

## การประมาณค่าแสงสว่างและพลังงานจากท้องฟ้า บริเวณศูนย์กลางภาคอีสาน ของประเทศไทย

### The availability of daylight from tropical skies — a case study at center of the north eastern part of Thailand

สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์<sup>1</sup> นรินทร์ วัฒนากุล<sup>2</sup> ปิ่นเพชร ปิ่นพานิชการ<sup>3</sup> และ อภิเดช ชียางคบุตร<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม

โทร: (043)754316; E-mail:singthong.p@msu.ac.th

<sup>2</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ธรรมศาสตร์ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี

โทร: (02)5643000-9 ต่อ 3055; E-mail:wnarin@engr.tu.ac.th

Singthong Pattanasethanon<sup>1</sup> Narintra Wattanakul<sup>2</sup> Pinpetch pinphanichakarn<sup>3</sup> and Apidej Chinyankaboot<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Faculty of Engineering Mahasarakham University, khantaravichai, Mahasarakham, Thailand 44150

Tel. (043)754316; E-mail:singthong.p@msu.ac.th

<sup>2</sup> Faculty of Engineering Thammasat University, Khonglaung, Patumtani, Thailand, 10120

Tel: (02)5643000-9 Ext. 3055; E-mail:wnarin@engr.tu.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลสรุปการวิเคราะห์หาโมเดลของแสงและพลังงาน ค่าเฉลี่ยสูงสุด ตลอดจนสภาพทั่ว ๆ ไปของสภาพท้องฟ้าจากการวัดข้อมูลที่สถานีวัดที่ตั้งอยู่ที่ชั้น 5 ของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งเป็นตำแหน่งใกล้ศูนย์กลางภาคอีสานของประเทศไทย นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแสงและพลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ ในแต่ละเดือน และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าคำนวณจากโมเดล กับค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งผลการวิจัยนี้คาดว่าจะมีประโยชน์สำหรับการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนหรือเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอนาคต

#### Abstract

Some results of the horizontal illuminance/ irradiance model, mean values, and daylight availability of the sky near a center of the northeastern part of Thailand are presented. Our meteorology station is located on top of the roof of the fifth story building in the faculty of engineering

\*Corresponding author.: Singthong Pattanasethanon

Tel./ Fax: 043 754316

E-mail address: [singthong.p@msu.ac.th](mailto:singthong.p@msu.ac.th)

Mahasarakham University. In addition, we compare the mean values of these series sky quantities data as showing in the contour plots. And the last, the horizontal illuminance/irradiance sky model is also examined. We hope that, all of these experimental results would have some contribution to apply for using in field of energy conservation in the future.

#### 1. บทนำ

แสงธรรมชาติและพลังงานจากรังสีอาทิตย์ที่มนุษย์คุ้นเคยกำลังได้รับความสนใจและมีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกในปัจจุบัน[1]. อย่างไรก็ตามสภาพท้องฟ้าในแต่ละท้องที่จะมีแสงและพลังงานในปริมาณที่ต่างกันหรืออาจมีลักษณะเป็นแบบเฉพาะ ดังนั้น การตั้งสถานีวัดเพื่อตรวจวัดปริมาณแสงและพลังงานตลอดจนการวิเคราะห์เพื่อแบ่งสภาพท้องฟ้าจึงมีความสำคัญ และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาองค์ความรู้ในการนำแสงและพลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อใช้อนุรักษ์พลังงานให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นตามความมุ่งหวังของคณะกรรมการแสงสว่างสากล, CIE(Commission Internationale DE L' E'clairage) ในโครงการ IDMP (International Daylighting Measured Program)[2].

เพื่อเป็นประโยชน์ในการสร้างฐานข้อมูลทางวิชาการที่ทันสมัยให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องในสาขาพลังงานภายในประเทศ จุดประสงค์ของการวิจัยนี้ จึงนำเสนอผลการวัดแสงและพลังงานรังสีอาทิตย์ รวมทั้งโมเดลของท้องฟ้าซึ่งได้จากข้อมูลของสถานีวัดที่ตั้งอยู่บนชั้น 5 ของตึก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลสรุปโมเดล ที่ได้  
อาจใช้เป็นสมการสำหรับประมาณค่าแสงและพลังงานในบริเวณภาค  
อีสาน นอกจากนี้ได้เสนอแนวทางพัฒนาพลังงานทดแทนโดยแสดง  
ผลทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์ เพื่อประเมินศักยภาพของ  
สภาพท้องฟ้าจริงบริเวณศูนย์กลางอีสาน

## 2. สถานีวัดและวิธีการวัด

สถานีวัดแสงและพลังงานท้องฟ้าของคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เริ่มบันทึกข้อมูลเมื่อ 16 กันยายน พ.ศ.  
2547. ถึง 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ตั้งอยู่ที่ละติจูด 16°14'N, ลองติ  
จูด 103° 15' E ขณะที่ พิกัดศูนย์กลางของภาคอีสานมี ละติจูด 16°  
11' N,ลองติจูด 103° 04' E[3]. ปริมาณแสงและพลังงานของท้องฟ้าที่  
ทำการบันทึกประกอบด้วย ปริมาณแสงรวม(Global illuminance, Evg)  
ปริมาณพลังงานรังสีรวม (Global radiation, Eed) และ ปริมาณ  
พลังงานรังสีท้องฟ้า (Diffuse radiation, Eed) การควบคุมคุณภาพของ  
ข้อมูลจากการวัด ได้ปฏิบัติตามข้อบังคับมาตรฐานกำหนดของ CIE[2],



รูปที่ 1 ตัววัดรังสีบนดาวฟ้าชั้น 5 ของตึกวิศวกรรม มมส.

## 3. การประเมินหารูปแบบของท้องฟ้า

ตามมาตรฐานของ CIE และ IESNA[4] ท้องฟ้าจะแบ่งเป็น  
3 แบบคือ ฟ้าใส ฟ้ามีเมฆบางส่วน และ ฟ้าครึ้ม โดยงานวิจัยนี้ใช้ดัชนี  
บ่งชี้การแบ่งท้องฟ้า 2 ดัชนีคือ สกายเรโซ (Sky Ratio,SR) ซึ่งมีค่า  
ระหว่าง 0 ถึง 1 และ ดัชนีความสว่างของ เปเรซ (Perez's Clearness  
Index,  $\epsilon$ ) มีค่า ระหว่าง 1.00 ถึง > 4.500 ตามค่าที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ดัชนีบ่งชี้ การแบ่งสภาพท้องฟ้า 3 แบบ

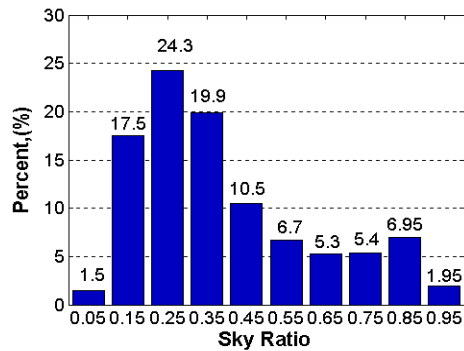
ค่าดัชนีบ่งชี้		สภาพท้องฟ้า
Sky ratio(SR)	Clearness index ( $\epsilon$ )	
$SR \leq 0.3$	$4.500 \leq \epsilon$	ฟ้าใส
$0.3 < SR < 0.8$	$1.065 \leq \epsilon$	ฟ้ามีเมฆบางส่วน
$0.8 \leq SR$	$\epsilon \leq 1.065$	ฟ้าครึ้ม

ค่าสกายเรโซ และค่าดัชนีความสว่างของเปเรซ มีสมการความสัมพันธ์  
ดังแสดงในสมการที่ 1 และ สมการที่ 2 ตามลำดับดังนี้

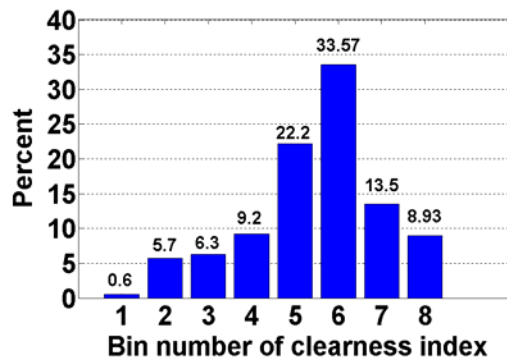
$$\text{Sky Ratio: } SR = \frac{Eed}{Eeg} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{\left[ \frac{(Eeg - Eed)}{\cos Z} + Eed \right]}{Eed} + 1.04 * Z^3 \quad (2)$$

เมื่อ Eeg = ปริมาณพลังงานรังสีรวม ( $w.m^{-2}$ )  
Evg = ปริมาณแสงรวม ( $lum.m^{-2}$ )  
Eed = ปริมาณพลังงานรังสีท้องฟ้า ( $w.m^{-2}$ )  
Z = มุมซันิต (Zenith angle; radian)



รูปที่ 2 ค่าความถี่ของลักษณะท้องฟ้าเมื่อ SR แบ่งเป็น 10 ช่วง



รูปที่ 3 ค่าความถี่ของลักษณะท้องฟ้าเมื่อ  $\epsilon$  แบ่งเป็น 8 บิน(Bin)

การแบ่งลักษณะท้องฟ้าตามสมการที่ 1 เป็น 10 ช่วงและ สมการที่ 2  
เป็น 8 บิน จะมีผลดีสำหรับการจำแนกสภาพท้องฟ้าเพื่อการ สังเคราะห์  
หาสมการเพื่อใช้ในการคำนวณหรือได้โมเดลที่มีความละเอียดมากขึ้น

ในแต่ละรูปแบบของท้องฟ้า[5]. ความถี่ของท้องฟ้าที่ปรากฏในแต่ละรูปแบบจากการตรวจวัด แสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแนวโน้มของท้องฟ้าจะมีลักษณะ ค่อนข้างเป็นฟ้าใส สาเหตุเนื่องมาจากระยะการตรวจวัดอยู่ในช่วงฤดูหนาว ดังนั้นหากแบ่งท้องฟ้าเป็น 3 แบบ ตามมาตรฐานของ CIE และ IESNA เพื่อใช้ในทางปฏิบัติแล้ว พบว่า เปอร์เซนต์ของความถี่ในการเกิดท้องฟ้าฟ้าครึ้ม ฟ้ามีเมฆบางส่วน และ ฟ้าใส มีค่า 8.9% 47.8% และ 43.3% ตามลำดับ สำหรับการวัดดัชนีบ่งชี้แบบ สกายเรโซ ส่วนในการแบ่งสภาพท้องฟ้าโดยการใช้ดัชนีความสว่างของเปเรซ จะมีค่าเป็น 6.3% 71.27% และ 22.43% ตามลำดับ สรุปสภาพท้องฟ้า 3 ลักษณะซึ่งแบ่งตามดัชนี 2 แบบ มีค่าแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาพของท้องฟ้าทั้ง 3 แบบช่วง กย. 2547-กพ. 2548

ดัชนีบ่งชี้	เปอร์เซนต์ของความถี่การเกิดท้องฟ้า 3 ลักษณะ		
	ฟ้าครึ้ม	ฟ้ามีเมฆบางส่วน	ฟ้าใส
Sky Ratio	8.9% (0.8-1)	47.8% (0.3-0.8)	43.3% (0-0.3)
Clearness Index, Perez	6.3% bin 1 & 2	71.27% bin 3 - 6	22.43% bin 7 & 8

#### 4. การหาโมเดลของรังสีรวมและรังสีกระจายบนพื้นราบ

ปริมาณแสงและรังสีอาทิตย์ กับมุมเงยของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude angle,  $\alpha$ ) ที่จุดสังเกตบนพื้นโลก มีความสัมพันธ์ตามสมการที่ CIE กำหนดคือ

$$E = A * \sin^B(\alpha) \quad (3)$$

เมื่อ E คือ ปริมาณแสงหรือรังสีอาทิตย์  
A และ B คือ ค่าคงที่ของโมเดล  
 $\alpha$  คือ มุมเงยของดวงอาทิตย์

การหาค่าคงที่ A และ B ของสมการ 3 จะหาได้โดยการ รีเกรสชัน (Regression) ปริมาณแสงหรือรังสีของท้องฟ้ากับค่ามุมเงย,  $\alpha$  ตามชุดคำสั่งในโปรแกรม SPSS. จากผลการ รีเกรสชัน ข้อมูลตามการกระจายความถี่ในตารางที่ 2 ค่าคงที่ A และ B ของโมเดลรวมทั้งค่าที่ใช้แสดงสมบัติของโมเดลทางสถิติ MBD (Mean Bias Deviation), RMSD (Root Mean Square Deviation) และค่า  $R^2$  (Coefficient of Determination) สรุปในตารางที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ ส่วนกราฟปริมาณแสงและพลังงานรังสีอาทิตย์ซึ่งสัมพันธ์กับ มุมเงย,  $\alpha$  แสดงในรูปที่ 4 5 และ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 Summary of Global radiation model; Eeg

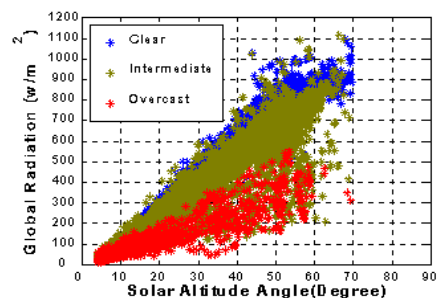
Sky Ratio	Mean $w/m^2$	A	B	MB D	RM SD	$R^2$
0.0 – 0.3	690.2	1005	1.11	0.02	6.61	0.93
0.3 – 0.8	347.6	882.1	1.25	0.18	20.8	0.89
0.8 – 1.0	129.0	431.6	1.13	-1.4	39.2	0.86

ตารางที่ 4 Summary of Diffuse radiation model; Eed

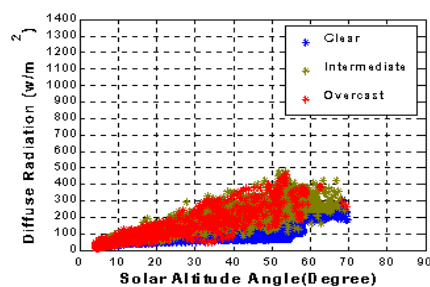
Sky Ratio	Mean $w/m^2$	A	B	MB D	RM SD	$R^2$
0.0 – 0.3	215.5	217.8	1.26	-0.4	26.5	0.49
0.3 – 0.8	140.8	315.4	1.05	-0.6	20.8	0.86
0.8 – 1.0	111.6	370.2	1.11	-1.2	37.7	0.82

ตารางที่ 5 Summary of Global illuminance model; Evg

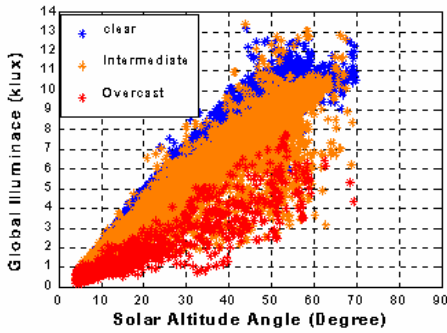
Sky Ratio	Mean kLux	A (k)	B	MB D	RM SD	$R^2$
0.0 – 0.3	91.54	121.85	0.88	0.03	7.6	0.88
0.3 – 0.8	46.29	110.72	1.15	0.34	20.4	0.89
0.8 – 1.0	18.79	62.06	1.11	-1.1	36.8	0.82



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ Eeg กับมุมเงย,  $\alpha$  ของฟ้าทั้ง 3 แบบ



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ Eed กับมุมเงย,  $\alpha$  ของฟ้าทั้ง 3 แบบ

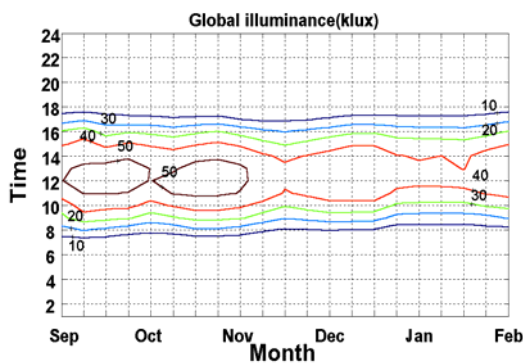


รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์, Evg กับ มุมเงย,  $\alpha$  ของฟ้าทั้ง 3 แบบ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีชี้วัดซึ่งใช้สำหรับแบ่งลักษณะของท้องฟ้าของประเทศไทยพบว่า สกายเรโซ, SR และดัชนีความสว่างของเปเรส,  $\varepsilon$  มีความสัมพันธ์กันตามสมการ 4[6],

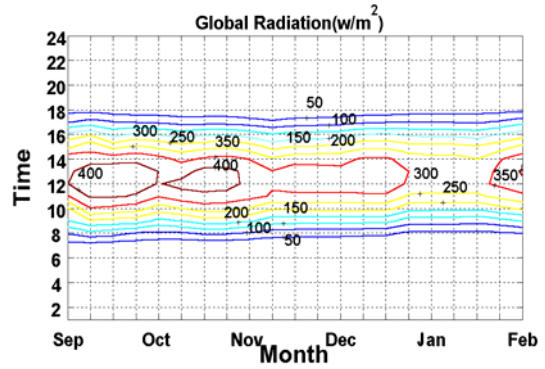
$$\varepsilon = \frac{I}{SR + 0.05} \quad (4)$$

ดังนั้นการประมาณค่าแสงและพลังงานจากรังสีอาทิตย์ ที่มีดัชนีชี้วัด ต่างกัน ระหว่าง สกายเรโซ หรือ ดัชนีความสว่างของเปเรส นั้น สมการที่ 4 จะสามารถใช้ในการแปรงดัชนีที่ใช้ในการแบ่งสภาพท้องฟ้าระหว่างตัวบ่งชี้ทั้งสองได้ จากผลการวิเคราะห์หาโมเดลทำให้ทราบ ค่าเฉลี่ยของ แสงรวม, Evg พลังงานรังสีรวม, Eeg และพลังงานรังสีท้องฟ้า, Eed มีค่าเป็น 74Klux, 654 w/m<sup>2</sup> และ 206 w/m<sup>2</sup> ตามลำดับ



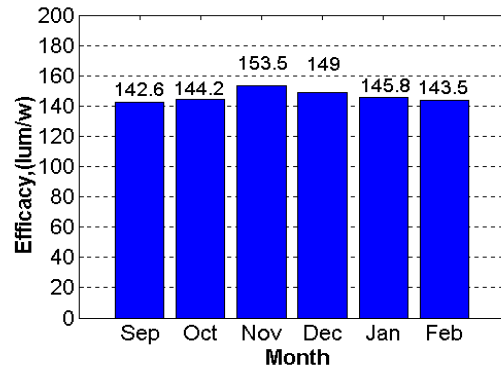
รูปที่ 7 คอนทัวร์ของระดับแสงรวมในแต่ละเดือน

ค่าของระดับแสงและพลังงานรังสีอาทิตย์รวม เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์เทียบกับเวลา ระดับคอนทัวร์ของปริมาณแสงและพลังงานรังสีรวมจะแสดงในรูป 7 และ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 8 คอนทัวร์ของระดับพลังงานรังสีรวมในแต่ละเดือน

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานเป็นแสงของท้องฟ้า (Efficacy,  $\eta$ ; lum/w) จาก 16 กันยายน 2547 ถึง 20 กุมภาพันธ์ 2548 จากรูปที่ 9 พบว่า เดือนพฤศจิกายน 2547 มีค่า  $\eta$  สูงสุด เนื่องจากเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด และค่า  $\eta$  เฉลี่ยในช่วง 6 เดือนมีค่าเป็น 146.4 lum/w



รูปที่ 9 อัตราส่วนของแสงต่อพลังงานของท้องฟ้า, Efficacy;  $\eta$

## 5. การนำแสงและพลังงานจากท้องฟ้าเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

การพัฒนาหาแหล่งพลังงานทดแทน หรือ การอนุรักษ์พลังงานแสงไฟฟ้าในอาคาร จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบโมเดลของแสงและพลังงานจากท้องฟ้า หรือค่าเฉลี่ยของแสงและพลังงาน ตลอดจนค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานเป็นแสงของท้องฟ้า ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการพัฒนาหาแหล่งพลังงานทดแทน ในหลักการแปรงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ เซลล์แสงอาทิตย์ (Photo Voltaic Cell; PV Cell) ให้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำ[7]



รูปที่ 10 โครงสร้างของระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

โครงสร้างรวมของระบบแสดงในรูปที่10 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์,  $E_a$  จะมีสมการความสัมพันธ์เป็น

$$E_a = \frac{P_o}{P_i} = \frac{I \times V}{G \times A} \quad (5)$$

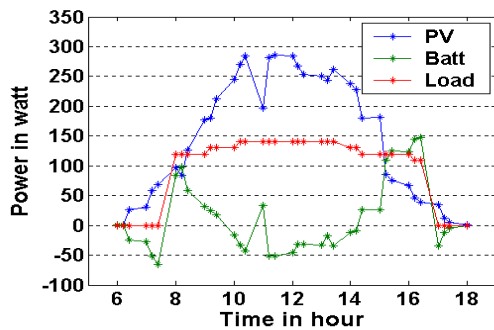
เมื่อ  $P_o$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ทางออกเซลล์ (watt)

$P_i$  คือ กำลังทางเข้าที่รับมาจากรังสีอาทิตย์ (watt)

$I$  คือ กระแสไฟฟ้า (Amp);  $V$  คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

$G$  คือรังสีอาทิตย์ ( $w/m^2$ );  $A$  คือ พื้นที่ของเซลล์ ( $m^2$ )

จากสมการที่ 5 รังสีอาทิตย์,  $G$  เป็นตัวแปรที่สำคัญ ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 11 ผลการทดลองเครื่องสูบน้ำขนาด 1/2 แรงม้า

รูปที่ 11 เปรียบเทียบผลทดลองระบบทั้งหมด, การทำงาน ช่วง 6-7 โมงเช้า โซลาร์เซลล์จ่ายพลังงานให้แบตเตอรี่ ช่วง 7- 8 โมง ปุ่มเริ่มทำงาน รังสีอาทิตย์มีค่าต่ำ โซลาร์เซลล์ มีพลังงานไม่พอจ่ายมอเตอร์ แบตเตอรี่จึงต้องจ่ายพลังงานสะสมช่วย ช่วงหลังจาก 8 โมง แบตเตอรี่เริ่มลดการจ่ายกระแสไหลตเนื่องจาก โซลาร์เซลล์ ได้รับรังสีอาทิตย์สูงขึ้นและมีพลังงานเพียงพอสำหรับมอเตอร์ ช่วง 10 – 14 โมง แบตเตอรี่ถูกชาร์จกระแสจาก โซลาร์เซลล์ ช่วง 14-16 โมง แบตเตอรี่เริ่มจ่ายกระแสช่วยเพราะ รังสีอาทิตย์เริ่มลดลง ช่วง 17 โมง หยุดทำงาน

## 6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอโมเดลของแสงสว่างและพลังงานรังสีอาทิตย์ จากข้อมูลของสถานีวัด ซึ่งตั้งอยู่บนชั้น 5 ของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยมีตำแหน่งที่อยู่ใกล้ศูนย์กลางของภาคอีสาน สภาพท้องฟ้ามีลักษณะเป็น ฟ้าใสและค่อนข้างฟ้าใส เนื่องจากการบันทึกข้อมูลเป็นต้นฤดูหนาว จากผลการรีเกรสชั่น เพื่อหาค่าคงที่สำหรับโมเดลของท้องฟ้าแต่ละแบบ พบว่า ค่าความแม่นยำทางสถิติของโมเดลมีค่าสูง การพิจารณาความยาวช่วงเวลากลางวันของแต่ละรอบวัน พบว่าช่วงเวลากลางวันมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ค่าเฉลี่ยของพลังงานรังสีรวมมีค่า  $654 w/m^2$  แต่ค่าเฉลี่ยของแสงมีค่า  $74 klux$  ซึ่งค่อนข้างสูงเนื่องจากเป็นช่วง ฤดูหนาว เป็นผลให้ค่า ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานรังสีรวมเป็นแสงสว่างของท้องฟ้ามีค่าสูง เฉลี่ย  $146 lum/w$  ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของท้องฟ้าบริเวณศูนย์กลางภาคอีสานสามารถจะพัฒนาให้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในเวลากลางวันได้ในอนาคต

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนงบประมาณทุนวิจัย จนทำให้มีโอกาสจัดตั้งสถานีวัดแสงและพลังงานท้องฟ้าแห่งนี้ให้ดำเนินงานได้สำเร็จ และขอขอบพระคุณ คณะกรรมการกำหนดนโยบายพลังงานแห่งชาติที่ได้กรุณาอนุมัติทุนการศึกษาระดับปริญญาเอก ณ สถาบัน เทคโนโลยีแห่งเอเซียแก่ผู้วิจัยในช่วงวิกฤติเศรษฐกิจ มา ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

## เอกสารอ้างอิง

1. Homepage ของ สนพ. <http://www.eppo.go.th> ประกาศ ณ วันที่ ๑๕ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๔๗.
2. CIE TC-3.07, Guide to Recommended Practice of Daylight Measurement, final Draft, august 1993.
3. หนังสือแจ้งจุดศูนย์กลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ,ที่ มค. 0032/ว.313, 22 กพ. 2544, ศท.จังหวัด มหาสารคาม.
4. Reas MS, Delighting, Lighting Handbook: Reference and Application (chapter 8), Illuminating Engineering Society of North America (IESNA),2000.
5. Surapong C., Pipat C., Singthong P., " Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok", Renewable Energy, Vol.,26, pp. 69-89, 2002.
6. Surapong C., Pipat C., Singthong P., " Challenges of daylighting with the luminosity and variability of the tropical sky", Lighting Research Tech, Vol.,35, pp.3-10, 2003.
7. สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์, รายงานวิจัย "เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์", ทุนวิจัยย ม.มหาสารคาม ประจำปี 2547.
8. ALI A. HAMZA and AZMI Z. TAHA, "Performance of submersible PV Solar Pumping systems Under Conditions in the Sudan", Renewable Energy, Vol. 6, No. 5-6, pp. 491-495, 1995.