ระบบตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดด้วยเทคนิคการประมาณค่าจากเซนเซอร์วัดความสว่าง

Low-cost Solar Insolation Measurement System using Estimation Technique from the Brightness Sensor

นภณัฐ รัตนกร * และ ชลธี โพธิ์ทอง

Noppanat Ratanakorn * and Chonlatee Photong

Received: 30 November 2019, Revised: 9 March 2020, Accepted: 12 March 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและออกแบบระบบการวัดรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดที่มีสมรรถนะการวัดไม่ด้อยกว่าระบบการวัดมาตรฐานเดิม ระบบประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างด้วยค่ารังสีอัลตราไวโอเลต แสงขาว และ รังสีอินฟราเรด ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวัดนี้จะถูกบันทึกลงในแหล่งเก็บข้อมูลผ่านบอร์ดอาร์ดูโน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์โดยทำการเทียบค่ากับค่าการวัดความเข้มแสงจากเครื่องมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์ มีค่าแปรผันตามค่าความสว่างของแสงขาวมากที่สุด ที่ระดับค่าสมการถดถอย 0.98 รองลงมาเป็นรังสีอัลตราไวโอเลต และอินฟราเรด ที่ระดับ 0.97 และ 0.94 ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงได้เลือกใช้ข้อมูลความสว่างของแสงขาว ในการสร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อหาค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ค่าความสัมพันธ์ Isolar = 246 Xvis + 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

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kham Riang District, Kantarawichai, Maha Sarakham, 44150, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): noppanat.rmuti@gmail.com

ABSTRACT

This research 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 of UV, visible and infrared lights. Brightness values are then recorded into the data collection resources through the Arduino board, and these parameters are compared with the standard values. The experimental results show that visible light provided the best representative data for the standard solar insolation values with R^2 of 0.98, followed by UV and infrared with R^2 of 0.97 and 0.94, respectively. As a result, visible light was used to form the equation for determining the solar insolation, which was Isolar=246Xvis+ 126. The results also showed that the accuracy slightly decreased when the number of data samples decreased with the error rate less than 1%. with relatively low cost of 1,345 Baht (45 $US), which is 10-15 times lower compared to the standard measurement system.

Key words: solar insolation detector, low cost, estimation

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของโลกส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์บนโลกเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการทราบข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศรวมทั้งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศบนผิวโลกย่อมทำให้สามารถบริหารจัดการและคาดคะเนส่วนที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นเทคโนโลยีด้านการวัดสภาพอากาศและการจัดเก็บข้อมูลสภาพอากาศ (Hong *et al*., 2015) จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีการวัดและการจัดเก็บข้อมูลสภาพอากาศในปัจจุบันมีหลายวิธีการ ได้แก่ การวัดสภาพอากาศระยะไกลโดยดาวเทียม (GIS) (Suryabhagavan, 2017) และ การวัดสภาพอากาศจากภาคพื้นดินโดยใช้เซนเซอร์ต่างๆ เช่น การวัดปริมาณน้ำฝน (Sa-Ngiamvibool *et al*., 2013) การวัดปริมาณความเข้มของแสงแดดหรือรังสีดวงอาทิตย์ (Luewarasirikul *et al*., 2012) การวัดความเร็วลมทิศทางลม และการวัดความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น (Rukkhom *et al*., 2017)

ปัจจุบันมีสถานีการวัดรังสีอาทิตย์อยู่เพียง 21 แห่งที่ดำเนินการบริหารจัดการ จัดเก็บข้อมูลและเผยแพร่ข้อมูล เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านงบประมาณทั้งในส่วนการติดตั้งและดำเนินงานสถานี ทำให้การวัดและเก็บค่าสภาพรังสีอาทิตย์ในส่วนภูมิภาคหรือการศึกษาเฉพาะนั้นทำได้เพียงเป็นข้อมูลประมาณการ หรือบางสถานที่ สถานีวัดอาจไม่สามารถให้บริการข้อมูลได้ ดังนั้นหากสามารถพัฒนาสถานีวัดและจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีต้นทุนต่ำ มีข้อมูลที่ถูกต้อง และสามารถเข้าถึงและสืบค้นข้อมูลได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ ก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเพื่อการนำไปใช้งานในส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะด้านการเกษตรกรรม หรืออุตสาหกรรมที่อาจต้องอาศัยข้อมูลในการกำหนดนโยบายและการวิจัยต่างๆ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามเล็งเห็นความสำคัญของสถานีวัดรังสีอาทิตย์ จึงได้จัดทำโครงการวิจัยและจัดตั้งสถานีวัดสภาพอากาศขึ้นเพื่อรายงานสภาพอากาศเฉพาะที่สำหรับบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

อย่างไรก็ตาม สถานีวัดรังสีอาทิตย์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามในปัจจุบันประสบปัญหาเรื่องข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากอุปกรณ์มีสภาพชำรุด อุปกรณ์มีราคาสูง (ประมาณ 15 ล้านบาท) อีกทั้งจำเป็นต้องมีห้องควบคุมพิเศษซึ่งมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ทำให้มีต้นทุนการดำเนินการสูง (Pattanasetthanon, 2005)

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยเล็งเห็นการนำเอาเทคโนโลยีการตรวจวัดรังสีอาทิตย์ที่มีราคาไม่แพงและสามารถใช้งานได้ง่าย ทั้งนี้เพื่อสะดวกกับการใช้งานและประเมินสถานการณ์สภาพการเปลี่ยนแปลงรังสีอาทิตย์ในพื้นที่ที่สนใจ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์สำหรับอุปกรณ์ต่างๆ ได้โดยตรงได้อีกด้วย

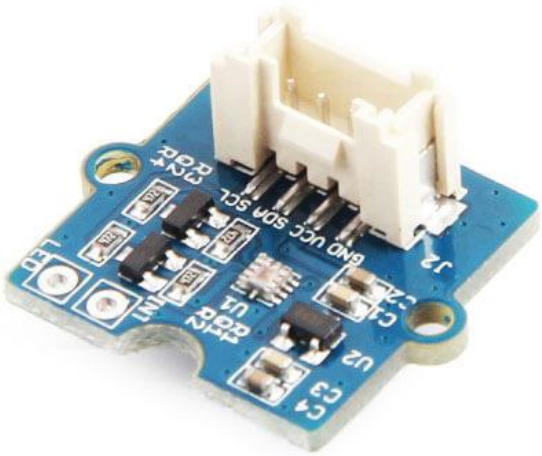
วิธีดำเนินการวิจัย

โดยทั่วไปการวัดค่ารังสีอาทิตย์จะใช้ Pyranometer CMP11 (ภาพที่ 1) ซึ่ง Pyranometer CMP11 นั้นเมื่อได้รับรังสีอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 0 - 20 mV ส่งผ่านสาย connector ไปให้ Data logger ซึ่ง Data logger จะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาให้กลายเป็น ค่ารังสีอาทิตย์มีหน่วยเป็น w/m^2 แต่ด้วยราคาที่สูงมาก ผู้วิจัยจึงทำการหาอุปกรณ์วัดแสงชนิดอื่นมาแทน Pyranometer CMP11 โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ Grove - Sunlight Sensor Si1145 (ภาพที่ 2) มาทดลองเพื่อหาตัวแทนที่ดีที่สุด Grove - Sunlight Sensor Si1145 เป็นเซ็นเซอร์รุ่นใหม่ที่สามารถตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์ได้ 3 แบบ ได้แก่ Visible Light, UV Light และ Infrared Light โดยชุดต้นแบบตามภาพที่ 3 นี้ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมให้เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino UNO มาช่วยในการรับค่าจากเซนเซอร์ (Shabani *et al*., 2017)

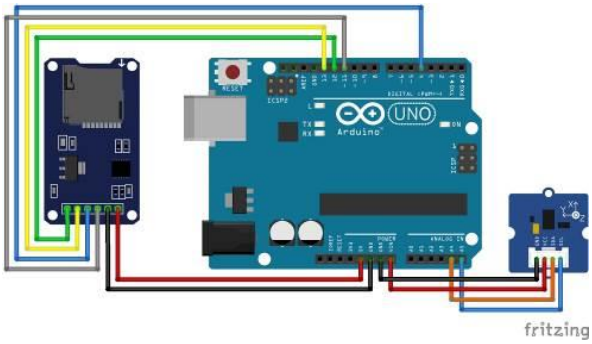
การบันทึกค่าแสง จะบันทึกผลการทดลองโดยใช้ SD Card ขนาด 16 GB ในการบันทึกค่าแสงทุกๆ 1 วินาที โดยค่าแสงจะถูกบันทึกลงในไฟล์ Datalog.tex ตามที่ได้ตั้งค่าของการเขียน Code ใน Arduino และนำค่าที่บันทึกได้ไปแสดงในรูปแบบกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยวางอุปกรณ์วัดไว้ข้างกันตามภาพที่ 4 เพื่อจะสามารถเก็บค่าในบริเวณเดียวกันมากที่สุด

ภาพที่ 1 Pyranometer CMP11 ที่ต่อกับ Data logger



ภาพที่ 2 Grove - Sunlight Sensor Si1145



ภาพที่ 3 การต่อ Grove - Sunlight Sensor Si1145 เข้ากับชุดบอร์ด Arduino

ภาพที่ 4 การวางอุปกรณ์วัดแสง

เมื่อได้ผลจากการบันทึกข้อมูลแล้ว ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง 2 แบบด้วยกัน คือ

1. ผู้วิจัยใช้ การวิเคราะห์ถดถอย(Regression Analysis) เพื่อหาตัวแทนของ Pyranometer CMP11 ที่ใช้วัดค่ารังสีอาทิตย์ ระหว่าง Visible light, UV light และ Infrared light สมการการถดถอยของตัวอย่างเขียนในรูปของค่าสถิติ ได้คือ

$$y = a + bx \quad (1)$$

เมื่อ y = ตัวแปรตาม
x = ตัวแปรอิสระ
a = ค่าคงที่
b = ค่าสัมประสิทธิ์ของ x

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

เมื่อ n = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

และ $$a = y' - bx' \quad (3)$$

เมื่อ y' = ค่าเฉลี่ยของ y
x' = ค่าเฉลี่ยของ x

2. เมื่อได้ตัวแทนที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 นำมาหาค่าความถูกต้องแม่นยำ แม้หากลดการบันทึกของข้อมูลลงไป เพื่อหาความเหมาะสมในการบันทึกข้อมูล โดยการคำนวณค่าความถูกต้อง/ความแม่นยำใช้สมการ

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \quad (4)$$

โดยที่

$$\text{Relative error} = \left|\frac{x_{mea}-x_t}{x_t}\right| \quad (5)$$

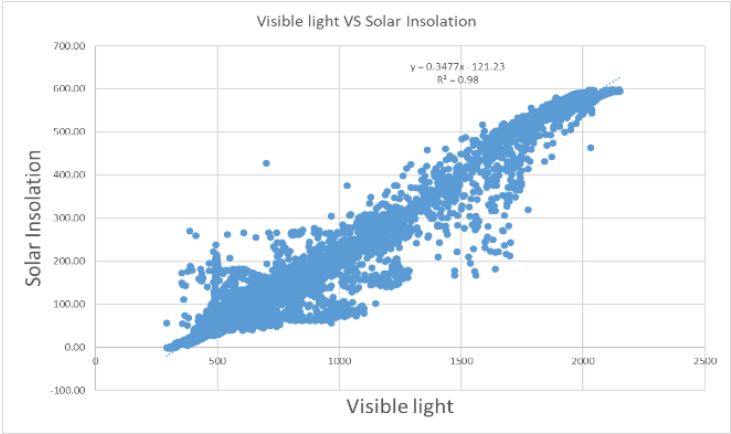
$$\%Error = \text{Relative error} \times 100$$

เมื่อ X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการลดการเก็บบันทึก
X_t คือ ค่าจริงจากการทดลองที่ 1 (visible)

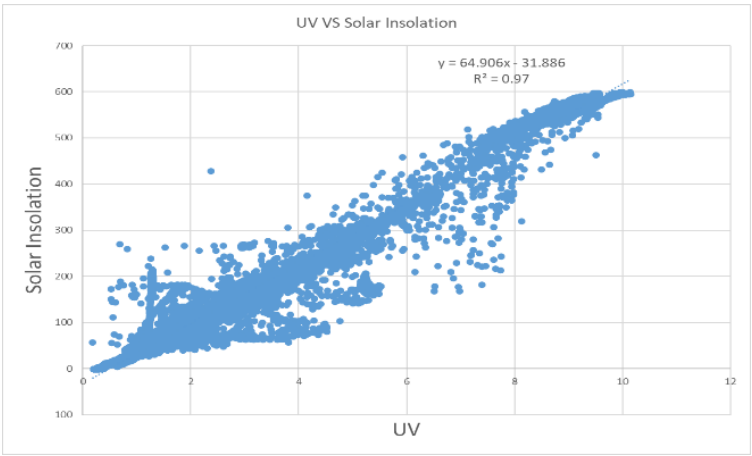
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การทดลองที่ 1 ใช้การวิเคราะห์ฉดถอยหาตัวแทนรังสีอาทิตย์ (Hongpathong and Numthuam,2016; Akarachantachote and Saithanu, 2017)

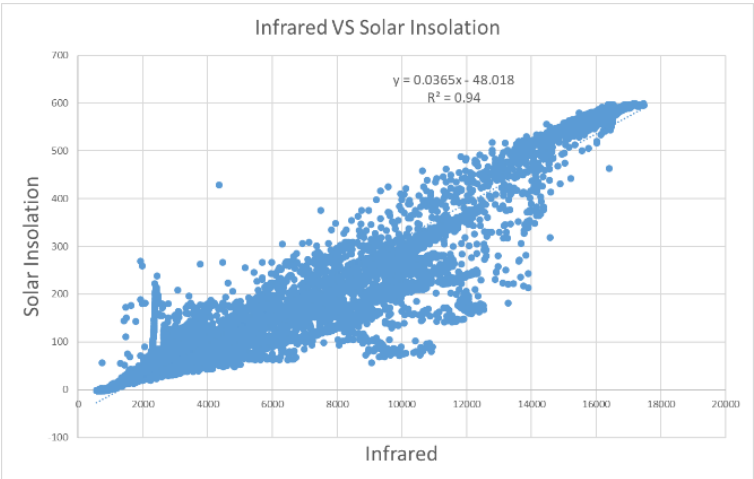
ผลจากการเก็บข้อมูลทั้งหมด 21,644 ชุด ผู้วิจัยได้ทำการจับคู่เพื่อหาความสัมพันธ์กันของข้อมูล ได้ดังแสดงในภาพที่ 5 - 7



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Visible Light กับ Solar Insolation



ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง UV กับ Solar Insolation



ภาพที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Infrared กับ Solar Insolation

จากกราฟทั้ง 3 ในภาพที่ 5-7 จะเห็นความสัมพันธ์ของกราฟเป็นความสัมพันธ์เชิงบวก (Janjai, 2014) ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำสมการถดถอยมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแสงทั้งสองประเภท พบว่า

Visible light กับ Solar Insolation

y = 2.8164x + 364.17

R Square = 0.98

UV Light กับ Solar Insolation

y = 0.0151x + 0.5746

R Square = 0.97

Infrared light กับ Solar Insolation

y = 25.775x + 1743.6

R Square = 0.94

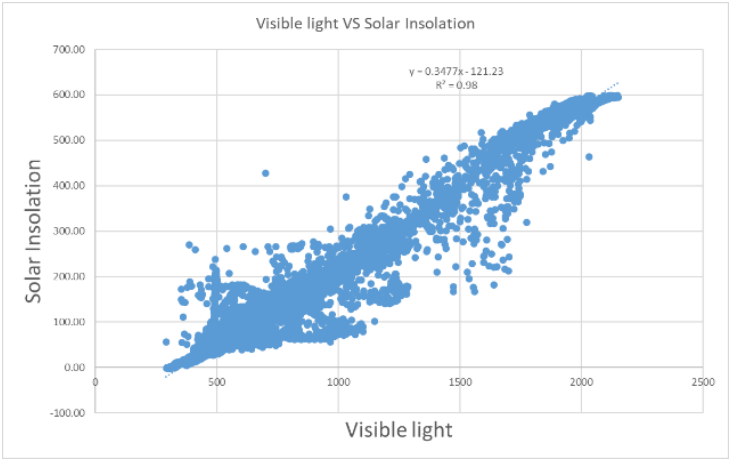
ทั้งนี้ ผู้วิจัยยังหา Correlation ความสัมพันธ์ของ Solar Insolation ต่อ Visible light, Infrared และ UV โดยใช้ฟังชั่นในโปรแกรม Excel ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Correlation ความสัมพันธ์ของ Solar Insolation ต่อ Visible light, Infrared และ UV

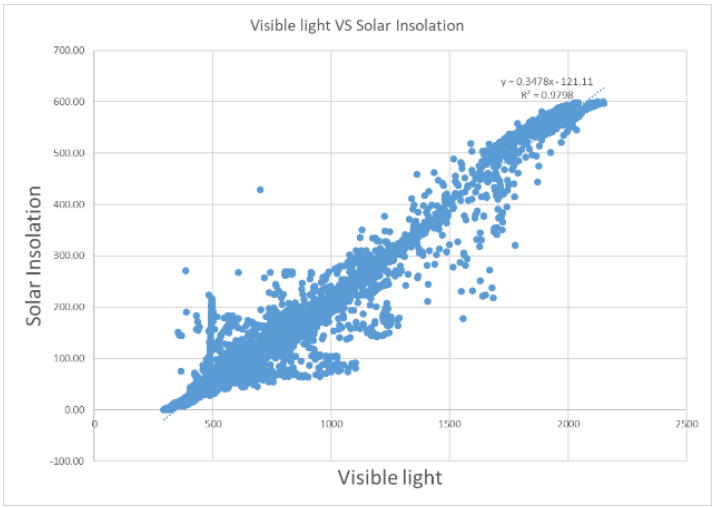
	Solar Insolation	**Visible light**	**Infrared**	**UV**
Solar Insolation	1			
Visible light	0.9896530	1		
Infrared	0.9698282	0.9883934	1	
UV	0.9896515	0.9999989	0.9883928	1

การทดลองที่ 2 หาความเหมาะสมในการบันทึกข้อมูลโดยใช้การหาค่าความถูกต้องแม่นยำ

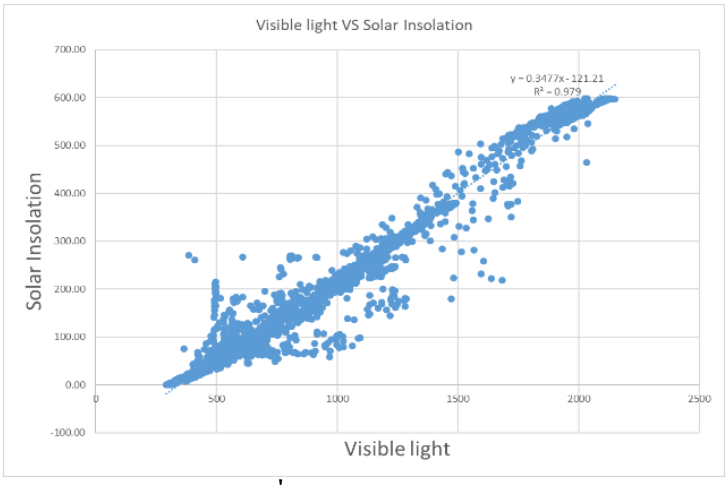
ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองที่ 2 โดยเลือก จากกราฟของ Visible Light กับ Solar Insolation มาทดสอบ โดยทำการตัดค่าที่บันทึกออกให้เป็นบันทึกทั้งหมด 6 แบบ ได้แก่ 1 วินาที, 2 วินาที, 5 วินาที, 10 วินาที, 30 วินาที และ 60 วินาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ



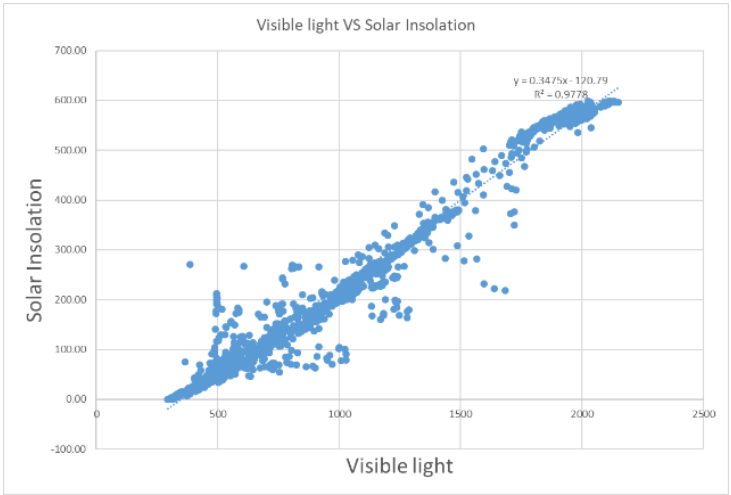
ภาพที่ 8 กราฟแบบ เก็บทุก 1 วินาที



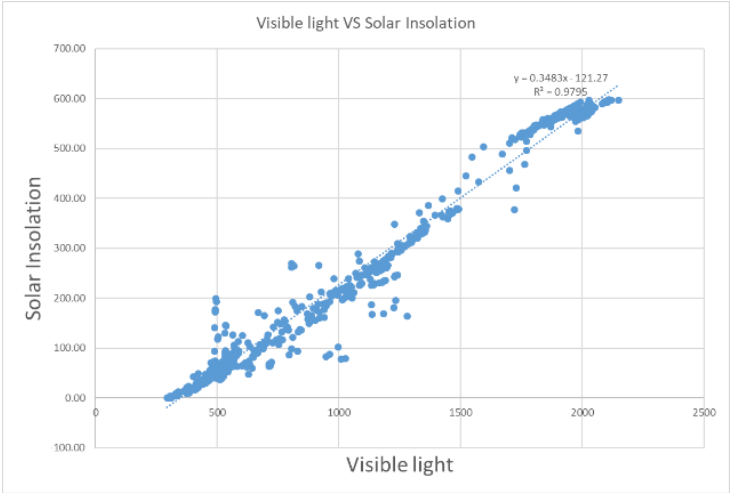
ภาพที่ 9 กราฟแบบเก็บทุก 2 วินาที



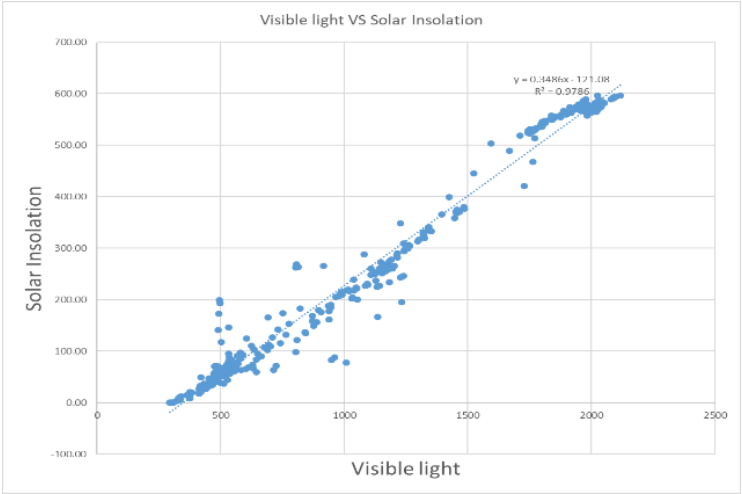
ภาพที่ 10 กราฟแบบเก็บทุก 5 วินาที



ภาพที่ 11 กราฟแบบเก็บทุก 10 วินาที



ภาพที่ 12 กราฟแบบเก็บทุก 30 วินาที



ภาพที่ 13 กราฟแบบเก็บทุก 60 วินาที

จากภาพที่ 8 - 13 จะเห็นได้ว่า แม้จะลดการบันทึกข้อมูลลงไป 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

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

$$= 0.0002$$

$$\%\text{error} = 0.0002 \times 100$$

$$= 0.02\%$$

$$\%\text{Accuracy} = 100 - 0.02$$

$$= 99.98\%$$

ข้อมูลที่เก็บทุก 5 วินาที

y = 0.3477x - 121.11

R Square = 0.979

หาค่าความแม่นยำได้

$$\text{Relative error} = \left|\frac{0.979-0.98}{0.98}\right| = 0.001$$

%error = 0.001 × 100 = 0.1%

%Accuracy = 100 - 0.1 = 99.9%

ข้อมูลที่เก็บทุก 10 วินาที

y = 0.3475x - 120.79

R Square = 0.9778

หาค่าความแม่นยำได้

$$\text{Relative error} = \left|\frac{0.9778-0.98}{0.98}\right| = 0.002$$

%error = 0.002 × 100 = 0.2%

%Accuracy = 100 - 0.2 = 99.8%

ข้อมูลที่เก็บทุก 30 วินาที

y = 0.3483x - 121.27

R Square = 0.9795

หาค่าความแม่นยำได้

$$\text{Relative error} = \left|\frac{0.9795-0.98}{0.98}\right| = 0.0005$$

%error = 0.0005 × 100 = 0.05%

%Accuracy = 100 - 0.05 = 99.95%

ข้อมูลที่เก็บทุก 60 วินาที

y = 0.3486x - 121.08

R Square = 0.9786

หาค่าความแม่นยำได้

$$\text{Relative error} = \left|\frac{0.9786-0.98}{0.98}\right| = 0.0014$$

%error = 0.0014 × 100 = 0.14%

%Accuracy = 100 - 0.14 = 99.86%

สรุป

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 ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงได้เลือกใช้ข้อมูล Visible light ในการสร้างสมการความสัมพันธ์กับความเข้มแสงอาทิตย์ ได้ค่าความสัมพันธ์ Isolar=246Xvis+ 126

3. ผลการศึกษาผลกระทบของจำนวนข้อมูลต่อค่าความถูกต้องของการวัดที่ระดับค่าต่างๆ พบว่าจำนวนข้อมูลที่ลดลงในช่วงไม่เกิน 60 วินาที ด้วยอัตราความถูกต้องที่ลดลงไม่ถึง 1%

4. ระบบที่นำเสนอสามารถทำงานได้ไม่ด้อยกว่าระบบเดิมที่ระดับความถูกต้องข้อมูล 98% โดย

ต้นทุนการจัดสร้างสุทธิ 1,345 บาท (45 $US) ซึ่งลดลงประมาณ 10-15 เท่า เมื่อเทียบกับเครื่องวัดแบบเดิม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร และสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับอุปกรณ์ เครื่องมือและการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

Akarachantachote, N. and Saithanu, K. 2017. Using partial least square regression in the case of violations of regression model assumptions. **Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal** 3(1): 69-75. (in Thai)

Hongpathong, J. and Numthuam, S. 2016. Method Development for Determination of Total Bacterial Amount in Raw Milk Using Near Infrared Spectroscopy, pp. 96-103. *In* **Thaksin University Conference 26.** Thaksin University, Songkhla. (in Thai)

Hong, T., Wang, P. and White, L. 2015. Weather station selection for electric load forecasting. **International Journal of Forecasting** 31(2): 286-295.

Janjai, S. 2014. **Solar Radiation.** 1st ed. Solar Energy Research Unit Department of Physics, Faculty of Science Silpakorn University, Nakhon Pathom. (in Thai)

Luewarasirikul, N., Sansomboon, A. and Ittipongse, A. 2012. **Research Report no Study of The Intensity of Global Solar Radiation Incident in Suan Sunandha Rajabhat University.** Suan Sunandha Rajabhat University. (in Thai)

Pattanasetthanon, S. 2005. **Research Report no Conservation of electrical energy in buildings With natural light energy.** Mahasarakham University. (in Thai)

Rukkhom, K., Khamruean, K. and Patcharaprakiti, N. 2017. A Weather Condition Data Logging and Monitoring System Via Wireless Zigbee. **Journal of Innovative Technology Research** 1(1): 55-70. (in Thai)

Sa-Ngiamvibool, W., Angkawisittpan, N., Nuan-on, A., Photong, C. and Kangrang, A. 2013. A Rain Gauge System using a Capacitance Sensor. **International Journal of Engineering and Technology** 5: 3596-3600.

Shabani, H., Ahmed, M.M. and Rose, A.H. 2017. Intelligent Greenhouse Monitoring and Control System Based Arduino UNO Microcontroller. **Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering** 9: 3-10.

Suryabhagavan, K.V. 2017. GIS-based climate variability and drought characterization in Ethiopia over three decades. **Weather Clim. Extrem** 15(15): 11-23.