

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แผงแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์

SUN'S POSITION DISPLAYING BOARD



นายเสรี จันทร์เจริญ
นายเสรี อังศิริ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 36690
วัน, เดือน, ปี 3 ค.ศ. 2543

Sun' s Position Displaying Board



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science Department of Applied Physics Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ จอแสดงผลตำแหน่งดวงอาทิตย์
โดย นายเสรี จันทร์เจริญ
 นายเสรี อังศิริ
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ
 รองศาสตราจารย์สุรพล รักวิชัย

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ฟิสิกส์ประยุกต์

(รศ.สุรพล รักวิชัย)


คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ



ประธานกรรมการ

(ผศ.วิชิต ศิริโชติ)

กรรมการ



(อ. บดินทร์ ดำรงศักดิ์)

กรรมการ



(อ. สุรสักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์)

..........

กรรมการ

(อ. กัทรียา กิตติเดชาชาญ)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

หัวข้อโครงการพิเศษ	จอแสดงผลตำแหน่งดวงอาทิตย์
โดย	นายเสรี จันทร์เจริญ นายเสรี อังศิริ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วิชิต ศิริโชติ รศ.สุรพล รัทวิชัย
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

แผงแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์และโปรแกรมคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ ประกอบด้วย อุปกรณ์ ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 ซึ่งมีโครงสร้างเป็น CMOS 7-เซกเมนต์จำนวน 32 หลัก ไอซีทำหน้าที่เลขฐานสิบ 74LS373 แบบ D-FF ไอซีถอดรหัสเบอร์ 74LS247 และเบอร์ 74LS145 ในส่วนของการคำนวณใช้โปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก โดยในการคำนวณจะอ้างอิงถึงค่า เวลาท้องถิ่น ตำแหน่งเส้นละติจูดและลองจิจูด การแสดงผลแบ่งเป็นสองโหมดคือ 1. การแสดงผลตามเวลาและตำแหน่งของสถานที่ที่กำหนด 2. การแสดงผลแบบต่อเนื่องตามเวลาบนเครื่องพีซี บนแผงแสดงผลจะแสดงถึง 1. วัน เดือน ปี เวลาท้องถิ่น 2. เวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและดวงอาทิตย์ ตก 3. มุมเดคลิเนชัน 4. มุมอซิมูทและมุมอัลติจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title SUN'S POSITION DISPLAYING BOARD
Name Mr. Seree Chanjaroen
 Mr. Seri Aungsiri
Special Project Advisor Assistant Professor Wichit Sirichote
 Associate Professor Suraphon Rakvijji

Abstract

A board for displaying Sun position and a program for calculating the position of Sun have been built. The board consists of a PIC16F84 CMOS Microcontroller, 32 -digit 7 segment LED, 74LS247 BCD-to-7segment decoder. The program written in Visual Basic calculates current position of the sun reference to local time, latitude and longitude. Two operation modes are 1) calculation mode and 2) local time calculation mode. Mode 1 calculates position of the sun by inputting date and time longitude and latitude. Mode 2 , however, continuously displays the position along current date and time on PC . The board is capable of displaying 1) date/ local time, 2) Sun Rise/Set , 3) Declination , and 4) Azimuyh,Altitude angles.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค)

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลต่างๆ ซึ่งต้องขอบขอบคุณบุคคลดังต่อไปนี้

บิดา-มารดา ตลอดจนผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่ได้ให้กำเนิด เลี้ยงดู ให้การศึกษาและช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ผศ.วิจิต ศิริโชติ ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำเป็นแนวทางและติดตามผล จนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
บทที่ 1 บทนำ	(1)
1.1 ที่มาของโครงการพิเศษ	(1)
1.2 วัตถุประสงค์	(1)
1.3 วิธีการดำเนินการ	(2)
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	(2)
1.5 ขอบข่ายการทำงาน	(2)
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	(3)
2.1 ลักษณะเฉพาะของรังสีแสงอาทิตย์	(3)
2.2 ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า	(5)
2.3 ฤดูกาลและการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	(5)
2.4 ผลกระทบจากระยะระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์	(6)
2.5 ระบบสุริยะ	(8)
2.6 โครงสร้างของดวงอาทิตย์	(8)
2.7 มุมเดคลิเนชัน	(9)
2.8 ฤดูกาล	(10)
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง	(21)
บทที่ 4 ผลการทดลอง	(25)
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	(26)
ภาคผนวกการใช้แฟงแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์	(27)
บรรณานุกรม	(28)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของความรับอาบรังสี (Solar Spectral Irradiance)	(3)
รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความรับอาบรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกในรอบปี	(4)
รูปที่ 2.3 แสดงวงทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี	(7)
รูปที่ 2.4 แสดงระนาบสุริยวิถีกับระนาบศูนย์สูตร	(8)
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของดวงอาทิตย์	(9)
รูปที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนฤดูกาล แสดงภาพที่มองจากทางโคจร โดยแสงอาทิตย์เข้าทางด้านขวามือ	(10)
รูปที่ 2.7 แสดงการเคลื่อนที่ของโลกที่อิกวินอกซ์ แสดงเซนิทของจุด (23.5°) ตอนเที่ยง	(12)
รูปที่ 2.8 แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่อิกวินอกซ์ที่เส้นรุ้งต่างๆกัน	(12)
รูปที่ 2.9 แสดงการเคลื่อนที่ของโลกที่ไซลสติซส์ฤดูหนาว	(13)
รูปที่ 2.10 แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้งต่างๆ (21 ธันวาคม)	(13)
รูปที่ 2.11 แสดงการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ไซลสติซส์ฤดูร้อน	(14)
รูปที่ 2.12 แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้งต่างๆ (21 มิถุนายน)	(14)
รูปที่ 2.13 แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏประจำวันของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้ง $\varphi^{\circ}N$ ในไซลสติซส์ฤดูร้อนและฤดูหนาวและที่อิกวินอกซ์	(15)
รูปที่ 2.14 แสดงภาพด้านข้างและด้านบนของการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ สำหรับจุดสังเกตการณ์ที่เส้นรุ้ง $\varphi^{\circ}N$	(15)
รูปที่ 2.15 แสดงสมการของเวลาในรอบปี	(16)
รูปที่ 2.16 แสดงมุมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณรังสีตกกระทบตั้งฉาก	(19)
รูปที่ 2.17 แสดงมุมเซนิทสุริยะ θ_z อัลติจูด α และอะซิมุท ψ ที่สัมพันธ์กับพื้นราบระดับบนโลก	(19)
รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมอย่างง่ายของ PIC16F84	(21)
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ การรับอาบรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและมุมเดคลิเนชัน	(7)
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์	(24)
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าของมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์สังเกตจากประเทศ ไทย(ละติจูด 15 องศาเหนือ)	(25)
ตารางที่ 4.3 แสดงค่ามุมเดคลิเนชันจากการทดลอง	(26)
ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบ ค่าที่คำนวณ ได้กับข้อมูลมาตรฐาน ของกรมอุตุนิยมวิทยา	(29)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1)
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการพิเศษ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมแต่มีแนวโน้มต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้แก่ ความร้อนและแสงสว่าง พลังงานในรูปแบบของกระแสไฟฟ้า ตลอดจนผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเพื่อลดรายจ่ายของประเทศในยุคเศรษฐกิจถดถอยเราจึงต้องลดปริมาณการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม และส่งเสริมการค้นคว้าวิจัยพลังงานอย่างอื่นมาทดแทน ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญของมนุษย์จึงมีการค้นคว้าหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อที่จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานกล พลังงานไฟฟ้า และพลังงานเคมีเพื่อใช้ให้เป็นประโยชน์ในด้านต่างๆ แต่พลังงานแสงอาทิตย์มักอยู่ในลักษณะเจือจาง กระจุกกระจายและไม่แน่นอน การที่จะได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละตำแหน่งจะไม่ได้เหมือนกันจึงต้องใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับพลังงานเหล่านี้ให้ได้มากที่สุดในแต่ละวันซึ่งในปัจจุบันมีการใช้แผงเซลล์สุริยะ แต่เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาการจะทำให้ได้พลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุดจะต้องทำให้แผงเซลล์สุริยะหมุนไปในตำแหน่งเดียวกับดวงอาทิตย์ซึ่งแนวความคิดนี้ทำให้เกิด โครงการนี้ขึ้นมาโดยที่โครงการนี้จะสร้างเครื่องบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์ เพื่อที่จะบอกให้เซลล์สุริยะหมุนไปในตำแหน่งที่ตรงกับดวงอาทิตย์ เพื่อที่จะได้พลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด โดยเครื่องบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์หรือจอแสดงผลตำแหน่งดวงอาทิตย์จะใช้หลักคำนวณตามสูตรมาตรฐาน

1.2 วัตถุประสงค์

ในโครงการชิ้นนี้จะเป็นการสร้างแผงแสดงผลตำแหน่งดวงอาทิตย์ (SUN 'S POSITION DISPLAYING BOARD) โดยใช้เซเวนเซกเมนต์ (7 segment) โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อโลกเมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือไมโครคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ ให้ถูกต้องตามมาตรฐานด้วยภาษาวิซวลเบสิก
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการทำงานและใช้งานชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วิธีการดำเนินการ

การดำเนินการสร้างจอแสดงผลตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้ทำตามขั้นตอนดังนี้

- 1.3.1 ศึกษาการโคจรของดวงอาทิตย์แล้วพิจารณาค่าแหน่งต่างๆของดวงอาทิตย์เมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เพื่อที่จะนำมาแสดง
- 1.3.2 ศึกษาการทำงานของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84
- 1.3.3 ทำการออกแบบฮาร์ดแวร์จอแสดงผลตำแหน่งดวงอาทิตย์
- 1.3.4 ศึกษาโปรแกรมภาษาเบสิกและโปรแกรมวิซวลเบสิก

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงทฤษฎีและหลักการ โคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
- 1.4.2 ทราบถึงทฤษฎีในการคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์
- 1.4.3 สามารถใช้งานชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ พีไอซี 16เอฟ84 (PIC16F84) ในการประมวลผลค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่คำนวณ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาวิซวลเบสิกไปแสดงบนจอแสดงผลได้
- 1.4.4 สามารถที่จะนำโครงการพิเศษชิ้นนี้ไปประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์สุริยะเพื่อที่จะทราบตำแหน่งดวงอาทิตย์

1.5 ขอบข่ายการทำงาน

จอแสดงผลตำแหน่งดวงอาทิตย์สามารถทำงานได้โดยการคำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษาวิซวลเบสิกซึ่งประกอบด้วย มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) มุมอะซิมูท (Azimuth) หรืออะซิมูทสุริยะ (Solar Azimuth) มุมอัลติจูด (Altitude angle) เวลาพระอาทิตย์ขึ้น เวลาพระอาทิตย์ตก และเวลาขณะที่แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิกเพื่อให้ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ รับค่าที่คำนวณได้นี้ไปแสดงผลบนจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

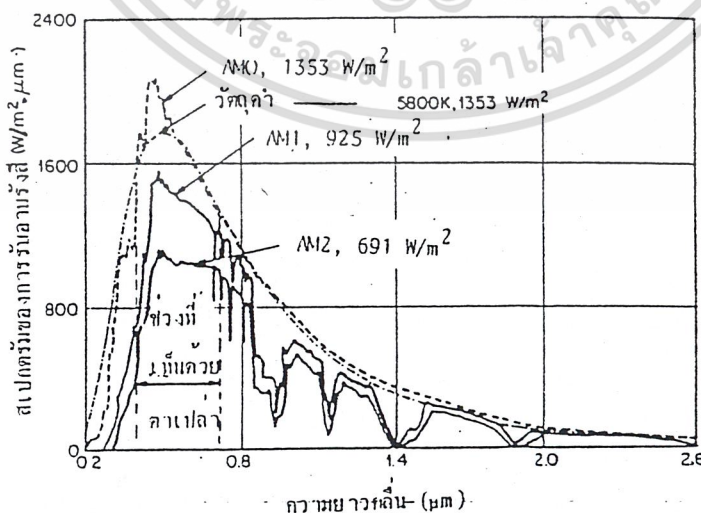
2.1 ลักษณะเฉพาะของรังสีแสงอาทิตย์

2.1.1 ดวงอาทิตย์และค่าคงตัวสุริยะ (Solar Constant)

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญในระบบสุริยะจักรวาลมีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกทั้งในอดีต ปัจจุบันและในอนาคต พลังงานที่เกิดบนดวงอาทิตย์เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ฟิวชัน (Thermonuclear fusion) ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มของก๊าซทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39×10^6 km อยู่ห่างจากโลกเฉลี่ย 1.496×10^8 km หรือ 1AU (Astronomical Unit) ถ้าสังเกตจากโลก ดวงอาทิตย์หมุนรอบแกนตัวเองหนึ่งรอบใช้เวลาที่สี่ปดาห์

พลังงานแสงอาทิตย์นับเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและมีอยู่มากมายเป็นพลังงานที่ได้มาเปล่าๆ เราเพียงเสียดำค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าอุปกรณ์ในการรวบรวมแสงอาทิตย์มาใช้งานเท่านั้น พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบโลกนี้มีปริมาณมากกว่าแหล่งพลังงานที่มีอยู่บนโลก (เช่น พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานใต้พิภพ พลังงานแรงโน้มถ่วง เป็นต้น) รวมกันถึง 5000 เท่า พลังงานส่วนนี้ร้อยละ 30 ถูกสะท้อนกลับไปสู่ห้วงบรรยากาศ ร้อยละ 47 ถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าและสะท้อนกลับไปสู่บรรยากาศ ร้อยละ 22.5 ถูกใช้ไปในการระเหย และ อีกประมาณ ร้อยละ 0.5 ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกลในรูปของลม คลื่นและสะสมไว้ในพืชโดยการสังเคราะห์แสง

การแผ่รังสีที่ผิวดวงอาทิตย์สู่บรรยากาศนอกโลกประมาณเทียบได้กับการแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body) อุณหภูมิยังผลเป็น 5762 K ดังแสดงในรูปที่ 2.1



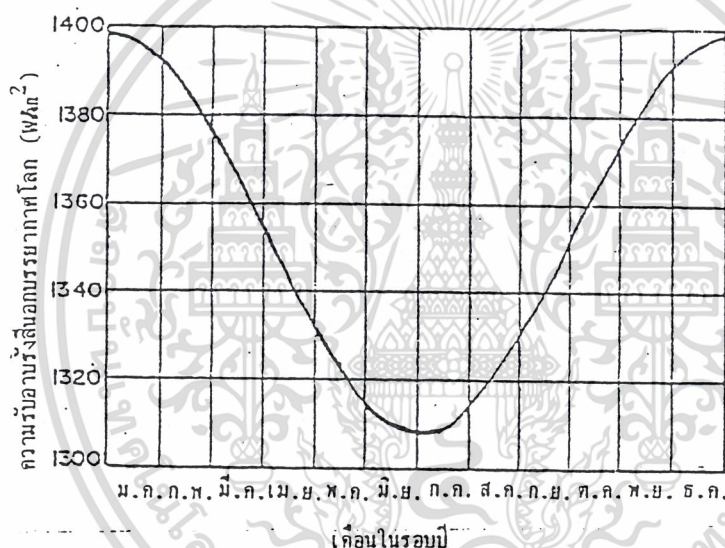
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของความรับอาบรังสี (Solar Spectral Irradiance)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4)

ดวงอาทิตย์มีอัตราการปลดปล่อยพลังงาน 3.85×10^{23} kW และบรรยากาศบริเวณผิวโลกได้รับ 1.725×10^{14} kW เทียบเป็นพลังงานที่ได้รับใน 1 ปี คือ 1.51×10^{18} kWh

2.1.2 ค่าคงตัวแสงอาทิตย์

ความเข้มการแผ่รังสี I_n ตกกระทบพื้นราบที่ตั้งฉากกับรังสีแสงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศของโลกที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์วัดได้ $I_n = 1353 \text{ W/m}^2$ เราเรียกค่านี้ว่า ค่าคงตัวสุริยะ (solar constant) ที่จริงแล้วค่านี้ไม่คงตัวเนื่องจากคาบการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ในรอบปีซึ่งเปลี่ยนแปลงประมาณ $\pm 3\%$ จากค่าเฉลี่ย ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความรับอาบรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกในรอบปี

การวัดความเข้มแสงอาทิตย์นี้ปัจจุบันใช้ระบบดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ค่าคงตัวสุริยะในหน่วยอื่นๆที่นิยมใช้กันเช่น

$$\begin{aligned} I_n &= 1940 \text{ cal/cm}^2/\text{min} \\ &= 428 \text{ Btu/ft}^2/\text{hr} \\ &= 4871 \text{ KJ/m}^2/\text{hr} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า

โลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์มีวงโคจรเป็นรูปวงรี ใช้เวลาหนึ่งปีต่อรอบ ขณะเดียวกันโลกหมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปสู่ทิศตะวันออกจึงทำให้เราเห็นเป็นว่า ความมีการขึ้นจากทิศตะวันออกไปตกกลับฟ้าทางทิศตะวันตกสวนทางกับการหมุนของโลก แกนหมุนของโลกทำมุมเอียงคงที่เท่ากับกึ่งระนาบการโคจรตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อชั่วโมงหนึ่งหันเข้าใกล้ดวงอาทิตย์จึงเกิดฤดูร้อนในซีกโลกเหนือ และฤดูหนาวในซีกโลกใต้ ในทำนองเดียวกัน เมื่อชั่วโมงหนึ่งหันเข้าหาดวงอาทิตย์จะเกิดฤดูร้อนในซีกโลกใต้และฤดูหนาวในซีกโลกเหนือ จากการหมุนรอบตัวเองของโลก ทำให้คนมองเห็นท้องฟ้ามีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละชั่วโมง และเนื่องจากโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์ด้วยทำให้สังเกตเห็นดวงดาวอยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ กัน ในช่วงเวลาหนึ่งปี ถ้ามองท้องฟ้าไปในทางทิศเหนือจะมองเห็นท้องฟ้าเคลื่อนที่รอบจุดๆหนึ่ง คือ ชั่วโมงหนึ่งของท้องฟ้า ดาวที่อยู่ใกล้กับจุดนี้ คือ ดาวเหนือ เป็นผลให้มองเห็นหมู่ดาวในทางทิศเหนือเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบดาวเหนือ

2.3 ฤดูกาลและการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

ในการศึกษาดาราศาสตร์มีการสมมุติทรงกลมท้องฟ้าขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการอธิบายและการคำนวณข้อมูลทางดาราศาสตร์ ข้อกำหนดคุณสมบัติพื้นฐานของทรงกลมท้องฟ้ามีดังนี้

- ให้ถือว่าทรงกลมท้องฟ้ามีรัศมีอนันต์ (Infinity) ดังนั้นไม่ว่าผู้สังเกตการณ์จะไปอยู่ ณ ตำแหน่งใด จะเป็นตำบลบนพื้นโลก หรือที่จุดใจกลางของโลกหรือในอวกาศภายนอกโลกเขาจะรู้สึกเสมือนว่าเขายังคงอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้าเสมอ

- ให้ถือว่าดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ ดวงอาทิตย์ และอื่นๆ เป็นสิ่งที่ติดอยู่บนผิวภายในของทรงกลมท้องฟ้า สำหรับดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ ดาวเคราะห์ และดาวหางนั้นมีการเคลื่อนที่ไปบนผิวทรงกลม

- ทรงกลมท้องฟ้าหมุนไปรอบแกนซึ่งผ่านจุดศูนย์กลางของทรงกลม ซึ่งเป็นตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ด้วยอัตราวันละรอบเป็นผลเนื่องมาจากการหมุนรอบตัวเองของโลก ดังนั้นวัตถุท้องฟ้าต่างๆ จะปรากฏหมุนไปรอบผู้สังเกตการณ์บน โลกวันละรอบ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเคลื่อนที่ประจำ (Diurnal motion or Daily motion)

- ผู้สังเกตการณ์ที่คนละตำแหน่ง ถ้าชี้หรือเล็งไปยังดวงเดียวกัน แนวที่ชี้หรือเล็งนั้นจะเป็นเส้นตรงที่ขนานกัน ผลนี้สืบเนื่องมาจากข้อหนึ่ง และหลักการเรขาคณิตที่ว่าเส้นตรงที่ขนานกันจะไปพบกันที่อนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6)

การโคจรรอบดวงอาทิตย์ของโลกและการเอียงของแกนหมุนของโลกกับระนาบการโคจร ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนไปตามฤดู (Seasonal Variation) และตามวันเวลา (Diurnal Variation)

ปกติดวงอาทิตย์มีอัตราการแผ่รังสีค่อนข้างคงที่ตลอดเวลาแต่รังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกมีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบในรอบปี สาเหตุเนื่องจาก

2.4 ผลกระทบจากระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี (ellipse) ดังรูปที่ 2.3 (ในที่นี้เขียนเป็นแบบวงกลมเพื่อให้ดูสะดวก) ซึ่งแสดงตำแหน่งของโลกในวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี เมื่อมองจากขั้วเหนือของระนาบสุริยวิถี โลกจะปรากฏโคจรไปรอบๆ ในทิศทวนเข็มนาฬิกาและในขณะเดียวกันก็หมุนรอบตัวเองในทิศทวนเข็มนาฬิกาด้วย วันที่ 3 มกราคมของปี โลกจะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางน้อยที่สุดที่ตำแหน่ง เพอริฮีเลียน (perihelion) มีค่าเท่ากับ 147.1×10^6 km ต่อมาอีก 6 เดือน คือ ในวันที่ 4 กรกฎาคมของปี โลกก็จะโคจรมาอยู่ที่จุดตรงข้ามในวงโคจรซึ่งเป็นจุดห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุดที่ตำแหน่ง แอพิเลียน (aphelion) เป็นระยะทาง 152×10^6 km ดังนั้นความเข้มรังสีนอกบรรยากาศโลกจึงเปลี่ยนแปลงเป็นคาบในรอบปีขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ค่ารังสีตกกระทบบนพื้นที่ตั้งฉากนอกระบบสุริยะโลก I_0 ในแต่ละเดือน และ ตารางระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์เป็นหน่วยดาราศาสตร์ (astronomical unit , A.U.) โดยมีระยะทางเฉลี่ย $1 \text{ A.U.} = 1.496 \times 10^{18} \text{ km}$ ค่ารังสีตกกระทบ I_0 ประมาณได้จากสูตรเอมพิริคัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

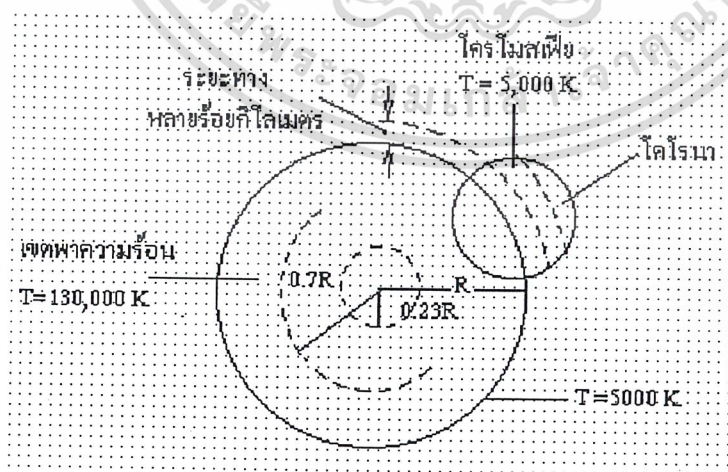
2.5 ระบบสุริยะ

ระบบสุริยะประกอบด้วยดาวเคราะห์ 9 ดวง คือ พุธ (Mercury) ศุกร์ (Venus) โลก (Earth) อังคาร (Mars) พฤหัส (Jupiter) เสาร์ (Saturn) มฤตยู (Uranus) เนปจูน (Neptune) พลูโต (Pluto) นอกจากนี้ยังมีบริวารของดาวเคราะห์ ดาวเคราะห์น้อย อุกาบาต ดาวหางและเทหวัตถุ

ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์และหมุนรอบแกนของตัวเองไปด้วยในเวลาเดียวกันการโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์เป็นไปในทิศทางเดียวกันเป็นรูปวงรี ตำแหน่งที่ดาวเคราะห์อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดเรียกว่า เพริเฮลิออน (Perihelion) และตำแหน่งที่ดาวเคราะห์อยู่ไกลดวงอาทิตย์มากที่สุดเรียกว่า อพเฮลิออน (Aphelion) วงโคจรของดาวเคราะห์หลายดวงอยู่ในระนาบเดียวกัน ยกเว้นวงโคจรของดาวพุธ ดาวพลูโต และดาวหาง ส่วนดวงจันทร์หรือบริวารของดาวเคราะห์เกือบทั้งหมดก็มีวงโคจรอยู่ในระนาบเดียวกันกับดาวเคราะห์ส่วนใหญ่ด้วย

2.6 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

จากการประมาณพบว่า ร้อยละ 90 ของพลังงานที่แผ่ออกมานั้น มาจากช่วงระยะ 0 ถึง 0.23 R (โดยที่ R เป็นรัศมีของดวงอาทิตย์) ซึ่งประกอบด้วยมวลร้อยละ 40 ของมวลทั้งหมดของดวงอาทิตย์ที่ระยะ 0.7R จากศูนย์กลางอุณหภูมิจะลดลงเหลือประมาณ 130,000 K และความหนาแน่นลดลงเหลือ 0.07 กรัมต่อลบ.ซม. ที่บริเวณนี้จะมีพฤติกรรมแบบการพาความร้อน และเรียกระยะจาก 0.7R ถึง 1.0R ว่าเขตพาความร้อน (Convection zone) ภายใต้อันนี้ อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 5000 K และมีความหนาแน่นประมาณ 10^{-8} กรัมต่อลบ.ซม.



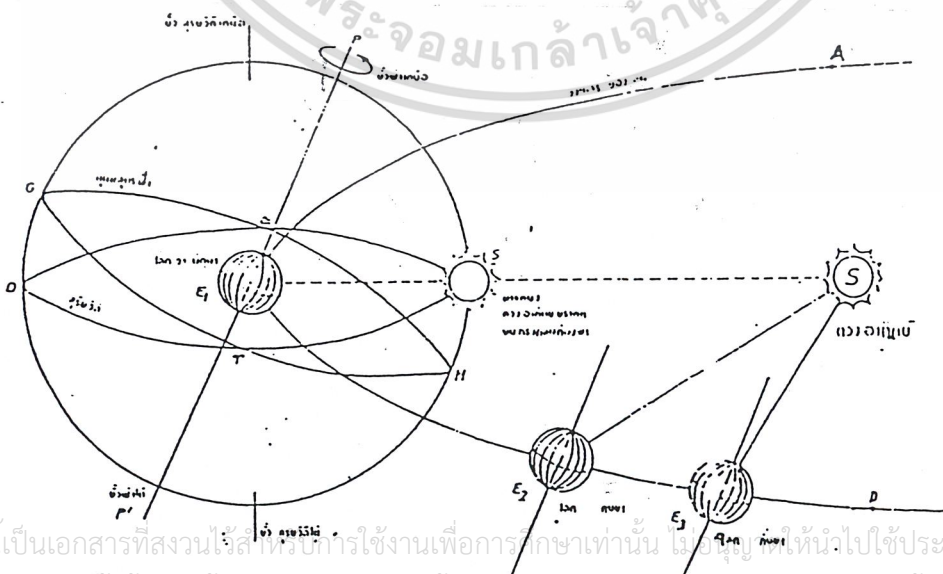
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ทั้งนั้นโปรดอ่านเงื่อนไขของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของดวงอาทิตย์

บริเวณพื้นผิวของดวงอาทิตย์นี้ประกอบด้วย กรานูล (Granules) ซึ่งมีลักษณะเป็นลำ มีความยาวตั้งแต่ 1000 ถึง 3000 กิโลเมตร แต่ช่วงเวลาที่ปรากฏตัวอยู่นั้นสั้นไม่กี่ปีกว่าคือเมื่อมันแผ่รังสีความร้อนแล้วมันจะไหลเวียนกลับลงไป เขตพาคความร้อนชั้นบนสุดเรียกว่า โฟโตสเฟีย (Photosphere) รังสีแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่มาจากเขตโฟโตสเฟียนี้ บริเวณที่ถัดขึ้นไปจากโฟโตสเฟียเป็นระยะ 10,000กิโลเมตร เรียกว่า โครโมสเฟีย (Chromosphere) บรรยากาศชั้นนี้อุณหภูมิสูงกว่าชั้นโฟโตสเฟีย บรรยากาศชั้นนอกสุดของดวงอาทิตย์ เรียกว่า โคโรนา (Corona)ชั้นนี้มีอุณหภูมิสูงมากประมาณหนึ่งล้านองศาเคลวิน แต่ให้แสงสว่างเพียงประมาณหนึ่งในล้านของความสว่างจากชั้นโฟโตสเฟียจึงยากที่จะสำรวจได้โดยง่าย นอกจากจะสำรวจในขณะที่เกิดสุริยุปราคาที่มีมิดคอร์สร้างของโคโรนาเป็นเส้นสายไหลออกไปจากดวงอาทิตย์ จากลักษณะดังกล่าวแสดงว่าดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิไม่คงที่แน่นอน ในการคำนวณทั่วไปจึงถือพิจารณาถือว่าดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 5762 K แม้ว่าจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงถึง 20 ล้านเคลวิน ดวงอาทิตย์ส่งพลังงานออกมาในอัตรา 3.8×10^{23} กิโลวัตต์ แต่โลกเราได้รับพลังงานเพียงเล็กน้อย คือ 1.7×10^{14} กิโลวัตต์เท่านั้น

2.7 มุมเดคลิเนชัน

การแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลกมีการเปลี่ยนแปลงมากเนื่องจากต่างฤดูทางเดินของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในท้องฟ้าจะเปลี่ยนไป แกนหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.45 องศา กับแกนซึ่งตั้งฉากกับระนาบทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (คือ ระนาบที่ดวงอาทิตย์ ปรากฏเคลื่อนที่ไปนั่นเอง มีชื่อเรียกว่า ระนาบสุริยวิถี (Ecliptic plane) ระนาบเส้นศูนย์สูตร (Equatorial plane) ของโลก จึงเอียงเป็นมุม 23.45 องศา กับระนาบสุริยวิถี ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงระนาบสุริยวิถีกับระนาบศูนย์สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่รับภาระใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

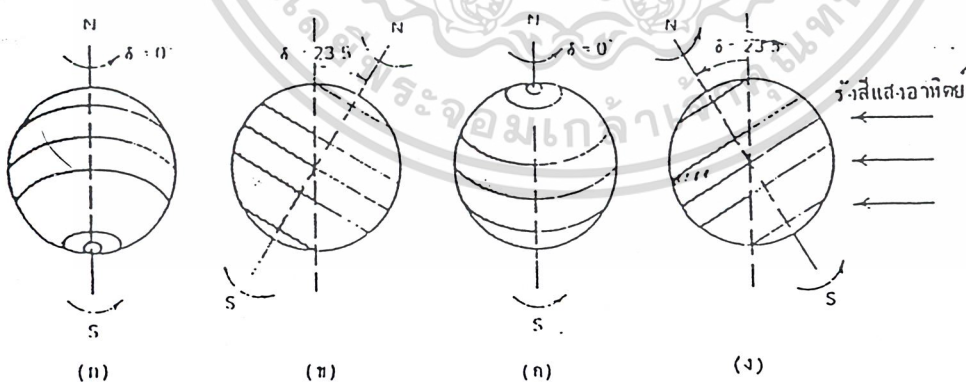
การเอียงปรากฏของแกนหมุนของโลกเข้าหาดวงอาทิตย์เทียบกับแกนตั้งฉากของระนาบสุริยะวิถีเป็นมุม δ เรียกว่ามุม เคคลิเนชัน (Declination angle) มุมเคคลิเนชันนี้จะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง $+23.45$ ถึง -23.45 องศา ในช่วง 1 รอบปี ดังแสดงในตารางที่ 1 สูตรเอมพริกัลที่ใช้คำนวณมุมเคคลิเนชัน คือ

$$\delta_{(Degree)} = 23.45^\circ \sin \left[\left(\frac{284 + N}{365} \right) \times 360 \right] \tag{2.1}$$

N เป็นจำนวนวันในรอบปี โดยนับ N = 1 เริ่มจาก 1 มกราคม (สำหรับเดือนกุมภาพันธ์ มี 28 วัน ทุกๆ 4 ปี จะมี 1ปี ที่เดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน , leap year) สำหรับซีกโลกใต้ให้กลับเครื่องหมายของมุมเคคลิเนชัน

2.8 ฤดูกาล

ตำแหน่งและวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรูปที่ 2.3 ในรอบ 1 ปี ทำให้เกิดฤดู 4 ฤดูกาลคือ ในวันที่ 21 มีนาคม และในวันที่ 23 กันยายน แกนเอียงของโลกอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากดวงอาทิตย์จะปรากฏอยู่บนเส้นศูนย์สูตรของขอบฟ้าในเมื่อโลกหมุนรอบตัวเองไป ดวงอาทิตย์จะปรากฏอยู่บนเส้นศูนย์สูตรของท้องฟ้า ในเมื่อโลกหมุนรอบตัวไปดวงอาทิตย์จะปรากฏอยู่เหนือขอบฟ้า 12 ชั่วโมง และได้ขอบฟ้า 12 ชั่วโมง นั่นคือกลางวันกับกลางคืนยาวเท่ากัน เรียกตำแหน่งทั้งสองนี้ว่า อีควินอกซ์ (equinoxes) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนฤดู แสดงภาพที่มองจากทางโคจรโดยแสงอาทิตย์เข้าทางขวามือ (ก) อีควินอกซ์ฤดูใบไม้ผลิ (ข) โซลสติซส์ฤดูร้อน(ฤดูหนาวในซีกโลกใต้) (ค) อีควินอกซ์ฤดูใบไม้ร่วง (ง) โซลสติซส์ฤดูหนาว(ฤดูร้อนในซีกโลกใต้)

การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากวันที่ 21 มีนาคม โลกจะโคจรไปสู่ตำแหน่งที่หันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 21 มิถุนายน โลกจะหันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ซีกโลกด้านเหนือได้รับแสงเป็นเวลานานกลางวันจึงยาวกว่ากลางคืนเฉพาะบริเวณตั้งแต่เส้นรุ้ง (Latitude) ที่ 66.5 เหนือ ถึงขั้วโลกเหนือเป็นเวลากลางวัน 24 ชั่วโมง ขณะเดียวกันตั้งแต่เส้นรุ้ง 66.5 ใต้ ถึงขั้วโลกใต้จะเป็นกลางคืน 24 ชั่วโมง จุดนี้เรียกว่า โขลตติชส์ฤดูร้อน (Summer Solstice) ดังรูปที่ 2.6 (ข)

โซนทั้งสองนี้เรียกว่า โซนอาร์คติก (arctic zone) ตรงกันข้ามคือ ที่ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 ธันวาคม โลกหันขั้วเหนือออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ดังนั้นซีกโลกเหนือจึงมีกลางวันสั้นกว่ากลางคืน จุดนี้เรียกว่า โขลตติชส์ฤดูหนาว (Winter Solstice) ดังรูปที่ 2.6 (ง) ที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นการกำหนดฤดูของตำบลในซีกโลกเหนือ สำหรับซีกโลกใต้กำหนดตรงกันข้ามกับซีกโลกเหนือ

ตำบลที่อยู่ระหว่างเส้นรุ้ง 23.5° เหนือ และใต้ เรียกว่า โซนทอริด (Torrid zone) จะมีดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่เหนือศีรษะ 2 ครั้งในหนึ่งปี ส่วนโซนระหว่างอาร์คติกเหนือจะไม่มีดวงอาทิตย์เที่ยงวันเหนือศีรษะ

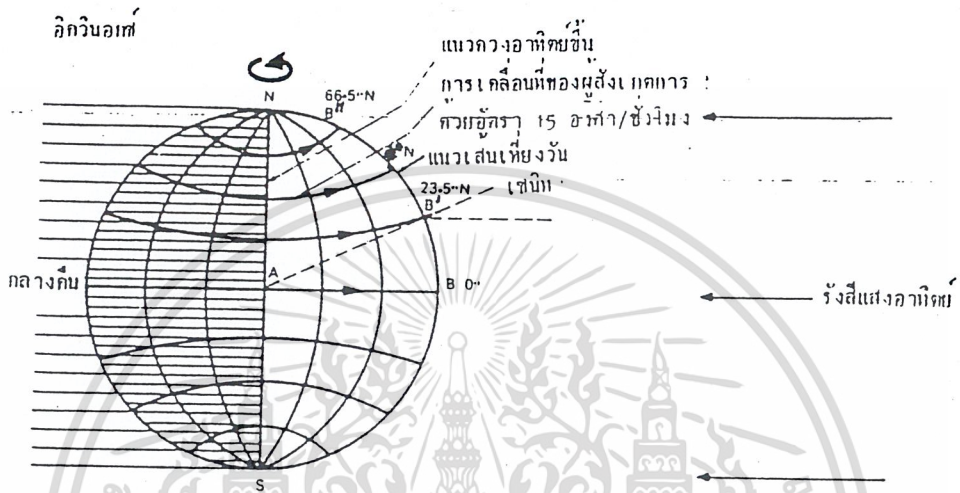
แฟกเตอร์ของฤดูกาลนี้มีผลกระทบต่อแผ่นรับแสงราบที่ติดตั้งตายตัว ในตอนเที่ยงวันดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนมุมที่ทำกับแนวตั้งเหนือศีรษะ 47 องศา (± 23.5 องศา) จากฤดูร้อนถึงฤดูหนาว ดังนั้น ตำบลที่อยู่สูงกว่าเส้นรุ้ง 40 องศา เหนือในฤดูหนาวดวงอาทิตย์เที่ยงวันจะอยู่สูง 26.5 องศา จากแนวระดับ $(90^{\circ}-40^{\circ})-23.5^{\circ}=26.5^{\circ}$

ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า การหมุนที่แท้จริงประจำวันของโลกและการหมุนปรากฏของดวงอาทิตย์ที่อิกวินอกซ์ โขลตติชส์ฤดูหนาว และ โขลตติชส์ฤดูร้อนสำหรับบริเวณเส้นศูนย์สูตร และที่ตำแหน่งบนเส้นรุ้ง 3 แห่งบนเส้นโลกเหนือ แสดงในรูปที่ 2.7 ที่จุดอิกวินอกซ์ทั้งสอง ระนาบของทางเดินที่ตำแหน่งหนึ่งบนโลกเคลื่อนไปในช่วงเวลามีแสงตอนกลางวัน ในรูป 2.7 จะตั้งฉากกับแกนหมุนของโลกและขนานกับแนวการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ทางเดินของดวงอาทิตย์ปรากฏในท้องฟ้าจะเป็นเส้นตรง ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกและตกทางทิศตะวันตก ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ดวงอาทิตย์เที่ยงวัน ณ จุดสังเกตการณ์อยู่สูงทำมุม 90° - มุมเส้นรุ้งกับระนาบระดับ

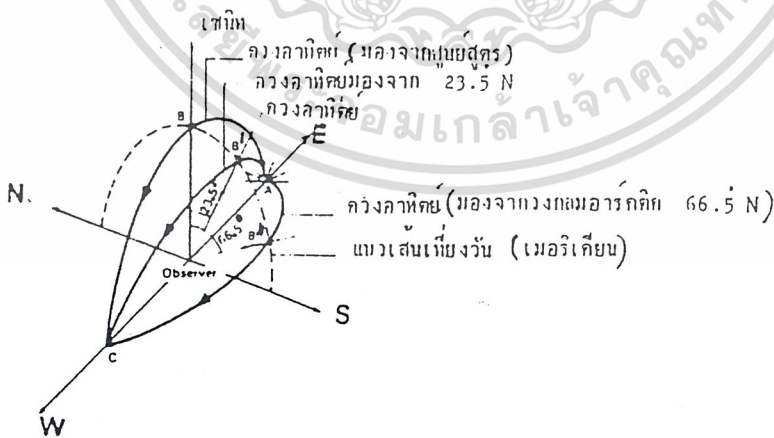
ที่ โขลตติชส์ฤดูหนาวระนาบทางเดินที่ตำแหน่งหนึ่งบนโลกเคลื่อนที่ไปในช่วงเวลากลางวันยังคงตั้งฉากกับแกนหมุนของโลกแต่ไม่ขนานกับทิศแนวการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ทางเดินของดวงอาทิตย์ปรากฏในท้องฟ้าไม่เป็นเส้นตรงแต่กวาดเป็นส่วนโค้งของวงกลม ดวงอาทิตย์ขึ้นทางใต้ของทิศตะวันออกและตกทางใต้ของทิศตะวันตก ดังแสดงในรูปที่ 2.10 กลางวันสั้นกว่ากลางคืน 12 ชั่วโมงบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่สูงทำมุมกับแนวระดับเป็นมุม 90° มุม เส้นรุ้ง -23.5° ณ โขลตติชส์ฤดูหนาว

และควรที่ผู้อ่านควรที่สนใจว่า สำหรับการใช้รูปที่ 2.9 นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่โซลสติซส์ฤดูร้อน (ครึ่งทรงกลมทางค้ำใต้เป็นฤดูหนาว) การเคลื่อนตัวของโลกแสดงในรูปที่ 2.11 ลักษณะกลับกันกับในรูป 2.9 ดวงอาทิตย์จะขึ้นและตกค่อนไปทางเหนือของแนวทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเป็นทางเดินวงกลมดังแสดงในรูปที่ 2.12 เหนือเส้นศูนย์สูตรกลางวันจะยาวกว่า 12 ชั่วโมง ดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่สูงทำมุมกับแนวระดับเป็นมุม = (90° - มุมเส้นรุ้ง + 23.5°)

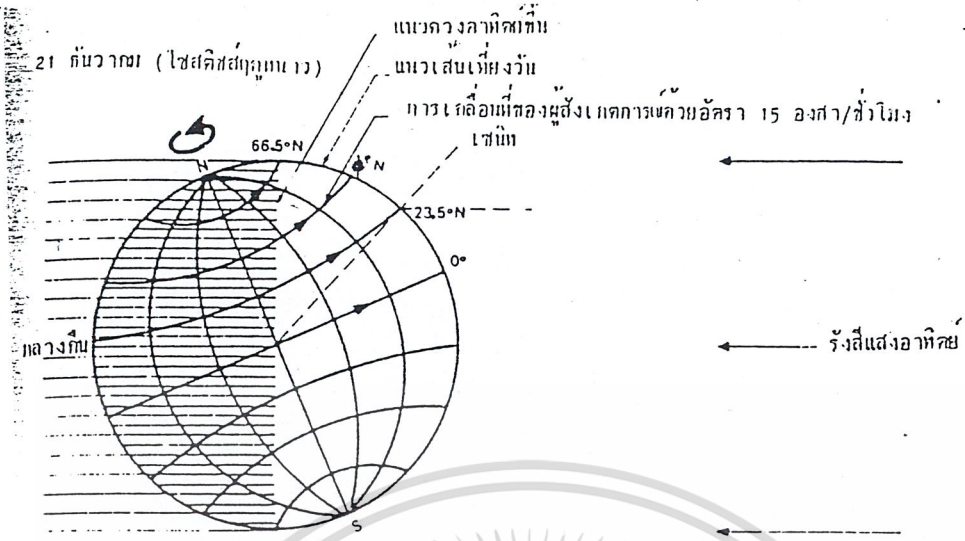


รูปที่ 2.7 แสดงการเคลื่อนที่ของโลกที่อิกวินอกซ์ แสดงเงาของจุด (23.5° N) ตอนเที่ยง

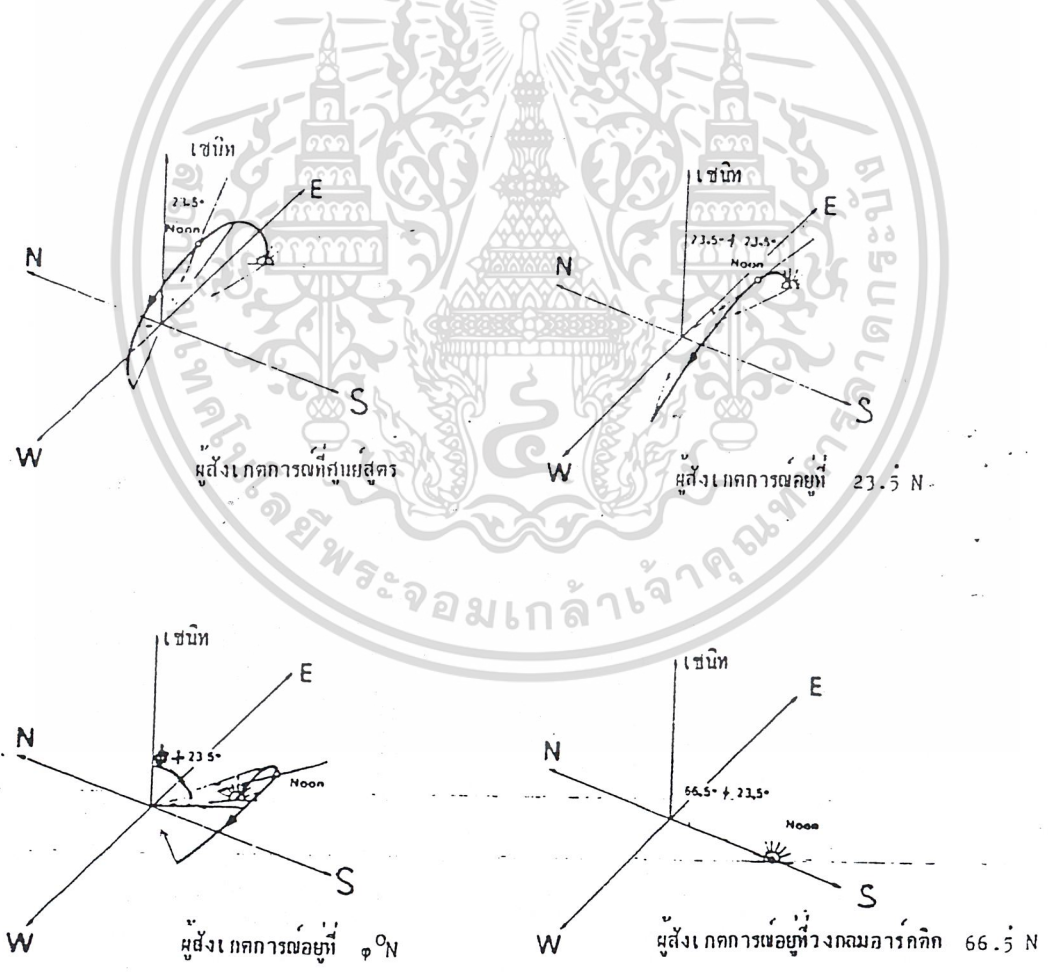


รูปที่ 2.8 แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่อิกวินอกซ์ที่เส้นรุ้งต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



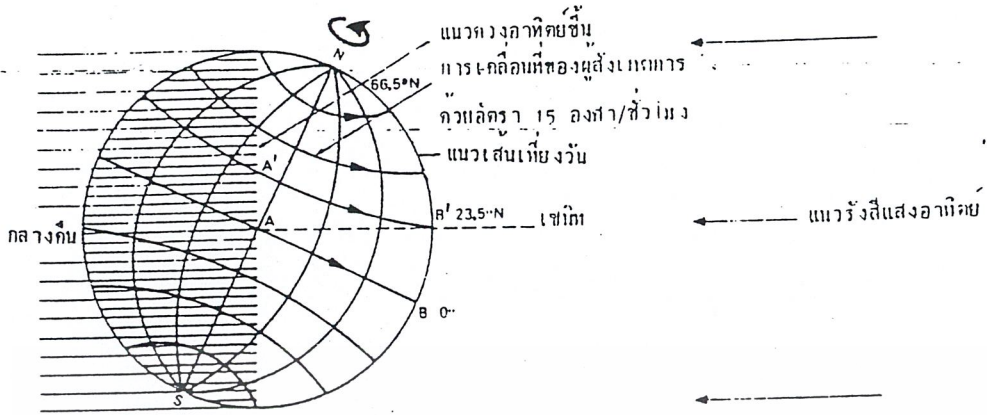
รูปที่ 2.9 แสดงการเคลื่อนที่ของโลกที่ไซสตีส์ฤดูหนาว



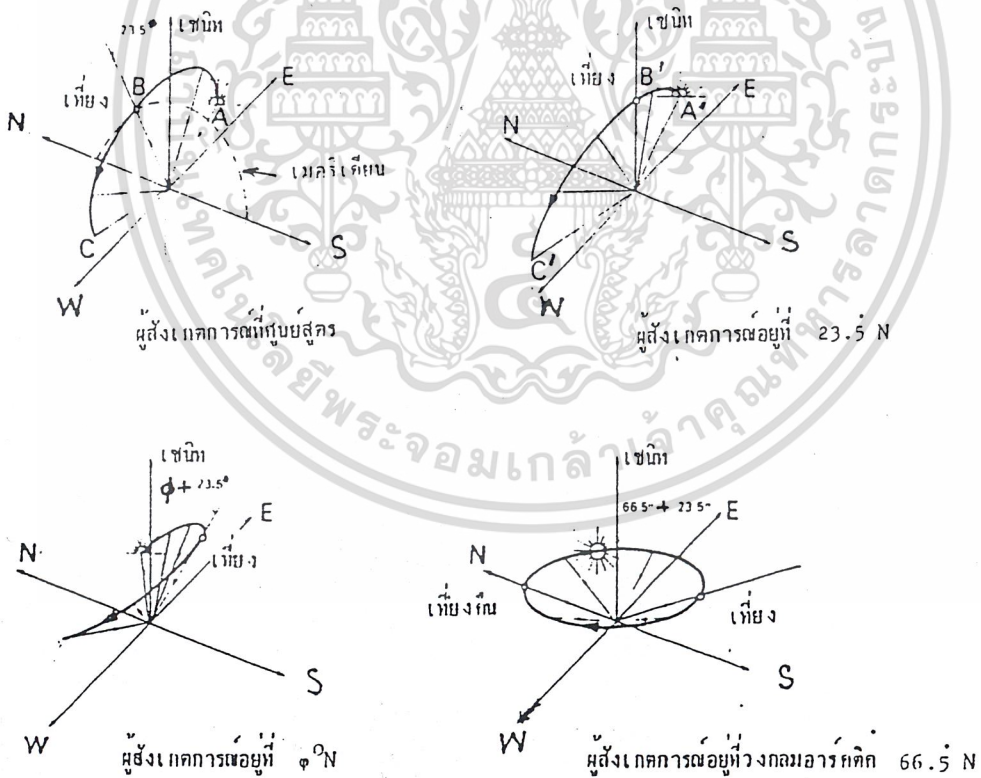
รูปที่ 2.10 แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้งต่างๆ (21 ธันวาคม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21 มิถุนายน (โซลสติสตร์ฤดูร้อน)

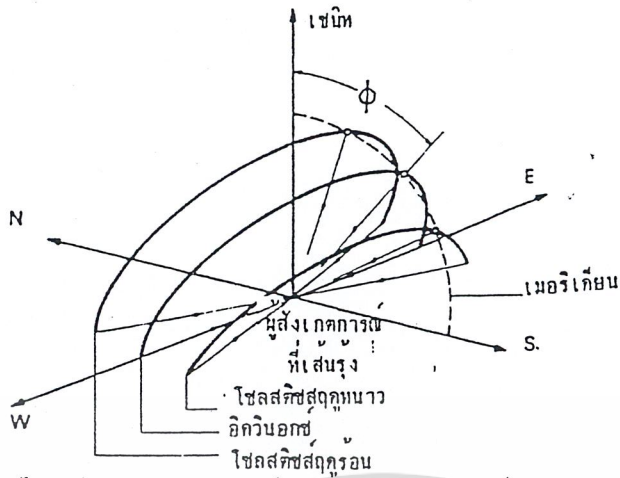


รูปที่ 2.11 แสดงการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่โซลสติสตร์ฤดูร้อน

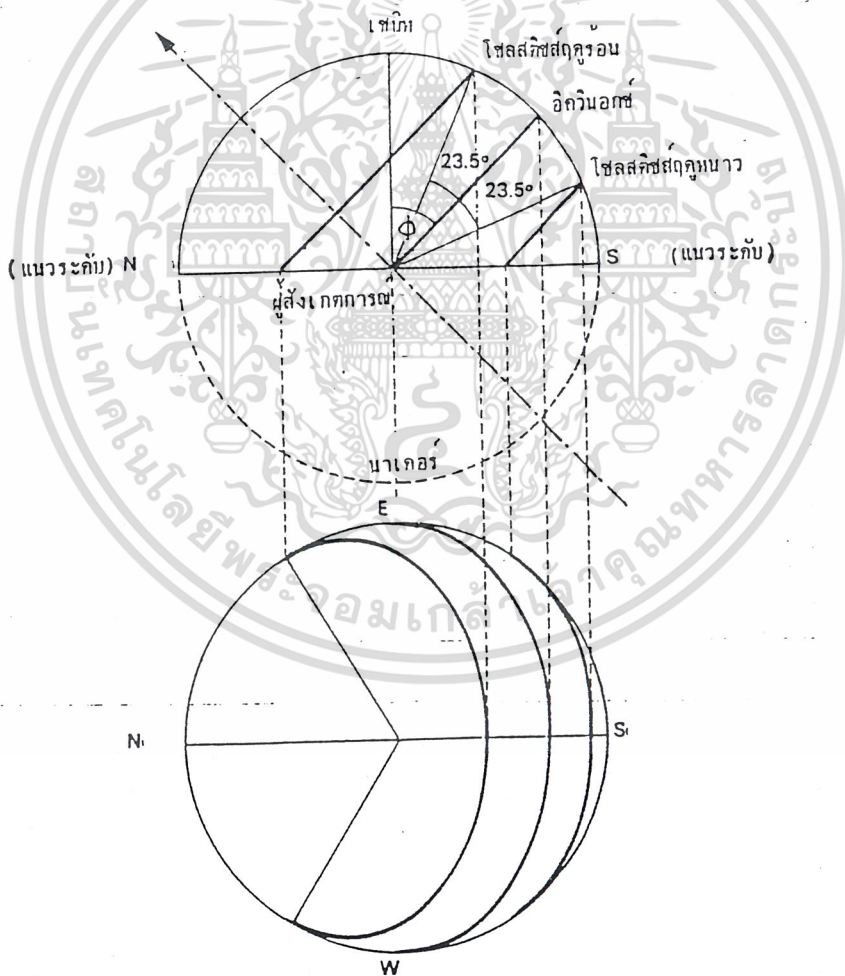


รูปที่ 2.12 แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้งต่างๆ (21 มิถุนายน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏประจำวันของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้ง $\phi^\circ N$ ในโซลสทิสต์ฤดูร้อนและฤดูหนาวและที่อิกวินอกซ์



รูปที่ 2.14 แสดงภาพด้านข้างและด้านบนของการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์สำหรับจุดสังเกตการณ์ที่เส้นรุ้ง $\phi^\circ N$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.13 แสดงเส้นทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์มีผู้สังเกตการณ์อยู่ที่มุมเส้นรุ้ง φ° เหนือ ความยาวของเส้นทางเดินดวงอาทิตย์ที่โซลสติซส์และอิกวินอกซ์แสดงสัดส่วนความยาวของช่วงเวลากลางวันดังแสดงในรูปที่ 2.14

รังสีแสงอาทิตย์ขณะอากาศแจ่มใสโดยพิจารณารังสีตกกระทบบนพื้นราบระดับติดตั้งตายตัว

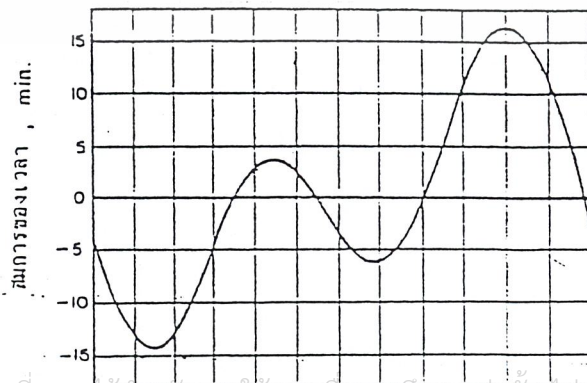
การพิจารณาฟลักซ์ของรังสีตกกระทบบนพื้นราบแนวระดับที่ติดตั้งตายตัวเป็นก้าวแรกที่จะนำไปสู่การหาฟลักซ์ของรังสีตกกระทบบนพื้นเอียง เวลาของวันนับว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญมาก ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันเหนือศีรษะ เวลาสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Time , AST) จะเป็น 12 ชั่วโมง แต่เวลาท้องถิ่น (Local Clock Time ,LCT)จะต่างออกไป หรือสังเกตความแตกต่างระหว่างเวลาทั้งสอง คือ เวลาสุริยะเป็นเวลาที่ใช้วัดด้วยนาฬิกาแดด ส่วนเวลาที่ท้องถิ่น คือ เวลาที่ดูจากนาฬิกา เราจะใช้เวลาสุริยะสำหรับการคำนวณ แต่เวลาที่ใช้ในข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลาที่ท้องถิ่นอ่านจากนาฬิกา ดังนั้นก่อนจะนำไปใช้ในการคำนวณจะต้องเปลี่ยนเวลาที่ท้องถิ่นเป็นเวลาสุริยะเสียก่อน

$$AST = LCT \mu TZ_W^E \pm \lambda \frac{EQT}{60} \quad 2.2$$

โดยที่ Tz คือ เขตเวลา (Time Zone) เป็นตัวเลขกำหนดเขต คำนี้นหาได้จากการเอาค่าเส้นแวง (หน่วยองศา) ณ บริเวณที่ตั้งหารด้วย 15 ผลลัพธ์เป็นเบอร์เขตถ้าเศษน้อยกว่า 7.5° และ (ผลลัพธ์ +1) จะเป็นเบอร์เขตถ้าเศษมากกว่า 7.5° (+ Tz สำหรับเส้นแวงตะวันตก , - Tz สำหรับเส้นแวงตะวันออก)

λ เป็นเวลาที่ตำแหน่งเส้นแวงของที่ตั้ง λ หาได้จากการเอาเส้นแวง(หน่วยองศา) ณ จุดที่ตั้งหารด้วย 15 (+ λ สำหรับเส้นแวงตะวันตก - λ สำหรับเส้นแวงตะวันออก

EQT เป็นสมการของเวลา (Equation of time) หน่วยงานที่ เป็นค่าที่ใช้แก้ไขเวลาเนื่องจากความไม่เที่ยงตรงของวงโคจรของโลกดังแสดงในรูปที่ 2.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการศึกษายุคใหม่ มีอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือนในรอบปี

รูปที่ 2.15 แสดงสมการในรอบปี

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(17)

หมายเหตุ ทุกๆเทอมมีค่าเป็นชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 2.1 ที่กรุงเทพฯ เส้นแวง $100^{\circ}0'$ ตะวันออก เวลาท้องถิ่นเป็น 8.30 วันที่ 1 พฤษภาคม
จงคำนวณหาเวลาสุริยคติ

$$\text{เวลาท้องถิ่น LCT} = 8 \frac{30}{60} = 8.5 \text{ ชั่วโมง}$$

EQT เดือนพฤษภาคม จากรูปกราฟ 2.15 = 3.5 นาที

$$\frac{100(\text{degree})}{15(\text{degree}/\text{hour})} = 6 \text{ เศษ } 10^{\circ} \text{ (คิด } Tz^E = 7 \text{ ชั่วโมง)}$$

$$\lambda^E = \frac{100 \text{ degree}}{15 \text{ degree / hour}} = 6.67 \text{ ชั่วโมง}$$

จากสมการ 2.2

$$\begin{aligned} AST &= 8.5 - 7 + 6.67 + \frac{3.5}{60} \\ &= 8.228 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} &8 + (0.228 \times 60) \\ &= 8 \text{ นาฬิกา } 13.68 \text{ นาที} \end{aligned}$$

เวลาสุริยคติ

$$\cong 8 : 14 \text{ น.}$$

ต่อไปนี้จะใช้เวลาสุริยคติในการหาอัลติจูดสุริยะ (solar altitude) และมุมแอสซิมูท (azimuth angle) ของดวงอาทิตย์ จากรูป 2.18 และ 2.19 แสดงมุมต่างๆที่เกี่ยวข้อง

(1) มุมชั่วโมง ω (hour angle) เป็นมุมของตำแหน่งของสถานที่ตั้งเบนไปจากดวงอาทิตย์เที่ยงวัน (solar noon) เนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลก อาจแสดงค่า ω เป็นองศาโดยการคูณผลต่างของเวลาขณะนั้นเป็นชั่วโมงกับเวลาเที่ยง (12) ด้วย $360/24$

$$\omega \text{ (องศา)} = -15(12 - t) \quad (2.3)$$

ω เป็นลบในช่วงเช้าก่อนเที่ยงวัน และ ω เป็นบวกในตอนบ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) มุม zenith θ_z (zenith angle) และอัลติจูดสุริยะ α (solar altitude) θ_z เป็นมุมระหว่างเหนือศีรษะจากเซนนิทกระทำกับแนวรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์ ณ จุดที่ตั้งบนพื้นราบแนวระดับ ส่วน α เป็นมุมประกอบ 90 องศา ของ θ_z

$$(\alpha = 90 - \theta_z)$$

$$\cos \theta_z = \sin \alpha = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (2.4)$$

φ เป็นมุมเส้นรุ้ง (latitude) (ใช้ค่าบวกที่ซีกโลกเหนือ) δ เป็นมุมเดคลิเนชัน

(3) แอสซิมุท ψ (solar azimuth) เป็นมุมที่วัดระหว่างระนาบแนวตั้งรังสีตกกระทบกระทำกับแนวทิศใต้ (แนวทิศเหนือสำหรับซีกโลกใต้) ของระนาบเมอริเดียน ณ ตำแหน่งที่ตั้งบนพื้นราบแนวระดับ หน่วยองศา

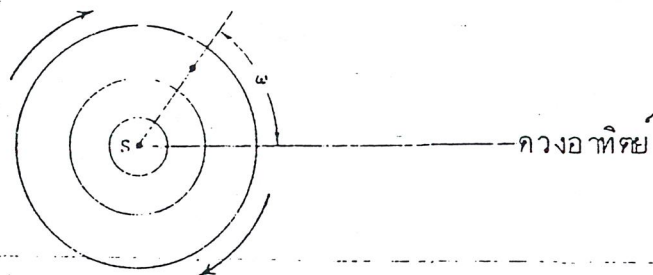
$$\sin \psi = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \quad (2.5)$$

ψ เป็นลบในช่วงเช้าและเป็นบวกในช่วงบ่าย

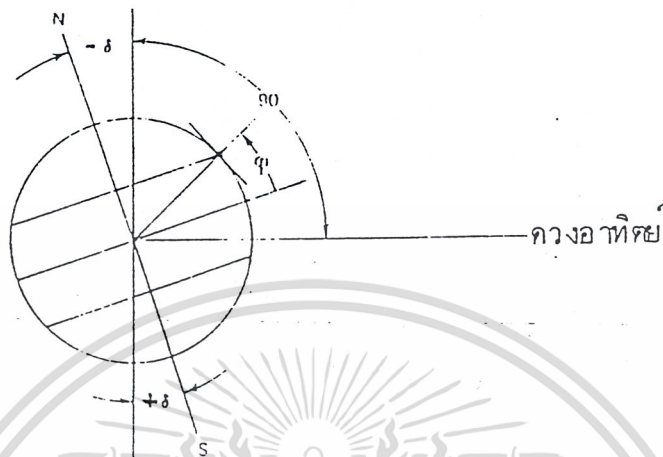
หมายเหตุ ค่า ψ ที่คำนวณได้มีได้ 2 ค่าคือ ψ หรือ $\pm(180 - |\psi|)$ เพราะ

$$\sin \psi = \sin (180 - \psi) \text{ ถ้า } \psi \text{ เป็นมุมแหลม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



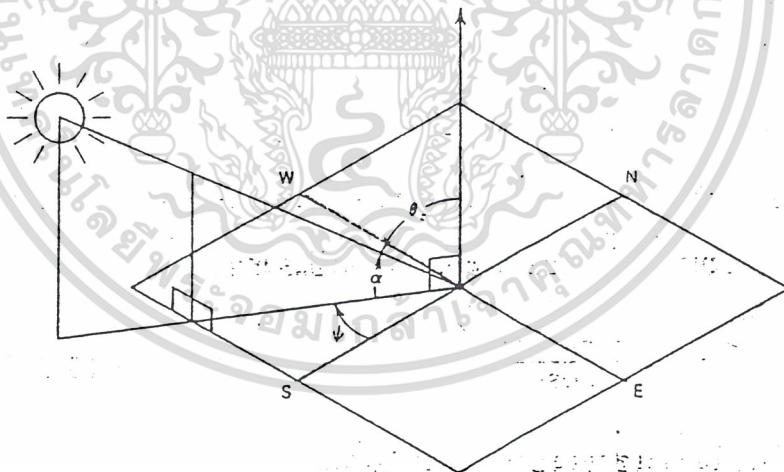
(ก)



(ข)

รูปที่ 2.16 มุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณรังสีตกกระทบตั้งฉาก

- (ก) มองจากขั้วโลกใต้แสดงมุมชั่วโมง ω (แผ่นกระดาษไม่จำเป็นต้องอยู่ในระนาบโคจรของโลก)
- (ข) แสดงส่วนสัมพันธ์ของมุมเส้นรุ้ง ϕ และมุมเดคลิเนชัน δ



รูปที่ 2.17 มุมเซนทริสรียะ θ_z อัลติจูด α และแอสซิมูท ψ ที่สัมพันธ์กับพื้นระนาบระดับบนพื้นโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(20)

การเลือกค่า ψ ที่ถูกต้องให้พิจารณาดังนี้

$|\psi| \geq 90^\circ$ เมื่ออัลติจูดสุริยะที่คำนวณจากสมการ 2.4 น้อยกว่าอัลติจูดสุริยะเมื่อมุมแอสซิมูทของดวงอาทิตย์เป็น $\pm 90^\circ$ ในสมการ 2.6

$$\sin \alpha = \frac{\sin \delta}{\sin \phi} \quad (2.6)$$

$|\sin \alpha| > 1$ ในเขตทรอปิก (Tropic zone)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

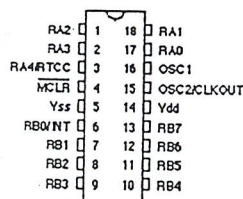
ขั้นตอนการทำงาน

การทำโครงการพิเศษชิ้นนี้ได้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการออกแบบฮาร์ดแวร์แผงแสดงผลตำแหน่งดวงอาทิตย์ (SUN'S POSITION DISPLAYING BOARD) โดยใช้ เซเวนเซกเมนต์ (7 segment) แล้วทำการเลือกเฟ้น ไอซีต่างๆเพื่อประกอบกันเป็นฮาร์ดแวร์และใช้ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F84 ประมวลผลเพื่อแสดงค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งดวงอาทิตย์บนฮาร์ดแวร์ที่สร้างไว้
2. ทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเวสิคบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณค่าต่างๆหรือพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้แก่
 - 2.1 เวลาพระอาทิตย์ขึ้นและเวลาพระอาทิตย์ตก
 - 2.2 มุมเคลติเนชัน
 - 2.3 มุมอะซิมูท
 - 2.4 มุมอัลติจูด
 - 2.5 เวลา ณ ขณะแสดงพาราเตอร์ต่างๆ
3. จากผลที่คำนวณได้ในข้อที่ 2. สามารถนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีประกอบในเอกสารอ้างอิงซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณได้ง่ายและถูกต้อง
4. ทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา เวสิค ดังที่กล่าวมาข้างต้นในข้อ 1. เพื่อให้ ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F84 ทำงาน กล่าวคือ ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F84 จะทำการรับพารามิเตอร์ต่างๆที่คำนวณได้ในข้อ 2. แล้วทำการประมวลผลเพื่อส่งออกไปแสดงบนฮาร์ดแวร์ที่สร้างไว้ตามต้องการ

ข้อมูลเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F84

(PIC16F84 8-Bit CMOS EEPROM MICROCONTROLLER)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมอย่างง่ายของ PIC 16F84

จุดเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 มีดังต่อไปนี้

1. สถาปัตยกรรมเป็นแบบ RISC มีคำสั่งที่ต้องศึกษาเพียง 35 คำสั่ง
2. คำสั่งเกือบทั้งหมดทำงานเพียงหนึ่ง ไซเคิลเท่านั้น (400ns @ 10mhz)
3. ทำงานที่ความเร็ว DC -10mhz
4. ความกว้างหนึ่งคำสั่งเท่ากับ 14บิต
5. บัสข้อมูลกว้าง 8 บิต
6. มีหน่วยความจำ EEPROM ขนาด 1KB × 14 บิต
7. มีเรจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป 36 × 8 บิต (SRAM)
8. มีหน่วยความจำข้อมูลเป็น EEPROM 64×8 บิต
9. มีเรจิสเตอร์ฮาร์ดแวร์พิเศษจำนวน 15 ตัว
10. สเตคมีขนาดความลึก 8 ระดับ
11. การเข้าถึงข้อมูลมีแบบเข้าตรง โดยอ้อม และแบบสัมผัส
12. แหล่งอินเทอร์รัพท์มี 4 แหล่ง ได้แก่
 - 12.1 ภายนอกที่ขา RB0/INT
 - 12.2 TRM0 timer overflow
 - 12.3 PORTB <7:4> เกิดคิเทอร์รัพท์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
 - 12.4 เขียนข้อมูลลงใน EEPROM เสร็จสิ้น
13. สามารถลบและเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ EEPROM ได้ 1,000,000 ครั้ง (มากกว่า ATME1 1 Order)
14. ข้อมูลที่เขียนลงใน EEPROM คงค่าได้นานกว่า 40 ปี

จุดเด่นของส่วนเพอริเฟอรัล

1. มีอินพุท/เอาต์พุท 13บิต แต่ละบิตควบคุมทิศทางได้อิสระ
2. กระแสซิงค์และกระแสซอร์สมีค่าสูงเหมาะสมสำหรับขับ แอลอีดี (LED) โดยตรง
 - กระแสซิงค์สูงสุด 25 มิลลิแอมแปร์ แต่ละขา
 - กระแสซอร์สสูงสุด 20 มิลลิแอมแปร์ แต่ละขา
3. TRM0 เป็นตัวตั้งเวลา/นับเวลาขนาด 8บิต มีพรีสเกลเลอร์ ขนาด8บิตสามารถ โปรแกรมได้

จุดเด่นในด้านการควบคุมของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F84

1. มีวงจรีเซ็ตภายในตัวเมื่อแหล่งจ่ายไฟป้อนให้กับชิป ซึ่งเรียกว่า เพาเวอร์ ออน รีเซต (Power on reset)

2. มีวงจรตั้งเวลาเมื่อแหล่งจ่ายไฟป้อนให้กับชิปซึ่งเรียกว่า เพาเวอร์ อัฟ ไทเมอร์ (Power up timer)
3. มีวงจรตั้งเวลาของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ออสซิลเลเตอร์ สตาร์ท อัฟ ไทเมอร์ (Oscillator Start up Timer , OST)
4. มีวงจร วอชต์ด็อก ไทเมอร์ (Watchdog Timer ,WDT) ภายในมีวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิด อาร์ซี (RC) กำเนิดเวลา สำหรับการทำงานที่เชื่อถือได้สูง
5. มีส่วนป้องกันการเขียนแบบ โปรแกรมภายใน
6. มีโหมด สลีป (Sleep)
7. วงจรออสซิลเลเตอร์ สามารถเลือกได้
8. สามารถโปรแกรม EEPROM ด้วยการโปรแกรมอนุกรมด้วยสัญญาณเพียง 2 เส้น
9. ใช้เทคโนโลยี ซีมอส (CMOS) กินไฟกำลังต่ำ
10. ออกแบบให้สามารถทำงานแบบสแตติคได้
11. ใช้ระดับแรงดันเพียง 2.0 V ถึง 6.0 V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากรูปโครงการพิเศษชิ้นนี้จะเห็นว่าประกอบด้วยสิ่งที่ต้องการแสดงผลเกี่ยวกับตำแหน่งดวงอาทิตย์ ดังนี้

1. แถวที่ 1 ด้านบน แสดง วัน เดือน ปี
2. แถวที่ 2 ด้านซ้าย แสดง เวลาพระอาทิตย์ขึ้น ด้านขวา แสดง เวลาพระอาทิตย์ตก
3. แถวที่ 3 ด้านซ้าย แสดง มุมเคลินเินชัน ด้านขวา แสดง มุมอะซิมุท
4. แถวที่ 4 ด้านซ้าย แสดง มุมอัลติจูด ด้านขวา แสดง เวลาขณะปัจจุบันที่แสดงค่าดังกล่าวข้างต้น

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ในโครงการพิเศษนี้ได้มีการทดลองคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ ณ กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีค่าพิกัดที่เส้นรุ้ง 13 องศาเหนือ ที่เส้นแวง 100 องศาตะวันออก ในวันที่ 15 เวลา 12.00 น ผลที่ได้มีดังนี้

เดือน	มุมอัลติจูด(องศา)	มุมอะซิมุท (องศา)
มกราคม	42.2	-8.0
กุมภาพันธ์	49.8	-12.0
มีนาคม	60.3	-14.6
เมษายน	72.7	-17.3
พฤษภาคม	81.8	-29.3
มิถุนายน	84.4	-61.9
กรกฎาคม	82.2	-55.3
สิงหาคม	76.3	-27.2
กันยายน	65.9	-9.2
ตุลาคม	54.4	-2.2
พฤศจิกายน	44.8	-1.4
ธันวาคม	40.5	-4.0

ตาราง 4.1 แสดงผลการคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์

Date	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-38	-32	-22	-10	0	7	8	2	-7	-19	-30	-37
2	-38	-32	-22	-10	0	7	8	2	-8	-19	-30	-37
3	-37	-31	-22	-9	0	7	7	1	-8	-20	-31	-37
4	-37	-31	-21	-9	0	7	7	1	-8	-20	-31	-37
5	-37	-31	-21	-9	1	7	7	1	-9	-21	-31	-37
6	-37	-30	-20	-8	1	7	7	1	-9	-21	-31	-37
7	-37	-30	-20	-8	1	7	7	0	-10	-21	-32	-37
8	-37	-30	-20	-7	2	8	7	0	-10	-22	-32	-37
9	-37	-30	-19	-7	2	8	7	0	-10	-22	-32	-38
10	-37	-29	-19	-7	2	8	7	0	-11	-22	-33	-38
11	-36	-29	-18	-6	2	8	7	0	-11	-23	-33	-38
12	-36	-29	-18	-6	3	8	6	0	-12	-23	-33	-38
13	-36	-28	-18	-6	3	8	6	-1	-12	-24	-33	-38
14	-36	-28	-17	-5	3	8	6	-1	-12	-24	-34	-38
15	-36	-28	-17	-5	3	8	6	-1	-13	-24	-34	-38
16	-36	-27	-16	-5	4	8	6	-2	-13	-25	-34	-38
17	-35	-27	-16	-4	4	8	5	-2	-14	-25	-34	-38
18	-35	-27	-16	-4	4	8	5	-2	-14	-25	-34	-38
19	-35	-26	-15	-3	4	8	5	-3	-14	-26	-35	-38
20	-35	-26	-15	-3	5	8	5	-3	-15	-26	-35	-38
21	-35	-26	-15	-3	5	8	5	-3	-15	-26	-35	-38
22	-34	-25	-14	-2	5	8	4	-4	-15	-27	-35	-38
23	-34	-25	-14	-2	5	8	4	-4	-16	-27	-35	-38
24	-34	-24	-13	-2	5	8	4	-4	-16	-27	-36	-38
25	-34	-24	-13	-1	6	8	4	-5	-17	-28	-36	-38
26	-33	-24	-13	-1	6	8	4	-5	-17	-28	-36	-38
27	-33	-23	-12	-1	6	8	3	-5	-17	-28	-36	-38
28	-33	-23	-12	0	6	8	3	-6	-18	-29	-36	-38
29	-33	-23	-11	0	6	8	3	-6	-18	-29	-37	-38
30	-32	-23	-11	0	6	8	3	-7	-19	-29	-37	-38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้อ่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31	-32		-11		7		2	-7		-30		-38
average	-35.3	-27.5	-16.5	-4.77	3.45	7.76	5.42	-2.03	-12.9	-24.5	-33.7	-38.8

ตารางที่ 4.2 แสดงมุมมองเส้นชั้นของดวงอาทิตย์(ประเทศไทย) (ละติจูด 15 องศาเหนือ)

Date	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-38	-32.5	-22.9	-10.6	0.2	7.2	8.0	2.7	-7.7	-19.6	-30.7	-37.2
2	-37.9	-32.2	-22.5	-10.2	0.5	7.3	8.0	2.4	-8.0	-20.0	-31.0	-37.4
3	-37.8	-32.0	-22.2	-9.8	0.8	7.4	7.9	2.1	-8.4	-20.4	-31.3	-
												3735
4	-37.7	-31.7	-21.8	-9.4	1.1	7.5	7.8	1.8	-8.8	-20.8	-31.5	-37.6
5	-37.6	-31.4	-21.4	-9.0	1.4	7.6	7.7	1.5	-9.2	-21.2	-31.8	-37.7
6	-37.5	-31.1	-21.0	-8.6	1.7	7.7	7.6	1.3	-9.6	-21.6	-32.1	-37.8
7	-37.4	-30.8	-20.6	-8.2	2.0	7.8	7.5	1.0	-10.0	-22.0	-32.4	-37.9
8	-37.3	-30.5	-20.2	-7.8	2.2	7.9	7.4	0.7	-10.4	-22.3	-32.7	-38.0
9	-37.2	-30.2	-19.8	-7.5	2.5	8.0	7.2	0.4	-10.8	-22.7	-32.9	-38.0
10	-37.0	-29.9	-19.4	-7.1	2.8	8.1	7.1	0.1	-11.2	-13.1	-33.2	-38.1
11	-36.9	-29.6	-19.0	-6.7	3.0	8.2	7.0	-0.3	-11.6	-23.5	-33.4	-38.2
12	-36.8	-29.3	-18.6	-6.3	3.3	8.2	6.8	-0.6	-12.0	-23.9	-33.7	-38.2
13	-36.6	-28.9	-18.2	-6.0	3.5	8.3	6.7	-0.9	-12.4	-24.2	-33.9	-38.2
14	-36.4	-28.6	-17.8	-5.6	3.8	8.3	6.5	-1.2	-12.8	-24.6	-34.1	-38.3
15	-36.3	-28.3	-17.4	-5.2	4.0	8.4	6.4	-1.5	-13.2	-25.0	-34.4	-38.3
16	-36.1	-28.0	-17.0	-4.9	4.3	8.4	6.2	-1.9	-13.6	-25.3	-34.6	-38.4
17	-35.9	-27.6	-16.6	-4.5	4.5	8.4	6.0	-2.2	-14.0	-25.7	-34.8	-38.4
18	-35.7	-27.3	-16.2	-4.1	4.7	8.4	5.8	-2.6	-14.4	-26.0	-35.0	-38.4
19	-35.5	-26.9	-15.8	-3.8	4.9	8.4	5.6	-2.9	-14.8	-26.4	-35.2	-38.4
20	-35.3	-26.6	-15.4	-3.4	5.1	8.4	5.4	-3.2	-15.2	-26.8	-35.4	-38.4
21	-35.1	-26.2	-15.0	-3.1	5.3	8.4	5.2	-3.6	-15.6	-27.0	-35.6	-38.4
22	-34.9	-25.9	-14.6	-2.7	5.5	8.4	5.0	-4.0	-16.0	-27.4	-35.8	-38.4

23	-34.7	-25.5	-14.2	-2.4	5.7	8.4	4.8	-4.3	-16.4	-27.8	-36.0	-38.4
24	-34.5	-25.1	-13.8	-2.0	5.9	8.4	4.6	-4.7	-16.8	-28.1	-36.2	-38.4
25	-34.3	-24.8	-13.4	-1.7	6.1	8.4	4.4	-5.0	-17.2	-28.5	-36.4	-38.4
26	-34.0	-24.4	-13.0	-1.4	6.3	8.3	4.1	-5.4	-17.6	-28.8	-36.5	-8.3
27	-33.8	-24.0	-12.6	-1.1	6.4	8.3	3.9	-5.8	-18.0	-29.1	-36.7	-38.3
28	-33.5	-23.7	-12.2	-0.7	6.6	8.2	3.7	-6.1	-18.4	-29.4	-36.8	-38.2
29	-33.3	-23.3	-11.8	-0.4	6.8	8.2	3.4	-6.5	-18.8	-29.7	-37.0	-38.2
30	-33.0		-11.4	-0.1	6.9	8.1	3.2	-6.9	-19.2	-30.1	-37.1	-38.1
31	-32.8		-11.0		7.0		2.9	-7.3		-30.4		-38.0
Average	-35.8	-27.0	-16.9	-5.1	4.0	8.38	5.9	-2.9	-13.4	-25.2	-34.2	-38.1

ตารางที่ 4.3 แสดงผลจากการทดลองคำนวณหามุมเดคลิเนชัน ของดวงอาทิตย์ (ประเทศไทย) (ละติจูด 15 องศาเหนือ)

จำนวนวัน	วัน/เดือน	(δ)	เวลาดวงอาทิตย์ขึ้นจากการทดลอง	เวลาดวงอาทิตย์ตกจากการทดลอง	เวลาดวงอาทิตย์ขึ้นจากกรรมอุตุนิยมวิทยา	เวลาดวงอาทิตย์ตกจากกรรมอุตุนิยมวิทยา
5	5-Jan	-35.6	7.02	17.47	6.42	18.03
20	20-Jan	-33.3	7.04	17.55	6.45	18.12
5	5-Feb	-29.4	7.03	18.04	6.44	18.19
20	20-Feb	-24.6	6.57	18.10	6.39	18.24
5	5-Mar	-19.8	6.50	18.13	6.32	18.27
20	20-Mar	-13.8	6.40	18.15	6.22	18.28
5	5-Apr	-7.4	6.29	18.16	6.11	18.30
20	20-Apr	-1.8	6.20	18.18	6.02	18.31
5	5-May	3.1	6.13	18.20	5.55	18.34
20	20-May	6.9	6.09	18.23	5.50	18.38

5	5-Jun	9.5	6.08	18.27	5.49	18.43
20	20-Jun	10.04	6.10	18.31	5.51	18.47
5	5-Jul	9.8	6.14	18.33	5.55	18.49
20	20-Jul	7.6	6.18	18.33	5.59	18.49
5	5-Aug	3.8	6.22	18.30	6.03	18.44
20	20-Aug	-0.9	6.24	18.23	6.05	18.37
5	5-Sep	-6.8	6.24	18.13	6.06	18.26
20	20-Sep	-12.8	6.24	18.01	6.06	18.16
5	5-Oct	-18.8	6.25	17.50	6.07	18.05
20	20-Oct	-24.4	6.28	17.40	6.09	17.56
5	5-Nov	-29.5	6.33	17.33	6.13	17.49
20	20-Nov	-33.2	6.40	17.31	6.19	17.47
5	5-Dec	-35.6	6.48	17.33	6.26	17.49
20	20-Dec	-36.4	6.56	17.38	6.35	17.54

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบ ค่าที่คำนวณได้กับข้อมูลมาตรฐานของกรมอุตุนิยมวิทยา

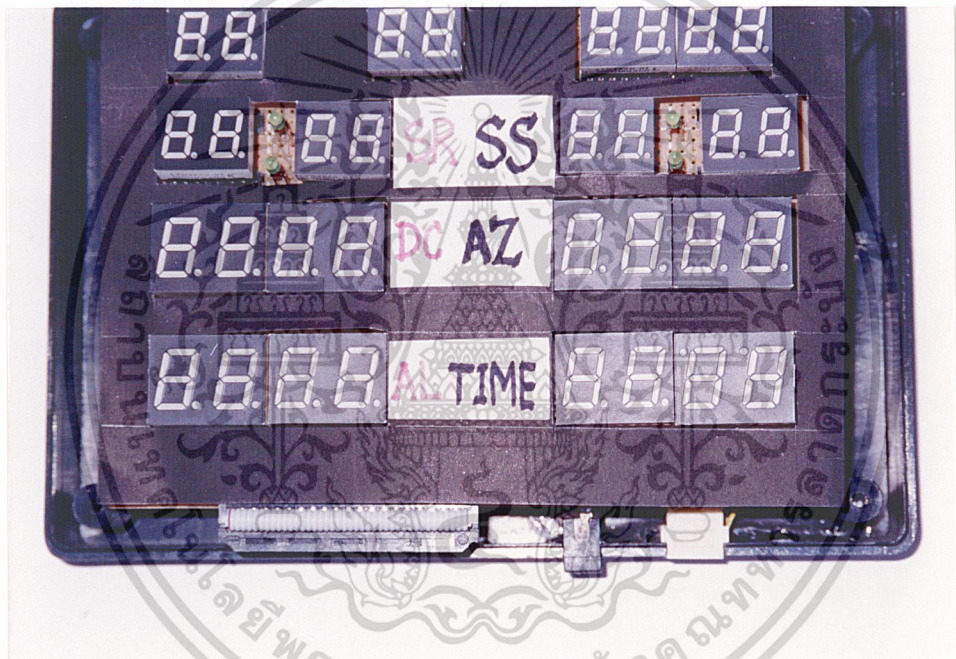
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

โครงการพิเศษนี้สร้างขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการเกี่ยวกับ ความต้องการที่จะทราบตำแหน่งของดวงอาทิตย์ของหน่วยงานต่างๆ เช่น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาเซลล์สุริยะกรมนุวัตนิยมหาวิทยาลัย เป็นต้น โครงการพิเศษนี้จึงได้ตอบสนองความต้องการดังกล่าว โดยการคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ซึ่งได้แก่ มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) มุมอะซิมูท (Azimuth Angle) มุมอัลติจูด (Altitude Angle) เวลาดวงอาทิตย์ขึ้น เวลาพระอาทิตย์ตก เวลาขณะคำนวณและแสดงผล รวมทั้งวันเดือนและปี ขณะแสดงต่างๆ ซึ่งค่าทั้งหมดจะแสดงทาง เซเวนเซกเมนต์ ซึ่งค่าตำแหน่งดวงอาทิตย์ในรอบวันจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพราะว่าโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์ดังกล่าวมาแล้ว ในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องข้างต้น ข้อมูลที่คำนวณได้ในโครงการนี้ยังมีความน่าเชื่อถือได้เพราะ ได้นำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของกรมนุวัตนิยมหาวิทยาลัยที่ได้คำนวณไว้และใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F84 ในการประมวลผลค่าต่างๆที่คำนวณได้จากไมโครคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาวิซวลเบสิก และค่าต่างๆที่ต้องการแสดงไปแสดงผลบนแผงแสดงผลเซเวนเซกเมนต์ที่สร้างเตรียมไว้ และเราสามารถนำโครงการพิเศษชิ้นนี้ไปประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์สุริยะได้ โดยที่โครงการนี้จะเป็นตัวบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทำให้ เซลล์สุริยะหันไปในตำแหน่งที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด ตลอดเวลาการทำงานตามต้องการ และโครงการพิเศษชิ้นนี้ได้ตัดแปลงจอแสดงผลจาก แอลซีดี (LCD) มาเป็นเซเวนเซกเมนต์เพราะ ได้ตระหนักถึงความประหยัดเพราะว่าเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วราคาของเซเวนเซกเมนต์ที่ใช้ถูกกว่า แอลซีดีคิดเป็นเงินจำนวนมากพอสมควรทีเดียว นอกจากนี้เรายังสามารถที่จะนำโครงการพิเศษชิ้นนี้ไปใช้กับงานทางด้านอูตุนิยมวิทยาได้อีกด้วย

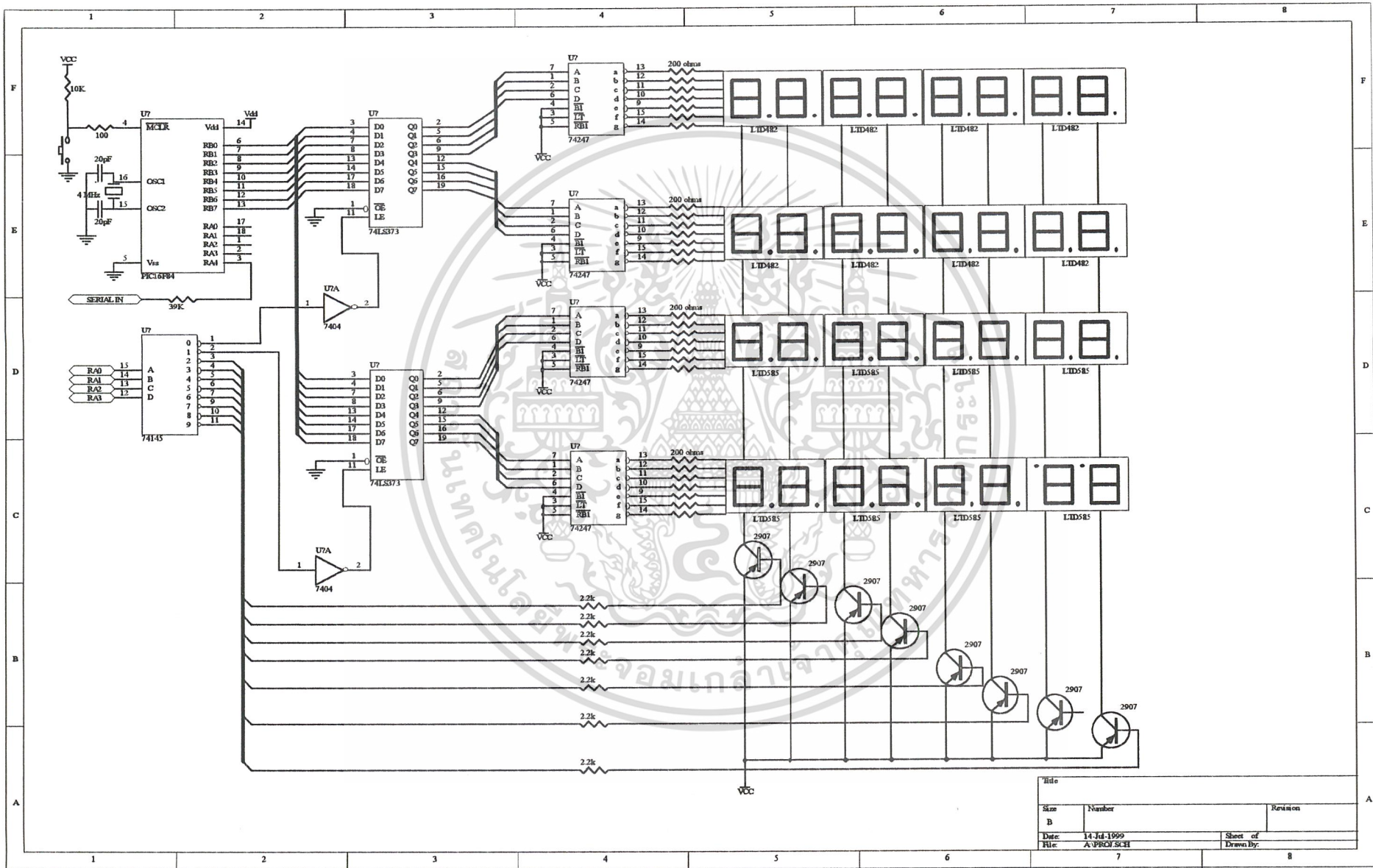
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		
Size	Number	Revision
B		
Date:	14-Jul-1999	Sheet of
File:	A:\PIC\G.SCH	Drawn By:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form1

Private Sub ExitButton_Click()

End

End Sub

Private Sub OKButton_Click()

MsgBox " ค่าคงที่ต่างๆ ควรตรงกับความเป็นจริงเพื่อความถูกต้องของการคำนวณ",
vbInformation + vbOKOnly, "คำแนะนำ"

Form2

Dim d As Single

Dim m As Single

Dim Y As Single

Dim N As Single

Dim N1 As Single

Dim z As Single

Dim A As Double

Const B = 4

Const c = 1988

Dim Dc As Double

Const Radi = 0.01745329

Dim Be As Double

Dim E As Double

Dim Ion As Double

Dim Ion1 As Double

Dim TZ1 As Double

Dim TZ As Double

Dim LAMDA1 As Double

Dim LAMDA As Double

If Option1.Value Then

Form2.Show

Else

Form3.Show

End If

End Sub

Dim AST As Double

Dim Ion2 As Double

Dim f As Double

Dim g As Double

Dim W As Double

Dim Az As Double

Dim Az1 As Double

Dim AL As Double

Dim AL1 As Double

Dim lat As Double

Dim Az2 As Double

Dim Az3 As Double

Dim AA As Double

Dim AA1 As Double

Dim AL2 As Double

Dim UP As Double

Dim UP1 As Double

Dim UP2 As Double

Dim DOWN1 As Double

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dim DOWN2 As Double

Dim DOWN As Double

Dim LCT1 As Double

Dim LCT2 As Double

Dim AST1 As Double

Dim AST2 As Double

Dim Ws As Double

Dim Ws1 As Double

Dim Ws2 As Double

Dim Ws3 As Double

Dim arcWs As Double

Dim Hou As String

Dim Min As String

Dim LTC As Double

Dim lat2 As Double

Dim da As String

Dim mo As String

Dim ye As String

Dim hoo As String

Dim mun As String

Dim hoo1 As Single

Dim mun1 As Single

Dim UP3 As String

Dim UP4 As String

Dim DOWN3 As String

Dim DOWN4 As String

Dim ye1 As String

Dim ye2 As String

Dim q As Integer

Dim ALT As Single

Dim ALT1 As String

Dim ALT2 As String

Dim q1 As String

Dim r As Integer

Dim r1 As String

Dim Dcl As Single

Dim Dcl1 As String

Dim Dcl2 As String

Dim AZZ As Single

Dim AZZ1 As String

Dim AZZ2 As String

Option Explicit

Private Sub Command1_Click()

d = Val(Day.Text)

m = Val(Month.Text)

Y = Val(Year.Text)

da = Format(d, "00")

mo = Format(m, "00")

ye = Format(Y, "0##0")

ye1 = Left\$(ye, 2)

ye2 = Right\$(ye, 2)

A = Y - c

z = Abs(A) Mod B

If m = 1 Then

N = d

Elseif m = 2 Then

N = 31 + d

Elseif m = 3 Then

```

N = 60 + d
Elseif m = 4 Then
    N = 91 + d
Elseif m = 5 Then
    N = 121 + d
Elseif m = 6 Then
    N = 152 + d
Elseif m = 7 Then
    N = 182 + d
Elseif m = 8 Then
    N = 213 + d
Elseif m = 9 Then
    N = 244 + d
Elseif m = 10 Then
    N = 274 + d
Elseif m = 11 Then
    N = 305 + d
Elseif m = 12 Then
    N = 335 + d
End If
If z = 0 Then 'if the year have 2nd
month with 29days
    N1 = N
Else
    If m > 2 Then 'if the year have
2nd month with 28 days
        N1 = N - 1
    Else
        If d > 28 Then
            N1 = N - (d - 28)
        Else
            N1 = N
        End If
    End If
End If

N1 = N
End If
End If
lat2 = Val(Text7.Text) + Val
(Text8.Text) / 60
If North.Value Then
    lat = lat2
Else
    lat = -lat2
End If
Dc = (23.45 * Sin((284 + N1) / 365 *
360 * Radi)) - lat 'Val(Text7.Text) ' lat
Text9.Text = Format(Dc, " #0.0")
If Dc < 0 Then
    r = 8
Else
    r = 0
End If
r1 = Str$(r)
Dcl = Abs(Dc)
Dcl1 = Left$(Format(Dcl, "00.0"), 2)
Dcl2 = Right$(Format(Dcl, "00.0"), 1)

*****
Be = (N1 - 1) / 365 * 360
E = 229.2 * (0.000075 + 0.001868 *
Cos(Be * Radi) - 0.03277 * Sin(Be *
Radi) - 0.014615 * Cos(2 * Be * Radi) -
0.04089 * Sin(2 * Be * Radi))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lon = Val(Text5.Text) + Val
(Text6.Text) / 60

If East.Value Then ' Find value of
lamda
    LAMDA = lon / 15
Else: LAMDA = -(lon / 15)
End If

lat2 = Val(Text7.Text) + Val
(Text8.Text) / 60

' If North.Value Then
' lat = lat2
'Else
' lat = -lat2
'End If

AL1 = Cos(lat * Radi) * Cos(Dc *
***** find value of TZ*****
Radi) * Cos(W * Radi) + Sin(lat * Radi) *
f = lon Mod 15
Sin(Dc * Radi)
If f < 7.5 Then
    TZ1 = lon \ 15
Else: TZ1 = (lon \ 15) + 1
End If
AL2 = Atn(AL1 / Sqr(-AL1 * AL1 +
    1))
AL = AL2 / Radi
If East.Value Then
    TZ = -TZ1
Else: TZ = TZ1
End If
'AA = Sin(Dc * Radi) / Sin(90 *
    Radi)
'AA1 = (Atn(AA / Sqr(-AA * AA +
    1))) / Radi
*****AZ*****

LTC = Val(Ho.Text) + Val(Mu.Text) /
60
AST = LTC + TZ + LAMDA + E / 60
W = -15 * (12 - AST)
hoo1 = Val(Ho.Text)
mun1 = Val(Mu.Text)
hoo = Format(hoo1, "00")
mun = Format(mun1, "00")

Az1 = Cos(Dc * Radi) * Sin(W *
    Radi) / Cos(AL * Radi)
Az2 = Atn(Az1 / Sqr(-Az1 * Az1 +
    1))
Az = Az2 / Radi
'If AL < AA Then
'If AL < 0 Then
' Az = -(180 - Abs(Az3))
'Else
'Az = (180 - Abs(Az3))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของการนำใบ้

```

'End If
AST1 = 12 + Ws
AST2 = 12 - Ws

'Else
' Az = Az3
LCT1 = AST1 - TZ - LAMDA - E / 60
'End If
LCT2 = AST2 - TZ - LAMDA - E / 60

If AL < 0 Then
q = 8
Else
q = 0
End If
If LCT1 > LCT2 Then
DOWN = LCT1
UP = LCT2
Else
DOWN = LCT2
UP = LCT1
End If
q1 = Str$(q)
ALT = Abs(AL)
ALT1 = Left$(Format(ALT, "00.0"), 2)
ALT2 = Right$(Format(ALT, "00.0"), 2)
1)
UP1 = Fix(UP)
UP2 = ((UP - UP1) * 60) \ 1 - 1
UP3 = Format(UP1, "00")
UP4 = Format(UP2, "00")
AZZ = Abs(Az)
AZZ1 = Left$(Format(AZZ, "000.0"), 3)
AZZ2 = Right$(Format(AZZ, "000.0"), 3)
1)
DOWN1 = Fix(DOWN)
DOWN2 = ((DOWN - DOWN1) * 60) \ 1
DOWN3 = Format(DOWN1, "00")
DOWN4 = Format(DOWN2, "00")
***** ss sr
*****
Ws1 = -Tan(lat * Radi)
Ws2 = Tan(Dc * Radi)
Ws3 = Ws1 * Ws2
arcWs = (Atn(-Ws3 / Sqr(-Ws3 * Ws3
+ 1)) + 2 * Atn(1)) / Radi
End Sub
Text11.Text = Format(Az, " ##0.0")
Text10.Text = Format(AL, " ##0.0")
Text12.Text = UP1
Text1.Text = Format(UP2, "00")
Text13.Text = DOWN1
Text2.Text = Format(DOWN2, "00")

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรแก้ไข หักลบ ยกเว้นให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub Command2_Click()
Form1.Show
End Sub

Private Sub Command3_Click()
End
End Sub

Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
MSComm1.PortOpen = True
End Sub

Private Sub form_Unload(Cancel As
Integer)
MSComm1.PortOpen = False
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Label12.Caption = Format(Time, "long
time")

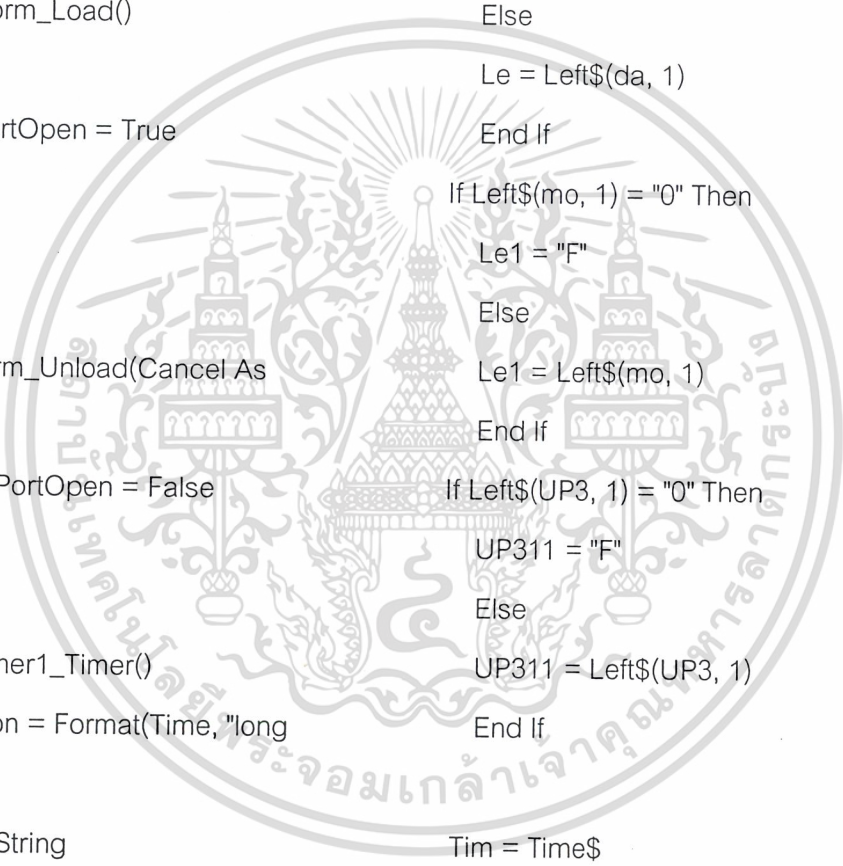
Dim Tim As String
Dim Hr As String
Dim Mn As String
Dim Sc As String
Dim i As Integer
Dim Le As String
Dim Le1 As String
Dim ALT11 As String
Dim hoo1 As String

Dim Dcl11 As String
Dim AZZ11 As String
Dim AZZ12 As String
Dim UP311 As String

' Static flag As Boolean
If Left$(da, 1) = "0" Then
Le = "F"
Else
Le = Left$(da, 1)
End If
If Left$(mo, 1) = "0" Then
Le1 = "F"
Else
Le1 = Left$(mo, 1)
End If
If Left$(UP3, 1) = "0" Then
UP311 = "F"
Else
UP311 = Left$(UP3, 1)
End If

UP311 = Time$
If Left$(ALT1, 1) = "0" Then
ALT11 = "F"
Else
ALT11 = Left$(ALT1, 1)
End If
If Left$(hoo, 1) = "0" Then
hoo1 = "F"
Else

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและเผยแพร่ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

hoo1 = Left$(hoo, 1)
End If
If Left$(Dcl1, 1) = "0" Then
Dcl11 = "F"
Else
Dcl11 = Left$(Dcl1, 1)
End If
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
ALT11 & Dcl11)) '4
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Left$(UP4, 1) & Le1)) '5
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(ALT1, 1) & Right$(Dcl1, 1)))
'6

If Left$(AZZ1, 1) = "0" Then
AZZ11 = "F"
Else
AZZ11 = Left$(AZZ1, 1)
End If
If Mid$(AZZ1, 2, 1) = "0" Then
AZZ12 = "F"
Else
AZZ12 = Mid$(AZZ1, 2, 1)
End If
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(UP4, 1) & Right$(mo, 1))) '7
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
ALT2 & Dcl2)) '8
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Left$(DOWN3, 1) & Left$(ye1, 1))) '9
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
hoo1 & AZZ11)) '10
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(DOWN3, 1) & Right$(ye1, 1))) '11
Sc = Second(Tim)
If Sc > 5 Then Exit Sub
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(hoo, 1) & AZZ12)) '12
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Left$(DOWN4, 1) & Left$(ye2, 1))) '13
Mn = Format(Val(Minute(Tim)), "00")
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Left$(mun, 1) & Right$(AZZ1, 1))) '14
MSComm1.Output = Chr$(&HFE)
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(DOWN4, 1) & Right$(ye2, 1))) '15
UP311 & Le)) '1
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(mun, 1) & AZZ2)) '16
q1 & r1)) '2
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(UP3, 1) & Right$(da, 1))) '3
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ณาการอื่นใด ทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาแจ้งไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form3

Private Sub Command1_Click()

Form4.Show

End Sub

Private Sub Command2_Click()

Form1.Show

End Sub

Form4

Private Sub Form_Load()
MSComm1.PortOpen = True
End Sub
Private Sub form_Unload(Cancel As Integer)
MSComm1.PortOpen = False
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
d = Val(Day(Date))
m = Val(Month(Date))
Y = Val(Year(Date))
da = Format(d, "00")
mo = Format(m, "00")
ye = Format(Y, "00")
ye1 = Left\$(ye, 2)
ye2 = Right\$(ye, 2)
Label3.Caption = Format(Date, "Long Date")

LT.Caption = Format(Time, "Long Time")

A = Y - c

z = Abs(A) Mod B

If m = 1 Then

N = d

Elseif m = 2 Then

N = 31 + d

Elseif m = 3 Then

N = 60 + d

Elseif m = 4 Then

N = 91 + d

Elseif m = 5 Then

N = 121 + d

Elseif m = 6 Then

N = 152 + d

Elseif m = 7 Then

N = 182 + d

Elseif m = 8 Then

N = 213 + d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Elseif m = 9 Then
    N = 244 + d
Elseif m = 10 Then
    N = 274 + d
Elseif m = 11 Then
    N = 305 + d
Elseif m = 12 Then
    N = 335 + d
End If

If z = 0 Then 'if the year have 2nd
month with 29days
    N1 = N
Else
    If m > 2 Then 'if the year have
2nd month with 28 days
        N1 = N - 1
    Else
        If d > 28 Then
            N1 = N - (d - 28)
        Else
            N1 = N
        End If
    End If
End If

lat = lat2
Else
    lat = -lat2
End If

Dc = 23.45 * Sin((284 + N1) / 365 *
360 * Radi) - lat
If Dc < 0 Then
    r = 8
Else
    r = 0
End If

r1 = Str$(r)
Dcl = Abs(Dc)
Dcl1 = Left$(Format(Dcl, "00.0"), 2)
Dcl2 = Right$(Format(Dcl, "00.0"), 1)

*****

Be = (N1 - 1) / 365 * 360
E = 229.2 * (0.000075 + 0.001868 *
Cos(Be * Radi) - 0.03277 * Sin(Be *
Radi) - 0.014615 * Cos(2 * Be * Radi) -
0.04089 * Sin(2 * Be * Radi))

```

```

' Dc = 23.45 * Sin((284 + N1) / 365 *
360 * Radi)
Text1.Text = Format(Dc, " #0.0")
lat2 = Val(Form3.Text3.Text) + Val
(Form3.Text4.Text) / 60
If Form3.East.Value Then ' Find
value of lamda

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LAMDA = lon / 15
Else: LAMDA = -(lon / 15)
End If

' If Form3.North.Value Then
'   lat = lat2
'   Else
'   lat = -lat2
'   End If

***** find value of TZ *****

f = lon Mod 15
If f < 7.5 Then
  TZ1 = lon \ 15
Else: TZ1 = (lon \ 15) + 1
End If

If Form3.East.Value Then
  TZ = -TZ1
Else: TZ = TZ1
End If

'LTC
Hou = Hour(Time)
Min = Minute(Time)

LTC = Val(Hou) + Val(Min) / 60
AST = LTC + TZ + LAMDA + E / 60
W = -15 * (12 - AST)

*****AL *****

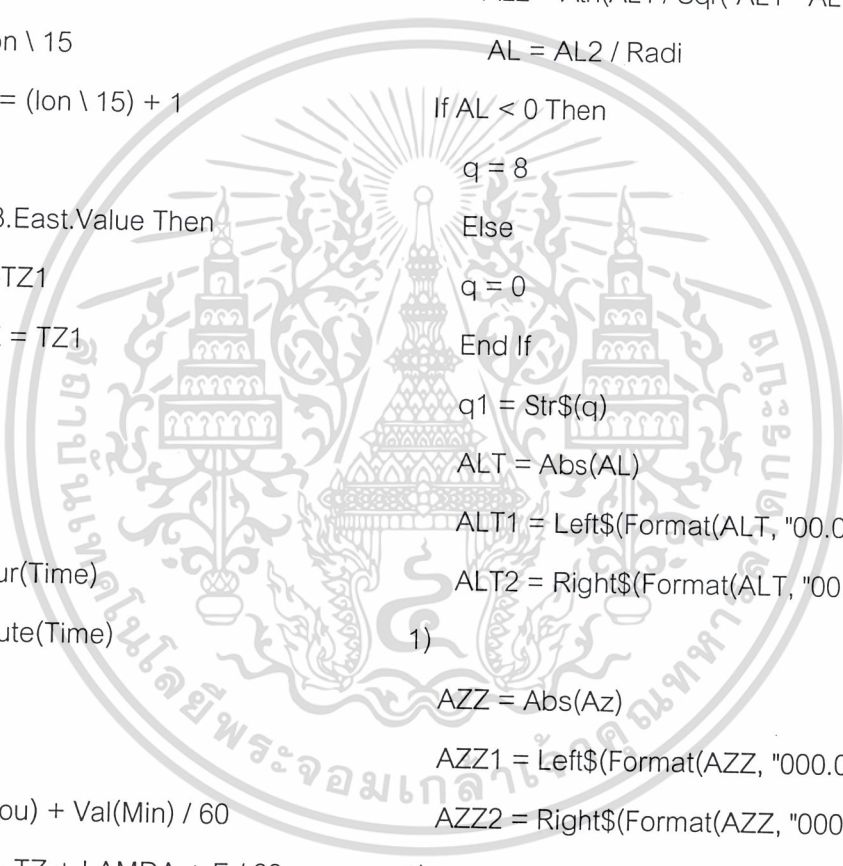
' lat2 = Val(Form3.Text3.Text) + Val
(Form3.Text4.Text) / 60

*****AZ*****

Az1 = Cos(Dc * Radi) * Sin(W *
Radi) / Cos(AL * Radi)
Az2 = Atn(Az1 / Sqr(-Az1 * Az1 +
1))
Az = Az2 / Radi

AL1 = Cos(lat * Radi) * Cos(Dc *
Radi) * Cos(W * Radi) + Sin(lat * Radi) *
Sin(Dc * Radi)
AL2 = Atn(AL1 / Sqr(-AL1 * AL1 + 1))
AL = AL2 / Radi
If AL < 0 Then
  q = 8
Else
  q = 0
End If
q1 = Str$(q)
ALT = Abs(AL)
ALT1 = Left$(Format(ALT, "00.0"), 2)
ALT2 = Right$(Format(ALT, "00.0"),
1)
AZZ = Abs(Az)
AZZ1 = Left$(Format(AZZ, "000.0"), 3)
AZZ2 = Right$(Format(AZZ, "000.0"),
1)

```



ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Text3.Text = Format(Az, " ##0.0")
Text2.Text = Format(AL, " ##0.0")
***** ss sr
*****

Ws1 = -Tan(lat * Radi)
Ws2 = Tan(Dc * Radi)
Ws3 = Ws1 * Ws2
arcWs = (Atn(-Ws3 / Sqr(-Ws3 * Ws3
+ 1)) + 2 * Atn(1)) / Radi
Ws = (24 / 360) * arcWs
AST1 = 12 + Ws
AST2 = 12 - Ws

LCT1 = AST1 - TZ - LAMDA - E / 60
LCT2 = AST2 - TZ - LAMDA - E / 60

If LCT1 > LCT2 Then
    DOWN = LCT1
    UP = LCT2
Else
    DOWN = LCT2
    UP = LCT1
End If

UP1 = Fix(UP)
UP2 = ((UP - UP1) * 60) \ 1 - 1
UP3 = Format(UP1, "00")
UP4 = Format(UP2, "00")

DOWN1 = Fix(DOWN)
DOWN2 = ((DOWN - DOWN1) * 60) \ 1
DOWN3 = Format(DOWN1, "00")
DOWN4 = Format(DOWN2, "00")

Text4.Text = UP1
Text5.Text = Format(UP2, "0#")
Text6.Text = DOWN1
Text7.Text = Format(DOWN2, "0#")

Dim Tim As String
Dim Hr As String
Dim Mn As String
Dim Sc As String
Dim i As Integer
Dim Le As String
Dim Le1 As String
Dim ALT11 As String
Dim Hr11 As String
Dim Dcl11 As String
Dim AZZ11 As String
Dim AZZ12 As String
Dim UP311 As String
Tim = Time$
Hr = Format(Val(Hour(Tim)), "00")
Mn = Format(Val(Minute(Tim)), "00")

If Left$(da, 1) = "0" Then
    Le = "F"
Else
    Le = Left$(da, 1)
End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If Left$(mo, 1) = "0" Then
    Le1 = "F"
Else
    Le1 = Left$(mo, 1)
End If

If Left$(UP3, 1) = "0" Then
    UP311 = "F"
Else
    UP311 = Left$(UP3, 1)
End If

If Left$(ALT1, 1) = "0" Then
    ALT11 = "F"
Else
    ALT11 = Left$(ALT1, 1)
End If

If Left$(Hr, 1) = "0" Then
    Hr11 = "F"
Else
    Hr11 = Left$(Hr, 1)
End If

If Left$(Dcl1, 1) = "0" Then
    Dcl11 = "F"
Else
    Dcl11 = Left$(Dcl1, 1)
End If

If Left$(AZZ1, 1) = "0" Then
    AZZ11 = "F"
Else
    AZZ11 = Left$(AZZ1, 1)
End If

End If

If Mid$(AZZ1, 2, 1) = "0" Then
    AZZ12 = "F"
Else
    AZZ12 = Mid$(AZZ1, 2, 1)
End If

Sc = Second(Tim)
If Sc > 5 Then Exit Sub

MSComm1.Output = Chr$(&HFE)
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
UP311 & Le)) '1
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
q1 & r1)) '2
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(UP3, 1) & Right$(da, 1))) '3
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
ALT11 & Dcl11)) '4
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Left$(UP4, 1) & Le1)) '5
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(ALT1, 1) & Right$(Dcl1, 1))) '6
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Right$(UP4, 1) & Right$(mo, 1))) '7
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
ALT2 & Dcl2)) '8
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Left$(DOWN3, 1) & Left$(ye1, 1))) '9
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &
Hr11 & AZZ11)) '10

```

```
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &  
Right$(DOWN3, 1) & Right$(ye1, 1))) '11  
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &  
Right$(Hr, 1) & AZZ12)) '12  
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &  
Left$(DOWN4, 1) & Left$(ye2, 1))) '13  
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &  
Left$(Mn, 1) & Right$(AZZ1, 1))) '14  
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &  
Right$(DOWN4, 1) & Right$(ye2, 1))) '15  
MSComm1.Output = Chr$(Val("&H" &  
Right$(Mn, 1) & AZZ2)) '16  
End Sub
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก (ข)

โปรแกรมที่ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 16เอฟ84 ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

include "bs2defs.bas"
seg var byte[16]
seg[0]=$21
seg[1]=$43
seg[2]=$52
seg[3]=$24
seg[4]=$06
seg[5]=$13
seg[6]=$81
seg[7]=$09
seg[8]=$08
seg[9]=$08
seg[10]=$06
seg[11]=$05
seg[12]=$04
seg[13]=$03
seg[14]=$02
seg[15]=$01

trisa=0
trisb=0
start:b2=$02
for b0=0 to 14 step 2
    portb=seg[b0]
    porta=%00000000
    porta=%00000001
    b1=b0+1
    portb=seg[b1]
    porta=b2
    b2=b2+$01
    pause 1
    rich: next b0
    porta=$ff
    serin porta.4,N300,1,start,[$fe],seg
    [0]
    gosub reci
    goto start
    reci: serin porta.4,N300,seg[1]
    serin porta.4,N300,seg[2]
    serin porta.4,N300,seg[3]
    serin porta.4,N300,seg[4]
    serin porta.4,N300,seg[5]
    serin porta.4,N300,seg[6]
    serin porta.4,N300,seg[7]
    serin porta.4,N300,seg[8]
    serin porta.4,N300,seg[9]
    serin
    porta.4,N300,seg[10]
    serin porta.4,N300,seg[11]
    serin porta.4,N300,seg[12]
    serin porta.4,N300,seg[13]
    serin porta.4,N300,seg[14]
    serin porta.4,N300,seg[15]
    return
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ยุทธ อัครมาธ , เซลล์สุริยะ, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , หน้า 30-90 , สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์

John A. Duffie , William A. Beckman , Solar Energy Thermal Process ,
p.1- p.38 John Wiley & Sons , Inc., 1974



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

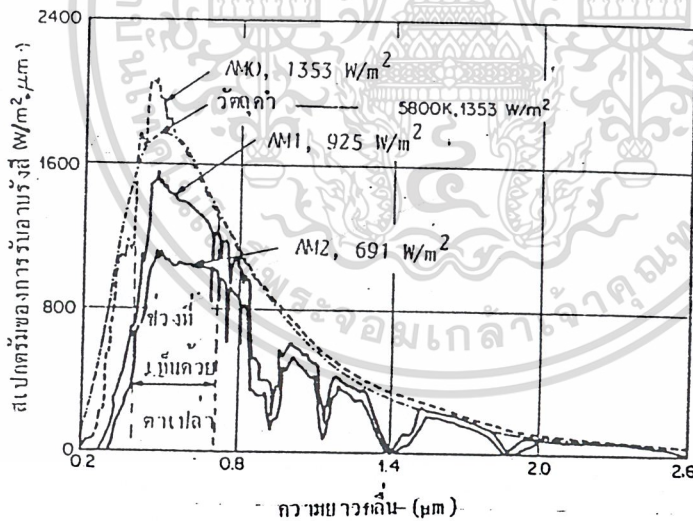
บทที่ 4

ลักษณะเฉพาะของรังสีแสงอาทิตย์

4.1 ดวงอาทิตย์และค่าคงตัวสุริยะ (solar constant)^{13,14}

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญในระบบสุริยะจักรวาลมีอิทธิพลต่อสิ่งที่มีชีวิตบนโลกทั้งในอดีต ปัจจุบันและอนาคต

พลังงานที่เกิดบนดวงอาทิตย์เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ฟิวชัน (thermonuclear fusion) ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39×10^6 km อยู่ห่างจากโลกเฉลี่ย 1.496×10^8 km การแผ่รังสีที่ผิวดวงอาทิตย์สู่ชั้นบรรยากาศนอกโลกประมาณเทียบได้กับการแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body) อุณหภูมิยังผลเป็น 5762 K ดังรูป 4.1



รูป 4.1 สเปกตรัมของความรับอาบรังสีแสงอาทิตย์ (solar spectral-irradiance)

ดวงอาทิตย์มีอัตราการปลดปล่อยกำลังงาน 3.85×10^{23} kW และบรรยากาศ

บริเวณผิวโลกได้รับ 1.725×10^{14} kW เทียบเป็นพลังงานที่ได้รับ ใน 1 ปี

คือ 1.51×10^{18} kWh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 สเปกตรัมรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Extraterrestrial spectrum)

ตาราง 4.1 แสดงค่าสเปกตรัมมาตรฐานของอัตราการตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (AMO) โดยเครื่องมือจากดาวเทียม และมีค่าคงตัวสุริยะเท่ากับ 1353 W/m^2

ตาราง 4.1 แสดงค่าสเปกตรัมมาตรฐานของอัตราการตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (AMO)

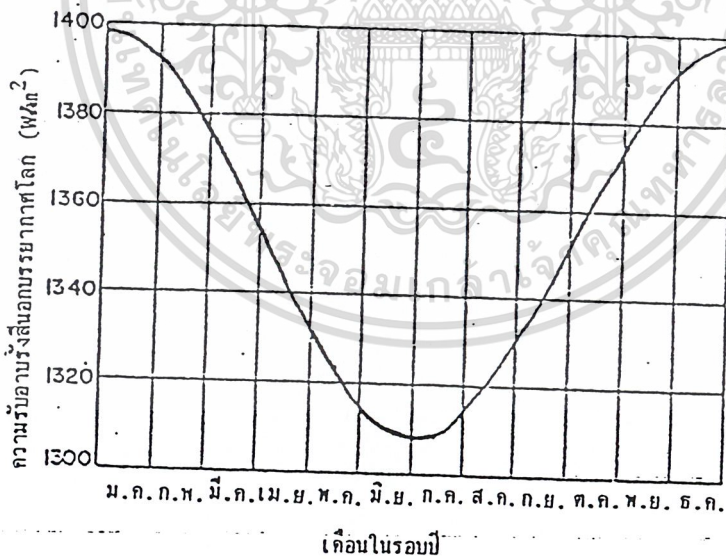
ความยาวคลื่นเป็น nm	สเปกตรัมความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยในช่วงความถี่หน่วย $\text{W/m}^2 \cdot \text{nm}$		การรวมความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 0 ถึง หน่วย W/m^2		เปอร์เซ็นต์ของค่าคงตัวสุริยะเทียบเป็นส่วนที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า λ						
λ	E_λ	$F_{0-\lambda}$	$D_{0-\lambda}$	λ	F_λ	$F_{0-\lambda}$	$D_{0-\lambda}$				
0.115	0.007	0.0025	0.0001	0.510	1882	324.926	24.015	1.55	267	1186.109	87.665
0.120	0.900	0.0048	0.0003	0.515	1833	334.214	24.701	1.60	245	1198.909	88.611
0.125	0.007	0.0070	0.0005	0.520	1833	343.379	25.379	1.65	223	1210.609	89.475
0.130	0.007	0.0071	0.0005	0.525	1852	352.591	26.059	1.70	202	1221.234	90.261
0.140	0.030	0.0073	0.0005	0.530	1842	361.826	26.742	1.75	180	1230.784	90.967
0.150	0.070	0.0078	0.0005	0.535	1818	370.976	27.418	1.80	159	1239.259	91.593
0.160	0.230	0.0093	0.0006	0.540	1783	379.979	28.084	1.85	142	1246.784	92.149
0.170	0.630	0.0136	0.0010	0.545	1754	388.821	28.737	1.90	126	1253.484	92.644
0.180	1.250	0.0230	0.0016	0.550	1725	397.519	29.380	1.95	114	1259.484	93.088
0.190	2.710	0.0428	0.0031	0.555	1720	406.131	30.017	2.00	103	1264.909	93.489
0.200	10.7	0.1098	0.0081	0.560	1695	414.669	30.648	2.1	90	1274.359	94.202
0.210	22.9	0.2778	0.0205	0.565	1695	423.169	31.278	2.2	79	1283.009	94.826
0.220	57.5	0.6798	0.0502	0.570	1712	431.711	31.907	2.3	69	1290.409	95.373
0.225	64.9	0.9858	0.0728	0.575	1719	440.293	32.541	2.4	62	1296.959	95.850
0.230	66.7	1.3148	0.0971	0.580	1715	448.874	33.176	2.5	55	1302.809	96.290
0.235	59.3	1.6293	0.1204	0.585	1712	457.441	33.809	2.6	48	1307.959	96.671
0.240	63.0	1.9356	0.1430	0.590	1700	465.971	34.439	2.7	43	1312.509	97.073
0.245	72.3	2.2738	0.1680	0.595	1682	474.426	35.064	2.8	39	1316.609	97.310
0.250	70.4	2.6306	0.1944	0.600	1666	482.796	35.683	2.9	35	1320.309	97.583
0.255	104.0	3.0666	0.2266	0.605	1647	491.079	36.295	3.0	31	1323.609	97.827
0.260	130	3.6516	0.269	0.61	1635	499.284	36.902	3.1	26	1326.459	98.038
0.265	165	4.4391	0.328	0.62	1602	515.469	38.078	3.2	22.6	1328.889	98.217
0.270	232	5.4816	0.405	0.63	1570	531.329	39.270	3.3	19.2	1330.979	98.372
0.275	204	6.5716	0.485	0.64	1544	546.897	40.421	3.4	16.6	1332.769	98.504
0.280	222	7.6366	0.564	0.65	1511	562.174	41.550	3.5	14.6	1334.329	98.620
0.285	315	8.9791	0.663	0.66	1486	577.190	42.657	3.6	13.5	1335.734	98.723
0.290	402	10.9716	0.810	0.67	1456	591.867	43.744	3.7	12.3	1337.024	98.819
0.295	584	13.6366	1.007	0.68	1427	606.284	44.810	3.8	11.1	1338.194	98.905
0.300	514	16.3816	1.210	0.69	1402	620.429	45.855	3.9	10.3	1339.264	98.984
0.305	603	19.1741	1.417	0.70	1369	634.284	46.879	4.0	9.5	1340.284	99.059
0.310	689	22.4041	1.655	0.71	1344	647.849	47.882	4.1	8.70	1341.164	99.125
0.315	764	26.0366	1.924	0.72	1314	661.139	48.864	4.2	7.80	1341.891	99.186
0.320	830	30.0216	2.218	0.73	1290	674.159	49.826	4.3	7.10	1342.474	99.241
0.325	975	34.5341	2.552	0.74	1260	686.909	50.769	4.4	6.50	1343.414	99.291
0.330	1059	39.6191	2.926	0.75	1235	699.384	51.691	4.5	5.92	1344.035	99.337
0.335	1081	44.9691	3.323	0.74	1211	711.614	52.595	4.6	5.35	1344.596	99.379
0.340	1074	50.3566	3.721	0.77	1185	723.594	53.480	4.7	4.86	1345.109	99.416
0.345	1069	55.7141	4.117	0.78	1159	735.314	54.346	4.8	4.47	1345.575	99.451
0.350	1093	61.1191	4.517	0.79	1134	746.779	55.194	4.9	4.11	1346.004	99.482
0.355	1083	66.5591	4.919	0.80	1109	757.994	56.023	5.0	3.79	1346.399	99.512
0.360	1068	71.9366	5.316	0.81	1085	768.966	56.834	6	1.8200	1346.204	99.545
0.365	1132	77.4366	5.723	0.82	1060	779.694	57.627	7	0.9900	1350.609	99.823
0.370	1181	83.2191	6.150	0.83	1036	790.174	58.401	8	0.5850	1351.3974	99.881
0.375	1157	89.0641	6.582	0.84	1013	800.419	59.158	9	0.3670	1351.8734	99.916
0.380	1120	94.7566	7.003	0.85	990	810.434	59.899	10	0.2410	1352.1774	99.932
0.385	1098	100.3016	7.413	0.86	968	820.224	60.622	11	0.1650	1352.3804	99.954
0.390	1098	105.7916	7.819	0.87	947	829.799	61.330	12	0.1170	1352.5214	99.964
0.395	1189	111.5091	8.241	0.88	926	839.164	62.027	13	0.0851	1352.6224	99.972
0.400	1429	118.0541	8.725	0.89	908	848.314	62.700	14	0.0634	1352.6967	99.978
0.405	1644	125.7366	9.293	0.90	894	857.329	63.365	15	0.0481	1352.7524	99.981
0.410	1751	134.224	9.920	0.91	880	866.184	64.019	16	0.037100	1352.7950	99.984
0.415	1774	143.036	10.571	0.92	869	874.929	64.685	17	0.029100	1352.8281	99.987
0.420	1747	151.839	11.222	0.93	858	883.564	65.304	18	0.023100	1352.8542	99.989
0.425	1693	160.639	11.858	0.94	847	892.089	65.934	19	0.018600	1352.8751	99.990
0.430	1639	168.769	12.473	0.95	837	900.509	66.556	20	0.015200	1352.8920	99.992
0.435	1663	177.024	13.083	0.96	820	908.794	67.168	23	0.0106170	1352.9454	99.995
0.440	1810	185.706	13.725	0.97	803	916.999	67.768	30	0.007970	1352.9683	99.997
0.445	1922	195.036	14.415	0.98	785	924.849	68.355	35	0.0061600	1352.9797	99.998
0.450	2006	204.056	15.140	0.99	767	932.609	68.928	40	0.004942	1352.9860	99.999
0.455	2057	215.014	15.891	1.00	748	940.184	69.488	50	0.003991	1352.9927	99.999
0.460	2066	225.321	16.653	1.05	668	975.384	72.105	60	0.00319000	1352.9956	99.999
0.465	2048	235.606	17.413	1.10	593	1007.109	74.435	80	0.00261600	1352.9981	99.999
0.470	2033	245.809	18.167	1.15	535	1035.309	76.519	100	0.00202570	1352.9990	99.999
0.475	2044	256.001	18.921	1.20	485	1060.800	78.404	120	0.00152600	1352.9994	99.999
0.480	2074	266.294	19.681	1.25	438	1083.884	80.119	150	0.00109523	1352.9997	99.999
0.485	1976	276.421	20.430	1.30	397	1104.759	81.652	200	0.0008169	1352.9998	99.999
0.490	1950	286.236	21.155	1.35	358	1123.634	83.047	250	0.0006070	1352.9999	99.999
0.495	1960	296.011	21.878	1.40	337	1141.009	84.331	300	0.00040034	1352.9999	99.999
0.500	1942	305.765	22.599	1.45	312	1157.234	85.530	400	0.00020011	1352.9999	99.999
0.505	1920	315.421	23.312	1.50	288	1172.234	86.639	1000	0.00000000	1353.0000	100.0000

จากตารางนี้ให้ข้อสังเกตว่า (1) ที่ความยาวคลื่นประมาณ 460 nm อัตราการตกกระทบของรังสีมีค่าสูงสุด $2066 \text{ พท.}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ (2) ครึ่งหนึ่งของรังสีตกกระทบจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์อยู่ในช่วงแสงที่มองเห็นได้ (3) การแผ่รังสีเกือบทั้งหมดอยู่ในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นไม่เกิน $5 \mu\text{m}$ การทราบสเปกตรัมสุริยะทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานได้เหมาะสมและได้ประสิทธิภาพสูงสุด

4.1.2 คาคงตัวสุริยะ

ความเข้มการแผ่รังสี $I_{\text{ท}}$ ตกกระทบพื้นราบที่ตั้งฉากกับรังสีแสงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกที่ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์วัดได้

$I_{\text{ท}} = 1353 \text{ W/m}^2$ เรียกค่านี้ว่า คาคงตัวสุริยะ (solar constant) ที่จริงแล้วค่านี้ไม่คงตัวเนื่องจากคาบการเปลี่ยนแปลงของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ในรอบปีซึ่งเปลี่ยนแปลงประมาณ $\pm 3\%$ จากค่าเฉลี่ย ดังรูป 4.2



รูป 4.2 การเปลี่ยนแปลงของความรับอานรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกในรอบปี

การวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์นี้ปัจจุบันใช้ระบบดาวเทียมคุณุณิมวิทยา

ค่าคงตัวสุริยะในหน่วยอื่น ๆ ที่นิยมใช้กัน เช่น การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 I_n &= 1.940 \text{ cal/cm}^2/\text{min} \\
 &= 428 \text{ Btu/ft}^2/\text{hr} \\
 &= 4871 \text{ KJ/m}^2/\text{hr}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ การเปลี่ยนหน่วยในภาคการตั้งชื่อ (nomenclature)

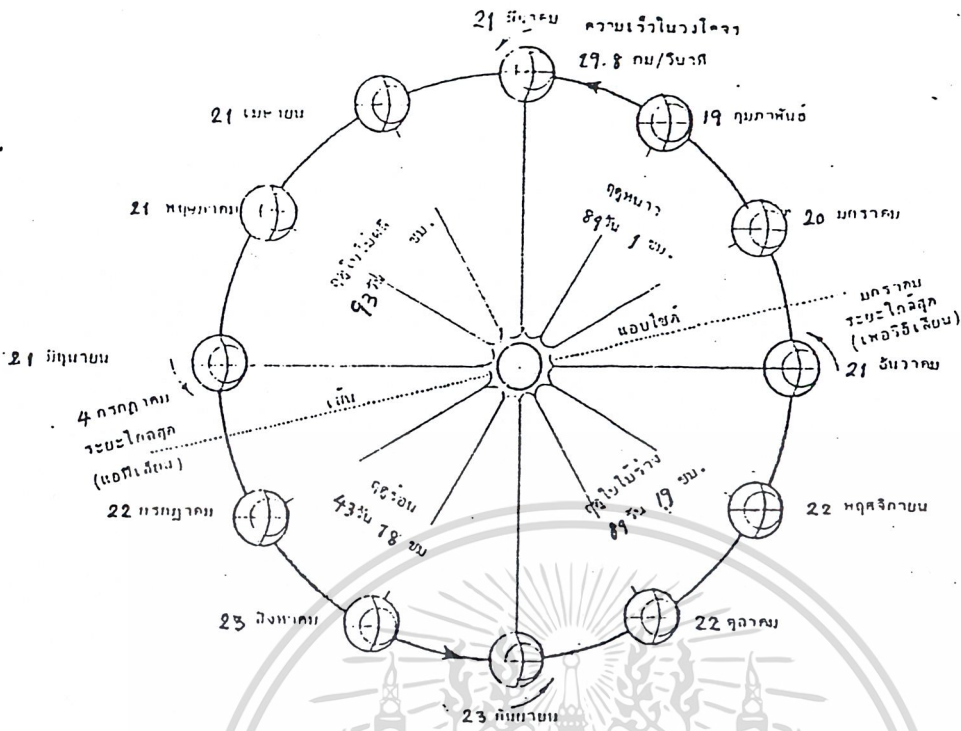
11,13,14

4.2 รังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Extraterrestrial radiation)

ปกติดวงอาทิตย์มีอัตราการแผ่รังสีค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา แต่รังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกมีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบในรอบปี สาเหตุเนื่องจาก

4.2.1 ผลกระทบจากระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี (ellipse) ดังรูป 4.3 (ในที่นี้เขียนเป็นแนววงกลมเพื่อความสะดวก) ซึ่งแสดงตำแหน่งของโลกในวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี เมื่อมองดูจากขั้วเหนือของระนาบสุริยวิถี โลกจะปรากฏโคจรไปรอบ ๆ ในทิศทวนเข็มนาฬิกาและในขณะเดียวกันก็หมุนรอบตัวเองในทิศทวนเข็มนาฬิกาด้วย วันที่ 3 มกราคมของปี โลกจะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางน้อยที่สุดที่ตำแหน่งเพอริฮีเลียน (perihelion) มีค่าเท่ากับ 147.1×10^6 km ต่อมาอีก 6 เดือนคือในวันที่ 4 กรกฎาคมของปี โลกก็จะโคจรมาอยู่ที่จุดตรงข้ามในวงโคจรซึ่งเป็นจุดห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุดแอฟีเลียน (aphelion) เป็นระยะทาง 152×10^6 km ดังนั้นความเข้มรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกจึงเปลี่ยนแปลงเป็นคาบในรอบปีขึ้นกับระยะห่างระหว่างโลก ดวงอาทิตย์ ดังแสดงในตาราง 4.2 การรังสีตกกระทบบนพื้นที่ตั้งฉากนอกบรรยากาศโลก I_0 ในแต่ละเดือนและตารางของระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์เป็นหน่วยดาราศาสตร์ (astronomical unit, A.U.) โดยมีระยะทางเฉลี่ย $1 \text{ A.U.} = 1.496 \times 10^8$ km การรังสีตกกระทบ I_0 ประมาณได้จากสูตรเอมพิริคัล



รูป 4.3 วงทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบปี

ตาราง 4.2 การเปลี่ยนแปลงของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ การรับอาบรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและมุมเคลิเนชัน

วัน	ระยะทางระหว่างโลก-ดวงอาทิตย์ (AU)	การรับอาบรังสีแสงอาทิตย์ (พ/ท) ²	มุมเคลิเนชัน		
			กึ่งฟ้า	ลิบตา	ฟิลิปตา
ม.ค. 1	0.983 34	1399	-23	05	11
4	0.983 32	1399	-22	49	45
ก.พ. 1	0.985 31	1393	-17	24	08
12	0.987 03	1389	-14	02	51
มี.ค. 1	0.990 97	1378	-7	37	00
20	0.995 94	1364	-0	11	42
เม.ย. 1	0.999 41	1355	+4	30	26
4	0.999 98	1353	+5	39	32
พ.ค. 1	1.007 70	1332	+15	02	57
14	1.010 72	1324	+18	36	18
มี.ย. 1	1.014 13	1316	+22	02	27
21	1.016 30	1310	+23	26	24
ก.ค. 1	1.016 72	1309	+23	06	54
3	1.016 73	1309	+22	58	07
25	1.015 66	1312	+19	27	28
ค.ค. 1	1.014 95	1313	+18	02	30
ก.ย. 1	1.009 14	1329	+8	18	55
23	1.003 37	1344	-0	02	08
ต.ค. 1	1.001 07	1350	-3	09	00
5	0.999 89	1353	-4	41	46
1	0.992 39	1347	-14	24	01
3	0.991 87	1375	-15	02	01
ธ.ค. 1	0.985 98	1392	-21	47	19
22	0.983 68	1398	-23	26	22

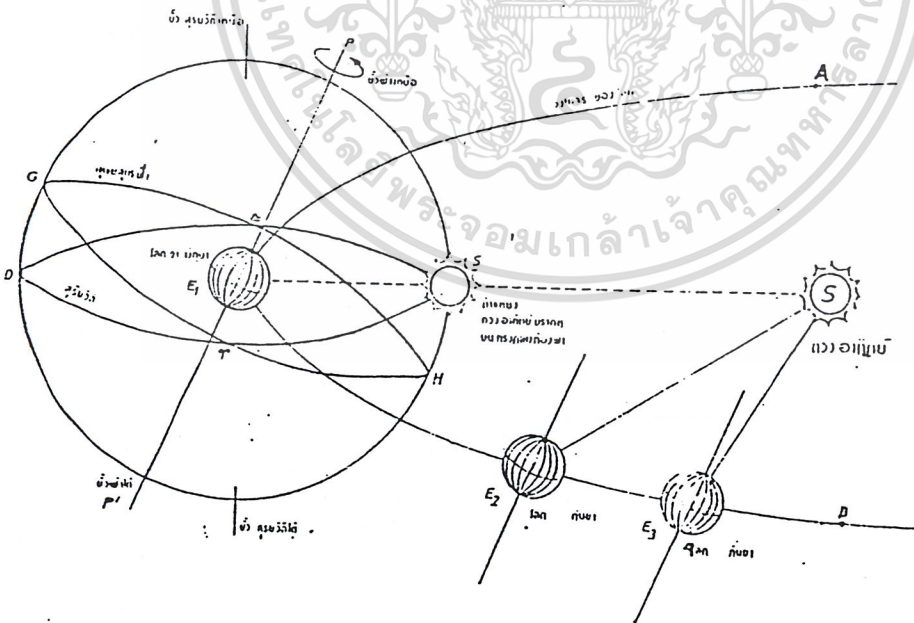
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีขั้นตอนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_o = I_n \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360N}{365} \right) \right) \quad (4.1)$$

N เป็นจำนวนวันในรอบปี

4.2.2 ผลกระทบจากมุมเอคลิปติก

การแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลกมีการเปลี่ยนแปลงมากเนื่องจากต่างฤดูกาลทางเคินของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในท้องฟ้าจะเปลี่ยนไป แกนหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.45 องศา กับแกนซึ่งตั้งฉากกับระนาบทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (คือระนาบซึ่งดวงอาทิตย์ ปรากฏเคลื่อนที่ไปรอบโลกนั่นเอง มีชื่อเรียกว่า ระนาบสุริยะวิถี (ecliptic plane) ระนาบเส้นศูนย์สูตร (equatorial plane) ของโลก จึงเอียงเป็นมุม 23.45 องศา กับระนาบสุริยะวิถี ดังรูป 4.4



รูป 4.4 ระนาบสุริยะวิถีกับระนาบศูนย์สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

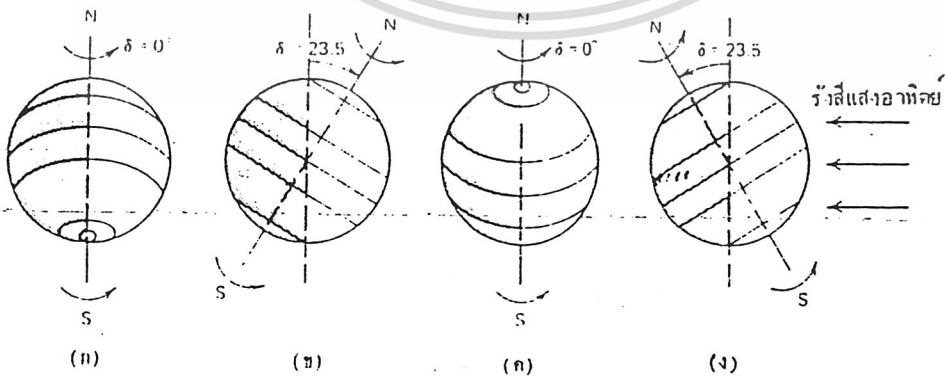
การเอียงปรากฏของแกนหมุนของโลกเข้าหาดวงอาทิตย์เทียบกับแกนตั้งฉากของระนาบสุริยวิถีเป็นมุม δ เรียกว่ามุมเดคลิเนชัน (declination angle) มุมเดคลิเนชันนี้จะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง $+ 23.45$ ถึง -23.45 องศา ในช่วง 1 รอบปี ดังแสดงในตาราง 4.2

สูตรเอมพิริคัลที่ใช้คำนวณมุมเดคลิเนชันคือ

$$\delta (\text{องศา}) = 23.45^\circ \sin \left[\left(\frac{284 + N}{365} \right) \times 360 \right] \quad (4.2)$$

N เป็นจำนวนวันในปี โดยนับ $N = 1$ เริ่มจาก 1 มกราคม (สำหรับเดือนกุมภาพันธ์มี 28 วัน ทุก ๆ 4 ปีจะมี 1 ปีที่เดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน, leap year) สำหรับซีกโลกใต้ให้กลับเครื่องหมายของมุมเดคลิเนชัน

(1) ฤดูกาล ตำแหน่งและวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรูป 4.3 ในรอบ 1 รอบปี ทำให้เกิดฤดูกาล 4 ฤดู กล่าวคือ ในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 23 กันยายน แกนเอียงของโลกอยู่ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากดวงอาทิตย์จะปรากฏอยู่บนเส้นศูนย์สูตรของท้องฟ้า ในเมื่อโลกหมุนรอบตัวเอง ดวงอาทิตย์จะปรากฏขึ้นอยู่เหนือขอบฟ้า 12 ชั่วโมง และใต้ขอบฟ้า 12 ชั่วโมง นั่นคือกลางวันกับกลางคืนยาวเท่ากัน เรียกตำแหน่งทั้งสองว่า อีควินอกซ์ (equinoxes) ดังรูป 4.5 ก, ค



รูป 4.5 การเปลี่ยนฤดูกาล แสดงภาพที่มองจากทางโคจรโดยแสงอาทิตย์เข้าทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานข่าวมือ (ก) อีควินอกซ์ฤดูใบไม้ผลิซึ่ง (ข) โซลสตีส์ฤดูร้อน (ฤดูหนาวในซีกโลกใต้) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในใด ทั้งสิ้นทั้งนี้ทั้งนั้นให้แต่โดยเสียใจแต่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากวันที่ 21 มีนาคม โลกจะโคจรไปสู่ตำแหน่งที่หันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 21 มิถุนายน โลกหันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ซีกโลกด้านเหนือได้รับแสงเป็นเวลานานกลางวันยาวกว่ากลางคืน เฉพาะบริเวณตั้งแต่เส้นรุ้ง (latitude) ที่ 66.5° เหนือ ถึงขั้วโลกเหนือเป็นเวลากลางวัน 24 ชั่วโมง ขณะเดียวกันบริเวณตั้งแต่เส้นรุ้ง 66.5° ใต้ถึงขั้วโลกใต้จะเป็นกลางคืน 24 ชั่วโมง จุดนี้เรียกว่าโซลสตีซส์ฤดูร้อน (summer solstice) ดังรูป 4.5 ข. โซนทั้งสองนี้เรียกว่า โซนอาร์คติก (arctic zone) ตรงกันข้ามคือที่ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 ธันวาคม โลกหันขั้วเหนือออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ดังนั้นซีกโลกเหนือจึงมีกลางวันสั้นกว่ากลางคืน จุดนี้เรียกว่าโซลสตีซส์ฤดูหนาว (winter solstice) ดังรูป 4.5 ง. ที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นการกำหนดฤดูกาลของตำบลในซีกโลกเหนือ สำหรับซีกโลกใต้อาจกำหนดตรงกันข้ามกับซีกโลกเหนือ

ตำบลที่อยู่ระหว่างเส้นรุ้ง 23.5° เหนือและใต้ เรียกว่า โซนทอริค (torrid zone) จะมีดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่เหนือศีรษะ 2 ครั้งใน 1 ปี ส่วนโซนระหว่างอาร์คติกกับโซนทอริคจะไม่มีดวงอาทิตย์เที่ยงวันเหนือศีรษะ

แฟกเตอร์ของฤดูกาลนี้มีผลกระทบต่อแผนรับแสงราที่ติดตั้งตายตัว ในตอนเที่ยงวันดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนมุมที่เท่ากับแนวตั้งเหนือศีรษะ 47° องศา ($\pm 23.5^{\circ}$ องศา) จากฤดูร้อนถึงฤดูหนาว ดังนั้นตำบลที่อยู่สูงกว่าเส้นรุ้ง 40° เหนือในฤดูหนาวดวงอาทิตย์เที่ยงวันจะอยู่สูง 26.5° องศาจากแนวระดับ $(90^{\circ}-40^{\circ})-23.5^{\circ}=26.5^{\circ}$

(2) ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า การหมุนที่แท้จริงประจำวันของโลกและการหมุนปรากฏของดวงอาทิตย์ที่อิกวินอกซ์ โซลสตีซส์ฤดูหนาว และโซลสตีซส์ฤดูร้อนสำหรับบริเวณเส้นศูนย์สูตร และที่ตำแหน่งบนเส้นรุ้ง 3 แห่งในซีกโลกเหนือ แสดงในรูปที่ 4.6 ที่จุดอิกวินอกซ์ทั้งสอง ระนาบของทางเดินที่ตำแหน่งหนึ่งบนโลกเคลื่อนไปในช่วงเวลามีแสงตอนกลางวันในรูป 4.6 (ก) จะตั้งฉากกับแกน

หมุนของโลกและขนานกับแนวการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ทิวเดินของดวงอาทิตย์ปรากฏในท้องฟ้าจะเป็นเส้นตรง ดวงอาทิตย์ขึ้นทางตะวันออกและตกทางทิศตะวันตก รูป 4.6 (ข) ดวงอาทิตย์เที่ยงวัน ณ จุดสังเกตการณ์อยู่สูงทำมุม $= 90^{\circ} -$ มุมเส้นรุ้งกับระนาบ

ที่โพลัสติฟส์ฤดูหนาว ระยะเวลาทางเดินที่ตำแหน่งหนึ่งบนโลกเคลื่อนที่ไปในช่วงเวลากลางวันยังคงตั้งฉากกับแกนหมุนของโลกแต่ไม่ขนานกับทิศแนวการแผ่รังสีดวงอาทิตย์

รูป 4.6 (ก) ทางเดินของดวงอาทิตย์ปรากฏในท้องฟ้าไม่เป็นเส้นตรงแต่กวาดเป็นส่วนโค้งของวงกลม ดวงอาทิตย์ขึ้นทางใต้ของทิศตะวันออกและตกทางใต้ของทิศตะวันตก

รูป 4.6 (ง) กลางวันสั้นกว่า 12 ชั่วโมงในบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร ดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่สูงทำมุมกับแนวระดับเป็นมุม $90^{\circ} - \text{มุมเส้นรุ้ง} - 23.5^{\circ}$

โพลัสติฟส์ฤดูหนาว

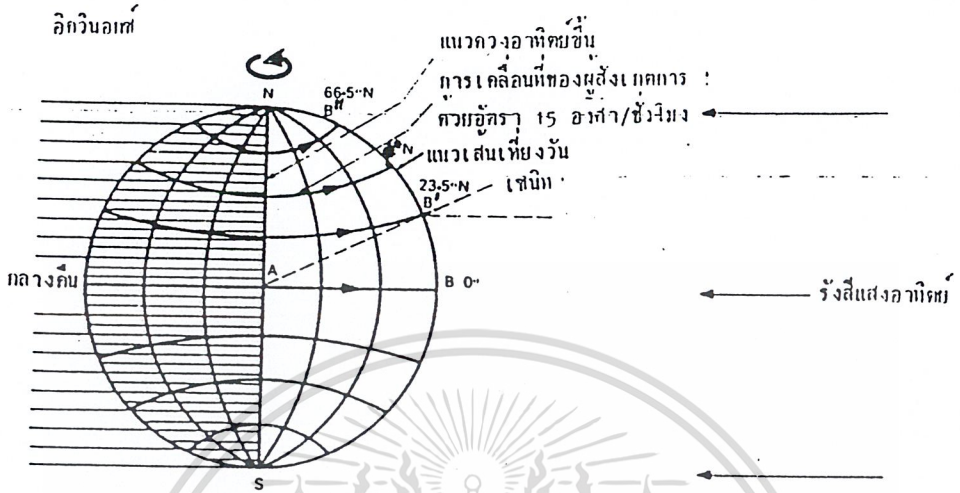
ที่โพลัสติฟส์ฤดูร้อน (ครึ่งทรงกลมด้านใต้ เป็นฤดูหนาว) การเคลื่อนตัวของโลกแสดงในรูป 4.6 (จ) ลักษณะกลับกันกับในรูป 4.6 (ก) ดวงอาทิตย์จะขึ้นและตกออกไปทางเหนือของแนวทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเป็นทางเดินวงกลม

รูป 4.6 (ฉ) เหนือเส้นศูนย์สูตรกลางวันจะยาวกว่า 12 ชั่วโมง ดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่สูงทำมุมกับแนวระดับเป็นมุม $= (90^{\circ} - \text{มุมเส้นรุ้ง} + 23.5^{\circ})$

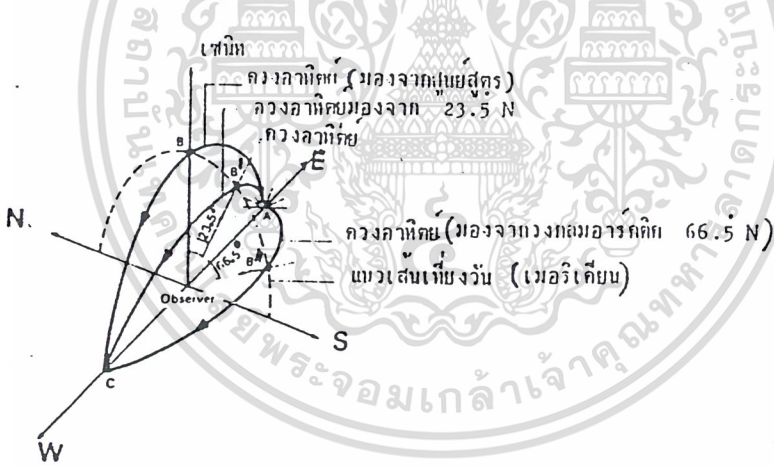
ในรูป 4.7 แสดงเส้นทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์มีผู้สังเกตการณ์อยู่

ทำมุมเส้นรุ้ง φ° เหนือ ความยาวของเส้นทางเดินดวงอาทิตย์ที่โพลัสติฟส์และอิกวีนอกซ์ แสดงสัดส่วนความยาวของช่วงเวลากลางวันดังรูป 4.8

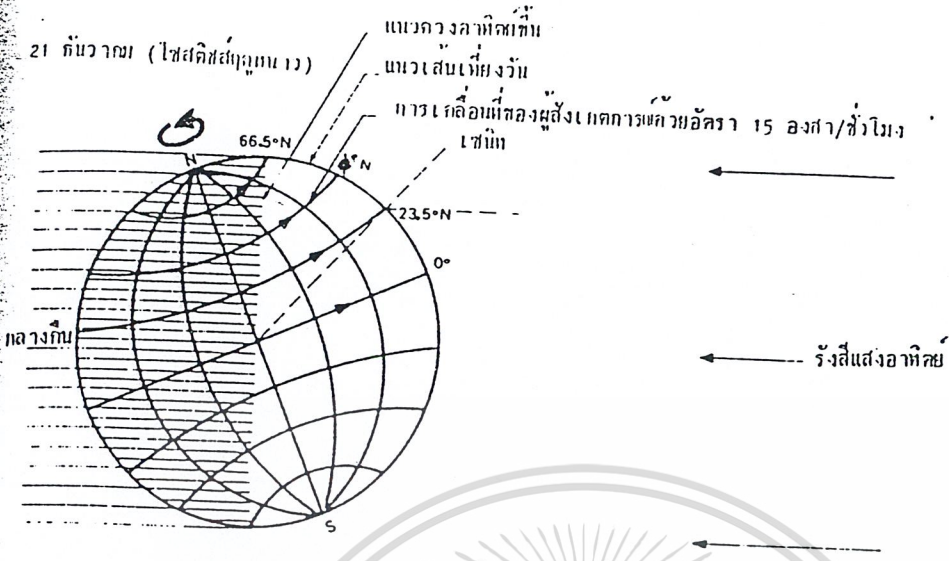
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



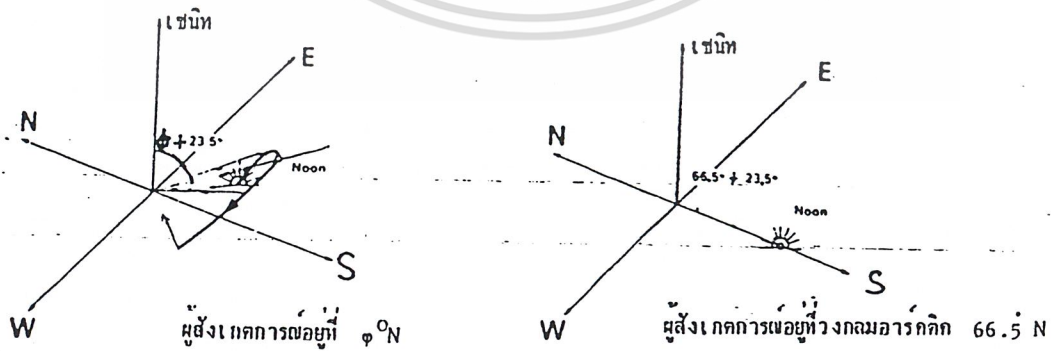
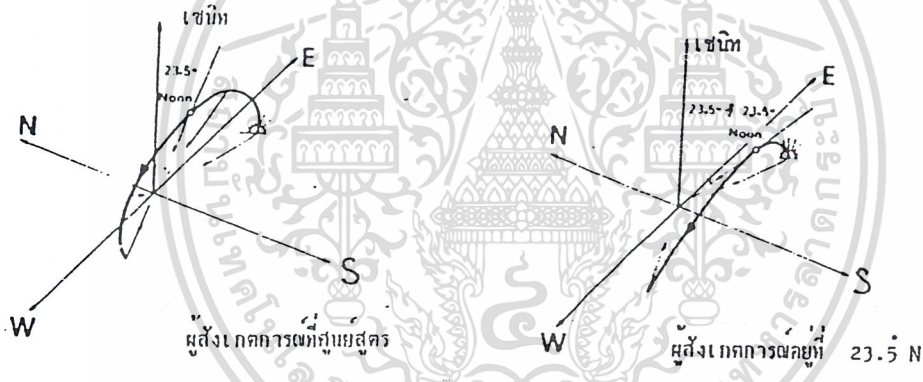
รูป 4.6 (ก) การเคลื่อนที่ของโลกที่ขั้วโลกเหนือ แสดงเส้นของจุด (23.5° N) ตอนเที่ยง



รูป 4.6 (ข) การเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่ขั้วโลกเหนือที่เส้นรุ้งต่าง ๆ กัน



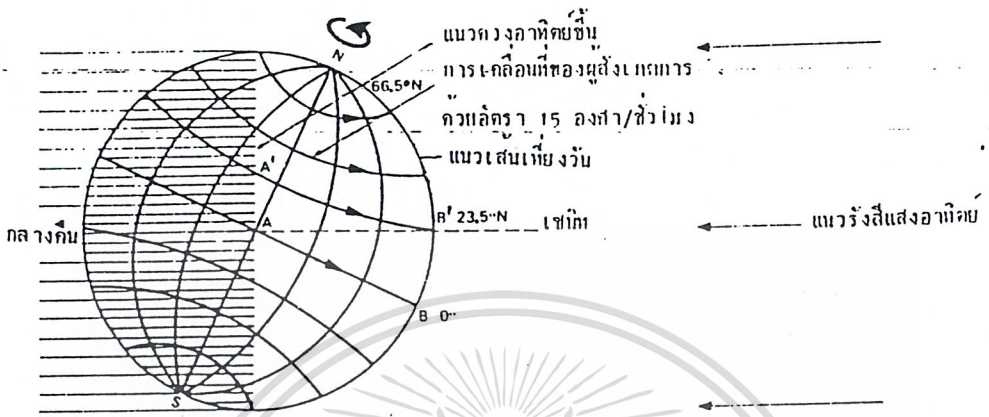
รูป 4.6 (ก) การเคลื่อนที่ของโลกที่ซอลsticeสุดหนาว



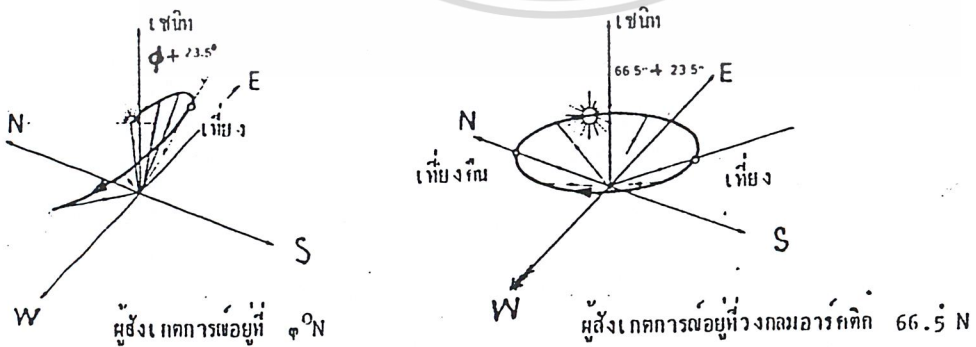
รูป 4.6 (ง) การเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้งต่าง ๆ กัน (21 ธันวาคม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21 มิถุนายน (โหละสตีส์ฤดูร้อน)



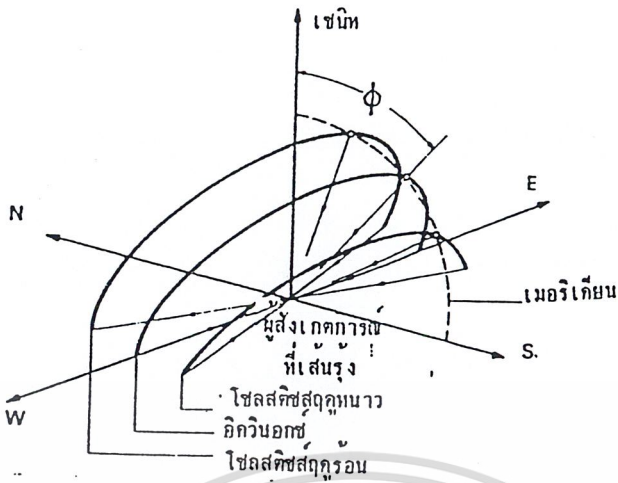
รูป 4.6 (จ) การเคลื่อนที่ของโลกที่โหละสตีส์ฤดูร้อน



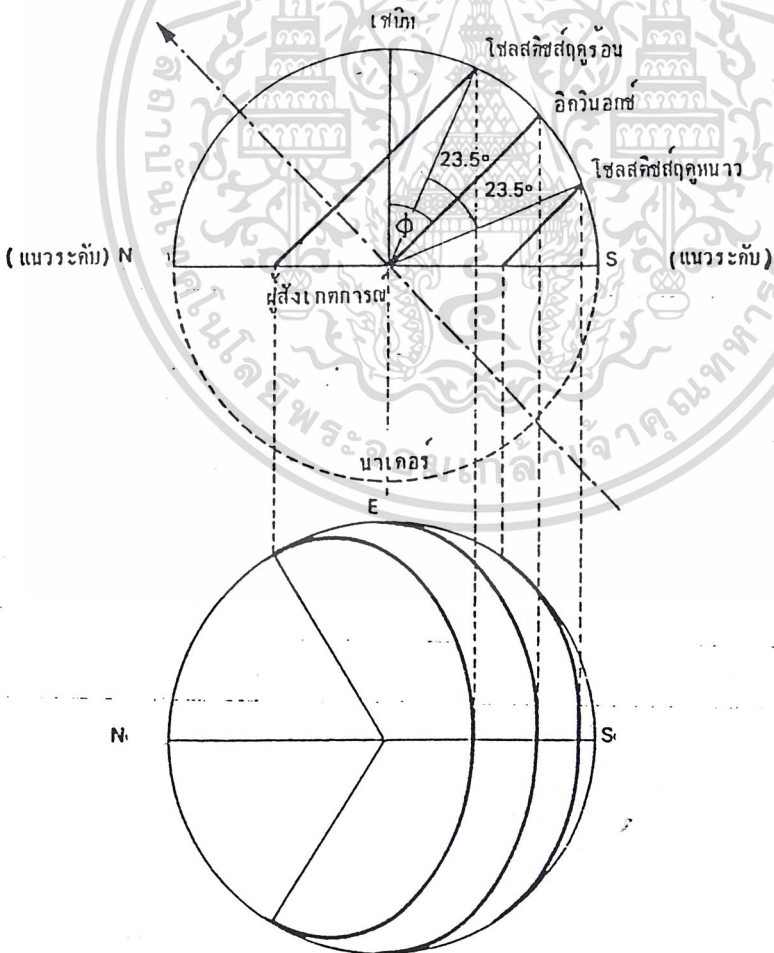
รูป 4.6 (ฉ) การเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้งต่าง ๆ กัน

(21 มิถุนายน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป



รูป 4.7 การเคลื่อนที่ปรากฏประจำวันของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้ง $\phi^{\circ}N$ ในโซลสตีซฤดูร้อนและฤดูหนาวและที่อิกวินอกซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูป 4.8 ภาพทาบข้างและด้านบนของการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์สำหรับ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้อ่านมีหน้าที่รับผิดชอบเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 จุดสังเกตการณ์ที่เส้นรุ้ง $\phi^{\circ}N$

บทที่ 5

รังสีแสงอาทิตย์ในบรรยากาศโลก

5.1 ข้อสังเกตเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ข้อมูลภูมิอากาศ

การออกแบบระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิกจำเป็นต้องทราบข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ 2 ประการ คือ ความเข้มการแผ่รังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิโดยรอบ ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราความเร็วลมก็นับว่าช่วยในการออกแบบส่วนประกอบของโครงสร้างความคงทนทั่วไปของระบบ

ความละเอียดของข้อมูลภูมิอากาศมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับความแม่นยำที่จำเป็นในการออกแบบโรงไฟฟ้าโฟโตโวลตาอิกนั้น ถ้าเราสนใจการออกแบบหลายวิธีก็ควรจะต้องทราบข้อมูลภูมิอากาศทั้งรายชั่วโมง รายวันหรือรายเดือน บางครั้งข้อมูลภูมิอากาศที่บันทึกไว้มีรายละเอียดไม่สมบูรณ์พอที่จะนำมาใช้คำนวณ ในกรณีอย่างนี้เราจำเป็นต้องใช้วิธีการบางอย่างหาสิ่งที่จำเป็นต้องใช้จากข้อมูลเท่าที่มีนั้น

เรื่องในบทต่อไปนี้ ข้อมูลเกี่ยวกับความเข้มการแผ่รังสีที่มีเป็นการแผ่รังสีในโลกรายวันและข้อมูลอุณหภูมิจะเป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละวัน เราจะต้องหาวิธีการสร้างแผนภาพเวลาที่สัมพันธ์สมผลของปริมาณทั้ง 2 นี้

ความเข้มการแผ่รังสีบนพื้นราบที่ยึดกับพื้นเป็นฟังก์ชันของตัวแปรหลายตัว ตัวแปรบางตัวก็ขึ้นกับลักษณะบรรยากาศและสภาวะทางอุณหภูมิตามวิทยา ตัวแปรอื่น ๆ อาจจะขึ้นกับทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ ฯลฯ

5.2 ผลกระทบของบรรยากาศโลกต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์

5.2.1 บรรยากาศกับการดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสี

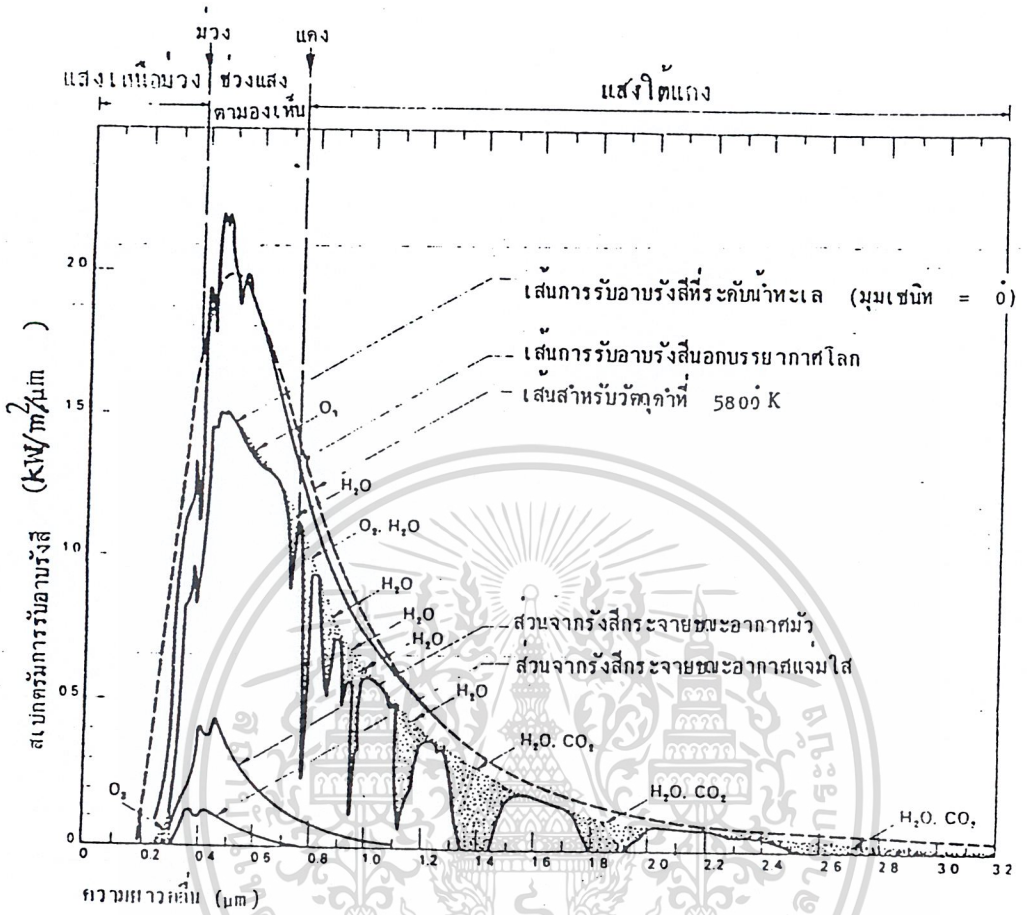
รังสีแสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศโลกจะถูกดูดกลืนเนื่องจากองค์ประกอบ

ต่าง ๆ จากกราฟสเปกตรัมสุริยะในบรรยากาศโลก รูป 5.1 จะเห็นว่าความเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าราชการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แสงอาทิตย์ตลอดทั้งช่วงคลื่นสั้น

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.1 สเปกตรัมสุริยนอกชั้นบรรยากาศและที่ระดับพื้นดิน

1. ช่วงอุลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ความยาวคลื่นต่ำกว่า $0.3 \mu\text{m}$ พลังงานของแสงจะถูกดูดกลืนโดย O_2 , N_2 , O_3 ในชั้นไอโอโนสเฟียร์ (ionosphere) โดยเฉพาะ O_3 สามารถดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเล็ตได้มาก ทำให้แสงที่ตกกระทบผิวโลก เกือบจะไม่มีพลังงานแสงในช่วงอุลตราไวโอเล็ตเหลืออยู่
2. ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ (visible) ความยาวคลื่น 0.4 ถึง $0.75 \mu\text{m}$ แสงถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของ O_2 , O_3 และน้ำบางส่วน
3. ช่วงรังสีอินฟราเรดความยาวคลื่นมากกว่า $0.8 \mu\text{m}$ แสงถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำและ CO_2 การดูดกลืนนี้อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกผิวโลกและทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชั้นบรรยากาศ

ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $8.0 - 12.0 \mu\text{m}$ บรรยากาศจะโปร่งแสง เรียกช่วงนี้ว่า หน้าต่างของบรรยากาศ (atmospheric window) ที่ความยาวคลื่นสูงกว่านี้แสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนโดยน้ำและ CO_2 เกือบหมด

นอกจากนี้แสงยังถูกสะท้อนและกระเจิง (scattering) โดยฝุ่นละออง ในอากาศ คิวบ์และก้อนเมฆ พวกที่มีขนาดโมเลกุลใกล้เคียงหรือโตกว่าความยาวคลื่น การกระเจิงโดยโมเลกุลอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นรังสีเป็นไปตาม ทฤษฎีของราเลย์ (Rayleigh)

5.2.2 รังสีตรงและรังสีกระจาย

ผลกระทบของบรรยากาศที่มีต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์มายังโลก ทำให้รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกประกอบด้วยรังสี 2 ส่วนคือ

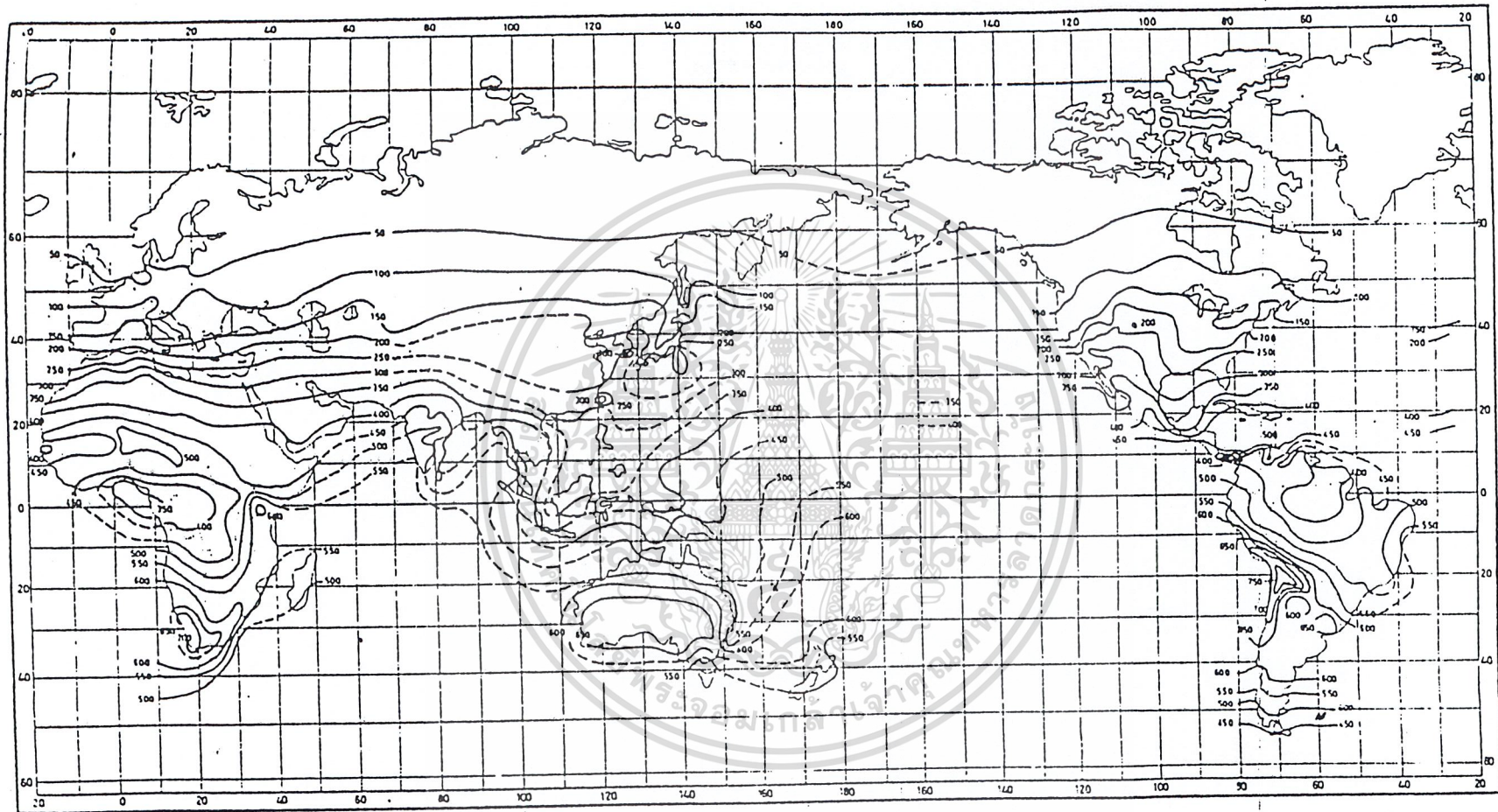
1. รังสีตรง (beam or direct radiation) รังสีส่วนนี้เป็นรังสีที่พื้นโลกได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์มีทิศทางแน่นอนถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงผลกระทบบนพื้นที่ต่าง ๆ บนโลกไปตามเวลาที่ตาม บางครั้งเรียกรังสีตรงว่าเป็นรังสีช่วงคลื่นสั้น รังสีตรงเหมาะกับการใช้งานสำหรับอุปกรณ์รวมแสง

2. รังสีกระจาย (diffuse or scattering radiation) ส่วนนี้เกิดจากการสะท้อนและการกระเจิงของรังสีแสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ บางครั้งเรียกรังสีส่วนนี้ว่ารังสีช่วงคลื่นยาว ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายเรียกว่า รังสีรวม (total or global radiation) เวลาอากาศโปร่งจะมีส่วนของรังสีกระจายเพียง 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีเมฆบังแสงอาทิตย์ การกระจายของค่ารังสีรวมเฉลี่ยรายวัน ณ บริเวณส่วนต่าง ๆ ของโลกที่เวลาต่าง ๆ¹⁷

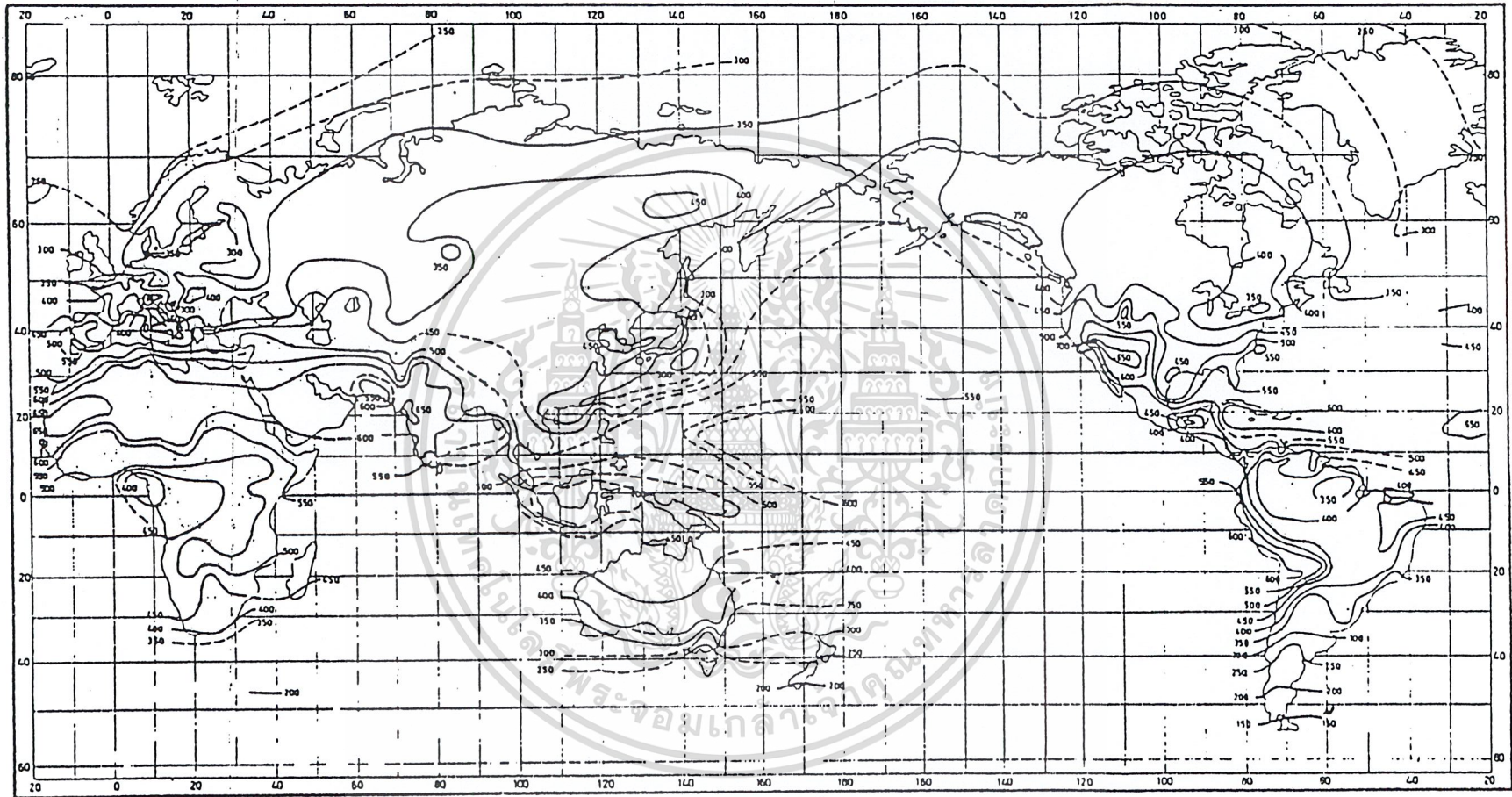
แสดงในรูป 5.2, 5.3, 5.4 และ 5.5 (หน่วยเป็น Langleys per days;

1 Langley = 0.0116 kWh/m^2)

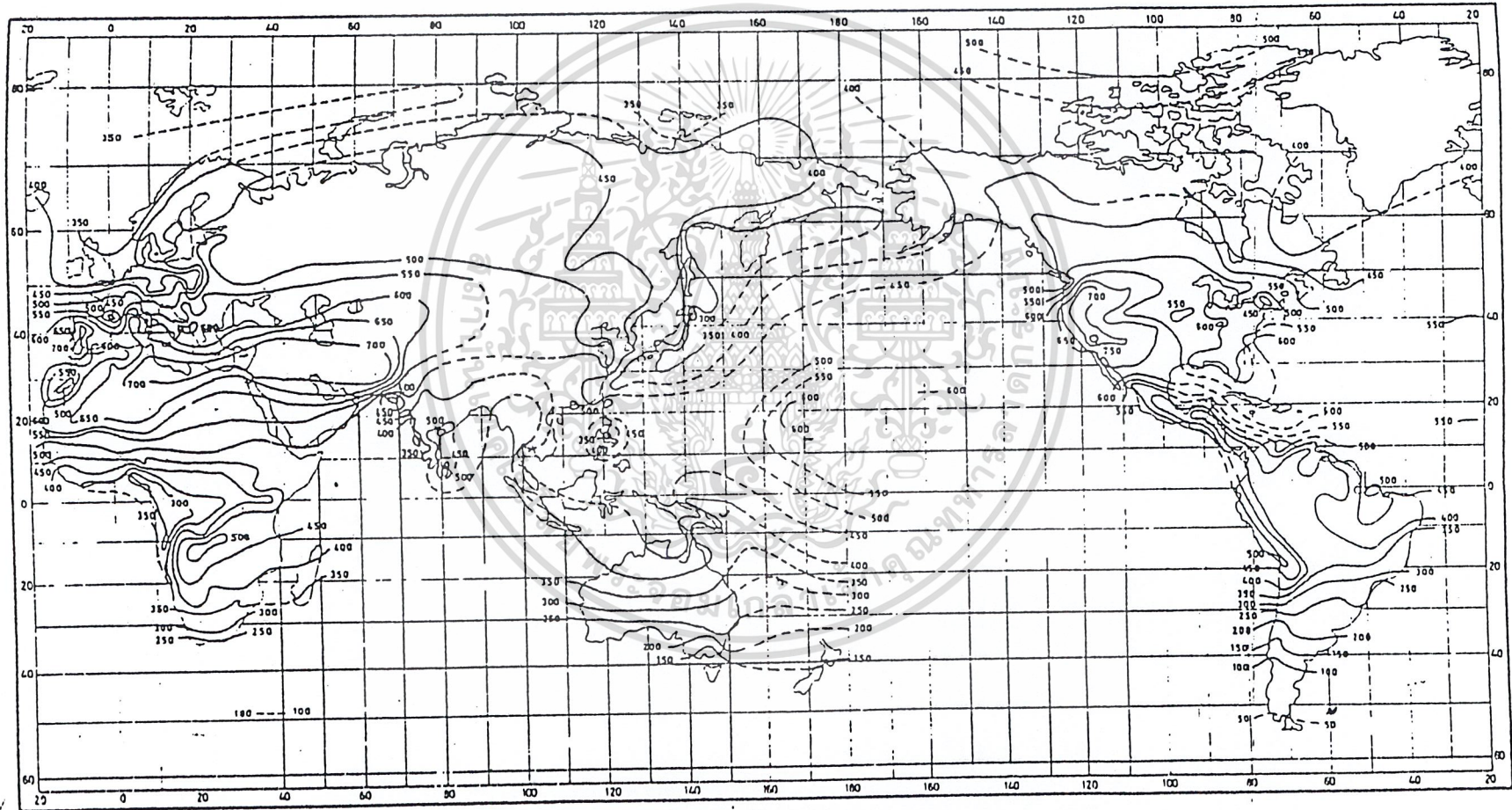
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



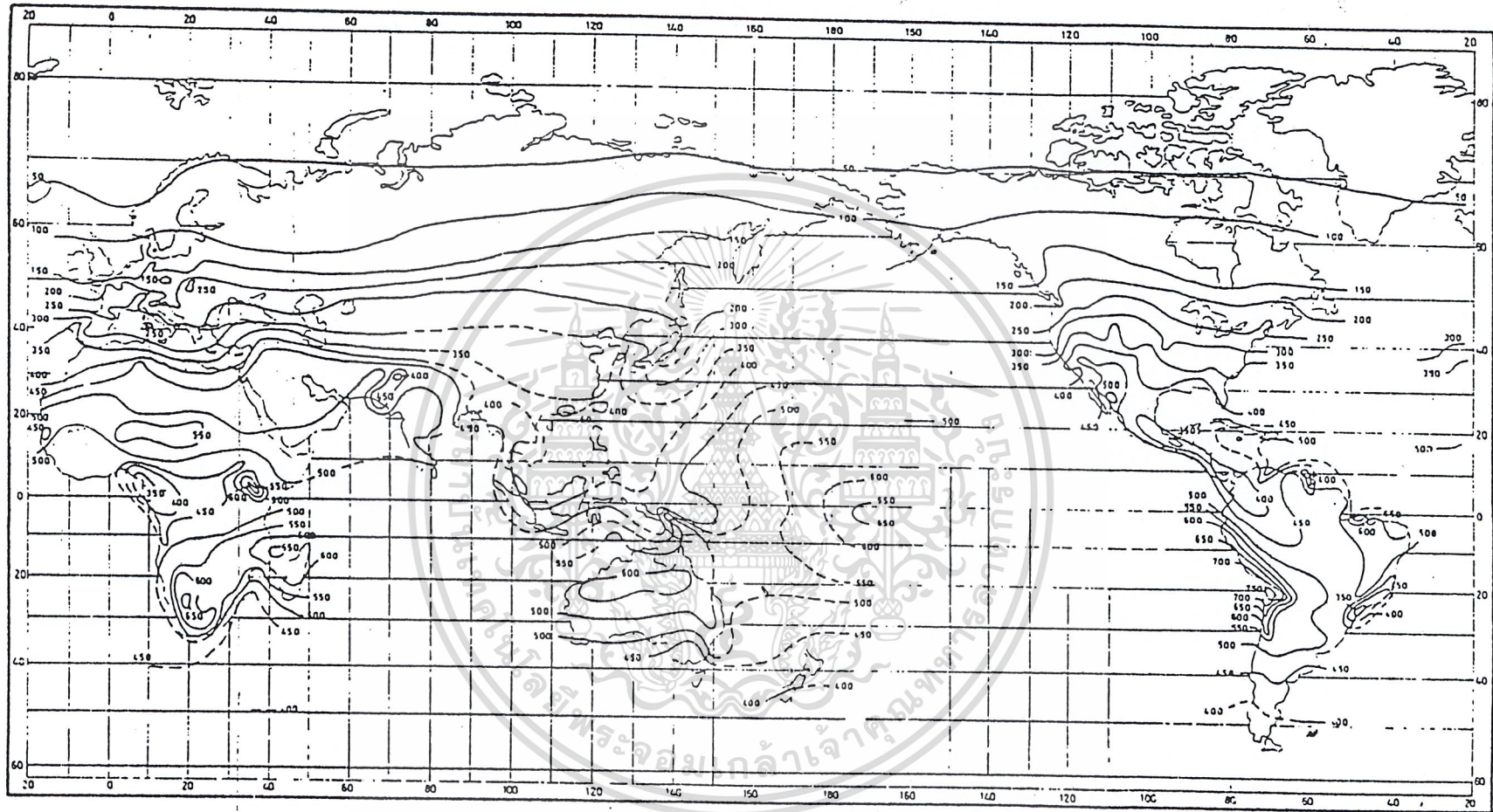
รูป 5.2 การรายวันเฉลี่ยของรังสีรวมบนพื้นระดับในเดือนมกราคม (หน่วย Langieys)



รูป 5.3 การรายวันเฉลี่ยของรังสีรวมบนพื้นระกบในเคือนแหษายน (หน่วย Langleys)



รูป 5-1-1 ความดันเฉลี่ยของรังสีรวมบนพื้นระดับในเดือนกรกฎาคม (หน่วย Langley)



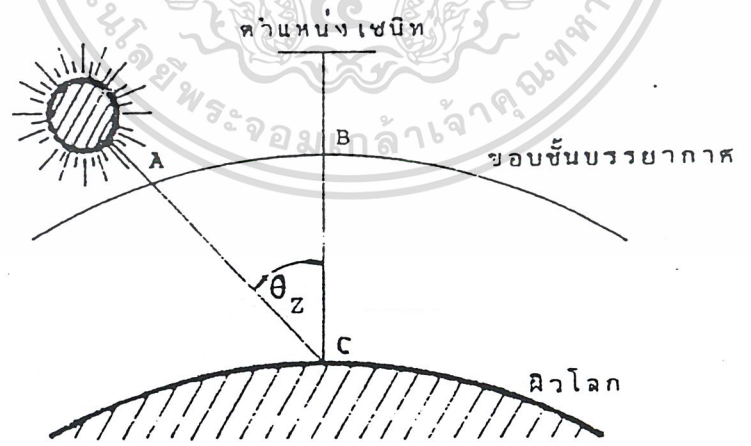
รูป 5.5 ค่ายาววันเฉลี่ยของรังสีรวมบนพื้นระดับในเดือนตุลาคม (หน่วย (Langleys))

5.2.3 อากาศมวล (Air Mass)

ในการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของบรรยากาศต่อปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ และคอสมอสเปกตรัมของรังสี ปริมาณรังสียังขึ้นอยู่กับระยะทางที่แสงต้องผ่านชั้นบรรยากาศ จึงได้มีการกำหนดควาระยะทางในแนวตั้งที่ระดับน้ำทะเลถือว่ามอากาศมวลหนึ่ง (AM1) นั้นคือเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเหนือศีรษะพอดีหรือ ที่เซนิท (zenith) มุมเซนิท $\theta_z = 0$ องศา เมื่อดวงอาทิตย์มีโคอยู่ตำแหน่งเซนิท ถ้าอากาศมวลจะเปลี่ยนไปตามค่ามุมเซนิท θ_z ดังนั้นพารามิเตอร์อากาศมวลคือ อัตราส่วนระหว่างระยะทางของแสงอาทิตย์ที่เวลาใด ๆ ต่อระยะทางเดินของแสงเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเหนือศีรษะ ดังรูป 5.6

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \tag{5.1}$$

ดังนั้นเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม $\theta_z = 60^\circ$ กับแนวตั้ง ณ จุดสังเกตการณ์ อากาศมวลมีค่าสอง (AM2) ที่บรรยากาศนอกโลก อากาศมวลมีค่าเป็นศูนย์ (AM0)



รูป 5.6 อากาศมวลที่สัมพันธ์กับมุมเซนิท θ_z , $\cos \theta_z = \frac{BC}{AC}$

5.3 รังสีแสงอาทิตย์ขณะภาวะอากาศแจ่มใส

5.3.1 รังสีตกกระทบบนพื้นราบแนวระดับที่ตั้งตายตัว

การพิจารณาหลักของรังสีตกกระทบบนพื้นราบแนวระดับที่ตั้งตายตัวเป็นก้าวแรกที่จะนำไปสู่การหาหลักของรังสีตกกระทบบนพื้นเอียง เวลาของวันนี้ว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญมาก ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันเหนือศีรษะ เวลาสุริยะคติปรากฏ (apparent solar time, AST) จะเป็น 12 ชั่วโมง แต่เวลาท้องถิ่น (local clock time, LCT) จะต่างออกไป หรือสังเกตความแตกต่างระหว่างเวลาทั้งสองคือ เวลาสุริยะ เป็นเวลาที่วัดด้วยนาฬิกาแดด ส่วนเวลาท้องถิ่นคือเวลาที่ดูจากนาฬิกา เราจะใช้เวลาสุริยะสำหรับการคำนวณทั้งหลายในวิชานี้ แต่เวลาที่ใช้ในข้อมูลหลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลาท้องถิ่นอ่านจากนาฬิกา ดังนั้นก่อนจะนำไปใช้ในการคำนวณจะต้องเปลี่ยนเวลาท้องถิ่นเป็นเวลาสุริยะเสียก่อน¹¹

$$AST = LCT + TZ_W - \lambda \frac{E}{W} + EQT/60 \quad (5.2)$$

Tz คือเขตเวลา (time zone)¹¹ เป็นตัวเลขกำหนดเขต ค่า Tz หา

ได้จากการเอาค่าเส้นแวง (หน่วยองศา) ณ บริเวณที่ตั้งหอคอย 15 ผลลัพธ์เป็นเบอร์เขตถ้าเช่นน้อยกว่า 7.5 และ (ผลลัพธ์ + 1) จะเป็นเบอร์เขตถ้าเช่นมากกว่า 7.5 (+ Tz สำหรับเส้นแวงตะวันตกและ -Tz สำหรับเส้นแวงตะวันออก)

λ เป็นเวลาที่ตำแหน่งเส้นแวงของที่ตั้ง λ หาได้จากการเอาเส้นแวง

(หน่วยองศา) ณ จุดที่ตั้งหอคอย 15 (+ λ สำหรับเส้นแวงตะวันออกและ - λ สำหรับเส้นแวงตะวันตก)

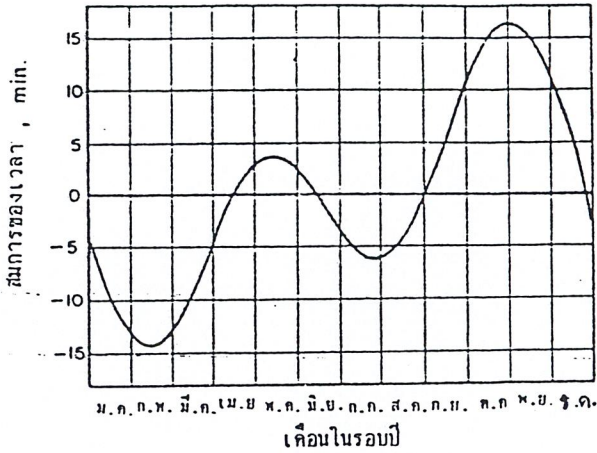
EQT เป็นสมการของเวลา (equation of time) (หน่วยนาที)

เป็นค่าที่ใช้แก้ไขเวลาเนื่องจากความไม่เที่ยงตรงของวงโคจรของโลก ดังรูป 5.7

หมายเหตุ ทุกๆ เหนือมีค่าเป็นชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.7 สมการของเวลาในรอบปี

ตัวอย่างที่ 5.1 ที่กรุงเทพฯ เส้นแวง $100^{\circ} 0'$ ตะวันออก เวลาท้องถิ่นเป็น 8.30 นวันที่ 1 พฤษภาคม จงคำนวณเวลาสุริยคติ

$$\text{เวลาท้องถิ่น LCT} = 8 \frac{30}{60} = 8.5 \text{ ชั่วโมง}$$

$$\text{EQT เดือนพฤษภาคม จากกราฟ 5.8} = 3.5 \text{ นาที}$$

$$\text{TZ}^E = \frac{100 \text{ องศา}}{15 \text{ องศา/ชั่วโมง}} = 6 \text{ เศษ } 10' \text{ (คิด } \text{Tz}^E = 7 \text{ ชั่วโมง)}$$

$$\lambda^E = \frac{100 \text{ องศา}}{15 \text{ องศา/ชั่วโมง}} = 6.67 \text{ ชั่วโมง}$$

จากสมการ 5.2

$$\text{AST} = 8.5 - 7 + 6.67 + \frac{3.5}{60}$$

$$= 8.228 \text{ ชั่วโมง}$$

$$\text{หรือ } 8 + (0.228 \times 60)$$

$$= 8 \text{ นาฬิกา } 13.68 \text{ นาที}$$

$$\text{เวลาสุริยคติ} \approx 8:14 \text{ น.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปนี้จะใช้เวลาสุริยะคติในการหาอัลติจูดสุริยะ (solar altitude) และมุมแอสซิมูท (azimuth angle) ของดวงอาทิตย์ จากรูป 5.8 และ 5.9 แสดงมุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ¹³

(1) มุมชั่วโมง ω (hour angle) เป็นมุมของตำแหน่งของสถานที่ตั้งเบนไปจากดวงอาทิตย์เที่ยงวัน (solar noon) เนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลก อาจแสดงค่า ω เป็นองศาโดยการคูณผลต่างของเวลาขณะนั้นเป็นชั่วโมงกับเวลาเที่ยง

(12) ควย 360/24

$$\omega(\text{องศา}) = -15(12 - t) \quad (5.3)$$

ω เป็นลบในช่วงเช้าก่อนเที่ยงวัน และ ω เป็นบวกในตอนบ่าย

(2) มุมเซนิท θ_z (zenith angle) และอัลติจูดสุริยะ α (solar altitude)

θ_z เป็นมุมระหว่างแนวตั้งเหนือศีรษะจากเซนิทกระทำกับแนวรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์ ณ จุดที่ตั้งบนพื้นราบแนวระดับ ส่วน α เป็นมุมประกอบ 90° ของ θ_z

$$(\alpha = 90^\circ - \theta_z)$$

$$\cos\theta_z = \sin\alpha = \cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta \quad (5.4)$$

เป็นมุมเส้นรุ้ง (latitude) (ใช้ค่าบวกที่ ชีกโลกเหนือ) ϕ เป็น

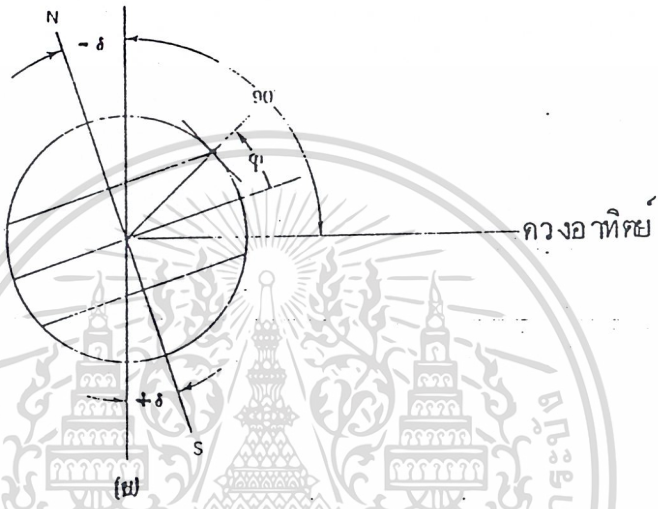
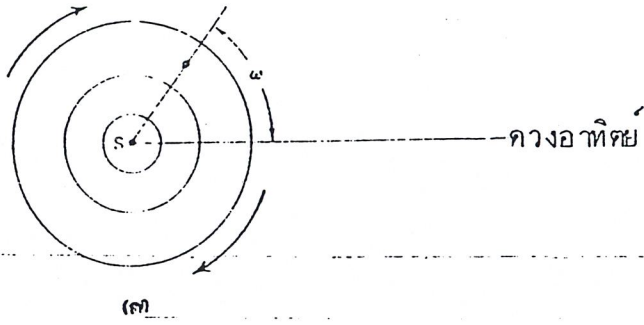
มุมเดคลิเนชัน

(3) แอสซิมูทสุริยะ ϕ (solar azimuth) เป็นมุมที่วัดระหว่างระนาบแนวตั้งของรังสีตกกระทบกระทำกับแนวทิศใต้ (แนวทิศเหนือสำหรับซีกโลกใต้) ของระนาบเมอร์เคียน ณ ตำแหน่งที่ตั้งบนพื้นราบแนวระดับ หน่วยเป็นองศา

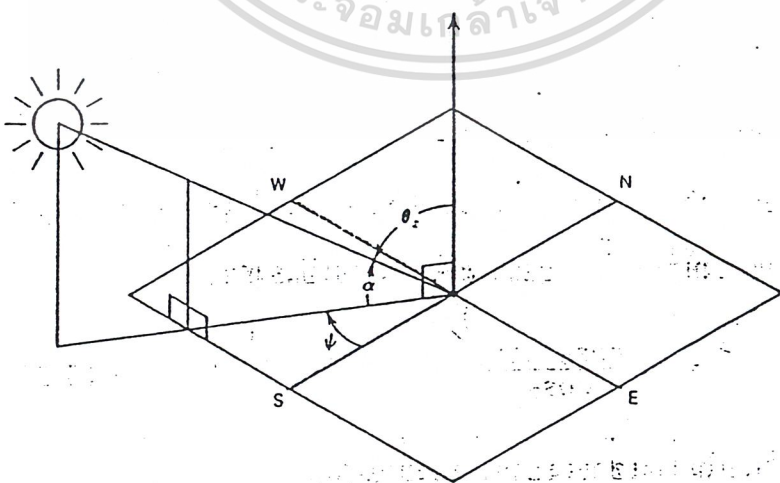
$$\sin\phi = \frac{\cos\delta \sin\omega}{\cos\alpha} \quad (5.5)$$

ϕ เป็นลบในช่วงเช้าและบวกในช่วงบ่าย

หมายเหตุ: ค่า ϕ ที่คำนวณได้มีได้ 2 ค่าคือ ϕ หรือ $\pm(180^\circ - |\phi|)$ เพราะ $\sin\phi = \sin(180^\circ - \phi)$ ทั้งห้ามใช้เครื่องหมายลบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.8 มุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณรังสีตรงกระบอกตั้งฉากจาก (ก) มองจากขั้วโลกใต้แสดงมุมชั่วโมง ω (แผนกระดาษไม่จำเป็นต้องอยู่ในระนาบโคจรของโลก) (ข) แสดงส่วนสัมพันธ์ของมุมเส้นรุ้ง ϕ และมุม declination δ



รูป 5.9 มุม zenith θ_z อัลติจูด α และแอสซิมุท ϕ ที่สัมพันธ์

การเลือกค่า ϕ ที่ถูกต้องให้พิจารณาดังนี้

$|\phi| \geq 90^\circ$ เมื่ออัลติจูดสุริยะที่คำนวณจากสมการ 5.4 น้อยกว่าอัลติจูดสุริยะเมื่อมุมแอสซิมูตของดวงอาทิตย์เป็น $\pm 90^\circ$ ในสมการ 5.6

$$\sin\alpha = \frac{\sin\delta}{\sin\phi} \quad (5.6)$$

$|\sin\alpha| > 1$ ในเขตรอบก (tropic zone) ก็คือ $|\phi| < |\delta|$

ดวงอาทิตย์จะอยู่ในบริเวณทิศเหนือหรือใต้ของท้องฟ้าตลอดวัน

(4) มุมชั่วโมงดวงอาทิตย์ขึ้นและตก ω_s หาจากสมการ 5.4 เมื่อ $\alpha = 0$

$$\cos \omega_s = -\tan\phi \tan\delta \quad (5.7)$$

ω_s เป็นลบสำหรับดวงอาทิตย์ขึ้นและเป็นบวกเมื่อดวงอาทิตย์ตก $\cos \omega_s > 1$ ในเขตราคติคเมื่อไม่มีดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตกเลย

สำหรับ ω_s หน่วยเป็นชั่วโมงต่างจากเวลาเที่ยง

$$\text{ใช้ } \omega_s = \pm \frac{24}{360} \times \arccos(-\tan\phi \tan\delta) \quad (5.8)$$

ดังนั้น $AST = (12.00 + \omega_s)$ ชั่วโมง นำไปคำนวณหา LCT ของดวงอาทิตย์ขึ้นและตกได้

ความรับอับรังสีรวมบนพื้นโลก (global irradiance) (W/m^2) บนพื้นที่ราบ แนวนระกัับเป็นผลรวมของความรับอับรังสีตรง (direct or beam irradiance) กับรังสีกระจาย (diffuse irradiance)

$$H_{\text{global}} = H_{\text{beam}} + H_{\text{diffuse}}$$

$$H_{\text{global}} = I_{\text{BN}} \sin\alpha + CI_{\text{BN}} \quad (5.9)$$

I_{BN} เป็นความหนาแน่นกำลังงาน¹⁴ (power density), (W/m^2) หรือฟลักซ์สุริยะ (solar flux) ทั่วทั้งจากกับแนวรังสีตรงบนพื้นโลก [รังสีเมื่อผ่านชั้น

บรรยากาศลงมากความแรงจะลดลงเป็นลำดับเนื่องจากดัชนีการลดทอน (attenuation index) หรือ ส.ป.ส. การทำลาย (extinction coefficient)]

พารามิเตอร์ C เป็นค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของอัตราส่วนระหว่าง $H_{diffuse}$ กับ I_{BN} เมื่อภาวะอากาศแจ่มใส ณ-สถานนั้น ๆ

ตัวอย่างที่ 5.2 สำหรับวันที่อากาศแจ่มใส เวลาสุริยคติเป็น 10.00 (ตอนเช้า) วันที่ 21 พฤศจิกายน ($N = 325$) ที่เส้นรุ้ง $40^\circ N$

(ก) จงหามุมเคลลีเนชัน อัลติจูด มุมแอซิมูทของดวงอาทิตย์ และ
รังสีตกกระทบตั้งฉากพื้นโลกมีฟลักซ์สุริยะ $I_{BN} = 844 \text{ W/m}^2$ และ
 $C = 0.063$ ที่ระดับน้ำทะเล จงหาฟลักซ์ของรังสีตกกระทบพื้นโลกที่ระดับน้ำทะเล

(ข) จงหาเวลาสุริยคติของดวงอาทิตย์ขึ้นและตกและความยาวของ
กลางวันในวันนี้ด้วย

$$\begin{aligned} \text{(ก) มุมซัวโมง} \quad \omega &= -15(12 - 10) = -30^\circ \\ \phi &= 40^\circ \end{aligned}$$

จากสมการ 4.2

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\left(\frac{284 + 325}{365} \right) \times 360 \right] = -20.4^\circ$$

ใช้สมการ 5.4

$$\sin \alpha = \cos 40^\circ \cos(-20.4^\circ) \cos(-30^\circ) + \sin 40^\circ \sin(-20.4^\circ) = 0.3972$$

$$\text{อัลติจูด } \alpha = \arcsin(0.3972) = 23.4^\circ$$

จากสมการ 5.5

$$\sin \phi = \frac{\cos(-20.4^\circ) \sin(-30^\circ)}{\cos 23.4^\circ} = -0.5105$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I. EXTRATERRESTRIAL SOLAR RADIATION

The sun has structure and characteristics which determine the nature of the energy it radiates into space. This chapter notes the characteristics of this energy outside of the earth's atmosphere, and is the basis of the next chapter, which deals with the effects of the atmosphere in attenuating the radiation and the characteristics of the resulting energy resource available at the earth's surface. We are concerned here primarily with radiation in a wavelength range of 0.3 to 3.0 μm , that portion of the spectrum which includes most of the energy of solar radiation.

1.1 THE SUN

The sun is a sphere of intensely hot gaseous matter with a diameter of 1.39×10^6 km, and is, on the average, 1.5×10^8 km from the earth. As seen from the earth, the sun rotates on its axis about once every four weeks. However, it does not rotate as a solid body, the equator taking about 27 days and the polar regions about 30 days for each rotation.

The surface of the sun is at an effective temperature of about 5762°K*. The temperature in the central interior regions is variously estimated at 8×10^6 to 40×10^6 °K, and the density about 80 to 100 times that of water. The sun is, in effect, a continuous fusion reactor with its constituent gases as the "containing vessel" retained by gravitational forces. The fusion reactions which have been suggested to supply the energy radiated by the sun have been several; the one considered the most important is a process in which hydrogen (i.e., four protons) combines to form helium (i.e., one helium nucleus); the mass of the helium nucleus is less than that of the four protons, mass having been lost in the reaction and converted to energy.

This energy is produced in the interior of the solar sphere, at temperatures of many millions of degrees. It must

*This leads to the same total energy as is received from the sun above the atmosphere. See Thekaekara (1974).

transfer out to the surface and then be radiated into space. A succession of radiative and convective processes must occur, with successive emission, absorption, and reradiation; the radiation in the sun's core must be in the x-ray and gamma ray parts of the spectrum with the wavelengths of the radiation increasing as the temperature drops at larger radial distances.

A schematic of the structure of the sun is shown in Figure 1.1.1. It is estimated that 90% of the energy is generated in the region 0 to $0.23 R$ (where R = radius of the sun), which contains 40% of the mass of the sun. At a distance $0.7 R$ from the center, the temperature has dropped to about $130,000^\circ\text{K}$ and the density has dropped to 0.07 g/cc ; here convection processes begin to become important and the zone from 0.7 to $1.0 R$ is known as the *convective zone*. Within this zone, the temperature drops to about 5000°K and the density to about 10^{-8} g/cc .

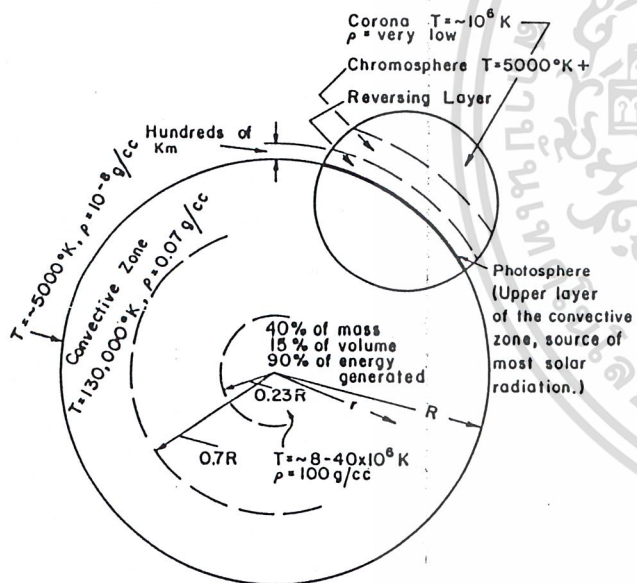


Figure 1.1.1 Schematic of the structure of the sun.

The sun's surface appears to be composed of granules (irregular convection cells), with dimensions of cells estimated

as being from 1000 to 3000 km and with cell lifetime of a few minutes. The upper layer of the convective zone is called the *photosphere*. The edge of the photosphere is sharply defined, even though it is of low density (about 10^{-4} that of air at sea level). It is essentially opaque, as the gases of which it is composed are strongly ionized and able to absorb and emit a continuous spectrum of radiation. The photosphere is the source of most solar radiation.

Outside of the photosphere is a more or less transparent solar atmosphere, which is observable during total solar eclipse or by instruments that occult the solar disk. Above the photosphere is a layer of cooler gases several hundred miles deep called the *reversing layer*. Outside of that is a layer referred to as the *chromosphere*, with a depth of about 10,000 km. This is a gaseous layer with temperature somewhat higher than that of the photosphere and with lower density. Still further out is the *corona*, of very low density and of very high (10^6 K) temperature.

This simplified picture of the sun, its physical structure, and its temperature and density gradients, will serve as a basis for appreciation that the sun does not, in fact, function as a blackbody radiator at a fixed temperature. Rather, the emitted solar radiation is the composite result of the several layers which emit and absorb radiation of various wavelengths. There is also some minor variability with time in spectral intensity distribution in the very short- and long-wave parts of the spectrum. For many purposes (e.g., thermal process), it is adequate to consider the sun as a blackbody radiator at about 5762°K ; for other processes which are wavelength-dependent and where the spectral distribution is important (e.g., in photochemical or photovoltaic processes), more detailed considerations may be necessary. For further information on this subject see Thomas (1958), or Elson (1974).

1.2 THE SOLAR CONSTANT

Figure 1.2.1 shows schematically the geometry of the sun-earth relationships. The eccentricity of the earth's orbit is such that the distance between the sun and the earth varies by $\pm 3\%$. At a distance of one astronomical unit, the mean earth-sun distance, the sun subtends an angle of $32'$. The characteristics of the sun and its spatial relationship to the earth result in a nearly fixed intensity of solar radiation outside of the earth's atmosphere. The *solar constant*, I_{sc} , is the energy from the sun, per unit time, received on a unit area of surface

perpendicular to the radiation, in space, at the earth's mean distance from the sun.

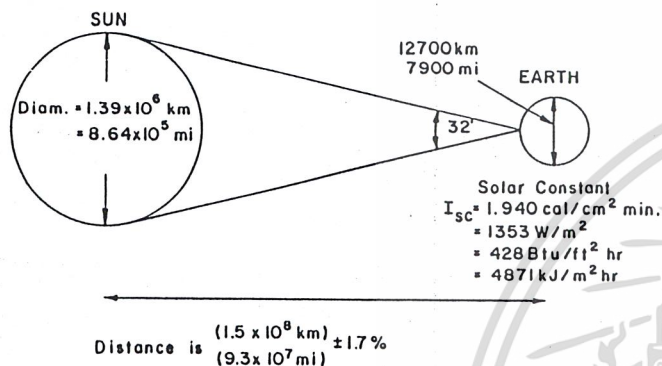


Figure 1.2.1 Schematic of sun-earth relationships (not to scale). The angle subtended by the sun at mean earth-sun distance is 32'.

Until recently, estimates of the solar constant had to be made from ground-based measurements of solar radiation after it had been transmitted through the atmosphere, and thus in part absorbed and scattered by components of the atmosphere. Extrapolations from the terrestrial measurements, which were made from high mountains, had to be based on estimates of atmospheric transmission in various portions of the solar spectrum. Pioneering studies were done by C. G. Abbot and his colleagues at the Smithsonian Institution. These studies and later measurements from rockets were summarized by Johnson (1954); Abbot's value of the solar constant of 1322 W/m², was revised upward by Johnson to 1395 W/m².

More recently, the availability of very high altitude aircraft, balloons, and spacecraft has permitted direct measurements of solar intensity outside most or all of the earth's atmosphere. These measurements have been reviewed and summarized, and a new standard value of the solar constant proposed by Thekaekara and Drummond (1971), as 1353 W/m² (1.940 cal/cm² min, 428 Btu/ft² hr, or 4871 kJ/m² hr).

1.3 SPECTRAL DISTRIBUTION OF EXTRATERRESTRIAL RADIATION

In addition to the total energy (i.e., solar constant) in the solar spectrum, it is useful to know the spectral distribution of this radiation. The accepted value of the solar constant has changed primarily because of improved knowledge of extraterrestrial radiation in particular portions of the spectrum. A new standard spectral irradiance curve has been compiled, based on high altitude and space measurements. The new proposed standard from NASA (1971) is shown in Figure 1.3.1. The averaged energy over small bandwidths centered at wavelength λ and the integrated energy for wavelengths less than λ for the new proposed standard curve are indicated in Table 1.3.1.

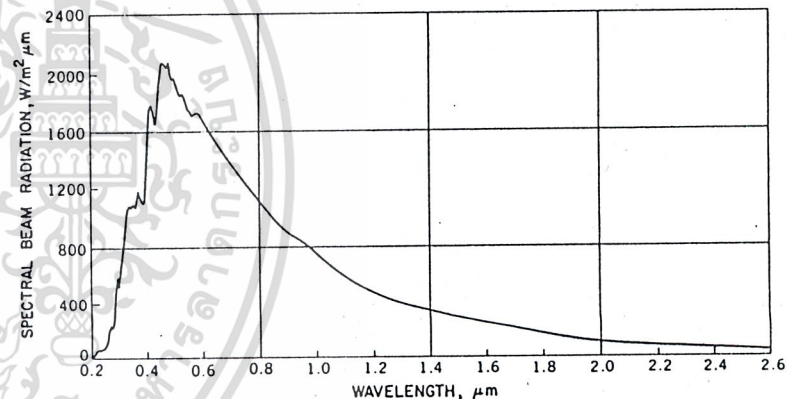


Figure 1.3.1 The NASA (1971) Standard spectral irradiance at the mean sun-earth distance and a solar constant of 1353 W/m².

Example 1.3.1 Calculate the fraction of the extraterrestrial solar radiation and the amount of that radiation in the ultraviolet ($\lambda < 0.38 \mu\text{m}$), the visible ($0.38 \mu\text{m} < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$), and the infrared ($\lambda > 0.78 \mu\text{m}$) portions of the spectrum.

From Table 1.3.1, the fractions D_λ corresponding to wavelengths of 0.38 and 0.78 μm are 0.0700 and 0.5429 (interpolated). Thus, the fraction in the ultraviolet is 0.0700, the fraction in the visible range is (0.5429 - 0.0700)

= 0.4729, and the fraction in the infrared is (1.0 - 0.5429) = 0.4571. Applying these fractions to a solar constant of 1353 W/m² and tabulating the results, we get

Wavelength range, μm	0 - 0.38	0.38 - 0.78	0.78 - ∞
Fraction in range	0.0700	0.4729	0.4571
Energy in range, W/m ²	95	640	618

TABLE 1.3.1 Extraterrestrial Solar Irradiance (Solar Constant = 1353 W/m²).*

λ	E_λ	D_λ	λ	E_λ	D_λ	λ	E_λ	D_λ
0.115	.007	1×10 ⁻⁴	0.43	1639	12.47	0.90	891	63.37
0.14	.03	5×10 ⁻⁴	0.44	1810	13.73	1.00	748	69.49
0.16	.23	6×10 ⁻⁴	0.45	2006	15.14	1.2	485	78.40
0.18	1.25	1.6×10 ⁻³	0.46	2066	16.65	1.4	337	84.33
0.20	10.7	8.1×10 ⁻³	0.47	2033	18.17	1.6	245	88.61
0.22	57.5	0.05	0.48	2074	19.68	1.8	159	91.59
0.23	66.7	0.10	0.49	1950	21.15	2.0	103	93.49
0.24	63.0	0.14	0.50	1942	22.60	2.2	79	94.83
0.25	70.9	0.19	0.51	1882	24.01	2.4	62	95.86
0.26	130	0.27	0.52	1833	25.38	2.6	48	96.67
0.27	232	0.41	0.53	1842	26.74	2.8	39	97.31
0.28	222	0.56	0.54	1783	28.08	3.0	31	97.83
0.29	482	0.81	0.55	1725	29.38	3.2	22.6	98.22
0.30	514	1.21	0.56	1695	30.65	3.4	16.6	98.50
0.31	689	1.66	0.57	1712	31.91	3.6	13.5	98.72
0.32	830	2.22	0.58	1715	33.18	3.8	11.1	98.91
0.33	1059	2.93	0.59	1700	34.44	4.0	9.5	99.06
0.34	1074	3.72	0.60	1666	35.68	4.5	5.9	99.34
0.35	1093	4.52	0.62	1602	38.10	5.0	3.8	99.51
0.36	1068	5.32	0.64	1544	40.42	6.0	1.8	99.72
0.37	1181	6.15	0.66	1486	42.66	7.0	1.0	99.82
0.38	1120	7.00	0.68	1427	44.81	8.0	.59	99.88
0.39	1098	7.82	0.70	1359	46.88	10.0	.24	99.94
0.40	1429	8.73	0.72	1314	48.86	15.0	4.8×10 ⁻²	99.98
0.41	1751	9.92	0.75	1235	51.69	20.0	1.5×10 ⁻²	99.99
0.42	1747	11.22	0.80	1109	56.02	50.0	3.9×10 ⁻⁴	100.00

* E_λ is solar spectral irradiance averaged over small bandwidth centered at λ , in W/m² μm ; D_λ is percentage of the solar constant associated with wavelengths shorter than λ . From Thekaekara (1974)

REFERENCES

- Elson, B. M., Aviation Week and Space Technology, 63, (January 14, 1974). "Theoretical Picture of Sun Still Evolving."
- Johnson, F. S., J. Meteorol., 11, 431 (1954). "The Solar Constant."
- NASA SP-8005, National Aeronautics and Space Administration, May (1971). "Solar Electromagnetic Radiation."
- Thekaekara, M. P. and Drummond, A. J., Nat. Phys. Sci., 229, 6 (1971). "Standard Values for the Solar Constant and Its Spectral Components."
- Thekaekara, M. P., Supplement to Proc. 20th Annual Meeting of Inst. for Environmental Sci., 21 (1974). "Data on Incident Solar Radiation."
- Thomas, R. N., Transactions of the Conference on Use of Solar Energy, 1, 1, University of Arizona Press, 1958. "The Features of the Solar Spectrum as Imposed by the Physics of the Sun."

2. SOLAR RADIATION AT EARTH'S SURFACE

Chapter 1 noted the intensity and spectral distribution of solar radiation outside of the atmosphere at earth-sun distance. Here we consider factors affecting radiation intensity at the ground, that is, atmospheric attenuation and receiving-surface orientation. In Chapter 3 we will consider measurement of solar radiation, the data that are available, and methods of conversion of those data to the forms useful in predicting and analyzing the performance of solar processes.

In general, it is not practical to start from knowledge of extraterrestrial radiation and predict the intensity and spectral distribution to be expected on the ground. Adequate meteorological data for such calculations are seldom available, and recourse is usually made to measurements. However, an understanding of atmospheric attenuation and effects of orientation of receiving surface is useful in understanding and using solar radiation data.

2.1 DEFINITIONS

Several definitions will be useful in understanding this chapter:

Beam Radiation is that solar radiation received from the sun without change of direction.

Diffuse Radiation is that solar radiation received from the sun after its direction has been changed by reflection and scattering by the atmosphere.

Air Mass, m , is the path length of radiation through the atmosphere, considering the vertical path at sea level as unity. Thus at sea level, $m = 1$ when the sun is at the zenith (i.e., directly overhead), and $m = 2$ for a zenith angle (θ_z , the angle subtended by the zenith and the line of sight to the sun) of 60° . For all but very high zenith angles ($m > 3$, where the earth's curvature becomes significant),

$$m = \sec \theta_z \quad (2.1.1)$$

2.2 VARIATION OF EXTRATERRESTRIAL RADIATION

It has been determined from analyses of radiation data that the variations in total radiation emitted by the sun are probably less than $\pm 1.5\%$ [see Moon (1940) or Thekaekara (1965)]. For purposes of thermal processes that use energy in large fractions of the total solar spectrum, and where the transmittance of the atmosphere is a major uncertainty, the emission of energy by the sun can be considered as constant.

Variations in earth-sun distance do, however, lead to variations of extraterrestrial radiation flux in the range of $\pm 3\%$. The dependence of extraterrestrial radiation with time of year is shown in Figure 2.2.1.

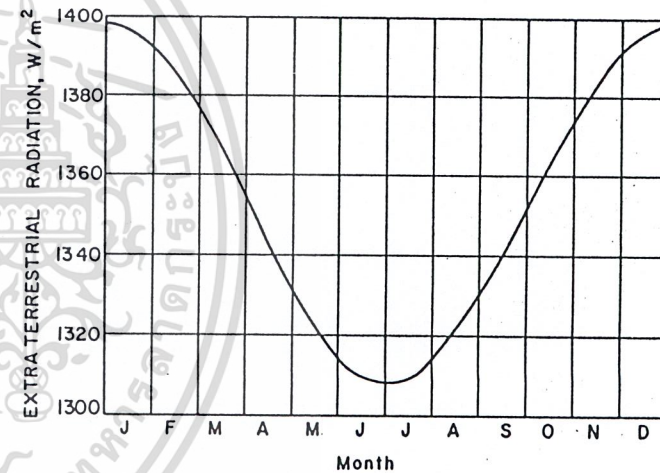


Figure 2.2.1 Variation of the extraterrestrial solar radiation with time of the year.

2.3 ATTENUATION OF BEAM RADIATION

Radiation at normal incidence received at the surface of the earth from the sun is subject to variations due to (1) variations in distance from earth to sun, (2) variations in atmospheric scattering by air molecules, water vapor, and dust, and (3) variations in atmospheric absorption by O_2 , O_3 , H_2O , and CO_2 .

The normal solar radiation incident on the earth's atmosphere has a spectral distribution, indicated by Figure 1.3.1. The x-rays and other very short-wave radiations of the solar spectrum are absorbed high in the ionosphere by nitrogen, oxygen, and other atmospheric components; most of the ultraviolet is absorbed by ozone. At wavelengths longer than 2.5 μm , a combination of low extraterrestrial radiation and strong absorption by CO_2 and H_2O means that very little energy reaches the ground. Thus, from the viewpoint of terrestrial applications of solar energy, only radiation of wavelengths between 0.29 and 2.5 μm need be considered. This solar radiation is transmitted through the atmosphere, undergoing variations due to scattering and absorption.

Scattering, which results in attenuation of the beam radiation by air molecules, water vapor, and dust, has been the subject of a number of studies, and approximate methods have been developed to estimate the magnitude of the effect. This question and the pertinent literature up to 1940 are treated by Moon (1940), from whom much of this survey is derived. A more recent discussion, including the effects of clouds, is given by Fritz (1958). Thekaekara (1974) summarizes the present state of knowledge and includes an extensive bibliography.

Air molecules are very small compared to the wavelengths of radiation significant in the solar energy spectrum. Scattering of this radiation by molecules occurs in accordance with the theory of Rayleigh, which indicates that the scattering coefficient would vary approximately as λ^{-4} , where λ is the wavelength of the radiation. This has been experimentally verified, and the monochromatic transmission factor associated with atmospheric scattering can be written

$$\tau_{a\lambda} = 10^{-0.00389\lambda^{-4}} \quad (2.3.1)$$

where λ is in micrometers, $m = 1$, and the barometric pressure is 760 mm.

Dust scattering from particles that are much larger than air molecules and that vary in size and concentration from location to location, height, and from time to time, is more difficult to assess. Moon developed a transmission factor of form similar to that for air molecules:

$$\tau_{d\lambda} = 10^{-0.0353\lambda^{-0.75}} \quad (2.3.2)$$

where $m = 1$ and the average concentration of dust particles is $800/\text{cm}^3$ at the ground.

Water vapor scattering for zenith sun and 20 mm of precipitable water (the amount of water vapor in the air column above the observer) can be written as

$$\tau_{w\lambda} = 10^{-0.0075\lambda^{-2}} \quad (2.3.3)$$

The total effect of scattering* on the beam radiation can be written as an approximation:

$$\tau_{\lambda(s)} = [(\tau_{a\lambda})^{p/760} (\tau_{d\lambda})^{d/800} (\tau_{w\lambda})^{w/20}]^m \quad (2.3.4)$$

where $\tau_{\lambda(s)}$ = monochromatic atmospheric transmittance for beam radiation, considering scattering only, at wavelength λ ;

p = total pressure, mm;

d = dust particle concentration, at the ground, particles/ cm^3 ;

w = depth of precipitable water, mm;

m = air mass.

Note that the atmospheric pressure, air mass, concentration of dust, and amount of water vapor enter in an exponential manner in determining the attenuation of the beam radiation. The first two of these parameters are readily determined. The values of d and w are generally not known, except for estimates based on surface measurements.

Absorption of radiation in the atmosphere in the solar energy spectrum is due largely to ozone in the ultraviolet, and water vapor in bands in the infrared. There is almost complete absorption of short-wave radiation below 0.29 μm , and for typical values of ozone in the atmosphere, transmittance values due to ozone are shown in Table 2.3.1.

Water vapor absorbs strongly in the infrared bands, as illustrated in Figure 2.3.1, which shows variation of transmission due to water vapor as a function of λ . Beyond 2.3 μm , the transmission of the atmosphere is very low due to absorption by H_2O and CO_2 , the energy in the extraterrestrial solar energy spectrum is less than 5% of the total solar spectrum, and energy received at the ground is small.

The transmittances for absorption are to be combined in the same manner as those for scattering, and the resulting

*According to the Rayleigh theory of scattering, the shorter wavelengths are scattered most and, hence, diffuse radiation will tend to be at shorter wavelengths.

monochromatic transmittance for beam radiation may be written as

$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda(s)} \tau_{\lambda(\text{abs})} = \tau_{\lambda(s)} \tau_{o\lambda} \tau_{w\lambda} \quad (2.3.5)$$

Note that at least one of the absorption transmission factors $\tau_{o\lambda}$ (for ozone) or $\tau_{w\lambda}$ (for water) will be unity, as the wavelength ranges of absorption by O_3 and H_2O do not overlap.

TABLE 2.3.1 Ultraviolet Transmission of the Atmosphere, for a Layer of Ozone 2.5 mm Deep at NTP [Fritz (1958)].*

$\lambda, \mu\text{m}$	$\tau_{o\lambda}$
0.29	0
0.30	0.10
0.31	0.50
0.33	0.90
0.35	1.00

*Note. There is also a weak absorption band near $0.6 \mu\text{m}$, where $\tau_{o\lambda}$ is > 0.95 .

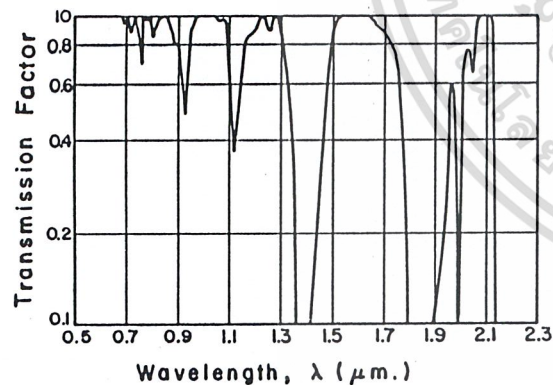


Figure 2.3.1 Transmission factor associated with absorption by water vapor [from Fowle (1915)].

Calculations of this type have been summarized by Moon, (1940) who used the best data available on the spectral distribution of solar radiation outside the atmosphere and on the various transmission factors for typical atmosphere to generate a series of "proposed standard curves" for beam solar radiation as a function of wavelength at air masses of 0 to 5. He also tabulates the intensities for a standard atmosphere ($p = 760 \text{ mm}$, $w = 20 \text{ mm}$, $d = 300/\text{cm}^3$, ozone = 2.8 mm) for various wavelengths for $m = 2$, and proposed that it be used as a standard spectral distribution curve for beam solar radiation for locations near sea level.

More recent studies of Johnson and of Thekaekara and Drummond, noted in Chapter 1, have indicated that Moon's intensities in the short-wave end of the spectrum for $m = 0$ are too low. Moon used a solar constant of 1322 W/m^2 in contrast to the now accepted value of 1353 W/m^2 . Thekaekara (1974) presents new spectral distribution curves for beam radiation, based on the extraterrestrial distribution shown in Figure 1.3.1, for very clear and relatively clear atmospheres, for air masses of 1, 4, 7 and 10. Figure 2.3.2, from Thekaekara, shows the extraterrestrial distribution, its comparison with a normalized black-body distribution curve for a source temperature of 5762°K , and for the very clear atmosphere the air mass one solar spectrum without and with molecular absorption. The latter distribution (one of the set of new distribution curves noted above) shows absorption bands due to O_3 , H_2O , CO_2 , and O_2 .

2.4 DIFFUSE RADIATION AT THE GROUND

As noted above, components of the atmosphere scatter a portion of the solar radiation, and some of this scattered radiation reaches the ground. Thus there is always some diffuse radiation, even in periods of very clear skies. Particles of water and solids in clouds scatter radiation, and in periods of heavy clouds, all of the radiation reaching the ground will be diffuse. A useful discussion of diffuse radiation (scattered by clear atmosphere or by clouds) is provided by Fritz (1958).

As a practical matter, adequate atmospheric data are not available on which to base a computation of intensity, spectral distribution, or directional distribution of diffuse radiation at the ground. The directional distribution of diffuse radiation is discussed in section 3.7.

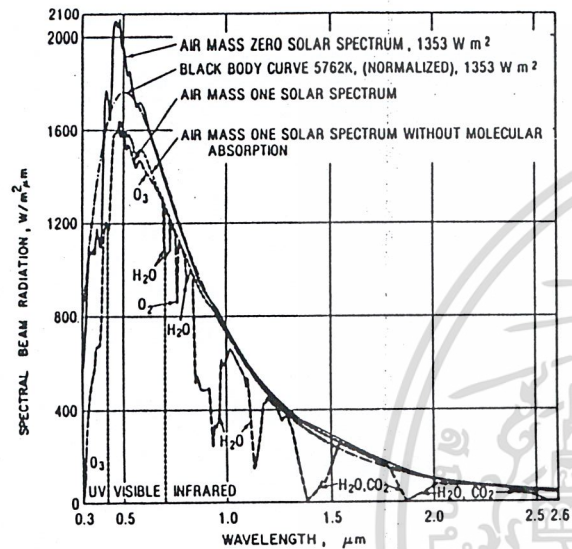


Figure 2.3.2 Solar spectral intensity for air mass zero and one.

2.5 DIRECTION OF BEAM RADIATION

The geometric relationships between a plane of any particular orientation relative to the earth at any time (whether that plane is fixed or moving relative to the earth) and the incoming beam solar radiation, that is, the position of the sun relative to that plane, can be described in terms of several angles. These angles, and the relationships between them [from Benford and Bock (1939)], are:

- ϕ = latitude (north positive);
- δ = declination (i.e., the angular position of the sun at solar noon with respect to the plane of the equator) (north positive);
- α = the angle between the horizontal and the plane (i.e., the slope);
- γ = the surface azimuth angle, that is, the deviation of the normal to the surface from the local meridian, the

zero point being due south, east positive, and west negative;

ω = hour angle, solar noon being zero, and each hour equaling 15° of longitude with mornings positive and afternoons negative (e.g., $\omega = +15$ for 11:00, and $\omega = -37.5$ for 14:30);

θ = the angle of incidence of beam radiation, the angle being measured between the beam and the normal to the plane.

The declination, δ , can be found from the approximate equation of Cooper (1969):

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \frac{284 + n}{365} \right] \quad (2.5.1)$$

where n is the day of the year.* The relation between θ and the other angles is given by

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \alpha - \sin \delta \cos \phi \sin \alpha \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \alpha \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \alpha \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \alpha \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.5.2)$$

Example 2.5.1 Calculate the angle of incidence of beam radiation on a surface located at Madison, Wisconsin at 14:30 on February 15, if the surface is tilted 45° from the horizontal and is pointed 15° west of south.

Under these conditions, the declination is -14° , the hour angle is -37.5° , and the surface azimuth angle is -15° . Using the slope of 45° and Madison's latitude of 43° N, Eq. (2.5.2) is

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin (-14) \sin 43 \cos 45 \\ & - \sin (-14) \cos 43 \sin 45 \cos (-15) \\ & + \cos (-14) \cos 43 \cos 45 \cos (-37.5) \\ & + \cos (-14) \sin 43 \sin 45 \cos (-15) \cos (-37.5) \end{aligned}$$

*Declination can also be conveniently determined from charts such as Figure 3.4.2.

$$+ \cos(-14) \sin 45 \sin(-15) \sin(-37.5)$$

$$\cos \theta = -0.1167 + 0.1208 + 0.3981 + 0.3586 + 0.1081$$

$$\cos \theta = 0.8689$$

$$\theta = 30^\circ$$

Additional angles may also be defined. The most frequently used are

θ_z = zenith angle, the angle between the beam from the sun and the vertical;

α = solar altitude, the angle between the beam from sun and the horizontal, equal to $(90^\circ - \theta_z)$.

(In architectural and illumination practice, other angles are defined, such as the profile angle. Care must be exercised in the use of any source of information on these angles so that their authors' definitions and sign conventions are understood.)

In many cases, the equation relating these angles is simplified. For example, for fixed flat plate collectors which face the equator, the last term drops out. For vertical surfaces, $s = 90^\circ$, and the first and third terms drop out. For horizontal surfaces where $s = 0^\circ$, only the first and third terms remain, and the angle of incidence (i.e., the zenith angle of the sun) is

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (2.5.3)$$

Example 2.5.2 Calculate the zenith angle of the sun at Madison at 14:30 on February 15.

For this situation, Eq. (2.5.3) is

$$\cos \theta_z = \sin(-14) \sin 43 + \cos(-14) \cos 43 \cos(-37.5)$$

$$\theta_z = 0.3980$$

$$\theta_z = 66^\circ$$

Useful relationships for the angle of incidence on surfaces sloped to the north or south can be derived from the fact that surfaces with slope s to the north or south have the same angular relationship to beam radiation as a horizontal surface at an artificial latitude of $(\phi - s)$. The relationship is shown in Figure 2.5.1. Then, modifying Eq. (2.5.3),

$$\cos \theta_T = \cos(\phi - s) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - s) \sin \delta \quad (2.5.4)$$

Note that the slope, s , is measured from the horizontal to the plane of the surface in question, and is positive when slope is toward the south.

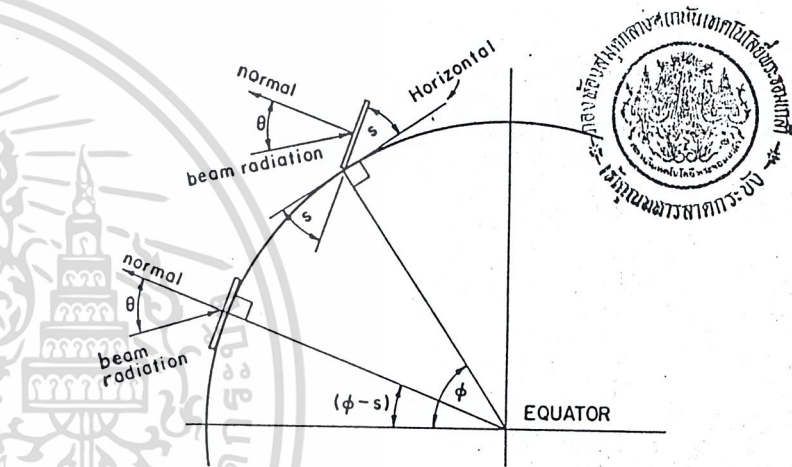


Figure 2.5.1 Section of earth showing definitions of s , θ , ϕ , and $(\phi - s)$.

Equation (2.5.3) can be solved for the sunrise hour angle, ω_s , when $\theta_z = 90^\circ$:

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta}$$

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta$$

(2.5.5)

It also follows that the day length is given by

$$T_d = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (2.5.6)$$

Solar azimuth and altitude angles are tabulated as functions of latitude, declination, and hour angle by the U.S. Hydrographic

Office (1940). Information on the position of the sun in the sky is also available with less precision but easier access in various types of charts. Examples of these are the Sun Angle Calculator (1951) and diagrams in a paper by Hand (1948). (Note that care is necessary in interpreting information from sources such as these, since definitions of angles may vary from those used here.) Brooks and Miller (1963) also present a useful discussion of these geometrical relationships.

2.6 DIRECTION OF DIFFUSE RADIATION

Section 2.5 dealt with the direction of beam radiation, which is a geometrical problem. The problem of coping with diffuse radiation is a more difficult one, as the radiation (by definition) comes from parts of the sky dome other than the sun. The distribution of diffuse radiation over the sky is highly variable depending on atmospheric conditions and will be discussed in Chapter 3. Some measurements are available, for example as cited by Fritz (1958).

2.7 SOLAR TIME AND THE EQUATION OF TIME

It is to be noted that the time specified in all of the sun angle relationships is solar time, which does not coincide with local clock time. It is necessary to convert standard time to solar time by applying two corrections. First, there is a constant correction for any difference in longitude between the location and the meridian on which the local standard time is based (e.g., 90°W for the central time zone).* The second correction is from the *equation of time* which takes into account the various perturbations in the earth's orbit and rate of rotation which affect the time the sun appears to cross the observer's meridian. This correction is obtained from published charts. Thus, solar time can be obtained from standard time by this relation:

$$\text{solar time} = \text{standard time} + E + 4(L_{st} - L_{loc}) \quad (2.7.1)$$

where E = the equation of time, from Figure 2.7.1, in minutes,
 L_{st} = the standard meridian for the local time zone, and L_{loc}
 = the longitude of the location in question, in degrees west.

* The U.S. time zones are:
 Atlantic, 75°W; eastern, 82.5°W;
 central, 90°W; and pacific, 120°W.

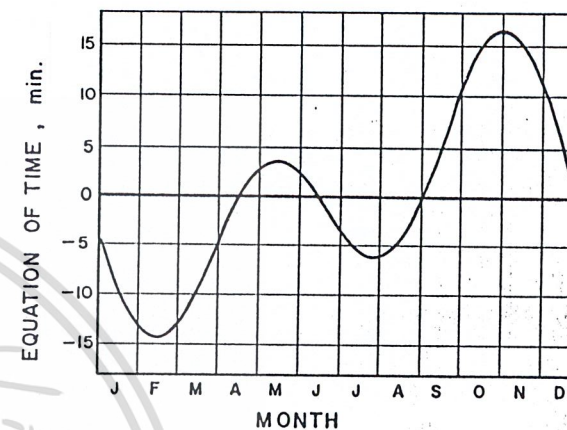


Figure 2.7.1 The equation of time, E , in minutes, as a function of time of year.

Example 2.7.1 What is solar time corresponding to 10:30 a.m. central standard time on February 2? In Madison the equation is

$$\begin{aligned} \text{solar time} &= \text{standard time} + E + 4(90 - 89.38) \\ &= \text{standard time} + E + 2.48 \end{aligned}$$

Note that the sun takes 4 min to traverse 1° of longitude, and that the units of the last term are therefore minutes. On February 2, E is -13.5 min, so the correction to standard time to get solar time is -11 min. Thus 10:30 a.m. central standard time is 10:19 a.m. solar time.

REFERENCES

- Benford, F. and Bock, J. E., *Trans. Am. Illum. Eng. Soc.*, 34, 200 (1939). "A Time Analysis of Sunshine."
- Brooks, F. A. and Miller, W., *Introduction to the Utilization of Solar Energy*, Zarem, A. M. and Erway, D. D., Eds., New York, McGraw-Hill, 1963.
- Cooper, P. I., *Solar Energy*, 12, 3 (1969). "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills."

Fowle, F. E., *Astrophys. J.*, 42, 379 (1915). "The Transparency of Aqueous Vapor."

Fritz, S., *Transactions of the Conference on Use of Solar Energy*, 1, 17, University of Arizona Press, Tucson, 1958. "Transmission of Solar Energy Through the Earth's Clear and Cloudy Atmosphere."

Hand, I. F., *Heating and Ventilating*, 45, 86 (October 1948). "Charts to Obtain Solar Altitudes and Azimuths."

Moon, P., *J. Franklin Inst.*, 230, 583 (1940). "Proposed Standard Solar Radiation Curves for Engineering Use."

Sun Angle Calculator, Libby-Owens-Ford Glass Company (1951).

Thekaekara, M. P., *Solar Energy*, 9, 7 (1965). "The Solar Constant and Spectral Distribution of Solar Radiant Flux."

Thekaekara, M. P., *Supplement to the Proc. 20th Annual Meeting of Inst. for Environmental Sci.*, 21 (1974). "Data on Incident Solar Energy."

U.S. Hydrographic Office Publication No. 214 (1940). "Tables of Computed Altitude and Azimuth."

3. SOLAR RADIATION: MEASUREMENTS, DATA, AND ESTIMATION

It is generally not practical to base predictions of solar radiation availability on attenuation of extraterrestrial radiation, because the meteorological information necessary to make the calculations is seldom available. Instead, measurements of radiation from the location in question or from a nearby similar location can be used in solar process design, or estimates of solar radiation can be made from related meteorological data. In this chapter, we discuss methods of solar radiation measurement, the nature of the data that are available, and the manipulation of those data to forms useful in estimating the energy available to a solar process.

There are several approaches to the use of solar radiation data. One is to use average solar energy available, for example, for a month, to estimate the average performance of a process. This is unsatisfactory because the performance of many processes is not linear with solar radiation and the use of averages in these cases may lead to serious errors. A second is to use past hourly or daily data for the location in question, estimate what the performance of a process would have been under those past conditions, and on this basis project future performance. The latter is the general approach to process simulation which will be developed in later chapters. A third set of methods is to reduce the radiation data to more manageable form by statistical methods, and use the resulting time distributions in process performance predictions.*

3.1 DEFINITIONS

Figure 3.1.1 shows schematically the primary radiation fluxes on a surface at or near the ground; these fluxes are important in connection with solar thermal processes. For this purpose

*A discussion of one of these methods, a statistical treatment of radiation availability which is based in part on collector performance, is included in Chapter 7.

radiation is considered in two wavelength ranges:

1. *Solar, or short-wave radiation*: Radiation originating from the sun, at a source temperature of about 6000°K, and in the wavelength range of 0.3 to 3.0 μm .

2. *Long-wave radiation*: Radiation originating from sources at temperatures near ordinary ambient temperatures, and thus substantially all at wavelengths greater than 3 μm .

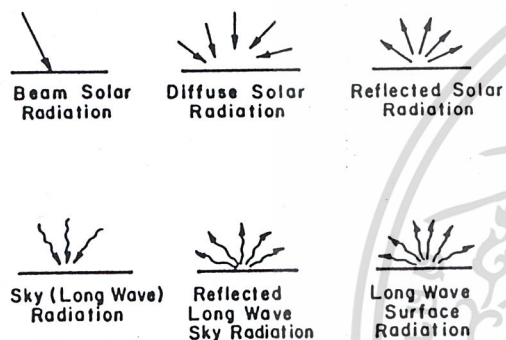


Figure 3.1.1 The primary radiant energy fluxes of importance in solar thermal processes. Short wave solar radiation is shown by \rightarrow . Long wave radiation is shown by \sim .

The meteorological literature, in which radiation instruments and data are described and reported, uses several terms which are of interest to the solar process engineer:

1. *Pyrheliometer*: An instrument using a collimated detector for measuring solar radiation from a small portion of the sky including the sun (i.e., beam radiation) at normal incidence.

2. *Pyranometer*: An instrument for measuring total hemispherical solar (beam + diffuse) radiation, usually on a horizontal surface. If shaded from the beam radiation by a shade ring, it measures diffuse radiation.

3. *International Pyrheliometric Scale (1956)*: Two standard reference pyrheliometers have been in use for many years (the Abbot, or Smithsonian instrument, and the Angstrom instrument). The scales defined by these instruments did not agree, and in 1956 a new "International Pyrheliometric Scale 1956" was established which applied corrections to previously obtained

measurements for each of these (-2.0% to the Smithsonian scale, +1.5% to the Angstrom scale). All instruments manufactured and calibrated since 1956 use the new scale. See Thekaekara (1965) for a discussion of pyrheliometric scales.

In addition, the term *solarimeter* and *actinometer* are encountered; they can generally be interpreted to be the same as pyranometer.

3.2 RADIATION MEASUREMENTS, INSTRUMENTS

Solar radiation measurements are most often made of total (beam and diffuse) radiation, in energy per unit time per unit area, on a horizontal surface, by pyranometer. Measurements are also made of beam radiation, by pyrheliometer, which respond to solar radiation received from a very small portion of the circumsolar sky. Instruments for these measurements convert radiation to some other form of energy and provide a measure of the energy flux produced by the radiation. Several brief reviews of solar radiation instruments are available, for example, by Morikofer (1958), by Drummond (1964), and by Yellott (1967).

The most common pyranometers in use in the United States today are based on detection of the difference between the temperature of black surfaces (which absorb most solar radiation), and white surfaces (which reflect most solar radiation) by thermopiles. Properly protected from wind, and compensated for changes in ambient temperature, the thermopiles give millivolt signals that can be readily detected, recorded, and integrated over time.

In this country, the *Eppley pyranometer* is based on this principle and has become the most common instrument in use by weather bureau stations. It uses concentric silver rings, 0.25 mm thick, appropriately coated black and white, with either 10 or 50 thermocouple junctions to detect temperature differences between the coated rings. Later models use wedges arranged in a circular pattern, with alternate black and white coatings. The disks or wedges are enclosed in a hemispherical glass cover. Its performance has been carefully studied by MacDonald (1951). Similar instruments are manufactured in Europe under the name *Kipp*.

The Eppley pyranometers, and similar instruments, are calibrated in a horizontal position. In general use, without frequent calibration the data from them are probably no better than $\pm 5\%$. With frequent calibration against standard instruments, the data may be as good as $\pm 2\%$. Calibrations of these

instruments will vary to some degree if the instrument is inclined to measure radiation on other than a horizontal surface.

The *Moll-Gorczynski solarimeter* is a pyranometer based on thermopiles having hot junctions exposed to solar radiation and cold junctions shaded from the radiation. Another type of pyranometer, the *Robitsch*, is based on differential expansion of bimetal elements exposed to solar radiation; this has the advantage, where no power is available, of the possibility of direct mechanical linkage to a spring-driven recording drum. Thermal expansion radiometers are widely used in isolated stations, and while they are not precise, they are a major source of the solar radiation data that are available outside of Europe and North America.

Pyranometers have also been based on photovoltaic (solar cell) detectors, (e.g., the *Yellott solarimeter*). Silicon cells are the most common for solar energy, although cadmium sulfide and selenium cells have been used, for example, for measurements of visible light in photography. Silicon solar cells have the property that their light current (approximately equal to the short-circuit current at normal radiation levels) is a linear function of the incident solar radiation. They have the disadvantage that the spectral response is not linear, so instrument calibration is a function of the spectral distribution of the incident radiation. Also, the calibration varies with the angle of incidence of the radiation.

Three pyrhemometers have been in widespread use to measure normal incidence beam radiation: the *Angstrom pyrhemometer*, the *Abbot water flow pyrhemometer*, and the *Abbot silver disc pyrhemometer*. These instruments provide primary and secondary standards of solar radiation measurements.

In addition to radiation measurements, there are in widespread use instruments for recording the duration of "bright sunshine." The standard U.S. Weather Bureau instrument uses a pair of photocells, one of which is shaded from beam radiation. When radiation is all diffuse, the cells indicate nearly equal radiation levels; when beam radiation is incident on the instrument, the cell exposed to that beam radiation indicates higher intensity than the shaded cell. The duration of a critical intensity difference detected by the two cells is a measure of duration of "bright sunshine." An older instrument, the *Campbell-Stokes recorder* uses a spherical lens that produces an image of the sun on a treated paper. The paper is burned whenever the beam radiation is above a critical level. The lengths of the burned portions of the paper provide an index of the duration of sunshine.

The *Bellani distillation pyranometer* uses flat or spherical containers of alcohol which are connected to calibrated

condenser-receiving tubes. The quantity of alcohol condensed is a measure of the integrated solar energy on the spherical or flat receiver.

Most radiation data available are for horizontal surfaces, include both direct and diffuse radiation, and were measured with thermopile instruments (or, in some cases, bimetallic detectors). Most of these instruments provide radiation versus time records and do not themselves provide a means of integrating the records. The data are usually recorded in a form similar to that shown on Figures 3.2.1 and 3.2.2 by recording potentiometers and are integrated graphically or electronically.

There are in the United States about 88 stations recording solar radiation and reporting it as langleys received on a horizontal surface per day. (1 langley = 1 cal/cm² = 4.186 J/cm².) Outside of the United States there are well-developed networks in some countries, but in many areas of potential solar applications, data are lacking. The situation is improving, and many new stations have been reporting data during and since the International Geophysical Year.

A major source of information on solar radiation and related meteorological data in the United States is the Environmental Data Service, National Climatic Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, Asheville, N.C. 28801. Data are available on tape or punch cards for daily and (for some 40 stations) hourly solar radiation, for varying periods starting from 1952. A few stations also measure beam radiation on clear days. Figure 3.2.3 shows the locations of U.S. stations reporting daily solar radiation values, and Figure 3.2.4 show stations reporting hourly values.

There are many hundreds of stations throughout the world where data are available on the duration of sunshine, usually recorded with instruments of the Campbell-Stokes type. The problem of the relationship of sunshine hours to radiation energy received will be discussed below.

3.3 SOLAR RADIATION DATA

Solar radiation data are available in several forms, and should include the following information:

1. Whether they are instantaneous measurements or values integrated over some period of time (usually hour or day);
2. The time or time period of the measurements;
3. Whether the measurements are of beam, diffuse or total radiation, and the instruments used;
4. The receiving-surface orientation (usually horizontal,

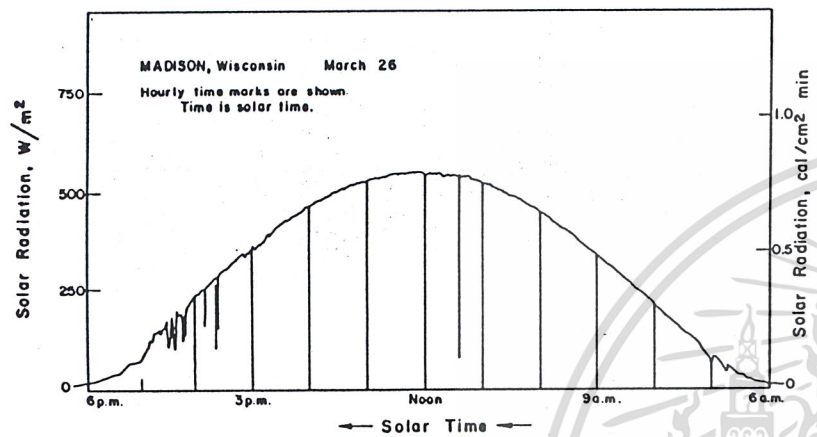


Figure 3.2.1 Total (beam + diffuse) solar radiation on a horizontal surface versus time for a clear day.

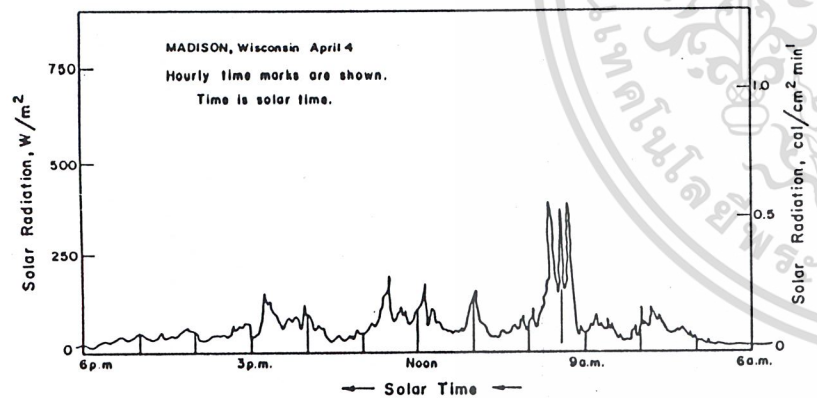


Figure 3.2.2 Total (beam + diffuse) solar radiation on a horizontal surface versus time for a cloudy day.

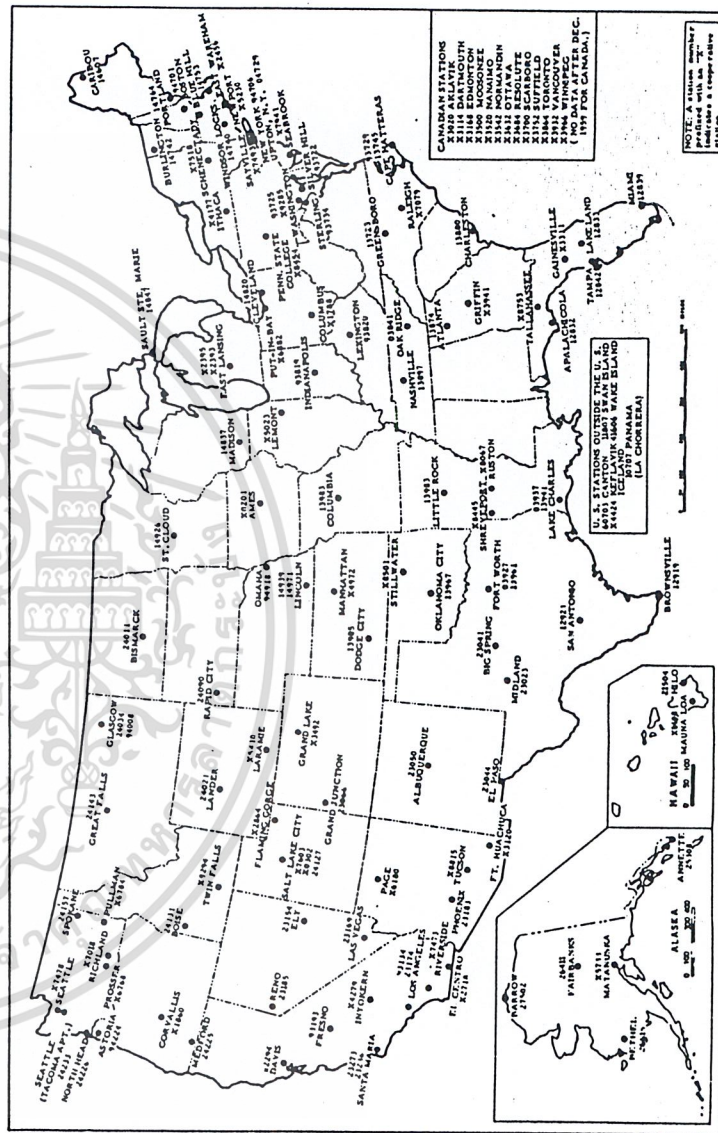


Figure 3.2.3 United States Weather Bureau stations measuring daily solar radiation as of 1967.

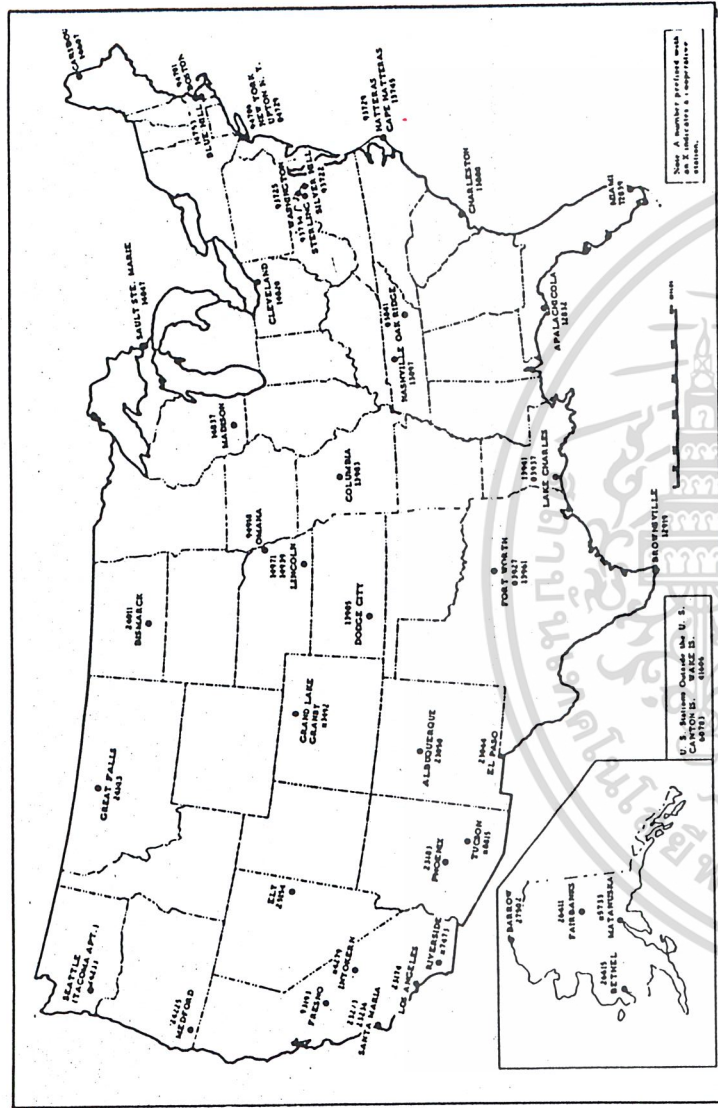


Figure 3.2.4 United States Weather Bureau stations measuring hourly solar radiation as of 1967.

sometimes inclined at a fixed slope, or normal;
 5. If averaged, the period over which they are averaged (e.g., monthly averages of daily radiation).

Examples of various kinds of radiation data are shown in Tables 3.3.1, 3.3.2, and 3.3.3. Table 3.3.1 indicates daily radiation on horizontal surface, averaged by months, for several locations; this is the most common form in which data are available, for example, from Löf et al. (1966a). Table 3.3.2 shows hourly average radiation, by months, for Madison. Table 3.3.3 is a sample of integrated hourly values of radiation and temperature.

Averaged solar radiation data are also available from maps that indicate general trends and averages. For example, world maps are shown in Figures 3.3.1 to 3.3.4 [Löf et al. (1966a or b)].* These are useful in predicting areas of potential solar energy applications. In some geographical areas where climate does not change abruptly with distance (i.e., away from major influences such as mountains or large industrial cities), maps can be used as a source of average radiation if data are not available. However, large-scale maps must be used with care, because they do not show local physical or climatological conditions which may greatly affect local solar energy availability.

3.4 ESTIMATION OF AVERAGE SOLAR RADIATION

In addition to solar radiation data, there are other meteorological measurements which are related to solar energy, and which in the absence of radiation data can be used to estimate radiation. Data on hours of sunshine, or percent of possible sunshine hours, are widely available from many hundreds of stations in many countries. Examples are shown in Table 3.4.1. Cloud cover data (i.e., cloudiness) are also available. The use of these measurements in estimating average radiation is discussed below.

Radiation data are the best source of information. Lacking these, it is possible to use empirical relationships to estimate radiation from hours of sunshine or percent possible sunshine, or cloudiness. A third alternative is estimation for a particular location by use of data from other locations of similar latitude, topography, and climate.

The original Angstrom-type regression equation related mean

*Figures 3.3.1 to 3.3.4 are reproduced from deJong (1973), who redrew maps originally published by Löf, et. al. deJong has compiled maps and radiation data from many sources.

TABLE 3.3.1 Typical Solar Radiation Data, cal/cm² day, on Horizontal Surface, Averaged by Months.

Station	Latitude	Alt., m	Radiation												
			Annual	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Albuquerque	35°N	1620	519	308	390	512	630	688	739	690	636	566	447	338	281
Atlanta	33°N	308	394	228	284	377	484	535	554	538	502	412	350	265	201
Blue Hill	42°N	194	322	156	215	304	379	471	517	500	434	352	249	158	129
Charleston	32°N	18	404	253	303	392	515	550	560	523	496	408	343	285	216
Columbia	38°N	248	381	180	250	344	433	531	571	574	526	448	324	222	169
Fresno	36°N	110	446	186	296	438	545	637	697	668	606	503	375	241	160
Gainesville	29°N	59	431	278	367	445	539	586	544	520	508	444	368	318	254
Lander	42°N	1699	441	230	321	451	553	585	675	648	580	464	356	237	197
Lincoln	40°N	360	368	190	255	347	424	496	545	537	508	412	352	207	172
Madison	43°N	271	339	155	220	324	388	476	555	553	471	384	265	150	132
San Antonio	29°N	249	439	277	347	419	450	539	604	625	582	490	395	291	252
State College	40°N	375	335	139	202	297	373	467	544	528	454	361	275	155	120
Pretoria	26°S	1418	475	610	520	490	410	360	340	360	430	500	530	570	580
Canberra	34°S	177	424	619	546	443	344	264	205	228	303	426	505	594	637
Tokyo	36°N	s.l.	261	190	231	274	312	343	303	336	338	254	202	185	169
Stockholm	59°N	s.l.	241	29	78	201	308	467	517	500	392	243	112	32	18

TABLE 3.3.2 Hourly Average Horizontal Radiation by Months for Madison, Wisconsin.

Month	Radiation, langleys in the hour ending at:													
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
January	--	--	1	7	15	21	25	25	23	16	9	2	--	--
February	--	--	4	13	21	28	32	34	31	24	15	6	1	--
March	--	2	12	23	33	40	43	43	39	32	21	11	3	--
April	1	8	17	27	36	43	47	44	41	33	26	17	2	--
May	5	15	27	39	49	55	58	58	54	45	35	25	14	5
June	7	17	29	42	65	59	63	61	58	51	41	31	19	8
July	7	18	31	43	54	61	64	63	58	52	43	31	18	7
August	2	12	25	37	48	56	58	57	51	44	35	23	12	3
September	--	5	18	31	43	51	55	54	49	42	29	17	6	--
October	--	1	8	20	30	39	42	42	38	30	19	8	1	--
November	--	--	2	10	19	25	29	29	25	18	9	2	--	--
December	--	--	1	6	13	18	22	22	19	12	6	1	--	--

TABLE 3.3.3 Hourly Radiation, Air Temperature and Wind Speed Data for a January Week, Boulder, Colorado.*

Day	Hour	H	°C	V	Day	Hour	H	°C	V
8	1	0.	-1.7	3.1	8	13	1105.	2.8	8.0
8	2	0.	-3.3	3.1	8	14	1252.	3.8	9.8
8	3	0.	-2.8	3.1	8	15	641.	3.3	9.8
8	4	0.	-2.2	3.1	8	16	167.	2.2	7.2
8	5	0.	-2.8	4.0	8	17	46.	.6	7.6
8	6	0.	-2.8	3.6	8	18	0.	-.6	7.2
8	7	0.	-2.2	3.6	8	19	0.	-1.1	8.0
8	8	17.	-2.2	4.0	8	20	0.	-1.7	5.8
8	9	134.	-1.1	1.8	8	21	0.	-1.7	5.8
8	10	331.	1.1	3.6	8	22	0.	-2.2	7.2
8	11	636.	2.2	1.3	8	23	0.	-2.2	6.3
8	12	758.	2.8	2.2	8	24	0.	-2.2	5.8

(continued)

TABLE 3.3.3 (Continued)

Day	Hour	H	°C	V	Day	Hour	H	°C	V
9	1	0.	-2.8	7.2	9	13	1185.	-2.2	2.2
9	2	0.	-3.3	7.2	9	14	1009.	0.0	0.0
9	3	0.	-3.3	6.3	9	15	796.	-.6	1.3
9	4	0.	-3.3	5.8	9	16	389.	-.6	1.3
9	5	0.	-3.9	4.0	9	17	134.	-2.2	4.0
9	6	0.	-3.9	4.5	9	18	0.	-2.8	4.0
9	7	0.	-3.9	1.8	9	19	0.	-3.3	4.5
9	8	4.	-3.9	2.2	9	20	0.	-5.6	5.8
9	9	71.	-3.9	2.2	9	21	0.	-6.7	5.4
9	10	155.	-3.3	4.0	9	22	0.	-7.8	5.8
9	11	343.	-2.8	4.0	9	23	0.	-8.3	4.5
9	12	402.	-2.2	4.0	9	24	0.	-8.3	6.3
10	1	0.	-9.4	5.8	10	13	1872.	2.2	7.6
10	2	0.	-10.0	6.3	10	14	1733.	4.4	6.7
10	3	0.	-8.9	5.8	10	15	1352.	6.1	6.3
10	4	0.	-10.6	6.3	10	16	775.	6.7	4.0
10	5	0.	-8.3	4.9	10	17	205.	6.1	2.2
10	6	0.	-8.3	7.2	10	18	4.	3.3	4.5
10	7	0.	-10.0	5.8	10	19	0.	.6	4.0
10	8	33.	-8.9	5.8	10	20	0.	.6	3.1
10	9	419.	-7.2	6.7	10	21	0.	0.0	2.7
10	10	1047.	-5.0	9.4	10	22	0.	.6	2.2
10	11	1570.	-2.2	8.5	10	23	0.	1.7	3.6
10	12	1805.	-1.1	8.0	10	24	0.	.6	2.7
11	1	0.	-1.7	8.9	11	13	138.	-5.0	6.7
11	2	0.	-2.2	4.9	11	14	96.	-3.9	6.7
11	3	0.	-2.2	4.5	11	15	84.	-4.4	7.6
11	4	0.	-2.8	5.8	11	16	42.	-3.9	6.3
11	5	0.	-4.4	5.4	11	17	4.	-5.0	6.3
11	6	0.	-5.0	4.5	11	18	0.	-5.6	4.5
11	7	0.	-5.6	3.6	11	19	0.	-6.7	4.5
11	8	4.	-6.1	5.8	11	20	0.	-7.8	3.1
11	9	42.	-5.6	5.4	11	21	0.	-9.4	2.7
11	10	92.	-5.6	5.4	11	22	0.	-8.9	3.6
11	11	138.	-5.6	9.4	11	23	0.	-9.4	4.0
11	12	163.	-5.6	8.0	11	24	0.	-11.1	3.1

(continued)

TABLE 3.3.3 (Continued)

Day	Hour	H	°C	V	Day	Hour	H	°C	V
12	1	0.	-11.7	4.0	12	13	389.	-2.2	5.8
12	2	0.	-12.8	3.1	12	14	477.	-.6	4.0
12	3	0.	-15.6	7.2	12	15	532.	2.8	2.2
12	4	0.	-16.7	6.7	12	16	461.	-.6	2.2
12	5	0.	-16.7	6.3	12	17	33.	-1.7	3.1
12	6	0.	-16.1	6.3	12	18	0.	-4.4	1.3
12	7	0.	-17.2	3.6	12	19	0.	-7.8	2.7
12	8	17.	-17.8	2.7	12	20	0.	-7.8	4.0
12	9	71.	-13.3	8.0	12	21	0.	-8.9	4.9
12	10	180.	-11.1	8.9	12	22	0.	-10.6	4.9
12	11	247.	-7.8	8.5	12	23	0.	-12.8	4.9
12	12	331.	-5.6	7.6	12	24	0.	-11.7	5.4
13	1	0.	-10.6	4.0	13	13	1926.	5.6	5.4
13	2	0.	-10.6	5.4	13	14	1750.	7.2	4.5
13	3	0.	-10.0	4.5	13	15	1340.	8.3	4.9
13	4	0.	-11.1	3.1	13	16	703.	8.9	4.5
13	5	0.	-10.6	3.6	13	17	59.	6.7	5.4
13	6	0.	-9.4	3.1	13	18	0.	4.4	3.6
13	7	0.	-7.2	3.6	13	19	0.	1.1	3.6
13	8	17.	-10.6	4.0	13	20	0.	0.0	3.1
13	9	314.	-8.3	5.8	13	21	0.	-2.2	6.7
13	10	724.	-1.7	6.7	13	22	0.	2.8	7.2
13	11	1809.	1.7	5.4	13	23	0.	1.7	8.0
13	12	2299.	3.3	6.3	13	24	0.	1.7	5.8
14	1	0.	-.6	7.2	14	13	1968.	6.7	1.8
14	2	0.	-1.1	7.6	14	14	1733.	6.7	2.7
14	3	0.	-.6	6.3	14	15	1331.	7.2	3.1
14	4	0.	-3.9	2.7	14	16	837.	6.7	3.1
14	5	0.	-1.7	4.9	14	17	96.	7.2	2.7
14	6	0.	-2.8	5.8	14	18	4.	3.3	2.7
14	7	0.	-2.8	4.0	14	19	0.	0.0	3.6
14	8	38.	-5.0	3.1	14	20	0.	3.9	5.4
14	9	452.	-5.0	4.9	14	21	0.	-3.9	3.6
14	10	1110.	-1.7	4.5	14	22	0.	-3.9	5.8
14	11	1608.	2.8	3.1	14	23	0.	-6.1	5.4
14	12	1884.	3.8	3.6	14	24	0.	-6.7	6.3

*Solar radiation, H, is kJ/m² for the hour ending at the indicated time; wind speed, V, is m/s. (See Figure 10.2.2.)

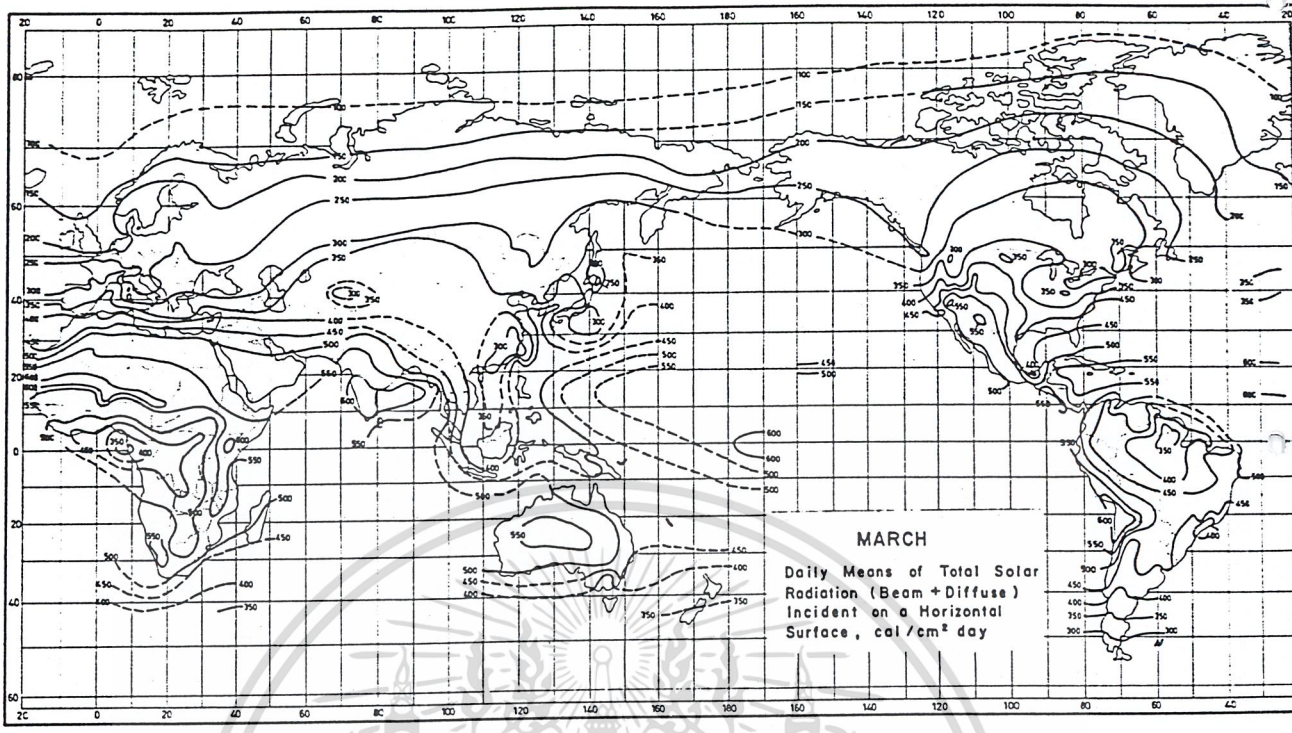


Figure 3.3.1 Daily radiation for March.

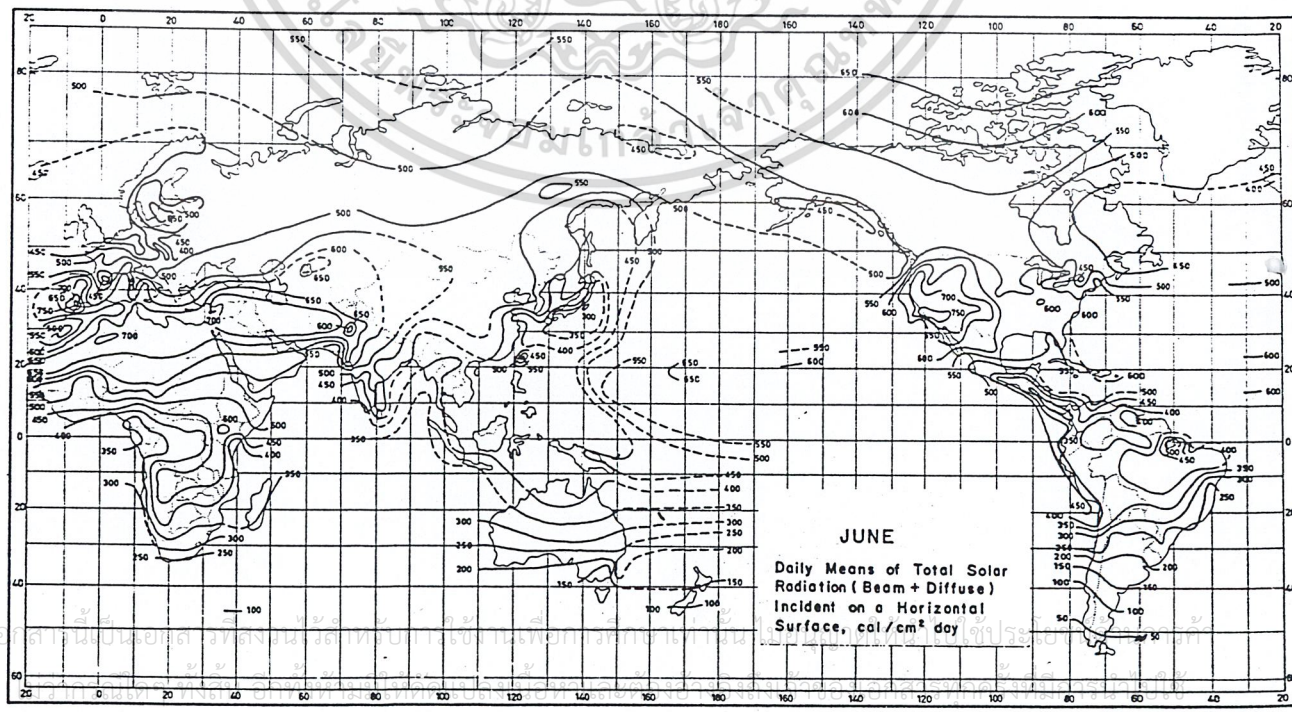


Figure 3.3.2 Daily radiation for June.

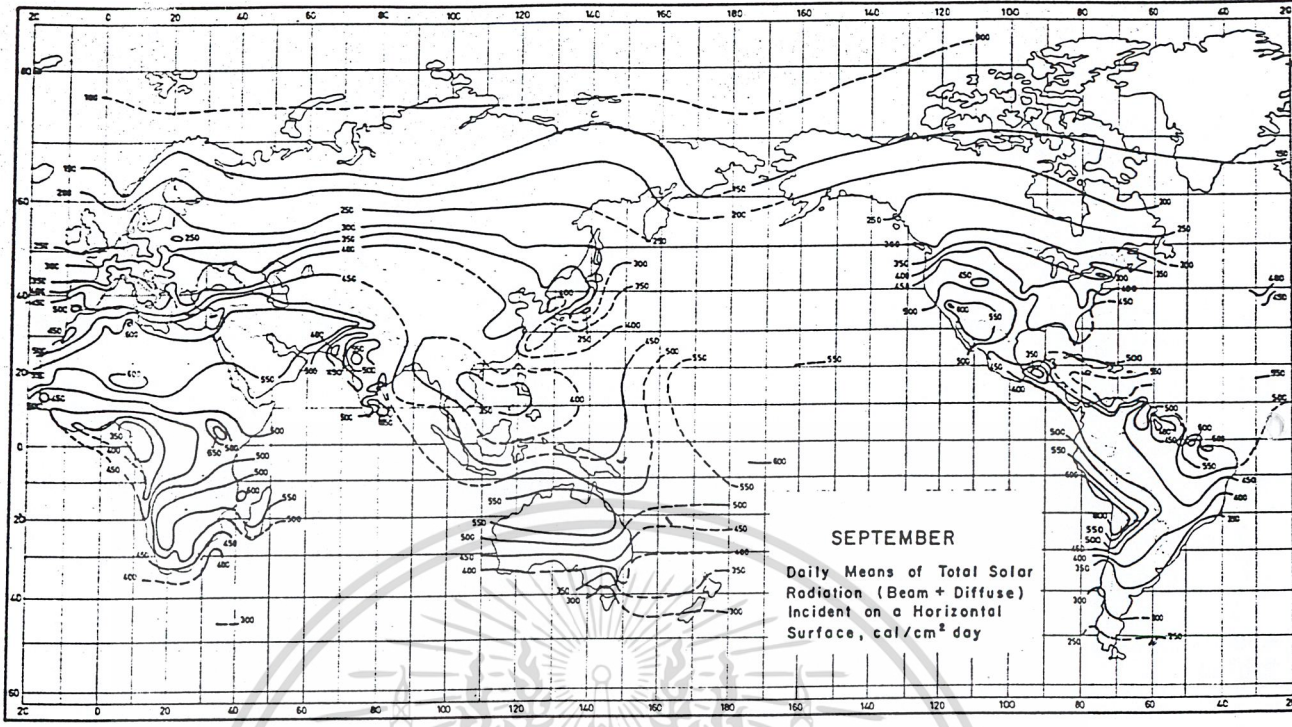


Figure 3.3.3 Daily radiation for September.

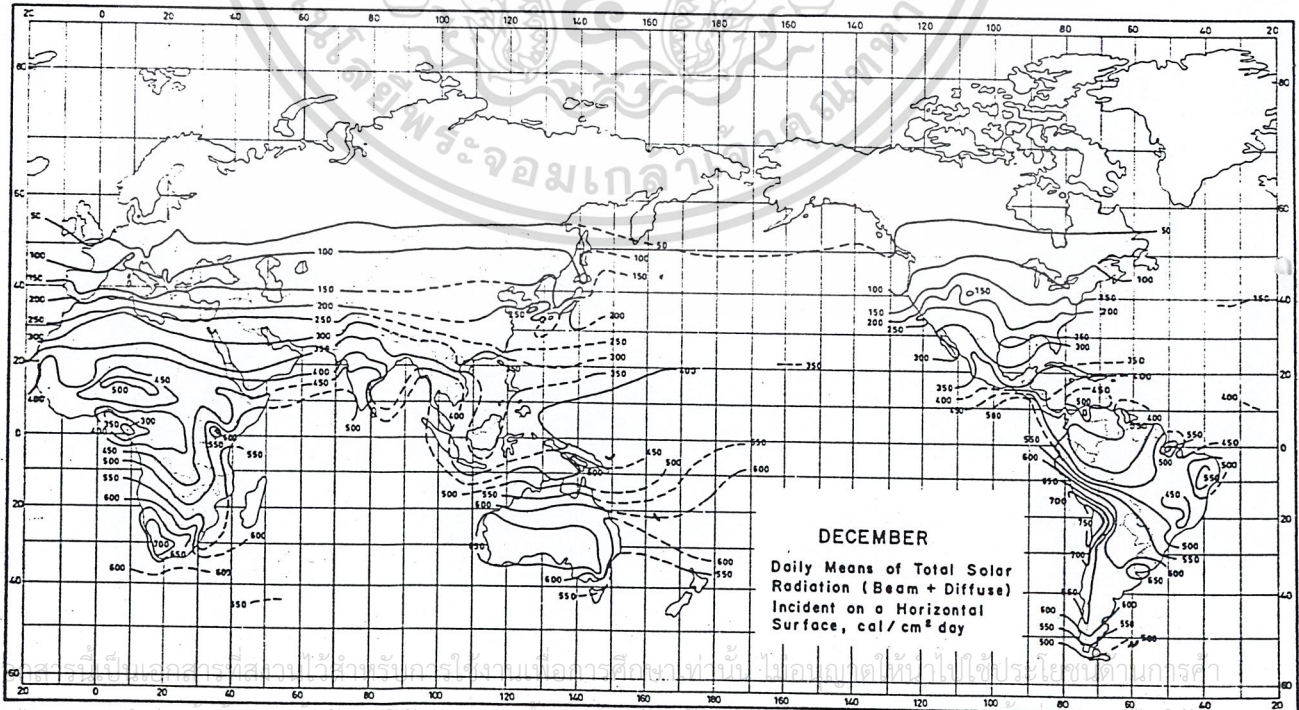


Figure 3.3.4 Daily radiation for December.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปเซ

TABLE 3.4.1 Examples of Monthly Averages of Hours Per Day of Sunshine.

Station	Latitude	Alt., m	Annual	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Hong Kong	22°N	5.3	4.7	3.5	3.1	3.8	5.0	5.3	6.7	6.4	6.6	6.8	6.4	5.6	
Paris	48°N	50	5.1	2.1	2.8	4.9	7.4	7.1	7.6	8.0	6.8	5.6	4.5	2.3	1.6
Bombay	19°N	s.l.	7.4	9.0	9.3	9.0	9.1	9.3	5.0	3.1	2.5	5.4	7.7	9.7	9.6
Sokoto (Nigeria)	13°N	107	8.8	9.9	9.6	8.8	8.9	8.4	9.5	7.0	6.0	7.9	9.6	10.0	9.8
Perth (Australia)	32°S	20	7.8	10.4	9.8	8.8	7.5	5.7	4.8	5.4	6.0	7.2	8.1	9.6	10.4
Madison	43°N	63	7.3	4.5	5.7	6.9	7.5	9.1	10.1	9.8	10.0	8.6	7.2	4.2	3.9

radiation to clear day radiation (at the location in question) and mean fraction of possible sunshine hours:

$$H_{av} = H'_0 \left(a' + b' \frac{n}{N} \right) \quad (3.4.1)$$

where H_{av} = average horizontal radiation for the period in question (e.g., month);
 H'_0 = clear day horizontal radiation for the same period;
 n = average daily hours of bright sunshine for same period;
 N = maximum daily hours of bright sunshine for same period;
 a', b' = constants.

Several authors have used sunshine and radiation data for the same stations and times to statistically derive values of a' and b' . Fritz (1951) gives $a' = 0.35$ and $b' = 0.61$. Values of H'_0 for use in Eq. (3.4.1) can be obtained from charts such as Figure 3.4.1. It is also necessary to know the day length; this can be calculated from Eq. (2.5.5) or it can conveniently be obtained from Figure 3.4.2, a nomogram developed by Whillier (1965) showing day length as a function of declination and latitude.

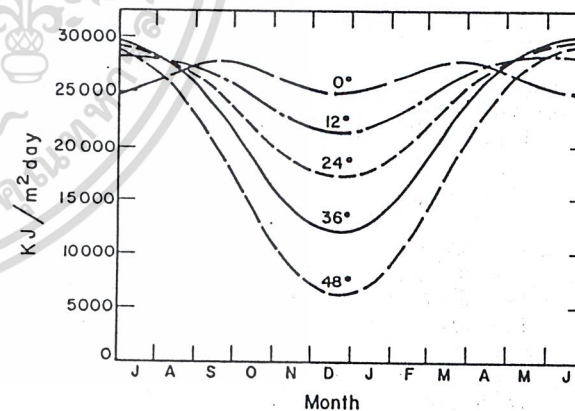


Figure 3.4.1 Clear day solar radiation on a horizontal plane for various latitudes.

ประวัติผู้ทำโครงการพิเศษ

1. นายเสรี จันทร์เจริญ เกิดวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2519 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายปีการศึกษา 2537 จาก รร. ชลบุรี “ สุขบพ ” จ. ชลบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังปีการศึกษา 2541

2. นายเสรี อังศิริ เกิดวันที่ 5 กรกฎาคม 2518 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายปีการศึกษา 2536 จาก รร. เบญจมาราชรังษฤษฎี จ. ฉะเชิงเทรา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังปีการศึกษา 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้