ระบบตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดด้วยเทคนิคการประมาณค่าจากเซนเซอร์วัดความสว่าง

วิทยานิพนธ์

ของ

นภณัฐ รัตนกร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
กรกฎาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ระบบตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดด้วยเทคนิคการประมาณค่าจากเซนเซอร์วัดความสว่าง

วิทยานิพนธ์

ของ

นภณัฐ รัตนกร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

กรกฎาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Solar Insolation Measurement System using Estimationtechnique from a Brightness Sensor

Noppanat Ratanakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)
July 2021

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายนภณัฐ รัตนกร แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. อดิเรก จันตะคุณ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ชลธี โพธิ์ทอง)

....กรรมการ

(ผศ. ดร. นวรัตน์ พิลาแดง)

....กรรมการ

(รศ. ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

....	....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)	(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง ระบบตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดด้วยเทคนิคการประมาณค่าจากเซนเซอร์วัดความสว่าง

ผู้วิจัย นภณัฐ รัตนกร

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชลธี โพธิ์ทอง

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2564

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาและออกแบบระบบการวัดรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดที่มีสมรรถนะการวัดไม่ด้อยกว่าระบบการวัดมาตรฐานเดิมซึ่งมีราคาแพง ระบบประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างด้วยค่ารังสีอัลตร้าไวโอเลต แสงขาว และ รังสีอินฟราเรด ซึ่งข้อมูลที่ได้จากวัดนี้จะถูกบันทึกลงในแหล่งเก็บข้อมูลผ่านบอร์ดอาร์ดูโน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์โดยทำการเทียบค่ากับค่าการวัดความเข้มแสงจากเครื่องมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์ มีค่าแปรผันตามค่าความสว่างของแสงขาว มากที่สุด ที่ระดับค่าสมการถดถอย 0.98 รองลงมาเป็นรังสีอัลตร้าไวโอเลตและอินฟราเรด ที่ระดับ 0.97 และ 0.94ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงได้เลือกใช้ข้อมูลความสว่างของแสงขาว ในการสร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อหาค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ค่าความสัมพันธ์ Isolar=246Xvis+ 126 นอกจากนี้ การวิจัยยังมีการศึกษา ผลกระทบของจำนวนข้อมูลต่อค่าความถูกต้องของการวัดที่ระดับค่าต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 60 วินาที พบว่า ค่าความถูกต้องมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อจำนวนข้อมูลลดลงด้วยอัตราความผิดพลาดที่น้อยกว่าร้อยละ 1 ในขณะที่มีต้นทุนระบบเพียง 1,345 บาท (45 ดอลล่าร์) ซึ่งลดลงประมาณ 10-15 เท่า เมื่อเทียบกับเครื่องวัดแบบเดิม

คำสำคัญ : อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์, ราคาประหยัด, การประมาณค่า

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีโว

TITLE	Solar Insolation Measurement System using Estimationtechnique from a Brightness Sensor		
AUTHOR	Noppanat Ratanakorn		
ADVISORS	Associate Professor Chonlatee Photong , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Mahasarakham University	YEAR	2021

ABSTRACT

This thesis presents study and design of low cost, high performance solar insolation measurement. The proposed measurement system consists of a brightness sensor that can measure brightness due to UV, visible light and infrared lights. The brightness values then are recorded into the data collection resources through the Arduino board. These parameters are compared with the standard values. The experimental results show that the visible light provided the best representative data for the standard solar insolation values with R^2 of 0.98 , following by the UV and the infrared with R^2 of 0.97 and 0.94 , respectively. As a result, the visible light was used to form the equation for determining the solar insolation, which was Isolar=246Xvis+126. In addition, the results also showed that when the number of data decreased, the accuracy value decreases when the amount of data samplied in the range up to 60 seconds were only slightly decreased with the error rate less than 1%. The proposed measurement system achieved high accuracy of 97.94% with relatively low cost of 1,345 Baht (45 $US), which is 10-15 times decreased compared to the standard measurement system.

Keyword : Solar Insolation detector, low cost, estimation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ตามเป้าหมายเพราะได้รับความร่วมมือช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าอย่างยิ่ง จากผู้มีพระคุณหลายท่าน อาทิครอบครัว ของข้าพเจ้าที่คอยให้ทั้งกำลังใจมาโดยตลอด ขอบคุณอาจารย์จากสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนครทุกท่านที่คอยแบ่งปันข้อมูล คอยช่วยเหลือผลักดัน พร้อมทั้งสนับสนุนอุปกรณ์ในการทดลองจนสำเร็จวิทยาพนธ์นี้ได้ ขอบคุณอาจารย์คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ทุกท่านสำหรับ คำติชม ความรู้ที่ให้มาซึ่งได้นำไปปรับแก้ให้วิทยานิพนธ์ดีขึ้น และขอขอบคุณทุกๆท่านที่เคยสั่งสอน ให้ความรู้และคำปรึกษาจนวิทยานิพนธ์นี้ออกมาได้ ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยเฉพาะจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชลธี โพธิ์ทอง ผู้ให้คำปรึกษาตรวจแก้ไขและ ให้คำแนะนำ ตลอดมา ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นภณัฐ รัตนกร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ........ ฉ

สารบัญ........ ช

สารบัญตาราง........ ฎ

สารบัญภาพประกอบ .... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 หลักการและเหตุผล........ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ความสำคัญของปัญหา........ 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.6 แผนการดำเนินการศึกษา 3

1.7 สถานีที่ดำเนินการศึกษา 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 สถานีวัดแสงสว่างและพลังงานจากดวงอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม........ 4

2.2 องค์กรกำหนดมาตรฐานด้านแสงระดับนานาชาติ........ 8

2.3. การแบ่งสภาพท้องฟ้า 17

2.3.1 การแบ่งสภาพท้องฟ้าตาม Sky ratio........ 17

2.3.2 การแบ่งสภาพท้องฟ้าตาม Perez model........ 18

2.3.3 การแบ่งสภาพท้องฟ้าตาม Olseth and Skartyeit model 19

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

2.4 เวลาสุริยะและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ 19
2.4.1 มุมละติจูด หรือเส้นรุ้ง 19
2.4.2 มุมลองจิจูด หรือเส้นแวง 20
2.4.3 โซนเวลา 21
2.4.4 สมการเวลา 23
2.4.5 การแปลงเวลาท้องถิ่นเป็นเวลาสุริยะ 25
2.4.6 มุมชั่วโมง 26
2.4.7 มุมเดคลิเนชัน 28
2.4.8 มุมเงย 31
2.4.9 มุมซีนิธ 34
2.4.10 มุมอะซิมุธ 36
2.4.11 ค่าอากาศมวล 41
2.4.12 รังสีดวงอาทิตย์นอกโลก 43
2.4.13 รังสีจากดวงอาทิตย์ตกลงมายังพื้นผิวโลก 43
2.4.14 มุมที่รังสีดวงอาทิตย์ตกมายังพื้นผิวโลก 46
2.4.15 การหาระยะเวลาที่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ 47
2.5 ข้อมูลเซนเซอร์ 51
2.5.1 Pyranometer CMP11 51
2.5.2 Grove-Sunlight Sensor Si1145 51
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 52
2.6.1 ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น 52
2.6.2 หน้าที่ส่วนต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 57
2.6.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR 59
2.7 การวิเคราะห์ถดถอย(Regression Analysis) 59

พหุนำ ปณ ศึกษิโต ชีเว

2.8 ค่าความถูกต้องแม่นยำ 61

2.9 สหสัมพันธ์ (Correlation) 61

2.10 เอกสารอ้างอิงงานวิจัย 63

บทที่ 3 วิธีดำเนินการงาน 65

3.1 วิธีการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์ 65

3.1.1 การเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์ด้วย Pyrometer CMP11 65

3.1.2 การเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์ด้วย Grove - Sunlight Sensor Si1145 66

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ 66

3.2.1 Pyranometer CMP11 66

3.2.2 Grove-Sunlight Sensor Si1145 67

3.2.3 Arduino UNO 68

3.2.4 Micro SD Card Module 69

3.2.5 Microsoft Excel 2016 70

3.2.6 โปรแกรม Arduino IDE 71

3.3 การออกแบบการทดลอง 73

3.3.1 การทดลองที่ 1 73

3.3.2 การทดลองที่ 2 73

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย 74

4.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรวัดและความเข้มแสงอาทิตย์มาตรฐาน 74

4.1.1 หาความสัมพันธ์โดยใช้ Simple Reggression 74

4.1.2 หาความสัมพันธ์โดยใช้ Correlation 76

4.2 ผลการทดลองค่าความถูกต้องของค่าวัดที่ปริมาณข้อมูลแตกต่างกัน 77

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 83

5.1 การสรุปผลวิจัย 83

พหุบัณฑิต ชีเว

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย 84

บรรณานุกรม 85

ประวัติผู้เขียน 87

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 หาค่าพารามิเตอร์ของ Perez 16

ตาราง 2.2 ตารางเงื่อนไขการคิดทิศของ Solar Azimuth Angel 37

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 2.1 สเปคตรัมของแสง 5
ภาพประกอบ 2.2 สเปคตรัมของแสงที่ตาคนสามารถมองเห็น 6
ภาพประกอบ 2.3 รูปแสดงแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ 6
ภาพประกอบ 2.4 รูปแสดงการเกิดพลังงาน หรือแสงสว่างจากท้องฟ้า 7
ภาพประกอบ 2.5 รูปแสดงการเกิดพลังงาน หรือแสงสว่างรวมที่ส่องลงมายังผิวโลก จากแนวระนาบขึ้นไป 8
ภาพประกอบ 2.6 การแบ่งมุมละติจูด 19
ภาพประกอบ 2.7 การแบ่งมุมลองจิจูด 20
ภาพประกอบ 2.8 แผนที่โลกแสดงโซนเวลา 21
ภาพประกอบ 2.9 กราฟสมการของเวลา 24
ภาพประกอบ 2.10 มุมชั่วโมง 26
ภาพประกอบ 2.11 ค่าของมุมชั่วโมงที่เวลาเปลี่ยนไป 27
ภาพประกอบ 2.12 กราฟมุมชั่วโมงกับเวลาใด ๆ ใน 1 วัน 28
ภาพประกอบ 2.13 ผลของมุม Declination 29
ภาพประกอบ 2.14 มุม Declination 29
ภาพประกอบ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ของมุม Declination กับ วันที่เปลี่ยนไป 30
ภาพประกอบ 2.16 มุม Solar Altitude 31
ภาพประกอบ 2.17 ทิศทางของมุมเงยที่คำนวนได้ 33
ภาพประกอบ 2.18 ทิศของมุมซีนิธที่ได้จากการคำนวน 36
ภาพประกอบ 2.19 มุมอะซิมุธ 36
ภาพประกอบ 2.20 ทิศของมุมอซิมุธที่ได้จากการคำนวณ 39

พหุน ปณฺ สิโต ชีเว

ภาพประกอบ 2.21 ทิศของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ 41

ภาพประกอบ 2.22 Air mass ที่มีผลต่อการเดินทางขอพลังงาน และแสงสู่พื้นผิวโลก 42

ภาพประกอบ 2.23 พลังงานจากพระอาทิตย์ 44

ภาพประกอบ 2.24 Pyranometer CMP11 51

ภาพประกอบ 2.25 Grove - Sunlight Sensor Si1145 52

ภาพประกอบ 2.26 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ 53

ภาพประกอบ 2.27 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Z-80 53

ภาพประกอบ 2.28 บนบอร์ดทดลองจริง 53

ภาพประกอบ 2.29 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 54

ภาพประกอบ 2.30 ตัวอย่างการต่อใช้งาน MCS-51 บนบอร์ดทดลอง 54

ภาพประกอบ 2.31 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 55

ภาพประกอบ 2.32 ตัวอย่างการต่อใช้งาน MCS-51 บนบอร์ดทดลอง 55

ภาพประกอบ 2.33 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR 56

ภาพประกอบ 2.34 ตัวอย่างการต่อใช้งาน AVR 56

ภาพประกอบ 2.35 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino 57

ภาพประกอบ 2.36 ตัวอย่างการต่อใช้งาน Arduino บนบอร์ด Shield สำเร็จรูป 57

ภาพประกอบ 2.37 หน้าที่ส่วนต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ 58

ภาพประกอบ 2.38 สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR 59

ภาพประกอบ 3.1 การใช้งาน Pyranometer CMP11 65

ภาพประกอบ 3.2 การใช้งาน Grove - Sunlight Sensor Si1145 66

ภาพประกอบ 3.3 Pyranometer CMP11 67

ภาพประกอบ 3.4 Grove-Sunlight Sensor Si1145 68

ภาพประกอบ 3.5 Arduino UNO 69

ภาพประกอบ 3.6 Micro SD Card Module 69

พหุบุ ปณฺ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบ 3.7 ส่วนประกอบของ Micro SD Card Module 70
ภาพประกอบ 3.8 โปรแกรม Arduino IDE 71
ภาพประกอบ 3.9 ตัวอย่างโปรแกรมอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์รุ่นต้นแบบ 72
ภาพประกอบ 3.10 ตัวอย่างผลการรันโปรแกรม 72
ภาพประกอบ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Visible Light กับ Solar Insolation 74
ภาพประกอบ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง UV Light กับ Solar Insolation 75
ภาพประกอบ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Infrared Light กับ Solar Insolation 75
ภาพประกอบ 4.4 กราฟแบบ เก็บทุก 1 วินาที 77
ภาพประกอบ 4.5 กราฟแบบเก็บทุก 2 วินาที 78
ภาพประกอบ 4.6 กราฟแบบเก็บทุก 5 วินาที 78
ภาพประกอบ 4.7 กราฟแบบเก็บทุก 10 วินาที 79
ภาพประกอบ 4.8 กราฟแบบเก็บทุก 30 วินาที 79
ภาพประกอบ 4.9 กราฟแบบเก็บทุก 60 วินาที 80

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของโลกส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์บนโลกเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการทราบข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศรวมทั้งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศบนผิวโลกย่อมทำให้สามารถบริหารจัดการและคาดคะเนส่วนที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นเทคโนโลยีด้านการวัดสภาพอากาศและการจัดเก็บข้อมูลสภาพอากาศจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีการวัดและการจัดเก็บข้อมูลสภาพอากาศในปัจจุบันมีหลายวิธีการ ได้แก่ การวัดสภาพอากาศระยะไกลโดยดาวเทียม (GIS) [1]–[4] และ การวัดสภาพอากาศจากภาคพื้นดินโดยใช้เซนเซอร์ต่าง ๆ [5] เช่น การวัดปริมาณน้ำฝน[6] การวัดปริมาณความเข้มของแสงแดดหรือรังสีดวงอาทิตย์ การวัดความเร็วลม ทิศทางลม และการวัดความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

ปัจจุบันมีสถานีการวัดรังสีอาทิตย์อยู่หลายแห่ง ซึ่งดูแลและจัดเก็บข้อมูลและเผยแพร่ข้อมูล ซึ่งปัจจุบันมีจำนวนสถานีวัดสภาพอากาศอยู่เพียง 21 แห่ง เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านงบประมาณทั้งในส่วนการติดตั้งและดำเนินงานสถานี ทำให้การวัดและเก็บค่าสภาพรังสีอาทิตย์ในส่วนภูมิภาคหรือการศึกษาเฉพาะนั้นทำได้เพียงเป็นข้อมูลประมาณการ หรือบางสถานที่ สถานีวัดอาจไม่สามารถให้บริการข้อมูลได้ ดังนั้นหากสามารถพัฒนาสถานีวัดและจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีต้นทุนต่ำ มีข้อมูลที่ถูกต้อง และสามารถเข้าถึงและสืบค้นข้อมูลได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ ก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเพื่อการนำไปใช้งานในส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะด้านการเกษตรกรรม หรืออุตสาหกรรมที่อาจต้องอาศัยข้อมูลในการกำหนดนโยบายและการวิจัยต่าง ๆ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามเล็งเห็นความสำคัญของสถานีวัดรังสีอาทิตย์ จึงได้จัดทำโครงการวิจัยและจัดตั้งสถานีวัดสภาพอากาศขึ้นเพื่อรายงานสภาพอากาศเฉพาะที่ [7] สำหรับบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยมหาสารคาม อย่างไรก็ตาม สถานีวัดรังสีอาทิตย์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามในปัจจุบันประสบปัญหาเรื่องข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากอุปกรณ์มีสภาพชำรุด อุปกรณ์มีราคาสูง (ประมาณ 15 ล้านบาท) อีกทั้งจำเป็นต้องมีห้องควบคุมพิเศษซึ่งมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ทำให้มีต้นทุนการดำเนินการสูง

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยเล็งเห็นการนำเอาเทคโนโลยีการตรวจวัดรังสีอาทิตย์ที่มีราคาไม่แพง และสามารถใช้งานได้ง่าย [8]–[12] ทั้งนี้เพื่อสะดวกกับการใช้งานและประเมินสถานการณ์สภา

พกการเปลี่ยนแปลงรรังสีอทิตย์ในพื้นที่ที่สนใจ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้อาจสารมารถใช้พลังงานจากพลังงานรังสีอาทิตย์สำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยตรงได้อีกด้วย [13]–[16]

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษา ออกแบบ และจัดสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์ที่มีราคาถูก แต่มีสมรรถนะการทำงานได้ใกล้เคียงระบบการวัดรังสีอาทิตย์แบบเดิม

1.2.2 เพื่อศึกษาหาค่าแสงที่ใช้แทนค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ได้ดีที่สุด

1.2.3 เพื่อศึกษาระดับความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดรังสีอาทิตย์จากเครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลที่ระดับต่าง ๆ

1.3 ความสำคัญของปัญหา

1.3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์ ณ ปัจจุบันจะต้องนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพงมาก

1.3.2 ยังไม่มีการศึกษาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บ ทั้งนี้เพื่อลดค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์และการรักษาอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษา ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ที่มีราคาถูก แต่มีสมรรถนะไม่ด้อยกว่าระบบการวัดค่ารังสีอาทิตย์แบบเดิม

1.4.2 ทดสอบและเก็บข้อมูล ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ต.พังโคน อ.พังโคน จ.สกลนคร (ละติจูด / ลองจิจูด: 17° 23' 26" N / 103° 43' 1" E)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้อุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์ที่มีราคาถูก แต่มีสมรรถนะการทำงานไม่ด้อยกว่าระบบการวัดรังสีอาทิตย์แบบเดิม ลดการนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศ

1.5.2 การศึกษาหาค่าที่ใช้แทนค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ได้ดีที่สุด

1.5.3 การศึกษาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บ เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์และการรักษาอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล

1.6 แผนการดำเนินการศึกษา

1.6.1 ศึกษาและสืบค้นข้อมูลจากบทความวิจัย และแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.6.2 ออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นไปตามวัตถุประสงค์

1.6.3 ทดสอบและเก็บผลการทดสอบในส่วนสมรรถนะของอุปกรณ์ที่ออกแบบ

1.6.4 วิเคราะห์ สรุปผล และเผยแพร่ผลการวิจัย

1.7 สถานีที่ดำเนินการศึกษา

1.7.1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ต.พังโคน อ.พังโคน จ.สกลนคร (ละติจูด / ลองจิจูด: 17° 23' 26" N / 103° 43' 1" E)

1.7.2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บทที่ 2

ทฤษฎีและที่เกี่ยวข้อง

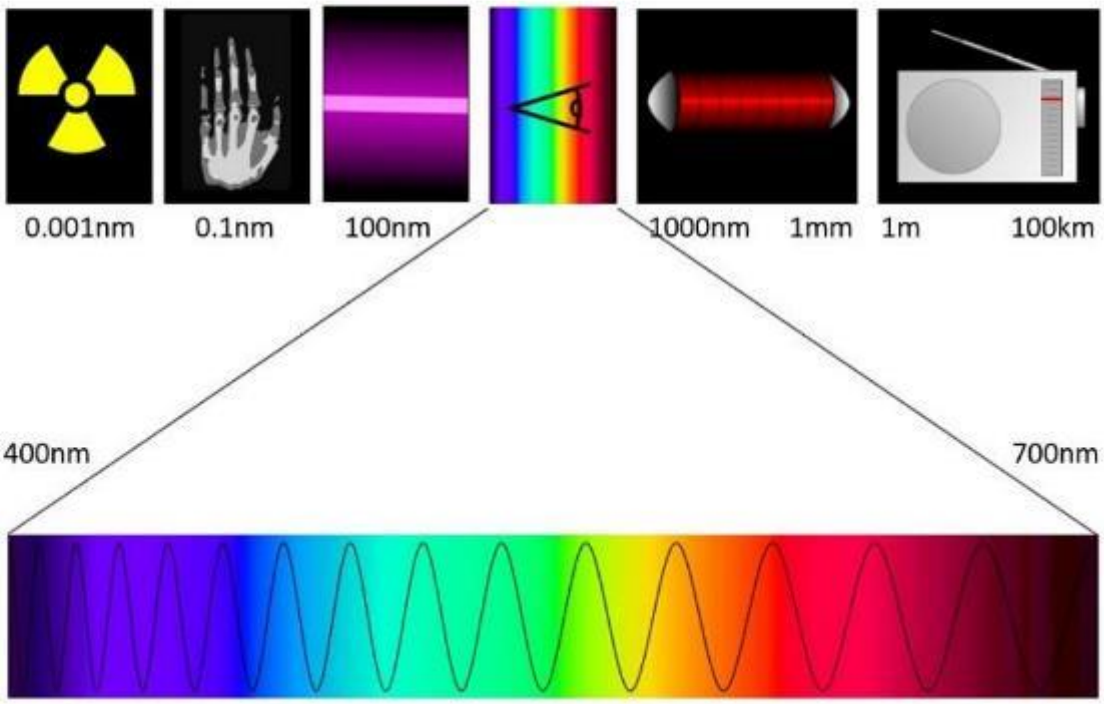
บทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการนำมาใช้ประกอบการดำเนินการวิจัยระบบงานสภาพอากาศ เนื้อหาที่นำเสนอได้แก่ เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สาย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ทฤษฎีรังสีอาทิตย์ การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ การใช้งานพลังงานโซล่าเซลล์ และเอกสารอ้างอิงงานวิจัย ดังนี้

2.1 สถานีวัดแสงสว่างและพลังงานจากดวงอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนอันมหาสาร เมื่อพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ถูกปลดปล่อยและเดินทางมาสู่โลก เนื่องจากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลมจึงทำให้ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์จึงไม่เท่ากัน ประกอบกับการที่ดวงอาทิตย์ก็เกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์เอง จึงทำให้ค่าพลังงานที่เดินทางมาถึงชั้นบรรยากาศของโลกมีค่าไม่เท่ากัน CIE องค์กร CIE (Commission Internationale de l’ Eclairage) เสนอค่าคงที่ของพลังงานของดวงอาทิตย์ 1367 W/m^2 และเนื่องจากพลังงานของดวงอาทิตย์นั่นไม่ได้มีแต่ในรูปของพลังงานเท่านั้นแต่ก็มีในรูปของแสงสว่างด้วยจึงมีค่าคงที่ของแสงสว่างคือ 127.5 klux ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

พลังงานของดวงอาทิตย์ที่แผ่ออกมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีทั้งรูปของพลังงานความร้อนและแสงสว่างดังกล่าวมาข้างต้น และมีความยาวคลื่นแตกต่างกันแสงที่ตามองเห็น (Visible light) เป็นเพียงส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงซึ่งประสาทตาของมนุษย์สามารถสัมผัสได้ ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร หากนำแท่งแก้วปริซึม (Prism) มาหักเหแสงอาทิตย์เราจะเห็นว่าแสงสีขาวถูกหักเหออกเป็นสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง คล้ายกับสีของรุ้งกินน้ำ เรียกว่า “สเปคตรัม” (Spectrum)

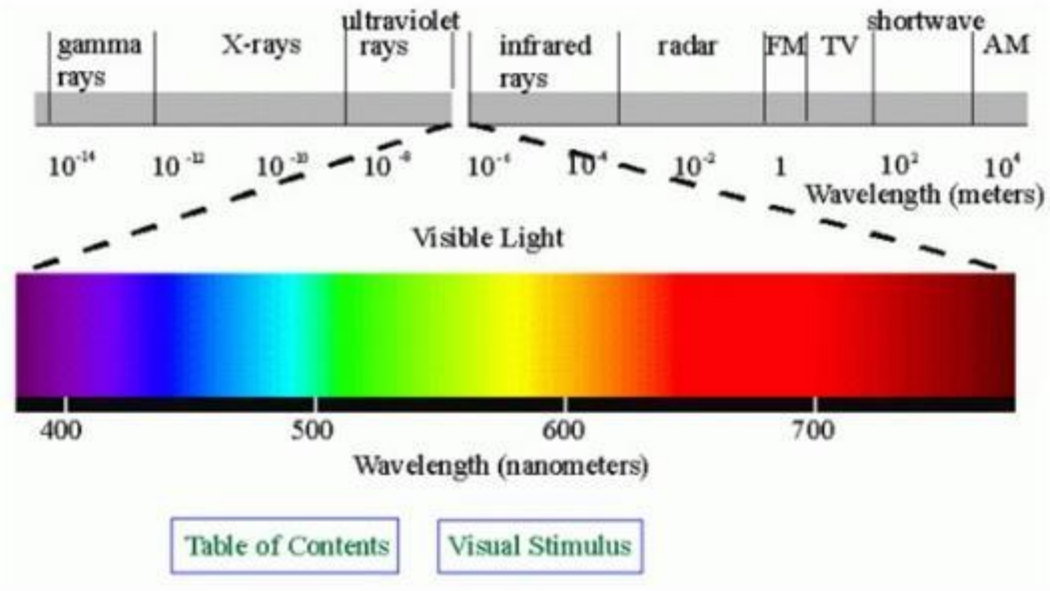
พหูน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 2.1 สเปคตรัมของแสง

แสงแต่ละสีมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน สีม่วงมีความยาวคลื่นน้อยที่สุด มีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุด และความยาวคลื่นในแต่ละช่วงคลื่นก็ให้ค่าพลังงานไม่เท่ากันจากรูปจะเห็นว่าอุณหภูมิ 3,000 K ความยาวคลื่นสูงสุดที่ยอดกราฟจะอยู่ที่ 1000 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับย่านรังสีอินฟราเรด อุณหภูมิ 5,000 K ความยาวคลื่นสูงสุดที่ยอดกราฟจะอยู่ที่ 580 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับย่านของแสงสีเหลือง และอุณหภูมิ 10,000 K ความยาวคลื่นสูงสุดที่ยอดกราฟจะอยู่ที่ 290 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับย่านรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นต้นจากกราฟเราจะเห็นว่า อุณหภูมิ 3,000 K และ 10,000 K เป็นย่านของรังสีอินฟราเรด และย่านรังสีอัลตราไวโอเลตแต่เรากับเห็นเป็นแสงสีแดง กับแสงสีม่วงแทนเป็นเพราะช่วงนั้นตาเราไม่อาจมองเห็นได้จึงเห็นสีของรังสีที่ตาสามารถมองเห็นได้ใกล้เคียงกับย่านของรังสีนั้นแทน

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

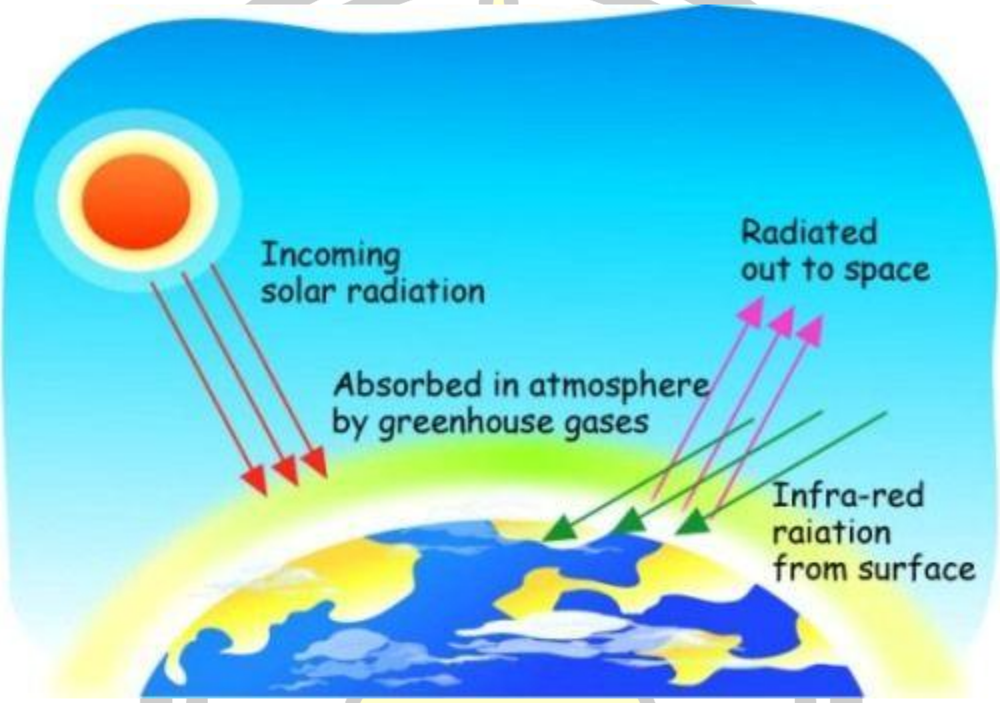


ภาพประกอบ 2.2 สเปคตรัมของแสงที่ตาคนสามารถมองเห็น

เนื่องจากแสงสว่างและพลังงานของดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลก ณ ตำแหน่งหนึ่งๆจะมีการแปรเปลี่ยนไปเนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ เวลาในขณะนั้น วันนั้นเป็นวันใด สภาพอากาศ ความชื้นในอากาศ สภาพเมฆ และฝุ่นควัน ตลอดจนสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น ๆ เราจึงได้แบ่งประเภทของแสงสว่าง และพลังงานของดวงอาทิตย์ได้ดังนี้

ภาพประกอบ 2.3 รูปแสดงแสงสว่างจากดวงอาทิตย์

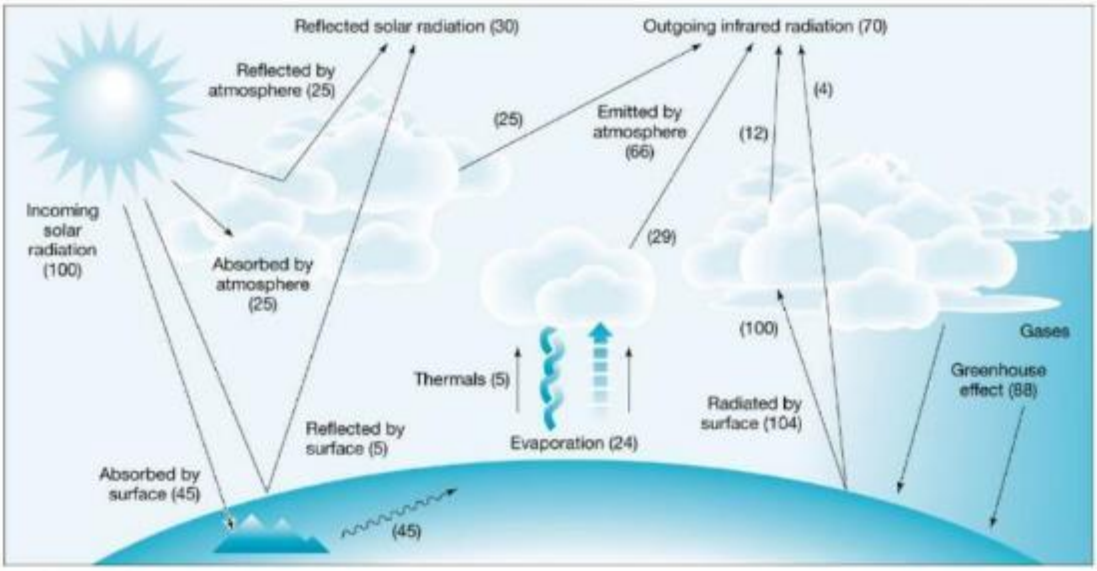
- พลังงานจากดวงอาทิตย์ (Beam or Direct radiation, Ees) เป็นพลังงานที่เดินทางจากดวงอาทิตย์ลงมายังพื้นผิวโลกโดยตรง ไม่ผ่านการสะท้อนจากวัตถุใด ๆ บนท้องฟ้า ส่วนแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (Beam or Direct luminance, Evs) ก็มีความหมายเดียวกัน



ภาพประกอบ 2.4 รูปแสดงการเกิดพลังงาน หรือแสงสว่างจากท้องฟ้า

- พลังงานจากท้องฟ้า (Diffuse radiation, Eed) เป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากชั้นบรรยากาศหรือวัตถุใด ๆ บนท้องฟ้าลงมายังพื้นผิวโลกส่วนแสงสว่างจากท้องฟ้า (Diffuse luminance , Evd) ก็มีความหมายเดียวกัน

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 2.5 รูปแสดงการเกิดพลังงาน หรือแสงสว่างรวมที่ส่องลงมายังผิวโลก จากแนวระนาบขึ้นไป

- พลังงานรวมที่เดินทางมาถึงพื้นผิวโลก เป็นพลังงานทั้งหมดที่ส่องลงมายังพื้นผิวโลกไม่ว่าจะเป็นพลังงานจากท้องฟ้า หรือพลังงานจากดวงอาทิตย์แต่คิดแค่จากแนวระนาบจากขอบฟ้าขึ้นไปหรือครึ่งทรงกลมของท้องฟ้าเท่านั้นส่วนแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (Global luminance, Evg) ก็มีความหมายเดียวกัน

2.2 องค์กรกำหนดมาตรฐานด้านแสงระดับนานาชาติ

องค์กร CIE (Commission Internationale de l’ Eclairage) เป็นองค์กรเฉพาะสาขาเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ วัฒนธรรมและจะเป็นองค์กรอิสระ องค์กรมีการเจริญทางด้านความสนใจของแต่งานในด้านแสงสว่าง ชื่อจะบอกเป็นนัยว่า องค์กรระหว่างประเทศทางด้านแสงสว่างและองค์กรนี้ได้เสียสละตัวเองในการร่วมมือและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสมาชิกในประเทศ เกี่ยวกับเรื่องราวความสัมพันธ์ทางด้านวิทยาศาสตร์และสถาปัตยกรรมของแสงสว่าง

องค์กรนี้ได้เริ่มก่อตั้งมาแล้ว 80 ปี CIE จึงกลายเป็นองค์กรที่เชื่อถือได้และเป็นที่ยอมรับว่าข้อมูลที่ถูกต้องและดีที่สุด และได้รับการรับรองจาก ISO ด้วย CIE มีหน้าที่หลักคือ

- เตรียมการประชุมอภิปราย เรื่องความสัมพันธ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสถาปัตยกรรมของแสงสว่าง

- พัฒนามาตรฐานและผลิตเกี่ยวกับเครื่องวัดแสงสว่าง
- เตรียมการแนะแนวในการประยุกต์และพัฒนาการผลิตระหว่างชาติและมาตรฐานนานาชาติทางด้านแสงสว่าง

การวัดปริมาณพลังงานและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์นั้นมีมานาน และแพร่หลายเพราะเพื่อจะทำการศึกษา และนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในอนาคตค่าปริมาณพลังงานและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ก็แตกต่างกันออกไปตามที่ตั้งของแต่ละสถานี จึงต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันเพื่อใช้เปรียบเทียบ และศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลเพื่อที่จะได้นำค่าปริมาณพลังงาน และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากการเก็บข้อมูลนั้นก็ไปตามรูปแบบของแต่ละที่ การศึกษาและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันจึงค่อนข้างยุ่งยากมาก ดังนั้นในช่วงปี ค.ศ. 1991 จึงได้มีการก่อตั้ง IDMP (International Daylighting Measurement Programme) และได้ทำการปฏิวัติการวัดปริมาณพลังงานและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ให้เป็นระเบียบแบบแผน โดยวางมาตรฐานสถานีวัดปริมาณพลังงานและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ การเก็บข้อมูล การนำเสนอ การแลกเปลี่ยนข้อมูลและยังทำการจัดอบรมให้แก่เจ้าหน้าที่ที่ทำการวัดแสงแดดทั่วโลกเพื่อให้ได้มาตรฐานในรูปแบบเดียวกัน จะได้เป็นการง่ายต่อการศึกษาแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน และเป็นมาตรฐานที่ยอมรับกันทั่วโลก ถ้าสถานีที่ได้รับการตรวจสอบตามมาตรฐานของ IDMP การวัดและการเก็บข้อมูลพลังงานและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เป็นที่น่าเชื่อถือมีความถูกต้อง เพื่อความสะดวกและการเผยแพร่ CIE จึงได้ทำการออกคู่มือ IDMP เพื่อเจ้าหน้าที่ทำการวัดและเก็บข้อมูลจะได้ปฏิบัติตามได้และจะมีผู้มาตรวจสอบทีหลัง

สถานีวัดปริมาณพลังงานและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ตามมามาตรฐานของ IDMP มี 2 คลาสด้วยกัน

- General class เป็นสถานีที่ศึกษาค่าพลังงานและแสงสว่างดวงอาทิตย์เป็นหลัก
- Research class เป็นสถานีที่ศึกษาค่าความสว่างจากท้องฟ้า แยกสภาพอากาศท้องฟ้าตามความสว่างค่าพลังงานจากดวงอาทิตย์ แสงสว่างจากดวงอาทิตย์ และปัจจัยอื่น ๆ อุตุนิยมวิทยา

โดยทั้งสถานีแบบ General class และ Research class มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันโดยมี IDMP มีหน้าที่เป็นศูนย์กลางการแลกเปลี่ยนข้อมูล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้ติดตั้งสถานีวัดแสงสว่างและพลังงานจากดวงอาทิตย์ เพื่อบันทึกข้อมูลซึ่งอยู่บนดาดฟ้าชั้นที่ 5 ของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ ตั้งแต่ ปลายเดือน สิงหาคม 2547 เป็นต้นมา และผลที่ได้จากการวัดนี้เป็นสิ่งท้าทายที่ยังรอให้ค้นหา คือโมเดลความสว่างและพลังงานท้องฟ้า (Sky Model) ของจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งตำแหน่งพิกัดของอำเภอโกสุมพิสัยถูกกำหนดให้เป็นศูนย์กลางภาคอีสานของประเทศไทย (Lad. 16° 11’ 54.32” N; Long. 103° 04’ 24.98” E)

ดังนั้นโมเดลที่พัฒนานี้จะเป็นเสมือนโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องในการคำนวณหาความสว่างและพลังงานท้องฟ้าซึ่งใช้สำหรับแทนท้องฟ้าในเขตภาคอีสาน ประโยชน์ที่ได้รับโดยตรงจากการพัฒนาโมเดลของท้องฟ้าคือ การคำนวณค่าความสว่างและการออกแบบระบบควบคุมแสงในอาคารซึ่งจะเป็นการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยแสงธรรมชาติ ที่กล่าวมาแล้วประโยชน์ที่สำคัญอีกหนึ่งประการคือการส่งเสริมและสนับสนุน การวิจัยเชิงลึกของนิสตระดับปริญญาโท และนิสิตระดับปริญญาเอก สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ให้สร้างผลงานเพื่อนำเสนอในวารสารระดับนานาชาติ

สถานีวัดของคณะวิศวกรรมศาสตร์ก็อยู่ในข่าย General class ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงเพียงมาตรฐานของ General class เท่านั้น

สถานที่ตั้งสถานี

การเลือกที่ตั้งสถานีวัดมีข้อกำหนดเป็น 2 ข้อใหญ่ดังนี้

- ต้องเป็นที่โล่งกว้างมองเห็นท้องฟ้าได้ชัดเจนไม่มีอะไรมาบัง เช่น ตึก และต้นไม้ เป็นต้น แต่ถ้าเมื่อมีการวัดจากแนวระนาบเดียวกันกับเครื่องมือวัดแล้วต้องไม่ทำมุมสูงกว่า 0.08 เรเดียน (4.6 °) ต้องไม่มีอะไรมาบังแล้วทำให้แสงบริเวณนั้นลดลงเกิน 10% เมื่อทำการแบ่งท้องฟ้าพิจารณาครั้งละ 1/4 หรือพิจารณาที่ละ 90 ° เช่น พิจารณาจากทิศเหนือมายังทิศตะวันออกหรือจากทิศตะวันออกมายังทิศใต้ เป็นต้น วัตถุที่มากีดขวางในการวัดรวมแล้วไม่เกิน 0.13 สเตอเรเดียน สุดท้ายาสภาพแวดล้อมต้องเหมาะสมกับเครื่องมือวัดต้องการหรือสามารถปรับให้ได้ตามที่เครื่องมือวัดต้องการ

- ข้อกำหนดในการเก็บข้อมูลต้องเก็บข้อมูลและนำเสนอตามรูปแบบของ IDMP และการตั้งเครื่องมือในการวัดต้องตั้งให้มีระยะเวลาเท่ากัน เช่น ให้เครื่องมือวัดทุก ๆ 1 นาที เป็นต้น การวัดต้องทำการวัดทุกวันห้ามหยุดจนกว่าจะครบตามระยะเวลาที่กำหนด

การอธิบายลักษณะข้อสถานีวัดดังนี้

- ต้องมีชื่อ, ที่อยู่, เบอร์โทรศัพท์, อีเมล, และหมายเลขสมาชิกของ CIE ของผู้ตรวจสอบ
- ต้องบิดที่ตั้งของสถานี, เส้นละติจูด, ลองติจูด, ความสูงจากระดับน้ำทะเล, และโซนเวลา
- บรรยายรายละเอียดของสถานีที่อาจมีผลต่อการวัดโดนสรุป
- แผนที่ตั้งของสถานีวัดโดยมีสถานีวัดเป็นจุดศูนย์กลางรัศมี 5 กิโลเมตร
- แผนผังที่ติดตั้งเครื่องมือวัดและสิ่งกีดขวาง
- อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดและรายละเอียดการสอบเทียบวัด
- อธิบายลักษณะการทำงานของเครื่องมือแต่ละตัว

การ วัดค่าพลังงานและแสงสว่าง ข้อมูลพื้นฐานที่สถานีวัดแบบ General class ควรวัดได้

- ความสว่างรวมส่งลงมาถึงพื้นผิวของโลก (Global illuminance, Evg)
- ความสว่างของท้องฟ้า (Diffuse illuminance, Evd)

พหุน ปณฺ ถิโต ชีเว

- พลังงานรวมส่องลงมาถึงพื้นผิวของโลก (Global irradiance, Eeg)

- พลังงานของท้องฟ้า (Diffuse irradiance, Eed)

- ความสว่างในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวโลก 4 ทิศ ได้แก่ เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก (Illuminance on vertical surface North(Evgn), East(Evge), South(Evgs) and West(Evgw))

- เวลาที่ได้รับแสงในแต่ละวัน (s)

ข้อมูลที่ได้จากการนำผลการวัดมาคำนวณ

- ความสว่างของดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมาถึงพื้นผิวของโลก (Direct illuminance, Evs)

- พลังงานของดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมาถึงพื้นผิวของโลก (Direct irradiance, Ees)

- Zenith luminance (Lvz)

ความถี่ของการวัด ต้องทำการวัดค่าความสว่างจากท้องฟ้า พลังงาน และความสว่างอย่างน้อยทุก ๆ 1 นาที นำข้อมูลที่ได้มาสรุปทางสถิติ

- นำข้อมูลที่ได้มาเฉลี่ยทีละ 5 ° ตามมุม Solar Altitude

- ทำข้อมูลประจำเดือนโดนเฉลี่ยทีละ ครึ่งชั่วโมง

- นำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยทุกครึ่งชั่วโมง

การเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัด

แถบบังเงาของตัวเซนเซอร์

การที่จะทำการวัดค่าความสว่างของท้องฟ้า (Diffuse illuminance, Evd) และค่าพลังงานของท้องฟ้า (Diffuse irradiance, Eed) จะต้องมีอุปกรณ์เพื่อทำการบังไม่ให้แสงจากดวงอาทิตย์เข้าตัวเซนเซอร์จะเอาเฉพาะพลังงานและแสงสว่างจากท้องฟ้าเท่านั่น โดยแถบบังเงาควรมีขนาดกว้าง 0.2 ถึง 0.24 เท่าของรัศมีของแถบบังเงาระยะห่างของแถบบังเงากับตัวเซนเซอร์ต้องน้อยกว่าพื้นที่รับแสงของตัวเซนเซอร์ 10 เท่า และเพื่อป้องกันการสะท้อนของแสงจากแถบบังเงาและฐานควรเป็นสีดำเพื่อลดการสะท้อนแสงจากแถบบังเงา แต่ค่าที่ได้อาจมีการผิดพลาดได้จึงมีสมการค่าชดเชยแถบบังเงาซึ่งจะเป็นไปตามสมการ

$$x = \frac{2b}{\pi r}\cos^3 d[\pi h \sin\emptyset \sin d + \cos\emptyset \cos d + \sin h] \quad ...(2.1)$$

เมื่อ X = ค่าชดเชย

b = ความกว้างของวงแหวน

r = รัศมีของวงแหวน

d = มุมเดคลิเนชัน (°)

∅ = เส้นละติจูดของสถานีวัดรังสี (°)

h = มุมชั่วโมงของพระอาทิตย์ตก (°)

และสามารถหาค่ารังสีกระจายได้จาก

$$R_d = \frac{(1)}{1-x} R_{d,\ Measure} \quad ...(2.2)$$

เมื่อ R_d = ค่ารังสีกระจายที่ถูกต้อง

$R_{d,\ Measure}$= ค่ารังสีที่วัดได้จริง

การสอบเทียบเครื่องมือวัดและค่าความถูกต้องของเครื่องวัดแสง

สาเหตุหนึ่งของข้อผิดพลาดของการวัดแสงบางครั้งก็มาจากตัวเครื่องวัดเองด้วย ว่าเครื่องมือนั้นวัดแสงได้สูงสุดเท่าไหร่ ผ่านการสอบเทียบวัดที่ได้มาตรฐานหรือไม่ ดังนั้นจึงได้มีการตั้งมาตรฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแสงขึ้น หลังจากสอบเทียบวัดแล้วจะต้องทำการติดรายละเอียดของการสอบเทียบวัดไว้ที่ตัวเครื่องมือด้วย

นอกจากนี้มาตรฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแสงนั้นครอบคุมไปถึงกรรมวิธีในการสอบเทียบวัดด้วยเพราะระหว่างการสอบเทียบวัดตัวกระบวนการเองอาจเป็นตัวการทำให้เครื่องมือวัดแสงสว่างผิดพลาดไม่ว่าการตั้งระยะห่างไม่พอดี การตั้งหลอดไฟไม่ตรง อุณหภูมิไม่เหมาะสมเป็นต้น

มาตรฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแสงมีดังนี้

- การตรวจสอบค่าความสว่างที่วัดได้ ตัวกำเนิดแสงสว่างต้องได้ตามมาตรฐาน
- ทดสอบการส่องสว่างกับหลอดไฟ unpolarized เท่านั้น
- ลักษณะของพื้นที่ที่วัดกับที่สอบเทียบวัดต้องคล้ายกัน
- การตกกระทบของแสงกับกระจกที่ครอบต้องมีน้อยผลที่สุด
- อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมตอนสอบเทียบวัด 25 °

นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังต้องพิจารณาดังนี้

- อายุการใช้งานของเครื่องมือ
- การติดตั้งเครื่องมือให้ระดับน้ำอยู่ในวงกลม
- ความเสถียรของเครื่องมือ
- สภาพภูมิอากาศ
- ระยะเวลาที่ผ่านการสอบเทียบวัดมา

พหุนํ ปณฺ ฑิโต ชีเว

นอกจากที่กล่าวมาทั้งหมดแล้วผู้ทำการวัดจะต้องเช็คดูว่าค่าความสว่างที่วัดได้อยู่ในช่วง 1 lux ถึง $2x10^5$ lux คอยมั่นตรวจสอบระดับน้ำ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมก็ควรอยู่ในช่วง -10 ถึง 40 ° การระบายของลมและเครื่องป้องกันน้ำแข็งในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิติดลบ

การสอบเทียบเครื่องมือวัดและค่าความถูกต้องของเครื่องวัดพลังงาน

เครื่องมือที่วัดค่าพลังงานไม่ว่าจะจากดวงอาทิตย์ จากท้องฟ้าและพลังงานรวมนั้นดูได้จากคู่มือของ WMO การบอกคลาสของสถานีก็ดูรายละเอียดได้ที่คู่มือของ WMO อีกเช่นกัน

เวลาที่ได้รับแสงและพลังงานจากดวงอาทิตย์

อ้างอิงเอกสารที่ได้จาก WMO โดยค่ารับพลังงานต่อวันไม่ควรต่ำกว่า 120 W/m^2

การควบคุมคุณภาพและการประมวลผล

การตรวจสอบข้อผิดพลาดของเครื่องมือวัดจุดประสงค์ของหัวข้อนี้คือพยายามทำให้เครื่องทำการวัดให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าจริงตามธรรมชาติที่สุดแม้แต่ค่าของเวลาที่จะนำมาป้อนให้กับ เครื่องก็ต้องเซ็ตให้ถูกต้องเท่าที่เครื่องมือของเราจะรองรับได้

การควบคุมคุณภาพของเครื่องมือโดยอัตโนมัติถูกบรรจุเข้าในมาตรฐานของ IDMP ตั้งแต่ ปี 1991 หลายสถานีในเครือข่ายของ IDMP เห็นพร่องต้องกันว่าการใช้ระบบควบคุมคุณภาพ อัตโนมัติจะช่วยให้ค่าที่ได้จาการวัดมีการผิดพลาดที่เกิดขึ้นน้อย โดยเฉพาะการทำระบบควบคุมมา ใช้ในการบังแสงอาทิตย์ในการวัดค่าพลังงาน และแสงสว่างที่ได้จากท้องฟ้าและเพื่อกำจัดปัจจัยอื่น ที่จะมาทำการวัดที่มุม Solar Altitude ต่ำ ๆ หรือที่พระอาทิตย์ขึ้นช่วงริมขอบฟ้า หรือช่วงพระอาทิตย์ กำลังจะตก เช่น ตึก บ้าน ต้นไม้ และสิ่งก่อสร้างอื่นจึงได้กำหนดให้พิจารณาแต่ที่มุม Solar Altitude ที่สูงกว่า 4 ° และพลังงานรวมที่ได้ ก็พิจารณาตั้งแต่ 20 W/m^2 ขึ้นไป

ข้อมูลที่ได้จากการวัด

- การหาค่าเฉลี่ยรายครึ่งชั่วโมงจากค่าที่วัดทุก ๆ 1 นาที
- การแยกข้อมูลที่ได้ตาม bin ต่างที่กำหนดไว้
- การแยกข้อมูลเฉลี่ยรายชั่วโมงตาม bin ที่กำหนดไว้

การควบคุมคุณภาพของเครื่องมือโดยอัตโนมัติ การตรวจสอบมีด้วยกัน 2 กระบวนการคือ

การทดสอบลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องมือและค่าที่วัด

การทดสอบลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องมือและค่าที่วัดได้ยังแบ่งย่อยออกเป็น 4 การทดสอบด้วยกันคือ

1) การทดสอบค่าที่เครื่องมือสามารถวัดได้

Test 1.1: $0 < Eeg\ (W/m^2) < 1.2(1367)$

Test 1.2: $0 < Eeg\ (klux) < 1.2(127.5)$

Test 1.3: $0 < Eeg(W/m^2) < 1.2(1367)$

Test 1.4: 0 < Eeg(klux) < 1.2(1367)

Test 1.5: 0 < Eeg(W/m^2) < 1.2(1367)

Test 1.6: 0 < Eeg (klux) < 1.2(1367)

การทดสอบของ General class ใช้ทดสอบเพียง Test 1.1 ถึง Test 1.4 เท่านั้น ถ้ารวมการทดสอบ Test 1.5 และ Test 1.6 จะเป็นการทดสอบของ Research class

2) การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงาน และแสงสว่างจากท้องฟ้าจากดวงอาทิตย์และรวมว่าข้อมูลที่วัดได้มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ตามค่าของมุม Zenith สูงสุด

Test 2.1: Eeg = (Ees cosZ + Eed) ± 15 % (25%)

Test 2.2: Evg = (Evs cosZ + Evd) ± 15 % (25%)

Test 2.3: Eed < Eeg +10 %

Test 2.4: Evd < Evg +10 %

การทดสอบของ General class ใช้ทดสอบเพียง Test 2.1 ถึง Test 2.2 เท่านั้น ถ้ารวมการทดสอบ Test 2.3 และ Test 2.4 จะเป็นการทดสอบของ Research class เพราะในข้อกำหนด General class ข้อมูลที่วัดได้มีเพียงพลังงานและแสงสว่างจากท้องฟ้าและรวมส่วนค่าพลังงานและแสงสว่างที่ได้จากดวงอาทิตย์ได้จากการคำนวนเท่านั้น

3) เป็นการทดสอบค่าที่ได้จากการวัดว่ามีความสัมพันธ์กับสมการที่ใช้ในการทำนาย

Test 3.1: Eeng = f(Eeg, Ees, cosZ, cosh) ± 100 W/m^2 (200)

Test 3.2: Eeng = f(Eeg, Ees, cosZ, cosh) ± 150 W/m^2(250)

Test 3.3: Eeng = f(Eeg, Ees, cosZ, cosh) ± 150 W/m^2 (250)

Test 3.4: Eeng = f(Eeg, Ees, cosz, cosh) ± 12 klux (24)

Test 3.5: Eeng = f(Eeg, Ees, cosZ, cosh) ± 18 klux (30)

Test 3.6: Eeng = f(Eeg, Ees, cosZ, cosh) ± 18 klux (30)

ฟังชัน f คือสมการทำนายค่าความสว่างหรือค่าพลังงาน ถ้าเราทราบค่าใดค่าหนึ่งไม่ว่าจะเป็นค่าของ จากดวงอาทิตย์จากท้องฟ้าและรวมไม่ว่าจะเป็นทั้งของพลังงานและแสงสว่าง โดยค่า Eeng สามารถหาได้จากสมการ

$$Eeng = Eed\{(F1-1)/2 + F1*r/cosZ + F2\} + r*Ees \quad ...(2.3)$$

$$Evng = Evd\{(F1-1)/2 + F1*r/cosZ + F2\} + r*Evs \quad ...(2.4)$$

เมื่อ Eeng ค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่ส่องลงมายังพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวโลก (W/m^2)

Eed ค่าพลังงานจากท้องฟ้า (W/m^2)

Ees ค่าพลังงานจากดวงอาทิตย์ (W/m^2)

Evng ค่าแสงสว่างรวมทั้งหมดที่ส่องลงมายังพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวโลก (W/m^2)

Evd ค่าแสงสว่างจากท้องฟ้า (W/m^2)

Evs ค่าแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (W/m^2)

Z มุม Zenith (°)

ค่า F1 และ F2 มีวิธีในการคำนวณหาคือ

$$A = \{Ees + (Eeg - Ees*cosZ)\}/(Eeg - Ees*cosZ) \quad ...(2.5)$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่า Ees สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$A = \{(Eeg - Eed)/cosZ + Eed\} /Eed \quad ...(2.6)$$

จากนั้นนำค่า A มาคำนวณหาค่า e

$$e = (A + 1.041z^3) / (1 + 1.041z^3) \quad ...(2.7)$$

โดย ค่าของมุม Zenith ใช้เป็นหน่วยของ radians นำค่า e ที่ได้ไปแทนหาค่าตัวแปรในตาราง

พหุน ปญ ฑิโต ชีเว

ตาราง 2.1 หาค่าพารามิเตอร์ของ Perez

ค่า e ที่ได้จากสมการ							
จาก	ถึง	F11	F12	F13	F21	F22	F23
1	1.065	-0.008	0.588	-0.062	-0.06	0.072	-0.022
1.065	1.23	0.13	0.683	-0.15	-0.019	0.066	-0.029
1.23	1.5	0.33	0.487	-0.221	0.055	-0.064	-0.026
1.5	1.95	0.568	0.187	-0.295	0.109	-0.152	-0.014
1.95	2.8	0.873	-0.392	-0.362	0.226	-0.462	0.001
2.8	4.5	1.132	-1.237	-0.412	0.288	-0.823	0.056
4.5	6.2	1.06	-1.6	-0.359	0.264	-1.127	0.131
6.2	-	0.678	-0.327	-0.25	0.156	-1.377	0.251
F1 = F11+ D*F12+Z*F13							
F2 = F21 +D*F22 +Z+F23							

หาค่า D จากสมการ

$$D = (Eeg - Ees*cosZ) /(1367*cosZ) \quad ...(2.8)$$

ถ้าไม่ทราบค่า Ees สามารถใช้สมการ

$$D = Eed / (1367 * cosZ) \quad ...(2.9)$$

4) การทดสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงาน และความสว่างที่วัดได้

Test 4.1: $Evg/Eeg < a1 \pm b1*c1$

Test 4.2: $Evd/Eed < a2 \pm b2*c2$

Test 4.3: $Evs/Ees < a3 \pm b3*c3$

Test 4.4: $Evng/Eeng < a4 \pm b4*c4$

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

โดยเราสามารถหาค่า พารามิเตอร์จาก

ที่มุม Zenith < 60°

a1 = 120 lumen/W, b1= 30 lumen/W, c1 = 60 lumen/W

a2 = 140 lumen/W, b2= 40 lumen/W, c2 = 60 lumen/W

a3 = 105 lumen/W, b3= 30 lumen/W, c3 = 50 lumen/W

ที่มุม Zenith > 60°

$a3 = -543*Z^3 + 1639Z2 - 1652Z + 661$ lumen/W (zใช้หน่วยเป็นเรเดียน) (2.10)

a4 = a1, b4=b1, c4 = c1

ถ้า Zenith > 60° Ees > 100 W/m^2

a4 = a3, b4 = b1, c4 = c2

ถ้า Zenith > 60° Ees > 100 W/m^2 h > 60°

a4 = a1, b4 = b1, c4 = c1

ถ้า Zenith > 60° Ees > 100 W/m^2 h > 85°

a4 = a2, 64 = b2, c4 = c2

2.3. การแบ่งสภาพท้องฟ้า

2.3.1 การแบ่งสภาพท้องฟ้าตาม Sky ratio

ในความเป็นจริงสภาพท้องฟ้าเกิดเป็นสภาพท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆเลย หรือมีเมฆปกคลุมทั้งหมดนั้นเกิดขึ้นได้ยากและน้อยครั้งมากจึงคิดแทนด้วยสมการของสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมทั้งหมดของ CIE แต่ทาง CIE ก็ได้ทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของสภาพท้องฟ้า จากการแบ่งสภาพท้องฟ้าโดยแบ่งสภาพเมฆและการปกคลุมของเมฆ (Cloudy cover) หรือเรียกว่า Sky ratio การแบ่งระดับสภาพท้องฟ้าจะแบ่ง 1 ในสิบส่วนเท่าๆกัน แต่ละส่วนจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า สภาพท้องฟ้าอยู่ในสภาพอย่างไร ซึ่ง 0.0 เป็นสภาพที่ไม่มีเมฆ และ 1.0 เป็นสภาพที่มีเมฆมาก Sky ratio ของการแบ่งสภาพท้องฟ้า จะเอาระหว่าง พลังงานจากท้อง(Diffuse irradiance) และพลังงาน รวมที่

ส่งลงมถึงพื้นผิวโลกรวม (Global irradiance) จึงได้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่าง พลังงานจากท้องและพลังงานรวมทั้งหมดมาช่วยในการแบ่งท้องฟ้าดังสมการ

$$\text{Sky ratio} = Eed/Eeg \qquad ...(2.11)$$

เมื่อ Eed = พลังงานจากท้องฟ้า W/m^2

Eeg = พลังงานรวมที่ส่งลงถึงพื้นผิวโลกรวม W/m^2

จากที่กล่าวมาข้างต้น ค่า Sky ratio ค่าของอัตราส่วนของปริมาณเมฆบนท้องฟ้านั้นเอง เพราะเมฆเป็นปัญหาสำคัญสำหรับการวัดค่าพลังงานและแสงสว่างจากท้องฟ้าดังนั้นการนำเอาอัตราส่วนของเมฆมาคิดจึงทำให้การแบ่งสภาพท้องฟ้าของเราเพื่อที่จะมาหาค่าสมการการทำนายค่าพลังงานและแสงสว่างยิ่งมีความถูกต้องมากขึ้น

2.3.2 การแบ่งสภาพท้องฟ้าตาม Perez model

Perez และกลุ่มนักฟิสิกส์ใน Geneva ได้ทำการวัดค่าประสิทธิภาพของแสงสว่างที่ Albany, New York ของค่า 3 ค่าเป็นเวลา 45 วัน ในช่วง ปี ค.ศ. 1985 พวกเขาพบว่าค่าประสิทธิภาพของ แสงสว่างได้แปรตามพารามิเตอร์ 3 ตัวด้วยกันคือ มุม Zenith, Clearness Index และ Brightness Index.

$$\text{Clearness Index } (\varepsilon) = \{(Eed + Ees)/Eed + 1.041z^3\}/\{1 + 1.041z^3\} \qquad ...(2.12)$$

$$\text{Brightness Index } (\Delta) = m.\ Eed / Eeo \qquad ...(2.13)$$

เมื่อ Ees = พลังงานจากดวงอาทิตย์ W/m^2

Eeo = พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงชั้นบรรยากาศของโลก W/m^2

Z = Zenith Angle (เรเดียน)

ค่า Δ จะแปรผันตามความหนาแน่นของเมฆในท้องฟ้า และค่า ε = 1เมื่อท้องฟ้าไม่มีเมฆ และค่าจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไปจนถึงท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม โดยจากค่าพารามิเตอร์ของทั้ง 3 ค่า Perez จึง ได้สรุปว่าในวันที่มีเมฆปกคลุมมากแสงสว่างจะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าในวันที่ไม่มีเมฆ

2.3.3 การแบ่งสภาพท้องฟ้าตาม Olseth and Skartyeit model

Olseth และ Skartveit model ได้พัฒนามาจากmodelประสิทธิภาพความสว่างจากค่าที่การวัดในประเทศนอร์เวย์ ประสิทธิภาพเปล่งแสงขึ้นอยู่กับมุม Solar altitude, จำนวนวันที่นับจากต้นปี และค่า Clearness และในปี ค.ศ. 1994 Olseth และ Skartveit ใช้ข้อมูลวัดค่าใน Albany, New York สรุปเป็น model ได้ดังนี้

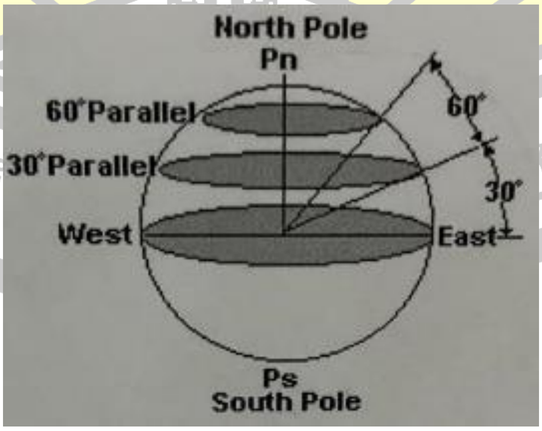
$$\text{Clearness Index}(K_t) = Eeg/\ Eeo \qquad ...(2.14)$$

2.4 เวลาสุริยะและตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ในการใช้นำพลังงาน และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์นั้นการทราบตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีความจำเป็น ไม่เพียงแต่เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุดเท่านั้น แต่ยังใช้ประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนด้วยตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะแปรผันไปตามเวลาทำให้เกิดปัญหาขึ้นมา เนื่องจากเวลาที่ใช้กันในปัจจุบันมีความแตกต่างกันตามสภาพภูมิศาสตร์ และการปกครอง ในการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับแสงอาทิตย์ (และทางดาราศาสตร์) จะไม่ได้ใช้เวลาตามนาฬิกา (เวลาท้องถิ่น หรือ Local Time – Llo) แต่จะใช้เวลาตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏให้เห็นแทน เรียกว่า เวลาสุริยะ (Local Solar Time-ST หรือ Apparent Solar Time-AST) ดังนั้นในขณะใดขณะหนึ่ง เวลา

สุริยะแต่ละตำแหน่งบนโลกจะไม่ตรงกัน ยกเว้นกรณีที่ตำแหน่งนั้นอยู่บนเส้นแวงเดียวกัน (longitude ตรงกัน) ในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เราต้องแปลงเวลาท้องถิ่นให้เป็นเวลาสุริยะเสียก่อน ทั้งนี้ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องจะมีดังนี้

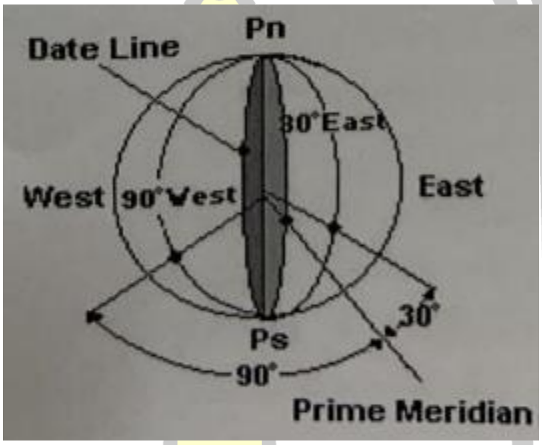
2.4.1 มุมละติจูด หรือเส้นรุ้ง



ภาพประกอบ 2.6 การแบ่งมุมละติจูด

ระยะทางที่วัดเป็นมุมไปทางทิศเหนือและใต้ของเส้นศูนย์สูตร โดยเส้นศูนย์นี้จะแบ่งโลกออกเป็น 2ส่วนเท่า ๆกันคือ ซีกเหนือและซีกใต้ที่จุดศูนย์กลางของโลกลากให้ตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรไปทางเหนือหรือใต้ดังนั้นซีกโลกแต่ละด้านจะแบ่งเป็นมุมระนาบกับเส้นศูนย์สูตรได้ 90° ถ้าไปทางทิศเหนือเรียกองศาเหนือ ไปทางทิศใต้เรียกองศาใต้และทำการขีดเส้นขนานกับเส้นศูนย์

2.4.2 มุมลองจิจูด หรือเส้นแวง



ภาพประกอบ 2.7 การแบ่งมุมลองจิจูด

ระยะทางที่วัดเป็นมุมไปทางตะวันออกและตะวันตกโดยได้มีข้อตกลงโดยการยึดที่กรีนนิชเป็นหลัก โดยให้ที่กรีนนิชเป็น 0 ° ทางตะวันออกของกรีนนิชเป็นองศาตะวันออกและทางตะวันตกของกรีนนิชเป็นองศาตะวันตก ดังนั้นรอบโลกมี 360 ° จึงแบ่งออกได้เป็น 180 °ตะวันออกถึง 180 °ตะวันตก และลากเส้นสมมุติเรียกเส้นแวงหรือเส้นเมอริเดียนหรือเส้นลองจิจูด เพื่อใช้ทำแผ่นที่

2.4.3 โซนเวลา

ภาพประกอบ 2.8 แผนที่โลกแสดงโซนเวลา

โซนเวลาเป็นการแบ่งพื้นที่ในโลกออกเป็นส่วน ๆ ตามภูมิศาสตร์และการปกครอง โดยแต่ละส่วนจะมีเวลาท้องถิ่นตรงกันโดยทางทฤษฎีแล้วโซนเวลาจะต่างกันโซนละ 1 ชั่วโมง กล่าวคือ โซนเวลาควรเปลี่ยนไป 1 ชั่วโมงเมื่อเส้นแวงเปลี่ยนไป 15 ° อย่างไรก็ดีเพื่อความสะดวกในการปกครองและสื่อสารแต่ละประเทศมีสิทธิ์เลือกใช้โซนเวลาที่ต้องการและเห็นสมควร ดังนั้นใน ทางปฏิบัติแล้วบางประเทศอาจมีโซนเวลาเป็นครึ่งชั่วโมงก็ได้และบางประเทศอาจมีโซนเวลาต่างกันในประเทศเดียวกันในกรณีที่ประเทศขนาดใหญ่ เช่นสหรัฐอเมริกา แคนาดา เป็นต้น ในทางกลับกัน ประเทศที่อยู่บนเส้นแวงเดียวกันอาจใช้โซนเวลาต่างกันก็ได้ เช่น ไทยกับสิงค์โปร์ โซนเวลาที่ใช้เป็นมาตรฐาน ได้แก่โซนกรีนิช ซึ่งตั้งอยู่บริเวณเส้นแวงที่ 0 ° เวลาที่โซนนี้เรียกว่า เวลามาตรฐานกรีนิช (Greenwich Mean Time – GMT) ซึ่งปัจจุบันถือว่าเป็นเวลาสากลของโลก ในซีกโลกด้านตะวันออกจะมีเวลาท้องถิ่นเร็วกว่าเวลาที่กรีนิช ส่วนทางซีกโลกตะวันตกจะมีเวลาท้องถิ่นช้ากว่าเวลาที่กรีนิช เวลาที่เร็วหรือช้ากว่านี้จะใช้เป็นชื่อบอกโซนเวลาไปโดยปริยายหากยึดหลักข้างต้นแล้วส่วนโซนเวลาของประเทศไทยนั้นคือ +7GMT โดยเส้นแวงมาตรฐานคือ 105 ° ตะวันออก (จังหวัดอุบลราชธานี) จากที่กล่าวมาเราสามารถคำนวณหาโซนเวลาของสถานที่ที่เราอยู่ตามทฤษฎีภูมิศาสตร์จากสมการ

$$TZ = \pm INT\ (L_{lo}/15) \qquad ...(2.15)$$

เมื่อ L_{lo} คือ เส้นแวงของท้องถิ่นที่ต้องการหาโซนเวลา

ตัวอย่างการคำนวณหาโซนเวลา

ที่จังหวัดอุดรธานีตั้งอยู่ตรงกับเส้นแวงที่ 102° 48 ตะวันออก

$TZ = \pm INT\ (L_{lo}/15)$

$= \pm INT\ (102.48/15)$

$TZ = \pm INT\ (6.8533)$

$= \pm 7GMT$

ดังนั้นโซนเวลาของจังหวัดอุดรธานีคือ +7GMT ที่เครื่องหมายเป็น + เพราะ จังหวัดอุดรธานีตั้งอยู่ทางซีกโลกด้านตะวันออกเวลาท้องถิ่นเร็วกว่าเวลาที่กรีนิช

นอกจากนี้เรายังสามารถคำนวณเวลาของท้องถิ่นที่เราอยู่ โดยโลกหมุนรอบตัวเอง 360 °ใช้เวลาประมาณ 1 วันหรือ 24 ชั่วโมง ดังนั้น 1 ชั่วโมงโลกจะหมุนได้ 15 ° ดังนั้นโลก หมุน 1 ° (หรือ 1 เส้นแวง) ใช้เวลา 4 นาทีได้เป็นสมการ

$$\text{Local Time(LT)} = \text{Watch Time(WT)} \pm \Delta \qquad ...(2.16)$$

$$\Delta = \pm 4(L_{st} + L_{lo})\ \text{นาที} \qquad ...(2.17)$$

เมื่อ Local Time(LT) คือ เวลาที่แท้จริงของสถานที่นั้น ๆ

Watch Time(WT) คือ เวลาของโซนเวลาของแต่ละท้องถิ่น หรือเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกา หรือเครื่องบอกเวลา

L_{st} คือ เส้นแวงมาตรฐานท้องถิ่น

** เครื่องหมายบวกลบ

+ เป็นบวกเมื่อ เส้นแวงมีค่ามากกว่าเส้นแวงมาตรฐานแสดงว่าเวลาก็จะเร็วกว่าจึงต้องบวกเวลาเพิ่ม

- เป็นลบเมื่อ เส้นแวงมีค่าน้อยกว่าเส้นแวงมาตรฐานแสดงว่าเวลาก็จะช้ากว่าจึงต้องลบเวลาออก

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตัวอย่างการคำนวณหาเวลาท้องถิ่น

ที่จังหวัดหนองคายตั้งอยู่เส้นแวงที่ 102° 43' ตะวันออกเวลา 14 นาฬิกา 21 นาที 37 วินาที

$\Delta = \pm 4\,(L_{st} - L_{lo})$

$= \pm 4\,(105 - 102.7166667)$

$= -\ 9.133$ นาที

Local Time(LT) = Watch Time(WT) ± Δ

$= 21.6166667 - 9.133$ นาที

ดังนั้นเวลาของจริง ๆ จังหวัดหนองคายคือ 14 นาฬิกา 12 นาที 29 วินาที

นอกจากโซนเวลาแล้วบางประเทศยังมีการเลื่อนเวลาเดินหน้าหรือถอยหลังไปได้อีกตาม ความเหมาะสมของฤดูกาล โดยในฤดูร้อนจะเลื่อนเวลาเร็วขึ้นไป 1 ชั่วโมง เพื่อลดการใช้ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่างในตอนค่ำและเลื่อนช้าลง 1 ชั่วโมงในช่วงฤดูหนาวเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเช้า กรณีนี้จะเรียกว่าการถนอมแสงแดด (daylight saving) ซึ่งทำให้โซนเวลามีการเลื่อนได้อีก 1 ชั่วโมง ประเทศดังกล่าวมักเป็นประเทศในเขตอบอุ่นซึ่งมีช่วงเวลากลางวันและกลางคืนแตกต่างกันมากใน ฤดูร้อนและฤดูหนาว

2.4.4 สมการเวลา

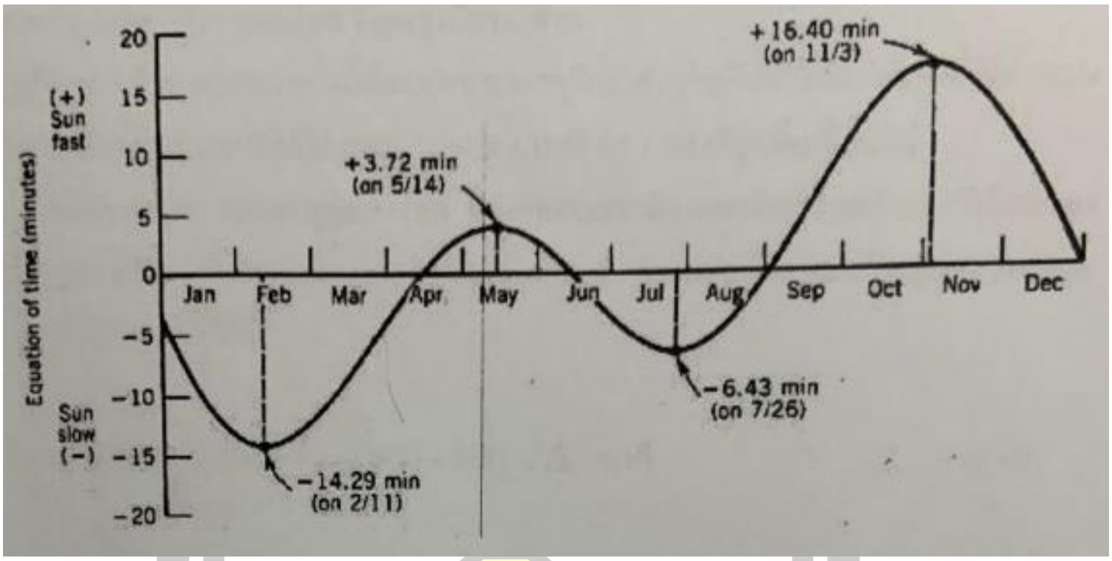
เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลมพอดี และโลกไม่ได้หมุนรอบตัวเอง 1 รอบในเวลา 24 ชั่วโมงพอดีอีกเช่นกัน ดังนั้น เมื่อเวลาเดียวกันของแต่ละวันจะทำให้เวลาสุริยะมีการเปลี่ยนไปเล็กน้อย กล่าวคือ ผิดไปอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 นาที ในรอบปีการคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะครบรอบพอดี สมการที่บอกการคลาดเคลื่อนนี้เรียกว่า สมการเวลา โดยที่มีความสัมพันธ์แบบเอมไพริกัลป์ดังนี้

$$EoT = 9.87\sin(2B) - 7.53\cos(B) - 1.5\sin(B) \text{ นาที} \qquad ...(2.18)$$

เมื่อ $B = (360/364)*(n - 81)°$ เมื่อ n เป็นจำนวนวันนับจากต้นปี

นอกจากการคำนวณหาค่าสมการ EoT จากสมการที่ (2.4.4) แล้วเรายังสามารถหาค่าสมการ EoT จากกราฟที่คำนวณเอาไว้โดยการลากจำนวนวันที่ต้องการทราบค่าทางด้านแกน X มาชนกับกราฟแล้วลากจากจุดขนานแกน X ไปตัดกับแกน Y ก็จะสามารถอ่านค่า EoT ได้

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 2.9 กราฟสมการของเวลา

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า EoT

วันที่ 23 กรกฎาคม 2547

หาค่า n จาก

เดือนที่ 1 → 31

เดือนที่ 2 → 29

เดือนที่ 3 → 31

เดือนที่ 4 → 30

เดือนที่ 5 → 31

เดือนที่ 6 → 30

เดือนที่ 7 → 23

n → 205

B = (360/364)* (n - 81)

= (360/364)* (205 - 81)

= 122.637

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

= -6.167226945 นาที

ดังนั้น วันที่ 23 กรกฎาคม 2547 มีค่า EoT = -6.167226945 นาที

2.4.5 การแปลงเวลาท้องถิ่นเป็นเวลาสุริยะ

เวลาสุริยะ (Solar Time) เป็นเวลาที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เวลาเที่ยง (Solar Noon) คือเวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่สังเกตสาเหตุที่เวลาสุริยะต่างจากเวลามาตราฐานท้องถิ่น (Standard Time) เนื่องมาจาก

- เส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่ต้องการหาเวลาสุริยะ ต่างกันกับเส้นเมอริเดียนที่ใช้คำนวณ เวลามาตราฐานท้องถิ่น ดวงอาทิตย์ใช้เวลาประมาณ 4 นาที ต่อ 1 ลองติจูดที่เปลี่ยนไป
- การกวัดแกว่งของแกนหมุนของโลก ซึ่งมีผลต่อเวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นเมอริเดียนของตำแหน่งที่สังเกต ซึ่งการกวัดแกว่งนี้สามารถหาได้จาก EoT ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยะและ เวลามาตรฐานสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{Solar Time(ST)} = \text{Watch Time(WT)} + \text{EOT} \pm \Delta \text{ นาที} \qquad ...(2.19)$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าเวลาสุริยะ

ที่จังหวัดกาฬสินธุ์ เส้นแวงที่ 103°31" ตะวันออก วันที่ 12 พฤษภาคม 2547 เวลา 14 นาฬิกา 30 นาที

$\Delta = \pm 4(L_{st} - L_{lo})$

$= \pm 4\ (105 - 103.5166667)$

$= \pm\ 5.933333336$ นาที

หาค่า n จาก

เดือนที่ 1 → 31

เดือนที่ 2 → 29

เดือนที่ 3 → 31

เดือนที่ 4 → 30

เดือนที่ 5 → 12

n → 133

B = (360/364)* (n - 81)

= (360/364)* (133 - 81)

= 51.42857143

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

= 3.754913062 นาที

เนื่องจากเส้นแวงที่จังหวัดกาฬสินธุ์น้อยกว่าเส้นแวงมาตรฐานแสดงว่าเวลาของจังหวัดกาฬสินธุ์ช้ากว่าดังนั้นเครื่องหมายที่หน้า ∆ เป็น –

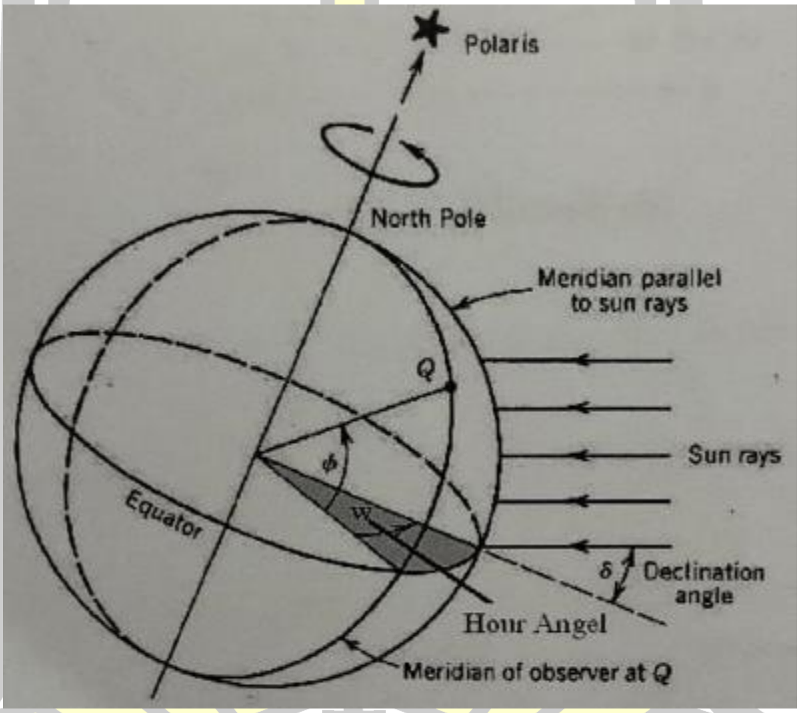
Solar Time(ST) = Watch Time(WT) + EOT - ∆

= 30 + 3.754913062 – 5.933333336 นาที

= 27.82157973

ดังนั้นเวลาสุริยะของจังหวัดกาฬสินธุ์คือ 14 นาฬิกา 27 นาที 49 วินาที [17]

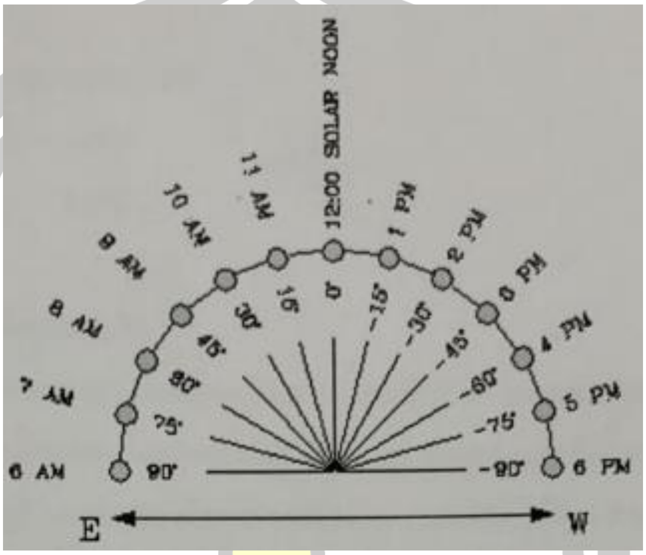
2.4.6 มุมชั่วโมง



ภาพประกอบ 2.10 มุมชั่วโมง

มุมชั่วโมง (hour angle - w) เป็นการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์เทียบกับเส้นกลางฟ้า (meridian) หรือตอนเที่ยงวันตามเวลาสุริยะ มุมนี้ไม่ใช่มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำจริง แต่เป็นมุมที่สอดคล้องกับเวลาสุริยะในขณะนั้นมีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะและเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15 ต่อหนึ่งชั่วโมง ดังนั้น จะนิยามว่า เป็นการวัดมุมบนโลกในระนาบใกล้เส้นศูนย์สูตร ข้อสังเกตอื่นๆ มุมชั่วโมง (Hour Angle) คือ มุมที่เข้าแทนที่ในตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของเส้นเมอริเดียนที่เหมาะสมและหมุนรอบโลกในแนวแกนที่ 15 ต่อ

ชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ตรงหัว (Solar Noon) มุมชั่วโมง (Hour Angle) จะเท่ากับ 0 การเปลี่ยนแปลงของมุมชั่วโมง(Hour Angle) ใน 1 วัน จะได้จากสมการดังนี้



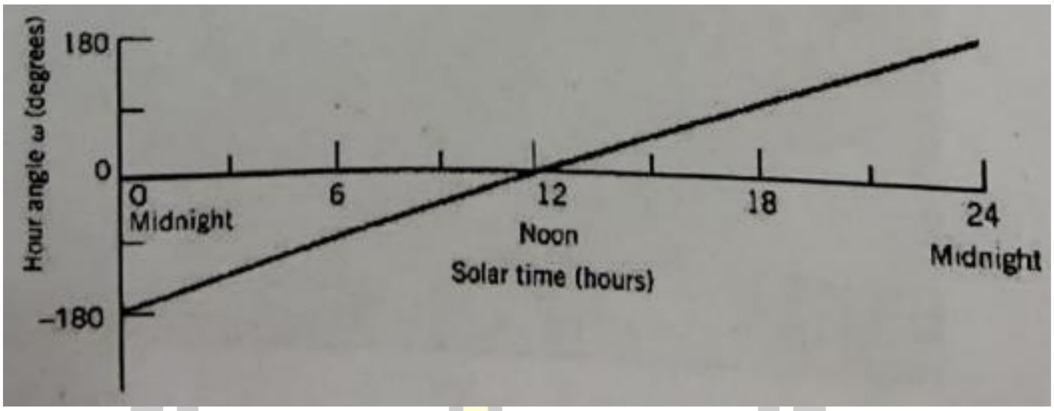
ภาพประกอบ 2.11 ค่าของมุมชั่วโมงที่เวลาเปลี่ยนไป

และมุมชั่วโมงจะแปรผันตรงตามเวลาสุริยะขณะนั้น สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$W = 15°(t - 12)° \quad ...(2.20)$$

โดย t คือเวลา (ชั่วโมง)

นอกจากการคำนวณหาค่ามุมชั่วโมงจากสมการที่ (2.4.5) แล้วเรายังสามารถหาค่ามุมชั่วโมงจากกราฟที่คำนวณเอาไว้โดยการลากจำนวนวันที่ต้องการทราบค่าทางด้านแกน X มาชนกับกราฟแล้วลากจากจุดขนานแกน X ไปตัดกับแกน Y ก็จะสามารถอ่านค่ามุมชั่วโมงได้



ภาพประกอบ 2.12 กราฟมุมชั่วโมงกับเวลาใด ๆ ใน 1 วัน

ตัวอย่างการคำนวณหามุมชั่วโมง

ที่เวลา 10 นาฬิกา 30 นาที 30 วินาที

$t = 10+(30+(30/60))/60$ ชั่วโมง

$w = 15° (t - 12)$

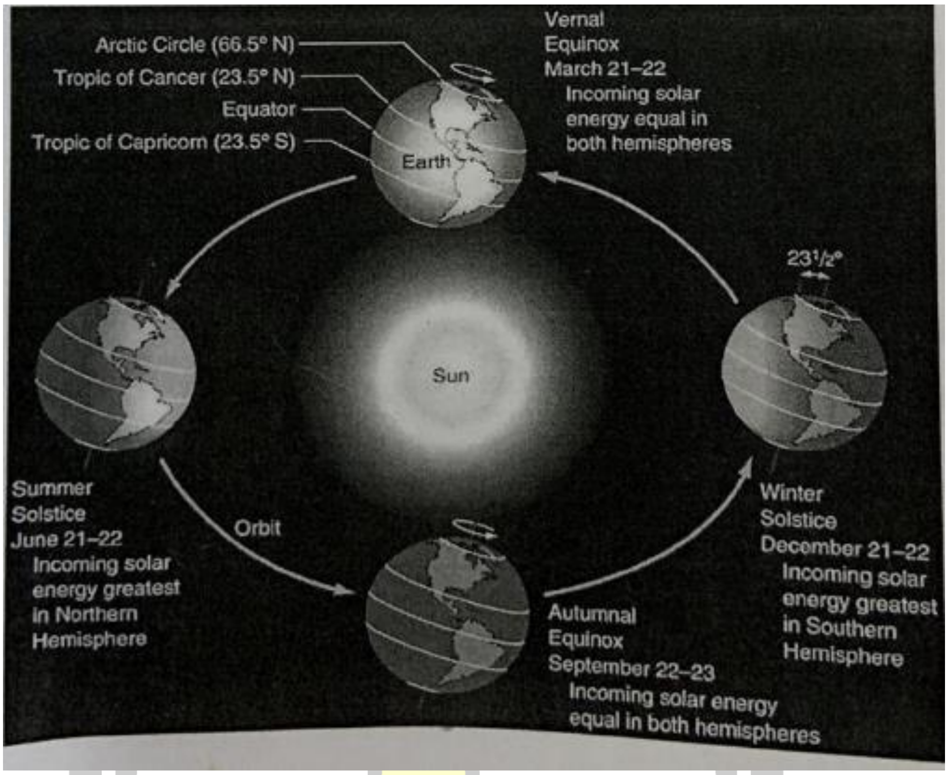
$= 15(10.50833333 - 12)$

$= 22.375°$

ดังนั้นมุมชั่วโมงคือ 22.375 °

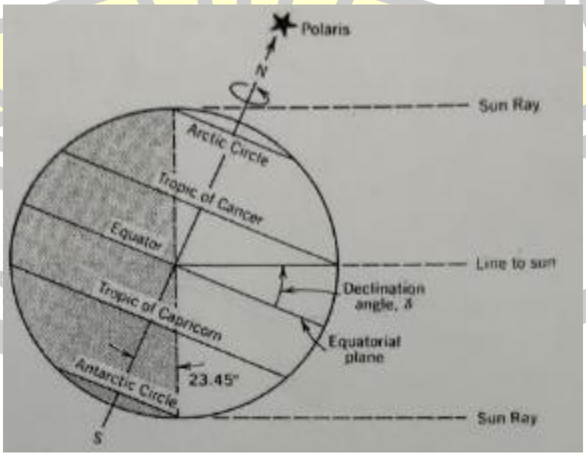
2.4.7 มุมเดคลีเนชัน

โลกของเราโคจรรอบดวงอาทิตย์พร้อมกับหมุนรอบตัวเองด้วย แกนหมุนรอบตัวเองของ โลกไม่ได้ตั้งฉากกับระนาบ โคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ โดยทำมุมกับเส้นที่ตั้งฉากกับระนาบดังกล่าวอยู่ 23 ° 27 ลิบดา (23.47 °) ทำให้ตำแหน่งต่าง ๆ บนโลกได้รับแสงแดดไม่เท่ากันใน แต่ละวัน ในช่วงที่โลกเอียงหันซีกโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์ จะเป็นช่วงฤดูร้อนของซีกโลกเหนือ ซึ่งขณะนี้มีช่วงกลางวันมากกว่ากลางคืน แต่ขณะเดียวกันจะเป็นช่วงฤดูหนาวของซีกโลกใต้ เพราะ มีช่วงเวลากลางคืนมากกว่ากลางวัน แต่เมื่อเวลาผ่านไป โลกโคจรไปอยู่ ณ จุดตรงข้ามของวงโคจร พอดี (เวลาผ่านไปครึ่งปี) โลกจะหันเอาซีกโลกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์ จะเป็นช่วงฤดูร้อนของซีกโลก ใต้ แต่จะเป็นช่วงฤดูหนาวของซีกโลกเหนือ



ภาพประกอบ 2.13 ผลของมุม Declination

ในระหว่างนั้น โลกจะโคจรโดยมีแกนหมุนของโลกชี้ไปทิศเดิมเสมอ (ชี้ไปดาวเหนือ) แต่เมื่อพิจารณามุมที่แกนหมุนของโลกกระทำต่อทิศที่ชี้จากโลกไปยังดวงอาทิตย์จะพบว่า มุมดังกล่าวมีค่าเปลี่ยนไปทุก ๆ วัน มุมนี้ เรียกว่า มุมเดคลิเนชัน (declination angle - δ)



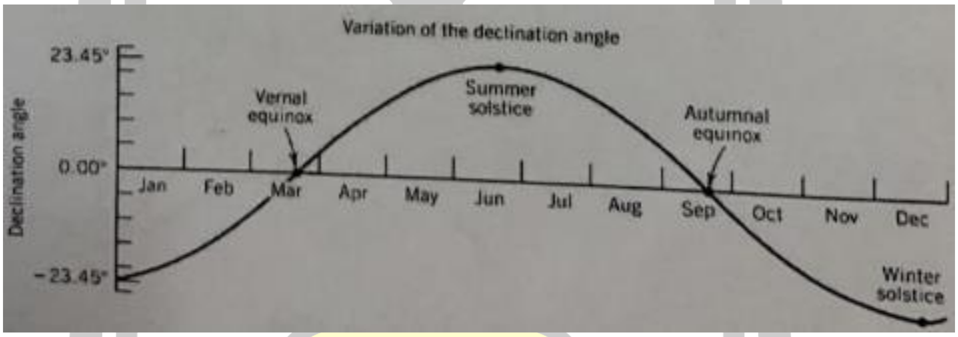
ภาพประกอบ 2.14 มุม Declination

มุมนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชันไซน์ ดังสมการ

$$\delta = 23.45 \sin((360 / 365) \times (284 + n))^{\circ} \qquad ...(2.20)$$

เมื่อ n คือจำนวนวันที่นับจากวันที่ 1 มกราคม

นอกจากการคำนวณหาค่ามุมเดคลิเนชัน จากสมการที่ (2.21) แล้วเรายังสามารถหาค่ามุม เดคลิเนชัน จากกราฟที่คำนวณเอาไว้โดยการลากจำนวนวันที่ต้องการทราบค่าทางด้านแกน X มา ชนกับกราฟแล้วลากจากจุดขนานแกน X ไปตัดกับแกน Y ก็จะสามารถอ่านค่ามุมเดคลิเนชัน ได้



ภาพประกอบ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ของมุม Declination กับ วันที่เปลี่ยนไป

ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดฤดูกาลต่าง ๆ ในโลกและทำให้ผู้สังเกตที่อยู่ที่เส้นรุ้งต่างกันเห็นดวงอาทิตย์ที่ตำแหน่งต่างกัน แม้ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันก็ยังคงสังเกตดวงอาทิตย์ที่ตำแหน่งเปลี่ยนไปตลอดปีด้วยกล่าวคือ ผู้ที่อยู่ระหว่างเส้นศูนย์สูตรและเส้นรุ้งที่ 23.45 °เหนือ จะเห็นดวงอาทิตย์อยู่ในท้องฟ้าซีกใต้เป็นส่วนใหญ่ของปีและจะเห็นดวงอาทิตย์อยู่ในท้องฟ้าซีกเหนือเฉพาะช่วงฤดูร้อนเท่านั้น ส่วนผู้ที่อยู่เหนือเส้นรุ้งที่ 23.45 °ขึ้นไป จะเห็นดวงอาทิตย์อยู่ในท้องฟ้าซีกใต้เท่านั้น และยังทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่น่าสนใจอื่น ๆ อีกมาก เช่น ดวงอาทิตย์เที่ยงคืนและการเปลี่ยนตำแหน่งพระอาทิตย์ขึ้นและตกเป็นต้น

ตัวอย่างการคำนวณมุมเดคลีเนชัน ที่วันที่ 5 ตุลาคม 2547 หาค่า n จาก

เดือนที่ 1 → 31

เดือนที่ 2 → 29

เดือนที่ 3 → 31

เดือนที่ 4 → 30

เดือนที่ 5→31

เดือนที่ 6→30

เดือนที่ 7→31

เดือนที่ 8→31

เดือนที่ 9→30

เดือนที่ 10→5

n→279

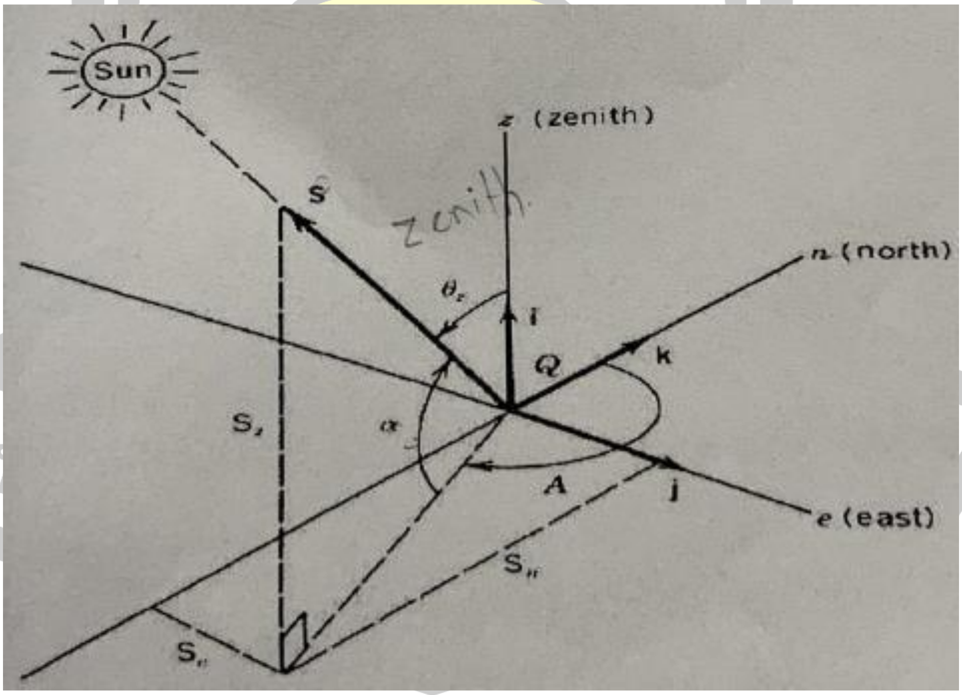
δ = 23.45 sin ((360 / 365) x (284 + n)) °

= -6.182955787 °

ดังนั้นมุมเคคลีเนชัน ของวันที่ 5 ตุลาคม 2547 คือ -6.182955787 °

2.4.8 มุมเงย

มุมเงย (elevation) เป็นมุมที่วัดจากระนาบที่ผิวโลกไปยังดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมุมที่รังสีแสงอาทิตยกระทำกับระนาบที่ผิวโลกนั่นเอง บางครั้งเรียกว่ามุมสูง (Solar Altitude Angel) มุมนี้จะมีค่า 0 °เมื่อพระอาทิตย์ขึ้นหรือตก และจะมีค่าสูงสุดเมื่อตอนเที่ยงตรงตามเวลาสุริยะ



ภาพประกอบ 2.16 มุม Solar Altitude

การหาค่ามุมเงย สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\sin\alpha = \sin\Phi \sin\delta + \cos\Phi \cos\delta \cos w \qquad ...(2.22)$$

เมื่อ Φ เป็นมุมลัดติจูด หรือเส้นรุ้ง (°)

δ เป็นมุมลัดติจูด หรือเส้นรุ้ง (°)

w เป็นมุมลัดติจูด หรือเส้นรุ้ง (°)

ตัวอย่างการคำนวณหาค่ามุมเงย

ที่จังหวัดนครราชสีมา เส้นแวงที่ 102°05’ ตะวันออก เส้นรุ้งที่ 14°58’ องศาเหนือ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2547 เวลา 12 นาฬิกา 30 นาที

$\Delta = \pm 4\ (L_{st} - L_{lo})$

$= \pm 4(105 - 102.0833333)$

$= \pm 11.66666667$ นาที

หาค่า n จาก

เดือนที่ 1 → 31

เดือนที่ 2 → 13

n → 44

หาค่า EoT

B = (360/364)* (n - 81)

= (360/364)* (44 - 81)

= -36.59340659

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

= -14.59962009 นาที

หาค่า Solar Time

เนื่องจากเส้นแวงที่จังหวัดนครราชสีมา น้อยกว่าเส้นแวงมาตรฐานแสดงว่าเวลาของจังหวัด นครราชสีมาช้ากว่าดังนั้นเครื่องหมายที่หน้า Δ เป็น –

Solar Time(ST) = Watch Time(WT) + EOT – Δ นาที

= 30 -14.59962009 - 11.66666667 นาที

พหุนํ ปณฺฑิโต ชีเว

$= 3.73371324$ นาที

ดังนั้นเวลาสุริยะของจังหวัดนครราชสีมาคือ 12 นาฬิกา 3 นาที 44 วินาที

หามุมชั่วโมง

$t = 12+(3+(44/60))/60$ ชั่วโมง

$w = 15° (t - 12)$

$= 15(12.06222855 - 12)$

$w = 0.93342825$ °

หามุมเดคลิเนชัน

$\delta = 23.45 \sin((360 / 365) \times (284 + n))$ °

$= - 13.94634081$ °

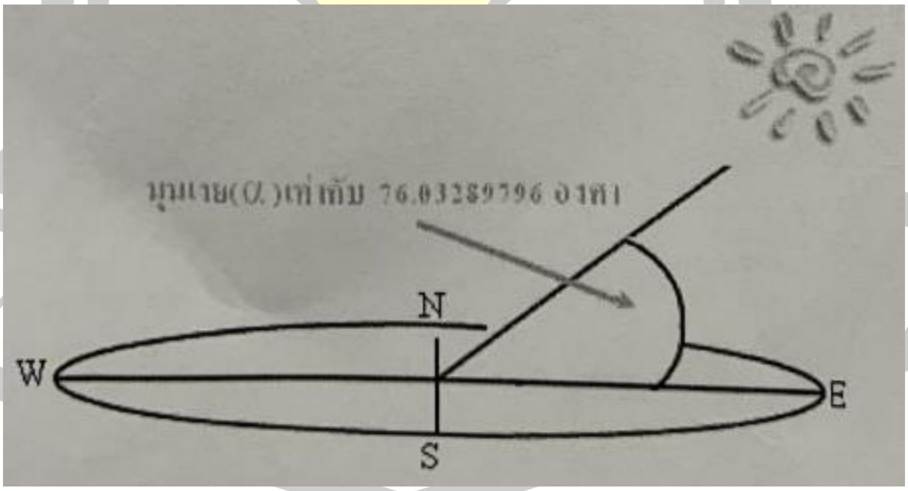
หามุมเงย

$\sin\alpha = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos w$ °

$= 0.9704344725$ °

$\alpha = 76.03289796$ °

ดังนั้นที่จังหวัดนครราชสีมา เส้นแวงที่ 102°05' ตะวันออก เส้นรุ้งที่ 14°58 องศาเหนือ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2547 เวลาสุริยะ 12 นาฬิกา 3 นาที 44 วินาที ได้มุมเงยเท่ากับ 76.03289796 ° ดังรูป



ภาพประกอบ 2.17 ทิศทางของมุมเงยที่คำนวนได้

2.4.9 มุมซีนิธ

เป็นมุมที่วัดจากจุดกลางฟ้า (zenith) มุมนี้จะมีค่า 0 °เมื่อตอนเที่ยงตรงตามเวลาสุริยะ ซึ่งสัมพันธ์กับมุมเงย

$$\Psi = 90° - \alpha \quad ° \qquad ...(2.23)$$

$$\cos \Psi = \sin\alpha = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos w \quad ° \qquad ...(2.24)$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่ามุมซีนิธ

ที่จังหวัดร้อยเอ็ด เส้นแวงที่ 103°41’ ตะวันออก เส้นรุ้งที่ 16°0’ °เหนือ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2547 เวลา 8 นาฬิกา 45 นาที 5 วินาที

$\Delta = \pm 4\,(L_{st} - L_{lo})$

$= \pm 4\,(105 - 103.6833333)$

$= \pm 5.266666668$ นาที

หาค่า n จาก

เดือนที่ 1→31

เดือนที่ 2→29

เดือนที่ 3→31

เดือนที่ 4→30

เดือนที่ 5→31

เดือนที่ 6→30

เดือนที่ 7→31

เดือนที่ 8→31

เดือนที่ 9→30

เดือนที่ 10→31

เดือนที่ 11→28

n→333

พหุน ปณฺ ทิโต ชีเว

หาค่า EoT

B = (360/364)* (n - 81)

= (360/364)* (333 - 81)

= 249.2307692

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

$= 10.61771981$ นาที

หาค่า Solar Time

เนื่องจากเส้นแวงที่จังหวัดร้อยเอ็ด น้อยกว่าเส้นแวงมาตรฐานแสดงว่าเวลาของจังหวัด ร้อยเอ็ดช้ากว่าดังนั้นเครื่องหมายที่หน้า Δ เป็น –

Solar Time(ST) = Watch Time(WT) + EOT - Δ นาที

$= 45{,}08333333 + 10.61771981 - 5.266666668$ นาที

$= 50.43438647$ นาที

ดังนั้นเวลาสุริยะของจังหวัดจังหวัดร้อยเอ็ดคือ 8 นาฬิกา 50 นาที 26 วินาที

หามุมชั่วโมง

$t = 8+(50+(26/60))/60$ ชั่วโมง

$w = 15^\circ (t - 12)$

$= 15(8.840573108 - 12)$

$= -47.39140338^\circ$

หามุมเดคลีเนชัน

$\delta = 23.45 \sin((360 / 365) \times (284 + n))^\circ$

$= -21.82547618^\circ$

หามุมซีนิธ

$\cos \Psi = \sin\alpha = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos w^\circ$

$= 0.5011750756^\circ$

$= 59.92222713^\circ$

หรือ

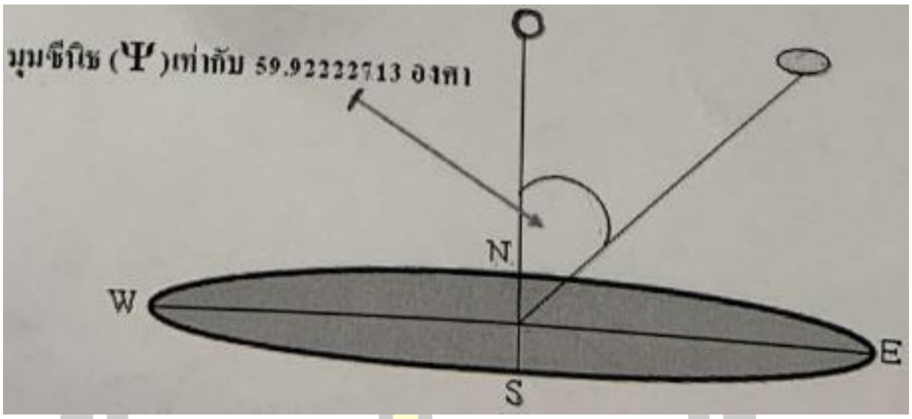
$\sin\alpha = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos w$

$= 30.077772870$

$\Psi = 90^\circ - \alpha$

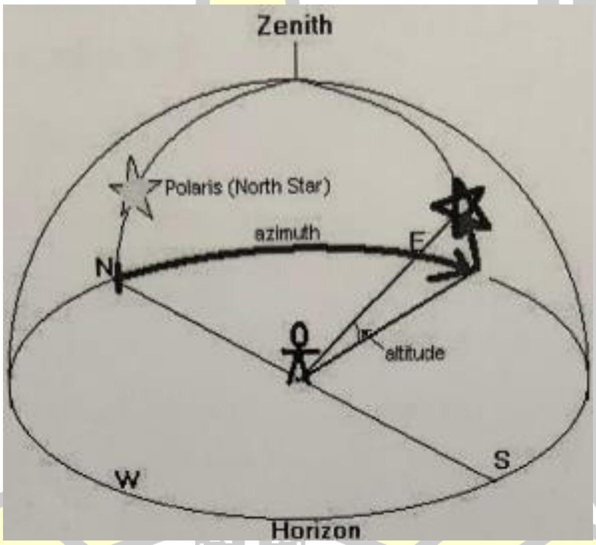
$= 59.92222713^\circ$

ดังนั้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด เส้นแวงที่ 103°41’ ตะวันออก เส้นรุ้งที่ 16°03’ เหนือ วันที่ 28 พฤศจิกายน 2547 เวลาสุริยะ 8 นาฬิกา 50 นาที 26 วินาที ได้มุมซีนิธเท่ากับ 59.92222713 ° ดังรูป



ภาพประกอบ 2.18 ทิศของมุมซีนิธที่ได้จากการคำนวน

2.4.10 มุมอะซิมุธ



ภาพประกอบ 2.19 มุมอะซิมุธ

มุมอาซิมุธเป็นมุมที่วัดจาดเส้นที่ลากจากทิศเหนือไปยังทิศใต้ไปยังตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เป็นมุมที่บอกเฉพาะทิศทางในระนาบที่ขนานกับพื้นโลกเท่านั้น โดยไม่สนใจว่าดวงอาทิตย์จะอยู่ตำแหน่งใดบนท้องฟ้า สามารถพิจารณาทิศของมุมอาซิมุธเป็นได้จากตารางดังนี้

ตาราง 2.2 ตารางเงื่อนไขการคิดทิศของ Solar Azimuth Angel

SolarAzimuthAngel(Ø)	Hours Angel(w)	นับจากทิศ	หมุน
>0	>0	ทิศใต้	ตามเข็ม
<0	>0	ทิศเหนือ	ทวนเข็ม
>0	<0	ทิศเหนือ	ตามเข็ม
<0	<0	ทิศใต้	ทวนเข็ม

เราสามารถคำนวณหาค่ามุมอาซิมุธจากความสัมพันธ์ของมุมอาซิมุธกับมุมต่าง ๆ แล้วนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปเปรียบกับตารางที่ 2.3 ได้ดังนี้

$$\tan\phi = \tan(\gamma - \pi) = \frac{\sin W}{\sin\Phi \cos W - \cos\Phi \tan\delta} \quad ° \qquad ...(2.25)$$

ตัวอย่างการคำนวณมุมอาซิมุธ

ที่จังหวัดชัยภูมิที่เส้นแวง 102°02’ ตะวันออก เส้นรุ้ง 15°48’ องศาเหนือ วันที่ 15 มิถุนายน 2547 เวลา 15 นาฬิกา 30 นาที 48 วินาที

$\triangle$ = ±4 (L_{st} – L_{lo})

= ±4 (105 – 102.0333333)

= ±11.866666 นาที

หาค่า n จาก

เดือนที่ 1 → 31

เดือนที่ 2 → 29

เดือนที่ 3 → 31

เดือนที่ 4 → 30

เดือนที่ 5 → 31

เดือนที่ 6 → 30

n → 167

หาค่า EoT

B = (360/364)* (n - 81)

= (360/364)* (167 - 81) 1

พหุปัญญา ศิโต ชีเว

= 85.05494505

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

= -0.448243735 นาที

หาค่า Solar Time

เนื่องจากเส้นแวงที่จังหวัดชัยภูมิน้อยกว่าเส้นแวงมาตรฐานแสดงว่าเวลาของจังหวัดชัยภูมิ ช้ากว่าดังนั้นเครื่องหมายที่หน้า △ เป็น -

Solar Time(ST) = Watch Time(WT) + EOT - 4 นาที

= 30.8 - 0.448243735 - 11.86666667 นาที

= 18.4850896 นาที

ดังนั้นเวลาสุริยะของจังหวัดจังหวัดชัยภูมิคือ 15 นาฬิกา 18 นาที 29 วินาที

หามุมชั่วโมง

t = 15+(18+(29/60))/60 ชั่วโมง

W = 15 (t - 12) นาที

= 49.62127245 °

หามุมเดคลีเนชัน

δ = 23.45 sin ((360 / 365) x (284+n)) °

= 23.35430046 °

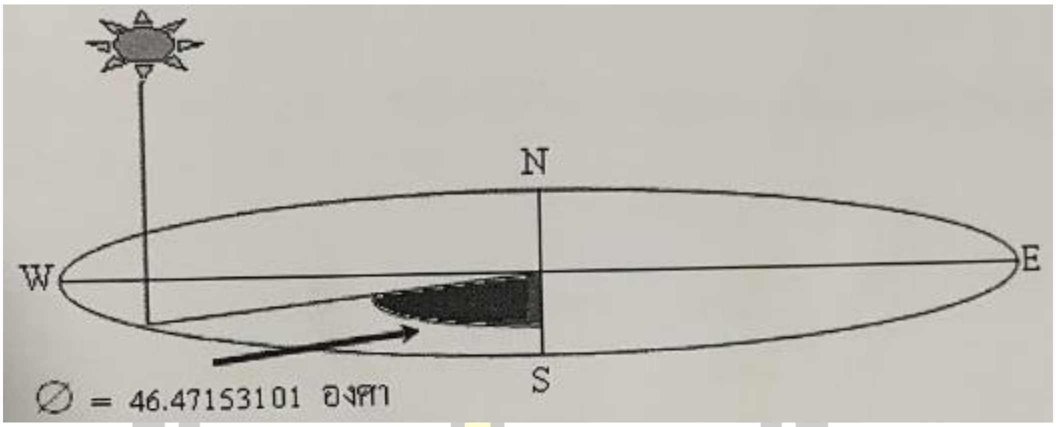
หามุมอาซิมุธ

$$\tan\phi = \tan(\gamma - \pi) = \frac{\sin W}{\sin\Phi \cos W - \cos\Phi \tan\delta} \quad ^\circ$$

∅ = 46.47153101 °

จากตารางจะได้ทิศทางของดวงอาทิตย์คือ อยู่ทางทิศใต้วัดตามเข็มนาฬิกาไป 46.47153101 °

ดังนั้นที่จังหวัดชัยภูมิที่เส้นแวง 102°02’ ตะวันออก เส้นรุ้ง 15°48’ เหนือ เวลาสุริยะของ จังหวัดจังหวัดชัยภูมิคือ 15 นาฬิกา 18 นาที 29 วินาที ดวงอาทิตย์อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้วัดจากทิศใต้ตามเข็มนาฬิกาไป 46.47153101 ° ดังรูป



ภาพประกอบ 2.20 ทิศของมุมอซิมุธที่ได้จากการคำนวณ

ในการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะมีปัจจัยสำคัญคือ เวลา และตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ เราจึงต้องปรับค่าเวลาให้ตรงตามเวลาสุริยะและใช้ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์แก้ไขตำแหน่งของดวงอาทิตย์อีกครั้งสุดท้ายจึงได้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะนั้น เมื่อเราสามารถหาเวลาสุริยะ มุมเงย และมุม Solar Azimuth Angel ได้แล้วเราก็สามารถคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เราเห็นบนท้องฟ้าได้

ตัวอย่างการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

ที่จังหวัดมุกดาหาร ที่เส้นแวงที่ 104°43’ ตะวันออก เส้นรุ้งที่ 16°32’ เหนือ วันที่ 1 กันยายน 2547 เวลา 11 นาฬิกา 5 นาที

$\Delta = \pm 4\,(L_{st} - L_{lo})$

$= \pm 4(105 - 104.7166666667)$

$= \pm 1.13333332$ นาที

หาค่า n จาก

เดือนที่ 1 → 31

เดือนที่ 2 → 29

เดือนที่ 3 → 31

เดือนที่ 4 → 30

เดือนที่ 5 → 31

เดือนที่ 6 → 30

เดือนที่ 7 → 31

เดือนที่ 8 → 31

เดือนที่ 9 → 1

n → 245

หาค่า EoT

B = (360/364)* (n - 81)

= (360/364)* (245- 81)

= 162.19780226

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

= 0.964678902 นาที

หาค่า Solar Time

เนื่องจากเส้นแวงที่จังหวัดมุกดาหาร น้อยกว่าเส้นแวงมาตรฐานแสดงว่าเวลาของจังหวัด มุกดาหาร ช้ากว่าดังนั้นเครื่องหมายที่หน้า △ เป็น –

Solar Time(ST) = Watch Time(WT) + EOT - △ นาที

= 30 + 0.964678902 - 1.13333332 นาที

= 4.831345582 นาที

ดังนั้นเวลาสุริยะของจังหวัดมุกดาหาร คือ 11 นาฬิกา 4 นาที 49 วินาที

หามุมชั่วโมง

t = 11(4+(49/60))/60 ชั่วโมง

W = 15°(t - 12)

= -13.79216355 °

หามุมเดคลิเนชัน

δ = 23.45 sin ((360 / 365) x (284+n)) °

= 7.342360109 °

หามุมเงย

Sinα = sin Φ sin δ + cos Φ cos δ cos w °

= 0.9597471106 °

α = 73.68812696 °

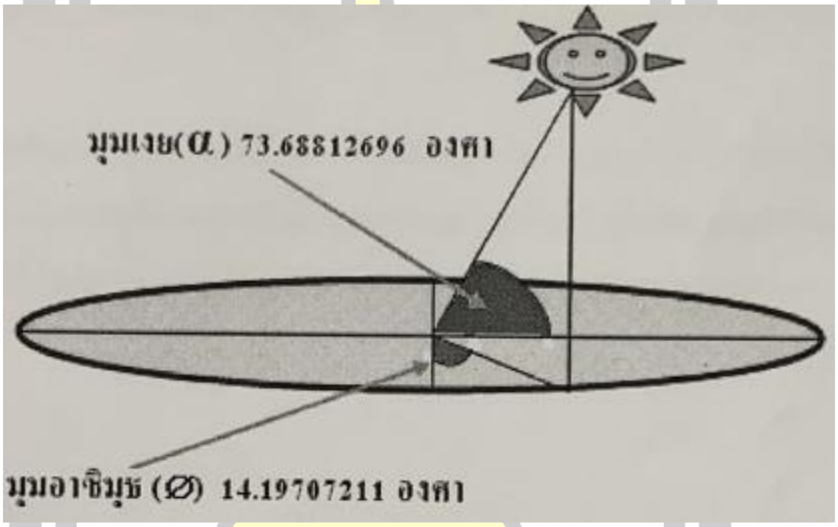
หามุมอาซิมุธ

$$\tan\phi = \tan(\gamma - \pi) = \frac{\sin W}{\sin\Phi\cos W - \cos\Phi\tan\delta} \quad °$$

Ø = - 14.19707211 °

จากตารางจะได้ทิศทางของดวงอาทิตย์คืออยู่ทางทิศใต้วัดตามทวนเข็มนาฬิกาไป 14.19707211 °

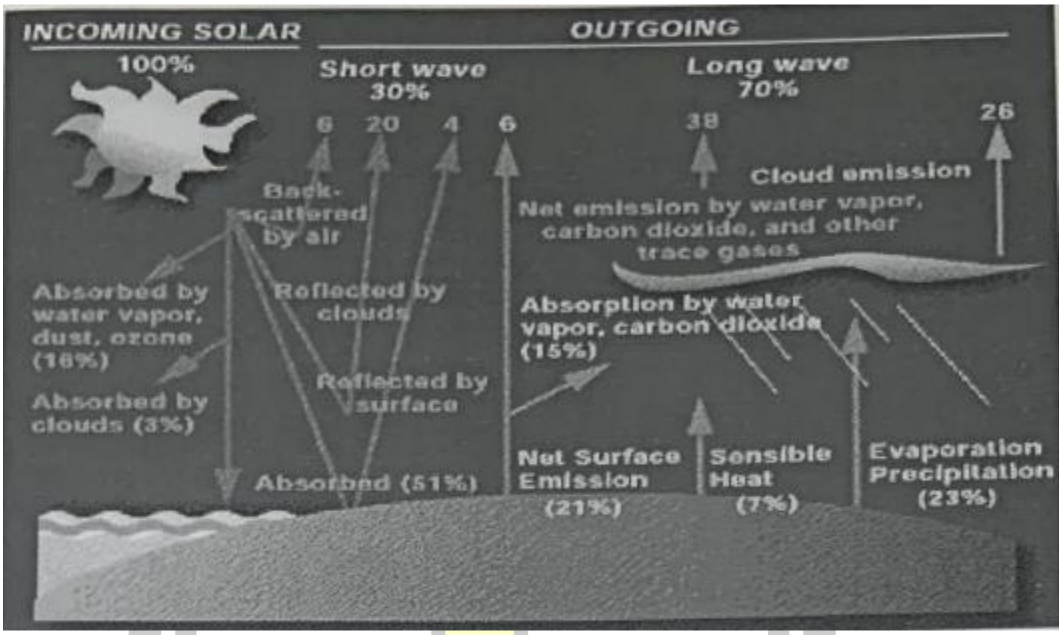
ดังนั้นที่จังหวัดมุกดาหาร ที่เส้นแวงที่ 104°43' ตะวันออก เส้นรุ้งที่ 16°32' เหนือ เวลาสุริยะของจังหวัดจังหวัดมุกดาหาร คือ 11 นาฬิกา 4 นาที 49 วินาที ดวงอาทิตย์อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้วัดจากทิศใต้ทวนเข็มนาฬิกาไป 14.19707211 ° ทำมุมเงยกับพื้นผิวโลก 73.68812696 ° ดังภาพประกอบ 2.23



ภาพประกอบ 2.21 ทิศของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ

2.4.11 ค่าอากาศมวล

เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางผ่านเข้ามาในบรรยากาศของโลกจะถูกรบกวนโดยบรรยากาศของโลกทั้งการกระเจิง การดูดกลืน และการสะท้อนกลับ เมื่อแสงแดดเดินทางผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางมากขึ้น ความเข้มของแสงก็จะลดลงเป็นลำดับโดยตามทฤษฎีแล้วจะลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ส่งผลให้ในวันเดียวกันเราจะสังเกตความเข้มของแสงแดดเปลี่ยนไป ทั้งนี้ความเข้มของแสงจะมีค่ามากที่สุดเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลางฟ้าพอดี เราสามารถบอกลักษณะความเข้มของแสงแดดได้ ตามระยะทางที่แสงเดินทางผ่านบรรยากาศ โดยค่าความเข้มแสงสูงที่สุดที่สังเกตได้ที่ผิวโลก เรียก ว่าค่าอากาศมวล 1 (Air Mass 1 - AM1) ดังนั้น แสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (ไม่ผ่านบรรยากาศ เลย) จะเรียกว่า ค่าอากาศมวล 0 (AM0)



ภาพประกอบ 2.22 Air mass ที่มีผลต่อการเดินทางขอพลังงาน และแสงสู่พื้นผิวโลก

มวลอากาศ (Air Mass, m) คือสัดส่วนของความหนาของบรรยากาศที่รังสีตรงส่องผ่านต่อ ความหนา ของบรรยากาศเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะนอกบรรยากาศกำหนดให้มวลอากาศเท่ากับ 0 สำหรับที่ระดับน้ำทะเล ถ้ามุมซีนิทมีค่าระหว่าง 0° ถึง 70° สามารถหาค่ามวลอากาศได้จากความ สัมพันธ์

$$m = \sec \Psi \quad \ldots\ldots\ldots \quad \ldots(2.26)$$

หรือ

$$m = (\cos \Psi)^{-1} \quad \ldots(2.27)$$

จากสมการ (2.26) และ สมการ (2.27) จะเห็นได้ว่าที่ระดับน้ำทะเลเมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ (Ψ = 0°) จะได้มวลอากาศเท่ากับ 1 และมีมุมซีนิทเท่ากับ 60° มวลอากาศจะเท่ากับ 2 กรณีที่ ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้ขอบฟ้าหรือมุมซีนิทมีค่าสูงกว่า 70° ส่วนโค้งของผิวโลกจะมีผลต่อมวลอากาศ มวลอากาศสามารถหาได้จาก

$$m = [1{,}229 + (614\sin\Psi)^2]^{0.5} - 614\sin\Psi$$

$$= [\sin\Psi + 0.15(\Psi + 3.9)^{-1.253}]^{-1} \qquad ...(2.28)$$

จากสมการที่ (2.26) และ (2.28) ใช้ค่ามวลอากาศที่ระดับน้ำทะเล ในกรณีที่ต้องการหาค่า มวลอากาศที่ระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเล h กิโลเมตร หรือมีความดันที่ p มิลลิบาร์ มวลอากาศสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$m = m_0\left(\frac{p}{1013.25}\right) \quad .... \qquad ...(2.29)$$

หรือ

$$m = m_0(1 - 0.1h) \quad .... \qquad ...(2.30)$$

โดยที่ m คือ มวลอากาศที่คำนวณจากสมการ (2.26) และ (2.28)

2.4.12 รังสีดวงอาทิตย์นอกโลก

พวกเราจะเห็นว่าแสงที่มายังผิวโลกเป็นแสงอาทิตย์ที่คงที่ (Solar constant : I_{sc} = 1367 W/m^2) สำหรับช่วงเวลาที่ระยะทางของดวงอาทิตย์กับโลกจะมีค่าเท่ากับ 1 AU (1 AU = 149.6 million km) ความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่มายังโลกจะมีค่าสูงสุดหรือต่ำมากต่างกันในแต่ละวัน และความเข้มของรังสีอาทิตย์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$I_n = I_{sc}[1 + 0.033\cos(360n/365)]\ \text{W/m}^2 \qquad ...(2.31)$$

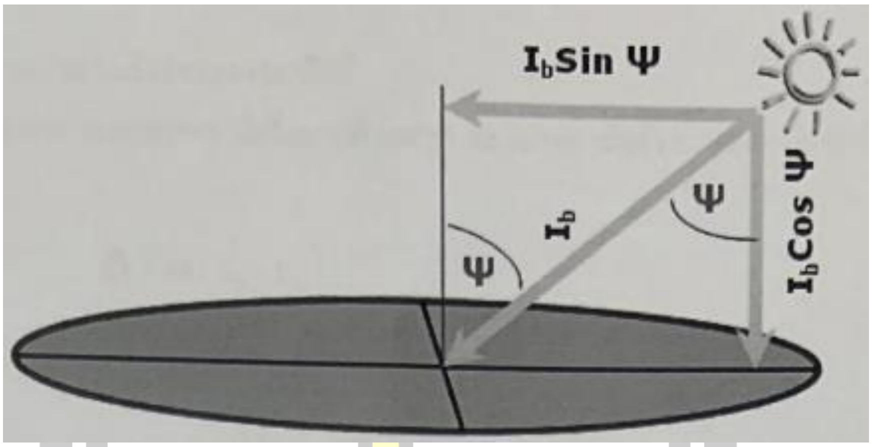
เมื่อ $1 < n < 365$ คือ จำนวนวันที่ที่ทำการวัดของปี เริ่มนับจากวันที่ 1 มกราคม

2.4.13 รังสีจากดวงอาทิตย์ตกลงมายังพื้นผิวโลก

มุมระหว่างพื้นผิวโลกกับรังสีจากดวงอาทิตย์มีผลต่อพลังงานของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังพื้นผิวโลก

$$I_h = Ees = Eeo\cos(\Psi)\quad \text{W/m}^2 \qquad ...(2.32)$$

พหุน ปญฺญา ชีโต ชีวา



ภาพประกอบ 2.23 พลังงานจากพระอาทิตย์

จากภาพประกอบ 2.25 จะเห็นว่าค่ารังสีจะให้พลังงานสูงจะต้องตกกระทบตั้งฉากกับพื้นผิวดังนั้นเรา จึงได้สมการความสัมพันธ์ของค่าพลังงานจากท้องฟ้า พลังงานจากดวงอาทิตย์และค่าพลังงานรวม ทั้งที่ส่องลงมายังพื้นผิวโลก

$$Eeg = Ees^{*} \cos(\Psi) + Eed \quad W/m^2 \qquad ...(2.33)$$

เช่นเดียวกับค่าพลังงาน ค่าความสว่างก็เช่นกันดังนั้นจากความสัมพันธ์ของค่าความสว่าง จากท้องฟ้า ความสว่างจากดวงอาทิตย์ และค่าความสว่างรวมทั้งที่ส่องลงมายังพื้นผิวโลก

$$Evg = Evs^{*} \cos(\Psi) + Evd \quad W/m^2 \qquad ...(2.34)$$

และจากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เราสามารถสรุปได้ว่าพลังงานหรือแสงสว่างใด ๆ ก็ตามจะมีค่ามากหรือน้อยก็ต่อขึ้นอยู่กับมุมที่พลังงานหรือแสงสว่างกระทำกับพื้นที่อ้างอิงโดยที่ไม่คิดค่า air mass การคำนวณหาค่า air mass ในความเป็นจริงนั้นยากมากเพราะปัจจัยที่เกี่ยวของค่อนข้างเยอะ หากเราแบ่งท้องฟ้าเป็นประเภทต่าง ๆ เพื่อเป็นเสมือนดังค่า air mass ค่าคงที่ใด ๆ ตามสภาพท้องฟ้านั้น ดังนั้นเราจึงได้สมการพลังงานหรือแสงสว่างใด ๆ

$$E = A^{*}\sin B(\alpha) \quad W/m^2 \quad .... \qquad ...(2.35)$$

เมื่อ E = พลังงานหรือแสงสว่างใด ๆ

α = Solar Altitude Angle

A และ B เป็นค่าคงที่ซึ่ง ได้จากการ Regression ของแต่ละสภาพท้องฟ้าตัวอย่าง การคำนวณรังสีจากดวงอาทิตย์จังหวัดอุบลราชธานีเส้นแวงที่ 104°52’ ตะวันออก เส้นรุ้ง 15°16’ เหนือ วันที่ 12 สิงหาคม 2547

Δ = ±4 (L_{st} - L_{lo})

= ±4 (105 – 104.8666666667)

= ±0.5333332 นาที

หาค่า n จาก

เดือนที่ 1 → 31

เดือนที่ 2 → 29

เดือนที่ 3 → 31

เดือนที่ 4 → 30

เดือนที่ 5 → 31

เดือนที่ 6 → 30

เดือนที่ 7 → 31

เดือนที่ 8 → 12

n → 225

หาค่า EoT

B = (360/364)* (n - 81)

= (360/364)* (225- 81) = 142,0273973

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

= -4.5615220731 นาที

หาค่า Solar Time

เนื่องจากเส้นแวงที่จังหวัดมุกดาหาร น้อยกว่าเส้นแวงมาตรฐานแสดงว่าเวลาของจังหวัด มุกดาหาร ช้ากว่าดังนั้นเครื่องหมายที่หน้า Δ เป็น -

Solar Time(ST) = Watch Time(WT) + EOT – Δ นาที

= 60 - 4.5615220731 - 0.5333332 นาที

= 54.90514607 นาที

ดังนั้นเวลาสุริยะของจังหวัดมุกดาหาร คือ 11 นาฬิกา 54 นาที 54 วินาที

หามุมชั่วโมง

$t = 11+(54+(54/60))/60$ ชั่วโมง

$W = 15° (t - 12)$

$= -1.27371345$ °

หามุมเดคลิเนชัน

$\delta = 23.45 \sin((360 / 365) \times (284 + n))$ °

$= 14.42842387$ °

หามุมเงย

$\sin\alpha = \sin\Phi \sin\delta + \cos\Phi \cos\delta \cos w$ °

$\alpha = 82.85385616$ °

$\Psi = 90° - \alpha$

$= 7.146143843$ °

ค่ารังสีพระอาทิตย์ที่มาจากนอกโลก

$Eeo = I_{sc}[1 + 0.033\cos(360n / 365)]$

$= 1,333.432727$ W/m^2

หาค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นผิวโลก

$Ees = Eeo*\cos(\Psi)$

$= 1,323.074718$ W/m^2

ดังนั้นที่จังหวัดอุบลราชธานีเส้นแวงที่ 104°52’ ตะวันออก เส้นรุ้ง 15°16’ เหนือ เวลาสุริยะ 11 นาฬิกา 54 นาที 54 วินาทีรังสีจากดวงอาทิตย์ 1,323.074718 W/m^2

2.4.14 มุมที่รังสีดวงอาทิตย์ตกมายังพื้นผิวโลก

บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร มุมรังสีดวงอาทิตย์ลงมาถึงพื้นผิวโลกในลักษณะตั้งฉาก หรือ เกือบตั้งฉากตลอดเวลา เป็นเหตุให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมายังพื้นโลกมีความเข้มสูง ขณะเดียวกัน บริเวณที่ขั้วโลก รังสีที่ตกลงมายังพื้นผิวส่วนใหญ่จะเฉียงมาก ทำให้ความเข้มของรังสีน้อยกว่าดังนั้น บริเวณที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงมีอุณหภูมิสูง ส่วนบริเวณขั้วโลกจึงมีอุณหภูมิต่ำ

ประเทศไทยพื้นที่ส่วยใหญ่อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 6 °เหนือ ถึง 20 °เหนือ นับว่าใกล้เส้นศูนย์สูตรทุก ๆ ส่วนของประเทศไทยมีเกิดรังสีตั้ง ฉากปีละ 2 ครั้ง

ดังนั้นประเทศไทยจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มาก เราจะสังเกตุได้จากเมื่อถึงตอนเที่ยงวัน ตำแหน่งของพระอาทิตย์จะอยู่เกือบกลางศรีษะ

พหูชนํ ปณฺฑิโต ชีเว

จากรูปจะเห็นว่าพื้นที่ที่จะเกิดรังสีของดวงอาทิตย์ตั้งฉากนั้นจะตั้งอยู่ในบริเวณเส้นรุ้งที่ 23.45 °ใต้ ถึง 23.45 °เหนือเท่านั้น เกินนั้นขึ้นไปจะไม่เกิด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแกนโลกเอียง 23.45 °นั้นเอง

การที่จะรู้ว่าพื้นที่นั้นจะเกิดรังสีพระอาทิตย์ตั้งฉากเมื่อไหร่นั้นสามารถดูได้จาก อนาเลมมา

การเขียนรายงานการทดสอบ ตัวแปรต่างที่ใช้ในการให้เกณฑ์ของการทดสอบ

M = ข้อมูลที่ทำการทดสอบเป็นข้อมูลเสีย

U = ไม่ได้รับการทดสอบ

I = อยู่ในระหว่างการวิเคราะห์

V = ข้อมูลที่ทำการทดสอบถูกต้อง

0 = ยังมีข้อสงสัยในตัวข้อมูลอยู่

หลักในการพิจารณาผลของการทดสอบ

วิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้ไม่ผ่าน

วิเคราะห์ต่อว่าสามารถนำผลการวิเคราะห์มาสรุปได้อีกว่าจะให้เป็น V หรือ Q

พิจารณาว่าข้อมูลถูกต้องจริงหรือไม่แล้วสามารถนำผลการพิจารณามาสรุปได้อีกว่าจะให้เป็น I หรือ O หรือ ทำการตัดทิ้ง

ทำการตรวจสอบเครื่องมือวัดเพราะอาจเกิดการผิดพลาดที่ตัวเครื่องมือวัดก็ได้ เช่น การตั้งของแถบบังเงาเป็นต้น

2.4.15 การหาระยะเวลาที่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์

การที่แกนของโลกเอียง 23.45 ° และโคจรไปรอบดวงอาทิตย์ตามตำแหน่งต่างๆ ที่โคจรจะทำให้บางส่วนของพื้นผิวโลกที่เหนือ และใต้เส้นศูนย์สูตรจะมีระยะเวลาได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์แตกต่างกัน เช่น ตั้งแต่เดือนเมษายน จนถึงต้นเดือนกันยายนบริเวณใกล้ขั้วโลกเหนือจะได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เกือบตลอด 24 ชั่วโมง

แต่พอเดือน ตุลาคม ถึง เดือนมีนาคม บริเวณใกล้ขั้วโลกเหนือจะไม่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เกือบตลอด 24 ชั่วโมง การที่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะเวลานานเท่ากับได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์มาก อุณหภูมิก็จะสูงขึ้น แต่ระยะที่ไม่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ หรือได้รับน้อย จะทำให้อุณหภูมิต่ำ ในกรณีของขั้วโลกแม้จะได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ที่ได้รับเฉียงมาก สำหรับบางบริเวณที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรมากระยะเวลาที่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์จะแตกต่างกันมากในแต่ละวันในรอบปี ส่วนบริเวณเส้นศูนย์สูตรระยะเวลาที่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์จะไม่ต่างกันมากนัก จึงทำให้ประเทศที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมีอุณหภูมิสูงตลอดทั้งปี

พื้นที่ส่วนต่างๆของประเทศไทย ซึ่งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ดังนั้นเวลาที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ในรอบปี จึงไม่แตกต่างกันมากนัก พื้นที่ของประเทศไทยส่วนที่อยู่ไกลเส้นศูนย์สูตรที่สุดคือ เช่นจังหวัดเชียงรายช่วงได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุดคือ 13 ชั่วโมงนิดหน่อย ส่วนช่วงที่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุดคือ 11 ชั่วโมง

การคำนวณหาความยาวนานของวันคือคิดเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้น และตกนั้นคือ คิดมุมเงยเท่ากับ 0 ° หรือมุมซีนิธเท่ากับ 90 °

จากสมการที่(2.4.7)มุมเงยเป็น 0 °

$$\text{Sin} \propto = \sin\emptyset \sin\delta + \cos\emptyset \cos\delta \cos w$$

$$\text{Sin}0 = \sin\emptyset \sin\delta + \cos\emptyset \cos\delta \cos w$$

$$0 = \sin\emptyset \sin\alpha + \cos\emptyset \cos\delta \cos w$$

$$\cos w = [-\frac{\sin\emptyset \sin\delta}{\cos\emptyset \cos\delta}]$$

$$15°(t-12) = \cos^{-1}[-(\tan\emptyset \tan\delta)]$$

เนื่องจากพจน์เป็นการคิดว่าเวลานับจากเที่ยงมาจึงพระอาทิตย์ขึ้นเป็นเวลากี่ชั่วโมง (t-12) แต่เราต้องการคิดทั้งวันดังนั้นจะได้สมการ ระยะเวลาที่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (Day Length) คือ

$$\text{Day Length} = \left(\frac{2}{15}\right)\{\cos^{-1}[-(\tan\emptyset \tan\delta)]\}$$

ตัวอย่างการคำนวณหา Day Length

ที่จังหวัดขอนแก่นที่เส้นแวงที่ 102°50’ ตะวันออก เส้นรุ้ง 16°26’เหนือ วันที่ 31 มกราคม 2547

n = 31

หามุมเดคลีเนชัน

$$\delta = 23{,}45\sin(\frac{360}{365(284+n)}) \quad °$$

$$= -17.7822712 \quad °$$

พหุนปัญญาศึกษา ชีเว

หา Day Length

$$\text{Day Length} = \left(\frac{2}{15}\right)\{cos^{-1}[-(\tan\emptyset\tan\delta)]\}$$

$$= 11.27625097 \quad \text{ชั่วโมง}$$

ดังนั้นระยะเวลาที่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ คือ 11 ชั่วโมง 16 นาที 34 วินาทีหาเวลาพระอาทิตย์ขึ้น

$$\text{Sunshine Time} = 12 - (11.27625097/2)$$

$$= 6.361874515 \quad \text{ชั่วโมง}$$

ดังนั้นพระอาทิตย์ขึ้นเวลา 6 นาฬิกา 21 นาที 42 วินาที

หาทิศที่พระอาทิตย์ขึ้น

หามุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ขึ้น

$$t = 6 + (21 + (42/60)/60 \quad \text{ชั่วโมง}$$

$$w = 15°(t-12)$$

$$= -84.5718828 \quad °$$

หามุมอาซิมุธที่พระอาทิตย์

$$\tan\emptyset = \tan(\gamma - \pi) = \frac{\sin w}{\sin\emptyset\cos w - \cos\emptyset\tan\delta} \quad °$$

$$\emptyset = -71.43333874 \quad °$$

ดังนั้นพระอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงใต้วัดจากทิศใต้ทวนเข็มนาฬิกาไป 71.43333874 °

หาเวลาพระอาทิตย์ตก

$$\text{Sunshine Time} = 12 + (11.27625097/2)$$

$$= 17.63812549 \quad \text{ชั่วโมง}$$

ดังนั้นพระอาทิตย์ตกเวลา 17 นาฬิกา 38 นาที 17 วินาที

หาทิศที่พระอาทิตย์ตก

หามุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ตก

$$t = 17 + (38 + (17/60)/60 \quad \text{ชั่วโมง}$$

$$w = 15°(t - 12)$$

$$= 84.5718828 \quad °$$

หามุมอาซิมุธที่พระอาทิตย์

$$\tan\emptyset = \tan(\gamma - \pi) = \frac{\sin w}{\sin\emptyset \cos w - \cos\emptyset \tan\delta} \quad °$$

$$\emptyset = 71.43333874 \quad °$$

ดังนั้นพระอาทิตย์ตกทางทิศตะวันตกเฉียงใต้วัดจากทิศใต้ตามเข็มนาฬิกาไป 71.43333874 °

สรุปจากที่คำนวณที่จังหวัดขอนแก่นที่เส้นแวงที่ 102°50’ ตะวันออก เส้นรุ้ง 16°’ เหนือ วันที่ 31 มกราคม 2547

ระยะเวลาที่ได้รับรังสี และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ คือ 11 ชั่วโมง 16 นาที 34 วินาที

พระอาทิตย์ขึ้นเวลา 6 นาฬิกา 21 นาที 42 วินาทีทางทิศตะวันออกเฉียงใต้วัดจากทิศใต้ทวนเข็มนาฬิกาไป 71.43383334 °

พระอาทิตย์ตกเวลา 17 นาฬิกา 38 นาที 17 วินาทีทางทิศตะวันตกเฉียงใต้วัดจากทิศใต้ตามเข็มนาฬิกาไป 71.43383334 °

2.5 ข้อมูลเซนเซอร์

2.5.1 Pyranometer CMP11

ภาพประกอบ 2.24 Pyranometer CMP11

Pyranometer รุ่น CMP11 นี้สามารถวัดรังสีอาทิตย์ได้โดยการเปลี่ยนรังสีอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยค่าที่วัดออกมาได้ตั้งแต่ 0 – 20 mV และเมื่อต่อเข้ากับดาต้าล็อกเกอร์ จะอ่านค่าออกมาได้เป็นหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร โดยค่าสูงสุดที่วัดได้คือ 4,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อัตราการตอบสนอง 1.7 วินาที ที่ความแม่นยำ 63% และ อัตราการตอบสนอง 5 วินาที ที่ความแม่นยำ 95%

2.5.2 Grove-Sunlight Sensor Si1145

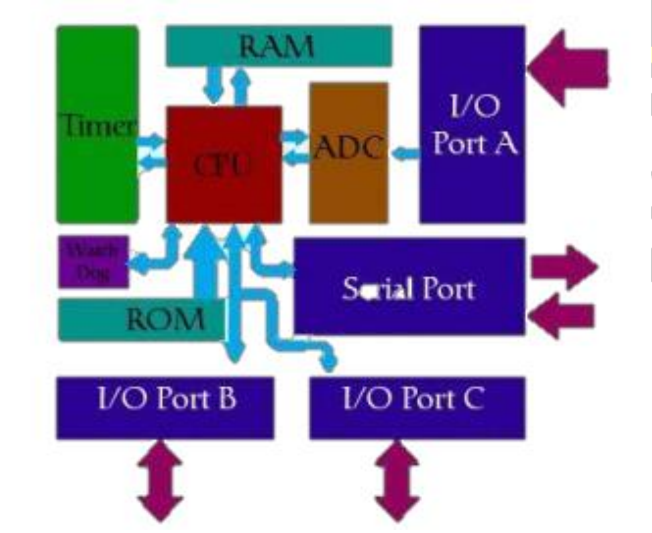
ภาพประกอบ 2.25 Grove - Sunlight Sensor Si1145

Grove - Sunlight Sensor เป็นเซ็นเซอร์ที่มีความสามารถในการตรวจจับรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) แสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ (Visible light) และแสงอินฟราเรด (IR) ใช้ชิป SI1145 ในการประมวลผล หัว Connector เป็นแบบ Grove รูปแบบการเชื่อมต่อเป็นแบบ I2C เป็นเซนเซอร์ที่ผลิตโดยบริษัท SiLabs

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.6.1 ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (อังกฤษ: Microcontroller มักย่อว่า µC, uC หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียูหน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกันไมโครคอนโทรลเลอร์แปลความหมายแบบตรงตัวก็คือ ระบบคอนโทรลขนาดเล็กเรียกอีกอย่าง หนึ่งคือเป็นระบบ คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านกระบวนการออกแบบ วงจรให้เหมาะกับงานต่างๆ และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขา Input / Output เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้อีกด้วย ซึ่งก็นับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุคใช้งานได้หลากหลาย ทั้งทางด้าน Digital และ Analog ยกตัวอย่างเช่น ระบบสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ,ระบบบัตรคิว,ระบบตอกบัตรพนักงานและอื่นๆอีกมากมายยิ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบ Network ของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้อีกด้วย ดังนั้นการสั่งงานจึงไม่ใช่แค่หน้าแผงวงจรแต่อาจจะเป็นการสั่งงานอยู่คนละซีกโลกผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตก็ได้



ภาพประกอบ 2.26 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่างๆ ที่ได้รับความนิยมและมีพัฒนาการมาจนถึงปัจจุบันมีดังนี้

1) Z-80

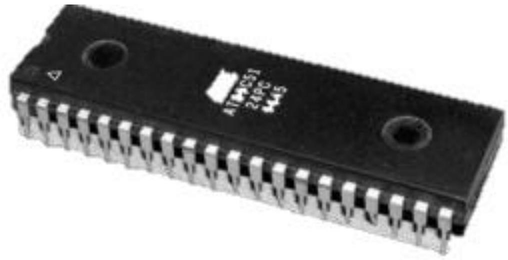
ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นิยมใช้กัน เริ่มตั้งแต่ตัวแรกที่เป็นลักษณะของ CPU ไม่ถึงขั้น เรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็คือ ตระกูล Z80 เป็นลักษณะของ CPU เล็กๆ ที่ต้องอาศัย IO ต่างๆ เพิ่มเติมเข้ามามาก จึงทำให้บอร์ดมีขนาดค่อนข้างใหญ่ จัดได้ว่าเป็นการเริ่มต้นการเรียนรู้ที่ดีของยุคสมัยนั้น ทำให้ได้เรียนรู้ชุดคำสั่งที่เป็น Op Code

ภาพประกอบ 2.27 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Z-80

ภาพประกอบ 2.28 บนบอร์ดทดลองจริง

2) MCS-51

บริษัทที่สร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นบริษัทแรกคือบริษัท Intel ตระกูล MCS-51 เป็นตระกูลที่พัฒนาต่อจาก Z80 ทำให้การศึกษาเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ง่ายขึ้นกว่าเดิม ไม่ว่าจะเป็นการเขียนโปรแกรมในลักษณะของ Assembly Code แล้วโหลดลงบอร์ดเพื่อใช้งาน ตลอดจนสถาปัตยกรรมในการออกแบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้จะช่วยลดอุปกรณ์รอบข้างลงไปได้มาก เหมาะที่จะนำไปใช้งานจริง



ภาพประกอบ 2.29 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ตัวอย่างการต่อใช้งาน MCS-51 บนบอร์ดทดลองจริง อุปกรณ์รอบข้างจะน้อยกว่า Z-80 มากทำให้ออกแบบวงจรได้ง่ายขึ้นมาก

ภาพประกอบ 2.30 ตัวอย่างการต่อใช้งาน MCS-51 บนบอร์ดทดลอง

3) PIC

บริษัท Microchip Technology เป็นผู้สร้างและผลิต PIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ยุคต่อมาที่ได้รับความนิยมสูงอีกตระกูลหนึ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คำว่า PIC ย่อมาจากคำว่า (Peripheral Interface Controller) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ มีการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นในทุกด้าน ทำให้ได้รับความนิยมกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ยุคเก่า เพราะในเรื่องของอุปกรณ์ต่อพ่วงที่มีน้อย ประกอบกับมีหน่วยความจำ EEPROM ในตัว จึงทำให้ง่ายต่อการบันทึกและจัดเก็บข้อมูล และ PORTต่างๆ ได้มีการ latch ในตัว IC อยู่แล้ว จึงสามารถต่อออกมาใช้งานภายนอกได้โดยตรง มีกระแสและแรงดันที่เพียงพอ และอีกความสามารถหนึ่ง คือสามารถโปรแกรมตัว Boot Loader เข้าไปในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ จึงทำให้ง่ายในการโหลดโปรแกรมเข้าไปจากคอมพิวเตอร์ เครื่องโปรแกรม IC เพิ่มเติม อย่างที่ต้องมีกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นเก่าอย่าง MCS-51

ภาพประกอบ 2.31 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ตัวอย่างการต่อใช้งาน PIC กับบอร์ดทดลองจริง ฟังก์ชั่นการใช้งานค่อนข้างครบ และโปรแกรมง่าย โดย CCS, HI-TECH C Compiler, C18 C Compile, C30 C Compiler, MPLAB

ภาพประกอบ 2.32 ตัวอย่างการต่อใช้งาน MCS-51 บนบอร์ดทดลอง

4) AVR

AVR เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นต่อมาที่มีการพัฒนาต่อมาจาก MCS-51 โดยบริษัท ATMEL อันเนื่องมาจากว่า MCS-51 ยุคหลังนี้ไม่ค่อยมีคนใช้งานจริง และมีใช้งานแต่เฉพาะในสถาบันการศึกษา เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าการออกออกแบบวงจรที่ค่อนข้างยุ่งยาก และต้องอาศัยการต่ออุปกรณ์ร่วมเยอะนั้นเองดังนั้น AVR จึงเข้ามาเป็นที่นิยมในการท างานด้านนี้ โดยคุณสมบัติหลักที่น่าสนใจก็คือ สามารถ Interfaceผ่าน USB ได้โดยตรง ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ยุคเก่าทำได้โดยต่อผ่านพอร์ต RS-232 แต่เนื่องด้วยคอมพิวเตอร์ยุคใหม่ พอร์ต RS-232 เริ่มหายาก ดังนั้น AVR จึงได้รับความนิยม

ภาพประกอบ 2.33 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

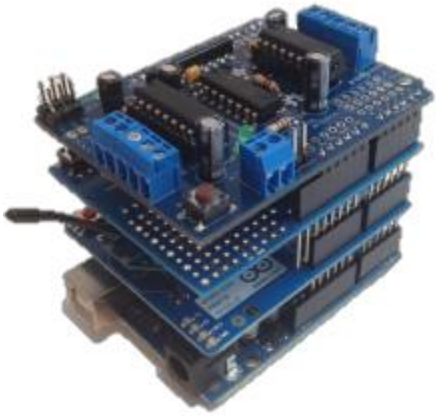
ตัวอย่างการต่อ AVR ใช้งานบนบอร์ดที่มีลักษณะใกล้เคียงกับไมโครคอมพิวเตอร์

ภาพประกอบ 2.34 ตัวอย่างการต่อใช้งาน AVR

5) Arduino

Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูปในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจาก Controller ตระกูล ARM ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ OpenSource ที่สามารถน าไปพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่างๆได้และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loaderเข้าไปที่ตัว ARM จึงท าให้การ Upload Code เข้าตัวบอร์ดสามารถท าได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนา Software ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ดของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการใช้งาน ตัวบอร์ดสามารถน าโมดูลมาต่อเพิ่ม ซึ่งทาง Arduino เรียกว่าเป็น shieldเพื่อเพิ่มความสามารถเพิ่มขึ้น

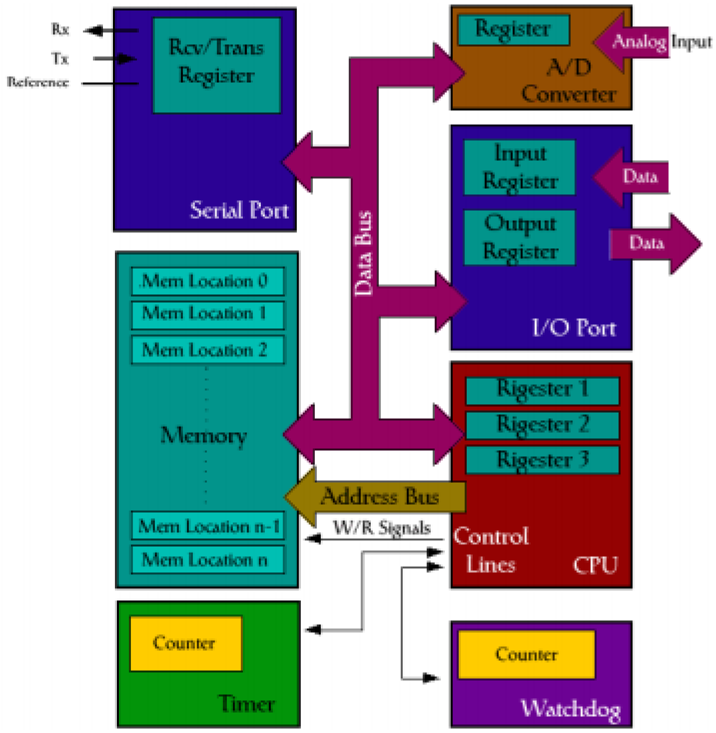
ภาพประกอบ 2.35 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino



ภาพประกอบ 2.36 ตัวอย่างการต่อใช้งาน Arduino บนบอร์ด Shield สำเร็จรูป

2.6.2 หน้าที่ส่วนต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 2.37 หน้าที่ส่วนต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์

1) หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

2) หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือหน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เช่น Flash Memory ลักษณะการทำงานของหน่วยความจำนี้ เป็นหน่วยความจำที่อ่าน-เขียนได้ด้วยไฟฟ้า เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกับกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยงในการทำงานข้อมูลจะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง

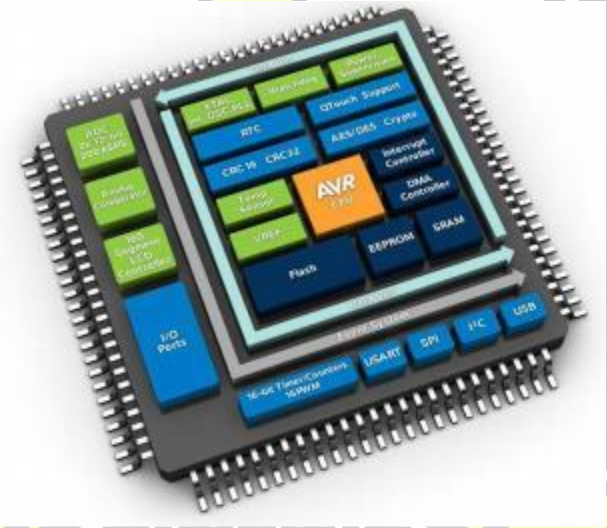
3) ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก พอร์ตอินพุตรับสัญญาณเพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปแสดงผลที่พอร์ตเอาต์พุต เช่นการติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

4) ช่องทางเดินของสัญญาณ คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้น ส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไป

2.6.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

AVR เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลหนึ่งผลิตโดยบริษัท Atmel AVR อยู่ในรูปแบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) มีลักษณะสถาปัตยกรรมเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computing) มีความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่งต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำโดยบางรุ่นใช้ไฟเพียง 1.5 V - 5.5 V เท่านั้น และยังมีโหมดประหยัดพลังงานอีก 6 โหมด



ภาพประกอบ 2.38 สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

2.7 การวิเคราะห์ถดถอย(Regression Analysis)

การวิเคราะห์ถดถอย เป็นวิธีการทางสถิติที่ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ทราบค่า เรียกว่าตัวแปรอิสระ(Idepedent variation) หรือเรียกว่าตัวพยากรณ์(Prediction) นิยมใช้

สัญลักษณ์ X ซึ่งสามารถนำมาพยากรณ์ค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่งได้ เรียกว่า ตัวแปรตาม (Depedent variation) ใช้สัญลักษณ์ Y

ข้อแตกต่างระหว่างการการถดถอยกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ คือ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียงแต่ศึกษาว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันมากน้อยหรือไม่ มีขนาดและทิศทางเป็นอย่างไร แต่ไม่ได้ใช้พยากรณ์ ส่วนการวิเคราะห์การถดถอยสามารถใช้พยากรณ์ได้ด้วย

การวิเคราะห์ถดถอยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1) การวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย(Simple Regreesion Analysis)

2) การวิเคราะห์ถดถอยเชิงซ้อน(Multible Regreesion Analysis)

การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่สามารถบอกได้ว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรใดเป็นตัวแปรตาม ซึ่งความสัมพันธ์ ของตัวแปรทั้งสองจะอยู่ในรูปแบบใดๆ เช่น เส้นตรง เส้นโค้ง ฯลฯ ในระดับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะความสัมพันธ์ลักษณะเส้นตรงเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า การวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย (Simple Regreesion Analysis) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้นหรือเส้นตรง โดยมีรูปแบบของสมการเส้นตรง y = a + bx เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่ [18]

สมการการถดถอยของตัวอย่างเขียนในรูปของค่าสถิติ ได้คือ

y = a + bx

y = ตัวแปรตาม

x = ตัวแปรอิสระ

a = ค่าคงที่

b = ค่าสัมประสิทธิ์ของ x

โดย

$$b = \frac{n\varepsilon xy - (\varepsilon x \varepsilon y)}{n\varepsilon x^2 - (\varepsilon x)^2}$$

n = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

และ

a = y’ – bx’

y’ = ค่าเฉลี่ยของ y

x’ = ค่าเฉลี่ยของ x

2.8 ค่าความถูกต้องแม่นยำ

ความถูกต้อง หรือ ความแม่นยำ (accuracy) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัด (instrument) ในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริงโดยการคำนวณค่าความถูกต้อง/ความแม่นยำใช้สมการ

$$\%Accuracy = 100 - \%Error$$

โดยที่

$$Relative\ error = \left|\frac{x_{mea} - x_t}{x_t}\right|$$

$$\%Error = Relative\ error \times 100$$

เมื่อ X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (measure value)

X_t คือ ค่าจริง (true value)

ตัวอย่างเช่น ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าที่แท้จริงคือ 200 V เมื่อนำมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ามาวัดสามารถอ่านค่าได้ 204 205 203 203 และ 205 V แสดงว่าเครื่องมือวัดนี้มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 97.5% หรือมีค่าความคลาดเคลื่อน (error) เท่ากับ 2.5% มีค่าความสามารถในการอ่านค่าซ้ำ (repeatability) อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

เครื่องมือวัดที่ให้ค่าความแม่นยำต่ำอาจเป็นเพราะเครื่องมือวัดขาดการสอบเทียบ (calibration) ดังนั้น หากต้องการให้เครื่องมือวัดอ่านค่าได้ถูกต้องควรทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดอย่างสม่ำเสมอ [19]

2.9 สหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (หรือข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป) ตัวอย่างการศึกษาความสัมพันธ์ เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุและความดันโลหิต ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูงกับน้ำหนัก ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการศึกษากับพฤติกรรมการดูแลตนเอง ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของเด็กกับวิธีการอบรมเลี้ยงดูเด็ก ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพครอบครัวกับการติดยาเสพติดในวัยรุ่น เป็นต้น ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใดนั้น จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation

coefficient) เป็นค่าที่วัดความสัมพันธ์ ซึ่งโดยวิธีการทางสถิติมีอยู่หลายวิธี การใช้สถิติตัวใดขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวแปรหรือระดับของการวัดในตัวแปรนั้นๆ ดังนั้น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จึงมีทั้งแบบที่เป็นสถิติพาราเมตริกและสถิตินอนพาราเมตริก

ในการวัดความสัมพันธ์แต่ละแบบจะต้องมีการทดสอบนัยสำคัญก่อน จึงจะสรุปได้ว่าตัวแปรคู่ใดมีความสัมพันธ์กันจริงหรือไม่ มากน้อยเพียงใด สำหรับการแปลผลจะมองในแง่ของความเกี่ยวพัน ความสอดคล้อง การแปรผันร่วมกัน หรือไปด้วยกัน แต่ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรหนึ่งเป็นเหตุและอีกตัวแปรเป็นผล (หรือไม่สามารถระบุได้ว่าตัวแปรไหนเป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรตาม) เช่น ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูงกับน้ำหนัก เราไม่สามารถบอกได้ว่าส่วนสูงหรือน้ำหนักตัวใดเป็นเหตุ และตัวใดเป็นผล บอกได้เพียงว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีขนาดของความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยทั่วไปนิยมใช้สัญญลักษณ์ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง (บางชนิดจะใช้สัญญลักษณ์ C, W หรืออื่นๆ) และ ρ แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่ใช้วัดขนาดของความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร มี 2 ลักษณะ คือ $-1 \leq r \leq 1$ และ $0 \leq r \leq 1$

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
.90 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
.70 - .90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
.50 - .70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
.30 - .50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
.00 - .30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย +,- หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์ โดยที่หาก

r มีเครื่องหมาย + หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูงไปด้วย)

r มีเครื่องหมาย - หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัว

แปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ)

ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางชนิดที่มีลักษณะ $0 \leq r \leq 1$ ซึ่งจะบอกได้เพียงขนาดหรือระดับของความสัมพันธ์เท่านั้น ไม่สามารถบอกทิศทางของความสัมพันธ์ได้

2.10 เอกสารอ้างอิงงานวิจัย

เกรียงไกร รักคำ (2560) เสนอการพัฒนาชุดตรวจวัดและบันทึกข้อมูล พร้อมแสดงผลสภาวะอากาศ อุณภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ความเข้มแสงอาทิตย์และปริมาณน้ำฝน โดยใช้เซ็นเซอร์และบอร์ด Arduino ในการพัฒนา จากผลการทดลองพบว่าในการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายใช้ได้จริงและใช้โมดูล Zigbee มาเป็นตัวรับส่งข้อมูลได้ไกลสุดในที่โล่ง 120 m และเมื่อนำเสาตรวจอากาศขึ้นไปไว้บนดาดฟ้า การรับส่งข้อมูลได้ไกลสุดถึงชั้น3ของอาคาร คิดเป็นระยะทางประมาณ 70 m ทั้งนี้เนื่องมาจากสิ่งกีดขวางของตัวตึกและสิ่งอื่นๆในส่วนการแสดงผลนั้นมีการแสดงแบบตารางโดยใช้โปรแกรม Appserv และแสดงแบบกราฟโดยใช้โปรแกรม ThingSpeak ได้แสดงผลเป็น 2 ส่วนคือแสดงในระบบคอมพิวเตอร์ที่มีระบบ databass สามารถดูย้อนหลังได้และแสดงแบบ real time ในทุกๆ 30s ส่วนการแสดงในระบบแอนดรอยด์มีการแสดงแบบ real time ในการแสดงนั้นจะแสดงได้ในระยะ wifi ที่ปล่อยสัญญาณมาเท่านั้น จากผลการทดลองใช้เครื่องวัดเทียบอ้างอิงเห็นได้ว่าเสาตรวจอากาศที่สร้างขึ้นนั้นใช้ได้จริงมีค่าใกล้เคียงกันอาจจะมีค่าผิดพลาดเล็กน้อย

สุรกิจ ทองสุก (2561) ได้ทำการเปรียบเทียบถึงระยะเวลาในการคืนทุนในการติดตั้งการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการคำนวณจะมีระยะเวลาในการคืนทุนใกล้เคียงกัน เพราะผลที่ได้จากการวัดค่าจริงปริมาณการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการผลิตเช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และอื่นๆผลการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ชี้ให้เห็นว่าการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคานั้น มีอัตราการคืนทุนที่เหมาะสมสำหรับการลงทุน [13]

เสาวรีย์ อรุณรัตนวงศ์ (2560) ทดสอบเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์จากแผงโซล่าร์เซลล์ขนาด 3 โวลต์ 5 โวลต์ ที่ได้จากอัลกอริทึมที่ออกแบบเทียบกับไพรานอร์มิเตอร์ ดังกราฟรูป 5 พบว่าค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีความคลาดเคลื่อนลดลง เมื่อเทียบกับผลการวัดที่ได้ก่อนการปรับค่าด้วยการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูล และฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 1.13 และ 1.19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการใช้แผงโซล่าร์เซลล์ตามลำดับเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการใช้โฟโต้ไดโอดเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า [14]

Jian Zhang (2016) ใช้ระบบ IOT เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมและการเจริญเติบโตของดอกไม้เขตร้อนโดยส่งข้อมูลเซนเซอร์ผ่านสัญญาณไร้สาย 3G [20]

Sun Yuwen (2013) ได้ทำการออกแบบระบบการเก็บข้อมูลพื้นที่การเกษตรโดยใช้ zigbee แล้วทำการส่งข้อมูลผ่านสัญญาณ GPRS ไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์กลาง [17]

Hikma Shabani (2017) ได้ทำการตรวจสอบสภาพอากาศภายในโรงเรือนเกษตรโดยติดตั้งเซนเซอร์ไว้ในโรงเรือนควบคุมด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ซึ่งระบบสามารถตรวจสอบและควบคุมผ่านอุปกรณ์มือถือรับส่งสัญญาณด้วยระบบGSM จากผลการวิจัยพบว่าระบบที่นำเสนอนี้สามารถติดตามและประเมินสภาพโรงเรือนเกษตรได้อย่างถูกต้อง [21]

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 3

วิธีดำเนินการงาน

การดำเนินงานในการพัฒนา การออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์ได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็นส่วนย่อยดังนี้

3.1 วิธีการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำนินการ

3.3 ออกแบบการทดลอง

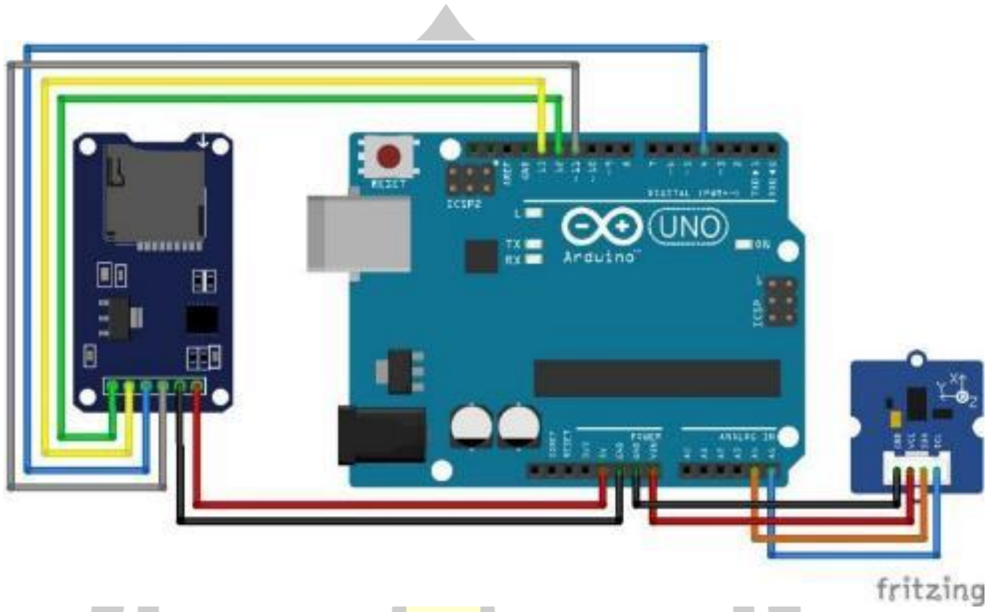
3.1 วิธีการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์

3.1.1 การเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์ด้วย Pyrometer CMP11

ภาพประกอบ 3.1 การใช้งาน Pyranometer CMP11

Pyranometer CMP11 เป็นเซ็นเซอร์ที่เป็นระบบอนาล็อค เมื่อได้รับรังสีอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 0 – 20 mV ส่งผ่านสาย connector ไปให้ Data logger ซึ่ง Data logger จะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาให้กลายเป็น ค่ารังสีอาทิตย์มีหน่วยเป็น w/m^2

3.1.2 การเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์ด้วย Grove - Sunlight Sensor Si1145



ภาพประกอบ 3.2 การใช้งาน Grove - Sunlight Sensor Si1145

Grove - Sunlight Sensor Si1145 เป็นเซ็นเซอร์รุ่นใหม่ที่สามารถตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์ได้ 3 แบบ ได้แก่ Visible Light, UV Light และ Infrared Light โดยชุดต้นแบบนี้ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมให้เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino UNO มาช่วยในการรับค่าจากเซนเซอร์ และเก็บข้อมูลไว้ที่ SD CARD โดยสั่งให้รับค่าทุก 1 วินาที

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ

3.2.1 Pyranometer CMP11

Pyranometer CMP11 เป็นเซ็นเซอร์ที่เป็นระบบอนาล็อค เมื่อได้รับรังสีอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 0 – 20 mV ส่งผ่านสาย connector ไปให้ Data logger ซึ่ง Data logger จะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาให้กลายเป็น ค่ารังสีอาทิตย์มีหน่วยเป็น w/m^2

ภาพประกอบ 3.3 Pyranometer CMP11

3.2.2 Grove-Sunlight Sensor Si1145

โมดูลวัดแสงแดดจาก Seeedstudio สามารถวัดแสงได้ทั้งแสง UV, Visible, Infrared โดยใช้เซนเซอร์เบอร์ Si1145 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยใช้ I2C

ข้อมูลจำเพาะ

ประเภทสินค้า : โมดูลแสงแดด

การจ่ายแรงดัน : 3 - 5 V

อินเตอร์เฟส : I2C

การตรวจจับความยาวคลื่น : 280 - 950 นาโนเมตร

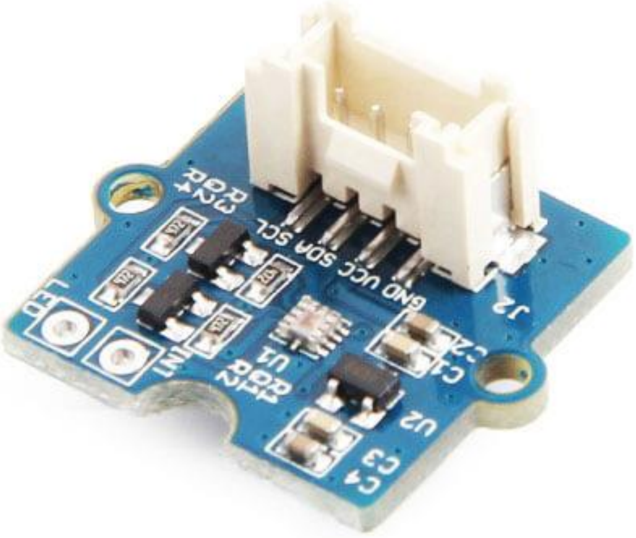
กระแสไฟฟ้า : 3.5 mA

ตรวจจับแสงแดดโดยตรง

ช่วงตรวจจับคลื่นความถี่กว้าง

ขนาด : 140 x 85 x 11 มม

พหุ ปัญ ญา ชีเว



ภาพประกอบ 3.4 Grove-Sunlight Sensor Si1145

3.2.3 Arduino UNO

Arduino Uno R3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open-source บนแพลตฟอร์ม Arduino ของแท้จากผู้ผลิต arduino.cc ประเทศอิตาลี ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ใช้ชิพ ATmega328 รันที่ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5 V (TTL) มี Digital Input / Output 14 ขา (เป็น PWM ได้ 6 ขา) มี Analog Input 6 ขา Serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบนซอฟท์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์หรือแม้แต่ผู้ที่ไม่เคยเรียนรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์มาก่อนก็สามารถนำมาสร้างต้นแบบที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ได้

ไมโครคอนโทรนเลอร์	ATmega328
แหล่งจ่ายไฟ	5V
ไฟเข้า(แนะนำ)	7-12V
ไฟเข้า (จำกัดไว้ที่)	6-20V
ขาดิจิตอล I/O	14 ขา (6 รองรับเอาต์พุตแบบ PWM
ขาอะนาล็อกอินพุต	6 ขา
กระแสไฟฟ้า DC ต่อขา I/O	40 mA
กระแสไฟฟ้าออก DC สำหรับขา 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328)

พหุนำ บุญ กิโต ชีเว

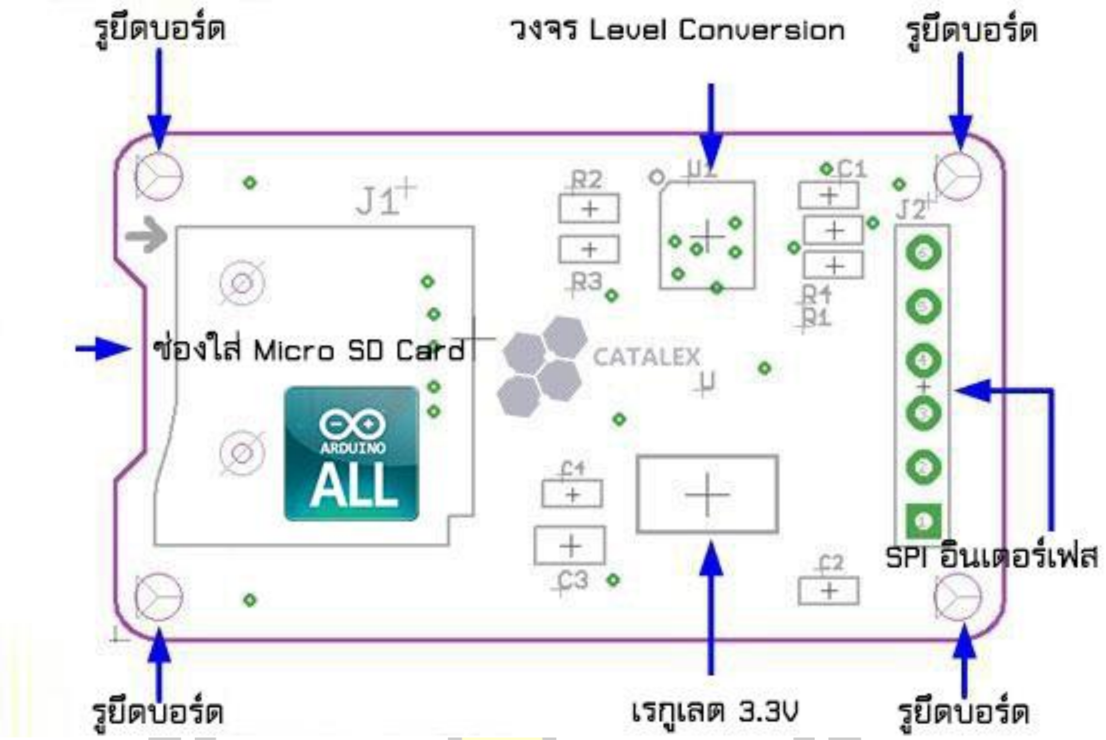
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

ภาพประกอบ 3.5 Arduino UNO

3.2.4 Micro SD Card Module

โมดูลบันทึกข้อมูลลง Micro SD Card , Micro SD Card Module สำหรับเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ จากบอร์ด Arduino ลงบน Micro SD Card มีอินเตอร์เฟสแบบ SPI ใช้งานง่าย มีไลบารีสำเร็จรูปให้พร้อมใช้งาน มีวงจรเรกูเลต 3.3V มาให้ในตัวบอร์ด สามารถใช้ไฟได้ในช่วง 4.5V - 5.5V

ภาพประกอบ 3.6 Micro SD Card Module



ภาพประกอบ 3.7 ส่วนประกอบของ Micro SD Card Module

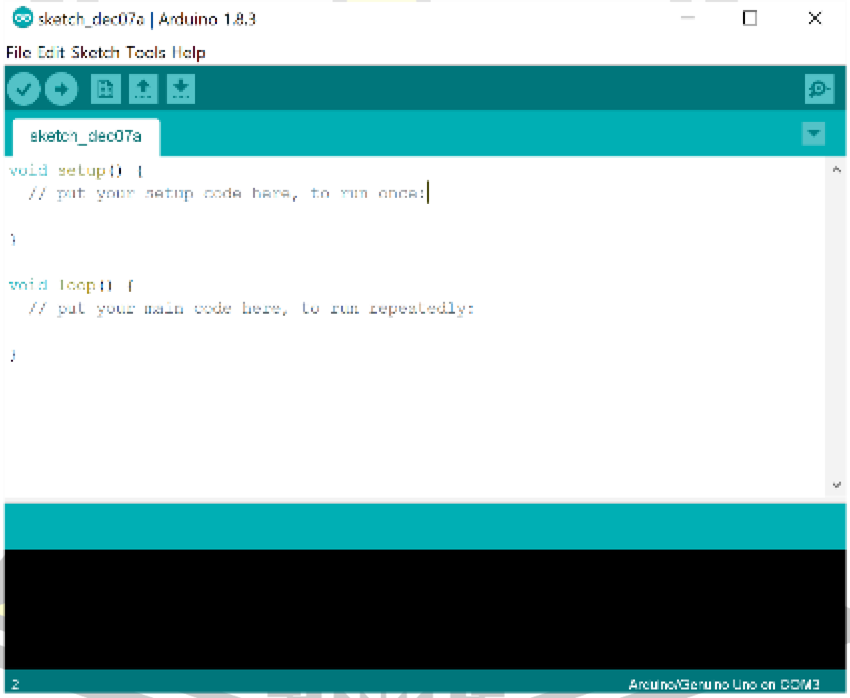
3.2.5 Microsoft Excel 2016

ไมโครซอฟท์ เอ็กซ์เซล (อังกฤษ: Microsoft Excel) เป็นโปรแกรมประเภทตารางการคำนวณ (สเปรดชีต) พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ และเป็นโปรแกรมหนึ่งในชุดไมโครซอฟท์ ออฟฟิศ สำหรับจัดการและคำนวณข้อมูลในรูปแบบตาราง อีกทั้งสามารถจัดทำกราฟ แผนภูมิเพื่อแสดงผลข้อมูลได้ โดยเวอร์ชันล่าสุดคือ ไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล 2016 (Microsoft Excel 2016) ไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล เป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมในด้านการการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยใช้ฟังก์ชันพื้นฐาน บวก ลบ คูณ หาร ยกกำลัง รวมถึงฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ระดับสูง เช่น Modulo, ตรีโกณมิติ (Sin Cos Tan) ฟังก์ชันทางสถิติ เช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ฟังก์ชันทางการเงิน เช่น การคิดค่าเสื่อมราคา, การคำนวณค่าปัจจุบัน ฟังก์ชันในการตัดต่อคำ เช่น Concatenate ฟังก์ชันในการค้นหาข้อมูล เช่น Lookup, vlookup และ hlookup สำหรับส่วนที่ถือว่าเป็นสิ่งที่เยี่ยมยอดของไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล คือ การใช้งานในรูปแบบของฐานข้อมูล ซึ่งสามารถจัดการฐานข้อมูลที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก คือมีประมาณไม่เกิน 65,000 ตาราง ไม่ว่าจะเป็น ตัวกรอง, การเรียงลำดับข้อมูล (Sort) , คำนวณยอดรวม (Subtotal) และตารางไพวอต (Pivot Table) เป็นคำสั่งสำหรับสรุปข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ดูได้ง่าย สามารถหมุนเปลี่ยนตามต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถทำกราฟในแบบต่างๆ เช่น

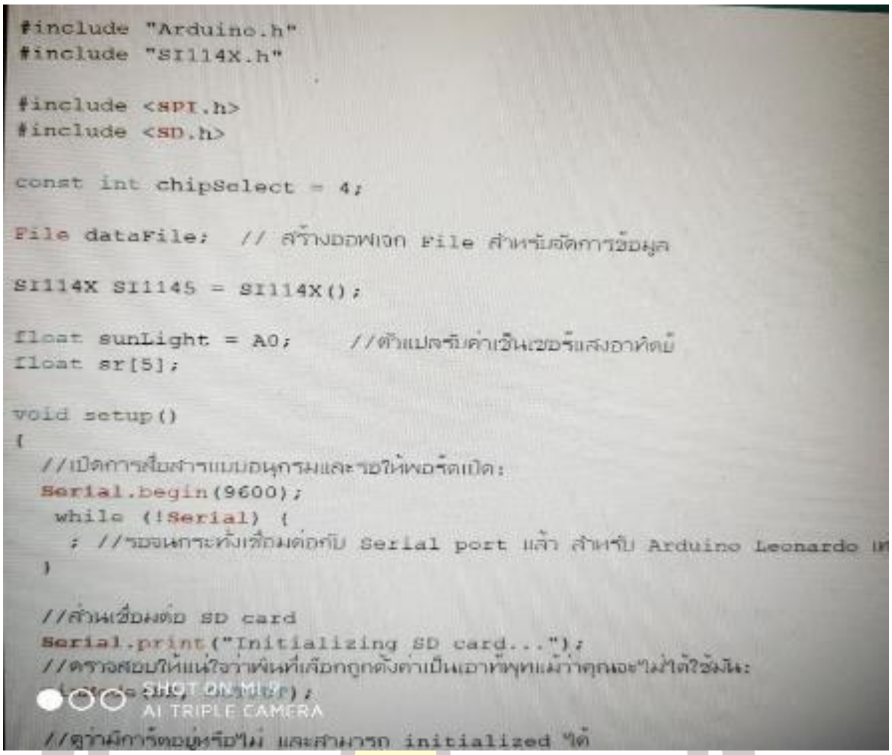
เส้นตรง วงกลม กราฟรูปแท่ง กราฟแท่งเทียนที่ใช้กับการวิเคราะห์หุ้นก็ทำได้ กราฟพื้นที่ สามารถทำกราฟต่างๆให้อยู่ในรูปแบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติได้ด้วย รวมถึงทำกราฟ 2 ชนิดในรูปเดียวกันได้ด้วย

3.2.6 โปรแกรม Arduino IDE

การพัฒนางานบอร์ด Arduino นั้นจะใช้โปรแกรมที่เรียกว่า Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมและคอมไพล์ลงบอร์ด โดยขนาดของโปรแกรม Arduino โดยปกติแล้วจะใหญ่กว่าโค้ด AVR ปกติเนื่องจากโค้ด AVR เป็นการเข้าถึงจากรีจิสเตอร์โดยตรง แต่โค้ด Arduino เข้าถึงผ่านฟังก์ชั่นเพื่อให้สามารถเขียนโค้ดได้ง่ายมากกว่าการเขียนโค้ดแบบ AVR หรือเวอร์ชั่นอื่นๆ ของ Arduino IDE ย่อมาจาก (Integrated Development Environment) คือ ส่วนเสริมของระบบการพัฒนาหรือตัวช่วยต่างๆที่จะคอยช่วยเหลือ Developer หรือช่วยเหลือคนที่พัฒนาApplication เพื่อเสริมให้เกิดความรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ ตรวจสอบระบบที่จัดทำได้ ทำให้การพัฒนางานต่างๆเร็วมากขึ้น

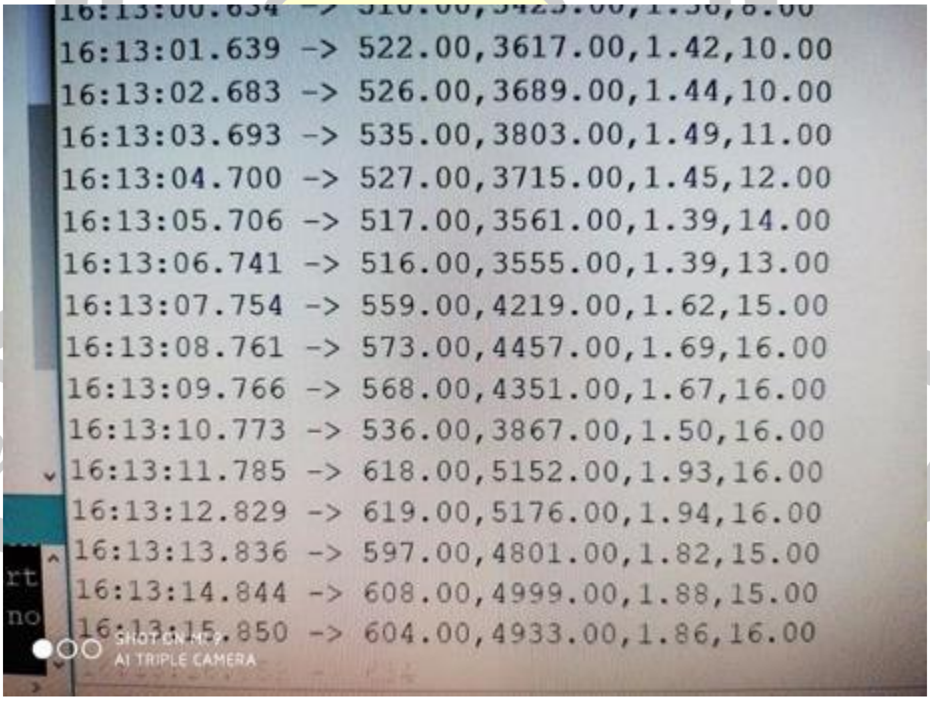


ภาพประกอบ 3.8 โปรแกรม Arduino IDE



```
#include "Arduino.h"
#include "SI114X.h"

#include <SPI.h>
#include <SD.h>

const int chipSelect = 4;

File dataFile;  // สร้างออพเจค File สำหรับจัดการข้อมูล

SI114X SI1145 = SI114X();

float sunLight = A0;     //ตัวแปรรับค่าเซ็นเซอร์แสงอาทิตย์
float sr[5];

void setup()
{
  //เปิดการสื่อสารแบบอนุกรมและรอให้พอร์ตเปิด:
  Serial.begin(9600);
   while (!Serial) {
    ; //รอจนกระทั่งเชื่อมต่อกับ Serial port แล้ว สำหรับ Arduino Leonardo เท
  }

  //ส่วนเชื่อมต่อ SD card
  Serial.print("Initializing SD card...");
  //ตรวจสอบให้แน่ใจว่าพินที่เลือกถูกตั้งค่าเป็นเอาท์พุทแม้ว่าคุณจะไม่ได้ใช้มัน:
  [illegible]

  //ดูว่ามีการ์ดอยู่หรือไม่ และสามารถ initialized ได้
```

ภาพประกอบ 3.9 ตัวอย่างโปรแกรมอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์รุ่นต้นแบบ



```
16:13:01.639 -> 522.00,3617.00,1.42,10.00
16:13:02.683 -> 526.00,3689.00,1.44,10.00
16:13:03.693 -> 535.00,3803.00,1.49,11.00
16:13:04.700 -> 527.00,3715.00,1.45,12.00
16:13:05.706 -> 517.00,3561.00,1.39,14.00
16:13:06.741 -> 516.00,3555.00,1.39,13.00
16:13:07.754 -> 559.00,4219.00,1.62,15.00
16:13:08.761 -> 573.00,4457.00,1.69,16.00
16:13:09.766 -> 568.00,4351.00,1.67,16.00
16:13:10.773 -> 536.00,3867.00,1.50,16.00
16:13:11.785 -> 618.00,5152.00,1.93,16.00
16:13:12.829 -> 619.00,5176.00,1.94,16.00
16:13:13.836 -> 597.00,4801.00,1.82,15.00
16:13:14.844 -> 608.00,4999.00,1.88,15.00
16:13:15.850 -> 604.00,4933.00,1.86,16.00
```

ภาพประกอบ 3.10 ตัวอย่างผลการรันโปรแกรม

3.3 การออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองดังนี้

3.3.1 การทดลองที่ 1

เพื่อศึกษา ออกแบบ และจัดสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์ที่มีราคาถูก แต่มีสมรรถนะการทำงานไม่ด้อยกว่าระบบการวัดรังสีอาทิตย์แบบเดิม ทำการตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์ในพื้นที่โล่งให้ Pyrometer CMP11 (แบบเดิม) กับ Grove - Sunlight Sensor Si1145 (แบบใหม่) วางอยู่คู่กันจะได้รังสีอาทิตย์ในบริเวณเดียวกัน โดยการเก็บข้อมูลนั้นจะเริ่มเก็บตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. และทำการเก็บทุกๆ 1 วินาที ซึ่งจะได้ค่าของรังสีอาทิตย์ ทั้งหมด 4 ประเภทคือ Solar Insolation ได้จาก Pyranometer CMP11 มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร และ Grove - Sunlight Sensor Si1145 จะให้ค่าของ Visible, UV และ IR แล้วหาความสัมพันธ์กันของทั้ง 4 ประเภทนี้ เพื่อหาว่าค่าของเซนเซอร์ประเภทไหนจะเหมาะกับการใช้วัดแทนกันได้

3.3.2 การทดลองที่ 2

เพื่อศึกษาระดับความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดรังสีอาทิตย์จากเครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้น โดยเมื่อได้ค่าผลการทดลองแล้วจะนำมาเปรียบเทียบว่า หากลดการจัดเก็บข้อมูลแล้วยังสามารถบอกแนวโน้มของค่าที่ทำการวัดได้หรือไม่ จำเป็นหรือไม่ที่ต้องเก็บทุกๆ 1 วินาที โดยการแนวทางการทดลองนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาตัดจำนวนของข้อมูลลออกเรื่อยๆ แล้วมาเทียบกราฟ

- ข้อมูลที่เก็บทุก 1 วินาที
- ข้อมูลที่เก็บทุก 2 วินาที
- ข้อมูลที่เก็บทุก 5 วินาที
- ข้อมูลที่เก็บทุก 10 วินาที
- ข้อมูลที่เก็บทุก 30 วินาที
- ข้อมูลที่เก็บทุก 60 วินาที

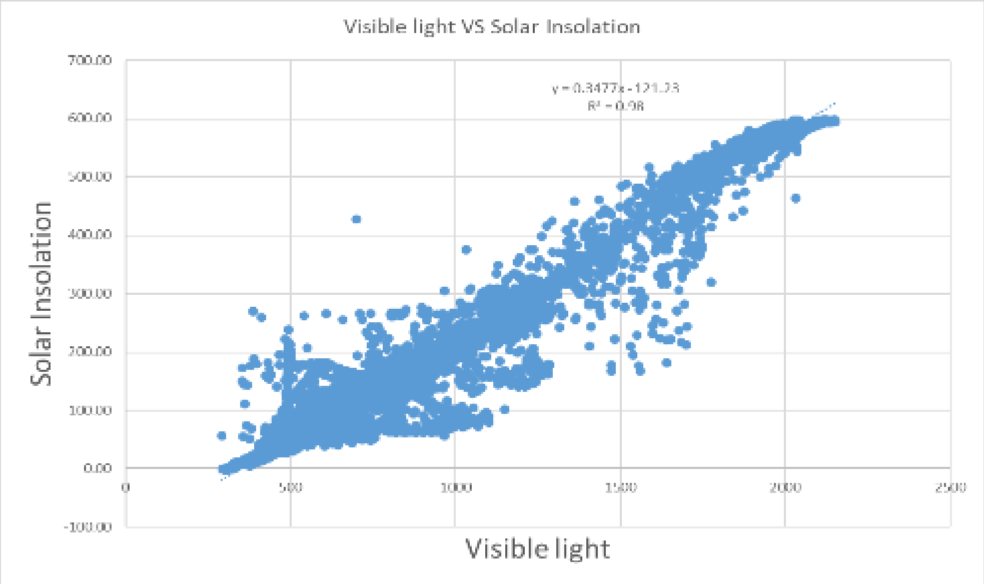
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรวัดและความเข้มแสงอาทิตย์มาตรฐาน

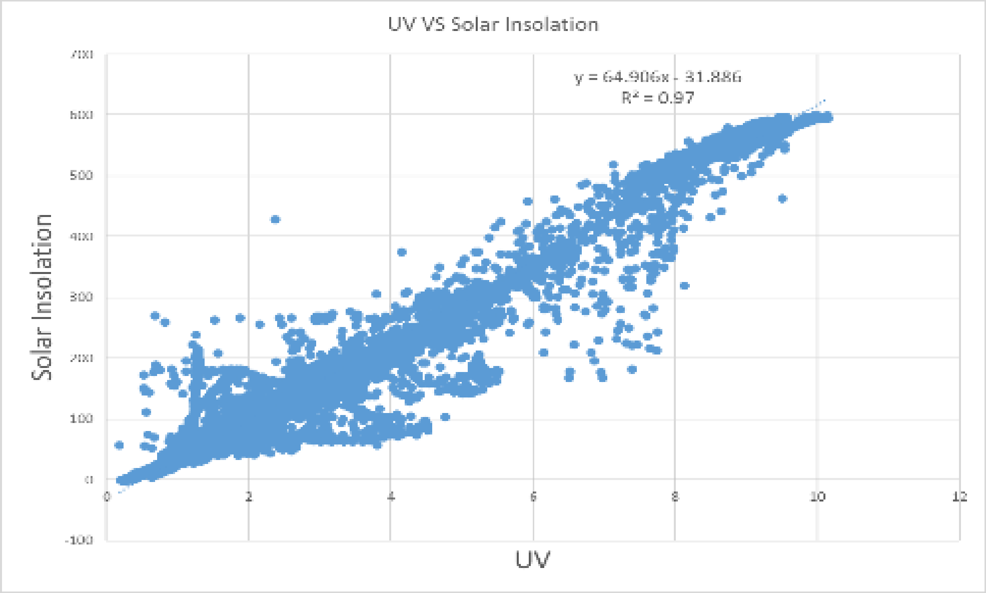
ผลจากการเก็บบันทึกข้อมูลทั้งหมด 21,644 ชุด ผู้วิจัยได้ทำการจับคู่เพื่อหาความสัมพันธ์กันของข้อมูล ได้ดังนี้

4.1.1 หาความสัมพันธ์โดยใช้ Simple Reggression

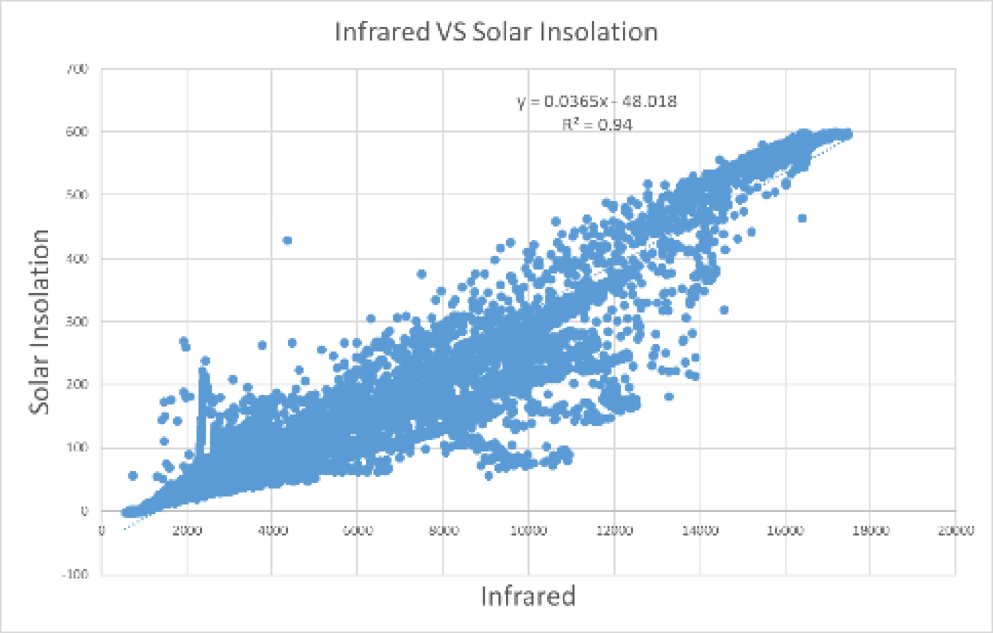


ภาพประกอบ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Visible Light กับ Solar Insolation

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง UV Light กับ Solar Insolation



ภาพประกอบ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Infrared Light กับ Solar Insolation

จากกราฟทั้ง 3 จะเห็นความสัมพันธ์ของกราฟเป็นความสัมพันธ์เชิงบวก ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำการวิเคราะห์การถดถอยหาความสัมพันธ์ระหว่างแสงทั้งสองประเภท โดยใช้ฟังชั่น Data Analysis Tools ของโปรแกรม Microsoft Excel ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ดังนี้

Solar Insolation กับ Visible light

ได้ค่า

y = 2.8164x + 364.17

R Square = 0.98

Solar Insolation กับ UV light

ได้ค่า

y = 0.0151x + 0.5746

R Square = 0.97

Solar Insolation กับ Infrared light

ได้ค่า

y = 25.775x + 1743.6

R Square = 0.94

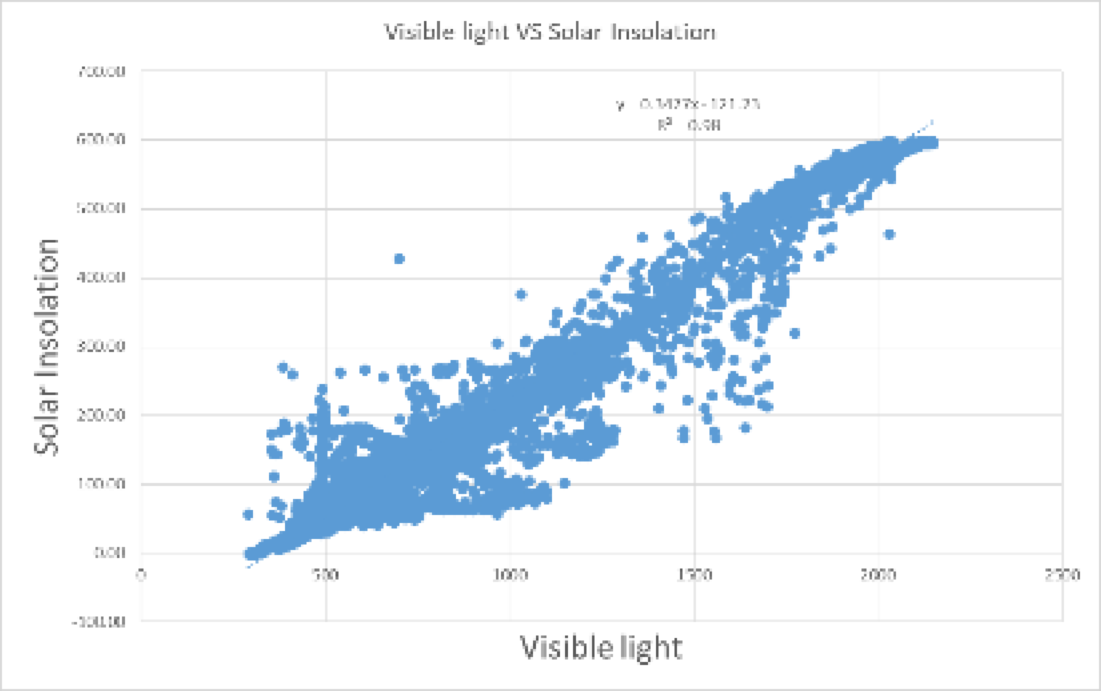
4.1.2 หาความสัมพันธ์โดยใช้ Correlation

ตารางที่ 4.1 Correlation ความสัมพันธ์ของ Solar Insolation ต่อ Visible light, Infrared และ UV โดยใช้ฟังชั่นในโปรแกรม Excel

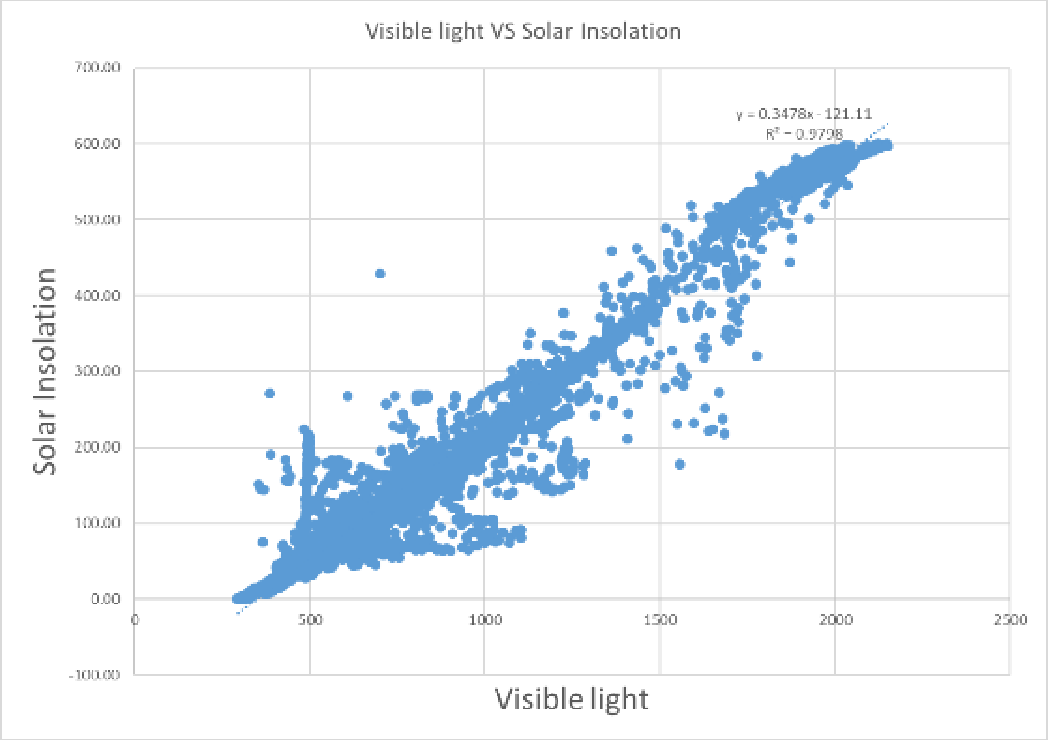
	Solar Insolation	Visible light	Infrared	UV
Solar Insolation	1			
Visible light	0.9896530	1		
Infrared	0.9698282	0.9883934	1	
UV	0.9896515	0.9999989	0.9883928	1

4.2 ผลการทดลองค่าความถูกต้องของค่าวัดที่ปริมาณข้อมูลแตกต่างกัน

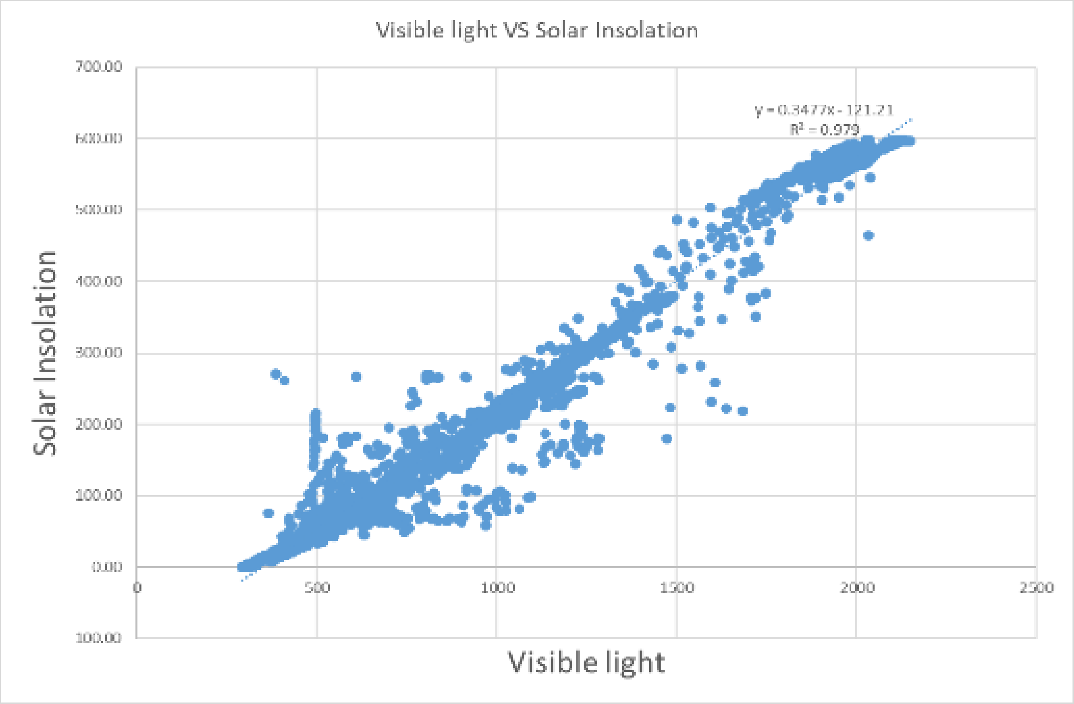
ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2 โดยเลือก จากกราฟของ Visible Light กับ Solar Insolation มาทดสอบ โดยทำการตัดค่าที่บันทึกออกให้เป็นเก็บผลทั้งหมด 6 แบบ ได้แก่ 1 วินาที, 2 วินาที, 5 วินาที, 10 วินาที, 30 วินาที และ 60 วินาที ได้ผลการทดลองดังภาพต่อไปนี้



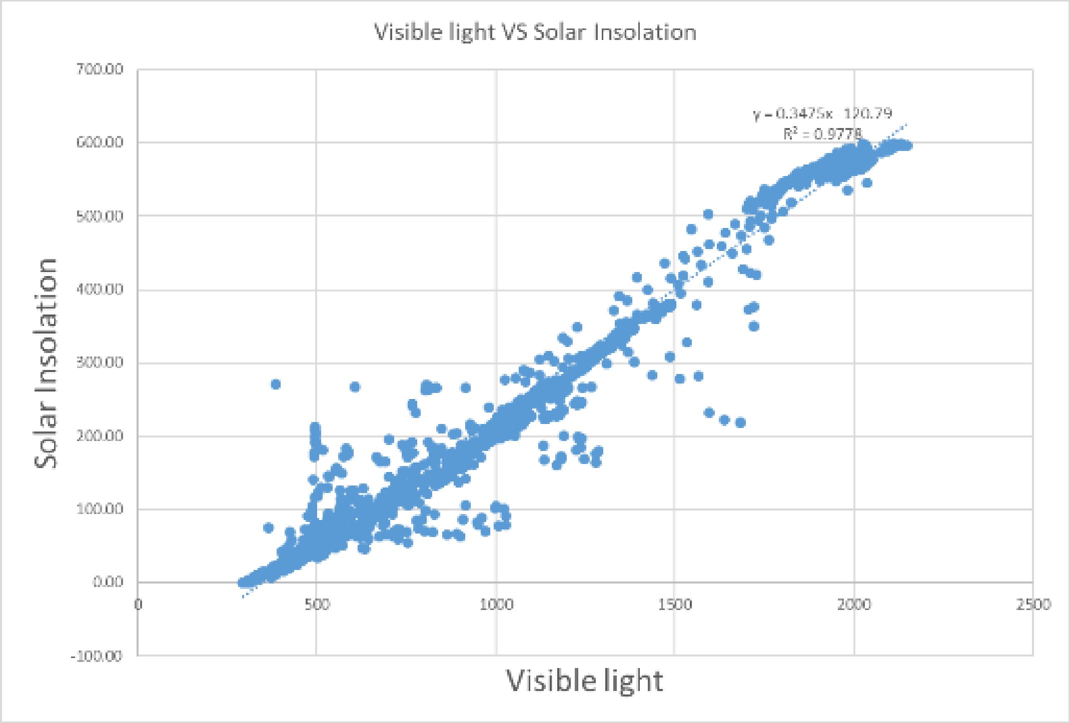
ภาพประกอบ 4.4 กราฟแบบ เก็บทุก 1 วินาที



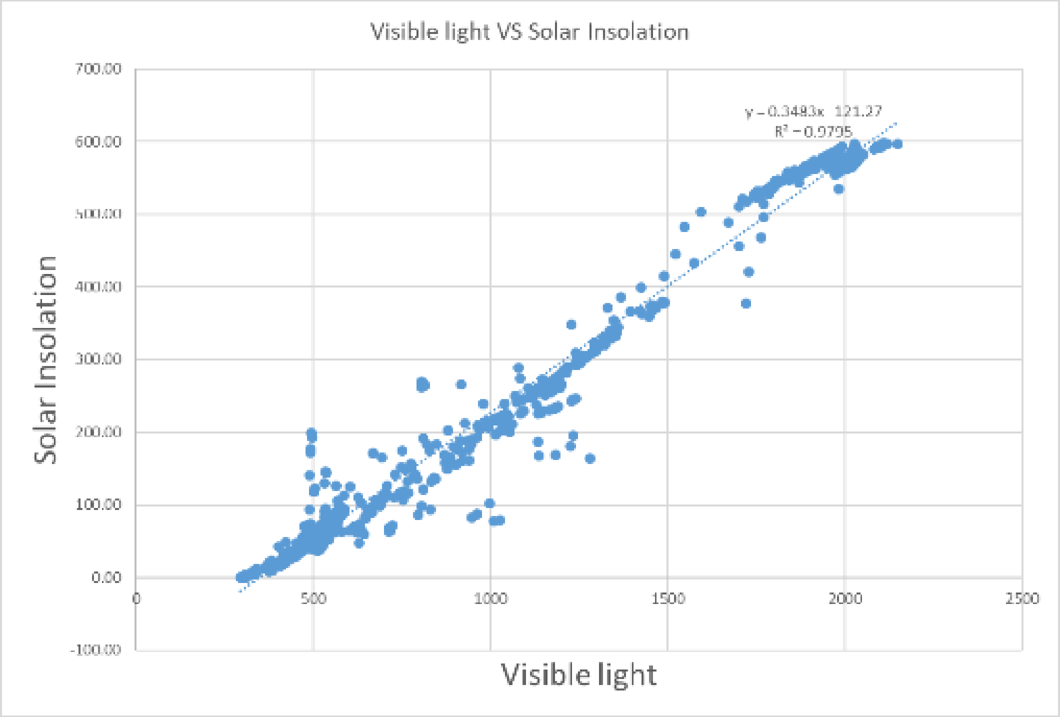
ภาพประกอบ 4.5 กราฟแบบเก็บทุก 2 วินาที



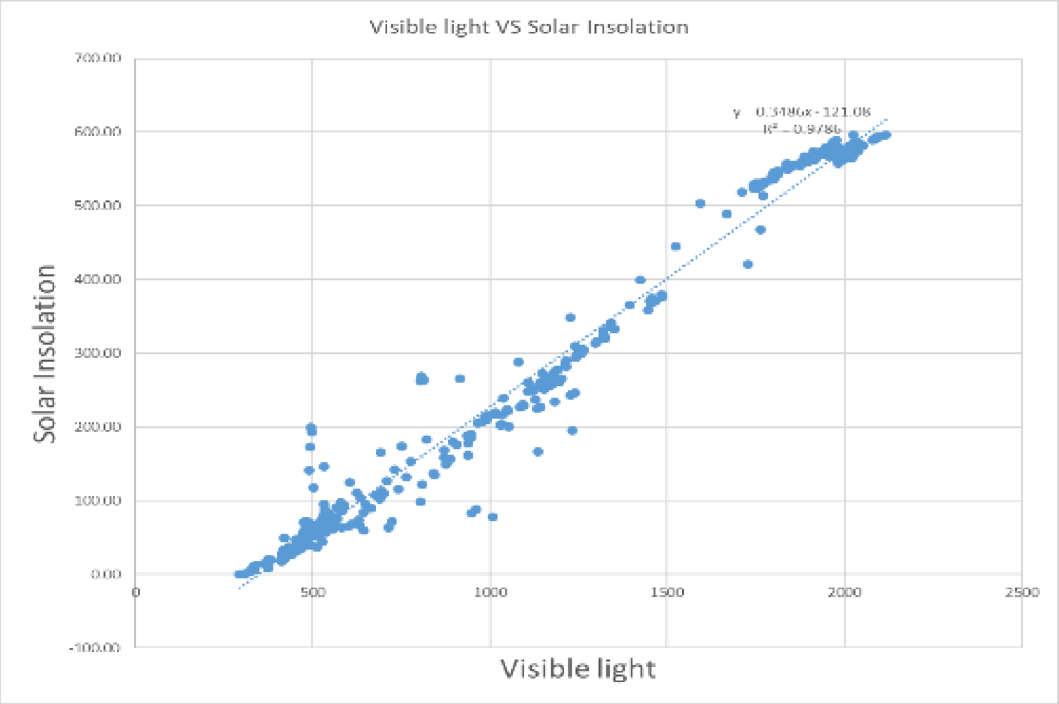
ภาพประกอบ 4.6 กราฟแบบเก็บทุก 5 วินาที



ภาพประกอบ 4.7 กราฟแบบเก็บทุก 10 วินาที



ภาพประกอบ 4.8 กราฟแบบเก็บทุก 30 วินาที



ภาพประกอบ 4.9 กราฟแบบเก็บทุก 60 วินาที

จากกราฟข้างต้นจะเห็นได้ว่า แม้จะลดการเก็บข้อมูลลงไป แต่แนวโน้มของกราฟก็ยังคงเป็นเชิงบวก ดังนั้น จึงนำค่า R square มาหาค่าความถูกต้องแม่นยำ ได้ดังนี้

จากข้อมูลที่เก็บทุก 1 วินาที (ค่าแท้จริง)

y = 0.3477x – 121.23

R Square = 0.98

ข้อมูลที่เก็บทุก 2 วินาที

y = 0.3478x – 121.11

R Square = 0.9798

หาค่าความแม่นยำได้

$$\text{Relative error} = \left|\frac{0.9798 - 0.98}{0.98}\right|$$

= 0.0002

%error = 0.0002 x 100

= 0.02%

%Accuracy = 100 – 0.02

= 99.98%

ข้อมูลที่เก็บทุก 5 วินาที

y = 0.3477x – 121.11

R Square = 0.979

หาค่าความแม่นยำได้

Relative error = $\left|\frac{0.979-0.98}{0.98}\right|$

= 0.001

%error = 0.001 x 100

= 0.1%

%Accuracy = 100 – 0.1

= 99.9%

ข้อมูลที่เก็บทุก 10 วินาที

y = 0.3475x – 120.79

R Square = 0.9778

หาค่าความแม่นยำได้

Relative error = $\left|\frac{0.9778-0.98}{0.98}\right|$

= 0.002

%error = 0.002 x 100

= 0.2%

%Accuracy = 100 – 0.2

= 99.8%

ข้อมูลที่เก็บทุก 30 วินาที

y = 0.3483x – 121.27

R Square = 0.9795

หาค่าความแม่นยำได้

Relative error = $\left|\frac{0.9795-0.98}{0.98}\right|$

= 0.0005

%error = 0.0005 x 100

= 0.05%

%Accuracy = 100 – 0.05

= 99.95%

ข้อมูลที่เก็บทุก 60 วินาที

y = 0.3486x – 121.08

R Square = 0.9786

หาค่าความแม่นยำได้

Relative error = $\left|\frac{0.9786-0.98}{0.98}\right|$

= 0.0014

%error = 0.0014 x 100

= 0.14%

%Accuracy = 100 – 0.14

= 99.86%

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย การวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบการวัดรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด แต่มีสมรรถนะการวัดไม่ด้อยกว่าระบบการวัดมาตรฐานเดิม ได้ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 การสรุปผลวิจัย

การวิจัยนี้สรุปขั้นตอนการดำเนินการได้ดังนี้

1) ระบบตรวจวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ด้วยการประมาณค่า ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดค่า UV, Visible light และ Infrared ซึ่งข้อมูลวัดนี้จะถูกบันทึกลงในแหล่งเก็บข้อมูลผ่านบอร์ด Arduino

2) ข้อมูลตัวแปร UV, Visible light และ Infrared ได้ถูกศึกษาความสัมพันธ์โดยทำการเทียบค่ากับค่าการวัดความเข้มแสงจากเครื่องมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์ มีค่าแปรผันตามค่า Visible light มากที่สุด ที่ระดับ R square 0.98 รองลงมาเป็น UV และ Infrared ที่ระดับ 0.9794 และ 0.9406 ตามลำดับ และ ผู้จัดทำได้หาความสัมพันธ์แบบ Correlation โดยที่ Visible light ได้ค่าความสัมพันธ์ 0.9896530 ซึ่งสูงที่สุดอีกเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงได้เลือกใช้ข้อมูล Visible light ในการสร้างสมการความสัมพันธ์กับความเข้มแสงอาทิตย์ ได้ค่าความสัมพันธ์ $Isolar=246Xvis+126$

3) ผลการศึกษาผลกระทบของจำนวนข้อมูลต่อค่าความถูกต้องของการวัดที่ระดับค่าต่าง ๆ พบว่า ค่าความถูกต้องมีค่าลดลงเมื่อจำนวนข้อมูลลดลงในช่วงไม่เกิน 60 วินาที ด้วยอัตราความถูกต้องที่ลดลงไม่ถึง 1%

4) ระบบที่นำเสนอสามารถทำงานได้ไม่ด้อยกว่าระบบเดิมที่ระดับความถูกต้องข้อมูล 98% โดยต้นทุนการจัดสร้างสุทธิ 1,345 บาท (45 $US) ซึ่งลดลงประมาณ 10-15 เท่า เมื่อเทียบกับเครื่องวัดแบบเดิม

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

5.2.1 งานวิจัยนี้สามารถต่อยอดเพื่อสร้างเป็นระบบตรวจสอบรังสีอาทิตย์ได้ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรมีความไวต่อความร้อนและความชื้น ดังนั้น ต้องมีการจัดสร้างระบบเพื่อควบคุมและป้องกันสำหรับอุปกรณ์ด้วย

5.2.2 เนื่องจากเซนเซอร์วัดระดับแสงมีหลายประเภท ในการวิจัยในอนาคตอาจสามารถพิจารณาใช้เซนเซอร์อื่นร่วมในการวัดด้วยเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการวัด

5.3.3 ผลการวิจัยนี้ใช้ทำนายแนวโน้มของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้เท่านั้น หากต้องการทราบค่าความแม่นยำและค่าความถูกต้องโดยละเอียด ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความละเอียดสูงขึ้นในการทดลอง

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

[1] ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ, “การเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์น้ำด้วยเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, vol. 32, no. 2, 2013.

[2] ปุณยนุช รุธิรโก, “การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อน,” *J. Food Heal. Bioenvironmental Sci.*, vol. 9.3, pp. 147–163, 2016.

[3] K. V. Suryabhagavan, “GIS-based climate variability and drought characterization in Ethiopia over three decades,” *Weather Clim. Extrem.*, vol. 15, pp. 11–23, 2017.

[4] Q. Yan, T. Dokic, and M. Kezunovic, “GIS-based risk assessment for electric power consumers under severe weather conditions,” 2016.

[5] เกรียงไกร รักคำ, “การพัฒนาระบบบันทึกและแสดงผลข้อมูลภูมิอากาศผ่านระบบสื่อสารไร้สายซิกบี,” *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัฒกรรม*, vol. 1, no. 1, pp. 55–70, 2017.

[6] W. Sa-Ngiamvibool, “A Rain Gauge System using a Capacitance Sensor,” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 5, pp. 3596–3600, 2013.

[7] สิงห์ทอง พัฒนเศษฐานนท์, *การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ด้วยพลังงานแสงธรรมชาติ*. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2548.

[8] ปรีชา กอเจริญ, “เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสำหรับอินเตอร์เนตของสรรพสิ่ง,” *NBTC J. 2*, vol. 2, pp. 268–287, 2017.

[9] วชิรพรรณ ทองวิจัตร, “Internet of Things (IoT) เมื่อสรรพสิ่งอิงกับอินเทอร์เน็ต,” *วารสารรอบรู้เทคโนโลยี*, vol. 202, p. 44, 2559.

[10] R. C. Brito, “Development of a low cost weather station using free hardware and software,” *2017 Lat. Am. Robot. Symp. 2017 Brazilian Symp. Robot.*, 2017.

[11] T. H. Runge, “Irrigation controller with weather station,” *U.S. Pat. No. 9*, vol. 5, 2016.

[12] T. Hong, P. Wang, and L. White, “Weather station selection for electric load forecasting,” *Int. J. Forecast.*, vol. 31, no. 2, pp. 286–295, 2015.

[13] สุรกิจ ทองสุก, “การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา,” *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, vol. 19, no. 10, 2018.

พหุนํ ปญฺญาโต ชีเว

[14] เสาวรีย์ อรุณรัตนวงฒ์, “การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์,” *การประชุมวิชาการระดับชาติวลัยลักษณ์วิจัย*, vol. 10, 2018.

[15] C. Photong, “A simple artificial solar cell for laboratory study,” in *5th KKU Int. Eng. Conf.*, 2014, pp. 957–961.

[16] M. Benghanem, “A low cost wireless data acquisition system for weather station monitoring,” *Renew. Energy*, vol. 35, pp. 862–872, 2010.

[17] S. Yuwen, “Research and Implementation of Field Environment Monitoring System Based on Woreless Sensor Networks,” *NanjingNanjing Agric. Univ.*, 2013.

[18] “http://www.stvc.ac.th/elearning/stat/csu14.html.” .

[19] นวภัทรา หนูนาค และ ทวีพล ซื่อสัตย์, *การวัดและเครื่องมือวัด การประยกุต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2555.

[20] J. ZHANG, “IOT based Detection for Tropical Flower,” *IEEE 2016 Int. Conf. Inf. Syst. Artif. Intell.*, pp. 219–222, 2016.

[21] H. Shabani, “Intelligent Greenhouse Monitoring and Control System Based Arduino UNO Microcontroller,” *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng.*, vol. 9, pp. 3–10, 2017.

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายนภณัฐ รัตนกร
วันเกิด	วันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	อำเภอคำตากล้า จังหวัดสกลนคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 301 เลขที่ 8 ถนนจำปาพัฒนา ตำบลพังโคน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร รหัสไปรษณีย์ 47160
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	อาจารย์ประจำแผนกวิชาเทคนิคคอมพิวเตอร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2540 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพังโคนวิทยาคม จังหวัดสกลนคร
	พ.ศ. 2543 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนศึกษาประชาสามัคคี จังหวัดสกลนคร
	พ.ศ. 2546 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาเทคนิคคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร
	พ.ศ. 2549 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา
	พ.ศ. 2564 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม