โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ โปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหนงใด ๆ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมจากนาซา

Solar energy budget calculation at any location using NASA satellite data program

ชื่อนิสิต นายธนากร มาลาวัลย์ **เลขประจำตัว** 5833423423

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2561

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

หัวข้อโครงงาน	: โปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งใดๆ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมจากนาซา
ผู้จัดทำ	: นายธนากร มาลาวัลย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ผศ. พงษ์ ทรงพงษ์
ภาควิชา	: ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	: 2561

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการได้ตรวจรับรองรายงานฉบับนี้แล้ว

..... (ประธานกรรมการ)
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัฐชาติ มงคลนาวิน)

..... (กรรมการ)
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธิติ บวรรัตนารักษ์)

..... (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงษ์ ทรงพงษ์)

© ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Scanned with CamScanner

โครงงานวิทยาศาสตร์นิสิตชั้นปีที่ 4

เรื่อง

โปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งใดๆ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมจากนาซา
Solar energy budget calculation at any location using NASA satellite data program

นายธนากร มาลาวัลย์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงษ์ ทรงพงษ์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

หัวข้อโครงงาน : โปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งใดๆ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมจากนาซา
ผู้จัดทำ : นายธนากร มาลาวัลย์
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. พงษ์ ทรงพงษ์
ภาควิชา : ฟิสิกส์
ปีการศึกษา : 2561

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ ณ ตำแหน่งที่สนใจ โดยใช้ข้อมูลตัวแปรความเข้มแสงตรง (DNR) จากเว็บไซต์ www.power.larc.nasa.gov ซึ่งมีการเก็บข้อมูลจากดาวเทียมองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ไว้มากกว่า 20 ปี แต่เนื่องจากข้อมูลของตัวแปร DNR เป็นค่าความเข้มแสงตรงที่ตกตั้งฉากตลอดเวลา จึงต้องทำการแปลงค่าความเข้มแสงตรงจากเว็บไซต์ของนาซาที่ได้ ให้สอดคล้องกับค่าพลังงานที่แผงโซลาร์เซลล์ได้รับในแต่ละวัน โดยคำนวณค่าความเข้มแสงตรงทางทฤษฎีในทุกๆ ชั่วโมงของแต่ละวันเพื่อคำนวณพลังงานที่ได้ โดยมีขั้นตอนการทำงานคือ ผู้ใช้งาน ใส่พิกัดภูมิศาสตร์คือค่าละติจูด และลองจิจูด ใส่มุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ และใส่มุมที่ทิศของแผงโซลาร์เซลล์ทำกับทิศเหนือเข้าไปในโปรแกรมเพื่อคำนวณเป็นค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงโซลาร์เซลล์ ณ ตำแหน่งที่สนใจ ผลการทดสอบการใช้งานโปรแกรมในกรณีศึกษาพบว่า จังหวัดอุบลราชธานี ที่มุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์ 20 องศา จะทำให้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 3.56 $kW \cdot hr/m^2/day$, เมืองออสโล ประเทศนอร์เวย์ ที่มุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์ประมาณ 45-50 องศา จะทำให้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 2.04 $kW \cdot hr/m^2/day$, เมืองไครสต์เชิร์ช ประเทศนิวซีแลนด์ ที่มุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ 45 องศา จะทำให้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 2.94 $kW \cdot hr/m^2/day$ สำหรับพื้นที่ในประเทศไทยที่มีศักยภาพการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยมีการกำหนดเงื่อนไขให้ทิศของแผงโซลาร์เซลล์หันไปทางทิศใต้ พบว่าบริเวณพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีศักยภาพสูงสุดในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยที่มุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์ 15 องศา จะทำให้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 3.55 $kW \cdot hr/m^2/day$ และในกรณีศึกษาต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาสนามราชมังคลากีฬาสถาน โดยหันหน้าแผงไปทางทิศใต้ พบว่าที่มุมเอียงของแผงประมาณ 15 องศา จะทำให้แผงโซลาร์เซลล์รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 3.41 $kW \cdot hr/m^2/day$

Title : Solar energy budget calculation at any location using NASA satellite data program
Name : Tanakorn Malawan
Project Advisor : Assistant Prof. Pong Songpong
Departmet : Physics
Academic Year : 2018

Abstract

A program that calculates solar energy budget at any location on earth was developed. The program uses Direct Normal Radiation (DNR) obtain from NASA's website (www.power.larc.nasa.gov) in which database the solar radiation data were collected for more than 20 years. The DNR was then converted to solar energy received by a solar panel with a desired direction. The energy budget is calculated based on theoretical sun position, the panel direction with respect to north pole, and panel tilt angle. The program uses latitude, longitude, tilt angle and azimuth of panel from user to calculate solar energy at any location that user are interested. The results of the program testing for case study found that in Ubon Ratchathani the angle of the solar panel 20 degrees, causing the maximum solar panel is 3.56 $kW \cdot hr/m^2/day$, At the Oslo, Norway the angle of solar panel 45-50 degrees, causing the maximum solar panel is 2.04 $kW \cdot hr/m^2/day$, At the Christchurch, New Zealand the angle of solar panel 45 degree, causing the maximum solar panel is 2.94 $kW \cdot hr/m^2/day$. For areas in Thailand that have the potential to use efficient solar panels we found that in the area of Prachuap-Khirikhan province has the highest potential for using solar panels at angle of solar panel 15 degrees, causing the maximum solar panel is 3.55 $kW \cdot hr/m^2/day$. Fanally, in case study if user want to install solar panels on the roof of Rajamangala National Stadium at the angle of solar panel 15-20 degrees, causing the solar panel to receive maximum solar energy is 3.41 $kW \cdot hr/m^2/day$

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำของผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์ ทรงพงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้กรุณาที่ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตรวจสอบ และแก้ไขร่างรูปเล่มโครงงานมาโดยตลอด ผู้จัดทำโครงงานจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณ The NASA Langley Research Center (LaRC) ที่ให้ความอนุเคราะห์แก่บุคคลทั่วไป และผู้จัดทำโครงงานได้นำข้อมูลความเข้มแสงตรงดวงอาทิตย์จากเว็บไซต์ www.power.larc.nasa.gov มาใช้ประโยชน์ในการทำโครงงานครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐชาติ มงคลนาวิน ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานในการสอบโครงงานวิทยาศาสตร์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ธิติ บวรรัตนารักษ์ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบโครงงานวิทยาศาสตร์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ดร.สุภัทรา วิเศษศรี อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในทุก ๆ ด้าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศศิภา พันธุวดีธร และ นายณัฐนนท์ ตัวลือ ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตลอดจนเพื่อนๆ เจ้าหน้าที่ บุคคลากรในภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยการ และประสานงาน ในการสอบโครงงานวิทยาศาสตร์ให้ผู้จัดทำโครงงานตลอดมาจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้จัดทำโครงงานมีสติปัญญาในการจัดทำรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำโครงงานขอให้เป็นกตเวทิตาแด่บิดา มารดา ครอบครัวของผู้จัดทำโครงงาน ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ และบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้จัดทำโครงงานจนสามารถทำให้รายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ธนากร มาลาวัลย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ก

บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... 2

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 การหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์..... 3

2.1.1 ระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง (equatorial system)..... 3

2.1.2 ระบบที่ใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง (horizontal system)..... 5

2.1.2.1 มุมอัลติจูด (Altitude).....5

2.1.2.2 มุมอาซิมุธ (Azimuth).....5

2.2 ค่ามวลอากาศ (Air Mass)..... 7

2.3 ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (Solar Constant)..... 8

2.4 ตรีโกณมิติทรงกลม (Spherical Trigonometry)..... 9

2.4.1 สูตรโคไซน์ (Cosine formula)..... 10

2.5 ความเข้มแสงตรงของดวงอาทิตย์จากเว็บนาซา..... 11

2.6 ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์.....12

บทที่ 3 การเขียนโปรแกรม..... 14

3.1 โปรแกรมในการดึงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ จากเว็บไซต์ www.power.larc.nasa.gov..... 14

3.1.1 URL ที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์..... 14

3.1.2 การดึงข้อมูลตัวแปรความเข้มตรงแสงอาทิตย์..... 16

3.2 โปรแกรมย่อยในการคำนวณ..... 17

3.2.1 โปรแกรมคำนวณมุมเดคลิเนชัน 17
3.2.2 โปรแกรมคำนวณมุมอัลติจูด 18
3.2.3 โปรแกรมคำนวณมุมเซนิธ 19
3.2.4 โปรแกรมคำนวณค่ามวลอากาศ 20
3.2.5 โปรแกรมคำนวณค่าความเข้มแสงตรงทางทฤษฎี 21
3.2.6 โปรแกรมคำนวณมุมอาซิมุธ 22
3.2.7 โปรแกรมคำนวณมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลาร์เซลล์ 23
3.2.8 โปรแกรมคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ 24
3.3 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ และโปรแกรมหลัก 25
3.3.1 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ 25
3.3.2 โปรแกรมหลัก 25
บทที่ 4 การใช้งานและการทดสอบโปรแกรม 28
4.1 การใช้งานโปรแกรม 28
4.1.1 ส่วนการรับข้อมูล 28
4.1.2 ส่วนการแสดงผล 29
4.2 การทดสอบโปรแกรม 30
4.2.1 การทดสอบโปรแกรมโดยการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์โดยที่ผู้ใช้งานป้อนค่าข้อมูลมุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์ 30
4.2.2 การทดสอบโปรแกรมเพื่อการหาศักยภาพในพื้นที่ของประเทศไทยที่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ 33
4.2.3 การทดสอบโปรแกรมโดยผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ณ สนามราชมังคลากีฬาสถาน..37
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผล 39
เอกสารอ้างอิง 41
ภาคผนวก 42

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง 4
รูปที่ 2.2 การแปรค่าของเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (δ) ตามเวลาในรอบปี 4
รูปที่ 2.3 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง 6
รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ตำแหน่งมุมอัลติจูด 90 องศา และเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ 7
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์กับโลก 8
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของทรงกลม 9
รูปที่ 2.7 สามเหลี่ยมทรงกลม 10
รูปที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงตรงรายเดือนจากการสังเกตที่สถานีภาคพื้น (แกนX) และจากการคำนวณของดาวเทียม (แกนY) 12
รูปที่ 3.1 โปรแกรม Spyder version 3.3.2 14
รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของพารามิเตอร์ DNR 15
รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดการใส่ข้อมูล Start & End Dates สำหรับพารามิเตอร์ต่างๆ 16
รูปที่ 3.4 ผังการทำงานการดึงข้อมูลพารามิเตอร์ DNR จากเว็บไซต์นาซา 16
รูปที่ 3.5 ผังการทำงานโปรแกรมคำนวณมุมเดคลิเนชัน 17
รูปที่ 3.6 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณมุมอัลติจูด 18
รูปที่ 3.7 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณมุมเซนิธ 19
รูปที่ 3.8 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณค่ามวลอากาศ 20
รูปที่ 3.9 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณค่าความเข้มแสงตรงทางทฤษฎี 21
รูปที่ 3.10 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณมุมอาซิมุธ 22
รูปที่ 3.11 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลาร์เซลล์ 23
รูปที่ 3.12 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ 24
รูปที่ 3.13 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกในการรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน 25
รูปที่ 3.14 ผังการทำงานรวมของโปรแกรม 27
รูปที่ 4.1 โปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ 28
รูปที่ 4.2 ส่วนแสดงผลการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ 29

รูปที่ 4.3 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ จ.อุบลราชธานี ประเทศไทย.....30
รูปที่ 4.4 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ เมืองออสโล ประเทศนอร์เวย์.....31
รูปที่ 4.5 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ เมืองไครสต์เชิร์ช ประเทศนิวซีแลนด์..... 32
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดตัดละติจูดกับลองจิจูดต่างๆ ของประเทศไทย..... 33
รูปที่ 4.7 กราฟสามมิติแสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย.....35
รูปที่ 4.8 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่ง ละติจูด 12.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.0 องศาตะวันออก.... 35
รูปที่ 4.9 กราฟสามมิติแสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ ละติจูด 12.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.0 องศาตะวันออก.....36
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายดาวเทียมของสนามราชมังคลากีฬาสถาน จาก Google Map..... 37
รูปที่ 4.11 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ณ สนามราชมังคลากีฬาสถาน..... 38

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งละติจูดกับลองจิจูดต่างๆ ของประเทศไทย.....34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา โลกของเรากำลังประสบกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งส่งให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆมากมาย ทั้งน้ำท่วม ภัยแล้ง หรือแม้แต่ปัญหาฝุ่นควัน โดยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล (fossil fuel) ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นในปัจจุบันแต่ละประเทศจึงหันมาให้ความสำคัญกับพลังงานทางเลือก (Renewable Energy) เพิ่มมากขึ้น เพราะต้องการที่จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทุกคนกำลังเผชิญอยู่ในตอนนี้

สำหรับพลังงานทางเลือกที่จัดทำโครงงานสนใจคือพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานแสงที่เราสามารถใช้ได้เรื่อยๆ ไม่มีวันหมด แต่ปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เราคิดว่าได้รับเยอะ แท้ที่จริงแล้วถูกรบกวนด้วยปัจจัยต่างๆ ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกของเราลดลง ทั้ง เมฆ ฝน และผลจากปัญหาสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกของเราได้รับที่แท้จริงนั้นไม่มากอย่างมากที่คิด และเมื่อเราต้องการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ เราจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงศักยภาพพื้นที่นั้นก่อนว่ามีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์มากหรือน้อยเพียงใด โดยทำการคำนวณหาปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการคำนวณหาปริมาณแสงอาทิตย์นั้นสามารถคำนวณได้ตามทฤษฎีโดยคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และสามารถรู้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงโซลาร์เซลล์ได้รับ แต่มีปัจจัยต่างๆที่อาจจะทำให้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงได้รับไม่ตรงกับความจริง ดังนั้นเมื่อเราต้องการ ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ จึงควรคำนวณหาค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์จริงๆ

โดยการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ สามารถทำได้โดยการจัดตั้งเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ให้กระจายครอบคลุมพื้นที่นั้นๆ และทำการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่พื้นที่นั้นได้รับ แต่วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดคือต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมือวัดและการดูแลรักษาเครื่องมือค่อนข้างมาก นอกจากนี้ในบางพื้นที่ เช่น บริเวณภูเขาหรือพื้นที่ห่างไกลต่างๆ ไม่สะดวกในการจัดตั้งสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และนอกจากนี้เรายังสามารถคำนวณความเข้มแสงอาทิตย์ได้โดยการใช้ข้อมูลจากดาวเทียม ซึ่งข้อมูลที่ได้ถือได้ว่าค่าเฉลี่ยมีค่าครอบคลุม ประยัดค่าใช้จ่ายและสามารถทราบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในพื้นที่ห่างไกลได้

สำหรับในโครงงานนี้ผู้จัดทำโครงงานต้องการทราบว่า ณ ตำแหน่งที่ผู้ใช้งานสนใจจะติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ แผงสามารถรับพลังงานได้มากเท่าใด โดยการดึงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์จากเว็บไซต์ www.power.larc.nasa.gov ซึ่งมีการเก็บข้อมูลจากดาวเทียมขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration) หรือ นาซา (NASA) วิธีการดังกล่าวมีข้อดี คือสามารถหาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ครอบคลุมทุกพื้นที่ของโลก สามารถใช้ข้อมูลย้อนหลังกลับไปได้มากกว่า 20 ปี โดยการออกแบบโปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้ภาษาไพธอน (Python)

เนื่องจากเป็นภาษาที่เขียนง่าย และมีความสะดวกสำหรับผู้เริ่มเขียนโปรแกรม คำนวณเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงโซลาร์เซลล์จะได้รับในแต่ละเดือน เพื่อช่วยเป็นข้อมูลแก่ผู้ที่สนใจในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อเรียนรู้การเขียนโปรแกรมสำหรับใช้งานในการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อสร้างโปรแกรมในการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านมายังโลก ณ ตำแหน่งใดๆที่สนใจ
3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์ แก่ผู้ที่สนใจ
4. เพื่อศึกษาแนวทางในการคำนวณความเข้มแสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี และนำข้อมูลความเข้มแสงตรงจากเว็บไซต์ของนาซาออกมาใช้งาน

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการและสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ได้
2. ได้โปรแกรมที่ใช้งานง่ายและสามารถคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งใดๆได้
3. ผู้ที่สนใจสามารถใช้ประโยชน์จากโปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์นี้ในการหาศักยภาพพื้นที่ที่เหมาะสมจากการใช้ประโยชน์ด้านพลังงานแสงอาทิตย์
4. เข้าใจหลักการคำนวณความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี และใช้ประโยชน์จากข้อมูลความเข้มรังสีแสงตรงจากเว็บไซต์ของนาซา

บทที่ 2
ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

2.1 การหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์

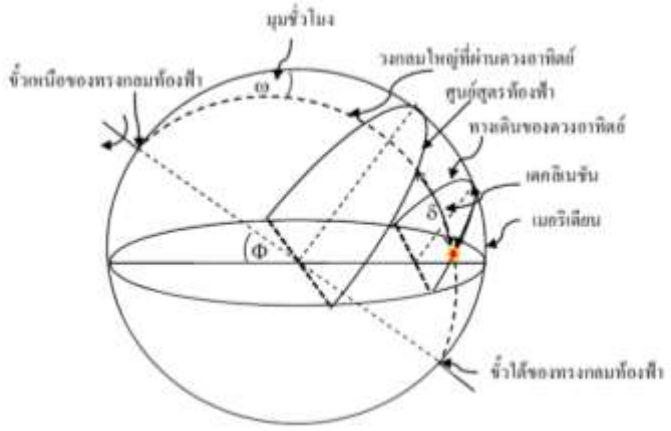
ในการคำนวณหาพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบระนาบต่างๆที่ผิวโลก จำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะพิจารณาว่าท้องฟ้าเป็นครึ่งหนึ่งของทรงกลม เรียกว่า ทรงกลมท้องฟ้า โดยมีผู้สังเกตเป็นศูนย์กลาง การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ของดวงอาทิตย์จึงใช้มุมเพียง 2 มุม หรือใช้ส่วนโค้ง (arc) ของทรงกลมท้องฟ้า 2 ส่วนโค้ง ก็สามารถระบุตำแหน่งได้ ซึ่งในโครงงานนี้สามารถหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้จาก 2 ระบบ ดังนี้

2.1.1 ระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง (equatorial system) เนื่องจากระนาบของ ทางเดินของดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้าจะขนานกับระนาบของศูนย์สูตรท้องฟ้า โดยในช่วง เวลา 1 วัน ระนาบของทางเดินของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนสามารถถือว่าคงที่ได้ ดังนั้นในระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิงจะบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยการลากวงกลมใหญ่ (great circle) จากขั้วหนึ่งของทรงกลมท้องฟ้าผ่านดวงอาทิตย์ไปยังอีกขั้วหนึ่ง (รูปที่ 2.1) และใช้ระยะห่างเชิงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับศูนย์สูตรท้องฟ้าบนวงกลมใหญ่ ดังกล่าวเป็นตัวแปรที่ 1 เพื่อบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และเรียกตัวแปรนี้ว่า เดคลิเนชัน (declination) สำหรับตัวแปรที่ 2 จะใช้มุมบนผิวทรงกลมท้องฟ้าระหว่างวงกลมใหญ่ที่ลากผ่านดวงอาทิตย์ และเส้นเมอริเดียน โดยจะเรียกมุมดังกล่าวว่า มุมชั่วโมง (hour angle, ω)

โดยที่มุมชั่วโมง (ω) จะแปรตามเวลาที่ใช้ตำแหน่งดวงอาทิตย์อ้างอิงหรือเวลาดวงอาทิตย์ (solar time) ทั้งนี้เพราะช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนจากเส้นเมอริเดียนที่อยู่ตรงศีรษะของผู้สังเกต ไปทางทิศตะวันตกจนกลับมายังตำแหน่งเดิมอีกครั้ง จะใช้เวลา 24 ชั่วโมง ในขณะเดียวกันมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ก็จะวนมาครบรอบ หรือ 360 องศา จะเห็นว่าดวงอาทิตย์ เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 15 องศาต่อชั่วโมง ดังนั้นเราจึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมชั่วโมง กับเวลาดวงอาทิตย์ได้ดังสมการ

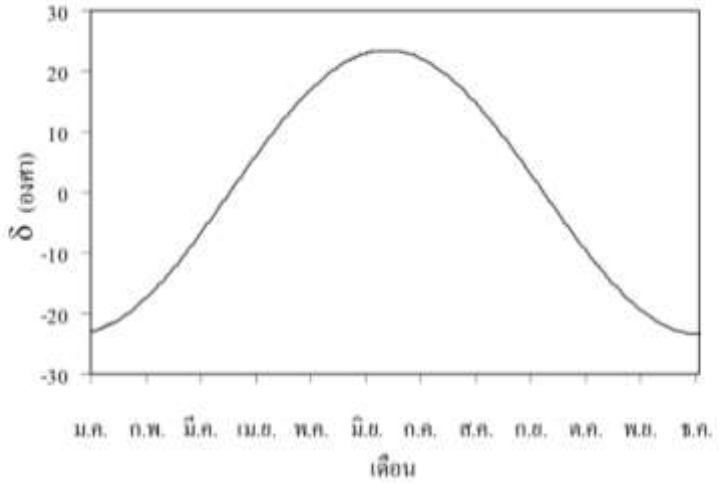
$$\omega = 15(ST - 12) \tag{1}$$

เมื่อ ω คือมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (องศา)
ST คือเวลาของดวงอาทิตย์ (องศา)



รูปที่ 2.1 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง

ค่าเดคลิเนชัน (δ) จะแปรค่าอยู่ระหว่าง –23.5 องศา และ 23.5 องศา จากการ สังเกตจะพบว่าค่าเดคลิเนชันจะแปรตามเวลาในรอบปีตามกราฟรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแปรค่าของเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (δ) ตามเวลาในรอบปี

กราฟในรูปที่ 2 สามารถแทนด้วยสมการเอมไพริคัล ได้ดังนี้

$$\delta = 23.45 \sin[\frac{360}{365}(d - 81)] \quad (2)$$

เมื่อ δ คือ เดคลิเนชัน (องศา)

d เป็นลำดับของวันในรอบปี โดย d = 1 ในวันที่ 1 มกราคม และ d = 365 ในวันที่ 31 ธันวาคม สำหรับเดือนกุมภาพันธ์จะคิดว่ามี 28 วัน

2.1.2 ระบบที่ใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง (horizontal system) ระบบนี้จะอาศัยมุม 2 มุม ในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (รูปที่ 2.3) ดังนี้

2.1.2.1 มุมอัลติจูด (altitude, α) หรือมุมเงยเป็นมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อ ระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ (OA) กับภาพฉายของเส้นตรงดังกล่าวบนระนาบในแนวระดับ (OB) ซึ่งจะมีค่าจาก 0 ถึง 90 องศา โดยค่ามุมอัลติจูดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\alpha = \sin^{-1}(sin\delta sin\emptyset + cos\delta cos\emptyset cos\omega) \quad (3)$$

เมื่อ α คือ มุมอัลติจูด (องศา)

δ คือ เดคลิเนชัน (องศา)

ω คือ มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (องศา)

$\emptyset$ คือ ค่าตำแหน่งละติจูด (องศา)

สำหรับมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับควงอาทิตย์ (OA) กับเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับจุดเซนิธ (OZ) จะเรียกว่า มุมเซนิธ (zenith angle, θ_z) ซึ่งนิยมใช้บอกตำแหน่งดวงอาทิตย์เช่นกัน โดยที่ θ_z = 90 – α

2.1.2.2 มุมอาซิมุธ (azimuth, ψ) เป็นมุมที่เส้นตรงบอกทิศโดยวัดจากแนวทิศใต้ (OS ในรูปที่ 2.3) ไปยัง ภาพฉาย (projection) ของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์บนระนาบในแนว ระดับ (OB) โดยมีค่าเป็นบวกถ้าเงาดังกล่าวอยู่ซีกตะวันออก และเป็นลบถ้าอยู่ซีกตะวันตกของ ท้องฟ้า หรือ - 180° ≤ ψ ≤ 180° โดยค่าของมุมอาซิมุธสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\psi = \cos^{-1}\left(\frac{sin\delta cos\emptyset - cos\delta sin\emptyset cos\omega}{cos\alpha}\right) \quad (4)$$

เมื่อ ψ คือ มุมอาซิมุธ (องศา)

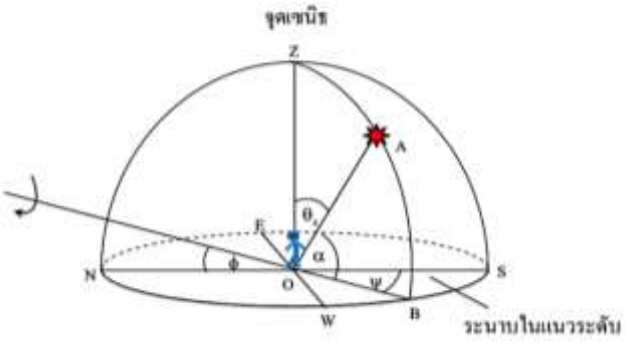
δ คือ เดคลิเนชัน (องศา)

$\emptyset$ คือ ค่าตำแหน่งละติจูด (องศา)

ω คือมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (องศา)

α คือ มุมอัลติจูด (องศา)

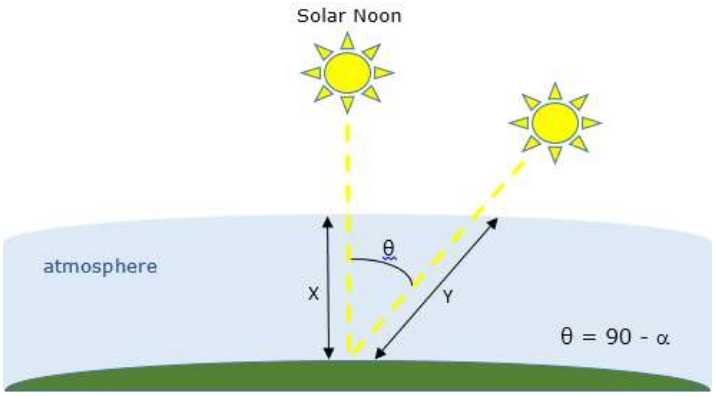
การบอกตำแหน่งโดยใช้ระบบระนาบในแนวระดับอ้างอิง มีข้อดี คือ เข้าใจได้ง่าย แต่มีข้อจำกัด คือ ค่ามุมอาซิมุธ และมุมอัลติจูด จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้น จนถึงดวงอาทิตย์ตก และเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปีด้วย



รูปที่ 2.3 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง

2.2 ค่ามวลอากาศ (Air Mass)

เมื่อรังสีแสงอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกจะถูกองค์ประกอบต่างๆของบรรยากาศดูดกลืนและกระเจิง ทำให้รังสีแสงอาทิตย์ที่พุ่งตรงมาถึงพื้นผิวโลกหรือรังสีตรง มีปริมาณลดลง โดยค่ามวลอากาศ เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับตำแหน่งของมุมอัลติจูด α ดังรูปที่ 2.4 โดยเราสามารถคำนวณหาระยะทางที่แสงเดินทางผ่านบรรยายกาศ (Y) เมื่อเทียบกับระยะทางที่สั้นที่สุดเมื่อตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์มีเป็น 90 องศา (X)



รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ตำแหน่งมุมอัลติจูด 90 องศา และเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ

จากรูป พบว่าค่ามวลอากาศ สามารถคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการ

$$AM = \frac{Y}{X} = \frac{1}{\cos\theta} \tag{5}$$

เมื่อ AM คือ ค่ามวลอากาศ

X คือ ระยะทางที่แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศที่ตำแหน่งมุมอัลติจูดเป็น 90 องศา

Y คือ ระยะทางที่แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศที่ตำแหน่งใดๆ

θ คือ มุมระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มุมอัลติจูดเป็น 90 องศาเทียบกับตำแหน่งใดๆของดวงอาทิตย์ ซึ่งก็คือมุมเซนิธของดวงอาทิตย์ จะได้ว่า θ มีค่าเท่ากับ θ_z

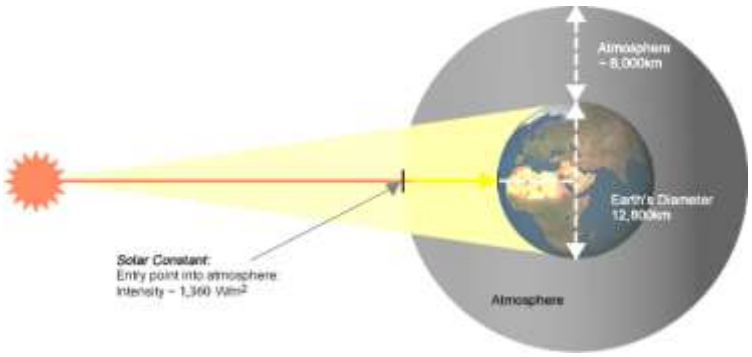
และเมื่อคิดผลจากส่วนโค้งของโลก สามารถเขียนในรูปสมการเอมไพริเคิล (empirical equation) ได้ดังนี้

$$AM = \frac{1}{cos\theta_z + 0.50572(96.07995 - \theta_z)^{-1.6364}} \tag{6}$$

2.3 ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (Solar Constant)

พลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกเราได้รับอยู่ทุกขณะมีค่าคงที่ในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเกิด จากการที่โลกได้รับกับแสงอาทิตย์ขณะที่เคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ การวัดปริมาณของแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับทำได้โดยวัดค่าคงที่แสงอาทิตย์ (solar constant) ซึ่งค่าคงที่แสงอาทิตย์เป็นค่าเฉลี่ยของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งตั้งฉากกับรังสีดวงอาทิตย์ และอยู่นอกบรรยากาศของโลกที่ระยะทางเฉลี่ยระหว่าง โลกกับดวงอาทิตย์

สำหรับการคำนวณหาค่าคงที่แสงอาทิตย์ สามารถพิสูจน์ได้โดยใช้หลักการคือ ให้ดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำ การเปลี่ยนแปลงพลังงานของฟลักซ์การแผ่รังสีที่ผ่านบนพื้นผิวภายนอกของทรงกลม จะเกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์ โดยฟลักซ์นี้จะผ่านพื้นผิวของระยะรัศมีเฉลี่ยระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก ความเข้มของฟลักซ์ที่ความยาวนี้คือค่าคงที่แสงอาทิตย์ ซึ่งความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์กับโลกเป็นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์กับโลก

โดยที่ รัศมีของของวงโคจรโลกมีค่าประมาณ $149 \times 10^9 m$ รัศมีของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ $695 \times 10^6 m$ และอุณหภูมิที่พื้นผิวของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 5755 องศาเซลเซียส และจากรูปที่ 2.5 จะได้ความสัมพันธ์คือ

ฟลักซ์การแผ่รังสีที่วงโคจรโลก = ฟลักซ์การแผ่รังสีที่ผิวดวงอาทิตย์

$$I_{orbit\ earth} A_{orbit\ earth} = I_{sun} A_{sun}$$

$$I_{orbit\ earth} = I_{sun}\left(\frac{A_{sun}}{A_{orbit\ earth}}\right)$$

$$I_{orbit\ earth} = \sigma T^4 \left(\frac{4\pi (R_{sun})^2}{4\pi (R_{orbit\ earth})^2}\right)$$

$$I_{orbit\ earth} = 5.67 \times 10^{-8} (5755)^4 \left(\frac{695 \times 10^6}{149 \times 10^9}\right)^2$$

$$I_{orbit\ earth} = solar\ constant = 1353\ W/m^2 \quad (7)$$

และค่าความเข้มแสงตรงที่ผิวโลกสามารถคำนวณได้จากสมการเอมไพริคัล

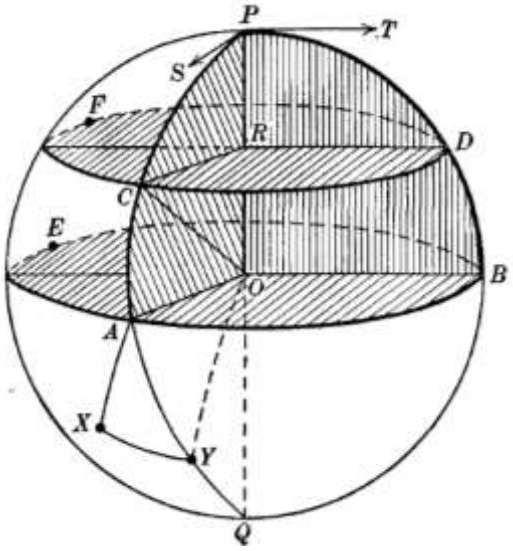
$$I_D = 1353 \times 0.7^{AM^{0.678}} \quad (8)$$

เมื่อ I_D คือ ความเข้มแสงตรงที่ผิวโลก W/m^2

AM คือ ค่ามวลอากาศ

2.4 ตรีโกณมิติทรงกลม (Spherical Trigonometry)

หากนำระนาบตัดผ่านทรงกลมไม่ว่าในลักษณะใดก็ตาม จะทำให้เกิดวงกลมขึ้นตามขอบทรงกลมที่ระนาบตัดผ่าน โดยวงกลมที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ วงกลมใหญ่ (great circle) เป็นวงกลมที่เกิดจากการเอาระนาบตัดผ่านทรงกลมผ่านจุดศูนย์กลางของทรงกลม และวงกลมเล็ก (small circle) คือวงกลมที่เกิดจากการเอาระนาบตัดผ่านทรงกลม โดยไม่ผ่านจุดศูนย์กลางของทรงกลม



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของทรงกลม

จากรูปที่ 6 จะแสดงให้เห็นว่า วงกลมใหญ่ EAB มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด O และจุดๆ นี้ยังเป็นจุดศูนย์กลางของ ทรงกลมด้วย กำหนดให้ QOP เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่ตั้งฉากกับระนาบของวงกลม EAB โดย R เป็นจุด ใดๆ บนเส้นตรง OP และให้ ระนาบที่ผ่านจุด R ขนานกับระนาบ EAB จะได้ว่ากลมเล็ก FCD ที่มีระนาบตั้งฉากกับ OP โดยมีจุด P และ Q เป็นขั้ว (pole) ของทั้งวงกลมใหญ่ EAB และวงกลมเล็ก FCD

กำหนดให้ PCAQ เป็นวงกลมใหญ่ใดๆ ที่ผ่านขั้ว P และ Q ตัดกับวงกลมเล็ก FCD ที่จุด C และตัดกับวงกลม ใหญ่ EAB ที่จุด A ในทำนองเดียวกัน ให้ วงกลมใหญ่ PDBQ ผ่านขั้ว P และ Q ตัดวงกลมเล็ก FCD และวงกลมใหญ่ EAB ที่จุด D และ B ตามลำดับ ซึ่งเราสามารถอ้างถึงส่วนของวงกลมใหญ่โดยเลือกส่วนใดส่วนหนึ่งของเส้นรอบวง เพื่อให้ง่ายในการอ้างอิง เมื่อวงกลมใหญ่ 2 วงตัดกันที่จุดๆ หนึ่ง จะทำให้เกิดมุมทรงกลม (spherical angle) เมื่อลากเส้น PS และ PT เป็นเส้นสัมผัสวงกลม PA และวงกลม PB ตามลำดับ โดยที่ PS จะตั้งฉากกับรัศมี OP ของวงกลมใหญ่ PA อยู่ในระนาบ PA0 ขนานกับรัศมี OA ในทำนองเดียวกัน PT ก็ตั้งฉากกับ รัศมี OP ของวงกลมใหญ่ PB อยู่ใน ระนาบ PRO และขนานกับรัศมี OB ซึ่งจะได้ว่า มุม SPT คือ มุมทรงกลม ที่จุด P ระหว่างวงกลมใหญ่ PA และ PB ซึ่ง มีขนาดเท่ากับมุม AOB แสดงให้เห็นว่ามุมทรงกลมนิยามจากวงกลมใหญ่ 2 วงตัดกันเท่านั้น

ถ้ากำหนดให้มีจุด 3 จุดใดๆ บนผิวทรงกลมหนึ่ง และจุดทั้ง 3 จุดอยู่บนครึ่งทรงกลมครึ่งทรงกลมเดียวกันได้ เมื่อ แบ่งทรงกลมออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน และทุกจุดเชื่อมต่อกันด้วยส่วนโค้งของวงกลมใหญ่ รูป

ที่เกิดขึ้นเรียกว่า สามเหลี่ยมทรงกลม (spherical triangle) ดังรูปที่ 6 จุด A, X และ เชื่อมต่อกันด้วยส่วนโค้งของวงกลมใหญ่ AX AY และ XY เป็นสามเหลี่ยมทรงกลม AXY มี AX AY และ XY เป็นด้านและมี A, X และ Y เป็นมุมของสามเหลี่ยมทรงกลม

เมื่อกำหนดให้ r คือรัศมีของทรงกลม จะได้ว่าความยาวส่วนโค้งของของวง กลมใหญ่ AY คือ

$$\widehat{AY} = r \times A\hat{O}Y \tag{9}$$

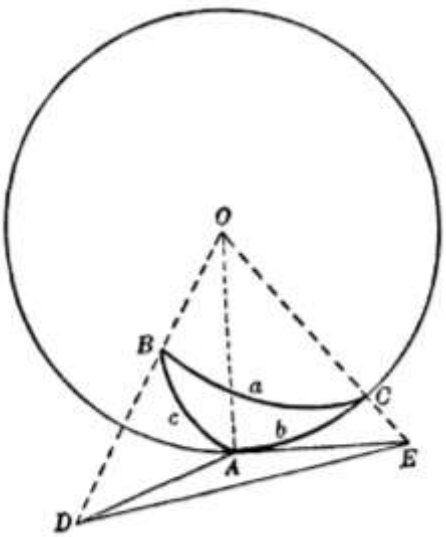
เมื่อ มุม AOY อยู่ในหน่วย เรเดียน และ รัศมีเท่ากับ 1 จะได้

$$\widehat{AY} = A\hat{O}Y \tag{10}$$

แสดงให้เห็นว่า ส่วนโค้ง AY มีขนาดเท่ากับมุม AOY ที่รองรับด้วยจุดศูนย์กลางของทรงกลม จากรูปที่ 2.6 สามเหลี่ยม PCD ไม่ได้เป็นสามเหลี่ยมทรงกลม เนื่องจากด้าน CD ไม่ได้เป็นส่วนโค้งของวงกลมใหญ่ ดังนั้นความสัมพันธ์ต่างๆ ที่ได้มาจากการพิสูจน์สามเหลี่ยมทรงกลมจะใช้ไม่ได้กับสามเหลี่ยมกรณีนี้

2.4.1 สูตรโคไซน์ (Cosine formula)

เพื่อความสะดวกเราจะเรียกมุมของสามเหลี่ยมทรงกลมตามชื่อจุดยอดของมุมนั้น และให้ด้านที่อยู่ตรงข้ามมุม นั้นเป็นอักษรตัวเล็กของมุมนั้นๆ



รูปที่ 2.7 สามเหลี่ยมทรงกลม

จากรูปที่ 2.7 สามเหลี่ยมทรงกลม ABC ประกอบด้วยมุมของสามเหลี่ยมทรงกลมคือมุม A, B และ C โดยมีด้านตรงข้ามมุมเหล่านั้นเป็น a,b และ C ตามลำดับ ซึ่งด้าน a, b และ C นั้นมีความสอดคล้องกับมุม ณ จุดศูนย์กลางของทรงกลมด้วย โดยส่วนโค้ง a, b และ c มีขนาดเท่ากับมุม BOC, AOC และ BOA ตามลำดับ ซึ่งมุมเหล่านี้เป็นมุมที่รองรับด้วยจุดศูนย์กลางของทรงกลม

จากรูปที่ 2.7 พบว่าสามเหลี่ยมทรงกลม ABC มีความสัมพันธ์ระหว่างด้านและมุม โดยสูตรโคไซน์ (cosine formula) เป็นสูตรที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโคไซน์ของด้านกับมุมที่อยู่ตรงข้ามด้านนั้น ซึ่งจะได้ว่า

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A \quad (11)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\cos b = \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B \quad (12)$$

$$\cos c = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C \quad (13)$$

2.5 ความเข้มแสงตรงของดวงอาทิตย์จากเว็บนาซา

สำหรับข้อมูลความเข้มแสงตรงจากดวงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงงานโปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์นี้ เป็นข้อมูลที่ดึงมาจากเว็บไซต์ power.larc.nasa.gov ซึ่งมีชื่อตัวแปรว่า DNR (Direct Normal Radiation) โดยมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1983 จากดาวเทียมที่มีความละเอียด 0.5°x0.5° กริต และมีการเฉลี่ยข้อมูลออกมาเป็นรายวันของในแต่ละเดือน และมีค่าเฉลี่ยเป็นรายวันในตลอดปี ซึ่งมีการคิดผลของสภาพอากาศที่เกิดขึ้นร่วมด้วย เช่น ผลจากเมฆ ฝน ลม เนื่องจากการวัดความเข้มแสงตรง (DNR) โดยตรงทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นในการเก็บข้อมูลตัวแปร DNR จึงมีการคำนวณมาจากการสร้างแบบจำลอง SRB (Surface Radiation Budget) Release 3.0 โดยใช้สมการโพลิโนเมียล (polynomial equation) เพื่อพัฒนา โดยหาสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงตรงและค่าความเข้มแสงกระจาย และมีการตรวจสอบค่าจากสถานีภาคพื้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งการคำนวณค่าความเข้มแสงตรงสามารถคำนวณได้จาก

$$[(H^{All})_{DNR}] = ([H^{All}] - [(H^{All})_{Diff}])/\cos(THMT) \quad (14)$$

เมื่อ THMT คือ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ ณ ช่วงเวลาตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างดวงอาทิตย์ขึ้นและตกของแต่ละวันเฉลี่ยใน1เดือน โดยที่

$$\cos(THMT) = f + g[(g - f)/2g]^{1/2} \quad (15)$$

H^{All} คือค่าความเข้มแสงรวมและความเข้มรังสีกระจายในชั้นบรรยากาศที่ตกลงบนผิวโลก

$(H^{All})_{Diff}$ คือค่าความเข้มรังสีกระจายในชั้นบรรยากาศที่ตกลงบนผิวโลก

$$f = \sin \emptyset \sin \delta \quad (16)$$

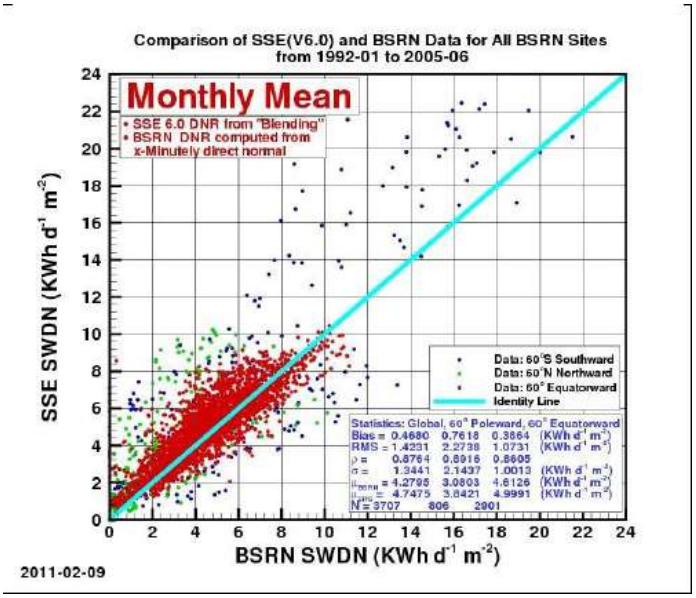
$$g = cos\emptyset cos\delta \quad (17)$$

เมื่อ $\emptyset$ = คือค่ามุมละติดจูด ในหน่วย เรเดียน

δ = คือค่ามุมดกคลิเนชันดวงอาทิตย์ ในหน่วย เรเดียน

และถ้า ถ้ามุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์มีค่า 180 องศา จะได้ว่า

$$\cos(THMT) = f \tag{18}$$



รูปที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงตรงรายเดือนจากการสังเกตที่สถานีภาคพื้น (แกนX) และจากการคำนวณของดาวเทียม (แกนY)

ในโครงงานนี้ การคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้ค่าความเข้มแสงตรงของตัวแปร DNR จากเว็บไซต์ของนาซา เนื่องจากค่าข้อมูลที่ได้จากเว็บไซต์เป็นค่าเฉลี่ยรายวันของในแต่ละเดือน ซึ่งถือว่ามีค่าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากันในทุกวัน แต่ในความจริงแล้ววันและช่วงเวลาที่ต่างกัน จะมีผลต่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งส่งผลให้พลังงานที่ตกกระทบในแต่ละวันมีค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการหาค่าสัดส่วนความเข้มแสงตรงของดวงอาทิตย์ในทางทฤษฎีของแต่ละช่วงเวลาของวัน เพื่อเป็นการปรับข้อมูลความเข้มแสงตรงให้มีความถูกต้องมากขึ้น และจึงนำไปคำนวณร่วมกับค่ามุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องการจะติดตั้ง เพื่อที่ได้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ ณ ตำแหน่งที่สนใจออกมา

2.6 ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์

เนื่องจากข้อมูลค่าตัวแปรที่ดึงข้อมูลจากเว็บไซต์ของนาซา คือตัวแปร DNR โดยเป็นค่าความเข้มแสงตรงที่ตกตั้งฉาก ซึ่งไม่สอดคล้องกับค่าพลังงานแท้จริงที่ตกลงบนแผงโซล์ลาร์เซลล์ เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานจึงหาวิธีในการแปลงค่าความเข้มแสงตรง จากเว็บไซต์ของนาซาที่ได้ ให้สอดคล้องกับค่าพลังงานที่แผงโซลาร์เซลล์ได้รับในแต่ละวัน โดยที่เราทราบตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ใน 1 วัน ดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณค่าความเข้มแสงตรงทางทฤษฎี ได้จากสมการที่ 8 โดยคำนวณค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในทุกๆ 1 ชั่วโมงของแต่ละวัน ซึ่งสาเหตุที่คำนวณความเข้มแสงอาทิตย์ในทุกๆชั่วโมง เนื่องจากทุก 1 ชั่วโมง ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไป 15 องศา เมื่อได้ค่าความเข้ม

แสงอาทิตย์จากทฤษฎีในแต่ละชั่วโมง และสามารถหาค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในตลอดทั้งวันได้ จากการรวมความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นหาสัดส่วนของความเข้มแสงแต่ละชั่วโมง ว่าคิดเป็นสัดส่วนเท่าใดของความเข้มแสงตลอดทั้งวัน เนื่องจากเวลาตั้งแผงโซลลาร์เซลล์จะมีมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นนอกจากที่เราต้องหาสัดส่วนของความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาแล้ว เราต้องหามุมที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลลาร์เซลล์ในช่วงเวลาต่างๆอีกด้วย โดยสามารถหาค่ามุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลลาร์เซลล์ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของตรีโกณมิติทรงกลมจากสมการที่ 11

เมื่อนำค่าสัดส่วนความเข้มแสงอาทิตย์ของแต่ละช่วงเวลาคูณกับค่าความเข้มแสงที่ได้จากตัวแปร DNR และคูณด้วยมุมที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลลาร์ จะได้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนแผงโซลลาร์ที่แท้จริง โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$I_{tilt} = ratio \times DNR \times \cos(sun.tilt) \qquad (19)$$

เมื่อ I_{tilt} คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ ณ ตำแหน่งที่สนใจ

ratio คือสัดส่วนของความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละชั่วโมง

DNR คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งที่สนใจจากเว็บไซต์ของนาซา

หน่วย $kW \cdot hr/m^2/day$

cos(sun.tilt) คือมุมที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลาร์เซลล์ หน่วย องศา สามารถหาได้โดยการพิสูจน์โดยใช้กฎของโคไซน์ (สมการที่ 11) ในเนื้อหาเรื่องตรีโกณมิติทรงกลม ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\cos(sun.tilt) = cos\theta_{tilt} sin\alpha + sin\theta_{tilt} cos\alpha \cos(\psi - Azimuth_{tilt}) \qquad (20)$$

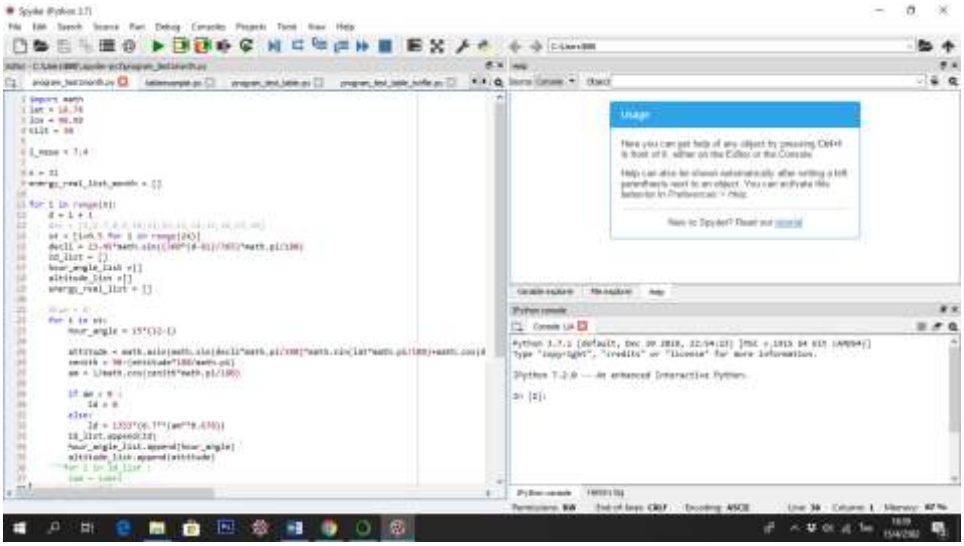
บทที่ 3

การเขียนโปรแกรม

ในการสร้างโปรแกรม จำเป็นต้องใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้าง โดยโครงงานนี้ผู้เขียนได้เลือกใช้โปรแกรม Spyder version 3.3.2 ซึ่งเขียนโดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ ภาษา Python เนื่องจากเป็นภาษาโปรแกรมที่เขียนง่าย มีไลบารี่ที่หลากหลายในการใช้งาน

ตัวโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

1. โปรแกรมในการดึงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ จากเว็บไซต์ www.power.larc.nasa.gov
2. โปรแกรมย่อยในการคำนวณ
3. ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ และโปรแกรมหลัก



รูปที่ 3.1 โปรแกรม Spyder version 3.3.2

3.1 โปรแกรมในการดึงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ จากเว็บไซต์ www.power.larc.nasa.gov

โดยในขั้นตอนนี้เราต้องทำการเขียน API (Application Programming Interface) ซึ่งเป็นตัวกลางในการดึงข้อมูลจากเว็บไซต์ของนาซามาใช้งาน โดยใช้วิธีที่ชื่อว่า Web scraping ซึ่งเป็นการดึงข้อมูลจากหน้าเว็บโดยใส่ URL ของข้อมูลหน้าเว็บที่เราต้องการลงไป

3.1.1 URL ที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์

สำหรับการเข้าถึงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ จากเว็บไซต์ของนาซา ซึ่งตัวแปรที่เราต้องการคือค่า DNR (Direct Normal Radiation) เป็นค่าความเข้มแสงตรงที่ตกลงมายังพื้นโลก โดยลักษณะของข้อมูลที่เก็บคือมีการเก็บข้อมูลเป็นแบบ Single point หมายถึงเก็บข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์เป็นจุดทุกตำแหน่งทั่วโลก โดยลักษณะข้อมูลความเข้มแสงตรงของดวงอาทิตย์ที่ดาวเทียมเก็บ เป็นการเก็บแบบ Climatology ซึ่งหมายถึงมีการเก็บข้อมูลเฉลี่ยออกมาเป็นรายเดือนในแต่ละเดือน

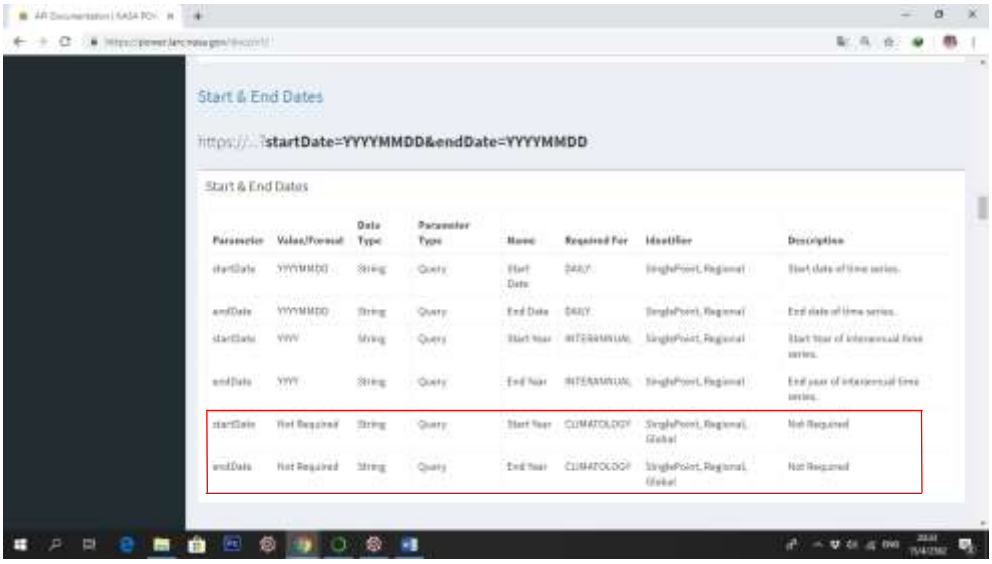
รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของพารามิเตอร์ DNR

และตัวอย่าง URL ในการเข้าถึงข้อมูลในพารามิเตอร์ต่างๆ ของเว็บไซต์ www.power.larc.nasa.gov

https://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/v1/DataAccess.py?request=execute&identifier=XXX&parameters=XXX&startDate=XXX&endDate=XXX&userCommunity=SSE&tempAverage=XXX&outputList=JSON,ASCII&lat=XXX&lon=XXX&user=anonymous

โดยในโครงงานนี้ ต้องการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกตำแหน่งทั่วโลก จึงระบุ identifier เป็นแบบ Single point และค่าตัวแปรที่ต้องการคือค่า DNR สำหรับค่า start date และ end date เนื่องจากค่าตัวแปร DNR ที่ต้องการ มีการเก็บข้อมูลเป็นแบบ climatology ดังนั้นจึงไม่ต้องใส่ค่า start date และ end date ลงใน URL ดังรูปที่ 3.3 สำหรับตัวแปร temp average ระบุค่าเป็น climatology ตามตัวแปร DNR ที่ถูกเก็บข้อมูล จากนั้นระบุค่า latitude และ longitude ในตำแหน่งที่เราต้องการทราบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ จะได้ URL ในการเข้าถึงข้อมูลตัวแปรความเข้มแสงตรง DNR ดังตัวอย่าง

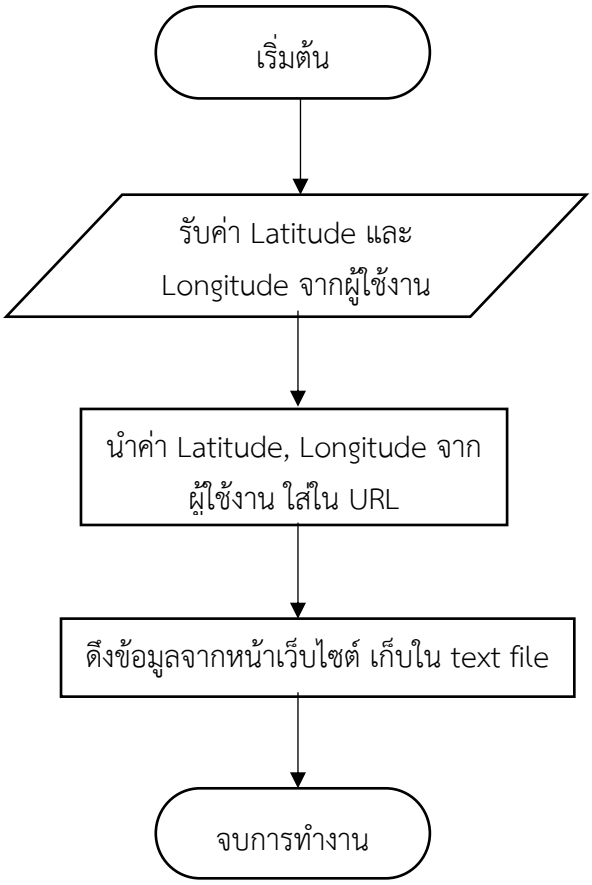
https://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/v1/DataAccess.py?request=execute&identifier=SinglePoint&parameters=DNR&startDate=&endDate=&userCommunity=SSE&tempAverage=CLIMATOLOGY&outputList=JSON,ASCII&lat=15.2383&lon=104.8717&user=anonymous



รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดการใส่ข้อมูล Start & End Dates สำหรับตัวแปรต่างๆ

3.1.2 การดึงข้อมูลตัวแปรความเข้มตรงแสงอาทิตย์

เป็นโปรแกรมส่วนหนึ่งที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการโดยใช้วิธีการที่เรียกว่าการทำ web scrapping ใช้สำหรับข้อมูลที่ต้องการใช้งาน เป็นข้อมูลที่อยู่หน้าเว็บไซต์



รูปที่ 3.4 ผังการทำงานการดึงข้อมูลตัวแปร DNR จากเว็บไซต์นาซา

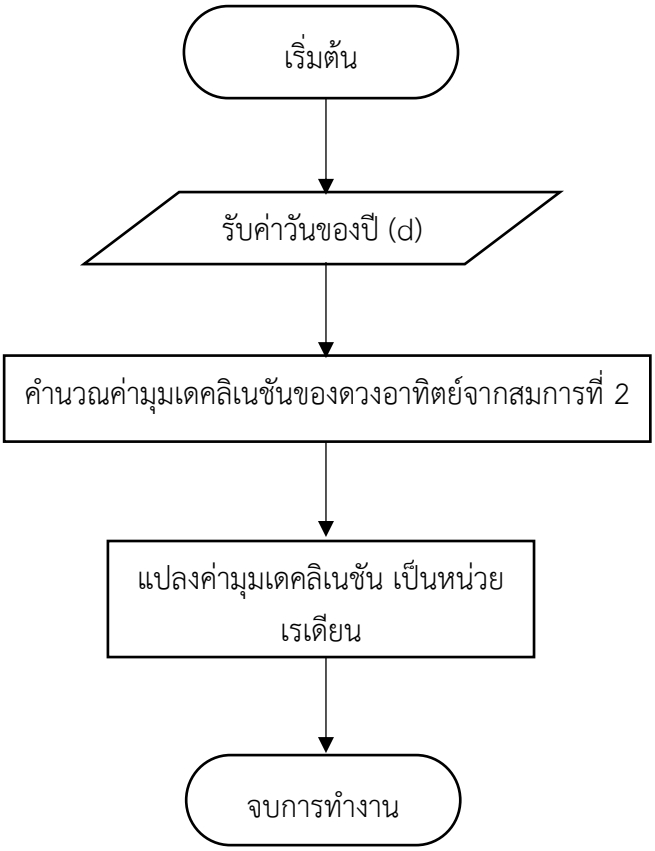
3.2 โปรแกรมย่อยในการคำนวณ

เป็นโปรแกรมที่เป็นองค์ประกอบย่อยๆของโปรแกรมหลัก ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆทางทฤษฎี ซึ่งโปรแกรมนี้ประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อยดังนี้

3.2.1 โปรแกรมคำนวณมุมเดคลิเนชัน
3.2.2 โปรแกรมคำนวณมุมอัลติจูด
3.2.3 โปรแกรมคำนวณมุมเซนิธ
3.2.4 โปรแกรมคำนวณค่ามวลอากาศ
3.2.5 โปรแกรมคำนวณค่าความเข้มแสงทางทฤษฎี
3.2.6 โปรแกรมคำนวณมุมอาซิมุธ
3.2.7 โปรแกรมคำนวณมุมที่แผงโซลาร์เซลล์ทำกับตำแหน่งดวงอาทิตย์
3.2.8 โปรแกรมคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์

3.2.1 โปรแกรมคำนวณมุมเดคลิเนชัน

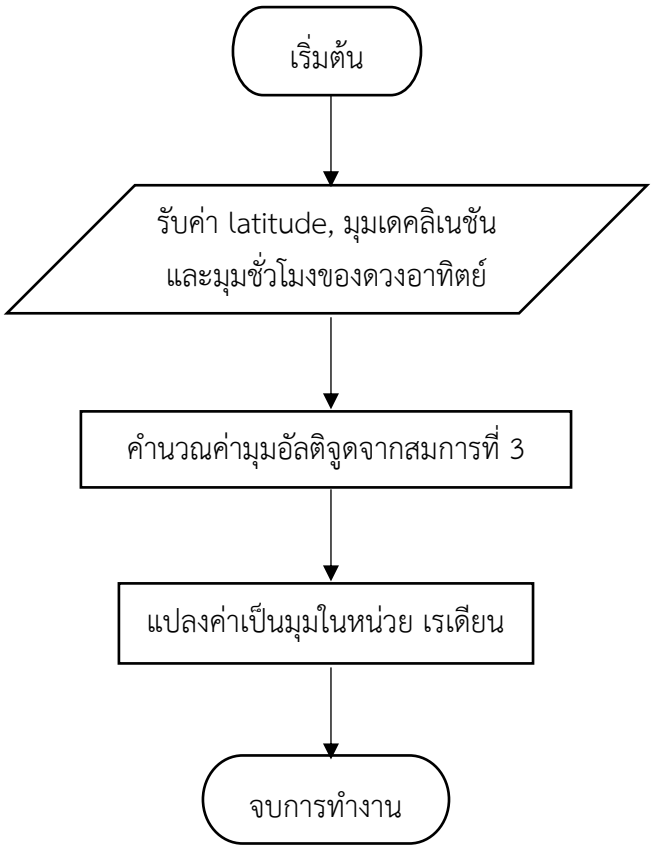
เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณมุมเดคลิเดชันของดวงอาทิตย์ ซึ่งตำแหน่งของมุมเดคลิเนชันดวงอาทิตย์นั้น ขึ้นกับวันต่างๆของปีโดยวันที่ 1 มกราคมถือเป็นวันที่ 1ของปี วันที่ 31 ธันวาคม เป็นวันที่ 365



รูปที่ 3.5 ผังการทำงานโปรแกรมคำนวณมุมเดคลิเนชัน

3.2.2 โปรแกรมคำนวณมุมอัลติจูด

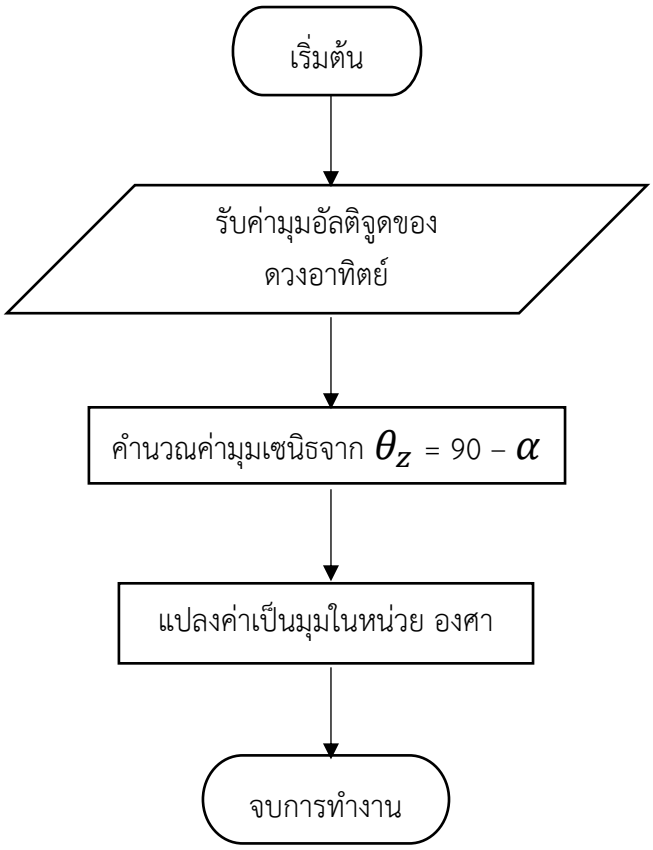
เป็นโปรแกรมส่วนที่ใช้ในการคำนวณมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ โดยค่าของมุมอัลติจูดขึ้นกับค่ามุมเดคลิเนชัน มุมชั่วโมง และค่าตำแหน่งแลดติจูดที่ต้องการทราบ



รูปที่ 3.6 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณมุมอัลติจูด

3.2.3 โปรแกรมคำนวณมุมเซนิธ

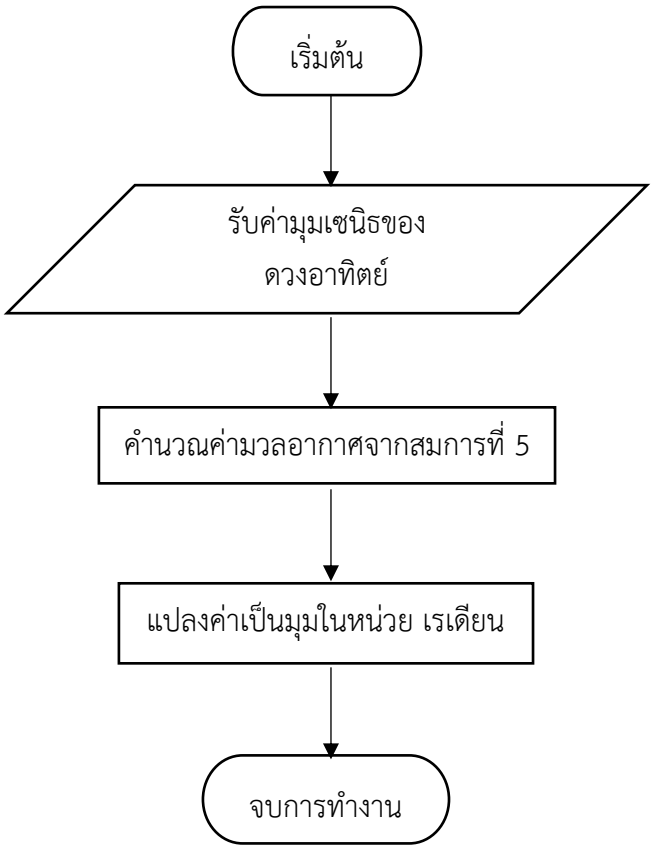
เป็นโปรแกรมส่วนที่ใช้ในการคำนวณมุมเซนิธของดวงอาทิตย์ โดยค่าของมุมเซนิธนั้นสัมพันธ์กับค่ามุมอัลติจูด



รูปที่ 3.7 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณมุมเซนิธ

3.2.4 โปรแกรมคำนวณค่ามวลอากาศ

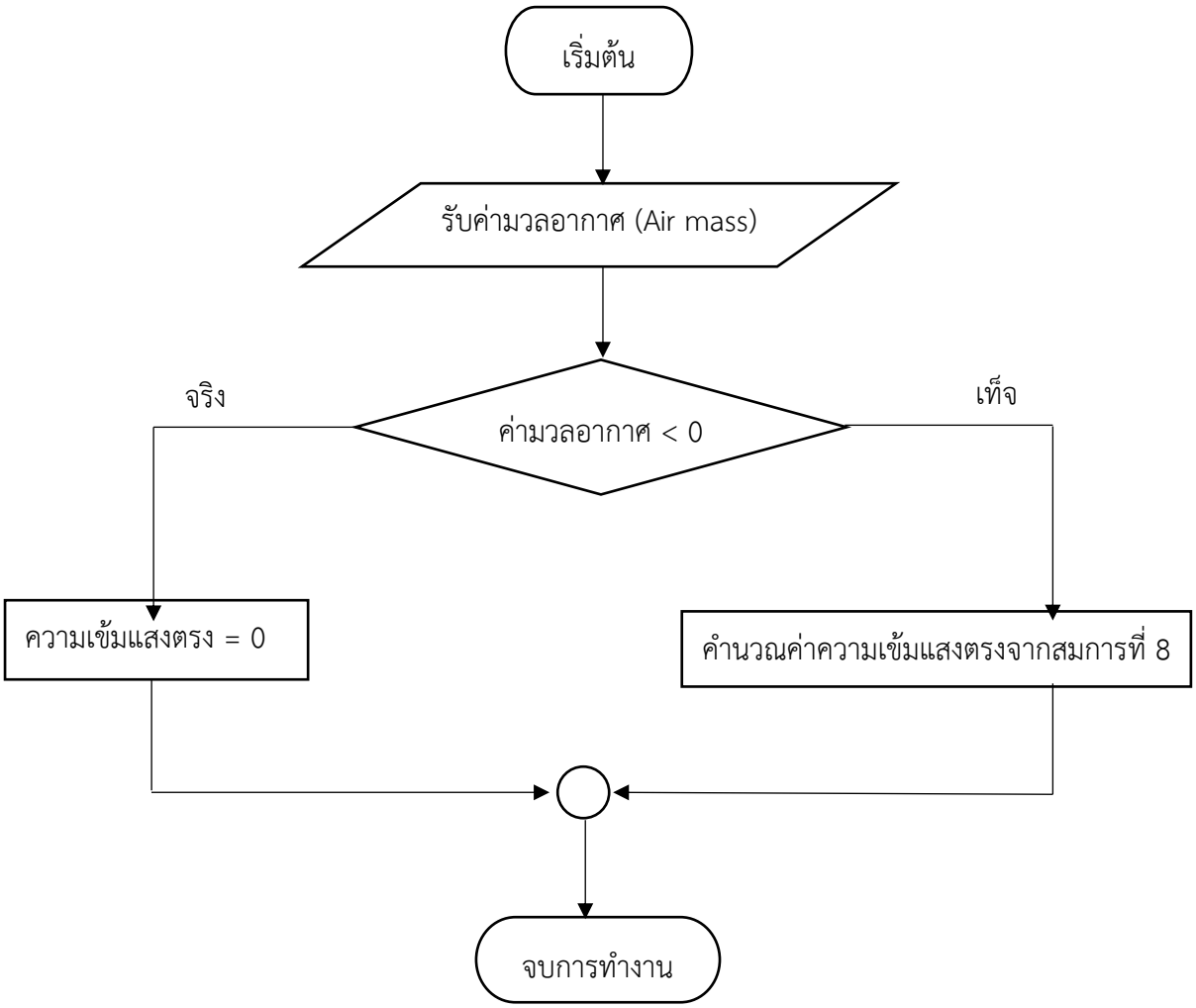
เป็นโปรแกรมส่วนที่ใช้ในการคำนวณค่ามวลอากาศ โดยค่าของมวลอากาศขึ้นกับมุมเซนิธของดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.8 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณค่ามวลอากาศ

3.2.5 โปรแกรมคำนวณค่าความเข้มแสงตรงทางทฤษฎี

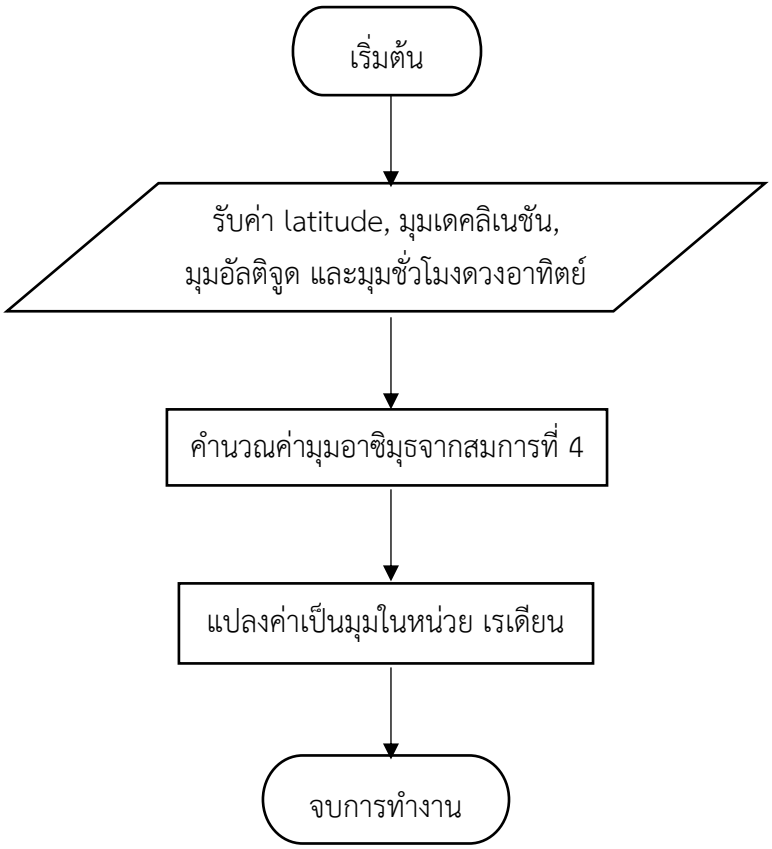
เป็นโปรแกรมส่วนที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มแสงตรงในทางทฤษฎี โดยค่าความเข้มแสงตรงขึ้นกับค่ามวลอากาศ



รูปที่ 3.9 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณค่าความเข้มแสงตรงทางทฤษฎี

3.2.6 โปรแกรมคำนวณมุมอาซิมุธ

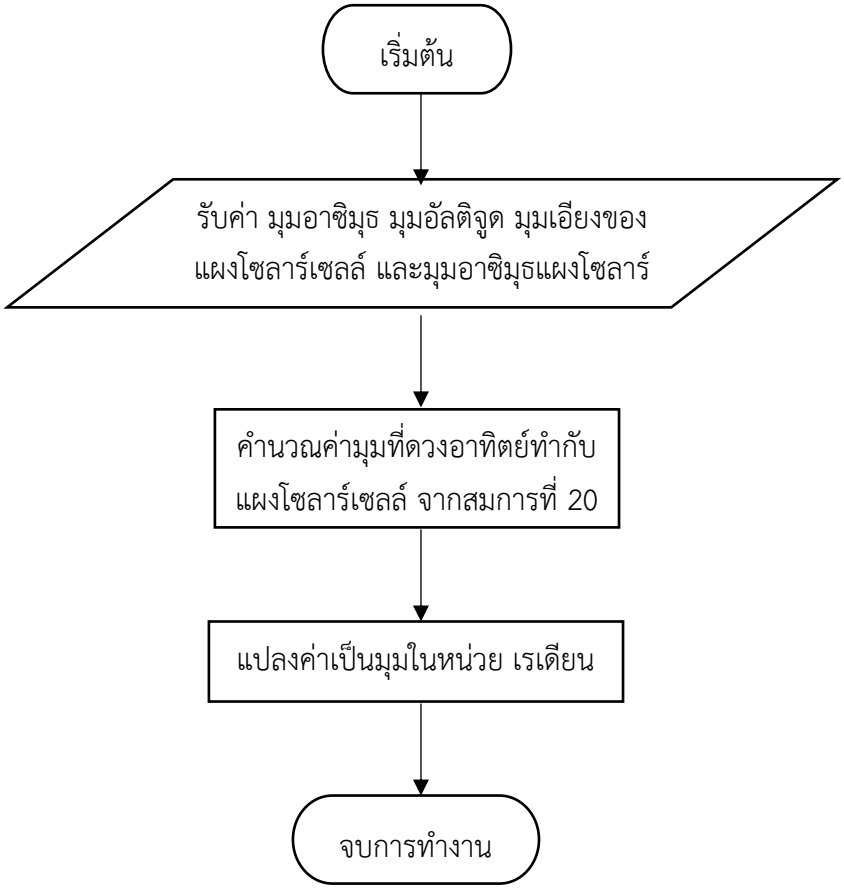
เป็นโปรแกรมส่วนที่ใช้ในการคำนวณมุมอาซิมุธของดวงอาทิตย์ โดยค่าของมุมอาซิมุธขึ้นกับค่ามุมเดคลิเนชัน มุมชั่วโมง มุมอัลติจูด และค่าตำแหน่งละติจูดที่ต้องการทราบ



รูปที่ 3.10 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณมุมอาซิมุธ

3.2.7 โปรแกรมคำนวณมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลาร์เซลล์

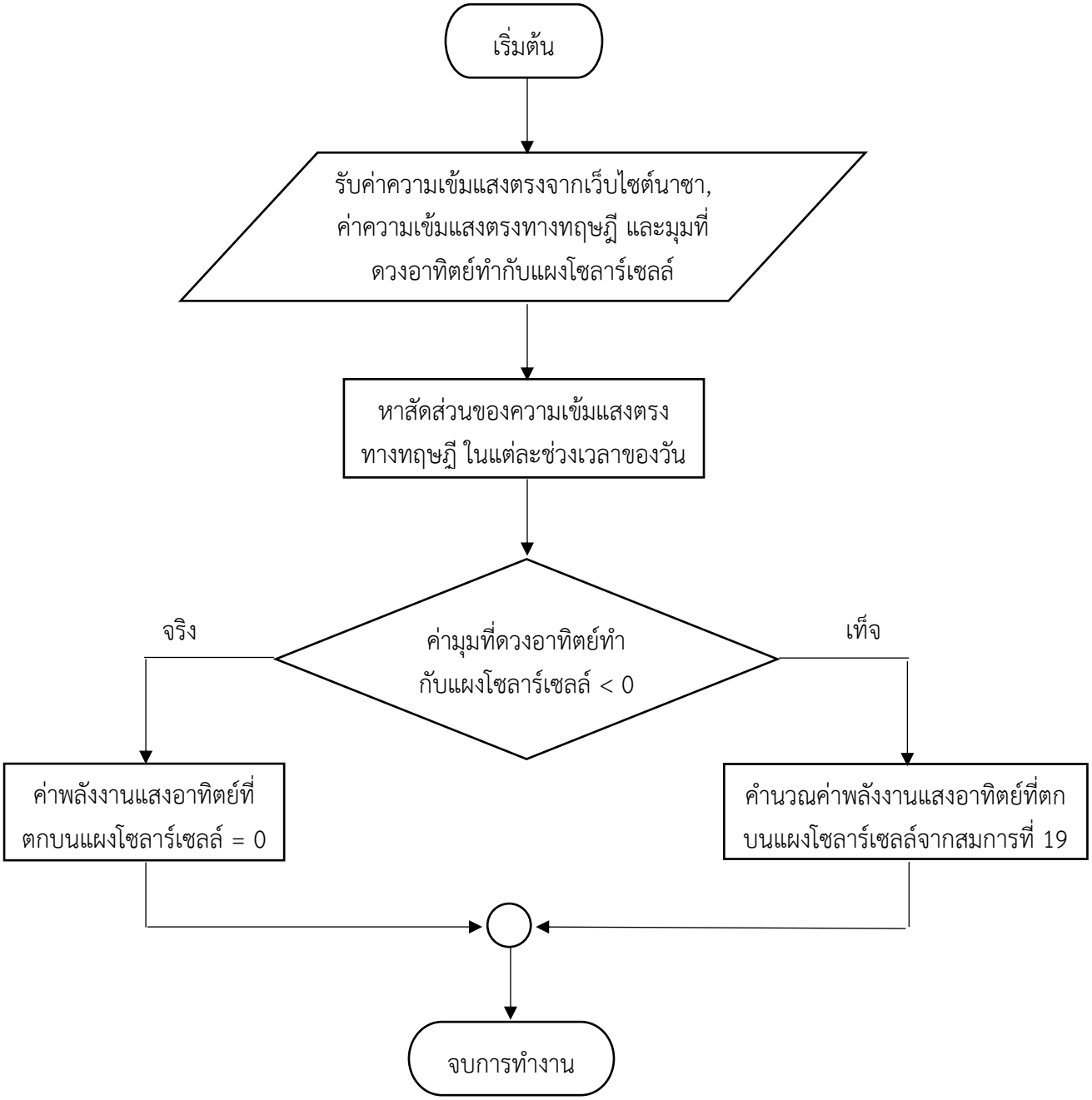
เป็นโปรแกรมส่วนที่ใช้ในการคำนวณมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลาร์เซลล์ โดยค่าของมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลาร์เซลล์ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์สามเหลี่ยมในทรงกลม สูตรโคไซน์ในบทที่ 2 ซึ่งขึ้นกับค่ามุมอาซิมุธ มุมอัลติจูด มุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ และมุมที่ทิศของแผงโซลาร์เซลล์ทำกับทิศเหนือ (มุมอาซิมุธของแผงโซลาร์เซลล์) ที่เราจะติดตั้งที่ต้องการทราบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผง



รูปที่ 3.11 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลาร์เซลล์

3.2.8 โปรแกรมคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์

เป็นโปรแกรมส่วนที่ใช้ในการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ โดยสามารถหาได้จากข้อมูลค่าความเข้มแสงตรงจากเว็บไซต์ของนาซ่า, มุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลาร์เซลล์ และ สัดส่วนความเข้มแสงตรงทางทฤษฎีในแต่ละช่วงเวลา โดยสามารถศึกษาได้จากรายละเอียดหัวข้อ 2.6



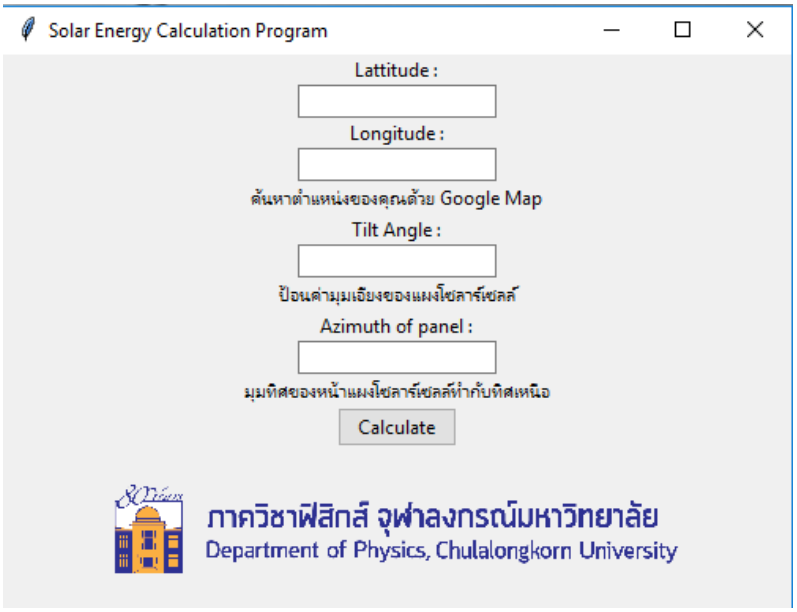
รูปที่ 3.12 ผังการทำงานโปรแกรมการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์

3.3 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ และโปรแกรมหลัก

ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface : GUI) เป็นส่วนประกอบของโปรแกรมที่อยู่ระหว่างส่วนโปรแกรมหลักกับผู้ใช้ ช่วยเพิ่มความสะดวกในการป้อนข้อมูลค่ามุมละติจูด ลองจิจูด มุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ และมุมอาซิมุธของแผงโซลาร์เซลล์แก่ผู้ใช้โปรแกรม และช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่ายในการแสดงผลการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์

3.3.1 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้

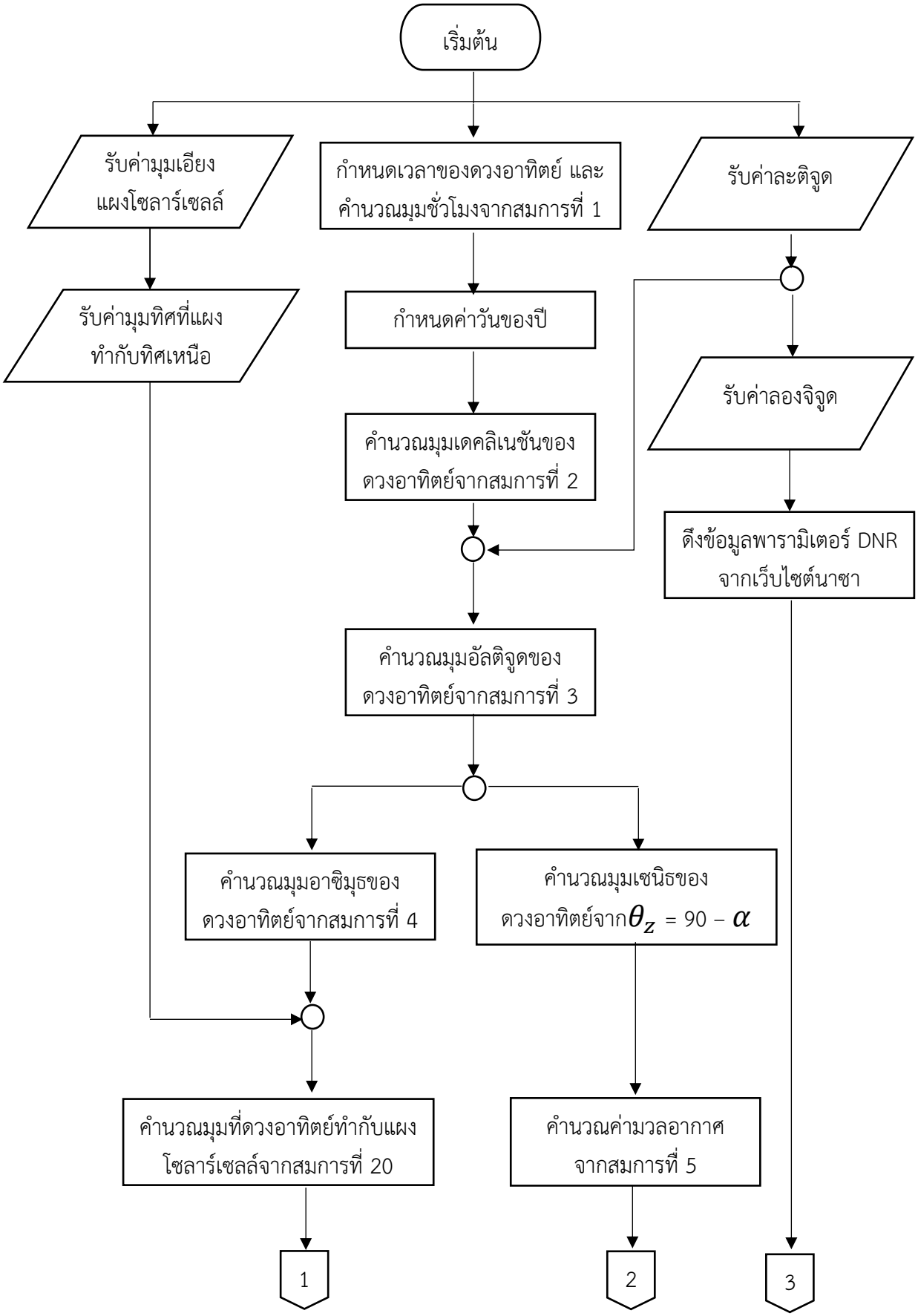
ในส่วนนี้ของโปรแกรมถูกออกแบบมาให้สวยงาม เข้าใจง่าย เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานในการป้อนข้อมูลเพื่อคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ และโปรแกรมในส่วนนี้ยังเป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้งานและแสดงค่าพลังงานที่คำนวณได้อีกด้วย

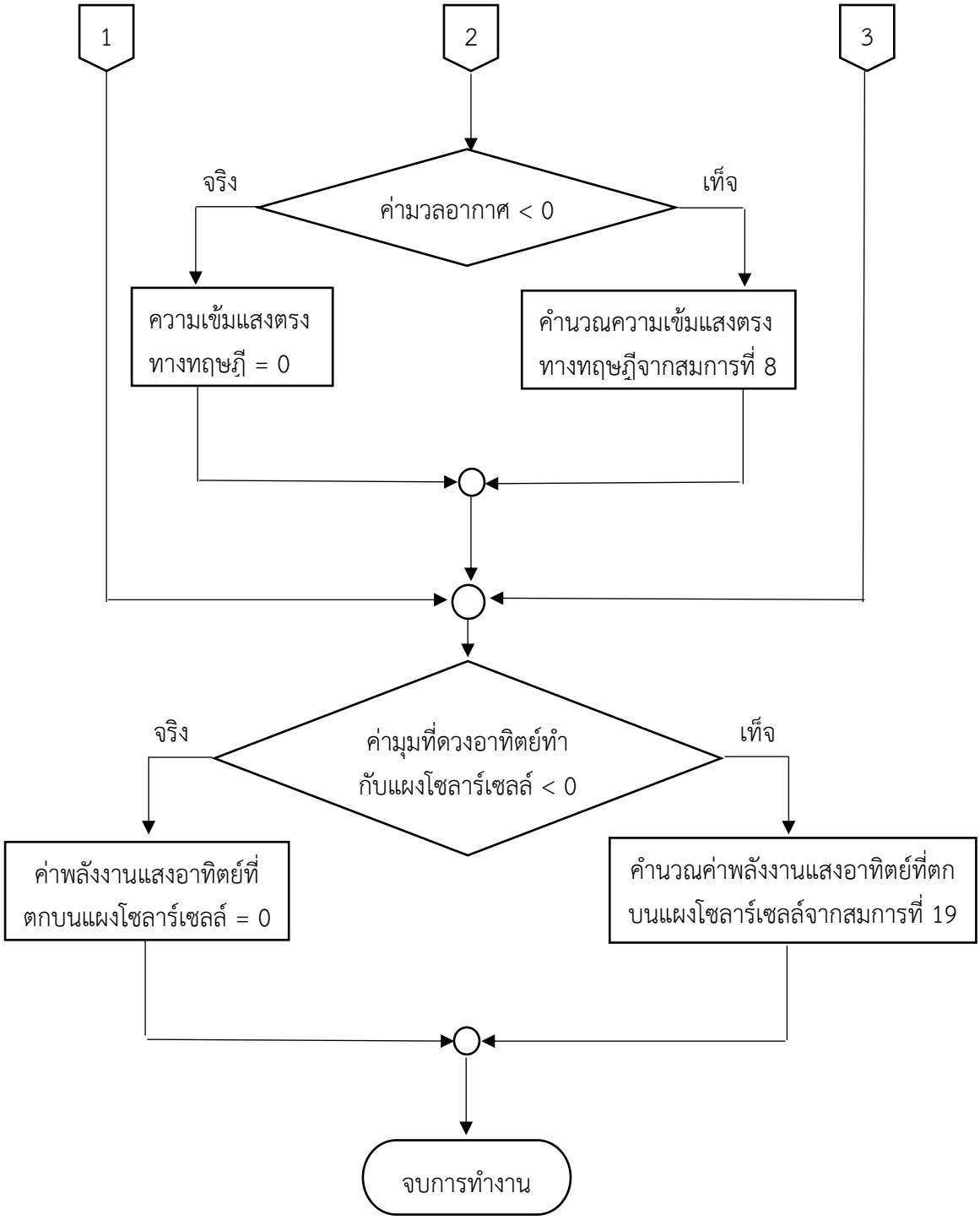


รูปที่ 3.13 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกในการรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน

3.3.2 โปรแกรมหลัก

โปรแกรมส่วนนี้จะรับข้อมูลจากผู้ใช้ที่ป้อนข้อมูลค่ามุมละติจูด ลองจิจูด และมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ผ่านส่วนต่อประสานงานกราฟฟิกกับผู้ใช้ และข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังโปรแกรมย่อยเพื่อทำการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตามที่ผู้ใช้ต้องการ และผลที่ได้จะถูกส่งกลับออกมาแสดงผลให้ผู้ใช้ ซึ่งการทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนเป็นผังงานการทำงานได้ดังนี้


เริ่มต้น
รับค่ามุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์
กำหนดเวลาของดวงอาทิตย์ และคำนวณมุมชั่วโมงจากสมการที่ 1
รับค่าละติจูด
รับค่ามุมทิศที่แผงทำกับทิศเหนือ
กำหนดค่าวันของปี
รับค่าลองจิจูด
คำนวณมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์จากสมการที่ 2
ดึงข้อมูลพารามิเตอร์ DNR จากเว็บไซต์นาซา
คำนวณมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์จากสมการที่ 3
คำนวณมุมอาซิมุธของดวงอาทิตย์จากสมการที่ 4
คำนวณมุมเซนิธของดวงอาทิตย์จาก θ_z = 90 – α
คำนวณมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแผงโซลาร์เซลล์จากสมการที่ 20
คำนวณค่ามวลอากาศจากสมการที่ 5
1
2
3



รูปที่ 3.14 ผังการทำงานรวมโปรแกรมการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์

บทที่ 4

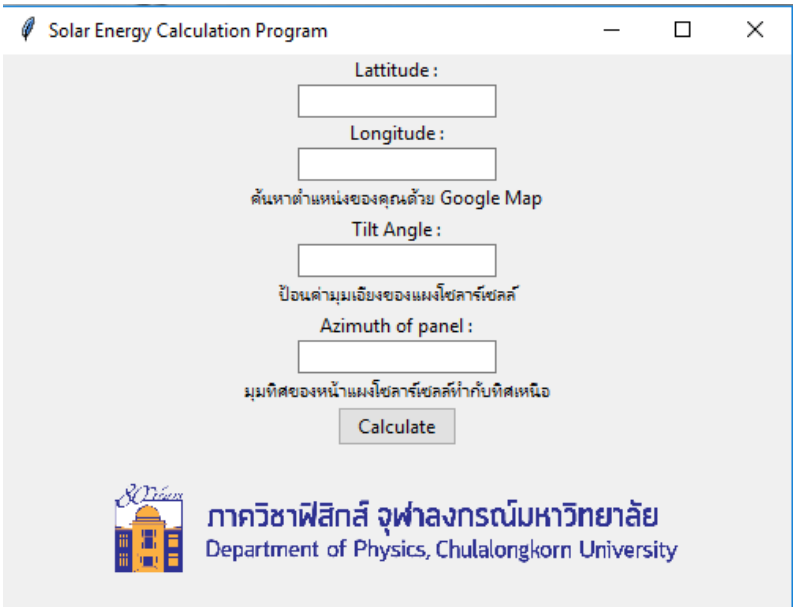
การใช้งานและการทดสอบโปรแกรม

4.1 การใช้งานโปรแกรม

เมื่อเรียกใช้โปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ หน้าจอคอมพิวเตอร์จะปรากฏดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นส่วนต่อประสานงานกราฟฟิกกับผู้ใช้ โดยแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนการรับข้อมูล

2. ส่วนการแสดงผล



รูปที่ 4.1 โปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์

4.1.1 ส่วนการรับข้อมูล

เป็นส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่รับข้อมูลค่ามุมละติจูด มุมลองจิจูด มุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ และมุมอาซิมุธของแผงโซลาร์เซลล์จากผู้ใช้งาน สำหรับรายละเอียดแต่ละตัวแปรที่ผู้ใช้งานต้องป้อนให้แก่โปรแกรมเพื่อคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย

Latitude คือ ค่าละติจูด ของตำแหน่งที่ผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ณ พื้นที่นั้น มีหน่วยเป็นองศา โดยกำหนดให้ค่าละติจูดทางซีกโลกเหนือเป็นบวก ส่วนทางซีกโลกใต้เป็นลบ

Longitude คือ ค่าลองจิจูด ของตำแหน่งที่ผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ณ พื้นที่นั้น มีหน่วยเป็นองศา โดยกำหนดให้ค่าลองจิจูดทางซีกโลกตะวันออกเป็นบวก ส่วนทางซีกโลกตะวันตกเป็นลบ

Tilt Angle คือ ค่ามุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำกับเส้นปกติของพื้นโลก มีหน่วยเป็น องศา

Azimuth of panel คือ ค่ามุมที่ทิศของแผงโซลลาร์เซลล์ทำกับทิศเหนือ วัดในแนวตามเข็มนาฬิกา มีหน่วยเป็น องศา

4.1.2 ส่วนการแสดงผล

เป็นส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่แสดงข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งใดๆ ในแต่ละเดือน และค่าเฉลี่ยตลอดปี ที่ได้จากการคำนวณ พร้อมทั้งยังแสดงค่าพลังงานที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ในแต่ละมุมเอียง โดยในการแสดงผลมีการเก็บข้อมูลไว้ใน text.file ชื่อว่า data_output_gui.txt ดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 ส่วนแสดงผลการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์

At latitude: คือ ค่ามุมละติจูดจากผู้ใช้ที่ป้อนค่าเข้าไปในโปรแกรม มีหน่วยเป็นองศา

At longitude: คือ ค่ามุมลองจิจูดจากผู้ใช้ที่ป้อนค่าเข้าไปในโปรแกรม มีหน่วยเป็นองศา

Tilt Angle: คือ ค่าของมุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์จากผู้ใช้ที่ป้อนค่าเข้าไปในโปรแกรม มีหน่วยเป็นองศา

Azimuth of tilt: คือ ค่ามุมที่ทิศของแผงโซลลาร์เซลล์ทำกับทิศเหนือ วัดในแนวตามเข็มนาฬิกา มีหน่วยเป็นองศา

Energy: คือ ค่าพลังงานเฉลี่ยในแต่ละวันของเดือน และค่าเฉลี่ยพลังงานในแต่ละวันตลอดทั้งปี ที่ได้จากการคำนวณโดยการใช้โปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น $kW \cdot hr/m^2/day$

4.2 การทดสอบโปรแกรม

ในโครงงานนี้มีการทดสอบโปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ 3 แบบ คือ การทดสอบโปรแกรมโดยการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์โดยที่ผู้ใช้งานป้อนค่าข้อมูลมุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์, การทดสอบโปรแกรมเพื่อการหาศักยภาพในพื้นที่ของประเทศไทยที่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ และการทดสอบโปรแกรมโดยจำลองผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ณ สนามราชมังคลากีฬาสถาน

4.2.1 การทดสอบโปรแกรมโดยการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์โดยที่ผู้ใช้งาน ป้อนค่าข้อมูลมุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์

ตัวอย่างที่ 1 ผู้ใช้งานอาศัยอยู่ที่จังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย ละติจูด 15.238 องศาเหนือ ลองจิจูด 104.484 องศาตะวันออก ต้องการติดตั้งแผงโซลลาร์เซลล์บนหลังคาบ้าน โดยที่มุมเอียงหลังคาบ้านเป็น 15 องศา และแผงหันหน้าไปทางทิศใต้

data_output_gui.txt - Notepad

File Edit Format View Help

At latitude: 15.238
At longitude: 104.848
Tilt angle: 15.0 degree
Azimuth of panel: 180.0

Month	Energy (Kw-hr/m^2/day)
January	4.83
Febuary	4.58
March	4.18
April	3.80
May	2.97
June	2.54
July	2.42
August	2.27
September	2.64
October	3.40
November	4.21
December	4.76
Annual	3.55

Tilt Angle (degree)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Anual
0	4.04	4.04	3.97	3.90	3.24	2.85	2.68	2.39	2.58	3.08	3.57	3.92	3.36
5	4.33	4.25	4.07	3.90	3.18	2.77	2.62	2.37	2.62	3.21	3.82	4.23	3.45
10	4.60	4.43	4.14	3.86	3.09	2.66	2.53	2.33	2.64	3.32	4.03	4.52	3.51
15	4.83	4.58	4.18	3.80	2.97	2.54	2.42	2.27	2.64	3.40	4.21	4.76	3.55
20	5.02	4.69	4.19	3.71	2.84	2.39	2.30	2.20	2.62	3.46	4.36	4.98	3.56
25	5.17	4.76	4.16	3.59	2.68	2.23	2.15	2.11	2.58	3.49	4.48	5.15	3.55
30	5.28	4.80	4.10	3.44	2.50	2.05	2.00	2.00	2.52	3.50	4.57	5.29	3.50
35	5.36	4.80	4.02	3.27	2.30	1.87	1.82	1.88	2.44	3.48	4.61	5.38	3.44
40	5.39	4.77	3.90	3.07	2.10	1.67	1.65	1.74	2.34	3.43	4.63	5.43	3.34
45	5.38	4.70	3.75	2.85	1.88	1.46	1.46	1.60	2.22	3.35	4.61	5.45	3.23
50	5.33	4.59	3.57	2.61	1.65	1.25	1.26	1.44	2.09	3.25	4.55	5.42	3.08
55	5.24	4.45	3.37	2.36	1.40	1.02	1.05	1.27	1.94	3.13	4.46	5.35	2.92
60	5.11	4.27	3.14	2.08	1.15	0.80	0.84	1.10	1.78	2.98	4.33	5.24	2.74
65	4.94	4.07	2.88	1.79	0.90	0.58	0.64	0.91	1.61	2.81	4.18	5.09	2.53
70	4.74	3.83	2.61	1.49	0.65	0.37	0.43	0.73	1.42	2.62	3.99	4.90	2.31
75	4.49	3.56	2.31	1.18	0.41	0.18	0.25	0.54	1.22	2.41	3.77	4.67	2.08
80	4.22	3.26	2.00	0.87	0.19	0.03	0.08	0.35	1.01	2.17	3.52	4.41	1.84
85	3.91	2.94	1.67	0.56	0.04	0.00	0.00	0.18	0.80	1.93	3.24	4.11	1.62
90	3.57	2.60	1.33	0.27	0.00	0.00	0.00	0.06	0.58	1.67	2.94	3.78	1.40

รูปที่ 4.3 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ จ.อุบลราชธานี ประเทศไทย

จากรูปที่ 4.3 ผู้ใช้งานป้อนค่าละติจูด และลองจิจูด เป็นตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 15 องศา และทิศทางของแผงหันไปทางทิศใต้ (azimuth of panel เท่ากับ 180 องศา) พบว่าค่าพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ มีค่า 3.55 $kW \cdot hr/m^2/day$ และหากผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้ได้พลังงานเฉลี่ยมากที่สุด ผู้ใช้งานควรเอียงมุมของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 20 องศา จะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์เฉลี่ยตลอดปี

มีค่าสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 3.56 $kW \cdot hr/m^2/day$ และจากรูปจะเห็นได้ว่าหากผู้ใช้งานเอียงมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ประมาณ 85-90 องศา จะพบว่าค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงโซลาร์เซลล์รับได้ในช่วงกลางปี (เดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม) จะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากมีการเอียงแผงของโซลาร์เซลล์ที่มาเกินไป ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงกลางปี เคลื่อนที่มาอยู่ที่บริเวณด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์ จึงเป็นเหตุผลให้ไม่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนแผงโซลาร์เซลล์

ตัวอย่างที่ 2 ผู้ใช้งานอาศัยอยู่ที่ เมืองออสโล ประเทศนอร์เวย์ ละติจูด 59.91 องศาเหนือ ลองจิจูด 10.75 องศาตะวันออก ต้องการติดตั้งแผงโซลลาร์เซลล์บนสำนักงาน โดยที่มุมเอียงหลังคาเป็น 15 องศา และแผงหันหน้าไปทางทิศใต้

data_output_gui.txt - Notepad

File Edit Format View Help

At latitude: 59.91
At longitude: 10.75
Tilt angle: 15.0 degree
Azimuth of panel: 180.0

Month	Energy (Kw-hr/m^2/day)
January	0.32
Febuary	0.80
March	1.50
April	2.21
May	3.37
June	3.24
July	3.40
August	2.51
September	1.82
October	0.89
November	0.43
December	0.21
Annual	1.73

Tilt Angle (degree)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Anual
0	0.12	0.41	1.02	1.79	3.05	3.06	3.15	2.13	1.33	0.51	0.17	0.06	1.40
5	0.19	0.54	1.19	1.95	3.18	3.14	3.25	2.28	1.51	0.64	0.26	0.11	1.52
10	0.26	0.67	1.35	2.09	3.28	3.20	3.34	2.40	1.67	0.77	0.34	0.17	1.63
15	0.32	0.80	1.50	2.21	3.37	3.24	3.40	2.51	1.82	0.89	0.43	0.21	1.73
20	0.39	0.92	1.64	2.32	3.44	3.26	3.44	2.60	1.96	1.00	0.51	0.26	1.81
25	0.45	1.03	1.77	2.40	3.48	3.27	3.47	2.67	2.08	1.11	0.58	0.31	1.88
30	0.51	1.13	1.88	2.48	3.49	3.25	3.46	2.72	2.19	1.21	0.66	0.35	1.94
35	0.57	1.22	1.98	2.53	3.48	3.21	3.43	2.75	2.28	1.30	0.72	0.39	1.99
40	0.62	1.31	2.06	2.56	3.45	3.14	3.37	2.76	2.35	1.38	0.78	0.43	2.02
45	0.66	1.38	2.13	2.58	3.39	3.05	3.30	2.76	2.40	1.44	0.84	0.46	2.04
50	0.70	1.45	2.19	2.58	3.32	2.96	3.21	2.73	2.44	1.50	0.89	0.50	2.04
55	0.74	1.50	2.22	2.55	3.22	2.84	3.10	2.68	2.46	1.55	0.93	0.52	2.03
60	0.77	1.54	2.24	2.51	3.09	2.70	2.96	2.61	2.46	1.58	0.97	0.55	2.00
65	0.79	1.58	2.24	2.45	2.94	2.53	2.80	2.52	2.44	1.60	0.99	0.57	1.95
70	0.81	1.59	2.23	2.37	2.77	2.35	2.62	2.41	2.40	1.61	1.01	0.58	1.90
75	0.82	1.60	2.19	2.27	2.58	2.15	2.41	2.29	2.34	1.61	1.03	0.59	1.82
80	0.83	1.59	2.14	2.15	2.37	1.95	2.20	2.14	2.27	1.60	1.03	0.60	1.74
85	0.83	1.58	2.08	2.02	2.15	1.74	1.98	1.99	2.18	1.57	1.03	0.60	1.65
90	0.82	1.55	2.00	1.87	1.93	1.52	1.75	1.82	2.07	1.53	1.02	0.59	1.54

รูปที่ 4.4 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ เมืองออสโล ประเทศนอร์เวย์

จากรูปที่ 4.4 ผู้ใช้งานป้อนค่าละติจูด และลองจิจูด เป็นตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 15 องศา และทิศทางของแผงหันไปทางทิศใต้ (azimuth of panel เท่ากับ 180 องศา) พบว่าค่าพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ มีค่า 1.73 $kW \cdot hr/m^2/day$ และหากผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้ได้พลังงานเฉลี่ยมากที่สุด ผู้ใช้งานควรเอียงมุมของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 45-50 องศา จะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์เฉลี่ยตลอดปีมีค่าสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 2.04 $kW \cdot hr/m^2/day$

ตัวอย่างที่ 3 ผู้ใช้งานอาศัยอยู่ที่เมืองไครสต์เชิร์ช ประเทศนิวซีแลนด์ ละติจูด 43.53 องศาใต้ ลองจิจูด 172.63 องศาตะวันออก ต้องการติดตั้งแผงโซลลาร์เซลล์เพื่อสร้างโซลาร์ฟาร์ม (solar farm) โดยที่มุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์เป็น 15 องศา และแผงหันหน้าไปทางทิศเหนือ

data_output_gui.txt - Notepad

File Edit Format View Help

At latitude: -43.53
At longitude: 172.63
Tilt angle: 15.0 degree
Azimuth of panel: 0.0

Month	Energy (Kw-hr/m^2/day)
January	3.55
Febuary	3.33
March	2.99
April	2.39
May	1.83
June	1.55
July	1.69
August	2.12
September	2.69
October	3.05
November	3.43
December	3.37
Annual	2.67

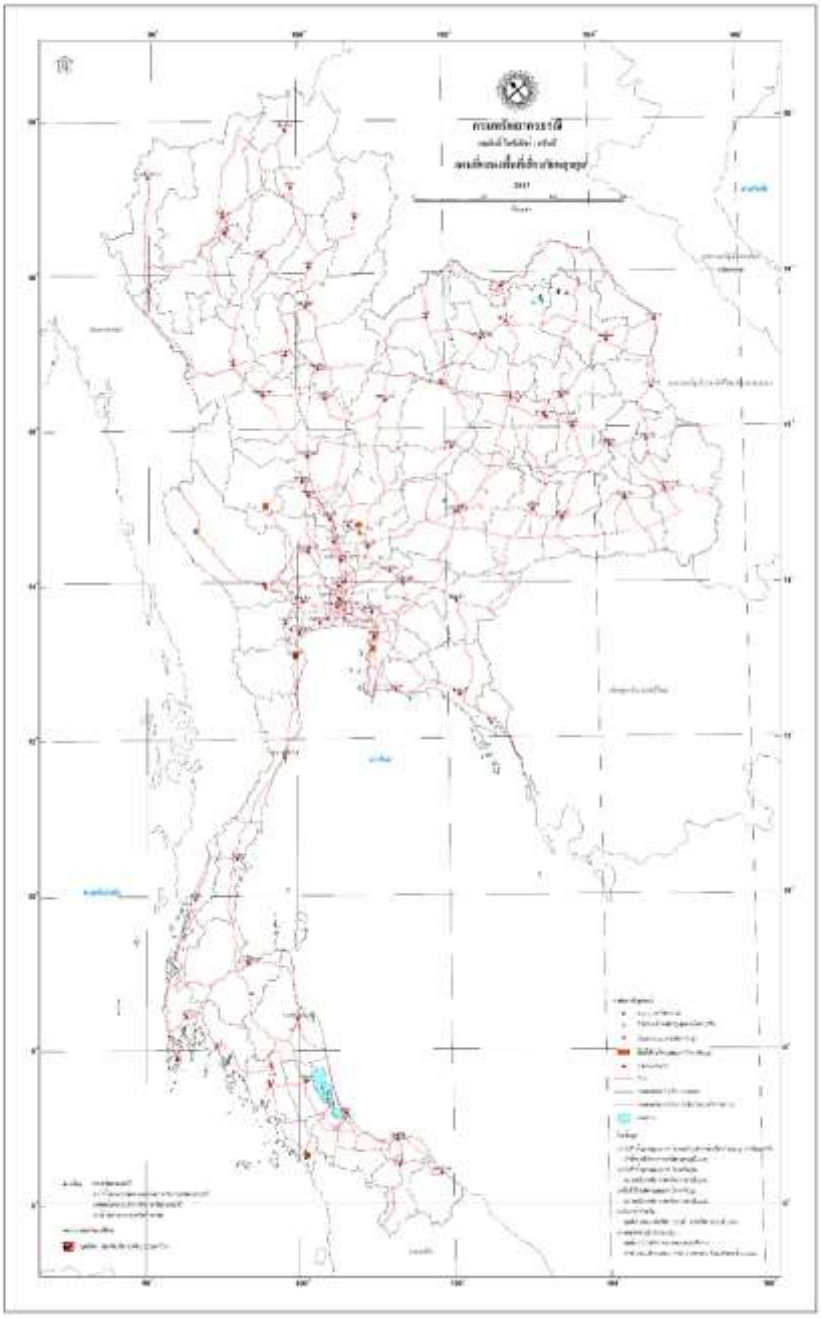
Tilt Angle (degree)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Anual
0	3.48	3.08	2.52	1.78	1.19	0.93	1.06	1.50	2.18	2.75	3.32	3.35	2.26
5	3.53	3.19	2.70	2.00	1.41	1.14	1.28	1.72	2.37	2.87	3.38	3.39	2.41
10	3.55	3.27	2.85	2.20	1.63	1.35	1.49	1.92	2.54	2.97	3.42	3.39	2.55
15	3.55	3.33	2.99	2.39	1.83	1.55	1.69	2.12	2.69	3.05	3.43	3.37	2.67
20	3.52	3.36	3.10	2.56	2.02	1.73	1.88	2.29	2.82	3.11	3.42	3.32	2.76
25	3.47	3.37	3.19	2.71	2.19	1.91	2.05	2.45	2.94	3.14	3.38	3.25	2.84
30	3.39	3.36	3.25	2.83	2.34	2.06	2.21	2.59	3.02	3.15	3.32	3.16	2.89
35	3.30	3.32	3.29	2.94	2.48	2.21	2.35	2.71	3.09	3.14	3.24	3.06	2.93
40	3.17	3.25	3.30	3.03	2.60	2.33	2.47	2.81	3.13	3.10	3.13	2.93	2.94
45	3.03	3.16	3.29	3.09	2.69	2.44	2.58	2.88	3.15	3.04	3.00	2.78	2.93
50	2.86	3.05	3.25	3.13	2.77	2.53	2.66	2.94	3.14	2.96	2.85	2.60	2.89
55	2.67	2.91	3.19	3.14	2.83	2.60	2.73	2.97	3.11	2.85	2.67	2.41	2.84
60	2.46	2.75	3.11	3.13	2.86	2.65	2.77	2.98	3.06	2.72	2.48	2.20	2.76
65	2.24	2.57	3.00	3.10	2.88	2.68	2.79	2.97	2.98	2.57	2.27	1.99	2.67
70	2.01	2.37	2.87	3.04	2.87	2.69	2.79	2.94	2.88	2.40	2.05	1.77	2.56
75	1.77	2.16	2.71	2.96	2.84	2.67	2.77	2.88	2.76	2.22	1.83	1.53	2.43
80	1.51	1.93	2.54	2.86	2.79	2.64	2.73	2.80	2.62	2.02	1.58	1.29	2.28
85	1.24	1.70	2.34	2.73	2.71	2.59	2.67	2.70	2.45	1.80	1.33	1.03	2.11
90	0.98	1.45	2.13	2.59	2.62	2.52	2.59	2.58	2.27	1.58	1.07	0.80	1.93

รูปที่ 4.5 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ เมืองไครสต์เชิร์ช ประเทศนิวซีแลนด์

จากรูปที่ 4.5 ผู้ใช้งานป้อนค่าละติจูด และลองจิจูด เป็นตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 15 องศา และทิศทางของแผงหันไปทางทิศเหนือ (azimuth of panel เท่ากับ 0 องศา) พบว่าค่าพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ มีค่า 2.67 $kW \cdot hr/m^2/day$ หากผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้ได้พลังงานเฉลี่ยมากที่สุด ผู้ใช้งานควรเอียงมุมของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 45 องศา จะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์เฉลี่ยตลอดปีมีค่าสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 2.94 $kW \cdot hr/m^2/day$

4.2.2 การทดสอบโปรแกรมเพื่อการหาศักยภาพในพื้นที่ของประเทศไทยที่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์

ในขั้นตอนนี้ จะทำการทดสอบโปรแกรมโดยหาพลังงานความเข้มแสงเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง ละติจูดและลองจิจูดต่างๆของประเทศไทย ทั้งหมด 40 จุด โดยป้อนค่ามุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 0 องศา และแผงหันหน้าไปทางทิศใต้



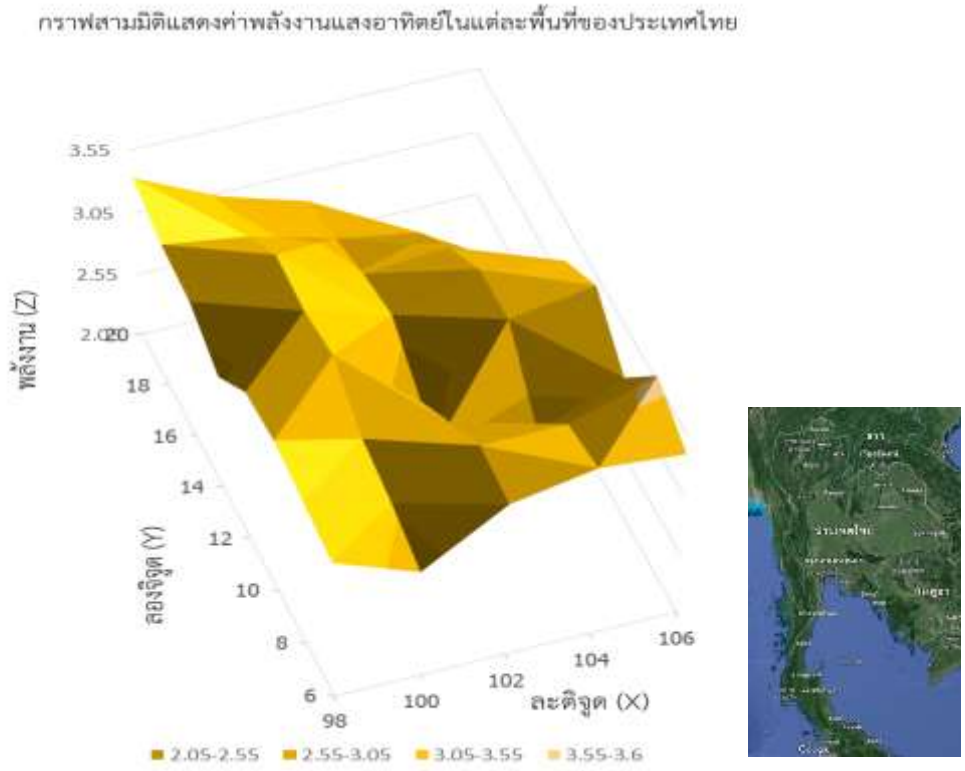
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดตัดละติจูดกับลองจิจูดต่างๆ ของประเทศไทย

เมื่อป้อนค่าละติจูด และลองจิจูด ณ ตำแหน่งต่างๆของประเทศไทย ทั้งหมด 40 จุด จะได้ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปี ดังตาราง

ละติจูด (องศา) / ลองจิจูด (องศา)	98.0	100.0	102.0	104.0	106.0
20.0	3.33	3.02	2.82	2.40	2.07
18.0	3.21	3.11	2.93	2.81	2.34
16.0	3.17	3.38	3.06	3.11	2.60
14.0	2.98	3.35	3.15	3.35	3.25
12.0	3.29	3.42	2.87	3.37	3.47
10.0	3.33	3.17	3.13	2.91	3.15
8.0	3.27	3.08	3.38	3.38	3.61
6.0	3.21	2.95	3.34	3.46	3.40

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งละติจูดกับลองจิจูดต่างๆ ของประเทศไทย

จากตารางที่ 1 พบว่าในบริเวณพื้นที่ละติจูด 12.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 106 องศาตะวันออกมีค่าเฉลี่ยของพลังงานสูงสุด แต่หากดูจากรูปที่ 4.6 จะพบว่า ณ ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดดังกล่าวอยู่ในบริเวณประเทศกัมพูชา ไม่ได้อยู่ในพื้นของประเทศไทย และในบริเวณพื้นที่ละติจูด 6.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 104 องศาตะวันออก จะให้ค่าเฉลี่ยของพลังงานสูงสุด แต่ในบริเวณดังกล่าวก็อยู่ในพื้นที่ของประเทศมาเลเซีย ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ประเทศไทย และที่ตำแหน่งละติจูด 12.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.0 องศาตะวันออก ซึ่งอยู่ในบริเวณพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์สูงที่สุด อยู่ที่ 3.42 $kW \cdot hr/m^2/day$ เมื่อเราพิจารณาตำแหน่งละติจูด และลองจิจูด ซึ่งค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์พลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด พบว่าหากผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในตำแหน่งนี้ โดยหันหน้าแผงไปทางทิศใต้ ที่มุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 15 องศา จะให้ค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงสูงสุด อยู่ที่ 3.55 $kW \cdot hr/m^2/day$ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟสามมิติแสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อนำข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์มาเขียนเป็นกราฟสามมิติ จะได้ลักษณะกราฟดังรูปซึ่ง ตำแหน่งที่ให้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ สูงสุดในประเทศคือบริเวณ ละติจูด 12.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 100 องศาตะวันออด ซึ่งอยู่ในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

data_output_gui.txt - Notepad

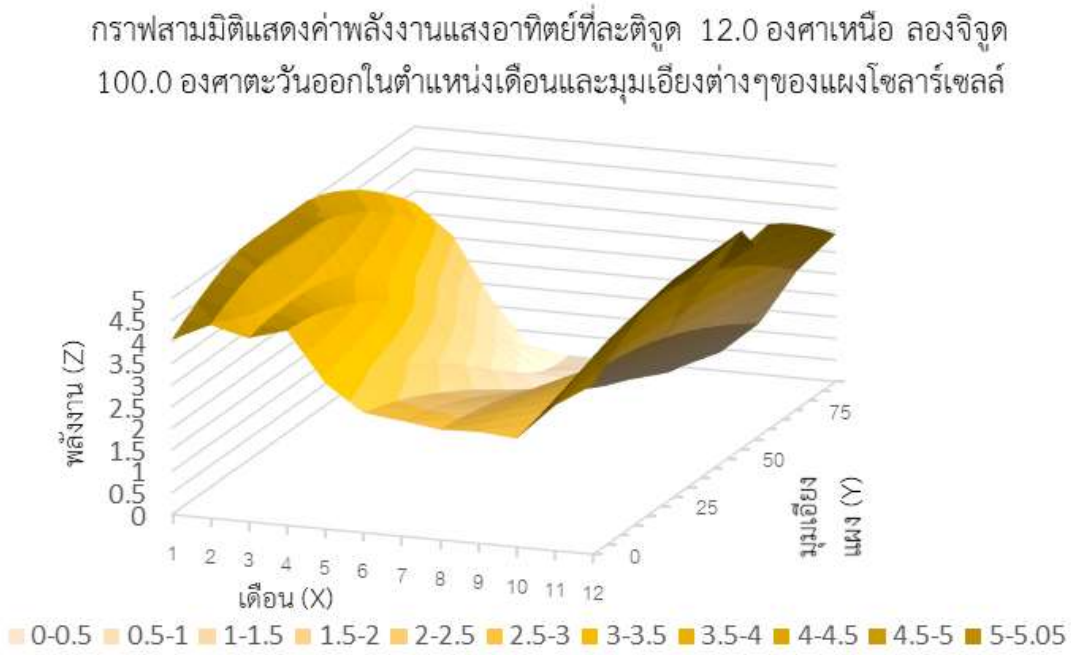
File Edit Format View Help

At latitude: 12.0
At longitude: 100.0
Tilt angle: 0.0 degree
Azimuth of panel: 180.0

Month	Energy (Kw-hr/m^2/day)
January	4.05
Febuary	4.47
March	4.25
April	4.51
May	3.38
June	2.77
July	2.67
August	2.55
September	2.58
October	2.51
Noveember	3.36
December	3.92
Annual	3.42

Tilt Angle (degree)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Anual
0	4.05	4.47	4.25	4.51	3.38	2.77	2.67	2.55	2.58	2.51	3.36	3.92	3.42
5	4.31	4.67	4.34	4.48	3.29	2.68	2.59	2.52	2.61	2.60	3.56	4.21	3.49
10	4.54	4.84	4.39	4.42	3.18	2.56	2.49	2.46	2.62	2.68	3.74	4.46	3.53
15	4.74	4.97	4.41	4.33	3.04	2.43	2.37	2.39	2.60	2.73	3.89	4.68	3.55
20	4.91	5.07	4.40	4.20	2.89	2.27	2.23	2.30	2.57	2.76	4.01	4.86	3.54
25	5.03	5.12	4.35	4.04	2.71	2.10	2.08	2.19	2.52	2.77	4.09	5.00	3.50
30	5.12	5.14	4.27	3.86	2.51	1.92	1.91	2.07	2.45	2.77	4.15	5.11	3.44
35	5.16	5.12	4.15	3.64	2.29	1.73	1.73	1.93	2.36	2.73	4.18	5.18	3.35
40	5.17	5.06	4.01	3.39	2.07	1.53	1.55	1.77	2.25	2.68	4.17	5.20	3.24
45	5.14	4.96	3.85	3.12	1.83	1.31	1.35	1.61	2.12	2.61	4.13	5.19	3.10
50	5.07	4.82	3.65	2.83	1.58	1.09	1.14	1.43	1.98	2.52	4.06	5.14	2.94
55	4.96	4.65	3.39	2.52	1.31	0.87	0.93	1.25	1.83	2.41	3.96	5.05	2.76
60	4.82	4.44	3.13	2.19	1.04	0.66	0.72	1.05	1.66	2.28	3.83	4.92	2.56
65	4.63	4.19	2.85	1.85	0.78	0.44	0.51	0.85	1.47	2.13	3.67	4.76	2.35
70	4.42	3.92	2.55	1.49	0.52	0.25	0.31	0.65	1.28	1.97	3.49	4.56	2.12
75	4.16	3.61	2.22	1.13	0.28	0.08	0.14	0.45	1.08	1.79	3.27	4.32	1.88
80	3.88	3.28	1.88	0.77	0.09	0.00	0.02	0.26	0.87	1.60	3.03	4.05	1.64
85	3.57	2.92	1.53	0.43	0.00	0.00	0.00	0.10	0.65	1.40	2.77	3.75	1.43
90	3.23	2.54	1.17	0.15	0.00	0.00	0.00	0.02	0.43	1.18	2.49	3.42	1.22

รูปที่ 4.8 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่ง ละติจูด 12.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.0 องศาตะวันออก

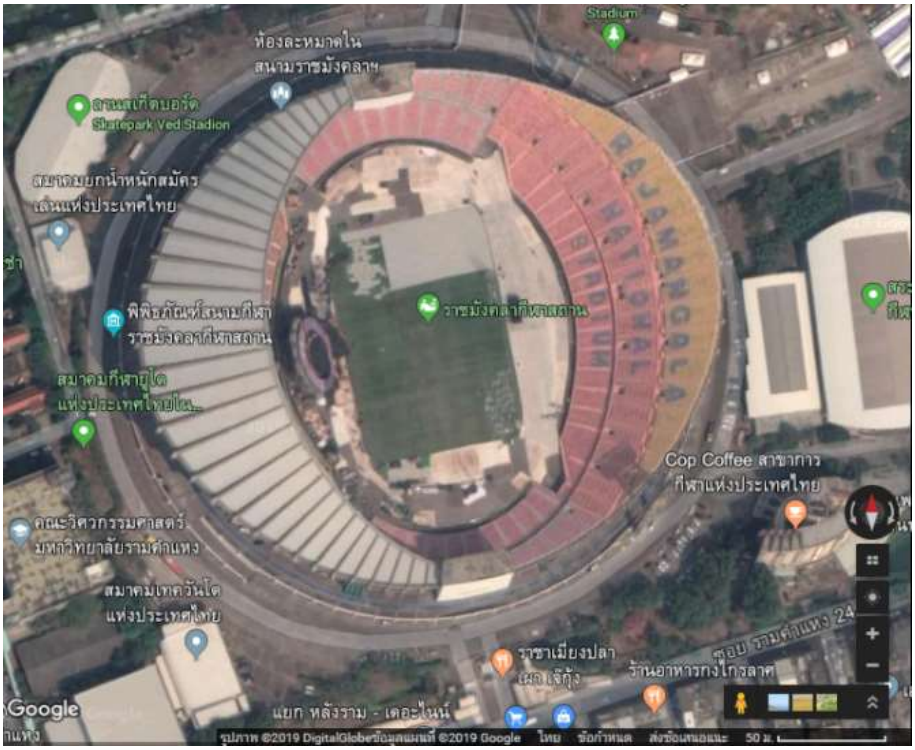


รูปที่ 4.9 กราฟสามมิติแสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ ละติจูด 12.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.0 องศาตะวันออก

จากรูปที่ 4.9 พบว่าหากผู้ใช้งานเลือกติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ที่มุมเอียงประมาณ 40 องศา ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงรับได้ในช่วงเดือนธันวาคม และมกราคม จะมีค่าสูงสุด ประมาณ 5.18 $kW \cdot hr/m^2/day$ แต่ค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงตลอดทั้งปี จะมีค่าอยู่ที่ 3.24 $kW \cdot hr/m^2/day$ ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าหากผู้ใช้งานติดมุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์ประมาณ 15 องศา ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์อยู่ที่ 3.55 $kW \cdot hr/m^2/day$

4.2.3 การทดสอบโปรแกรมโดยผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ณ สนามราชมังคลากีฬาสถาน

ตัวอย่างผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนสนามราชมังคลากีฬาสถาน แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร โดยตั้งที่อยู่ที่ละติจูด 13.755 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.621 องศาตะวันออก



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายดาวเทียมของสนามราชมังคลากีฬาสถาน จาก Google Map

จากรูปที่ 4.10 พบว่าลักษณะที่ตั้งของสนามราชมังคลากีฬาสถาน วางตัวในแนวตะวันอออก – ตะวันตก โดยหากผู้ใช้ต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาสนามราชมังคลากีฬาสถาน และวางแผงให้หันไปในทิศใต้ จะได้ค่าพลังงานที่มุมเอียงต่างๆของแผงโซลาร์เซลล์ ดังรูปที่ 4.11

data_output_gui.txt - Notepad

File Edit Format View Help

At latitude: 13.755
At longitude: 100.621
Tilt angle: 0.0 degree
Azimuth of panel: 180.0

Month	Energy (Kw-hr/m^2/day)
January	3.76
Febuary	4.07
March	4.15
April	4.22
May	3.15
June	2.71
July	2.58
August	2.51
September	2.55
October	2.54
November	3.21
December	3.61
Annual	3.26

Tilt Angle (degree)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Anual
0	3.76	4.07	4.15	4.22	3.15	2.71	2.58	2.51	2.55	2.54	3.21	3.61	3.26
5	4.03	4.27	4.24	4.20	3.08	2.63	2.51	2.48	2.58	2.65	3.42	3.89	3.33
10	4.26	4.44	4.30	4.16	2.99	2.52	2.42	2.44	2.60	2.73	3.60	4.13	3.38
15	4.46	4.58	4.33	4.08	2.87	2.40	2.31	2.37	2.59	2.79	3.75	4.35	3.41
20	4.62	4.68	4.33	3.97	2.73	2.25	2.18	2.29	2.56	2.83	3.88	4.53	3.41
25	4.75	4.74	4.29	3.84	2.57	2.09	2.04	2.19	2.52	2.85	3.97	4.68	3.38
30	4.85	4.77	4.23	3.67	2.39	1.92	1.88	2.07	2.45	2.85	4.04	4.79	3.33
35	4.90	4.76	4.12	3.47	2.20	1.74	1.72	1.94	2.37	2.82	4.08	4.86	3.25
40	4.92	4.72	3.99	3.25	1.99	1.55	1.54	1.79	2.27	2.78	4.08	4.90	3.15
45	4.91	4.64	3.83	3.01	1.77	1.35	1.36	1.63	2.15	2.71	4.05	4.90	3.03
50	4.85	4.52	3.64	2.74	1.54	1.13	1.16	1.47	2.02	2.63	3.99	4.87	2.88
55	4.76	4.37	3.42	2.46	1.30	0.91	0.96	1.29	1.87	2.52	3.91	4.79	2.71
60	4.63	4.19	3.17	2.16	1.05	0.71	0.76	1.10	1.70	2.39	3.79	4.68	2.53
65	4.47	3.97	2.90	1.84	0.81	0.50	0.56	0.90	1.53	2.25	3.64	4.54	2.33
70	4.27	3.72	2.61	1.51	0.57	0.30	0.36	0.71	1.34	2.09	3.47	4.36	2.11
75	4.04	3.45	2.30	1.17	0.34	0.12	0.19	0.51	1.14	1.91	3.26	4.14	1.88
80	3.78	3.15	1.97	0.84	0.14	0.01	0.05	0.32	0.93	1.72	3.04	3.90	1.65
85	3.49	2.83	1.63	0.51	0.02	0.00	0.00	0.15	0.72	1.51	2.79	3.63	1.44
90	3.17	2.48	1.27	0.22	0.00	0.00	0.00	0.03	0.50	1.29	2.52	3.32	1.24

รูปที่ 4.11 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ณ สนามราชมังคลากีฬาสถาน

จากรูปที่ 4.11 พบว่าหากผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาสนามราชมังคลากีฬาสถาน โดยให้หันหน้าแผงไปทางทิศใต้ ผู้ใช้งานควรติดตั้งมุมเอียงของแผงให้ทำมุมประมาณ 15-20 องศา จะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงจึงจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 3.41 $kW \cdot hr/m^2/day$ แต่หากผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้รับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ได้สูงสุดในฤดูหนาว ควรติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้มีมุมเอียงของแผงประมาณ 40-45 องศา จึงจะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์มีค่าอยู่ที่ 4.7 $kW \cdot hr/m^2/day$ โดยมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูหนาว

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผล

โปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งใดๆ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมจากนาซา ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถทราบถึงศักยภาพในพื้นที่สำหรับการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ ในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยผู้ใช้งานสามารถทราบถึงพลังงานที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ ว่าหากติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เอียงที่มุมต่างๆ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนแผงมีค่ามากหรือน้อยเท่าใด และผู้ใช้งานสามารถทราบค่ามุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงโซลาร์เซลล์มีค่าสูงสุด ในส่วนของการทดสอบการใช้งานโปแกรมมีการทดสอบการใช้งานโปรแกรมทั้งหมด 3 แบบ ประกอบด้วย

การคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ ณ จังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย, เมืองออสโล ประเทศนอร์เวย์ และเมืองไครสต์เชิร์ช ประเทศนิวซีแลนด์ โดยที่ผู้ใช้งานป้อนค่าข้อมูลมุมเอียงแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องการจะติดตั้ง สำหรับตำแหน่งจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ณ ตำแหน่งมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 20 องศา จะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์เฉลี่ยตลอดปีมีค่าสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 3.56 $kW \cdot hr/m^2/day$ ตำแหน่งเมืองออสโล ประเทศนอร์เวย์ ณ ตำแหน่งมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ประมาณ 45-50 องศา จะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์เฉลี่ยตลอดปีมีค่าสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 2.04 $kW \cdot hr/m^2/day$, ตำแหน่งเมืองไครสต์เชิร์ช ประเทศนิวซีแลนด์ ณ ตำแหน่งมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 45 องศา จะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์เฉลี่ยตลอดปีมีค่าสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 2.94 $kW \cdot hr/m^2/day$

การหาศักยภาพในพื้นที่ของประเทศไทยที่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดเงื่อนไขให้ทิศของแผงโซลาร์เซลล์หันไปทางทิศใต้ โดยพบว่าที่ละติจูด 12.0 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.0 องศาตะวันออก ซึ่งอยู่ในบริเวณพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์สูงที่สุด อยู่ที่ 3.42 $kW \cdot hr/m^2/day$ และหากผู้ใช้ต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด มุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ควรเอียง 15 องศา จะทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ 3.55 $kW \cdot hr/m^2/day$

ในกรณีศึกษาโดยผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ณ บริเวณหลังคาสนามราชมังคลากีฬาสถาน พบว่าหากผู้ใช้งานต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาสนามราชมังคลากีฬาสถาน และต้องการให้แผงโซลาร์เซลล์หันไปทางทิศใต้ ผู้ใช้งานควรติดตั้งมุมเอียงของแผงให้ทำมุมประมาณ 15-20 องศา พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงจึงจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 3.41 $kW \cdot hr/m^2/day$

สำหรับตัวโปรแกรมคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์นี้ สามารถมีแนวทางในการพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และเพื่อเพิ่มความสะดวกแก่ผู้ใช้งานมากขึ้น ในการพัฒนาด้านประสิทธิภาพสามารถศึกษาตัวแปรอื่นได้นอกเหนือจากค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากในเว็บไซต์ของนาซาที่ผู้ทำโครงงานใช้ในการดึงข้อมูลมานั้น ไม่ได้เพียงแต่เก็บข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ แต่ยังเก็บข้อมูลอื่นๆ เช่น ความเร็วลม ปริมาณฝน อุณหภูมิของผิวโลก ความชื้นสัมพัทธ์ ฯลฯ ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ต่อไป ในส่วนด้านการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน อาจมีการปรับปรุงส่วนต่อประสานงานกราฟฟิกกับผู้ใช้งาน ให้ผู้ใช้งาน

สามารถค้นหาตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ได้จาก Google Map พร้อมทั้งปรับปรุงให้มีความสวยงามและเข้าใจง่ายยิ่งขึ้น และรวมไปถึงมีการพัฒนาเป็นแอพลิเคชัน รองรับการทำงานในแพลตฟอร์ม (Platform) อื่นๆ เช่น Android, IOS เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานในอุปกรณ์พกพาได้ เช่น สมาร์ทโฟน, แทปเล็ต, คอมพิวเตอร์, โน๊ตบุค

เอกสารอ้างอิง

[1] ศิรวิศ สุรพฤกษ์. โปรแกรมสำหรับการคำนวณตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า. โครงงานวิทยาศาสตร์ปริญญาบัณฑิต, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554

[2] เสาวรภย์ กุสุมา ณ อยุธยา. พลังงานทดแทนกับการพัฒนาเศรษฐกิจไทย. *Executive Journal.* 2550 : 57-61.

[3] พงษ์ ทรงพงษ์. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 2304375 ฟิสิกส์ของระบบเซลล์สุริยะ. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560

[4] เสริม จันทร์ฉาย. รังสีแสงอาทิตย์. ตำราประกอบการสอนรายวิชา 514523 รังสีแสงอาทิตย์. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554

[5] NASA Prediction Of Worldwide Energy Resource [ออนไลน์]. 2561. แหล่งที่มา: https://power.larc.nasa.gov [14 พฤศจิกายน 2561]

[6] Create an Interactive Narrative with the Live Editor. [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: https://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_prog/live-editor-intteractive-narrative.html;jsessionid=cbbc530ceb297f26f784c69c4f9f [1 เมษายน 2562]

[7] โครงการศึกษาและประเมินศักยภาพแสงอาทิตย์ ประเทศกัมพูชา [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: [5 พฤศจิกายน 2561]

[8] โครงการศึกษาศักยภาพพื้นที่ที่เหมาะสมในการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์ของประเทศไทย [ออนไลน์]. 2560. แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=46925&filename=index [7 พฤศจิกายน 2561]

[9] ภาษา Python [ออนไลน์]. 2560. แหล่งที่มา: http://marcuscode.com/lang/python [2 กุมภาพันธ์ 2562]

[10] โปรแกรมคำนวณอย่างง่ายสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.cssckmutt.in.th/pvgis/pvroof/index.php [13 พฤศจิกายน 2561]

[11] การสร้าง GUI คำนวณปริมาตรของคอนกรีต [ออนไลน์]. 2560. แหล่งที่มา: https://github.com/UncleEngineer/VolumeCal/blob/master/simplevolume.py [17 เมษายน 2562]

ภาคผนวก

Code โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งที่สนใจ

```
from tkinter import *
from tkinter import ttk
from PIL import Image, ImageTk
import math
import requests


#กำหนดฟังชันคำนวณ
def energy():
    lat = float(slat.get())
    lon = float(slon.get())
    tilt = float(stilt.get())
    azitilt = float(sazitilt.get())


    #ดึงข้อมูลความเข้มแสงตรงจากเว็ปนาซา
    url = 'https://power.larc.nasa.gov/cgi-
bin/v1/DataAccess.py?request=execute&identifier=SinglePoint&parameters=DNR&startDate=&
endDate=&userCommunity=SSE&tempAverage=CLIMATOLOGY&outputList=JSON,ASCII&lat='+
str(lat)+'&lon='+str(lon)+'&user=anonymous'
    data_raw = requests.get(url)
    f = open('data_request.txt','w+') #เก็บข้อมูลในtextfile
    f.write(data_raw.text)
    f.close()
    f = open('data_request.txt')
    dnr = []
    while True:
```

```
    if f.readline() == '      "DNR": {\n' :
        n = 1
        while n<=12 :
            s = f.readline()
            d = s.replace('\"', '').replace(',', '').strip().split(': ')
            dnr.append(float(d[1]))
            n = n+1
        break
f.close()


#คำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ตามมุมเอียงแผงที่ผู้ใช้งานป้อนข้อมูล
dnr_month_list = []
total_day_of_month = [31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31]
for k in range(12) :
    energy_real_list_month = []
    for n in range(total_day_of_month[k]):
        d = sum(total_day_of_month[:k]) + n + 1
        st = [i+0.5 for i in range(24)] #กำหนดเวลาดวงอาทิตย์
        decli = 23.45*math.sin((360*(d-81)/365)*math.pi/180) #คำนวณค่าเดคลิเนชัน
        Id_list = []
        hour_angle_list =[]
        altitude_list =[]
        energy_real_list = []

        for i in st:
```

```
            hour_angle = 15*(12-i) #คำนวณมุมชั่วโมงดวงอาทิตย์
            attitude =
math.asin(math.sin(decli*math.pi/180)*math.sin(lat*math.pi/180)+math.cos(decli*math.pi/180)
*math.cos(lat*math.pi/180)*math.cos(hour_angle*math.pi/180)) #คำนวณมุมอัลติจูดดวงอาทิตย์
            zenith = 90-(attitude*180/math.pi) #คำนวณมุมเซนิธดวงอาทิตย์
            am = 1/math.cos(zenith*math.pi/180) #คำนวณค่าairmass
            if am < 0 :
                Id = 0
            else:
                Id = 1353*(0.7**(am**0.678)) #คำนวณค่าความเข้มแสงตรงทางทฤษฎี
            Id_list.append(Id)
            hour_angle_list.append(hour_angle)
            altitude_list.append(attitude)
        Id_sum = sum(Id_list)
        cosAzi = [(math.sin(decli*math.pi/180)*math.cos(lat*math.pi/180)-
math.cos(decli*math.pi/180)*math.sin(lat*math.pi/180)*math.cos(hour_angle_list[i]*math.pi/1
80))/(math.cos(altitude_list[i])) for i in range(len(st))]
        Azi = [math.acos(cosAzi[i])*180/math.pi for i in range(len(st))] #คำนวณมุมอาซิมุธ
        cos_sun_tilt =
[math.cos(tilt*math.pi/180)*math.sin(altitude_list[i])+math.sin(tilt*math.pi/180)*math.cos(altit
ude_list[i])*math.cos((Azi[i]-azitilt)*math.pi/180) for i in range(len(st))] #คำนวณมุมที่ดวงอาทิตย์ทำ
กับแผงโซลาร์เซลล์
        for i in range(len(st)):
            if  cos_sun_tilt[i] < 0 :
                energy = 0
            else :
                energy = dnr[k]*cos_sun_tilt[i]*(Id_list[i]/Id_sum) #คำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่
ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์
```

```
            energy_real_list.append(energy)
        energy_sum = sum(energy_real_list)
        energy_real_list_month.append(energy_sum)
    energy_budget_month = (sum(energy_real_list_month)/total_day_of_month[k]) #ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ในแต่ละเดือน
    dnr_month_list.append(energy_budget_month)


import tabulate #สร้างตารางแสดงผล
name_of_month = ['January','Febuary','March','April','May','June','July','August','September','October','November','December']
table = [[name_of_month[i],dnr_month_list[i]] for i in range(12)]
table.append(['Annual', (sum(dnr_month_list)/12)]) #ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ตลอดทั้งปี
#เก็บข้อมูลพลังงานที่ได้ใน textfile
g = open('data_output_gui.txt' , 'w+')
g.write(' At latitude: '+str(lat)+'\n')
g.write(' At longitude: '+str(lon)+'\n')
g.write(' Tilt angle: ' + str(tilt)  + ' degree\n')


#คำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงโซลาร์เซลล์ในแต่ละมุมเอียงของแผง
total_day_of_month = [31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31]
anual_list = []
for tilt in range(0,91,5) :
    dnr_month_list = []
    for k in range(12) :
```

```
energy_real_list_month = []
for n in range(total_day_of_month[k]):
    d = sum(total_day_of_month[:k]) + n + 1
    st = [i+0.5 for i in range(24)]
    decli = 23.45*math.sin((360*(d-81)/365)*math.pi/180)
    Id_list = []
    hour_angle_list =[]
    altitude_list =[]
    energy_real_list = []
    for i in st:
        hour_angle = 15*(12-i)

        attitude =
math.asin(math.sin(decli*math.pi/180)*math.sin(lat*math.pi/180)+math.cos(decli*math.pi/180)
*math.cos(lat*math.pi/180)*math.cos(hour_angle*math.pi/180))
        zenith = 90-(attitude*180/math.pi)
        am = 1/math.cos(zenith*math.pi/180)

        if am < 0 :
            Id = 0
        else:
            Id = 1353*(0.7**(am**0.678))
        Id_list.append(Id)
        hour_angle_list.append(hour_angle)
        altitude_list.append(attitude)
```

```
            Id_sum = sum(Id_list)
            cosAzi = [(math.sin(decli*math.pi/180)*math.cos(lat*math.pi/180)-
math.cos(decli*math.pi/180)*math.sin(lat*math.pi/180)*math.cos(hour_angle_list[i]*math.pi/1
80))/(math.cos(altitude_list[i])) for i in range(len(st))]
            Azi = [math.acos(cosAzi[i])*180/math.pi for i in range(len(st))]
            cos_sun_tilt =
[math.cos(tilt*math.pi/180)*math.sin(altitude_list[i])+math.sin(tilt*math.pi/180)*math.cos(altit
ude_list[i])*math.cos((Azi[i]-azitilt)*math.pi/180) for i in range(len(st))]
            for i in range(len(st)):
                if  cos_sun_tilt[i] < 0 :
                    energy = 0
                else :
                    energy = dnr[k]*cos_sun_tilt[i]*(Id_list[i]/Id_sum)
                energy_real_list.append(energy)
            energy_sum = sum(energy_real_list)
            energy_real_list_month.append(energy_sum)
        energy_budget_month = (sum(energy_real_list_month)/total_day_of_month[k])
        dnr_month_list.append(float(energy_budget_month))
    anual_list.append(dnr_month_list)
tilt_angle = [i for i in range(0,91,5)]
table1 = [[tilt_angle[i]] + anual_list[i] + [(sum(anual_list[i])/12)] for i in range(len(tilt_angle))]
g.write(' Azimuth of panel: ' +str(azitilt) +'\n')
g.write(tabulate.tabulate(table, headers = [' Month','Energy (Kw-
hr/m^2/day)'],floatfmt=".2f"))
g.write('\n')
```

```
    g.write('----------------------------------------------------------------------------------------------------------------
'+'\n')
    g.write(tabulate.tabulate(table1, headers = ['Tilt Angle (degree)','Jan' ,
'Feb','Mar','Apr','May','Jun','Jul','Aug','Sep','Oct','Nov','Dec','Anual'],floatfmt=".2f"))
    g.close()
    result.set('Done')

#สร้างguiเพื่อให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลต่างๆ
GUI = Tk()
GUI.geometry("500x350")
GUI.title("Solar Energy Calculation Program")

slat = StringVar()
slon = StringVar()
stilt = StringVar()
sazitilt = StringVar()
result = StringVar()

#define label fixed
lat = ttk.Label(GUI, text = "Lattitude :")
lat.pack()
#define label nonfixed
objEntry = ttk.Entry(GUI, textvariable = slat)
objEntry.pack()

lon = ttk.Label(GUI, text = "Longitude :")
```

```
lon.pack()
objEntry2 = ttk.Entry(GUI, textvariable = slon)
objEntry2.pack()

objEntry5 = Label(GUI ,text = "ค้นหาตำแหน่งของคุณด้วย Google Map" , fg="black")
objEntry5.pack()

tilt = ttk.Label(GUI, text = "Tilt Angle :")
tilt.pack()
objEntry3 = ttk.Entry(GUI, textvariable = stilt)
objEntry3.pack()

objEntry6 = Label(GUI ,text = "ป้อนค่ามุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์" , fg="black")
objEntry6.pack()

azitilt = ttk.Label(GUI, text = "Azimuth of panel :")
azitilt.pack()
objEntry4 = ttk.Entry(GUI, textvariable = sazitilt)
objEntry4.pack()

objEntry7 = Label(GUI ,text = "มุมทิศของหน้าแผงโซลาร์เซลล์ทำกับทิศเหนือ" , fg="black")
objEntry7.pack()

mButton = ttk.Button(GUI, text = "Calculate", command = energy)
mButton.pack()
```

```
R1 = ttk.Label(GUI, textvariable= result, font=('tohama',12))
R1.pack()

#import image
img = Image.open("logo.png")
img = img.resize((int(img.width*0.2),int(img.height*0.2)))
photo = ImageTk.PhotoImage(img)
lbl = Label(image=photo)
lbl.pack()

GUI.mainloop()
```