

การทดลองที่ 10 การวัดปริมาณรังสีแสงแดดที่ได้รับแต่ละวัน

Experiment 10 Measurement of Daily Insolation

วัตถุประสงค์

- 1 ศึกษาทิศทางการแผ่รังสีแสงแดดบนพื้นโลก
- 2 ศึกษาการวัดปริมาณรังสีตรงและรังสีกระจายด้วยไพราโนมิเตอร์
- 3 ศึกษาการคำนวณปริมาณแสงแดดที่ได้รับแต่ละวัน
- 4 ศึกษาการวัดประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงแดด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ไพราโนมิเตอร์
2. เครื่องบันทึกข้อมูลแบบพกพา MiniLogger version 3
3. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงแดด
4. เครื่องคอมพิวเตอร์พีซี

แหล่งพลังงานจากดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นก้อนก๊าซอุณหภูมิสูงมาก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.4 ล้านกิโลเมตร อุณหภูมิใจกลางสูงกว่า 15 ล้านเคลวิน อุณหภูมิที่สูงมากและความกดอากาศสูงกว่าบนพื้นโลก 70 พันล้านเท่าทำให้เกิดสภาวะเหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาฟิวชั่น (fusion reaction) โดยที่อะตอมน้ำหนักเบาคือไฮโดรเจนได้หลอมรวมกันเป็นฮีเลียมพร้อมกับปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมา พลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงมากคือรังสีแกมมา เมื่อรังสีแกมมาแผ่กระจายออกจากใจกลางดวงอาทิตย์ก็จะชนกับธาตุต่างๆ ทำให้พลังงานลดลงกลายมาเป็นแสงที่ตามองเห็นและรังสีความร้อน ประเมินกันว่าดวงอาทิตย์ได้แผ่รังสีลักษณะนี้เป็นเวลามากกว่า 5 พันล้านปี และคาดว่าจะเป็นอย่างนี้ไปอีกหลายพันล้านปี

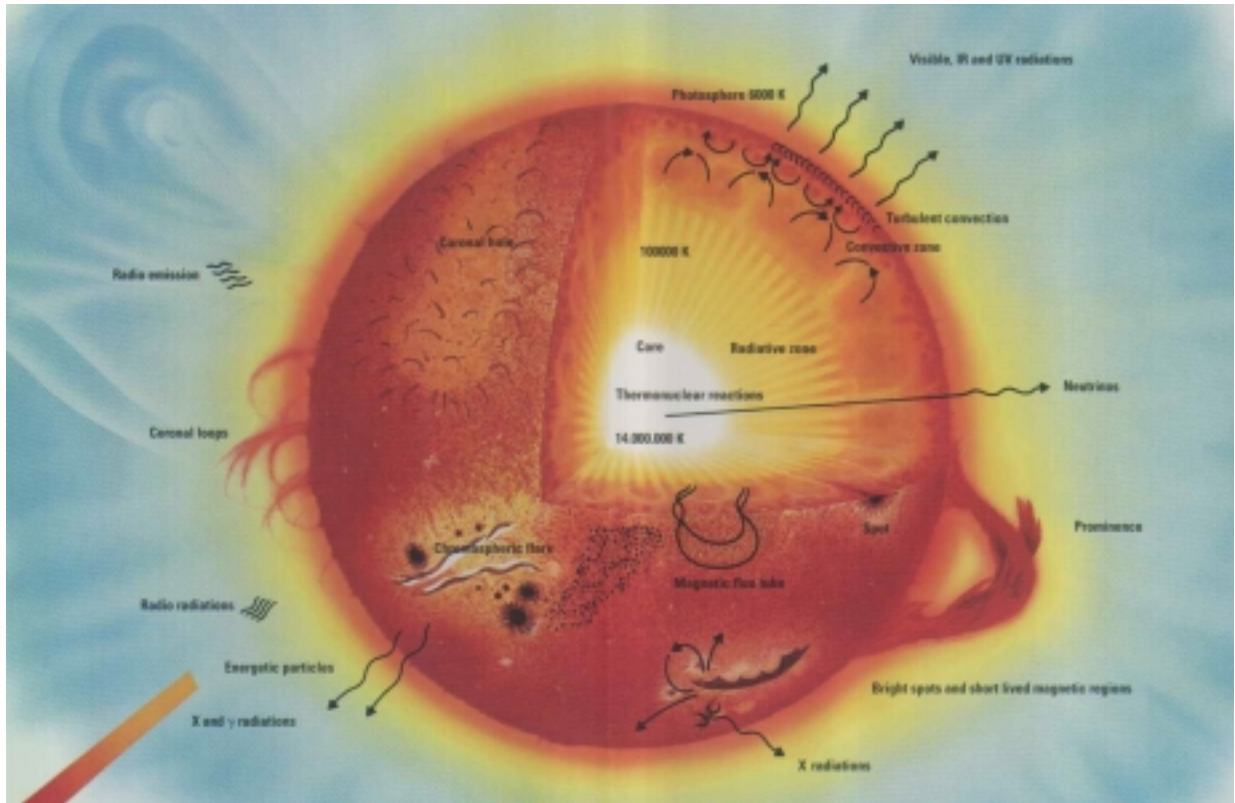


Figure 10.1: Sun diagram shows structure and electromagnetic radiation.

ตัวเลขที่น่าสนใจของดวงอาทิตย์		องค์ประกอบทางเคมีของดวงอาทิตย์	
Mass (kg)	1.989×10^{30}	Hydrogen	92.1%
Mass (Earth = 1)	332,830	Helium	7.8%
Equatorial radius (km)	695,000	Oxygen	0.061%
Equatorial radius (Earth = 1)	108.97	Carbon	0.030%
Mean density (gm/cm ³)	1.410	Nitrogen	0.0084%
Rotational period (days)	25-36*	Neon	0.0076%
Escape velocity (km/sec)	618.02	Iron	0.0037%
Luminosity (ergs/sec)	3.827×10^{33}	Silicon	0.0031%
Magnitude (Vo)	-26.8	Magnesium	0.0024%
Mean surface temperature	6,000 °C	Sulfur	0.0015%
Age (billion years)	4.5	All others	0.0015%

พลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้แผ่กระจายจากดวงอาทิตย์มายังโลกในระยะทาง 150 ล้าน กิโลเมตร ด้วยความเร็ว 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที จะใช้เวลาประมาณ 8 นาทีมาถึงโลก

การแผ่รังสีมายังโลก

ปริมาณแสงแดดในอวกาศวัดได้มีค่าคงที่เรียกว่า solar constant มีค่าเท่ากับ 1365 W/m^2 เมื่อแสงแดดผ่านชั้นบรรยากาศโลกเกือบ 30% จะสะท้อนกลับไปที่ 20% จะถูกดูดกลืนโดยเมฆ ฝุ่น ก๊าซเรือนกระจก คาร์บอนไดออกไซด์ และชั้นโอโซน ปริมาณการกระจายของค่าความยาวคลื่นต่างๆ ที่ใกล้โลกที่สุดแต่ยังไม่แผ่เข้ามาชั้น บรรยากาศเรียกว่า สเปกตรัมมวลอากาศศูนย์ หรือ AM0 (Air Mass Zero)

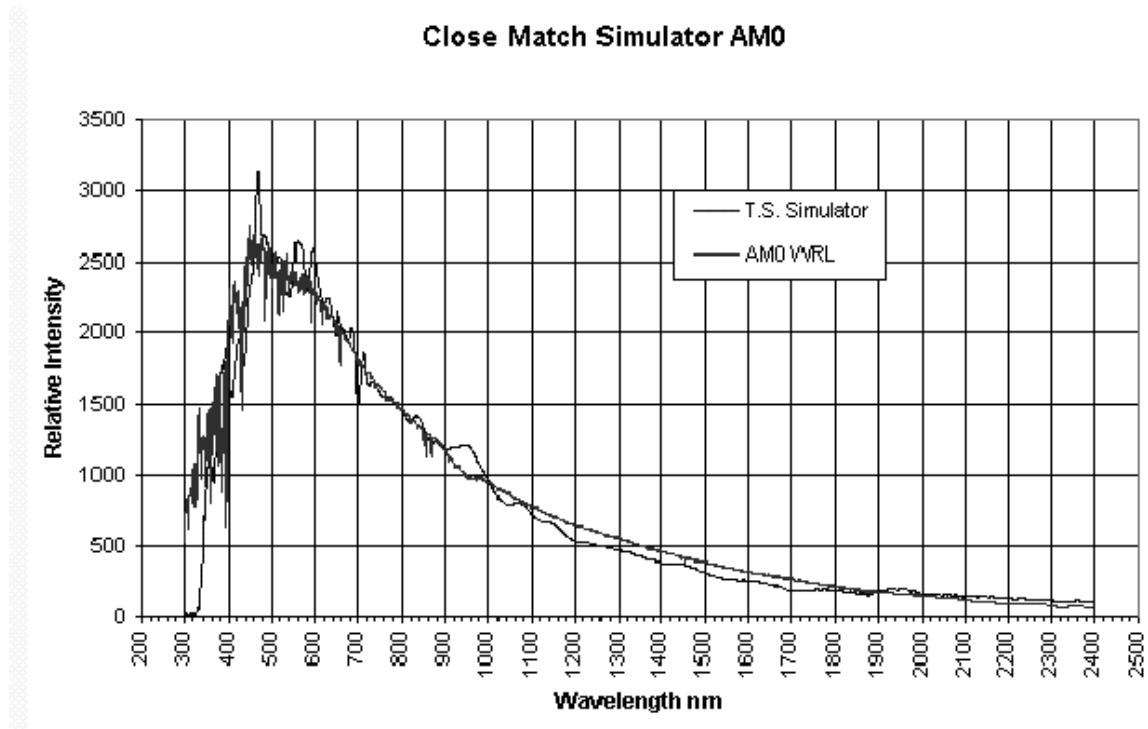


Figure 10.2: AM0 spectral distribution (bold line).

เมื่อแสงแดดเคลื่อนที่มาถึงพื้นโลก บางความคลื่นจะถูกดูดกลืนหายไป เมื่อดวงอาทิตย์อยู่กลางหัว ส่องตรงลงมาค่าปริมาณการกระจายของค่าความยาวคลื่นต่างๆ จะเรียกว่า สเปกตรัมมวลอากาศหนึ่ง หรือ AM1 แต่เมื่อตำแหน่งดวงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำค่าปริมาณการกระจายของค่าความยาวคลื่นต่างๆ ก็จะแปรเปลี่ยนไป ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จะเลือกใช้ สเปกตรัมมวลอากาศหนึ่งจุดห้า หรือ AM1.5 ซึ่งจะมีค่าวัดจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทำมุม 45 องศา กับแนวราบ

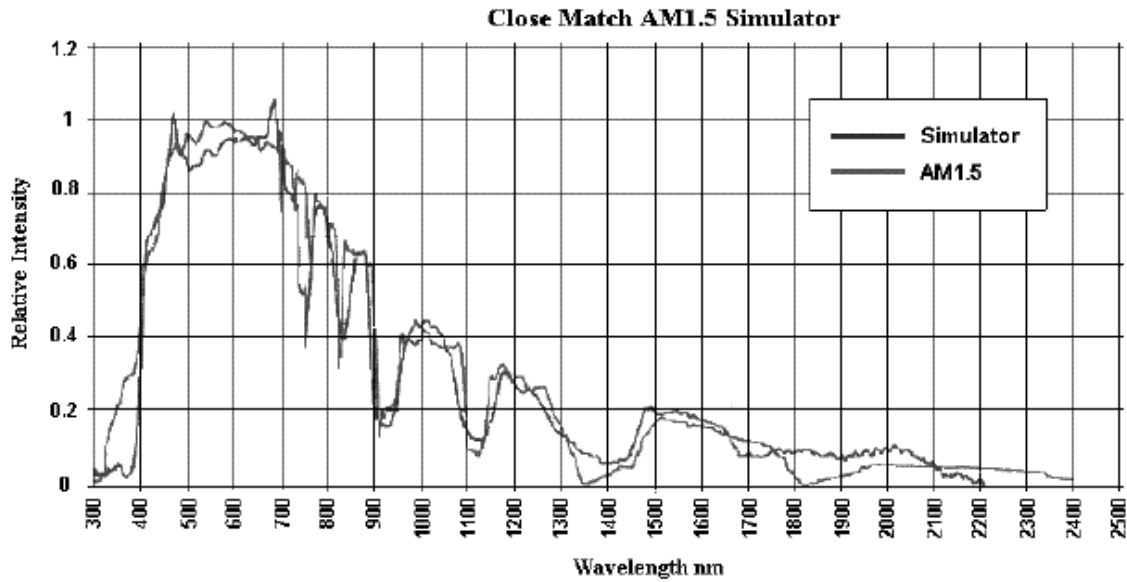


Figure 10.3: AM1.5 spectral distribution.

รังสีตรงและรังสีกระจาย

รังสีแสงแดดที่ส่องลงบนพื้นโลกแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ รังสีตรงและรังสีกระจาย รังสีตรงจะส่องลงบนพื้นโลกโดยไม่ถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวางใดๆ เราสังเกตได้ง่ายคือรังสีตรงจะทำให้เกิดเงาที่ชัดเจนเมื่อมีวัตถุบดบัง ส่วนรังสีกระจายจะกระเจิงจากวงชั้นกับกับวัตถุบดบังต่างๆ เช่นเมฆ สารเคมีในชั้นบรรยากาศ ตัวอย่างที่เห็นชัดเจนคือในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆทั่วท้องฟ้า ลักษณะของแสงแดดจะเหมือนกับเกิดจากแสงส่องผ่านกระจกฝ้า ปริมาณรวมของรังสีแสงแดดจึงเท่ากับผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย

การวัดปริมาณแสงแดด

ปริมาณแสงแดดที่ส่องลงบนพื้นโลกในแต่ละวันเรียกว่า Insolation ซึ่งเป็นคำย่อของ **In-coming Solar Radition** หน่วยที่ใช้วัดคือ Wh/m^2 เราใช้ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์วัดปริมาณแสงแดด ไพรานอมิเตอร์จะมีแผ่นรับแสงแดดเป็นวัตถุสีดำ ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นของแสงตั้งแต่ 305nm ถึง 2800 nm การดูดกลืนดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิของแผ่นรับแสงร้อนขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะวัดโดยเทอร์โมไฟล์ (เทอร์โมคัปเปิลต่ออนุกรมกันหลายคู่) สัญญาณเอาต์พุตจากไพรานอมิเตอร์จะเป็นศักย์ค่า EMF ในระดับไมโครโวลท์ ตัวอย่างดังรูปเป็นของยี่ห้อ Kipp & Zonan รุ่น CM3 จะให้ศักย์ค่า EMF เท่ากับ $14\mu\text{V/W/m}^2$ การวัดปริมาณแสง

แดดที่ได้รับในแต่ละวันนั้นเราอาศัยเครื่องมือที่เกรตศักดิ์ดาดังกล่าว เช่นตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น ค่าที่วัดได้จะมีหน่วยเป็น Wh/m^2



Figure 10.4: Kipp & Zonan CM11 Pyranometer.

แกนเอียงของโลก

หากนักเรียนสังเกตแนวของแสงแดดที่บ้านจะสังเกตเห็นในช่วงหน้าร้อนแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างมาทางทิศเหนือ ในขณะที่ช่วงหน้าหนาวจะค่อนข้างมาทางทิศใต้ หากหน้าบ้านของเราหันหน้าไปทางทิศใต้ เราจะสังเกตเห็นในช่วงหน้าหนาวแสงแดดจะส่องมาที่บ้าน เหตุเช่นนี้เกิดมาจากการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์และการที่โลกของเรามีแนวแกนกลางเอียงทำมุมกับแนวระนาบการโคจรประมาณ 23.5° ในฤดูร้อนแนวของรังสีแสงแดดจะส่องตรงมายังโลก ประเทศที่ตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรจะหันเข้าหาดวงอาทิตย์

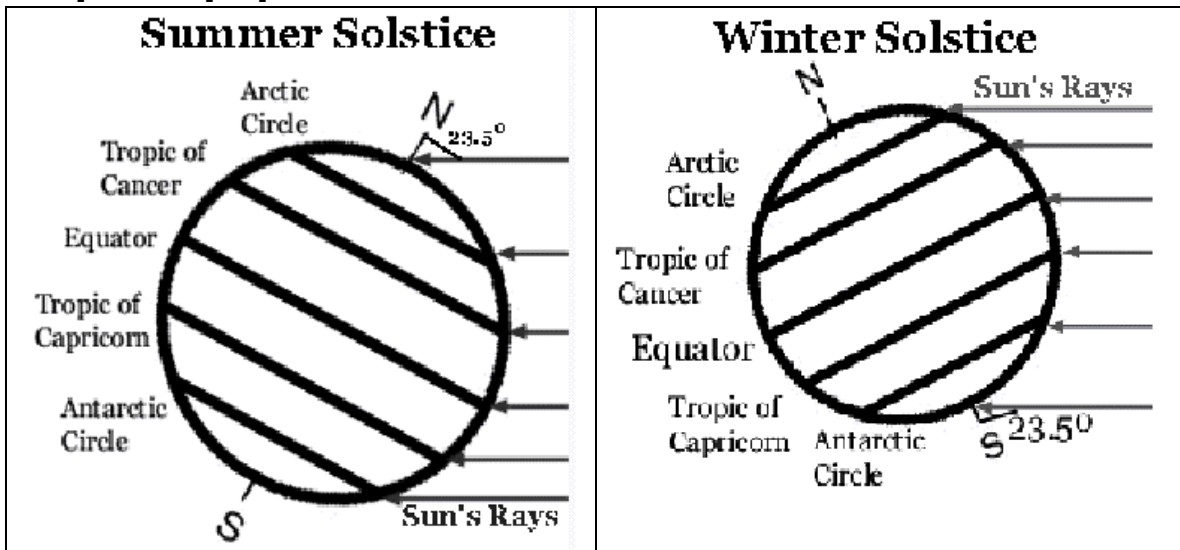


Figure 10.5: Sun's rays in summer and winter season.

ในฤดูหนาวแนวของรังสีแสงแดดจะส่องเอียงและประเทศที่ตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรจะหันออกห่างจากดวงอาทิตย์ การที่แกนโลกเอียงและการโคจรรอบดวงอาทิตย์ทำให้ตลอดทั้งปีแนวของรังสีแสงแดดจะเปลี่ยนแปลง เรามาดูที่เส้นศูนย์สูตร ในวันที่ 21 กันยายน และ วันที่ 21 มีนาคม แนวรังสีจะส่องตรงโดยที่มุมเอียงมีค่าเท่ากับ 0 เราสังเกตได้ง่ายดวงอาทิตย์จะอยู่กลางหัวในตอนเที่ยง ในวันที่ 21 ธันวาคม มุมเอียงจะมีค่าเป็น -23.5° ส่วนในหน้าร้อนวันที่ 21 มิถุนายน มุมเอียงจะมีค่าเป็น $+23.5^\circ$

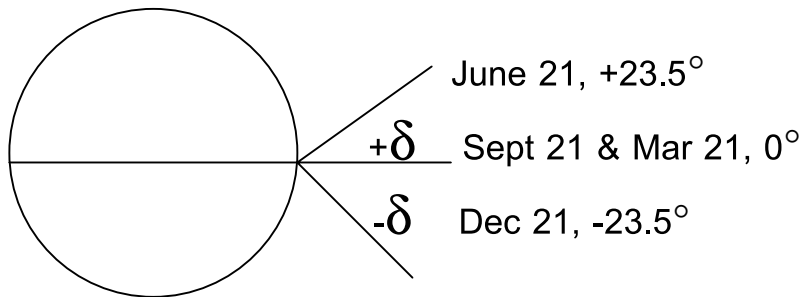


Figure 10.6: Declination angle at equator line.

ค่ามุมเอียงดังกล่าวเรียกว่า Solar declination จะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360}{365} \times (284 + d)\right] \quad (1)$$

d คือค่าวันที่ของปี โดยกำหนดให้วันที่ 1 มกราคม เป็นวันที่ 1

มุมเอียงของแผงโฟโตโวลตาอิก

เรามาดูตัวอย่างของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงแดด สืบเนื่องจากเหตุของแกนเอียงของโลกและการโคจรรอบดวงอาทิตย์ทำให้แผงโฟโตโวลตาอิกจำเป็นต้องติดตั้งเพื่อให้ได้รับแสงแดดมากที่สุด คือทิศทางของรังสีต้องตั้งฉากระนาบของแผง

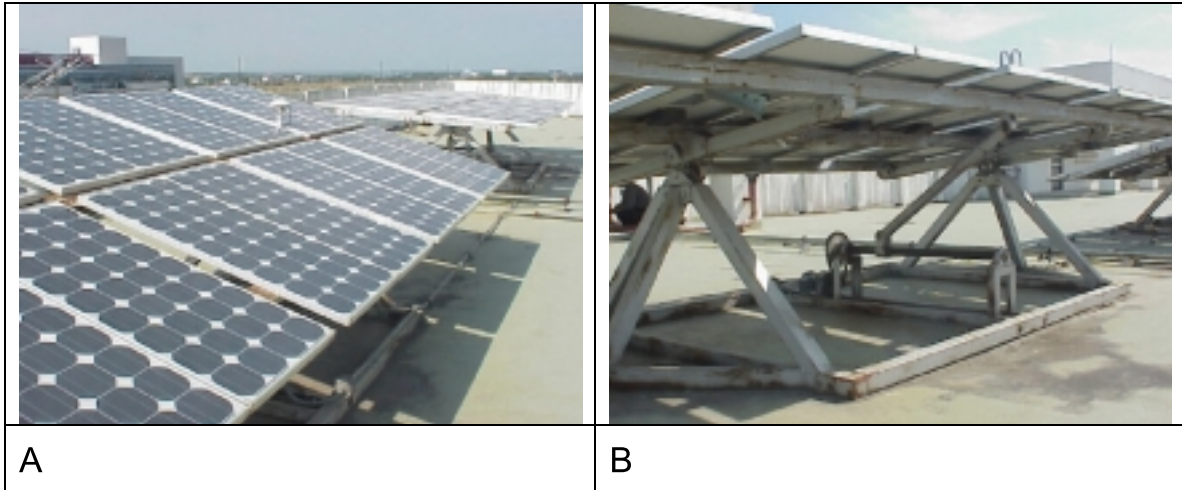
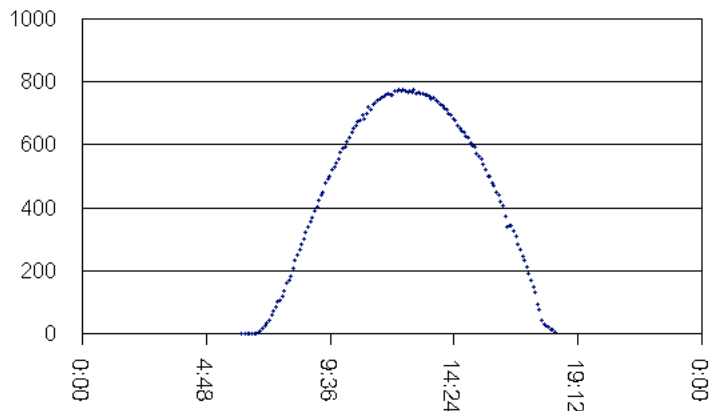


Figure 10.7: Single axis PV frame with N-S follower (A), motor control mechanism (B).

ประเทศไทยของเราตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นการที่ติดตั้งแผงจึงต้องหันไปทางด้านทิศใต้ สมการที่ 1 ใช้สำหรับตำแหน่งเส้นศูนย์สูตร ส่วนตำแหน่งละติจูดที่เราจะทำการทดลองวัดจะอยู่ที่ 15° เหนือ ทำให้เราต้องบวกค่ามุมละติจูดเข้ากับผลที่คำนวณได้ แผงโฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้งบนชั้นดาดฟ้าสามารถปรับมุมเอียงได้ด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบควบคุมด้วยมือ

Experiment

1. คำนวณค่ามุมเอียง δ สำหรับตำแหน่งละติจูด 15N ตามสมการที่ 1 โดยใช้วันที่ทำการทดลอง นำมาหาค่า d ตรวจสอบค่าที่คำนวณได้กับแผ่นแสดงตำแหน่งในห้องแลป
2. ปรับค่าตำแหน่งของแผงโฟโตโวลตาอิกตามมุมที่คำนวณได้
3. บันทึกปริมาณรวมรังสีแสงแดดด้วยไพราโนมิเตอร์และมิเนลอกเกอร์ตั้งแต่ 6:00 ถึง 18:00
4. บันทึกตัวเลขพลังงานไฟฟ้าที่เวลา 6:00 และ 18:00
5. พล็อตกราฟระหว่างปริมาณแสงแดด (W/m^2) กับเวลา



6. คำนวณปริมาณแสงแดดที่ได้รับในวันที่ทำการทดลอง Wh/m^2 โดยการอินทิเกรต W/m^2 กับเวลาแล้วปรับค่าเวลาให้เป็นชั่วโมง เช่นหากเราเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาทีผลของการอินทิเกรตก็จะหารด้วย 60 เป็นต้น เราใช้การบวกแทนการอินทิเกรตได้เนื่องจากข้อมูลเป็นค่าตัวเลข
7. คำนวณจำนวนชั่วโมงสูงสุด (peak-hour) ที่แสงแดดมีค่าสมมูลย์เท่ากับ $1000 W/m^2$
8. พื้นที่ของแผงโฟโตโวลตาอิกมีค่าเท่ากับ $9.7344 m^2$ (แผงชุดเดียว)
9. คำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงแดดตามสมการที่ 2

$$\eta = \frac{\text{totalWatt - Hour (Wh)}}{\text{Insolation (Wh / m}^2) \times 9.7344m^2} \times 100 \quad (2)$$

Total Watt-Hour เป็นค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้วัดจากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า นำค่า Insolation เป็นค่าปริมาณแสงแดดที่ได้รับวัดโดยไพราโนมิเตอร์ พลังงานแสงแดดที่ตกลงบนแผงทั้งหมดจะคำนวณจากพื้นที่ของเซลล์แสงแดดคูณด้วยค่า insolation ที่วัดได้ตลอดทั้งวัน

Student ID and name 1 _____

2 _____

Experimental Results

1. Declination angle

Date-month-year	Declination angle (latitude 15N)

2. Daily insolation graph (see sample graph in lab sheet)

3. Daily insolation (Wh/m^2) =

4. Peak-hour (h) =

5. Total AC energy (Wh) =

6. Total solar energy (Wh/m^2) $\times 9.7344\text{m}^2$ =

7. PV System efficiency (%) =