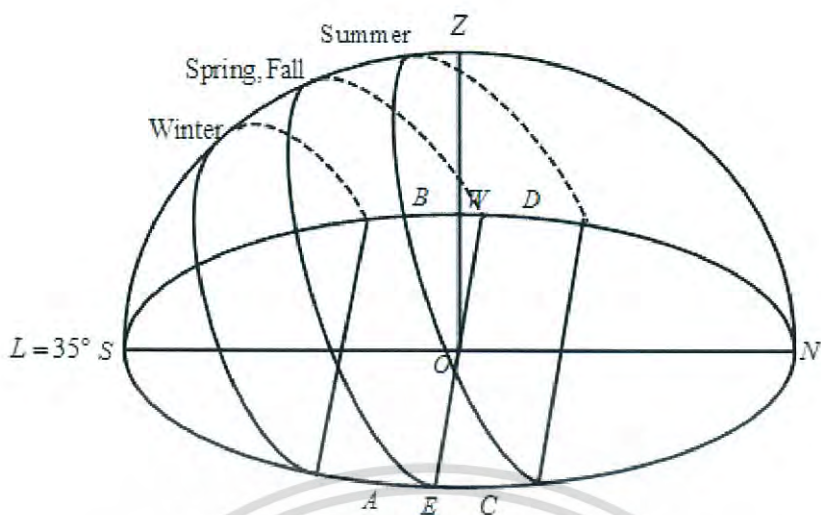
รูปที่ 2.4 แสดงวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี



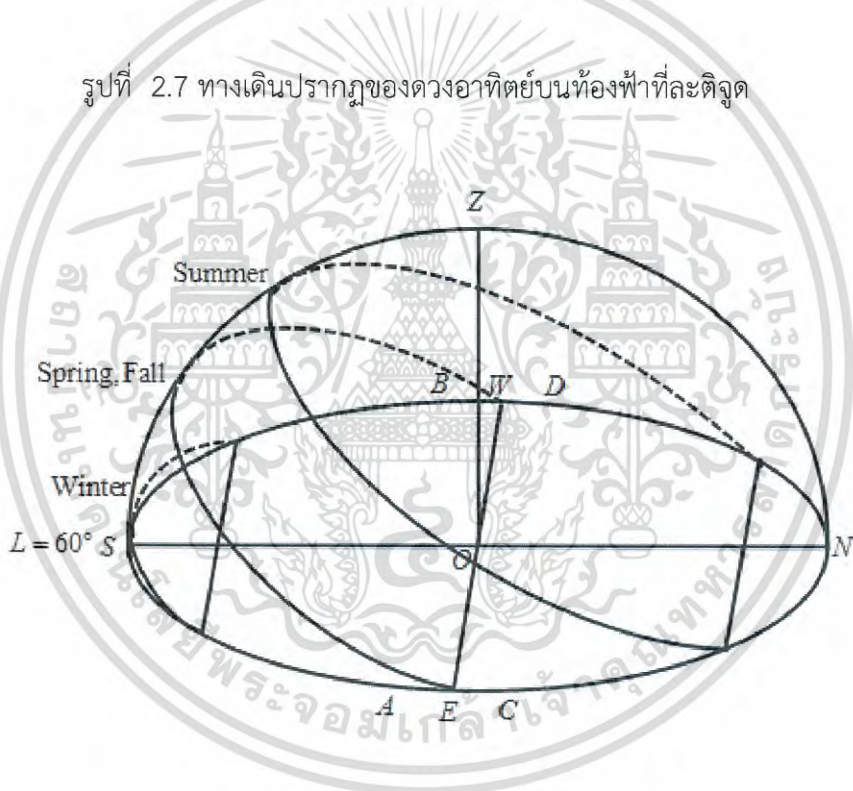
รูปที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ในรอบปี

(ที่มา Stine and Harrigan, 1985)

ผลจากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี และแกนหมุนของโลกเอียงทำมุม 23.45 องศา กับแกนซึ่งตั้งฉากกับระนาบสุริยวิถี ส่งผลให้ในรอบปี จะเกิดฤดูกาลต่างๆ ขึ้น 4 ฤดูดังภาพประกอบ 2.2 กล่าวคือ ในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 23 กันยายน แกนเอียงของโลกอยู่ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับแนวการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ การเอียงของแกนหมุนของโลกจะไม่มีผลต่อแสงอาทิตย์ ชีงโลกด้านเหนือ จะได้รับแสงอาทิตย์กับเท่ากับซีกโลกใต้ ดวงอาทิตย์จะปรากฏขึ้นอยู่เหนือขอบฟ้า 12 ชั่วโมง และใต้ขอบฟ้า 12 ชั่วโมง นั่นคือ กลางวันกับกลางคืนยาวเท่ากัน เรียกตำแหน่งทั้งสองว่า อีควินอกซ์ (Equinoxes) ซึ่งวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่า สปริง (Spring) หรือ เวอร์นอลอีควินอกซ์ (Vernal Equinox) และวันที่ 23 กันยายน เรียกว่าฟอล (Fall) หรือ ออร์ทมนอลอีควินอกซ์ (Autumnal Equinox) หลังจากวันที่ 21 มีนาคม โลกจะโคจรไปสู่ตำแหน่งที่หันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด



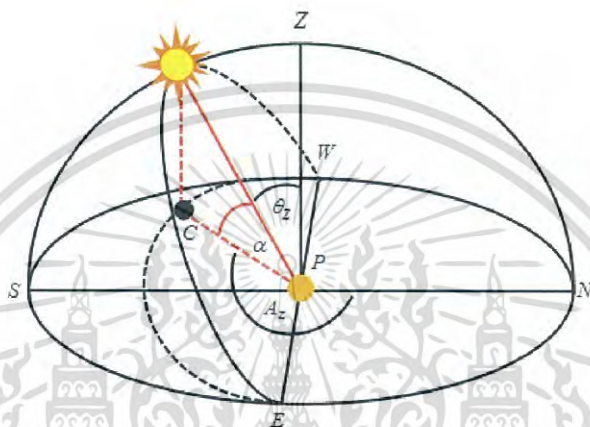
รูปที่ 2.8 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด

2.2.3 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

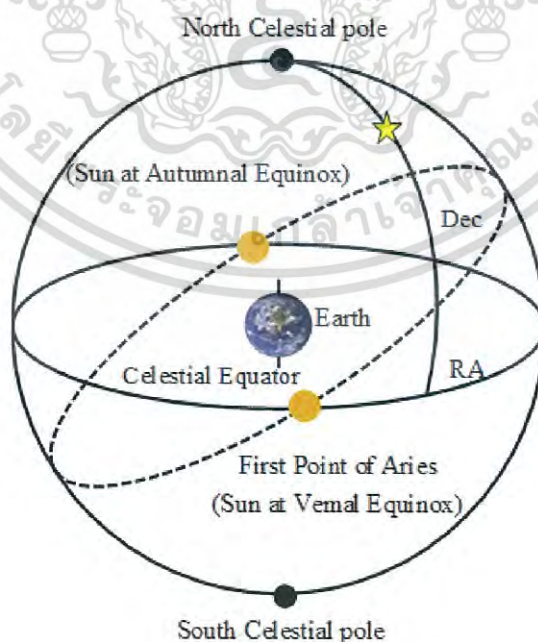
ในวิชาดาราศาสตร์ เมื่อต้องการบอกตำแหน่ง ของวัตถุบนท้องฟ้า โดยมากใช้แนวความคิด เรื่องทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere) ซึ่งหมายถึงทรงกลมรัศมีหนึ่งหน่วยมีจุดศูนย์กลางเป็นจุด ออริจิน และวัตถุท้องฟ้าต่างติดอยู่บนผิวทรงกลมนี้ ถ้าขยายเส้นศูนย์สูตรของโลกออกไปพบทรงกลม ท้องฟ้า วงกลมใหญ่ที่ปรากฏบนทรงกลมท้องฟ้า เรียกว่า เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (Celestial Equator) ถ้าให้ผู้สังเกตเป็นจุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้า วงกลมใหญ่ที่อยู่รอบๆ ผู้สังเกต เรียกว่า เส้นขอบ

ฟ้า (Horizon) ดังภาพประกอบ 2.4 ส่วนการระบุตำแหน่งของวัตถุต่างๆ บนท้องฟ้าสามารถจำแนกคร่าวๆ ได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ วัตถุที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และวัตถุที่มองเห็นได้ด้วยกล้องโทรทรรศน์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้หลายระบบเช่น ระบบเส้นขอบฟ้า (Horizon System) ระบบเส้นศูนย์สูตร (Equator System) ระบบเส้นอีคลิปติก (Ecliptic System) และระบบแกลแลคติก (Galactic System) ในที่นี้ การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะใช้ระบบเส้นขอบฟ้า ซึ่งเป็นระบบที่ใช้บอกตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้าว่า อยู่เหนือขอบฟ้าเป็นระยะตามมุมเท่าใด และอยู่ห่างจากตำแหน่งเทียบบนขอบฟ้ามากน้อยเพียงใด โดยที่ระบบนี้จะมีเส้นขอบฟ้า (Horizon) เป็นวงกลมใหญ่หลัก โค-ออดิเนทของระบบนี้เรียกว่า อัลติจูด (Altitude, α) และอะซิมูท (Azimuth, A) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของมุมอะซิมูท มุมอัลติจูด และมุมเซนิเทียนียมของค่าที่สำคัญในการบอกตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้าในระบบเส้นขอบฟ้า



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ของทรงกลมท้องฟ้ากับโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมอร์ริเดียนท้องฟ้า (Celestial Meridian) เป็นวงกลมแนวตั้งที่ผ่านเส้นขอบฟ้า ณ จุดทิศเหนือ (N) และจุดทิศใต้ (S) ซึ่งเป็นเส้นสมมุติเส้นหนึ่งบนท้องฟ้า เริ่มจากขอบฟ้าทิศเหนือลาก ขึ้นไปจนถึงจุดเหนือศีรษะ ลากต่อไปจนจรดขอบฟ้าทิศใต้แบ่งครึ่งท้องฟ้าออกเป็น 2 ส่วน คือ ซีกตะวันออก และตะวันตก

มุมอะซิมุมท (Azimuth, A) เป็นควาระยะทางเชิงมุมที่วัดจากจุดทิศเหนือ (N) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ไปยังทิศตะวันออก (E) จนถึงวงกลมแนวตั้งของดวงอาทิตย์ หรือเงาของดวงอาทิตย์ในแนวราบ มุมอะซิมุมทมีค่าระหว่าง $0 - 360$ องศา

มุมอัลติจูด (Altitude, α) เป็นค่ามุมเมย วัดจากเส้นขอบฟ้าขึ้นไปตามวงกลมแนวตั้ง จนถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้า มุมอัลติจูดจะมีค่าระหว่าง $0 - 90$ องศาถ้าดวงอาทิตย์อยู่ที่เส้นขอบฟ้า ค่าอัลติจูด เท่ากับ 0 องศา ถ้าดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะพอดีค่าอัลติจูด เท่ากับ 90 องศา

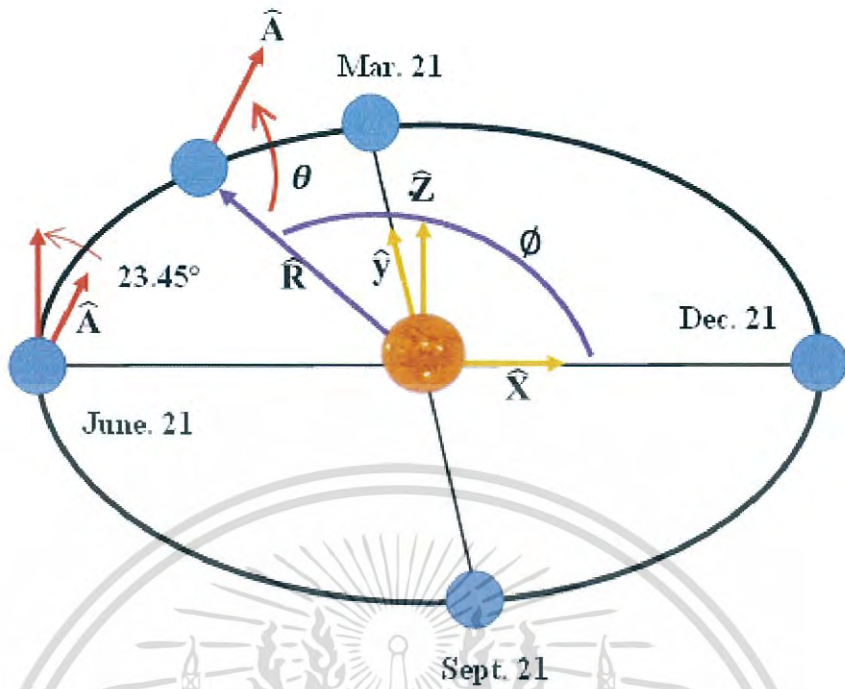
มุมเซนิท (Zenith, θ_z) เป็นมุมระหว่างแนวตั้งเหนือศีรษะจากจุดเซนิทกระทำกับแนวรังสีจากดวงอาทิตย์ มุมเซนิทจะมีค่าระหว่าง $0 - 90$ องศา หรือมีค่าเท่ากับ

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

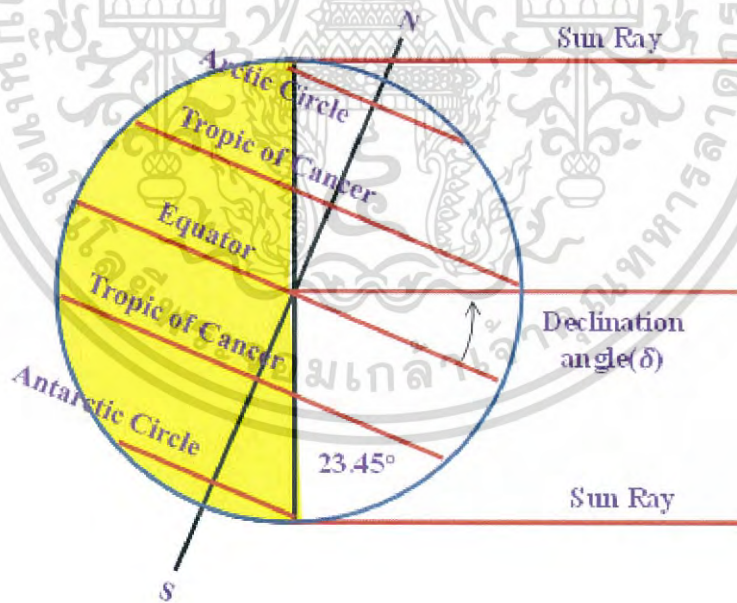
ค่าอัลติจูดและอะซิมุมทของดวงอาทิตย์ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ถ้าผู้สังเกตอยู่ที่ตำแหน่งละติจูดต่างกัน จะสังเกตเห็นดวงอาทิตย์ในขณะเวลาเดียวกันมีค่าอัลติจูดและอะซิมุมทแตกต่างกัน ดังนั้นค่าอัลติจูดและอะซิมุมทจะขึ้นกับตัวแปรหลายค่า เช่น การเอียงของแกนหมุนของโลก เวลา ตำแหน่งลองจิจูด ตำแหน่งละติจูด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.3.1 มุมเดคลิเนชัน (Declination angle)

มุมเดคลิเนชันเป็นผลกระทบจากการเอียงของแกนหมุน ของโลกหาได้จากระยะทางเชิงมุมทางเหนือหรือใต้จากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า ขึ้นหรือลงไปตามเส้นแนวรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6 มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง $+ 23.45$ ถึง $- 23.45$ องศา ในช่วง 1 รอบปี 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 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

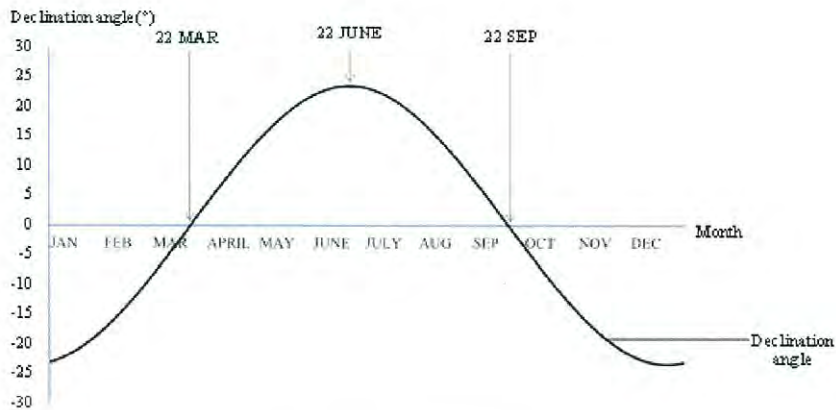
รวมสมการ 2.2, 2.5 และ 2.6 จะได้

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

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

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

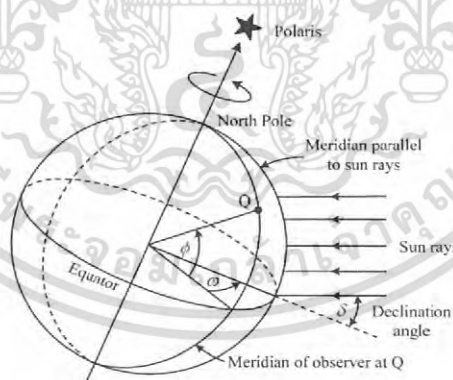
นำสมการ 2.7 หรือ 2.8 ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันและจำนวนวันในรอบปี จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันในรอบปี

2.2.3.2 มุมชั่วโมง (Hour angle, ω)

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



รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ของมุมชั่วโมง

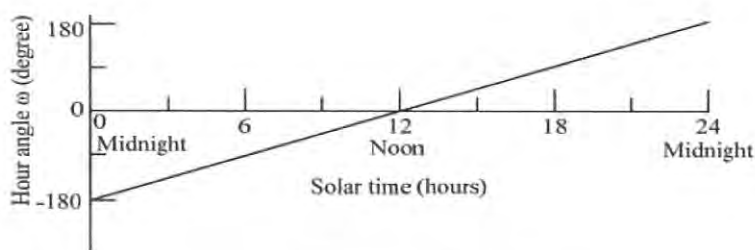
เนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลก 1 รอบ (360 องศา) ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง หรือเคลื่อนที่ 1 องศา ใช้เวลา 4 นาที ค่า ω ในหน่วยองศา จึงหาได้จากสมการ 2.10 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -180 องศา ถึง +180 องศา ซึ่งเป็นลบในช่วงเช้าก่อนเที่ยงวัน และบ้นบวกในช่วงบ่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega = 15(t_s - 12)$$

....(2.10)

เมื่อ t_s คือ เวลาสุริยคติปรากฏ



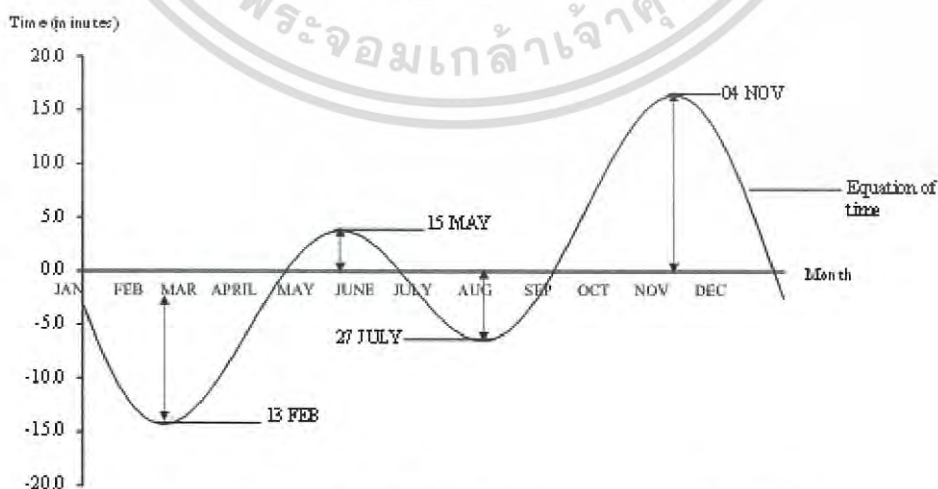
รูปที่ 2.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมชั่วโมงใน 24 ชั่วโมง

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 เวลาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน นี้คือ โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ ใช้เวลา 365.2422 วัน และโลกโคจรรอบ 1 รอบคิดเป็น 360° หรือ 24 ชั่วโมง ดังนั้นใน 1 วัน โลกจะเคลื่อนที่ไปได้ $59' 8'' .33$



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของ Equation of time ในรอบปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างเวลาที่เที่ยงมาตรฐานกับเวลาที่เที่ยงปรากฏ กล่าวคือดวงอาทิตย์ผ่านเมอริเดียนไปก่อนเวลาที่แท้จริง หรือดวงอาทิตย์ยังมาไม่ถึงเมอริเดียนในเวลาที่กำหนดว่าดวงอาทิตย์อยู่ที่เมอริเดียนแล้ว 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)

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

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

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k

k	A_k (hr)	B_k (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)

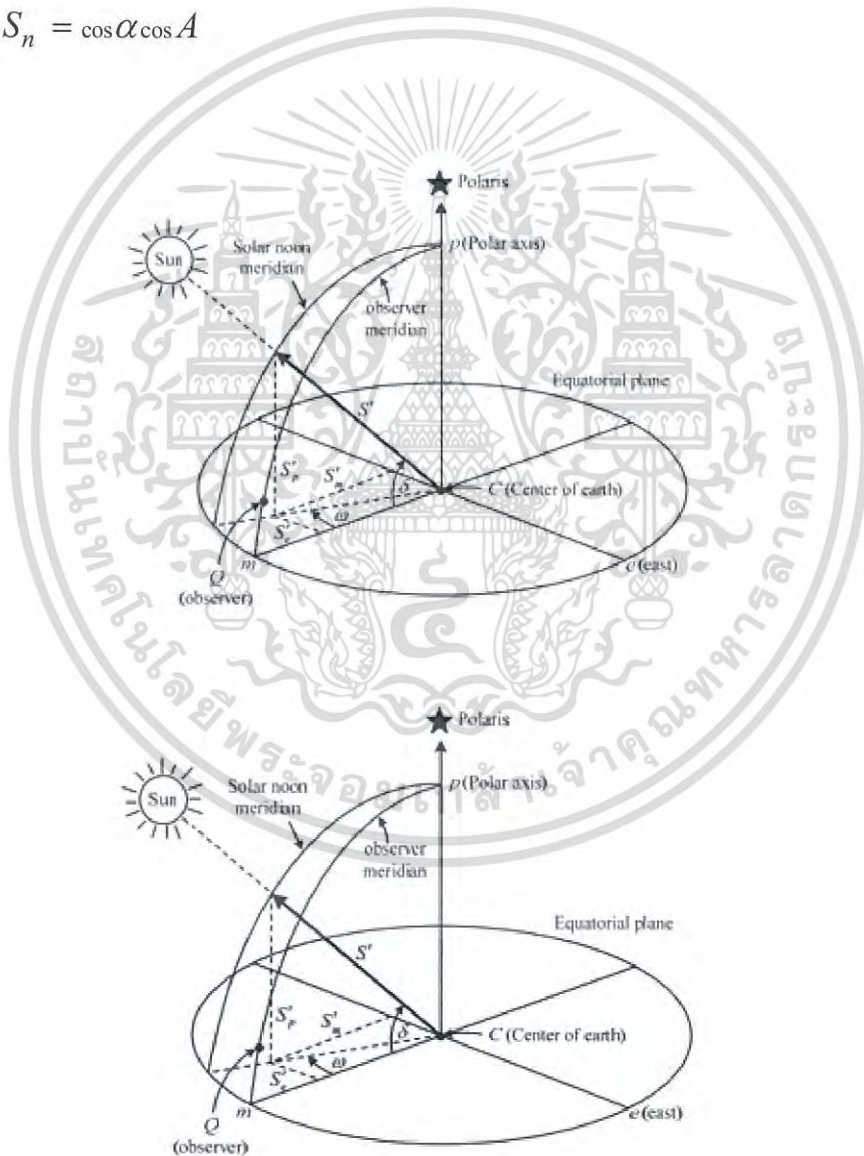
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทิศเหนือ (n) ตามลำดับ \hat{S} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ชี้ไปยังตำแหน่งของดวงอาทิตย์ แยกเป็นองค์ประกอบในแนวแกน S_z, S_e และ S_n ซึ่งมีทิศทางตาม ทิศเซนิท ทิศตะวันออก และทิศเหนือ เช่นเดียวกันส่วน Q เป็นตำแหน่ง ของผู้สังเกตบนผิวโลกสามารถเขียนความสัมพันธ์ของ \hat{S} ได้

$$\hat{S} = S_z \hat{i} + S_e \hat{j} + S_n \hat{k} \tag{2.13}$$

หรือเขียนอยู่ในเทอมของมุมอะซิมุท และมุมอัลติจูด จะได้

$$\begin{aligned} S_z &= \sin \alpha \\ S_e &= \cos \alpha \sin A \\ S_n &= \cos \alpha \cos A \end{aligned} \tag{2.14}$$



รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์รังสีดวงอาทิตย์กับมุมเดคลิเนชันและมุม ชั่วโมง

(ที่มา: Stine and Harrigan, 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานราชการเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

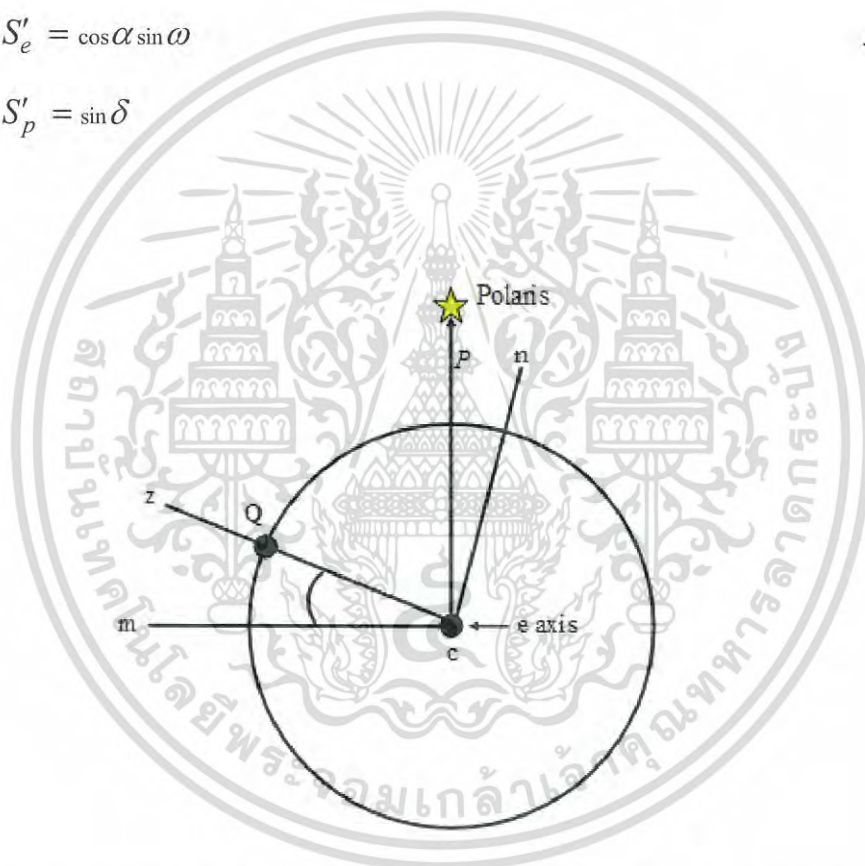
ในการทำงานเดียวกัน สามารถเขียนเวกเตอร์ที่ชี้ตำแหน่งไปยังดวงอาทิตย์โดยอ้างอิงพิกัดใหม่ ให้จุดออริจินอยู่ที่จุดศูนย์กลางของโลก เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.12 เมื่อให้แกน m เป็นเส้นเมริเดียนที่ผ่านตำแหน่งของผู้สังเกต Q และตัดกับเส้นตรงที่ลากจากจุดออริจินตรงตำแหน่งเส้นศูนย์สูตร, 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

$$S'_m = \cos \alpha \cos \omega$$

$$S'_e = \cos \alpha \sin \omega \quad \dots(2.15)$$

$$S'_p = \sin \delta$$



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ดังนั้น

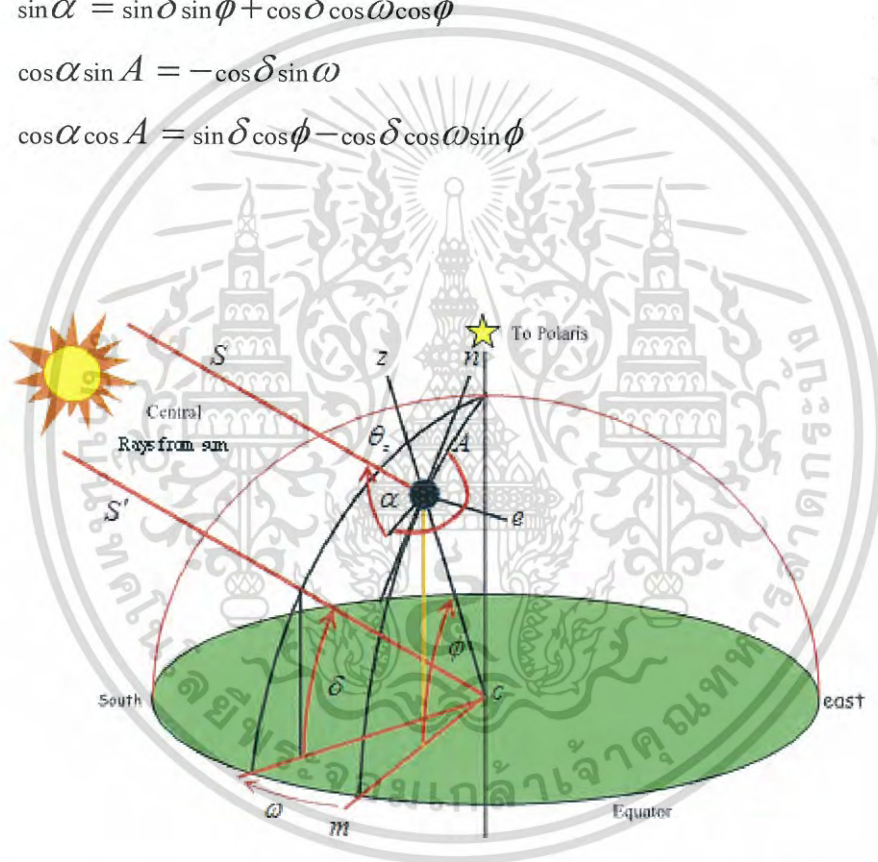
$$\begin{aligned} S_z &= S'_m \cos \phi + S'_p \sin \phi \\ S_e &= S'_e \\ S_n &= S'_p \cos \phi + S'_m \sin \phi \end{aligned} \quad \dots(2.17)$$

นำสมการที่ 2.14 และ 2.15 แทนลงในสมการที่ 2.17 ได้ว่า

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

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

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



รูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ขนาน และ ในพิกัดผิวโลกและจุดศูนย์กลางของโลก

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ 2.20 และ 2.21 เป็นสมการของมุมอะซิมุททั้งสองสมการ โดยมุมอะซิมุทจะขึ้นกับตำแหน่งละติจูด เวลา ฤดูกาล และมุมละติจูด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 360 องศา จากสมการ 2.19 และ 2.20 ค่ามุมไซน์และโคไซน์จะขึ้นอยู่กับจุดภาค (Quadrants) ต่างๆ จึงต้องพิจารณาสมการ 2.19 ใหม่ เพื่อหามุมอะซิมุทจริง โดยกำหนดให้

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

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

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

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณา 2.20 ใหม่ โดยกำหนดให้

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

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

$$\text{เมื่อ } \sin\omega < 0 \text{ จะได้ } A = A''$$

2.3 ทฤษฎีโครงสร้างระบบติดตามรังสีอาทิตย์

2.3.1 มอเตอร์กระแสตรง

2.3.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีสัดส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแส และ สนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทาง การหมุนได้ มอเตอร์ที่มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ มอเตอร์ กระแสตรง และ มอเตอร์กระแสสลับ ในที่นี้เน้นวิจัยได้เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC SERVO MOTOR) มอเตอร์จะทำหน้าที่ขับเคลื่อนระบบตามรังสีอาทิตย์โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและสั่งการ

SERVO MOTOR คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง DC MOTOR ที่ถูกประกอบพร้อมด้วยชุดเกียร์ และส่วนควบคุมต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน โดยจะมีสัญญาณใช้งาน 1 เส้น และอีก 2 เส้น เป็น VCC และ GND เท่านั้น ซึ่งสามารถควบคุมให้ตัว SERVO MOTOR หมุนซ้าย หรือ ขวาได้ +90 องศา - 90 องศา (180 องศา) โดยสามารถสั่งงานในการหมุนให้หมุนไปได้ตามองศาต่างๆ ที่ต้องการ ได้ด้วยตัวของ SERVO MOTOR ถูกออกแบบให้มีความ แม่นยำและความเร็วสูงทำให้ Servo motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ Servo motor

1. มีอัตราเร่งที่ดี
2. ตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว
3. ย่านการควบคุมกว้าง
4. ความเร็วในการหมุนต้องคงที่

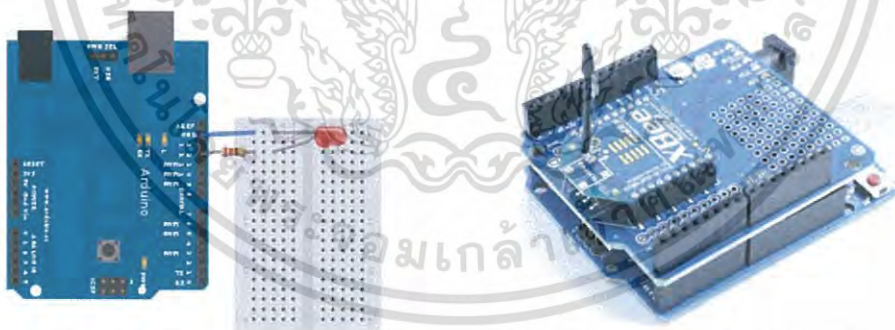
2.4 ทฤษฎีทางการควบคุมระบบ

2.4.1 Hardware

2.4.1.1 Arduino

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ OpenSource คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ 1) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างรูปที่ 2) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย



รูปที่1 บอร์ด Arduino ต่อกับ LED

รูปที่2 บอร์ด Arduino ต่อกับบอร์ด XBee Shield

รูปที่ 2.21 แสดงถึงการต่อบอร์ด Arduino กับ LED และ XBee Shield

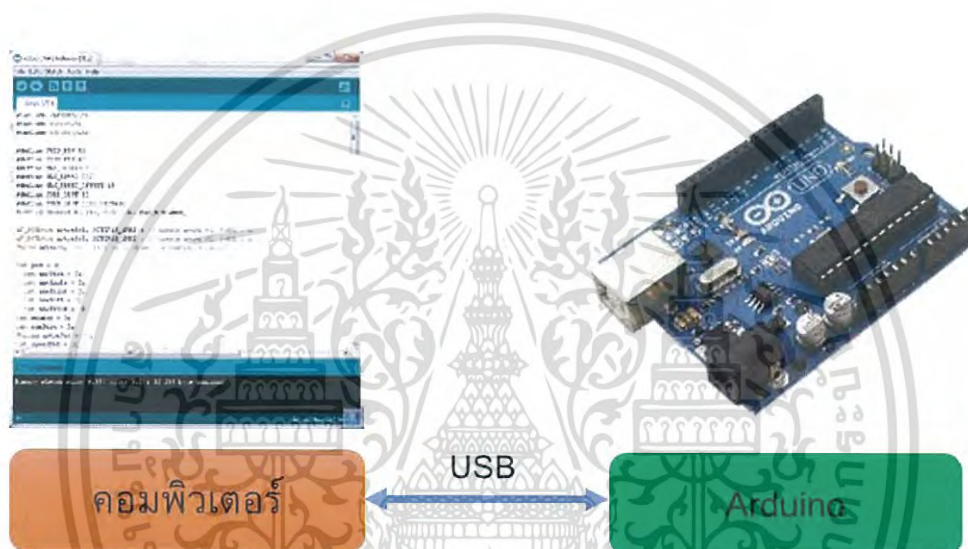
ที่มา www.myarduino.net

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

1. ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
2. มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง
3. Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
4. ราคาไม่แพง
5. Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2.4.1.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

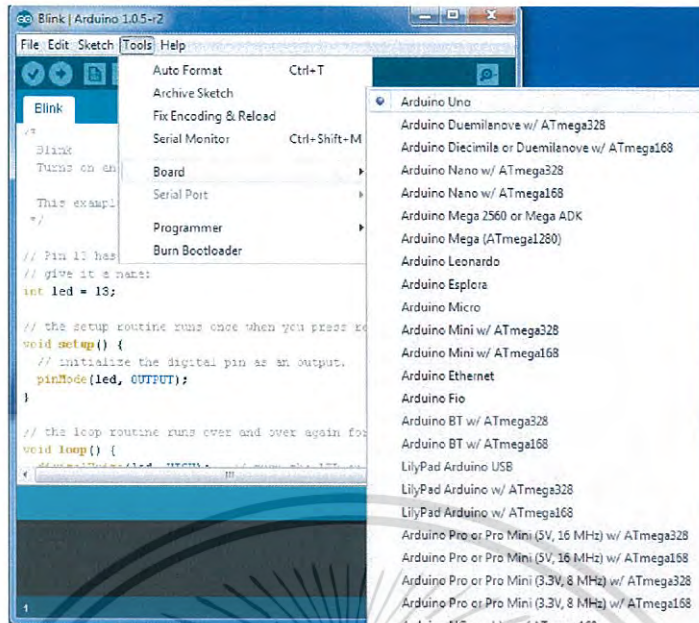


รูปที่ 2.22 แสดงถึงการเขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์

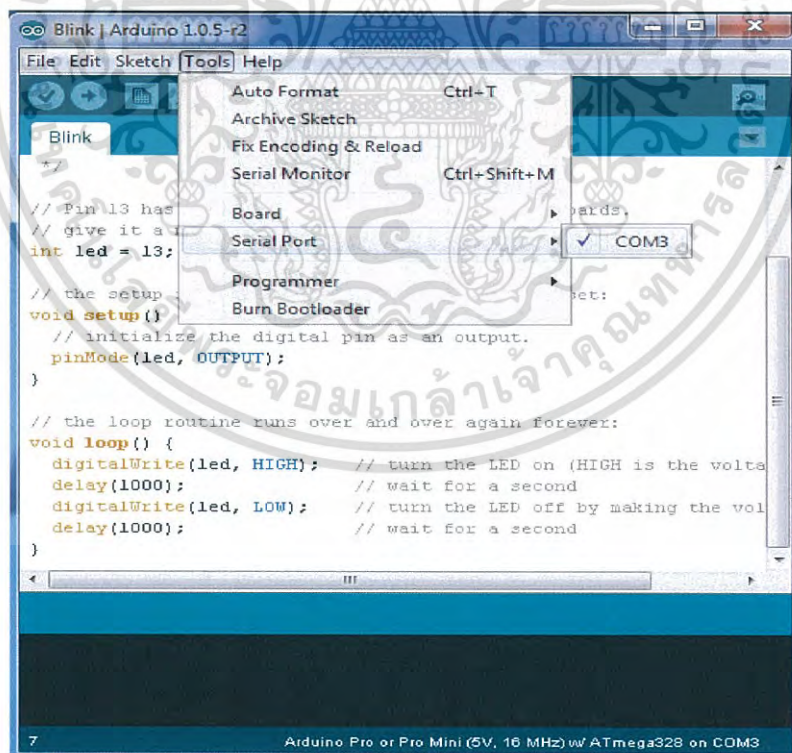
ที่มา www.myarduino.net

1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรมซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software
2. หลังจากเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงถึงการเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload
ที่มาจาก www.myarduino.net

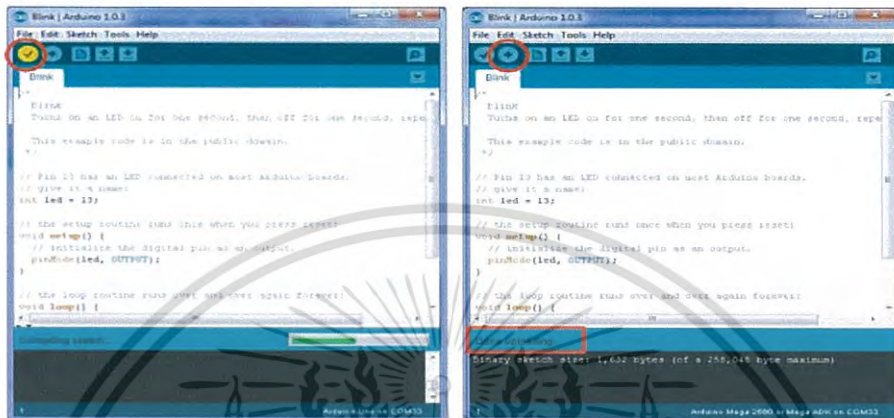


รูปที่ 2.24 แสดงถึงการ Comport ของบอร์ด

ที่มาจาก www.myarduino.net

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

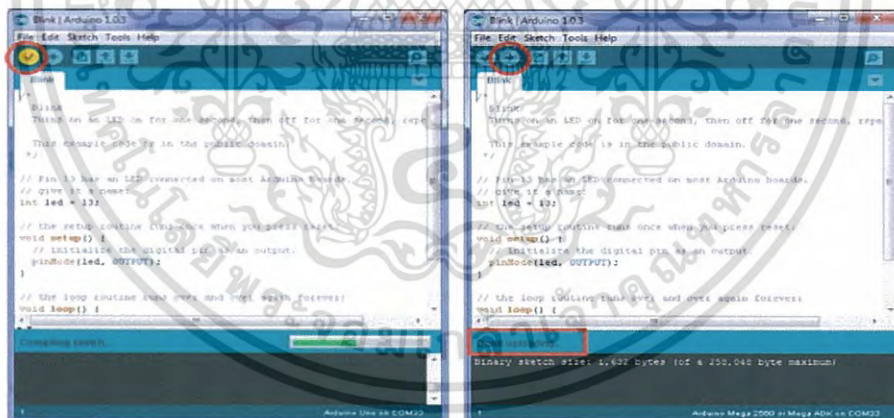
3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
และ Compile โค้ดโปรแกรม

Upload โค้ดโปรแกรม

รูปที่ 2.25 แสดงถึงการ up load โค้ดโปรแกรมไปยังบอร์ด



กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
และ Compile โค้ดโปรแกรม

Upload โค้ดโปรแกรม

รูปที่ 2.26 แสดงถึงการ up load โค้ดโปรแกรมไปยังบอร์ด

ที่มา www.myarduino.net

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.3 Arduino Uno R3

เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจค และ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย



รูปที่ 2.27 แสดงถึงโครงสร้าง Arduino Uno R3

ที่มา www.myarduino.net

Spec Arduino Uno R3

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต	3.3V 50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6x53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.4 แอลดีอาร์ (LDR)

แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสงกล่าวคือตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบบางครั้งเรียกว่าโฟโตริซิสเตอร์หรือโฟโตคอนดักเตอร์เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำประเภทแคดเมียมซัลไฟด์หรือแคดเมียมซีลีไนด์ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำเอามาจากบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา



รูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างของแอลดีอาร์

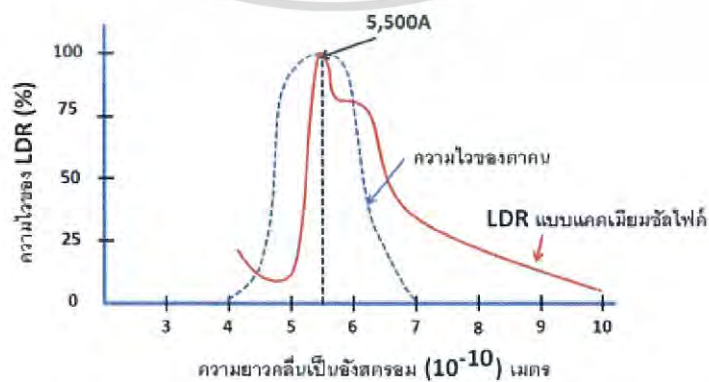
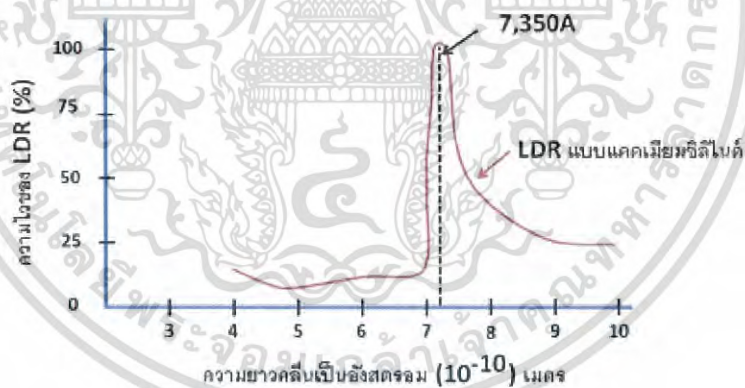
รูปร่างของ LDR ในรูปที่ 2.29 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็กๆสีดำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสงและแนวสีดำ นั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง สีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอกหรือเรียกว่าอิลีกโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิกและอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้ม ซึ่งมีได้หลายแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR เพราะว่าเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่านการที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับความต้านทานลดลงนั่นเองยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไรความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั้น มิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 10⁻¹⁰ เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอม เท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็ยังเป็นช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงาน ของอุปกรณ์ไวแสง ประเภทอื่นๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ก็มิอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่น ที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลาย 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

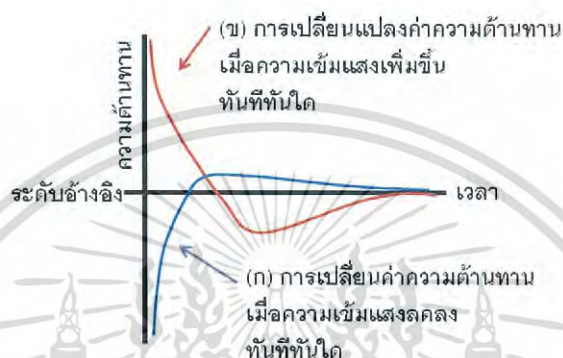


รูปที่ 2.30 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆของLDR ทั้ง 2 แบบเมื่อเทียบกับความ

ไวของตาคน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

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



รูปที่ 2.31 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.19 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำและในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับเพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับอ้างอิง เหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดี และในทำนองเดียวกันถ้าเก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันที ดังในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลด เลยต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซีนิไนด์ จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบแคดเมียมซัลไฟต์ แต่ก็วิ่งเลยไปไกลกว่าด้วย และอีกอย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งซ้ำมาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บางทีก็เป็นวินาทีเลยจึงทำให้ LDR ใช้ได้กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

2.4.2 Software

2.4.2.1 การติดตั้ง Driver ของ USB Bridge ของบอร์ด ARDUINO UNO R3

บอร์ด ARDUINO UNO R3 จะใช้ชิพ USB Bridge ของ FTDI เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ PC โดย USB Bridge ของ FTDI จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อและติดต่อสื่อสาร ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ PC กับ MCU ARDUINO UNO R3 ของบอร์ด ARDUINO UNO R3 ในรูปแบบของ พอร์ตอนุกรม (Visual Com Port) โดยโปรแกรม Application ต่างๆที่ทำงานอยู่บนคอมพิวเตอร์ PC รวมทั้ง โปรแกรม Arduino จะมองเห็น พอร์ต USB ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด ARDUINO UNO R3 เป็นพอร์ตสื่อสาร อนุกรม (Com Port) ของหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคยทำการติดตั้ง Driver สำหรับ USB Bridge ของ FTDI ไว่ก่อนแล้ว เมื่อทำการเชื่อมต่อสาย USB ของบอร์ด ARDUINO UNO R3 เข้ากับ USB HUB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC แล้ว Windows จะทำการติดตั้ง Driver ให้เองโดยอัตโนมัติ แต่ถ้าเครื่อง คอมพิวเตอร์ PC ยังไม่เคยติดตั้ง Driver ของ FTDI ไว่ก่อนก็จะต้องทำการติดตั้ง Driver ให้กับบอร์ดให้ เรียบร้อยเสียก่อนซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมแผ่น CD ROM ที่บรรจุ Driver ของ FTDI ไว่ให้พร้อม หรือ ในกรณีที่ผู้ใช้ได้ทำการติดตั้ง โปรแกรมของ Arduino ไว่เรียบร้อยแล้ว ภายในโฟลเดอร์ของโปรแกรม Arduino ก็จะมี Driver ของ FTDI จัดเตรียมไว่ให้เรียบร้อยแล้ว โดยจะอยู่ที่ “C:\arduino-0012\drivers\FTDI USB Drivers\”
2. ทำการเสียบสาย USB ของบอร์ด ARDUINO UNO R3 เข้ากับพอร์ต USB HUB ของเครื่อง คอมพิวเตอร์ PC ซึ่ง Windows จะตรวจพบอุปกรณ์ใหม่ โดยเป็น “FT232R USB UART” และ แจ้งให้ผู้ใช้ทำการติดตั้ง Driver ให้กับอุปกรณ์ ดังรูปที่ 2.35

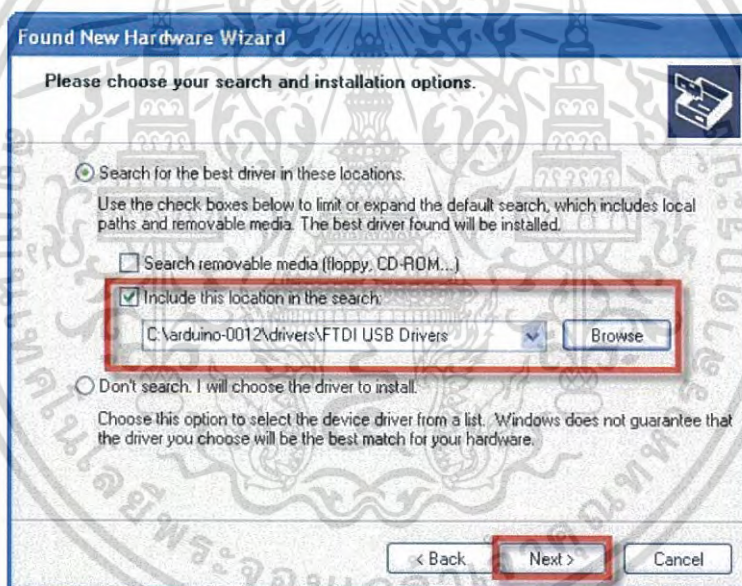
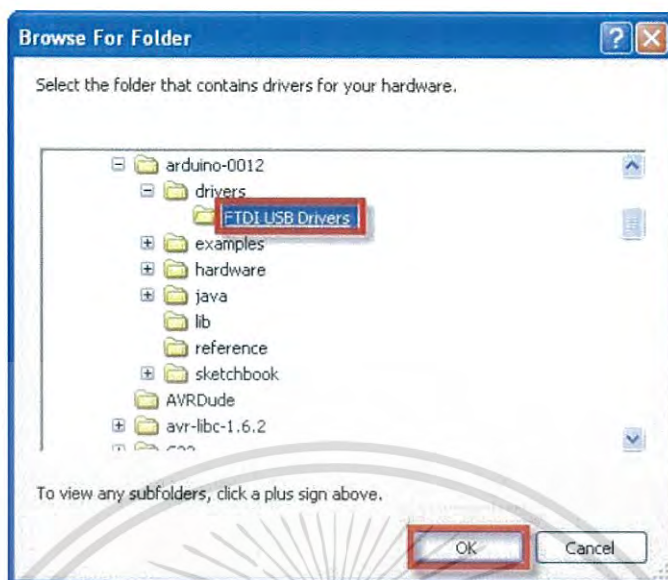


รูปที่ 2.32 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

(ที่มา : www.ETT.co.th)

3. ให้เลือก Install from list or specific location(Advanced) แล้วเลือก Next ซึ่ง Windows ก็จะแจ้ง ให้ผู้ใช้ระบุตำแหน่งโฟลเดอร์ที่บรรจุไฟล์ Driver ของ FTDI ไว่ ก็ให้เลือกที่ Browse และเลือกไปยัง Drive และ โฟลเดอร์ที่เก็บไฟล์ Driver ไว่ ซึ่งถ้าผู้ใช้ได้ทำการติดตั้งโปรแกรมของ Arduino ไว่แล้ว ก็ ให้เลือกไปที่ “C:\arduino-0012\drivers\FTDI USB Drivers” แล้วเลือก Next ดังรูปที่ 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

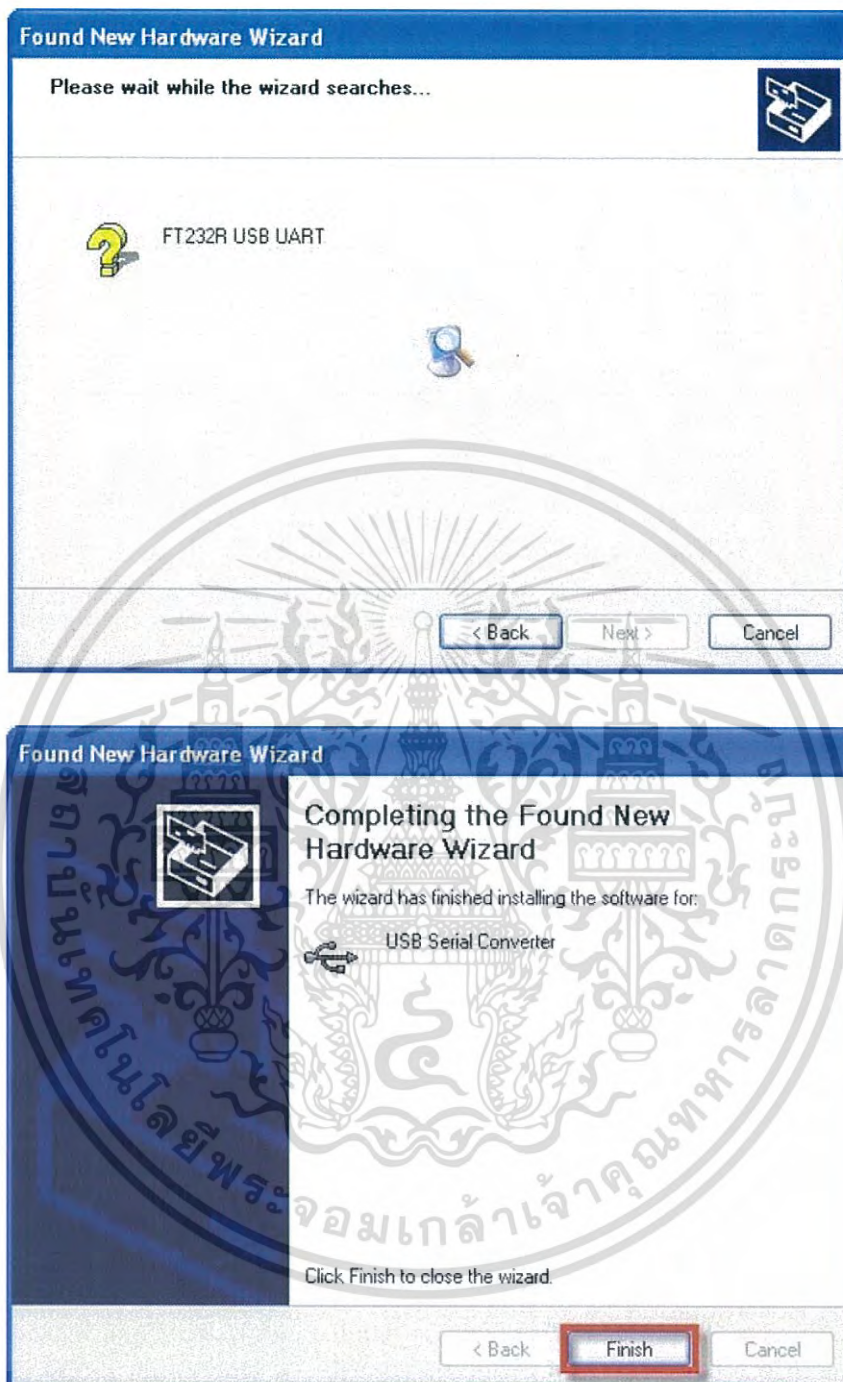


รูปที่ 2.33 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

(ที่มา : www.ETT.co.th)

4. ในขั้นตอนนี้โปรแกรม Windows จะทำการค้นหาและติดตั้ง Driver ให้กับอุปกรณ์ให้ รอสักครู่จน การทำงานเสร็จเรียบร้อย แลวเลือก Finish ดังรูปที่ 2.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

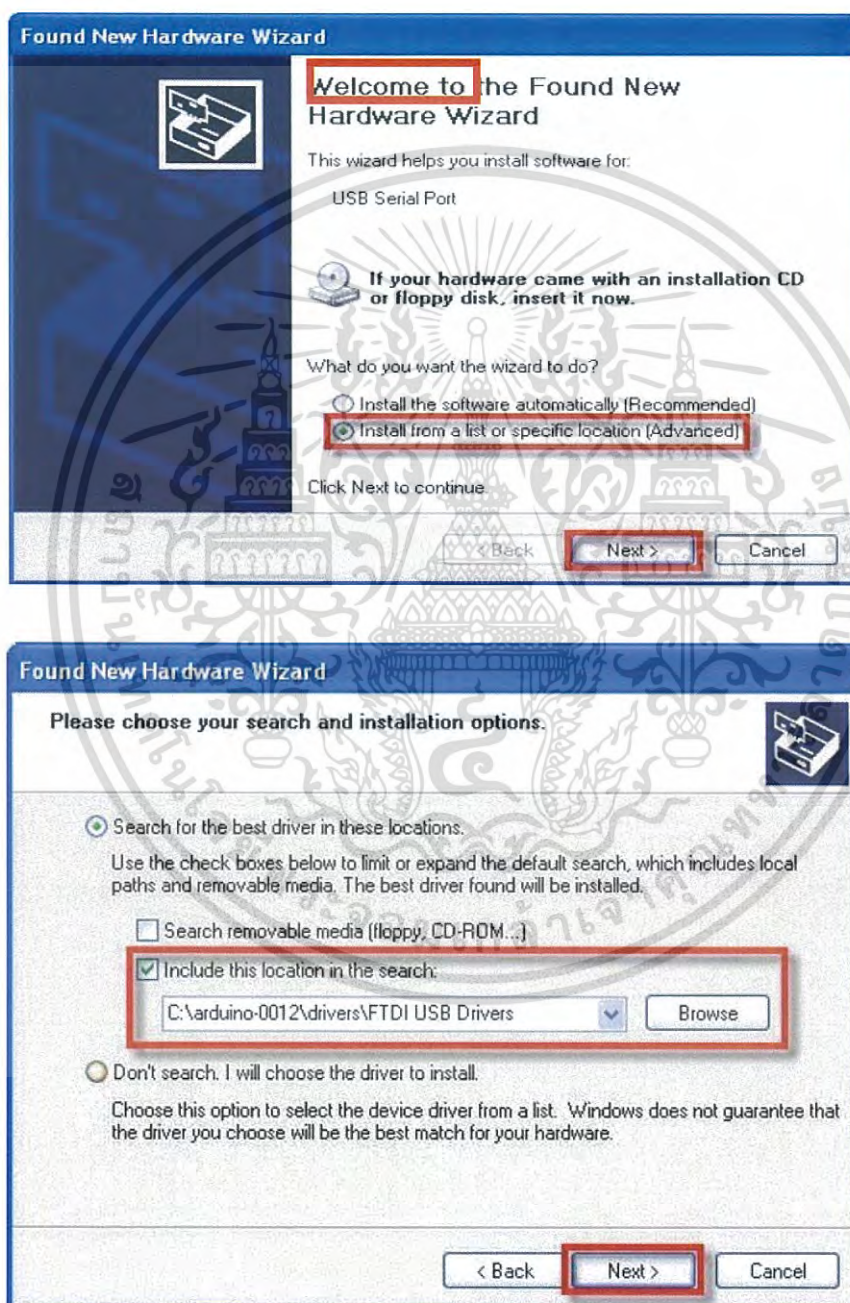


รูปที่ 2.34 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

(ที่มา : www.ETT.co.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หลังจากทำการติดตั้ง Driver ของฮาร์ดแวร์เรียบร้อยแล้ว Windows ก็จะตรวจพบว่ามีอุปกรณ์ใหม่ ถูกเชื่อมต่ออยู่ โดยเป็นอุปกรณ์ประเภท “USB Serial Port” และแจ้งให้ผู้ใช้ทำการติดตั้ง Driver ให้กับอุปกรณ์ใหม่ที่ระบุเป็น “USB Serial Port” อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งก็ให้เลือกระบุตำแหน่งโฟลเดอร์ที่เก็บไฟล์ Driver ใด ซึ่งให้เลือกเหมือนขั้นตอนในหัวข้อที่ 3 ดังรูปที่ 2.35

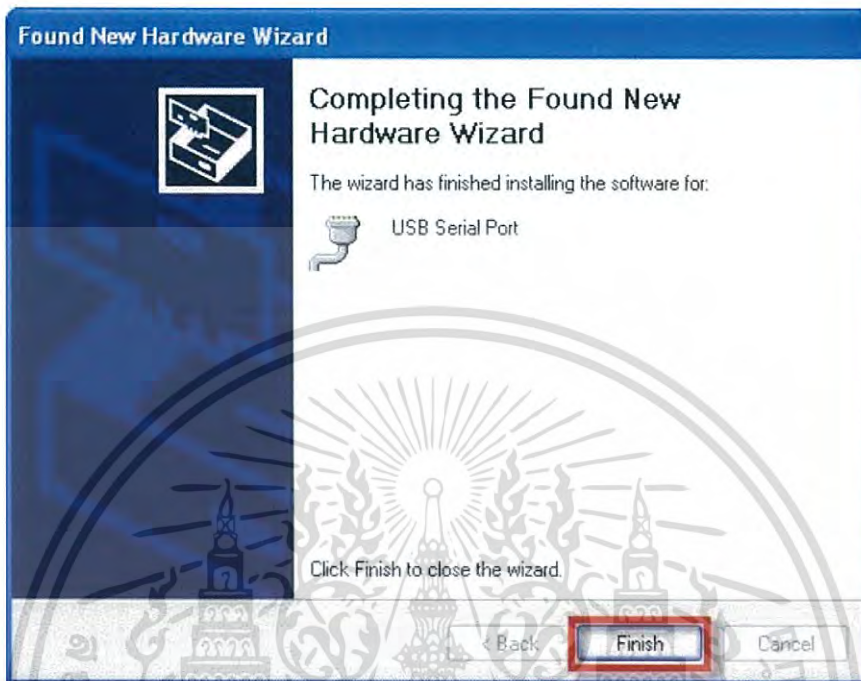


รูปที่ 2.35 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

(ที่มา : www.ETT.co.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

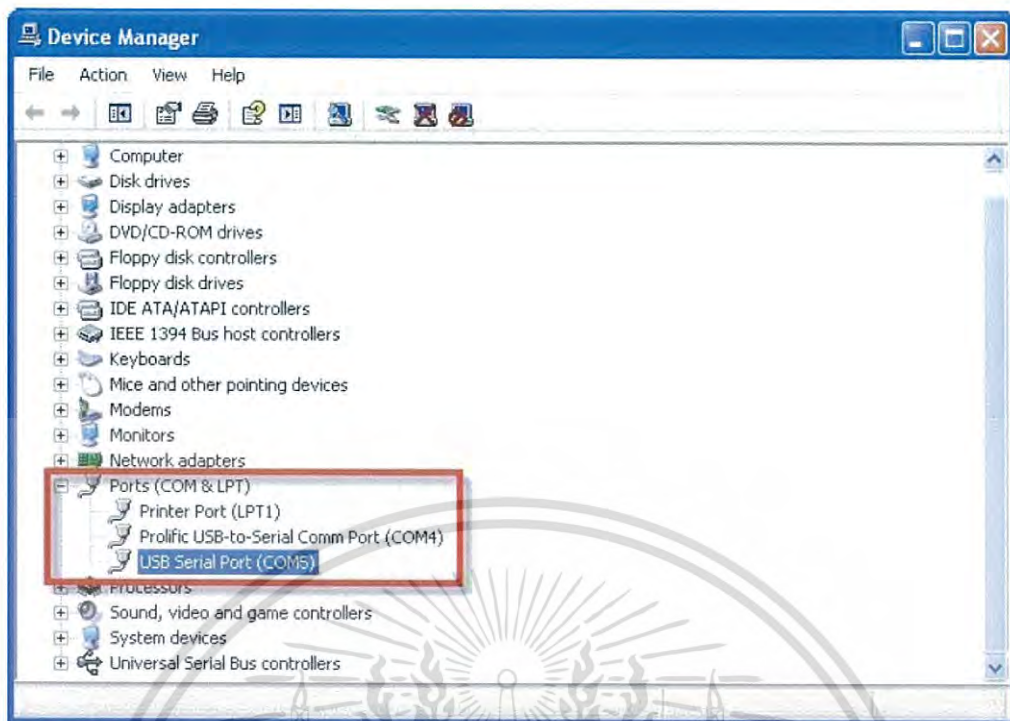
6. ในขั้นตอนนี้โปรแกรม Windows จะทำการค้นหาและติดตั้ง Driver ให้กับอุปกรณ์ หารอสักครู่จนการทำงานเสร็จเรียบร้อย แล้วเลือก Finish ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

(ที่มา : www.ETT.co.th)

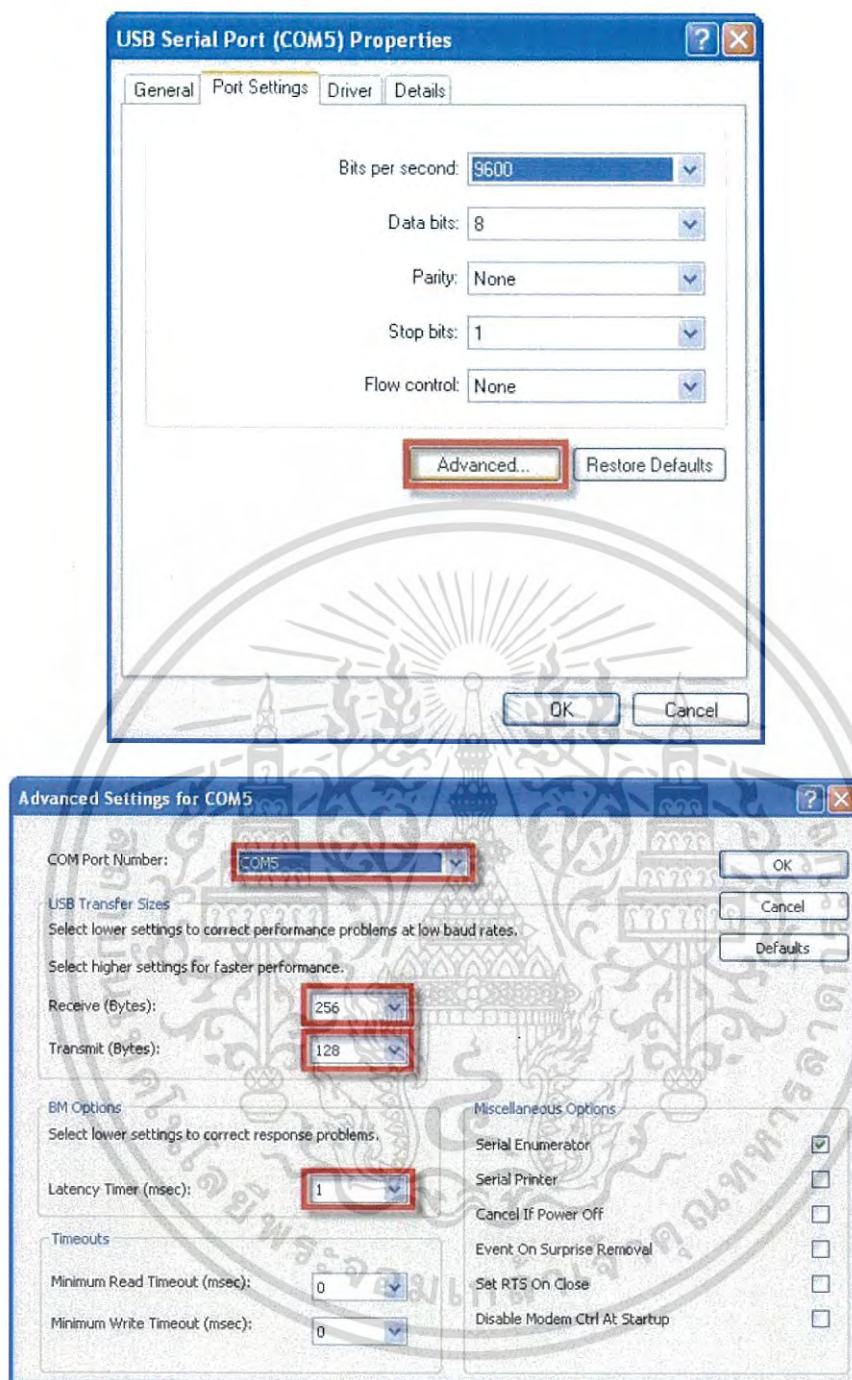
7. หลังจากทำการติดตั้ง Driver เรียบร้อยแล้ว ก็สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้แล้ว แต่เพื่อความถูกต้องใน ครั้งแรกนี้ควรต้องเข้าไปทำการตรวจสอบและปรับแต่งค่าให้กับอุปกรณ์ ก่อน โดยในขั้นตอนนีให้ไป ที่ “My Computer --- Control Panel --- System --- Hardware --- Device Manager” แล้ว ทำการตรวจสอบที่ Ports (COM&LPT) แล้วดู ชื่อของ “USB Serial Port” ซึ่งใหญ่ใช้จดจำ หมายเลขของ Com Port ของอุปกรณ์ดังกล่าวไว้ เพื่อใช้อ้างอิงถึงในการเรียกใช้งาน ดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

(ที่มา : www.ETT.co.th)

8. ในขั้นตอนนี้ให้คลิกเมาส์ที่เครื่องหมาย (+) หน้าหัวข้อ Ports(COM&LPT) แล้วมองหาอุปกรณ์ที่ชื่อ “USB Serial Port” ตามที่เราได้ทำการติดตั้ง Driver ไว้เรียบร้อยแล้ว หรือ ถ้าไม่แน่ใจว่าอุปกรณ์ ดังกล่าวใช่อุปกรณ์ที่เป็นของบอร์ด “ARDUINO UNO R3” หรือไม่ ให้ทดสอบด้วยการถอดสาย USB ออก รายชื่ออุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องหายไป แต่เมื่อเสียบสาย USB กลับเข้ามาใหม่ รายชื่อ ของอุปกรณ์ดังกล่าวก็จะต้องปรากฏให้เห็นอีกครั้ง ถ้าทุกอย่างถูกต้อง ก็ให้ทำการคลิกเมาส์ที่ Tab รายชื่อของอุปกรณ์ดังกล่าว เมื่อปรากฏหน้าต่าง USB Serial Port Properties ขึ้นมาแล้วให้เลือก ที่ 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



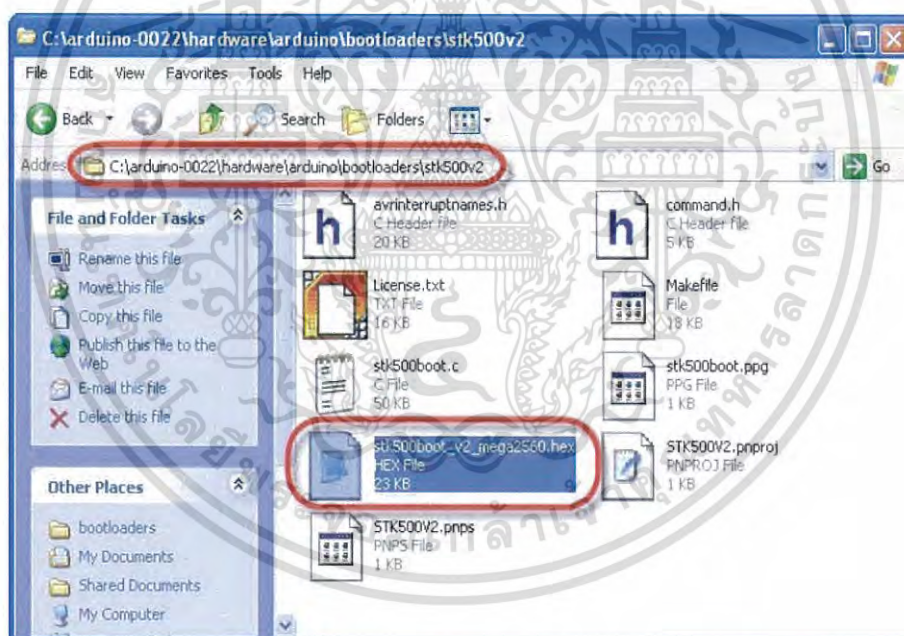
รูปที่ 2.38 แสดงวิธีการติดตั้ง Driver

(ที่มา : www.ETT.co.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 การพัฒนาโปรแกรมของ ARDUINO UNO R3 ด้วย Arduino

ตามปรกติแล้วบอร์ด ARDUINO UNO R3 จะทำการ ติดตั้งโปรแกรม Bootloader ไว้ให้กับ MCU เบนที่เรียบร้อยแล้ว โดยใช้ Bootloader ชื่อ “stk500boot_v2_ ARDUINO UNO R3.hex” ซึ่งเป็น Bootloader มาตรฐานจาก Arduino โดยโปรแกรม Bootloader นี้จะใช้สำหรับติดต่อสื่อสารเพื่อสั่ง Upload Code จาก คอมพิวเตอร์ PC ให้กับ MCU ในบอร์ดทำงาน โดยไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรมภายนอกใหญ่ๆยาก 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 จะเริ่มตนทำงาน ใน Bootloader นี้ก่อนเสมอ เพื่อรอการติดต่อสื่อสารจากโปรแกรมสำหรับสั่งให้ทำการ Upload Code ให้กับ MCU แต่ถ้ามิมีการติดต่อสื่อสารเข้ามาภายในเวลาที่กำหนดไว้ ก็จะกระโดดไป ทำงานตามโปรแกรมที่ผู้ใช้โหลดไว้ให้ทันที



รูปที่ 2.39 การพัฒนาโปรแกรมของ ARDUINO UNO R3 ด้วย Arduino

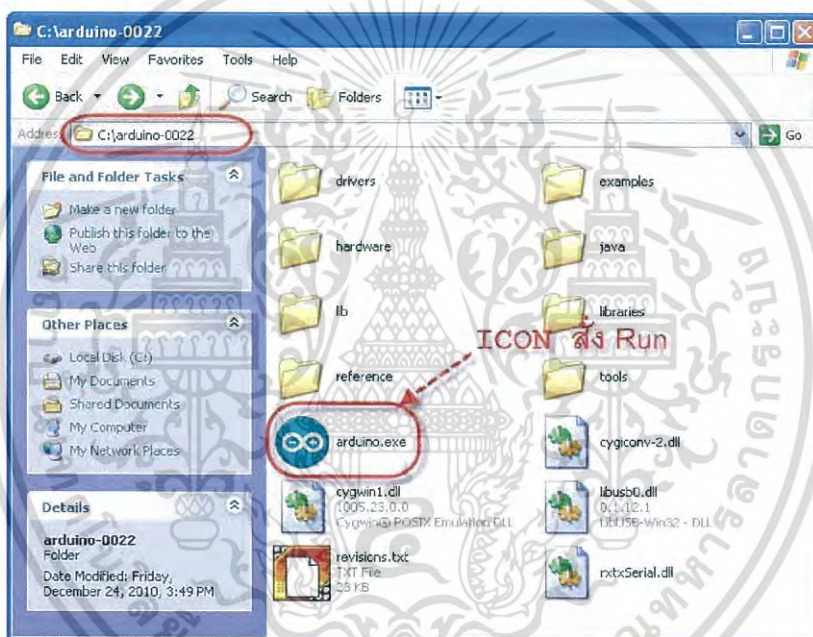
(ที่มา : www.ETT.co.th)

สำหรับบอร์ด ARDUINO UNO R3 นั้น จะรองรับการ Reset MCU แบบอัตโนมัติจาก USB Bridge (FT232RL) โดยใช้ขา DTR จาก FT232RL เป็นขาควบคุมการรีเซ็ต MCU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 โปรแกรมรุ่นใหม่ ๆ ของ Arduino มาใช้งาน ได้ฟรีโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ จาก “<http://arduino.cc/>” หรือ “<http://arduino.cc/en/Main/Software>” ซึ่ง เป็นเว็บไซต์ที่รวบรวมรายละเอียดและข่าวคราวความเคลื่อนไหวต่างๆ เกี่ยวกับ Arduino มากมาย ซึ่ง ข้อมูลต่างๆ จะได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ โดยในการติดตั้งโปรแกรมของ Arduino นั้น ให้ทำการ Unzip แล้ว Copy ไปติดตั้งไว้ในตำแหน่ง โฟลเดอร์ “c:\arduino-0022” ดังตัวอย่างรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 แสดงไอคอนของโปรแกรม Arduino

(ที่มา : www.ETT.co.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.4 ทดสอบเขียนโปรแกรมใช้งานด้วย Arduino

หลังจากที่เราได้ทำการติดตั้งโปรแกรม Arduino เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนของ การเตรียมการแล้ว ลำดับขั้นตอนต่อนี้เป็นต้นไป ก็เป็นเรื่องของการใช้งาน การเขียนโปรแกรม และ การศึกษาเรียนรู้ต่างๆตามความต้องการแล้ว แต่ก่อนอื่นเราจะต้องทำการติดตั้งโปรแกรมของ Arduino เพื่อ ไขเป็นโปรแกรมสำหรับศึกษาเรียนรู้ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้
ทำการสั่ง Run โปรแกรม “arduino.exe” จะได้ผลดังรูปที่ 2

1. ทำการสั่ง Run โปรแกรม “arduino.exe” จะได้ผลดังรูปที่ 2.41



รูปที่ 2.41 แสดงโปรแกรม Arduino

(ที่มา : www.ETT.co.th)

2. ในครั้งแรกของการเรียกใช้งานโปรแกรม ให้ทำการกำหนดระบบฮาร์ดแวร์ที่จะใช้งานกับโปรแกรม ของ Arduino ให้เรียบร้อยเสียก่อน เนื่องจากในปัจจุบันนี้ มีการออกแบบวงจรและสร้างฮาร์ดแวร์ บอร์ดแบบต่างๆสำหรับนำมาใช้งานร่วมกับโปรแกรมพัฒนาของ Arduino ไว้มากมายหลายรุ่น โดย ใน กรณีของบอร์ด ARDUINO UNO R3 ให้ทำการเลือกกำหนดชื่อบอร์ดเป็น “Arduino Mega” โดยคลิกเมาส์ที่ “Tools --- Board --- “Arduino Mega” ดังรูปที่ 2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

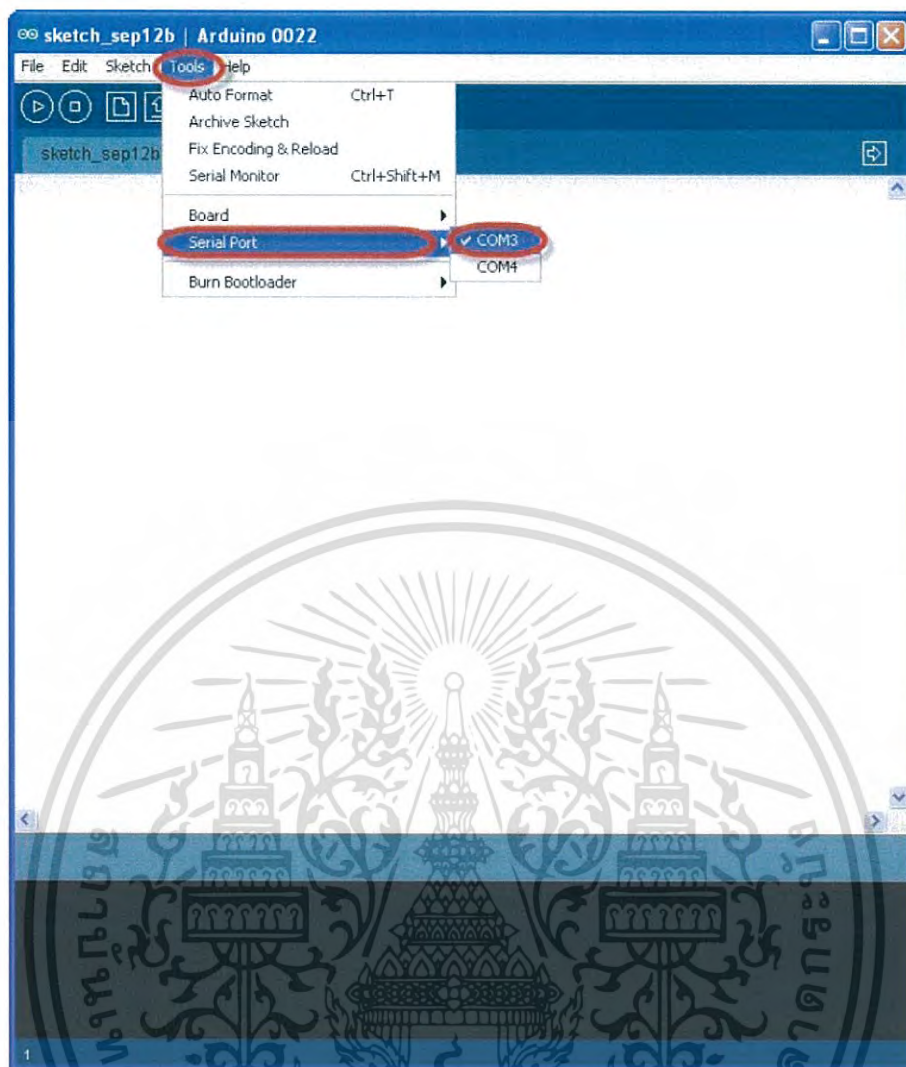


รูปที่ 2.42 แสดงการใช้งานโปรแกรม Arduino

(ที่มา : www.ETT.co.th)

- เลือกกำหนดหมายเลขพอร์ต สำหรับติดต่อสื่อสารกับบอร์ด ให้ตรงกับหมายเลข Comport ที่ต่อใช้งานไว้อย่างแท้จริงในเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เช่น ถ้าหมายเลข Comport ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เป็น COM3 ให้คลิกเมาส์ที่ Tools --- Serial Port --- COM3 ดังรูปที่ 2.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.43 แสดงการเซต Serial Port โปรแกรม Arduino

(ที่มา : www.ETT.co.th)

4. ทดสอบเขียนโปรแกรม โดยคลิกเมาส์ที่ File --- New แล้วพิมพ์โปรแกรมทดสอบ หรืออาจใช้การ สั่งเปิดไฟล์ตัวอย่างที่สร้างไว้แล้วขึ้นมาแทนก็ได้ โดยในที่นี้ขอแนะนำให้ทดสอบด้วยโปรแกรมไฟ กระพริบ โดยให้เลือก "File --- sketchbook --- Examples --- Digital --- Blink" ซึ่งจะไดดังรูปที่ 2.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Blink | Arduino 0022
File Edit Sketch Tools Help
Blink
/*
 * 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
}

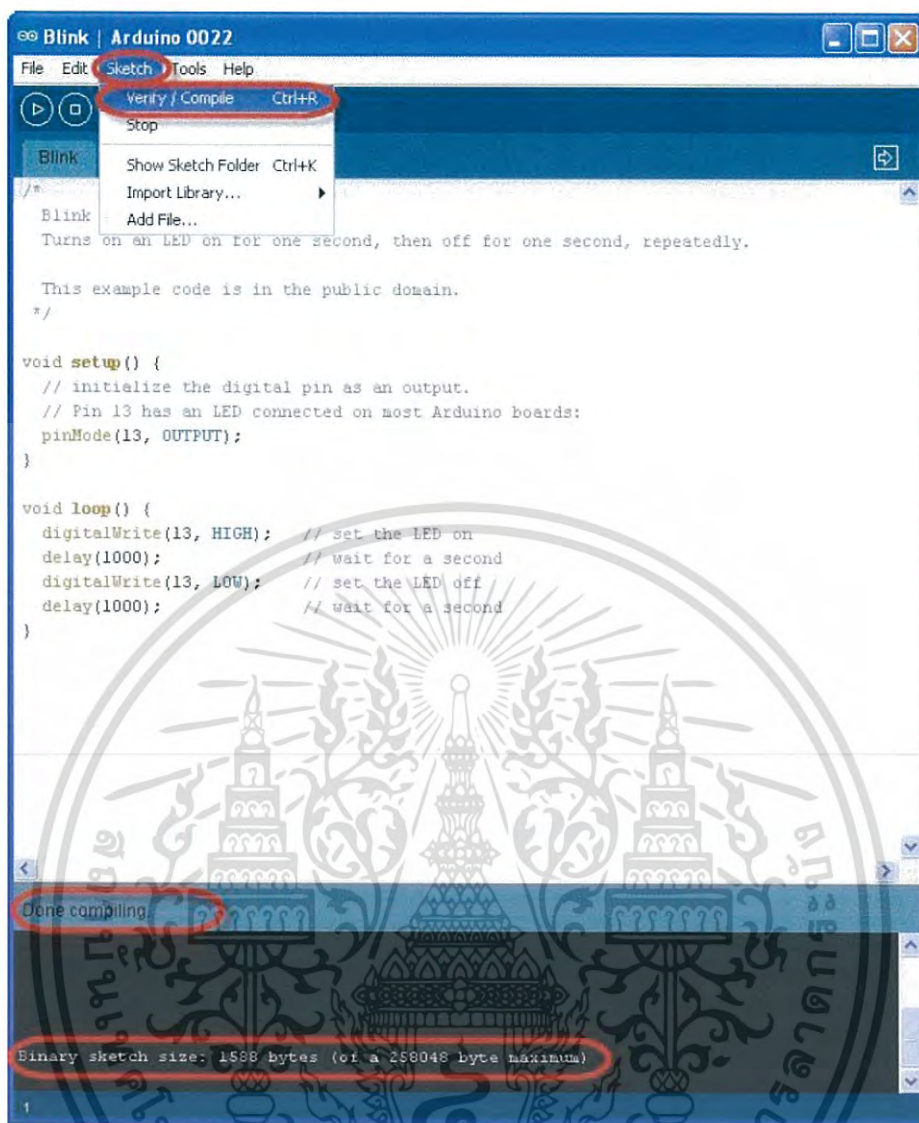
```

รูปที่ 2.44 แสดงการทดสอบโปรแกรมลงบอร์ด Arduino

(ที่มา : www.ETT.co.th)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

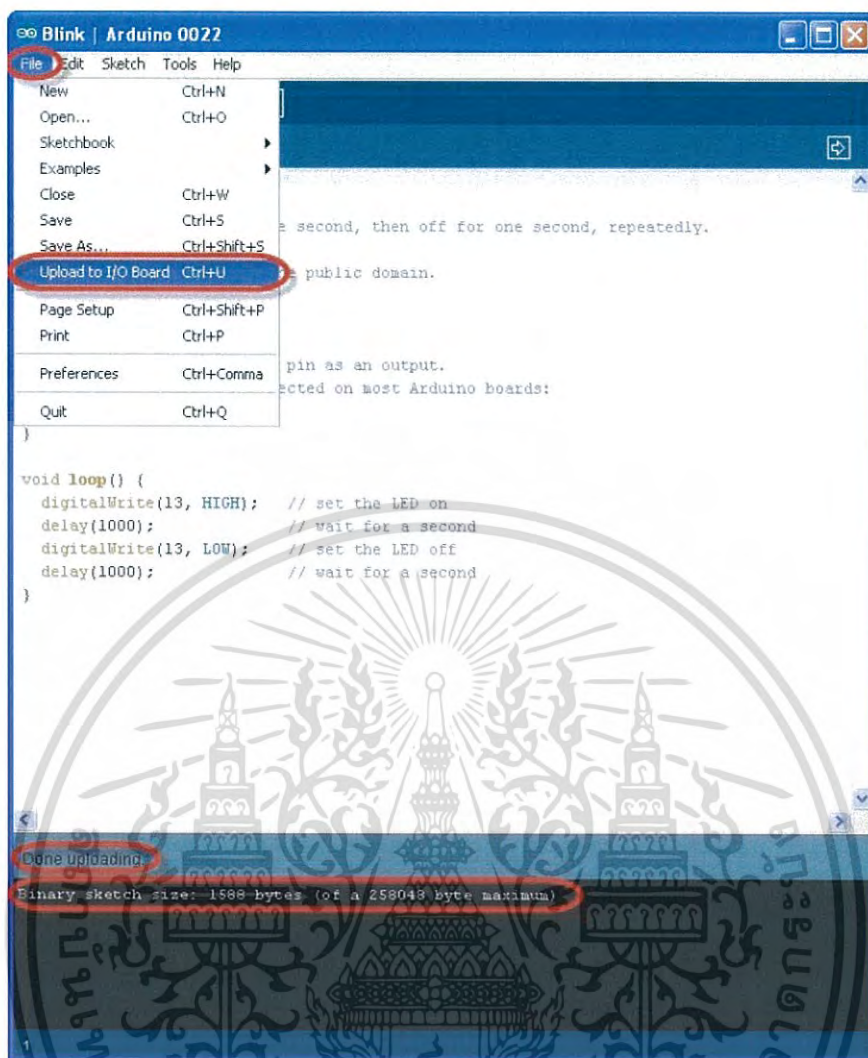


รูปที่ 2.45 แสดงการตรวจสอบโปรแกรมก่อนการอัปเดตโปรแกรมลงบอร์ด Arduino

(ที่มา : www.ETT.co.th)

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 2.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.46 แสดงการอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino

(ที่มา : www.ETT.co.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Pyranometer

Pyranometer เป็นอุปกรณ์ที่จะวัดการแผ่รังสีอาทิตย์ บนพื้นที่ราบ ในช่วงสเปกตรัม $0.3 \mu\text{m}$ to $3 \mu\text{m}$ ไพรานอมิเตอร์จะวัดรังสีอาทิตย์จากทุกทิศทาง เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบน thermopile ความร้อนที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าและแปลงค่าผ่านสมการ (รวมค่า correction ของอุปกรณ์) ให้เป็นหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งอุปกรณ์นี้ใช้สำหรับการวัดรังสีรวม และรังสีกระจาย โดยเฉพาะการใช้งานในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นเครื่องมือวัดรังสีรวม ประกอบด้วยส่วนที่รับรังสีอาทิตย์ ที่ประกอบด้วย

1. thermopile หลายชุดต่ออนุกรมกัน จะประกอบด้วยลวดโลหะต่างชนิดเชื่อมกันอยู่เคลือบด้วยสีดำและขาสลับกันไป
2. โดมแก้วครึ่งวงกลม 2 ชั้น
3. งานกลมสีขาวใต้โดมแก้ว

thermopile



รูปที่ 2.47 แสดงจุดที่รังสีอาทิตย์ตกกระทบบน

จากรูปที่ 2.47 เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบน thermopile ด้านสีขาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบน ด้านสีดำมีสมบัติดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เมื่อมีรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวทั้งสองให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากปรากฏการณ์ Thermoelectric แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าประมาณ 5-10 มิลลิโวลต์ต่อเคลอริตารางเซนติเมตร/นาทิต

Thermopile จะบรรจุอยู่ในโดมแก้วครึ่งวงกลม 2 ชั้น ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันฝุ่น ลม และการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาและการแผ่รังสี



รูปที่ 2.48 แสดงส่วนป้องกันรังสีที่สะท้อน

จากรูปที่ 2.48 เราจะเห็นได้โดมแก้วมีลักษณะคล้ายจานกลมสีขาวติดอยู่ ทำหน้าที่ป้องกันรังสีกระจายที่สะท้อนจากพื้นดินและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์มาจากท้องฟ้าเท่านั้น

2.6 เครื่องลักซ์มิเตอร์

เครื่องวัดแสง หรือลักซ์มิเตอร์คือเครื่องวัดที่ใช้วัดความสว่างของแสง ในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous intensity) หรือกำลังส่องสว่าง (Candlepower) ของแสงที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่ง เพื่อให้ทราบว่า พื้นที่ที่ใช้งานอยู่นั้น ค่ากำลังส่องสว่างของแสงเหมาะสมหรือไม่มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางฟุต(Foot-candle) หรือ ลูเมนต่อตารางเมตร หรือลักซ์(Lux) เครื่องวัดแสงแบ่งตามโครงสร้างของส่วนแสดงผลได้ 2 ชนิดดังนี้

1. ชนิดแสดงผลด้วยเข็มชี้
2. ชนิดแสดงผลด้วยตัวเลข

1) โครงสร้างดังรูป ก.และ ข. เครื่องวัดแสงทั้งสองชนิดมีโครงสร้างที่เหมือนกันคือประกอบด้วยส่วนรับแสงหรือโฟโตเซลล์(Photocell) และส่วนที่แสดงผลสำหรับชนิดแรกส่วนแสดงผลนั้น ใช้ไมโครแอมมิเตอร์(Micro ammeter) เป็นส่วนแสดงผลค่าที่วัดได้แสดงด้วยเข็มชี้ส่วนชนิดที่สอง ส่วนแสดงผลใช้แบบตัวเลขดิจิตอล ซึ่งอาจเป็นแบบ LED หรือ LCD ก็ได้



รูป ก ชนิดแสดงผลด้วยเข็มชี้

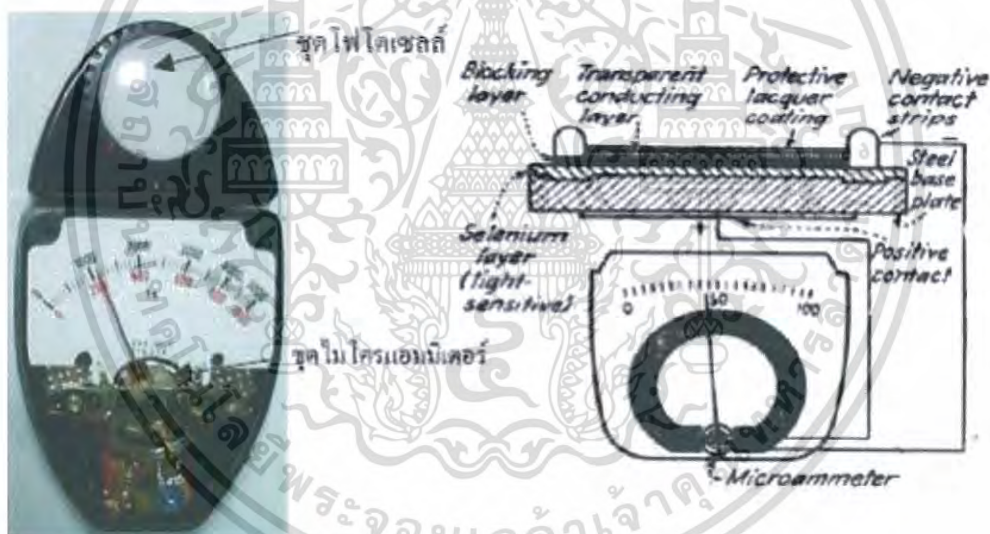


รูป ข ชนิดแสดงผลด้วยตัวเลข

รูปที่ 2.49 เครื่องลักซ์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) หลักการทำงาน ส่วนรับแสงหรือโฟโตเซลล์(photo cell) ประกอบด้วยธาตุที่มีความไวต่อแสงมากได้แก่โซเดียม โปตัสเซียม ซีลีเนียมและซีเซียม เมื่อมีแสงมาตกกระทบธาตุเหล่านี้แล้ว จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาด ต่ำ ๆ ขึ้นเรียกว่า โฟโตอิมิสชัน (photo emission) ธาตุเหล่านี้จะจ่ายอิเล็กตรอน ออกไปจากรูป ตอนบนเป็นส่วนประกอบของโฟโตเซลล์สำหรับตอนล่างเป็นไมโครแอมมิเตอร์โฟโตเซลล์จะมีส่วนประกอบดังนี้คือแผ่น ซีลีเนียม (Selenium layer) วางอยู่บนแผ่น เหล็ก (steel baseplate) บนแผ่น ซีลีเนียมจะมีแผ่น วัสดุตัวนำ (conducting metal or blocking layer) ซึ่งอาจจะทำด้วยแผ่น ทองคำ หรือทองขาว(gold or platinum) วางทับอยู่นอกจากนี้ยังมีแลคเกอร์ใส (Transparent lacquer) ทาทับที่วัสดุตัวนำอีกทีหนึ่ง แลคเกอร์ที่ทาทับลงไปบนวัสดุตัวนำนี้ก็เพื่อป้องกันความชื้นของอากาศ เมื่อต่อสายไฟจากขั้วลบ(Negative contact strip)และขั้วบวก(Positive contact) ของโฟโตเซลล์เข้าไปเข้ากับไมโครแอมมิเตอร์(Micro ammeter) จะทำให้ขดนี้ทั้งชุดกลายเป็นเครื่องวัดแสง (Light meter or photometer) กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจาก ซีลีเนียมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแสงที่มากกระทบกับโฟโตเซลล์หรือ ซีลีเนียมกระแสที่เกิดขึ้น จะไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ของไมโครแอมมิเตอร์จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง



รูปที่ 2.50 โครงสร้างและวงจรภายในของเครื่องวัดแสง

เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของโฟโตเซลล์หรือซีลีเนียมมีค่าคงที่ดังนั้นกำลังส่องสว่างของแสงที่ปรากฏอยู่บนพื้นที่หน้าตัดนี้จึงมีหน่วยเป็น ลูเมนต่อ ตารางฟุต หรือ ฟุตต่อกำลังเทียน(foot-candle) และลูเมน ต่อตารางเมตร(lumen/m²) หรือลักซ์(lux) นั่น ก็คือ สเกลบนหน้าปัทมของเครื่องวัดแสงก็จะมีหน่วยเป็นลักซ์(lux)หรือฟุต-เทียน(Foot-candle) ถ้ากำลังส่องสว่างของแสงมีค่ามากกระแสที่ไหลผ่านขดเคลื่อนที่ก็มากการบายเบนของเข็ม ซี้ก็จะมากด้วย เพื่อให้เครื่องวัดแสงมีหลายย่านวัดก็ได้จึงออกแบบโดยใช้ความต้านทานขั้วขึ้นท์(shunt Resistor) ต่อขนานกับ ขดขดลวดเคลื่อนที่ของไมโครแอมมิเตอร์

$$\text{lumen/ft}^2 = \text{foot-candle}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lumen/m² = lux

1 foot-candle = 10.76 lux

1 lumen = 0.0016 watt

3) การนำไปใช้งาน มีวิธีการใช้งานเหมือนกัน ทั้งสองชนิดคือ นำ เครื่องวัดไปวางยังตำแหน่งที่ต้องการวัดให้ส่วนที่รับแสงตรงกับ ตำแหน่งที่แสงตกอ่านค่าที่วัดได้จากหน้าปัทม์ของเครื่องวัด แล้ว เปรียบเทียบกับมาตรฐานของกำลังส่องสว่างของแสงดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 กำลังส่องสว่างของแสง ตามมาตรฐานในสถานที่ต่าง ๆ

ความเข้มแสง (LUX)	ประเภทสถานที่
	ในสำนักงาน
100 – 300	ครัว ทางเดิน บันได ห้องน้ำ
300 – 750	ห้องประชุม สำนักงาน ห้องคอมพิวเตอร์
750 – 1500	ห้องเขียนแบบ ห้องออกแบบ
	ในโรงงาน
150 – 300	บริเวณหีบห่อ บริเวณงานเชื่อม งานเครื่องจักร ทั่วไป
300 – 750	บริเวณทดสอบ คัดเลือก หรือหีบห่อที่ประณีต ขึ้น
750 – 1500	บริเวณตรวจสอบ หรืองานหีบห่อที่ประณีตและ ละเอียดขึ้น
1500 - 3000	งานที่ใช้ความประณีตอย่างมาก ห้องเขียนแบบ
	ในโรงเรียน
150 – 300	โรงยิมส์ ห้องเก็บของ ทางเดิน บันได ห้องน้ำ ห้องเรียน
300 – 750	ห้องเขียนแบบ ห้องทดลอง ห้องสมุด
	ในบ้าน
100 – 200	ซักล้าง กิจกรรมบันเทิง
200 – 500	โต๊ะอาหาร แต่งหน้า
500 - 1000	อ่านหนังสือ เขียนหนังสือ

ตารางที่ 2.2 ค่า LUX ในสถานที่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

การเปิดและปิดเครื่องอัตโนมัติ

กดปุ่ม POWER เพื่อเปิด เครื่องวัดแสง

กดปุ่ม POWER อีกครั้งเพื่อปิดเครื่อง

เครื่องจะปิดอัตโนมัติทุก 10 นาที เพื่อประหยัดแบตเตอรี่ หากต้องการยกเลิกระบบปิดเครื่องอัตโนมัติ

ให้กดปุ่ม RECORD เพื่อเข้าสู่โหมดการบันทึก แสดงค่า 0 แนะนำให้ปรับเทียบ 0 ก่อนการใช้งานทุก

ครั้ง เพื่อความแม่นยำปิดฝาปิดเซนเซอร์เลือกช่วงวัด 2000 lux โดยปุ่ม Range

กดปุ่ม ZERO หน้าจอ Lux Meter ต้องแสดงค่า 0เปิดฝาครอบเซนเซอร์

การเลือกชนิดของหลอดไฟที่วัดโดยการกดปุ่ม LIGHT SOURCE หน้าจอจะแสดงชนิดของ

lightsourcEL - หลอดทังสเตน, DaylightF - หลอดฟลูออเรสเซนต์S - หลอดโซเดียม C - หลอดเมอคูรี

การตั้งค่า

กดปุ่ม HOLD เพื่อตั้งค่าที่อ่าน ที่หน้าจอ เครื่องวัดแสง จะแสดงผล กดปุ่ม HOLD อีกครั้ง เพื่อยกเลิกการตั้งค่า

การตั้งค่าสูงสุด

กดปุ่ม MAX เมื่อต้องการให้หน้าจอแสดงผล แสดงเฉพาะค่าสูงสุดที่วัดได้ กดปุ่ม MAX อีกครั้งเพื่อกลับสู่หน้าจอการวัดค่าปกติ

การเลือกช่วงวัด

กดปุ่ม RANGE เพื่อเลือกช่วงการวัดให้เหมาะสมกับความเข้มของแสง โดยเครื่องจะเริ่มจาก Range ต่ำที่ 20 และหากวัดเกิน Range ที่ตั้งหน้าจอจะแสดง "----" ให้กดปุ่ม Range เพื่อปรับช่วงวัดให้สูงขึ้น

การวัดค่า

ถือเซนเซอร์แสง ในพื้นที่ที่ต้องการวัดแสง โดยหันเซนเซอร์ไปยังทิศทางของแสง หน้าจอจะแสดงค่าความเข้มแสง หน่วยเป็น Lux หรือ Foot Candles

การใช้งานลักซ์มิเตอร์

เปิดสวิตช์เครื่อง วางหรือถือหัววัดแสงในบริเวณที่ต้องการวัดความสว่าง อ่านค่าความสว่าง จากจอแสดงผล ในกรณีที่ตั้งสวิตช์เลือกช่วงการวัดไว้ที่ตำแหน่ง $\times 10$ หรือ ที่ตำแหน่ง $\times 100$ ตามลำดับ จึงจะได้ความสว่าง นำค่าที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่าในตารางแสดงความสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งานสถานที่ต่างๆ จะทำให้ทราบว่า ความสว่างในบริเวณนั้นพอเหมาะหรือไม่

ข้อมูลมาตรฐานความสว่างในบริเวณต่างๆ

ความสว่างที่เหมาะสมในห้องเรียนทั่วไปคือ 700 – 1500 lux

ความสว่างที่เหมาะสมในบริเวณ Office คือ 1500 – 3000 lux

ความสว่างที่เหมาะสมในบริเวณโรงพยาบาลคือ 1500 – 3000 lux

ความสว่างที่เหมาะสมในบริเวณโรงงานคือ 1500 – 3000 lux

ความสว่างที่เหมาะสมในบริเวณโรงแรมคือ 700 – 1500 lux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การออกแบบ การสร้าง และวิเคราะห์ระบบการวัดค่าความสว่างของรังสีดวงอาทิตย์ในการนำไปประยุกต์ใช้งาน มีขั้นตอนดำเนินงานดังนี้

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

3.1 การศึกษาหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

3.1.1 คำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ AZIMUTH และ ALTITUDE จากสมการ NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA)

จากทฤษฎีในบทที่ 2 การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จำเป็นต้องรู้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ที่เวลาต่างๆ ใน แต่ละวัน สามารถคำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\omega = 15(t_s - 12) \quad \dots (3.1)$$

ω คือ มุมซังโมง (ชั่วโมง)

t_s คือ เวลาสุริยคติปรากฏ (ชั่วโมง)

SOLAR TIME คือ เวลาที่บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งบนพื้นโลก หาได้จากสมการที่ (2)

$$t_s = LCT \pm \frac{T_{zw}^E \pm \lambda_w^E}{15} + \frac{EQT}{60} \quad \dots (3.2)$$

LCT คือ LOCAL CLOCK TIME เวลาท้องถิ่นคำนวณ TIME ZONE (ชั่วโมง)

T_{zw}^E คือ TIME ZONE (DEGREE)

λ_w^E คือ LONGTITUDE (DEGREE)

EQT คือ EQUATION OF TIME สมการเวลา คำนวณได้จากสมการที่ (3.3)

$$EQT = 60 \sum_{k=0}^5 \left[A_k \cos \left(\frac{360kn}{365.25} \right) + B_k \sin \left(\frac{360kn}{365.25} \right) \right] \quad \dots (3.3)$$

n = คือจำนวนวันใน 4 ปี (ปีอธิกสุรทิน) มีค่าตั้งแต่ 1-1461

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k

k	A_k (hr)	B_k (hr)
0	2.0870×10^{-4}	0
1	9.2869×10^{-3}	-1.229×10^{-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}

$$\sin \delta = \cos \left[(N-173) \frac{180}{182.6} \right] \sin 23.45 \quad \dots (3.4)$$

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

LATITUDE ANGLE (ϕ) คือ ค่ามุมที่วัดเป็นองศาไปทางเหนือและทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร ข้างละ 90 องศา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$\alpha = \sin^{-1} (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) \quad \dots (3.5)$$

α คือ ALTITUDE ANGLE (DEGREE)

δ คือ DECLINATION ANGLE (DEGREE)

ϕ คือ LATITUDE ANGLE (DEGREE)

ω คือ HOUR ANGLE (DEGREE)

ALTITUDE ANGLE (α) คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวรังสีของดวงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.6)

$$A = \sin^{-1} \left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \right) \quad \dots (3.6)$$

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

3.2 การศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 การศึกษาออกแบบและสร้างโครงสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ทำการสร้างโครงสร้างระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

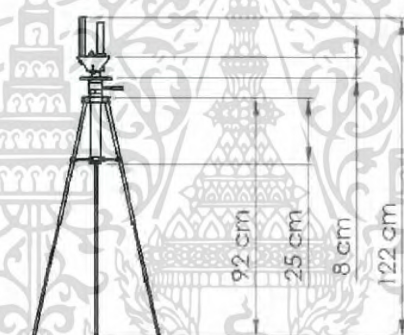
สิ่งที่น่าสนใจในการออกแบบระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้แก่ ความแข็งแรงของโครงสร้าง วัสดุ และรูปร่าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) โครงสร้างที่ใช้ทำเป็นโครงเพื่อรองรับระบบติดตามการเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์ควรรับน้ำหนักของโมดูลเซ็นเซอร์ LDR และ มอเตอร์ได้
- 2) วัสดุที่จะนำมาใช้ต้องทนต่อการกัดกร่อน
- 3) ขนาดที่ออกแบบไม่ใหญ่เทอะทะและมีน้ำหนักไม่มากเกินไป อันเป็นผลทำให้การติดตั้งและเคลื่อนย้ายลำบาก

จากข้อพิจารณาดังกล่าวจะเลือกใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์ในการขึ้นโครงสร้างของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แสดงดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 โครงสร้างฐาน

- ขาตั้งกล้อง



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของขาตั้งกล้อง

ส่วนที่ 2 ขนาดโครงสร้างฐานรองมอเตอร์ตัวที่ 1 (แนวแกนการเคลื่อนที่อะซิมูท)

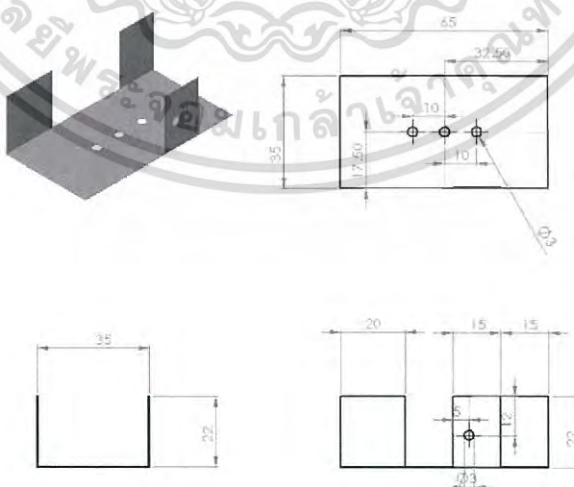
- ฐานวางมอเตอร์ตัวที่ 1



รูปที่ 3.2 แสดงขนาดฐานวางมอเตอร์ตัวที่ 1

ส่วนที่ 3 ขนาดโครงสร้างฐานรองมอเตอร์ตัวที่ 2 (แนวแกนการเคลื่อนที่อัลติจูด)

- ฐานวางมอเตอร์

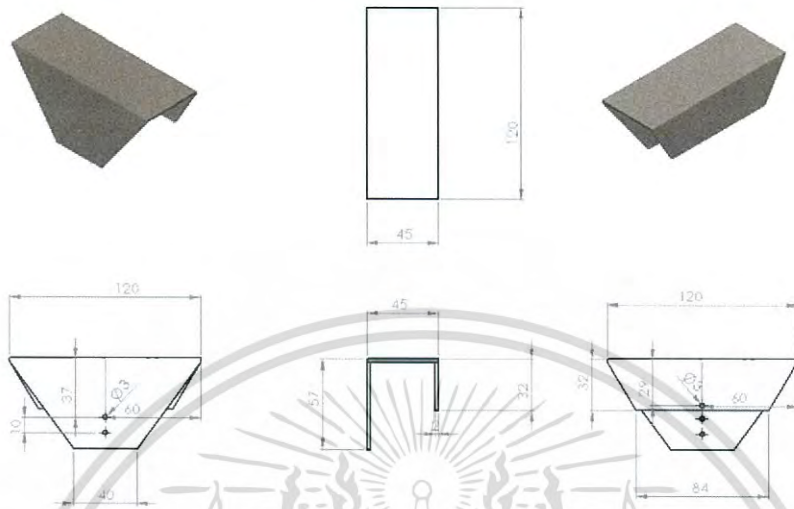


รูปที่ 3.3 แสดงขนาดฐานวางมอเตอร์ตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 4 ขนาดโครงสร้างของฐานรองโมดูลเซ็นเซอร์

- ฐานรองโมดูลเซ็นเซอร์

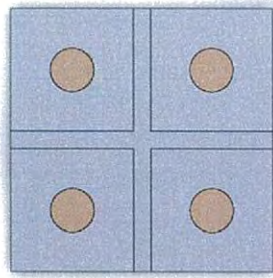


รูปที่ 3.4 โครงสร้างแผ่นอลูมิเนียมยึดฐานโมดูลเซ็นเซอร์ติดกับมอเตอร์ตัวที่ 2



รูปที่ 3.5 โครงสร้างเครื่องวัดความสว่างของแสงอาทิตย์ ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.6

(ก) โครงสร้างโมดูลเซ็นเตอร์

(ข) การวาง LDR บนโมดูล

(ค) โครงสร้างโมดูลเซ็นเตอร์ ที่จัดทำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความสว่าง

เครื่องมือวัดความสว่างเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดหาค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในจุดที่มีความสว่างมากที่สุดที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉาก 90° โดยอาศัยโมดูลเซ็นเซอร์เป็นตัวส่งการในการเคลื่อนที่ติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์

สิ่งที่นำมาพิจารณาในการออกแบบเครื่องมือวัดความสว่างวัสดุ รูปร่างและขนาด ความแข็งแรง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) มีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อนสูง
- 2) ขนาดที่ออกแบบไม่ใหญ่และมีน้ำหนักไม่มากเกินไป อันเป็นผลทำให้มีการเคลื่อนที่ลำบาก จากข้อพิจารณาดังกล่าวจะเลือกใช้ลูมิเนียม มาสร้างโมดูลวัดความสว่าง โดยใช้เทคนิคการกลึง และทำการเจาะรูให้กลวงเพื่อทำการลดน้ำหนักดังรูปที่ 3.7



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.7 (ก) โครงสร้างเครื่องมือวัดความสว่าง
(ข) โครงสร้างเครื่องมือวัดความสว่างที่จัดทำขึ้น



รูปที่ 3.8 โครงสร้างระบบวัดความสว่างของแสงอาทิตย์ที่จัดทำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาและพัฒนาการออกแบบสร้างกล่องควบคุมระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

การออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่การติดตามของดวงอาทิตย์จะแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของ ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

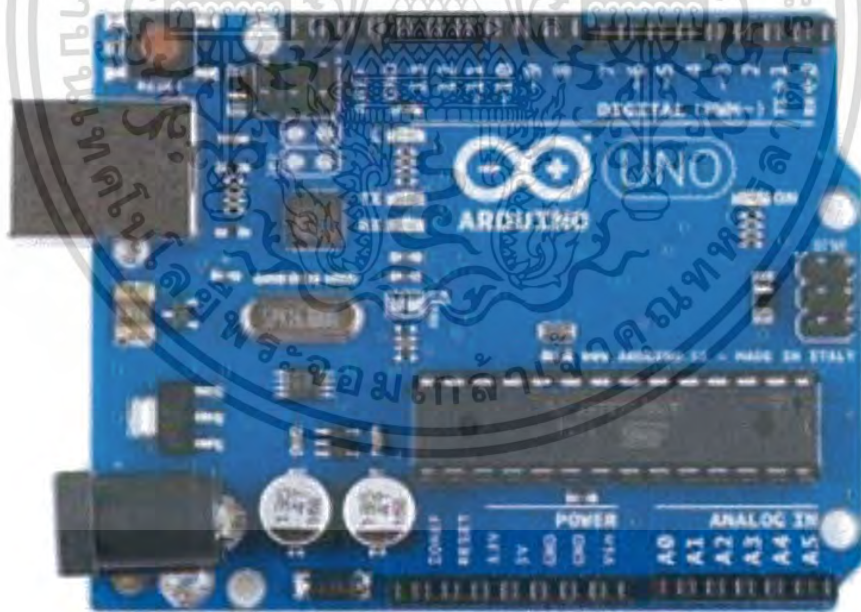
ส่วนฮาร์ดแวร์

3.3.1 ขั้นตอนการทำ Tracking System

3.3.3.1 ออกแบบและสร้างกล่องควบคุมระบบ

กล่องควบคุมมีหน้าที่ควบคุมสั่งการและรับค่าข้อมูลต่างๆที่ใช้ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์และเก็บค่าลักษณะซึ่งภายในกล่องควบคุมจะมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจกต์และ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมาตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสียผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย



รูปที่ 3.9 โครงสร้างระบบวัดความสว่างของแสงอาทิตย์ที่จัดทำขึ้น

ที่มา www.myarduino.net

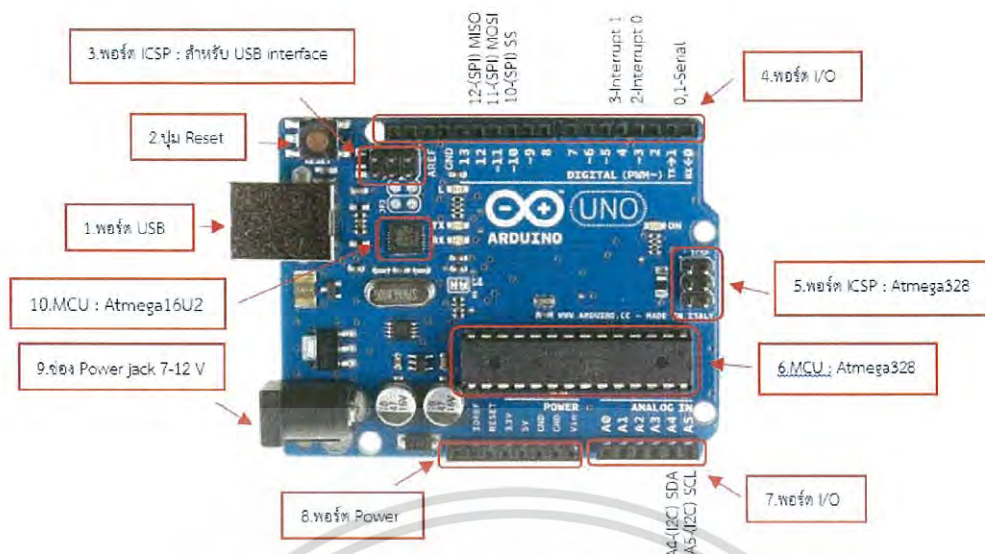
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spec Arduino Uno R3

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต	3.3V 50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6x53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงถึงโครงสร้าง Arduino Uno R3

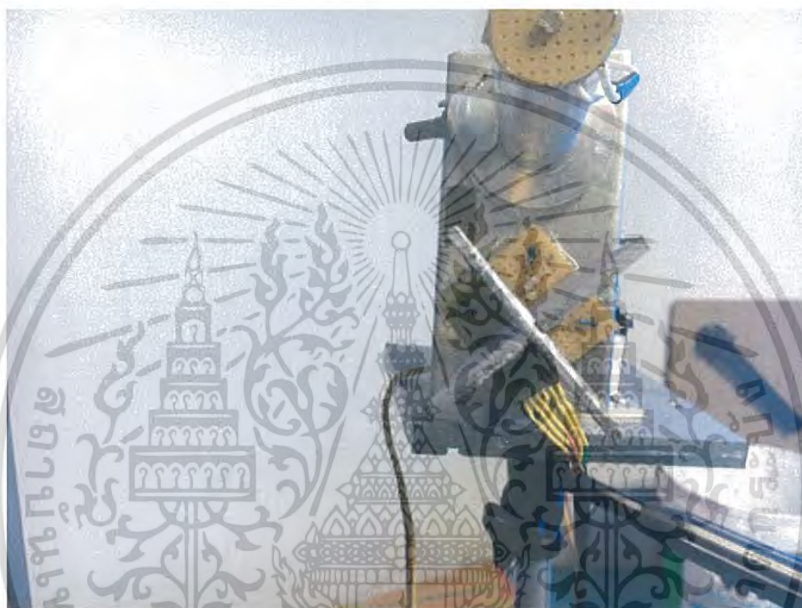
ที่มา www.myarduino.net

- 1.USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
- 2.Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
- 3.ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
- 5.ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
- 8.Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขา ไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่านAtmega16U2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 ออกแบบและสร้างโมดูลติดตามดวงอาทิตย์

จากการออกแบบและสร้างโมดูลติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้ LDR ขนาด 5 มิลลิเมตร 4 ตัว กำหนดให้หนึ่งตัวสามารถกำหนดให้มอเตอร์หมุนได้ 1 ทิศทาง แสดงดังรูปที่ 3.13 โดยที่มอเตอร์หนึ่งตัวจะใช้ LDR 2 ตัวในการควบคุมการหมุน ในการสร้างโมดูลเซ็นเซอร์นั้นเราจะคำนึงถึงมอเตอร์ที่เรานำมาใช้ มอเตอร์ที่เรานำมาใช้คือ Servo motor mg995 จะมีรอบการหมุนต่ำและหมุนได้ค่อนข้างละเอียดที่ละ 1 องศา เพราะเนื่องจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ช้า โมดูลที่เราสร้างขึ้นจะใช้หลักการลำแสงขนาดกบดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.11 แสดงการวางตำแหน่งของ LDR บนโมดูลเซ็นเซอร์

ส่วนซอร์ฟแวร์

3.3.2 ออกแบบและพัฒนาเขียนโปรแกรมใช้งานด้วย Arduino

หลังจากที่เราได้ทำการสร้างเครื่องมือวัดความสว่างของแสงอาทิตย์ ลักซ์มิเตอร์ ลำดับขั้นตอนต่อไปก็เป็นเรื่องของการใช้งาน การเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบของเครื่องลักซ์มิเตอร์และรับติดตามดวงอาทิตย์

จากการออกแบบและพัฒนาระบบเขียนโปรแกรมด้วย Arduino เพื่อการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยในการออกแบบต้องการใช้หลักการบังเงาโดยการใช้ LDR 4 ตัว ในการติดตามโดยกำหนดค่า port ในการรับค่าของ LDR และนำมาสั่งมอเตอร์ให้หมุนตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยคำสั่งจะกล่าวในรูป

```

Solar_Tracking_with_Lux_Meter $
#include <Servo.h>
Servo myservol;
Servo myservo2;
int pos = 90;           // ตั้งตำแหน่ง servo ที่ 90 องศา
int pos1 = 90;         // ตั้งตำแหน่ง servo ที่ 90 องศา
int potPin0 = 0;       // กำหนด port LDR A0
int potPin1 = 1;       // กำหนด port LDR A1
int potPin2 = 2;       // กำหนด port LDR A2
int potPin3 = 3;       // กำหนด port LDR A3
int potPin4 = 4;       // กำหนด port LDR A4
int potValue0 = 0;
int potValue1 = 0;
int potValue2 = 0;
int potValue3 = 0;
int potValue4 = 0;     // ประกาศตัวแปร potValue มีค่าเท่ากับ 0 โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0
int Vin = 5;           // variable to store the input voltage
float Vout = 0;        // variable to store the input voltage
float R1 = 1;          // variable to store the R1 FIK (1k) value
float R2 = 0;          // variable to store the R2 value
float buffer = 0;      // buffer variable for calculation
float lux = 0;

```

รูปที่ 3.12 แสดงถึงการกำหนด port ของ servo motor และนำค่าจาก LDR เก็บในตัวแปร

```

Solar_Tracking_with_Lux_Meter $
void setup ()
{
  Serial.begin(9600);
  myservol.attach(5); // กำหนด servo port -5
  myservo2.attach(6); // กำหนด servo port -6
  pinMode(potPin0,INPUT);
  pinMode(potPin1,INPUT);
  pinMode(potPin2,INPUT);
  pinMode(potPin3,INPUT);
  myservol.write(pos);
  myservo2.write(pos1);
}
void loop ()
{
  potValue0 = analogRead(potPin0); // นำค่าที่อ่านได้จาก potPin มาเก็บไว้ในตัวแปร potValue
  potValue1 = analogRead(potPin1);
  potValue2 = analogRead(potPin2);
  potValue3 = analogRead(potPin3);
  potValue4 = analogRead(potPin4); // นำค่าที่อ่านได้จาก potPin มาเก็บไว้ในตัวแปร potValue
  Vout = (5.0 / 1023.0) * potValue4; // Calculates the Voltage on th Input PIN
  buffer = (Vin / Vout) - 1;
  R2 = R1 / buffer;
  lux = 500/R2;
}

```

รูปที่ 3.13 แสดงถึงการกำหนดค่า port ในการรับค่าของ LDR และการกำหนดค่าของตัวแปรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

Serial.print("V: ");
Serial.print(Vout);
Serial.print(" ");
Serial.print("R2: ");
Serial.print(R2);
Serial.print(" ");
Serial.print("Lux: ");
Serial.print(" ");
Serial.print(lux);
Serial.print(" ");
Serial.print(potValue0,DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print(potValue1,DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print(potValue2,DEC);
Serial.print(" ");
Serial.println(potValue3,DEC);

```

รูปที่ 3.14 การเรียกค่าต่างๆให้แสดงผลตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Solar_Tracking_with_Lux_Meter $
if(potValue0>900) //กำหนดค่าตามเข็มแสง
{
  pos +=1 ;
}
if(potValue1>900) //กำหนดค่าตามเข็มแสง
{
  pos -=1 ;
}
if(potValue2>900) //กำหนดค่าตามเข็มแสง
{
  pos1+=1 ;
}
if(potValue3>900) //กำหนดค่าตามเข็มแสง
{
  pos1-=1 ;
}
if(pos>180)
{
  pos = 180;
}
if(pos<0)
{
  pos = 0;
}
if(pos1>180)
{
  pos1 = 180;
}
if(pos1<0)
{
  pos1 = 0;
}
else if(potValue0=potValue1)
{
  pos +=0;
}
else if(potValue2=potValue3)
{
  pos1 +=0;
}
else if(potValue0=potValue1=potValue2=potValue3)
{
  pos+=0;
}

myservol.write(pos);
myservo2.write(pos1);

delay(100);
}

```

รูปที่ 3.15 แสดงถึงการกำหนดคำสั่งให้ servo motor โดยทำการรับค่าจาก LDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการใช้กับการ

ในการหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการหาค่าลักซ์ที่ได้จาก LDR ทำโดยการวัดความสว่างภายในวันที่ทำการทดลองแล้วสังเกตและบันทึกค่าทุก 10 นาทีและทำการปรับค่า R ให้ผลที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากลักซ์มิเตอร์ HS1010A เพื่อทำการหาค่า R สูงสุดที่ใช้ในการทดลอง



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.16 แสดงถึงการวัดค่าตัวต้านทานที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาทดลอง

3.3.3 การศึกษาและเลือกใช้มอเตอร์ในระบบติดตามดวงอาทิตย์

มอเตอร์ในระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ มอเตอร์กระแสตรง และ มอเตอร์กระแสสลับ ในที่นี้นักวิจัยได้เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC SERVO MOTOR) มอเตอร์จะทำหน้าที่ขับเคลื่อนระบบตามรังสีอาทิตย์โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและสั่งการ

สิ่งที่นำมาพิจารณาในการเลือกใช้มอเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ตัวที่ 1 เคลื่อนที่แนวแกนอะซิมุท หรือเคลื่อนที่ในแนวราบ

สเปคของมอเตอร์ตัวที่ 1 (Servo motor mg995)

INPUT	5 VDC
ขนาดมอเตอร์	40 x 19.7 x 42.9 mm
ขนาดของแกนมอเตอร์	8.0 mm
แรงบิดมอเตอร์ไม่เกิน	8.5 kg/cm
ความเร็วรอบของมอเตอร์	50 rpm



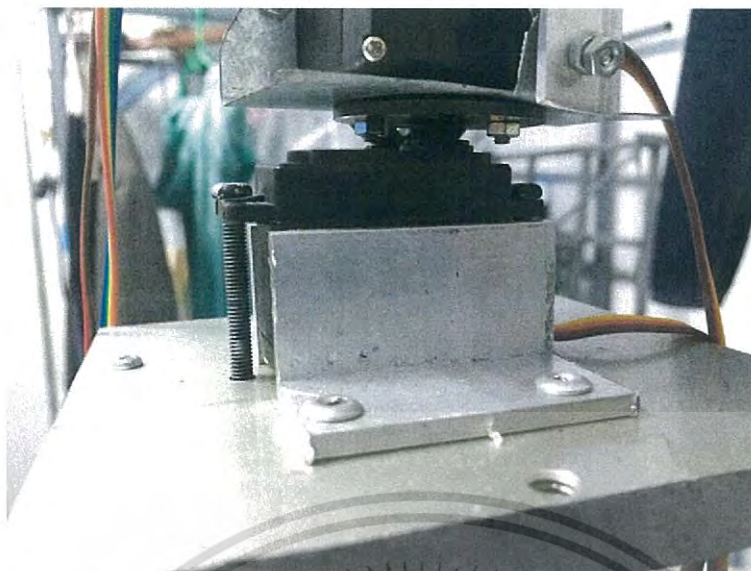
รูปที่ 3.17 มอเตอร์ตัวที่ 1 เคลื่อนที่แนวแกนอะซิมุท หรือเคลื่อนที่ในแนวราบ

มอเตอร์ตัวที่ 2 เคลื่อนที่แนวแกนอะติจูด หรือเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

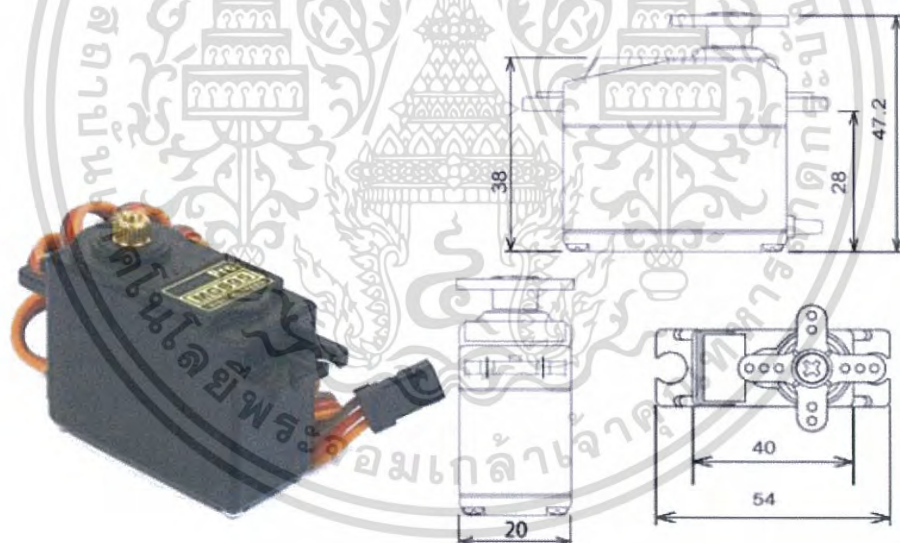
สเปคของมอเตอร์ตัวที่ 2 (Servo motor mg995)

INPUT	5 VDC
ขนาดมอเตอร์	40 x 19.7 x 42.9 mm
ขนาดของแกนมอเตอร์	8.0 mm
แรงบิดมอเตอร์ไม่เกิน	8.5 kg/cm
ความเร็วรอบของมอเตอร์	50 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงมอเตอร์ตัวที่ 2 เคลื่อนที่แนวแกนอะติจูด หรือเคลื่อนที่ในแนวตั้ง



รูปที่ 3.19 แสดงถึงโครงสร้าง motor servol mg995

ที่มา www.electronicoscaldas.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การศึกษา Pyranometer

เป็นอุปกรณ์ที่จะวัดการแผ่รังสีอาทิตย์ บนพื้นที่ราบ ในช่วงสเปกตรัม $0.3 \mu\text{m}$ to $3 \mu\text{m}$ โพรานอมิเตอร์จะวัดรังสีอาทิตย์จากทุกทิศทาง เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบที่ thermopile ความร้อนที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าและแปลงค่าผ่านสมการ (รวมค่า correction ของอุปกรณ์) ให้เป็นหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งอุปกรณ์นี้ใช้สำหรับการวัดรังสีรวม และรังสีกระจาย โดยเฉพาะการใช้งานในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.20 Pyranometer ที่ใช้ในงานวิจัย

สเปคของ pyranometer

รุ่น CM 11

Serial no 996853

ความไวต่อแสง $5.10 \times 10^6 / \text{Wm}^2$

ผลิตที่ประเทศ HONLAND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 ศึกษาเครื่องลักซ์มิเตอร์ รุ่น HS1010A

เครื่องวัดแสง (Lux Meter) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความสว่างเฉพาะความเข้มที่ปรากฏในสายตาของมนุษย์ การวัดนี้แตกต่างจากการวัดของพลังงานแสงที่เกิดขึ้นจริงหรือที่ผลิตโดยสะท้อนจากวัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสง ลักซ์ (Lux) เป็นหน่วยของการวัดความสว่าง ที่ยาวที่สุดมันก็มาจากแคนเดลา หน่วยมาตรฐานของการวัดการใช้พลังงานของแสง แคนเดลาเป็นจำนวนที่คงที่ซึ่งใกล้เคียงกับความสว่างของ1แรงแทียน (1 Watt) ในขณะที่แคนเดลาเป็นหน่วยของพลังงานก็มีหน่วยเทียบเท่าที่รู้จักกันเป็นลูเมนซึ่งมาตรการเบาเหมือนกันในแง่ของการรับรู้ของตนได้ด้วยตามนุษย์ 1 ลูเมนเทียบเท่ากับแสงที่ผลิตในทิศทางเดียวจากแหล่งกำเนิดแสง 1แคนเดลา



รูปที่ 3.21 ลักซ์มิเตอร์รุ่น HS1010A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดแบบย่อ:

- ย่านการวัด 2000/20000/200000 Lux หรือ 200/2000/20000 Fc
- ความละเอียด 1 Lux/0.1Fc
- **ปรับย่านการวัดอัตโนมัติ**
- **อัตราการวัดแสง 2 ครั้งต่อวินาที**
- ความแม่นยำ :±4%±10dpts(<10000Lux) หรือ ±5% ±10dpts(>10000Lux)
- Repeatability:±2%
- แหล่งพลังงาน แบตเตอรี่ AAA x 2
- ขนาดเครื่อง 162x60x32 มิลลิเมตร

การวัดค่า

ถือเซนเซอร์แสง ในพื้นที่ที่ต้องการวัดแสง โดยหันเซนเซอร์ไปยังทิศทางของแสง หน้าจอจะแสดงค่าความเข้มแสง หน่วยเป็น Lux หรือ Foot Candles

การใช้งานลักซ์มิเตอร์

เปิดสวิตช์เครื่อง วางหรือถือหัววัดแสงในบริเวณที่ต้องการวัดความสว่าง อ่านค่าความสว่างจากจอแสดงผล ในกรณีที่ตั้งสวิตช์เลือกช่วงการวัดไว้ที่ตำแหน่ง × 10 หรือ ที่ตำแหน่ง × 100 ตามลำดับ จึงจะได้ความสว่าง นำค่าที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่าในตารางแสดงความสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งานสถานที่ต่างๆ จะทำให้ทราบว่า ความสว่างในบริเวณนั้นพอเหมาะหรือไม่

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดสอบและวิเคราะห์ของโครงการการออกแบบลักซ์มิเตอร์สำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์จะแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือตอนแรกเป็นการทดสอบและวิเคราะห์ค่าของ R ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการออกแบบลักซ์มิเตอร์ ตอนสองจะเป็นทดสอบและวิเคราะห์เครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวัดค่าความสว่างของแสง

4.1 การทดสอบและวิเคราะห์ในการหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมกับการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การทดสอบและวิเคราะห์ในการหาค่าความต้านทานที่เหมาะสม

อุปกรณ์การทดสอบ

- LDR 1 ตัว
- ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 Ω
- บอร์ด ARDUINO UNO R3
- Multi meter
- แท่งอลูมิเนียม

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ตั้ง LDR ให้ตรงกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยหลักการบังเงาจากโมดูลเซ็นเซอร์
2. ทำการเก็บผลจาก LUX meter และ จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นและวัดค่าตัวต้านทานทุก 10 นาที และทำการปรับค่าตัวต้านทานให้เครื่องมือที่สร้างขึ้นมีค่าลักซ์ ใกล้เคียงกับค่าของ LUX Meter
3. บันทึกผลการทดลองทุก 10 นาที หาค่า LUX สูงสุดเพื่อนำไปวิเคราะห์ปรับหาค่าความต้านทานที่เหมาะสม
4. ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเพื่อหาค่าตัวต้านทานที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเพื่อหาค่าตัวต้านทานที่เหมาะสม

time	lux Project	lux meter	R
9.00 น	84750	78600	4.6
9.10 น	84750	79200	4.6
9.20 น	84750	81300	4.6
9.30 น	84750	82900	4.6
9.40 น	93500	91200	5
9.50 น	93500	91900	5
10.00 น	93500	92700	5
10.10 น	93500	93000	5
10.20 น	101800	95900	6.7
10.30 น	101800	97000	6.7
10.40 น	101800	99200	6.7
10.50 น	101800	100800	6.7
11.00 น	93500	92400	6.7
11.10 น	101800	100700	6.7
11.20 น	101800	101200	6.7
11.30 น	101800	101300	6.7
11.40 น	101800	101700	6.7
11.50 น	127375	102100	6.9
12.00 น	127375	103200	6.9
12.10 น	127375	102900	6.9
12.20 น	127375	107900	6.9
12.30 น	127375	109200	6.9
12.40 น	127375	110300	6.9
12.50 น	127375	112400	6.9
13.00 น	127375	119000	6.9
13.10 น	127375	112300	6.9
13.20 น	127375	122900	6.9
13.30 น	101800	101000	6.9
13.40 น	101800	101200	6.9
13.50 น	101800	101400	6.9
14.00 น	127375	123100	6.9
14.10 น	127375	122700	6.9
14.20 น	127375	122500	6.9

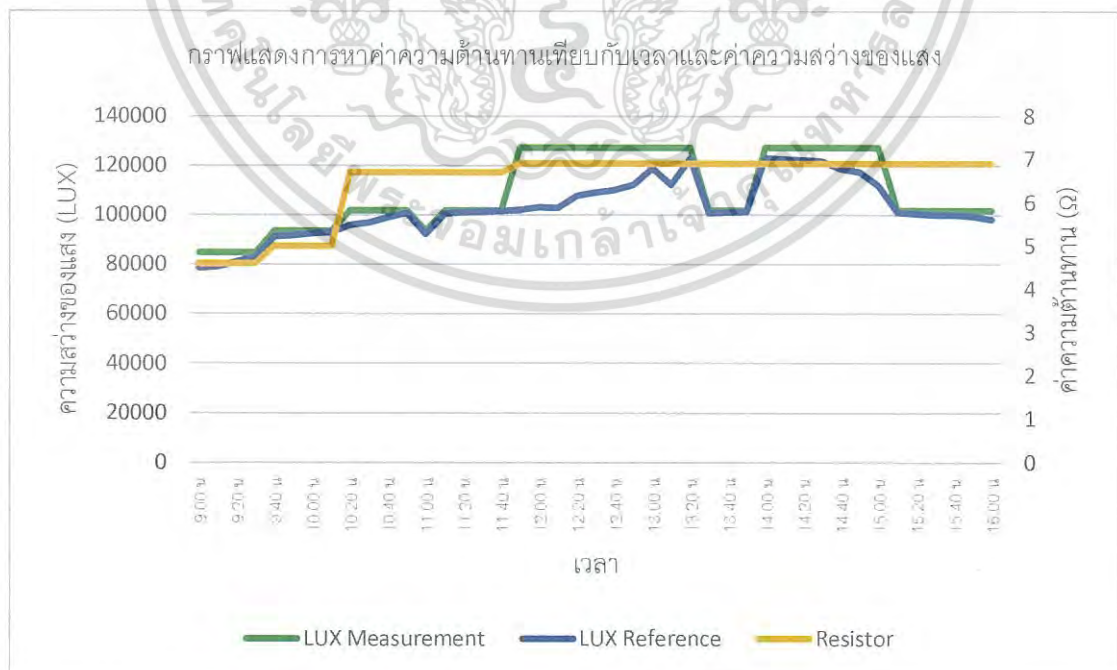
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเพื่อหาค่าตัวต้านทานที่เหมาะสม (ต่อ)

Time	lux Project	lux meter	R
14.30 น	127375	122000	6.9
14.40 น	127375	118900	6.9
14.50 น	127375	117400	6.9
15.00 น	127375	112000	6.9
15.10 น	101800	101200	6.9
15.20 น	101800	100700	6.9
15.30 น	101800	100200	6.9
15.40 น	101800	100100	6.9
15.50 น	101800	99700	6.9
16.00 น	101800	98200	6.9

การวิเคราะห์ผล

จากการทำงานของ LDR เมื่อมีแสงส่องมากระทบ LDR ผลการเก็บค่า LUX ทำให้ทราบว่าค่า LUX สูงสุดที่ทำการเก็บค่าได้มีค่าประมาณ 122000 ซึ่งค่าจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นมี range สูงสุดที่ 127375 มีค่าความต้านทานประมาณ 6.9 Ω



รูปที่ 4.2 กราฟการหาค่าความต้านทานเทียบเวลากับค่าความสว่างแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองการวัดค่า LUX จากเครื่องมือที่สร้างขึ้น

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องลิกซ์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น
2. Multi meter
3. คอมพิวเตอร์
4. เครื่อง LUX MITER HS1010A
5. Pyranometer

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำเครื่องลิกซ์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นไปวางไว้ในที่โล่งเพื่อไปทำการทดสอบ
2. ต่อไฟเลี้ยงเข้าเครื่องลิกซ์มิเตอร์
3. เปิดโปรแกรม Arduino เพื่อแสดงผล
4. ตั้งเครื่องลิกซ์มิเตอร์บันทึกผลเพื่อเปรียบเทียบเครื่องลิกซ์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น
5. ใช้ Multi meter ในการเก็บค่าความเข้ม Pyranometer
6. บันทึกผลการทดลองทุกๆ 10 นาที เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าลิกซ์ วันที่ 10 พฤษภาคม 2559

เวลา	V _{out}	R _{LDR} (KΩ)	Lux Measure	Lux theory	Error	Lux Reference	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
9.00	0.03	0.0049	101800	102040	0.23	96800	4.5	900
9.10	0.03	0.0049	101800	102040	0.23	97500	4.2	940
9.20	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	107000	5	1000
9.30	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	107100	5	1000
9.40	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	107800	5	1000
9.50	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	109800	5	1000
10.00	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	112100	5.2	1040
10.10	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	114000	5.2	1040
10.20	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	114800	5.1	1020
10.30	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	116000	5.1	1020
10.40	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	117800	5.2	1040
10.50	0.03	0.0039	127375	128205	0.64	117900	5.2	1040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 10 พฤษภาคม 2559 (ต่อ)

เวลา	V _{out}	R _{LDR} (K Ω)	Lux Measure	Lux theory	Error	Lux Reference	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
11.00	0.03	0.0049	101800	102040	0.23	96800	4.5	900
11.10	0.03	0.0049	101800	102040	0.23	97500	4.2	940
11.20	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	107000	5	1000
11.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	107100	5	1000
11.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	107800	5	1000
11.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	109800	5	1000
12.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	112100	5.2	1040
12.10	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	114000	5.2	1040
12.20	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	114800	5.1	1020
12.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	116000	5.1	1020
12.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	117800	5.2	1040
12.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	117900	5.2	1040
13.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	112200	4.8	960
13.10	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	99500	4.3	860
13.20	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	99500	4.3	860
13.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	110400	5	1000
13.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	112900	4.8	960
13.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	111800	4.8	960
14.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	110000	4.7	940
14.10	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	104000	4.5	900
14.20	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	102900	4.3	800
14.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	102000	4.1	820
14.40	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	101500	3.9	780
14.50	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	101300	3.9	780
15.00	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	100700	3.8	760
15.10	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	100500	3.2	740
15.20	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	100400	3.5	700
15.30	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	100000	3.4	680
15.40	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	98200	3.3	660
15.50	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	97000	3.3	660
16.00	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	97000	3.2	640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผล

เมื่อมีแสงมาส่องกระทบที่ LDR ทำให้ LDR ทำงานมีค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าความต้านทาน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความสว่างได้จากสมการที่

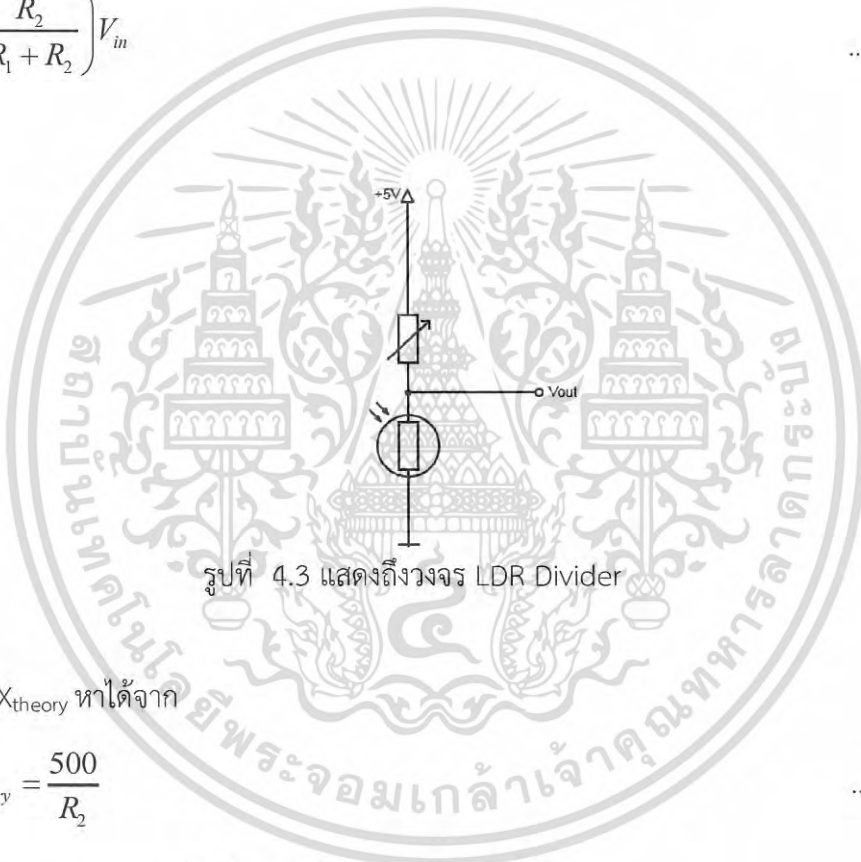
หลักการแบ่งแรงดัน Voltage Divider

จาก

$$V_{in} = I(R_1 + R_2) \quad \dots 4.1$$

$$V_{out} = IR_2 \quad \dots 4.2$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in} \quad \dots 4.3$$



รูปที่ 4.3 แสดงถึงวงจร LDR Divider

หาค่า LUX_{theory} หาได้จาก

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.4$$

เมื่อ R_1 คือ ค่าความต้านทานปรับค่าได้

R_2 คือ ค่าความต้านทานของ LDR

LUX_{Theory} คือ ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ

จากตัวอย่าง ณ เวลา 9.00 น. ของวันที่ 10 พฤษภาคม 2559

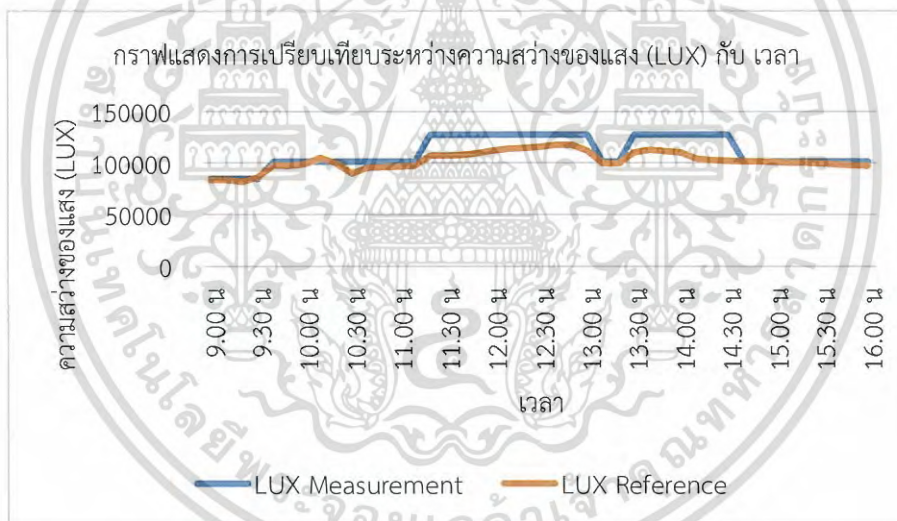
$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.5$$

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{0.0049} = 102040 \quad \dots 4.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

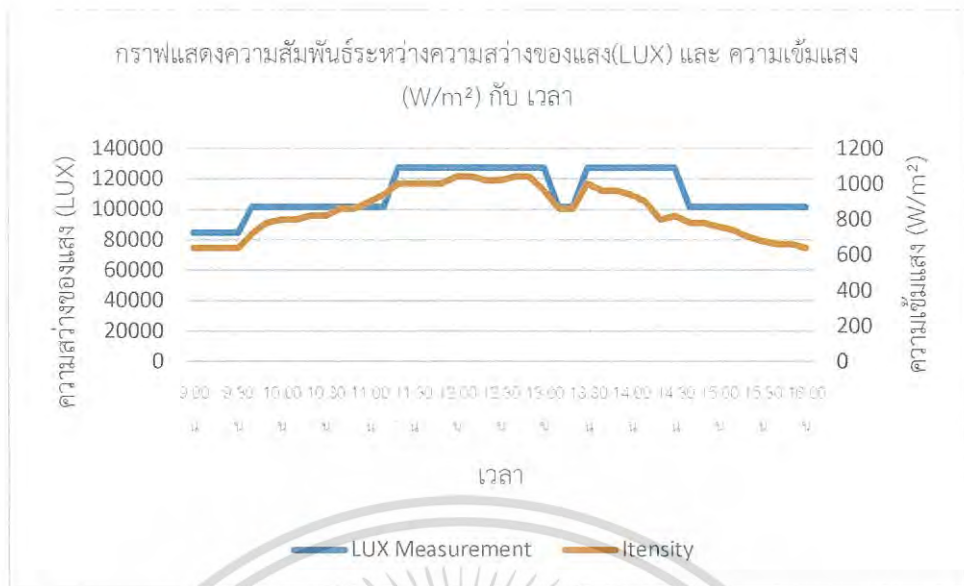


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) และความเข้มแสง (W/m²)

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาค่าลิคซ์ วันที่ 11 พฤษภาคม 2559

เวลา	V _{out}	R _{LDR} (KΩ)	Lux Measure	Lux theory	Error	Lux Refer ence	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
9.00	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	83500	3.2	640
9.10	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	83500	3.2	640
9.20	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	83500	3.3	660
9.30	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	86000	3.3	660
9.40	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	90000	3.4	680
9.50	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	95900	4.1	820
10.00	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	96500	4.5	900
10.10	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	96500	4.6	920
10.20	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	96500	4.6	920
10.30	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	96500	4.6	920
10.40	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	99000	4.7	940
10.50	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	100300	4.6	920

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 11 พฤษภาคม 2559 (ต่อ)

เวลา	V _{out}	R _{LDR} (K Ω)	Lux Measure	Lux theory	Error	Lux Reference	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
11.00	0.03	0.0058	84750	86206	1.69	88000	4.3	860
11.10	0.03	0.0049	101800	128205	0.64	101600	4.5	900
11.20	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	113000	4.2	940
11.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	137000	5.3	1060
11.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	110000	5.2	1040
11.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	114000	5.2	1040
12.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	116000	5.3	1060
12.10	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	116400	5.1	1020
12.20	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	115200	5.0	1000
12.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	112000	4.9	980
12.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	110900	4.9	980
12.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	109900	4.9	980
13.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	108600	4.8	960
13.10	0.02	0.0049	101800	102040	0.64	109600	4.8	960
13.20	0.02	0.0049	101800	102040	0.64	110900	4.8	960
13.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	108200	4.6	920
13.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	106400	4.5	900
13.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	108400	4.2	940
14.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	109400	4.2	940
14.10	0.03	0.0058	84750	128205	0.64	8800	4.2	940
14.20	0.03	0.0049	101800	102040	0.23	101600	3.4	720
14.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	113000	3.4	720
14.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	137000	3.8	760
14.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	110000	3.6	720
15.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	114000	3.6	720
15.10	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	116000	3.5	700
15.20	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	116400	3.2	640
15.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	115200	3.0	600
15.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	112000	4.2	940
15.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	110900	3.4	720
16.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.23	109900	3.4	720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผล

เมื่อมีแสงมาส่องกระทบที่ LDR ทำให้ LDR ทำงานมีค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าความต้านทาน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความสว่างได้จากสมการที่

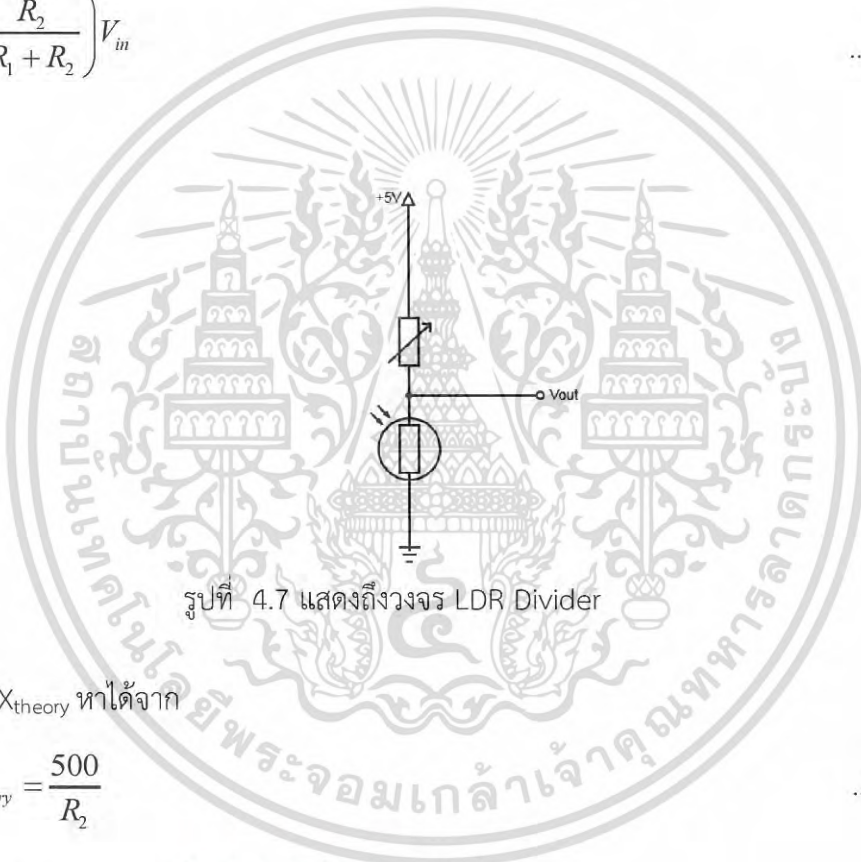
หลักการแบ่งแรงดัน Voltage Divider

จาก

$$V_{in} = I(R_1 + R_2) \quad \dots 4.7$$

$$V_{out} = IR_2 \quad \dots 4.8$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in} \quad \dots 4.9$$



รูปที่ 4.7 แสดงถึงวงจร LDR Divider

หาค่า LUX_{theory} หาได้จาก

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.10$$

เมื่อ R_1 คือ ค่าความต้านทานปรับค่าได้

R_2 คือ ค่าความต้านทานของ LDR

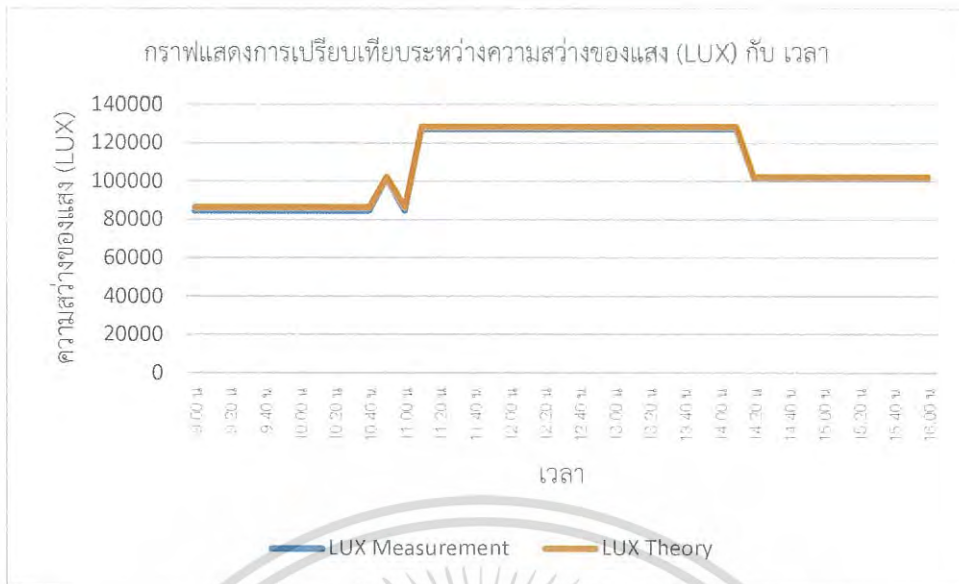
LUX_{Theory} คือ ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ

จากตัวอย่าง ณ เวลา 9.00 น. ของวันที่ 11 พฤษภาคม 2559

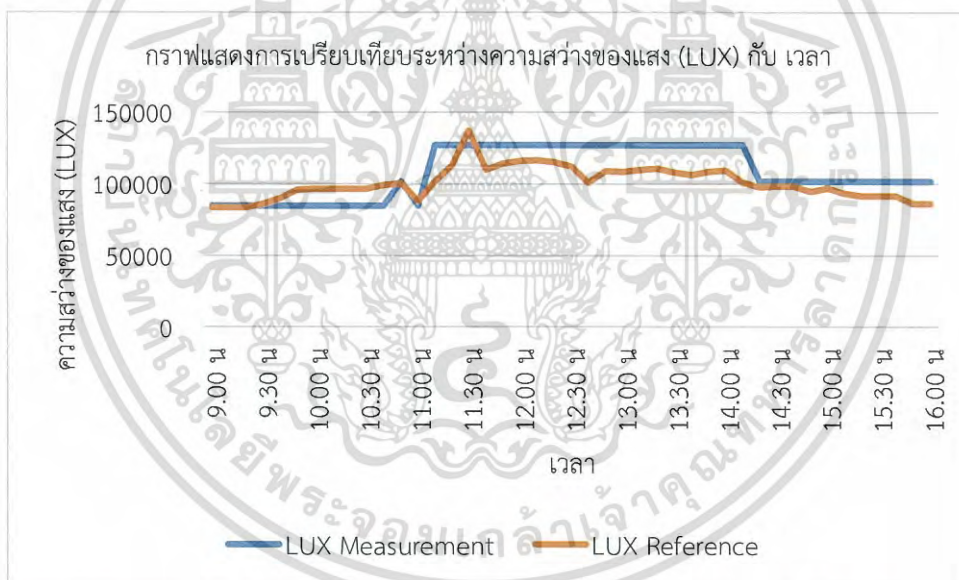
$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.11$$

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{0.0058} = 86206 \quad \dots 4.12$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

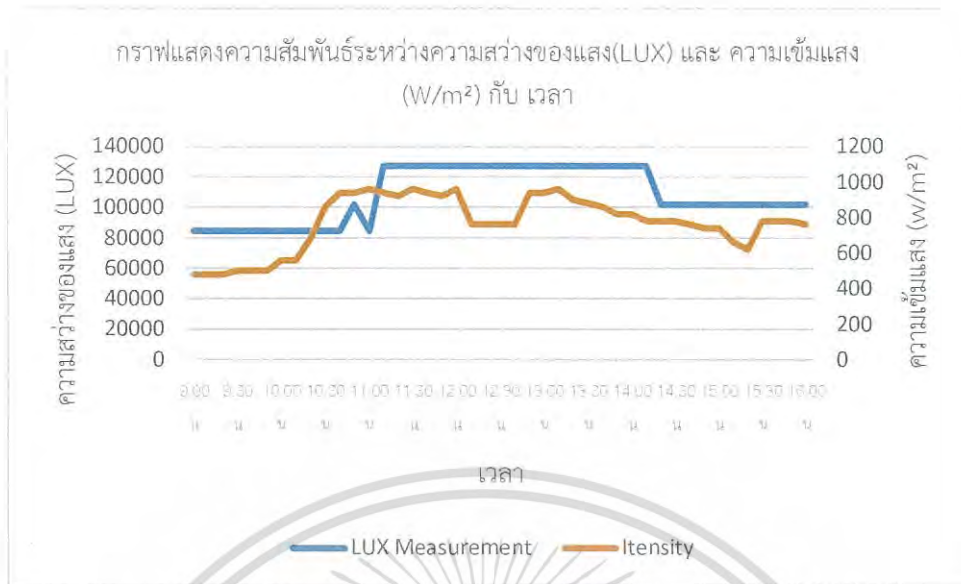


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) และความเข้มแสง (W/m²)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาค่าคลัส วันที่ 12 พฤษภาคม 2559

เวลา	V _{out}	R _{LDR} (KΩ)	Lux Measure	Lux theory	Error	Lux Refer ence	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
9.00	0.03	0.0078	63432	64102	1.03	50000	2.4	480
9.10	0.03	0.0078	63432	64102	1.03	53000	2.4	480
9.20	0.03	0.0078	63432	64102	1.03	53000	2.4	480
9.30	0.03	0.0078	63432	64102	1.03	53000	2.5	500
9.40	0.03	0.0078	63432	64102	1.03	50000	2.5	500
9.50	0.03	0.0078	63432	64102	1.03	53000	2.5	500
10.00	0.03	0.0068	72512	73529	1.37	55400	2.8	560
10.10	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	52500	2.8	560
10.20	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	52900	3.4	680
10.30	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	72900	4.3	860
10.40	0.02	0.0049	101810	102040	0.236	87500	4.7	940
10.50	0.02	0.0049	101810	102040	0.236	96200	4.7	940

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 12 พฤษภาคม 2559 (ต่อ)

เวลา	V _{out}	R _{LDR} (K Ω)	Lux Measure	Lux theory	Error	Lux Reference	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
11.00	0.02	0.0049	101810	102040	0.23	100000	4.8	960
11.10	0.02	0.0049	101810	102040	0.23	101000	4.7	940
11.20	0.02	0.0049	101810	102040	0.23	96200	4.6	920
11.30	0.02	0.0049	101810	102040	0.23	98200	4.6	960
11.40	0.02	0.0049	101810	102040	0.23	101200	4.8	940
11.50	0.02	0.0049	101810	102040	0.23	103200	4.8	920
12.00	0.02	0.0049	101810	102040	0.23	100600	4.8	960
12.10	0.02	0.0049	101810	102040	0.23	104200	4.8	760
12.20	0.02	0.0049	101810	102040	0.23	103400	4.8	760
12.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	106300	4.8	760
12.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	106200	4.8	760
12.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	105100	4.7	940
13.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	105200	4.7	940
13.10	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	105500	4.8	960
13.20	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	103700	4.5	900
13.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	102000	4.4	880
13.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	101300	4.3	860
13.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	99100	4.1	820
14.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	92000	4.1	820
14.10	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	96200	4.0	780
14.20	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	94100	3.9	780
14.30	0.02	0.0059	84750	84745	0.005	93500	3.9	780
14.40	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	88500	3.7	760
14.50	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	85400	3.6	740
15.00	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	83000	3.5	740
15.10	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	80000	3.3	660
15.20	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	76000	3.1	620
15.30	0.03	0.0039	127375	84745	0.005	74400	4.0	780
15.40	0.03	0.0039	127375	84745	0.005	82460	3.9	780
15.50	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	68200	3.9	780
16.00	0.03	0.0059	84750	84745	0.005	66000	3.7	760

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผล

เมื่อมีแสงมาส่องกระทบที่ LDR ทำให้ LDR ทำงานมีค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าความต้านทาน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความสว่างได้จากสมการที่

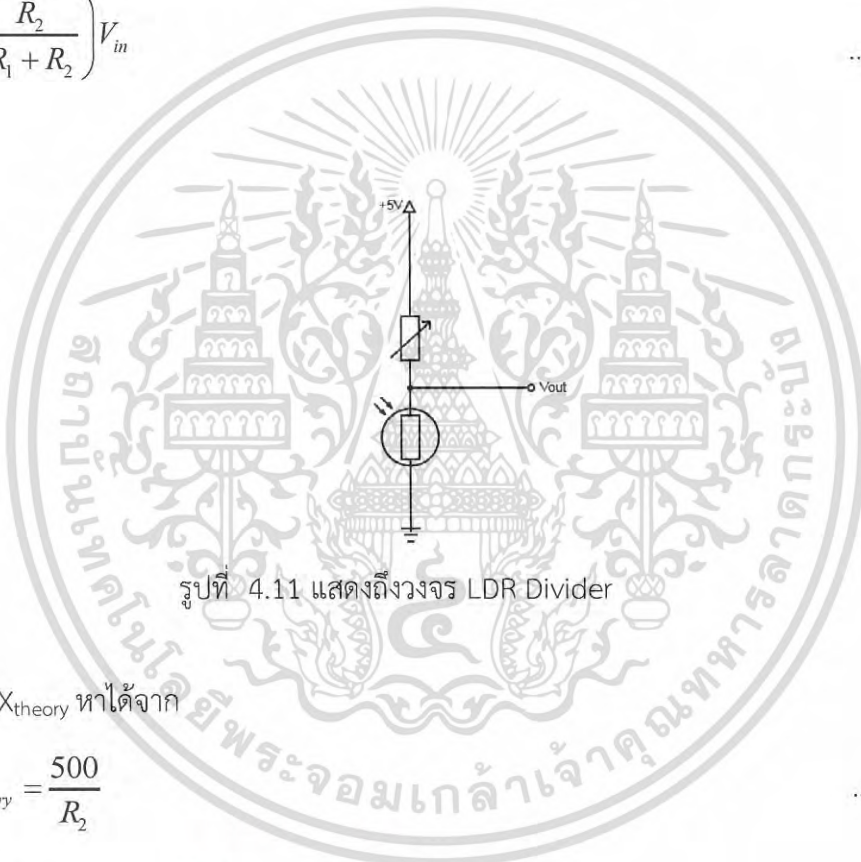
หลักการแบ่งแรงดัน Voltage Divider

จาก

$$V_{in} = I(R_1 + R_2) \quad \dots 4.13$$

$$V_{out} = IR_2 \quad \dots 4.14$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in} \quad \dots 4.15$$



รูปที่ 4.11 แสดงถึงวงจร LDR Divider

หาค่า LUX_{theory} หาได้จาก

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.16$$

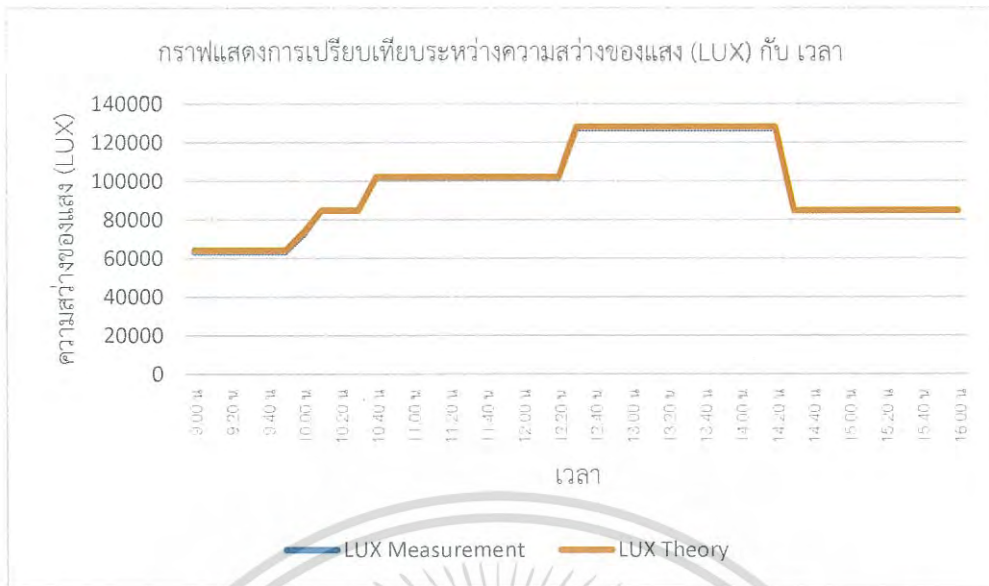
เมื่อ R_1 คือ ค่าความต้านทานปรับค่าได้
 R_2 คือ ค่าความต้านทานของ LDR
 LUX_{Theory} คือ ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ

จากตัวอย่าง ณ เวลา 9.00 น. ของวันที่ 12 พฤษภาคม 2559

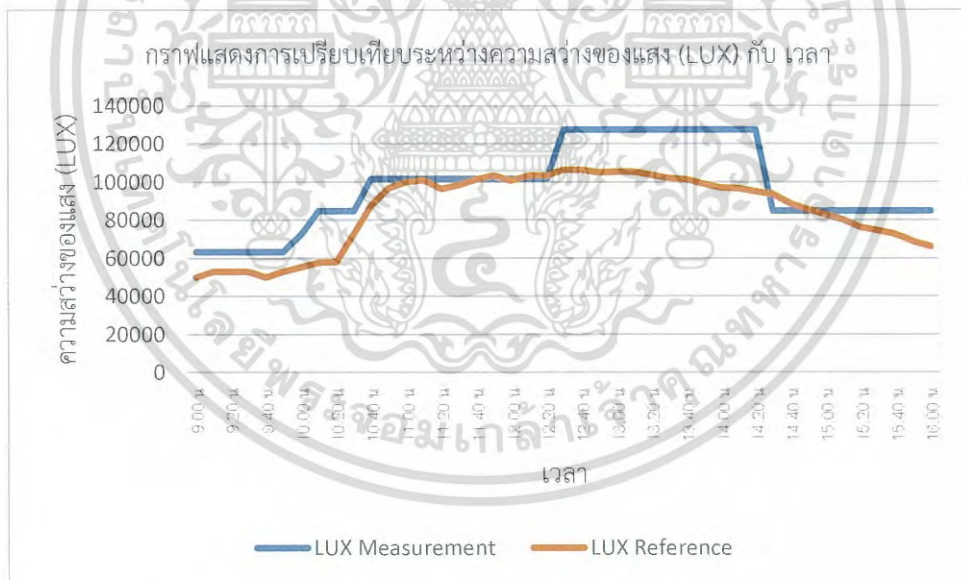
$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.17$$

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{0.0078} = 64102 \quad \dots 4.18$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) และความเข้มแสง (W/m²)

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 13 พฤษภาคม 2559

เวลา	V _{out} (V)	R _{LDR} (K Ω)	Lux Measure	Lux theory	Error (%)	Lux Reference	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
9.00	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	24500	2.1	420
9.10	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	24900	2.1	420
9.20	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	25900	2.1	420
9.30	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	27000	2.1	420
9.40	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	32000	2.1	420
9.50	0.05	0.0138	36000	36231	0.64	35000	2.1	420
10.00	0.05	0.0138	36000	36231	0.64	38000	2.1	420
10.10	0.05	0.0108	46000	46296	0.64	42200	2.2	440
10.20	0.05	0.0108	46000	46296	0.64	44100	2.2	440
10.30	0.05	0.0108	46000	46296	0.64	48700	2.3	460
10.40	0.04	0.0088	56333	56818	0.85	49400	2.4	480
10.50	0.04	0.0088	56333	56818	0.85	60100	2.5	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาค่าลิคซ์ วันที่ 13 พฤษภาคม 2559 (ต่อ)

เวลา	V _{out}	R _{LDR} (K Ω)	Lux Measure	Lux theory	Error	Lux Reference	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
11.00	0.03	0.0059	84750	86206	1.69	72606	3.9	780
11.10	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	92000	4.5	900
11.20	0.02	0.0049	101800	102040	0.23	95300	5.5	1100
11.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	95300	5.3	1060
11.40	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	95300	5.4	1080
11.50	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	96200	5.4	1080
12.00	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	106300	5.7	1140
12.10	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	118600	6.3	1260
12.20	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	85000	4.8	960
12.30	0.02	0.0039	127375	128205	0.64	127100	6.0	1200
12.40	0.03	0.0059	84750	86206	1.69	63700	3.5	700
12.50	0.03	0.0059	84750	86206	1.69	61400	3.5	700
13.00	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	88200	4.9	980
13.10	0.03	0.0059	84750	86206	1.69	55600	3.3	660
13.20	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	107000	5.3	1060
13.30	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	109200	5.3	1060
13.40	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	106300	5.3	1060
13.50	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	94000	4.8	960
14.00	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	96300	4.7	940
14.10	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	91300	4.5	900
14.20	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	91600	4.4	880
14.30	0.04	0.0077	64300	64935	0.97	43200	2.3	460
14.40	0.04	0.0077	64300	64935	0.97	48000	2.4	480
14.50	0.03	0.0077	64300	64935	0.97	68200	3.0	600
15.00	0.02	0.0058	84750	86206	1.69	78200	3.8	760
15.10	0.04	0.0088	56330	56818	0.85	35400	2.1	420
15.20	0.04	0.0088	56330	56818	0.85	54500	2.3	460
15.30	0.05	0.0108	46000	46296	0.64	22800	2.1	420
15.40	0.03	0.0068	72520	73529	1.06	50600	2.7	540
15.50	0.05	0.0217	23000	46296	0.64	46000	2.4	480
16.00	0.05	0.0217	23000	46296	0.64	46000	2.4	480

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผล

เมื่อมีแสงมาส่องกระทบที่ LDR ทำให้ LDR ทำงานมีค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าความต้านทาน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความสว่างได้จากสมการที่

หลักการแบ่งแรงดัน Voltage Divider

จาก

$$V_{in} = I(R_1 + R_2) \quad \dots 4.19$$

$$V_{out} = IR_2 \quad \dots 4.20$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in} \quad \dots 4.21$$



รูปที่ 4.15 แสดงถึงวงจร LDR Divider

หาค่า LUX_{theory} หาได้จาก

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.22$$

เมื่อ R_1 คือ ค่าความต้านทานปรับค่าได้
 R_2 คือ ค่าความต้านทานของ LDR
 LUX_{Theory} คือ ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ
 จากตัวอย่าง ณ เวลา 9.00 น. ของวันที่ 10 พฤษภาคม 2559

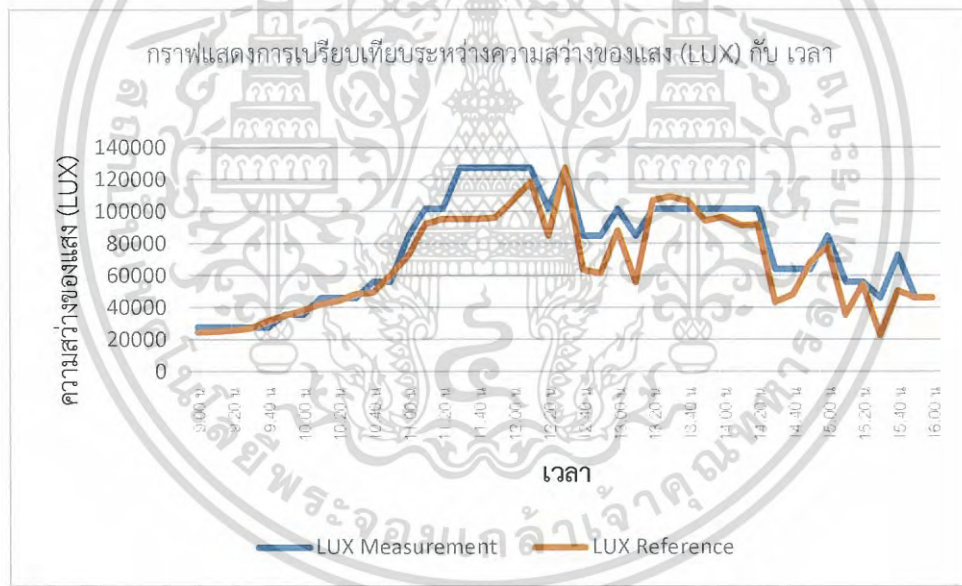
$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.23$$

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{0.0217} = 46296 \quad \dots 4.24$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) และความเข้มแสง (W/m²)

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองหาค่าลิชซ์ วันที่ 14 พฤษภาคม 2559

เวลา	V _{out} (V)	R _{LDR} (KΩ)	Lux Measure	Lux theory	Error (%)	Lux Reference	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
9.00	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	24900	2.0	400
9.10	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	25200	2.0	400
9.20	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	25000	2.0	400
9.30	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	25500	2.0	400
9.40	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	25400	2.0	400
9.50	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	25700	2.0	400
10.00	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	25400	2.0	400
10.10	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	26200	2.0	400
10.20	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	26300	2.0	400
10.30	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	26000	2.0	400
10.40	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	21500	2.0	400
10.50	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	21500	2.0	400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองหาค่าลักซ์ วันที่ 14 พฤษภาคม 2559 (ต่อ)

เวลา	V _{out}	R _{LDR} (K Ω)	Lux Measure	Lux theory	Error	Lux Reference	Pyranometer	
							V (mv)	Intensity (W/m ²)
11.00	0.05	0.0108	46000	46296	0.64	44200	2.0	400
11.10	0.05	0.0108	46000	46296	0.64	44200	2.0	400
11.20	0.05	0.0108	46000	46296	0.64	30000	2.0	400
11.30	0.05	0.0098	50600	51020	0.82	22200	2.0	400
11.40	0.05	0.0098	50600	51020	0.82	32700	2.3	460
11.50	0.05	0.0098	50600	51020	0.82	31500	2.4	480
12.00	0.03	0.0039	101800	102040	0.23	101900	5.3	1060
12.10	0.03	0.0039	101800	102040	0.23	103300	5.4	1080
12.20	0.03	0.0053	93500	94339	0.89	81400	5.1	1020
12.30	0.03	0.0039	101800	102040	0.23	102100	5.3	1060
12.40	0.02	0.0053	93500	94339	0.89	72400	4.3	860
12.50	0.02	0.0053	93500	94339	0.89	90700	4.6	920
13.00	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	94000	5.0	1000
13.10	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	93800	5.0	1000
13.20	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	93900	5.1	1020
13.30	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	95900	5.0	1000
13.40	0.02	0.0039	101800	102040	0.23	94700	4.9	980
13.50	0.02	0.0053	93500	94339	0.89	82500	4.6	920
14.00	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	26600	2.0	400
14.10	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	18200	2.0	400
14.20	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	18700	2.0	400
14.30	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	22000	2.0	400
14.40	0.05	0.0098	50600	51020	0.82	49300	3.0	600
14.50	0.03	0.0078	63437	64102	0.98	60400	3.4	680
15.00	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	18300	2.0	400
15.10	0.05	0.029	17000	17006	0.04	16300	2.0	400
15.20	0.05	0.029	17000	17006	0.04	14800	2.0	400
15.30	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	18700	2.0	400
15.40	0.05	0.0178	28000	28089	0.32	21700	2.0	400
15.50	0.05	0.0010	46000	46296	0.64	40500	2.7	540
16.00	0.05	0.0178	28000	46296	0.64	26600	2.7	540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผล

เมื่อมีแสงมาส่องกระทบที่ LDR ทำให้ LDR ทำงานมีค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าความต้านทาน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความสว่างได้จากสมการที่

หลักการแบ่งแรงดัน Voltage Divider

จาก

$$V_{in} = I(R_1 + R_2) \quad \dots 4.25$$

$$V_{out} = IR_2 \quad \dots 4.26$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in} \quad \dots 4.27$$



รูปที่ 4.19 แสดงถึงวงจร LDR Divider

หาค่า LUX_{theory} หาได้จาก

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.28$$

เมื่อ R_1 คือ ค่าความต้านทานปรับค่าได้

R_2 คือ ค่าความต้านทานของ LDR

LUX_{Theory} คือ ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ

จากตัวอย่าง ณ เวลา 9.00 น. ของวันที่ 14 พฤษภาคม 2559

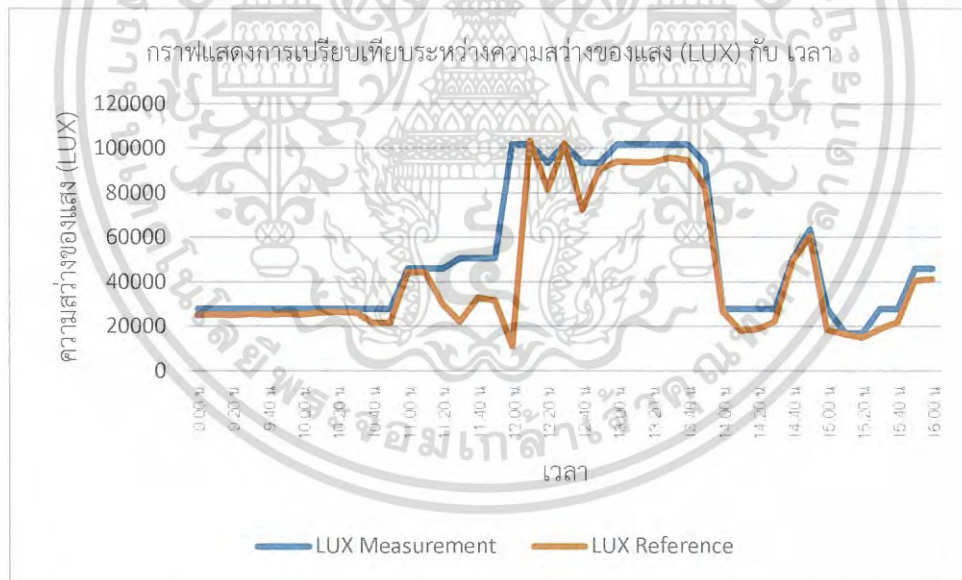
$$LUX_{Theory} = \frac{500}{R_2} \quad \dots 4.29$$

$$LUX_{Theory} = \frac{500}{0.0178} = 28089 \quad \dots 4.30$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

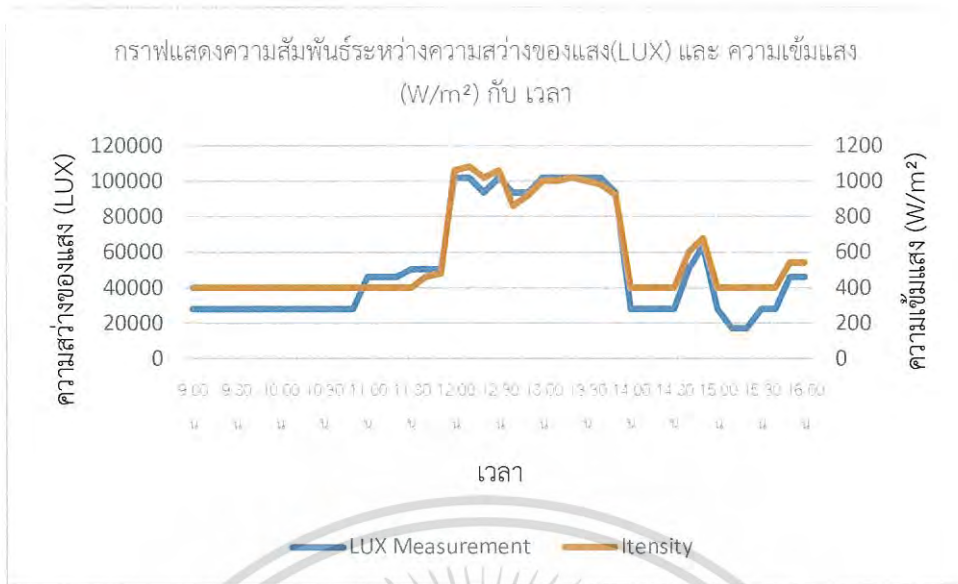


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) กับ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของแสง (LUX) และความเข้มแสง (w/m²)

วิธีการหาค่า intensity

$$intensity = \frac{V_{out}}{5 \times 10^{-6} V/W/m^2} \quad \dots 4.31$$

ตัวอย่าง

จากผลการทดสอบการหาค่า Intensity ในวันที่ 14 พฤษภาคม 2559 เวลา 16.00 น. จะได้ว่า

$$\frac{2.7 mV}{0.005 mV/W/m^2} = 540 W/m^2 \quad \dots 4.32$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบจากการวัดและการวิเคราะห์

สรุปการทำงานของเครื่องลักซ์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้หลักการของ LDR ขนานกับแสงของดวงอาทิตย์โดยหลักการบังเงาจากโมดูลเซ็นเซอร์การทำงานของเครื่องสามารถทำงาน 2 ระบบในเวลาเดียวกันทั้งเก็บค่าความสว่างของดวงอาทิตย์อีกทั้งยังสามารถติดตามการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ซึ่งเครื่องลักซ์มิเตอร์ของเรายังสามารถเคลื่อนย้ายได้และมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป โดยใช้งบประมาณในการผลิตอยู่ที่ 1250 บาท ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับลักซ์มิเตอร์ที่ขายอยู่ตามท้องตลาด

ในการทดลองเครื่องลักซ์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ตอนคือ ค่าความต้านทานที่เหมาะสมที่ใช้กับเครื่องมือที่สร้างขึ้น การทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ การทดสอบหาค่าลักซ์ ซึ่งรายละเอียดจากผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานที่เหมาะสม

จากการหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมโดยการหาค่าความต้านทานที่วัดได้จากการวัดความสว่างของแสงค่าความต้านทานที่เหมาะสมที่สุดคือ 6.9 K Ω ซึ่งจากการทดสอบทำในช่วงเดือนพฤษภาคม จึงอาจทำให้ค่าที่ทดสอบที่ได้ใช้ในการวัดความสว่างแต่ละช่วงฤดูกาลอื่นอาจไม่เท่ากัน

5.1.2 การทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์

จากการทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้นสำหรับการติดตามดวงอาทิตย์โดยอาศัยหลักการลำแสงขนานกับดวงอาทิตย์นั้น ประสิทธิภาพของเครื่องมือมีระบบการติดตามที่ดีโดยหมุนตามดวงอาทิตย์มีความเที่ยงตรงและเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ตลอดตั้งแต่เวลา 9.00 น. – 16.00 น. ซึ่งค่อนข้างแม่นยำ

5.1.3 การทดสอบระบบวัดค่าลักซ์

จากการทดสอบการวัดค่าลักซ์ได้แบ่งออกเป็น 3 ตอนคือ

5.1.3.1 ผลจากการทดลองเครื่องลักซ์มิเตอร์ที่ได้เทียบกับค่าจากทฤษฎี

จากการทดลองพบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าลักซ์ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณพบว่ามีความใกล้เคียงกัน

5.1.3.2 ผลจากการทดลองเครื่องลักซ์มิเตอร์ที่ได้เทียบกับเครื่องมือ Reference

จากการทดลองพบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าลักซ์ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากเครื่องมือ Reference รุ่น HS1010A มีค่าต่างกันแต่มีแนวโน้มของกราฟไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากเครื่องมือ Reference นั้นมีความละเอียดที่มากกว่า ทำให้มีค่าที่หลากหลายและแตกต่างกัน

5.1.3.3 ผลจากการทดลองเครื่องลักซ์มิเตอร์ที่ได้เทียบกับความเข้มของแสง Pyranometer

จากการทดลองพบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าลักซ์ที่ได้จากการทดลองกับค่าความเข้มที่ได้จาก Pyranometer นั้น ความสว่างของแสงที่วัดได้จากเครื่องมือกับความเข้มของแสงที่วัดได้จาก Pyranometer ซึ่งมีความสอดคล้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

การทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์ Light Dependent Resistor (LDR) และการทำงานของตัว LDR เมื่อนำมาทดสอบความสัมพันธ์พบว่า มีประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างดี

การทดสอบการอ่านค่าความสว่าง (LUX) ของเครื่อง Lux meter ที่สร้างขึ้นนั้นพบว่าค่าบางช่วงมีลักษณะไม่ต่อเนื่องซึ่งอาจเป็นผลมาจากความละเอียดของเครื่องมือและสภาพแวดล้อม สภาพอากาศ ณ เวลานั้นๆ ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีเมฆมาบดบังแสงจากดวงอาทิตย์จึงทำให้การวัดความสว่างของเครื่อง Lux meter ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพไม่มากพอซึ่งทางผู้ศึกษาวิจัยพบว่าความสว่างของแสงแต่ละฤดูกาลนั้นมีค่าความสว่างที่ไม่เท่ากัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การติดตั้ง LDR ควรติดตั้งให้เอียงน้อยที่สุดเพื่อให้ค่าลักซ์มิเตอร์มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด
2. การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์นั้นควรติดตั้งเครื่องมือให้มีตำแหน่งทิศที่เหมาะสมสำหรับการหมุนของเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อรองรับการหมุนของ Servo moter
3. การเพิ่มความละเอียดของเครื่องมือควรใช้ LDR ที่มีจำนวนมากขึ้นเพื่อสามารถเก็บค่าได้หลากหลายขึ้น
4. ควรใช้ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ขนาด $6.9\text{ K}\Omega$ ไม่ควรใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เนื่องจากจะเกิดความคลาดเคลื่อน
5. ควรเพิ่มสถานที่ในการทดลองและการเก็บค่าความสว่างของแสงเพื่อเปรียบเทียบความสว่างของแสงในแต่ละภูมิภาคและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง
6. เพิ่มระบบป้องกันน้ำเพื่อให้สามารถทำงานได้ในขณะที่ฝนตกหรือพื้นที่ที่มีน้ำขัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ 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] Solarcook. Available from:
<http://www.teriin.org/renew/tech/south/ongoing.htm>
- [3] R.Y. Nuwayhid , F. Mrad , R . Abu-Said. (2001). "The realization of a simple solar tracking concentrator for university research applications". Renewable Energy 24, pp.207-222.
- [4] Coulson, K. L. (1975), Solar and Terrestrial Radiation, Academic Press, New York.of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation," Solar Energy 4 (1).
- [5] Sulaiman MY, Bashria AY, Adam NM. Design of tracking system for UPM solar bowl,sustainability for future through advanced technology. Institute of Advanced Technology,Universiti Putra Malaysia; 2008
- [6] Braun JE, Mitchell JC. Solar geometry for fixed and tracking surfaces. Solar Energy 1983;31(5):439-44.
- [7] Aluminium.Availablefrom:
<http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=AluSpecifications&LN=TH>
- [8] Tabor H. Mirror boosters for solar collectors. Solar Energy 1966;10:111-8.
- [9] Romero M, Buck R, Pacheco JE. An update on solar central receiver systems projects and technologies.JSolarEnergyEngng2002;124(2):98-108
- [10] Kalogirou S. Solar energy utilisation using parabolic trough collectors in Cyprus. MPhil Thesis.ThePolytechnicofWales;1991.
- [11] Pitz-Paal R. Concentrating solar technologies: the key to renewable electricity and processheat for a wide range of applications. Proceedings of the World Renewable EnergyCongressVIIonCD-ROMCologne,Germany;2002.
- [12] Smith, W. J. (1966), Modern Optical Engineering, McGraw-Hill, New York.
- [13] Bejan A, Kearney DW, Kreith F. Second law analysis and synthesis of solar collector systems.JSolarEnergyEngng1981;103:23-8
- [14] LDR Available from:
www.mwit.ac.th/~ponchai/CAI_electronics/image/LDR.HTM