

## เอกสารอ้างอิง

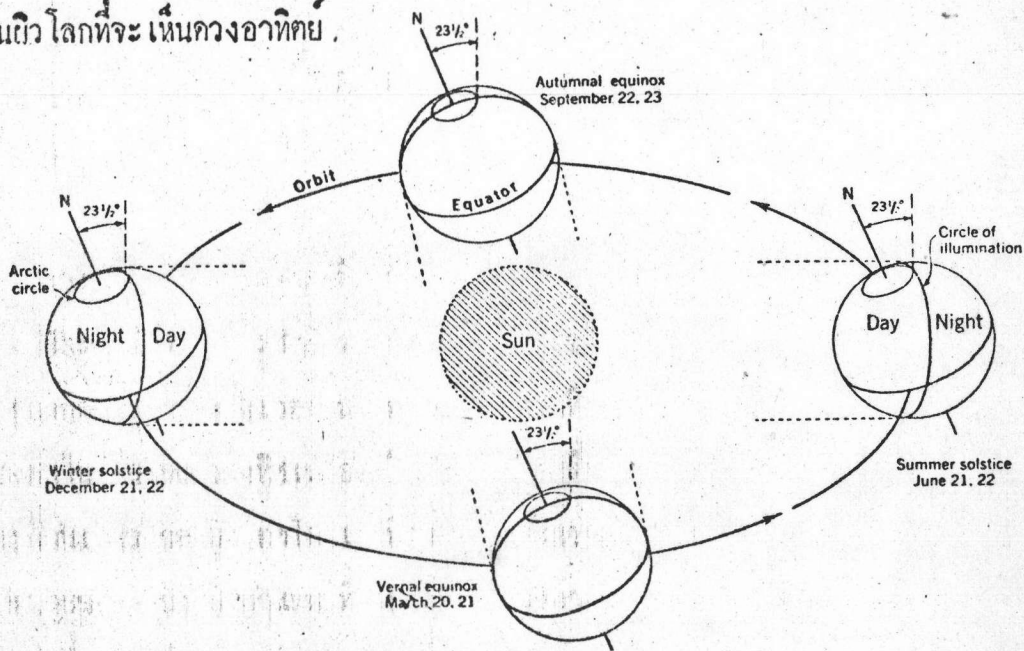
1. Aden B. Meinel and Marjorrie P. Meinel. Applied Solar Energy.  
Mass: Addison-Wesley Publishing Co., 1977.
2. John A. Duffie and William A. Beckman. Solar Energy Thermal Processes.  
New York: A Wiley-Interscience Publication, 1974.
3. Dr. R. H. Exell. The Availability of Solar Energy in Thailand.  
Patumthanee: A.T.I., 1976.
4. Brinkworth, B. J. Solar Energy for Man. Salisbury: The Compton Press,  
1974.
5. ประโมทย์ อุดมไวยยะ. เทคนิคแสงสว่าง. กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลง  
กรณ์มหาวิทยาลัย, 2520.
6. ประโมทย์ อุดมไวยยะ. " การศึกษาและพัฒนาวัสดุเพื่อใช้ทางแสงสว่างและแสงอาทิตย์. "  
ในการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าวิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, มิถุนายน 2521.
7. นवलจันทร์ เจริญพัฒน์, จารีย์ ศิริโค, พรทวี พึ่งรัมย์ และ สุภา เกียรติจางวงศ์.  
คู่มือปฏิบัติการภาพถ่ายขาวดำ. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยา  
ลัย, 2522.
8. ศักดา ศิริพันธ์. เทคนิคและศิลปะการถ่ายภาพ. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช, 2521



ภาคผนวก ก

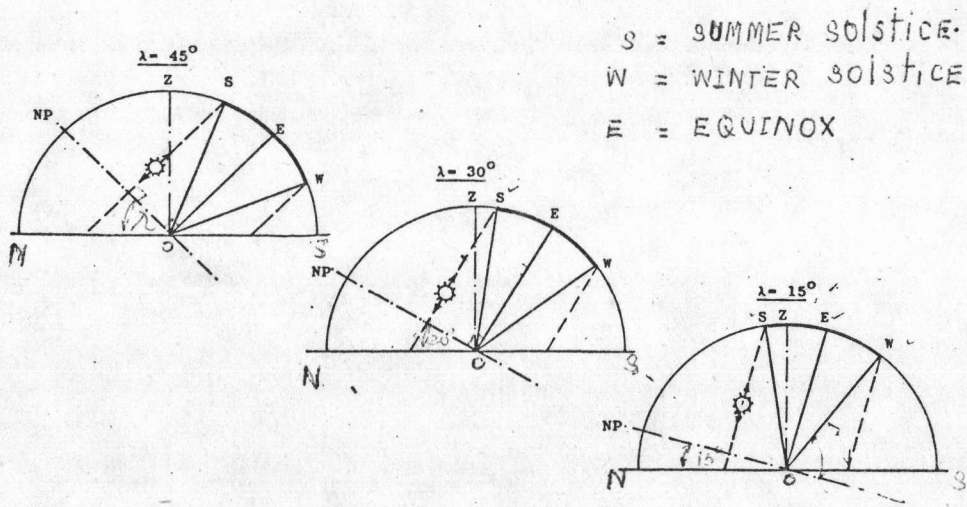
ตำแหน่งดวงอาทิตย์และการจัดวางอุปกรณ์

การจัดวางอุปกรณ์รับรังสีดวงอาทิตย์นั้นมีหลายวิธี สิ่งที่สำคัญเพื่อที่จะรับรังสีดวงอาทิตย์ ตลอดเวลาอย่างมีประสิทธิภาพ รูป ก.1 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ผลจากการเคลื่อนที่ของโลกตลอดปี ซึ่งสังเกตเห็นว่าตำแหน่งดวงอาทิตย์เวลาเที่ยงวันจะเปลี่ยนแปลงระหว่างมุม 47 องศาในระนาบแนวคิ่งทิศเหนือทิศใต้ คือ การเปลี่ยนแปลงมุมแคคโคไลเนชันนั่นเอง การเปลี่ยนแปลงของมุมแคคโคไลเนชันอยู่ในช่วงระหว่างฤดูร้อนเป็นมุม 23.5 องศาในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่โลกห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุดและในฤดูหนาว เป็นมุม -23.5 องศาในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม ซึ่งเป็นตำแหน่งที่โลกห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุดเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างที่ละติจูด 15 องศา, 30 องศาและ 45 องศาจากรูป ก.2 รูป ก.3 แสดงละติจูดทำงานบนผิวโลกที่จะเห็นดวงอาทิตย์

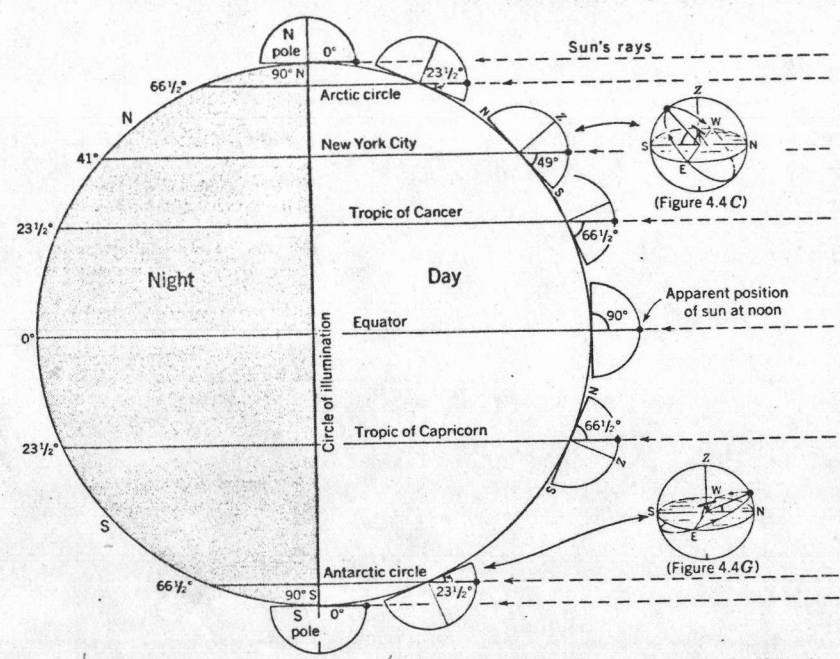


รูป ก.1 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

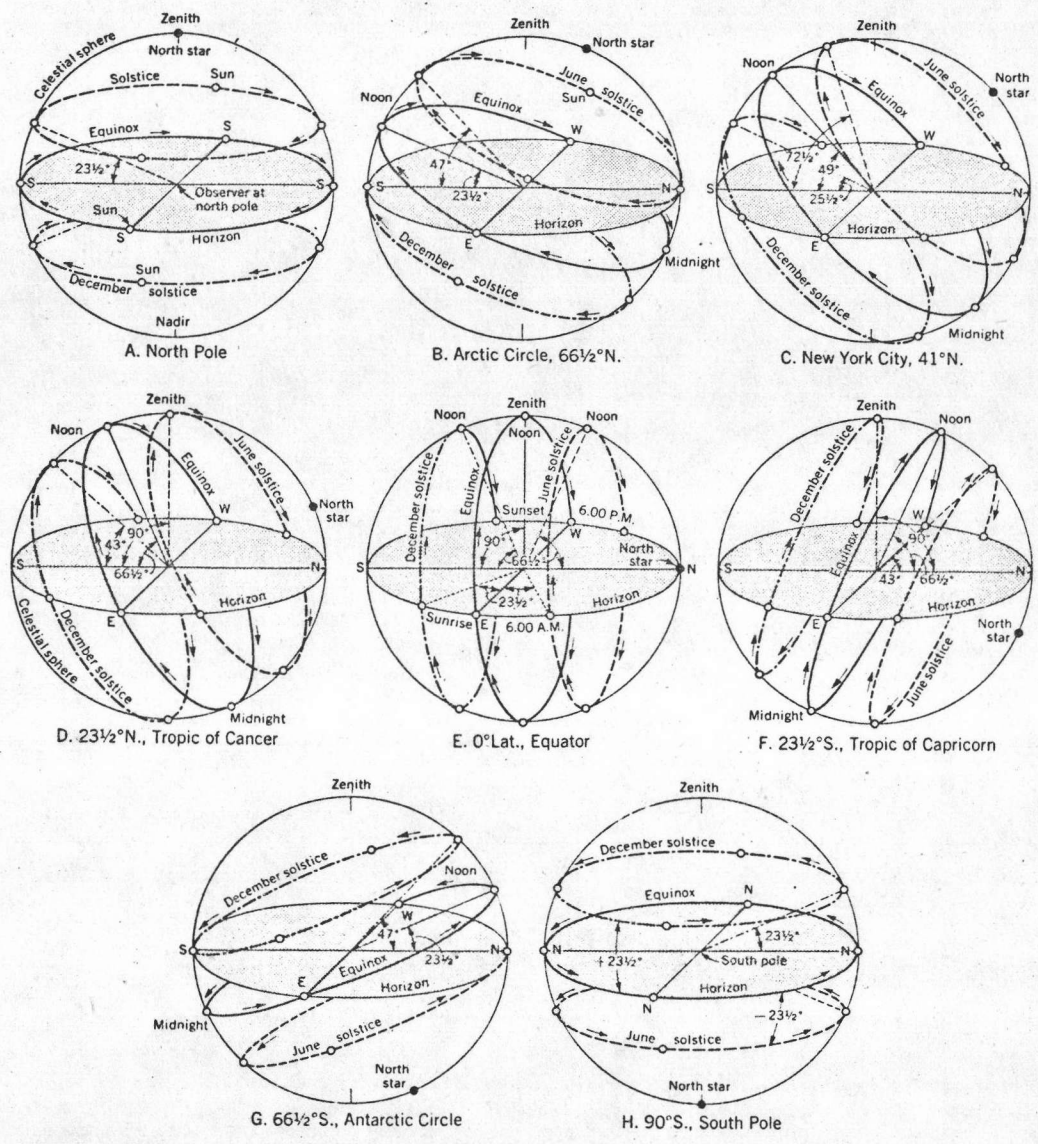




รูป ๑.๒ การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ละติจูดต่าง ๆ



รูป ๑.๓ ภาพแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ละติจูดต่าง ๆ



รูป ก.4 ภาพแสดงระนาบการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ละติจูดต่าง ๆ

รูป ก.4 แสดงการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เช่น ที่ละติจูด 0 องศาของอาทิตย์ จะเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบตั้งฉากกับระนาบเอควาเตอร์



### ความยาวซีก (Z)

ความยาวซีก คือ มุมระหว่างแนวตั้งกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นองศาหรือเรเดียนมีสมการดังนี้

$$\cos Z = \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cos (t) \quad (\text{ก.1})$$

$\lambda$  = ละติจูดมีหน่วยเป็นองศาหรือเรเดียน

$t$  = มุมชั่วโมงดวงอาทิตย์ (เมื่อเวลา 12.00 น.  
= 0 องศา คิกเป็นชั่วโมงละ 15 องศา)

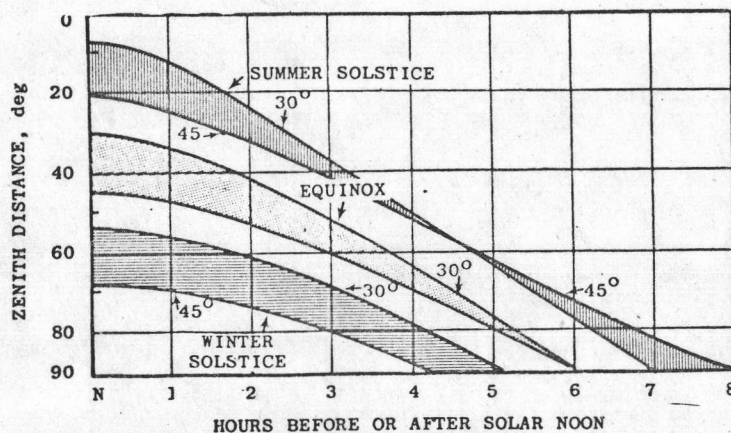
$\delta$  = มุมเอคไลเนชั่น, หน่วยองศาหรือเรเดียน

= มุมระหว่างแนวอีควิน็อกกับตำแหน่งดวงอาทิตย์  
ในระนาบแนวตั้งทิศเหนือทิศใต้ (รูป ก.2)

แนวอีควิน็อก: เส้นกึ่งฉากระหว่างเส้นตรง OE กับแกนหมุนโลก

NPO (รูป ก.2)

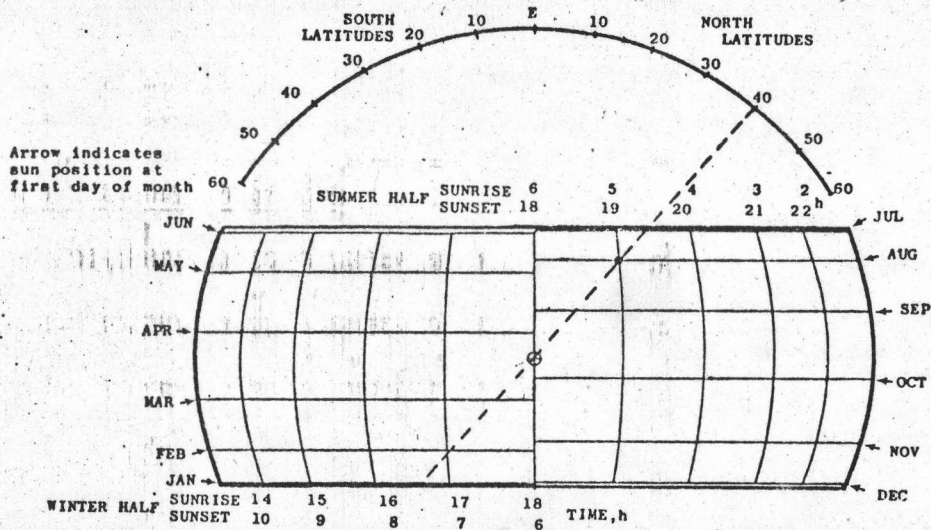
รูป ก.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Z, t,  $\delta$  และ  $\lambda$  ที่ละติจูด 30 องศาเหนือและ 45 องศาเหนือ จากกราฟแสดงให้เห็นความแตกต่างของความยาวซีกเมื่อมุมชั่วโมงดวงอาทิตย์เปลี่ยนไปหลังเที่ยงวันและก่อนเที่ยงวัน ที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์สามตำแหน่ง คือ ที่เอคไลเนชั่น 0 องศา (อีควิน็อก), ที่เอคไลเนชั่น 23.5 องศาเหนือและที่เอคไลเนชั่น 23.5 องศาใต้ระหว่างละติจูด 30 องศาเหนือและ 45 องศาเหนือ



รูป ก.5 กราฟความสัมพันธ์ของความยาวซีกกับเวลา (ชม.)

วิธีหาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์

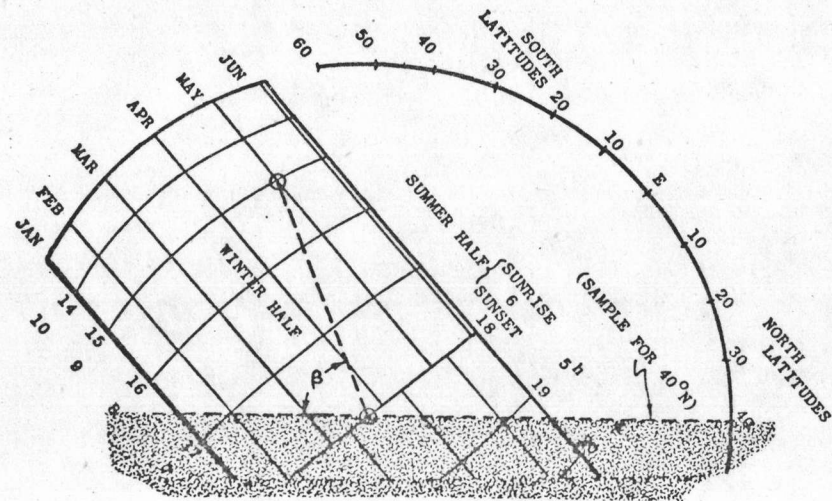
การเปลี่ยนแปลง เวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์เป็นฟังก์ชันกับละติจูด, วันและ เดือนในหนึ่งปี  
 รูป .6 แสดงการหาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ ในรูปจะ เห็นเส้นตรง 2 เส้น เส้นที่หนึ่ง  
 เป็นเส้นปะลาจากละติจูดของแก่ละห้องดินผ่านจุดศูนย์กลาง ในที่นี้ละติจูดมีค่า 40 องศาเหนือ เส้น  
 ที่สอง เป็นเส้นตรง ในแนวราบลากจากวันและ เดือนที่ต้องการ ไปตัด เส้นตรง เส้นที่หนึ่ง ในที่นี้ เป็นวันที่หนึ่ง  
 สิงหาคม จากจุดตัดนั้น ซึ่งสามารถอ่าน เวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ ได้โดยมองตามเส้นโค้งที่จุด  
 ตัดไปยัง เส้นของ เวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ ในที่นี้ เวลาขึ้นมีค่าเป็น 05.00น. และตกเวลา  
 19.00น.



รูป ก.6 การหาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ โดยวิธีกราฟ

รูป ก.7 แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ละติจูด 40 องศาเหนือ ยกตัวอย่าง เช่น  
 วันที่ 1 เมษายน ดวงอาทิตย์ขึ้นเวลา 09.00น. และตกเวลา 15.00น. ลากเส้นจากจุดนั้นไปยังจุด  
 ศูนย์กลางจะได้ความมุมสูงสุด เมื่อเที่ยงวัน ตำแหน่งดวงอาทิตย์ทำมุมกับพื้นมีค่าเท่ากับ  $\beta$  องศา

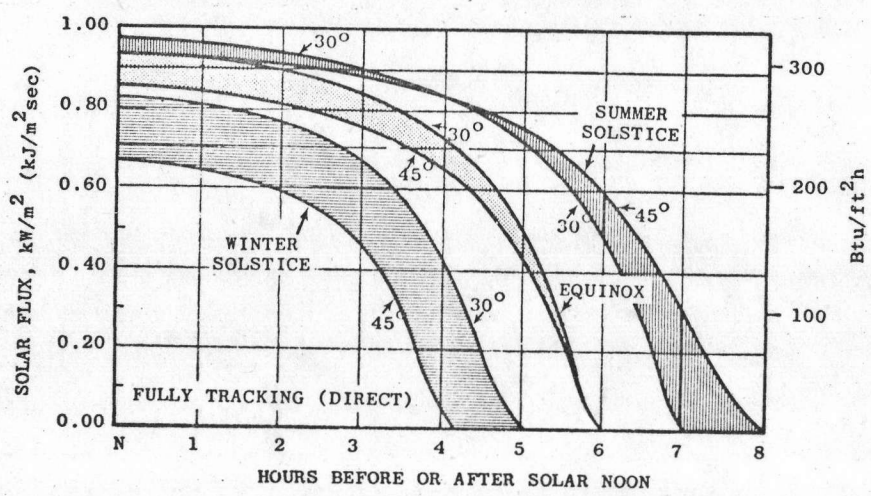




รูป ก.7 การหามุมยกของตำแหน่งดวงอาทิตย์กับพื้นดินโดยวิธีกราฟ  
การวางอุปกรณ์รับแสงติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา

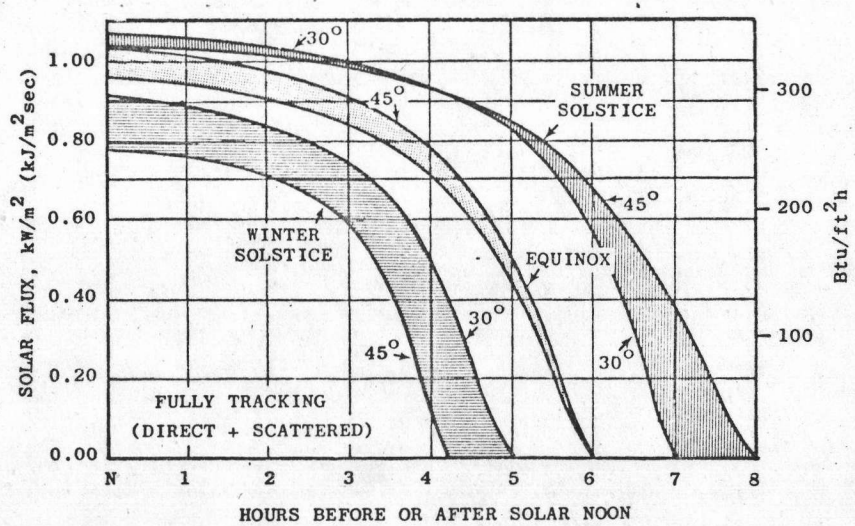
ระบบติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา นั้นจะต้องมีการติดตามทั้งสองแกน แกนที่หนึ่งอยู่ในแนวขนานกับแกนหมุนของโลก เป็นแกนที่ทำให้อุปกรณ์หมุนจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก เพื่อติดตามดวงอาทิตย์ในแต่ละวันตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตก แกนที่สองอยู่ในแนวตะวันออกตะวันตก เป็นแกนที่ทำให้อุปกรณ์รับแสง เบี่ยงเบนไปทางทิศเหนือทิศใต้ ซึ่งเป็นการปรับมุมเคคโคส เนชัน เนื่องจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์อยู่ในระนาบตะวันออกตะวันตกในแต่ละวัน แต่จะเบี่ยงเบนไปทางทิศเหนือและทิศใต้เป็นมุม  $\pm 23.5$  องศาที่เอควิน็อกซ์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเคคโคส เนชัน ดังนั้นการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ทั้งสองแกนจึงจำเป็นในแต่ละวัน ทั้งนี้ เพื่อให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ได้สูงสุด

รูป ก.8 แสดงถึงความแตกต่างของพลังงานลำแสงตรงจากดวงอาทิตย์ที่อุปกรณ์ได้รับที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์สามตำแหน่งระหว่างละติจูด 30 องศาและ 40 องศา



รูป ก.8 พลังงานลำแสงตรงแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์ได้รับสำหรับระบบติดตามทิศทางตลอดเวลา

รูป ก.9 แสดงถึงความแตกต่างของพลังงานลำแสงตรงจากดวงอาทิตย์รวมกับแสงกระจายจากท้องฟ้าที่อุปกรณ์ได้รับตำแหน่งดวงอาทิตย์สามตำแหน่งระหว่างละติจูด 30 องศาและ 45 องศา



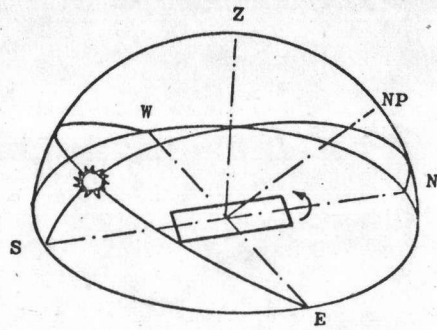
รูป ก.9 พลังงานแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์ได้รับสำหรับระบบติดตามทิศทางตลอดเวลา



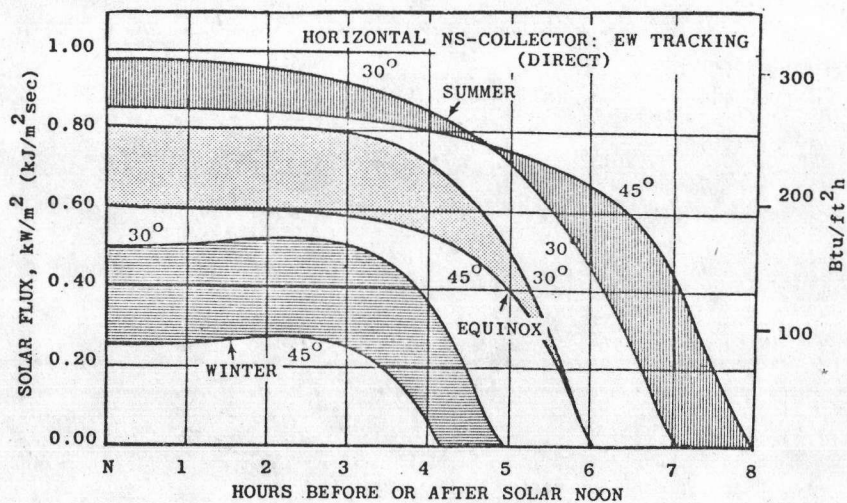
การวางอุปกรณ์รับแสงระบบแกนเดี่ยวที่มีการติดตามดวงอาทิตย์ประจำวันออกตะวันตก

อุปกรณ์รับแสงที่มีระบบติดตามดวงอาทิตย์แกนหมุนแกน เดี่ยวนั้นมีวิธีการจัดวางสามแบบ

1. การวางแกนหมุนของอุปกรณ์ขนานกับแนวราบหันไปทางแนวทิศเหนือทิศใต้ดังรูป .10  
รูป ก .11 เป็นกราฟของพลังงานของอุปกรณ์รับแสงได้รับ ซึ่งรูป ก .11 แสดงความแตกต่างของพลังงานของแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์รับแสง ได้รับที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์สามตำแหน่งระหว่างละติจูด 30 องศาและละติจูด 45 องศา



รูป ก .10 ภาพแสดงการจัดวางอุปกรณ์แบบขนานพื้นในแนวเหนือใต้และระบบติดตามตะวันออกตะวันตก



รูป ก.11 พลังงานลำแสงตรงแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์ได้รับจากการจัดวางแบบรูป ก.10

การจักษวอุปกรณ์วิธีนี้ประสิทธิภาพในการรับพลังงานแสงอาทิตย์เกือบเท่ากับระบบติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา (แบบสองแกนหมุน) โดยเฉพาะฤดูร้อน แต่ในฤดูหนาวนั้นประสิทธิภาพจะลดลงต่ำกว่าระบบสองแกนหมุนเมื่อละติจูดสูงขึ้น

กรณีของอุปกรณ์รับแสงที่มีแกนหมุนของอุปกรณ์วางอยู่ในแนวเหนือใต้ขนานกับพื้นราบและมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ตะวันออกตะวันตก สมการของมุมระหว่างตำแหน่งดวงอาทิตย์กับแนวตั้งฉากของพื้นที่รับแสงของอุปกรณ์เป็นดังนี้

$$\cos \beta_1 = \cos Z \cdot \cos(t) + \cos(\delta) \cdot \sin^2(t) \tag{ก. 2}$$

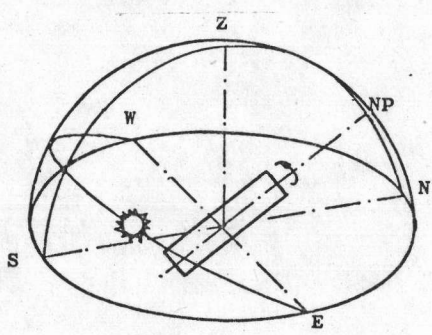
เมื่อ  $\beta_1$  = มุมระหว่างตำแหน่งดวงอาทิตย์กับแนวตั้งฉากพื้นที่รับแสงของอุปกรณ์

2. การจักษวแกนหมุนของอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ในแนวแกนหมุนของโลก วางแกนหมุนของอุปกรณ์หันไปทางทิศเหนือทำมุมยกเท่ากับละติจูดกับพื้นดิน ดังรูป ก. 12 วิธีนี้ดวงอาทิตย์จะตั้งฉากกับพื้นที่รับแสงอุปกรณ์เมื่อเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งอีควิน็อกซ์ สมการหามุมระหว่างตำแหน่งดวงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากพื้นที่อุปกรณ์

$$\cos(\beta_1) = \cos(\delta) \tag{ก. 3}$$

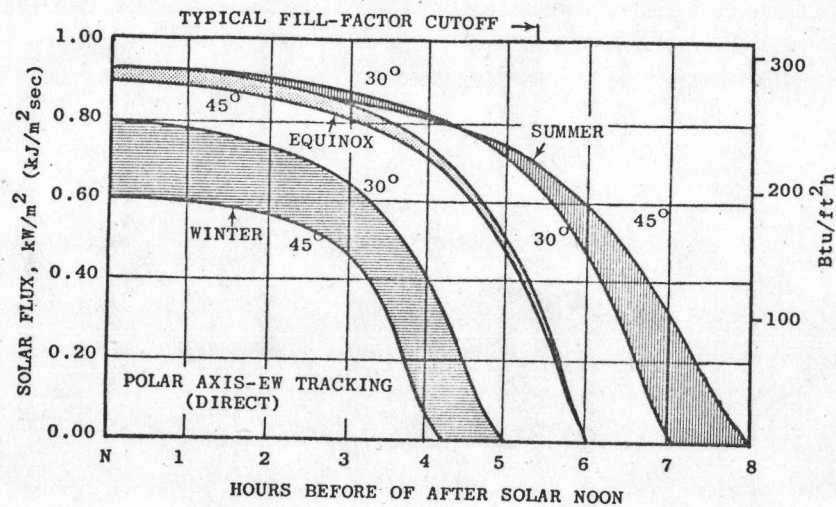
ผลเสียของการจักษวในแนวแกนหมุนของโลกทำให้เกิดเงาของอุปกรณ์บังอุปกรณ์ที่อยู่ข้างหลัง ประสิทธิภาพของอุปกรณ์จะลดลง เนื่องจากการจักษวแบบนี้ทำให้จำนวนชั่วโมงรับแสงของดวงอาทิตย์ลดลงสองหรือสามชั่วโมงในฤดูร้อน แต่การจักษวแบบนี้ประสิทธิภาพจะสูงกว่าแบบที่ 1

รูป ก. 13 แสดงความแตกต่างของพลังงานลำแสงตรงของดวงอาทิตย์ที่อุปกรณ์ได้รับที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์สามตำแหน่งระหว่างละติจูด 30 องศาและละติจูด 45 องศา



รูป ก. 12 ภาพแสดงการจักษวอุปกรณ์แบบขนานกับแกนหมุนของโลกและระบบติดตามตะวันออกตะวันตก





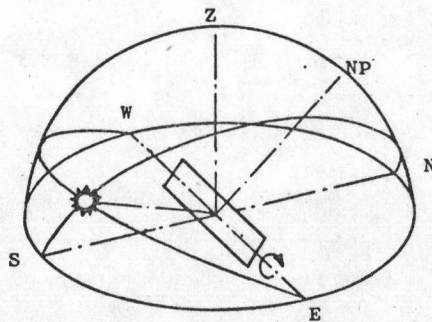
รูป ก.13 พลังงานลำแสงตรงแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์ได้รับจากการจัดวางแบบรูป ก.12

3. การวางแผนหมุนของอุปกรณ์ในแนวตะวันออกตะวันตกขนานกับพื้นและมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ทางทิศเหนือทิศใต้ดังรูป ก.14 พลังค์ของแสงอาทิตย์ที่ตกบนอุปกรณ์รับแสง เป็นฟังก์ชัน cosine ของพื้นที่โปรเจกชัน ซึ่งทำให้พลังค์ของแสงอาทิตย์ที่ไ้รับน้อยลง การวางอุปกรณ์แบบนี้ช่วยลดเงาของอุปกรณ์ที่จะบังอุปกรณ์ข้างเคียง ผลของการจัดวางแบบนี้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์มีค่าต่ำกว่า 2 แบบแรก

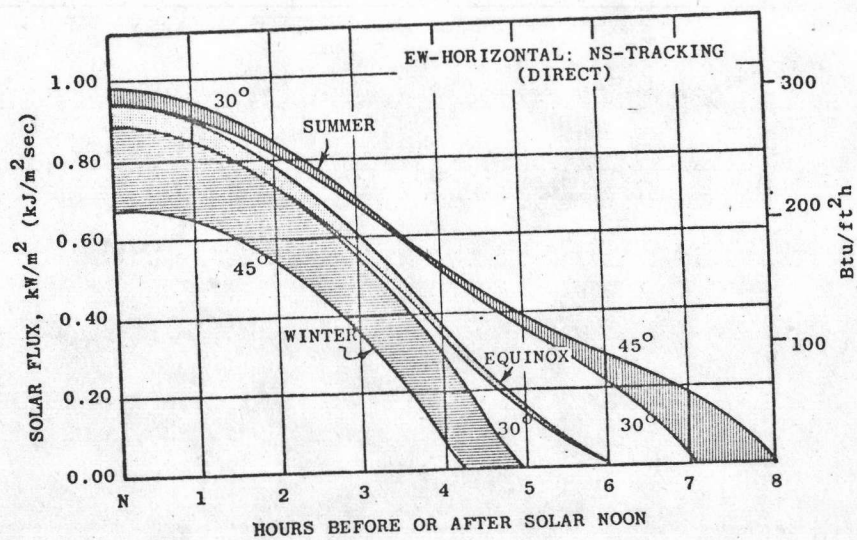
การเคลื่อนที่ของแกนหมุนของการจัดวางแบบนี้จะเคลื่อนที่ตลอดมีตามเดคโคโลเนชัน แต่ไม่เคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ในแนวตะวันออกตะวันตกตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกในแต่ละวัน รูป ก.15 เป็นกราฟแสดงความแตกต่างของพลังงานลำแสงตรงจากดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 30 องศา กับ 45 องศา ที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์สามตำแหน่ง

สมการสำหรับคำนวณหามุมระหว่างตำแหน่งดวงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากพื้นผิวหน้าค้ได้รับแสงของอุปกรณ์

$$\cos(\beta_1) = (\sin^2(\delta) + \cos^2(\delta) \cdot \cos^2(t))^{1/2} \quad (ก.4)$$



รูป ก.14 ภาพแสดงการจักวางอุปกรณ์ขนานกับพื้นในแนวตะวันออกตะวันตกและระบบติดตาม  
เหนือใต้

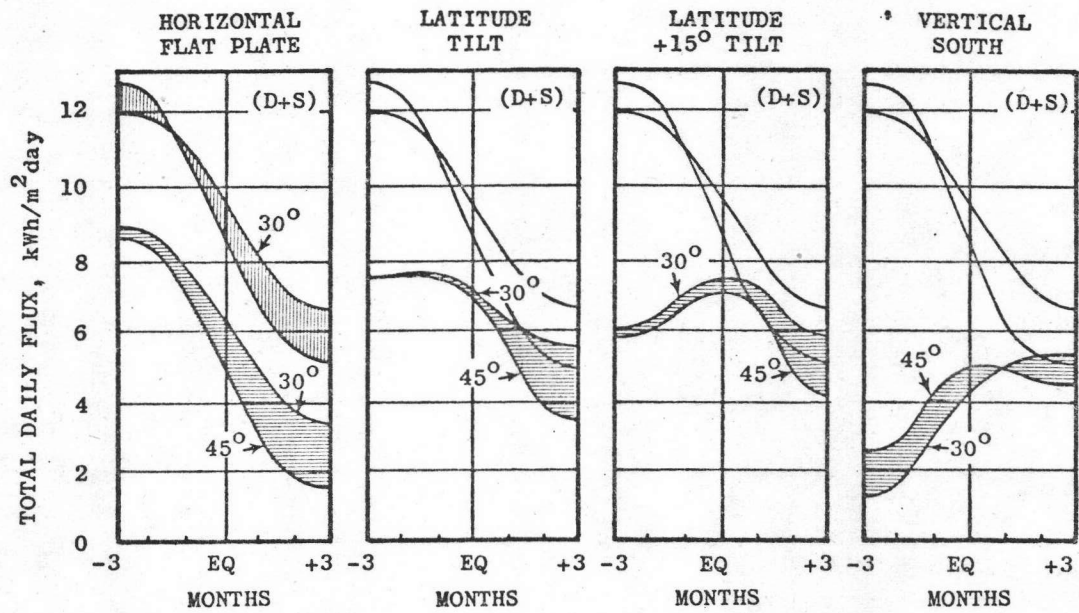


รูป ก.15 พลังงานลำแสงตรงแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์ได้รับจากการจักวางแบบรูป ก.14



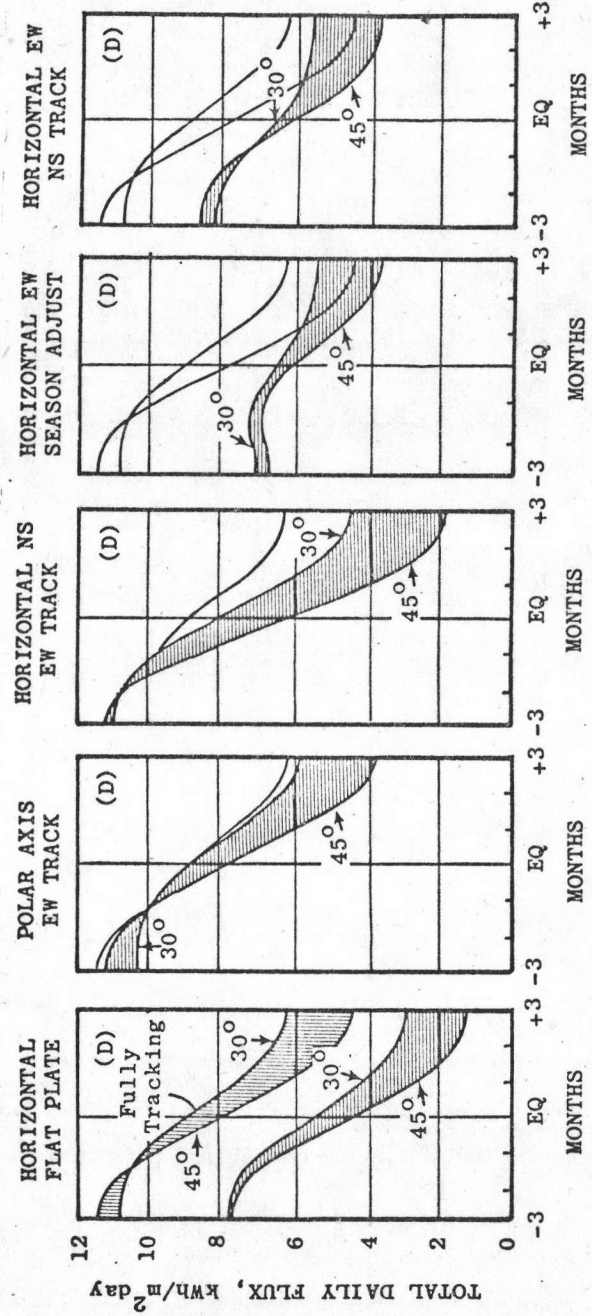
การเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับจากการจัดวางอุปกรณ์รับแสง

เนื่องจากการจัดวางอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์นั้นมีหลายวิธี ซึ่งได้พิจารณามาแล้วในขั้นต้นว่า พลังงานแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์รับแสงได้รับเป็นฟังก์ชันของมุม กิ่งนั้นเพื่อที่จะได้เปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับแต่ละวิธีซึ่งได้สรุปถึงรูป ก.16 และรูป ก.17 สำหรับที่ละติจูด 30 องศา และ 45 องศา



รูป ๑.๑๖ การเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์ได้รับจากการจัดวางอุปกรณ์แบบต่าง ๆ





รูป ก.17 การเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์ได้รับจากการจัดวางอุปกรณ์แบบต่าง ๆ

## ภาคผนวก ข

ตัวอย่าง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ใช้คำนวณหาค่าแ่งดวงอาทิตย์ ได้คำนวณหาค่าแ่ง  
ดวงอาทิตย์ที่กรุง เทพ ฯ

```

1* SUBROUTINE SUNAET(YEAR, DAY, HR, DASTH, ALAT, ALONG, A, E, DECL, EL, H, ZONE,
2* 18)
3* C
4* C THIS SUBROUTINE CALCULATES THE LOCAL AZIMUTH AND ELEVATION OF
5* C THE SUN AT A SPECIFIED LOCATION AND TIME USING AN APPROXIMATION
6* C TO THE EQUATION USED TO GENERATE THE NAUTICAL ALMANAC
7* C
8* C INPUT PARAMETERS
9* C YEAR = THE YEAR NUMBER (EG, 1979)
10* C DAY = THE DAY NUMBER OF THE YEAR STARTING WITH 1 FOR
11* C JANUARY, EXCEPT IN LEAP YEARS WHEN 1 SHOULD BE
12* C SUBTRACTED FROM THE DAY NUMBER BEFORE MARCH
13* C HR, MIN, SEC = THE TIME OF DAY
14* C ZONE = THE LOCAL INTERNATIONAL ZONE TIME (E.G., P.S.T. = 8)
15* C DASTH = 1 IF DAYLIGHTSAVINGS TIME IN EFFECT, ELSE = 0.
16* C ALAT = THE LOCAL LATITUDE IN DEGREES (NORTH IS POSITIVE)
17* C ALONG = THE LOCAL LONGITUDE IN DEGREES WEST OF GREENWICH.
18* C
19* C OUTPUT PARAMETERS
20* C A = AZIMUTHAL ANGLE OF THE SUN (POSITION IS EAST OF SOUTH)
21* C E = ELEVATION OF THE SUN
22* C DECL = DECLINATION OF THE SUN
23* C EL = LONGITUDE OF THE SUN
24* C -----
25* C
26* C REAL MIN
27* C DATA TWOPI, RAD, MIN, SEC / 6.2831853, 0.017453293, 0.0, 0.0 /
28* C DELYR = YEAR - 1980.
29* C LEAP = IFIX(DELRY/4.)

30* RLEAP = LEAP
31* T = HR*(MIN*SEC/60.)/60.+ZONE-DASTH
32* TIME = DELYR*365.+RLEAP*DAY-1.+T/24.
33* IF(DELRY.EQ.RLEAP*4.) TIME = TIME-1.
34* IF((DELRY.LT.0.).AND.(DELRY.NE.RLEAP*4.)) TIME = TIME-1.
35* THETA = (360.+TIME/365.25)*RAD
36* G = -0.031271-4.53963E-7*TIME+THETA
37* EL = 4.90968* 3.67474E-7*TIME*(0.033434-2.3E-9*TIME)*SIN(G)
38* EPS = 0.409140-6.2149E-9*TIME
39* SEL = SIN(EL)
40* A1 = SEL*COS(EPS)
41* A2 = COS(EL)
42* RA = ATAN2(A1,A2)
43* IF(RA.LT.0.)RA = RA+TWOPI
44* DECL = ASIN(SEL*SIN(EPS))
45* ST = 1.759335+TWOPI*(TIME/365.25-DELRY)+3.694E-7*TIME
46* IF(ST.GE.TWOPI)ST = ST-TWOPI
47* S = ST*(1*15.-ALONG)*RAD
48* IF (S.GE.TWOPI)S = S-TWOPI
49* H = RA-S
50* PHI = ALAT*RAD
51* E = ASIN(SIN(PHI)*SIN(DECL)*COS(PHI)*COS(DECL)*COS(H))
52* A = ASIN(COS(DECL)*SIN(H)/COS(E))/RAD
53* IF (SIN(E).GE.SIN(DECL)/SIN(PHI))GO TO 9
54* IF(A.LT.0.) A = A+360.
55* A = 180.-A
56* E = E/RAD
57* DECL = DECL/RAD
58* EL = EL/RAD
59* H = H/RAD
60* E1 = E*RAD
61* A3=A
62* IF(A3.GT.90.)A3=180.-A3
63* IF(A3.LT.-90.)A3=-180.-A3
64* A3=A3*RAD
65* D = SIN(E1)/COS(E1)
66* B1 = D/COS(A3)
67* B2 = SIN(A3)/COS(A3)
68* B = ATAN2(B1,B2)
69* B = B/RAD
70* B = B/RAD
71* RETURN
72* END

```



IP- 4241674

YEAR = 1979.  
DAY = 1.

LOCATION BANGKOK

LATITUDE = 13.730 DEGREES NORTH  
LONGITUDE = 100.500 DEGREES WEST OF GREENWICH

| POUR | AZIMUTH | DEGREES WEST OF GREENWICH | ELEVATION | DECLINATION | LONGITUDE OF SUN | SOLAR HOUR ANGLE | EQUATORIAL ANGLE |
|------|---------|---------------------------|-----------|-------------|------------------|------------------|------------------|
| 1.   | 43.108  | 76.995                    | -23.008   | -79.264     | 170.382          | -81.031          |                  |
| 2.   | 64.725  | -64.916                   | -23.005   | -79.221     | 155.387          | -67.057          |                  |
| 3.   | 70.201  | -51.412                   | -23.001   | -79.179     | 140.392          | -53.101          |                  |
| 4.   | 71.369  | -37.659                   | -22.998   | -79.136     | 125.397          | -39.140          |                  |
| 5.   | 70.631  | -23.856                   | -22.994   | -79.094     | 110.402          | -25.115          |                  |
| 6.   | 68.618  | -10.193                   | -22.991   | -79.051     | 95.406           | -10.929          |                  |
| 7.   | 65.391  | 3.226                     | -22.987   | -79.009     | 80.411           | 3.547            |                  |
| 8.   | 60.678  | 16.223                    | -22.984   | -78.966     | 65.416           | 16.455           |                  |
| 9.   | 55.845  | 28.499                    | -22.980   | -78.924     | 50.421           | 33.918           |                  |
| 10.  | 43.761  | 39.504                    | -22.977   | -78.882     | 35.426           | 50.606           |                  |
| 11.  | 28.629  | 48.200                    | -22.973   | -78.839     | 20.431           | 66.678           |                  |
| 12.  | 8.317   | 52.917                    | -22.970   | -78.797     | 5.436            | 81.760           |                  |
| 13.  | -14.423 | 52.119                    | -22.966   | -78.754     | -9.559           | 100.662          |                  |
| 14.  | -33.515 | 46.134                    | -22.962   | -78.712     | -24.559          | 117.955          |                  |
| 15.  | -46.963 | 36.664                    | -22.959   | -78.669     | -39.549          | 134.876          |                  |
| 16.  | -56.015 | 25.233                    | -22.955   | -78.627     | -54.545          | 150.388          |                  |
| 17.  | -62.123 | 12.717                    | -22.952   | -78.584     | -69.540          | 165.686          |                  |
| 18.  | -66.448 | 0.421                     | -22.948   | -78.542     | -84.545          | 179.541          |                  |
| 19.  | -69.337 | -13.924                   | -22.944   | -78.499     | -99.540          | 192.460          |                  |
| 20.  | -71.035 | -27.636                   | -22.941   | -78.457     | -114.545         | 204.830          |                  |
| 21.  | -71.370 | -41.436                   | -22.937   | -78.414     | -129.540         | 216.129          |                  |
| 22.  | -69.439 | -55.182                   | -22.933   | -78.372     | -144.545         | 225.072          |                  |
| 23.  | -61.684 | -68.519                   | -22.930   | -78.330     | -159.540         | 232.108          |                  |
| 24.  | -56.740 | -79.432                   | -22.926   | -78.287     | -174.545         | 237.126          |                  |

YEAR = 1979.  
DAY = 2.

LATITUDE = 13.730 DEGREES NORTH  
LONGITUDE = 100.500 DEGREES WEST OF GREENWICH

| POUR | AZIMUTH | DEGREES WEST OF GREENWICH | ELEVATION | DECLINATION | LONGITUDE OF SUN | SOLAR HOUR ANGLE | EQUATORIAL ANGLE |
|------|---------|---------------------------|-----------|-------------|------------------|------------------|------------------|
| 1.   | 43.050  | 77.132                    | -22.922   | -78.244     | 170.499          | -81.137          |                  |
| 2.   | 64.543  | -65.944                   | -22.918   | -78.202     | 155.504          | -67.158          |                  |
| 3.   | 70.519  | -51.529                   | -22.915   | -78.160     | 140.509          | -53.197          |                  |
| 4.   | 71.479  | -37.568                   | -22.911   | -78.117     | 125.514          | -39.232          |                  |
| 5.   | 70.737  | -23.566                   | -22.907   | -78.075     | 110.519          | -25.206          |                  |
| 6.   | 68.725  | -10.283                   | -22.903   | -78.032     | 95.524           | -11.027          |                  |
| 7.   | 65.406  | 3.147                     | -22.899   | -77.990     | 80.528           | 3.534            |                  |
| 8.   | 60.607  | 16.158                    | -22.896   | -77.947     | 65.533           | 16.361           |                  |
| 9.   | 55.795  | 28.454                    | -22.892   | -77.905     | 50.538           | 33.618           |                  |
| 10.  | 43.940  | 39.486                    | -22.888   | -77.862     | 35.543           | 49.896           |                  |
| 11.  | 29.336  | 48.222                    | -22.884   | -77.820     | 20.548           | 66.557           |                  |
| 12.  | 6.516   | 56.688                    | -22.880   | -77.777     | 5.553            | 83.030           |                  |
| 13.  | -14.262 | 52.244                    | -22.876   | -77.735     | -9.442           | 100.623          |                  |
| 14.  | -33.465 | 46.270                    | -22.872   | -77.692     | -24.438          | 117.612          |                  |
| 15.  | -46.965 | 36.805                    | -22.868   | -77.650     | -39.433          | 134.330          |                  |
| 16.  | -56.045 | 25.371                    | -22.865   | -77.607     | -54.428          | 150.243          |                  |
| 17.  | -62.120 | 12.850                    | -22.861   | -77.565     | -69.423          | 165.544          |                  |
| 18.  | -66.509 | 0.294                     | -22.857   | -77.522     | -84.418          | 179.680          |                  |
| 19.  | -69.442 | -13.803                   | -22.853   | -77.480     | -99.413          | 192.495          |                  |
| 20.  | -71.130 | -27.522                   | -22.849   | -77.438     | -114.408         | 204.591          |                  |
| 21.  | -71.097 | -41.332                   | -22.845   | -77.395     | -129.403         | 215.566          |                  |
| 22.  | -69.628 | -55.090                   | -22.841   | -77.353     | -144.398         | 225.193          |                  |
| 23.  | -62.027 | -68.453                   | -22.837   | -77.310     | -159.393         | 232.108          |                  |
| 24.  | -29.501 | -79.457                   | -22.833   | -77.268     | -174.388         | 237.126          |                  |

ปรากฏการณ์

Apparent Solar Time

Longitude of Bangkok is  $100^{\circ} 30'$ , Then,

$$\begin{aligned} \text{ZMT (Zone Mean Time)} &= \text{GMT (Greenwich Mean Time)} + 7 \text{ hours} \\ &= \text{LMT (Local Mean Time of longitude } 105^{\circ}\text{E)} \end{aligned}$$

The difference between the longitudes is  $4^{\circ} 30'$  which corresponds 18 minutes difference of time. Therefore, local mean time of Bangkok is 18 minutes behind the zone mean time.

$$\text{LMT} = \text{ZMT} - 18 \text{ minutes}$$

The relation between the apparent solar time and LMT is given (NASSAU, 1948) by,

$$\text{AST (Apparent Solar Time)} = \text{LMT} + E$$

where E is the equation of time. Table 1 gives the apparent solar time for Bangkok at middle days of the periods.

Table 1 - Apparent Solar Time for Bangkok

| Days     | Apparent Solar Time |
|----------|---------------------|
| Feb. 4   | ZMT - 32 Minutes    |
| Mar. 20  | ZMT - 26 "          |
| May 5    | ZMT - 15 "          |
| Jun. 21  | ZMT - 19 "          |
| Aug. 8   | ZMT - 24 "          |
| Sept. 23 | ZMT - 11 "          |
| Nov. 7   | ZMT - 2 "           |
| Dec. 21  | ZMT - 16 "          |



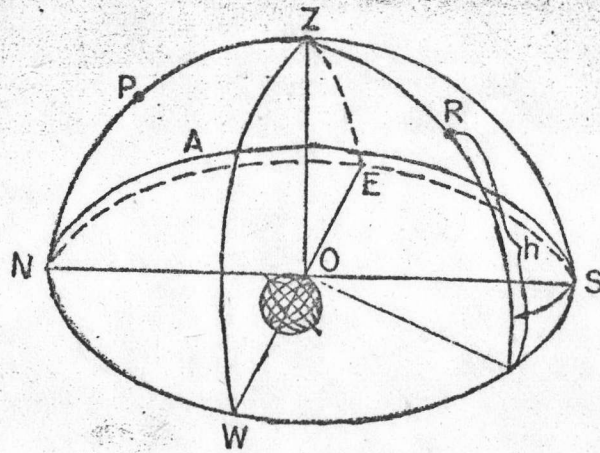


Fig. H1. Horizon System of Coordinates. Heavenly Body is at R

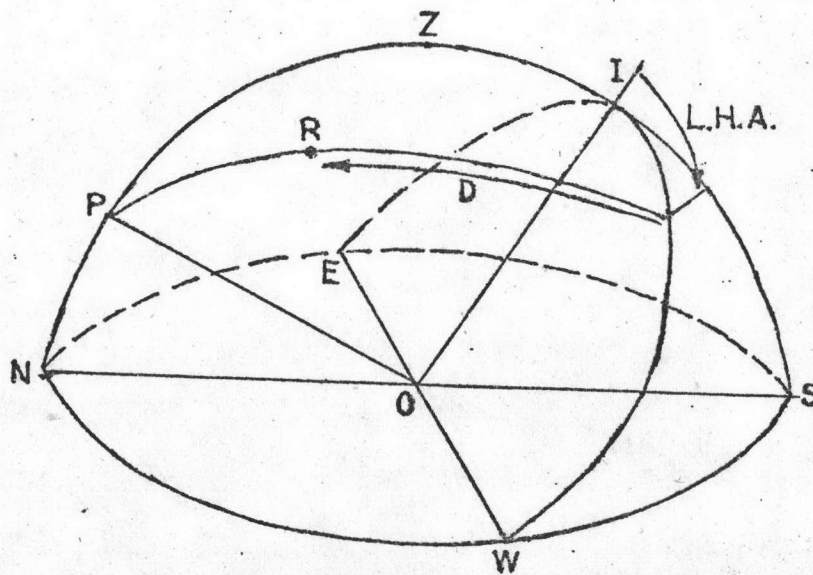


Fig. H2. The Equator System of Coordinates

Table 2 - Bangkok, Jan. 14 - Feb. 26

| Apparent Solar time | Mean Radiation (cal. cm. <sup>-2</sup> hr. <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 15   | 109                  | 80                        |
| 800                 | 30   | 114                  | 66                        |
| 900                 | 43   | 122                  | 53                        |
| 1000                | 52   | 134                  | 42                        |
| 1100                | 58   | 153                  | 33                        |
| 1200                | 59   | 180                  | 30                        |
| 1300                | 54   | 207                  | 33                        |
| 1400                | 44   | 226                  | 42                        |
| 1500                | 30   | 238                  | 53                        |
| 1600                | 14   | 246                  | 66                        |
| 1700                | --   | 251                  | 80                        |

Table 3 - Bangkok, Feb. 27 - Apr. 12

| Apparent Solar time | Mean Radiation (cal. cm. <sup>-2</sup> hr. <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 20   | 94                   | 75                        |
| 800                 | 35   | 98                   | 61                        |
| 900                 | 48   | 103                  | 47                        |
| 1000                | 58   | 112                  | 33                        |
| 1100                | 64   | 132                  | 20                        |
| 1200                | 65   | 180                  | 14                        |
| 1300                | 60   | 228                  | 20                        |
| 1400                | 50   | 248                  | 33                        |
| 1500                | 34   | 257                  | 47                        |
| 1600                | 17   | 262                  | 61                        |
| 1700                | --   | 266                  | 75                        |



Table 4 - Bangkok, Apr. 13 - May 28

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degree) |
|---------------------|--|----------------------|--------------------------|
| 600                 | 9  | 75                   | 86                       |
| 700                 | 22   | 78                   | 72                       |
| 800                 | 36   | 80                   | 58                       |
| 900                 | 47   | 81                   | 43                       |
| 1000                | 56   | 82                   | 29                       |
| 1100                | 60   | 80                   | 15                       |
| 1200                | 60   | 360                  | 2                        |
| 1300                | 55   | 280                  | 15                       |
| 1400                | 47   | 278                  | 29                       |
| 1500                | 34   | 279                  | 43                       |
| 1600                | 18   | 280                  | 58                       |

Table 5 - Bangkok, May 29 - July 15

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 600                 | 8  | 68                   | 85                        |
| 700                 | 20   | 70                   | 71                        |
| 800                 | 33   | 72                   | 57                        |
| 900                 | 43   | 71                   | 44                        |
| 1000                | 51   | 68                   | 30                        |
| 1100                | 53   | 55                   | 17                        |
| 1200                | 50   | 360                  | 9                         |
| 1300                | 46   | 305                  | 17                        |
| 1400                | 38   | 292                  | 30                        |
| 1500                | 28   | 289                  | 44                        |
| 1600                | 17   | 288                  | 57                        |

Table 6 - Bangkok, July 16 - Aug. 31

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 20   | 78                   | 72                        |
| 800                 | 34   | 80                   | 58                        |
| 900                 | 45   | 81                   | 43                        |
| 1000                | 51   | 82                   | 29                        |
| 1100                | 53   | 80                   | 15                        |
| 1200                | 50   | 360                  | 2                         |
| 1300                | 45   | 280                  | 15                        |
| 1400                | 37   | 278                  | 29                        |
| 1500                | 26   | 279                  | 43                        |
| 1600                | 14   | 280                  | 58                        |
| 1700                | --   | 282                  | 72                        |

Table 7 - Bangkok, Sept. 1 - Oct. 15

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 19   | 94                   | 75                        |
| 800                 | 33   | 98                   | 61                        |
| 900                 | 44   | 103                  | 47                        |
| 1000                | 50   | 112                  | 33                        |
| 1100                | 51   | 132                  | 20                        |
| 1200                | 49   | 180                  | 14                        |
| 1300                | 44   | 228                  | 20                        |
| 1400                | 38   | 248                  | 33                        |
| 1500                | 25   | 257                  | 47                        |
| 1600                | 13   | 262                  | 61                        |
| 1700                | --   | 266                  | 75                        |



Table 8 - Bangkok, Oct, 16 - Nov, 19

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm. <sup>-2</sup> hr. <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 16   | 109                  | 80                        |
| 800                 | 31   | 114                  | 66                        |
| 900                 | 45   | 122                  | 53                        |
| 1000                | 54   | 134                  | 42                        |
| 1100                | 58   | 153                  | 33                        |
| 1200                | 56   | 180                  | 30                        |
| 1300                | 50   | 207                  | 33                        |
| 1400                | 42   | 226                  | 42                        |
| 1500                | 29   | 238                  | 53                        |
| 1600                | 12   | 246                  | 66                        |
| 1700                | —  | 251                  | 80                        |

Table 9 - Bangkok, Nov. 30 - Jan. 13

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm. <sup>-2</sup> hr. <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 15   | 116                  | 82                        |
| 800                 | 31   | 121                  | 69                        |
| 900                 | 43   | 129                  | 57                        |
| 1000                | 54   | 141                  | 47                        |
| 1100                | 59   | 159                  | 39                        |
| 1200                | 59   | 180                  | 37                        |
| 1300                | 53   | 202                  | 39                        |
| 1400                | 42   | 219                  | 47                        |
| 1500                | 27   | 231                  | 57                        |
| 1600                | 13   | 239                  | 69                        |
| 1700                | —  | 244                  | 82                        |

Table 10 - Chiang Mai, Jan. 14 - Feb. 26

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 16   | 110                  | 81                        |
| 800                 | 32   | 116                  | 68                        |
| 900                 | 47   | 125                  | 56                        |
| 1000                | 59   | 138                  | 45                        |
| 1100                | 65   | 156                  | 38                        |
| 1200                | 65   | 180                  | 35                        |
| 1300                | 58   | 204                  | 38                        |
| 1400                | 45   | 222                  | 45                        |
| 1500                | 30   | 235                  | 56                        |
| 1600                | 14   | 244                  | 68                        |
| 1700                | —  | 250                  | 81                        |

Table 11 - Chiang Mai, Feb. 27 - Apr. 12

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 18   | 95                   | 76                        |
| 800                 | 34   | 101                  | 62                        |
| 900                 | 48   | 108                  | 48                        |
| 1000                | 61   | 119                  | 35                        |
| 1100                | 67   | 140                  | 24                        |
| 1200                | 67   | 180                  | 19                        |
| 1300                | 60   | 220                  | 24                        |
| 1400                | 46   | 241                  | 35                        |
| 1500                | 31   | 252                  | 48                        |
| 1600                | 16   | 259                  | 62                        |
| 1700                | —  | 265                  | 76                        |



Table 12 - Chieng Mai, Apr. 13 - May 28

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm. <sup>-2</sup> hr. <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 600                 | 10   | 75                   | 85                        |
| 700                 | 25   | 79                   | 71                        |
| 800                 | 42   | 83                   | 57                        |
| 900                 | 56   | 87                   | 43                        |
| 1000                | 65   | 91                   | 29                        |
| 1100                | 72   | 99                   | 15                        |
| 1200                | 69   | 180                  | 3                         |
| 1300                | 60   | 261                  | 15                        |
| 1400                | 46   | 269                  | 29                        |
| 1500                | 33   | 273                  | 43                        |
| 1600                | 19   | 277                  | 57                        |

Table 13 - Chieng Mai, May 29 - July 15

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm. <sup>-2</sup> hr. <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 600                 | 11   | 68                   | 83                        |
| 700                 | 23   | 72                   | 69                        |
| 800                 | 36   | 75                   | 56                        |
| 900                 | 48   | 76                   | 42                        |
| 1000                | 54   | 77                   | 28                        |
| 1100                | 57   | 71                   | 15                        |
| 1200                | 58   | 360                  | 4                         |
| 1300                | 53   | 289                  | 15                        |
| 1400                | 43   | 283                  | 28                        |
| 1500                | 30   | 284                  | 42                        |
| 1600                | 17   | 285                  | 56                        |
| 1700                | 8  | 288                  | 69                        |

Table 14 - Chieng Mai, July. 16 - Aug, 31

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 600                 | 9  | 75                   | 85                        |
| 700                 | 20   | 79                   | 71                        |
| 800                 | 34   | 83                   | 57                        |
| 900                 | 44   | 87                   | 43                        |
| 1000                | 49   | 91                   | 29                        |
| 1100                | 51   | 99                   | 15                        |
| 1200                | 51   | 180                  | 3                         |
| 1300                | 47   | 261                  | 15                        |
| 1400                | 38   | 269                  | 29                        |
| 1500                | 26   | 273                  | 43                        |
| 1600                | 14   | 277                  | 57                        |

Table 15 - Chieng Mai, Sept. 1 - Oct. 15

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 19   | 95                   | 76                        |
| 800                 | 34   | 101                  | 62                        |
| 900                 | 48   | 108                  | 48                        |
| 1000                | 57   | 119                  | 35                        |
| 1100                | 63   | 140                  | 24                        |
| 1200                | 61   | 180                  | 19                        |
| 1300                | 55   | 220                  | 24                        |
| 1400                | 46   | 241                  | 35                        |
| 1500                | 31   | 252                  | 48                        |
| 1600                | 17   | 259                  | 62                        |
| 1700                | --   | 265                  | 76                        |



Table 16 - Chieng Mai, Oct. 16 - Nov. 29

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm. <sup>-2</sup> hr. <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 14   | 110                  | 81                        |
| 800                 | 29   | 116                  | 68                        |
| 900                 | 43   | 125                  | 56                        |
| 1000                | 55   | 138                  | 45                        |
| 1100                | 62   | 156                  | 38                        |
| 1200                | 61   | 180                  | 35                        |
| 1300                | 55   | 204                  | 38                        |
| 1400                | 43   | 222                  | 45                        |
| 1500                | 29   | 235                  | 56                        |
| 1600                | 14   | 244                  | 68                        |
| 1700                | —  | 250                  | 81                        |

Table 17 - Chieng Mai, Nov. 30 - Jan. 13

| Apparent Solar time | Mean radiation (cal. cm. <sup>-2</sup> hr. <sup>-1</sup> ) | Azimuth, A (degrees) | Zenith distance (degrees) |
|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
| 700                 | 11   | 116                  | 84                        |
| 800                 | 27   | 123                  | 72                        |
| 900                 | 42   | 131                  | 60                        |
| 1000                | 53   | 144                  | 51                        |
| 1100                | 58   | 160                  | 44                        |
| 1200                | 57   | 180                  | 42                        |
| 1300                | 52   | 200                  | 44                        |
| 1400                | 41   | 216                  | 51                        |
| 1500                | 27   | 229                  | 60                        |
| 1600                | 13   | 237                  | 72                        |
| 1700                | —  | 244                  | 84                        |

Table 18 (Continued) Collector Performances

| Geometry                  |       | Energy collected |         |                          |                          | Percent of fully tracking collector |       |      |
|---------------------------|-------|------------------|---------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------|------|
|                           |       | Summer           | Equinox | Winter                   |                          | Sum.                                | Equi. | Win. |
| Vertical (D)              | (30°) | 6.00             | 7.45    | 5.80                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 54                                  | 84    | 91   |
|                           |       | 21.4             | 26.7    | 20.8                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 1.89             | 2.35    | 1.84                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (45°) | 1.65             | 3.98    | 3.57                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 14                                  | 52    | 82   |
|                           |       | 5.95             | 14.3    | 12.9                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 0.52             | 1.26    | 1.14                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| Vertical (D+S)            | (30°) | 0.36             | 3.22    | 4.40                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 3                                   | 36    | 71   |
|                           |       | 1.3              | 11.6    | 15.8                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 0.12             | 1.03    | 1.40                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (45°) | 2.40             | 4.82    | 4.40                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 22                                  | 62    | 92   |
|                           |       | 8.8              | 17.3    | 15.9                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 0.78             | 1.53    | 1.40                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| Polar axis (D)            | (30°) | 1.27             | 4.16    | 5.17                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 12                                  | 46    | 81   |
|                           |       | 4.6              | 14.9    | 19.1                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 0.40             | 1.32    | 1.68                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (45°) | 11.20            | 7.90    | 3.97                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 94                                  | 100   | 93   |
|                           |       | 40.0             | 28.4    | 14.3                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 3.51             | 2.50    | 1.26                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| NS horiz.; E-W track. (D) | (30°) | 10.20            | 8.83    | 5.91                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 93                                  | 100   | 93   |
|                           |       | 36.7             | 31.8    | 21.6                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 3.24             | 2.80    | 1.88                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (45°) | 11.21            | 6.04    | 1.99                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 95                                  | 76    | 46   |
|                           |       | 40.2             | 21.8    | 7.2                      | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 3.54             | 1.92    | 0.63                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| EW horiz.; season (D)     | (30°) | 10.80            | 8.03    | 4.45                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 97                                  | 90    | 71   |
|                           |       | 39.0             | 28.9    | 16.1                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 3.43             | 2.55    | 1.41                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (45°) | 6.65             | 6.07    | 3.72                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 58                                  | 77    | 86   |
|                           |       | 23.9             | 21.9    | 13.4                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.11             | 1.93    | 1.18                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| NW horiz.; N-S track (D)  | (30°) | 6.92             | 6.41    | 5.50                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 64                                  | 73    | 88   |
|                           |       | 24.9             | 23.1    | 19.8                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.20             | 2.03    | 1.71                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (45°) | 8.54             | 6.11    | 3.92                     | kWh/m <sup>2</sup> day   | 74                                  | 77    | 91   |
|                           |       | 30.7             | 21.4    | 14.1                     | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.69             | 1.88    | 1.24                     | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| (30°)                     | 8.18  | 6.50             | 5.72    | kWh/m <sup>2</sup> day   | 75                       | 72                                  | 91    |      |
|                           | 29.4  | 23.4             | 20.6    | MJ/m <sup>2</sup> day    |                          |                                     |       |      |
|                           | 2.59  | 1.97             | 1.82    | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                          |                                     |       |      |



Table 10 Collector Performances

| Geometry                  |       | Energy collected |         |        |                          | Percent of fully tracking collector |       |      |
|---------------------------|-------|------------------|---------|--------|--------------------------|-------------------------------------|-------|------|
|                           |       | Summer           | Equinox | Winter |                          | Sum.                                | Equi. | Win. |
| Fully tracking (D)        | (45°) | 11.47            | 7.89    | 4.40   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 100                                 | 100   | 100  |
|                           |       | 41.3             | 28.4    | 15.7   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 3.63             | 2.50    | 1.39   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (30°) | 10.82            | 8.85    | 6.24   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 100                                 | 100   | 100  |
|                           |       | 39.0             | 32.0    | 22.4   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 3.44             | 2.81    | 1.97   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| Fully tracking (D+S)      | (45°) | 12.67            | 8.59    | 5.10   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 110                                 | 110   | 110  |
|                           |       | 46.0             | 30.9    | 17.9   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 4.02             | 2.73    | 1.57   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (30°) | 11.96            | 9.60    | 6.50   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 110                                 | 110   | 110  |
|                           |       | 43.0             | 34.4    | 23.8   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 3.79             | 3.05    | 2.10   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| Horizontal flat plate (D) | (45°) | 7.54             | 4.31    | 1.23   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 64                                  | 54    | 27   |
|                           |       | 27.0             | 15.5    | 4.5    | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.38             | 1.36    | 0.42   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (30°) | 7.85             | 5.53    | 3.00   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 72                                  | 63    | 46   |
|                           |       | 28.5             | 20.0    | 10.8   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.50             | 1.75    | 0.95   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| Horiz. flat plate (D+S)   | (45°) | 8.55             | 4.90    | 1.62   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 73                                  | 64    | 37   |
|                           |       | 31.0             | 18.0    | 5.8    | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.70             | 1.57    | 0.51   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (30°) | 8.90             | 6.34    | 3.50   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 82                                  | 72    | 56   |
|                           |       | 32.0             | 22.9    | 12.7   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.82             | 2.01    | 1.10   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| Latitude tilt (D)         | (45°) | 6.48             | 6.10    | 3.43   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 56                                  | 76    | 78   |
|                           |       | 23.3             | 21.8    | 12.3   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.05             | 1.94    | 1.09   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (30°) | 6.47             | 6.33    | 4.87   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 59                                  | 72    | 79   |
|                           |       | 23.3             | 22.8    | 17.6   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.05             | 2.00    | 1.53   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| Latitude tilt (D+S)       | (45°) | 7.60             | 7.00    | 3.95   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 64                                  | 86    | 88   |
|                           |       | 27.3             | 25.0    | 14.2   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.40             | 2.21    | 1.25   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (30°) | 7.63             | 7.28    | 5.56   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 69                                  | 82    | 89   |
|                           |       | 27.5             | 26.2    | 20.0   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 2.41             | 2.30    | 1.76   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| Latitude tilt + 15° (D)   | (45°) | 4.63             | 6.16    | 3.56   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 40                                  | 79    | 81   |
|                           |       | 16.7             | 22.2    | 12.8   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 1.47             | 1.95    | 1.13   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
|                           | (30°) | 4.79             | 6.49    | 5.10   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 44                                  | 74    | 81   |
|                           |       | 17.4             | 23.4    | 18.4   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 1.52             | 2.06    | 1.62   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |
| Latitude tilt + 15° (D+S) | (45°) | 5.80             | 7.04    | 4.08   | kWh/m <sup>2</sup> day   | 49                                  | 89    | 91   |
|                           |       | 20.7             | 25.3    | 14.6   | MJ/m <sup>2</sup> day    |                                     |       |      |
|                           |       | 1.83             | 2.23    | 1.29   | kBtu/ft <sup>2</sup> day |                                     |       |      |

## ประวัติผู้เขียน

- นายวัลลภ เสกสรรค์วิริยะ เกิดเมื่อ 10 เมษายน 2496 ที่ กรุงเทพฯ ฯ
- มัธยมศึกษาปีที่ 3 เมื่อพ.ศ. 2512 ที่ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
  - มัธยมศึกษาปีที่ 5 เมื่อพ.ศ. 2514 ที่ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย
  - ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า เมื่อพ.ศ. 2518 ที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

